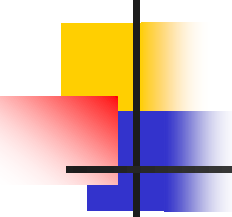


輻射源操作安全

姚學華



前言

- 可發生游離輻射設備
- 放射性物質
- 輻射防護法規

X光之發現(1895)

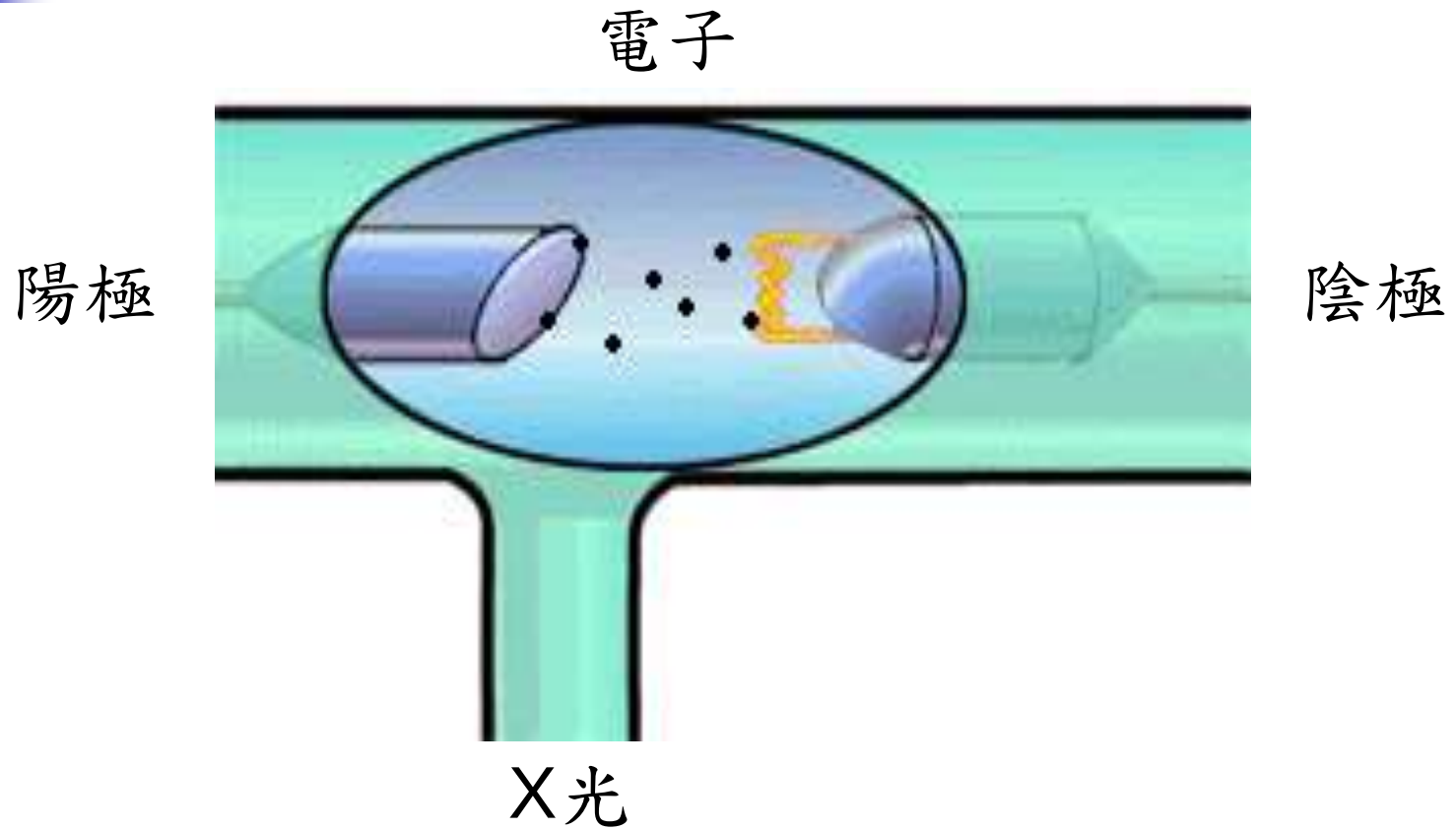
discovery of the X-rays

Wilhelm Conrad Röntgen

Nobel prize 1901

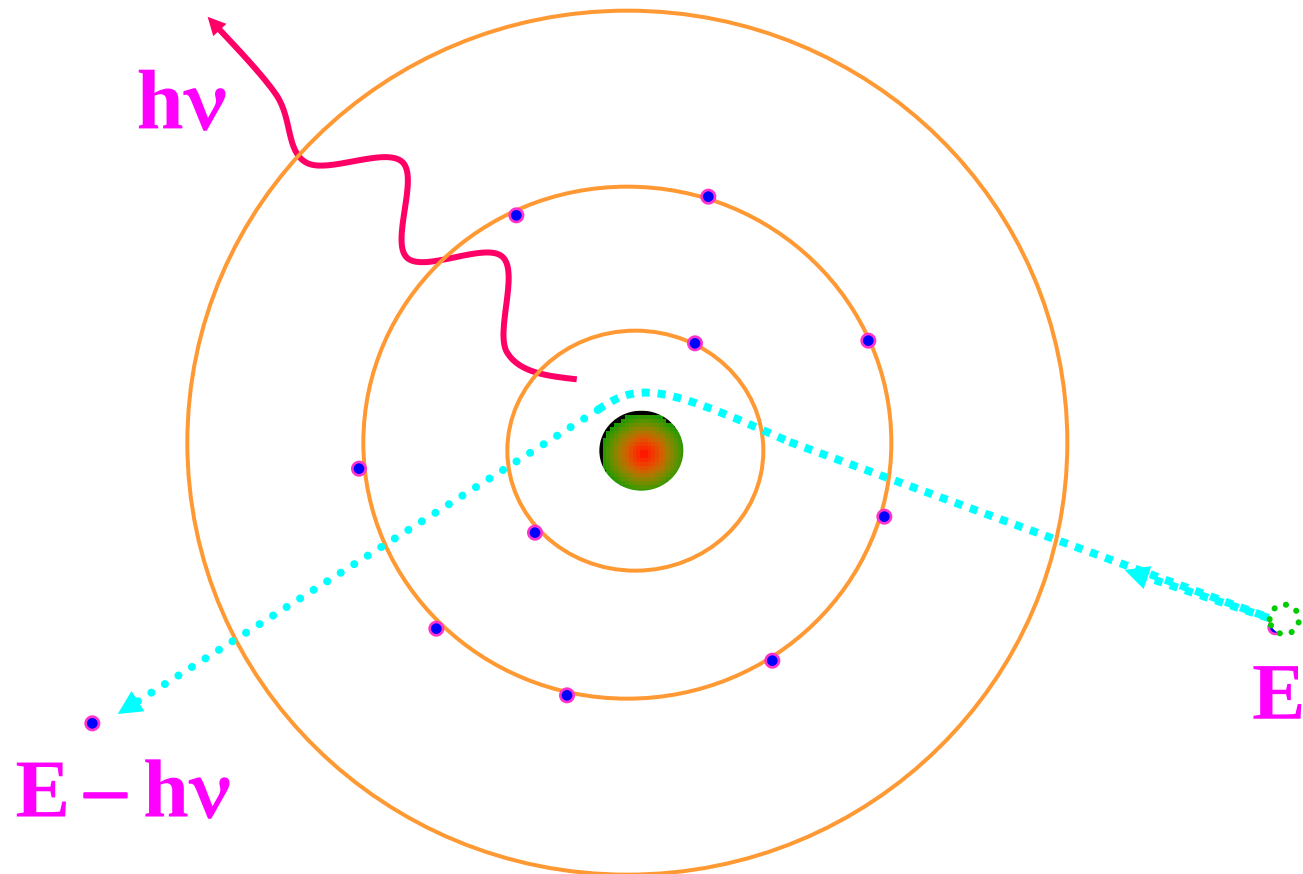


X光的產生

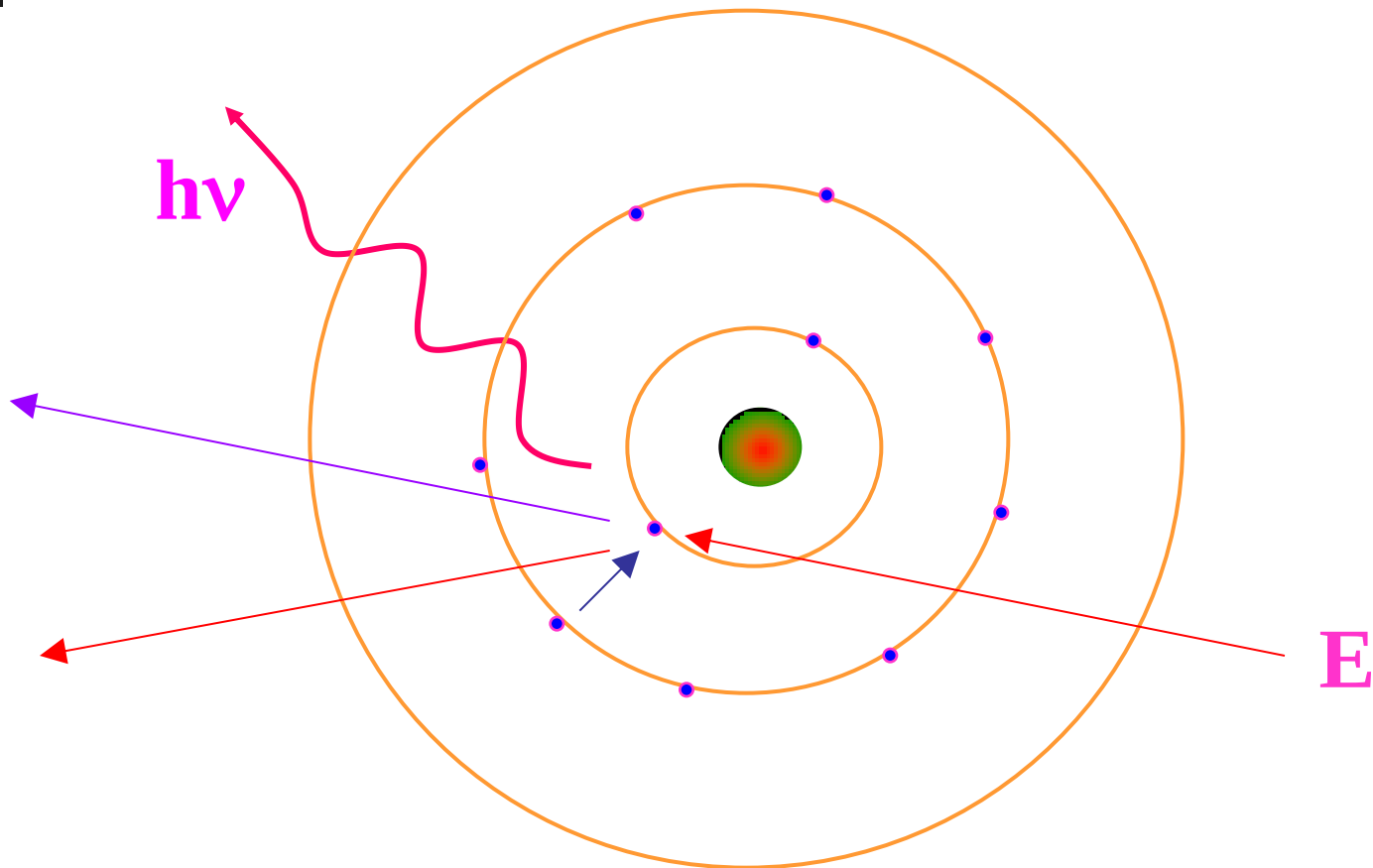


From: U. of Wash. Environmental Health and Safety

X光-制動輻射

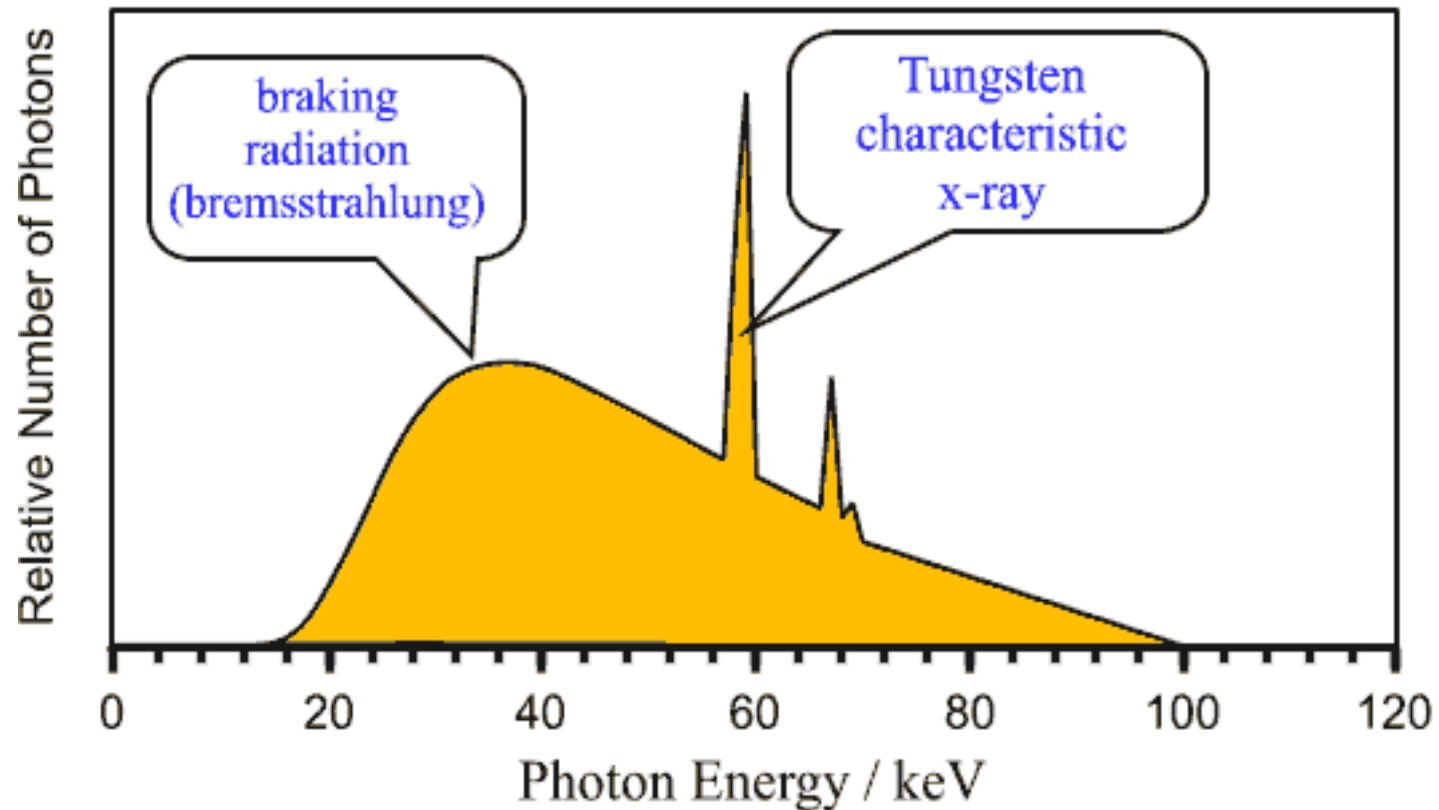


X光-特性輻射



X光的能譜

Calculated X-ray Spectrum 100kV, Tungsten target



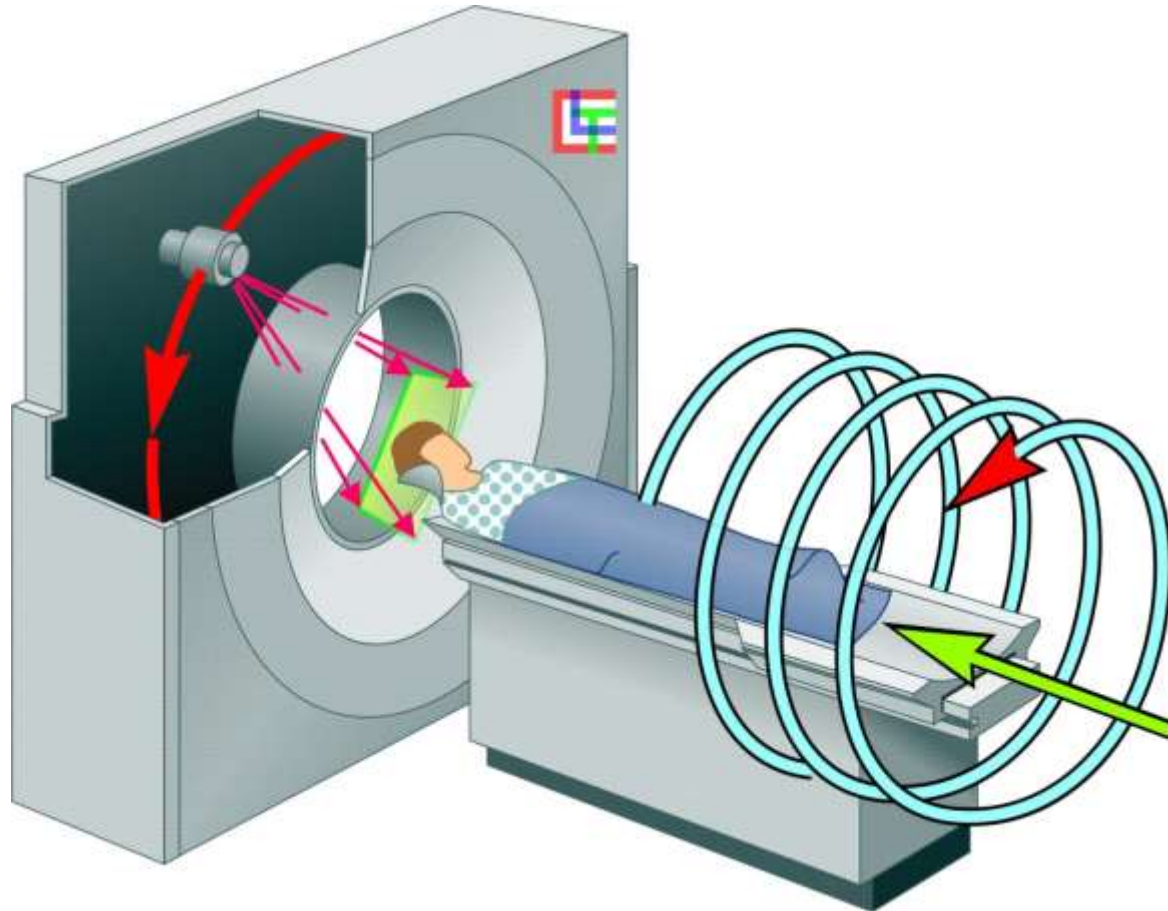
X光貨櫃掃描儀



Upper: <https://sp.yimg.com/ib/th?id=JN.E%2bSITIUVXWCf5vB3hbAuFg&pid=15.1&P=0>

Lower: <http://portss.com/images/Truck%202.png>

電腦斷層掃描(CT)



X光繞射 (1/2)

