

輻射防護概論

陳建全

台灣醫學物理公司

www.tmpinc.com.tw



行政院原子能委員會 Atomic Energy Council

網站地圖 | 首長信箱 | RSS | 電子報 | ENGLISH | 列印 | 字級 小 中 大

請輸入關鍵字

關於本會 | 施政與法規 | 核能管制 | 輻射防護 | 緊急應變 | 防疫資訊專區

首頁 > 輻射防護 > 輻防及輻安測驗

輻射防護

申辦專區

輻安管制

下載專區

查詢服務

輻防及輻安測驗

輻射防護分區訊息

輻防及輻安測驗

更新時間：2021-07-29 14:49

>> 輻射防護專業測驗(110年度第2次)
 > 輻射防護相關課程學分證明之解釋令
 > 公告
 > 簡章
 > 報名表
 > 輻射防護專業測驗-線上報名表填寫
 > 成績單補發申請表

>> 操作人員輻射安全證書測驗(110年度第2次)
 > 公告
 > 簡章
 > 報名表
 > 操作人員輻射安全證書測驗-線上報名表填寫
 > 成績單補發申請表

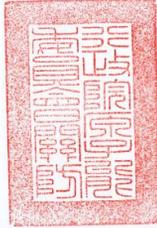
f t p w e

2

輻射防護師及輻射防護員

行政院原子能委員會 公告

發文日期：中華民國110年6月30日
發文字號：會輻字第1100098282號



主旨：本會委託元培醫事科技大學辦理110年第2次輻射防護專業測驗事項。

依據：游離輻射防護法第7條及輻射防護人員管理辦法。

公告事項：

- 一、報名日期：民國110年8月2日起至8月20日截止。
- 二、測驗日期及地點：
 - (一)日期：民國110年10月30日（星期六）上午9時30分起。
 - (二)地點：
 - 1、台北試區：考試院國家考場。
 - 2、高雄試區：高雄市立新興高級中學。
- 三、連絡電話：(03)530-3405
- 四、其他有關報名及測驗事項：詳載於「行政院原子能委員會委託元培醫事科技大學辦理110年第2次輻射防護專業測驗簡章」。(原能會首頁/輻射安全/輻防及輻安測驗)

主任委員 謝曉星

輻射操作人員

行政院原子能委員會 公告

發文日期：中華民國110年6月30日
發文字號：會輻字第1100098283號



主旨：本會委託元培醫事科技大學辦理110年第2次操作人員輻射安全證書測驗事項。

依據：游離輻射防護法第31條及放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法。

公告事項：

- 一、報名日期：民國110年8月2日起至8月20日截止。
- 二、測驗日期及地點：
 - (一)日期：民國110年10月30日（星期六）下午1時30分起。
 - (二)地點：
 - 1、台北試區：考試院國家考場。
 - 2、高雄試區：高雄市立新興高級中學。
- 三、連絡電話：(03)530-3405
- 四、其他有關報名及測驗事項：詳載於「行政院原子能委員會委託元培醫事科技大學辦理110年第2次操作人員輻射安全證書測驗簡章」。(原能會首頁/輻射安全/輻防及輻安測驗)

主任委員 謝曉星

3

輻射防護師及輻射防護員

測驗科目	游離輻射防護法規	專業科目
測驗範圍	游離輻射防護法、游離輻射防護法施行細則、游離輻射防護安全標準、放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法、放射性物質安全運送規則、放射性物質與可發生游離輻射設備操作人員管理辦法、輻射防護人員管理辦法、輻射防護管理組織及輻射防護人員設置標準、輻射源豁免管制標準、商品輻射限量標準、天然放射性物質管理辦法、輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則、嚴重污染環境輻射標準、輻射防護服務相關業務管理辦法、輻射工作人員特別健康檢查項目等。	輻射防護、輻射生物、輻射度量、輻射劑量等
考試時間	上午 9:30~10:30 60分鐘	上午 10:50~12:30 100分鐘
考試題型	一、選擇題 二、問答題	一、選擇題 二、問答及計算題

成績計算：游離輻射防護法規佔40%、專業科目佔60%，測驗成績總分滿60分為及格。

4

輻射操作人員

測驗科目	游離輻射防護法規	專業科目
測驗範圍	游離輻射防護法、游離輻射防護法施行細則、游離輻射防護安全標準、放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法、放射性物質安全運送規則、放射性物質與可發生游離輻射設備操作人員管理辦法、輻射源豁免管制標準、輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則、輻射防護服務相關業務管理辦法等。	輻射防護、輻射生物、輻射度量、輻射劑量等
考試時間	下午 1:30 ~ 2:30 60分鐘	下午 2:50 ~ 4:30 100分鐘
考試題型	選擇題	選擇題

成績計算：游離輻射防護法規佔50%、專業科目佔50%，測驗成績總分滿60分為及格。

5

輻射防護相關課程

課程類別	核心課程	相關課程
相關學科	輻射安全、保健物理	放射物理、輻射生物、輻射度量、輻射劑量、輻射屏蔽、醫學物理、放射性廢棄物與處理、放射化學、環境輻射、同步輻射、核工原理

- 輻射防護相關課程應由國內公立或立案之私立專科以上學校或符合教育部採認規定之國內外專科以上學校開設之課程。
- 申請**輻射防護師**認可者，擬認定課程學分數應包含「核心課程」二學分以上及「相關課程四學分」以上。
- 申請**輻射防護員**認可者，擬認定課程學分數應包含「核心課程」及「相關課程」各二學分以上。
- 核心課程之認定，得以採計接受**輻射防護人員進階訓練**達三十六小時以上，並持有結業證書代之。
- 行政院原子能委員會98年5月18日會輻字第0980009033號令：核釋「輻射防護人員管理辦法」第3條及第7條所定之輻射防護相關課程學分證明，若為**推廣教育學分者**，應以設有輻射防護相關課程科系之國內公立或立案之私立大學校院，其所開立之推廣教育學分證明，始予採認。

6

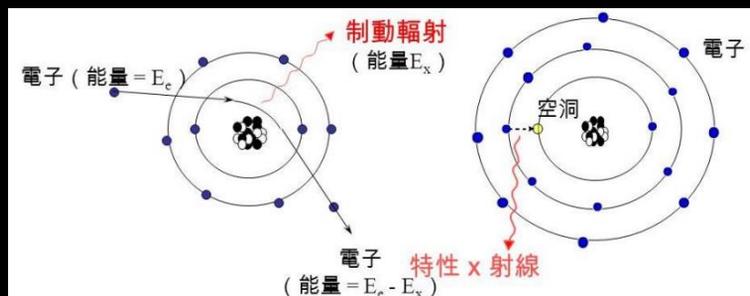
專業科目課程綱要

- 放射物理
 - 原子
 - 放射性物質衰變
 - 游離輻射
 - 輻射與物質交互作用
- 輻射度量
 - 輻射強度與劑量
 - 距離因素
 - 充氣式偵測器
 - 化學偵測方式
 - 固態偵測器
 - 染色體變異分析
 - 計數
- 輻射劑量
 - 曝露
 - 單位
 - 屏蔽

7

放射物理

- 原子
- 放射性物質衰變
- 游離輻射
 - 制動輻射與特性輻射



- 輻射與物質交互作用

8

放射物理

• 原子



• 質子 (Z)

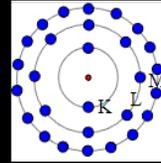
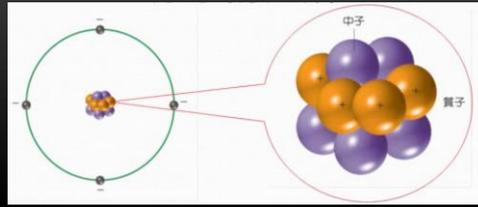
- 帶正電
- 質量為 1.6605×10^{-27} kg · 稱為 1 amu · 相當於 931 MeV
- $E = mc^2$ · $c = 3 \times 10^8$ m/sec · $1 \text{ Joule} = 6.24 \times 10^{18}$ eV

• 中子 (N)

- 不帶電
- 質量為 1.6749×10^{-27} kg > 質子

• 電子

- 帶負電
- 質量為 9.1094×10^{-31} kg · 相當於 $0.511 \text{ MeV} = 511 \text{ keV}$



9

放射物理

• 原子

- 有相同的質子數 (Z) : 同位素 Isotope
- 有相同的中子數 (N) : 同中素 Isotone
- 有相同的質量數 (A) : 同重素 Isobar
- Z、N、A 相同 · 能階不同 : 異構物 Isomer

Periodic Table of the Elements

																Atomic Number																																																																																																															
																Symbol																																																																																																															
																Name																																																																																																															
																Atomic Weight																																																																																																															
1	2											11	12	13	14	15	16	17	18	19	20											29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40											47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
H	He											B	C	N	O	F	Ne											K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr											Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe											Cs	Ba	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn											Fr	Ra	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
																Lanthanide Series																																																																																																															
																La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																																																																																	
																Actinide Series																																																																																																															
																Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																																																																																	

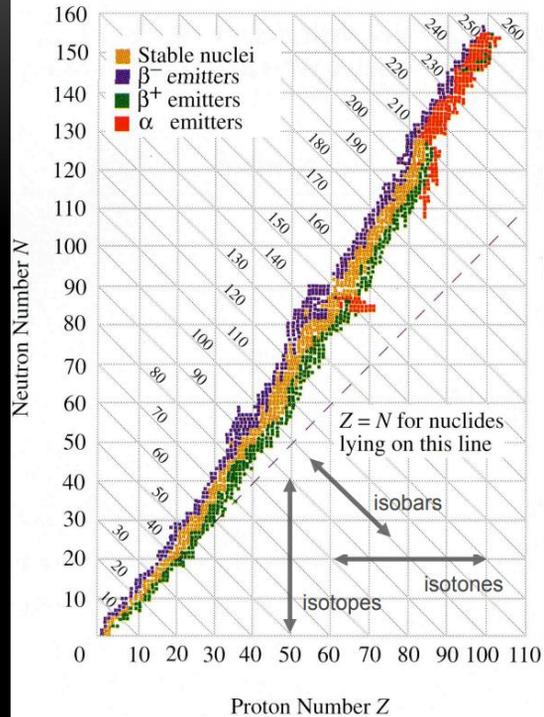
10

放射物理

- 原子
 - $N > Z$ 佔大部分
 - $N = Z$ 只在低 Z 時

Distribution of stable nuclei:		
Z	N	#stable nuclei
even	even	165
even	odd	57
odd	even	53
odd	odd	4

- 279 個穩定原子 ($Z < 84$)
- ~1200 個不穩定原子 (65 個天然元素)



放射物理

• 原子

^{16}O 的原子核中有幾個中子？ (109-2安專13)

(1) 6 (2) 7 (3) 8 (4) 9

Ans. (3)

下列何者是哪任何原子核裡都會有的基本粒子： (109-1安專17)

(1) 阿伐 (2) 質子 (3) 貝他 (4) 電子

Ans. (2)

針對中子與質子數的比例來說，原子序小於 10 的穩定原子核通常呈現哪種分布狀況？ (108-2安專3)

- (1) 質子數均較中子數少 (2) 無特定比例分布
- (3) 中子數與質子數約相同 (4) 質子數均較中子數多

Ans. (3)

放射物理

• 原子

一個原子質量單位 (amu) 的能量相當於多少 MeV ? (110-1安專28)

(1) 263 (2) 693 (3) 931 (4) 511

Ans. (3)

$$1 \text{ amu} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot E = 1.6605 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 = 1.49 \times 10^{-10} \text{ J} = 9.31 \times 10^8 \text{ eV} = 931 \text{ MeV}$$

一個靜止電子質量全部轉化為能量 · 相當於多少 keV ? (110-1安專29)

(1) 511 (2) 1022 (3) 931.5 (4) 255

Ans. (1)

下列哪一層的軌道電子較容易發生電子捕獲 ? (110-1安專41)

(1) K層 (2) L層 (3) M層 (4) N層

Ans. (1)

${}_{92}^{238}\text{U}$ 的原子內有多少個電子 ? (109-1安專14)

(1) 92 (2) 146 (3) 238 (4) 330

Ans. (1)

13

放射物理

• 放射性物質衰變



parent nucleus $\xrightarrow{\text{transforms}}$ daughter nucleus [possibly excited *] + radiation particle(s) + additional energy liberated in the decay

Q can be shared between the X, Y, and W particles. Y is frequently unstable itself.

• Conservation principles

- Energy (equivalently, mass)
- Linear momentum
- Angular momentum (including intrinsic spin)
- Charge

14

放射物理

• 放射性物質衰變

Decay Type	Radiation Emitted	Generic Equation	Model
Alpha decay	${}^4_2\alpha$	${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^4_2\alpha$	
Beta decay	${}^0_{-1}\beta$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}X' + {}^0_{-1}\beta$	
Positron emission	${}^0_{+1}\beta$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}X' + {}^0_{+1}\beta$	
Electron capture	X rays	${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^A_{Z-1}X' + \text{X ray}$	
Gamma emission	${}^0_0\gamma$	${}^A_ZX^* \xrightarrow{\text{Relaxation}} {}^A_ZX + {}^0_0\gamma$	
Spontaneous fission	Neutrons	${}^A_{Z+1}X \rightarrow {}^A_1X' + {}^A_1X' + C_1^1n$	

質量過多→阿伐(α)衰變

中子過多→貝他(β)衰變

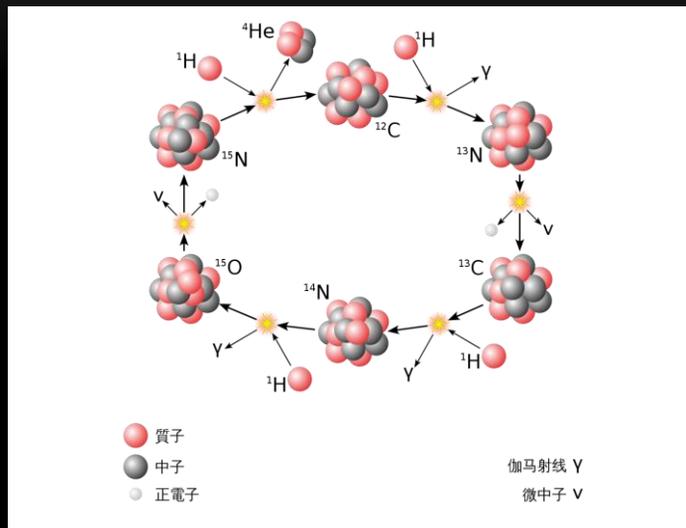
質子過多→正子發射

質子過多→電子捕獲

伽馬發射

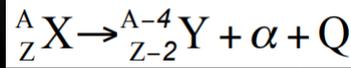
放射物理

• 放射性物質衰變

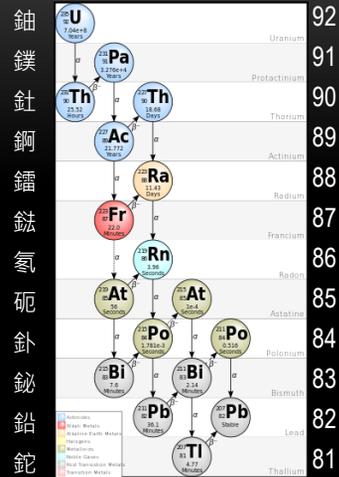
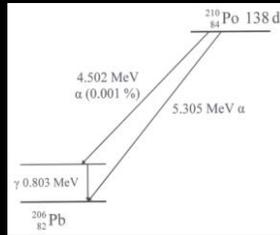


