

新高中
生活與物理
第二版

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

5

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

課本共有10冊，六冊屬於「必修部分」，四冊屬於「選修部分」。

必修部分

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

選修部分

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

*另備**組合科學（物理）**版本。

整套教材包括課本、實驗手冊和多媒體學習資源。

OXFORD
UNIVERSITY PRESS
牛津大學出版社
www.oupchina.com.hk

ISBN 978-0-19-944199-0



9 780199 441990

新高中
生活與物理
第二版

OXFORD

教師用書

5

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

5

新高中
生活與物理
第二版

放射現象和核能

教師用書

OXFORD 牛津

目錄

作者簡介

iii

序 言

vi

EX 第 1 課 輻射與放射現象

1.1 X 射線與核輻射

2

1.2 放射現象

10

總結 1

30

複習 1

32

自我評核 1

40

EX 第 2 課 原子結構與放射衰變

2.1 原子模型

42

2.2 放射衰變

48

2.3 放射性同位素的應用與輻射安全

64

總結 2

75

複習 2

78

自我評核 2

86

EX 第 3 課 核 能

3.1 核裂變及核聚變

88

Ext 3.2 質能關係

94

3.3 核能的應用

101

總結 3

116

複習 3

118

自我評核 3

124

答 案

125

自我評核題解

129

索 引

130

鳴 謝

131

圖片鳴謝

132

附 錄

133

多媒體資源

下列多媒體資源讓學生透過不同種類的學習模式來增進知識。

模擬程式 1.1

錄像片段 1.1

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

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



F-X

1

輻射與放射現象

我們在这一課會學到

- X 射線怎樣產生，以及它的特性
- 放射性物質發出的不同種類核輻射
- 核輻射的探測
- 使用放射性物質的安全措施

X 射線與核輻射

起點

甚麼是輻射？

我們在日常生活中經常談及輻射，但到底甚麼是輻射？輻射可分為哪幾種？參閱 p.2-3。



✓ 本節重點

- 1 X 射線
- 2 核輻射

我們在第 1 冊學過，輻射是傳遞能量的一種方式（圖 1.1a）。其實，輻射還有另一個意思，就是指某放射源以粒子或波的形式放射的能量，那些能量可經介質或真空傳播開去（圖 1.1b）。



圖 1.1a 能量以輻射的形式，由電暖爐傳遞到四周



圖 1.1b 衛星天線會放出輻射

這裏解答了起點的第二條問題。輻射可以分為**致電離輻射**和非電離輻射兩種。致電離輻射的能量很高，足以把分子內的電子擊出，使分子**電離**並變成帶電的**離子**。相反，非電離輻射不能使分子電離。

致電離輻射 ionizing radiation 電離 ionize 離子 ion

致電離輻射的例子有很多，例如，用於生產核電的核燃料所放出的**核輻射**就是致電離輻射（圖 1.1c）。

參閱起點中提及的例子：流動電話利用無線電波來傳送資料；核反應堆泄漏的輻射是核輻射；接受身體檢查時有機會吸收 X 射線等輻射。

電磁波是輻射的一種。頻率較低的電磁波屬於非電離輻射，而 X 射線和伽瑪射線等頻率較高的電磁波，則屬於致電離輻射（圖 1.1d）。



圖 1.1d 致電離和非電離電磁輻射

致電離輻射可破壞活細胞，因此非常危險。任何受致電離輻射照射的地方都必須加上警告標誌（圖 1.1e）。



(i) 警告標誌



(ii) 儲存放射性物質的地方須加上警告標誌

圖 1.1e 致電離輻射的警告標誌

這一冊會集中討論致電離輻射。現在讓我們先了解 X 射線的特性和用途。

核輻射 nuclear radiation



圖 1.1c 鈾化合物會放出核輻射，可用來生產核燃料

1 X 射線

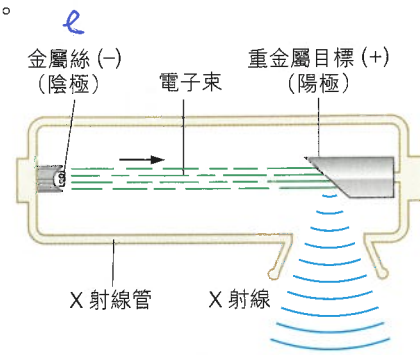
a X 射線的產生方法

圖 1.1f 展示一個用來產生 X 射線的裝置。X 射線管連接高壓電源，金屬絲（負極）受熱後放出的電子受高電壓作用，向重金屬目標（正極）加速移動，在撞擊重金屬時產生 X 射線。

在 X 射線管內，電子的動能轉化成 X 射線的能量。



(i) X 射線管



(ii) 高速電子撞擊重金屬目標，產生 X 射線

圖 1.1f X 射線的產生方法

b X 射線的特性

1895 年，倫琴發現了一種肉眼看不見的輻射，並把這種射線命名為 X 射線。今天，我們知道 X 射線是電磁波譜的一部分，而且頻率範圍很廣。

X 射線的能量很高，穿透能力很強。頻率較低的 X 射線能量較低，能夠穿透肌肉，但不能穿過骨骼，可應用於醫學上（圖 1.1g）。頻率較高的 X 射線能量較高，能穿透金屬。

由於 X 射線具有致電離特性，能夠破壞人體內部的活細胞。長期曝露於 X 射線之下，或受很強的 X 射線照射，都會危害健康（圖 1.1h）。



圖 1.1g 用作身體檢查的 X 射線圖像



圖 1.1h 高劑量 X 射線造成的創傷

歷史點滴

倫琴 (1845–1923)

倫琴是德國物理學家。他無意中發現了一種肉眼看不見，但能穿透多種物質的輻射，他稱這種輻射為 X 射線，當中的「X」就是「未知」的意思。因為這項發現，倫琴於 1901 年獲得首屆諾貝爾物理學獎。



醫學

X 射線放射攝影成像

X 射線可以把人體的影像投射到 X 射線底片上，用作檢查身體內部的情況（圖 a(i)）。

電腦斷層造影 (CT 掃描)

CT 掃描利用 X 射線製作三維影像，展示人體內部的狀況（圖 a(ii)）。E4 冊第 3 課會深入介紹這種掃描技術。

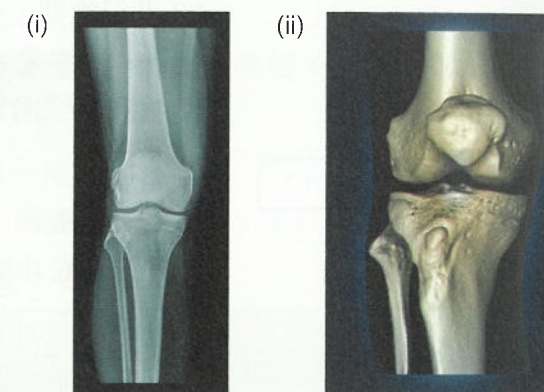


圖 a 人體膝蓋的 (i) X 射線圖像及 (ii) CT 三維圖像

安全檢查

行李及貨櫃檢查

海關人員會利用 X 射線，在機場檢查旅客的行李，以及在邊境檢查貨櫃。X 射線可以穿透行李和貨櫃，任何匿藏在裏面的非法入境者或違禁物品都無所遁形（圖 b）。

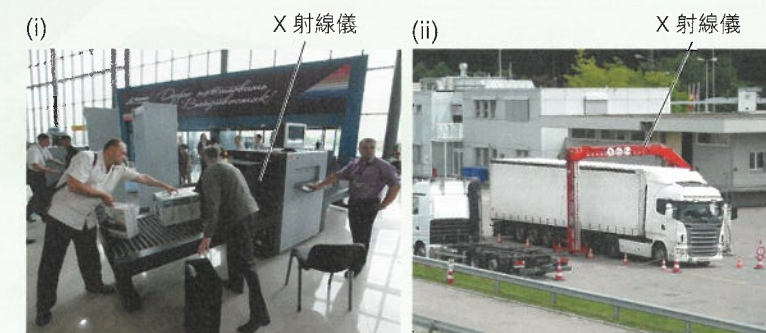


圖 b 利用 X 射線檢查 (i) 行李、(ii) 貨櫃

工業檢驗

頻率較高的 X 射線可以穿透金屬，在工業上用來探測裂縫和斷層（圖 c）。

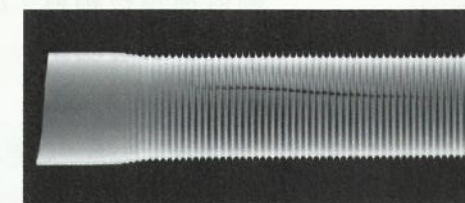


圖 c X 射線圖像顯示金屬管中的裂縫

考古

2005 年，研究人員利用 CT 掃描的方法，檢驗古埃及法老王圖坦卡門的木乃伊遺骸（圖 d），嘗試找出他的死因。

此外，自 2006 年開始，研究人員便利用 X 射線來研究兵馬俑上的顏料（圖 e），更無意中發現製作兵馬俑的技術。



圖 d 圖坦卡門的木乃伊面具



圖 e 兵馬俑

1 輻射與放射現象

2 核輻射

19 世紀晚期，在倫琴發現 X 射線後不久，貝克勒耳通過實驗發現另一種輻射。他察覺到有些鈾鹽會放射出一種肉眼看不見的輻射。那種輻射像 X 射線一樣能令底片變黑，但卻具有一些 X 射線沒有的特性。

錄像片段 1.1

→ 錄像片段 1.1 示範一個仿效貝克勒耳所做的實驗。

圖 1.1i 展示一組仿效貝克勒耳實驗而設計的裝置。感光底片放在密封的塑膠包裝內，上面放一條金屬鑰匙，鑰匙上方有一個放射性樣本。半小時後，底片取出沖曬，就會出現鑰匙的影像（圖 1.1j）。

從以上結果可見，放射性樣本釋放出來的輻射可穿透塑膠層，令底片變黑，但不能穿過金屬鑰匙。

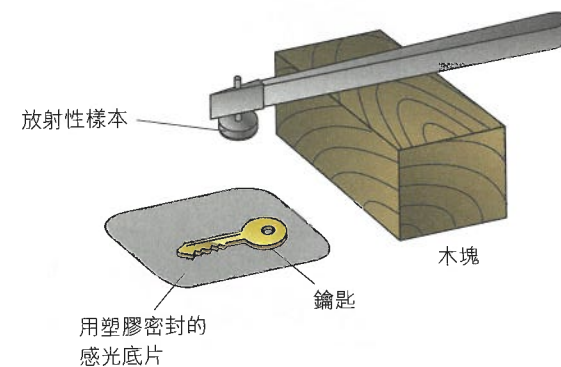
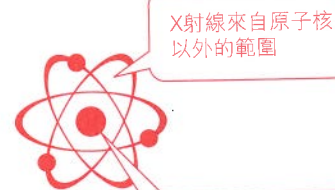


圖 1.1i 仿效貝克勒耳實驗的裝置



圖 1.1j 底片沒有給鑰匙遮蓋的部分變黑

可指出 X 射線和核輻射來自原子的不同位置，藉以強調核輻射來自原子核。



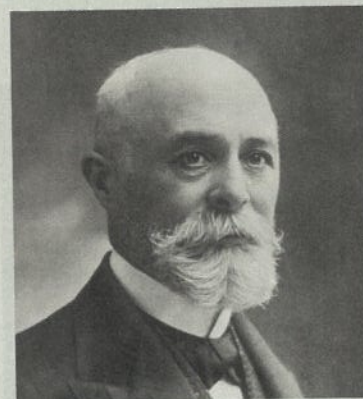
X 射線來自原子核以外的範圍

α 、 β 和 γ 輻射來自原子核

隨後的研究發現，這種輻射由不穩定的原子核在分裂時釋放出來。這種輻射稱為核輻射，放出核輻射的物質稱為**放射性物質**，而釋放輻射的現象稱為**放射現象**。

歷史點滴 貝克勒耳 (1852–1908)

貝克勒耳是法國科學家。他無意中發現了核輻射，自此之後積極研究放射現象。1903 年，他與居里夫婦（居里夫人是他的博士學生）一同獲頒諾貝爾物理學獎。



貝克勒耳



居里夫婦

貝克勒耳 Henri Becquerel 鈾 uranium 放射性 radioactive 放射現象 radioactivity
居里夫婦 Marie and Pierre Curie

核輻射與 X 射線不同，它是由原子核自發地釋放出來的。鈾鹽等物質會自發地釋放核輻射。

放射性物質自發地放出的高能量輻射，稱為核輻射；釋放輻射的現象稱為放射現象。

常見的核輻射可以分為三種： α 輻射、 β 輻射、 γ 輻射。表 1.1a 列出了這三種核輻射的特性。

	α 輻射	β 輻射	γ 輻射
本質	帶正電的氦原子核流 <i>氦核</i> 	帶負電的高速電子流 	頻率非常高的電磁波，與 X 射線相似
相對電荷	+2	-1	不帶電
速率	有不同的速率：可達光速的 10%	有不同的速率：可達光速的 90%	光速（單一速率）

表 1.1a α 、 β 、 γ 輻射的特性

$$m_e \approx \frac{1}{1836} m_p$$

單元 1.2 會詳細介紹核輻射的特性。

進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.2）。

1 下列哪一項有關 X 射線和 γ 輻射的敘述是不正確的？

- 1, 2
- A 兩者都是致電離輻射。
 - B 兩者都是電磁波。
 - Ⓒ 兩者都由不穩定的原子核釋放出來。
 - D 兩者都不帶電。

2 指出哪種核輻射

- 1, 2
- (a) 帶正電： α 輻射
 - (b) 與 X 射線有相似的特性： γ 輻射
 - (c) 是高速電子流： β 輻射
 - (d) 是氦核流。 α 輻射

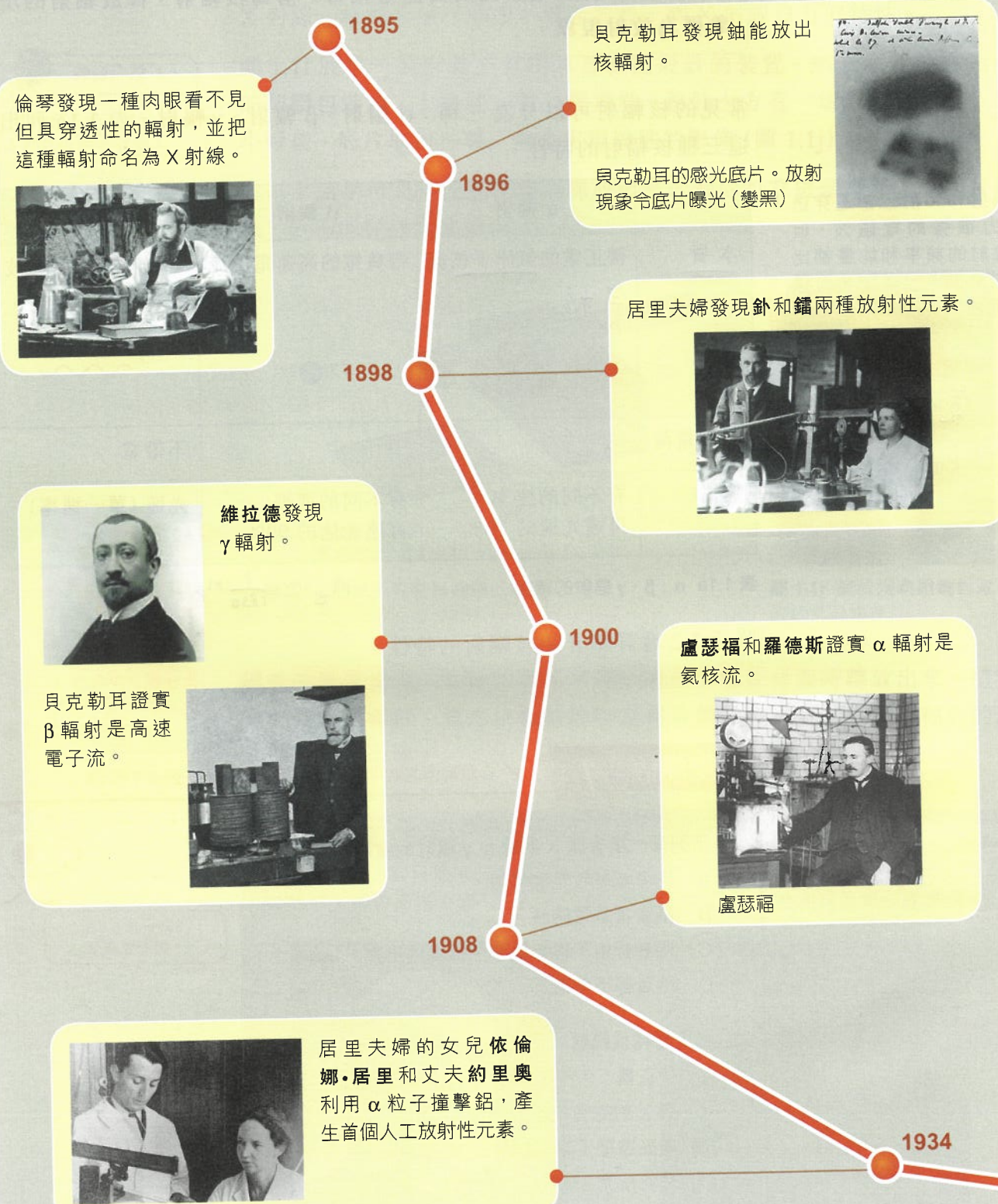
13 X 射線圖像上，較亮的部分比較暗的部分接收到 較少（較多 / 較少）X 射線。

α 輻射 alpha radiation β 輻射 beta radiation γ 輻射 gamma radiation

1 輻射與放射現象

歷史點滴 核子物理學的誕生

致電離輻射從首次發現至今相距只有約一百年，期間有許多科學家參與研究，並取得多個重要的研究成果。這些發現最終發展成一個新的研究領域，稱為核子物理學。以下是這門學科在早期發展過程中的幾個重要里程碑。



核子物理學的發展並非到此為止，其後的發展可參閱第 114 頁。

牛津物理網

鈾 polonium 釷 radium 維拉德 Paul Ulrich Villard 盧瑟福 Ernest Rutherford
羅德斯 Thomas Royds 依倫娜·居里 Irène Curie 約里奧 Frederic Joliot

習題與思考 1.1

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.2）。

- 1 一個遙遠控制器放在密封的 X 射線底片上，並曝露於某種輻射之下。圖 a 所示為沖曬出來的底片。

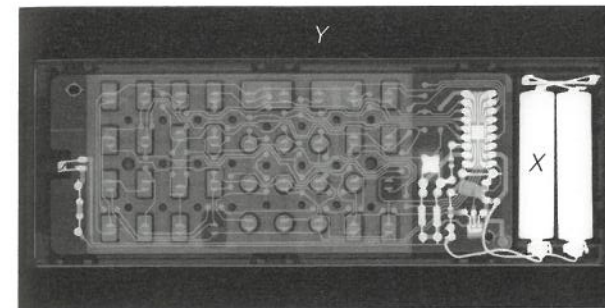


圖 a

從底片可見，X 部分比 Y 部分光亮。下列各項結論有關照射該遙控器的輻射，哪一項可從上述結果得出來？

- A 該輻射是一種白光。
B 該輻射不能穿透包裹。
C 該輻射到達底片的 X 部分而非 Y 部分。
D 該輻射到達底片的 Y 部分而非 X 部分。

- 12 圖 b 顯示 X 射線儀的結構簡圖。



圖 b

某種粒子撞擊重金屬時，會釋放 X 射線。該粒子屬於以下哪一種？

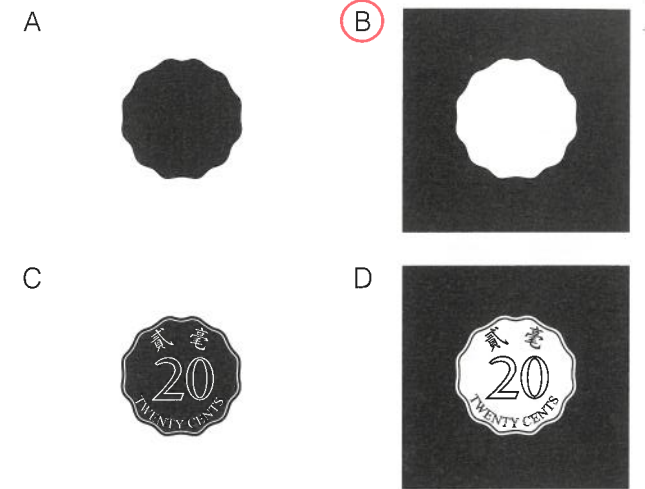
- A 質子
B 中子
C 高速移動的電子
D 氦核

- 3 下列哪項有關致電離輻射的敘述是正確的？

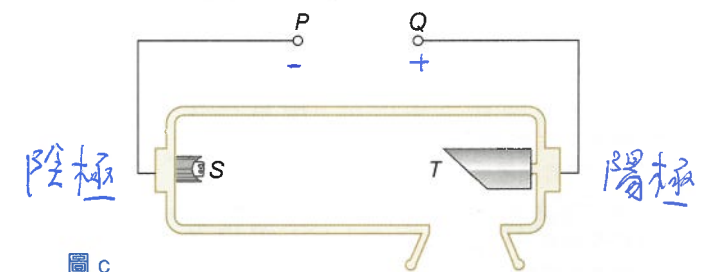
- (1) 所有電磁波都是致電離輻射。
(2) 所有致電離輻射都有相同的速率。
(3) 感光底片可以探測到所有致電離輻射。

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

- 4 一個兩角硬幣放在密封的方形感光底片上，然後，一個弱輻射源置於硬幣上一小時。下列哪一幅圖正確顯示底片沖曬後的影像？



- 5 圖 c 所示為產生 X 射線的裝置。電子從 S 放射出來，並撞擊目標 T。



- (a) T 是哪種物料？
(b) X 射線從 S 還是 T 釋放出來？
(c) 試寫出 P 和 Q 的極性。

- 6 圖 d 顯示一幅手掌的 X 射線圖像。



圖 d

試解釋圖像怎樣形成。

- 7 一束能量較低的 X 射線的波長是 $1.5 \times 10^{-9} \text{ m}$ 。

- (a) 求 X 射線的頻率。
(b) 試寫出這種 X 射線的一個用途。

$$c = f\lambda$$

$$3 \times 10^8 = f (1.5 \times 10^{-9})$$

$$f = 2 \times 10^{17} \text{ Hz}$$

$$1.5 \text{ nm}$$

1.2

放射現象

☞ 這部智能電話於 2011 年福島核事故後在日本推出。由於民眾對輻射洩漏感到恐懼，智能電話製造商特意生產一部內置輻射計的手提電話，讓民眾能隨時監測輻射水平。

起點 輻射探測器？

右圖顯示的不僅是一部智能電話，還是一個輻射探測器！

這部智能電話內置一個輻射計，用來探測 γ 輻射，並可粗略估算出輻射水平。但若耍準確量度輻射水平，可以使用甚麼儀器？☞ 參閱第 18 頁。



✓ 本節重點

- 1 放射源
- 2 致電離能力
- 3 擴散雲室
- 4 射程及穿透能力
- 5 核輻射在電場中的偏轉
- 6 核輻射在磁場中的偏轉

1 放射源

a 本底輻射

致電離輻射無處不在，我們只可以儘量減少接觸致電離輻射，但卻無法徹底避開它。舉例來說，香港建築物所用的水泥通常混入了花崗岩，這種岩石含有天然的放射性物質；此外，使用天然氣煮食時，也有機會吸收核輻射。

本底輻射是指存在於周圍環境中的致電離輻射，部分本底輻射來自大自然，部分是人造的（圖 1.2a）。

☞ 輻射的醫療用途包括放射治療和放射圖像（見 p.67）。

☞ 某些錶盤會發亮的手錶、煙霧探測器、避雷針等消費品都含有放射性物質。

天然輻射源 (~80%)



外太空的宇宙射線：13%



由地面釋出的氡氣：42%



建築材料和土壤：16%



食物和飲料：9%

人造輻射源 (~20%)



醫療輻射：接近 20%



其他（包括經工作環境、接觸消費品等途徑而吸收）：少於 1%

圖 1.2a 本底輻射的來源（資料來源：聯合國核輻射效應科學委員會 2008 年報告）☞ 不同地方的劑量或有所不同。

本底輻射 background radiation

b 學校實驗室常用的放射源

學校實驗室會存放鐳和鐳等弱放射源，用作研究核輻射。有些放射源只放出一種核輻射，有些則會放出多種。所有放射源都須以金屬密封（圖 1.2b）。

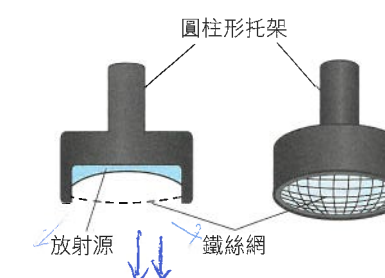


圖 1.2b 學校實驗室使用的放射源鑲在圓柱形的金屬托架內

☞ 可於以下網址參閱《在學校使用密封放射源作教學用途守則》：

<http://www.rbhk.org.hk/docs/Code-of-Practice-c-201209.pdf>



實驗室內使用放射性物質的安全守則

核輻射有很大的潛在危險。使用和儲存放射性物質時，必須嚴格遵守安全守則。以下是一些處理放射源的安全措施：

- 使用適當的鉛容器來存放和運送放射源，用完必須把放射源鎖起來（圖 1.2c）。
- 拿取放射源時，必須用鑷子或其他專用工具；不要讓放射源掉到地上（圖 1.2d）。
- 放射源與人體必須保持一隻手臂以上的距離，而且不能對着人體，尤其是眼睛。
- 仔細計劃實驗，以儘量縮短使用放射源的時間。
- 在儲存放射源的地方加上警告標誌。



圖 1.2c 放射源存放在鉛容器內



圖 1.2d 用專用工具拿取放射源

鐳 americium 鐳 radium

2 致電離能力

致電離輻射通過氣體時，會使部分電子脫離氣體分子（圖 1.2e）。分子失去電子後成為離子，氣體變成電離。

失去電子的分子變成正離子，而分離出來的電子會給其他分子捕獲，該分子便變成負離子。因此，正負離子必然成對出現。

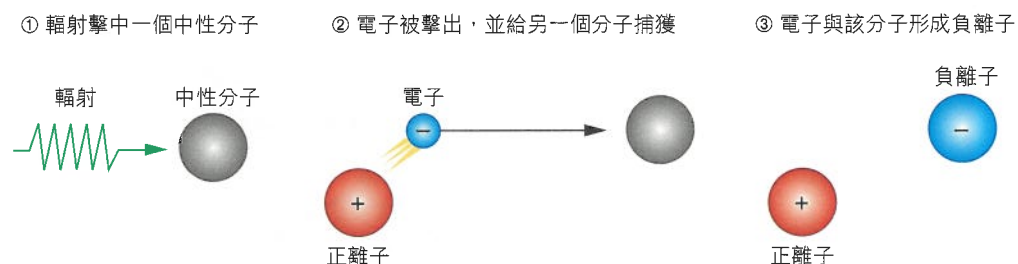


圖 1.2e 電子由一個分子轉移到另一個分子，一對離子因而產生

由於那些離子可以自由移動，電離的氣體便能夠導電。輻射愈強，產生的離子便愈多，氣體的導電能力也愈高。

輻射的**致電離能力**是指使物質電離的能力。要比較這種能力，可以用**火花計數器**。計數器內有一塊已接地的金屬網，金屬網下有一根施加了約 4000 V 高壓直流電的金屬絲（圖 1.2f）。火花計數器探測到輻射時會產生火花（圖 1.2g）；輻射的致電離能力愈強，產生的火花便愈多。

這個過程與閃電相似。

火花計數器只是一件教學工具，並非設計給專業人員使用。嚴格來說，它根本不是一部計數器，因為它不會顯示計數/計數率，然而，我們從火花的數量和發出聲響的頻密程度，也可對所錄得的「計數率」有一個粗略的概念。

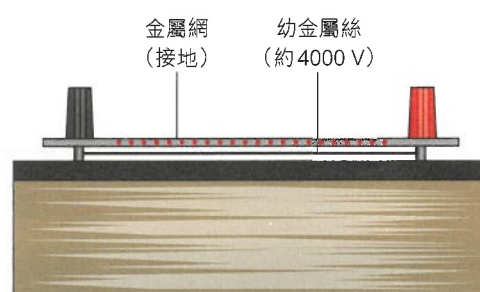
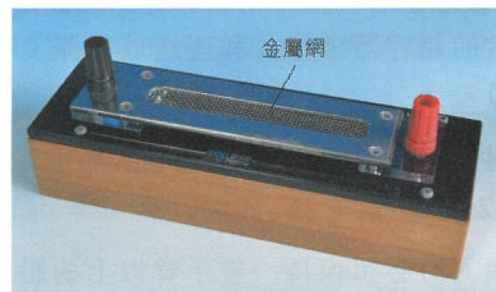


圖 1.2f 火花計數器及其結構

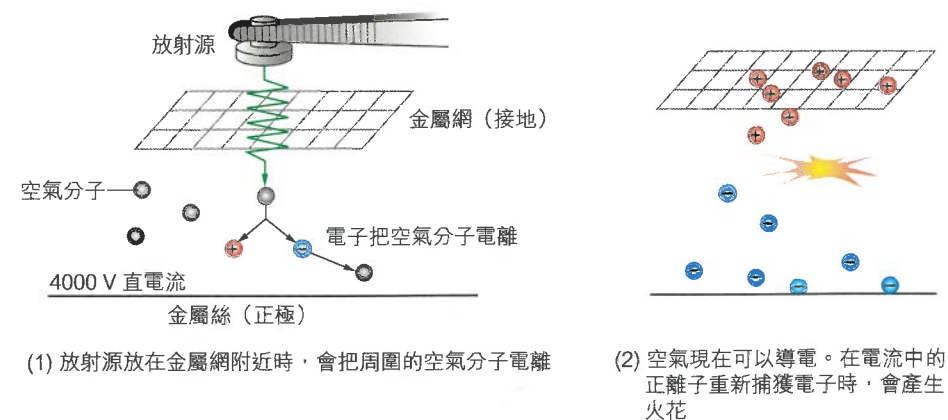


圖 1.2g 火花計數器的運作原理



錄像片段 1.2

→ 錄像片段 1.2 示範實驗 1a。



實驗 1a

輻射的致電離能力

- 1 裝置火花計數器。
- 2 把 α 放射源置於金屬網上方大約 1 cm 處（圖 a），然後觀察產生的火花。
- 3 用 β 和 γ 放射源重複以上步驟。



圖 a

討論

哪種放射源產生最多火花？哪種產生最少火花？ α 輻射產生的火花最多， γ 輻射最少。

實驗 1a 顯示 α 放射源產生最多火花， β 放射源產生的火花較少， γ 放射源沒有產生火花。由此可見（圖 1.2h）：

核輻射的致電離能力：

$$\alpha > \beta > \gamma$$

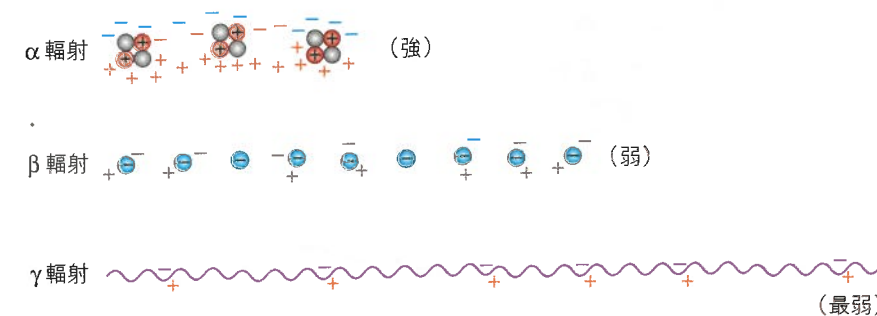


圖 1.2h α 、 β 、 γ 輻射的致電離能力

例題 1 核輻射的致電離效應

如圖 a 所示， β 放射源放在電路中的兩塊導電板之間。一會兒後，檢流計的指針偏轉。

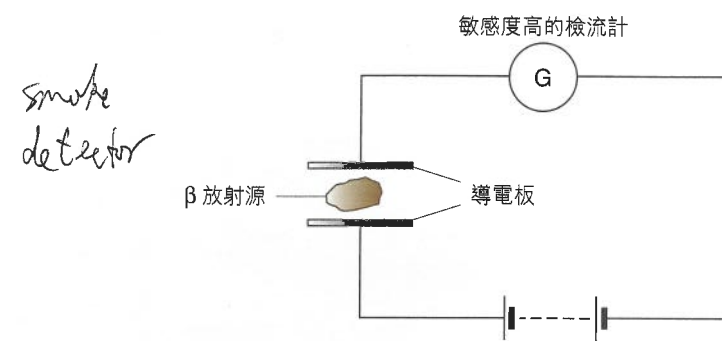


圖 a

- (a) 簡單解釋為甚麼檢流計的指針會偏轉。
 (b) 若把裝置放在真空中，檢流計會出現怎樣的結果？試簡單解釋。

題解

- (a) β 放射源發出的輻射使導電板之間的空氣分子電離，所產生的正離子吸引到負極板去，負離子則吸引到正極板去，結果電流在電路中產生，指針因而偏轉。
 (b) 檢流計的指針不會偏轉。
 沒有空氣分子，也就沒有離子產生，電流因而不產生。

習題與思考 1.2 Q4 (p.29)

有些煙霧探測器安裝了電離室，單元 2.3 會詳細討論它們的運作原理。

電離室的運作原理與例題 1 所描述的裝置十分相似（圖 1.2i）。電離室內有兩塊導電板，兩者之間的電壓很高。輻射進入電離室時，會把導電板之間的空氣分子電離，產生電流流過電離室。輻射的致電離能力愈強，電流（即檢流計讀數）便愈大。

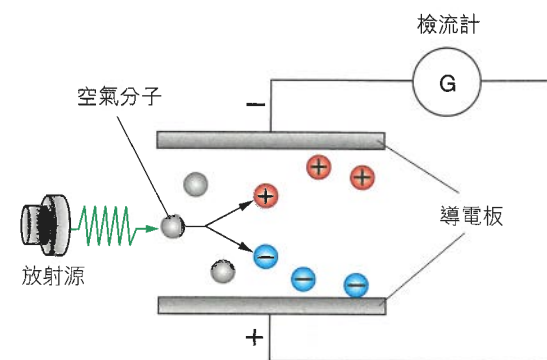


圖 1.2i 電離室的運作原理

電離室 ionization chamber

據說，擴散雲室的發明者威爾遜在蘇格蘭的山區遠足時，由觀察雲層的形成而得到設計雲室的靈感，於是立即縮短假期，趕回實驗室做實驗。威爾遜於 1927 年獲頒諾貝爾物理學獎，以表揚他在研究擴散雲室方面的貢獻。

3 擴散雲室

我們看不見核輻射，但卻可以用擴散雲室來觀察由核輻射產生的離子徑跡（圖 1.2j）。輻射會在它通過的地方產生離子，在擴散雲室內，這連串的離子會呈現為白色的徑跡。產生的離子愈多，徑跡便愈清晰。

固定放射源的裝置

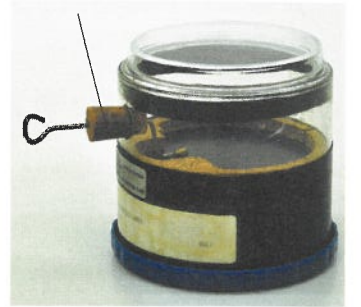


圖 1.2j 擴散雲室



錄像片段 1.3

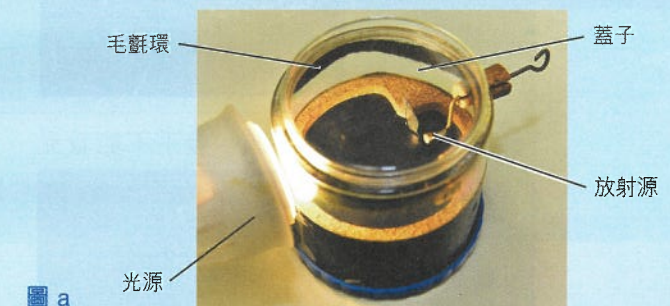
→ 錄像片段 1.3 示範實驗 1b。



實驗 1b

擴散雲室

- 1 在雲室底部放一些乾冰（圖 a）。
- 2 在毛氈環上加些酒精，並蓋上雲室的蓋子。
- 3 用橡膠楔子把雲室墊平，然後用燈照亮雲室。
- 4 把弱放射源放進雲室，從上方觀察輻射徑跡，並把徑跡描繪出來。



討論

描述輻射徑跡。徑跡是有規律地產生還是隨機產生？徑跡是隨機產生的。

補充資料 擴散雲室的運作原理

酒精蒸氣經乾冰冷卻至極低溫，在擴散雲室內處於飽和狀態。弱放射源在雲室釋放輻射時，輻射會沿着路徑產生離子。酒精蒸氣會在離子的周圍凝結成小霧點。在燈光照耀下，輻射的徑跡便由小霧點的位置顯現出來（圖 a）。

可指出雲室處於過冷狀態，而且充滿過飽和的酒精蒸氣。

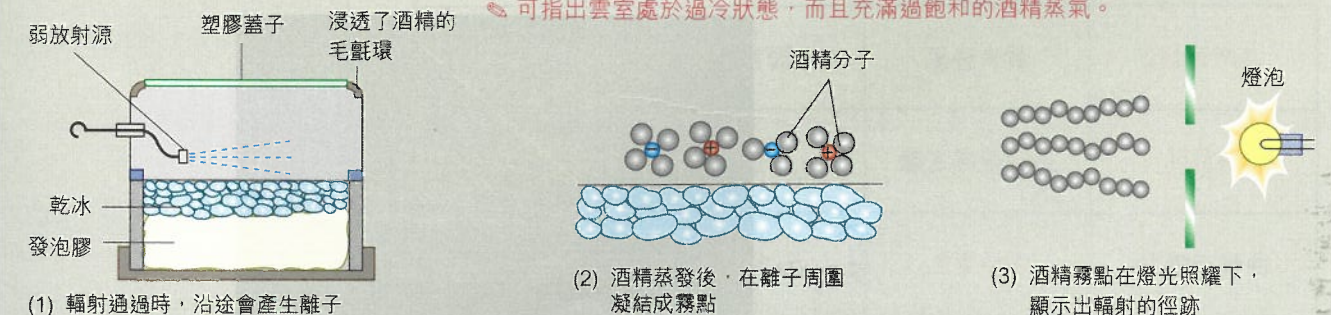


圖 a 擴散雲室的運作原理

擴散雲室 diffusion cloud chamber

雲室內出現的徑跡沿不同方向隨機產生，每條路徑的長度略有不同。由此可見，放射源隨機地放射出不同能量的輻射。

表 1.2a 比較不同核輻射所產生的徑跡。

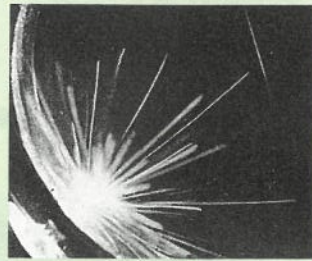
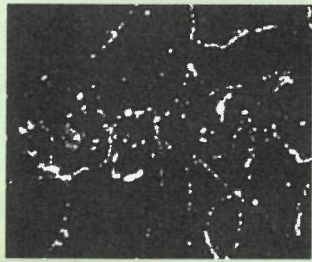
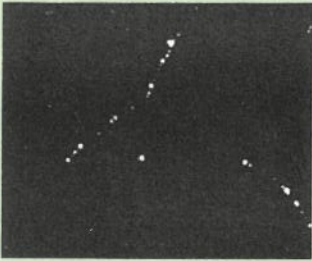
	雲室徑跡	闡釋
α 輻射	粗而直 	α 輻射的致電離能力很強 α 粒子質量較大，與空氣分子碰撞後，不易改變方向
β 輻射	幼細而彎曲 	β 輻射的致電離能力較弱 β 粒子質量較小，與空氣分子碰撞後，較易改變方向
γ 輻射	細小而稀疏，幾乎不能看見 	γ 輻射的致電離能力非常弱

表 1.2a 不同核輻射的徑跡

科學家曾將 α 放射源放進注入了氦氣的擴散雲室中做實驗，並發現一種特別的徑跡，稱為直角分叉徑跡（圖 1.2k）。這種徑跡能展現 α 輻射的本質。實驗 1c 展示直角分叉徑跡如何產生。

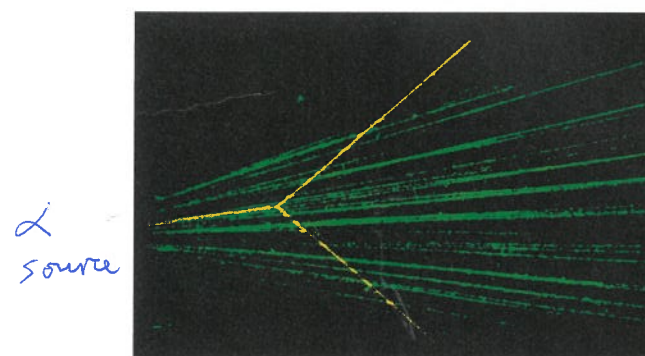


圖 1.2k 直角分叉徑跡（顯示為黃色）

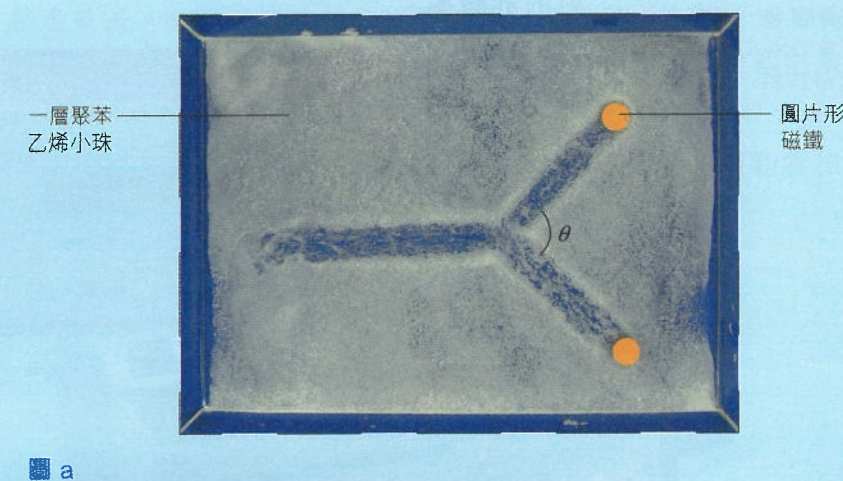
直角分叉徑跡 right-angled fork track

錄像片段 1.4

→ 錄像片段 1.4 示範實驗 1c。

實驗 1c 直角分叉徑跡

- 在盤中鋪上一層薄薄的聚苯乙烯小珠，把兩塊相同的圓片形磁鐵放在小珠上（磁鐵的相同磁極向上）。
- 輕推任意一塊磁鐵，讓它斜斜地撞向另一塊磁鐵。量度兩塊磁鐵徑跡之間的角度 θ （圖 a）。
- 用一對質量不同的磁鐵重複以上步驟。



討論

在甚麼情況下 θ 會相等於 90° ？兩塊磁鐵的質量相同。

從以上實驗可見，碰撞物體的質量相同，直角分叉徑跡才會產生。根據這個結果，科學家推斷出 α 輻射就是氦核流。

進度評估 2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.10）。

- 1 試完成表 a。
2, 3

核輻射	致電離能力	火花計數器	雲室徑跡
γ	非常弱	沒有火花	細小而稀疏
α	強	產生許多火花	粗而直
β	弱	少量火花	幼細而彎曲

表 a

4 射程及穿透能力

輻射能夠在空氣(或其他物質)中行進多遠,與它的致電離能力有關,我們可以用蓋革—彌勒計數器來研究輻射行進的距離。

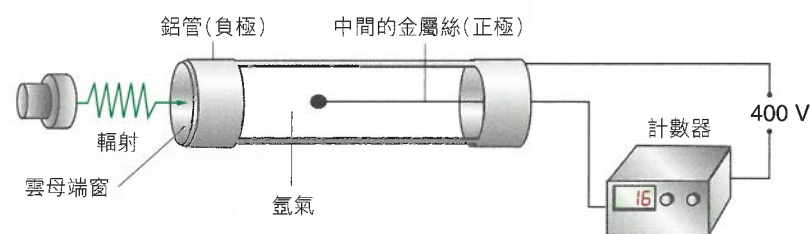
參閱起點。要準確量度輻射水平,可使用蓋革—彌勒計數器。

學校用的蓋革—彌勒管對 α 輻射並不靈敏,因為它的雲母端窗會阻隔大部分 α 輻射。若錄得讀數,也許是 α 放射源不純正,放出了 β 輻射。

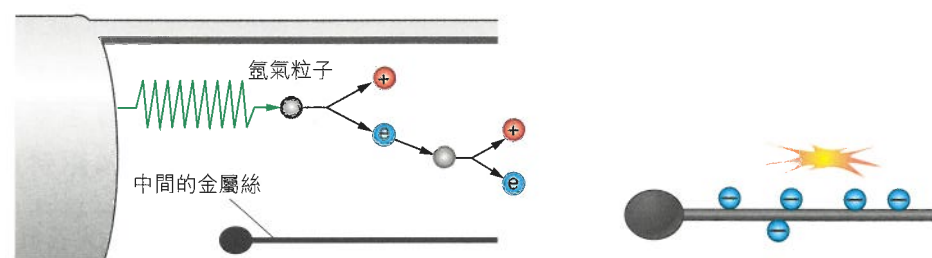
蓋革—彌勒計數器由蓋革—彌勒管及計數器連接而成(圖 1.21)。致電離輻射進入蓋革—彌勒計數器內產生電壓脈衝,計數器把檢測到的脈衝數目顯示為輻射計數(圖 1.2m)。每一單位時間內錄得的輻射計數便是輻射的計數率。



圖 1.21 蓋革—彌勒計數器由蓋革—彌勒管和計數器連接而成



(1) 蓋革—彌勒管內注入低壓氬氣,中間的金屬絲接駁高壓電



(2) 輻射進入管中,把內裏的氬氣電離

(3) 電子被吸到金屬絲上,產生電流脈衝,這些脈衝可用計數器量度

圖 1.2m 蓋革—彌勒計數器的運作原理

蓋革—彌勒管也可以量度到來自本底輻射的計數率,因此,修正後的計數率(即只來自放射源的計數率)可用以下方法計算:

$$\text{修正後的計數率} = \text{量度所得的計數率} - \text{本底計數率}$$

→ 錄像片段 1.5 示範蓋革—彌勒管連接計數器後,怎樣量度核輻射。

→ 錄像片段 1.6 利用蓋革—彌勒管,顯示不同核輻射的穿透能力。

錄像片段 1.5, 1.6

放射源隨機放出輻射,因此輻射的計數率並不穩定,每次錄得的計數率都略有不同。

計數率降至本底輻射的數值時,代表輻射被完全阻隔或吸收。

實驗 1d 輻射的射程和穿透能力

- 1 裝置蓋革—彌勒計數器。確保周圍沒有放射源,記錄本底輻射每分鐘的計數率 B 。
- 2 把 α 放射源置於蓋革—彌勒管前 1 cm 處,量度計數率(圖 a)。
- 3 在蓋革—彌勒管和放射源之間放入紙張,直至計數率降至 B 的數值。記錄紙張的數目。
- 4 移走紙張,慢慢地把放射源移離蓋革—彌勒管,直至計數率降至 B 的數值。記錄放射源與蓋革—彌勒管之間的距離,這是輻射被空氣完全吸收之前所經過的距離。
- 5 分別用 β 和 γ 放射源重複以上步驟(放射源與蓋革—彌勒管相距約 5 cm),並改用鋁板及鉛板作為吸收物。