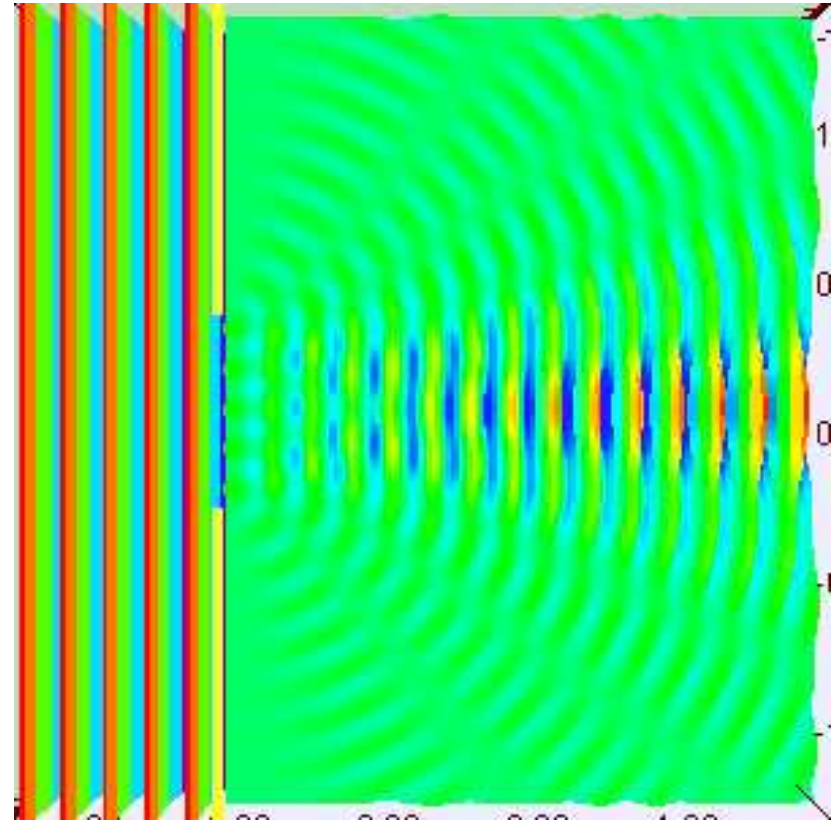
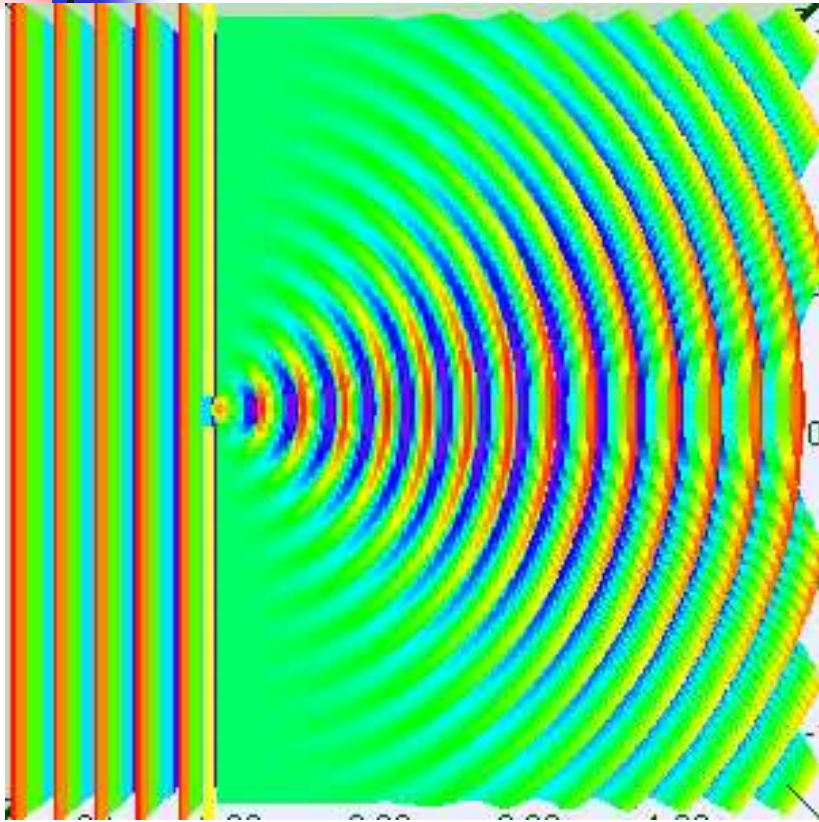
molecular structure of
nuclear acids

James Dewey Watson

Nobel prize 1962



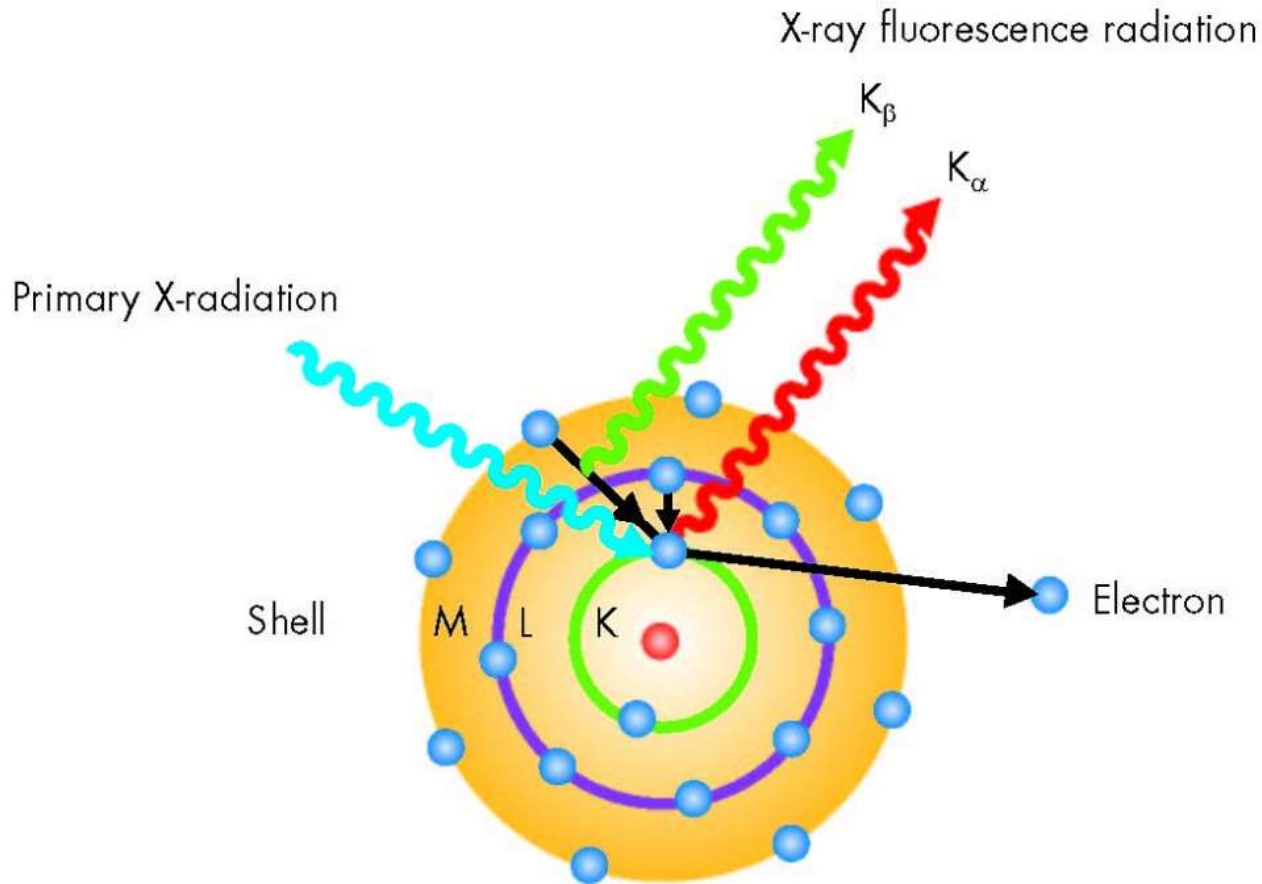
X光繞射 (2/2)



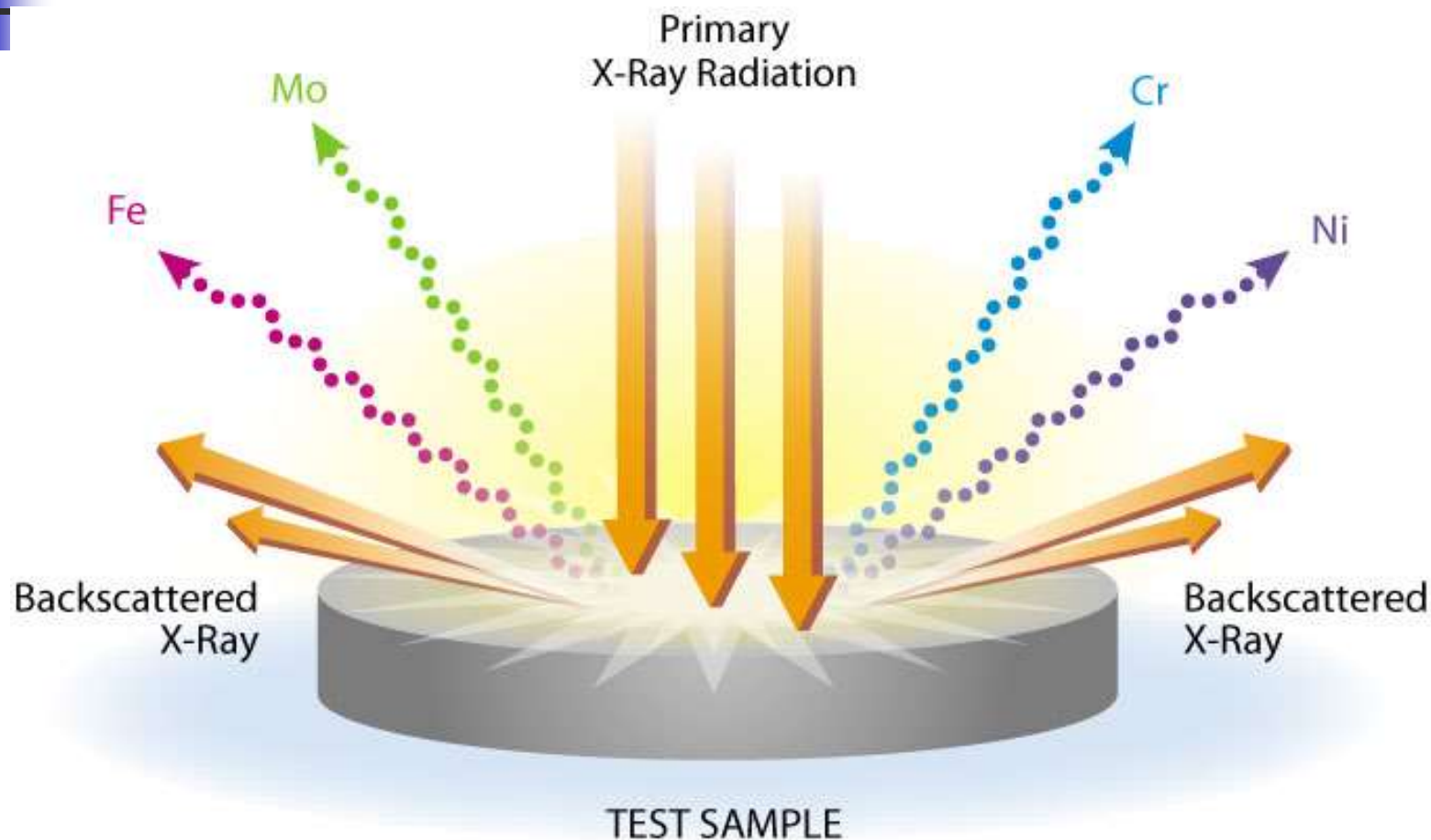
Left: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Wavelength%3Dslitwidthspectrum.gif>

Right: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/5wavelength%3Dslitwidthspectrum.gif>

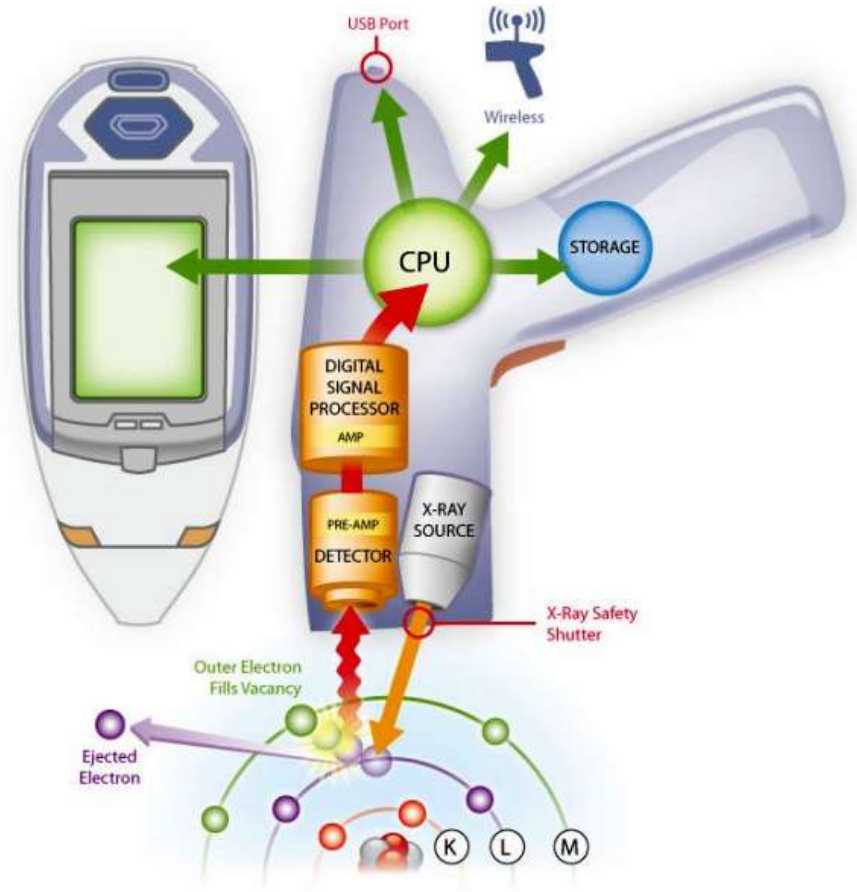
X光螢光分析(XRF) (1/3)



X光螢光分析(XRF) (2/3)



X光螢光分析(XRF) (3/3)



Left: <http://www.mctec.nl/wp-content/uploads/2014/11/Genius5000XRF-1.jpg>

Right: <http://www.nachi.org/images10-2/XRF-Gun-Diagram.jpg>

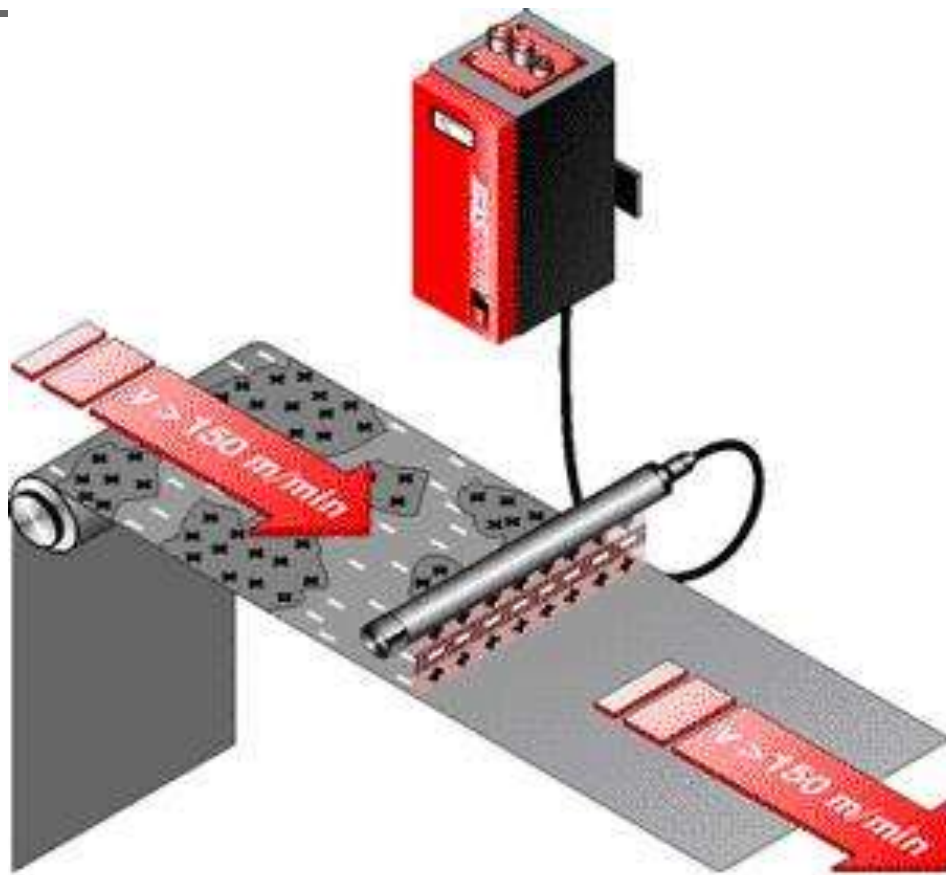
靜電消除器 (1/2)

內含會發射 α 之 ^{210}Po 射源



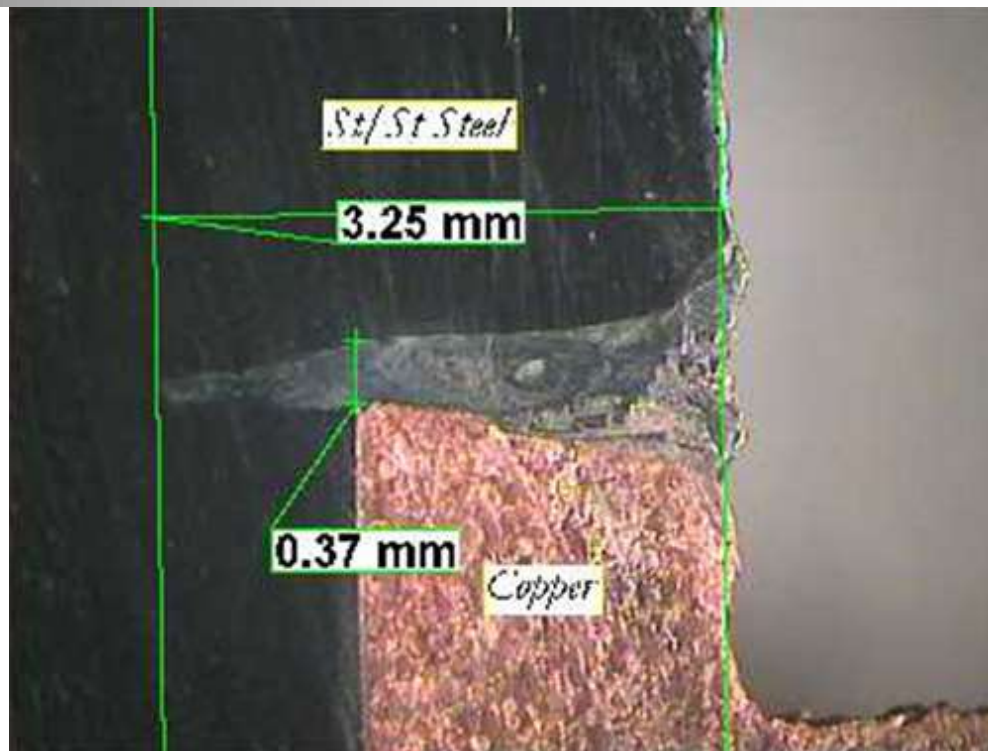
<http://www.ornl.gov/PTP/collection/Sources/source9.jpg>

靜電消除器 (2/2)



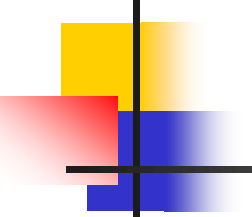
http://www.tech-sales.com/Nex_Flow/images/staticvs1.jpg

電子束焊接應用



http://www.egbert.co.uk/images/eb_welding.gif (左圖)

<http://ebpglobal.com/services/design-innovation-advice> (右圖)



