

放射物理學試題彙編

第二冊

張寶樹 編著

第十三届全国书市样书



合記圖書出版社 發行

放射物理學

試題彙編

第二冊

張寶樹 編著



合記圖書出版社 發行

放射物理學試題彙編 / 張寶樹編著. -- 初版. --

臺北市：合記，民 87-

冊； 公分

含參考書目

ISBN 957-666-521-3 (第一冊：平裝) .--

ISBN 957-666-656-2 (第二冊：平裝)

1. 放射物理學 - 問題集 2. 放射診斷 3. X 射線

415.216022

87003529

書名 放射物理學試題彙編(第二冊)
編著 張寶樹
發行人 吳富章
發行所 合記圖書出版社
登記證 局版臺業字第 0698 號
社址 臺北市內湖區(114)安康路 322-2 號
電話 (02)27940168 (02)27940345
傳真 (02)27924702



總經銷 合記書局
北醫店 臺北市信義區(110)吳興街 249 號
電話 (02)27239404 (02)27227293
臺大店 臺北市中正區(100)羅斯福路四段 12 巷 7 號
電話 (02)23651544 (02)23671444
榮總店 臺北市北投區(112)石牌路二段 120 號
電話 (02)28265375
臺中店 臺中市北區(404)育德路 24 號
電話 (04)2030795 (04)2032317
高雄店 高雄市三民區(807)北平一街 1 號
電話 (07)3226177

郵政劃撥 帳號 19197512 戶名 合記書局有限公司

法律顧問 蕭雄淋 律師 (北辰著作權事務所)

自序

「放射物理學試題彙編」第二冊是繼續第一冊所編著，仍以解題方式撰寫，並盡量不重覆第一冊既有的試題。「放射物理學試題彙編」第二冊一書仍分為五章：第一章「基本放射物理概念」，第二章「輻射安全與偵檢概念」，第三章「放射診斷的物理概念」，第四章「放射治療的物理概念」，第五章「核子醫學的物理概念」。

「放射物理學試題彙編」第二冊是一本對想順利考取放射線技術師執照的放射技術科系同學有用的新書，此書的試題取自最近的高考、專技考與一般考試題目，每題均有解題分析，值得放射技術科系同學熟讀。本書以放射物理學的立場來撰寫放射診斷、放射治療、核子醫學的基礎理論與臨床實務等，因此也值得放射線技術師與放射線醫師的參考與閱讀。

國內剛通過放射師法，對於放射技術科系的學生與從事臨床工作的放射技術師，給予職業的尊嚴、專業與法律責任。國內陽明大學放射技術學系成立研究所，中臺醫專、元培醫專與慈濟護專也分別升格為技術學院，而這三所學校的放射技術科也均改為放射技術學系，所以國內的放射線技術學不僅應有從名稱的升格，也應相對提升放射技術的學術地位。

本書的順利出版要感謝的人很多，特別要感謝清華大學翁寶山教授、高醫放治科何耀輝教授與連熙隆教授。對於合記書局吳富章先生、黃召凡先生與吳貴惠小姐的協助出版，於此一併致謝。

因自行打字、排版與校對，所以此書共費時二年餘才完成。筆者才疏學淺，疏漏謬誤在所難免，尚祈讀者不吝指正。

「放射物理學試題彙編」第二冊主要參考書有：

1. H.E. Johns, J.R. Cunningham, *The Physics of Radiology*, 4th ed., Charles C Thomas Publishers, Springfield, 1983.
2. F.M. Khan, *The Physics of Radiation Therapy*, 2nd ed., William & Wilkins, Baltimore, 1995.
3. T.S. Curry, J.E. Dowdey, R.C. Murry, *Christensen's Physics of Diagnostic Radiology*, 4th ed., Lea & Febiger, Marvern, 1990.
4. H. Cember, *Introduction to Health Physics*, 3rd ed., The McGraw-Hill, New York, 1997.
5. J.E. Turner, *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1995.
6. M.P. Sander, J.A. Patton, R.E. Coleman, A. Gottschalk, F.J. Th., Wackers, P.B. Hoffer, *Diagnostic Nuclear Medicine*, 3rd ed., Williams & Wilkins, Baltimore, 1996.
7. C.A. Perez, L.W. Brady, *Principles and Practice of Radiation Oncology*, 3rd ed., Lippincott-Raven, Philadelphia, 1998.