討論

是否所有輻射都可以被吸收物完全阻隔? 哪一種輻射在空氣中行進的距離最短? α 輻射

a 射程

輻射通過物質(如空氣、金屬),沿途會不斷把物質中的分子電離,因而漸漸失去能量,最後便停下來。換言之,輻射逐漸被吸收。輻射被完全吸收之前所經過的距離稱為射程。

致電離能力很強的輻射,在物質中的射程都很短,原因是它只要經過一段短距離,便已消耗大部分能量來把物質的分子電離。相反,致電離能力較弱的輻射,在物質中的射程會較長。

可利用核輻射的致電離能力來解釋射程:
低致電離能力 $\Rightarrow$ 穿過介質時損耗較少能量 $\Rightarrow$ 能行進較長距離

由於 α 輻射的致電離能力很強，它只能在空氣中行進數厘米； β 輻射在空氣中的射程長得多，約有數米； γ 輻射在空氣中的射程則超過 100 m (圖 1.2n)。

核輻射在空氣中的射程：

γ (超過 100 m) > β (數米) > α (數厘米)

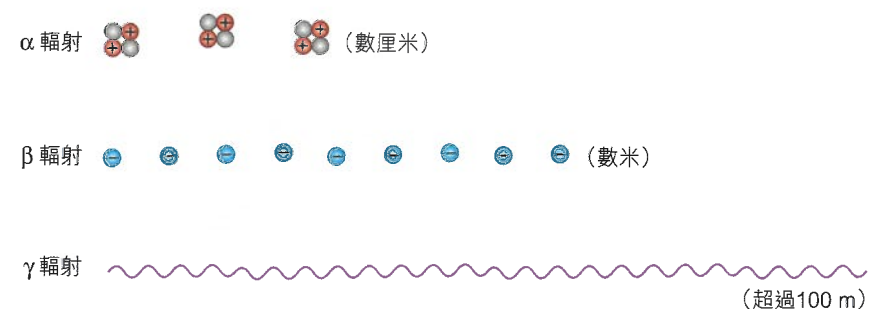


圖 1.2n α 、 β 、 γ 輻射的射程

模擬程式 1.1

→ 模擬程式 1.1 是一個研究核輻射穿透能力的「虛擬實驗」。學生可以用不同吸收物阻隔不同輻射，並觀察計數率有甚麼變化。此外，學生還可以從計數率的變化，推斷出放射源放出哪些輻射。

γ 輻射的穿透能力比 α 輻射、 β 輻射和 X 射線都強得多。

b 穿透能力

輻射的致電離能力較強，**穿透能力**便較弱，與穿透能力較強的輻射相比，更易被阻隔或吸收 (圖 1.2o)。

- 1 至 2 張紙便能把 α 輻射完全吸收。
- 5 mm 厚的鋁板能把 β 輻射完全吸收。
- γ 輻射不會完全被吸收，25 mm 厚的鉛板只能吸收一半 γ 輻射。

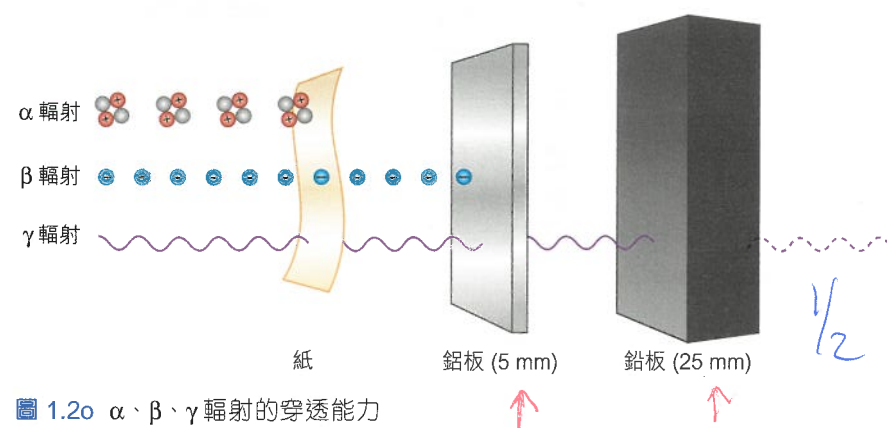


圖 1.2o α 、 β 、 γ 輻射的穿透能力

核輻射的穿透能力：

$\gamma > \beta > \alpha$

實驗技巧應用

例題 2 利用蓋革—彌勒計數器探測輻射

志豪利用蓋革—彌勒計數器研究放射現象。

- 他發現蓋革—彌勒計數器所錄得的本底計數率起落不定。試解釋這種現象。
- 他再利用蓋革—彌勒計數器量度 α 放射源的輻射水平。試解釋為甚麼要把放射源儘量靠近蓋革—彌勒管 (圖 a)。

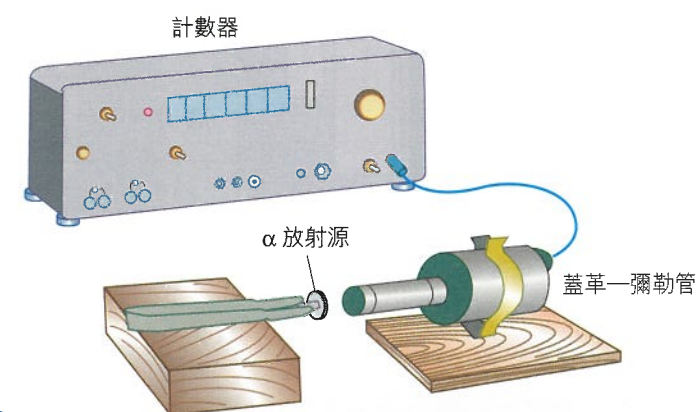


圖 a

- 志豪想驗證某放射源是否只放出 α 輻射。試描述志豪應遵從的實驗步驟和預期的實驗結果。

題解

- 原因是放射源放出輻射的過程是隨機的。
- α 輻射的射程只有數厘米，把 α 放射源移近蓋革—彌勒管可以確保 α 輻射能進入蓋革—彌勒管。
- 慢慢地把蓋革—彌勒管移至距離放射源超過 10 cm 的位置，過程中應確保蓋革—彌勒管對準放射源。若放射源只放出 α 輻射，計數率應顯著下降。

▶ 複習 Q18 (p.35)

量度 α 輻射的計數率時，緊記要把探測器移近放射源。

在第 6 頁提及，感光底片受核輻射照射後會變黑，因此可以用來探測輻射。底片吸收的輻射愈多，便變得愈黑。

我們應當注意，感光底片本身的確可以探測 α 輻射，不過底片常以紙張或塑膠密封，以防受光線照射而變黑，而這種包裹物料卻有可能阻擋 α 輻射。因此，在大部分情況下，感光底片並不適合用來探測 α 輻射。

例題 3 利用不同吸收物分辨輻射類別

家欣設計了一個輻射探測器，用來找出放射源放出哪種輻射（圖 a）。探測器內有 A、B、C 三張底片，由一張紙和一塊 5 mm 厚的鋁片隔開。探測器置於黑房內，所有底片並非密封的。

家欣把一個放射源放在探測器前方 3 cm 處。一段時間後，她沖曬底片。表 a 顯示各張底片的變黑程度。

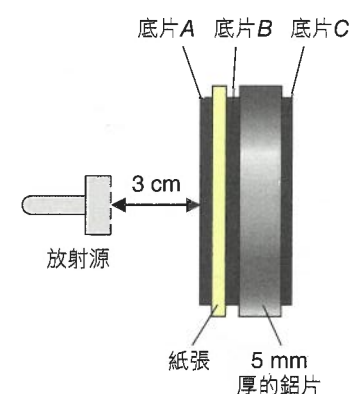


圖 a

底片	變黑程度 (0-5, 0 = 沒有變黑, 5 = 極黑)
A	5
B	3
C	3

表 a

試推斷放射源放出哪種輻射，並解釋原因。

題解

底片 A 和 B 的變黑程度不同，這顯示紙張吸收了一些輻射，那種輻射必定是 α 輻射。

底片 B 和 C 的變黑程度相同，這顯示射到底片 B 的輻射全都可穿過 5 mm 厚的鋁片，並射到底片 C。因此，那些輻射全都是 γ 輻射。

$\therefore$ 放射源放出的只有 α 和 γ 輻射。

▶ 複習 Q23 (p.36)

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

利用不同吸收物分辨輻射類別

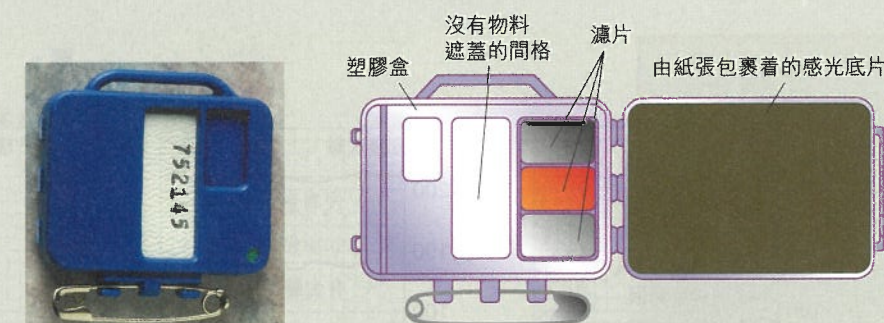
製作下表，便可輕易回答以上例題：

吸收物	可穿過的輻射	變黑程度	闡釋
空氣 (3 cm)	α 、 β 、 γ	5	程度減少 $\Rightarrow$ 放出 α
紙張	β 、 γ	3	程度不變 $\Rightarrow$ 沒有放出 β
鋁 (5 mm)	γ	3	底片 C 變黑 $\Rightarrow$ 放出 γ

生活中的物理 底片佩章

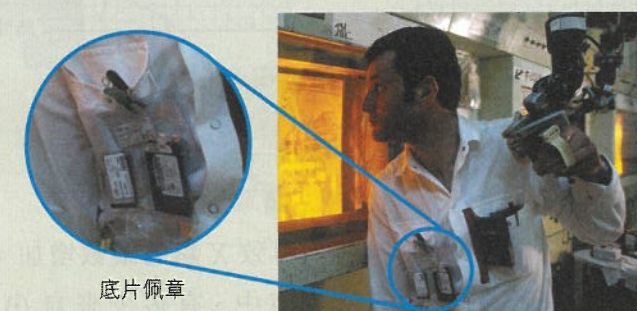
底片佩章可以顯示曝露於輻射的累積水平。佩章內有幾塊濾片，以及裹上不透明物料的感光底片。包裹底片的物料可以防止光線或濕氣影響底片，但佩章卻因而不能探測 α 輻射。

濾片由不同物料所造（如鋁和鉛），用來分辨 β 和 γ 輻射，原理與例題 3 中的探測器相似。每隔一段時間，底片會取出沖曬，它的曝光程度反映了曝露於輻射的水平。



底片佩章

佩章內的濾片



接觸輻射的工作人員會佩戴底片佩章

牛津物理網

5 在電場中的偏轉

在電場中，帶正電的 α 輻射會向負極偏轉，帶負電的 β 輻射會向正極偏轉，而中性的 γ 輻射則不會偏轉（圖 1.2p）。

α 粒子的質量大約是 β 粒子的 7000 倍。由於 α 粒子的質量比 β 粒子大得多， α 粒子只會稍微偏轉，但 β 粒子則會大幅度偏轉。

或須與學生重溫電場力線上箭號的意義。

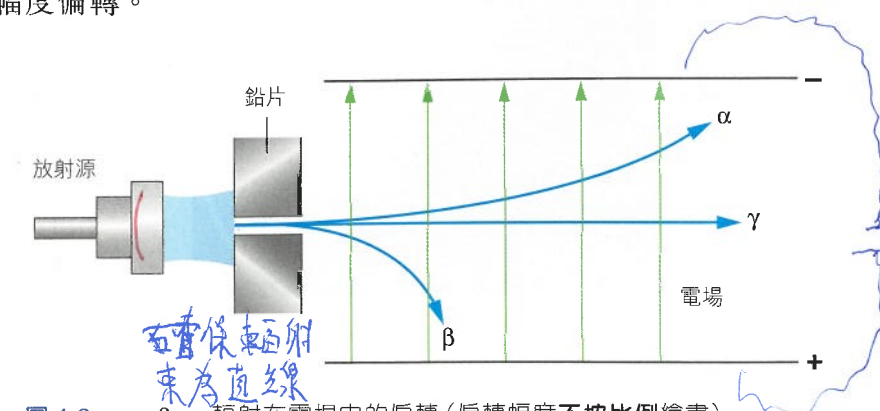


圖 1.2p α 、 β 、 γ 輻射在電場中的偏轉（偏轉幅度不按比例繪畫）

預試訓練 1

電場中的核輻射

☆ 香港中學會考 2008 年卷一 Q12

研究員把放射源 R 置於兩塊帶相反電荷的平行金屬板前 (圖 a)，並把蓋革—彌勒管置於 R 前方 15 cm 處。

研究員記錄在 X 、 Y 及 Z 點的計數率，然後移走金屬板，並再次記錄這些位置的計數率。圖 b 至 d 顯示所得的結果。

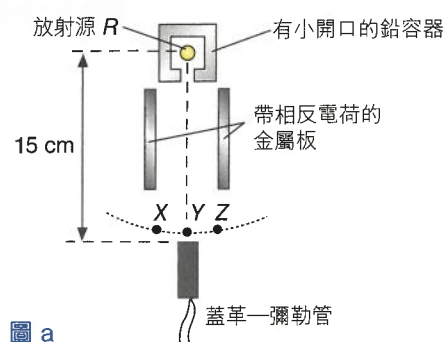
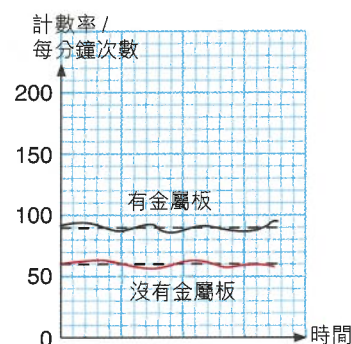
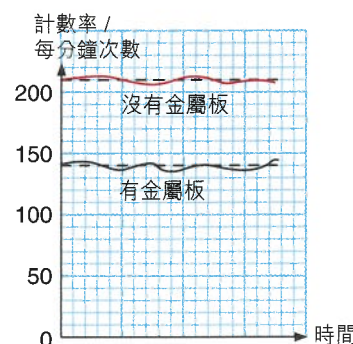
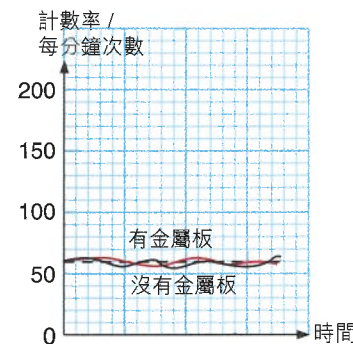


圖 a

圖 b 在 X 的計數率圖 c 在 Y 的計數率圖 d 在 Z 的計數率

- (a) 試估算本底輻射的計數率。 (1 分)
- (b) 可否推斷 R 有沒有放出 α 輻射？試簡單解釋原因。 (2 分)
- (c) 試解釋放入金屬板後，哪一種輻射導致 X 點的讀數增加。 (2 分)
- (d) 假設金屬板移走。在 Y 點的計數率中，有多少來自 (i) β 輻射、(ii) γ 輻射？試估算結果。 (2 分)

題解

- (a) 每分鐘 60 次 (答案應介乎每分鐘 55 至 65 次之間) 1A
- (b) 不可以。 1A
 α 輻射的射程較 R 與蓋革—彌勒管之間的距離短得多，因此計數器探測不到 α 輻射。 1A
- (c) 放入金屬板後，部分輻射會向 X 偏轉。 1A
 由於探測不到 α 輻射，讀數增加必定由 β 輻射所致。 1A
- (d) 由圖 c 可得，
- (i) 計數率 = $210 - 140$
 = 每分鐘 70 次 1A
- (ii) 計數率 = $140 - \text{本底計數率}$
 = $140 - 60$
 = 每分鐘 80 次 1A

金屬板移走後，所有輻射都射向 Y 。因此， X 和 Z 的讀數都來自本底輻射。

常見錯誤

學生或誤以為答案可從圖 b 得出。他們忽略了 β 輻射有不同速率，因此放入金屬板後， β 輻射會擴散到 X 的周邊範圍，而不是只向 X 一點發出。

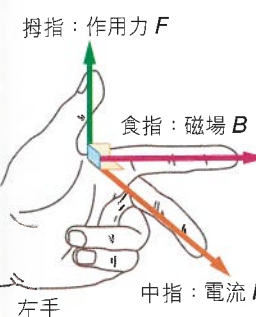
▶ 複習 Q27 (p.37)

→ 模擬程式 1.2 顯示 α 、 β 和 γ 輻射在磁場中的偏轉。學生可改變磁場的大小。



模擬程式 1.2

弗林明左手定則：



或要說明 α 和 β 粒子所帶的電荷，以及它們的運動方向，與電流方向有甚麼關係。

6 在磁場中的偏轉

同樣，由於三種輻射所帶的電荷不同，它們在磁場中會有不同的偏轉方向 and 幅度 (圖 1.2q)。應用弗林明左手定則，就能知道 α 和 β 粒子在磁場中的偏轉方向。 γ 射線不會在磁場中偏轉。

由於 α 粒子的質量比 β 粒子大得多，所以偏轉幅度較小。

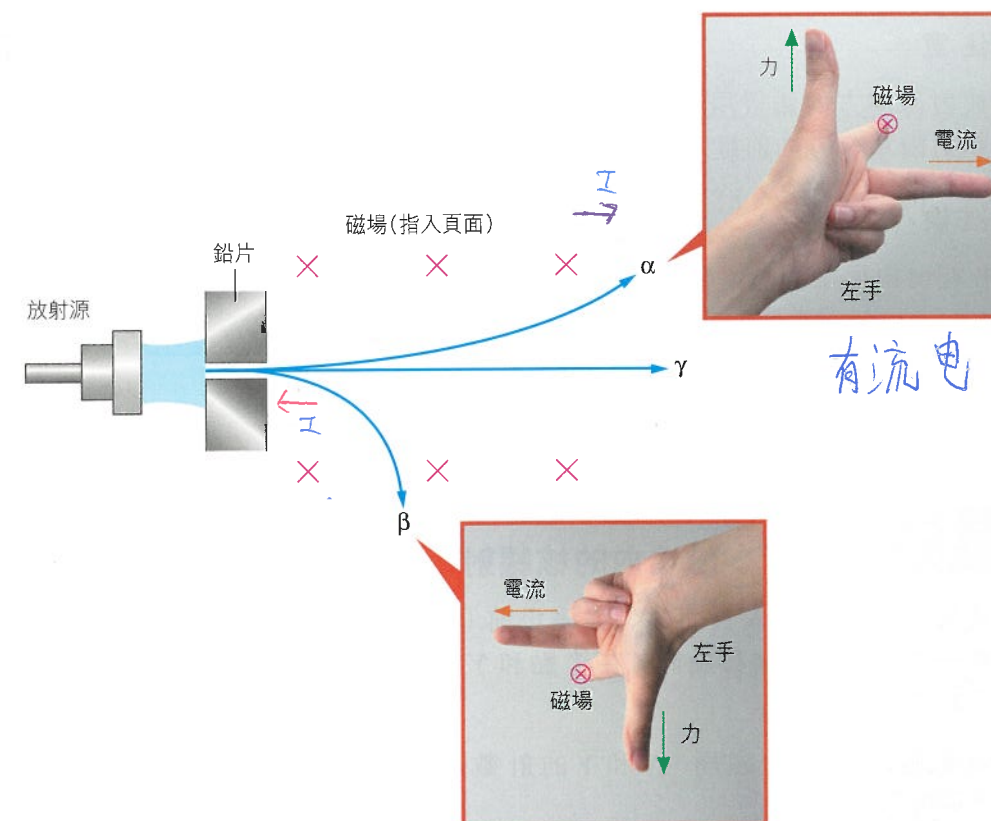
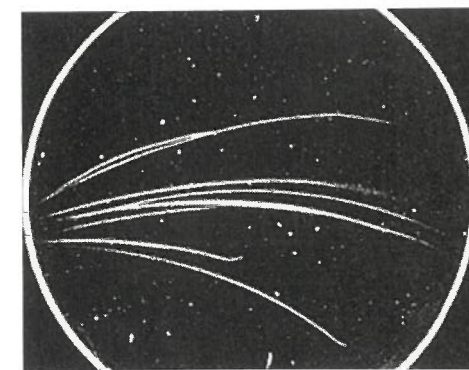


圖 1.2q α 、 β 、 γ 輻射在磁場中的偏轉 (偏轉幅度不按比例繪畫)

學校實驗室無法產生這樣強大的磁場。▶ 圖 1.2r 顯示 α 粒子在一個極強磁場中的徑跡。要產生這個偏轉幅度，磁場強度須達一對平板形磁鐵的 1000 倍！



可提醒學生圖 1.2r 中的放射源置於左方。

圖 1.2r 施加磁場後， α 輻射在擴散雲室中的徑跡。你知道磁場的方向嗎？

磁場指出頁面。

以下實驗可以顯示 β 輻射在磁場中怎樣偏轉。

→ 錄像片段 1.7 示範實驗 1e。

實驗 1e β 輻射在磁場中的偏轉

錄像片段 1.7

1 裝置實驗器材。在沒有施加磁場的情況下，記錄計數率。

2 加入磁鐵後，計數率會下降。移動蓋革—彌勒管，直至計數率回升為止（圖 a）。

注意

放射源前方的鉛板用來確保進入磁場的輻射沿單一方向前進。

討論

β 輻射向哪個方向偏轉？

答案取決於磁場方向。

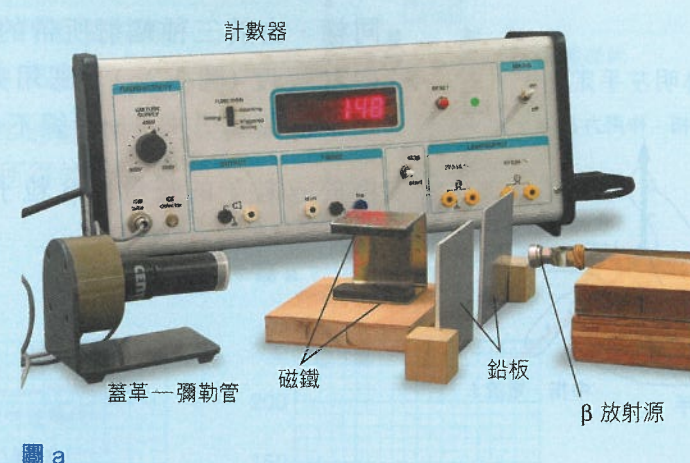


圖 a

預試訓練 2

磁場內的核輻射 ☆ 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q35

某放射源置於指入頁面的勻強磁場前（圖 a）。蓋革—彌勒管沿 PQ 移動時，在 X 點和 Y 點錄得的計數率最高。

如果施加較強的磁場，X 和 Y 的計數率會怎樣改變？

- A 兩者同時增加。
B 兩者維持不變。
C 在 X 的計數率維持不變，而在 Y 的計數率則減少。
D 在 X 的計數率維持不變，而在 Y 的計數率則增加。

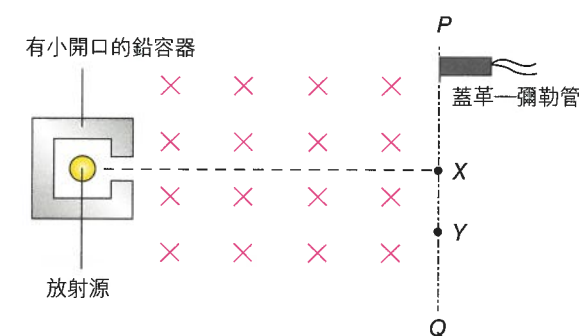


圖 a

題解

射向 X 和 Y 的輻射分別是 γ 及 β 輻射。如果施加較強的磁場， β 輻射的偏轉程度會更大，但 γ 輻射依然不會偏轉。因此，由 β 輻射引致的最高計數率會在 Y 的下方出現，也就是說 Y 的計數率會減少。

∴ 答案是 C。

常見錯誤

學生或誤以為較強的磁場會令較多輻射到達 Y。事實上，磁場的大小只會影響 β 輻射的偏轉程度。

▶ 複習 Q15 (p.34)

表 1.2b 總結了各種核輻射的本質和主要特性：

	α 輻射	β 輻射	γ 輻射
本質	帶正電的氦核流	帶負電的高速電子流	電磁波（高頻）
相對電荷	+2（每個粒子）	-1（每個粒子）	不帶電
速率	有不同的速率： 高達光速的 10%	有不同的速率： 高達光速的 90%	光速（單一速率）
致電離能力	強	弱	非常弱
穿透能力	弱；被 1 至 2 張紙完全吸收	強；被 5 mm 厚的鋁板完全吸收	非常強；不會完全被吸收，25 mm 厚的鉛板只能吸收一半輻射
空氣中的射程	數厘米	數米	超過 100 米
在電場中的偏轉幅度	非常小 	大 	不會偏轉
在磁場中的偏轉幅度	非常小 	大 	不會偏轉
雲室徑跡	粗而直 	幼細而彎曲 	細小而稀疏，幾乎不能看見
探測器 ^{[1][2]}	火花計數器、電離室、擴散雲室、蓋革—彌勒計數器、感光底片	擴散雲室、蓋革—彌勒計數器、感光底片	擴散雲室、蓋革—彌勒計數器、感光底片

^[1] β 和 γ 輻射的致電離能力可能不夠強，未必可以經火花計數器和電離室探測到。

^[2] 若感光底片給紙張或塑膠包裹着， α 輻射便會受這些物料阻擋而不能令底片變黑。

表 1.2b 核輻射的本質和特性

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.10)。

1 在 α 、 β 、 γ 輻射中，哪種核輻射

4, 5 (a) 可被 25 mm 厚的鉛片阻擋？ α 輻射、 β 輻射

(b) 在電場中的偏轉程度最大？ β 輻射

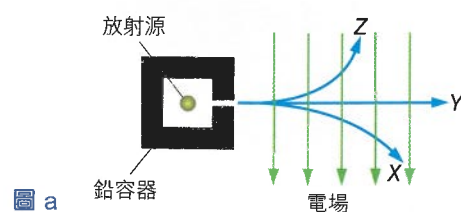
(c) 在空氣中行進的距離最短？ α 輻射 ~ 10 cm

2 試完成表 a。

核輻射	致電離能力	穿透能力	空氣中的射程
α	強	非常弱	數厘米
β	弱	弱	數米
γ	非常弱	強	超過 100 米

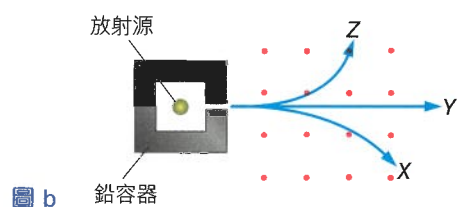
表 a

(第 3 至 4 題) 由鐳放射源放出的輻射，在電場中分為 X、Y、Z 三個部分 (圖 a)。



5 3 X、Y、Z 是甚麼？X: α 輻射、Y: γ 輻射、Z: β 輻射

6 4 把電場換成強磁場後，徑跡的方向大致相同。試在圖 b 繪出磁場。



習題與思考 1.2

3 1 α 放射源放進注入了氦氣的擴散雲室後，直角分叉徑跡便出現 (圖 a)。從這個結果可得出以下哪一項結論？

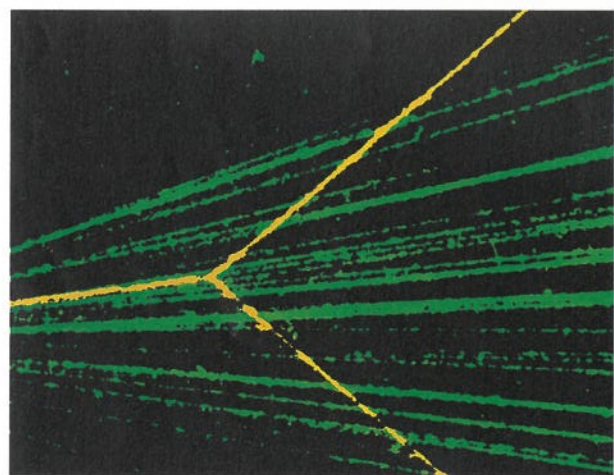


圖 a

- A α 粒子與氦核的碰撞十分罕見。
 B α 粒子與氦核的質量相等。
 C 即使沒有磁場， α 輻射也會偏轉。
 D α 輻射的致電離能力最強。

2 2 下列哪項敘述正確？

- (1) 所有核輻射都是帶電粒子流。
 (2) 所有核輻射都能令空氣電離。
 (3) 核輻射的致電離能力愈強，在空氣中的射程便愈短。
 A 只有 (3)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

3 3 以下哪項有關核輻射探測器的描述是正確的？

- (1) 蓋革-彌勒計數器可量度本底輻射。
 (2) 由於有本底輻射，即使雲室中沒有放射源也會出現徑跡。
 (3) 感光底片本身能分辨出不同種類的輻射。
 A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

4 2 某 α 放射源置於兩塊導電板之間 (圖 b)。

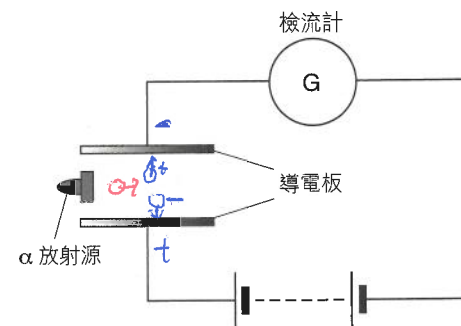


圖 b

檢流計的指針偏轉。下列哪項敘述正確？

- (1) α 粒子被吸引到一塊導電板。
 (2) 若裝置放在真空中，便不會有電流產生。
 (3) 若 α 放射源由 γ 射線源取代，指針會偏轉得較少或不會偏轉。
 A 只有 (2) B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

5 3, 6 某放射源在強磁場中產生了一些雲室徑跡 (圖 c)。

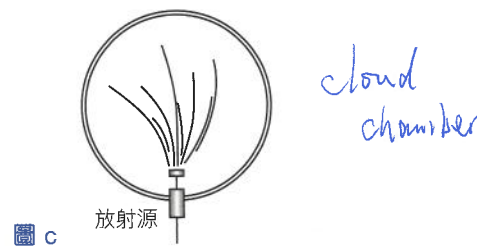


圖 c

下列哪一項敘述是不正確的？

- A 磁場指出頁面。
 B 放射源放出 α 輻射。
 C 放射源放出的輻射有較弱的穿透能力。
 D 移走磁場後，徑跡變成直線。

6 1 舉出兩個在學校實驗室使用放射源時必須遵守的安全措施。

7 4 密封膠袋內有一些泥土樣本。如果泥土帶放射性，膠袋能阻擋哪種輻射？ α 輻射

8 3, 4 下列各探測器在單獨使用時能否分辨出各種核輻射？試解釋原因。

- (a) 蓋革-彌勒計數器 能夠
 (b) 擴散雲室 能夠

9 4-6 某放射源據說只放出 γ 輻射。怎樣證實它並沒有放出 α 和 β 輻射？

10 4 科學家正測試一個放射源的本質。他把不同吸收物放在放射源和蓋革-彌勒管之間，表 a 列出所得的數據。

吸收物	計數率 / 每分鐘次數
—	302
紙張	298
鋁片 (5 mm 厚)	89
鉛片 (25 mm 厚)	87
鉛片 (50 mm 厚)	88

表 a

(a) 試解釋放射源有沒有放出

- (i) α 輻射：沒有
 (ii) β 輻射：有
 (iii) γ 輻射：沒有

(b) 試估算本底計數率。每分鐘 88 次

11 4 接觸輻射的工作人員必須佩戴底片徽章，以監察他們所受的輻射水平。底片由紙張包裹，連同鉛片和鉛片一起放置於徽章內 (圖 d)。

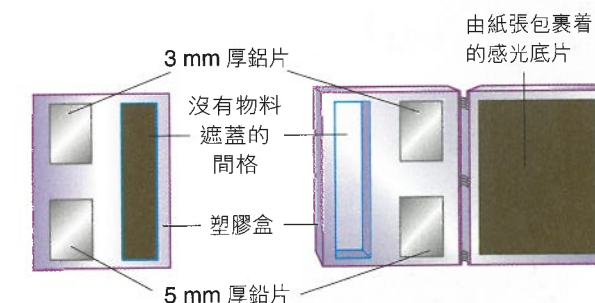


圖 d

兩個工作人員 (偉強和志明) 把徽章內的底片取出沖曬，表 b 顯示底片上不同部分的變黑程度。

底片的部分	變黑的程度	
	偉強	志明
沒有物料遮蓋的部分	5	5
在鋁片下	3	4
在鉛片下	0	1

註：0 = 沒有變黑，5 = 極黑

表 b

根據表 b 的資料，推斷偉強和志明各人必定接觸過哪些輻射。簡單解釋原因。

偉強： β 輻射、志明： γ 輻射

總結 1

詞彙

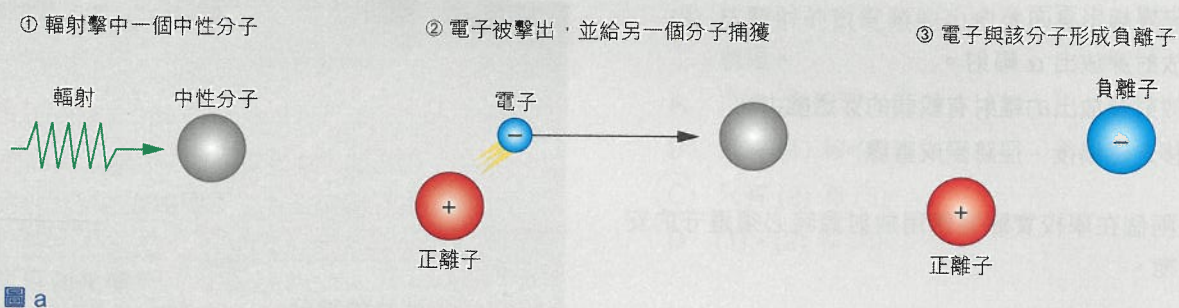
1 致電離輻射 ionizing radiation	p.2	11 致電離能力 ionizing power	p.12
2 電離 ionize	p.2	12 火花計數器 spark counter	p.12
3 離子 ion	p.2	13 電離室 ionization chamber	p.14
4 核輻射 nuclear radiation	p.3	14 擴散雲室 diffusion cloud chamber	p.15
5 放射性 radioactive	p.6	15 直角分叉徑跡 right-angled fork track	p.16
6 放射現象 radioactivity	p.6	16 蓋革—彌勒計數器 Geiger-Müller counter	p.18
7 α 輻射 alpha radiation	p.7	17 計數率 count rate	p.18
8 β 輻射 beta radiation	p.7	18 射程 range	p.19
9 γ 輻射 gamma radiation	p.7	19 穿透能力 penetrating power	p.20
10 本底輻射 background radiation	p.10		

課文摘要

1.1 X 射線與核輻射

1 致電離輻射是高能量粒子流或高能量電磁波，能使電子脫離分子（圖 a）。致電離輻射的例子包括：

- 電磁波：X 射線和 γ 輻射
- 粒子： α 粒子和 β 粒子

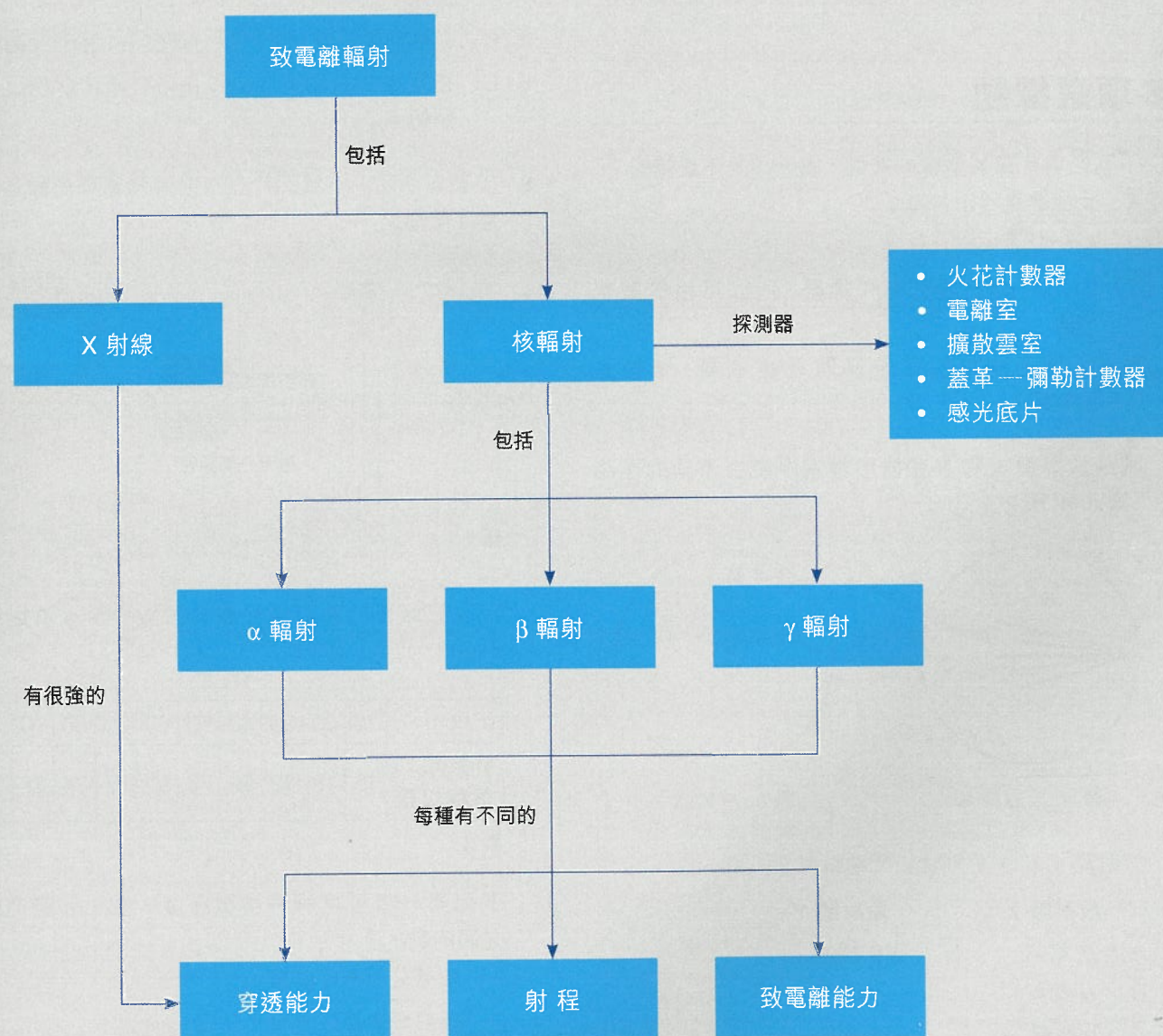


- 2 X 射線的波長短，穿透能力強，可由高速移動的電子撞擊重金屬而產生。
- 3 放射性物質自發地放出高能量的輻射，這現象稱為放射現象。
- 4 三種常見的核輻射分別為 α 、 β 和 γ 輻射。

1.2 放射現象

- 5 我們不斷接觸到來自周圍環境的輻射，這些輻射稱為本底輻射。
- 6 核輻射的探測器有火花計數器、電離室、擴散雲室、蓋革—彌勒計數器和感光底片。
- 7 蓋革—彌勒計數器可用來量度本底輻射。
- 8 修正後的計數率 = 量度所得的計數率 - 本底計數率
- 9 表 1.2b (p.27) 總結了 α 、 β 和 γ 輻射的本質和主要特性。

概念圖



複習 1

Q2 包裹底片的紙張防止底片受可見光照射。探測輻射時，必須保留紙張，但卻因而阻隔了 α 輻射。

Q3 α 輻射有很強的致電離能力，可以產生大量離子，而離子周圍會凝結大量酒精霧點，這是雲室徑跡顯得較粗的原因。

概念重溫

(第 1 至 3 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 2001 年卷二考試報告點 11 及 Q44
1.1 1 γ 輻射在真空中的速率與可見光相等。T

☆ 香港中學會考 2006 年卷一 Q8
1.2 2 由於 α 輻射不能穿透紙張，因此探測 α 輻射時須要移除用來包裹感光底片的紙張。F

☆ Edexcel GCSE June 2010 Physics Higher Tier P2 Q1(b)
1.2 3 由於 α 粒子的體積大，因此雲室內的 α 徑跡較粗。F

多項選擇題

1.1 4 下列各項有關 X 射線的敘述，哪一項是不正確的？
A 它能在真空中行進。
B 它的頻率比可見光高。
C 因為它能穿透肌肉和骨骼，所以可用於醫學造影。
D 用高速移動的電子撞擊某些金屬，會產生 X 射線。

1.2 5 兩種放射源 X 和 Y 在擴散雲室中產生不同的徑跡 (圖 a 和 b)。

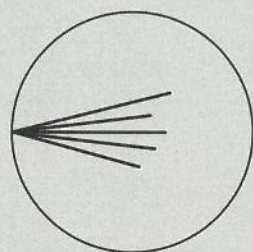


圖 a 放射源 X

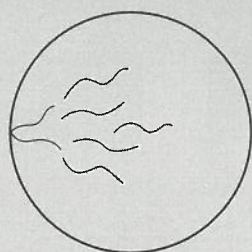


圖 b 放射源 Y

放射源 X 和 Y 分別放出哪種輻射？

- | 放射源 X | 放射源 Y |
|---------------|-------------|
| A α 輻射 | β 輻射 |
| B α 輻射 | γ 輻射 |
| C γ 輻射 | β 輻射 |
| D β 輻射 | γ 輻射 |

1.2 6 下列哪一項不是天然存在的本底輻射源？

- A 水
B X 射線保安系統
C 動物屍體
D 磚塊

☆ 7 下列哪一項有關核輻射的敘述是正確的？

- A γ 輻射可被 25 mm 厚的鉛片完全阻擋。
B α 輻射在空氣中的速率較 β 輻射在空氣中的速率高。
C 只使用感光底片便可以分辨出 α 、 β 和 γ 輻射。
D 在電場和磁場中， α 和 β 輻射通常以相反方向偏轉。

☆ 8 如圖 c 所示，一塊鉛片在放射源和蓋革—彌勒計數器之間通過。

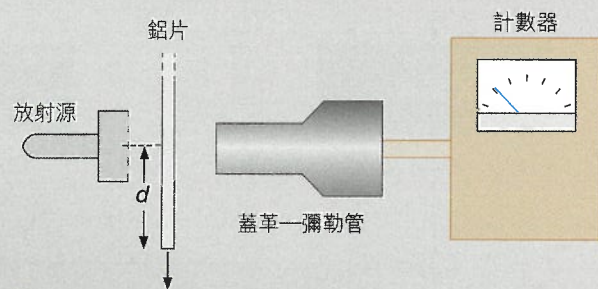


圖 c

表 a 記錄了計數器每秒鐘的讀數。設 d 為鉛片的長度。

d / cm	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
計數率 / 每秒次數	15	18	12	59	76	90	67	34	12	17

表 a

下列哪一項可以解釋讀數在 $d = 40 \text{ cm}$ 至 70 cm 之間的變化？

- A 那部分的鉛片變薄。
B 那部分的鉛片變厚。
C 放射源的放射性增加。
D 放射源的放射性減少。

☆ 9 下列哪種儀器可用作探測 α 輻射？

- 1.2 (1) 用塑膠包裹的感光底片
(2) 連接到計數器的蓋革—彌勒管
(3) 擴散雲室
A 只有 (3)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

☆ 10 P 、 Q 和 R 是三種不同的放射源，每種只放出一種核輻射，而所放出的輻射有以下特性：

- (1) 只有由 P 和 R 放出的輻射能被 5 mm 厚的鉛片阻擋。
(2) 只有 P 和 Q 能使包裹於紙張內的感光底片變黑。

P 、 Q 和 R 放射源分別放出哪種輻射？

放射源 P	放射源 Q	放射源 R
A α 輻射	γ 輻射	β 輻射
B β 輻射	α 輻射	γ 輻射
C β 輻射	γ 輻射	α 輻射
D γ 輻射	β 輻射	α 輻射

☆ 11 放射源和蓋革—彌勒管之間放置了不同的吸收物 (圖 d)。

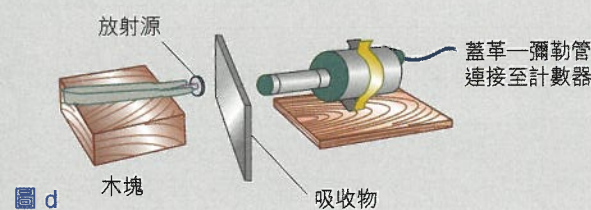


圖 d

表 b 記錄了放入不同吸收物後的計數率。

吸收物	計數率 / 每分鐘次數		
(無)	463	457	445
紙張	440	448	453
5 mm 厚的鉛片	45	56	39
25 mm 厚的鉛片	42	49	38

表 b

放射源放出哪種輻射？

- A 只有 β
B 只有 γ
C 只有 α 和 β
D α 、 β 和 γ

☆ 12 如圖 e 所示，某放射源置於指出頁面的磁場內，蓋革—彌勒管沿 PQ 上下移動，以探測放射源放出的輻射。蓋革—彌勒管位於 X 和 Y 點時，計數率顯著增加。

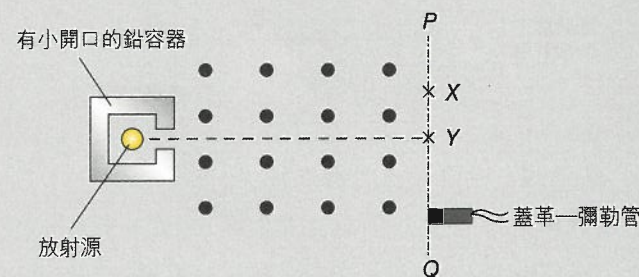


圖 e

以下哪一個方法能大幅減少在 X 和 Y 點的計數率？

- A 施加較弱的磁場。
B 在 P 和 Q 之間施加指向上的電場。
C 把一塊 5 mm 厚的鉛片置於蓋革—彌勒管前。
D 減少放射源的分量。

參看 p.25-26

1.2 13 香港中學會考 2010 年卷二 Q24

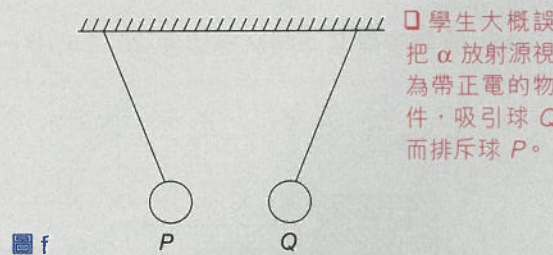
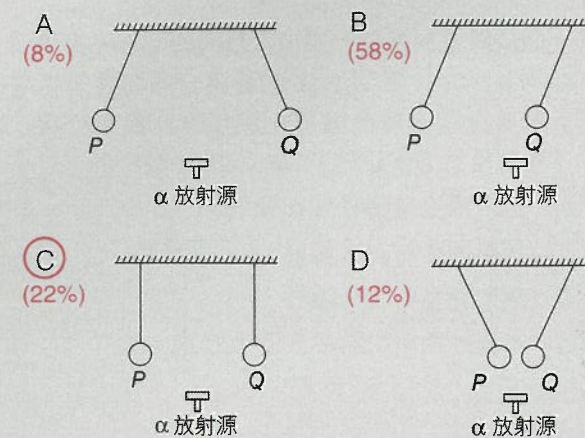


圖 f 顯示用絕緣細線將兩帶電的金屬球 P 和 Q 懸掛， P 帶正電荷而 Q 帶負電荷。將一個 α 放射源移近但不接觸金屬球，以下哪一個圖顯示一段時間之後的情況？