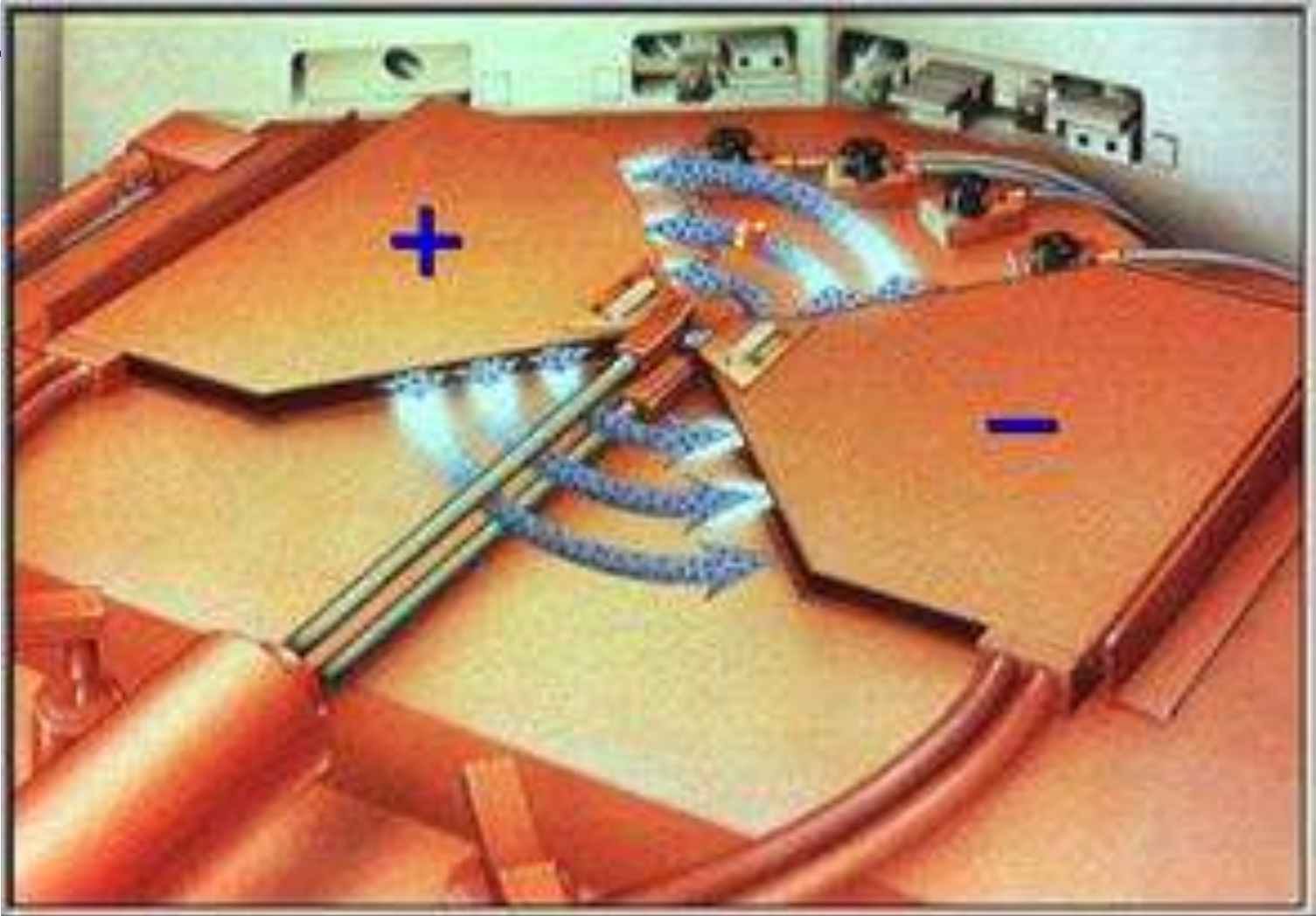
離子佈值機

半導體製程時，需要在晶圓內植入雜質，例如植入5價的砷或磷，成N型半導體，或植入3價的硼，成P型半導體。

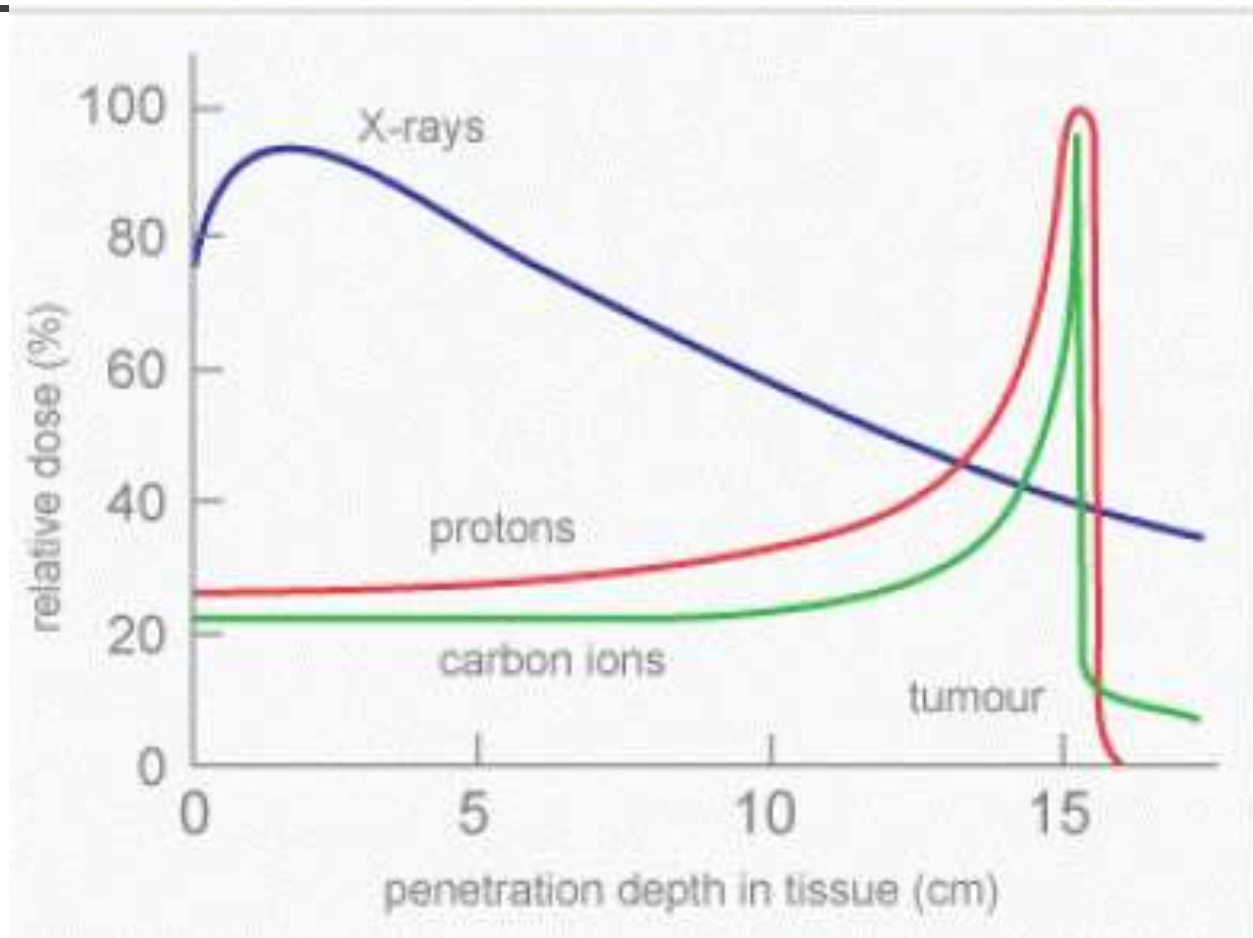
進行佈植時，需以高電流、高能量將欲摻雜元素離子化並加速，經電場、磁場控制方向、質量、電性等，再撞擊晶圓靶。

因為能量不減，此高能的離子束被植入晶圓表面時，其具有的高能將轉換成不同形式的能量，包括熱、微波及X光等。

迴旋加速器

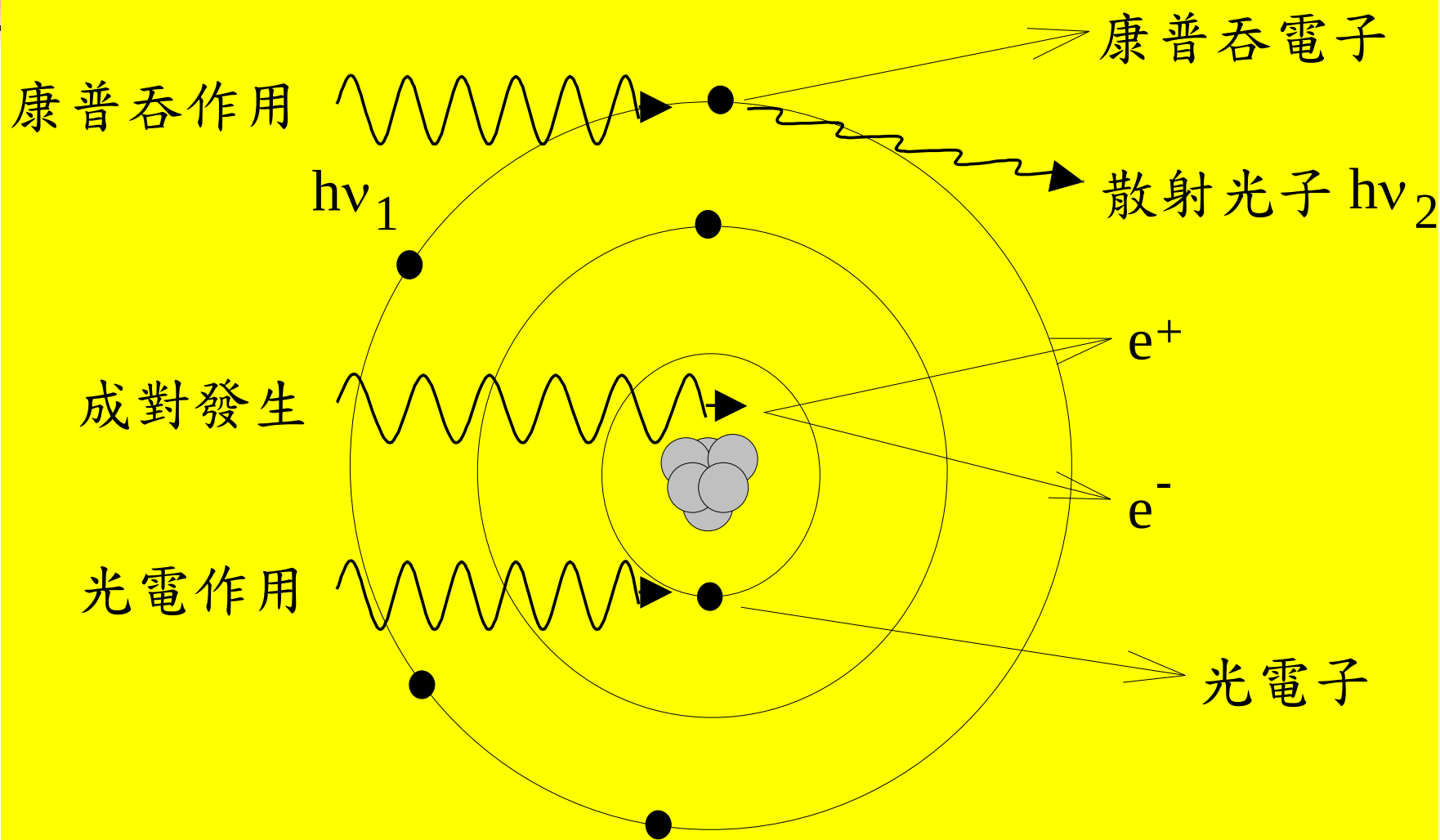


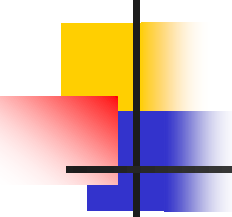
放射治療



http://iuhealth.org/images/sized/images/pro-body/3_1_What_is_Proton_Therapy-450x0.gif

電磁輻射與物質的作用

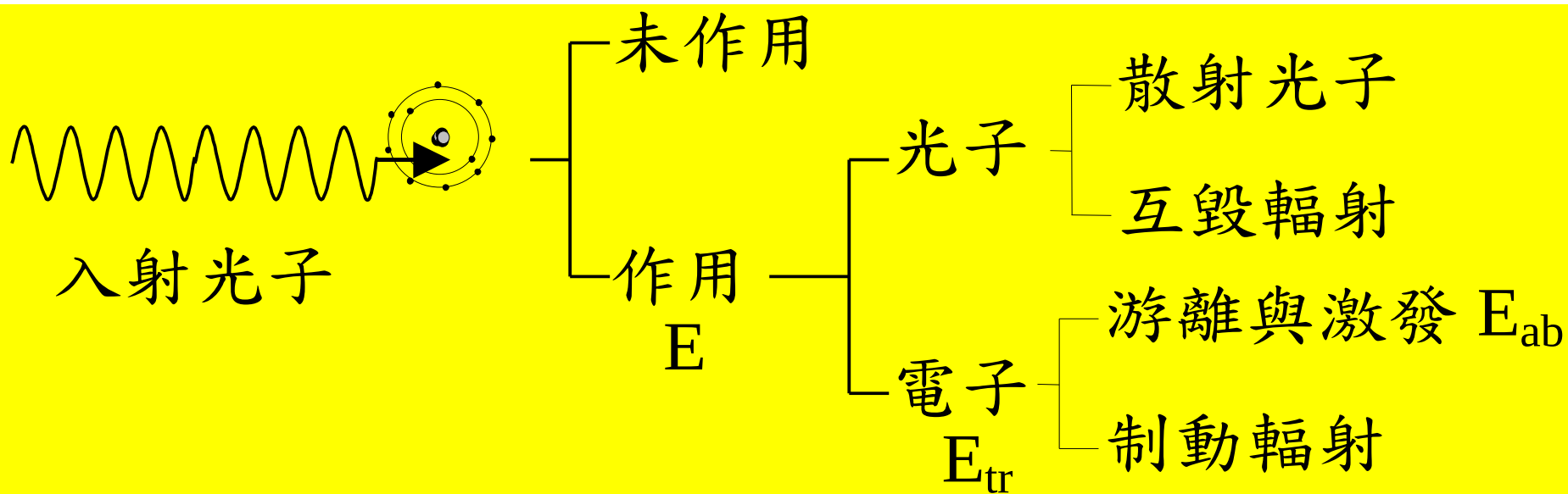


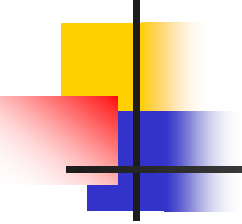


電磁輻射的衰減

- **衰減係數**(attenuation coefficient, 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。
- $I = I_0 e^{-\mu x}$ ；其中， I_0 與 I 分別代表最初與進入物質某深處 x 的窄射束光子強度(例如cm⁻² s⁻¹)。
- **半值層**(half-value layer, **HVL**)：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， $\mu = 0.693/\text{HVL}$ 。

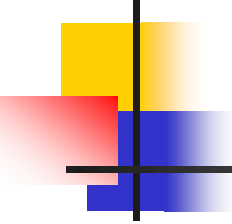
能量轉移(E_{tr})與能量吸收(E_{ab})





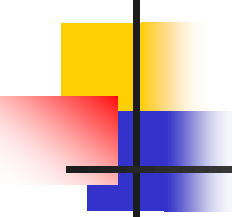
能量轉移與能量吸收

- **能量轉移**(E_{tr})指光子與物質作用時，光子能量轉移給電子(光電子、康普吞電子與成對電子等 δ 射線)的**動能**部份；**能量吸收**(E_{ab})則指光子與物質作用時，物質自 δ 射線動能所吸收的能量(δ 射線產生的制動輻射能量則不吸收)。



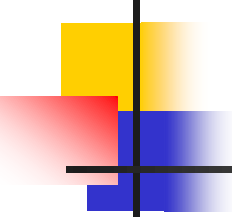
能量轉移係數

- **能量轉移係數**：光子經過單位厚度(cm或g cm⁻²)物質後，入射光子能量中，轉給**二次電子射線(δ射線)動能**之分率。入射光子能量中，有一部分將因未與物質作用而直接透射出去，另一部分與物質作用者，又可能以散射輻射(合調與不合調散射)或互毀輻射(成對發生)方式透射出去。



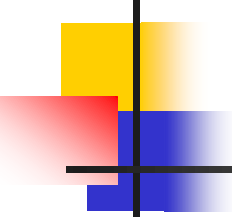
克馬與能量轉移係數

- 某能量光子與某物質的**能量轉移係數**通常以 μ_{tr} (cm^{-1})或 μ_{tr}/ρ ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)表示。
- 若光子束之通量為 $\Phi \text{ cm}^{-2}$ ，每一光子之能量為 $E \text{ MeV}$ ，則光子束之能通量(Ψ)為 $\Phi E \text{ MeV cm}^{-2}$ 。**能通量與質量能量轉移係數** $[(\mu_{tr}/\rho) \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}]$ 之乘積稱為**克馬**。



能量吸收係數

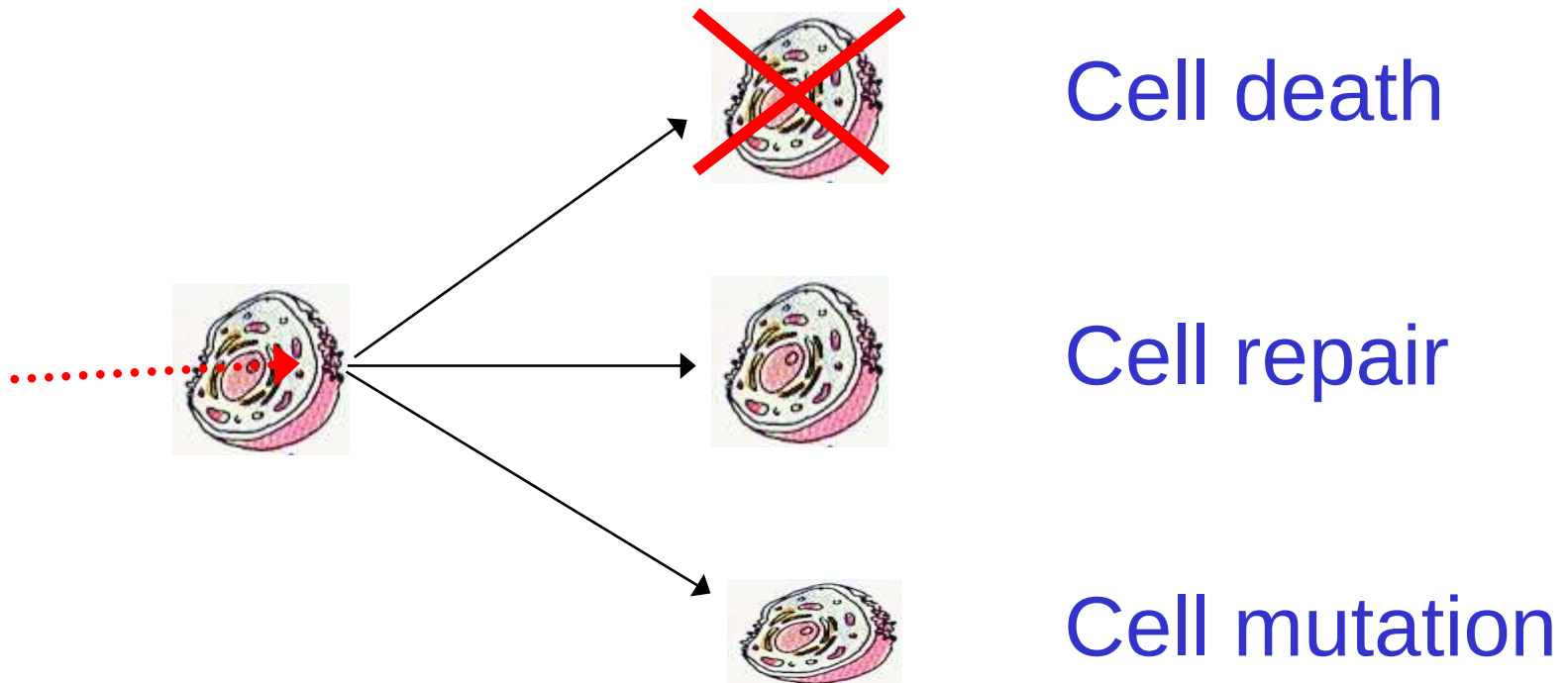
- **能量吸收係數**：光子經過單位厚度(cm或g cm⁻²)物質後，入射光子能量中，被物質吸收之分率。物質所吸收之能量，來自於 δ 射線能量中，因游離與激發(不含產生制動輻射)所損失能量之部分。亦即入射光子能量中，扣除未作用光子能量、散射輻射能量、互毀輻射能量與制動輻射能量之分率。