放射物理

- 放射性物質衰變
 - α decay



- Alpha particle always carries Q energy as kinetic energy (monoenergetic)
- Alpha decay occurs with heavy nuclides ($A > 150$)
- Commonly followed by isomeric emission of photons, which can also result in electron emission (IC, internal conversion)



α -particle

Proton $2+$

Neutron

Symbol ${}^4_2\text{He}$

Alpha particle is nucleus of helium

17

放射物理

- 放射性物質衰變
 - α decay

若一原子之質量數為 218，經過多次 α 衰變後變成質量數為 206 之穩定原子，請問其中發生了幾次 α 衰變？ (109-1安專20)

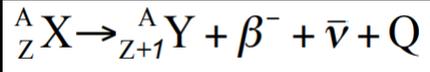
(1) 3 (2) 4 (3) 5 (4) 6

Ans. (1)

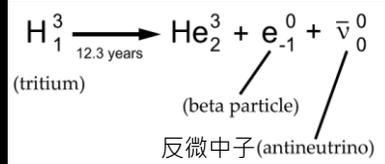
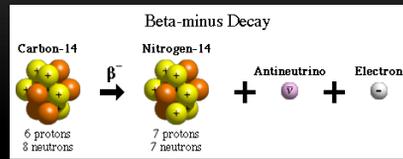
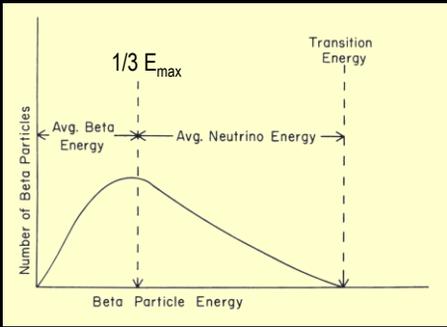
18

放射物理

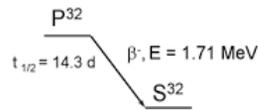
- 放射性物質衰變
 - β^- decay



- Continuous energy spectrum



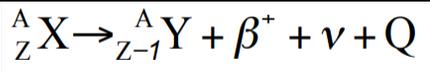
Decay Scheme of P³²



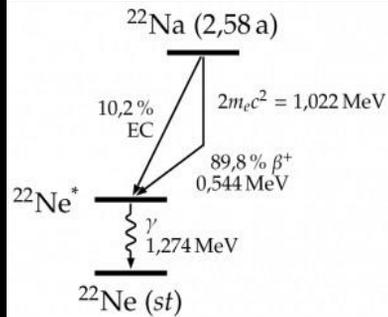
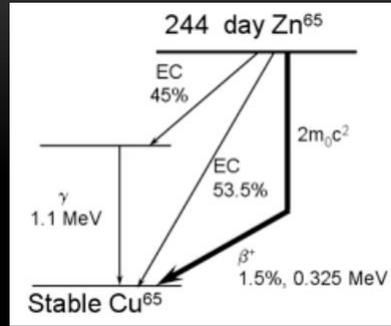
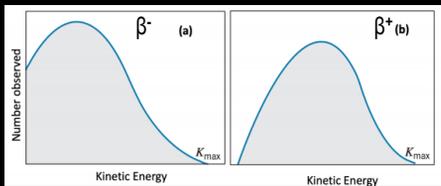
P³² decays directly to ground state, bypassing excited state, so γ -ray emission does not occur

放射物理

- 放射性物質衰變
 - β^+ decay

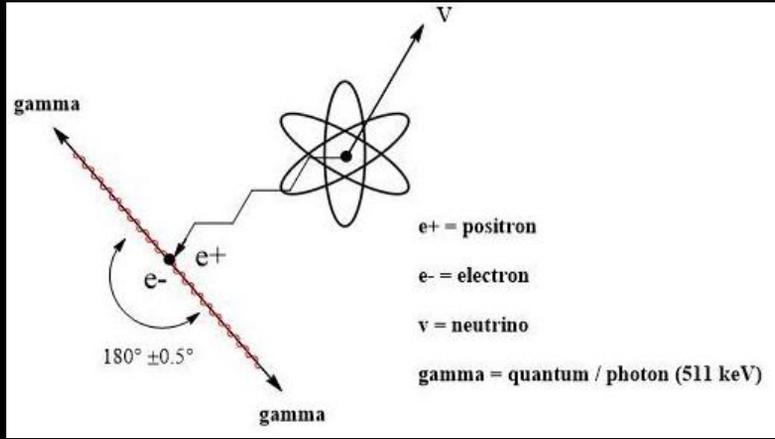


- Energy state $> 1.022 \text{ MeV}$
($= 2 \times 0.511 \text{ MeV}$)
- Continuous energy spectrum



放射物理

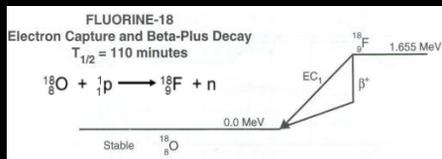
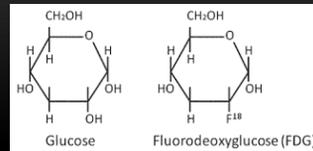
- 放射性物質衰變
 - 正子(β^+) 互毀效應 Annihilation effect



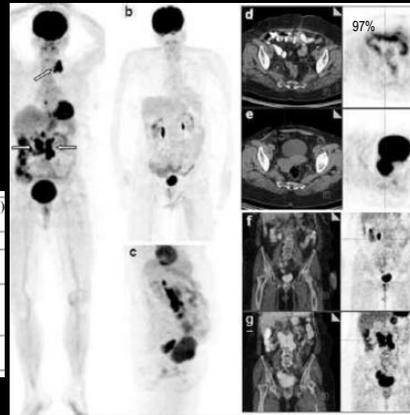
➔ PET · Positron Emission Tomography

放射物理

- 放射性物質衰變
 - β^+ decay
 - Positron Emission Tomography · PET



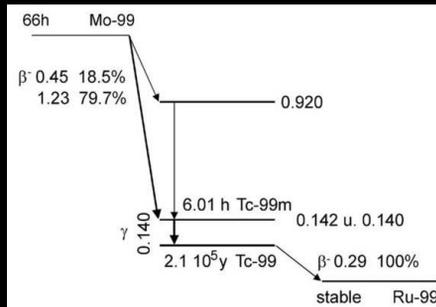
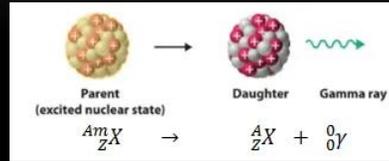
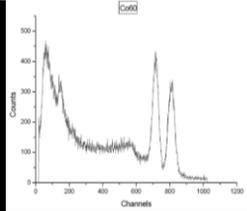
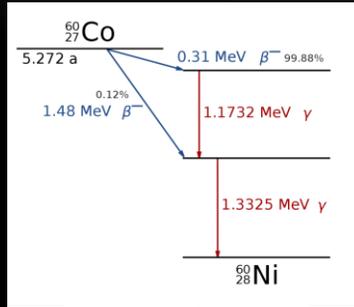
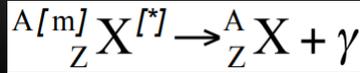
Radionuclide	t _{1/2} minutes	Decay Mode	Reaction	Energy (MeV)
¹¹ C	20.3	β^+	¹¹ N(p, α)	11-17
¹³ N	9.97	β^+	¹³ O(p, α)	19
			¹³ C(p,n)	11
¹⁵ O	2.03	β^+	¹⁵ N(p,n)	11
			¹⁴ N(d,2n)	6
			¹⁶ O(p,pn)	>26
¹⁸ F	110	β^+	¹⁸ O(p,n)	11-17
			¹⁸ Ne(d, α)	8-14



放射物理

• 放射性物質衰變

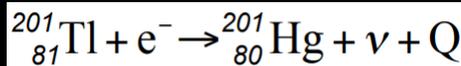
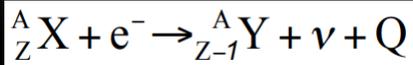
• γ decay



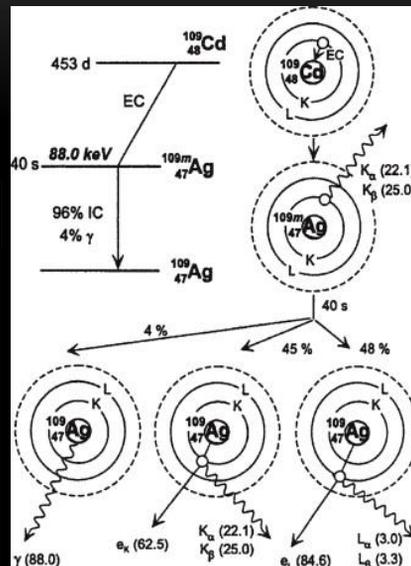
放射物理

• 放射性物質衰變

• Electron capture (EC)



${}^{57}_{27} Co$	$+ {}^0_{-1} e$	\rightarrow	${}^{57}_{26} Fe$	$+ {}^0_0 \nu$
${}^{73}_{33} As$	$+ {}^0_{-1} e$	\rightarrow	${}^{73}_{32} Ge$	$+ {}^0_0 \nu$
${}^{128}_{56} Ba$	$+ {}^0_{-1} e$	\rightarrow	${}^{128}_{55} Cs$	$+ {}^0_0 \nu$
${}^{145}_{62} Sm$	$+ {}^0_{-1} e$	\rightarrow	${}^{145}_{61} Pm$	$+ {}^0_0 \nu$
${}^{200}_{84} Po$	$+ {}^0_{-1} e$	\rightarrow	${}^{200}_{83} Bi$	$+ {}^0_0 \nu$



放射物理

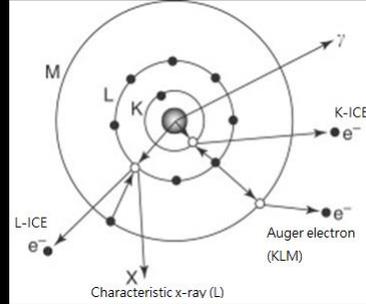
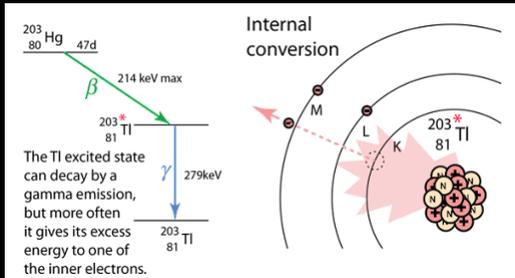
- 放射性物質衰變

- 內轉換 (IC · Internal conversion)

- 內轉換電子 (ICE · internal conversion electrons)
 - 鄂惹電子 (Auger electron)
 - 特性輻射 (characteristic x-ray)

$$E_{K, ICE} = E_{\gamma} - E_{shell}$$

$$E_{K, Auger E} = E_{x-ray} - E_{shell}$$



Auger electron (KLM)

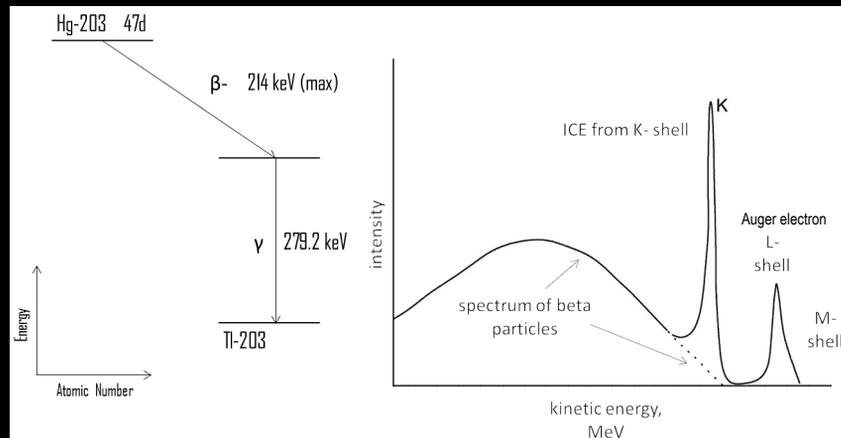
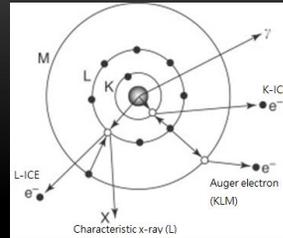
K : electron hole ; L : L→K characteristic x-ray ; M : eject electron orbit

放射物理

- 放射性物質衰變

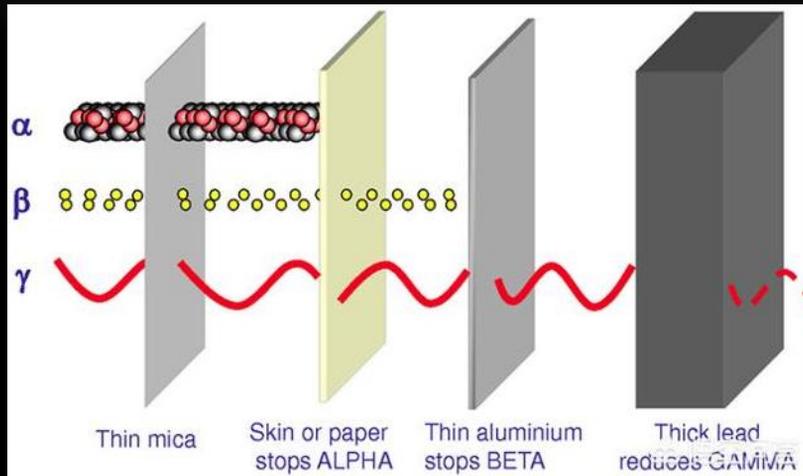
- 內轉換

- Conversion electron
 - Auger electron
 - Characteristic x-ray



放射物理

- 放射性物質衰變
 - 穿透力



27

放射物理

- 放射性物質衰變

下列何者會造成電子軌道上的空洞？ (110-1安專6)
 (1) β⁺蛻變 (2) α 蛻變 (3) 電子捕獲 (4) β⁻蛻變

Ans. (3)

貝他射線為連續能譜，通常它的平均能量約為最大能量的多少？ (110-1安專14)
 (1) 1/2 (2) 1/3 (3) 2/3 (4) 3/4

Ans. (2)

下列哪些作用通常會在同一原子內產生特性 X 射線？ (110-1安專21)
 A. β蛻變 B. 內轉換 C. 電子捕獲
 (1) 僅 BC (2) 僅 AB (3) 僅 AC (4) ABC

Ans. (1)

Co-60 進行貝他蛻變(β⁻)形成子核種，其子核種的原子序將如何變化？ (109-2安專6)
 (1) 增加 1 (2) 不變 (3) 減少 1 (4) 減少 2

Ans. (1)

28

放射物理

• 放射性物質衰變

下列哪一層的軌道電子較容易發生電子捕獲？ (110-1安專41)

- (1) K層 (2) L層 (3) M層 (4) N層

Ans. (1)

在 β^+ 蛻變的過程中，母核能階至少應高於子核能階多少 MeV？ (109-2安專23)

- (1) 0 (2) 0.511 (3) 1.022 (4) 2.044

Ans. (3)

下列哪一個核種衰變時可釋出正子，並引起互毀效應(Annihilation Effect)？ (109-2安專24)

- (1) ^{14}C (2) ^{18}F (3) ^{57}Co (4) ^{131}I

Ans. (2)

核種進行內轉換之後，其子核會釋出何種輻射線？ (109-1安專6)

- (1) 阿伐射線 (2) 制動輻射 (3) 加馬射線 (4) 特性輻射

Ans. (4)