1.2 14 香港中學會考 2011 年卷二 Q45

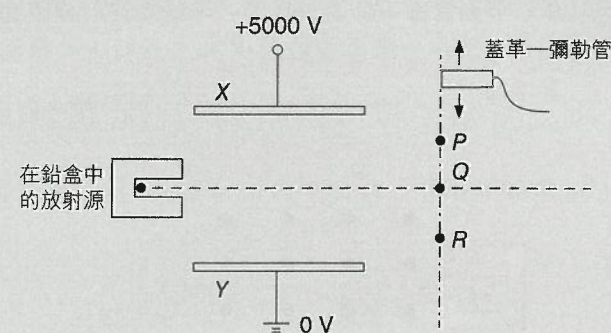


圖 g

把一個放射源放近 X 和 Y 兩平行金屬板，兩金屬板連接到一電源，如圖 g 所示。當蓋革—彌勒管沿虛線（-----）移動，計數率分別在 P 和 Q 處有顯著增加。當一指出紙面的勻強磁場施加於 X 和 Y 之間，以下哪項敘述是正確的？

- (A) 在 P 處的計數率下降，在 Q 處的計數率維持不變。(36%)
- B 在 P 和 Q 處的計數率維持不變。
- C 在 P 處的計數率下降，在 Q 和 R 處的計數率增加。
- D 在 P、Q 和 R 處的計數率相同。

1.2 15 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q35

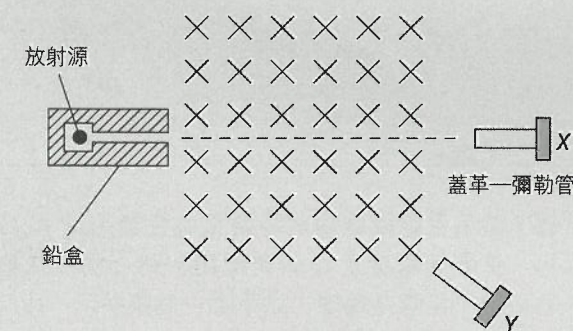


圖 h

一個放射源放置在一個指入紙面的勻強磁場前面，如圖 h 所示。在 X 和 Y 的蓋革—彌勒管所錄得的計數率分別為每分鐘 101 次和每分鐘 400 次。以下哪項推論必定正確？

- A 放射源沒有發射出 α 輻射。
- (B) 放射源發射出 β 輻射。
- C 放射源發射出 γ 輻射。
- D 本底計數率約為每分鐘 100 次。

1.1 16 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q34

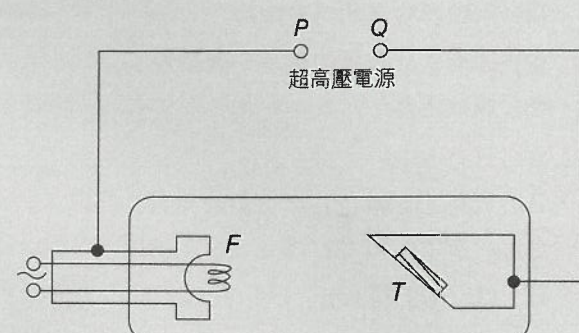


圖 i

圖 i 所示為 X 射線管的示意圖，其中燈絲 F 和金屬靶 T 接駁着超高壓電源的端鈕 P 和 Q。下列哪一項敘述正確？

- A P 是正端鈕而 X 射線從 T 射出。
- B P 是正端鈕而 X 射線從 F 射出。
- (C) Q 是正端鈕而 X 射線從 T 射出。(37%)
- D Q 是正端鈕而 X 射線從 F 射出。

1.2 17 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q32

在一個會發射出 α 和 γ 輻射的放射源前方附近放置一 G-M 計數器，所錄得計數率為每分鐘 450 次，而本底輻射的計數率則為每分鐘 50 次。把三種不同物料依次放於放射源與計數器之間，所得的結果見下表（表 c）。

物料	所錄得計數率 / 每分鐘次數
(沒有)	450
卡紙	x
1 mm 鋁	y
2 mm 鉛	z

表 c

以下哪一個為 x、y 和 z 最合適的數值組合？

- (A) 300 300 100 (61%)
- B 300 100 50
- C 100 100 0
- D 100 50 50

問答題

- 1.2 18 把放射源放近蓋革—彌勒管時，計數率會顯著增加（圖 j），但把放射源移至距離蓋革—彌勒管 5 cm 或更遠的位置時，計數率卻急速下降。

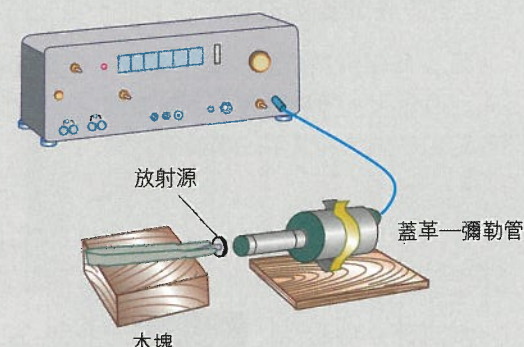


圖 j

- (a) 放射源必然放出哪種核輻射？ α 輻射 (1 分)
- (b) 試解釋為甚麼計數率在上述距離時會急速下降。(1 分)
- (c) 若把放射源放進注入了氦氣的擴散雲室，會觀察到甚麼？以繪圖輔助，解釋你的答案。(3 分)

- ★ 19 研究人員裝置由蓋革—彌勒管和計數器組成的蓋革—彌勒計數器，並用來監察輻射。

- (a) 即使沒有放射源，蓋革—彌勒計數器依然量度到讀數。為甚麼？(1 分)
- (b) 研究人員把蓋革—彌勒管置於放射源前 15 cm 處。在蓋革—彌勒管和放射源之間設立指往上的勻強電場，然後把蓋革—彌勒管上下移動，以探測核輻射（圖 k）。

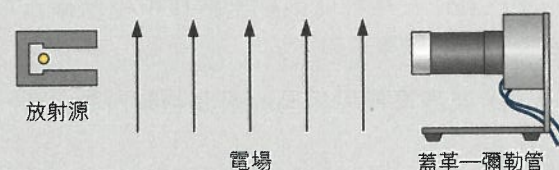


圖 k

- (i) 試描述怎樣推斷放射源有沒有放出 β 輻射。(2 分)
- (ii) 試解釋為甚麼上述裝置不能用來推斷放射源有沒有放出 α 輻射。(2 分)

- ★ 20 科學家測量一塊月球岩石樣本（圖 l）的放射性時，得到下列數據（表 d）：



圖 l

探測器	探測器的位置和錄得的讀數
蓋革—彌勒計數器	- 在空氣中距離放射源 1 cm：讀數很高 - 在紙巾後面：讀數下降（非零）
擴散雲室	只有短而粗的徑跡
感光底片	用 5 mm 厚的鉛片包裹後，底片依然曝光

表 d

- (a) 岩石樣本有沒有放出 β 輻射？試簡單解釋。
沒有 (2 分)
- (b) 岩石樣本有沒有放出 γ 輻射？試簡單解釋。
有 (2 分)
- (c) 如果只利用蓋革—彌勒計數器，可以怎樣測試岩石樣本有沒有放出 α 輻射？(2 分)

- ★ 21 圖 m 所示為 X 射線管的構造。

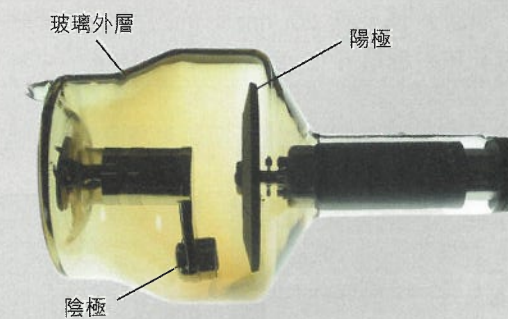


圖 m

- (a) (i) 試描述 X 射線管怎樣產生 X 射線。(2 分)
- (ii) 試寫出 X 射線的一個用途。(1 分)
- (iii) 所產生的 X 射線頻率為 5×10^{17} Hz，它的波長是多少？ 6×10^{-10} m (2 分)
- (b) 試舉出 X 射線和 γ 輻射的一個相似之處及一個不同之處。(2 分)

- ★ 22 志遠做實驗研究核輻射在電場中的偏轉(圖 n)。他把放射源置於兩塊導電板前，放射源放出 α 和 β 輻射。

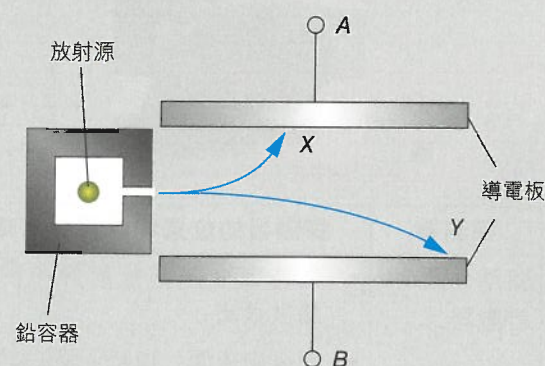


圖 n

- (a) 試寫出 α 和 β 輻射的本質。(2分)
- (b) X 和 Y 是哪種輻射?
X: β 輻射, Y: α 輻射 (1分)
- (c) 試指出 A 端和 B 端的極性。
A: 正極, B: 負極 (1分)
- (d) 志遠認為由於 X 在空氣中的射程短，所以偏轉程度較 Y 大。試評論這個說法。**不正確** (2分)
- (e) 志遠將電場換成磁場。輻射如圖 n 所示在磁場中以類似的方式偏轉。試指出磁場的方向。
指出頁面 (1分)

- ★ 23 美琪設計了一個探測器(圖 o)，探測器內有幾張用薄紙密封的感光底片 A、B 和 C，底片之間插入了一塊鋁片或一塊 25 mm 厚的鉛片。美琪把探測器放在放射源前方 10 cm 處。30 分鐘後，沖曬底片。

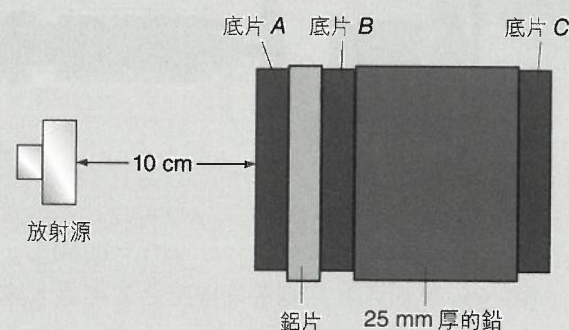


圖 o

- (a) 試舉出兩個美琪做實驗時必須遵守的安全措施。(2分)
- (b) 試解釋為甚麼沖曬後的底片不能用來推斷放射源有沒有放出 α 輻射。(1分)
- (c) 美琪發現只有底片 A 和 B 變黑了。試解釋放射源放出哪種核輻射。 β 輻射 (4分)

- ★ 24 如圖 p 所示，某放射源置於蓋革—彌勒管前 3 cm 處，而蓋革—彌勒管連接到計數器。不同的吸收物放置在放射源和蓋革—彌勒管之間。

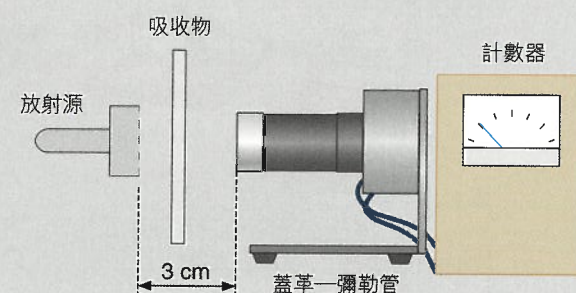


圖 p

表 e 記錄了放置每種吸收物後的讀數。

吸收物	計數率 / 每分鐘次數		
	第一次	第二次	第三次
(無)	245	248	252
紙張	101	105	94
5 mm 厚的鋁板	28	25	27
25 mm 厚的鉛板	27	26	29
50 mm 厚的鉛板	29	24	28

表 e

- (a) (i) 求平均本底輻射。**每分鐘 27 次** (1分)
- (ii) 怎樣可以從以上數據中找出修正後的計數率? (1分)
- (b) 為甚麼使用相同的吸收物時讀數會不一樣? (1分)
- (c) 家強根據以上數據，推斷放射源放出 β 和 γ 輻射。他的結論正確嗎? 試簡單解釋。**不正確** (3分)
- (d) 寫出一項做上述實驗時必須遵守的安全措施。(1分)

- ★ 25 處理放射性物料的工作人員，都必須佩戴底片襟章(圖 q)。襟章為一個塑膠盒，分為三個間隔，其中兩個間隔分別用鋁片和鉛片遮蓋，第三個間隔則沒有加上遮蓋物。塑膠盒內有一張用紙包裹着的感光底片。一段時間後，底片會從襟章中取出來沖曬。

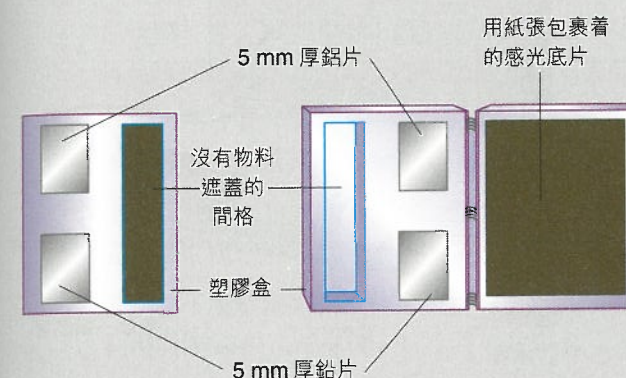


圖 q

- (a) 為甚麼感光底片要用紙包裹着? (1分)
- (b) 底片可分為三個部分：沒有任何物料遮蓋的部分、在鋁片後面的部分、在鉛片後面的部分。
- (i) 試解釋如果工作人員只接觸過 β 輻射，底片哪些部分會變黑。(3分)
- (ii) 如果工作人員只接觸過 α 輻射，題(i)的結果會怎樣改變? 試簡單解釋。(2分)

▶ 例題 3 (p.22)

☆ Physics (Options A & B), Paper 1
1.2 26 OCR GCSE Jun 2005 Foundation Tier Q5

這是一道關於放射現象的問題。

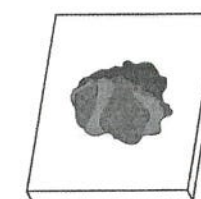
- (a) 某放射源放出三種輻射。從以下詞語選出最佳答案，每個詞語可用一次或多次，也可完全不

α 輻射
 β 輻射
 γ 輻射

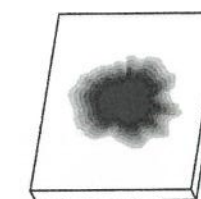
- (i) 哪種輻射最難完全吸收? γ 輻射 (1分)
- (ii) 哪種輻射的粒子最大? α 輻射 (1分)
- (iii) 哪種輻射是電磁波? γ 輻射 (1分)
- (iv) 哪種輻射是電子? β 輻射 (1分)

- (b) 下文描述發現放射現象的經過。細閱下文，然後根據內容回答隨後的問題。

放射現象由法國科學家貝克勒耳發現。他把一些含有鈾的石塊放在感光底片上，底片由厚黑卡紙包裹。其後，他沖曬底片，發現底片上有一個陰影，因而懷疑自己是否發現了一種新的輻射。



石塊放在由厚紙包裹着的底片上



沖曬出來的底片

圖 r

- (i) 解釋為甚麼貝克勒耳認為底片上的陰影由鈾放出的輻射所造成。(1分)
- (ii) 根據貝克勒耳的觀察結果，寫出這種輻射的兩個特性。(2分)
- (iii) 根據你對輻射的知識，這個實驗並不能探測到哪種輻射? 試加以解釋。 α 輻射 (2分)
- (iv) 貝克勒耳繼續研究這個發現。他把玻璃和金屬等不同物質放在含有鈾的石塊和感光底片之間，發現沖曬出來的底片仍然有陰影。解釋為甚麼他要把不同物質放在石塊和底片之間。(1分)

□ 考試報告見第 39 頁。

1.2 27 香港中學會考 2008 年卷一 Q12

- (a) 一名教師將一個放射源置於蓋革—彌勒管(G-M 管)前 1 cm 處，以測量其計數率。當他在放射源和 G-M 管之間插入一張紙時，他發覺計數率並無顯著變化。試為放射源發出的輻射類型提出結論。(1分)

教師再用另一個實驗以探究在圖 s 所示的磁場中放射線如何發生偏轉。G-M 管可以環繞磁場作 0° 至 180° 的旋轉。圖 t 顯示當有或沒有磁場時在不同角度測量所得的計數率。

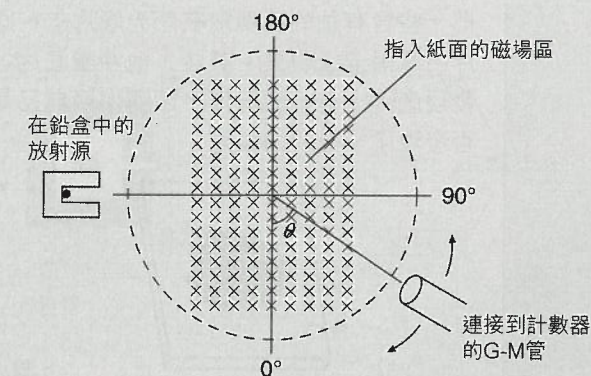


圖 s

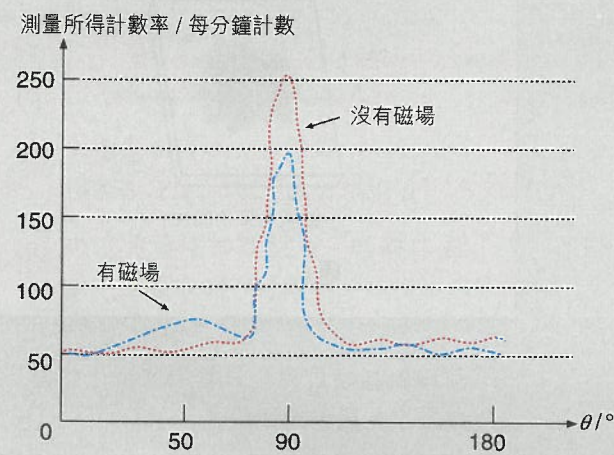


圖 t

- (b) 估算本底輻射的計數率。每分鐘 50 次 (1 分)
- (c) 利用圖 t 中所得的實驗結果，解釋為甚麼可以得出此放射源發出 β 和 γ 射線的結論。(5 分)
- (d) 估算每種輻射類型在 $\theta = 90^\circ$ 及沒有磁場時的計數率，並在表 f 填寫答案。

輻射類型	計數率 / 每分鐘計數
α	0
β	50
γ	150

表 f

(2 分)

實驗題

- ★ 28 國華利用以下的實驗裝置，研究鉛片的厚度怎樣影響 γ 放射源的放射性 (圖 u)。

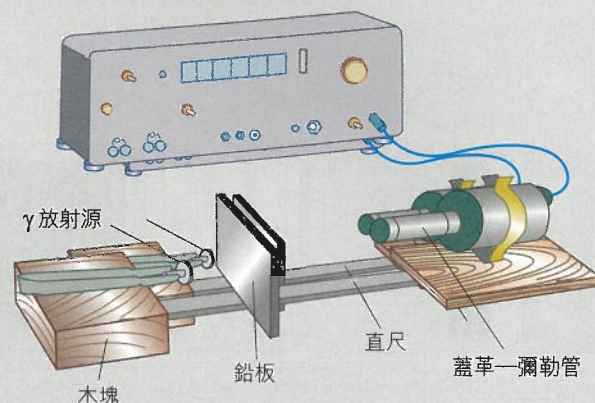


圖 u

- (a) 實驗的自變量 (要改變的量) 和因變量 (要量度的量) 是甚麼? (2 分)
- (b) 直尺在裝置中有甚麼功能? (1 分)
- (c) 指出國華在處理 γ 放射源時必須採取的一個安全措施。(1 分)

- ★★ 29



圖 v

物理老師要你利用圖 v 所示的儀器，設計一個實驗來驗證某放射源只發出 β 輻射。

- (a) 試描述實驗的步驟和預期的實驗結果。(5 分)
- (b) 試解釋鉛板在這個實驗的用途。(1 分)

▶ 參看 p.26

物理文章分析

- ★ 30 閱讀下列一段有關油畫鑑定的文章，然後回答隨後的問題。

油畫鑑定

名畫家的作品價值連城，價格往往高達數百萬甚至數十億元。騙徒見有利可圖，便偽造名貴畫作，當作真品賣給收藏家。因此，收藏家在購入名畫前，通常會先鑑定油畫的真偽。

從前，不少畫家會直接在退回的作品上繪畫新作。因此，檢查畫作下的隱藏作品，或可確定畫作的真偽。檢查方法就是利用 X 射線掃描畫作。

掃描時，畫作置於 X 射線底片與 X 射線管之間，畫布上的顏料會吸收部分照射在作品上的 X 射線，吸收的程度則視乎顏料的成分、濃度、厚度等因素而定。

以下例子展示隱藏在畫作之下的另一作品。左方的油畫 (圖 w) 繪畫了一個天朗氣清的熱帶雨林，不過，利用 X 射線掃描作品後，卻看見一片截然不同的景象 (圖 x)。



圖 w 畫作《新西蘭叢叢海灣的採摘女之港》



圖 x X 射線圖像顯示隱藏的畫作

- (a) 試舉出一個原因，解釋為甚麼圖 x 中的 A 部分較其他部分光亮。(2 分)
- (b) 表 g 列出一些顏料的主要成分。試根據題 (a) 的答案，推想 A 部分所用的顏色，並扼要解釋原因。(2 分)

白色

顏色	成分
黑	碳
白	鉛
藍	鈷

表 g

Q27 考試報告：本題涉及放射線的穿透能力和在磁場中的偏轉性。考生整體表現令人滿意。

- (a) 很多考生能正確解釋為何放射源沒有放出 α 射線。
- (b) 考生能從線圖中讀出本底輻射的計數率 (大約每分鐘 50 次)。然而，能力較弱的考生錯誤作答計數率的單位。
- (c) 只有能力較強的考生能夠精確及具邏輯地解釋放射源發出 β 和 γ 射線的原因。很多考生在解釋中未能清楚指出他們是在考慮有或沒有磁場的處境。部分考生錯誤認為在有磁場時於 $\theta = 90^\circ$ 位置的計數率下降足夠推導 β 射線存在的結論。
- (d) 考生根據線圖解釋數據的能力較弱。只有能力較強的考生能正確估算每種輻射類型在 $\theta = 90^\circ$ 和沒有磁場時的計數率。

自我評核 1

🕒 時間：10 分鐘 🟢 總分：7 分

答題須知

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

甲 部

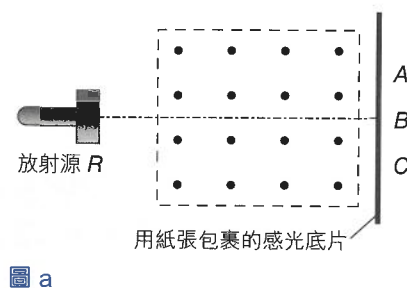
- 1.1 下列哪項有關 X 射線和 γ 輻射的敘述是正確的？
- (1) 兩者都不會電場中偏轉。
(2) 兩者都來自原子核。
(3) 兩者都遵從波動方程 $v = f\lambda$ 。
- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 1.2 某種核輻射會在注入了氦氣的雲室中產生直角分叉徑跡。下列哪一項敘述是正確的？
- A 該輻射的射程很短。
B 該輻射的粒子與氦原子核帶同一種電荷，因而產生直角分叉徑跡。
C 用空氣取代氦氣後，仍可觀察到直角分叉徑跡。
D 氦原子核較該輻射的粒子重。

B

A

乙 部

- 1.23 放射源 R 置於感光底片前 15 cm 處，放射源和底片之間有一個勻強磁場（圖 a）。沖曬底片後，整塊底片變黑。已知 R 只放出一種輻射。



- (a) R 是不是 α 輻射源？試舉出一個原因。

(2 分)

不是

- (b) 偉強認為可以改良這個裝置，以得出更清晰的實驗結果。

- (i) 偉強應該怎樣改良裝置？試扼要解釋答案。

(2 分)

- (ii) 偉強依照題 (i) 的方法改良裝置，然後重複實驗。他發現沖曬出來的底片上，有一個部分變得特別黑。如果 R 是 β 放射源，哪一部分 (A、B 或 C) 會變得特別黑？試扼要解釋答案。

(1 分)

A



F-X

2

原子結構與放射衰變

我們這一課會學到

- 原子的結構
- 放射衰變
- 放射性同位素的應用
- 輻射的潛在危險及輻射安全問題

✓ 本節重點

- 1 原子的結構
- 2 原子序數和質量數
- 3 核素與同位素

起點

原子結構是怎樣的？

自古以來，不斷有人提出各式各樣的原子模型，以下是一些例子。

公元前
500 年左右

德謨克利特



我認為不可能把物質無止境地分割，分割到最後應該只會得出一顆最細小的物質，即是原子。

19 世紀
初期

同意！所有物質都是由一顆顆分割不到的原子組成。不過，實驗結果顯示，原子應有不同的種類。

道爾頓



1897

湯姆生

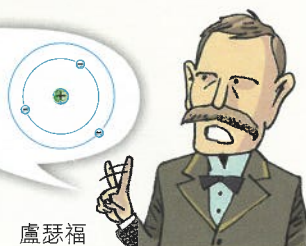
任何種類的原子都應該包含帶正電的電荷團，帶負電的電子則嵌入其中。



1911

你錯了！原子應該有一個帶正電的細小核心，而電子則圍繞着這個核心轉動。

盧瑟福



在科學發展史上，原子模型一再給科學家修正。為甚麼？

參閱第 43 頁科學本質。

1 盧瑟福的原子模型

約 2500 年前，希臘哲學家德謨克利特提出原子的概念，這個概念指出，物質由不可分割的粒子所組成。1897 年，英國科學家湯姆生發現，原子含有帶負電的粒子，這表示原子其實是可分割的，希臘人提出的原子模型因而被推翻。

不過，1911 年，湯姆生的模型又被盧瑟福推翻。盧瑟福發現湯姆生的模型不能解釋部分實驗結果，於是提出一個新的原子模型（圖 2.1a）。

模型中，原子的所有正電荷和大部分質量都集中在一個稱為「原子核」的細小核心內，電子圍繞原子核轉動，而原子的其餘部分是甚麼都沒有的空間。

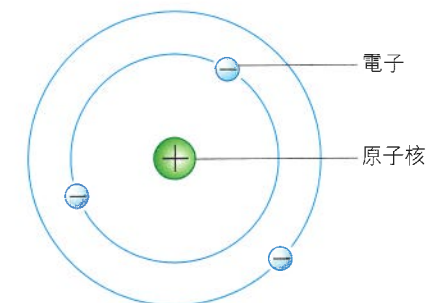


圖 2.1a 盧瑟福的原子模型

科學本質

科學模型

科學家經常提出科學模型來解釋觀察結果和實驗結果。但有時由於儀器精確度提高等因素，觀察結果會有所更新。若原有的模型不足以解釋新的觀察結果，科學家便要修正舊有模型或提出新的模型，以配合新的觀察結果。

通常，最能準確推測觀察結果的科學模型會為科學界所接受，成為標準的模型。

這裏解答了起點的問題。

以下網站有數個關於蓋革—馬斯登散射實驗和盧瑟福原子模型的模擬程式：

http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/nucleus/nucleus5_1.htm



歷史點滴 蓋革—馬斯登散射實驗

1911 年，蓋革和馬斯登在盧瑟福的指導下，利用 α 粒子撞擊金箔（圖 a）。他們發現部分 α 粒子大幅偏轉，個別粒子甚至反彈回去。倘若湯姆生的模型真確無誤， α 粒子理應不會大幅偏轉；於是，盧瑟福提出了一個新的原子模型去解釋這項實驗結果（圖 b）。模型中，原子核細小而帶正電，且質量龐大， α 粒子靠近原子核時，就會大幅偏轉。

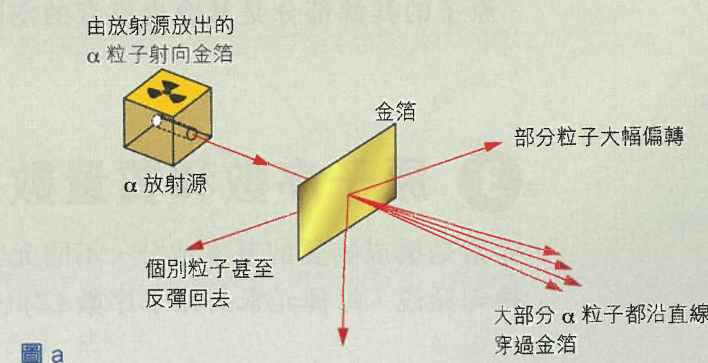


圖 a

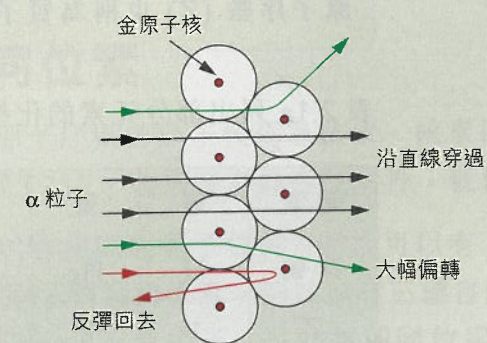


圖 b

參閱 E2 冊第 1 課，詳細了解這個實驗及結果。

2 原子的結構

原子中，帶負電的電子圍繞帶正電的原子核轉動（圖 2.1b）。原子核由質子和中子組成，兩者統稱為核子。

質子帶正電而中子不帶電，它們的質量幾乎相等。電子帶負電，與核子相比，電子的質量很小，可以略去不計。

盧瑟福是第一個假定原子含有中子的人。直到1932年，查德威（Sir James Chadwick，1891-1974）終於發現這種粒子，他亦因此獲頒1935年的諾貝爾物理學獎。

可以這樣比較大小：如果把原子看成是一個標準足球場，那麼原子核不會大於一粒豌豆，而質子和中子更不會大於一粒芝麻！

電子、質子（中子）、原子核和原子的相對大小如下：
電子：質子：原子核：原子
≈ 1 mm : 1 m : 10 m : 100 km
引導學生去理解原子的絕大部分空間是空無一物的。

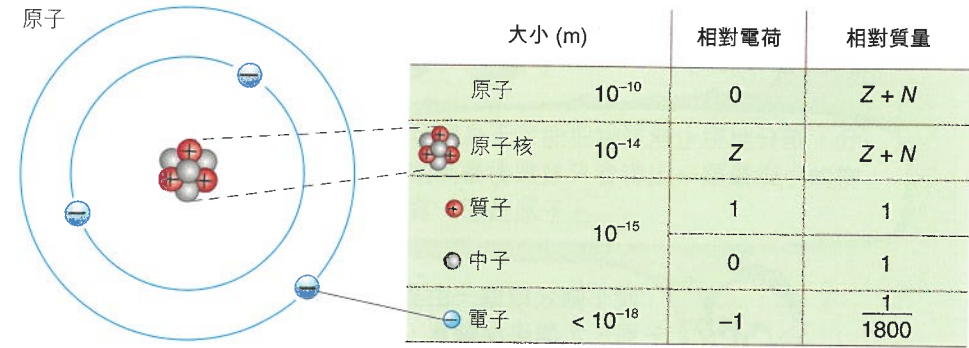


圖 2.1b 原子模型（圖不依比例繪製）

原子的中心是由質子和中子所組成的原子核，電子圍繞原子核轉動，原子的其餘部分是甚麼也沒有的空間。

3 原子序數和質量數

元素是構成物質的基本成分，不同元素的原子核含有不同數目的質子。換句話說，每種元素的原子序數 (Z) (又名質子數) 都是獨一無二的。

原子序數 (Z) 也稱為質子數，是原子核所含的質子數目。

表 2.1a 列出部分元素的化學符號和原子序數。

元素	氫	氦	碳	鉛	氫	鐳	釷	鈾
符號	H	He	C	Pb	Rn	Ra	Th	U
Z	1	2	6	82	86	88	90	92

表 2.1a 部分元素的化學符號和原子序數

核子 nucleon 元素 element 原子序數 atomic number 質子數 proton number

要描述質子和中子的總和，會用質量數 (A) (又名核子數)。

質量數 (A) 也稱為核子數，是原子核所含的質子和中子的總和。

設元素 X 的質量數為 A，原子序數為 Z，這個元素可以用符號 ${}_Z^AX$ 表示（圖 2.1c）。

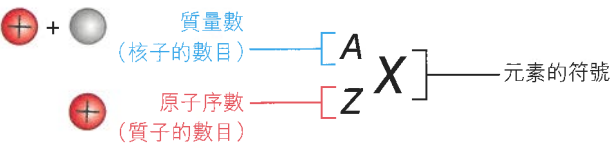


圖 2.1c 原子的符號

此外，中子數 (N) 是指原子核內中子的數量，因此， $N = A - Z$ 。

表 2.1b 顯示一些原子的結構和代表符號。

	氫	氦	鋰
原子序數 Z	1	2	3
質量數 A	1	4	7
符號 ${}_Z^AX$	${}_1^1\text{H}$	${}_2^4\text{He}$	${}_3^7\text{Li}$
中子數目 N (= A - Z)	0	2	4
	氫原子	氦原子	鋰原子

表 2.1b 原子的一些例子

4 核素與同位素

具有特定質量數和原子序數的原子核稱為核素。核素通常以它的質量數識別，例如碳-12 或 C-12。如果核素具有放射性，就稱為放射性核素。

同一元素的原子必然有相同的質子數目，但卻可以有不同的中子數目，這些不同「版本」的原子稱為同位素。例如氫有三種自然存在的同位素，當中最普遍的是 H-1，它沒有中子；另外兩種同位素 H-2 和 H-3 則分別有一粒中子和兩粒中子。

模擬程式 2.1

→ 模擬程式 2.1 以圖像顯示幾種元素的盧瑟福-玻爾原子模型。學生選定原子序數後，程式便會顯示該元素的原子模型和其他相關資料（符號、質量數、質子數和中子數）。

中性原子的質子數目與電子數目相等。

化學特性取決於最外層電子的數量，所以同一元素的同位素有相同的化學特性。物理特性則與原子核的組成有關，所以同一元素的同位素未必有相同的物理特性。

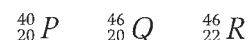
質量數 mass number 核子數 nucleon number 核素 nuclide 放射性核素 radionuclide 同位素 isotope

具有放射性的同位素稱為**放射性同位素**。例如：碳-14 (C-14) 是碳的一種放射性同位素。

同位素屬於同一元素，它們有相同的質子數目（原子序數），但不同的中子數目（質量數）。

例題 1 辨認同位素

下列為三種不同的核素。



- (a) 哪些核素的核子數目相同？
(b) P 和 Q 是否同位素？試簡單解釋。

題解

Q 和 R 各有 46 個核子，
P 則有 40 個核子。

也就是說，兩者有不同數目的中子。

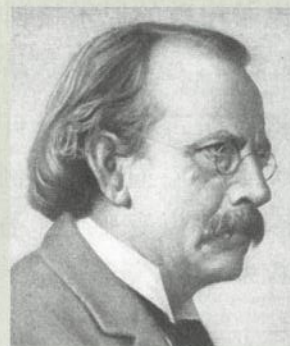
- (a) Q 和 R
(b) P 和 Q 的原子序數相同 (20) 但質量數不同 (分別為 40 和 46)。因此，它們是同位素。

▶ 習題與思考 2.1 Q10 (p.47)

歷史點滴

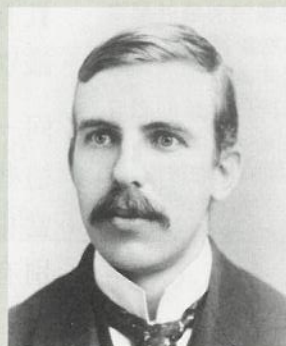
湯姆生 (1856–1940)

湯姆生透過實驗發現電子，進而提出原子模型，當中的電子嵌入一團帶正電的物質之中。除此以外，他還發現同位素。湯姆生因發現電子，以及對氣體導電性的研究獲得成果，於 1906 年獲頒諾貝爾物理學獎。



盧瑟福 (1871–1937)

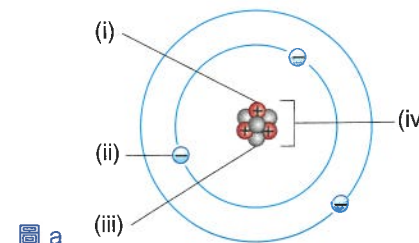
盧瑟福被譽為原子物理學之父。他發現了兩種由鈾和釷放出的輻射，並把他們命名為 α 和 β 輻射。此外，盧瑟福提出了原子模型，亦發現了質子，更是首位把一種元素轉化成另一種元素的科學家。1908 年，盧瑟福獲頒諾貝爾化學獎。



進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.42)。

- 11 下圖顯示一個原子模型 (圖 a)。



- (a) 寫出結構 (i) 至 (iv) 的名稱。
(b) 寫出 (ii) 和 (iv) 所帶的電荷。

- 22 試完成下表。

	碳 (C)	碘 (I)	釷 (Th)
原子序數	6	53	90
質量數	13	127	238
質子數目	6	53	90
中子數目	7	74	148
符號	${}_{6}^{13}\text{C}$	${}_{53}^{127}\text{I}$	${}_{90}^{238}\text{Th}$

習題與思考 2.1

- 21 某中性的原子有 3 個電子和 4 個中子，它的質子數目是多少？
A 1
B 3
C 4
D 7
- 22 ${}_{Z}^{AX}$ 的原子核中有多少個核子？
A A
B Z
C A - Z
D A + Z
- 23 某原子有 18 個中子和 16 個電子，原子的質量數和原子序數是多少？
- 24 下列哪一項有關原子結構的敘述是正確的？
A 所有正電荷都集中在原子核內。
B 電子圍繞原子核自由運動。
C 質子和中子都帶電。
D 質子和電子的數目是任意的。
- 25 鈣 (Ca) 原子核有 20 個質子和 23 個中子，試寫出它的符號。 ${}_{20}^{43}\text{Ca}$
- 26 原子中的哪種粒子有以下特性？
(a) 帶正電 質子
(b) 質量最小 電子
(c) 不帶電 中子
- 27 某個釷核素可以用符號 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 來表示。
(a) ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 包含多少個 (i) 質子、(ii) 中子和 (iii) 電子？
(b) 另一個釷核素多了兩個中子，它的符號是怎樣的？ ${}_{90}^{234}\text{Th}$
- 28 試輔以繪圖，寫出原子中各種粒子的名稱，並描述它們的位置。
- 29 下列為三種不同的原子。
原子 P：6 個電子，質量數為 12
原子 Q：6 個質子，8 個中子
原子 R：6 個中子，原子序數為 8
以上哪些原子是同位素？試簡單解釋原因。
- 30 以下是三種不同的核素。
 ${}_{8}^{18}\text{P}$ ${}_{9}^{18}\text{Q}$ ${}_{8}^{16}\text{R}$
(a) (i) 說明同位素的意思。
(ii) 哪些核素是同位素？
(b) 哪些核素的核子數目相同？

2.2

放射衰變

起點

核廢料的處理

核廢料會放出核輻射，因此具有潛在危險。這些廢料須隔離儲存一段時間後，才可當作普通廢物棄置。你知道原因嗎？[參閱第 57 頁。](#)



核廢料儲存在鋼圓桶內

置於「低放射性廢物貯存設施」的核廢料，設施位於大嶼山小鴉洲

✓ 本節重點

- 1 衰變的三種形式
- 2 放射衰變的特性
- Ext 3 指數式衰變

放射性核素擁有過多能量，因此並不穩定，但透過**放射衰變**（或稱**蛻變**）放出核輻射，就會變得穩定（圖 2.2a）。在放射衰變的過程中，放射性核素會釋放能量。

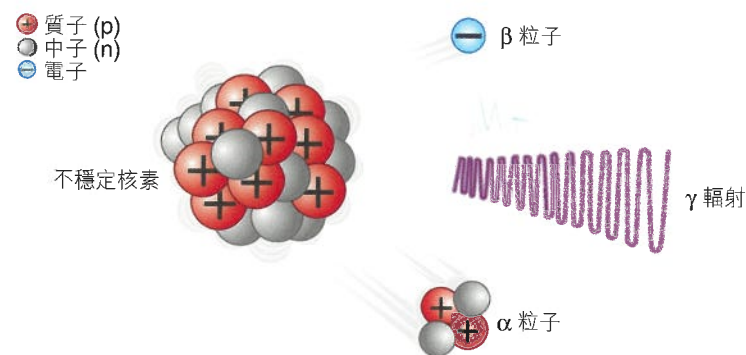


圖 2.2a 放射衰變

1 衰變的三種形式

原子核衰變時，可能會變成另一種元素的原子核。衰變前的原子核稱為**母核**，衰變後的原子核稱為**子核**。子核與衰變過程中放射出來的粒子，統稱為**衰變產物**。那些會改變核素成分的核反應稱為**嬗變**。

我們應當注意，在放射衰變中，電荷和質量數是守恆的，即是說，衰變產物的原子序數總和（代表電荷）及質量數總和均與母核相同。

模擬程式 2.2

→ 模擬程式 2.2 以圖像顯示 α、β 和 γ 衰變。

方程兩邊的質量數總和及原子序數總和都不變：

$$238 = 234 + 4 \text{ 且 } 92 = 90 + 2$$

a α 衰變

在 α 衰變中，原子核會放射出一個 α 粒子。α 粒子是氦原子核，由兩個質子和兩個中子組成，符號是 ${}^4_2\text{He}$ 。

圖 2.2b 所示為鈾-238 的 α 衰變。原子核放射出一個 α 粒子，蛻變出來的子核比母核少了 2 個質子和 2 個中子。子核的質量數減少 4，而原子序數減少 2。子核是釷-234 的原子核。

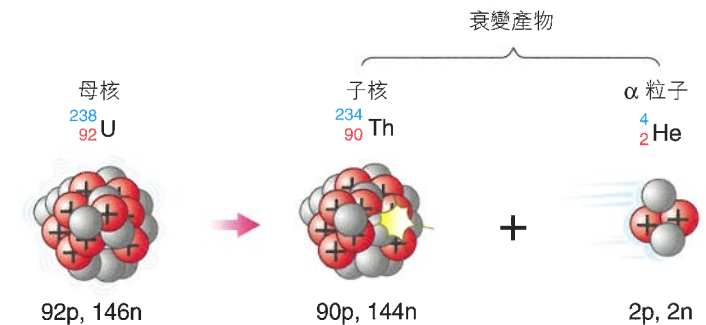
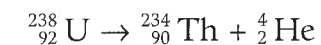
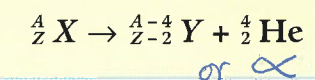


圖 2.2b 鈾-238 的 α 衰變

上述衰變過程可以用下面的方程表示：



核素出現 α 衰變後，原子序數減少 2，質量數則減少 4。

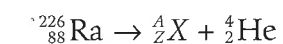


例題 2 鐳-226 的 α 衰變

鐳-226（原子序數 88）衰變時放射 α 粒子。試寫出代表衰變的方程。

題解

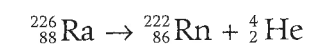
設 ${}_Z^AX$ 為子核。這個 α 衰變的方程可以寫成：



考慮質量數和原子序數。

$$\begin{aligned} 226 &= A + 4 & \text{及} & & 88 &= Z + 2 \\ \Rightarrow A &= 222 & \text{及} & & Z &= 86 \end{aligned}$$

因此 X 是氡-222。代表衰變的方程為：



▶ 進度評估 2 Q1 (p.54)

b β 衰變

在 β 衰變中，原子核會放射出一個 β 粒子。 β 粒子即是電子，符號是 ${}_{-1}^0\text{e}$ 。相比質子和中子， β 粒子的質量小得可以略去不計。

圖 2.2c 所示為釷-234 的 β 衰變。原子核內一個中子蛻變成一個質子和一個電子，電子從原子放射出來，成為 β 粒子。原子核的質量數沒有改變，但原子序數則增加了 1，成為鏷-234 的原子核。

我們應當注意，在 β 衰變中放射出來的電子來自原子核，而不是圍繞原子核轉動的電子。

和之前一樣，方程兩邊的質量數總和及原子序數總和都不變：

$$234 = 234 + 0 \text{ 且 } 90 = 91 + (-1)$$

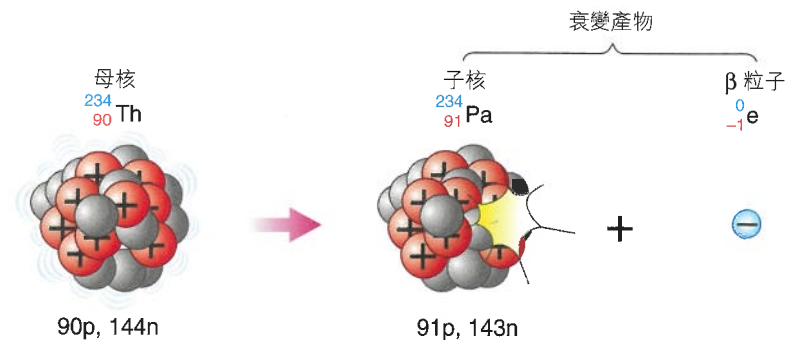
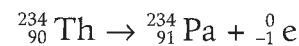
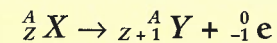


圖 2.2c 釷-234 的 β 衰變

上述衰變過程可以用下面的方程表示：



核素出現 β 衰變後，原子序數增加 1，質量數則維持不變。

c γ 發射

有些原子核在放出 α 或 β 粒子後，仍會比正常狀態具有較多能量（即原子核仍然不穩定）。這些多餘的能量會以伽瑪射線的形式釋放出來，以穩定原子核，這個過程稱為 γ 發射。圖 2.2d 展示一個例子。

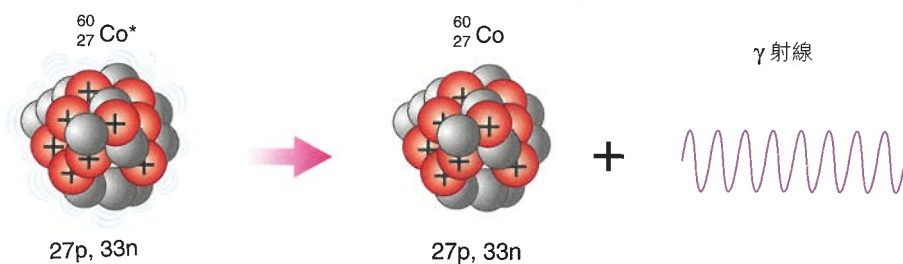
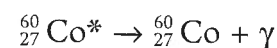


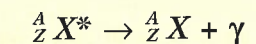
圖 2.2d 鈷-60 的 γ 發射

上述過程可以用下面的方程表示：



(* 表示原子核比正常狀態具有較多能量)

核素出現 γ 發射後，原子序數和質量數都維持不變。

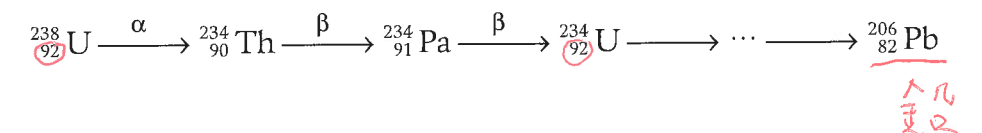


2 衰變系

放射衰變後，子核可能仍然不穩定，因此會繼續衰變，直到成為穩定的原子核為止。

鈾-238 發生 α 衰變後，蛻變成釷-234，但釷-234 仍具放射性，會放出 β 粒子，蛻變成鏷-234。衰變的過程繼續下去，直到原子核蛻變成穩定的鉛-206 為止。