吸收劑量與能量吸收係數

- 某能量光子與某物質的**能量吸收係數**通常以 μ_{ab} 或 μ_{ab}/ρ 表示。
- **吸收劑量**為**能通量**(Ψ 或 ΦE)與**質量能量吸收係數**(μ_{ab}/ρ)之乘積。
- 光子與物質作用的係數
 - 衰減係數(μ)
 - 能量轉移係數(μ_{tr})
 - 能量吸收係數(μ_{ab})

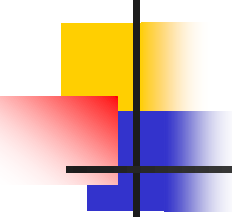
輻射健康效應(1/3)





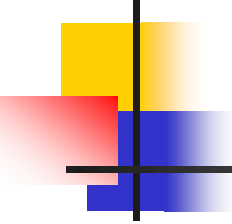
輻射健康效應(2/3)

效應	解剖位置	最低劑量(Sv)
染色體的變異	全身	0.05
生殖機能障礙	局部組織	0.1
血液學機能降低	全身	0.25
皮膚紅斑	小區域	3
脫毛	小區域	3
死亡	全身	3



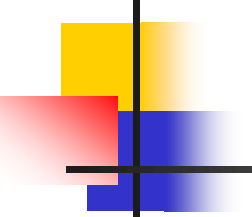
輻射健康效應(3/3)

- **確定效應**：指導致組織或器官之功能損傷而造成之效應，其**嚴重程度**與劑量大小成比例增加，此種效應可能**有劑量低限值**。
- **機率效應**：指**致癌效應**及**遺傳效應**，其發生之**機率**與劑量大小成正比，而與嚴重程度無關，此種效應之發生**無劑量低限值**。



吸收劑量

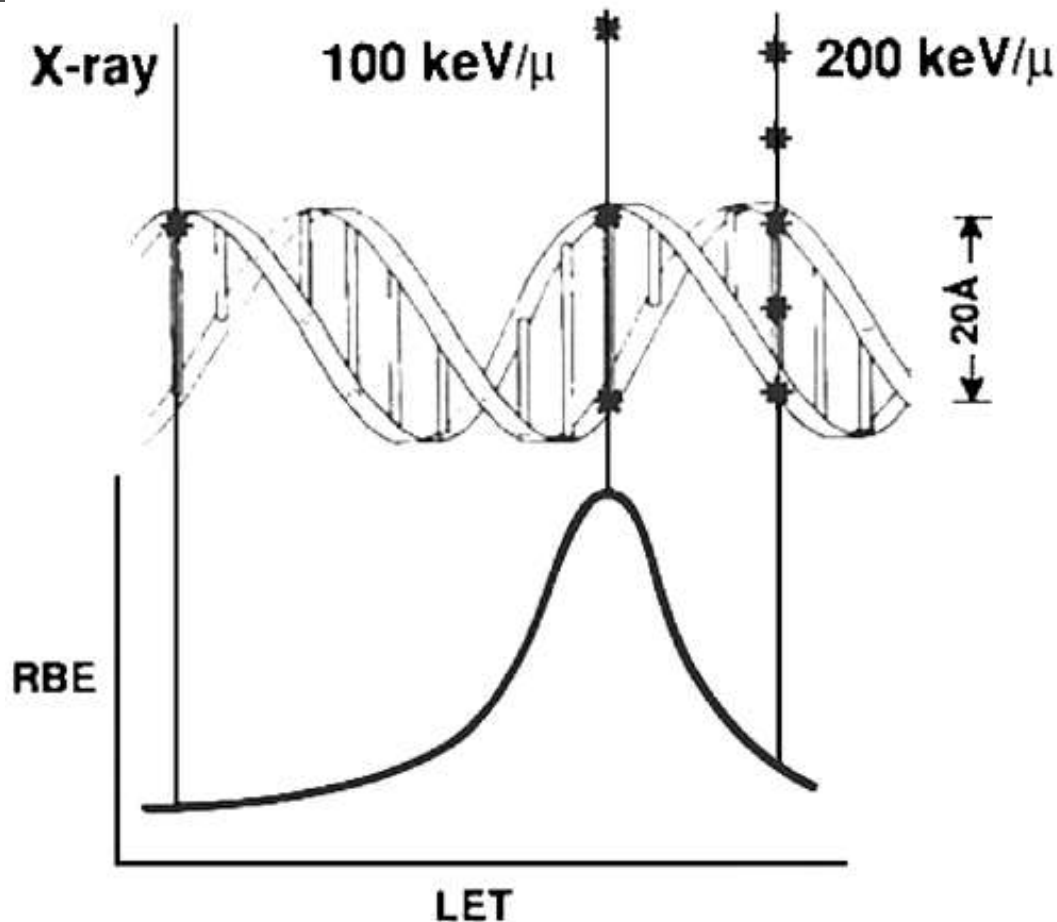
- $D = dE_{ab}/dm$
- dE_{ab} 為質量為 dm 的某一物質內接受輻射之平均能量。
- 指單位質量物質(dm)吸收輻射之平均能量(dE_{ab})，其單位為戈雷(Gy)，一千克(kg)質量物質吸收一焦耳能量(J)為一戈雷。



等價劑量

- 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(Sv)，輻射加權因數依附表一之一(二)規定。
- 輻射加權因數 W_R 指為輻射防護目的，用於以吸收劑量計算組織與器官等價劑量之修正因數，係依體外輻射場之種類與能量或沉積於體內之放射性核種發射之輻射的種類與射質訂定者，能代表**各種輻射之相對生物效應(RBE)**。

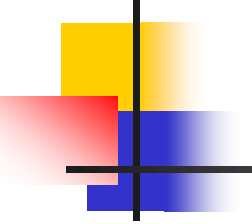
線性能量轉移(LET)與RBE



輻射加權因數[附表一之一(二)]

輻射種類與能量區間	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	1
中子能量<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

*ICRP-103報告(2007年)建議值為2



有效劑量

- 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(Sv)，組織加權因數依附表一之二規定。
- 組織加權因數 W_T 指為輻射防護目的，用於以各組織或器官等價劑量 H_T 計算有效劑量之修正因數。此一因數係考慮不同組織或器官對輻射曝露造成機率效應之敏感度而訂定。

游離輻射防護安全標準

附表一之二

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
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
乳腺	0.05		



組織加權因數(ICRP-103)

組織或器官	W_T	組織或器官	W_T
胃	0.12	食道	0.04
肺	0.12	肝	0.04
結腸	0.12	膀胱	0.04
紅骨髓	0.12	皮膚	0.01
乳腺	0.12	骨表面	0.01
其餘組織或器官	0.12	腦	0.01
性腺	0.08	唾液腺	0.01
甲狀腺	0.04	全身	1



機率效應之危險度

健康損害	輻射工作人員 (10^{-2} Sv^{-1})	一般人 (10^{-2} Sv^{-1})
致命癌症	4.0	5.0
非致命癌症	0.8	1.0
嚴重遺傳變異	0.8	1.3
總計	5.6	7.3*

ICRP-60號報告的危險度

*ICRP-103報告建議值為 $5.742 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

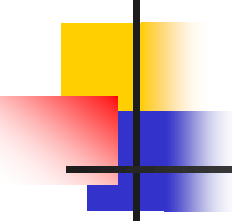
放射性之發現(1896)

the discoverer of
radioactivity along with
Marie Skłodowska-Curie
and Pierre Curie

Antoine Henri Becquerel

Nobel prize 1903



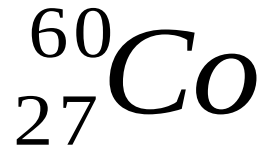


核種(nuclide)

指原子的種類，每一種核種都具有特定的質子數、中子數及能態。

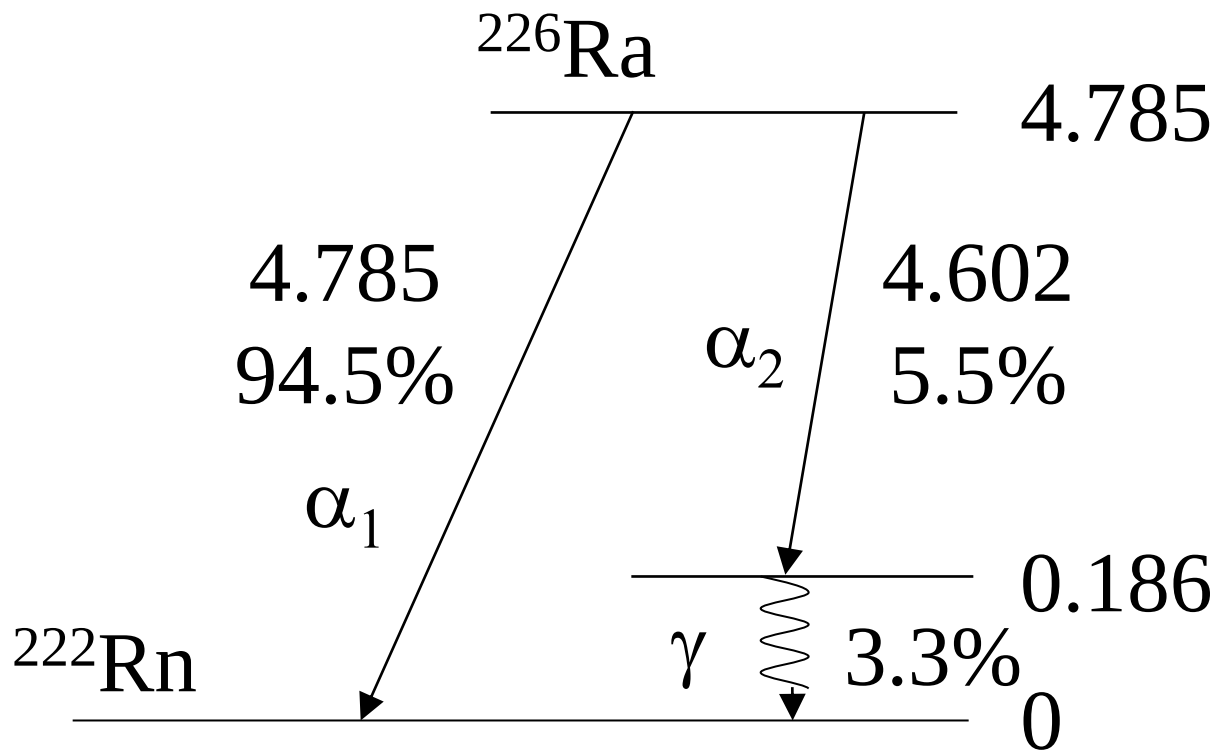


鈷-60



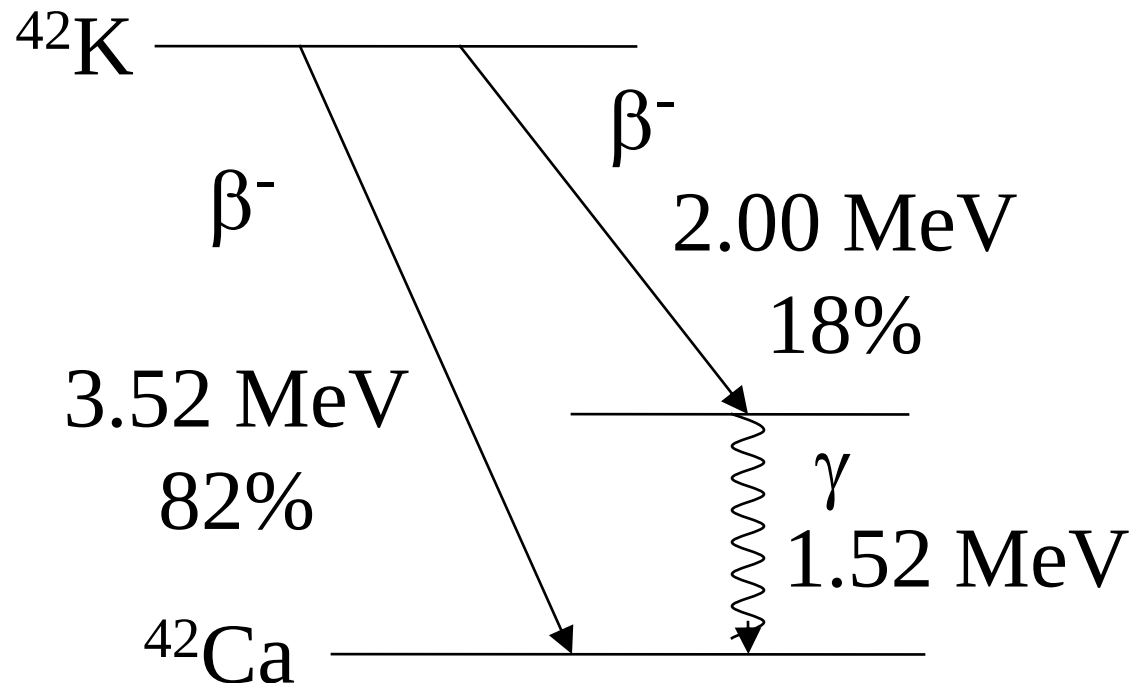
核種衰變圖(1/3)

- 原子序 >83 、 α 衰變



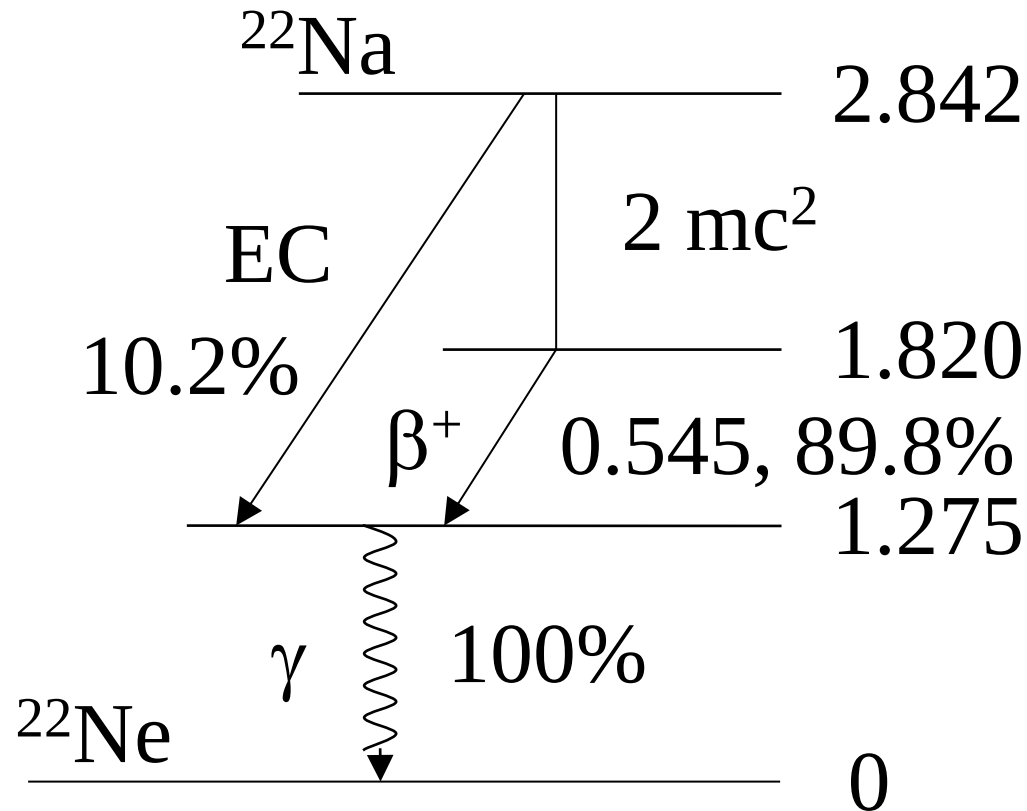
核種衰變圖(2/3)

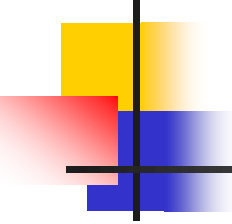
- 中子比例過高、 β^- 衰變



核種衰變圖(3/3)

- 質子比例過高、 β^+ 衰變或電子捕獲(EC)





放射性物質的量

- 原子數目：100個碘-131($t_{1/2}$ 為8天)原子與1000個銫-137($t_{1/2}$ 為30年)原子
- 衰變速率：每秒100個碘-131核衰變與1000個銫-137核衰變
- 何者是我們希望的表示法？
- 危險性！放射性物質的量！

示蹤

use of isotopes as
tracers to study
chemical processes

George de Hevesy
Nobel prize 1943



<http://www.nndb.com/people/235/000099935/george-de-hevesy-1-sized.jpg>

糖解作用 (1/2)



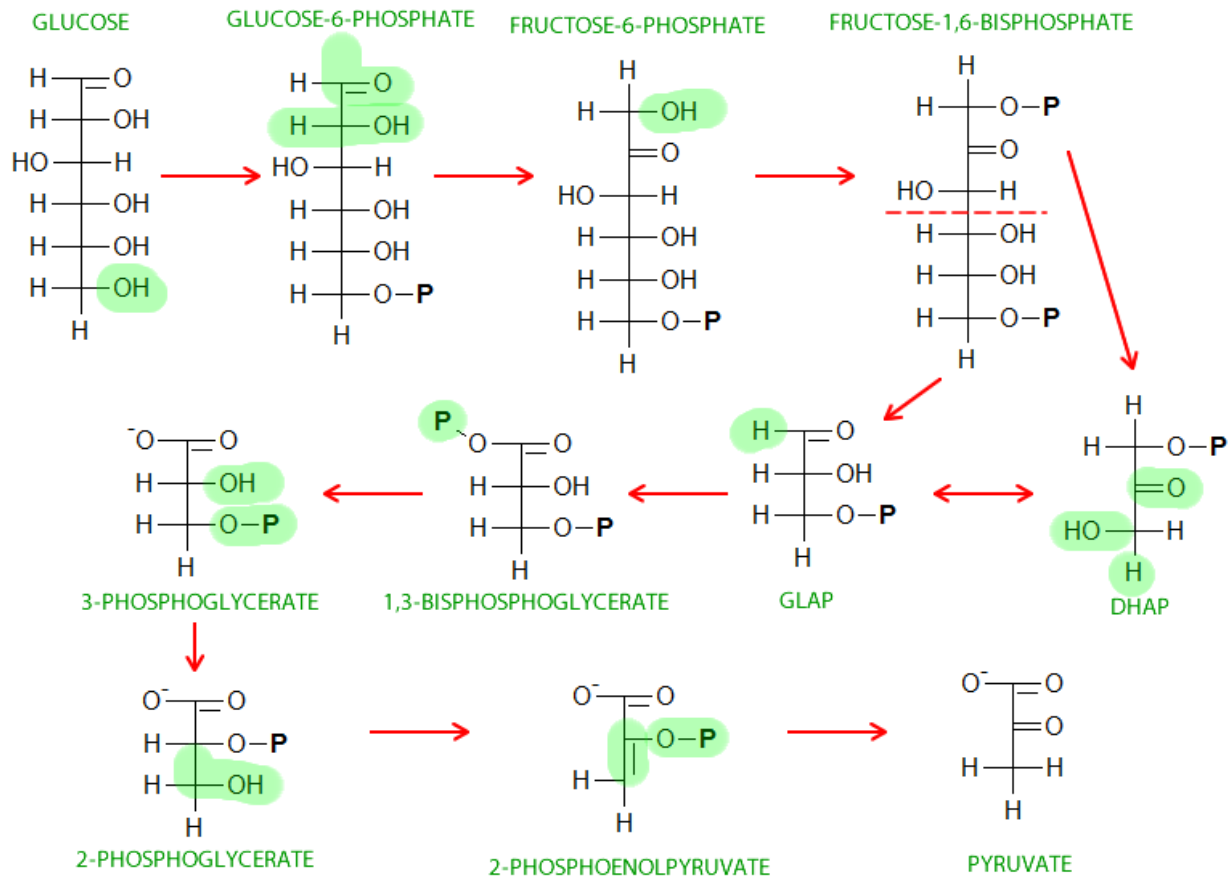
Carl Ferdinand Cori



Gerty Theresa Cori

Nobel prize 1947
catalytic conversion of glycogen

糖解作用 (2/2)