29

放射物理

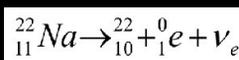
• 放射性物質衰變

關於 β^+ decay 和電子捕獲 (Electron Capture, EC) 的敘述，何者正確？ (110-1員專6)

- (1) 兩者皆因中子過多而發生
- (2) β^+ decay 會放出微中子
- (3) EC 會放出反微中子
- (4) 電子捕獲需於 Q 值大於 1.022 MeV 的情況才會發生

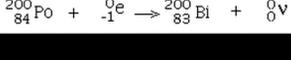
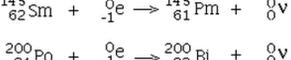
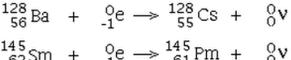
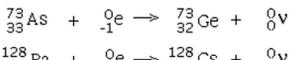
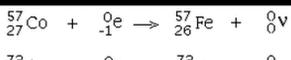
Ans. (2)

β^+ decay



Common positron emitters	Mass number (A)
C	11
N-13	13
O-15	15
F-18	18

β^- decay



α decay + 反微中子

Decay	E_{max} (MeV)	Heat(W/kg)
${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + 8\text{He} + 6\text{e} + 6\bar{\nu}$	3.26	$0.95 \cdot 10^{-4}$
${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{80}^{208}\text{Pb} + 6\text{He} + 4\text{e} + 4\bar{\nu}$	2.25	$0.27 \cdot 10^{-4}$
${}_{19}^{40}\text{K} \rightarrow {}_{18}^{40}\text{Ca} + \text{e} + \bar{\nu}$ (88.8%)	1.31	
${}_{19}^{40}\text{K} + \text{e} \rightarrow {}_{18}^{40}\text{Ar} + \nu$ (11.2%)	1.51	$0.36 \cdot 10^{-8}$

電子捕獲 + 微中子

30

放射物理

- 放射性物質衰變
 - 衰變常數： λ
 - 單位時間內放射性核種進行衰變的機率；故可用以代表放射性核種穩定性的程度。
 - λ 值高者→單位時間內衰變機率高→穩定性差→高放射性
 - 半衰期： $T_{1/2}$
 - 放射性核種衰變至原有數量一半所需的時間
 - $T_{1/2} = 0.693 / \lambda$ · $A = A_0 \times e^{-\lambda t}$
 - 活度： A
 - 每秒發生1次衰變 = 1 貝克 (Bq · becquerel) = 1 dps
 - 1公克²²⁶Ra每秒衰變次數 = 1 居禮(Ci · curie) = 3.7×10^{10} Bq
 - $A = \lambda N$

31

放射物理

- 放射性物質衰變
 - 衰變常數： λ
 - 單位時間內放射性核種進行衰變的機率；故可用以代表放射性核種穩定性的程度。
 - $A = \lambda N$
 - $A = A_0 \times e^{-\lambda t}$
 - λ 值高者→單位時間內衰變機率高→穩定性差→高放射性

32

放射物理

- 放射性物質衰變

- 衰變常數： λ

假設某核種的衰變常數值為 0.693 天^{-1} ，則經過 2 天之後，其活度為原來的？

(110-1安專34)

(1) $1/2$ (2) $1/4$ (3) $1/8$ (4) $1/16$

Ans. (2)

$$\frac{A}{A_0} = e^{-\lambda t} = e^{-0.693 \times 2} = 0.25$$

100 Bq 等於多少 mCi？ (109-2安專5)

(1) 2.7×10^{-6} (2) 2.7×10^{-9} (3) 3.7×10^{-7} (4) 3.7×10^{-10}

Ans. (2)

$$1 \text{ mCi} = 3.7 \times 10^7$$

$$100 / (3.7 \times 10^7) = 2.7 \times 10^{-6}$$

33

放射物理

- 放射性物質衰變

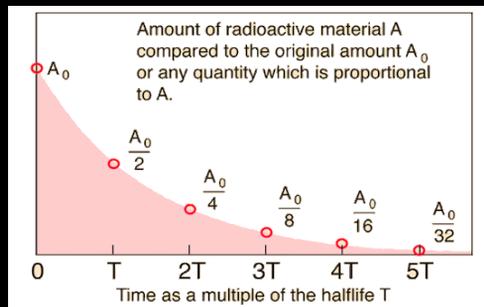
- 半衰期： $T_{1/2}$

- 放射性核種衰變至原有數量一半所需的時間

- $T_{1/2} = 0.693 / \lambda$

- $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-(0.693/T_{1/2}) \cdot t}$

- 平均壽命 = $T_{1/2} / 0.693$



34

放射物理

• 放射性物質衰變

• 半衰期： $T_{1/2}$

^{125}I 的衰變常數 λ 為 $1.34 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ ，請問其半化期約為何？ (110-1安專33)
 (1) 20 天 (2) 40 天 (3) 60 天 (4) 80 天

Ans. (3)

$$\lambda = 0.693 / T_{1/2} = 1.34 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}, T_{1/2} = 0.693 / 1.34 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1} = 5.17 \times 10^6 \text{ 秒} = 59.8 \text{ 天}$$

碘 ^{131}I 核種之半化期約為？ (109-2安專1)

(1) 6 小時 (2) 6 天 (3) 8 天 (4) 30 天

Ans. (3)

下列何者的半化期最長？ (109-2安專2)

(1) ^{32}P (2) ^{131}I (3) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (4) ^{235}U

Ans. (4)

某一放射核種衰變 20 天後，活度只剩原有的百分之三，其半化期約為幾天？ (109-2安專10)

(1) 3.2 (2) 3.6 (3) 4.0 (4) 4.4

Ans. (3)

$$0.03A_0 = A_0 e^{-\frac{0.693}{T} \times 20}$$

$$T = 3.96$$

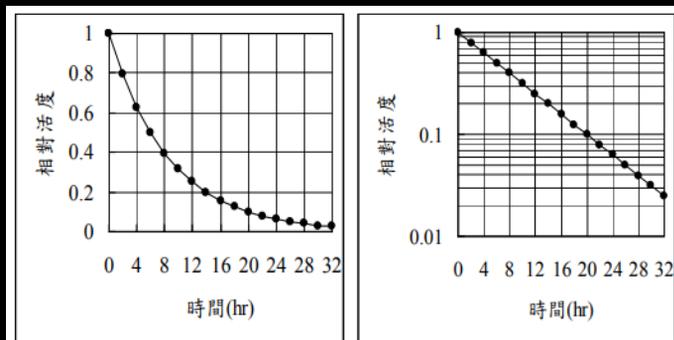
35

放射物理

• 放射性物質衰變

• 活度： A

$$A / A_0 = e^{-\lambda t} = (1/2)^N$$



• 每秒衰變一次 = 1 貝克 (Bq)

• 1 g ^{226}Ra 每秒衰變次數 = 1 居禮 (Ci) = 3.7×10^{10} 貝克

36

放射物理

- 放射性物質衰變

- 活度 : A

^{60}Co 的半化期為 5.26 年，當 10^8 個 ^{60}Co 原子經過 10.52 年後約剩多少個？ (110-1安專32)

(1) 2.5×10^8 (2) 5×10^7 (3) 2.5×10^7 (4) 5×10^8

(3)

$10.52 \text{ 年} / 5.26 \text{ 年} = 2 \text{ 半化期} \cdot 1 \times 10^8 \times 1/4 = 2.5 \times 10^7$

37

放射物理

- 放射性物質衰變

- 比活度

$$S_A = \frac{226}{M_A} \times \frac{1600}{T_{1/2}} \leftarrow \text{以【年】為單位}$$

^{14}C 的比活度 (specific activity) 約為多少 Ci/g ？ (110-1安專3)

(^{14}C 的半化期為 5730 年)

(1) 4750 (2) 565 (3) 4.51 (4) 47.5

Ans. (3)

$$S_A = (226/A) \times (1600/T) \rightarrow S_A = (226/14) \times (1600/5730) = 4.51$$

38

放射物理

- 放射性物質衰變

- 累積活度： \tilde{A}

- 一段時間(t)內放射性核種的衰變次數，也稱為發射輻射 (emitted radiation)
- $\tilde{A} = A_0 (1 - e^{-\lambda t}) / \lambda$
- 長半衰期核種或時間很短時， $\tilde{A} = A \times t$
- 核種半衰期與置入時間相近時

$$\tilde{A} = \frac{A_0}{0.693/T_{1/2}} \times \left(1 - e^{-\frac{0.693}{T_{1/2}} \times t}\right)$$

↑ 必須以秒為單位

39

放射物理

- 放射性物質衰變

- 累積活度

活度為 1 Ci 的長半化期物質，在 1 分鐘內平均有多少原子發生衰變？(109-1安專18)
 (1) 3.7×10^{10} (2) 3.7×10^{11} (3) 2.22×10^{11} (4) 2.22×10^{12}

Ans. (4)

$$3.7 \times 10^{10} \times 60 \text{ s} = 2.22 \times 10^{12}$$

40

放射物理

• 放射性物質衰變

• 累積活度 = 蛻變次數

將某 8×10^6 Bq 之 ^{125}I (半化期= 59.4 天) 射源置入病人體內，於 3 天後取出，則此段期間內總蛻變次數約為多少次？ (110-1員專13)

(1) 2×10^{12} (2) 3×10^{12} (3) 4×10^{12} (4) 5×10^{11}

Ans. (1)

$$\begin{aligned} D &= [(8 \times 10^6 \text{ 蛻變/秒}) \times 59.4 \times 24 \times 3600 / 0.693] \times (1 - e^{-0.693 \times 3 / 59.4}) \\ &= 5.92 \times 10^{13} \text{ 蛻變} \times (1 - 0.9656) \\ &= 5.92 \times 10^{13} \text{ 蛻變} \times 0.0344 \\ &= 2 \times 10^{12} \text{ 蛻變} \end{aligned}$$

41

放射物理

• 放射性物質衰變

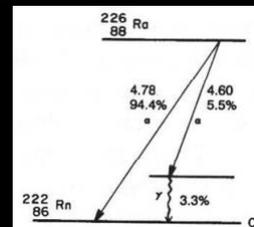
• 能量釋放

^{226}Ra 原子核衰變至 ^{222}Rn 的核衰變如下圖所示，請問圖中的加馬射線其能量應為多少？ (110-1師專3)

(1) 0.18 keV (2) 4.60 keV (3) 180 keV (4) 4.78 MeV

Ans. (3)

$$4.78 \text{ MeV} - 4.60 \text{ MeV} = 0.18 \text{ MeV} = 180 \text{ keV}$$



42

放射物理

- 放射性物質衰變

- 有效半衰期

$$\frac{1}{\text{有效半衰期}T_e} = \frac{1}{\text{物理半衰期}T_{1/2}} + \frac{1}{\text{生物半衰期}T_b}$$

- 生物半衰期 >> 物理半衰期：有效半衰期 = 物理半衰期
- 物理半衰期 >> 生物半衰期：有效半衰期 = 生物半衰期

43

放射物理

- 放射性物質衰變

- 有效半衰期

已知一核種其物理半化期為 12 小時，生物半化期為 6 小時，其有效半化期為多少小時？ (110-1安專12)

- (1) 1 (2) 2 (3) 4 (4) 8

Ans. (3)

某放射性同位素之物理半化期為 10,000 天，生物半化期為 1 天，若進入體內之初始活度為 2 mCi，則滯留十天後仍有多少活度保留於體內？ (110-1安專45)

- (1) 0 Bq (2) 3.61×10^4 Bq (3) 7.23×10^4 Bq (4) 9.57×10^4 Bq

Ans. (3)

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{10000} + \frac{1}{1} \cdot T_e = 1$$

$$A = A_0 \times e^{-\left(\frac{0.693}{T_e}\right) \times t} = 2 \times 3.7 \times 10^7 \text{ Bq} \times e^{-\frac{0.693}{1} \times 10} = 7.23 \times 10^4 \text{ (mCi)}$$

44

放射物理

- 放射性物質衰變
 - 有效半衰期

現有一活度為 10 mCi 之放射性核種被攝入人體，已知其生物半化期為 12 天，物理半化期為 7 天，試問經過 20 天後體內尚留該核種多少 mCi？ (110-1 專3)
 (1) 0.15 (2) 0.43 (3) 0.67 (4) 1.33

Ans. (2)

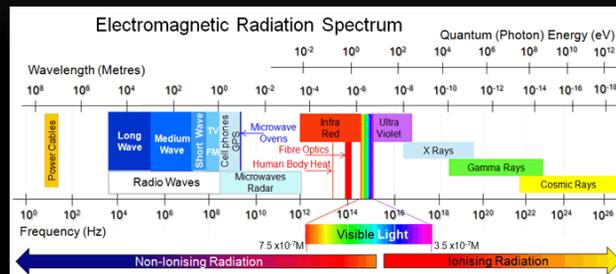
$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{7} + \frac{1}{12} \cdot T_e = 4.42$$

$$A = A_0 \times e^{-\left(\frac{0.693}{T_e} \times t\right)} = 10 \times e^{-\frac{0.693}{4.42} \times 20} = 0.43 \text{ (mCi)}$$

45

放射物理

- 游離輻射
 - 電磁波



- 無須介質且以光速 ($c = 3 \times 10^8$ m/s) 前進
- 動能 $E(eV) = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

電子福特：1 eV = 1.608×10^{-19} joule

普朗克常數(h) = 6.63×10^{-34} joule · s

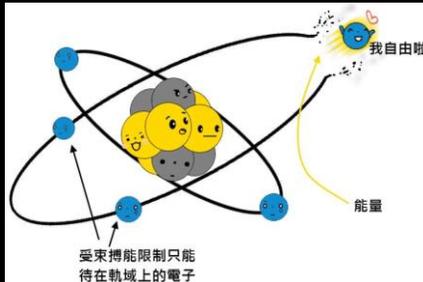
臺灣正常之自然背景輻射對人類所造成的年劑量為 1.6 mSv

46

放射物理

游離輻射

- 直接游離輻射：
 - 具有足夠動能的、碰撞時能引起介質游離的**帶電粒子**組成的輻射。
- 間接游離輻射：
 - 具有足夠動能的、碰撞時能產生帶電粒子從而引起介質游離的**不帶電粒子**組成的輻射。



能量 $E < 10 \text{ eV}$ 的電磁波不會產生游離現象

$$E = 10 \text{ eV} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$10 \times 1.6 \times 10^{-19} = 6.63 \times 10^{-34} \cdot \nu$$

$$\rightarrow \nu = 2.4 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$10 \times 1.6 \times 10^{-19} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \cdot 3 \times 10^8}{\lambda}$$

$$\rightarrow \lambda = 1.24 \times 10^{-7} \text{ m}$$

47

放射物理

游離輻射

X射線的頻率較行動電話電磁波頻率？ (110-1安專24)

(1)高 (2)低 (3)相等 (4)無法相比

Ans. (1)

下列各種電磁波中何者屬於游離輻射？ (109-2安專4)

(1)無線電波 (2)紅外線 (3)可見光 (4)加馬射線

Ans. (4)

試問能量為 100 keV 的光子，其波長為多少公尺(m)？ (108-1安專23) (110-1安專42)

(1) 1.24×10^{-10} (2) 1.24×10^{-11} (3) 1.24×10^{-12} (4) 1.24×10^{-13}

Ans. (2)