這一系列的放射衰變（簡稱衰變系）可以寫成：



讓學生了解 A-Z 圖中的斜線代表 α 衰變，橫線代表 β 衰變；但在 N-Z 圖中，代表 β 衰變的卻是一條斜線，傾斜方向與 α 衰變的斜線相反。

老師可問生為甚麼這些圖表不能顯示 γ 衰變。

衰變系也可用圖表來表示，例子如下（圖 2.2e）：

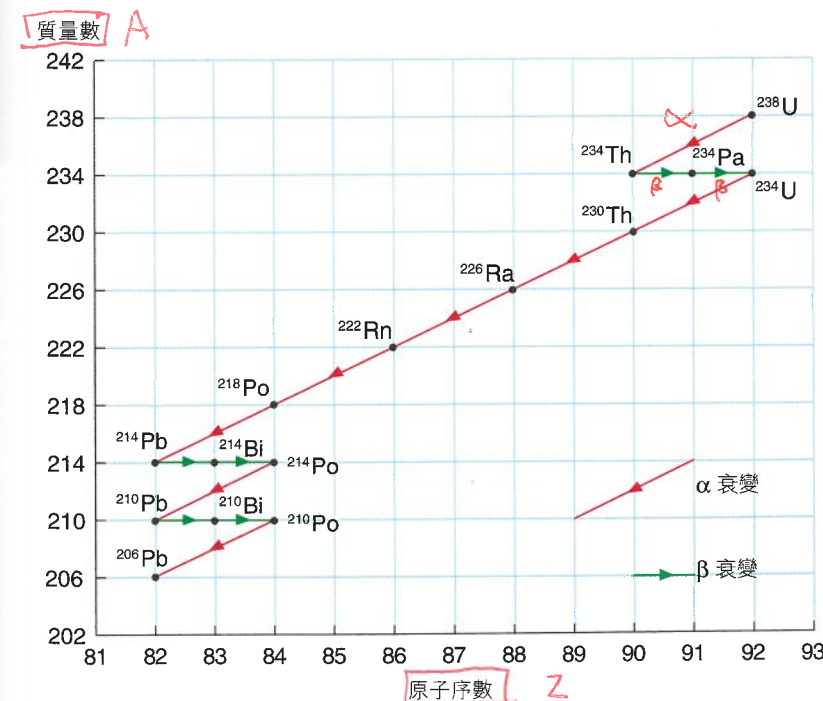
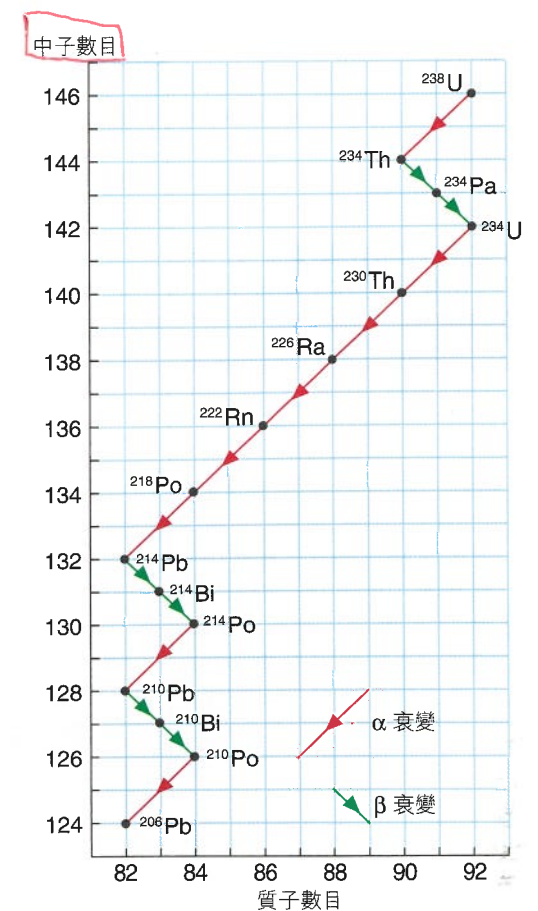
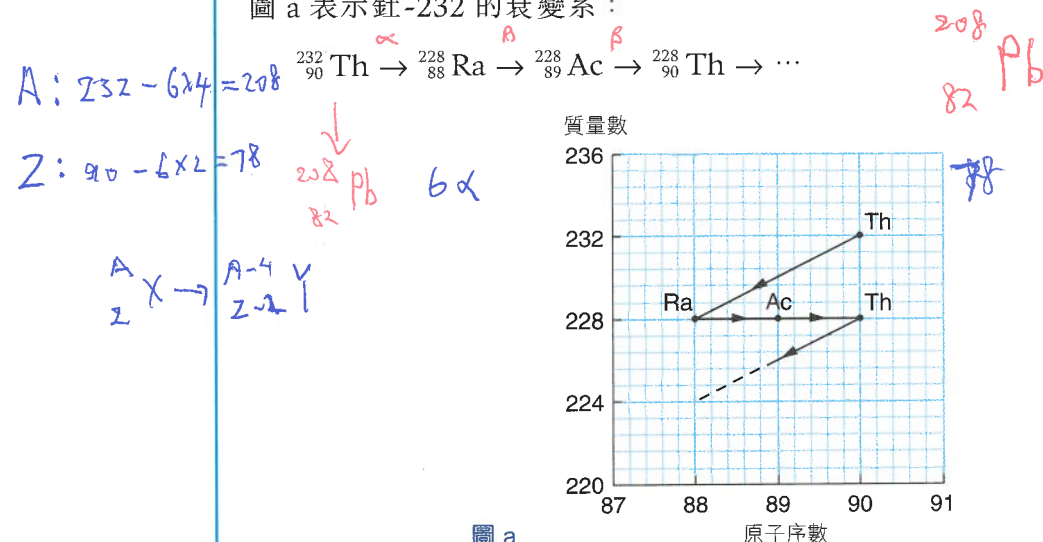


圖 2.2e 以不同的圖表來表示鈾-238 的衰變系



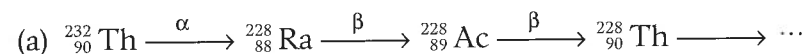
例題 3 釷-232 的衰變系

圖 a 表示釷-232 的衰變系：



- (a) 上圖顯示的幾次衰變，每次放射出甚麼粒子？
- (b) 依照這個衰變系，釷-232 最終會變成鉛-208 (${}_{82}^{208}\text{Pb}$) 這種穩定的核素。在整個衰變系中，共放射出多少 α 粒子和多少 β 粒子？
- (c) 可否從圖 a 推斷出衰變系有沒有放出 γ 輻射？試扼要解釋答案。

題解



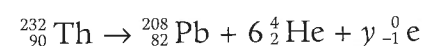
- (b) 放射出 α 粒子的數量

$$= \frac{\text{質量數的改變}}{\alpha \text{ 粒子的質量數}}$$

$$= \frac{232 - 208}{4} = 6$$

設整個衰變系共放射出 y 個 β 粒子。

代表衰變的方程可以寫成：



考慮原子序數。

$$90 = 82 + 6 \times 2 + y \times (-1)$$

$$y = 4$$

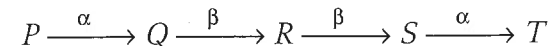
整個衰變系共放射出 4 個 β 粒子。

- (c) 不可以。 γ 發射發生時，原子序數和質量數都維持不變，因此在圖中顯示。

進度評估 2 Q3 (p.54)

預試訓練 1 核素的衰變系 ☆ 香港中學會考 2006 年卷二 Q43

核素 P 經過一系列放射衰變後，產生核素 T 。



下列哪項敘述是正確的？

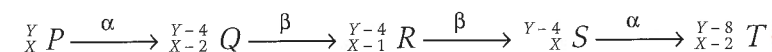
- (1) Q 和 T 是同位素。
 (2) Q 的質量數比 S 大。
 (3) P 的原子序數比 R 多 1。

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

題解

設 P 的原子序數和質量數分別為 X 和 Y 。

衰變系可以寫成：



由於 Q 和 T 的原子序數相同 ($X-2$)，它們是一對同位素。

$\therefore$ (1) 正確。

Q 的質量數 = $Y-4$ = S 的質量數

$\therefore$ (2) 不正確。

R 的原子序數 = $X-1$

P 的原子序數 = $X = R$ 的原子序數 + 1

$\therefore$ (3) 正確。

$\therefore$ 答案是 C。

先為衰變系的第一個核素設定原子序數和質量數，然後寫出餘下核素的原子序數和質量數。這樣有助判斷各敘述是否正確。

常見錯誤

學生或誤以為每當核素放射粒子，質量數都會減少。事實上，質量數在 β 衰變中是維持不變的。

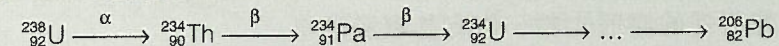
複習 Q15 (p.79)

補充資料 地球內的放射衰變

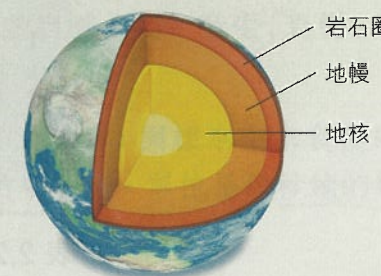
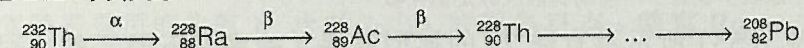
地球內部的溫度非常高，約為攝氏幾千度。科學家認為，當中約有一半的熱是由放射核所產生；放射核發生衰變時，會釋放熱。岩石圈和地幔裏含有大量放射核，如鈾-238 和釷-232。當這些放射核（和子核）衰變，便會釋放出熱。

以下為鈾-238 和釷-232 的衰變系。

鈾-238 的衰變系：

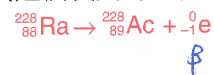


釷-232 的衰變系：

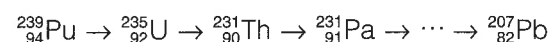


進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.48)。

11 原子核 X 衰變，放射出一粒 α 粒子後成為 ${}^{237}_{93}\text{Np}$ 。下列哪一個是 X？A ${}^{233}_{91}\text{Pa}$ B ${}^{239}_{97}\text{Bk}$ C ${}^{241}_{94}\text{Pu}$ D ${}^{241}_{95}\text{Am}$ 12 鐳-228 (${}^{228}_{88}\text{Ra}$) 發生 β 衰變，成為錒 (Ac)。試寫出代表這個衰變的方程。

13 以下方程顯示釷-239 的衰變系：

(a) 在首三次衰變中，每一次放射出哪種粒子？ α 粒子、 α 粒子、 β 粒子(b) 求整個系列中放射出的 α 粒子數目和 β 粒子數目。 α 粒子：8、 β 粒子：4

$$\alpha: \frac{239-207}{4} = 8 \quad \beta: 84 - 8 \times 2 = 78 \downarrow 4$$

3 放射衰變的特性

核衰變有幾種特性。我們可以用擲骰類比來模擬核衰變，並研究這種現象的特性。

→ 錄像片段 2.1 示範實驗 2a。



錄像片段 2.1



實驗 2a

放射衰變——擲骰類比

Analogy

骰子的數目要足夠多，才可得到準確的統計結果。

確保學生能清楚分辨類比的對象：骰子類比原子核，擲骰次數類比時間。

1 在一個大盒子裏擲 100 粒骰子 (圖 a)。



圖 a

2 拿走擲得「1」的骰子，並記錄拿走的骰子數目。

3 用餘下的骰子重複步驟 2，直至盒中只剩幾粒骰子為止。繪畫餘下的骰子數目對擲骰次數的關係線圖。

討論

1 你和其他組所得的結果是否相同？不是

2 根據線圖，找出骰子由 100 粒「衰變」到 50 粒，以及由 50 粒「衰變」到 25 粒所需的擲骰次數。你有甚麼發現？

在這兩個情況中，擲骰次數都大約是 3.6 次。

要令半數骰子衰變，所需的擲骰次數是個常數。

表 2.2a (見 p.55) 所示為實驗 2a 的典型結果。繪畫餘下骰子數目對擲骰次數的關係線圖，便得到骰子的「衰變」曲線 (圖 2.2f，見 p.55)。

擲骰次數	拿走的骰子數目	餘下的骰子數目
0	0	100
1	11	89
2	18	71
3	17	54
4	8	46
5	9	37
6	9	28
7	4	24
8	4	20
9	2	18
10	2	16

表 2.2a 隨機擲骰子的結果

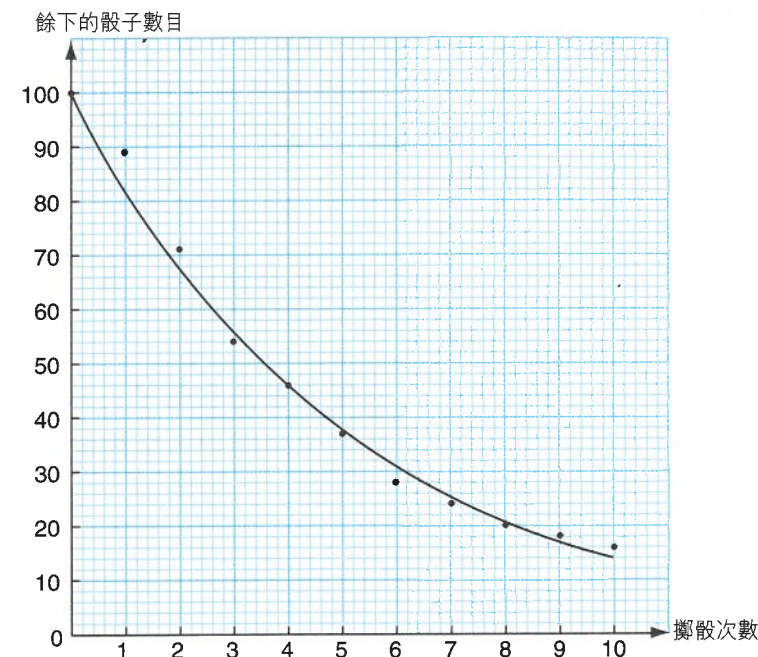


圖 2.2f 隨機擲骰子的「衰變」曲線

骰子代表放射核。擲得「1」的骰子代表「衰變」了的放射核。事實上，骰子的「衰變」曲線與放射源的衰變曲線類似，後者顯示未衰變放射核的數目怎樣隨時間改變。

現在讓我們根據擲骰類比，研究放射衰變的特性。

a 隨機的本質

我們不能預測擲骰後要拿走哪粒骰子。如果重複做實驗，結果往往與第一次實驗不同。出現這個偏差，因為擲骰過程是隨機的。

放射衰變也是一個隨機的過程，我們不能預測在某一刻有哪個原子核會衰變，也不能預測某一個原子核何時發生衰變。

放射衰變是隨機的。

b 放射強度 A

骰子的「衰變」曲線也顯示，餘下骰子的數目減少時，發生「衰變」的骰子數目通常也會隨着減少。

事實上，在每秒鐘內衰變的放射核數目 (衰變率) 與樣本中未衰變的放射核數目成正比。衰變率就是放射源的放射強度，單位是每秒鐘的衰變次數 (s^{-1})，或稱為貝克，簡寫 Bq。

另一個放射強度的單位是居里 (Ci)：

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

學校實驗室採用的放射源放射強度偏低，數量級約為 10^5 Bq 。

讓學生明白每次擲骰後，約有 1/6 骰子「衰變」，也就是說，「衰變」的骰子數目與「未衰變」的骰子數目成正比。

放射強度 A 與未衰變的放射核數目 N 之間的關係，可以用下列方程表示：

$$A = kN$$

其中 k 是衰變常數，單位是 s^{-1} ，數值取決於放射性核素的種類。

衰變常數是在每單位時間內衰變的概率。換句話說，衰變常數是在每單位時間內，衰變放射核的數目與全部放射核數目的比例。



模擬程式 2.3

→ 模擬程式 2.3 展示隨機的衰變過程和半衰期。開始時有 1000 個圓點，代表原子核，圓點變色就代表衰變。衰變開始後，程式會即時顯示已衰變和未衰變的原子核數量，最後畫出衰變曲線，並在曲線上指出半衰期。

c 半衰期

骰子的「衰變」曲線顯示，經過約 3.6 次投擲後，「未衰變」的骰子數目從 100 減至 50；再經過 3.6 次投擲後，數目再從 50 減至 25。由此可知，要使一半「未衰變」的骰子「衰變」，所需的「時間」為 3.6 次投擲。

核衰變中，每過一段特定時間，未衰變的放射核數目就減少一半。這段特定的時間稱為**半衰期**，符號是 $t_{1/2}$ 。圖 2.2g 以鐳-226 的衰變為例子，說明半衰期的意義。

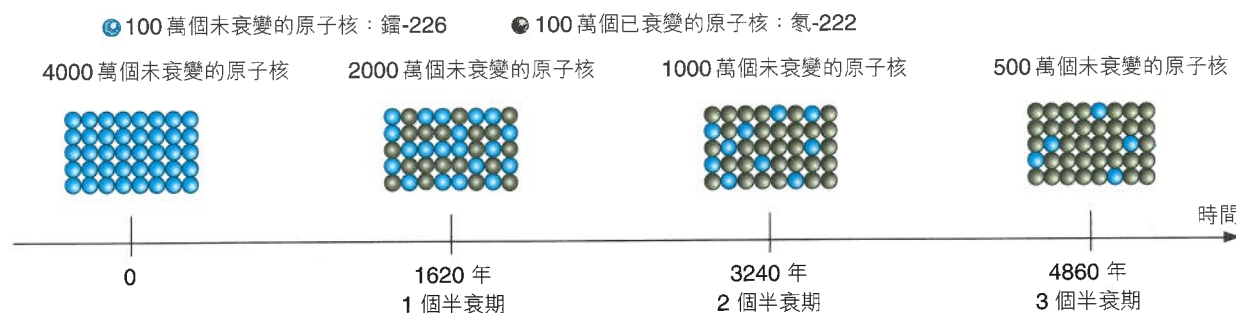


圖 2.2g 鐳-226 的衰變 (半衰期 = 1620 年)

緊記樣本的原子核總數 (已衰變及未衰變原子核的數目之和) 是不變的，一直都是 4000 萬個。假設開始時有 4000 萬個放射核。1620 年後，有 2000 萬個放射核已經衰變，另外的 2000 萬個則還未衰變。再過 1620 年，又有 1000 萬個放射核衰變了。衰變過程就這樣繼續下去，每經過 1620 年，未衰變的放射核數目就減少一半。也就是說，鐳-226 的半衰期是 1620 年。

由於樣本的放射強度與未衰變原子核的數目成正比，樣本中有一半的原子核已衰變時，樣本的放射強度便減半。故此，半衰期亦可定義為樣本的放射強度減半所需的時間。

衰變常數 decay constant 半衰期 half-life

放射性核素的半衰期是該核素的樣本有一半原子核衰變所需的時間，也相等於它的放射強度減半所需的時間。

從放射強度對時間的關係線圖中，可得出半衰期 (圖 2.2h)。

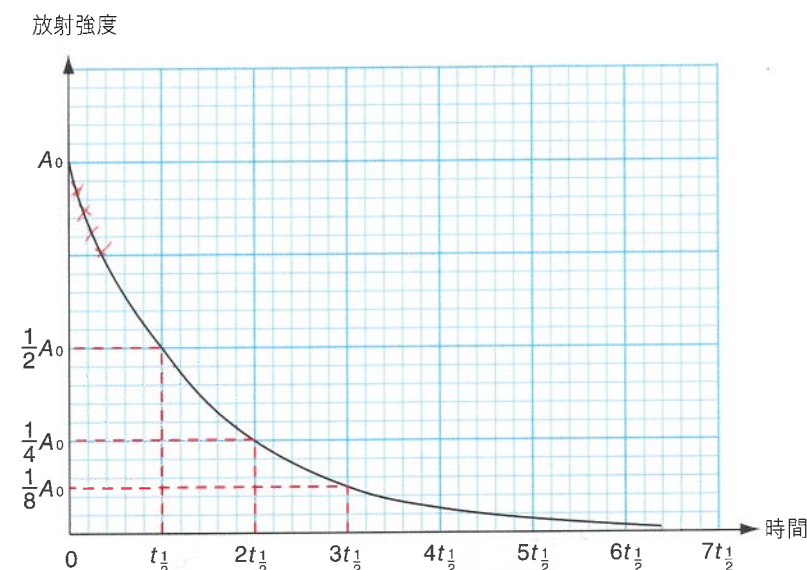


圖 2.2h 放射強度與時間的關係線圖

經過幾個半衰期後，放射強度會降至原來數值的幾個百分比。在起點，把核廢料儲存幾個半衰期，讓它的放射強度降至安全水平才棄置，可對環境造成最少影響。

這情況與擲骰類比相似。我們不能預測某一顆骰子會否擲得「1」，不過可以預測到擲得「1」的骰子佔全部骰子數目的比例。

以下應用程式列出不同元素的同位素，以及同位素的特性，例如原子序數、中子數、可能發生的衰變、半衰期等。程式可於這裏下載：



Android

放射衰變是隨機的，我們不能預測某一個放射核在某一刻會否發生衰變，但可以根據衰變常數和半衰期，預測大量放射核的整體活動。

不同放射性核素的半衰期可以有很大的分別。表 2.2b 列出幾種放射性核素的半衰期。

放射性核素	半衰期
鈾-235	7×10^8 年
碳-14	5730 年
鐳-226	1620 年
鉈-137	30 年
碘-131	8 天
鈉-24	15 小時
氫-220	56 秒
氦-5	7.6×10^{-22} 秒

表 2.2b 幾種放射性核素的半衰期

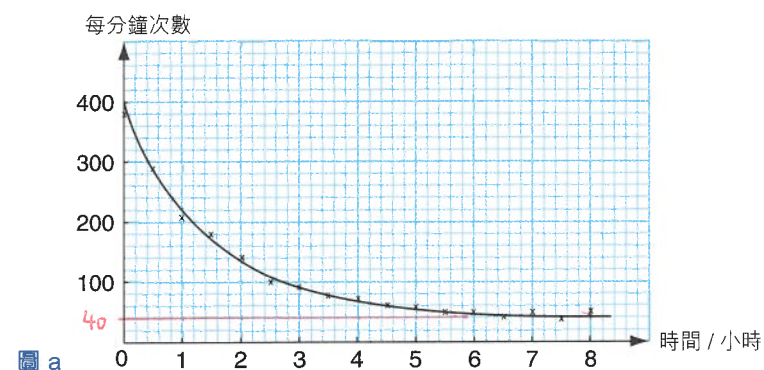
放射性核素的半衰期是很有用的資料，因為：

- 1 它可用來計算核素的放射性和危險性維持多久；
- 2 每種核素都有獨特的半衰期，所以半衰期可用來識別放射性核素。

例題 4 從 $A-t$ 線圖找出半衰期

蓋革—彌勒計數器量度某放射性樣本在一段時間內的放射強度，圖 a 顯示樣本的計數率怎樣隨時間而改變。

- (a) 為甚麼在一段時間後線圖只趨向水平，但卻不下跌至零？
(b) 從線圖估算放射性樣本的半衰期。



題解

- (a) 一段時間後，樣本的放射強度差不多下跌至零。蓋革—彌勒計數器所探測到的是本底輻射。
(b) 根據圖 a，

本底輻射的計數率 = 每分鐘 40 次

樣本的初始計數率 = $400 - 40 =$ 每分鐘 360 次

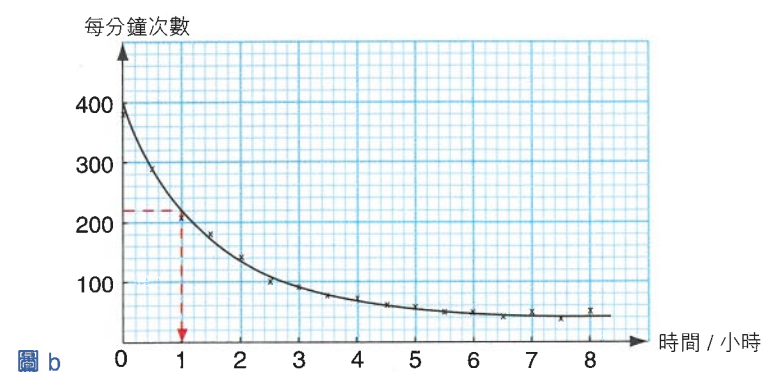
預計在一個半衰期後的計數率

= 樣本初始計數率的一半 + 本底輻射

$$= \frac{360}{2} + 40$$

= 每分鐘 220 次

因此，半衰期約為 1 小時 (圖 b)。



進度評估 3 Q1-2 (p.59)

樣本的計數率
= 計數器錄得的計數率 -
本底輻射的計數率

技巧分析

從 $A-t$ 線圖找出半衰期

- ① 找出本底輻射的計數率。
- ② 計算樣本的初始計數率。
- ③ 找出一個半衰期後樣本的計數率。
- ④ 將①和③的數值相加，得出一個半衰期後錄得的計數率。
- ⑤ 從線圖讀出當錄得的計數率達至④的數值時，時間是多少，這就是半衰期。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

放射強度與半衰期

假設初始放射強度是 A_0 。要計算 n 個半衰期後的放射強度，可用以下方法：

$$1 \text{ 個半衰期後, } A = \frac{1}{2} A_0$$

$$2 \text{ 個半衰期後, } A = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} A_0 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 A_0$$

$$3 \text{ 個半衰期後, } A = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} A_0 = \left(\frac{1}{2}\right)^3 A_0$$

$$\vdots$$

$$n \text{ 個半衰期後, } A = \left(\frac{1}{2}\right)^n A_0$$

例題 5 找出若干半衰期後的放射強度

鈉-24 的半衰期為 15 小時。一個鈉-24 樣本的放射強度是 800 Bq，2.5 天後，它的放射強度是多少？

題解

2.5 天 = 60 小時 = 4×15 小時 (= 4 個半衰期)

每經過 15 小時，鈉-24 的放射強度就減半，所以，

$$800 \text{ Bq} \xrightarrow{15 \text{ 小時}} 400 \text{ Bq} \xrightarrow{15 \text{ 小時}} 200 \text{ Bq} \xrightarrow{15 \text{ 小時}} 100 \text{ Bq} \xrightarrow{15 \text{ 小時}} 50 \text{ Bq}$$

2.5 天後，樣本的放射強度減弱至 50 Bq。

另解：

2.5 天後，樣本的放射強度

$$= 800 \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 50 \text{ Bq}$$

進度評估 3 Q4 (p.59)

另法 3: $k = \frac{\ln 2}{15} = 0.0462 \text{ hr}^{-1}$
 $A = A_0 e^{-kt}$, $A = 800 e^{-0.0462 \times 2.5 \times 24} = 800 \times 0.0625 = 50$

進度評估 3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.48)。

(第 1 至 3 題) 圖 a 為一個放射源的衰變曲線。

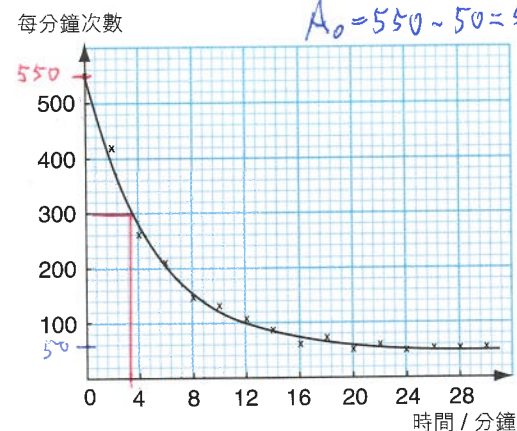


圖 a

21 本底輻射是多少？

- A 每分鐘 20 次
B 每分鐘 30 次
C 每分鐘 50 次
D 每分鐘 80 次

22 估算放射源的半衰期。

- A 2 分鐘
B 3.5 分鐘
C 4.5 分鐘
D 6 分鐘

23 為甚麼數據不是落在曲線上？

- A 量度輻射的誤差很大。
B 放射源的衰變是隨機的。
C 放射強度量度得不夠頻密。

24 碘-131 的半衰期為 8 日。現有 16 g 的碘-131 發生衰變。

- (a) 24 日即多少個半衰期？ $3 = \frac{24}{8}$
 (b) 24 日後，未衰變原子核的質量是多少？2 g
 [提示：16 g $\xrightarrow{8 \text{ 日}}$? g $\rightarrow \dots$] $16 \rightarrow 8 \rightarrow 4 \rightarrow 2$
 (c) 24 日後，已衰變原子核的質量是多少？14 g = 16 - 2
 [提示：原子核的總質量可視為固定不變。]

25 某放射源的初始放射強度為 600 Bq (已修正本底輻射)，40 小時後，放射強度跌至 150 Bq。該放射源的半衰期是多少？20 小時 $600 \rightarrow 300 \rightarrow 150$
 $2T_{1/2} = 40 \text{ hr}$

26 某放射性樣本有 6×10^{12} 個未衰變的原子核，樣本的半衰期為 5 日。10 日前，樣本中有多少個未衰變的原子核？ 2.4×10^{13}
 $N = N_0 e^{-kt}$ $k = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 0.1386 \text{ day}^{-1}$
 $6 \times 10^{12} = N_0 e^{-0.1386 \times 10}$
 $6 \times 10^{12} = N_0 \times 0.25$

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

EX 可以這樣推導指數式衰變定律：

衰變率 $\left[\frac{dN}{dt}\right]$ 與餘下的原子核數目 (N) 成正比。因此

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

$$\frac{dN}{N} = -kdt$$

對等式兩邊積分：

$$\ln\left[\frac{N}{N_0}\right] = -kt$$

$$N = N_0 e^{-kt}$$

d 指數式衰變

科學家經過詳細的分析，發現衰變曲線可以用指數式衰變函數來表示。在時間 t ，未衰變原子核的數目 N 是：

$$N(t)$$

$$N = N_0 e^{-kt} \quad (*)$$

其中 N_0 是未衰變原子核的初始數目， k 是衰變常數。

由於放射強度 A 與未衰變原子核的數目 N 成正比，方程 $(*)$ 可重寫為：

$$A = A_0 e^{-kt}$$

其中 A_0 是初始放射強度。

經過一個半衰期 $t_{1/2}$ ，未衰變的原子核數目減半。根據方程 $(*)$ ，

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-kt_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-kt_{1/2}}$$

$$e^{kt_{1/2}} = 2$$

$$kt_{1/2} = \ln 2$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

$$k = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

e

e 是一個常數，稱為歐拉常數，量值大約等於 2.72。它是數學與科學領域中一個很重要的常數。

自然對數

自然對數 (ln) 是以 e 為底的對數，通常寫作 $\ln x$ 或 $\log_e x$ 。它可定義為：
 $\ln e^x = x$

指數式衰變

一個量發生指數式衰變時，它會在固定時距 T 內以固定的比例減少。例如，

當 $t = 0$ ， $N = N_0$ (或 $N_0 e^{-k(0)}$)

當 $t = T$ ， $N = N_1 = N_0 e^{-kT}$

當 $t = 2T$ ， $N = N_2 = N_0 e^{-2kT}$

當 $t = 3T$ ， $N = N_3 = N_0 e^{-3kT}$

$$\text{所以：} \frac{N_1}{N_0} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_3}{N_2} = \dots = e^{-kT}$$

$$\log 10^2 = \log 100$$

$$2 = 2$$

$$\log 10^x = \log 1000$$

$$x = 3$$

$$\ln e^x = \ln 2.71828$$

$$x = 1$$

$$e^1 = 2.71828$$

例題 6 指數式衰變

某放射性樣本的放射強度在一天內由 6×10^8 Bq 下降至 5.5×10^8 Bq。

- 求放射性樣本的衰變常數。
- 求樣本的半衰期。
- 樣本的放射強度要經過多少時間才會由 6×10^8 Bq 下降至 10^8 Bq?

題解

(a) 根據 $A = A_0 e^{-kt}$ ， $\frac{A}{A_0} = e^{-kt}$

$$\therefore \ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = \ln(e^{-kt}) = -kt$$

$$k = -\frac{1}{t} \times \ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = -\frac{1}{24 \times 60 \times 60} \times \ln\left(\frac{5.5 \times 10^8}{6 \times 10^8}\right)$$

$$= 1.007 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \approx 1.01 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

(b) 半衰期 $= \frac{\ln 2}{k} = \frac{\ln 2}{1.007 \times 10^{-6}} = 688\,000 \text{ s} \approx 7.97 \text{ 天}$

(c) 根據題 (a)， $\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = -kt$

$$t = -\frac{1}{k} \times \ln\left(\frac{A}{A_0}\right)$$

$$= -\frac{1}{1.007 \times 10^{-6}} \times \ln\left(\frac{10^8}{6 \times 10^8}\right)$$

$$= 1\,780\,000 \text{ s} \approx 20.6 \text{ 天}$$

樣本的放射強度要 20.6 天才下降至 10^8 Bq。

▶ 進度評估 4 Q1 (p.61)

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.48)。

31 放射性樣本的衰變常數是 $1.28 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。

(a) 試找出樣本的半衰期。 $5.42 \times 10^4 \text{ s}$

$$\left[\text{提示：} t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = ? \right] T_{1/2} = \frac{\ln 2}{1.28 \times 10^{-5}} = 54200 \text{ s}$$

(b) 如果樣本的放射強度為 3×10^5 Bq，一天後它的放射強度是多少？ $9.93 \times 10^4 \text{ Bq}$

$$\left[\text{提示：} A = A_0 e^{-kt} = ? \right] A = 3 \times 10^5 e^{-1.28 \times 10^{-5} \times 24 \times 3600} = 99300 \text{ Bq}$$

32 考慮方程 $A = A_0 e^{-kt}$ 。

(a) 如果 $t = 200 \text{ s}$ ， $k = 9.63 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，

$A = 3.2 \times 10^8 \text{ Bq}$ ，求 A_0 。 $2.20 \times 10^9 \text{ Bq}$

(b) 如果 $t = 20$ 分鐘， $A_0 = 3.2 \times 10^8 \text{ Bq}$ ，

$A = 3.8 \times 10^7 \text{ Bq}$ ，求 k 。 $1.78 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

(c) 如果 $A_0 = 7.4 \times 10^9 \text{ Bq}$ ， $A = 5.2 \times 10^8 \text{ Bq}$ ， $k = 2.41 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，求 t 。 $1.10 \times 10^5 \text{ s}$

$$5.2 \times 10^8 = 7.4 \times 10^9 e^{-2.41 \times 10^{-5} t}$$

$$\ln\left(\frac{5.2 \times 10^8}{7.4 \times 10^9}\right) = \ln(e^{-2.41 \times 10^{-5} t})$$

$$-2.6554 = -2.41 \times 10^{-5} t$$

習題與思考 2.2

1, 2 1 下列哪項有關放射衰變的描述是正確的？

- (1) 子核的半衰期總比母核的半衰期長。
 (2) 核素發生 α 衰變後，質量數和原子序數都會減少。
 (3) β 衰變中，圍繞原子核轉動的電子會放射出來，成為 β 粒子。

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

1 2 下列哪一個母核在發生 β 衰變後會成為 $^{238}_{94}\text{Pu}$ ？

- A $^{237}_{93}\text{Np}$
 (B) $^{238}_{93}\text{Np}$
 C $^{239}_{94}\text{Pu}$
 D $^{238}_{95}\text{Am}$

2 3 下列有關放射衰變特性的敘述，哪項是正確的？

- (1) 我們不能預測某一個原子核何時發生衰變。
 (2) 我們不能預測在某一時刻有哪個原子核會衰變。
 (3) 我們不能預測在某時段內有多少原子核會衰變。

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

2 4 下列有關放射性樣本衰變率的敘述，哪一項是正確的？

- A 衰變率的數值是隨機的，而且無法計算。
 B 衰變率會隨樣本中未衰變的原子核數目減少而增加。
 (C) 衰變率的單位可以是貝克。
 D 衰變率與樣本中已衰變的原子核數目成正比。

2 5 某放射性樣本的初始計數率為每分鐘 500 次（已修正本底輻射），半衰期為 5 小時。30 小時後，它的計數率應該是多少？

- (A) 每分鐘 8 次
 B 每分鐘 83 次
 C 每分鐘 167 次
 D 每分鐘 333 次

★ 6 放射性核素 X 有 83 個質子和 130 個中子。下列哪些可能是 X 的子核（圖 a）？

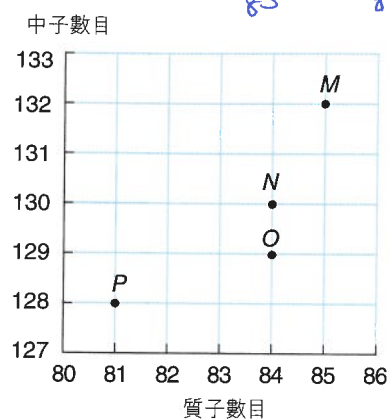


圖 a

- A M 和 N
 B M 和 O
 C N 和 P
 (D) O 和 P

★ 7 圖 b 所示為兩個放射性樣本 P 和 Q 的衰變曲線。

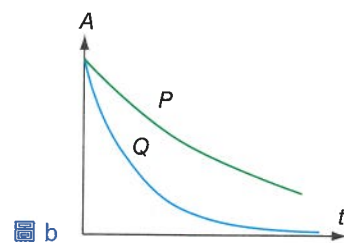


圖 b

下列哪項敘述是正確的？

- (1) P 的半衰期比 Q 長。
 (2) P 的衰變常數比 Q 大。
 (3) 經過很長的時間後，P 和 Q 的放射強度大致相等。

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

★ 8 鈉-24 的半衰期為 15 小時。鈉-24 的放射強度由 100 Bq 減少至 6.25 Bq，要經過多少時間？

- A 30 小時
 (B) 60 小時
 C 5 天
 D 10 天

2 9 擲骰類比可以用來模擬放射衰變的過程。下列各項代表甚麼？

- (a) 骰子 放射核
 (b) 被拿走的骰子 已衰變的放射核
 (c) 擲骰次數 時間

1 10 砷-219 ($^{219}_{83}\text{At}$) 衰變後成為鉍-215 ($^{215}_{83}\text{Bi}$)。

- (a) $^{219}_{83}\text{At}$ 發生哪種衰變？ α 衰變
 (b) $^{215}_{83}\text{Bi}$ 並不穩定，因此繼續衰變，放射出兩個 α 粒子和三個 β 粒子，直到蛻變成穩定的核素。試找出該穩定核素的原子序數和質量數。

★ 11 放射性核素 X-137 (原子序數 55) 發生 β 衰變後成為核素 Y。

- (a) 試寫出代表上述衰變的方程。
 (b) 核素發生上述衰變後，再放出 γ 射線。
 (i) 試舉出一個原因，解釋為甚麼有 γ 射線放出。
 (ii) 衰變系可以用質量數對原子序數的關係線圖來表示。這個線圖可以顯示 γ 發射嗎？為甚麼？不可以

★ 12 圖 c 顯示核素 A 的衰變系。

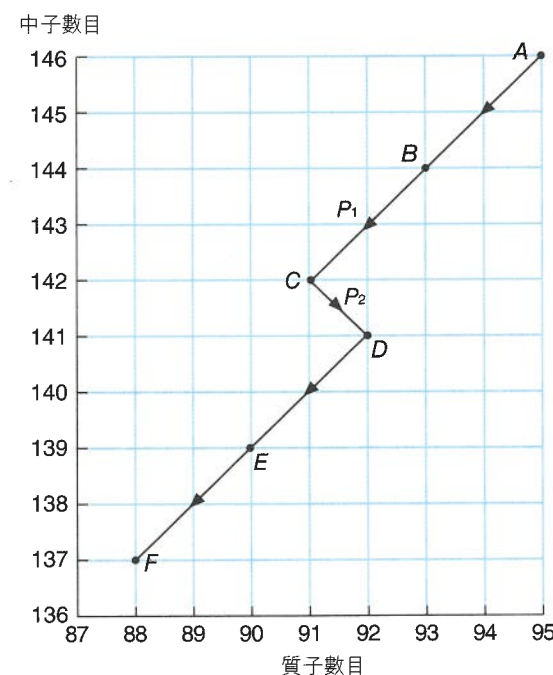


圖 c

- (a) 在放射衰變 P_1 和 P_2 中，放射出甚麼粒子？
 (b) 寫出表示由 E 衰變成 F 的方程。
 (c) 衰變系中有沒有同位素？如有同位素，把它們寫出來。沒有

★ 13 某放射性樣本的放射強度為 4×10^3 Bq，半衰期為 4 小時。

- (a) 求它的衰變常數。
 (b) 2 小時後，它的放射強度是多少？

★ 14 某放射性樣本中，未衰變原子核的數目在 1 小時內減少 $\frac{1}{3}$ 。

- (a) 求樣本的衰變常數。
 (b) 在這段時期中，樣本的放射強度怎樣改變？

★ 15 圖 d 顯示某衰變系的一部分。

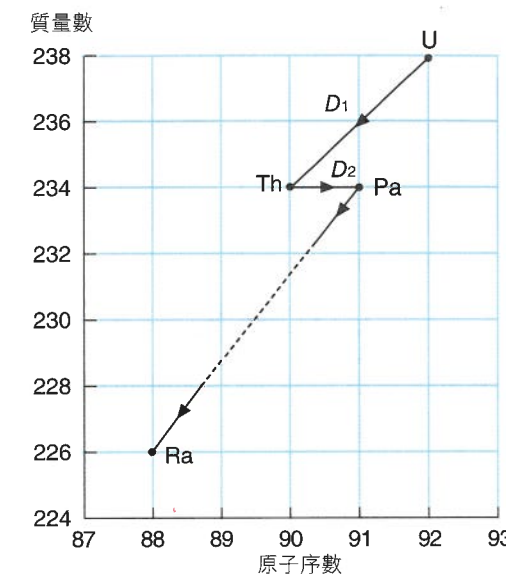


圖 d

- (a) 試用方程表示放射衰變 D_1 和 D_2 。
 (b) 餘下的衰變系（由 Pa-234 衰變成 Ra-226）會放射出多少個 α 粒子和多少個 β 粒子？

★ 16 圖 e 所示為某放射性物質的衰變曲線。

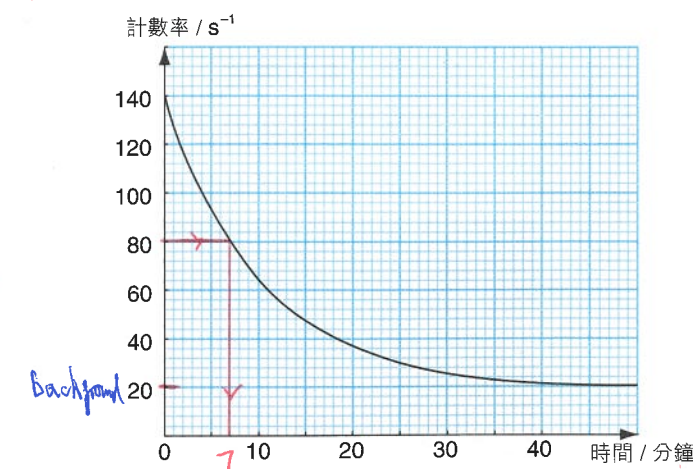


圖 e

- (a) 試以放射強度來解釋半衰期。
 (b) 求該放射性物質的半衰期。
 (c) 求該放射性物質的衰變常數。
 (d) 物質的放射強度要多久才會減少 10%？

2.3

放射性同位素的應用與輻射安全

起點

絕種長毛象再現

長毛象是冰河時期的動物，大約在一萬年前絕種。一副完整的長毛象遺骸於本世紀出土，科學家相信這隻長毛象約在四萬年前死去。



科學家怎樣推算出長毛象的年代？參閱第 65 頁。

✓ 本節重點

- 1 放射性同位素的應用
- 2 輻射安全

永久凍土

1 放射性同位素的應用

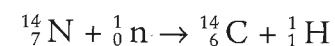
只有少許天然物質具有放射性。不過，用粒子（例如低速中子）撞擊某些元素的原子核，便可製造出人工的放射性同位素，這個過程稱為人工嬗變。

放射性同位素無論是天然還是人工的，在考古、醫療、工業和農業等方面都有廣泛用途。至於哪一種放射性同位素適合用於哪一個特定範疇，則取決於同位素的半衰期和穿透能力。

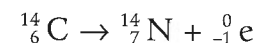
a 考古

i 碳-14 年代測定法

碳-14 年代測定法有助測定古代遺骸的年代。宇宙射線進入大氣時會產生中子，當這些中子撞擊氮-14 原子核，便會形成碳-14 (C-14)：



碳-14 具放射性，會放出 β 輻射，半衰期為 5730 年。



人工嬗變 artificial transmutation 碳-14 年代測定法 carbon-14 dating

每 1 g 的碳之中有 1.6×10^{-12} g 的碳-14。



圖 2.3a 碳-14 在活馬體內的濃度與大氣中的濃度相同

這裏解答了起點的問題。長毛象遺骸的年代可用碳-14 年代測定法來推斷。

如果生物在 60 000 年前已死去，遺骸中剩下的 C-14 便會太少，令結果不準確。

大氣中，具放射性的碳-14 濃度恆定不變。生物（例如一匹馬）不斷吸入和呼出二氧化碳，因此體內含有固定濃度的碳-14 (圖 2.3a)。生物死去後，身體不再吸收碳，同時，體內的碳-14 發生衰變，濃度因而日漸減少。只要測定生物遺骸內碳-14 的放射強度，就可以找出生物在哪個年代死去 (圖 2.3b)。

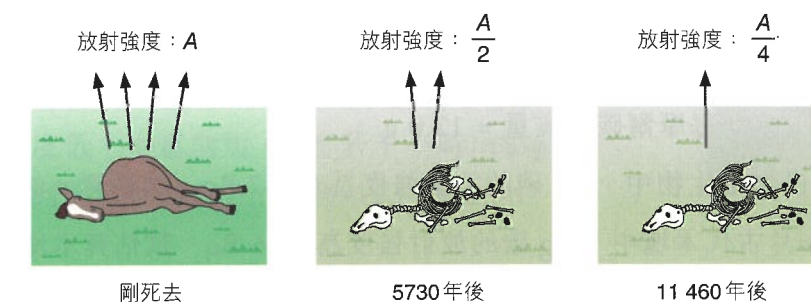


圖 2.3b 量度碳-14 的放射強度，可推斷出古代遺骸的年代

介乎幾百萬年前至大約 60 000 年前的遺骸，都可以用碳-14 年代測定法來推測它的年代。碳-14 年代測定法只適用於已死去的生物。

碳-14 年代測定法量度古代遺骸中碳-14 的放射強度，從而找出遺骸的年代。

ii 地質年代測定法

衰變系

某些岩石和化石含有少量鈾-238 和鈾-235 等天然放射性同位素，這些成分最終會衰變成鉛-206 和鉛-207。只要比較鉛和鈾的比例，就可以推斷出岩石或化石的年代 (圖 2.3c)。

鈾同位素的半衰期都長達 10^9 年，而地球約在 10^8 至 10^{10} 年前誕生，因此，這種放射性年代測定法可以用來找出地球生物進化和地質歷史這些重要資料。



圖 2.3c 應用放射性年代測定法，可推算出位於西貢東的岩石早在 1 億 4 千萬年前形成

預試訓練 2

碳-14 年代測定法 ☆ 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q9

活着的生物含有固定比例的碳-12 和碳-14，碳-12 是穩定的，而碳-14 具放射性。碳-14 的衰變常數為 $3.84 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ 。

(a) 假設活生物中每 n 個碳-12 原子就有一個碳-14 原子。

(i) 求活生物中 1 g 的碳內有多少個碳原子。

(1 分)

已知：阿佛加德羅數 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ，

每摩爾碳的質量 = 12.0 g

(ii) 已知活生物中，1 g 碳的放射強度為 0.267 Bq。試估算 n 的值。

(3 分)

Ex (b) 在一片古代木塊中，1 g 碳的放射強度為 0.06 Bq。試估算木塊的年代。

(2 分)

(c) 這個方法可以用來鑑定年代超過 100 萬年的遺骸嗎？試扼要解釋原因。

(3 分)