檸檬酸循環(1/2)

citric acid cycle

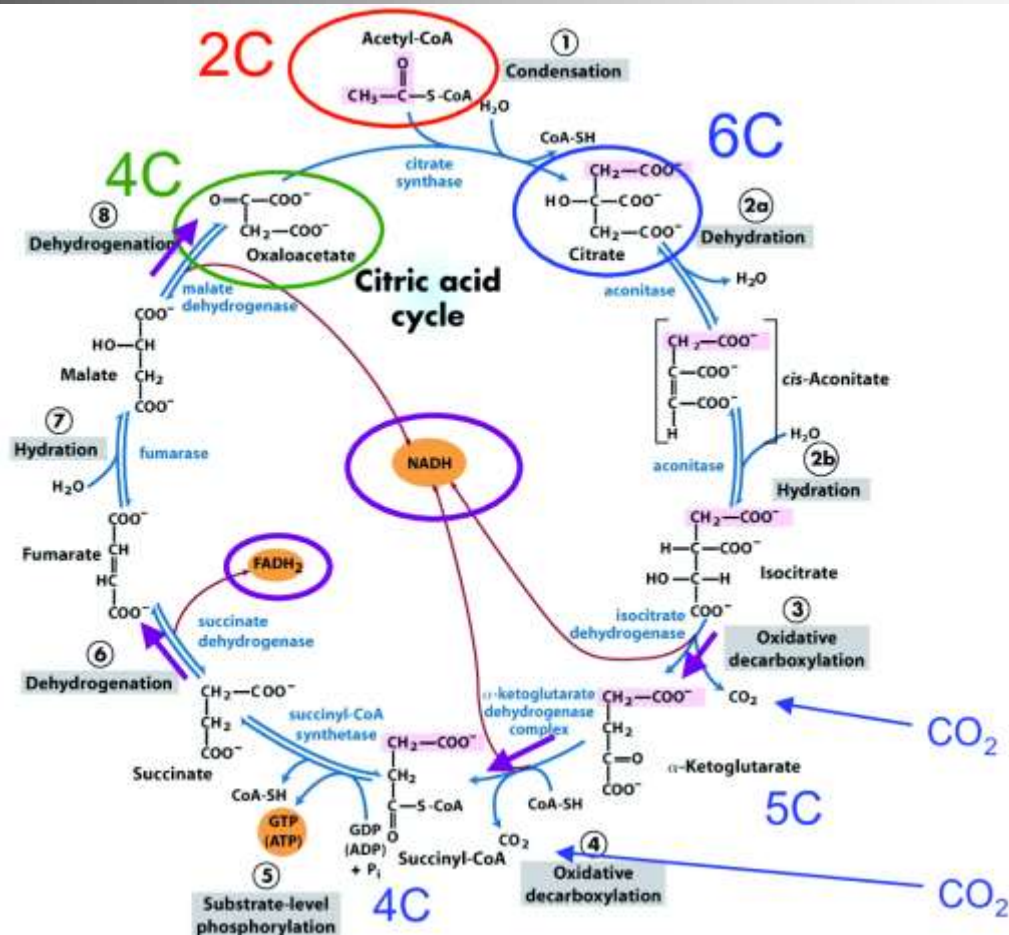
Hans Adolf Krebs

Nobel prize 1953

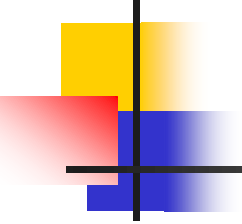


http://www.jewishvirtuallibrary.org/jsource/images/People/hans_krebs.jpg

檸檬酸循環(2/2)



<http://img.docstoccdn.com/thumb/orig/44744046.png>



光合作用 (1/2)

carbon dioxide
assimilation in plants

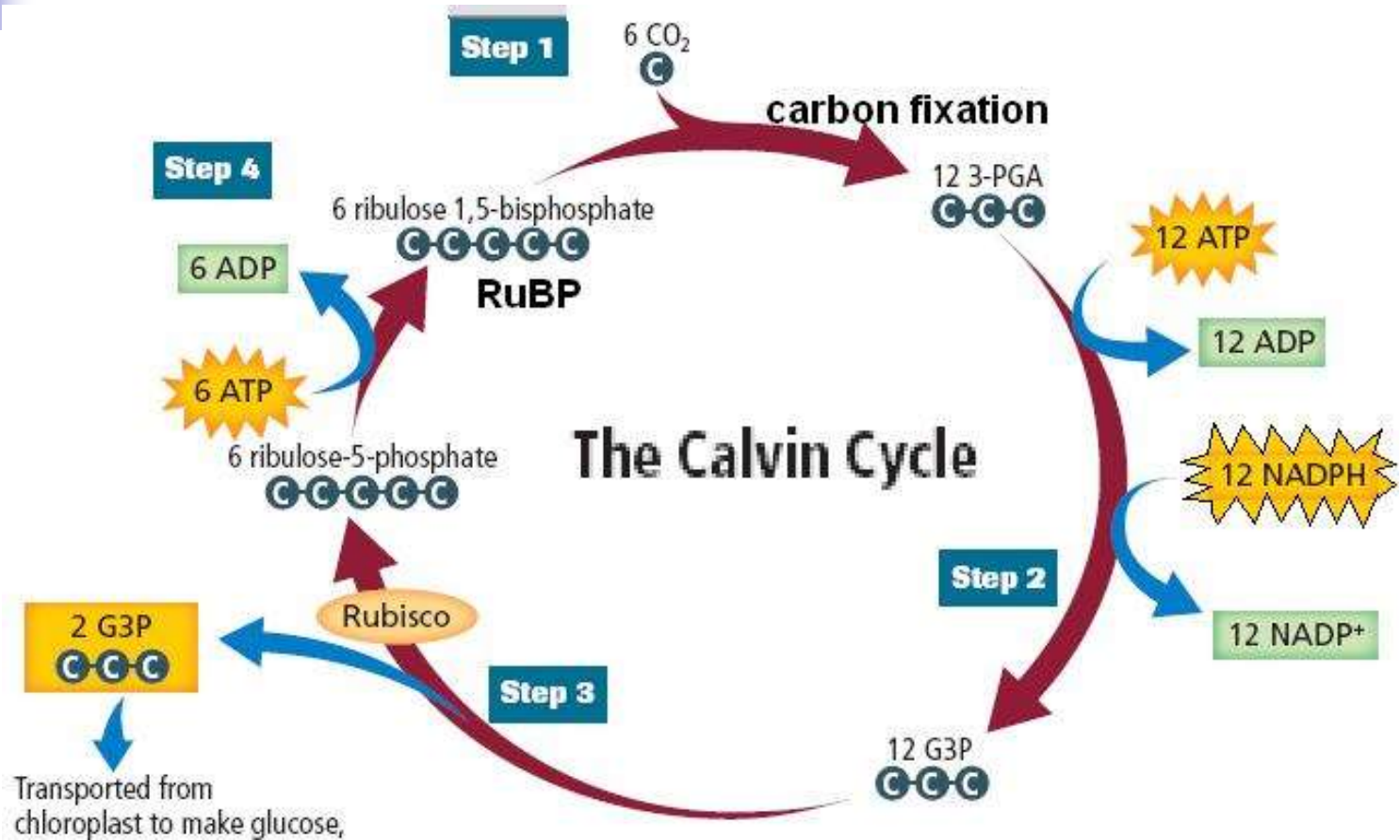
Melvin Calvin

Nobel prize 1961



http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1961/calvin_postcard.jpg

光合作用 (2/2)



放射免疫分析(RIA)

Radioimmunoassay

Rosalyn Yalow

Nobel prize 1977



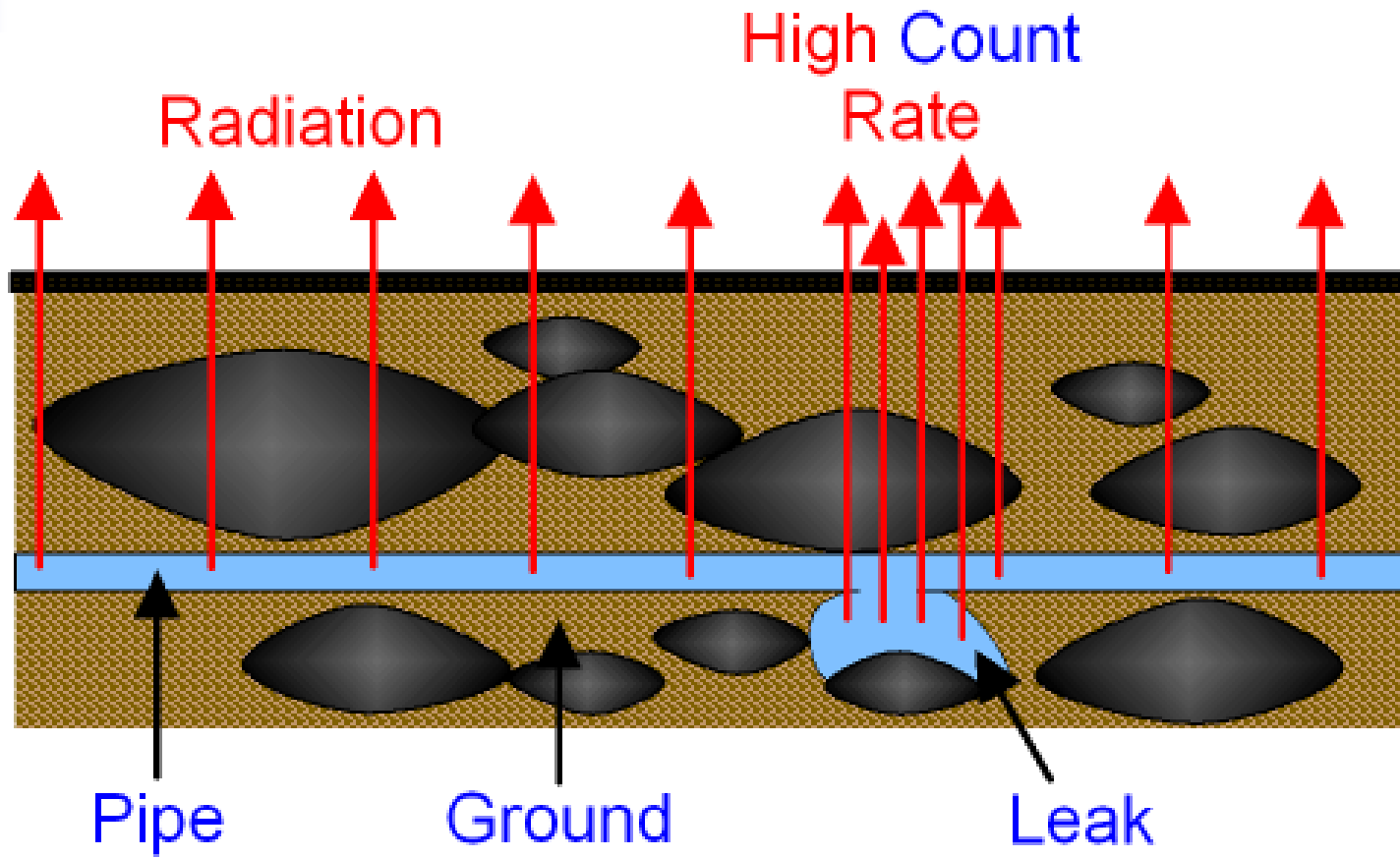
自動放射線撮影



^{137}Cs 落塵

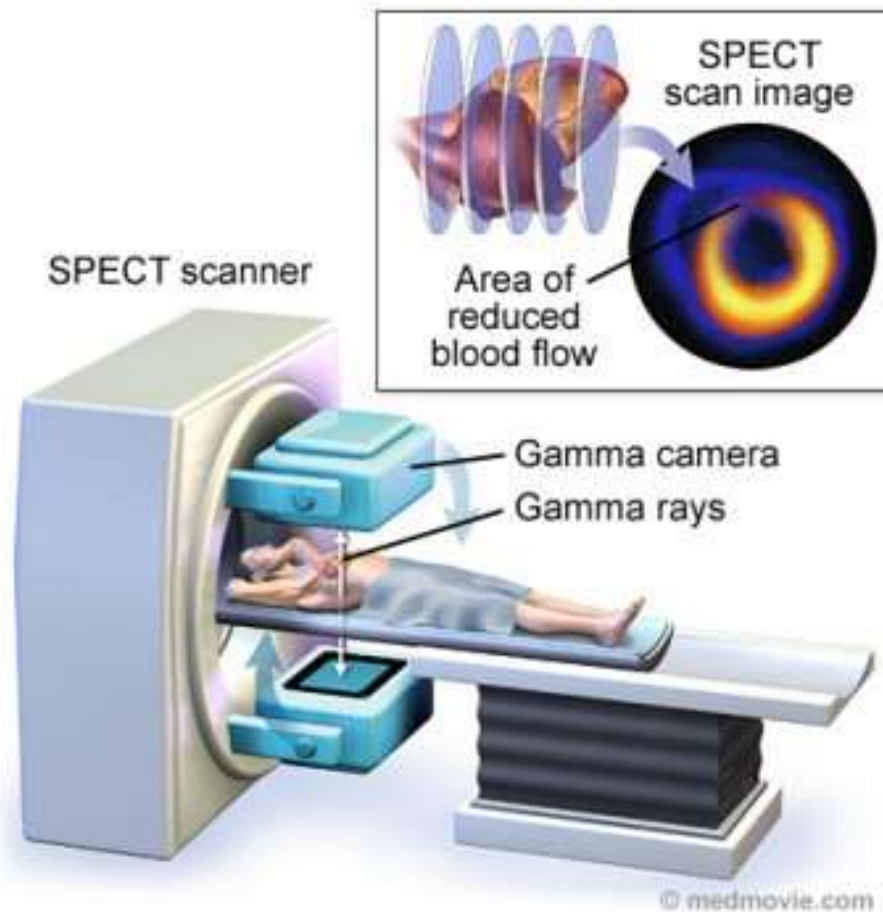
<http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/mirai-en/2012/img/honbun/1-35.jpg>

非破壞檢測-測漏



<http://www.gcscience.com/radioactive-tracer-pipe.gif>

單光子斷層攝影SPECT



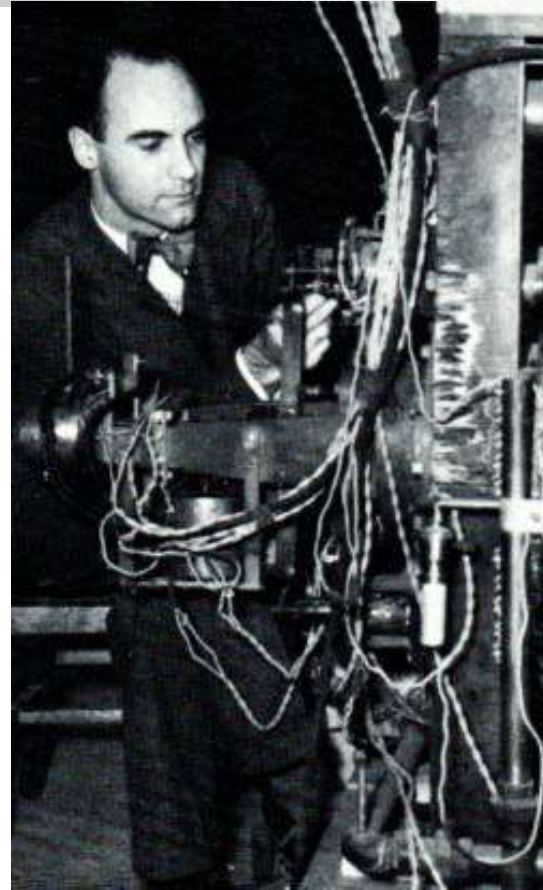
<http://hearthealth.aha-krames.com/RelatedItems/114480.img>

正子之發現(1932)

discovery of the
positron

Carl Anderson

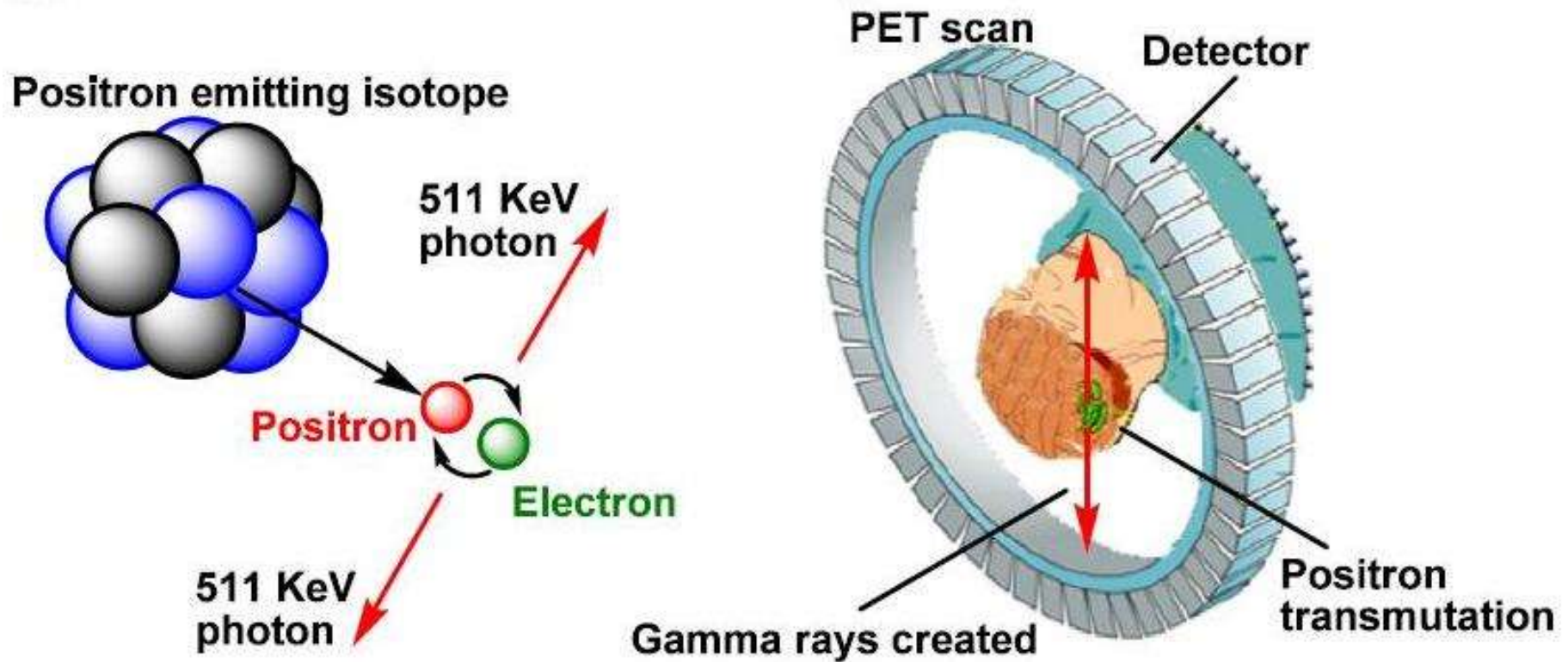
Nobel prize 1936



http://www.thenakedscientists.com/HTML/uploads/RTEmagicC_Carl_anderson.1937.jpg.jpg