48

放射物理

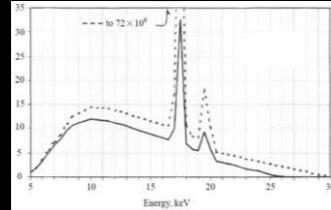
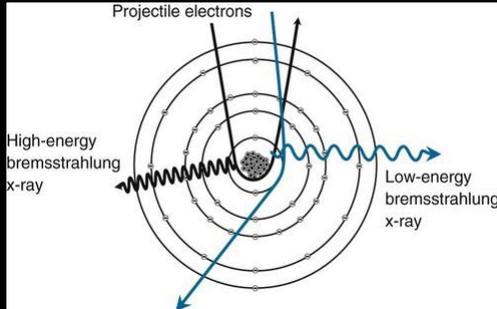
游離輻射

制動輻射 *Bremsstrahlung radiation*

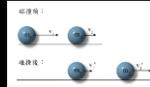
帶電粒子的非彈性碰撞

- 產生連續能譜的 X 射線 (x-ray)
- $E = h\nu \cdot c = v\lambda \cdot E = hc / \lambda \cdot h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg} / \text{s}$

$$\lambda(m) = \frac{1.24 \times 10^{-6}}{E(eV)} \cdot \lambda(A) = \frac{12400}{E(eV)}$$



彈性碰撞：動量守恆+動能守恆



$$V_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} V_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} V_2$$

$$V_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} V_1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} V_2$$

49

放射物理

游離輻射

制動輻射

下列何者能與物質作用並產生制動輻射？ (110-1安專4)

- (1)中子 (2)電子 (3)微中子 (4)光子

Ans. (2)

光子的能量依下列何者增加而增加？ (109-2安專)

- (1)大氣壓力 (2)速度 (3)波長 (4)頻率

Ans. (4)

可見光、中子、制動輻射、特性 X 射線、 α 、 β 、 γ ，以上屬於間接游離輻射者共有幾項？ (108-1安專1)

- (1) 2 (2) 3 (3) 4 (4) 5

Ans. (3)

中子、制動輻射、特性 X 射線、 γ

50

放射物理

- 游離輻射

- 制動輻射

制動輻射主要是由高速電子在下列何種作用產生？ (110-1員專7)

- (1)與軌道電子發生非彈性碰撞 (2)與原子核發生非彈性碰撞
 (3)與原子核發生彈性碰撞 (4)與軌道電子發生彈性碰撞

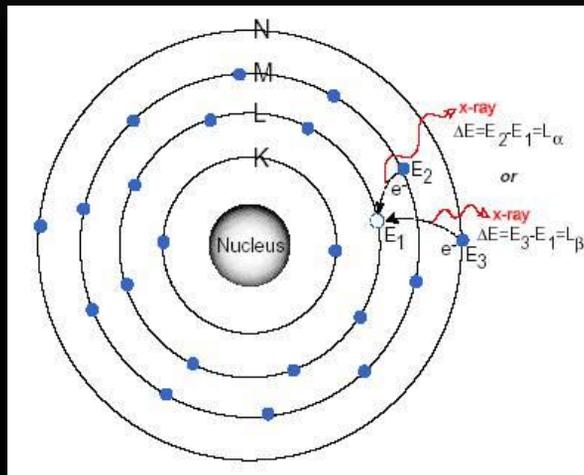
Ans. (2)

51

放射物理

- 游離輻射

- 特性輻射 Characteristic radiation



$$K_\alpha = L \rightarrow K$$

$$K_\beta = M \rightarrow K$$

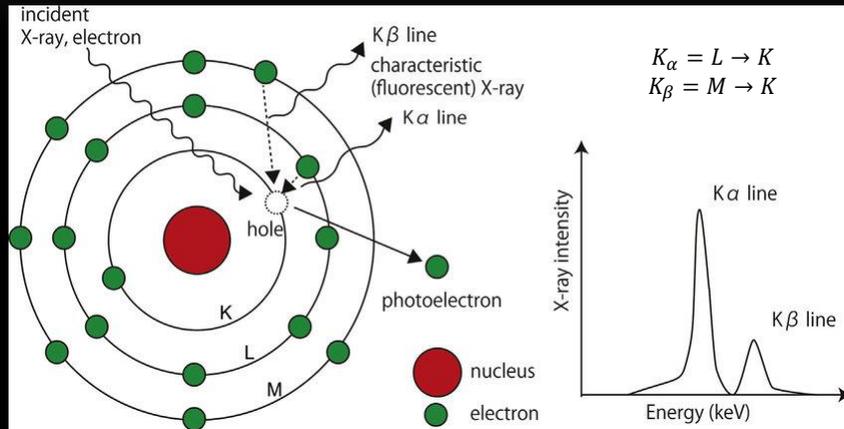
$$L_\alpha = M \rightarrow L$$

$$L_\beta = N \rightarrow L$$

52

放射物理

- 游離輻射
 - 特性輻射



53

放射物理

- 游離輻射
 - 特性輻射

已知鉛的 L 與 M 層之電子束縛能分別為 15 keV 與 3 keV，特性 X 射線 K α 的能量為 73 keV，則 K β 的能量為多少 keV？

- (1) 85 (2) 82 (3) 79 (4) 76

Ans. (1)

$$73 + 15 = 88, 88 - 3 = 85$$

特性輻射之能量描述何者正確？ (108-1安專24)

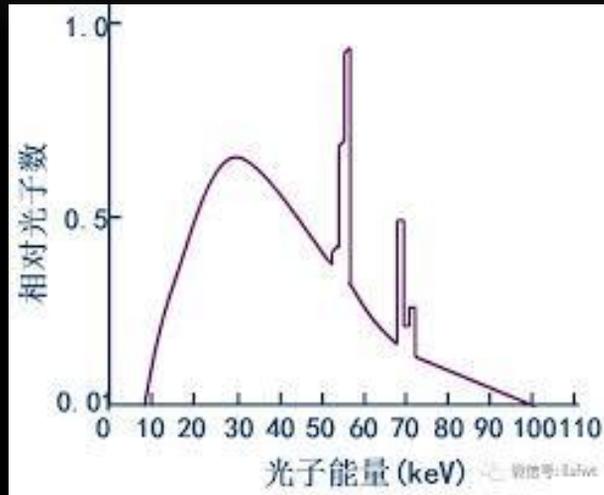
- (1) 特定能量，與原子種類有關 (2) 連續能量，與原子種類無關
 (3) 連續能量，與原子種類有關 (4) 特定能量，與原子種類無關

Ans. (1)

54

放射物理

- 游離輻射
 - 制動輻射 + 特性輻射



55

放射物理

- 游離輻射
 - 特性輻射

制動輻射主要是由高速電子在下列何種作用產生? (110-1員專7)

- (1)與軌道電子發生非彈性碰撞 (2)與原子核發生非彈性碰撞
(3)與原子核發生彈性碰撞 (4)與軌道電子發生彈性碰撞

Ans. (2)

下列何者能與物質作用並產生制動輻射? (110-1安專4)

- (1)中子 (2)電子 (3)微中子 (4)光子

Ans. (2)

100 keV 的光子，請問其波長為多少公尺? (110-1安專42)

- (1) 1.24 (2) 1.24×10^{-2} (3) 1.24×10^{-3} (4) 1.24×10^{-11}

Ans. (4)

56

放射物理

輻射與物質交互作用

游離

• 直接游離：帶電粒子撞擊原子，產生離子對的過程



間接游離：不帶電粒子 (γ或X光) 與物質的交互作用

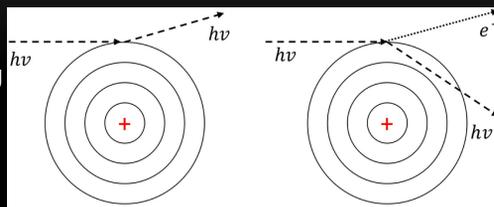
- 光電效應 photoelectric effect
- 同調散射 coherent scattering
- 康普吞效應 Compton effect
- 成對發生 Pair-production effect
- 光致衰變 Photon-induced decay



放射物理

輻射與物質交互作用 $\mu = \tau + \sigma + \kappa$

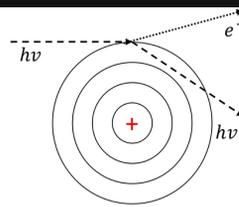
同調散射
coherent scattering



Coherent scattering
(a)

康普吞效應
Compton effect

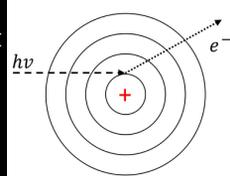
$$\sigma \propto \frac{1}{hv}$$



Compton scattering
(b)

光電效應
photoelectric effect

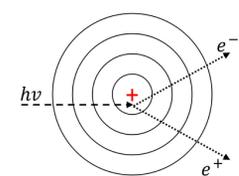
$$\tau \propto \frac{Z^{3\sim 4}}{(hv)^3}$$



Photoelectric effect
(c)

成對發生
Pair-production

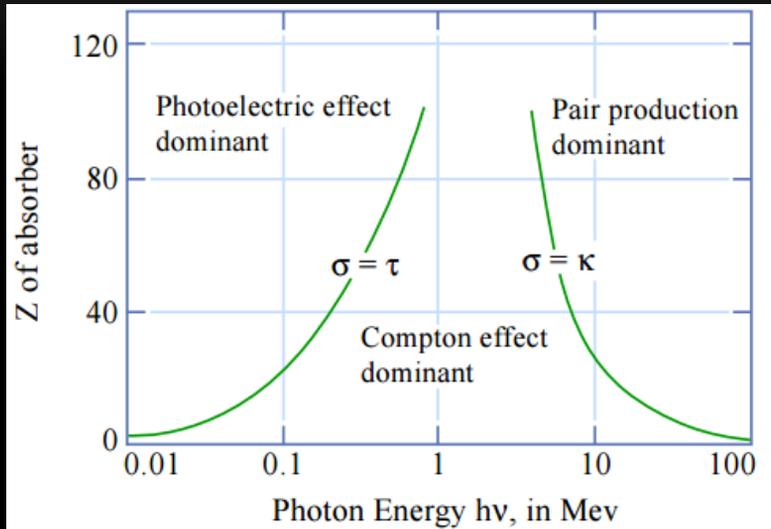
$$\kappa \propto Z^2 (hv)$$



Pair production
(d)

放射物理

- 輻射與物質交互作用



59

放射物理

- 輻射與物質交互作用

1 MeV 之光子與物質作用時，主要為下列何種效應？ (109-1安專21)

(1)光電效應 (2)康普吞效應 (3)成對發生 (4)光分裂

Ans. (2)

貝他射線與物質作用除了游離或激發反應外，還會產生？ (110-1安專46)

(1)康普頓散射 (2)成對發生 (3)光電吸收 (4)制動輻射

Ans. (4)

100 kV 的 X 射線在下列何種介質中的線性衰減係數最大？ (110-1安專50)

(1)水 (2)鋁 (3)銅 (4)鉛

Ans. (4)

60

放射物理

輻射與物質交互作用

能夠有效阻擋 X 或 γ 射線的材料通常具有下列哪些特色？ (110-1安專1)

- (1)高原子序、高密度 (2)高原子序、低密度 (3)低原子序、高密度 (4)低原子序、低密度

Ans. (1)

下列敘述何者為真？ (110-1安專38)

- (1)特性 X 射線的產生是因為高速電子的減速 (2)特性 X 射線的能譜是不連續的
(3)制動輻射的產生是因為原子核能階的躍遷 (4)特性 X 射線的波長比可見光長

Ans. (2)

關於光子與物質發生的作用，下列敘述何者不正確？ (110-1安專40)

- (1)康普吞作用後可能會再產生光電效應
(2)同一光子可能會連續產生多次的光電效應
(3)同一光子可能會連續產生多次的康普吞作用
(4)成對作用後會再伴隨產生互毀輻射

Ans. (2)

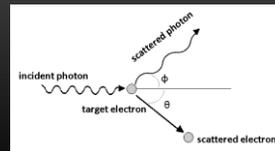
61

放射物理

輻射與物質交互作用

Compton scattering

$$\bullet \text{ 散射光子能量 } E_{\gamma'} = \frac{0.511 \times E_{\text{incident } \gamma}}{0.511 + (E_{\text{incident } \gamma})(1 - \cos\phi)}$$



康普吞效應中，1 MeV 的入射光子經 90° 角的散射，試問其能量損失率約為多少%？

(110-1師專8)

- (1) 16.5 (2) 33.8 (3) 66.2 (4) 83.5

Ans.(3)

散射的入射光子的能量

$$E_{\gamma'} = \frac{0.511 \times E_{\text{incident } \gamma}}{0.511 + (E_{\text{incident } \gamma})(1 - \cos\theta)} = \frac{0.511 \times 1}{0.511 + 1 \times (1 - \cos 90^\circ)} = 0.338$$

(0.338 MeV / 1 MeV) × 100% = 33.8%

→ 故入射光子其能量損失率約為 100% - 33.8% = 66.2 %

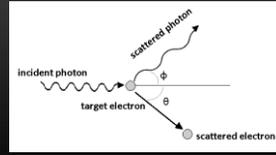
62

放射物理

輻射與物質交互作用

Compton scattering

$$\text{康普吞電子動能 } E = h\nu \frac{\alpha(1 - \cos\theta)}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \cdot \alpha = \frac{h\nu}{m_0c^2}$$



一光子入射到鋁吸收體發生康普吞散射，康普吞電子被往前散射(電子散射角 $\phi=0^\circ$)，在鋁吸收體的質量射程為 460 mg/cm^2 。試問：(110-1師專2)

($\ln E = 6.63 - 3.2376 (10.2146 - \ln R)^{1/2}$ ， $R (\text{mg/cm}^2)$ ：電子質量射程； $E (\text{MeV})$ ：動能)

(1)康普吞電子的動能為多少 MeV？

(2)入射光子的能量為多少 MeV？

Ans.