最後要謝謝家人的支持。

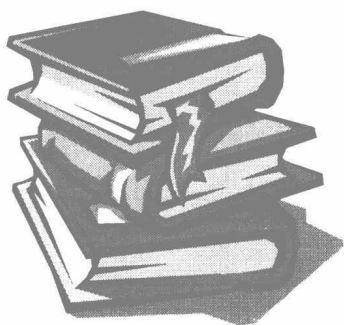
張賓樹 謹誌

民國 89 年 4 月 20 日
於高醫醫技系放射組
、附設醫院放治科。

放射物理學試題彙編

目錄

☐ 自序.....	i
第一章 基本放射物理概念.....	1
第二章 輻射安全與偵檢概念.....	71
第三章 放射診斷的物理概念.....	141
第四章 放射治療的物理概念.....	201
第五章 核子醫學的物理概念.....	251



第一章 基本放射物理概念

() 1. ^{32}P 與 ^{32}S 稱為下列何者？

(A)isotope (B)isotone (C)isobar (D)isomer

☞答案為(C)。 $^{32}_{15}\text{P}$ 的原子序數 $Z=15$ ，質子數 $p=15$ ，中子數 $n=32-15=17$ 。 $^{32}_{16}\text{S}$ 的原子序數 $Z=16$ ，質子數 $p=16$ ，中子數 $n=32-16=16$ 。 $^{32}_{15}\text{P}$ 與 $^{32}_{16}\text{S}$ 的原子序數不同，所以不是同位素(isotopes)。同位素係指原子核(nuclide)有相同的原子序數、不同的中子數。 $^{32}_{15}\text{P}$ 與 $^{32}_{16}\text{S}$ 的中子數不同，所以不是同中子素(isotones)。同中子素係指原子核有不同的原子序數、相同的中子數。 $^{32}_{15}\text{P}$ 與 $^{32}_{16}\text{S}$ 的質量數($A=32$)相同，所以是同重素(isobars)。同重素係指原子核有相同的質量數。同質異構物(isomer)係指原子核在激態(excited state)且具有可以測量的半化期。 $^{32}_{15}\text{P}$ 為純 β^- 發射體(pure β^- emitter)，半化期為14.28天，最大 β^- 能量為1.71MeV(100%)，產生方式為 $^{31}_{15}\text{P}(n, \gamma)^{32}_{15}\text{P}$ 。 $^{32}_{16}\text{S}$ 不是放射性核種。(87年第1次專技)

() 2. $^{14}\text{N}(\text{?}, \text{?})^{14}\text{C}$ ，左式中之" $(\text{?}, \text{?})$ "是下列何種衰變？

(A)(n, γ) (B)(n, β^-) (C)(n, β^+) (D)(n, p)

☞答案為(D)。 $^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{p}$ 。 $^{14}_6\text{C}$ 為天然存在的純 β^- 發射體，半化期高達5730年，最大 β^- 能量為0.156MeV(100%)，產生方式為 $^{14}_7\text{N}(n, p)^{14}_6\text{C}$ 。(87年第1次專技)

() 3. $^{27}\text{Al}(n, \gamma)?$ ，請問左式中之" $?$ "代表下列何者？

(A) ^{28}Al (B) ^{28}Si (C) ^{28}Fe (D) ^{28}Ni

☞答案為(A)。 $^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$ 。 ^{28}Al 進行 β^- 衰變後，發射1.779MeV(100%)的 γ 光子，最大 β^- 能量為2.86MeV(100%)，半化期僅為2.24分。 ^{28}Mg 經 β^- 衰變成為 ^{28}Al ，半化期為21小時。(87年第1次專技)

() 4. 1克 ^{226}Ra 的活度為多少 Ci? (^{226}Ra 的半衰期 = 1622 年)