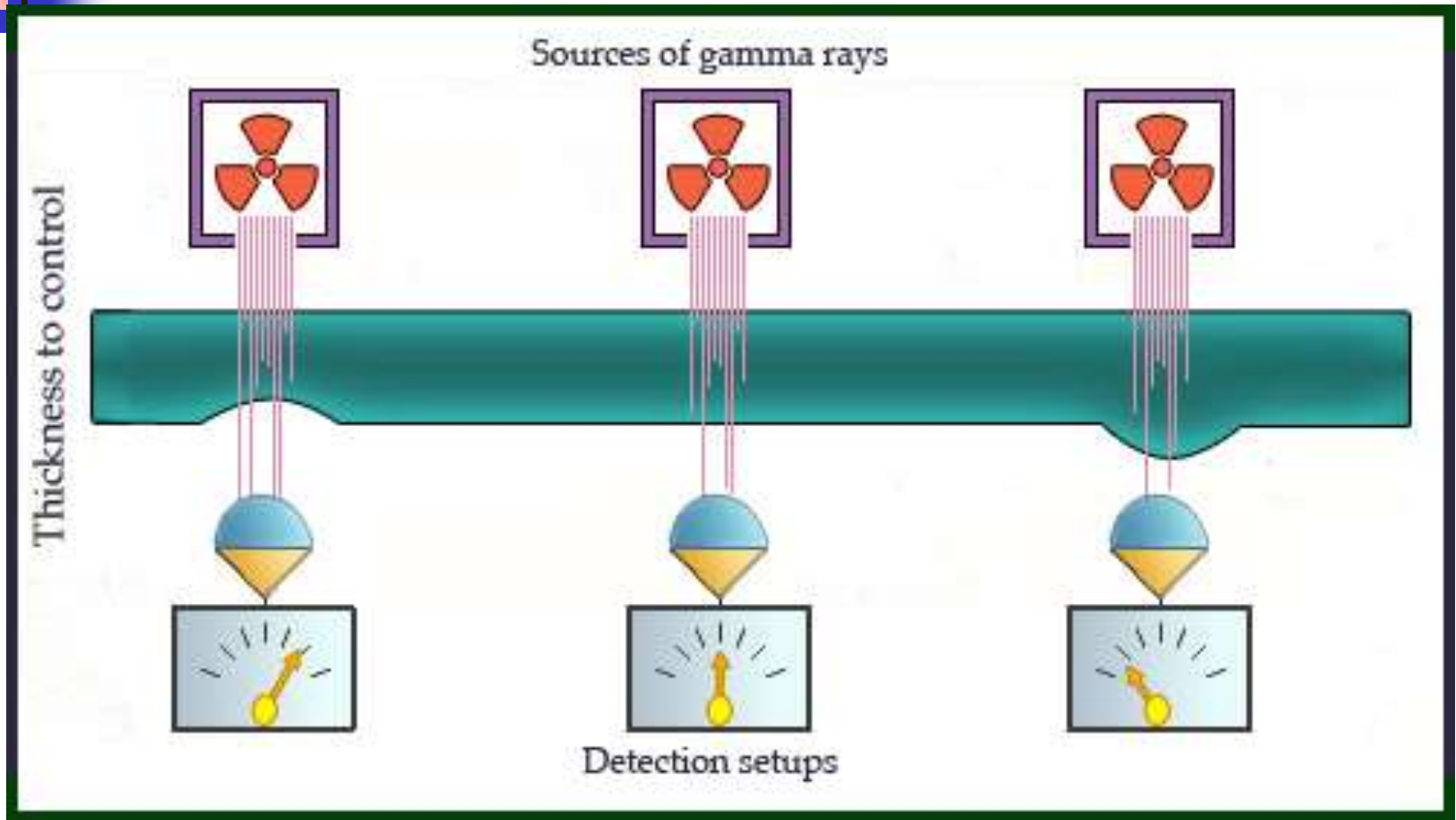
正子斷層攝影

positron emission tomography, PET

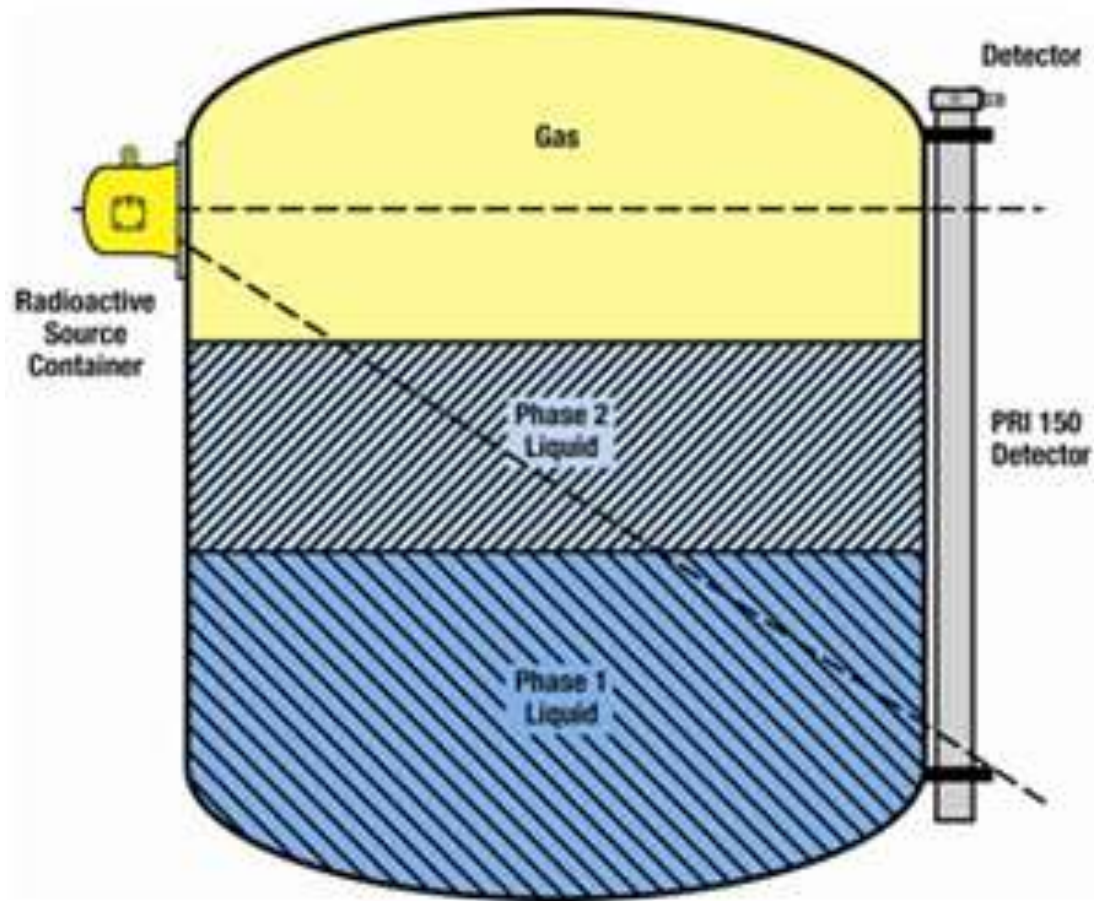


http://medchem.web.ne.kr/data/file/hotissue/1294736813_5hw.JPG

非破壞檢測-品管

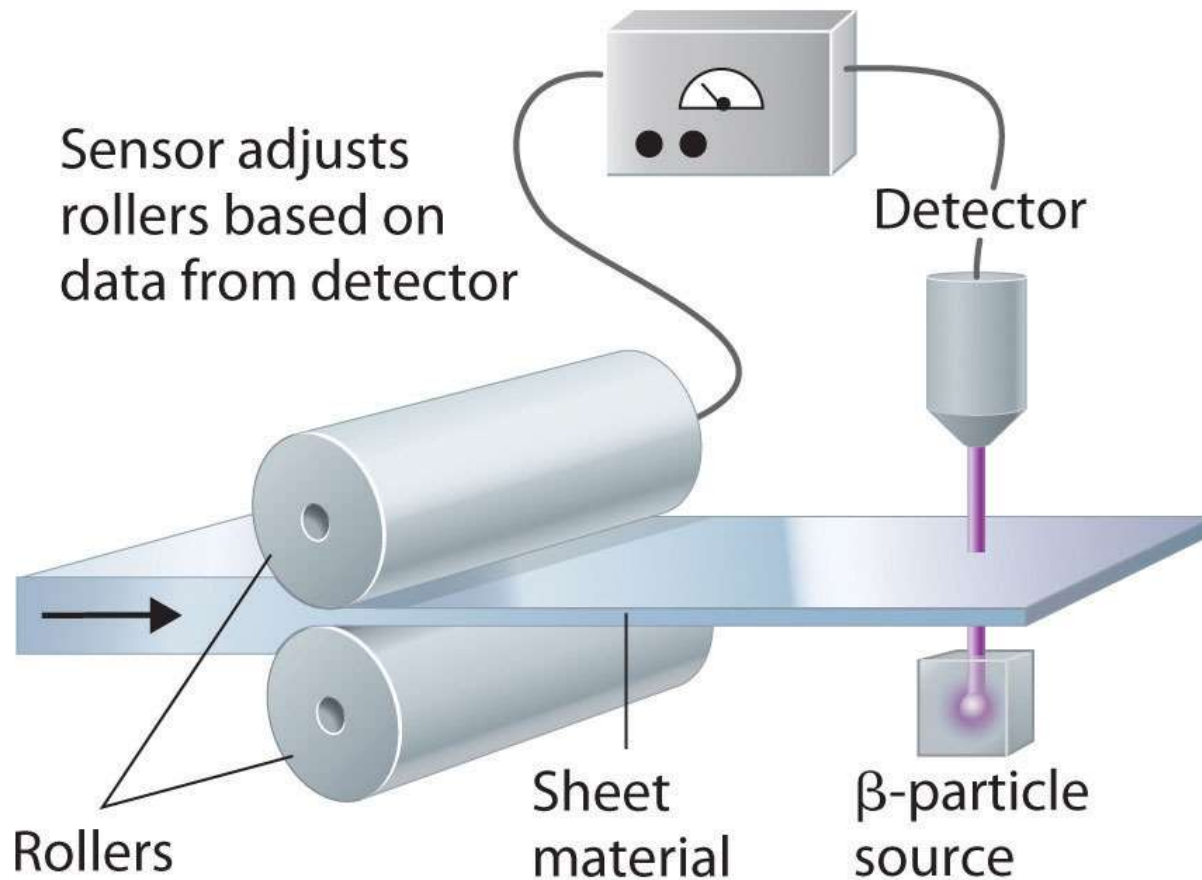


非破壞檢測-液位警戒

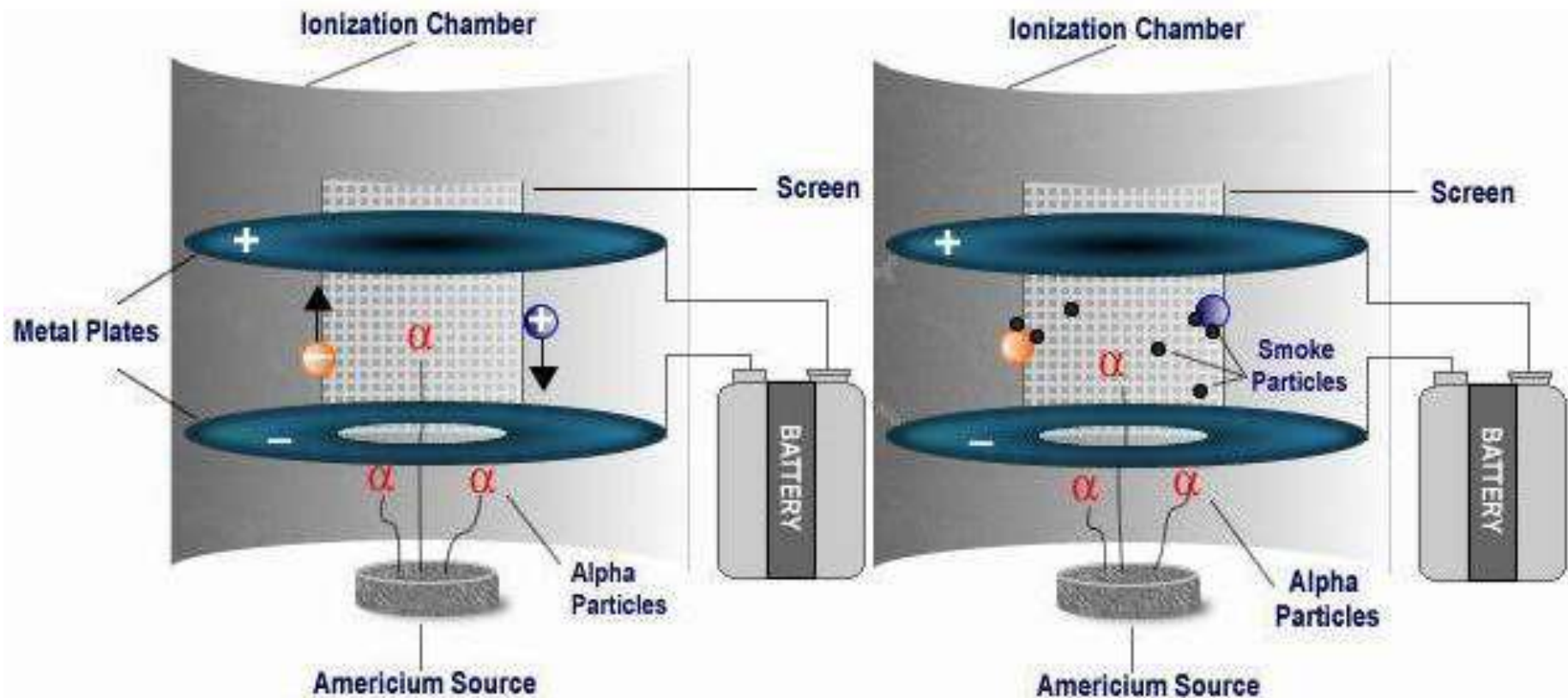


<http://www.tracerco.com/images-uploaded/tankspheres3.jpg>

非破壞檢測-厚度



烟霧警報器



靜電消除器

內含會發射 α 之 ^{210}Po 射源



<http://www.ornl.gov/PTP/collection/Sources/source9.jpg>

放射性同位素電池

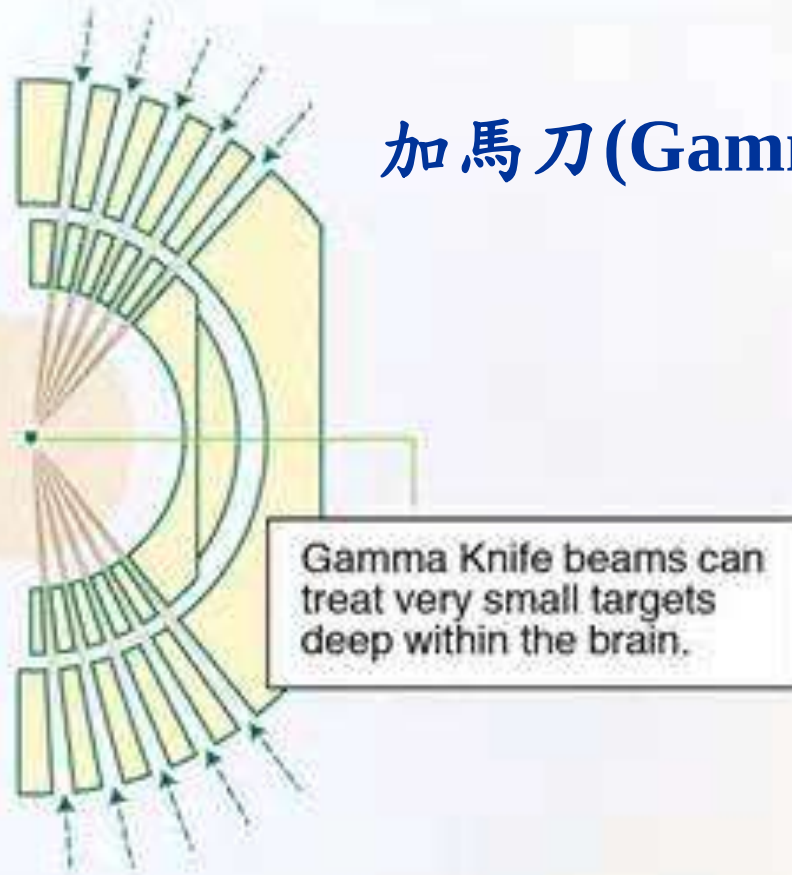


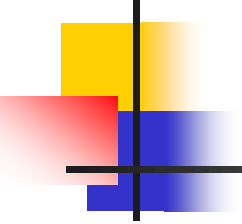
Left: http://3.bp.blogspot.com/-ivZI2NGf_SQ/UVZaYkGeYsI/AAAAAAAAALng/TeX5RBLvaO0/s1600/Nuclearbatteries.jpg

Right: <http://cdn.wonderfulengineering.com/wp-content/uploads/2014/09/Water-based-nuclear-battery2.jpg>

放射治療-加馬刀

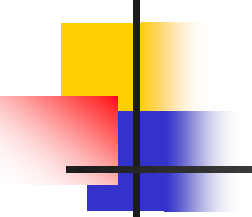
加馬刀(Gamma knife)治療





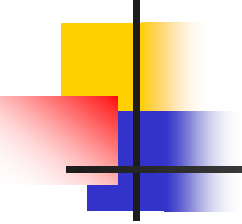
穩定物質的量

- **莫耳**：1莫耳指 6.02×10^{23} 個原(分)子。
- 質量：1莫耳原(分)子的質量為**原(分)子量**。
- 體積：自由空間、STP(0°C , 1 atm)下，1莫耳理想氣體的體積為22.4升(L)。
- 濃度：1升溶液中溶有1莫耳溶質時，此溶質的**容積莫耳濃度**為1 M。



放射性物質的穩定性

- **衰變常數**(decay constant, λ , 單位為 s^{-1})：指單位時間內放射性核種進行衰變的機率；故可用以代表一放射性核種穩定性的程度，即單位時間內衰變機率高者穩定性差，反之則優。
- **半化期**(half-life, T 或 $t_{1/2}$)：放射性核種衰變至原有數量一半所需的時間，稱為該放射性核種的半化期， $\lambda = 0.693/T$ 。
- 放射性核種經 N 個半化期後，原子數目將降為原來的 $(1/2)^N$ 或降為原來的 $e^{-\lambda t}$ 。