(1)康普吞電子的動能

$$\ln E = 6.63 - 3.2376 \times (10.2146 - \ln(460))^{1/2} = 0.08767, \rightarrow E = 1.09 \text{ MeV}$$

(2)入射光子的能量 $h\nu$

電子散射角 $\phi=0^\circ$ ，其散射光子之散射角 $\theta=180^\circ$ ，康普吞電子的動能

$$1.09 = h\nu \frac{\frac{h\nu}{0.511}(1 - \cos 180)}{1 + \frac{h\nu}{0.511}(1 - \cos 180)} \rightarrow 2h\nu^2 - 2 \times 1.09 \times h\nu - 0.511 \times 1.09 = 0 \rightarrow$$

$$h\nu = 1.30 \text{ MeV}$$

63

放射物理

輻射與物質交互作用

康普吞作用後所產生的散射光子，其波長通常比入射光子？(110-1安專15)

(1)長 (2)短 (3)一樣 (4)不一定

Ans. (1)

1 MeV 的 γ 射線與水的交互作用，主要為下列何者？(110-1安專15)

(1)康普吞效應 (2)光電效應 (3)成對發生 (4)合調散射

Ans. (1)

屏蔽中子輻射，將高能量中子降為低能量中子，以下何種材質最適合？(110-1安專30)

(1)空氣 (2)水 (3)錳 (4)鉛

Ans. (2)

下列哪一種作用發生時，隨入射光子能量增加，其作用機率也隨之增加？(110-1安專30)

(1)合調散射 (2)光電效應 (3)康普吞效應 (4)成對發生

Ans. (4)

64

放射物理

• 輻射與物質交互作用

• 能量轉移

一位工人不小心打翻了 ^{32}P 溶液，污染他的皮膚 10 cm^2 ，污染活度為 3700 Bq ，則污染皮膚的劑量率為多少 Gy/h ？ (110-1師專1)

(^{32}P 貝他粒子的平均能量 $E = 0.7\text{ MeV}$ ，在組織之質量吸收係數為 $9.18\text{ cm}^2/\text{g}$)

(1) 6.42×10^{-4} (2) 1.28×10^{-3} (3) 6.42×10^{-3} (4) 1.28×10^{-2}

Ans. (1)

污染皮膚的表面濃度為 $C_a = 3700/10 = 370\text{ Bq/cm}^2$ 。

皮膚的敏感細胞位於 0.007 cm 深處。

污染皮膚的劑量率(D_b)為

$$D_b = \frac{1}{2} C_a E \mu^m e^{-\mu^m x} = 0.5 \times 370 \times 0.7 \times 9.18 \times e^{-9.18 \times 0.007} \frac{\text{Bq}}{\text{cm}^2} \frac{\text{MeV}}{\text{tr}} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

$$\times 1.6 \times 10^{-13} \frac{\text{J}}{\text{MeV}} \times 10^3 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{tr/s}}{\text{Bq}} \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 1 \frac{\text{Gy}}{\text{J/kg}} = 6.42 \times 10^{-4} \frac{\text{Gy}}{\text{h}}$$

65

放射物理

• 輻射與物質交互作用

• 能量轉移

一束準直良好的射束含有 10^5 個光子，而光子能量為 10 MeV ，射束打在 20 cm 厚的碳塊上(密度 2250 kg/m^3)。 10 MeV 光子與碳作用的質量衰減係數(μ/ρ)為 $0.0196\text{ cm}^2/\text{g}$ ，質量吸收係數(μ_{ab}/ρ)為 $0.0138\text{ cm}^2/\text{g}$ 。請問在碳塊裡的 10 cm 深處 1 mm 厚(在 10.0 cm 到 10.1 cm 間) 碳層的吸收能量(MeV)？ (110-1師專2)

(1) 207 (2) 876 (3) 1993 (4) 2200

Ans. (3)

$$\Delta n = n_{10.0} - n_{10.1}$$

$$= 10^5 \times (e^{-0.0196 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 2.25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \times 10} - e^{-0.0196 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 2.25 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \times 10.1}) = 283$$

$$h\nu : E_{ab} = \frac{\mu}{\rho} : \frac{\mu_{ab}}{\rho}$$

$$\text{所以吸收能量} = \Delta n \times E_{ab} = 283 \times 10\text{ MeV} \times \frac{0.0138}{0.0196} = 1993$$

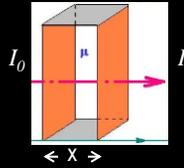
66

放射物理

- 輻射與物質交互作用

- 衰減係數 (μ)

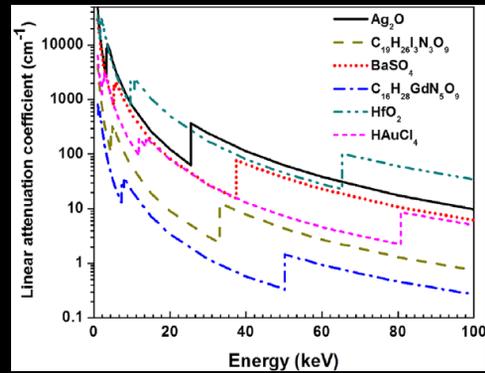
- 單位物質厚度(例如cm或g cm⁻²)內某能量光子與某物質作用的機率 · $I = I_0 \times e^{-\mu x}$



$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \mu x$$

$$\mu = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$$



67

放射物理

- 輻射與物質交互作用

- 衰減係數 (μ)

一光子束入射 10 公分之平板物質 · 入射時之光子數目為 10^5 · 射出時之光子數目(不計散射光子)為 10^2 · 求該物質的線性衰減係數？ (110-1頁專12)

(1) 6.9 cm (2) 6.9 cm⁻¹ (3) 0.69 cm (4) 0.69 cm⁻¹

Ans. (4)

68

放射物理

- 輻射與物質交互作用

- 直線能量轉移 (LET · linear energy transfer)

- 帶電粒子在介質中因交互作用而沿其徑跡損失能量的情形
- 又名「限制阻擋本領」
- $LET = dE / dx$

- 阻擋本領 (S · stopping power)

- 單位長度(或質量)介質吸收帶電粒子的能量
- $S = dE / dx$
- 或 $S = dE / dm \cdot$ 質量阻擋本領
- 包含二次電子(δ 射線)帶走的能量

輻射種類	LET (keV/ μ m)
光子射束	
鈷60 γ 射線	0.2
250keV	2.0
質子射束	
10 MeV	4.7
150 MeV	0.5
中子射束	
14 MeV	徑跡平均值 = 12 能量平均值 = 100
α 射束	
2.5 MeV	166

69

放射物理

- 輻射與物質交互作用

- 直線能量轉移

請問直線能量轉移 (LET) 的物理量單位，下列何者正確？ (108-1安專21)

(1) mm / MeV (2) keV / μ m (3) eV / ion-pair (4) ion-pairs / mm

Ans. (2)

70

放射物理

- 輻射與物質交互作用
 - 光子平均射程 (平均自由行程, mean free path) · R
 - 即將所有光子射程的總和, 除以光子總數
 - $R = 1.44 \text{ HVL}$ 或 $R = 1 / \mu$
 - 射程與密度

$$\rho_A \times R_A = \rho_B \times R_B \quad \text{或} \quad \frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

71

放射物理

- 輻射與物質交互作用
 - 光子平均射程

某 α 粒子在空氣中的射程為 3.8 cm, 試問其在水中的射程為多少? (110-1安專5)
(空氣密度= 0.0014 g / cm³)

(1) 53 μ m (2) 64 μ m (3) 74 μ m (4) 96 μ m

Ans. (1)

$$(3.8 \text{ cm} / X \text{ cm}) = (1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} / 0.0014 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3})$$

$$X \text{ cm} = 3.8 \times 0.0014 = 0.0053 \text{ cm}$$

72

放射物理

輻射與物質交互作用

半值層 (HVL · half value layer)

- 光子衰減至原有數目一半所需的物質厚度，稱為該物質屏蔽該光子的半值層

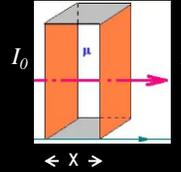
$$\text{HVL} = \frac{\ln(2)}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}$$

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} = I_0 \cdot e^{-(0.693/\text{HVL}) \cdot x}$$

- μ ：線性衰減係數

$$\text{平均射程} = 1/\mu = 0.693/\text{HVL}$$

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \quad n \text{個HVL}$$



73

放射物理

輻射與物質交互作用

半值層

假設某單能光子的半值層為 0.25 mm Pb，今欲將曝露率從 3.2 mR/h 降為 0.2 mR/h，若不考慮增建因數，試問最少需使用多少 mm 的鉛做為屏蔽？(110-1安專8)

- (1) 0.5 (2) 1.0 (3) 1.5 (4) 2.0

Ans. (2)

$$0.2 = 3.2 \times e^{-0.693/0.25 \cdot Tx}$$

$$Tx = 1.0$$

$$\text{或 } \frac{I}{I_0} = \frac{0.2}{3.2} = \frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \cdot n = 4 \cdot 4 \times 0.25 = 1.0$$

4 Ci之點射源 ($\Gamma=0.5 \text{ R}\cdot\text{m}^2/\text{Ci}\cdot\text{h}$) 發射之加馬射線，經過兩個半值層屏蔽的衰減後射入人體。已知人體至射源的距離為2公尺，請問人體處的曝露率為多少 R/h？(110-1安專11)

- (1) 0.5 (2) 0.028 (3) 0.125 (4) 0.062

Ans. (3)

$$4 \text{ Ci} \times 0.5 \frac{\text{R} \cdot \text{m}^2}{\text{Ci} \cdot \text{h}} \times \frac{1}{2^2} \times \frac{1}{(2 \text{ m})^2} = 0.125 \frac{\text{R}}{\text{h}}$$

74

放射物理

- 輻射與物質交互作用

- 半值層

射束強度衰減至原來的 50% 所需的厚度稱為半值層 (HVL)。下列半值層與線性衰減係數 (μ) 的關係何者正確？ (109-1 安專 3)

(1) $HVL = 1 / \mu$ (2) $HVL = 0.693 / \mu$ (3) $HVL = \mu$ (4) $HVL = 2 / \mu$

Ans. (2)

75

放射物理

- 輻射與物質交互作用

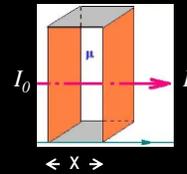
- 什值層 (TVL · tenth value layer)

- 光子衰減至原有數目十分之一所需的物質厚度，稱為該物質屏蔽該光子的什值層

$$TVL = \frac{\ln(10)}{\mu} = \frac{2.303}{\mu}$$

$$TVL = 3.32 \text{ HVL}$$

$$HVL = 0.3 \text{ TVL}$$



76

放射物理

- 輻射與物質交互作用

- 什值層

一個什值層(TVL)約為半值層(HVL)的多少倍？ (110-1安專27)

(1) 0.1 (2) 2.0 (3) 3.3 (4) 5.0

Ans. (3)

2 個什值層(TVL)與 3 個半值層(HVL)厚度的屏蔽，約可將射束強度衰減至原強度的？ (110-1安專48)

(1) 1/20 (2) 1/800 (3) 1/1000 (4) 1/16000

Ans. (2)

若某光子射線之衰減係數為 0.12 cm^{-1} ，則什一值層 (TVL) 厚度為多少公分？ (108-2安專31)

(1) 15.3 (2) 17.4 (3) 19.2 (4) 20.1

Ans. (1)

$$TVL = \frac{\ln(10)}{\mu} = \frac{2.3}{0.12} = 15.3$$

77

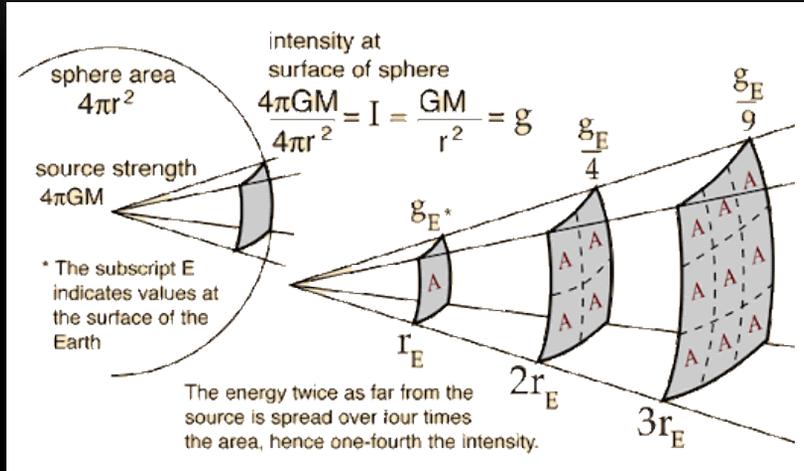
輻射度量

- 輻射強度與劑量
- 距離因素
- 充氣式偵測器
- 化學偵測方式
- 閃爍偵檢器
- 固態偵測器
- 中子偵測
- 染色體變異分析
- 計數

78

輻射度量

• 距離因素



79

輻射度量

• 距離因素

若距離點射源 1 公尺處的劑量率為 1 mSv/h，則距離該點射源 4 公尺時，其劑量率為多少 mSv/h？ (110-1安專2)

- (1) 0.01 (2) 0.04 (3) 0.0625 (4) 5

Ans. (3)

$$1\text{mSv/h} \times (1/4)^2 = 0.0625 \text{ mSv/h}$$

2 Ci 的點射源 ($\Gamma = 0.5 \text{ R}\cdot\text{m}^2 / \text{Ci}\cdot\text{h}$) 發出加馬輻射，請問距離其 3 公尺處的劑量率為多少 R/h？ (109-2安專3)

- (1) 0.11 (2) 0.33 (3) 0.75 (4) 2.25

Ans. (1)

$$2 \times \frac{\Gamma}{d^2} = 0.11 \frac{\text{R}}{\text{h}}$$

現有一 100 mCi 的銻 137，距離其射源 2 公尺處的曝露率為多少 mR/h？ (109-2安專19)

(半化期 $T_{1/2} = 30\text{y}$) ($\Gamma = 0.32 \text{ R}\cdot\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}$)

- (1) 0.64 (2) 8 (3) 32 (4) 64

Ans. (2)

$$\text{曝露率} = \Gamma A / d^2 = 0.32 (\text{R}\cdot\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Ci}^{-1}) \times 0.1 \text{ Ci} / (2 \text{ m})^2 = 0.008 \text{ R/h} = 8 \text{ mR/h}$$

80

輻射度量

• 距離因素

距離某一射源 1 公尺處之劑量率為 54 mSv/h，小明在距離此射源 3 公尺處作業 10 分鐘，則所接受的劑量約為多少 mSv？ (110-1師專5)

(1) 1 (2) 2 (3) 3 (4) 4

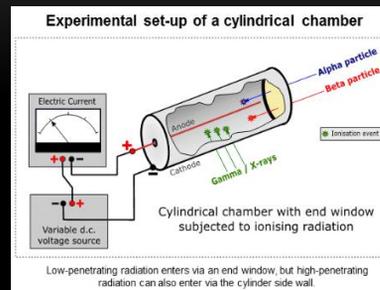
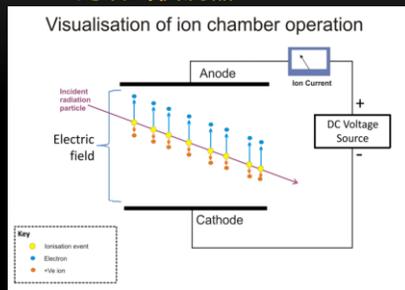
Ans. (1)

$$54 \text{ mSv/h} \times (1/3)^2 \times 1/60 \text{ min/h} \times 10 \text{ min} = 1 \text{ mSv}$$

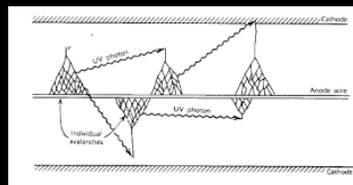
81

輻射度量

• 充氣式偵測器



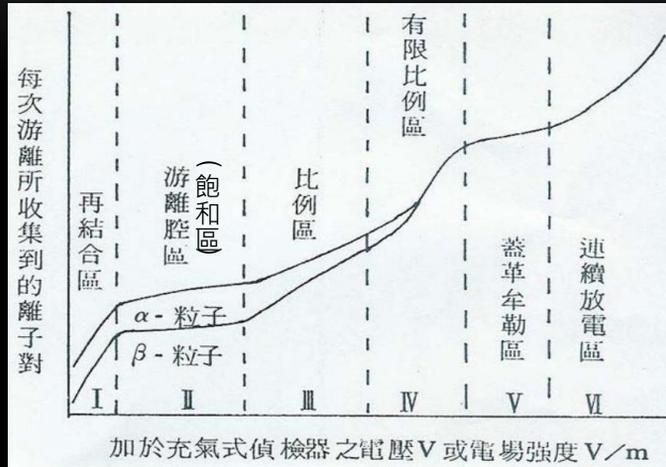
- 游離腔偵檢器 (Ionization chamber detector)
- 比例計數器 (Proportional counter)
- 蓋革計數器 (Geiger-Mueller counter)