(A) 0.975 (B) 1.175 (C) 1.375 (D) 1.575

☞ 答案為 (A)。因為 1g 的 ^{226}Ra 約略相當於 1Ci 的活度，但在實際的計算值，若取 ^{226}Ra 的半衰期 = 1622 年，則 1g 的 ^{226}Ra 的活度卻 $< 1\text{Ci}$ 。計算如下： $A = \lambda \times N = (\ln 2 / 1,622\text{y}) \times (1\text{y} / 365 \times 86,400\text{s}) \times (1\text{g} / 226\text{g mole}^{-1}) \times (6.02 \times 10^{23} / \text{mole}) = 3.61 \times 10^{10} \text{s}^{-1} = 3.61 \times 10^{10} \text{Bq} = 3.61 \times 10^{10} \text{Bq} \times (1\text{Ci} / 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}) = 0.976 \text{Ci}$ 。若取 ^{226}Ra 的半衰期 = 1600 年，則 1mg 的 ^{226}Ra 的活度等於 $0.989 \text{mCi} < 1 \text{mCi}$ 。當年因未能正確地實驗得知 ^{226}Ra 的半衰期，所以才計算出 1g 的 ^{226}Ra 的活度等於 $3.7 \times 10^{10} \text{s}^{-1}$ ，又為了紀念居里夫人於 1989 年從瀝青鈾礦中提煉出鐳，所以就定義 1g 的 ^{226}Ra 的活度等於 1 居里 (1Ci)，而 $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{s}^{-1} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。在計算鐳當量 (Ra_{eq}) 時，1mg 的 ^{226}Ra 相當於 1mCi 的活度，所以 1mCi 的 ^{137}Cs 相當於 $0.398 \text{mg} (= 3.28 / 8.25)$ 的 ^{226}Ra ，其中 ^{137}Cs 的曝露率常數 $\Gamma = 3.28 \text{Rcm}^2 \text{hr}^{-1} \text{mCi}^{-1}$ ，外包 0.5mm 厚 Pt 的 ^{226}Ra 之 $\Gamma = 8.25 \text{Rcm}^2 \text{hr}^{-1} \text{mCi}^{-1}$ 。類似的計算，如 ^{60}Co 的曝露率常數 $\Gamma = 13.07 \text{Rcm}^2 \text{hr}^{-1} \text{mCi}^{-1}$ ， ^{192}Ir 的 $\Gamma = 4.69 \text{Rcm}^2 \text{hr}^{-1} \text{mCi}^{-1}$ ，所以 1mCi 的 ^{60}Co 相當於 $1.584 \text{mg} (= 13.07 / 8.25)$ 的 ^{226}Ra ，1mCi 的 ^{192}Ir 相當於 $0.568 \text{mg} (= 4.69 / 8.25)$ 的 ^{226}Ra 。臨床計算劑量常以多少毫克的鐳治療多少小時，所以鐳的前荷式近接治療就以 mg hr 為常用單位。因為 1 毫克鐳當量 (milligram radium equivalent, mg-Ra eq) 等於 $(8.25 \times 10^{-4} \text{R/hr}) \times (8.76 \times 10^3 \text{m}^2 \mu\text{Gy/R}) = 7.227 \mu\text{Gym}^2 \text{hr}^{-1}$ ，所以近接治療在計算空氣克馬強度 (air kerma strength) 時， $1 \mu\text{Gym}^2 \text{hr}^{-1} = 0.138 \text{mg-Ra eq}$ 。一個 ^{192}Ir 線源空氣克馬強度為 $10 \mu\text{Gym}^2 \text{hr}^{-1}$ ，則等於 $1.38 (= 10 \times 0.138)$ 毫克鐳當量，又等於 $(1\text{mCi } ^{192}\text{Ir} / 0.568 \text{mg } ^{226}\text{Ra}) \times 1.38 \text{mg-Ra eq} = 2.43 \text{mCi } ^{192}\text{Ir}$ 。(87 年第 1 次專技)

- () 5. 電子進入介質後，與介質構成物質的原子核起非彈性碰撞，會產生：

(A)游離 (B)激發 (C)制動輻射 (D)特性輻射

☞ 答案為(C)。電子進入介質後，分別與介質構成物質的原子核外的電子、原子核發生彈性碰撞、非彈性碰撞。電子與原子核外的電子、原子核發生彈性碰撞時，電子的動能沒有損失。電子與原子核外的電子發生非彈性碰撞時，產生游離(ionization)與激發(excitation)現象。電子與原子核發生非彈性碰撞時，產生制動輻射。對低有效原子序數的軟組織($Z_{eff}=7.64$)或水($Z_{eff}=7.51$)而言，電子進入軟組織或水後，其電子損失動能的主要方式是與軟組織構成物質的原子核外的電子或水的氫核外、氧核外的電子發生非彈性碰撞，然後產生游離現象。