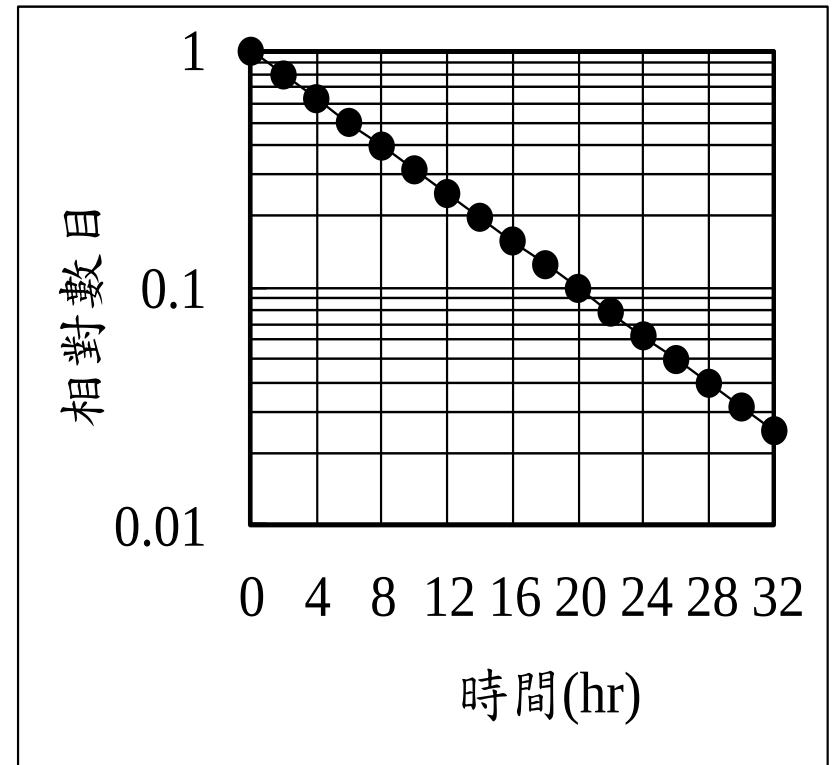
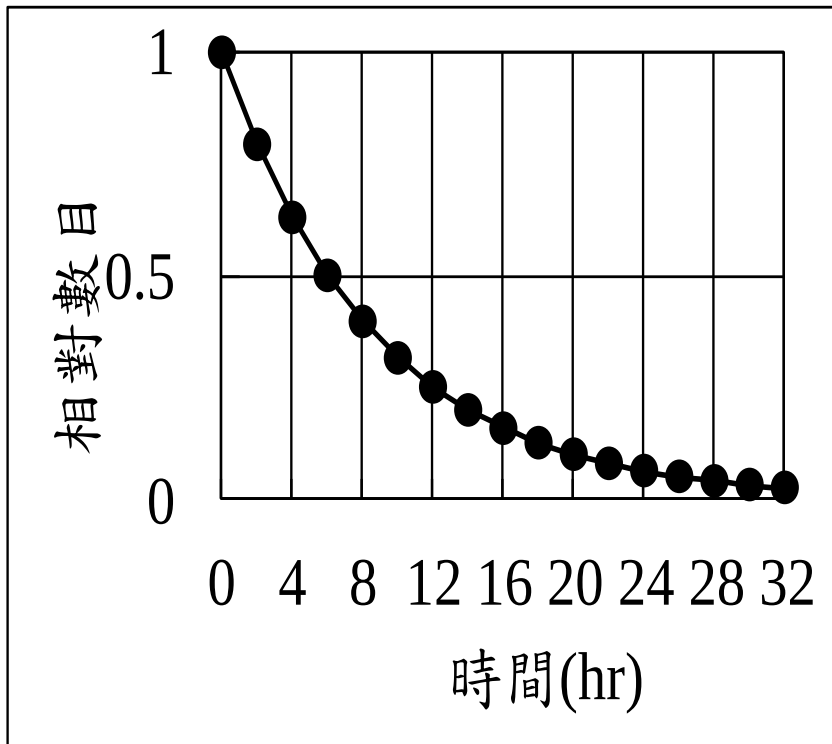


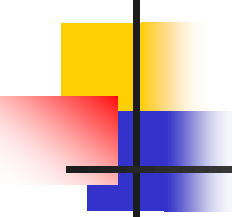
活度(Activity)

- 活度：定量放射性物質的危險性。
- 活度(A)： $A = \lambda N$ ，其中 λ 為衰變常數， N 為放射性核種的原子數。
- 活度：指一定量之放射性核種在某一時間內發生之自發衰變數目。某射源一秒內若有一放射性原子衰變，其活度稱為1貝克(Becquerel, Bq)。
- 居里(Curie, Ci)：活度的傳統單位，定義為1 g ^{226}Ra 的活度。 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。

原子數目隨時間成指數減少

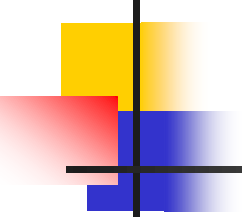
$$N/N_0 = e^{-\lambda t} = (1/2)^N$$





發射輻射

- **發射輻射**(emitted radiation, $\tilde{A}$ 或U)：指一段時間(t)內放射性核種的衰變次數，也稱為**累積活度**(cumulated activity)。無單位，也可以使用Bq s或 $\mu\text{Ci h}$ 作為發射輻射的單位。
- $\tilde{A} = A_0(1 - e^{-\lambda t})/\lambda$ 。
- 長半化期核種或時間很短時， $\tilde{A} = A \times t$ 。

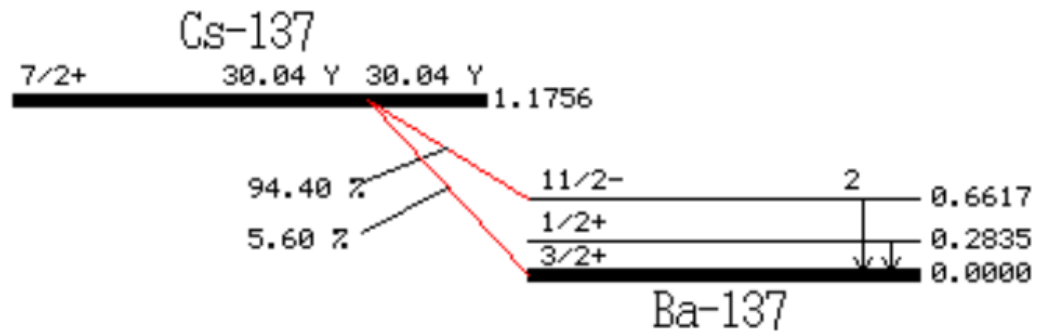


危險性

- 1 Bq碘-131與1 Bq銻-137，何者危險？
 - 體外曝露(密封或非密封射源)
 - 體內曝露(非密封射源)
 - 化學性質(代謝率)、化學毒性
- 相同活度時
 - 不同核種有不同危險性
 - 密封與非密封射源有不同危險性
 - 呼吸與飲食攝入有不同危險性

銫-137衰變圖譜

Parent state: G.S.
Half life: 30.04 Y(3)
Q(gs): 1175.63(17) keV
Branch ratio: 1.0



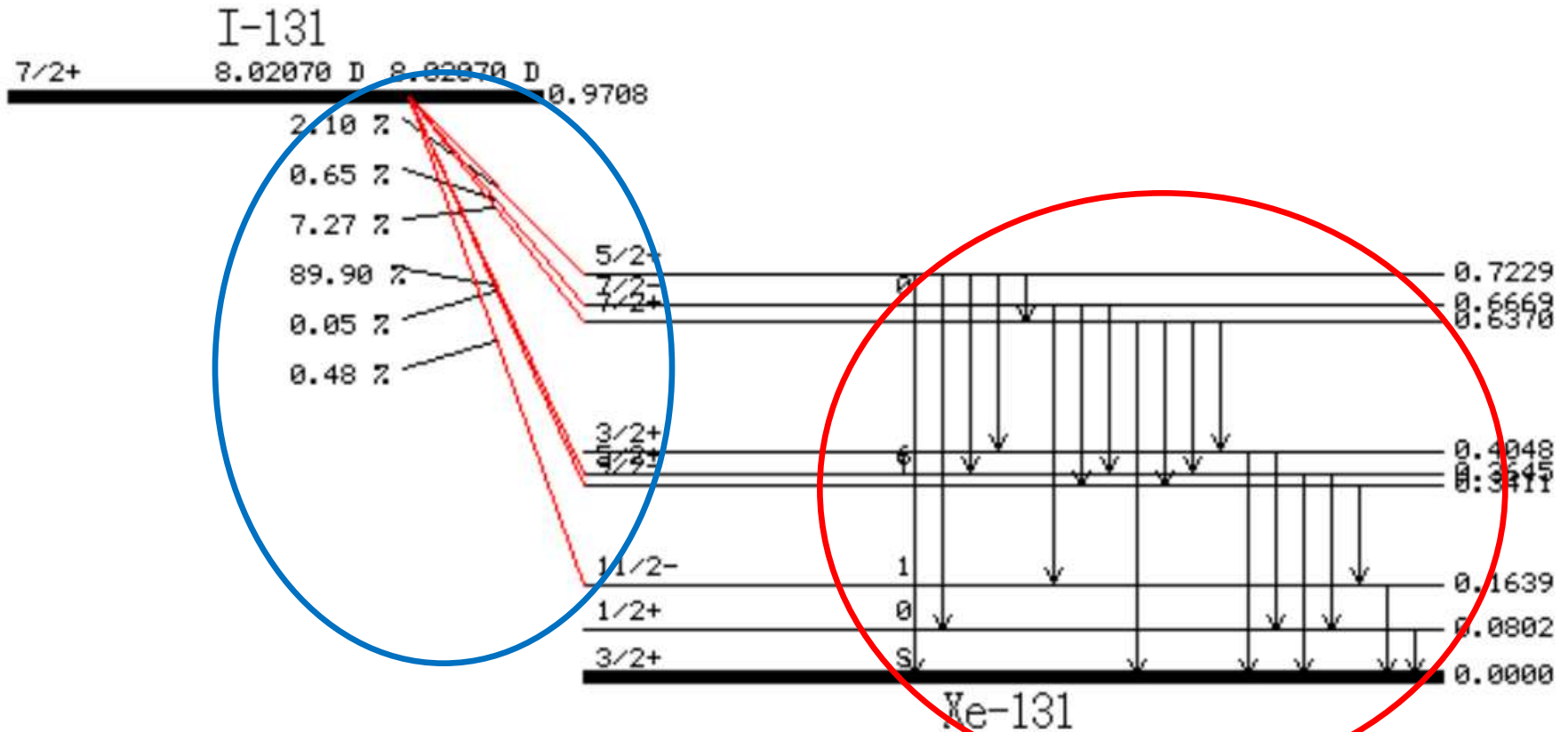
Beta ray:

Max.E (keV)	Avg.E (keV)	Intensity(rel)	Spin	
1176(1)	416.264(72)	5.6(2)	7/2+	
892.1(-)	300.570(68)	5.8E-4(8)	3/2+	
514.03(23)	174.320(61)	94.4(2)	1/2+	
			11/2-	

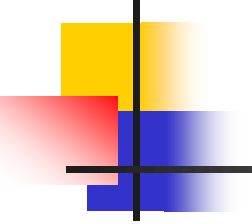
Gamma ray:

Energy(keV)	Intensity(rel)
283.5(1)	5.8E-4(8)
661.657(3)	85.1(2)

碘-131衰變圖譜



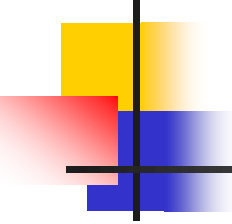
<http://atom.kaeri.re.kr/cgi-bin/decay?I-131> B-



體外曝露危險性

- 一活度為 **C** Ci之某射源(每次衰變可釋出能量為 **E** MeV之 γ)，則距離此射源 **r** m外之暴露率($\dot{X}$)計算公式(假設空氣對光子之 μ_{ab}/ρ 為 $0.027 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$)：

$$\dot{X} (\text{R h}^{-1}) = 0.52 \frac{CE}{r^2}$$



放射性物質之曝露率常數

曝露率常數 $\Gamma \left(\frac{C \cdot kg^{-1} \cdot m^2}{MBq \cdot h} \right)$

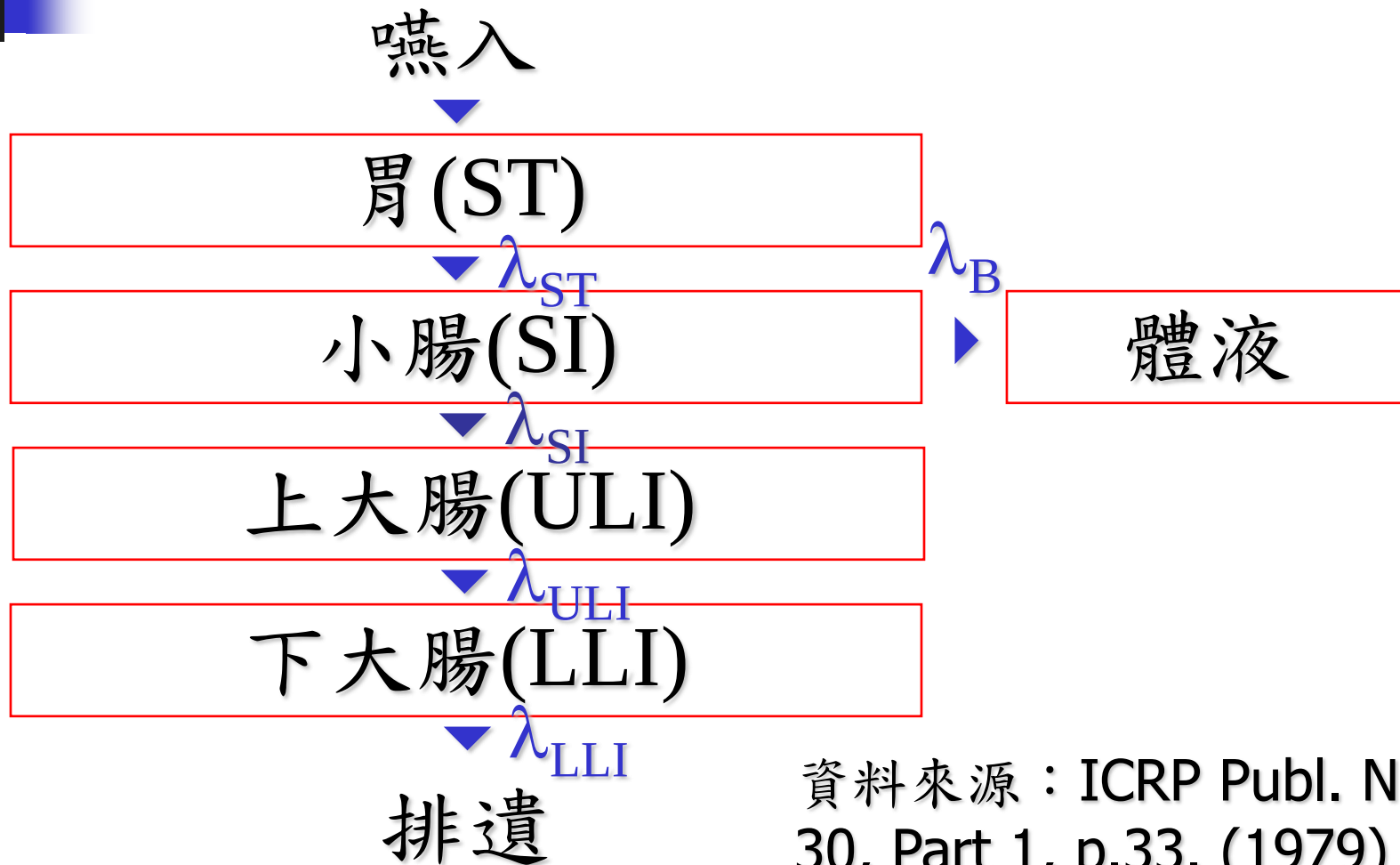
曝露率 $\dot{X} = \frac{\Gamma \cdot A}{d^2} \left(\frac{C \cdot kg^{-1}}{h} \right)$

曝露 $X = \frac{\Gamma \cdot A}{d^2} \times t \quad (C \cdot kg^{-1})$

部分核種之曝露率常數

核種	曝露率常數， Γ	
	R m ² Ci ⁻¹ h ⁻¹	C kg ⁻¹ m ² MBq ⁻¹ h ⁻¹
²⁴ Na	1.84	12.8×10 ⁻⁹
⁴² K	0.14	1.39×10 ⁻⁹
⁶⁰ Co	1.32	9.19×10 ⁻⁹
¹³⁷ Cs	0.33	2.3×10 ⁻⁹
¹⁹² Ir	0.48	3.34×10 ⁻⁹
²²⁶ Ra	0.825	5.75×10 ⁻⁹

體內曝露危險性(1/3)



資料來源：ICRP Publ. No. 30, Part 1, p.33. (1979)

體內曝露危險性(2/3)

部位	隔室	類別					
		D		W		Y	
		T(d)	F	T(d)	F	T(d)	F
N-P (D_{N-P} =0.30)	<i>a</i>	0.01	0.5	0.01	0.1	0.01	0.01
	<i>b</i>	0.01	0.5	0.40	0.9	0.40	0.99
T-B (D_{T-B} =0.08)	<i>c</i>	0.01	0.95	0.01	0.5	0.01	0.01
	<i>d</i>	0.2	0.05	0.2	0.5	0.2	0.99
P (D_P =0.25)	<i>e</i>	0.5	0.8	50	0.15	500	0.05
	<i>f</i>	-	-	1.0	0.4	1.0	0.4
	<i>g</i>	-	-	50	0.4	500	0.4
	<i>h</i>	0.5	0.2	50	0.05	500	0.15

資料來源：ICRP Publ. No. 30, Part 1, p. ii. (1979)

體內曝露危險性(3/3)

附表三之一 輻射工作人員吸入及嚥入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量， $h(g)$ (西弗/貝克， $Sv \cdot Bq^{-1}$) -- 1

核種	物理半 化期	吸入途徑				嚥入途徑	
		類別	f_1	$h(g)_{1\mu m}$	$h(g)_{5\mu m}$	f_1	$h(g)$
氫(Hydrogen)	12.3年					1.000	1.8×10^{-11}
氚水 (Tritiated Water)	12.3年					1.000	4.2×10^{-11}
有機結合氚 (OBT)	12.3年					1.000	4.2×10^{-11}
鈹(Beryllium)							
Be-7	53.3天	M	0.005	4.8×10^{-11}	4.3×10^{-11}	0.005	2.8×10^{-11}
		S	0.005	5.2×10^{-11}	4.6×10^{-11}		
Be-10	1.60×10^6 年	M	0.005	9.1×10^{-9}	6.7×10^{-9}	0.005	1.1×10^{-9}
		S	0.005	3.2×10^{-8}	1.9×10^{-8}		

體外曝露的輻射防護原理

■ 時間(Time)

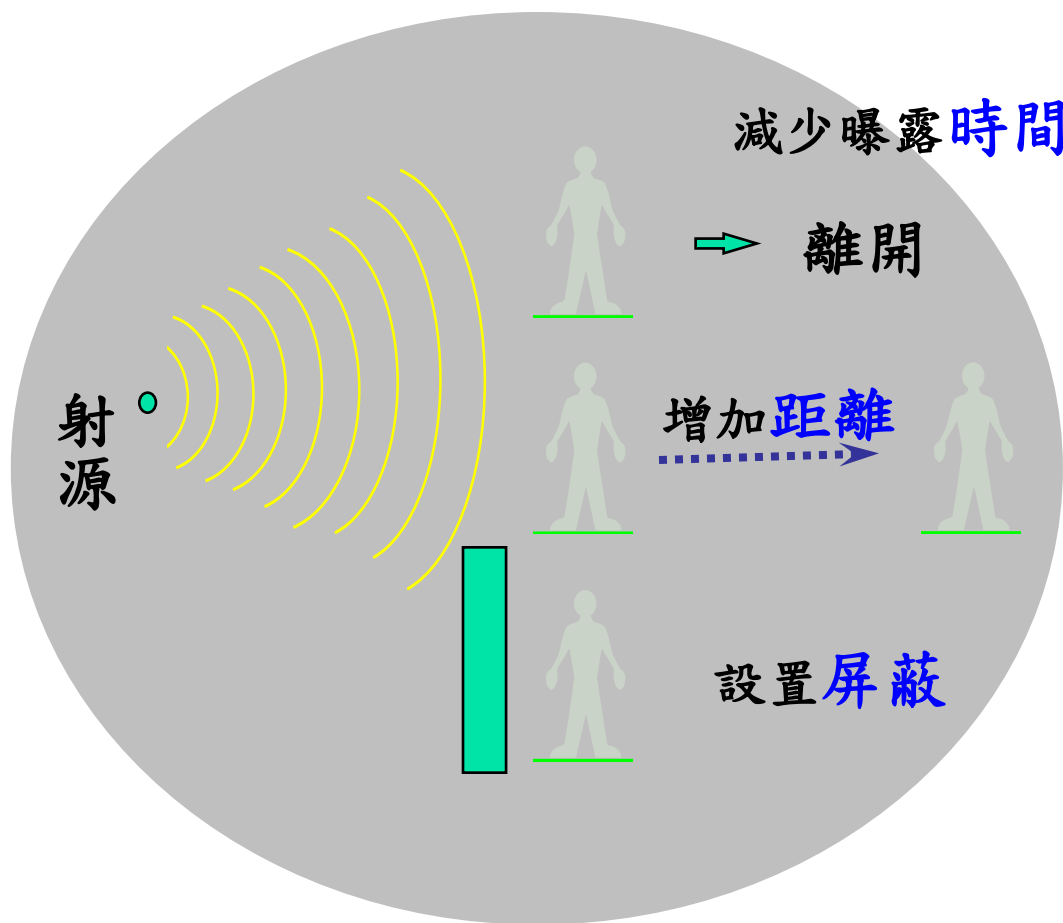
- 減少曝露時間。

■ 屏蔽(Shielding)