82

輻射度量

• 充氣式偵測器



83

輻射度量

• 充氣式偵測器

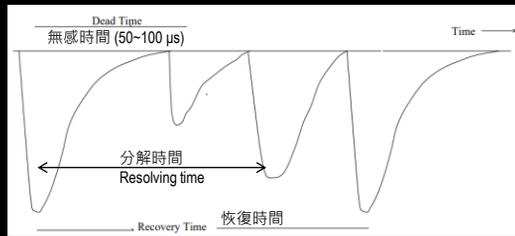
項目	游離腔	比例計數器	蓋革偵檢器
適用範圍	高劑量率	皆可	低劑量率
電壓	低	中	高
氣體	空氣、氬氣	P-10	氬氣、氬氣
靈敏度	較差	高	高
準確度	高	高	較差
鑑別輻射種類 α 、 β 、 γ	(脈衝式)可、少用 (電流式)否	可	否

P-10 氣體之組成為：90%氬氣(Ar)與 10%甲烷(CH₄)

84

輻射度量

- 充氣式偵測器
 - 蓋格計數器
 - 無法區分輻射能量
 - 淬熄：防止多次放電產生假訊號
 - 外淬熄：放電後短暫降低高壓
 - 內淬熄：添加有機分子或鹵素氣體
 - 計數時間



85

輻射度量

- 充氣式偵測器

游離腔偵檢器是設計在下列何者區域內操作？ (110-1安專7)
 (1)飽和區 (2)比例區 (3)限制比例區 (4)蓋革區

Ans. (1)

問各種偵檢器中，由於電位差很高造成多次放電，必須使用淬熄放電的方法防止產生假信號的是下列哪一種偵檢器？ (110-1安專10)
 (1)蓋革計數器 (2)高壓游離腔 (3)碘化鈉偵檢器 (4)游離腔

Ans. (1)

蓋革(GM)偵檢器內添加有機分子或鹵素氣體，其作用為何？ (109-1安專22)
 (1)增加管內氣壓 (2)作為淬熄(quenching)劑
 (3)與散射光子作用 (4)將光子轉換成電子

Ans. (2)

86

輻射度量

• 充氣式偵測器

下列何種充氣式偵檢器用來偵測 α 粒子最佳？ (108-2安專7)

(1)游離腔 (2)比例計數器 (3)蓋革計數器 (4)劑量筆

Ans. (2)

關於一般游離腔偵檢器的敘述何者正確？ (108-2安專8)

(1)有氣體放大特性 (2)常用於高劑量率輻射場之測量
(3)劑量靈敏度極佳 (4)需要加淬熄氣體

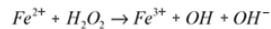
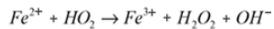
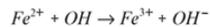
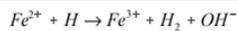
Ans. (2)

87

輻射度量

• 化學偵測方式

• Fricke dosimetry



$$D = \frac{[Fe^{3+}]}{G(Fe^{3+}) \times \rho}$$

- D, the **dose** received by Fricke solution (Gy),
- $[Fe^{3+}]$, the **ferric ions concentration** ($mol \cdot L^{-1}$),
- $G(Fe^{3+})$, the radiolytic yield of oxidation of ferric ions ($mol \cdot J^{-1}$),
- ρ , the density of the irradiated solution (1.024 at 295 K for an aqueous $0.4 mol \cdot L^{-1} H_2SO_4$ solution).

G值：每吸收 100 eV 輻射能量所生成產物之分子數

88

輻射度量

• 化學偵測方式

• *Fricke dosimetry*

弗力克(Fricke)化學輻射劑量計，在產生相同分子數目下，使用的 G 值 (每吸收 100 eV 輻射能產生變化的分子數目) 與吸收劑量 D 的關係為何？ (110-1員專2)

(1) G 與 D 成正比 (2) G 與 D 成反比 (3) G 與 D^2 成正比 (4) G 與 D^2 成反比

Ans. 2

關於化學劑量計，請問下列何者為其計算化學反應之 G 值定義？ (109-1安專25)

- (1)每吸收 1 焦耳輻射能量所生成產物之分子數
- (2)每吸收 1 焦耳輻射能量所生成產物之質量
- (3)每吸收 100 eV 輻射能量所生成產物之分子數
- (4)每吸收 100 eV 輻射能量所生成產物之質量

Ans. (3)

89

輻射度量

• 閃爍偵檢器 = 閃爍體 + 光電倍增管

• 無機閃爍體：

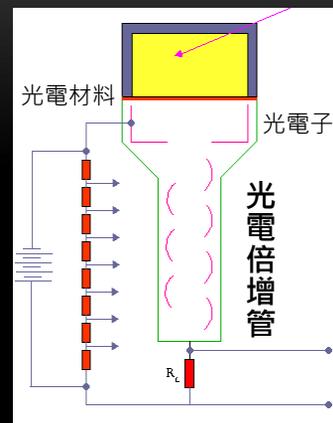
- 鹼金屬鹵化物晶體 (如 NaI(Tl)、CsI(Tl) 等)
- 其他無機晶體 (如 CdWO_4 、 $\text{BGO}(\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12})$ 等)
- 玻璃體

• 有機閃爍體：

- 有機晶體 (如蒽 $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ 、芪等)
- 有機液體 (甲苯+三聯苯(p-terphenyl))
- 塑料閃爍體

• 氣體閃爍體：

- 如氫、氬等



無機閃爍體的光子產額高、線性好，但發光衰減時間較長；有機閃爍體發光衰減時間短，但光子產額較低。

90

輻射度量

閃爍偵檢器

下列何種偵檢器，不屬於充氣式偵檢器？ (110-1安專36) 電材類
 (1)閃爍偵檢器 (2)比例計數器 (3)游離腔 (4)蓋革計數器

Ans. (1)

下列何種偵檢器無法區分輻射能量？ (108-2安專1)
 (1)閃爍偵檢器 (2)比例計數器 (3)蓋格計數器 (4)高純鍍偵檢器

Ans. (3)

下列輻射偵檢器中，哪一種偵檢器偵測加馬射線的效率相對較高？ (108-2安專25)
 (1)低壓游離腔 (2)比例計數器 (3)半導體偵檢器 (4) NaI (TI)閃爍偵檢器

Ans. (4)

熱發光劑量計、碘化鈉偵檢器、蓋格偵檢器、純鍍偵檢器、化學劑量計，請問有幾種可與多頻譜分析儀 (MCA) 搭配，度量分析加馬輻射的能譜？

(1) 1 (2) 2 (3) 3 (4) 4

Ans. (2)

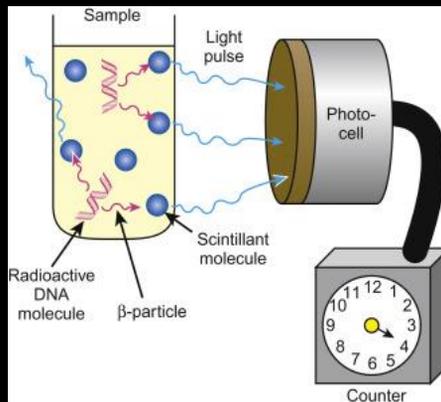
91

輻射度量

閃爍偵檢器

液態閃爍偵檢器

- 適用於 β 粒子偵測
- 偵測效率 ~ 100%



92

輻射度量

閃爍偵檢器

液態閃爍偵檢器

下列何種儀器對偵測 β -粒子的靈敏度(sensitivity)最高？ (109-2安專11)

(1)蓋革計數器 (2)固態閃爍偵檢器 (3)液態閃爍計數器 (4)半導體偵檢器

Ans. (3)

偵測 ^3H 和 ^{14}C 的弱貝他射線，以下列那一種偵檢器最佳？ (110-1安專25)

(1)蓋革計數器 (2)半導體偵檢器 (3)碘化鈉(鈉)偵檢器 (4)液態閃爍偵檢器

Ans. (4)

使用液態閃爍偵檢器 (liquid scintillation counter) 對 H-3 之工作者尿液檢查，若所得之計數率為 37000cps，則尿液中所含之 H-3 為若干 mCi？

(A) 1 (B) 0.1 (C) 0.01 (D) 0.001

Ans. (4)

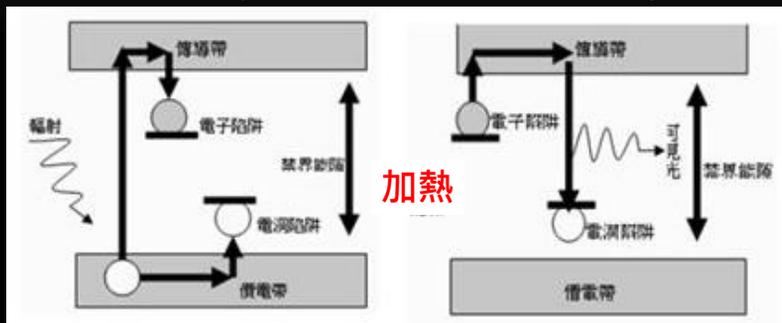
$37000 \text{ cps} = 3.7 \times 10^4 \text{ cps} = 10^{-6} \text{ Ci} = 0.001 \text{ mCi}$

93

輻射度量

固態偵測器

熱發光劑量計 (TLD · ThermoLuminescent Dosimeter) : LiF



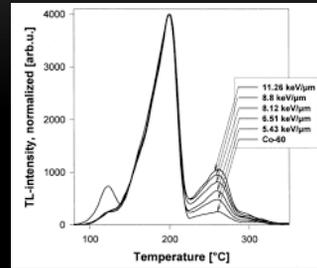
94

輻射度量

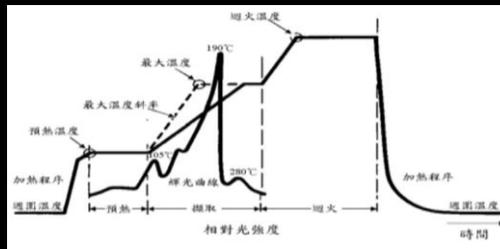
固態偵測器

熱發光劑量計

- LiF 線性劑量範圍： 10^{-3} Gy ~ 10^4 Gy
- LiF + Mg、Ti
 - TLD-100、TLD-600、TLD-700
- LiF + Mn、Cu、P
 - 高敏感性TLD
 - TLD-100H、TLD-600H、TLD-700H



輝光曲線 (glow curve)



95

輻射度量

固態偵測器

熱發光劑量計

使用熱發光劑量計進行人員輻射劑量監測時，常使用的熱發光物質是下列哪一項？ (110-1安專17)

- (1) LiF (2) CaF₂ (3) CaSO₄ (4) NaI

Ans. (1)

下列關於熱發光劑量計(TLD)的敘述何者錯誤？ (109-1安專2)

- (1) LiF 材質可用於人員劑量評估
 (2) 屬於法定人員劑量計之一
 (3) 接受輻射照射後可多次重覆計讀，信號不會消失
 (4) 計讀時需加熱才會產生信號

Ans. (4)

輝光曲線(glow curve)是下列哪一種輻射偵測器才會出現的特性？ (109-1安專10)

- (1) 熱卡計 (2) 熱發光劑量計 (3) 半導體偵檢器 (4) 硫酸亞鐵溶液

Ans. (2)

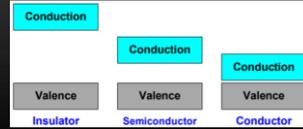
96

輻射度量

- 固態偵測器

- 半導體偵檢器 (Semiconductor detector)

- CZT (Cd Zn Te) 、HPGe (High Purity Germanium)

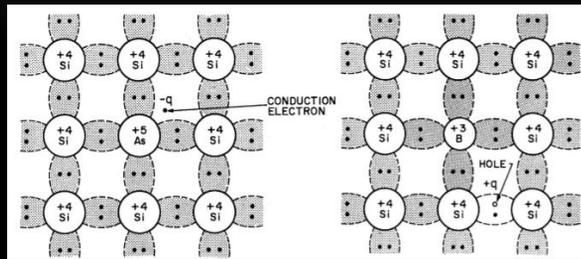


Material	Si	Ge	CdTe	GaAs	SiC β	(diamond) C
Density in gcm ⁻³	2.33	5.33	5.85	5.32	3.21	3.5
Bandgap	1.1 eV	0.67 eV	1.44 eV (dir)	1.4 eV (dir)	2.3 eV	5.47 eV
Breakdown field (MV/cm)	0.3	0.1	0.4	0.4	2	20
ε or Eth	3.6 eV	2.98 eV	~4.5 eV	~4.5 eV	8.8 eV	12 eV
LET (MeV/cm)	3.6	7.5	7.3	7.5	5.5	6.3
LET (MeVg ⁻¹ cm ²)	1.6	1.4	1.25	1.4	1.7	1.8
Number of electron-hole pairs generated	<~105 e-h / μm	<~ 250 e-h / μm	<~ 162 e-h / μm	<~167 e-h / μm	<~63 e-h / μm	<~52 e-h / μm

輻射度量

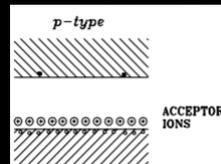
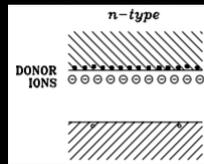
- 固態偵測器

- 半導體偵檢器



n-type
+5 價原子
有多餘的電子

p-type
+3 價原子
有多餘的電洞



輻射度量

• 固態偵測器

• 半導體偵檢器

欲分析包含許多能峰的複雜 γ 射線能譜，最好採用：(109-2安專16)
 (1) 碘化鈉偵檢器 (2) 比例計數器 (3) 游離腔 (4) 高純鍺偵檢器

Ans. (4)

在純矽晶體中加入 5 個價電子的原子，此種半導體稱為什麼型半導體？ (109-1安專8)

(1) X 型 (2) Y 型 (3) P 型 (4) N 型

Ans. (4)

半導體偵檢器產生一個電子電洞對大約需要多少能量？ (108-1安專34)

(1) 3 eV (2) 34 eV (3) 3 MeV (4) 34 MeV

Ans. (1)

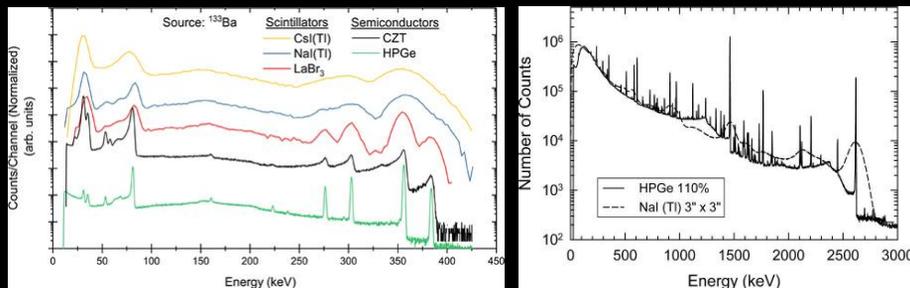
99

輻射度量

• 固態偵測器

• 半導體偵檢器 v.s 閃爍偵檢器

- 能量解析度：半導體偵檢器 > 閃爍偵檢器
- 偵測效率：半導體偵檢器 < 閃爍偵檢器



100

輻射度量

• 固態偵測器

碘化鈉(NaI)閃爍偵檢器與半導體偵檢器，二者對加馬能譜分析的比較，何者為真？
(110-1安專22)

- (1) NaI 的偵測效率較高，能量解析度較差
- (2) NaI 的偵測效率較低，能量解析度較佳
- (3) NaI 的偵測效率與能量解析度均較佳
- (4) NaI 的偵測效率與能量解析度均較差

Ans. (1)

101

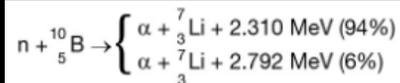
輻射度量

• 熱中子偵測 (thermal neutron)