題解

(a) (i) 碳原子的數目

$$= \frac{6.02 \times 10^{23}}{12.0} = 5.02 \times 10^{22}$$

(ii) 活生物中，1 g 碳內的碳-14 總數

$$= \frac{5.02 \times 10^{22}}{n}$$

根據 $A = kN$ ，

$$A = k \times \frac{5.02 \times 10^{22}}{n}$$

$$n = k \times \frac{5.02 \times 10^{22}}{A}$$

$$= 3.84 \times 10^{-12} \times \frac{5.02 \times 10^{22}}{0.267}$$

$$= 7.22 \times 10^{11}$$

(b) 根據 $A = A_0 e^{-kt}$ ，

$$\text{木塊的年代} = -\frac{1}{k} \times \ln \left(\frac{A}{A_0} \right)$$

$$= -\frac{1}{3.84 \times 10^{-12}} \times \ln \left(\frac{0.06}{0.267} \right)$$

$$= 3.89 \times 10^{11} \text{ s} (= 12\,300 \text{ 年})$$

(c) 不可以，

因為 100 萬年比 174 個半衰期還要長。

實際上，遺骸已不含碳-14。

1A

1M

1M

1A

1M

1A

1A

1A

1A

$$\begin{aligned} \text{碳的摩爾數} &= n = \frac{1 \text{ g}}{12.0 \text{ g}} \\ \text{碳原子的數目} &= nN_A \\ &= \frac{1}{12.0} \times 6.02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

常見錯誤

學生或忘記了 k 的定義（每單位時間內衰變的放射核佔全部放射核數目的比例）。

碳-14 的半衰期為 5730 年。

$\therefore 100 \text{ 萬年} > 174 \text{ 個半衰期}$

經過 174 個半衰期，

$$kt = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \times 174 t_{1/2} = 174 \ln 2$$

$$N = N_0 e^{-174 \ln 2}$$

$$= 4.18 \times 10^{-53} N_0$$

事實上，碳年代測定法可測定不超過 6 萬年的遺骸，大約為 10 個半衰期。

► 複習 Q35 (p.84)

b 醫療

放射性同位素廣泛應用在醫療方面。

i 示蹤物

把少量放射性同位素作為示蹤物注入人體後，只要探測同位素放射出來的輻射，就可得知體內器官有沒有不正常的狀況。示蹤物一般都是放射強度低、半衰期短（只有若干小時）的 γ 放射源，例子包括鎬-99m 和碘-123（圖 2.3d）。



圖 2.3d 利用鎬-99m 作肝掃描

E4 冊第 3 課詳細討論放射性核素如何應用在醫學造影方面。

歷史點滴

放射性藥物

1934 年，居里夫人的女兒依倫娜和她的丈夫製造出第一種人工放射性同位素，這項研究是發展放射性藥物的重要基石。放射性藥物一般會注入人體，靠衰變來治療疾病。

ii 放射療法

γ 射線會應用於放射療法中，用來殺死癌細胞。放射治療儀器以癌變部位為中心轉動（圖 2.3e），讓 γ 放射源（如鈷-60）放出的 γ 射線集中在癌變部位，殺死癌細胞。由於周圍的健康組織比患處所接受的輻射劑量少得多，所受的損害較少。

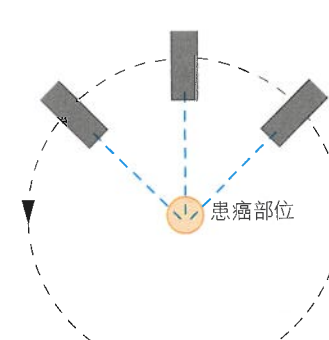


圖 2.3e 放射治療器放出 γ 射線，殺死癌細胞



iii 消毒

γ 射線的穿透能力強，可以用來殺滅細菌和病毒。醫院會用 γ 射線照射注射器和其他用具來消毒（圖 2.3f）。鈷-60 也可應用於這方面。



圖 2.3f 醫療用具放置好後，經 γ 射線照射來消毒

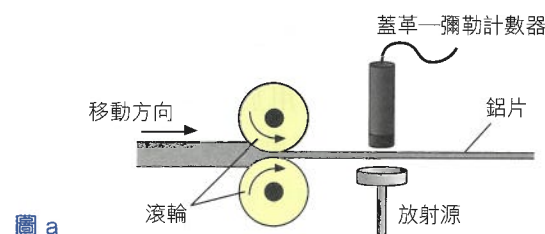
c 工業

i 厚度計

厚度計可以探測紙張或薄金屬片的厚度變化，方法是在 β 放射源和探測器之間拉動薄片，並量度穿過薄片的輻射強度，量度結果會顯示薄片的厚度有沒有改變。

例題 7 厚度計

某工廠利用厚度計來檢測鋁片，以確保它的厚度維持在 3 mm (圖 a)。厚度計內，鋁片置於放射源和蓋革—彌勒計數器之間，計數器可探測到鋁片厚度的變化，從而上下改變滾輪位置，以調整鋁片的厚度。



- 假設鋁片較正常薄，蓋革—彌勒計數器的讀數會怎樣改變？
- 厚度計應該使用 α 、 β ，還是 γ 放射源？試簡單解釋為甚麼另外兩種放射源並不合適。
- 半衰期長的放射源是否適用於厚度計？為甚麼？

題解

- 讀數會增加。
- β 放射源。
 α 粒子不能穿透鋁片； γ 射線的穿透力太強，穿過鋁片後，計數器的讀數也不會明顯減低。
- 適用。放射源的半衰期長，就不用經常替換。

▶ 複習 Q27 (p.82)

ii 煙霧探測器 (火警警報)

有些煙霧探測器有一個電離室，內裏有一個 α 放射源和兩塊帶電金屬板 (圖 2.3g，見 p.69)。來自放射源的 α 粒子會把電離室內的空氣電離，令金屬板之間形成電流。如果有煙霧進入探測器，煙霧粒子會與離子互相碰撞，阻礙離子運動，電流便會下降，警鐘因而響起。

煙霧探測器一般都用半衰期長的 α 放射源，因此，在煙霧探測器的使用期限內，電離水平也不會明顯下降。

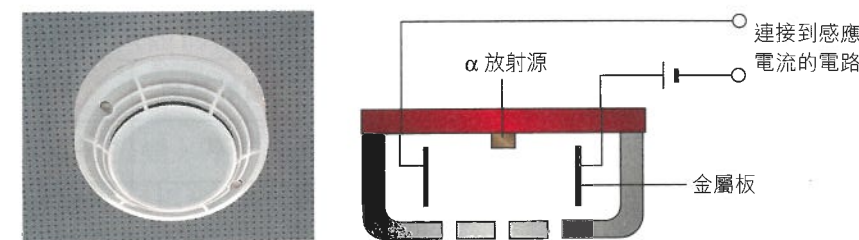


圖 2.3g 煙霧探測器和它的簡圖

iii 示蹤物

半衰期較短的 γ 放射源 (如鈉-24) 可用來探測地下輸油管道和水管是否出現滲漏。如果有滲漏，在地面探測到的輻射量會有所改變 (圖 2.3h)。

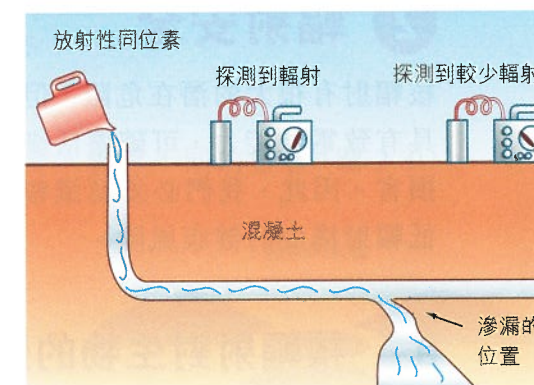


圖 2.3h 利用放射源探測地下管道的滲漏

d 農業

i 示蹤物

β 或 γ 放射源可作為示蹤物混入肥料。植物吸收肥料，並把肥料傳送至各部分。只要量度釋出的輻射，便可確定植物所需肥料的分量。

ii 食物輻照技術

γ 射線可以用來殺滅食物中的細菌、霉菌及昆蟲 (圖 2.3i 及 2.3j)，延長食物的保質期。



圖 2.3i 在本港出售的輻照食物須加上標籤



圖 2.3j 國際食品輻照標誌

食物經輻照處理後，並不會變成具放射性。要知道更多有關輻照食品的安全性，可參閱食物安全中心的報告：

http://www.cfs.gov.hk/tc_chi/programme/programme_rafs/files/RA_37_Safety_of_Irradiated_Food_C_final.pdf



進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.64)。

1 試寫出下列各種放射性同位素的一個用途。

放射性同位素	輻射種類	半衰期	用途
M	α	432.2 年	煙霧探測器
N	β	29.12 年	厚度計
O	β	5730 年	碳-14 年代測定法
P	γ	5.27 年	放射療法

2 輻射安全

核輻射有很大的潛在危險，但我們卻無時無刻也接觸到核輻射。核輻射具有致電離能力，可破壞活細胞；吸收過量核輻射更會對身體造成嚴重損害。因此，我們必須認識輻射對人體的影響，並採取安全措施，以減低輻射構成的健康風險。

a 核輻射對生物的影響

細胞接觸核輻射時，當中的原子或會被電離。離子容易發生化學反應，能破壞健康的細胞，並干擾細胞的功能，甚至導致癌症。

假設放射源進入了體內。在這情況下， α 輻射造成的傷害最嚴重，原因是它的致電離能力最強； β 和 γ 輻射較少機會被細胞吸收，所造成的傷害會較輕微 (圖 2.3k(i))。

然而，若放射源置於體外，因為 γ 輻射能穿透人體組織，直達體內深處，因此最為危險。 β 輻射也可以穿過皮膚，影響體內細胞。 α 輻射則可被皮膚阻擋，對身體造成的傷害較少 (圖 2.3k(ii))。

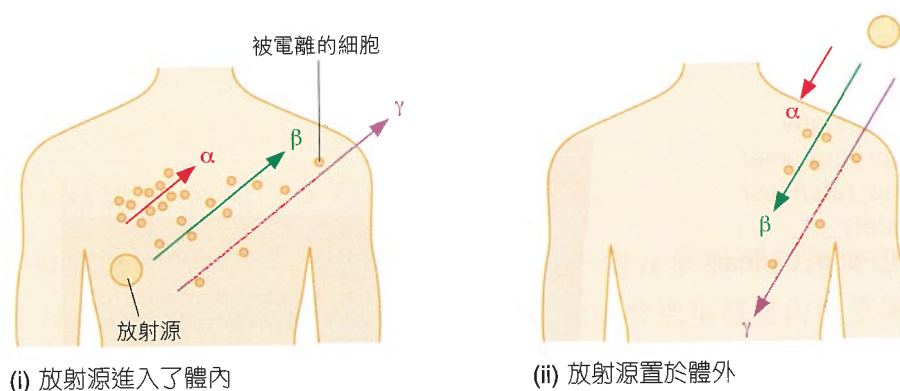


圖 2.3k 輻射對人體的致電離效應

1 Sv 是非常大的劑量，較常用的單位是 mSv 和 μ Sv。

人體有些部位特別容易受輻射破壞，要反映這因素，便須把當量劑量乘以組織加權因子 (例如，生殖器官：0.2，肺和胃：0.12，皮膚：0.01)。人體所有組織和器官的加權當量劑量之和，就是有效劑量，它的單位也是 Sv。

b 輻射劑量

貝克是量度物質放射強度的單位，與物質發射的輻射有關。不過，要評估輻射源對人體的傷害程度，就應該考慮人體所吸收的輻射量，即吸收劑量。

在上一部分提過，不同種類的輻射對人體的影響各異，要反映這種分別，吸收劑量須乘以輻射加權因子 (表 2.3a)，所得的乘積稱為當量劑量，量度單位是希沃特 (Sv)。 α 粒子具有強大的致電離能力，因此對生物所造成的傷害也最嚴重。

輻射種類	輻射加權因子
X 射線、 γ 射線和 β 輻射	1
α 輻射	20

表 2.3a 輻射加權因子

不同的輻射劑量對人體有不同的影響 (圖 2.3l)。

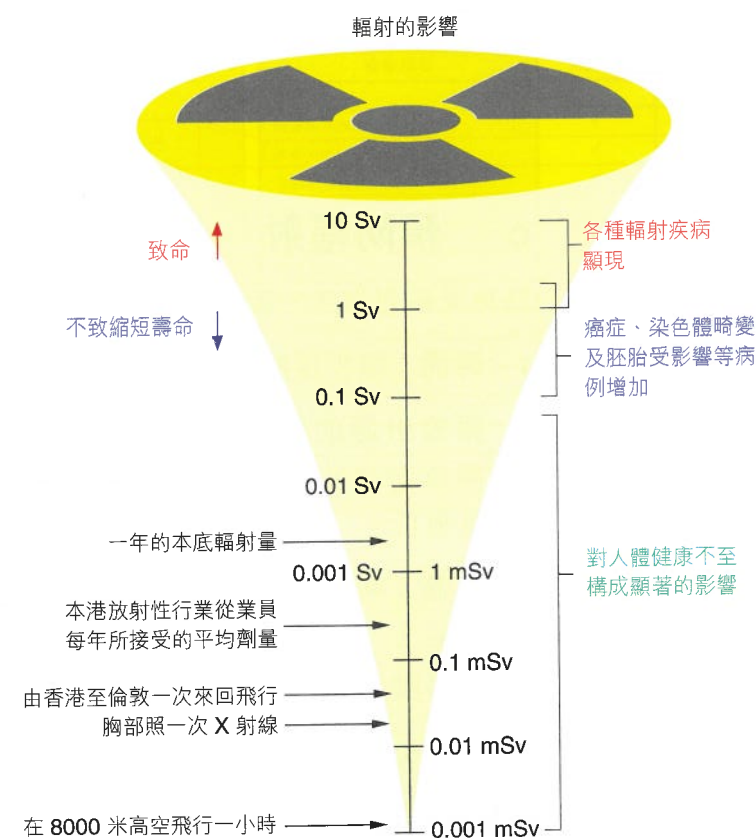


圖 2.3l 各種輻射劑量對人體的影響 (資料來源：衛生署)

我們應當注意，輻射的影響是會累積起來的。低劑量的輻射或不會造成即時影響，但長期吸收低劑量輻射，亦同樣會損害健康。

輻射會嚴重損害身體，我們應留意自己吸收了多少劑量。根據香港法例，從事與輻射有關工作的人員每年吸收的劑量限於 20 mSv，而公眾則限於 1 mSv。這些數字並不包括本底輻射。

每年吸收的本底輻射平均約為 3 mSv，其中包括 2.4 mSv 的天然輻射和 0.6 mSv 的人造輻射。表 2.3b 所示為不同本底輻射來源的輻射劑量。

天然輻射源	
食物	0.29 mSv
氡氣	1.26 mSv
宇宙射線	0.39 mSv
地面輻射	0.48 mSv
人造輻射源	
醫療	1 mSv
其他	0.0122 mSv

表 2.3b 不同本底輻射來源的每年劑量（資料來源：聯合國核輻射效應科學委員會 2008 年報告）

可使用香港天文台網頁內的輻射劑量計算器，估算每年所受的輻射劑量。

http://www.hko.gov.hk/education/cyber_exh_hall/chi/exhibit11_play_chi.htm



c 預防輻射

為免受輻射傷害，我們應遵守下列保護原則：

- 1 時間：減少接觸輻射的時間。
- 2 與放射源的距離：遠離放射源。與放射源的距離愈大，輻射的劑量愈低。
- 3 屏蔽：利用屏障阻擋輻射。鉛、混凝土、水等物料都可以有效阻隔輻射（圖 2.3m）。
- 4 密封：確保放射源與環境隔絕。

政府除密切監測本底輻射外，也應透過教育提高公眾對預防輻射的意識。此外，核電廠的操作人員必須嚴格執行安全和保養程序，並謹慎處理核廢料，把發生意外的可能減至最低。



圖 2.3m 鉛製的保護衣物

鉛-210 會發生 α 衰變，半衰期為 140 天；而鉛-210 會發生 β 衰變，半衰期為 22 年。

進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.64）。

- 21 一般人平均每年吸收多少本底輻射？
A 1 Sv B 0.1 Sv
C 3 mSv D 0.3 μ Sv
- 22 是非題：接受一次肺部 X 射線檢查，所吸收的輻射劑量遠高於在一年內所吸收的本底輻射劑量。（對/錯）

STSE 健康檢查有益健康？

定期檢查身體既能了解自己的健康狀況，也有助及早發現疾病，減低患上危疾的威脅。

市面上有林林種種的健康檢查計劃，有些聲稱涵蓋了全面的檢驗項目。檢驗項目較多的計劃是否一定比較少的好？此外，一些檢驗項目如肺部 X 光檢查等須使用致電離輻射，但吸收過量輻射會增加患癌的風險。究竟決定是否參加健康檢查計劃時，應考慮甚麼條件？

AHC Medical Centre 週年健康檢查計劃		
檢查項目	A計劃	B計劃
健康評估	✓	✓
糖尿病測試	✓	✓
肺部X光	✓	✓
血細胞檢查	✓	✓
眼瞼檢查	✓	
腹部X光（腎臟、輸尿管、膀胱）	✓	
肝炎測試	✓	✓
尿液檢查	✓	✓
甲狀腺檢查	✓	✓
心電圖檢查	✓	
電腦掃描骨質密度測量	✓	
癌症指標測試	✓	
身體檢查報告	✓	✓

生活中的物理 香煙的輻射

吸煙損害健康，原因之一是香煙含有鉛-210 和鈾-210 等放射性物質。泥土和肥料含有氡，氡衰變後成為鉛-210 和鈾-210。煙葉會直接從土壤吸收鉛-210 和鈾-210，另一方面，由於煙葉表面佈滿細毛，這些物質由塵埃帶到煙葉後，會積聚在煙葉上。它們與其他物質結合，形成不溶的化合物，所以無法在香煙生產過程中移除，這就是它們能進入吸煙者肺部的原因。

如果每天吸 30 支香煙，所吸收的輻射大約為每年 80 mSv。研究顯示，90% 與煙草相關的癌症都是由煙草輻射導致的。



習題與思考 2.3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.64)。

1 下列哪一個放射源適用於食物輻照？

- A 半衰期短的 α 放射源
 B 半衰期長的 α 放射源
 C 半衰期短的 β 放射源
 (D) 半衰期長的 γ 放射源

1 2 下列哪一種物質適合使用碳-14 年代測定法來推算年代？

- (A) 煤
 B 岩石
 C 古代銅製煮食器具
 D 古代陶瓷花瓶

2 3 下列哪種輻射，在當量劑量為 0.5 Sv 時對人體造成的傷害最大？

- A α 輻射
 B β 輻射
 C γ 輻射
 (D) 它們會造成相同程度的傷害。

★ 4 表 a 列出在某些情況下吸收的輻射劑量。

2

	輻射劑量
來回香港至倫敦的航程	每次 0.09 mSv
使用電腦	每年 0.01 mSv (每天使用一小時)
接受胸肺 X 射線檢查	每次 0.14 mSv

表 a

試將下列各項活動按吸收的輻射劑量由小至大排列。

- (1) 來回香港至倫敦的航程兩次
 (2) 一年內每天使用電腦 7 小時
 (3) 接受一次胸肺 X 射線檢查

- A (1)、(2)、(3)
 B (2)、(1)、(3)
 (C) (2)、(3)、(1)
 D (3)、(2)、(1)

★ 5 下列哪種做法可以減少吸收輻射？

2

- (1) 戒煙
 (2) 外遊時不乘飛機，改乘火車或船
 (3) 若因工作需要而接觸到輻射，便佩戴裝有底片的襟章

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

★ 6 有些煙霧探測器內置兩塊金屬板及一個 α 放射源 (圖 a)。在正常情況下，放射源放射出來的 α 粒子會在金屬板之間形成電流。當煙霧粒子進入探測器，電流減少，警鐘因而響起。

1

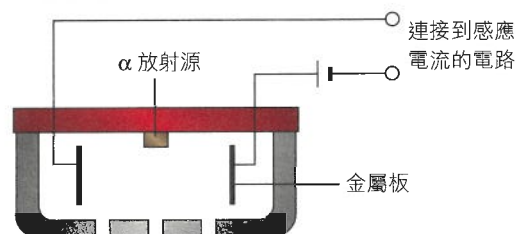


圖 a

(a) 試舉出一個原因，解釋為甚麼煙霧粒子進入探測器時電流會減少。

(b) 試解釋為甚麼煙霧探測器不使用 γ 放射源。

(c) 半衰期短的放射源是否適用於煙霧探測器？為甚麼？不適用

★ 7 (a) 為甚麼核輻射是危險的？

2

(b) 如果核放射源置於人體以外的地方，三種核輻射中，哪種最危險？哪種構成的危險最小？試解釋原因。 γ 輻射， α 輻射(c) 如果核放射源置於體內，哪種核輻射最危險？哪種構成的危險最小？試解釋原因。 α 輻射， γ 輻射

★ 8 一塊古代動物骸骨含有的 20 g 碳 (包括碳-12 及碳-14)，放射強度為 0.5 Bq。假設活生物中每 1 g 碳每分鐘衰變 15 次，試估計骸骨的年代。取碳-14 的半衰期為 5730 年。19 000 年

Ext

1

總結 2

詞彙

1 核子 nucleon	p.44	13 衰變產物 decay product	p.48
2 原子序數 / 質子數 atomic number / proton number	p.44	14 α 衰變 α decay	p.49
3 質量數 / 核子數 mass number / nucleon number	p.45	15 β 衰變 β decay	p.50
4 核素 nuclide	p.45	16 γ 發射 γ emission	p.50
5 放射性核素 radionuclide	p.45	17 衰變曲線 decay curve	p.55
6 同位素 isotope	p.45	18 放射強度 activity	p.55
7 放射性同位素 radioisotope	p.46	19 貝克 (Bq) becquerel	p.55
8 放射衰變 radioactive decay	p.48	20 衰變常數 decay constant	p.56
9 蛻變 disintegration	p.48	21 半衰期 half-life	p.56
10 嬗變 transmutation	p.48	22 碳-14 年代測定法 carbon-14 dating	p.64
11 母核 parent nucleus	p.48	23 放射療法 radiotherapy	p.67
12 子核 daughter nucleus	p.48	24 當量劑量 equivalent dose	p.71
		25 希沃特 (Sv) sievert	p.71

課文摘要

2.1 原子模型

1 原子中 (圖 a)，原子核由質子和中子組成，位於原子的中心，電子圍繞原子核轉動，原子的其餘部分是甚麼也沒有的空間。

2 質子和中子統稱為核子。

3 以符號表示原子 (圖 b)：



圖 b

4 具有特定質量數和原子序數的原子核稱為核素，具有放射性的核素稱為放射性核素。

5 同位素屬於同一元素，有相同的質子數目 (原子序數)，但有不同的中子數目 (質量數)。具有放射性的同位素稱為放射性同位素。

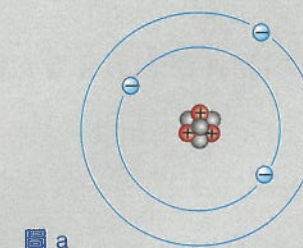


圖 a

2.2 放射衰變

6 放射衰變(或蛻變)由不穩定的原子核引起。在這個過程中，原子核會放射 α 粒子、 β 粒子或 γ 輻射，從而變得較穩定。

7 α 衰變： ${}_Z^AX \rightarrow {}_Z^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$

8 β 衰變： ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$

9 γ 發射： ${}_Z^AX^* \rightarrow {}_Z^AX + \gamma$

10 母核：發生衰變的原子核

子核：衰變後母核所變成的原子核

衰變產物：衰變過程中形成的所有原子核 / 粒子

11 原子核會發生一系列的衰變，直到成為穩定的原子核為止。

12 放射衰變是隨機的。

13 放射強度是每秒鐘蛻變的次數，它的單位是貝克 (Bq)，或是每秒鐘次數 (s^{-1})。它與未衰變原子核數目的關係，可用以下方程表示：

$$A = kN$$

其中 k 是衰變常數，單位是 s^{-1} 。

14 衰變常數 k 是在每單位時間內衰變的概率。換句話說，它是在每單位時間內，衰變放射核的數目與全部放射核數目的比例。

15 放射性核素的半衰期是該核素的樣本有一半原子核衰變所需的時間，也相等於它的放射強度減半所需的時間。

Ext 16 未衰變原子核數目 N 與時間 t 的關係可以用以下指數式衰變函數表示：

$$N = N_0 e^{-kt}$$

放射強度的變化也可用以下方程表示：

$$A = A_0 e^{-kt}$$

Ext 17 半衰期 $t_{1/2}$ 與衰變常數 k 的關係可用以下方程表示：

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

2.3 放射性同位素的應用與輻射安全

18 放射性同位素應用廣泛，例如用於碳-14 年代測定法、放射治療、厚度計、煙霧探測器等。

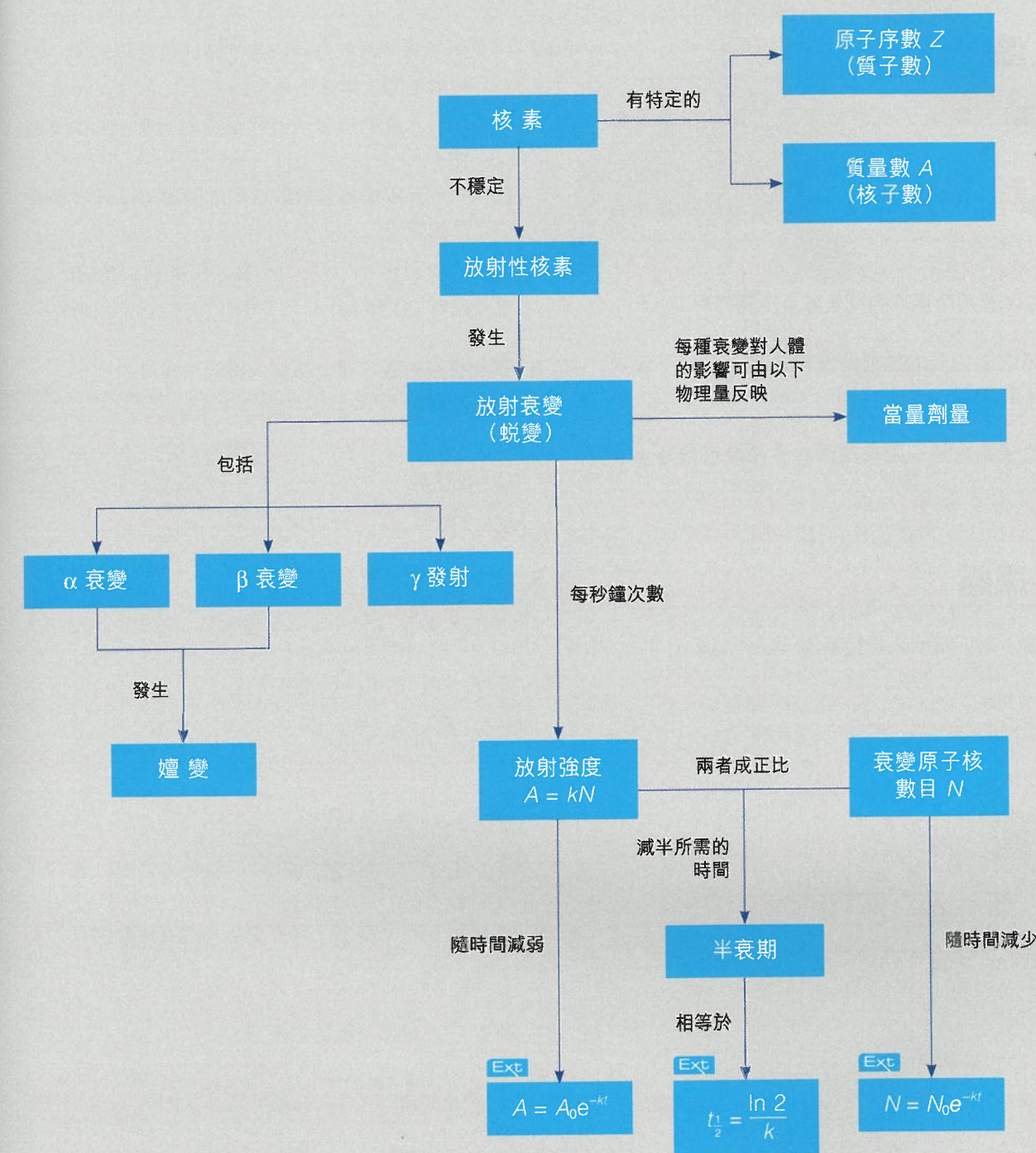
19 碳-14 年代測定法量度古代遺骸中碳-14 的放射強度，從而找出遺骸的年代。

20 當量劑量的量度單位為希沃特 (Sv)。本港每年本底輻射的平均劑量約為 3 mSv。

21 核輻射對人體有害，原因是它的穿透能力和致電離能力會造成傷害。

22 放射源必須小心處置。

概念圖



複習 2

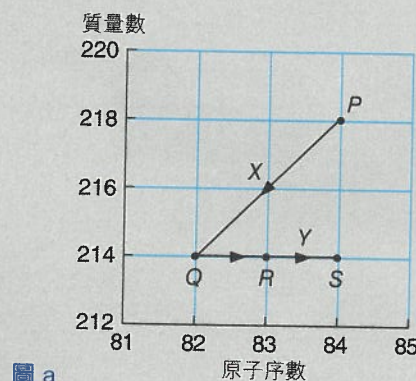
概念重溫

(第1至4題)判斷以下各項敘述是正確的,還是錯誤的。

- ☆ 香港中學會考 1991 年卷一 Q7(b)(ii)
 2.2.1 半衰期為 10 小時的放射源,放射強度比半衰期為 50 年的放射源長。F
 ☆ 香港中學會考 1987 年卷二考試報告點 8
 2.2.2 放射源的半衰期是樣本的質量減半所需的時間。F
 ☆ 香港中學會考 2004 年卷一 Q9(e)
 2.3.3 只要將穿透能力弱的放射源置於人體外,就不會對身體造成損害。F
 ☆ 香港高級程度會考 2008 年卷二 Q5(a)(i)
 2.2.4 我們不能預測在某一段時間內有多少放射核發生衰變。F

多項選擇題

(第5至6題)以下顯示某衰變系的一部分(圖a)。



2.1.5 下列哪一組核素是同位素?

- A P 和 Q
 B P 和 R
 C P 和 S
 D Q 和 S

2.2.6 衰變 X 和 Y 必定放出哪種輻射?

- | | X | Y |
|---|------|------|
| A | α 輻射 | γ 輻射 |
| B | β 輻射 | γ 輻射 |
| C | α 輻射 | β 輻射 |
| D | γ 輻射 | α 輻射 |

2.1.7 下列哪項有關放射性同位素的敘述是正確的?

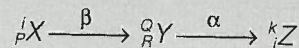
- (1) 放射性同位素是不穩定的。
 (2) 同一元素的所有放射性同位素都有相同的半衰期。
 (3) 同一元素的所有放射性同位素都可以藉 β 衰變互相嬗變。

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

2.3.8 哪一種輻射置於體外時對人體的影響最大?

- A X 射線
 B α 輻射
 C β 輻射
 D γ 輻射

★ 9 以下是一個衰變系:



P、Q 和 R 的值分別是多少?

- | | P | Q | R |
|---|-----|-----|-----|
| A | j-2 | i-2 | j |
| B | j-1 | i | j+1 |
| C | j | k-2 | j-1 |
| D | j+1 | k+4 | j+2 |

★ 10 放射性核素 X 發生下列衰變後,成為核素 Z。

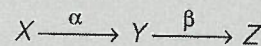
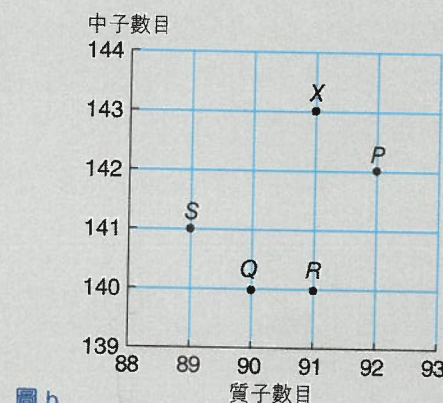


圖 b 中下列哪一個是核素 Z?



- A P
 B Q
 C R
 D S

★ 11 圖 c 所示為某放射性核素在一段時間內的計數率。 2.1.15 香港中學會考 2006 年卷二 Q43

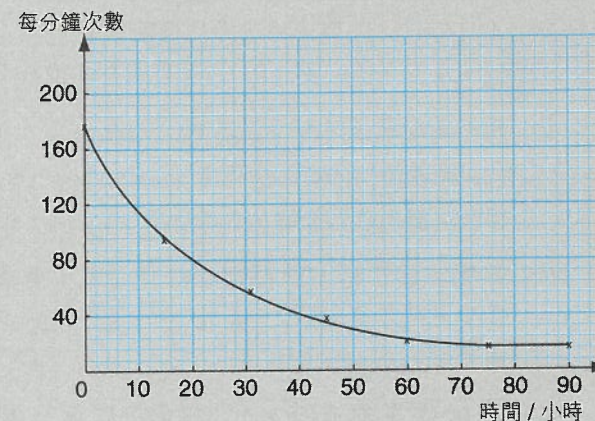


圖 c

該放射性核素的半衰期是多少?

- A 14 小時
 B 18 小時
 C 25 小時
 D 75 小時

★ 12 某放射性樣本的放射強度在兩小時內減少了 20%。若放射強度減少 70%, 需經過多少時間?

- A 5 小時
 B 7 小時
 C 9 小時
 D 11 小時

★ 13 某放射性樣本的初始計數率為 R。一個半衰期後,計數率減少至每分鐘 493 次。再過一個半衰期,計數率變為每分鐘 268 次。假設本底輻射的計數率不可略去,試估計 R 的值(單位為每分鐘的次數)。

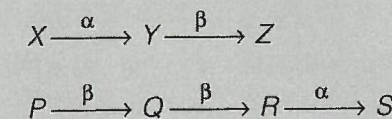
- A 718
 B 943
 C 986
 D 1072

參看 例題 4 (p.58)

★ 14 放射源起初有 M 個未衰變的原子核,放射強度為 A。過了時間 t, 有 N 個原子核衰變成穩定的子核,而放射源的強度變為 a。放射源的衰變常數為 k。下列哪一條方程式是正確的?

- A $A = kN$
 B $A = k(M - N)$
 C $a = kN$
 D $a = k(M - N)$

參看 p.57



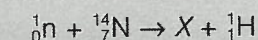
上述兩個衰變系列, P 和 Y 是同位素。下列哪些核素的配對互相是同位素?

- (1) X 和 R
 (2) Y 和 S
 (3) Z 和 Q
 A 只有 (1) 和 (2) (12%)
 B 只有 (1) 和 (3) (24%)
 C 只有 (2) 和 (3) (31%)
 D (1)、(2) 和 (3) (32%)

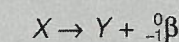
□ 考生不擅於涉及多個衰變系列的計算。在上題中,考生未能找出所有的同位素。

2.2.16 香港中學會考 2007 年卷二 Q25

在大氣上層,由於宇宙射線的作用而產生中子。這些中子和氮核相互作用,反應如下所示:



其中元素 X 會發出 β 粒子。反應如下所示:



最後產物 Y 是甚麼?

- A ${}_{14}^{14}C$
 B ${}_{13}^{13}C$
 C ${}_{14}^{14}N$ (78%)
 D ${}_{17}^{13}N$

2.2.17 香港高級程度會考 2009 年卷二 Q44

在 β 衰變中,原子核內的一粒中子會轉化成一粒質子,和以 β 粒子形式發射出來的一粒電子。放射性核素鈾 ${}_{94}^{244}Pu$ 經過一連串的 α 和 β 衰變而變成鉛 ${}_{82}^{208}Pb$ 。在整個過程中,一個 ${}_{94}^{244}Pu$ 核內有多少中子會經歷上述轉化?

- A 3
 B 6 (56%)
 C 9
 D 12

2.2.18 香港中學會考 2010 年卷二 Q23

一放射性同位素樣本的初始放射強度是 960 Bq (每秒衰變數)。2 分鐘後它的放射強度跌至 240 Bq。額外需要多少時間,它的放射強度才會變成 30 Bq?

- A 2 分鐘
 B 3 分鐘 (66%)
 C 4 分鐘
 D 5 分鐘

Ext 19 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q43

2.2

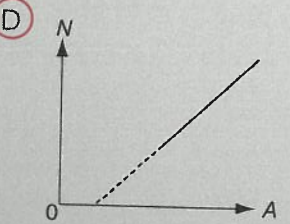
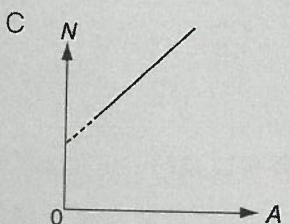
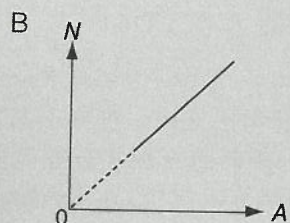
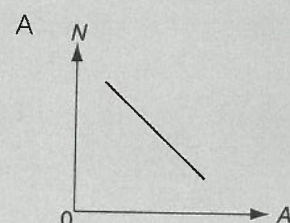
放射性核素 X 和 Y 的半衰期分別為 2 小時和 4 小時。 X 和 Y 皆衰變為穩定的子核。最初樣本 P 和 Q 分別有相同數目核素 X 和核素 Y 的原子。下列哪些敘述是正確的？

- (1) 樣本 P 最初的放射強度高於樣本 Q 。
- (2) 8 小時後，樣本 P 比樣本 Q 有較多活性核。
- (3) 8 小時後，在樣本 P 內一粒 X 的原子核在下一分鐘衰變的機會大於樣本 Q 內一粒 Y 的原子核。

- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3) (67%)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

2.1 20 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q36

一個元素的同位素有不同的質量數 A 和中子數 N ，下列哪一個 N - A 圖表正確顯示某元素的 N 與 A 的關係？



(51%)

問答題

21 綜合題 鎔-241 (Am-241) 原子核衰變時放射出 α 粒子，成為釷 (Th) 原子核。鎔-241 的半衰期為 432 年。

- (a) 鎔和釷的原子序數分別為 95 和 93。
 (i) 鎔原子核內有多少個中子？**146** (1 分)
 (ii) 試寫出這個衰變的方程。 (1 分)
- (b) 某樣本起初有 10^{10} 個鎔-241 原子核。要經過多少時間才會剩下 2.5×10^9 個未衰變的鎔-241 原子核？**864 年** (3 分)
- (c) 另一樣本有 2.25×10^6 個鎔-241 原子核。1728 年前，樣本內有多少個鎔-241 原子核？ **3.6×10^7** (2 分)

22 綜合題 某奶品廠利用放射源來監察盒裝鮮奶的容量 (圖 d)。

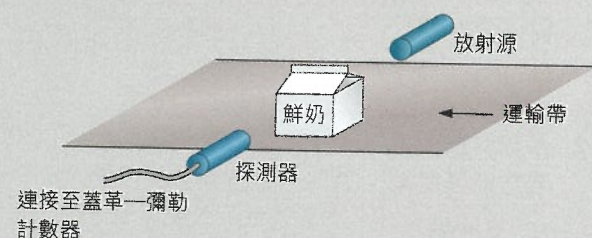


圖 d

- (a) 放射源應放出哪種核輻射？ **β 輻射** (1 分)
- (b) 放射源 X 和 Y 同樣放出題 (a) 提及的核輻射，圖 e 顯示它們的放射強度怎樣隨時間改變。

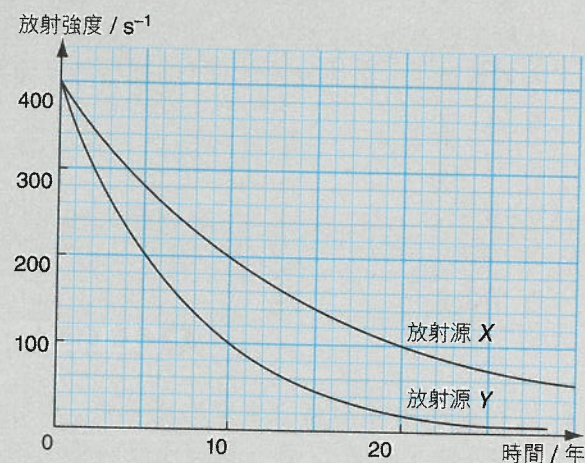


圖 e

- (i) 試找出放射源 X 和 Y 的半衰期。**10 年、5 年** (2 分)
- (ii) 哪個放射源較適合用來監察盒裝鮮奶的容量？試簡單解釋。 **X** (2 分)

★ 23 帶放射性的樣本 S 含有某種放射性同位素。現利用蓋革-彌勒計數器量度樣本的放射強度，圖 f 顯示計數率怎樣隨時間改變。

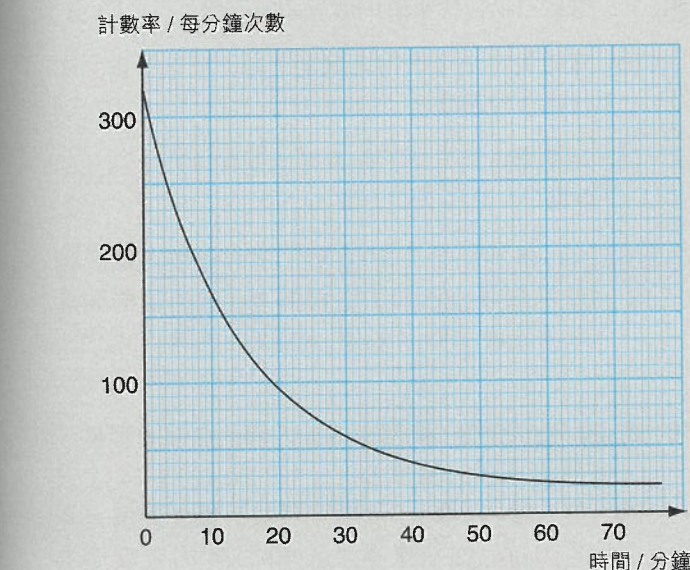


圖 f

- (a) 由圖 f 估計本底輻射。**每分鐘 20 次** (1 分)
- (b) 說明半衰期的意思，並找出該放射性同位素的半衰期。**9.5 分鐘** (3 分)
- (c) 當 $t = 0$ ，另一個樣本 T 的放射強度比樣本 S 強一倍。樣本 T 和樣本 S 都含有相同的放射性同位素。樣本 T 在甚麼時候的計數率會下跌至每分鐘 75 次？**28.5 分鐘** (3 分)

★ 24 2.3 放射源可以用來探測地下輸油管道的裂縫 (圖 g)，方法是把少量放射源加入管道的石油中，如果有裂縫出現，石油就會從裂縫流出，因此在裂縫附近的地面就會探測到輻射。

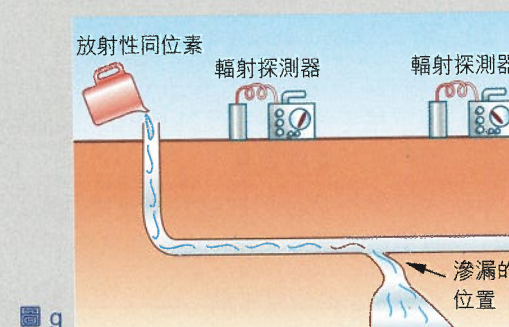


圖 g

- (a) 哪種放射源 (α 、 β 或 γ) 適合作上述用途？試解釋另外兩種不適合的原因。 **γ 放射源** (2 分)
- (b) 現有兩種放出適合輻射的放射源，半衰期分別是 30 年和 8 小時。哪一種放射源適合作上述用途？試扼要解釋答案。 (2 分)

★ 25 2.2 鉀-42 (K-42) 衰變時放出 β 粒子，變成鈣-42 (Ca-42)。鉀-42 的半衰期約為 12 小時。現有 10 mg 的純鉀-42 樣本放在蓋革-彌勒計數器前面。

- (a) 寫出衰變的方程。鉀的原子序數是 19。 (1 分)
- (b) 試簡繪出樣本的計數率隨時間變化的關係線圖。在線圖中指出樣本的半衰期及本底輻射。 (3 分)
- (c) 一名學生認為，如果把樣本放在磅秤上，就可以得出和題 (b) 線圖相似的重量-時間關係線圖，由該線圖同樣可以得出樣本的半衰期。你同意嗎？試扼要解釋原因。**不同意** (3 分)

★ 26 放射性核素 A 經過一系列的衰變後成為穩定的核素 D (圖 h)。放射性核素 A 的半衰期為 140 億年。

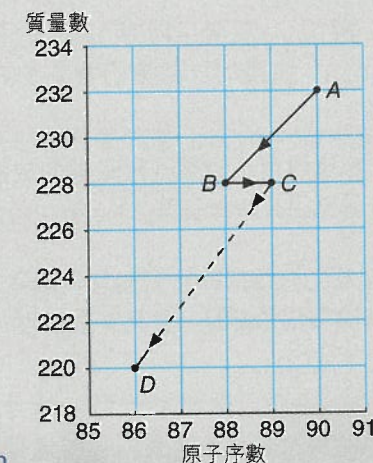


圖 h

- (a) 核素 A 包含多少個中子？**142** (1 分)
- (b) C 衰變成為 D 時，會放出多少個 α 粒子？**2** (1 分)
- (c) B 和 C 是同位素嗎？試解釋答案。**不是** (2 分)
- (d) 老師在蓋革-彌勒管前放置 A 的樣本，並記錄樣本的放射強度三次 (表 a)：

	計數率 / 每分鐘次數
第一次	1217
第二次	1186
第三次	1170

表 a

一名學生認為， A 的數量下降是計數率下降的主要原因。試解釋你是否同意他的意見。**不同意** (3 分)

- ★ 27 一間工廠利用放射源監察鋁片的厚度 (圖 i)。鋁片的標準厚度是 2 mm。

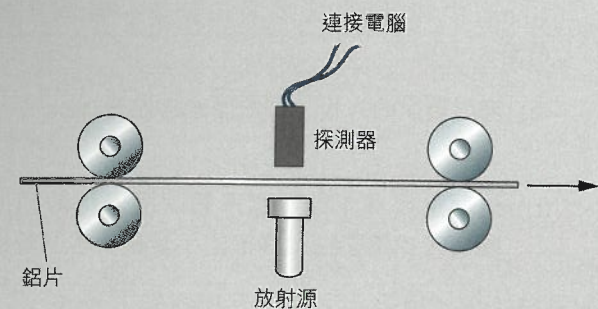


圖 i

- (a) 試建議一種適合作以上用途的放射源 (α 、 β 或 γ)，並簡單解釋原因。 **β 放射源** (3 分)
- (b) 一塊厚度符合標準的鋁片通過探測器時，錄得的計數率是每秒 60 次。鋁片厚度大於 2 mm 時，計數率會有甚麼變化？**減少** (1 分)
- (c) 工廠工人察覺，即使鋁片的厚度正好是 2 mm，錄得的計數率仍會有少許波動。為甚麼？ (1 分)
- (d) 工廠應使用半衰期長還是短的放射源？試舉出一個原因來解釋答案。**長** (2 分)

- ★ 28 甲狀腺是位於頸部的一個器官。碘-131 ($^{131}_{53}\text{I}$) 可用於甲狀腺掃描 (圖 j)，它具有放射性，會衰變成穩定的氙 ($^{131}_{54}\text{Xe}$)。



圖 j

- (a) (i) 碘-131 會發生哪種衰變？ **β 衰變** (1 分)
- (ii) 寫出該衰變的方程。 (1 分)

- Ext (b) 甲狀腺掃描前，醫護人員把少量碘-131 注入病人體內。它的初始放射強度是 $7.00 \times 10^7 \text{ Bq}$ ，6 小時後，放射強度下降至 $6.85 \times 10^7 \text{ Bq}$ 。

- (i) 求碘-131 的衰變常數。 **$1.00 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$** (2 分)
- (ii) 求碘-131 的半衰期。**8.00 天** (2 分)

- (c) 掃描後，病人應在家逗留數天，試舉出一個原因解釋為甚麼病人要這樣做。 (1 分)

- (d) 寫出另外兩個會在日常接觸到的放射源。 (2 分)