- () 6. 電子進入人體組織後，與人體組織相互作用，則電子損失能量的主要方式為：

(A)游離 (B)激發 (C)制動輻射 (D)特性輻射

☞ 答案為(A)。參閱題5。電子進入介質後，要與構成介質的物質之原子的電子(atomic electrons)或原子核發生非彈性碰撞後，電子才會損失動能。電子動能的損失方式有非彈性碰撞的游離損失 S_{ion} 與產生輻射的能量損失 S_{rad} ，其中， S_{ion} 是碰撞損失 S_{col} (collisional loss)的一種， S_{rad} 是輻射損失(radiation loss)。輻射損失主要發生在高能電子與高原子序數(Z)的物質。碰撞損失是依每克介質的電子密度(e^-/g)而定，因為高 Z 的物質對電子束縛較緊，高原子序數(Z)物質的電子密度(e^-/g)較低 Z 物質少些，所以非彈性碰撞的游離損失的質量阻擋本領(mass stopping

power) $S_{ion} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{dx} \right)_{ion}$ 是低 Z 物質大於高 Z 物質，其中 ρ 為

物質的密度， dE/dx 為單位物質厚度的電子能量損失(MeV/cm)。在水中，對能量 $\geq 1 MeV$ 的電子而言，每cm的射程(range)約損失 $2 MeV$ 的能量。

- () 7. 能量大於1MeV的電子進入人體組織後，與人體組織相互作用，則電子每cm的射程中約損失多少能量？

(A)1MeV (B)2MeV (C)3MeV (D)4MeV

☞ 答案為(B)。參閱題6。1983年H.E. John與J.R Cunningham所著The Physics of Radiology第3版一書中指出，總質量阻擋本領 $S_{tot} = S_{ion} + S_{rad}$ ，其中 S_{tot} 分為游離損失的質量阻擋本領 S_{ion} 與因制動輻射而產生能量損失的質量阻擋本領 S_{rad} ，此不同於1994年F.M. Khan所著The Physics of Radiation Physics第2版一書中(頁348)所指出，總質量阻擋本領 $(S/\rho)_{tot} = (S/\rho)_{col} + (S/\rho)_{rad}$ ，其中 $(S/\rho)_{tot}$ 為碰撞損失的質量阻擋本領， $(S/\rho)_{rad}$ 為因產生制動輻射而發生能量損失的質量阻擋本領。光子輻射與介質發生光電效應、康普吞效應與成對發生均會產生電子，這些電子與電子射束的電子在介質裡面，均與構成介質的原子核外的電子或原子核發生彈性碰撞或非彈性碰撞，其中，彈性碰撞沒有電子的動能損失，只有非彈性碰撞會造成電子的動能損失。電子的動能損失是以阻擋本領 S_{tot} 來表示， dE/dx 為單位物質厚度的電子能量損失(MeV/cm)。為減少介質密度 ρ 的影響，就以質量阻擋本領 $(S/\rho)_{tot} = S_{tot}/\rho$ (MeVcm²/g)來表示，其中，作用面積是指電子與介質發生作用的截面。對能量為9MeV的電子而言，碳的 $(S/\rho)_{col}$ 為1.719 MeVcm²/g，空氣為1.956 MeVcm²/g，肌肉為1.937 MeVcm²/g，水為1.964 MeVcm²/g，空氣為1.956 MeVcm²/g，脂肪為1.985 MeVcm²/g，骨骼為1.823 MeVcm²/g，聚苯乙烯為1.956 MeVcm²/g，鋁為1.627 MeVcm²/g，Lucite為1.896 MeVcm²/g，鉛為1.189 MeVcm²/g。在計算電子與介質發生作用時，即計算單位質量dm的平均能量吸收dE(吸收劑量)，必須知道電子的通量 Φ_E (electron energy fluence)與電子的限制碰撞質量阻擋本領(restricted collision mass stopping power)