• ^3He + 比例計數器

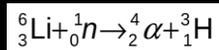


• ^{10}B + 比例計數器



• 如 $^{10}\text{BF}_3$

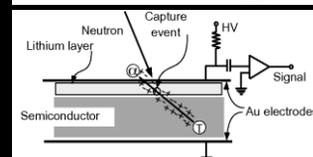
• ^6Li + semiconductor



• 快中子偵測 (fast neutron)

• 外加減速(衰減)材料：

• 高氫含量物質，如聚乙烯 (polyethylene)、石蠟



102

輻射度量

• 充氣式偵測器

有關充氣式偵檢器之特性，下列敘述何者正確？ (110-1員專2)

- A. 蓋革計數器可以鑑別輻射種類及能量
 - B. $^{10}\text{BF}_3$ 比例計數器是一種中子偵檢器
 - C. 游離腔最常填充P-10氣體
 - D. 蓋革計數器的氣體增殖率較比例計數器大
- (1) ACD (2) ABD (3) 僅 BD (4) BCD

Ans. (3)

下列同位素中，何者最適合做為熱中子偵測？ (110-1師專9)

- (1) ^7Li (2) ^6Li (3) ^{14}C (4) ^{57}Co

Ans. (2)

下列何者為中子之最適當的屏蔽物？ (109-1安專13)

- (1) 鉛 (2) 鋁 (3) 銅 (4) 石蠟

Ans. (4)

103

輻射度量

• 距離因素

• 空氣中的點射源：

強度與距離的平方成反比 (inverse square law)

強度與活度成正比

強度與曝露常數成正比

曝露與強度成正比

曝露與時間成正比

104

輻射度量

• 距離因素

下列何者為點射源在空氣中的曝露量計算公式？ (110-1員專1)

(X：曝露量、A：活度、d：距離、 Γ ：曝露常數、t：時間)

(1) $X = \Gamma^2 \times A \times t/d$ (2) $X = \Gamma \times d^2 \times t/A$ (3) $X = A \times t/\Gamma d^2$ (4) $X = \Gamma \times A \times t/d^2$

Ans. (4)

已知在距離 X 光機的陽極靶 2 公尺處之劑量率為 2 mSv/h，則某輻射工作人員在距離陽極靶 4 公尺處作業 30 分鐘，可能接受到多少 mSv 的劑量？ (109-1安專9)

(1) 0.25 (2) 0.5 (3) 0.75 (4) 1

Ans. (1)

105

輻射度量

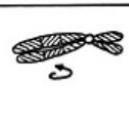
M期

• 染色體變異分析

• 染色體變異

- 分析「雙中節型」數量評估輻射劑量

Examples of 2-lesion *Chromosome-type* aberrations

	INTERCHANGE	INTER-ARM INTRACHANGE	INTRA-ARM INTRACHANGE	"BREAK" DISCONTINUITY
A	 dicentric	 centric-ring	 interstitial deletion	
S	 reciprocal translocation	 pericentric inversion	 paracentric inversion	

106

輻射度量

• 染色體變異分析

適合利用人體染色體變異分析的輻射劑量範圍大約為？ (110-1員專11)

(1) 0.01~1 Gy (2) 0.1~10 Gy (3) 50~100 Gy (4) 0.0001~0.01 Gy

Ans. (2)

染色體變異率主要是計讀下列何種染色體變異類型？ (109-1安專27)

(1) 欠失型 (2) 畸形 (3) 雙中節型 (4) 環型

Ans. (3)

107

輻射度量

• 計數

• 統計分布特性

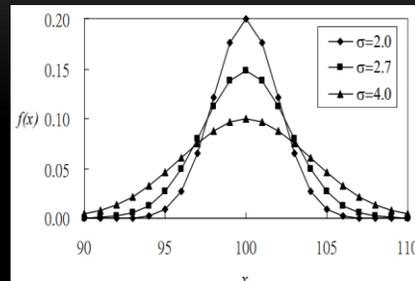
- 輻射計測值(x_1, x_2, \dots, x_n)的分布符合常態(或高斯)分布
- 平均值以 μ 表示，標準偏差以 σ 表示

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

$$\bullet \text{ 出現 } x \text{ 的機率為 } f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

• 特例：

- 出現計測值為 μ 的機率 $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$
- 計測值為半高處出現之位置為 $\mu \pm 1.177\sigma$



108

輻射度量

- 計數
 - 常態分布的標準偏差與機率函數

計測值為平均值(u)±n標準偏差(σ)	出現機率
$f(u - \sigma \leq x \leq u + \sigma)$	68.27%
$f(u - 2\sigma \leq x \leq u + 2\sigma)$	95.45%
$f(u - 3\sigma \leq x \leq u + 3\sigma)$	99.73%
$f(u - 1.645\sigma \leq x \leq u + 1.645\sigma)$	90%
$f(u - 1.96\sigma \leq x \leq u + 1.96\sigma)$	95%
$f(u - 2.58\sigma \leq x \leq u + 2.58\sigma)$	99%

109

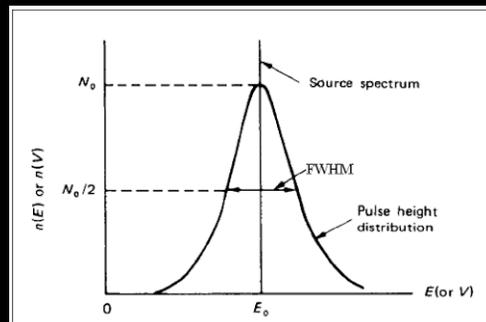
輻射度量

- 計數
 - 能量解析度 (R)

$$R = \frac{FWHM}{E_{peak}}$$

FWHM : 半高全寬 · Full Width at Half Maximum

E_{peak} : 計讀峰值處的能量值



110

輻射度量

• 計數

加馬能譜上有一尖峰能量為 384 keV，若其能量解析度為 3%，則該尖峰的半高全寬 (FWHM) 為下列何者？ (108-2安專46)

(1) 0.768 keV (2) 7.68 keV (3) 12.80 keV (4) 11.52 keV

Ans. (4)

$$R = \frac{FWHM}{E_{peak}} \cdot 0.3 = \frac{FWHM}{384} \cdot FWHM = 11.52$$

111

輻射度量

• 計數

某樣品經 10 分鐘計測得 2100 個淨計數，若此儀器的計測效率為 10%，則此樣品之活度為多少 Bq？(假設此樣品每次蛻變放出一個輻射) (110-1員專5)

(1) 25 (2) 35 (3) 55 (4) 65

Ans. (2)

$$2100 / (10 \times 60) = 3.5 \text{ (cps)}$$

$$\text{活度 dps} = \text{cps} / \text{儀器效率} = 3.5 / 0.1 = 35 \text{ dps} = 35 \text{ Bq}$$

若 450 keV 的單能γ光子被效率為 11.5% 的無機閃爍偵檢器之 NaI(Tl) 晶體吸收，產生閃爍光子的平均能量為 2.5 eV，其中 70% 的閃爍光子到達光電倍增管的陰極，該陰極把 30% 的入射光子轉換成光電子。則平均每個被吸收的單能γ光子所產生的光電子數目為？ (110-1師專12)

(1) 4.3×10^3 (2) 2.1×10^4 (3) 2.7×10^4 (4) 4.8×10^4

Ans. (1)

$$\frac{450 \times 1000 \times 0.115}{2.5} \times 0.7 \times 0.3 = 4347$$

112

輻射劑量

- 曝露
- 單位
- 屏蔽

輻射在物質中釋放能量
(coulomb → joule)
(roentgen → gray)

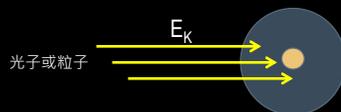
單位距離中釋放能量的效率
(射質因數、輻射加權因數)

人體組織器官對輻射敏感度
(組織加權因數)

113

輻射劑量

- 曝露
 - [法規]指人體受游離輻射照射或接觸、攝入放射性物質之過程。
 - [科學定義]
 - 電磁輻射在單位質量空氣中因游離所產生之電荷量。
 - 限制
 - 只適用於電磁輻射；定義中所述的電荷與質量，僅只針對空氣。



在單位體積中游離空氣產生的電量 → R 或 C/kg
在單位體積中動能的損耗 → rad 或 gray
在單位體積中給予組織的能量 → rem 或 sievert

中文名稱	Exposure	Conventional Unit	SI Unit	Conversions
曝露	Exposure	roentgen (R)	coulomb/kg of air (C/kg)	1 C/kg = 3876 R 1 R = 258 uC/kg

114

輻射劑量

• 曝露

侖琴是指游離輻射在何種介質內之曝露量？ (109-2安專7)

(1)空氣 (2)水 (3)組織 (4)骨頭

Ans. (1)

侖琴是指光子輻射在何種介質內之曝露量？ (110-1安專18)

(1)空氣 (2)水 (3)組織 (4)骨頭

Ans. (1)

115

輻射劑量

• 曝露

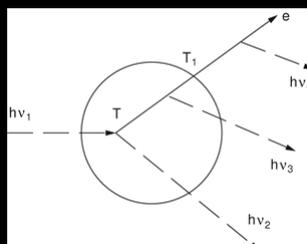
• 空氣克馬 (Air Kerma – kinetic energy released per unit mass)

- 不帶電荷之輻射(光子或中子)與空氣作用，在每單位質量空氣中釋放出的所有帶電粒子的初始動能的總和稱為空氣克馬

$$K = \frac{dE_{tr}}{d_m}$$

- 單位是戈雷(Gy)

- 1公斤空氣中含1焦耳(J)的初始動能為1 Gy (1 Gy = 1 J/kg)



$$E_{imparted} = hv_1 - hv_2 - hv_3 - T_1$$

$$E_{transferred} = hv_1 - hv_2 = T = Kerma$$

$$E_{net\ transferred} = hv_1 - hv_2 - hv_3 = T - hv_3$$

hv1：入射光子能量

T：電子初始動能

116

輻射劑量

• 單位

中文名稱	Exposure	Conventional Unit	SI Unit	Conversions
曝露	Exposure	roentgen (R)	coulomb/kg of air (C/kg)	1 C/kg = 3876 R 1 R = 258 uC/kg
吸收劑量 器官劑量	Dose	rad (R)	gray (Gy)	1 Gy = 100 rad
等價劑量 有效劑量	Dose equivalent Effective dose	rem	sievert (Sv)	1 Sv = 100 rem
活度	Activity	curie (Ci)	becquerel (Bq)	1 mCi = 37 MBq

1 Ci = 3.7×10^{10} Bq

1 kg 質量物質吸收 1 joule 能量為 1 gray

1 joule = $6.24150913 \times 10^{18}$ eV

1 eV = 1.608×10^{-19} joule

1 electron charge = 1.608×10^{-19} Coulomb

空氣中產生1個離子對需要 34 eV

半導體偵檢器產生一對電子電洞，約需 3.0 eV

117

輻射劑量

• 單位

法規條文—游離輻射防護安全標準

第二條第五款

劑量：指物質吸收之輻射能量或其當量。

(一) **吸收劑量**：指單位質量物質吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷，一千克質量物質吸收一焦耳能量為一戈雷。

(二) **等效劑量**：指人體組織或器官之吸收劑量與**射質因數**之乘積，其單位為西弗，射質因數依附表一之一(一)規定。

(三) **個人等效劑量**：指人體表面定點下適當深度處軟組織體外曝露之等效劑量。對於強穿輻射，為十毫米深度處軟組織；對於弱穿輻射，為○.○七毫米深度處軟組織；眼球水晶體之曝露，為三毫米深度處軟組織，其單位為西弗。

(四) **器官劑量**：指單位質量之組織或器官吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷。

(五) **等價劑量**：指器官劑量與對應**輻射加權因數**乘積之和，其單位為西弗，輻射加權因數依附表一之一(二)規定。

(六) **約定等價劑量**：指組織或器官**攝入放射性核種**後，經過一段時間所累積之等價劑量其單位為西弗。一段時間為自放射性核種攝入之日起算，對十七歲以上者以五十年計算；對未滿十七歲者計算至七十歲。

(七) **有效劑量**：指人體中受曝露之各組織或器官之**等價劑量**與各該組織或器官之組織加權因數乘積之和，其單位為西弗，組織加權因數依附表一之二規定。

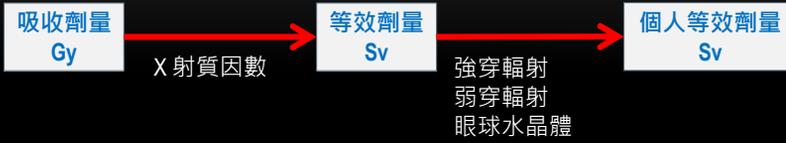
(八) **約定有效劑量**：指各組織或器官之**約定等價劑量**與組織加權因數乘積之和，其單位為西弗。

(九) **集體有效劑量**：指特定群體曝露於某輻射源，所受有效劑量之總和，亦即為該特定輻射源曝露之人數與該受曝露群組平均有效劑量之乘積，其單位為**人西弗**。

118

輻射劑量

單位



吸收劑量

X

等效劑量

=

射質因數 $Q(L)$ 為以國際放射防護委員會在第六十號報告中規定之水中非限定線性能量轉移 L 表示之。

表一中各類輻射加權因數中未包括之輻射類型或能量，可以取人體組織等效球中 10 毫米深處之 \bar{Q} 值作為 W_R 值，其公式如下：

$$\bar{Q} = \frac{1}{D} \int_0^L Q(L)D(L)dL \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

(1.1) 式中 D 為吸收劑量， $D(L)$ 為 D 對於 L 中之分布。

$$Q(L) = \begin{cases} 1 & (L \leq 10) \\ 0.32L - 2.2 & (10 < L < 100) \\ 300/\sqrt{L} & (L \geq 100) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

(1.1)、(1.2) 式中 L 之單位為千電子伏/微米 ($keV \cdot \mu m^{-1}$)

輻射劑量

單位



器官劑量

X

等價劑量

=

表一 各類輻射加權因數⁽¹⁾

輻射種類與能量區間 ⁽²⁾	輻射加權因數 W_R
所有能量之光子	1
所有能量之電子及 μ 介子 ⁽³⁾	1
中子 ⁽⁴⁾ 能量 < 10 千電子伏 (keV)	5
10 千電子伏 (keV) - 100 千電子伏 (keV)	10
> 100 千電子伏 (keV) - 2 百萬電子伏 (MeV)	20
> 2 百萬電子伏 (MeV) - 20 百萬電子伏 (MeV)	10
> 20 百萬電子伏 (MeV)	5
質子 (回跳質子除外) 能量 > 2 百萬電子伏 (MeV)	5
α 粒子，分裂碎片，重核	20

輻射劑量

• 單位

若阿伐 (α) 粒子、貝他 (β) 粒子與質子 (p) 對某器官造成相同之等價劑量，則其吸收劑量的關係為下列何者？ (109-2安專14)

(1) $p > \beta > \alpha$ (2) $p > \alpha > \beta$ (3) $\beta > p > \alpha$ (4) $\alpha > p > \beta$

Ans. (3)

0.1 cGy 的 X 光被組織吸收，在組織中產生多少 mSv 的等價劑量？ (109-2安專12)

(1) 0.001 (2) 0.01 (3) 0.1 (4) 1

Ans. (4)

根據 ICRP 60 號報告， α 粒子的輻射加權因數(WR)值為多少？ (109-2安專18)

(1) 0.2 (2) 10 (3) 20 (4) 50

Ans. (3)