- ★ 29 考古學家有時用碳-14 年代測定法找出古代遺骸的年代。碳-14 的半衰期為 5730 年。

綜合題

- (a) 試描述碳-14 如何在大气中形成，並解釋為甚麼碳-14 在生物中的濃度固定不變。 (3 分)
- (b) 這種測定法可以用來測定這本物理教科書的年代嗎？為甚麼？**不可以** (2 分)
- (c) 為甚麼這種方法不能準確地測定 10^5 年以前的物質？ (1 分)

- Ext (d) 一片木塊所含的 20 g 碳，放射強度為每分鐘 50 次蛻變。已知活生物中 1 g 碳的放射強度為每分鐘 120 次蛻變。試找出木塊的年代。**32 000 年** (2 分)

- ★ 30 鈉-24 帶放射性，能用來估計人體內血液的容量。一名醫生把放射強度為 $2 \times 10^4 \text{ Bq}$ 的鈉-24 注入病人的血管內 (圖 k)。30 小時後，醫生從病人身上抽取 5 cm^3 血液樣本。已知鈉-24 的半衰期為 15 小時。

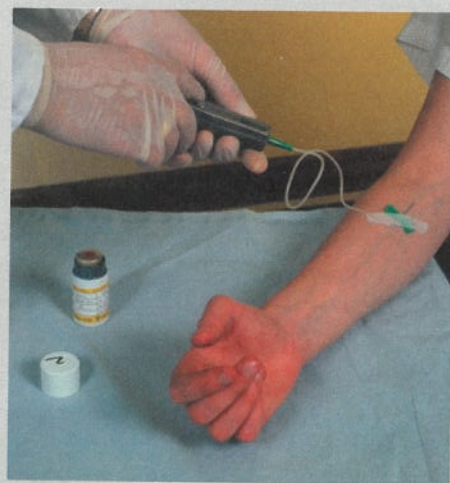


圖 k

- (a) (i) 30 小時後，鈉-24 的放射強度是多少？ **$5 \times 10^3 \text{ Bq}$** (3 分)
- (ii) 血液樣本的放射強度為 6 Bq。試估計病人體內血液的總容量。 **$4.17 \times 10^3 \text{ cm}^3$** (2 分)
- (iii) 為甚麼不在注射放射性物質後立即為病人抽取血液樣本？試舉出一個原因。 (1 分)

- Ext (b) (i) 求鈉-24 的衰變常數。 **$1.28 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$** (1 分)
- (ii) 如果某樣本中有 10^8 個鈉-24 核，那麼 20 小時後，有多少個已衰變的鈉-24 核？ **6.03×10^7** (2 分)

參看 例題 5 (p.59)

2.2 31 SQA Standard Grade Credit 2006 Q5

某放射源可作醫療用途。圖 l 顯示它在一段時間內的放射強度。

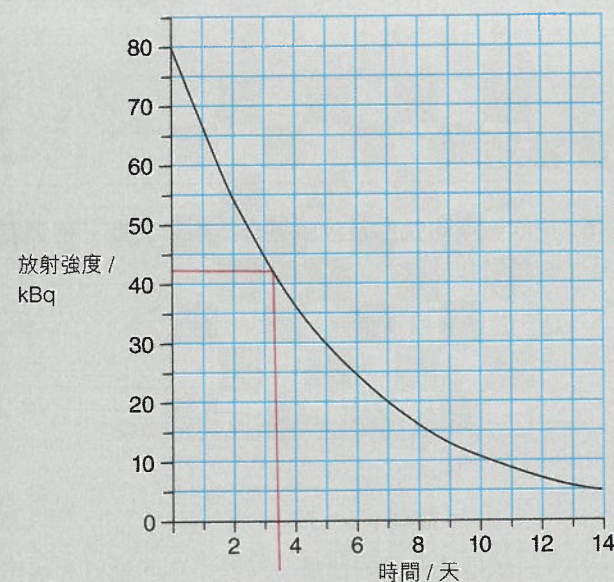


圖 l

- (a) 根據圖 l，計算放射源的半衰期。**3.5 天** (1 分)
- (b) 試描述怎樣運用圖 m 的儀器來量度放射源的半衰期。無須考慮本底輻射的影響。 (2 分)

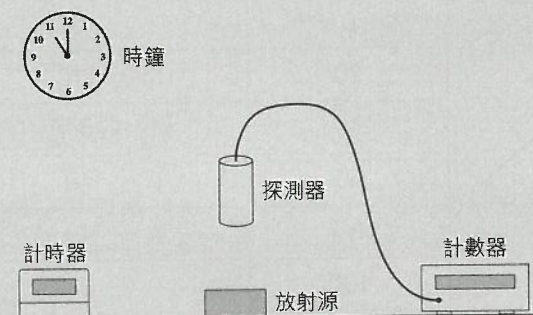


圖 m

- (c) 醫護人員要在 5 月 17 日上午 9 時 30 分把放射源的樣本注入病人體內，樣本的放射強度必須是 12.5 kBq。準備樣本時，樣本的初始放射強度是 200 kBq。醫護人員應該在哪一天哪個時間去準備樣本？**5 月 3 日上午 9 時 30 分** (2 分)

2.2 32 ☆ Physics A Unit 2824，略去(c)(i)部
OCR GCE Jan 2007 Q6

這條題目涉及同位素銻 ($^{212}_{83}\text{Bi}$) 的衰變。

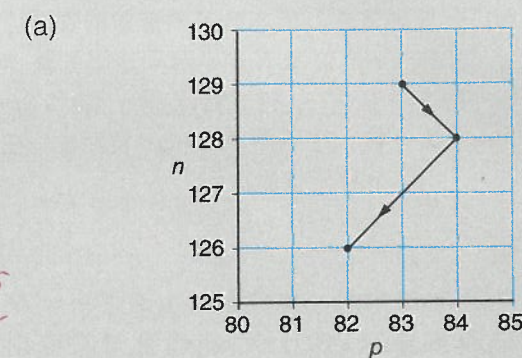


圖 n

圖 n 顯示中子數 n 與質子數 p 關係線圖中的一小部分。銻的同位素衰變成鉛的同位素，當中經過的兩個過程在圖 n 中以兩個箭號表示。以下核方程描述這兩個衰變，試完成方程。

- (i) $^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{212}_{84}\text{Po} + \text{ } ^{-1}_0\text{e}$ (2 分)
- (ii) $^{212}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{208}_{82}\text{Pb} + \text{ } ^4_2\text{He}$ (2 分)

- (b) 你現在有一個 $^{212}_{83}\text{Bi}$ 的樣本，要做實驗去驗證這個樣本會出現題 (a)(i) 及 (ii) 中的衰變。試簡單描述實驗步驟。 (4 分)

- Ext (c) $^{212}_{83}\text{Bi}$ 的衰變常數是 0.0115 min^{-1} 。一個樣本含有 $1.00 \times 10^{-9} \text{ g}$ 的 $^{212}_{83}\text{Bi}$ ，初始放射強度為 $3 \times 10^{10} \text{ min}^{-1}$ 。

- (i) 計算 $^{212}_{83}\text{Bi}$ 的半衰期。**60.3 分鐘** (1 分)
- (ii) 假設在一次量度半衰期的實驗中，每一百萬次衰變中只有一次可以探測得到。試預測結果，在圖 o 繪畫出計數率與時間的關係線圖。 (1 分)

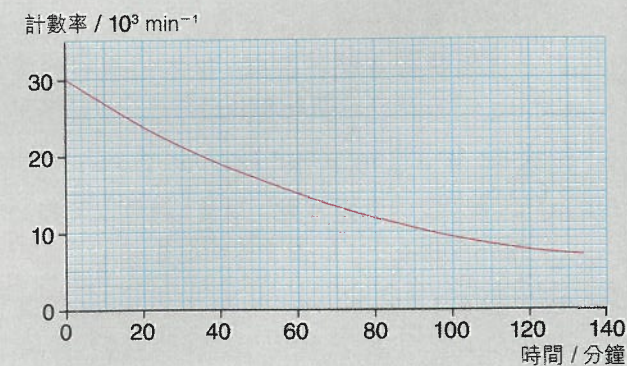


圖 o

2.2 33 CCEA GCE A2 Jan 2010 Q6

- (a) (i) 試寫出放射性樣本半衰期的定義。(1分)
- (ii) 一塊地質岩石樣本含有兩種放射性同位素 X 和 Y 。同位素 X 的半衰期是同位素 Y 的兩倍。樣本中有 n 個 X 原子核和 $3n$ 個 Y 原子核。經過兩個 X 的半衰期後，在樣本中， $\frac{Y \text{ 原子核的數目}}{X \text{ 原子核的數目}}$ 的比是多少？ $\frac{3}{4}$ (3分)

- (b) 鈾具有放射性，會放射出 α 粒子。一摩爾鈾的質量為 210 g，而鈾的衰變常數則為 $5.80 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ 。

- (i) 試計算 1.50 mg 鈾的放射強度。 $2.49 \times 10^{11} \text{ Bq}$ (3分)

- Ext (ii) 65.0 天後，剩下多少個鈾原子核？ 3.10×10^{18} (3分)

2.2 34 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q11

放射性同位素鎂-238 (^{238}Pa) 衰變的半衰期約為 136 s。把一 ^{238}Pa 樣本放在蓋革—彌勒管前，初始計數率為每分鐘 1000 次。本底輻射的計數率為每分鐘 50 次。

- (a) 已知 ^{238}Pa 的衰變並沒有發射 γ 輻射。建議一個簡單測試以驗證 ^{238}Pa 放出的輻射是 β 輻射而不是 α 輻射。(3分)

- Ext (b) 估算 ^{238}Pa 的衰變常數。 $5.10 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (1分)

- Ext (c) 據此，或以其他方法，估算計數率下跌至每分鐘 250 次所需的時間。 306 s (3分)

綜合題 35 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q9

^{14}C 同位素具放射性，並通過發射 β 粒子進行衰變，因此碳-14 年代測定法可用以推斷一些含 ^{14}C 同位素的物體的年齡。現以碳-14 年代測定法對一塊木材樣本進行探究，樣本的放射強度為 0.2 Bq 。 ^{14}C 的半衰期為 5730 年。

已知：1 年 = $3.16 \times 10^7 \text{ s}$

- Ext (a) 計算 ^{14}C 的衰變常數，以 s^{-1} 為單位。據此求這木材樣本中 ^{14}C 原子核的數目。 $3.83 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$ 、 5.22×10^{10} (3分)

假設生物於生存時通過從大氣吸收二氧化碳 (CO_2) 因而含恆定比例的碳-14，其值為 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1.3 \times 10^{-12}$ 。

Q35 考試報告：在 (a) 部，考生能以不同方法來計算衰變常數和 C-14 原子核的數目。在 (c) 部，有些考生混淆了 N 與 N_0 或 A 與 A_0 ，以致用了錯誤的 C-14 原子核數目代入方程，因而未能求得木材樣本的年齡。

- (b) 這個木材樣本的總碳含量為 1×10^{23} 個碳原子核。估算當該樣本死去時，它原本擁有的 ^{14}C 原子核數目。 1.3×10^{11} (1分)

- Ext (c) 利用 (a) 和 (b) 部的結果估算該樣本的年齡，並以年為單位。 $2.4 \times 10^{11} \text{ s}$ (2分)

實驗題

- 2.2 36 芷欣做實驗找出某放射性樣本的半衰期。她量度本底輻射和放射源放出的輻射。

- (a) 芷欣有以下儀器：

蓋革—彌勒管

用鑷子固定的放射源

秒錶

計數器

試描述實驗的步驟，以找出本底輻射和樣本經修正後的計數率。(4分)

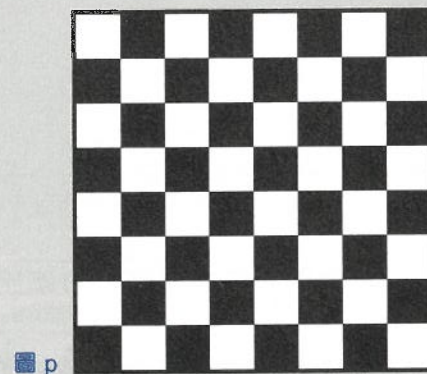
- (b) 表 b 列出樣本經修正後的計數率 (表 b)。

時間 / 秒	經修正後的計數率 / 每 10 秒次數
0	150
20	113
40	84
60	79
80	49
100	31
120	15
140	15
160	0

表 b

- (i) 試繪畫修正後的計數率隨時間變化的關係線圖。(3分)
- (ii) 根據線圖，找出樣本的半衰期。 80 s (1分)
- (c) 試舉出一個本底輻射的來源。(1分)

- 2.2 37 學生設計了一個實驗，以模擬放射衰變。他將 200 顆紅豆擲向棋盤 (圖 p)，然後移走所有落在黑方格的紅豆，並再拋擲剩餘的紅豆。重複以上步驟，直至餘下 20 顆紅豆為止。假設紅豆不會落在黑白方格之間的界線上。



- (a) 試寫出下列各項所代表的量值：

- (i) 紅豆 放射核 (1分)
- (ii) 落在黑方格的紅豆 已衰變的放射核 (1分)
- (iii) 拋擲的次數 時間 (1分)

Q38 考試報告：在 (a) 部，考生在描述如何進行模擬實驗遇到困難，很多人未能從恰當的圖線獲得擲骰子的半衰期，能力較弱者更誤以一般的放射衰變描述作答。在 (b) 部，極少考生明瞭指數式衰變定律只適用於開始時骰子 (或放射性核素) 數目 N 很大。在 (c) 部，很多考生只寫出「隨機」而沒有在放射衰變和拋骰子的特性或假設上再加詳細闡述，較弱的考生誤以為上述過程是自發的。

物理文章分析

綜合題 39 閱讀下列一段有關氡的文章，然後回答隨後的問題。

氡

氡無色無味，是一種自然存在的放射性氣體。當泥土、岩石、水和建築物材料中的鐳 (Ra) 發生 α 衰變，就會產生氡。

氡氣會經過建築物的裂縫或接合處，從地面進入家居；建築物材料和裝修材料也可能釋放氡氣。若空氣不流通，氡氣便會困在室內，漸漸積聚。

同位素氡-222 (^{222}Rn) 衰變後成為具放射性的釷 (Po) (原子序數為 84)。如果吸入氡-222，它的衰變產物會停留在體內，並繼續衰變，直至形成穩定的鉛為止。長期吸收氡氣會增加患癌的風險。

- (a) 試寫出鐳衰變成 ^{222}Rn 的方程式。 $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$ (1分)
- (b) 試舉出一個氡氣進入屋內的途徑。(1分)
- (c) 氡-222 進入人體後，為甚麼會對身體造成危險？(2分)
- (d) 試舉出一個方法以減低家居的室內氡氣水平。(1分)
- (e) 氡氣最有可能引致哪種癌症？肺癌 (1分)

- (b) 上述實驗可以展示放射衰變的一些特點。試舉出一個特點，並解釋為甚麼這個實驗能夠展示這個特點。(2分)

- (c) 簡繪線圖，以顯示餘下的紅豆數目怎樣隨拋擲次數改變。(2分)

☆ 略去 (b) 部，題目稍作修改

Ext 38 香港高級程度會考 2010 年卷二 Q4

2.2

放射衰變可用拋擲一定數目的骰子 (例如 400 粒) 來模擬。

- (a) 試述如何進行該模擬實驗。放射衰變中仍未衰變的原子核數目可用 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ 表達。在你的描述中，需清楚指出哪些量度代表 N ，並說明如何以作圖法得出擲骰子的「半衰期」。(6分)

- (b) 如果骰子起始的數目較少，例如是 40 而不超過 400，該模擬實驗的數據會否較偏離指數式衰變定律？試解釋。(2分)

- (c) 以文字描述放射衰變跟擲骰子皆須有的兩個特性或假設，從而促使兩者遵從指數式衰變定律。(2分)

自我評核 2

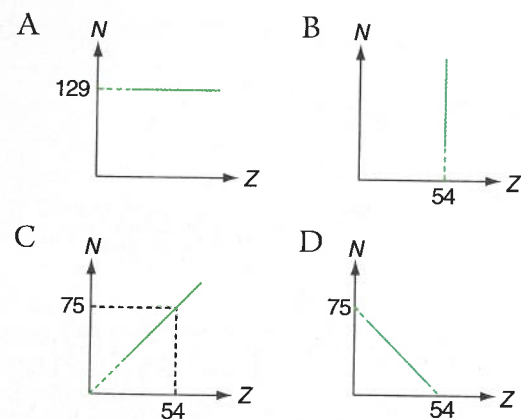
時間：12 分鐘 總分：10 分

答題須知

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

甲 部

- 2.1 1 N 和 Z 分別代表中子數和原子序數。下列哪一幅圖表正確顯示 $^{129}_{54}\text{Xe}$ 的同位素？



B

- 2.3 2 下列有關應用放射性同位素的敘述，哪一項是正確的？

- 半衰期長的 β 放射源會用於厚度計，因為它無須經常替換。
- 用於放射療法的 γ 放射源不會損害健康細胞。
- 用於煙霧探測器的 α 放射源穿透能力弱，不會危害健康。
- 高劑量的 γ 放射源用於食物輻照，能把食物消毒得更徹底。

A

乙 部

- 2.2 3 鐳-226 (Ra-226) 經過一系列的衰變後，最終成為穩定的鉛-206 (Pb-206) (圖 a)。

- (a) 寫出代表衰變過程 (1) 的方程。(2 分)



- (b) 求整個衰變系中放射出的 α 粒子數目和 β 粒子數目。(4 分)

α 粒子：5、 β 粒子：4

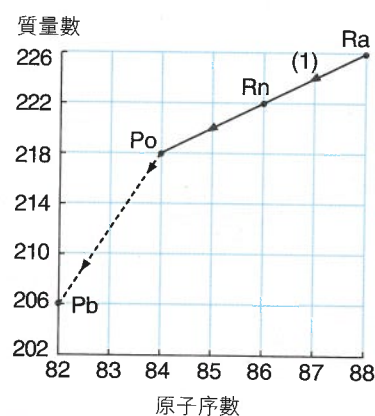
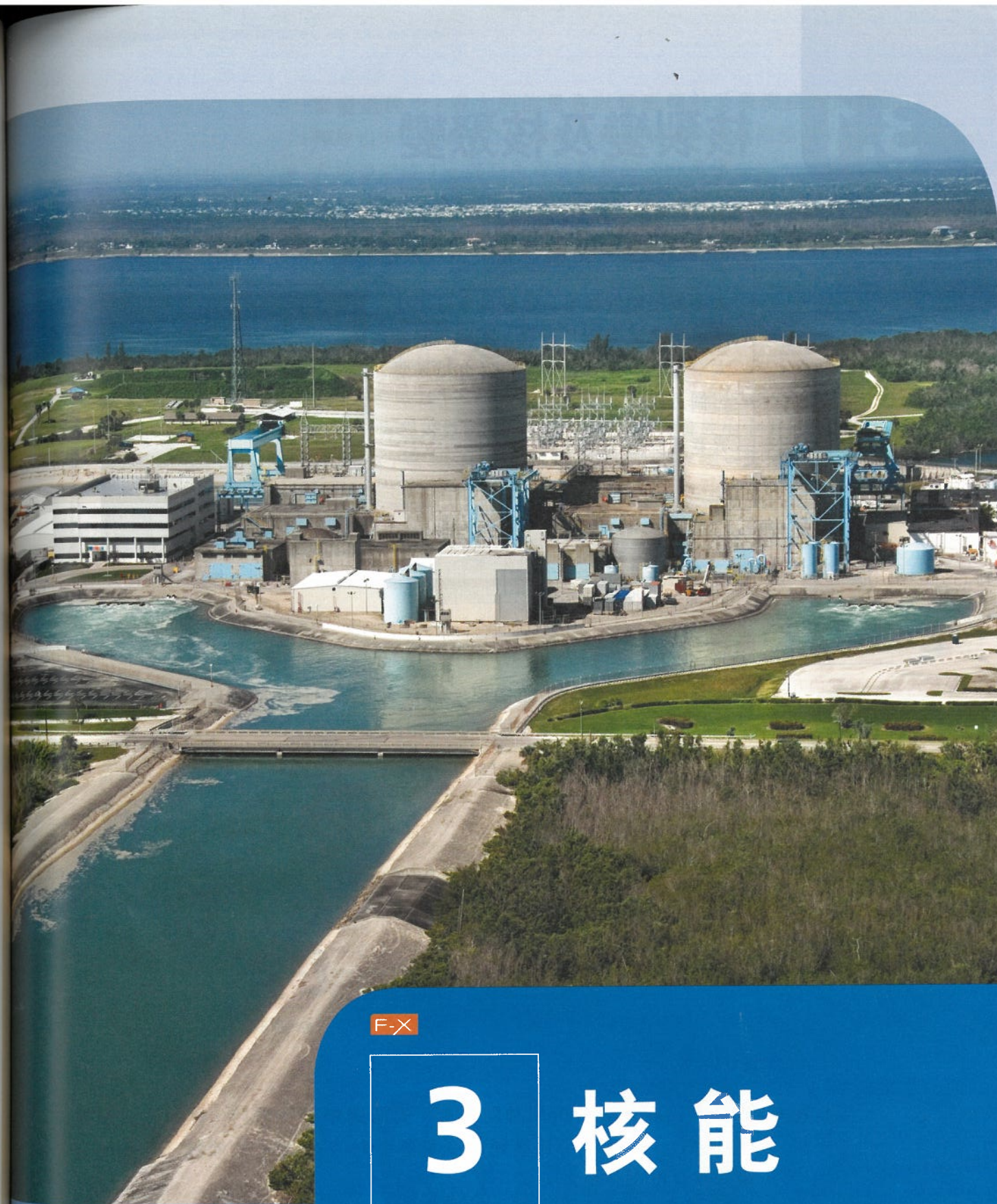


圖 a

- Ex (c) 鐳-226 的初始放射強度為 1 Bq。5000 年後，未衰變的鐳-226，放射強度是多少？鐳-226 的半衰期為 1600 年。(2 分)

0.115 Bq



F-X

3 核能

我們在這課會學到

- 核裂變、核聚變及它們的原理
- 質量和能量的關係
- 用作發電和製造核武的核能
- 使用核能所引起的社會和道德問題

3.1

核裂變及核聚變

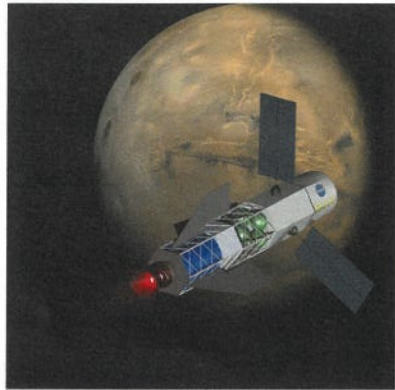
✓ 本節重點

- 1 核裂變
- 2 連鎖反應
- 3 核聚變

起點 火星之旅

太空旅遊絕非易事，憑藉現今科技往返火星也需要四年時間。不過，假如太空船以核聚變推動，往返火星只要三個月便行！

究竟甚麼是核聚變？參閱第 91 頁。



模擬程式 3.1

→ 模擬程式 3.1 以圖像的方式說明中子撞擊鈾-235 核時，會引發核裂變和連鎖反應，釋放大量能量。

1 核裂變

核裂變反應中，一個較重的原子核分裂成兩個或以上較輕的原子核，並且釋放大量能量。過程中通常會放出中子。

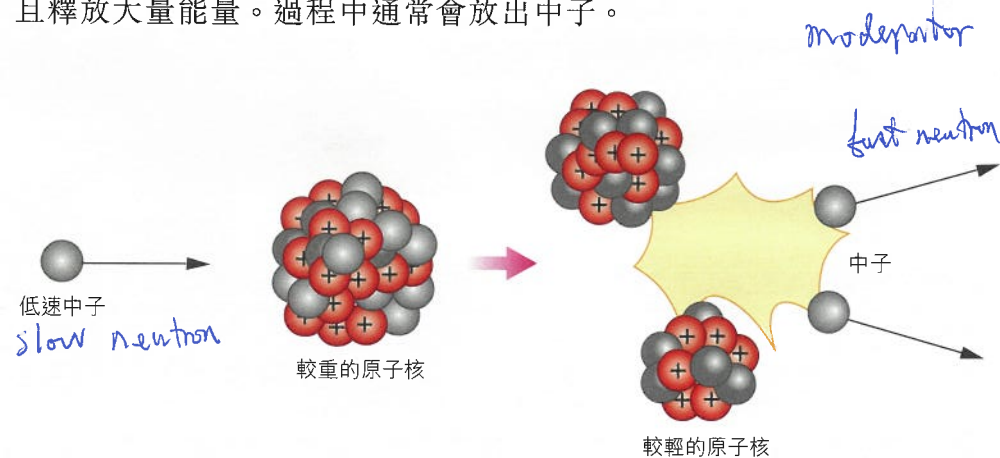


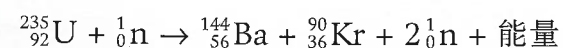
圖 3.1a 核裂變

天然的鈾主要包含兩種同位素：鈾-238 (99.27%) 和鈾-235 (0.72%)。

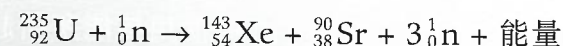
並不是所有原子核都可靠低速中子引發裂變，例如，鈾-238 就是一種要用高速中子才可引發裂變的原子核。鈾-238 吸收中子後，會變成鈾-239。鈾-239 可用於核反應堆作為核燃料，或用來製造核武。

鈾-235 是較稀有的天然鈾同位素，受低速中子撞擊時，會發生核裂變（圖 3.1a）。低速中子比高速中子更易給鈾-235 原子核捕獲，引發核裂變的機會也因而較大。

鈾-235 原子核有多種分裂方式，但一般都分裂為鋇 (Ba) 和氪 (Kr) 的原子核：



其他的分裂方式包括：



核裂變 nuclear fission 鋇 barium 氪 krypton

燃燒 1 g 煤只能放出 2.4×10^4 J 能量。

裂變過程中，龐大的能量會以電磁輻射及裂變產物的動能這些形式釋放出來。重量為 1 g 的鈾-235 在裂變中釋放的能量約為 7.2×10^{10} J，大約是燃燒 1 g 煤時所釋放能量的 300 萬倍。

核裂變時，一個重的原子核分裂成較輕的原子核，過程中釋放出大量能量。

2 連鎖反應與臨界質量

從以上方程可見，鈾-235 原子核分裂時會放出中子。若附近有很多鈾-235 原子核，這些中子便可繼續令它們分裂，產生連鎖反應（圖 3.1b）。

觀看以下錄像，看看怎樣利用一列列的小球和捕鼠器模擬連鎖反應。

<http://www.youtube.com/watch?v=PjeIYdbK6Z4>

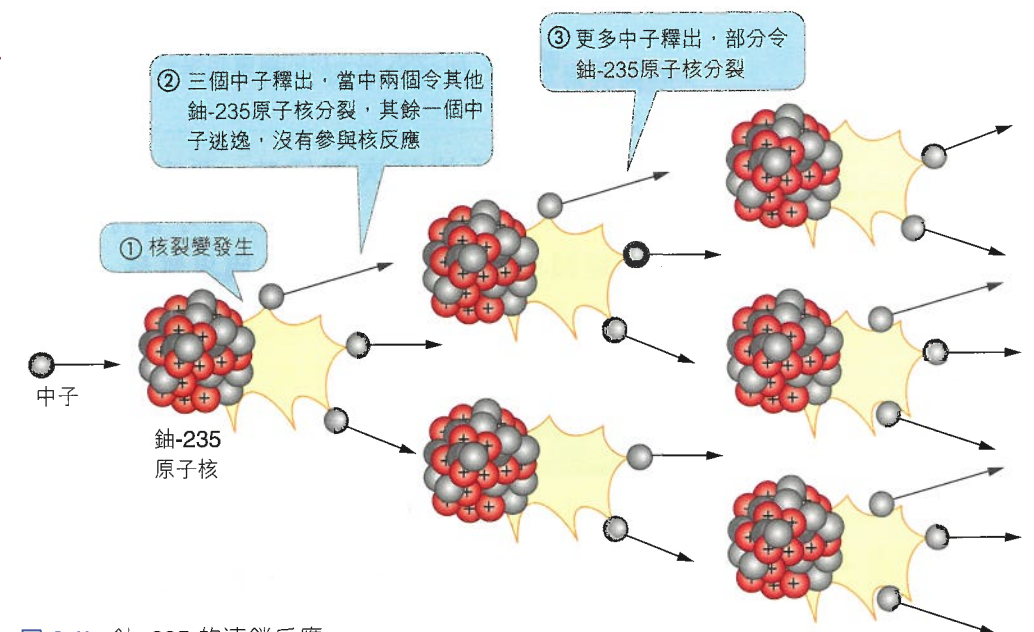


圖 3.1b 鈾-235 的連鎖反應

歷史點滴 核裂變的發現

1938 年，哈恩發現以低速中子撞擊鈾會產生另一種元素。其後，麥特勒和弗里施率先提出解釋這項發現的理論。因為這項發現，哈恩於 1944 年獲得諾貝爾化學獎。



哈恩 (1879–1968)



麥特勒 (1878–1968)



弗里施 (1904–1979)

牛津物理網

連鎖反應 chain reaction 哈恩 Otto Hahn 麥特勒 Lise Meitner 弗里施 Otto Frisch

鈾-235 原子核的數量(質量)必須充足,連鎖反應才能發生,否則,所有中子都會逃逸,不會令其他鈾-235 原子核分裂,連鎖反應便無法繼續下去(圖 3.1c)。鈾-235 能維持連鎖反應的最小分量稱為**臨界質量**。

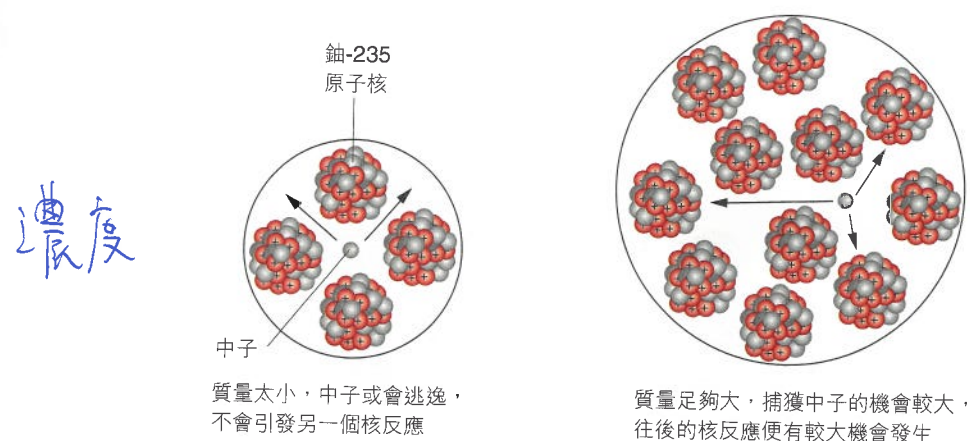
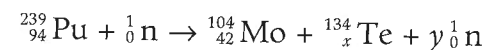


圖 3.1c 鈾-235 原子核的質量必須充足,連鎖反應才能發生

鈾-235 原子核每次裂變時,要有至少一個中子放出,令另一個鈾-235 原子核分裂,連鎖反應才會持續不斷地發生。鈾-235 能維持連鎖反應的最小分量稱為臨界質量。

例題 1 鈾的核裂變

鈾-239 可發生以下核裂變反應:



(a) 求 x 和 y 。

(b) 如果有足夠的鈾燃料,以上核裂變可產生連鎖反應嗎?

題解

(a) 考慮原子序數。

$$94 + 0 = 42 + x + y \times 0 \\ x = 52$$

考慮質量數。

$$239 + 1 = 104 + 134 + y \times 1 \\ y = 2$$

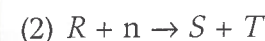
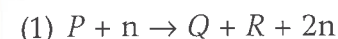
(b) 可以,因為核裂變產生了兩個中子。

習題與思考 3.1 Q7 (p.93)

預試訓練 1

可能發生的連鎖反應 ☆ 香港中學會考 2009 年卷二 Q27

以下三個核裂變中, P 至 W 代表原子核, n 代表中子。下列哪個裂變有可能引發連鎖反應?



A 只有 (1)

B 只有 (1) 和 (3)

C 只有 (2) 和 (3)

D (1)、(2) 和 (3)

題解

以上所有核裂變都由中子觸發。要連鎖反應持續發生,核裂變就必須放出至少一個中子。因此,符合條件的核裂變只有 (1) 和 (3)。

∴ 答案是 B。

常見錯誤

學生或不知道這是維持連鎖反應的必要條件。

複習 Q13 (p.119)

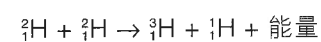
→ 模擬程式 3.2 以圖像的方式展示氦-2 核和氦-3 核結合,產生氦-4 核、中子和能量。



模擬程式 3.2

3 核聚變

核聚變不一定會放出中子,例如:



核聚變中,兩個較輕的原子核結合為一個較重的原子核。在圖 3.1d 中,一個氦-2 (氘) 原子核和一個氦-3 (氚) 原子核結合成為氦-4 原子核,並放出一個中子。這個聚變可寫成:

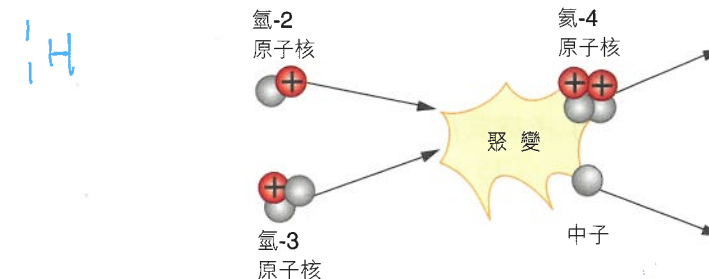
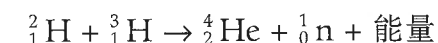


圖 3.1d 核聚變

不過,與 H-2 和 H-3 聚變相比, U-235 每次裂變所釋放的能量較高,見第 97 頁及第 98 頁的例題 5。

這能量足夠供一部電視運作 50 年。

1 g 鈾-235 在裂變中釋放出 7.2×10^{10} J 能量。

這裏解答了起點的問題。

在氫的聚變中,1 g 的燃料釋放出約 3.4×10^{11} J 能量,比核裂變釋放的能量更多。

核聚變時,兩個輕原子核結合成為一個較重的原子核。若兩個原子序數低的原子核結合,便會釋放大量能量。

核聚變比核裂變更難發生。由於原子核帶正電(質子)，它們會互相排斥，因此要在非常高溫的環境，原子核才能以極高的速率互相靠近，這時，它們所具有的動能才足以克服強大的靜電排斥力。核聚變要在 $10^7\text{ }^\circ\text{C}$ 的高溫環境才能發生，利用核裂變便可以產生這樣高的溫度。

太陽中心部分的溫度大約是 $1.57 \times 10^7\text{ }^\circ\text{C}$ 。

太陽(圖 3.1e)靠中心部分發生的核聚變來產生能量，核聚變反應主要是由氫聚合成氦。這種核聚變已經持續了好幾十億年。其他恆星也經由核聚變釋放能量。

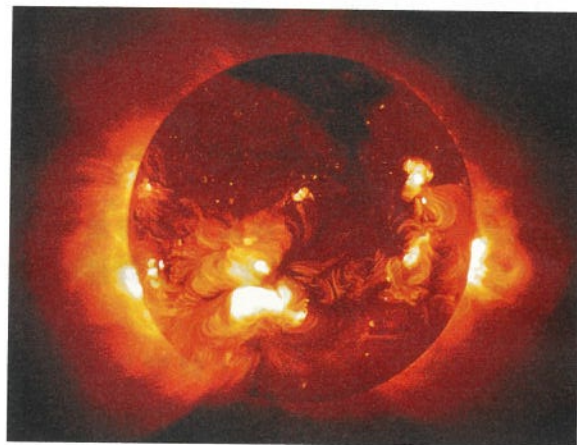
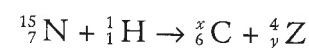


圖 3.1e 太陽中心發生核聚變

例題 2 氮和氫的核聚變

某恆星的中心發生以下核聚變：



- (a) 求 x 和 y 。由此指出 Z 是甚麼。
(b) 寫出一個發生核聚變的條件。

題解

(a) 考慮質量數。

$$15 + 1 = x + 4$$

$$x = 12$$

考慮原子序數。

$$7 + 1 = 6 + y$$

$$y = 2$$

$\therefore Z$ 是氦原子核。

(b) 溫度必須達到約 $10^7\text{ }^\circ\text{C}$ 。

▶ 進度評估 1 Q4 (p.93)

進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.88)。

- 11 圖 a 顯示鈾原子核的核裂變。 M 撞擊鈾原子核，1, 2 核(裂變/聚變)發生時，鈾原子核分裂成較輕的原子核，釋放出大量能量。要發生連鎖反應，過程中必須釋出(鈾原子核/中子)。

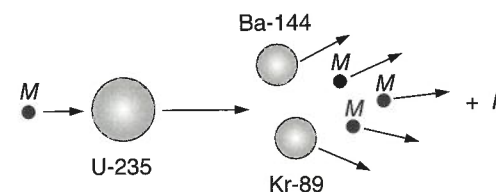


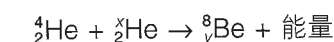
圖 a

M 和 N 分別是甚麼？

	M	N
A	電子	電
B	電子	能量
C	中子	電
D	中子	能量

- 2 3 臨界質量是指維持連鎖反應所需(可裂變物質/中子)的(最小/最大)分量。若分量小於臨界質量，過程中就會有太多(可裂變物質/中子)逃逸而無法引發更多反應。

- 3 4 考慮以下核反應。



- (a) 求 x 和 y 。 $x = 4$ 、 $y = 4$
(b) 這是核聚變嗎？是

習題與思考 3.1

- 1 1 下列哪項有關核裂變的敘述是正確的？
(1) 過程中，原子核會分裂成較輕的原子核。
(2) 核裂變在太陽中發生。
(3) 高速中子難以引發鈾-235 的核裂變。
A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 3 2 以下方程顯示了某核反應。
 $^2_1\text{H} + ^3_2\text{He} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_1\text{p}$
方程所代表的是哪一種反應？
A α 衰變
B β 衰變
C 核裂變
D 核聚變
- ★ 3 以下哪一項是核裂變？
1 A $^{239}_{92}\text{U} \rightarrow ^{239}_{93}\text{Np} + ^0_{-1}\text{e}$
B $^{235}_{92}\text{Pu} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{96}_{40}\text{Zr} + ^{135}_{52}\text{Te} + 5^1_0\text{n}$
C $^3_2\text{He} + ^3_2\text{He} \rightarrow ^4_2\text{He} + 2^1_1\text{p}$
D $^{197}_{79}\text{Au} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{198}_{79}\text{Au}$
- ★ 4 引發核聚變要用很多能量，原因是
3 A 連鎖反應需要能量來維持。
B 原子核之間出現靜電排斥。
C 核聚變產生大量能量。
D 熔化原子核需要能量。
- 1 5 質量為 1 g 的鈾-235 在核裂變中釋放 7.2×10^{10} J 能量。如要產生 10^{11} J 能量，需要多少質量的鈾-235？1.39 g
- 3 6 兩個碳-12 ($^{12}_6\text{C}$) 原子核發生聚變，產生一個鎂-23 ($^{23}_{12}\text{Mg}$) 原子核和另一個粒子。試寫出這個聚變的方程。 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{23}_{12}\text{Mg} + ^1_0\text{n}$
- 1 7 考慮以下核反應。
 $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{131}_{53}\text{I} + ^{102}_{39}\text{Y} + y^1_0\text{n}$
(a) 這屬於哪種核反應？核裂變
(b) 求 x 和 y 。 $x = 39$ 、 $y = 3$
- ★ 8 指出核裂變和放射衰變本質上的兩個不同之處。
1
- ★ 9 鈾原子核分裂時會放出中子，但連鎖反應卻未必可以由此引發，為甚麼？
2

3.2

質能關係

本節重點

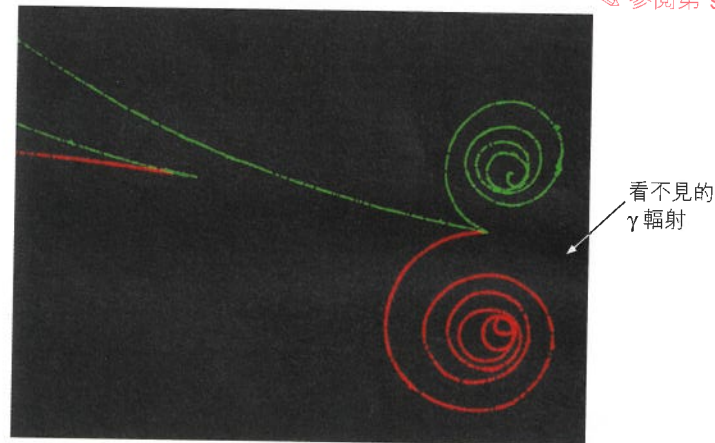
- 1 質能對等
- 2 核反應釋放的能量

右方相片在氣泡室內拍攝，從中可見有兩對電子和正子形成。右邊的一對沿螺旋軌道移動，左邊的一對則沿稍微彎曲的軌道移動。從螺旋軌道伸延的綠色線顯示一個電子的軌道，該電子因為受 γ 輻射影響而脫離所屬原子。

起點 失去的質量

鈾-235 裂變時，產物的總質量較反應物小了約 $3.56 \times 10^{-28} \text{ kg}$ 。那些質量去了哪裏？

另一方面，極高能量的 γ 輻射可產生粒子。粒子的質量從何而來？
參閱第 97 頁。



極高能量的 γ 輻射產生了一對粒子（粒子的路徑以綠線和紅線表示）

古典物理學中，一個系統的質量和能量分別守恆。在相對論中，則是系統質量和能量的總和守恆。

1 質能對等

1905 年，愛因斯坦提出狹義相對論時指出，質量和能量是對等的，而且可以互相轉化，也就是說，質量可以轉化為能量，而能量也可以轉化為質量。兩者只是以不同形式去表現同一樣東西。

物質轉化為能量時，所釋放的能量可用**質能關係**表達：

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

其中 ΔE 是釋放的能量，以 J 為單位；

Δm 是失去的質量，以 kg 為單位；

c 是光速，即 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 。

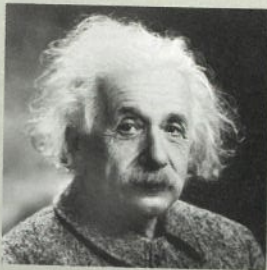
由於 c 的值很大，所以只要很小的質量便可以轉化成巨大的能量。

1 kg 質量相當於 $9 \times 10^{16} \text{ J}$ 能量。

歷史點滴

愛因斯坦
(1879–1955)

愛因斯坦年僅 26 歲就提出狹義相對論，後來再提出廣義相對論。這兩套理論大大改變了人類對宇宙的理解。



牛津物理網

愛因斯坦 Albert Einstein 狹義相對論 special theory of relativity
質能關係 mass-energy relationship 廣義相對論 general theory of relativity

例題 3 質能關係

一個本港 1 元硬幣（圖 a）的質量為 7.10 g。假設它完全轉化成能量，所釋放的能量是多少？



圖 a

題解

$$\begin{aligned} \text{釋放的能量} &= \Delta mc^2 \\ &= (7.10 \times 10^{-3}) \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 6.39 \times 10^{14} \text{ J} \end{aligned}$$

進度評估 2 Q1 (p.99)

這能量可把 $2 \times 10^8 \text{ kg}$ 、 20°C 的水加熱至完全汽化。

2 核反應釋放的能量

a 原子質量單位

對原子的規模而言，如果用國際單位制的「公斤」來量度質量，數值會變得非常小。為方便表達，我們會改用**原子質量單位 (u)**，它的定義是：

$$\begin{aligned} 1 \text{ u} &= \frac{1}{12} \times \text{一個碳-12 原子的質量} \\ &= 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ mole of carbon} &= 12 \text{ g} \\ 1 \text{ carbon nuclei} &= \frac{0.012 \text{ kg}}{6.02 \times 10^{23}} \\ &= 1.99 \times 10^{-26} \text{ kg} \\ 1 \text{ u} &= \frac{1.99 \times 10^{-26}}{12} \\ &= 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned}$$

表 3.2a 以原子質量單位表示一些粒子的質量。

粒子	質量 / u
質子	1.007 276
中子	1.008 665
電子	0.000 549
氫-2 (氘) 原子核	2.013 553
氫-3 (氚) 原子核	3.015 500
氦-4 原子核	4.001 506

表 3.2a 一些粒子的質量（以原子質量單位表示）

核反應中的質量改變一般較小，故此質量以較多的有效數字表示。

可提醒學生原子和原子核的質量並不相等，前者包含電子。例如，氦-4 原子的質量為 4.002 603 u。

原子質量單位 (u) atomic mass unit

b 電子伏

在原子的尺度，**電子伏 (eV)** 是常用的能量單位。電子在電勢差為 1 V 的兩點之間加速時，所得的能量就是 1 eV。

$$1 \text{ eV} = e \times 1 \text{ V} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

根據質能關係，相等於 1 u 的能量是：

取以下數值，以計算較準確的結果：

$$\begin{aligned} 1 \text{ u} &= 1.6606 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ c &= 2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} \\ e &= 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ u} &= (1.6606 \times 10^{-27})(2.9979 \times 10^8)^2 \text{ J} \\ &= \frac{(1.6606 \times 10^{-27})(2.9979 \times 10^8)^2}{1.6022 \times 10^{-19}} \text{ eV} \\ &= 9.31 \times 10^8 \text{ eV} = 931 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ MeV} &= (10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}) \\ &= 1.6 \times 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

$$1 \text{ u} = 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV}$$

圖 3.2a 總結了質量和能量之間的轉換方法。

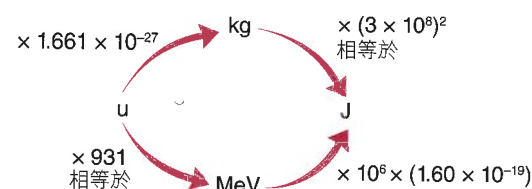


圖 3.2a 質量和能量之間的轉化方法

例題 4 質量和能量之間的轉化

- (a) 鈾-235 原子的質量為 235.043 923 u，這個質量相等於多少能量？答案以 J 為單位。
- (b) 某型號流動電話的質量為 112 g，這個質量相等於多少能量？答案以 MeV 為單位。

題解

$$\begin{aligned} \text{(a) 能量} &= (235.043 \ 923 \times 1.661 \times 10^{-27}) \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 3.51 \times 10^{-8} \text{ J} \end{aligned}$$

另解：

$$\begin{aligned} \text{能量} &= 235.043 \ 923 \times 931 \\ &= 218 \ 800 \text{ MeV} \\ &= 218 \ 800 \times 10^6 \times (1.60 \times 10^{-19}) \\ &= 3.50 \times 10^{-8} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{(b) 能量} = \frac{112 \times 10^{-3}}{1.661 \times 10^{-27}} \times 931 = 6.28 \times 10^{28} \text{ MeV}$$

習題與思考 3.2 Q8 (p.100)

$$\begin{aligned} 1 \text{ u} &= 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ \therefore 1 \text{ kg} &= \frac{1}{1.661 \times 10^{-27}} \text{ u} \end{aligned}$$

c 質量差及能量

在核裂變和核聚變中，反應後粒子的總質量通常較反應前小，失去的質量就是過程中所釋放的龐大能量。這些能量會轉化成電磁輻射和產物的動能。

考慮圖 3.2b 所示的核裂變。

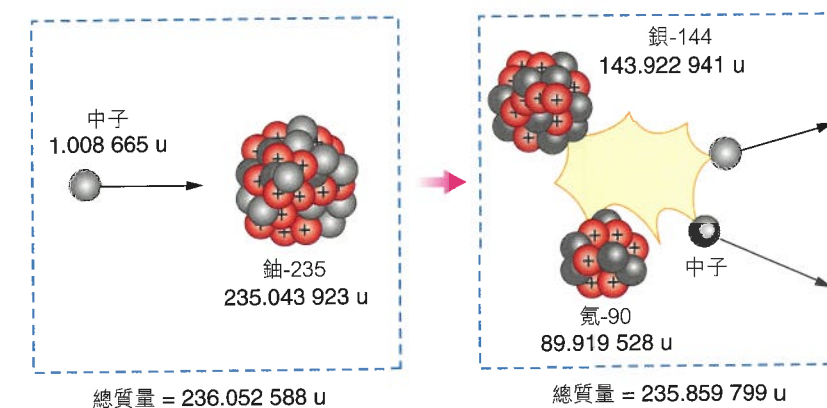


圖 3.2b 鈾-235 裂變中粒子的質量

反應前粒子的總質量是 236.052 588 u，反應後則變為 235.859 799 u。失去的質量 (0.192 789 u) 會轉化成能量。

根據質能關係，

反應中釋放的能量

$$\begin{aligned} &= \Delta mc^2 \\ &= (0.192 \ 789 \times 1.661 \times 10^{-27}) \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 2.88 \times 10^{-11} \text{ J} \end{aligned}$$