$(L/\rho)_{col,\Delta}$ ，其中 $(L/\rho)_{col,\Delta} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{dE}{d\ell} \right)_{col,\Delta}$ ， ρ 為介質的密度， $(dE/d\ell)_{col,\Delta}$ 為在介質內單位射程 $d\ell$ 的電子，與原子的電子(atomic electrons)碰撞所造成小於 Δ 的能量損失 dE 。電子的吸收劑量 $D = \int_{\Delta}^{E_0} \Phi_E (L/\rho)_{col,\Delta} dE$ 。阻擋本領 $S = dE/dx$ 或 $S = dE/d\ell$ 均為單位物質厚度 dx 或單位射程 $d\ell$ 的電子能量損失 (MeV/cm)，其為局部的吸收(local absorption)且不包括電子與介質發生作用所產生的二次電子，二次電子就是 δ -ray。直線能量轉移(linear energy transfer, L) $L = dE/dx$ 或 $L = dE/d\ell$ 也是單位物質厚度 dx 或單位射程 $d\ell$ 的電子能量損失 (MeV/cm)，但直線能量轉移為全部的吸收(whole absorption)，且包括電子與介質發生作用所產生的二次電子(δ -ray)。

- () 8. 大於 $10 MeV$ 的電子在測量其射程時，照野大小應不少於：

(A) $12 \times 12 cm$ (B) $15 \times 15 cm$ (C) $16 \times 16 cm$
(D) $20 \times 20 cm$

☞ 答案為(D)。大於 $10 MeV$ 的電子在測量其射程時，照野大小應不少於 $20 \times 20 cm$ ，而 $\leq 10 MeV$ 的電子在測量其射程時，照野大小應不少於 $12 \times 12 cm$ 。照野大小的寫法可為 $12 \times 12 cm$ 、 $12 cm \times 12 cm$ 或 $12 \times 12 cm^2$ 。

- () 9. 利用下列何者可以求出電子射束的平均能量？

(A) R_{max} (B) R_p (C) R_{50} (D) R_z

☞ 答案為(C)。LINAC 的電子射束有三種能量：最可能的能量 $(E_p)_0$ (most probable energy)，平均能量 $\bar{E}_0$ (mean energy) 與在深度 z 的劑量 $\bar{E}_z$ 。 $(E_p)_0$ 是在假體表面所定義的電子能譜的能峰(peak)， $(E_p)_0 = C_1 + C_2 R_p + C_3 R_p^2$ ，其中 R_p 為實際射程(practical

range, cm)。對水假體而言， $C_1=0.22\text{ MeV}$ ， $C_2=1.98\text{ MeV cm}^{-1}$ ， $C_3=0.0025\text{ MeV cm}^{-2}$ 。所謂實際射程 R_p 是指在相對深度劑量曲線圖上，其橫座標為水的深度 (cm)，在 50% 劑量位置的切線與電子射束所產生制動輻射劑量的延伸線之交點，此交點與橫座標的垂直交點就是 R_p ，而在 50% 的相對深度劑量位置與橫座標的垂直交點就是 R_{50} 。平均能量 $\bar{E}_0=C_4 \cdot R_{50}$ ，在水假體中，取 $C_4=2.33\text{ MeV cm}^{-1}$ 或 $C_4=2.4\text{ MeV cm}^{-1}$ ，所以計算 $\bar{E}_0(\text{MeV})$ 需先以水假體求出電子射束的 $R_{50}(\text{cm})$ 。若 $(E_p)_0$ 與 $\bar{E}_0$ 隨著深度增加而線性地減少時，則在水假體中深度 z 時，電子

射束的可能能量 $(E_p)_z=(E_p)_0(1-\frac{z}{R_p})$ ，所以在深度 z 的能

量 $\bar{E}_z=\bar{E}_0(1-\frac{z}{R_p})$ 。

() 10. 電子射束在深度 Z 的平均能量為電子射束的平均能量乘以：

- (A) $1-(Z/R_{\max})$ (B) $1-(Z/R_p)$ (C) $1-(Z/R_{50})$
(D) $1-(Z/R_z)$

☞ 答案為 (D)。參閱題 9。在深度 z 的水假體中，

LINAC 電子射束的平均能量 $\bar{E}_z=\bar{E}_0(1-\frac{z}{R_p})$ 。在實際射

程 R_p 後的水假體中，輻射劑量是來自電子射束所造成制動輻射的污染，此又稱為 X 射線的污染 (x-ray contamination)。對能量為 6~12 MeV 的電子射束，X 射線的污染應在 0.5%~1% 之間，能量為 12~15 MeV 的電子射束，X 射線的污染應在 1%~2% 之間，能量為 15~20 MeV 的電子射束，X 射線的污染應在 2%~5% 之間。