0.1 cGy \times 1 = 0.1 cSv = 1 mSv (X 光輻射加權因數為 1)

針對 α^{2+} 、 β^{-} 及 γ 而言，相同能量之比游離度 (Specific Ionization) 何者最大？ (108-2安專9)

(1) α^{2+} (2) β^{-} (3) γ (4)三者一樣大

Ans. (1)

121

輻射劑量

• 單位



等價劑量

\times

表二 組織加權因數⁽¹⁾

組織或器官	組織加權因數 W_T	組織或器官	組織加權因數 W_T
性腺	0.20	肝	0.05
紅骨髓	0.12	食道	0.05
結腸	0.12	甲狀腺	0.05
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
膀胱	0.05	其餘組織或器官	0.05 ⁽²⁾⁽³⁾
乳腺	0.05		

=

有效劑量

ICRP Report 60

122

輻射劑量

• 單位

下列哪一種細胞對輻射最敏感？ (109-2安專15)

- (1)分裂繁殖旺盛的細胞，如骨髓細胞 (2)部分分化但仍分裂繁殖的細胞
(3)已分化但遇刺激仍可分裂繁殖的細胞 (4)完全分化的細胞

Ans. (1)

某人的性腺 (WT = 0.2) 及肝臟 (WT = 0.05) 分別接受到 5 及 10 毫西弗的等價劑量，其餘器官未受曝露，則此人接受多少毫西弗之有效劑量？ (110-1安專13)

- (1) 1.5 (2) 3 (3) 4.5 (4) 5.6

Ans. (1)

某輻射工作人員一年內，其甲狀腺(WT = 0.04)與乳腺(WT = 0.12)分別接受 20 毫西弗與 10 毫西弗之等價劑量，其餘器官未受曝露，則此人共接受多少 mSv 之有效劑量？ (109-2安專8)

- (1) 0.2 (2) 1.2 (3) 2.0 (4) 4.0

Ans. (3)

$$20 \times 0.04 + 10 \times 0.12 = 2.0 \text{ mSv}$$

123

輻射劑量

• 單位

下列何者為吸收劑量的單位？ (110-1安專49)

- (1)居里 (2)貝克 (3)戈雷 (4)侖琴

Ans. (3)

下列哪些為正確的體外曝露防護基本原則：A.接受曝露時間越短愈好 B.劑量與距離平方成反比 C.應加適當之屏蔽 D.不在輻射作業場所吃東西 (109-2安專20)

- (1)僅 AB (2)僅 BC (3)僅 CD (4)僅 ABC

Ans. (4)

某工作人員全身受到加馬射線 7.0 mGy 與熱中子 1.5 mGy 兩種輻射之均勻曝露，請問其有效劑量為多少 mSv？ (109-1安專15)

- (1) 8.5 (2) 10.0 (3) 14.5 (4) 37

Ans. (3)

對於 α 與 β 粒子，若所造成的吸收劑量 $D(\alpha)$ 與 $D(\beta)$ 相等，則等價劑量 $H(\alpha)$ 與 $H(\beta)$ 之大小關係為： (108-2安專22)

- (1) $H(\alpha) = H(\beta)$ (2) $H(\alpha) = 10 \times H(\beta)$ (3) $H(\beta) = 20 \times H(\alpha)$ (4) $H(\alpha) = 20 \times H(\beta)$

Ans. (4)

124

輻射劑量

• 單位

阿伐粒子造成肝臟 2 mGy 的吸收劑量，請問肝臟的等價劑量為何？ (110-1員專9)

(1) 2 mSv (2) 20 mSv (3) 40 mSv (4) 80 mSv

Ans. (3)

有效劑量(effective dose)的計算方式為組織加權因數與下列何者乘積之和？ (110-1員專14)

(1)等價劑量 (2)等效劑量 (3)器官劑量 (4)吸收劑量

Ans. (1)

下列何種器官在接受相同輻射劑量下，引起致死癌的風險較高？ (110-1員專15)

(1)肝 (2)皮膚 (3)紅骨髓 (4)甲狀腺

Ans. (3)

125

輻射劑量

• 單位

在一次輻射作業中，若某輻射工作人員的膀胱、結腸及性腺受到某射線照射，分別造成 1、2 及 3 mSv 的等價劑量，其他組織未受到曝露。若性腺之質量為 25 g，則： (110-1員專1)

(1)該射線在性腺造成之吸收劑量為多少 mGy？

(2)性腺所吸收之能量為多少毫焦耳？

(3)若膀胱、結腸及性腺之組織加權因數各為 0.05、0.12、0.20，則其有效劑量為多少 mSv？

Ans.

(1) $H_T = D \times W_R \cdot 3 \text{ (mSv)} = D \times 1 \rightarrow D = 3 \text{ (mGy)}$

(2) $D = E/M, D = 3 \text{ (mGy)} = E/0.025 \text{ (kg)} \rightarrow \text{吸收之能量 } E = 3 \times 0.025 = 0.075 \text{ (mJ)}$

(3) $1 \times 0.05 + 2 \times 0.12 + 3 \times 0.20 = 0.89 \text{ (mSv)}$

126

輻射劑量

- 屏蔽

醫療診斷用 X 光機，每天胸腔照相 140 張，條件為 110 kV、10 mAs，骨盆照相 20 張，條件為 70 kV、50 mAs，每週工作五天，則工作負載 (workload) 為多少 mA · min/week ? (110-1安專35)

(1) 3600 (2) 2600 (3) 200 (4) 100

Ans. (3)

工作負載 = $[(140 \times 10 + 20 \times 50) \times 5] / 60 = 200 \text{ mA} \cdot \text{min/week}$

127

輻射生物

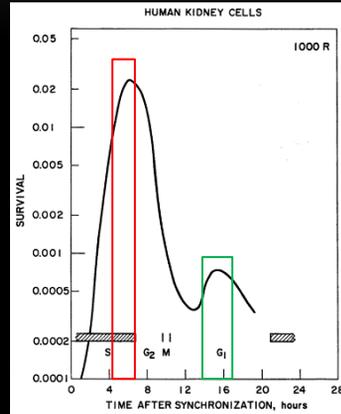
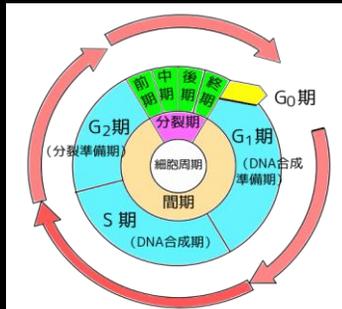
- 輻射生物效應
- 存活率
- 確定效應與機率效應
- 曝露型態
- 健康效應

128

輻射度量

- 輻射生物效應
 - 細胞週期

Cell Cycle Phase	Sensitivity	Reason
Late S	Most Radio resistant	Greater proportion of repair by HR pathway
G1	Intermediate	Open chromatin, accessibility for repair proteins
G2/M	Highly radiosensitive	Chromatin compaction, poor repair competence



各細胞週期依敏感程度大小排序：G2、M > G1 > S

129

輻射生物

- 輻射生物效應

輻射與人體作用，在下列哪一階段作用所需的時間最長？ (110-1安專23)

- (1) 分子內的放射化學變化
- (2) 生理上的變化
- (3) 產生癌症或遺傳效應
- (4) 游離與激發之物理作用

Ans. (3)

細胞週期中，對輻射敏感度由高至低排列何者正確？ (110-1師專6)

- (1) M、S、G2
- (2) S、G1、G2
- (3) M、G1、S
- (4) G1、M、S

Ans. (3)

130

輻射生物

- 輻射生物效應
 - 懷孕週期

Table 2 Fetal threshold dosages associated with possible deterministic effects of radiation²⁴

Gestational age	Radiation effect	Threshold dose (mGy)
3-4	Embryonic death	100-200
4-8	Embryonic death	250 (18 days) >500 (>50 days)
	Malformations and/or growth retardation	200-500
≥8	Decrease in IQ	100
8-15	Irreversible whole-body growth retardation	250-500
	Severe mental disability	60-500
	Microcephaly	20 000
>16	Severe mental disability	>1500

Adopted from Dauer et al²⁴

131

輻射生物

- 輻射生物效應

胚胎發育過程分為著床前期(preimplantation)、器官形成期(organogenesis)和胚胎期 (fetal) 等三期，其中以哪一期接受到輻射照射產生畸形的機率最高？ (109-1安專7)
 (1)著床前期 (2)器官形成期 (3)胎兒期 (4)三個時期的機率皆相等

Ans. (2)

132

輻射生物

• 存活率 - 單一模式

- 適用於高 LET 輻射
- 又稱為「單靶一次擊出模型」
- LD

- LD = lethal dose = 致死劑量

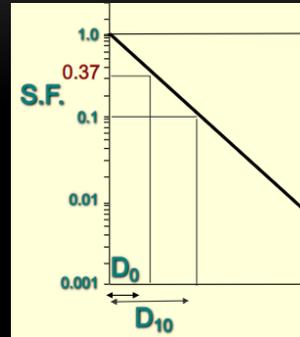
- 一元模式存活率 $(S.F) = e^{-\frac{D}{D_0}}$

- D_0 : 平均致死劑量 · 存活率 = 37%

- D_{10} : 存活率10%時的劑量為 $2.3 D_0$

- LD_{50} : 半致死劑量

- $LD_{50/30}$: 在 30 天內造成 50% 死亡的劑量



133

輻射生物

• 存活率

LD_{50} 符號中的 LD 為何? (110-1安專26)

(1)吸收劑量 (2)等效劑量 (3)有效劑量 (4)致死劑量

Ans. (4)

134

輻射生物

- 存活率

單靶一次擊出模型 (single-target / single-hit model) 中，若某輻射 D_0 為 1.5 Gy，則經此輻射照射 4.5 Gy 後，存活率為多少？(110-1員專4)
 (1) 1.73 % (2) 4.98 % (3) 17.60 % (4) 33.33 %

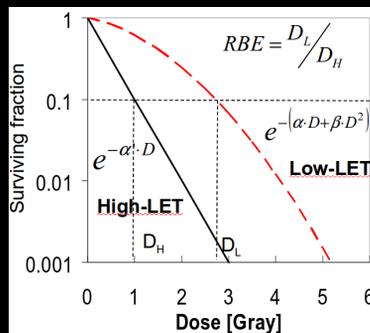
Ans. 2

135

輻射生物

- 存活率 - 二元模式

- 適用於低 LET 輻射
- 二元模式存活率 (S.F) = $e^{-\alpha D - \beta D^2}$



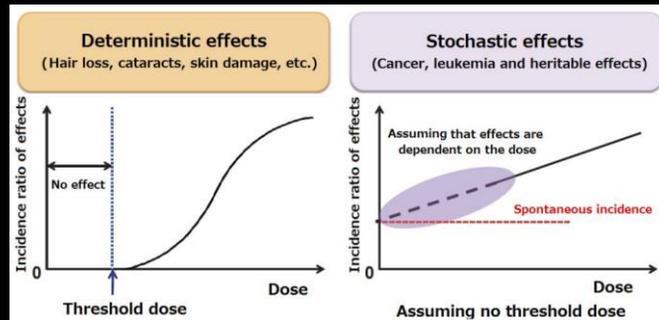
D_L : 低LET輻射存活率10%時的劑量
 D_H : 高LET輻射存活率10%時的劑量

相對生物效應 (RBE) = D_L / D_H

136

輻射生物

- 確定效應
 - 有低限值 (閾值)
 - 症狀嚴重程度與劑量成正比
 - 症狀：
 - 白內障、皮膚紅腫脫皮、不孕
- 機率效應
 - 無低限值 (LNT 假說)
 - 症狀發生機率與劑量成正比
 - 症狀：
 - 基因變異、癌症

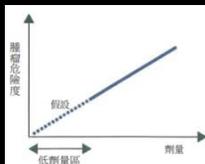


137

輻射生物

- 輻射生物效應
 - 線性無低限假說 (LNT · linear non-threshold hypothesis)

- 定義：



- 是針對輻射健康效應的機率效應而做的假說，因為在接受低輻射劑量下並無臨床症狀，但依日本核爆後接受高劑量倖存者的流行病學調查結果，將結果外推到零劑量，且假設只要接受到輻射劑量就有得致死癌與不良遺傳的機率存在，產生機率的大小與接受劑量多寡成正比。
- 對輻射防護的影響：
 - 假設輻射健康機率效應大小與接受劑量成正比，使得制訂人員輻射劑量限度(法規限度)成為容易可行，而且人員在不同時期、不同場所、體內、體外接受輻射之劑量可以直接相加，使輻射防護與人員劑量管制之工作易於執行。

138

輻射生物

• 確定效應與機率效應

關於輻射的健康效應，下列敘述何者為真？ (110-1安專20)

- (1) 機率效應的嚴重程度會隨輻射劑量增加而增加
- (2) 皮膚變紅及白內障屬於機率效應
- (3) 若輻射劑量低於低限劑量(threshold dose)，機率效應一定不會發生
- (4) 癌症及遺傳效應屬於機率效應

Ans. (4)

等價劑量限值係為了下列何者？ (108-2安專29)

- (1) 防止確定性效應 (2) 抑低確定性效應 (3) 防止機率性效應 (4) 抑低機率性效應

Ans. (1)

139

輻射生物

• 曝露型態

• 急性劑量

- 短時間接受高輻射劑量(1,000 mSv 以上)
- 高劑量造成的健康效應
 - 掉髮, 疲勞
 - 早期: 噁心及嘔吐
 - 燒傷及傷口癒合緩慢, 甚至使引起死亡 (6,000 mSv)
- 例子: 醫療曝露及密封射源的意外曝露

• 慢性劑量

- 長時間接受較低的輻射劑量(50 mSv)
- 接受慢性劑量身體較容易修復
- 造成的健康效應不易觀察
- 例子: 背景輻射及體內累積

140

輻射生物

• 曝露型態

• 單次全身曝露

曝露劑量 (mSv)	輻射健康效應
250以下	無可察覺症狀、可能引起血液中淋巴球的染色體變異。
250-1000	可能發生短期的血球變化(淋巴球、白血球減少)· 有時有眼結膜炎的發生· 但不致產生機能之影響。
2000-4000	24小時內會噁心、嘔吐、數週內有脫髮、食慾不振、虛弱、腹瀉及全身不適等症狀· 可能死亡。
4000-6000	與前者相似· 但症狀顯示的較快· 在2-6週內死亡率為50%。
6000以上	若無適當醫護· 死亡率為100%。

根據ICRP 103號報告,吸收劑量於**100毫西弗**以下並無臨床上可察覺症狀

141

輻射生物

• 健康效應

• 軀體效應

- 急性效應
- 慢性效應

• 遺傳效應

作用	發生期	臨床症狀	部位	發生率
軀體效應	急性效應	皮膚發生紅斑、脫毛 不孕 神經、造血、消化道等系統症候群 白血球減少 噁心、嘔吐、腹瀉	局部 局部 全身 全身	確定效應
	慢性效應	白內障 胎兒之影響等 白血病、癌症	局部 全身 全身	確定效應 機率效應
遺傳效應		遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病	全身	機率效應

142

輻射生物

• 健康效應

有關輻射生物效應的敘述，正確的有哪些？ (110-1師專11)

- A. 皮膚損傷、紅斑屬全身急性效應
- B. 胃腸症候群、脫毛屬局部急性效應
- C. 造血症候群、中樞神經症候群屬全身急性效應
- D. 癌症、眼球白內障屬於慢性或延遲效應

(1)僅 AB (2)僅 AD (3)僅 CD (4) BCD

Ans. (3)