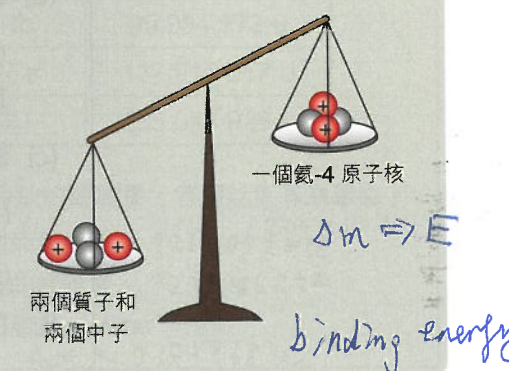
為方便起見，核反應釋放的能量有時會以 u 來表示。所以，以上反應所釋放的能量可直接寫作 0.192 789 u。

$$\begin{aligned} 1 \text{ u} &= 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 1.49 \times 10^{-10} \text{ J} \end{aligned}$$

原子質量單位可用作能量的單位。

補充資料 結合能

除了氦-1 外，核素的質量往往比它所含粒子的個別質量總和小，例如兩個質子和兩個中子的總質量是 4.031 882 u，比氦-4 原子核的質量 (4.001 506 u) 大。當中所失去的質量會釋放為能量，稱為結合能。每粒核子的平均結合能愈大，核素便愈穩定。E3 冊將會詳細介紹結合能。



例題 5 核聚變釋放的能量

考慮核聚變反應： ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

- (a) 根據表 3.2a (p.95)，計算反應前和反應後粒子的總質量。
 (b) 以上反應釋放出龐大的能量。試計算所釋放的能量，並以 (i) 原子質量；(ii) 焦耳表示。
 (1 u = 1.661×10^{-27} kg)

題解

- (a) 反應前的總質量
 = 氫-2 原子核的質量 + 氫-3 原子核的質量
 = 2.013 553 + 3.015 500 = 5.029 053 u
 反應後的總質量
 = 氦-4 原子核的質量 + 中子的質量
 = 4.001 506 + 1.008 665 = 5.010 171 u
 (b) (i) 釋放的能量 = 5.029 053 - 5.010 171 = 0.018 882 u
 (ii) 釋放的能量 = Δmc^2
 = 0.018 882 $\times$ 1.661 $\times 10^{-27}$ $\times$ (3×10^8)²
 = 2.82×10^{-12} J

▶ 進度評估 2 Q5 (p.99)

除了核裂變和核聚變，放射衰變也會出現質量減少的情況，所失去的質量會轉化成衰變產物的動能和內能。

例題 6 α 衰變中釋放的能量

${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 是氡的同位素，發生 α 衰變後成為釷 (Po)。

- (a) 試寫出衰變的方程。
 (b) 衰變中釋出的能量為 5.59 MeV。求釷的質量，答案以 u 為單位。
 (取 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 的質量為 222.017 577 u， ${}^4_2\text{He}$ 的質量為 4.002 603 u，1 u = 931 MeV。)
 (c) 假設 1 g 的 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 全部發生衰變。
 (i) 在 1 g 的 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 中，原子核的總數是多少？
 (ii) 求衰變釋出的總能量，答案以 MeV 為單位。
 (阿佛加德羅數 = 6.02×10^{23} mol⁻¹，1 摩爾的 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 質量 = 222 g)

題解

- (a) ${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^4_2\text{He}$
 (b) 失去的質量 Δm = 釋放的能量 = $\frac{5.59}{931} = 0.006\ 004\ \text{u}$
 ${}^{218}_{84}\text{Po}$ 的質量 = 222.017 577 - (Δm + 4.002 603)
 = 222.017 577 - (0.006 004 + 4.002 603)
 = 218.008 970 u
 (c) (i) 在 1 g 的 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 中，原子核的總數 = $\frac{6.02 \times 10^{23}}{222} = 2.71 \times 10^{21}$
 (ii) 釋出的總能量 = $2.71 \times 10^{21} \times 5.59$
 = 1.52×10^{22} MeV

▶ 習題與思考 3.2 Q6 (p.100)

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.94)。

- 1 1 如果把 1 kg 的物質完全轉化成能量，所得到的能量是多少？

- A 3×10^8 J
 B 6×10^{16} J
 C 9×10^{16} J
 D 無法確定，因為題目沒有指明是哪一種物質。

$$E = mc^2$$

$$= 1 \times (3 \times 10^8)^2$$

- 2 4 完成表 b。

失去的質量 / u	釋放的能量 / J	釋放的能量 / MeV
0.1931	接受 2.88×10^{-11} 至 2.89×10^{-11}	179.78
接受 0.0569 至 0.0571	8.50×10^{-12}	接受 52.94 至 53.13
0.0060	接受 8.96×10^{-13} 至 8.99×10^{-13}	5.60

- 2 2 某核反應所釋放的能量為 5.5 MeV。核反應發生後所失去的質量是多少？

- A 9.81×10^{-30} kg
 B 8.51×10^{-24} kg
 C 3.56×10^{24} kg
 D 3.08×10^{30} kg

$$5.5 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = m \times (3 \times 10^8)^2$$

$$\frac{5.5}{931} = 5.9076 \times 10^{-3} \text{ u}$$

$$m = 5.9076 \times 10^{-3} \times 1.661 \times 10^{-27} = 9.81 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

- 2 5 考慮以下核裂變反應。

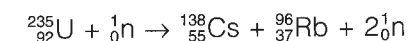


表 c 列出上述各粒子的質量。

粒子	質量
${}^1_0\text{n}$	1.008 665 u
${}^{96}_{37}\text{Rb}$	95.934 273 u
${}^{138}_{55}\text{Cs}$	137.911 017 u
${}^{235}_{92}\text{U}$	235.043 923 u

表 c

- 2 3 完成表 a。

粒子	質量 / kg	質量 / u
碳-12 核素	1.9932×10^{-26}	12.0000
碳-14 核素	2.3260×10^{-26}	14.0036
鈾-234 核素	3.8851×10^{-25}	233.9013
鎊-272 核素	4.5205×10^{-25}	272.1535

表 a

求裂變過程中釋放的總能量，答案以焦耳為單位。

[提示：裂變前的總質量 = 236.052 588

裂變後的總質量 = 235.962 62

釋放的能量 = Δmc^2 = ?]

$$\Delta m = 0.089968 \text{ u}$$

$$\Delta E = 0.089968 \times 1.493 \times 10^{-10} = 2.84 \times 10^{-11} \text{ J}$$

習題與思考 3.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.94)。

除特別指明外，取 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ，
 $1 \text{ u} = 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV}$ 。

2 1 下列哪一項是原子質量單位的正確定義？

- A 中子的質量
 B 氫-1 原子的質量
 C $\frac{1}{4} \times$ 氮-4 原子的質量
 D $\frac{1}{12} \times$ 碳-12 原子的質量

By definition

2 2 最常見的水分子，質量是 $18.021\,130 \text{ u}$ ，這個值相等於

- A $2.99 \times 10^{-26} \text{ kg}$ 。 B $3.59 \times 10^{-25} \text{ kg}$ 。
 C $1.62 \times 10^{-14} \text{ kg}$ 。 D $1.94 \times 10^{-13} \text{ kg}$ 。

2 3 某核反應所釋放的能量為 10^{-11} J ，這個值相等於

- A $1.60 \times 10^{-24} \text{ MeV}$ 。 B $9.31 \times 10^{-3} \text{ MeV}$ 。
 C 62.5 MeV 。 D $6.02 \times 10^9 \text{ MeV}$ 。

$$E = \frac{10^{-11} \times 1.6 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \leftarrow 1.2 \text{ eV} = ? \text{ J}$$

2 4 把下列能量值由小至大排列。

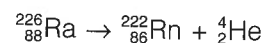
- (1) 10 u (2) 2 MeV
 (3) 3 J

- A (1) · (2) · (3) B (2) · (1) · (3)
 C (3) · (1) · (2) D (3) · (2) · (1)

2 5 核裂變發生時，

- A 粒子的總質量減少。
 B 粒子的總質量增加。
 C 粒子的總質量守恆。
 D 粒子的質量完全轉化成能量。

★ 6 以下方程表示鐳-226 的 α 衰變。



已知： ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 的質量 = $222.017\,578 \text{ u}$

${}^4_2\text{He}$ 的質量 = $4.002\,603 \text{ u}$

衰變中釋放了 $7.81 \times 10^{-13} \text{ J}$ 的能量，求 ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ 的質量。

A 218.0095 u

B 218.0143 u

C 226.0210 u

D 226.0254 u

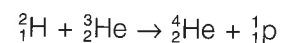
$$(m_{\text{Ra}} - m_{\text{Rn}} - m_{\text{He}}) \times 1.493 \times 10^{-10}$$

$$= 7.81 \times 10^{-13}$$

$$m_{\text{Ra}} = \frac{7.81 \times 10^{-13}}{1.493 \times 10^{-10}} + 222.017578 + 4.002603$$

$$= 226.0254 \text{ u}$$

2 7 以下方程表示某核聚變反應。



已知： ${}^2_1\text{H}$ 的質量 = $2.013\,553 \text{ u}$

${}^3_2\text{He}$ 的質量 = $3.015\,500 \text{ u}$

${}^4_2\text{He}$ 的質量 = $4.001\,506 \text{ u}$

${}^1_1\text{p}$ 的質量 = $1.007\,276 \text{ u}$

(a) 求上述反應中失去的質量，答案用以下單位表示：

(i) u $0.020\,271 \text{ u}$

(ii) kg $3.37 \times 10^{-29} \text{ kg}$ $0.020271 \times 1.661 \times 10^{-27}$

(b) 求上述反應所釋出的能量，答案用以下單位表示：

(i) MeV 18.9 MeV 0.020271×931

(ii) J $3.03 \times 10^{-12} \text{ J}$ $0.020271 \times 1.493 \times 10^{-10}$

✓

1, 2 8 質量為 1 kg 的鈾-235 發生核裂變時， 0.8 g 的質量會轉化成能量。

$$0.008 \times (3 \times 10^8)^2$$

(a) 試估算 1 kg 的鈾-235 發生核裂變時所釋放的能量，答案以焦耳為單位。 $7.20 \times 10^{13} \text{ J}$

(b) 2013 年，全港的耗電量約為 $1.59 \times 10^{17} \text{ J}$ 。鈾-235 的質量是多少，才可提供這個電量？

$$\frac{1.59 \times 10^{17}}{7.20 \times 10^{13}} = 2210 \text{ kg}$$

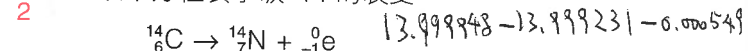
1 9 試寫出質能關係，並指出關係中每個項目的意義。

★ 10 在一次核反應中，反應前和反應後的總質量分別是 $6.031\,018 \text{ u}$ 和 $6.018\,836 \text{ u}$ 。

(a) 求所釋放的能量，答案以焦耳為單位。 $1.82 \times 10^{-12} \text{ J}$

(b) 這核反應用來產生龐大的能量。若用 20 kg 合適的混合物作燃料，能產生多少能量？答案以焦耳為單位。 $3.64 \times 10^{15} \text{ J}$

★ 11 以下方程表示碳-14 的衰變。



(a) 求以上衰變所釋放的能量，答案以 u 為單位。

$$0.000\,168 \text{ u}$$

(b) 如果 0.5 摩爾的碳-14 發生衰變，會釋放多少能量？答案以 MeV 為單位。 $4.71 \times 10^{22} \text{ MeV}$

已知： ${}^{14}_6\text{C}$ 的質量 = $13.999\,948 \text{ u}$

${}^{14}_7\text{N}$ 的質量 = $13.999\,231 \text{ u}$

電子的質量 = $0.000\,549 \text{ u}$

阿佛加德羅數 = $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$$0.5 \times 6.02 \times 10^{23} \times 0.000168 \times 931$$

3.3

核能的應用

起點

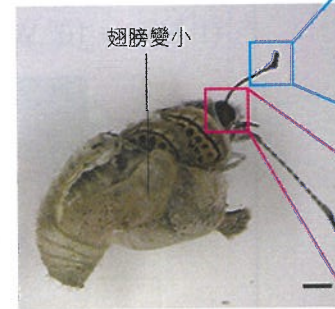
蝴蝶突變

mutation

2011 年日本福島核事故發生後幾個月，科學家發現那處的蝴蝶變得異常，如眼部凹陷、翅膀變小、觸角畸形等。



正常的蝴蝶



發生突變的蝴蝶



眼部凹陷

你知道蝴蝶為甚麼會有這些改變嗎？參閱第 106 頁。

1 核能

單元 3.1 及 3.2 提到，核裂變和核聚變會釋放龐大的能量，而能量的多少可以根據質能關係計算。如果能量是在受控制的情況下釋放，便可用來發電，核能便可變成一種有用的能量來源。

a 受控核裂變

在受控核裂變中，連鎖反應的快慢程度保持穩定。

核電站 (圖 3.3a) 的用途就是產生受控核裂變，並把所釋放的大量能量用來發電，以供大眾使用。



圖 3.3a 位於西班牙的一個核電站

習題與思考

i 核能發電

E3 冊第 4 課會介紹核反應堆的結構。

核燃料 (通常是濃縮鈾-235) 在核電站的**核反應堆**內發生裂變。裂變所釋放的熱把水加熱成蒸汽，蒸汽推動渦輪機，從而轉動發電機發電。這樣，裂變所釋放的能量就可以轉換成電能。

例題 7 大亞灣核電站

大亞灣核電站 (圖 a) 有兩個反應堆，每個反應堆的功率都是 900 MW ($1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$)。

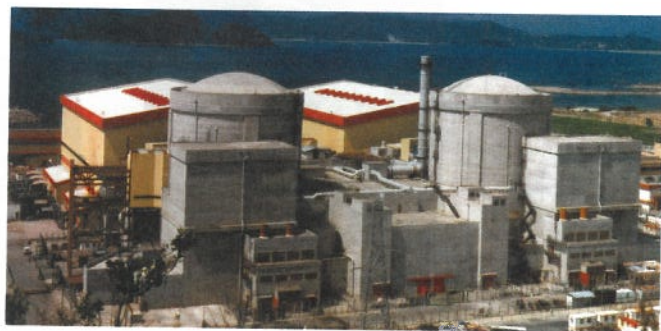


圖 a

- 核電站在 1 小時內最多可提供多少能量？
- 設核電站的效率是 33.3%，試計算 1 小時內鈾燃料所釋放的能量。
- 反應堆的燃料為鈾-235，每一次裂變會釋放 $3.2 \times 10^{-11} \text{ J}$ 的能量。求 1 小時內消耗了多少鈾-235 燃料。鈾-235 原子核的質量是 $3.90 \times 10^{-25} \text{ kg}$ 。

題解

$$(a) \text{ 最多可提供的能量} = 2 \times 900 \times 10^6 \times 3600 = 6.48 \times 10^{12} \text{ J}$$

$$(b) \text{ 效率} = \frac{\text{反應堆提供的能量}}{\text{鈾燃料釋放的能量}}$$

$$\begin{aligned} \text{鈾燃料釋放的能量} &= \frac{\text{反應堆提供的能量}}{\text{效率}} \\ &= \frac{6.48 \times 10^{12}}{33.3\%} \\ &= 1.946 \times 10^{13} \text{ J} \approx 1.95 \times 10^{13} \text{ J} \end{aligned}$$

$$(c) 1 \text{ 小時內發生的反應數目} = \frac{1.946 \times 10^{13}}{3.2 \times 10^{-11}} = 6.081 \times 10^{23}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 小時內消耗的鈾-235 質量} \\ &= 6.081 \times 10^{23} \times 3.90 \times 10^{-25} = 0.237 \text{ kg} \end{aligned}$$

▶ 習題與思考 3.3 Q10 (p.115)

歷史點滴

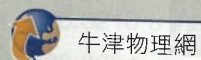
首次引發受控的連鎖反應

連鎖核裂變若不受控，便會釋放大量能量，可能引致爆炸。相反，連鎖反應受到控制，便可產生適量的能量，以供發電之用。

1942 年，費米及他的研究團隊首次引發受控的連鎖反應，這個成果是核能發展史上的一個里程碑。



費米 (1901–1954)

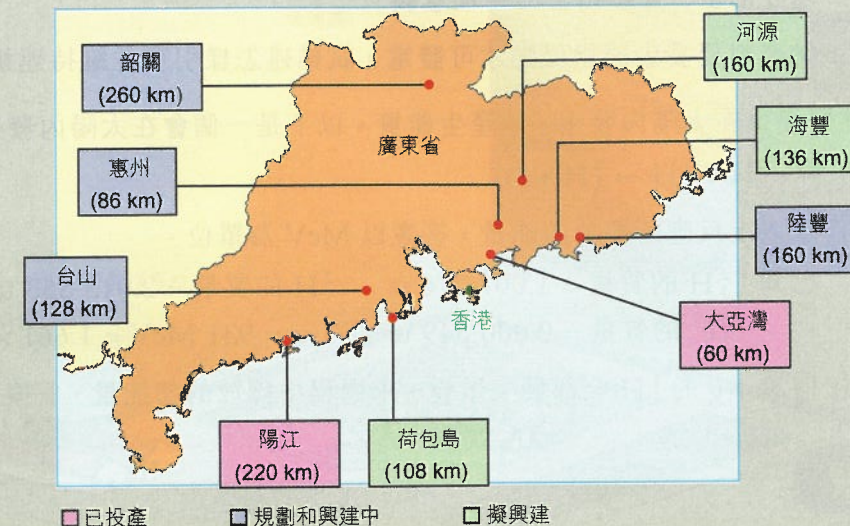


牛津物理網

STSE 鄰近本港的核電站

大亞灣共有兩座核電站，一座是大亞灣核電站，另一座是嶺澳核電站。前者每年的發電量約為 140 億千瓦小時，當中七成會供應給香港。

此外，位於陽江的核電站已於 2014 年 3 月投產，而位於台山的核電站則在興建中。下圖顯示廣東省內已投產、規劃和興建中，以及擬興建的核電站。



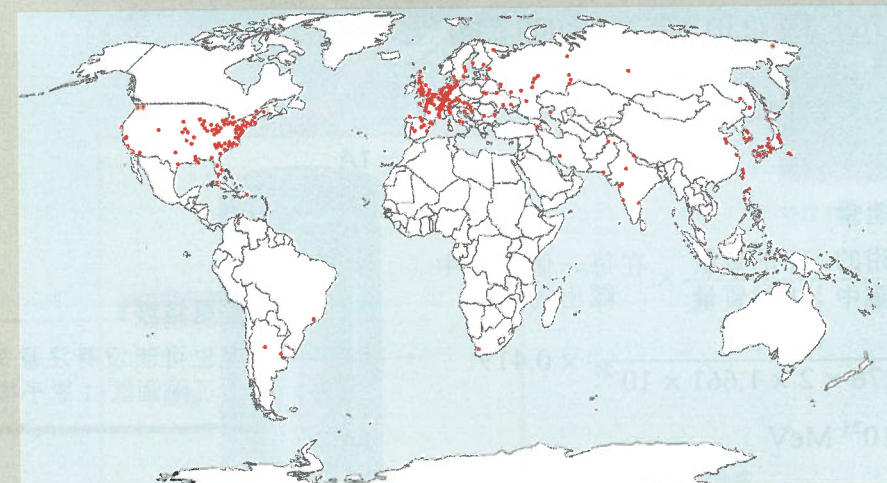
* 數字代表核電站與香港的距離。

廣東省內已投產、規劃和興建中，以及擬興建的核電站 (資料來源：世界核能協會)

生活中的物理 核電站

世界第一座商營核電站於 1956 年在英國投產，自此以後，很多核電站相繼落成。截至 2014 年底，全球共有 439 座核電站在運作，提供的總電能大約為 376 GW，約佔全球電力的 11%。

然而，自 2011 年 3 月發生福島核事故後，愈來愈多人支持關閉核電站。日本國內的 50 座核電站已經全部停止運作，只有兩個核反應堆符合新安全標準而獲准於 2015 年重新啟用；德國和瑞士將分別於 2022 年和 2034 年關閉所有核反應堆；西班牙亦已禁止興建新的反應堆；還有多個其他國家反對使用核能。

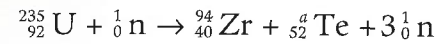


地圖顯示全球核電站的位置

預試訓練 2 核能 ☆ OCR GCE Jun 2004 Q5

(a) 核電站利用核裂變產生能量，而鈾-235 是常用的核燃料。

(i) 考慮一個會在核反應堆中發生的反應：



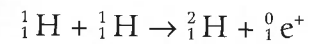
求 a 的值，並指出它的物理意義。

(2 分)

(ii) 鈾燃料要發生連鎖反應才可發電。試描述怎樣引發並維持連鎖反應。

(3 分)

Ext (b) 核聚變會在太陽內發生，並產生能量。以下是一個會在太陽內發生的反應。



(i) 求以上反應所釋放的能量，答案以 MeV 為單位。

已知： ${}_1^1\text{H}$ 的質量 = 1.007 276 u ${}_1^2\text{H}$ 的質量 = 2.013 553 u

${}_1^0\text{e}^+$ 的質量 = 0.000 549 u 1 u = 931 MeV = 1.661×10^{-27} kg

(2 分)

(ii) 假設 1 g 的 ${}_1^1\text{H}$ 全部發生聚變，求過程中釋放的總能量，答案以 MeV 為單位。

(1 分)

題解

(a) (i) 考慮質量數。

$$235 + 1 = 94 + a + 3 \times 1$$

$$a = 139$$

這是 Te 的質量數。

1A

1A

(ii) 當鈾-235 原子核捕獲一個低速中子，核裂變就會發生。

如果裂變放出一個或以上的中子，而且附近有足夠的鈾-235 原子核，

這些中子就能夠繼續使原子核分裂，引發連鎖反應。

1A

1A

1A

(b) (i) 釋放的能量

$$= 1.007\,276 \times 2 - (2.013\,553 + 0.000\,549)$$

$$= 0.000\,45\text{ u}$$

$$= 0.000\,45 \times 931\text{ MeV}$$

$$= 0.419\text{ MeV}$$

1M

1A

(ii) 釋放的總能量

$$= \frac{\text{可供使用的 } {}_1^1\text{H 的質量}}{\text{每個反應中 } {}_1^1\text{H 的質量}} \times \text{在每一個反應中釋出的能量}$$

$$= \frac{0.001}{1.007\,276 \times 2 \times 1.661 \times 10^{-27}} \times 0.419$$

$$= 1.25 \times 10^{23}\text{ MeV}$$

1A

常見錯誤

在計算過程中，學生可能忘記考慮中子，或混淆質量數和原子序數。

常見錯誤

學生或誤以為觸發反應的是高速中子。

常見錯誤

學生可能沒有注意每個反應都用上了兩個氫-1 原子核。

▶ 複習 Q26 (p.121)

ii 核廢料

核電站製造的**核廢料**具有放射性，所含有的核素大多有很長的半衰期，因此須要經過特別的程序處理和儲存。這些廢料要先封存在鋼製容器內，然後埋在地底（圖 3.3b）。

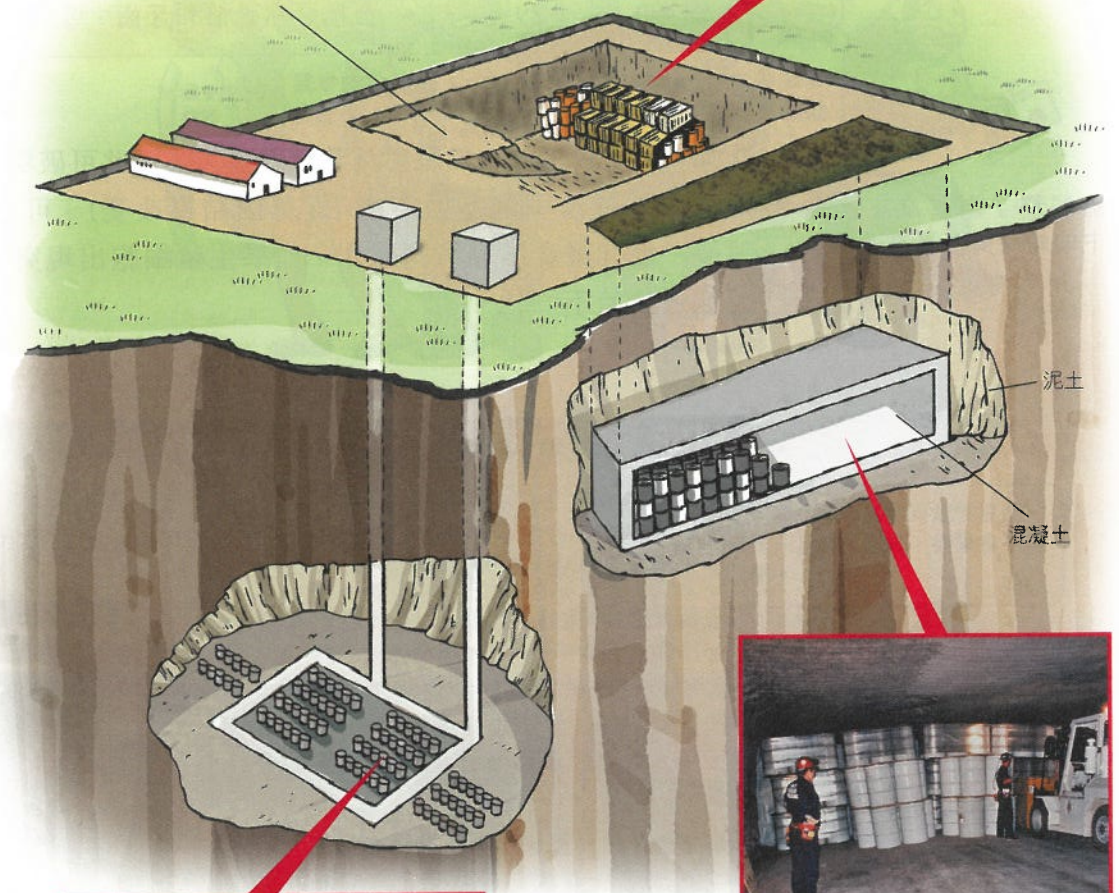
高放射性廢料會在密封前送往處理工廠。在那裏，有用的原料會從廢料中提取出來。

有用的原料包括未裂變的鈾，及少量鈾-239。這些鈾可用來發電或製造核武。

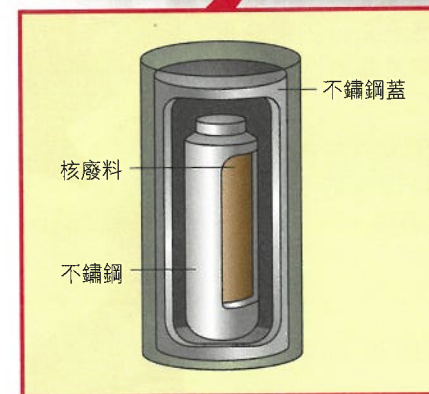
低放射性廢料埋在地底淺處



以泥土覆蓋核廢料



中度放射性廢料埋在地底數米深的位置



高放射性廢料埋在地底數百米深的位置

圖 3.3b 棄置不同放射水平的核廢料

核廢料 nuclear waste

iii 潛在危機

核廢料卸置區或核電站一旦泄漏放射性物質，便會嚴重危害人類健康和影響環境。碘-131、銫-137和銈-90是常見的裂變產物，全部會放出 β 輻射，並對人體或環境構成不同的危險（表 3.3a）。

	半衰期	影響
碘-131	8 天	會積聚在甲狀腺，增加引發甲狀腺癌及其他甲狀腺疾病的風險
銫-137	30 年	- 會積存在軟組織，可能引發癌症 - 屬水溶性，容易污染泥土和農作物
銈-90	29 年	會積聚在骨骼和牙齒，導致骨癌和白血病

表 3.3a 一些放射性物質對人體的影響

這解釋了為甚麼在起點►

正如單元 2.3 提及，核輻射具致電離能力，因此可破壞生物的健康細胞。這些破壞或會引起基因突變（即基因結構改變），可能導致生物的外貌改變，也有機會影響細胞運作。如果生殖細胞出現突變，上述的破壞更可能遺傳給下一代。

STSE 「搶鹽」事件

福島核事故發生後，日本政府向受影響的居民提供鉀化碘片（所含的碘不帶放射性，與碘鹽所含的碘相同）。進食非放射性碘有助於阻止身體吸收放射性碘，並避免患上某些由輻射引致的疾病。

這個消息傳開後，一股搶購食鹽的風潮旋即在香港和一些內地城市爆發。不過，大部分在本港出售的食鹽根本不含碘；即使是碘鹽（含碘的食鹽），含碘量只有很少，必須大量進食才能吸收足夠的分量。

事實上，放射性碘的半衰期只有 8 日，日本的放射性碘飄到香港時，濃度及放射性都已大幅減少。香港天文台在福島核事故後根本檢測不到本港輻射水平有任何急增的情況出現。

只要我們掌握放射現象的重要概念，並運用一些基本的邏輯推理技巧，就可以理智地判斷一些資訊的真偽。



可鼓勵學生思考核能的優點和缺點，並說出他們的立場（支持還是反對使用核能）。強調學生應基於物理原則，有條理地說出支持或反對的理據，以訓練學生在思考富爭議性的議題時，能用理智的方法來做決定。

iv 優點與缺點

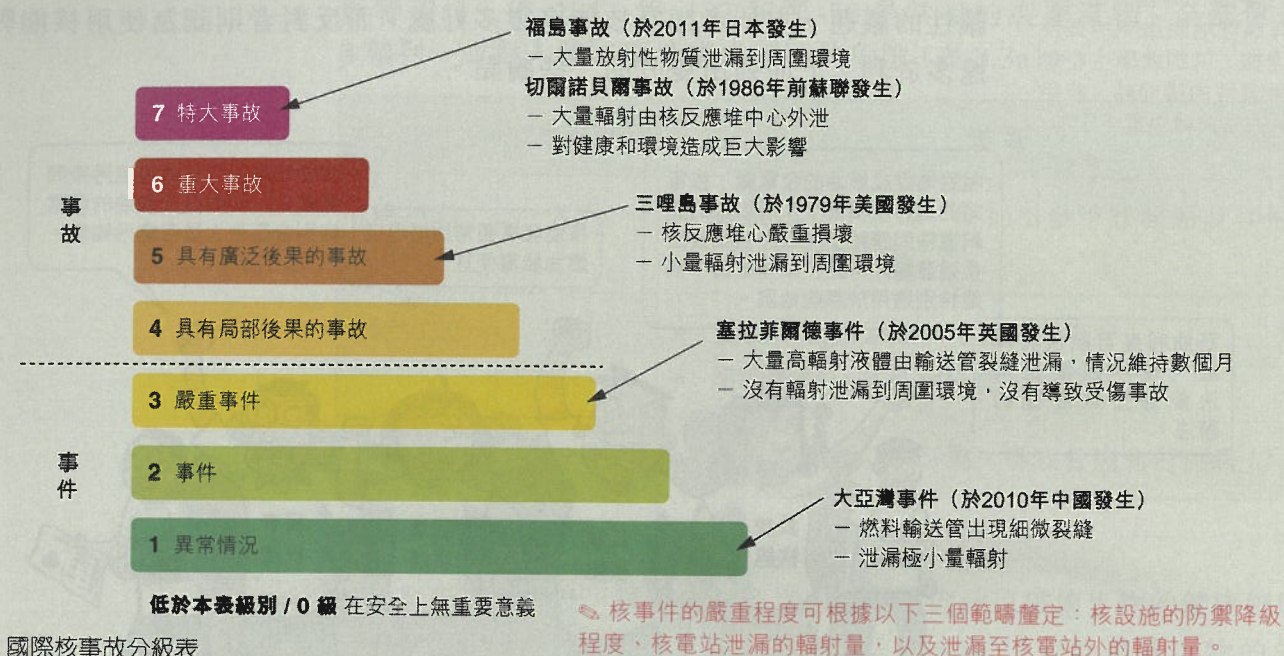
核能是效能很大的能源，但同時亦有潛在危險。應否使用核能是極富爭議性的議題。支持者認為核能有很多好處，而反對者則認為使用核能弊遠多於利。下面列出雙方的一些論點。



核能有助解決世界未來能源短缺危機，並舒緩燃燒化石燃料所引起的問題，但也會導致嚴重的社會及環境問題。

STSE 核事故

國際核事故分級表將核事件分為七級。



國際核事故分級表

過去曾發生兩宗達七級的特重大事故，一宗發生在 1986 年前蘇聯的切爾諾貝爾核電站，另一宗發生在 2011 年日本的福島核電站。

福島核事故

福島核事故由天災引起。一次地震及其引發的海嘯令核反應堆的冷卻系統停止運作，堆心因而過熱熔毀，並接連發生爆炸，把大量放射性物質泄漏到四周。

雖然事故中沒有即時死亡個案，但卻造成以下結果：

- 核電站方圓 20 km 範圍內的 140 000 名居民須要疏散。
- 受輻射污染的水不斷從發電站泄漏到海洋。
- 福島的土壤、牲畜和農作物受輻射污染，不少國家對日本進口的食品實施管制措施。
- 部分前往福島參與救援工作的人員患上了與輻射有關的疾病。

雖然這宗核事故對人類和環境的實際影響至今尚未明確，不過應該是廣泛而深遠的。



福島核電站在事故中嚴重受損



居民疏散到收容中心



日本進口本港食品接受輻射掃描檢測



登入英國廣播公司的網站，詳細了解以上兩宗核事故：

http://www.bbc.co.uk/zhongwen/trad/world_commentary/2011/05/110505_ana_jp_fukushima.shtml

b 受控核聚變

核裂變用作能源可能會帶來很多潛在危險，相比之下，受控核聚變有以下好處：

- 1 核聚變燃料（氘-2）可從海水中大量提取，成本便宜。
- 2 核聚變的產物（氦）是一種不帶放射性的惰性氣體。

不過，即使經過 60 多年深入研究，科學家始終未能將受控核聚變作實際應用（圖 3.3c），許多技術困難仍有待解決，其中包括：

- 1 難以保持核聚變所需要的高溫（ 10^7 °C）。
- 2 目前還沒有固體容器能夠承受如此高溫，需要特別的技術來盛載聚變燃料和產物。

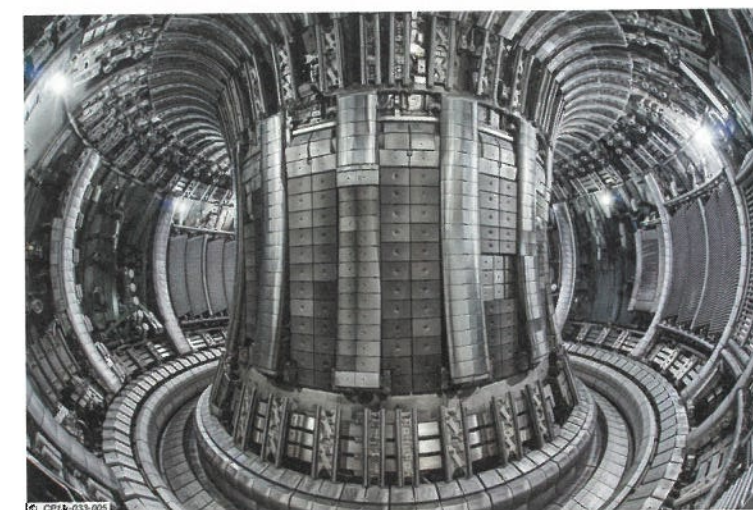


圖 3.3c 位於英國的歐洲聯合環，是目前全球最大的核聚變研究裝置

科學家仍然努力不懈，研究怎樣利用受控核聚變發電，希望能夠在 2030 年前建成核聚變實驗反應堆。

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.101）。

- 11 使用下列哪一種燃料發電會產生污染？
 - (1) 天然氣
 - (2) 鈾-235
 - (3) 石油

A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)
- 12 大亞灣核電站利用核（裂變/聚變）來發電。
- 13 下列哪一項是燃煤發電較核能發電優勝的地方？
 - A 運送燃料的問題較少
 - B 發電時製造較少空氣污染物
 - C 每單位質量的燃料可釋出較多能量
 - D 以上皆不是

2 核武

核裂變和核聚變能夠釋放龐大能量，如過程迅速又不受控，可造成嚴重破壞。核武就是根據這個原理運作。以下是一些核武的例子。

a 原子彈

在不受控核裂變中，每次裂變所放出的全部中子都可引發更多裂變，令整個過程變得不受控，最終發生爆炸。

燃料通常以鈾-235或鈾-239製成。

Little boy
Fat man

原子彈透過不受控核裂變，釋放大量熱和核輻射(圖 3.3d)。當原子彈內的濃縮燃料超過臨界質量，原子彈便會爆炸。把兩堆原先隔離的濃縮燃料快速結合起來，就可以令燃料超過臨界質量(圖 3.3e)。



圖 3.3d 原子彈爆炸產生蘑菇狀雲團

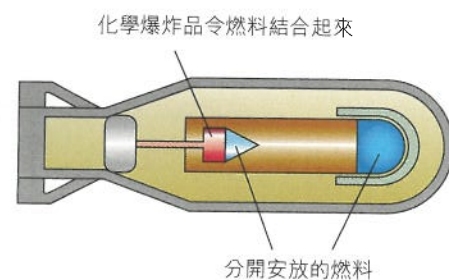


圖 3.3e 原子彈的結構

鈾礦石只含 0.72% 的鈾-235，而地球只含有微量的鈾-239。

核武內鈾-235 的濃度通常達到 85% 或以上，而輕水式反應堆內的濃度則只有 3-5%。

原子彈所用的燃料，天然產生的濃度很低。要製造原子彈，就要採用複雜的程序來增加燃料的濃度。

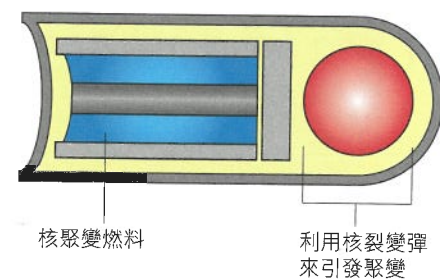
b 氫彈及中子彈

氫彈的威力來自人造的不受控聚變(圖 3.3f)，它利用不受控的裂變(原子彈)來產生高溫，繼而引發聚變。一般而言，氫彈的破壞力達原子彈的 100 至 1000 倍。



(i) 氫彈的外貌

圖 3.3f 氫彈



(ii) 氫彈的結構

可播放以下錄像片段：

(1) 向長崎投擲原子彈

http://www.youtube.com/watch?v=ncq_Wye43TM&feature=fvw

(2) 首枚氫彈爆炸

https://www.youtube.com/watch?v=NNcQX033V_M



中子彈與氫彈相似，分別在於中子彈在高處爆炸。由核聚變產生的中子到達地面時，會殺死人及牲口，但不會破壞建築物。

核武(原子彈、氫彈、中子彈)根據物理原理設計。它們的破壞力巨大無比。

歷史點滴 首枚核彈

美國政府在第二次世界大戰期間製造出世上首兩枚原子彈，並於 1945 年把它們投到日本的廣島和長崎，完全摧毀了這兩座城市(圖 a)。這是首次也是唯一在戰爭中使用原子彈。

美國於 1952 年在一個太平洋小島試爆首枚氫彈(圖 b)，殺死島上所有生物。在往後 30 年，數個國家也相繼試爆氫彈，例如，中國就在 1967 年第一次試爆氫彈。



圖 a 原子彈毀滅了整個廣島



圖 b 首枚氫彈爆炸，製造了一個蘑菇狀雲團

STSE 應否發展核武？

自從第一件核武面世後，各界對應否發展核武這項議題有很大的爭議。

原子彈結束戰爭

原子彈投到日本兩個城市，結束了第二次世界大戰。這次事變雖可帶來和平，但代價極之沉重。核爆令 200 000 人死亡，受生理和心理創傷的人更不計其數。究竟應否用原子彈來終止戰爭？原子彈造成嚴重的破壞，也導致很多人傷亡，科學家是否要負上部分責任？

核威懾和核擴散

現時，有幾個國家擁有核武，有些可能擁有核武，有些則有能力生產核武(圖 a)。有些國家聲稱生產核武於受襲時可保衛領土，你認為這套防衛策略有效嗎？各國可改用其他保衛領土的策略嗎？



圖 a 擁有核武的國家

3 核輻射的傳播

a 放射性物質的傳播途徑

從某源頭（例如核電站）釋放出來的放射性氣體和塵埃會循多種途徑傳播，部分透過受污染的空氣、水和食物進入人體（圖 3.3g）。

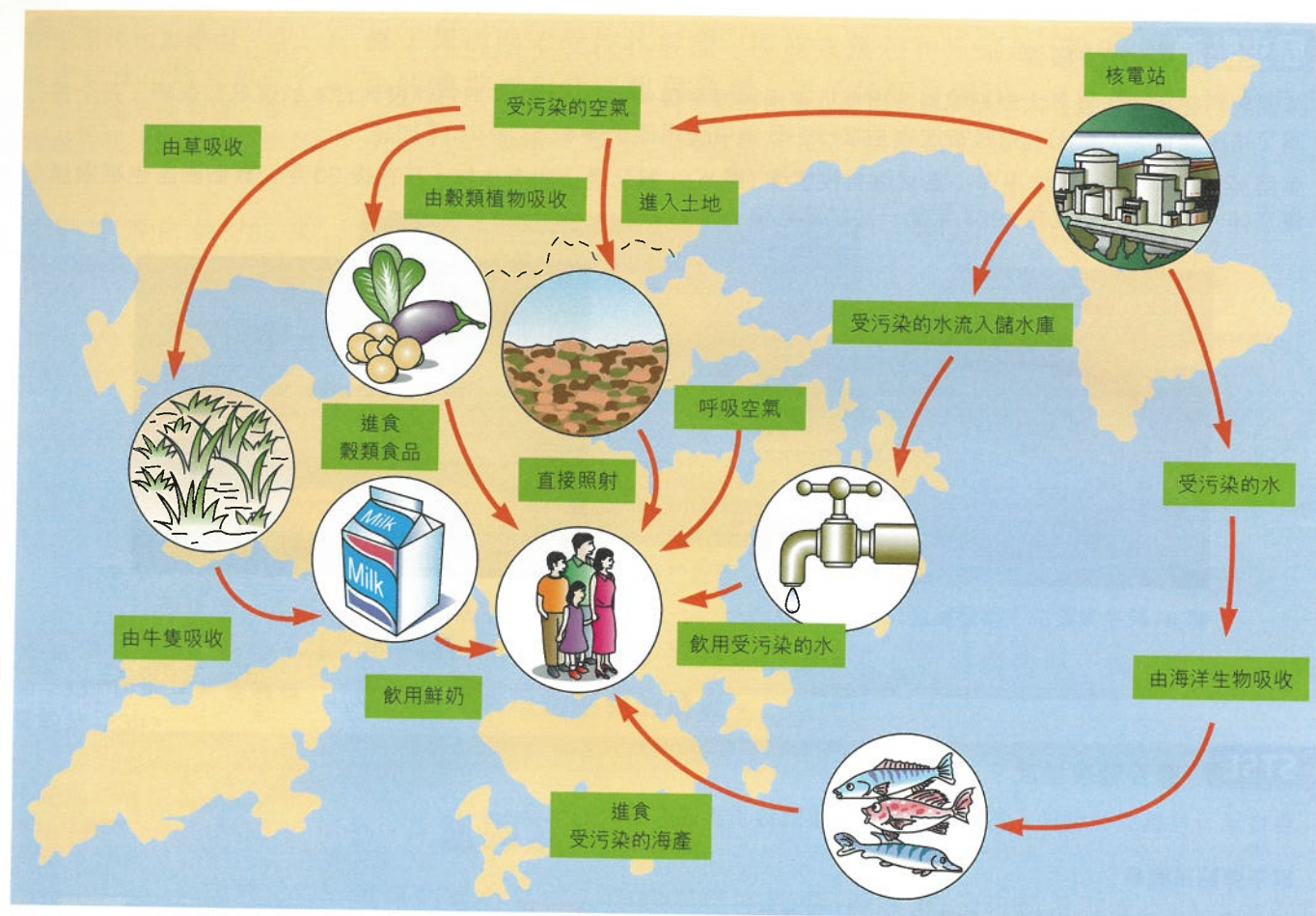


圖 3.3g 放射性物質的傳播途徑

b 監測本底輻射

日常接收到的本底輻射很少，應不致損害健康，但我們仍須監測它的水平，以防因意外而引致本底輻射升高，並避免在不必要的情況下吸收輻射。

自 1961 年起，香港天文台開始監測空氣中的輻射水平。1987 年，位於大亞灣的廣東核電站開始興建，天文台也同時擴大監測範圍至泥土、食物、水等（圖 3.3h，見 p.113）。天文台設立了 12 個輻射監測站，實時監測空氣和環境中的伽瑪輻射水平（圖 3.3i，見 p.113）。

可瀏覽香港天文台的網站，獲取更多有關環境輻射監測計劃的資料：
http://www.hko.gov.hk/radiation/ermp/frontpage/monitoring_env_c.htm



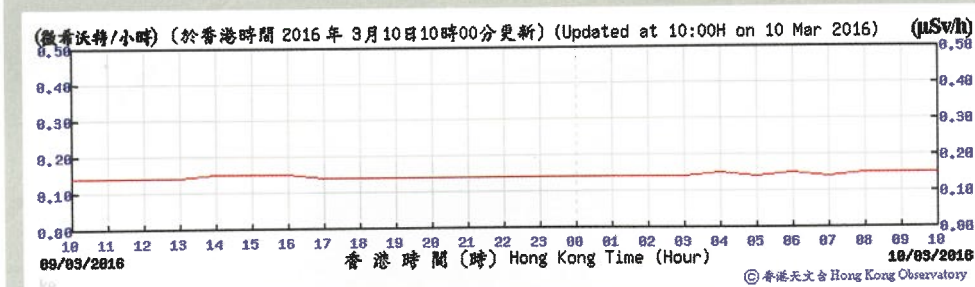
圖 3.3h 香港天文台職員收集大氣飄塵樣本



圖 3.3i 香港境內 12 個固定監測站的位置

生活中的物理 核事故監察

2011 年福島核事故發生，公眾都十分關注事故的影響，因此，香港天文台加強了輻射監測的工作，並設立「核事故監察特別網頁」，為公眾提供最新的輻射測量結果，並預測氣團的抵港路線。



在某監察站錄得的每小時平均環境伽瑪輻射劑量率

要參閱上述網頁，可登入 http://www.hko.gov.hk/radiation/ermp/rmn/applet/map/rmn_latest_link_c.htm