- () 11. 空氣的W值為 33.97eV/i.p. ，當介質為肌肉時， 10MeV 光子的 $f_{\text{med}}=0.936\text{cGy/R}$ ，若在空氣中 10MeV 光子的平均能量吸收質量衰減係數為 $0.0145\text{cm}^2/\text{g}$ ，則在肌肉中 10MeV 光子的平均能量吸收質量衰減係數為何？

- (A) $0.0118\text{cm}^2/\text{g}$ (B) $0.0119\text{cm}^2/\text{g}$
(C) $0.0154\text{cm}^2/\text{g}$ (D) $0.0155\text{cm}^2/\text{g}$

☞ 答案為(D)。在電子平衡與無輻射場擾動的假設之下，吸收劑量D等於光子的能量通量 Ψ 與平均能量吸收質量衰減係數 $\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho$ 的乘積，即

$$D = \Psi \times \bar{\mu}_{\text{en}}/\rho$$

因為

$$D_{\text{med}}/D_{\text{air}} = [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}] \times A$$

$$\text{或 } D_{\text{med}} = D_{\text{air}} \times [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}] \times A$$

其中，A為傳遞因數(transmission factor)。

$$A = \Psi_{\text{med}}/\Psi_{\text{air}}$$

其中， Ψ_{med} 、 Ψ_{air} 分別為在介質中與空氣中的相同位置的光子能量通量。因為 D_{air} 在電子平衡與無輻射場擾動的假設之下， D_{air} 等於空氣的碰撞克馬 $(K^{\text{col}})_{\text{air}}$ ， $D_{\text{air}} = (K^{\text{col}})_{\text{air}}$ ，而 $(K^{\text{col}})_{\text{air}}$ 等於曝露X乘以空氣的 $W=33.97\text{eV/i.p.}=33.97\text{J/C}$ ，所以

$$D_{\text{air}} = (K^{\text{col}})_{\text{air}} = X \times W$$

$$\text{即 } D_{\text{air}} = X \times [(2.58 \times 10^{-4}\text{C/kg}_{\text{air}})/\text{R}] \times 33.97\text{J/C}$$

$$= (0.00876\text{Gy/R}) \times X$$

其中， D_{air} 的單位為Gy，X的單位為R。

因為 $D_{\text{med}} = D_{\text{air}} \times [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}] \times A$ ，所以

$$D_{\text{med}} = (0.00876\text{Gy/R}) \times X \times [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}] \times A$$

$$\text{或 } D_{\text{med}} = (0.00876\text{Gy/R}) \times [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}] \times X \times A$$

其中， D_{med} 的單位為Gy，X的單位為R。定義 f_{med} 為：

$$f_{\text{med}} = (0.00876\text{Gy/R}) \times [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}]$$

當 D_{med} 的單位為 cGy ， X 的單位為 R 時， f_{med} 為：

$$f_{med} = (0.876 cGy/R) \times [(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{med} / (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{air}]$$

其中， f_{med} 稱為曝露-吸收劑量換算因數 (exposure-to-absorbed dose conversion factor)。

介質吸收劑量 D_{med} 與曝露 X 的關係式為：

$$D_{med} = f_{med} \times X \times A$$

對光子能譜而言， f_{med} 為光子通量的能量積分，

$$\bar{f}_{med} = 0.876 \frac{cGy}{R} \frac{\int (\frac{\mu_{en}}{\rho})_{med} (\frac{d\Phi(h\nu)}{dh\nu}) dh\nu}{\int (\frac{\mu_{en}}{\rho})_{air} (\frac{d\Phi(h\nu)}{dh\nu}) dh\nu}$$

依據題目的敘述，介質為肌肉， $10 MeV$ 光子的 $f_{med} = 0.936 cGy/R$ ， $(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{air} = 0.0145 cm^2/g$ ，則利用曝露-吸收劑量換算因數 f_{med} 的定義：

$$f_{med} = (0.876 cGy/R) \times [(\bar{\mu}_{en}/\rho)_{med} / (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{air}]$$

所以

$$\begin{aligned} (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{med} &= f_{med} \times (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{air} / (0.876 cGy/R) \\ (\bar{\mu}_{en}/\rho)_{med} &= (0.936 cGy/R) \times (0.0145 cm^2/g) / \\ &\quad (0.876 cGy/R) \\ &= 0.0155 cm^2/g。 \end{aligned}$$

- () 12. 已知 $100 kVp$ 的光子，其半值層為 $2.8 mm$ Al ，鋁的密度為 $2699 kg/m^3$ ，則 $100 kVp$ 的 X 光光子在鋁中質量衰減係數為：