歷史點滴 核子物理學的迅速發展

自從首個人工放射性元素出現後，科學家了解到核子物理學的威力，於是開始研究能夠釋放巨大能量的核反應，以及應用核能的途徑。

哈恩和施特拉斯曼發現核裂變。



哈恩研究團隊發現核裂變時所用的實驗裝置

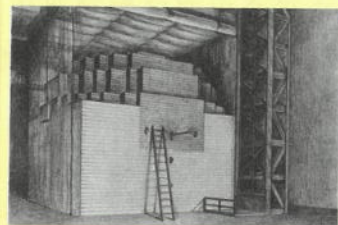
1838

首次提出碳-14年代測定法。



1942

費米引發首個受控的連鎖反應。



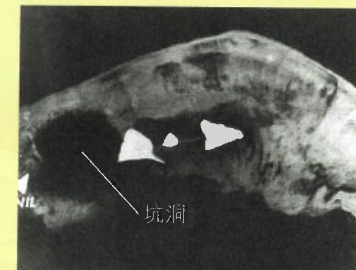
首個引發受控連鎖反應的核反應堆
曼哈頓計劃展開，開始製造原子彈。



曼哈頓計劃引爆首個原子彈

1947

首個氫彈試爆。



航攝照片顯示首個氫彈爆炸後在某個島上造成的坑洞

1952

首座商營核電站在英國啟用。



1956

歐洲聯合環（全球最大的聚變反應堆）啟用，以研究核聚變。



1984

習題與思考 3.3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.101）。

- 1 1 下列哪一項是以核裂變發電（圖 a）較燃煤發電優勝的地方？



圖 a

- A 核廢料對人類傷害較少。
- B 維持核反應堆安全水平的成本較低。
- ☒ C 以核裂變發電產生較少空氣污染。
- D 海水含有豐富的燃料。

- 2 2 下列哪一項會在原子彈的爆炸中發生？

- A 受控核裂變
- ☒ B 不受控核裂變
- C 受控核聚變
- D 不受控核聚變

- 2 3 下列哪項涉及核聚變？

- (1) 原子彈爆炸
- (2) 太陽中的核反應
- (3) 氫彈爆炸

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

- ★ 4 核電站一旦發生意外，就有可能泄漏放射性物質。下列哪項有關泄漏放射性物質的敘述是正確的？

- (1) 泄漏到空氣的放射性物質可以經雨水滲入泥土。
- (2) 海洋動物能夠把放射性物質從受污染地區帶到其他地方。
- (3) 把受污染食物徹底煮熟，可以清除大部分放射性物質。

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

- ★ 5 下列哪一項有關核廢料（圖 b）的敘述是不正確的？



圖 b

- A 核廢料具放射性。
- B 一些有用的原料可從核廢料中提取。
- C 核廢料應長期埋在偏遠地區的地底下。
- ☒ D 核廢料引致嚴重的空氣污染。

- 1 6 廣東大亞灣核電站的總發電功率大約為 2 GW (1 GW = 10^9 W)。求 1 小時的輸出能量。 7.2×10^{12} J

- ★ 7 試從以下各方面，比較應用核裂變和燃燒化石燃料的發電方法：

- (a) 污染
- (b) 安全

- ★ 8 試從以下各方面比較核裂變和核聚變：

- (a) 使用的燃料
- (b) 釋放的能量
- (c) 對環境的影響

- ★ 9 核反應堆和原子彈內發生的都是連鎖反應，但為甚麼一個稱為受控核裂變，另一個卻稱為不受控核裂變？是甚麼受到控制？

- ★ 10 一座核電站有三個反應堆，每個反應堆的功率都是 5 GW (1 GW = 10^9 W)。 2130 s

- (a) 核電站要供應 3.2×10^{13} J 能量，共需時多久？
- (b) 1 kg 的鈾燃料發生核裂變後會放出 1.45×10^{13} J 的能量。設核電站的效率是 30%，求 8 小時後消耗了多少質量的鈾燃料。

99.3 kg

總結 3

詞彙

1 核裂變 nuclear fission	p.88	Ext 6 原子質量單位 (u) atomic mass unit	p.95
2 連鎖反應 chain reaction	p.89	Ext 7 電子伏 (eV) electron-volt	p.96
3 臨界質量 critical mass	p.90	8 核反應堆 nuclear reactor	p.102
4 核聚變 nuclear fusion	p.91	9 核廢料 nuclear waste	p.105
Ext 5 質能關係 mass-energy relationship	p.94		

課文摘要

3.1 核裂變及核聚變

- 核裂變時，一個重的原子核分裂成較輕的原子核，過程中釋放出大量能量。
- 每次裂變時，要有至少一個中子放出，令另一個可裂變原子核分裂，連鎖反應才會持續不斷地發生。可裂變物質能維持連鎖反應的最小分量稱為臨界質量。
- 核聚變時，兩個輕原子核結合成為一個較重的原子核。若兩個原子序數低的原子核結合，便會釋放大量能量。

Ext 3.2 質能關係

- 質量可轉化為能量，反之亦然。質能關係可以寫作：

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

- 原子規模的質量通常用原子質量單位 (u) 來表示：

$$1 \text{ u} = 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

- 原子質量單位和電子伏都可用作能量的單位。

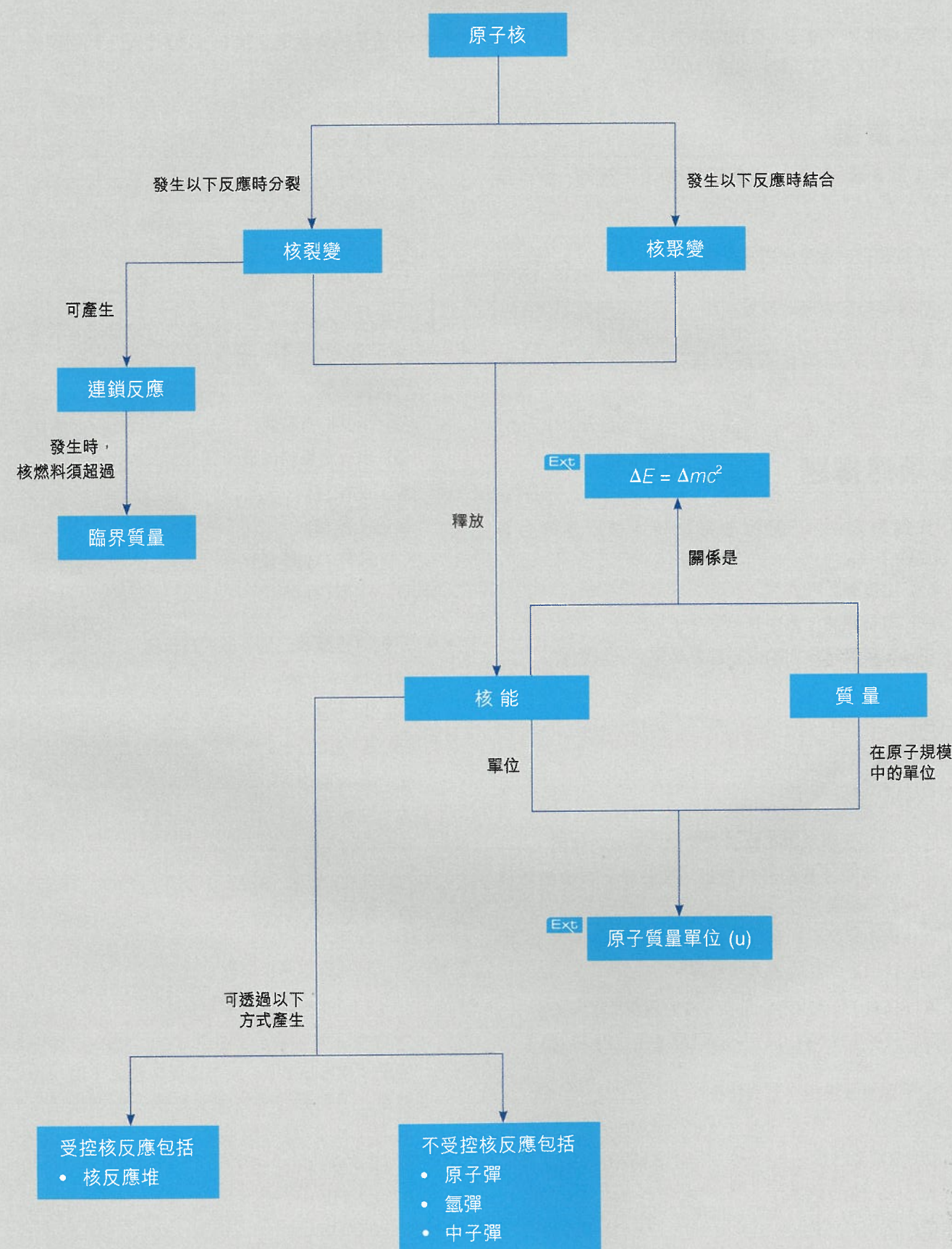
$$1 \text{ u} = 931 \text{ MeV}$$

- 於核裂變及核聚變中，反應後粒子的總質量通常較反應前小，失去的質量會轉化成能量。

3.3 核能的應用

- 受控核裂變可用來發電。
- 核能有助解決世界未來能源短缺危機，並紓緩燃燒化石燃料所引起的問題，但也會導致嚴重的社會及環境問題。
- 核武（原子彈、氫彈、中子彈）根據物理原理設計，它們的破壞力來自不受控核裂變或聚變，威脅全球。

概念圖



複習 3

- Q1 核燃料的質量小於臨界質量時，連鎖反應就不會發生。
 Q2 原子序數較低的原子核發生聚變時，會放出能量。
 Q3 中子不帶電，所以中子撞擊鈾-235 原子核時，無須克服靜電排斥力。
 此外，鈾-235 原子核較難捕獲高速中子。

除特別指明外，取 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ，
 $1 \text{ u} = 1.661 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV}$ 。

概念重溫

(第 1 至 3 題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 3.1.1 核裂變必定會產生連鎖反應。F
 3.1.2 核聚變必定會吸收能量。F
 ☆ 香港高級程度會考 2010 年卷二 Q4(b)(i)
 3.1.3 高速中子能夠克服靜電排斥，引發鈾-235 的核裂變。F

多項選擇題

- 3.1.4 在鈾裂變中，下列哪些是維持連鎖反應的必要條件？
 (1) 溫度高於 $10^7 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
 (2) 核裂變時，最少有一個中子放出。
 (3) 在裂變時放出的中子都會參與另一次裂變。
 A 只有 (1)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)
- 3.1.5 以下哪些是科學家不斷研究受控核聚變的原因？
 (1) 以相同質量的燃料來說，核聚變比核裂變釋放更多能量。
 (2) 核聚變燃料的資源很充足。
 (3) 核聚變的產物對人類無害。
 A 只有 (1) 和 (2) B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

Ext 3.2 6 把下列能量值由小至大排列。

- (1) 1 u (2) 3 MeV
 (3) 500 kJ (4) 8 kW h
 A (1), (3), (2), (4) B (1), (4), (3), (2)
 C (2), (1), (3), (4) D (2), (1), (4), (3)

Ext 3.2 7 水分子的質量是 $2.9915 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ，即相等於

- (1) 18.0 u。
 (2) $1.62 \times 10^{18} \text{ J}$ 。
 (3) 16 800 MeV。

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

★ 8 下列哪些反應發生，反應物的分量須大於臨界質量？

- (1) 核聚變
 (2) 不受控核裂變
 (3) 核反應堆內的核裂變

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

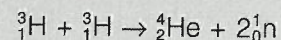
★ 9 下列方程顯示三個不同的核反應：

- (1) $^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^8_4\text{Be}$
 (2) $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He}$
 (3) $^6_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$

哪些是核聚變？

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

Ext 3.2 10 以下方程表示某核反應：



已知氦-4 原子核的質量是 $4.001\,506 \text{ u}$ ，中子的質量是 $1.008\,665 \text{ u}$ 。設上述反應釋放 $1.82 \times 10^{-12} \text{ J}$ 能量，下列哪一個估算值最接近氦-3 原子核的質量？

- A 2.4990 u
 B 2.5112 u
 C 3.0033 u
 D 3.0155 u

★★ 11 下列哪一項有關核聚變的敘述必定正確？

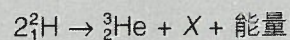
- Ext 3.1 A 反應須要由中子引發。
 B 結合後粒子的質量比任何參與反應的原子核大。
 C 反應發生時會放出中子。
 D 聚變過程中會產生連鎖反應。

▶ 參看 p.91-92

Ext 12 香港高級程度會考 2004 年卷二 Q44

綜合題

以下核反應代表兩粒氘核 ^2_1H ，結合成一個氦同位素 ^3_2He ，並釋出能量。



以下哪些敘述是正確的？

- (1) 這是一個核聚變的例子。
 (2) ^3_2He 和 X 的總質量大於兩粒 ^2_1H 的總質量。
 (3) X 是中子。

- A 只有 (1) 和 (3) (74%) B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

□ 考試報告見第 123 頁。

3.1.13 香港中學會考 2009 年卷二 Q27

在鈾-235 的核裂變中，以下哪項 / 哪些是持續連鎖反應必要的條件？

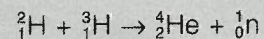
- (1) 每次裂變產生大量能量。
 (2) 每次裂變至少釋出一顆中子。
 (3) 每次裂變產生兩個較小的原子核。

- A 只有 (1) B 只有 (2) (33%)
 C 只有 (1) 和 (3) D 只有 (2) 和 (3)

Ext 14 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q36

綜合題

指出以下核反應的種類，並求該反應釋放的能量。



已知： ^2_1H 的質量 = 2.014 u

^3_1H 的質量 = 3.016 u

^4_2He 的質量 = 4.003 u

^1_0n 的質量 = 1.009 u

反應種類	所釋放能量
A 聚變	0.018 MeV
B 聚變	16.76 MeV
C 裂變	0.018 MeV
D 裂變	16.76 MeV

Ext 15 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q36

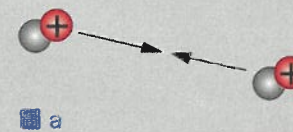
3.2

太陽是透過熱核聚變釋放巨大能量而同時其質量會減少。太陽放出的平均功率約為 $3.8 \times 10^{26} \text{ W}$ ，估算太陽在一秒內減少的質量。

- A $4.2 \times 10^6 \text{ kg}$
 B $4.2 \times 10^9 \text{ kg}$ (63%)
 C $1.3 \times 10^{15} \text{ kg}$
 D $1.3 \times 10^{18} \text{ kg}$

問答題

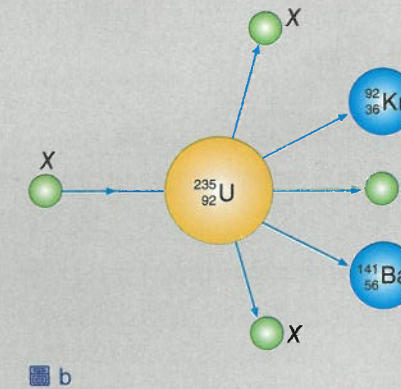
3.1.16 核聚變中，兩個氫-2 原子核以高速相撞 (圖 a)，形成一個氦-3 原子核。



- (a) 試解釋甚麼是核聚變。 (1 分)
 (b) 試寫出上述聚變的方程。 (2 分)
 (c) 試解釋為甚麼兩個氫-2 原子核要以高速相撞。 (2 分)

★ 17 圖 b 顯示在核電站發生的核反應，這個反應可用來發電。

綜合題



- (a) 在這座核電站發生的是哪種核反應？ (1 分)
 (b) 圖 b 中，X 代表甚麼？中子 (1 分)
 (c) 由此寫出核反應的方程。 (1 分)
 (d) 試解釋反應中釋放 X 的重要性。 (2 分)
 (e) 試舉出使用核能的一個好處和一個壞處。 (2 分)

★ 18 $^{40}_{19}\text{K}$ 釋出一個粒子，衰變成 $^{40}_{20}\text{Ca}$ 。

綜合題

- (a) 釋出的粒子是甚麼？ β 粒子 (1 分)
- (b) 試寫出表示這個衰變過程的方程。 (1 分)

Ext (c) 衰變釋放了 $2.10 \times 10^{-13} \text{ J}$ 能量。

- (i) 求釋出粒子的質量，答案以 u 表示。
 $0.000\ 551 \text{ u}$ (3 分)
- (ii) 如果衰變共釋放了 16 J 能量，有多少摩爾的 $^{40}_{19}\text{K}$ 完全發生衰變？
 $1.27 \times 10^{-10} \text{ mol}$ (2 分)

已知：

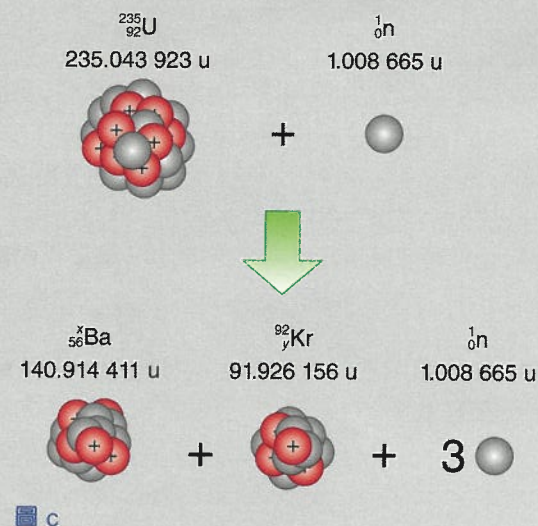
$^{40}_{19}\text{K}$ 的質量 = 39.953 567 u

$^{40}_{20}\text{Ca}$ 的質量 = 39.951 611 u

阿佛加德羅數 = $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

★ 19 (a) 考慮以下裂變反應：

Ext 綜合題



- (i) 求圖 c 中 x 和 y 的值。 $141, 36$ (2 分)
- (ii) 求反應釋放的能量，答案以 u 為單位。
 $0.186\ 026 \text{ u}$ (2 分)

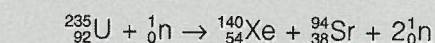
(b) 一核反應堆每秒消耗 1.39 g 的鈾-235 燃料。在消耗的燃料中，有 0.003% 的質量轉化為能量。

- (i) 設反應堆的功率是 700 MW，求它的效率。 18.7% (3 分)
- (ii) 鈾-235 裂變時釋放出 $3.2 \times 10^{-11} \text{ J}$ 的能量。求 1 秒內消耗了多少鈾-235 燃料。設所有鈾-235 原子核都發生裂變。
 $4.57 \times 10^{-5} \text{ kg}$ (2 分)

(c) 試舉出使用核能的一個優點和一個缺點。 (2 分)

★ 20 某核反應堆內發生下列的核裂變反應。

Ext 綜合題



已知：

$^{235}_{92}\text{U}$ 的質量 = 235.043 923 u

$^{140}_{54}\text{Xe}$ 的質量 = 139.921 646 u

$^{94}_{38}\text{Sr}$ 的質量 = 93.915 358 u

^1_0n 的質量 = 1.008 665 u

(a) 求反應釋出的能量，答案以 MeV 為單位。 185 MeV (2 分)

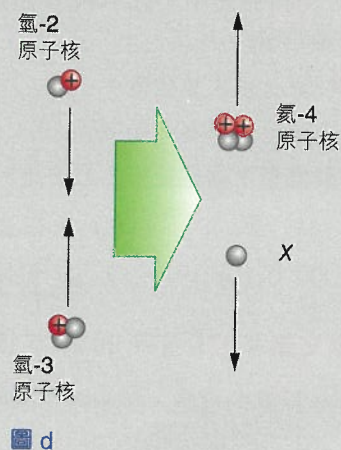
(b) 核反應堆的功率為 500 MW，每天運作 20 小時。

- (i) 反應堆每天提供多少能量？答案以 J 為單位。 $3.6 \times 10^{13} \text{ J}$ (2 分)
- (ii) 假設反應堆的效率為 30%，試計算每天耗用燃料的質量，答案以 kg 為單位。 1.58 kg (3 分)

(c) 試解釋以上方程所顯示的反應怎樣引起連鎖反應。 (2 分)

★ 21 下圖顯示一種核反應 (圖 d)。

綜合題



- (a) 寫出以上核反應的名稱。 核聚變 (1 分)
- (b) X 是甚麼？試寫出核反應的方程。 中子 (2 分)

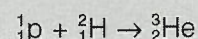
Ext (c) 試比較核反應前後粒子的總質量。 (1 分)

(d) 雖然引發以上核反應並不容易，但科學家卻努力找尋可行的方法來產生以上核反應，以獲取新能源。舉出兩個科學家做有關研究的原因。 (2 分)

(e) 試舉出一個發生以上核反應的地方。 太陽 (1 分)

★ 22 以下方程表示某核聚變反應：

Ext 綜合題



(a) 質子的質量是 1.007 276 u，氦-3 原子核的質量是 3.014 932 u。如果反應釋放 $8.8 \times 10^{-13} \text{ J}$ 能量，求氦-2 原子核的質量。答案以 u 表示。

$2.013\ 546 \text{ u}$ (4 分)

(b) 如果 1 kg 的氦-2 原子核發生以上的聚變，會釋放出多少焦耳的能量？ $2.63 \times 10^{14} \text{ J}$ (2 分)

(c) 為甚麼核聚變必須在非常高溫下才可引發？ (2 分)

★ 23 太陽 (圖 e) 的質量是 $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ ，並以 $3.90 \times 10^{26} \text{ W}$ 的功率放出能量。

Ext 綜合題



圖 e

(a) 假設太陽的所有質量轉化為能量。

(i) 過程中會釋出多少能量？答案以 J 為單位。 $1.79 \times 10^{47} \text{ J}$ (2 分)

(ii) 據此，估算太陽的壽命。答案以年為單位。
(已知：1 年 = 3.16×10^7 秒) $1.46 \times 10^{13} \text{ 年}$ (1 分)

(b) 太陽釋放的能量來自核反應。

- (i) 在太陽發生的是哪一種核反應？ 核聚變 (1 分)
- (ii) 在題 (a)(ii) 估算的結果較太陽的實際壽命長還是短？試解釋你的答案。 長 (2 分)

★ 24 鈾-210 ($^{210}_{84}\text{Po}$) 放出能量為 5.3 MeV 的 α 粒子，形成穩定的鉛 (Pb)。鈾-210 的半衰期是 138 天。

Ext 綜合題

(a) α 粒子的質量是 4.0026 u。試找出 α 粒子的最高速率，並寫下計算過程中所用的假設。

$1.60 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$ (3 分)

(b) 某鈾-210 樣本起初有 10^{10} 個原子。

- (i) 求樣本的初始放射強度。 581 s^{-1} (3 分)
- (ii) 求樣本能量釋放率。 $4.93 \times 10^{-10} \text{ W}$ (2 分)

★★ 25 (a) (i) 中子在核裂變中有甚麼作用？過程中，中子怎樣完成它的任務？ (2 分)

綜合題

(ii) 志文提議在鈾-235 裂變中使用低速電子來取代低速中子 (圖 f)，你認為這個方法可行嗎？為甚麼？ 不可行 (3 分)

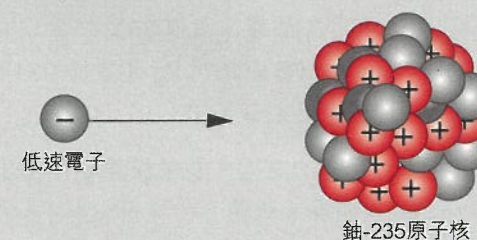
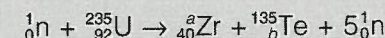


圖 f

(b) 以下方程顯示某個核裂變。



(i) 求以上方程的未知數 a 及 b。 $96, 52$ (2 分)

Ext (ii) 求反應釋放的能量，答案以 u 為單位。
 $0.184\ 541 \text{ u}$ (2 分)

已知：

^1_0n 的質量 = 1.008 665 u

$^{a}_{40}\text{Zr}$ 的質量 = 95.908 273 u

$^{135}_{b}\text{Te}$ 的質量 = 134.916 449 u

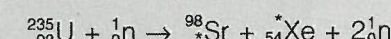
$^{235}_{92}\text{U}$ 的質量 = 235.043 923 u

參看 例題 5 (p.98)

☆ Physics A Unit 2824
OCR GCE Jun 2004 Q5

(a) 試解釋甚麼是核裂變。 (1 分)

(b) 以下顯示裂變反應的一個例子：



(i) 方程右邊的兩個星號 (*) 代表兩個數字。試寫下星號代表的核子數 (質量數) 和質子數 (原子序數)。 $136, 38$ (2 分)

(ii) 已知 $^{235}_{92}\text{U}$ 原子核在裂變之前的總質量是 236.053 u，此外，裂變產物的總質量是 235.840 u。試證明裂變過程中所釋放的能量約為 $3 \times 10^{-11} \text{ J}$ 。 (3 分)

(c) 假設 0.001 kg 的鈾-235 完全發生裂變。

- (i) 證明釋放的能量約為 $8 \times 10^{10} \text{ J}$ 。 (2 分)
- (ii) 釋放的能量可以把多少質量的水由 20 °C 加熱至水的正常沸點？已知水的比熱容量是 $4200 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 。 $2.38 \times 10^5 \text{ kg}$ (3 分)

☆ 略去 (b)(iii) 部。 □ 考試報告見第 123 頁。

Ext 27 香港高級程度會考 2010 年卷一 Q4

綜合題

- (a) 釷 (^{222}Rn) 原子核通過發射一粒 α 粒子衰變成釷 (Po) 的一個同位素。

已知：釷原子核的質量 = 222.0176 u

釷原子核的質量 = 218.0090 u

α 粒子的質量 = 4.0026 u

1 u = 1.66×10^{-27} kg 相當於 931 MeV

電子電荷 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C

- (i) 寫出衰變的方程，並求該衰變所釋出的能量，以 MeV 表達。 **5.59 MeV** (3 分)
- (ii) 衰變釋出的能量會轉化為衰變產物的動能。定量解釋為甚麼大部分能量為 α 粒子所得，並計算其速率 v 。假設母核起始時靜止。 **1.63×10^7 m s⁻¹** (4 分)

- (b) (i) 在 (a)(ii) 所得速率為 v 的 α 粒子射進一個真空區域，區域內有 $B = 0.5$ T 並跟 α 粒子初速垂直的勻強磁場，如圖 g 所示。試求在磁場區域內， α 粒子運動軌跡的半徑。

已知：

α 粒子的荷質比為 4.82×10^7 C kg⁻¹。

0.676 m

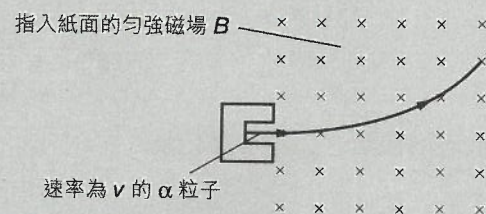


圖 g

- (ii) 說明 α 粒子會否以較高的速率離開磁場。

(2 分)

□ 考試報告見第 123 頁。

綜合題 28 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q11

鐳-226 (^{226}Ra) 透過 α 衰變轉變成氡 (Rn)。

- (a) 寫出衰變的核方程式。 (2 分)

Ext (b) 已知：

鐳原子核的質量 = 226.0254 u

氡原子核的質量 = 222.0176 u

α 粒子的質量 = 4.0026 u

計算衰變所釋出的能量，並以 MeV 表達。

4.84 MeV (2 分)

- (c) 1 居里 (Ci) 定義為 1 g 鐳的放射強度。在一般實驗室所使用的鐳源其放射強度約為 5 μCi 。估算該鐳源內鐳原子的數目，並據此估算這鐳源以每秒蛻變次數表達的放射強度。鐳-226 的半衰期為 1600 年，取一摩爾鐳的質量為 226 g。 ($1 \mu\text{Ci} = 1 \times 10^{-6}$ Ci) (3 分)

□ 考試報告見第 123 頁。

1.33×10^{16} 、每秒蛻變 1.83×10^5 次

29 香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q10

綜合題

美國太空總署 (NASA) 所設計的太空探測器「航行者 1 號」，可在太空運作超過十年。它配備了一個放射性同位素熱電發電機 (Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG)，可將放射源衰變時釋出的能量轉換成電能。「航行者 1 號」所用的鈾-238 放射源會進行 α 衰變。

- (a) 鈾-238 源是密封在 RTG 的薄金屬盒內。圖 h 顯示一位太空總署的員工正徒手處理 RTG。解釋為甚麼該位員工這樣處理並無不妥。(1 分)



圖 h

當「航行者 1 號」放射時，放射源內的鈾-238 原子的數目為 3.2×10^{25} 。

已知：鈾-238 的半衰期 = 87.74 年

取 1 年 = 3.16×10^7 秒。

- Ext** (b) (i) 求鈾放射源於發射時的放射強度，以 Bq 為單位。 **8.000×10^{15} Bq** (3 分)
- (ii) 當一個鈾-238 原子衰變時會釋出 5.5 MeV 的能量。估算在發射時，放射源所提供的功率，以 kW 為單位。 **7040 W** (2 分)
- (iii) 「航行者 1 號」在發射 36 年後，於 2013 年 9 月剛離開了太陽系，由此可見「航行者 1 號」的 RTG 仍在運作，估算此時鈾放射源所提供的功率，表達為在發射時的功率的百分比。 **75%** (2 分)

物理文章分析

綜合題 30 閱讀下列一段有關天然核裂變反應堆的文章，然後回答隨後的問題。

天然的核裂變反應堆

興建核裂變反應堆所需的最先進科技，許多國家還未能完全掌握。不過，科學家發現早在 20 億年前，西非已有一個天然的核裂變反應堆，這教他們大為驚訝。

那個反應堆怎麼可能出現呢？原來，當時的天然鈾礦含有大約 3% 的鈾-235，濃度與現代核反應所用的核燃料相若。不過，天然鈾礦內的鈾-235 原子核放出高速中子，由於速率太高，其他鈾-235 原子核根本無法吸收，連鎖反應因而無法維持。然而，包圍着鈾礦的地下水減慢了中子的速率，這有助於分裂其他原子核，於是產生連鎖反應，令鈾礦升溫。地下水吸收了釋出的能量後汽化，當全部地下水都汽化，連鎖反應便會停止，鈾礦和水汽也會冷卻下來，凝結的水汽再度包圍鈾礦。只要有足夠的水包圍鈾礦，連鎖反應便再次發生。整個過程不斷重複，直至鈾-235 的分量不足以維持連鎖反應為止。

科學家在西非發現了 16 個這類反應堆遺址。這些反應堆釋出的總能量為 4.73×10^{17} J，平均功率為 100 kW。核電站的功率普遍為 10^8 W，相對這個數值來說，天然反應堆的功率還是較低。

- (a) 利用文章的數據，計算天然核裂變反應堆運作了多久。 **150 000 年** (2 分)
- (b) 已知 1 g 的鈾-235 在核裂變中釋放 7.2×10^{10} J 的能量。天然核反應堆中曾有多少鈾-235 發生核裂變？ **6.57×10^6 g** (2 分)
- (c) 周遭環境要符合甚麼必要的條件，天然核反應堆才能發生連鎖反應？ (2 分)

□ **Q13** 考試報告：許多考生未能指出每次裂變須至少釋出一顆中子才可持續連鎖反應。

□ **Q27** 考試報告：令人滿意。在 (a)(i) 部，考生能寫出正確的方程，但有些弄錯了符號、MeV 單位轉換或代入程式的數字。在 (a)(ii) 部，很少考生能定量解說 α 粒子可取得大部分能量的原因，多數人只用動量方程來比較速度，但未能以質量表達出動能的比例。考生在 (b)(i) 和 (ii) 部表現良好，但只少數能清楚闡明為何射出的 α 粒子有相同速率。

□ **Q28** 考試報告：考生在 (a) 和 (b) 部的表現理想。少數考生在 (a) 以錯誤的符號寫出方程，能力較弱的考生在 (b) 變換單位如 u、MeV 和 J 時出錯。考生在 (c) 的表現平平，很多考生在一些以摩爾的計算上表現頗弱，在表達放射強度時更混淆了居里 (Ci) 和每秒蛻變次數 (或 Bq)。

□ **Q29** 考試報告：考生在 (a) 和 (b)(i) 部的表現不錯。這顯示考生大多對 α 粒子的特性和放射強度有充分了解。在 (b)(ii) 部，只有能力較強者明瞭可以利用每次衰變的能量值乘以在 (a)(i) 部算出的放射強度得出功率，有些考生在運算中誤用鈾原子的總數而非放射強度。在 (b) 部，考生如先考慮原子經過的半衰期數目，再計算活躍原子數量或放射強度的下降，則大多能算出正確的數值答案。

自我評核 3

⌚ 時間：15 分鐘 ✓ 總分：10 分

答題須知

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

甲部

3.1 1 下列哪一條方程代表核聚變反應？

- A ${}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{235}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$
 B ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He}$
 C ${}^{131}_{53}\text{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\text{Xe} + {}^0_{-1}\text{e}$
 D ${}^{12}_6\text{C} + {}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{23}_{12}\text{Mg} + {}^1_0\text{n}$

綜合題 2 下列哪項有關核裂變的敘述必定正確？

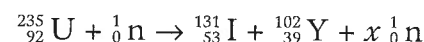
- (1) 連鎖反應會持續發生。
 (2) 能量以動能的形式放出。
 (3) 裂變時有中子放出。

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

乙部

綜合題 3 2011 年 3 月，日本福島核電站發生核事故，放射性物質泄漏到四周。

(a) 泄漏的物質包括碘-131，它由下列反應產生：



求 x 的值。 (1 分)

3

(b) 試舉出放射性物質泄漏到四周的一個途徑。 (1 分)

由風傳播

(c) 反應中放出的中子會導致嚴重後果。為甚麼？ (2 分)

Ext (d) 已知： ${}^{235}_{92}\text{U}$ 的質量 = 235.043 923 u ${}^{102}_{39}\text{Y}$ 的質量 = 101.934 283 u
 ${}^{131}_{53}\text{I}$ 的質量 = 130.906 126 u ${}^1_0\text{n}$ 的質量 = 1.008 665 u

求上述反應所釋放的能量，答案以 MeV 為單位。 (2 分)

173 MeV

Ext (e) 核電站所放出的碘-131，放射強度為 1.8×10^{18} Bq，碘-131 的半衰期是 8 天。放射強度跌至 10^{-4} Bq，需時多少？ (2 分)

591 天

答案

1 輻射與放射現象

進度評估 1 (p.7)

- 1 C
 2 (a) α 輻射
 (b) γ 輻射
 (c) β 輻射
 (d) α 輻射
 3 較少

習題與思考 1.1 (p.9)

- 1 D 2 C 3 A 4 B
 5 (a) 重金屬
 (b) T
 (c) P：-、Q：+
 7 (a) 2×10^{17} Hz

進度評估 2 (p.17)

1			
核輻射	致電離能力	火花計數器	雲室徑跡
γ	非常弱	沒有火花	細小而稀疏
α	強	產生許多火花	粗而直
β	弱	少量火花	幼細而彎曲

進度評估 3 (p.28)

- 1 (a) α 輻射、 β 輻射
 (b) β 輻射
 (c) α 輻射

2			
核輻射	致電離能力	穿透能力	空氣中的射程
α	強	非常弱	數厘米
β	弱	弱	數米
γ	非常弱	強	超過 100 米

3 X： α 輻射、Y： γ 輻射、Z： β 輻射

習題與思考 1.2 (p.28)

- 1 B 2 C 3 B 4 C
 5 A
 7 α 輻射
 8 (a) 能夠 (b) 能夠

- 10 (a) (i) 沒有
 (ii) 有
 (iii) 沒有
 (b) 每分鐘 88 次
 11 偉強： β 輻射；
 志明： γ 輻射

複習 1

概念重溫 (p.32)

- 1 T 2 F 3 F

多項選擇題 (p.32)

- 4 C 5 A 6 B 7 D
 8 A 9 C 10 C 11 A
 12 D 13 C 14 A 15 B
 16 C 17 A

問答題 (p.35)

- 18 (a) α 輻射
 20 (a) 沒有 (b) 有
 21 (a) (iii) 6×10^{-10} m
 22 (b) X： β 輻射
 Y： α 輻射
 (c) A：正極、B：負極
 (d) 不正確
 (e) 指出頁面
 23 (c) β 輻射
 24 (a) (i) 每分鐘 27 次
 (c) 不正確
 26 (a) (i) γ 輻射
 (ii) α 輻射
 (iii) γ 輻射
 (iv) β 輻射
 (b) (iii) α 輻射
 27 (b) 每分鐘 50 次
 (d)

輻射類型	計數率 / 每分鐘計數
α	0
β	50
γ	150

物理文章分析 (p.39)

30 白色

2 原子結構與放射衰變

進度評估 1 (p.47)

- 1 (a) (i) 質子
(ii) 電子
(iii) 中子
(iv) 原子核
(b) (ii) : 負 ; (iv) : 正

2

	碳 (C)	碘 (I)	釷 (Th)
原子序數	6	53	90
質量數	13	127	238
質子數目	6	53	90
中子數目	7	74	148
符號	$^{13}_6\text{C}$	$^{127}_{53}\text{I}$	$^{238}_{90}\text{Th}$

習題與思考 2.1 (p.47)

- 1 B 2 A 3 C 4 A
5 $^{43}_{20}\text{Ca}$
6 (a) 質子 (b) 電子
(c) 中子
7 (a) (i) 90
(ii) 142
(iii) 90
(b) $^{234}_{90}\text{Th}$
9 P、Q
10 (a) (ii) P、R
(b) P、Q

進度評估 2 (p.54)

- 1 D
2 $^{228}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{228}_{89}\text{Ac} + ^0_{-1}\text{e}$
3 (a) α 粒子、 α 粒子、 β 粒子
(b) α 粒子 : 8、 β 粒子 : 4

進度評估 3 (p.59)

- 1 C 2 B 3 B
4 (a) 3
(b) 2 g
(c) 14 g

- 5 20 小時
6 2.4×10^{13}

進度評估 4 (p.61)

- 1 (a) $5.42 \times 10^4 \text{ s}$
(b) $9.93 \times 10^4 \text{ Bq}$
2 (a) $2.20 \times 10^9 \text{ Bq}$
(b) $1.78 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
(c) $1.10 \times 10^5 \text{ s}$

習題與思考 2.2 (p.62)

- 1 A 2 B 3 B 4 C
5 A 6 D 7 B 8 B
9 (a) 放射核
(b) 已衰變的放射核
(c) 時間
10 (a) α 衰變 (b) 82、207
11 (a) $^{137}_{55}\text{X} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Y} + ^0_{-1}\text{e}$
(b) (ii) 不可以
12 (a) P_1 : α 粒子、 P_2 : β 粒子
(b) $^{229}_{90}\text{E} \rightarrow ^{225}_{88}\text{F} + ^4_2\text{He}$
(c) 沒有
13 (a) $4.81 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
(b) $2.83 \times 10^3 \text{ Bq}$
14 (a) $1.13 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$
15 (b) α 粒子 : 2、 β 粒子 : 1
16 (b) 7 分鐘
(c) $1.65 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
(d) 63.8 s

進度評估 5 (p.70)

1

放射性同位素	輻射種類	半衰期	用途
M	α	432.2 年	煙霧探测器
N	β	29.12 年	厚度計
O	β	5730 年	碳-14 年代測定法
P	γ	5.27 年	放射療法

進度評估 6 (p.73)

- 1 C
2 錯

習題與思考 2.3 (p.74)

- 1 D 2 A 3 D 4 C
5 C
6 (c) 不適用
7 (b) γ 輻射、 α 輻射
(c) α 輻射、 γ 輻射
8 19 000 年

複習 2

概念重溫 (p.78)

- 1 F 2 F 3 F 4 F

多項選擇題 (p.78)

- 5 C 6 C 7 A 8 D
9 D 10 B 11 A 12 D
13 B 14 D 15 D 16 C
17 B 18 B 19 B 20 D

問答題 (p.80)

- 21 (a) (i) 146
(ii) $^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow ^{237}_{93}\text{Np} + ^4_2\text{He}$
(b) 864 年
(c) 3.6×10^7
22 (a) β 輻射
(b) (i) 10 年、5 年
(ii) X
23 (a) 每分鐘 20 次 (b) 9.5 分鐘
(c) 28.5 分鐘
24 (a) γ 放射源
25 (a) $^{42}_{19}\text{K} \rightarrow ^{42}_{20}\text{Ca} + ^0_{-2}\text{e}$
(c) 不同意
26 (a) 142
(b) 2
(c) 不是
(d) 不同意
27 (a) β 放射源
(b) 減少
(d) 長
28 (a) (i) β 衰變
(ii) $^{131}_{53}\text{I} \rightarrow ^{131}_{54}\text{Xe} + ^0_{-1}\text{e}$
(b) (i) $1.00 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
(ii) 8.00 天
29 (b) 不可以
(d) 32 000 年

- 30 (a) (i) $5 \times 10^3 \text{ Bq}$
(ii) $4.17 \times 10^3 \text{ cm}^3$
(b) (i) $1.28 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
(ii) 6.03×10^7
31 (a) 3.5 天
(c) 5 月 3 日上午 9 時 30 分
32 (a) (i) $212 ; ^0_{-1}\text{e}$
(ii) $212 ; 208 ; ^4_2\text{He}$
(c) (i) 60.3 分鐘
33 (a) (ii) $\frac{3}{4}$
(b) (i) $2.49 \times 10^{11} \text{ Bq}$
(ii) 3.10×10^{18}
34 (b) $5.10 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$
(c) 306 s
35 (a) $3.83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$ 、 5.22×10^{10}
(b) 1.3×10^{11}
(c) $2.4 \times 10^{11} \text{ s}$

實驗題 (p.84)

- 36 (b) (ii) 80 s
37 (a) (i) 放射核
(ii) 已衰變的放射核
(iii) 時間
38 (b) 會

物理文章分析 (p.85)

- 39 (a) $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$
(b) 肺癌

3 核能

進度評估 1 (p.93)

- 1 D
2 裂變、中子
3 可裂變物質、最小、中子
4 (a) $x = 4$ 、 $y = 4$
(b) 是

習題與思考 3.1 (p.93)

- 1 C 2 D 3 B 4 B
5 1.39 g
6 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{23}_{12}\text{Mg} + ^1_0\text{n}$
7 (a) 核裂變 (b) $x = 39$ 、 $y = 3$

進度評估 2 (p.99)

1 C 2 A

3

粒子	質量 / kg	質量 / u
碳-12 核素	1.9932×10^{-26}	12.0000
碳-14 核素	2.3260×10^{-26}	14.0036
鈾-234 核素	3.8851×10^{-25}	233.9013
鎊-272 核素	4.5205×10^{-25}	272.1535

4

失去的 質量 / u	釋放的能量 / J	釋放的能量 / MeV
0.1931	接受 2.88×10^{-11} 至 2.89×10^{-11}	179.78
接受 0.0569 至 0.0571	8.50×10^{-12}	接受 52.94 至 53.13
0.0060	接受 8.96×10^{-13} 至 8.99×10^{-13}	5.60

5 2.84×10^{-11} J

習題與思考 3.2 (p.100)

1 D 2 A 3 C 4 B

5 A 6 D

7 (a) (i) $0.020\ 271\ \text{u}$
(ii) $3.37 \times 10^{-29}\ \text{kg}$
(b) (i) $18.9\ \text{MeV}$
(ii) $3.03 \times 10^{-12}\ \text{J}$

8 (a) $7.20 \times 10^{13}\ \text{J}$
(b) $2210\ \text{kg}$

10 (a) $1.82 \times 10^{-12}\ \text{J}$
(b) $3.64 \times 10^{15}\ \text{J}$

11 (a) $0.000\ 168\ \text{u}$
(b) $4.71 \times 10^{22}\ \text{MeV}$

進度評估 3 (p.109)

1 D

2 裂變

3 D

習題與思考 3.3 (p.115)

1 C 2 B 3 D 4 A

5 D

6 $7.2 \times 10^{12}\ \text{J}$

10 (a) $2130\ \text{s}$ (b) $99.3\ \text{kg}$

複習 3

概念重溫 (p.118)

1 F 2 F 3 F

多項選擇題 (p.118)

4 B 5 D 6 C 7 D
8 D 9 C 10 D 11 B
12 A 13 B 14 B 15 B

問答題 (p.119)

16 (b) ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

17 (a) 核裂變 (b) 中子
(c) ${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{92}_{36}\text{Kr} + {}^{141}_{56}\text{Ba} + 3 {}^1_0\text{n}$

18 (a) β 粒子
(b) ${}^{40}_{19}\text{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\text{Ca} + {}^0_{-1}\text{e}$
(c) (i) $0.000\ 551\ \text{u}$
(ii) $1.27 \times 10^{-10}\ \text{mol}$

19 (a) (i) $141\ 36$
(ii) $0.186\ 026\ \text{u}$
(b) (i) 18.7%
(ii) $4.57 \times 10^{-5}\ \text{kg}$

20 (a) $185\ \text{MeV}$
(b) (i) $3.6 \times 10^{13}\ \text{J}$
(ii) $1.58\ \text{kg}$

21 (a) 核聚變
(b) 中子、 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
(c) 太陽

22 (a) $2.013\ 546\ \text{u}$ (b) $2.63 \times 10^{14}\ \text{J}$
23 (a) (i) $1.79 \times 10^{47}\ \text{J}$ (ii) $1.46 \times 10^{13}\ \text{年}$

(b) (i) 核聚變 (ii) 長
24 (a) $1.60 \times 10^7\ \text{m s}^{-1}$
(b) (i) $581\ \text{s}^{-1}$ (ii) $4.93 \times 10^{-10}\ \text{W}$

25 (a) (ii) 不可行
(b) (i) $96\ 52$ (ii) $0.184\ 541\ \text{u}$

26 (b) (i) $136\ 38$
(c) (ii) $2.38 \times 10^5\ \text{kg}$

27 (a) (i) $5.59\ \text{MeV}$ (ii) $1.63 \times 10^7\ \text{m s}^{-1}$
(b) (i) $0.676\ \text{m}$

28 (b) $4.84\ \text{MeV}$
(c) 1.33×10^{16} 、每秒蛻變 1.83×10^5 次

29 (b) (i) $8.000 \times 10^{15}\ \text{Bq}$
(ii) $7040\ \text{W}$
(iii) 75%

物理文章分析 (p.123)

30 (a) $150\ 000\ \text{年}$ (b) $6.57 \times 10^6\ \text{g}$

自我評核題解

自我評核 1

1 B

2 A

3 (a) 放射源和底片之間的距離大於 α 輻射的射程，
1A

因此，底片變黑並非由 α 輻射造成，而是由另一種輻射造成。
1A

(b) (i) 應在放射源的前方放兩塊鉛板，鉛板之間
留有一條狹縫，
1A

令放射源放出的輻射沿單一方向發出。
1A

(ii) A
1A

自我評核 2

1 B

2 A

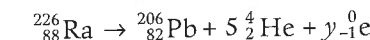
3 (a) ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{88}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$ 1A + 1A

(b) α 粒子數目
 $= \frac{\text{質量數的改變}}{\alpha \text{ 粒子的質量數}}$ 1M

$= \frac{226 - 206}{4}$ 1A
 $= 5$

設整個衰變系共放射出 y 個 β 粒子。

代表衰變的方程可以寫成：



考慮原子序數。

$$88 = 82 + 5 \times 2 + y \times (-1) \quad 1M$$

$$y = 4$$

整個衰變系共放射出 4 個 β 粒子。
1A

(c) $A = A_0 e^{-kt}$ 1M
 $= (1)e^{-\left(\frac{\ln 2}{1600}\right)(5000)}$
 $= 0.115\ \text{Bq}$ 1A

另解：

未衰變的鎳-226 的放射強度

$$= 1 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5000}{1600}} \quad 1M$$

$$= 0.115\ \text{Bq} \quad 1A$$

自我評核 3

1 D

2 A

3 (a) 考慮質量數。

$$235 + 1 = 131 + 102 + x \times 1$$

$$x = 3 \quad 1A$$

(b) 由風傳播 1A

(c) 放出的中子會令其他鈾原子核分裂，
連鎖反應因而有機會發生。 1A

(d) 所釋放的能量
 $= 235.043\ 923 + 1.008\ 665 -$
 $(130.906\ 126 + 101.934\ 283 +$
 $3 \times 1.008\ 665)$ 1M

$$= 0.186\ \text{u}$$

$$= 0.186 \times 931\ \text{MeV}$$

$$= 173\ \text{MeV} \quad 1A$$

(e) 根據 $A = A_0 e^{-kt}$ ， 1M

$$t = -\frac{1}{k} \ln \frac{A}{A_0}$$

$$= -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \frac{A}{A_0}$$

$$= -\frac{8}{\ln 2} \ln \frac{10^{-4}}{1.8 \times 10^{18}}$$

$$= 591\ \text{天} \quad 1A$$