- (A) $91.7 cm^2/g$ (B) $9.17 cm^2/g$ (C) $0.917 cm^2/g$
(D) $0.0917 cm^2/g$

☞ 答案為 (C)。質量衰減係數為衰減係數除以密度，

$$\text{所以 } \frac{\mu}{\rho} = \frac{(\ln 2 / HVL)}{\rho} = \frac{(0.6931 / 0.28 cm)}{2.699 g/cm^3} = 0.917 cm^2/g。 \text{ 此題}$$

計算要注意單位的正確換算。

- () 13. 已知 50keV 的光子在鋁中的質量衰減係數為 $0.3632\text{cm}^2/\text{g}$ ， 80keV 的光子在鋁中質量衰減係數為 $0.2015\text{cm}^2/\text{g}$ ，則 60keV 的光子在鋁中質量衰減係數約為：

(A) $0.3463\text{cm}^2/\text{g}$ (B) $0.2757\text{cm}^2/\text{g}$
 (C) $0.2468\text{cm}^2/\text{g}$ (D) $0.2233\text{cm}^2/\text{g}$

☞ 答案為 (B)。此題要利用內插法，且假設在某段能量範圍的光子能量與質量衰減係數成線性的關係。設 60keV 的光子在鋁中質量衰減係數為 $x\text{cm}^2/\text{g}$ ，

則依上述的假設可得：
$$\frac{60-50}{x-0.3632} = \frac{80-50}{0.2015-0.3632}$$
，求出 $x=0.3093\text{cm}^2/\text{g}$ ，所以選 (B) $0.2757\text{cm}^2/\text{g}$ 。

- () 14. 當空氣的 W 值為 33.97eV/i.p. ，介質為肌肉時， 10MeV 光子的 $f_{\text{med}}=0.936\text{cGy/R}$ ，若以空氣的 W 值為 33.85eV/i.p. 為計算的依據，介質仍為肌肉時，則 10MeV 光子的 f_{med} 等於：

(A) 0.00932Gy/R (B) 0.00933Gy/R
 (C) 0.00934Gy/R (D) 0.00935Gy/R

☞ 答案為 (B)。參閱題 11。空氣的 $W=33.97\text{eV/i.p.}$ 時， 10MeV 光子的 $f_{\text{med}}=0.00936\text{Gy/R}$ ，則

$$\begin{aligned} D_{\text{air}} &= X \times [(2.58 \times 10^{-4}\text{C/kg}_{\text{air}})/\text{R}] \times 33.97\text{J/C} \\ &= (0.00876\text{Gy/R}) \times X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{med}} &= (0.00876\text{Gy/R}) \times [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}] \\ &= 0.00936\text{Gy/R} \end{aligned}$$

所以 10MeV 光子的 $(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}$ 為：

$$\begin{aligned} (\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}} &= [0.936\text{cGy/R}]/[0.876\text{cGy/R}] \\ &= 1.0685 \end{aligned}$$

當空氣的 W 值為 33.85eV/i.p. 時，

$$\begin{aligned} D_{\text{air}} &= X \times [(2.58 \times 10^{-4}\text{C/kg}_{\text{air}})/\text{R}] \times 33.85\text{J/C} \\ &= (0.00873\text{Gy/R}) \times X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{med}} &= (0.00873\text{Gy/R}) \times [(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{med}}/(\bar{\mu}_{\text{en}}/\rho)_{\text{air}}] \\ &= (0.00873\text{Gy/R}) \times 1.0685 \\ &= (0.00933\text{Gy/R}) \end{aligned}$$

() 15. 當考慮到連續能量的X光能譜時，平均 f_{med} 是要對每能量區間的什麼物理量進行積分？

- (A)光子通量 (B)光子通量率 (C)光子能量通量
(D)光子能量通量率

☞答案為(A)。參閱題11。對光子能譜的連續能量而言， f_{med} 為光子通量的能量積分，所以

$$\bar{f}_{med} = 0.876 \frac{cGy}{R} \frac{\int (\frac{\mu_{en}}{\rho})_{med} (\frac{d\Phi(h\nu)}{dh\nu}) dh\nu}{\int (\frac{\mu_{en}}{\rho})_{air} (\frac{d\Phi(h\nu)}{dh\nu}) dh\nu}$$

對光子而言，光子通量或稱通量(fluence) $\Phi = \frac{dN}{da}$ ，

光子通量率(fluence rate) $\phi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dN}{da \cdot dt}$ ，光子能量

通量(energy fluence) $\Psi = \frac{dN \cdot h\nu}{da}$ ，光子能量通量率

$\phi = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{dN \cdot h\nu}{dt \cdot da}$ ，其中， N 為光子數， $h\nu$ 為光子能量， a 為面積， t 為時間。希臘大寫字母 Φ 、小寫字母 ϕ 或 ϕ 唸"phi"，大寫字母 Ψ 、小寫字母 ψ 唸"psi"。 Φ 、 ϕ 、 Ψ 、 ψ 不僅可以分別代表光子通量、光子通量率、光子能量通量、光子能量通量率外，對於成射束(beam)的荷正電粒子、荷負電的粒子(統稱為荷電粒子，charged particles)或中子亦可以使用，

如粒子通量 $\Phi = \frac{dN}{da}$ ， N 為粒子數，粒子通量率

$\phi = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{dN}{da \cdot dt}$ ，粒子能量通量 $\Psi = \frac{dN \cdot E_k}{da}$ ， E_k 為粒子的

動能，粒子能量通量率 $\phi = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{dN \cdot E_k}{dt \cdot da}$ 。

() 16. 鈷60在鉛中的TVL=0.042m，則HVL=？

(A)1.3cm (B)1.5cm (C)1.7cm (D)2.1cm

☞答案為(A)。當 N 個光子經過1個半值層(HVL)厚度的物體時，則剩下的光子數目為 $(1/2)N$ 。當 N 個光子經過 n 個HVL厚度的物體時，則剩下的光子數目只有 $(1/2)^n \cdot N$ ，而與物體發生相互作用(光電效應、康普吞碰撞效應、成對發生效應)的光子數目應為 $N - (1/2)^n \cdot N = N[1 - (1/2)^n]$ 。當 N 個光子經過1個什一值層(TVL)厚度的物體時，則剩下的光子數目為 $(1/10)N$ 。當 N 個光子經過 n 個TVL厚度的物體時，則剩下的光子數目為 $(1/10)^n \cdot N$ ，而與物體發生作用的光子數目為 $N[1 - (1/10)^n]$ 。設原來的光子數目為 N_0 ，經過厚度 x 的物體後，剩下的光子數目為 N ，則 $N = N_0 \cdot e^{-\mu x}$ 。當 $x = 1\text{HVL}$ 時， $N = (1/2)N_0 = N_0 \cdot e^{-\mu \text{HVL}}$ ， $1\text{HVL} = \ln 2 / \mu$ 。當物體厚度 $x = 1\text{TVL}$ 時，則 $N = (1/10)N_0 = N_0 \cdot e^{-\mu \text{TVL}}$ ， $1\text{TVL} = \ln 10 / \mu$ 。TVL與HVL的關係為：

$$1\text{HVL} = (\ln 2 / \ln 10)\text{TVL} = 0.31\text{TVL}$$

$$1\text{TVL} = (\ln 10 / \ln 2)\text{HVL} = 3.2\text{HVL}$$

現知鈷60在鉛中的TVL=0.042m=4.2cm，則

$$\text{HVL} = 0.31\text{TVL} = 0.31 \times 0.042\text{m} = 0.013\text{m}$$

() 17. 已知鉛的密度為 11360kg/m^3 ，鈷60在鉛中的HVL=1.3cm，則鈷60在鉛中的質量衰減係數 μ/ρ 為何？

(A)0.00469 cm^2/g (B)0.0469 cm^2/g

(C)0.469 cm^2/g (D)4.69 cm^2/g

☞答案為(B)。參閱題16。因為 $1\text{HVL} = \ln 2 / \mu$ ，所以鈷60在鉛中的直線衰減係數 μ 為：

$$\mu = \ln 2 / \text{HVL} = 0.6931 / 1.3\text{cm} = 0.533\text{cm}^{-1}。$$

鈷60在鉛中的質量衰減係數 μ/ρ 為：

$$\begin{aligned}\mu/\rho &= 0.533\text{cm}^{-1} / (11360\text{kg/m}^3) \\ &= 0.533\text{cm}^{-1} / (11.36\text{g/cm}^3) \\ &= 0.0469\text{cm}^2/\text{g}\end{aligned}$$