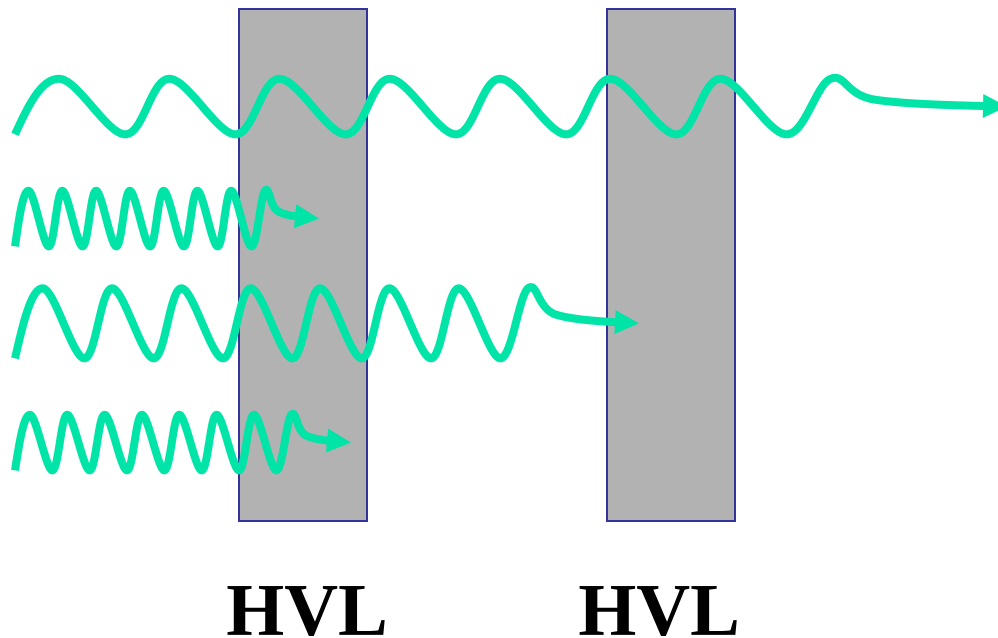
- 在射源與人體之間，設置適當屏蔽，以完全吸收輻射或減弱輻射強度。

■ 距離(Distance)

- 增加射源至人體的距離。



半值層(HVL)



經過N個半值層，輻射強度衰減至原來的 $(1/2)^N$

體內曝露的輻射防護原理

■ 隔離射源

- 將射源密封或置於密閉櫃中。

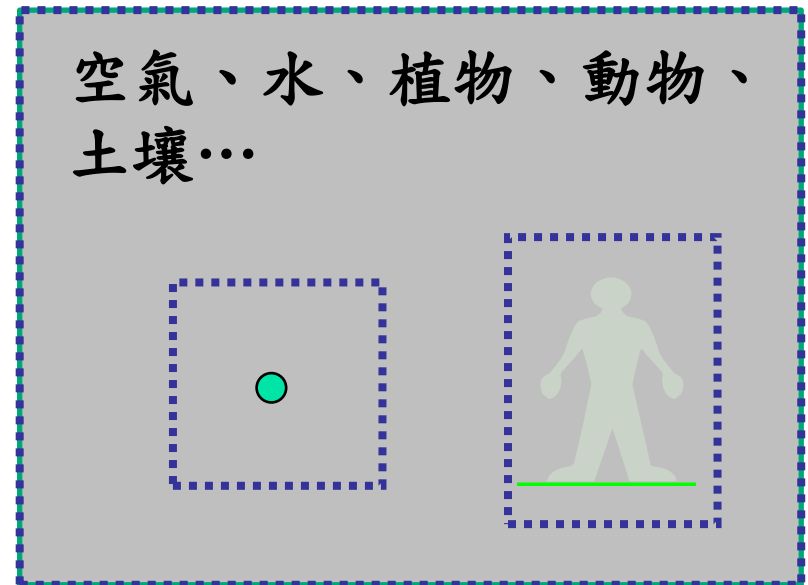
■ 環境保護

- 環境除污、廢料處理。

■ 人員保護

- 防護衣物、呼吸器等。

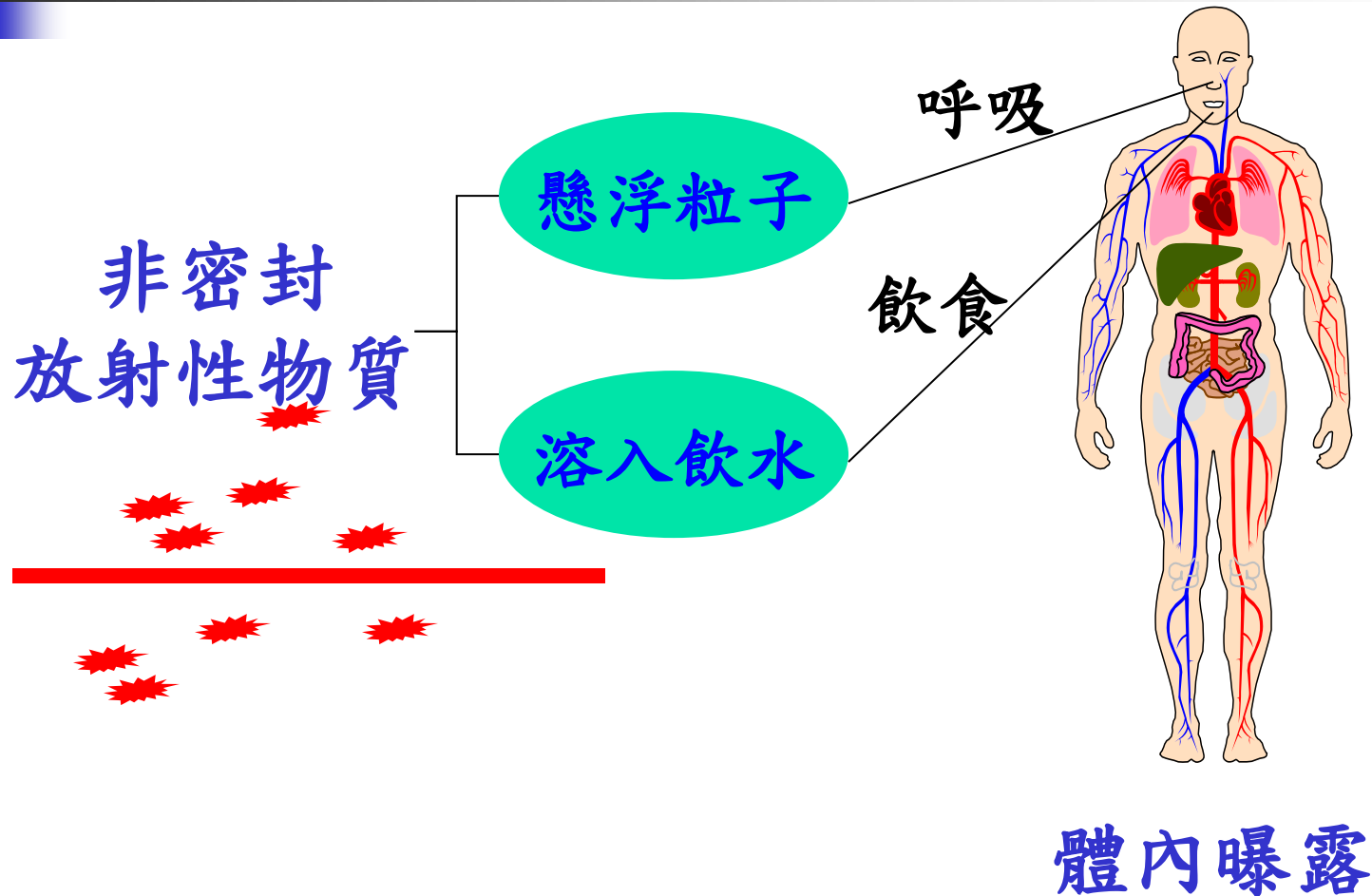
環境保護



射源隔離

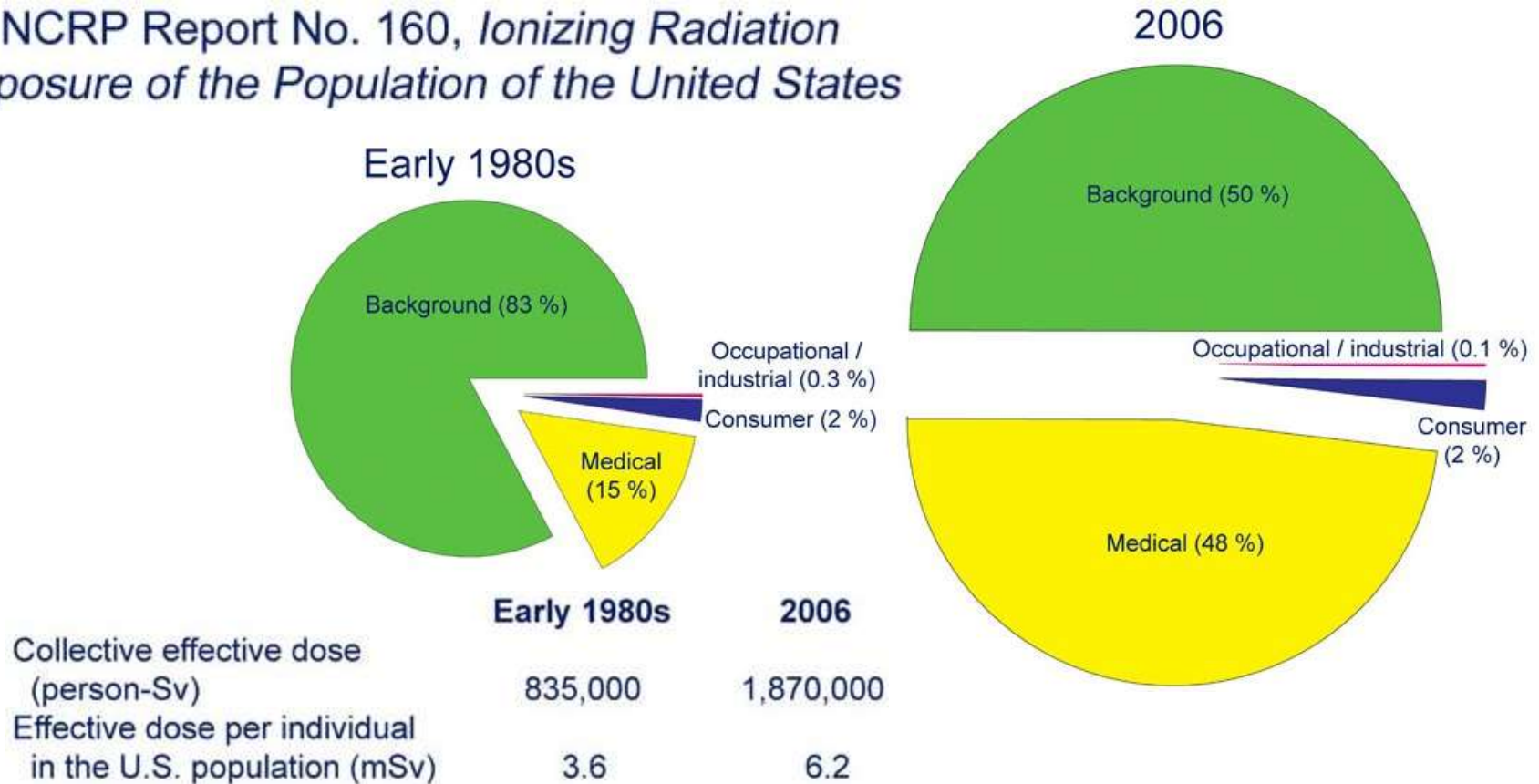
人員保護

非密封放射性物質-體內曝露



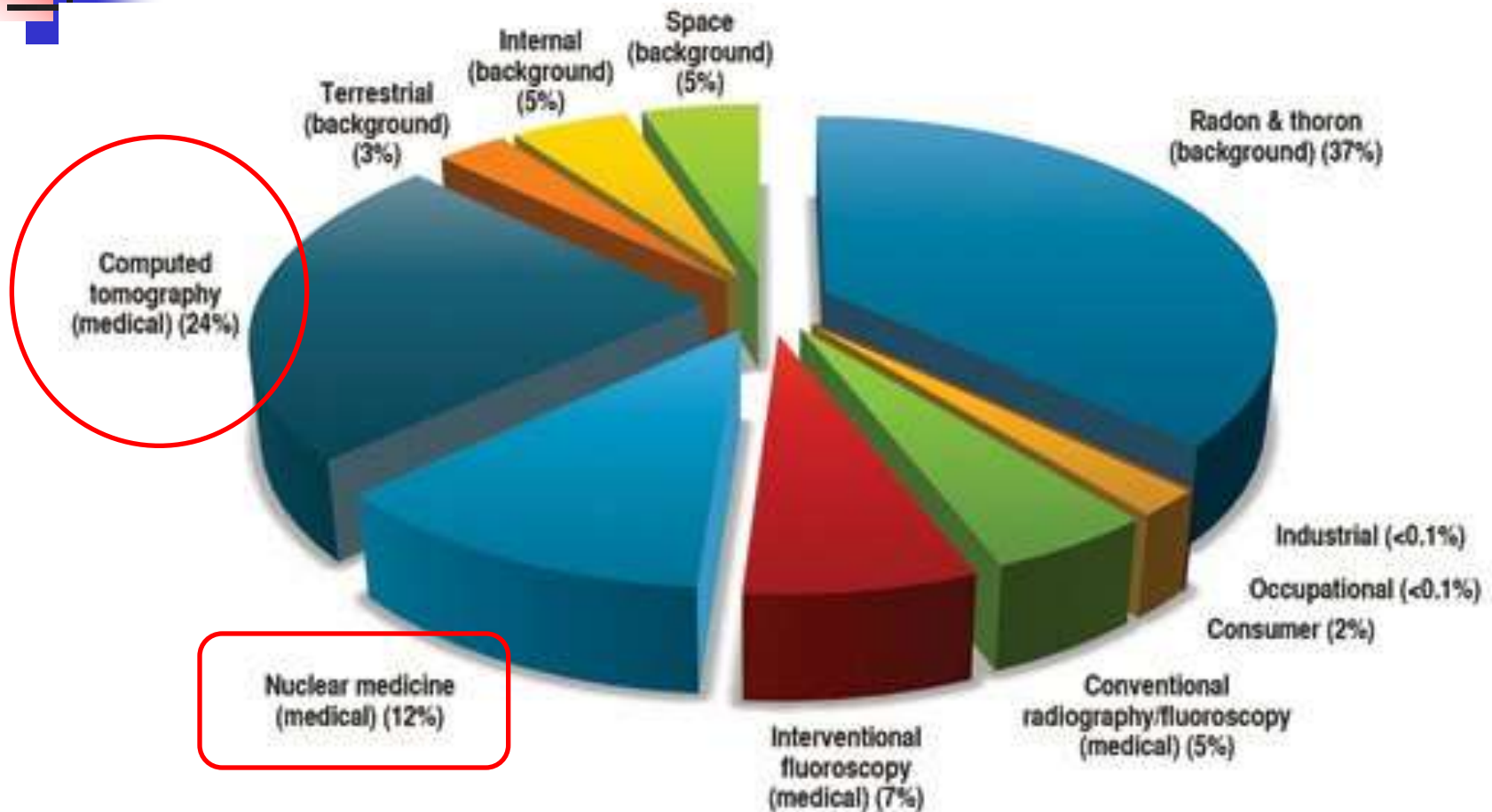
醫療輻射檢查曝露(1/2)

NCRP Report No. 160, *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States*

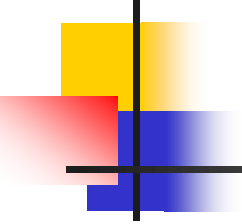


資料來源: <http://hothardware.com/News/US-Population-Radiation-Exposure-On-The-Rise/>

醫療輻射檢查曝露(2/2)

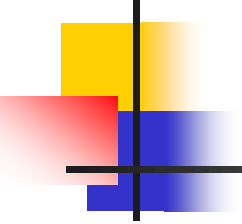


資料來源: http://fanaticcook.blogspot.tw/2011_04_01_archive.html



游離輻射防護法

- 第1條：為防制游離輻射之危害，維護人民健康及安全，特依輻射作業必須合理抑低其輻射劑量之精神制定本法...
- 第5條 為限制輻射源或輻射作業之輻射曝露，主管機關應參考國際放射防護委員會最新標準訂定游離輻射防護安全標準...



游離輻射防護安全標準

- 輻射作業應防止確定效應之發生及抑低機率效應之發生率，且符合下列規定：
 - 一. 利益須超過其代價。(正當化)
 - 二. 考慮經濟及社會因素後，一切曝露應合理抑低。(最適化)
 - 三. 個人劑量不得超過本標準之規定值。(限制化)

正當化判斷(1/2)

Doctor, don't you think I should have a new chest CT scan? Just to be on the safe side



No Ms Williams, I really think that this examination will not add something to the correct assessment of your condition

**Resist patient wishes to be examined
when you feel it is not necessary**

資料來源：The Radiation Protection of Patients (RPOP), the International Atomic Energy Agency (IAEA)

正當化判斷(2/2)

CT scans are among the most common radiation dose burdening examinations for patients

1 x

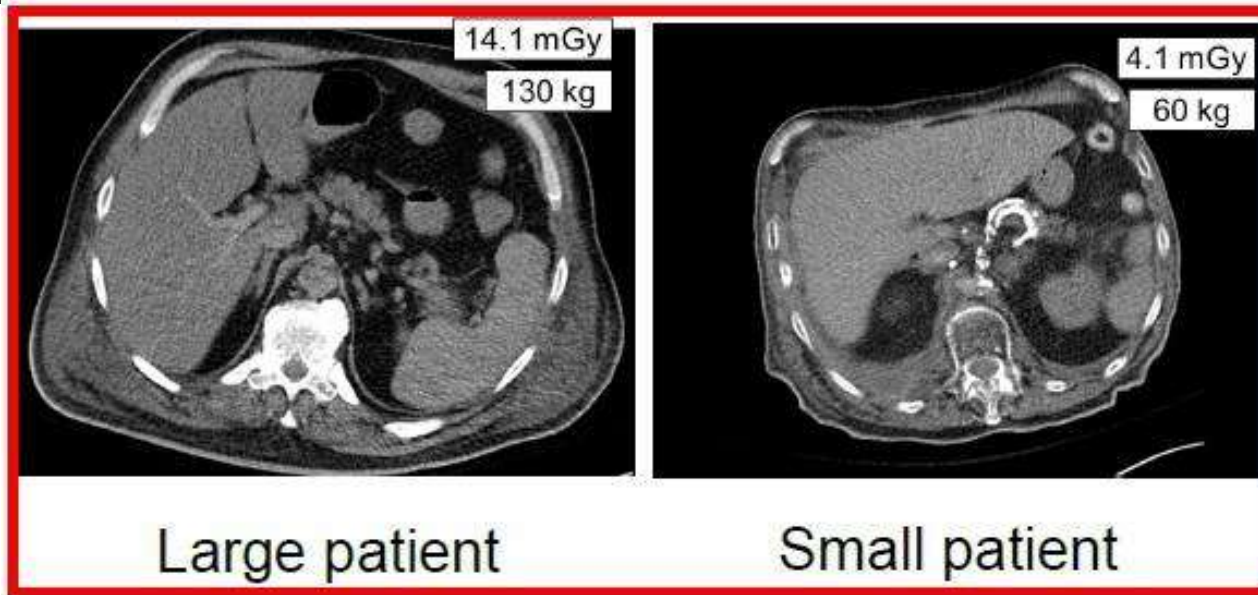


≈ 500 x



The effective dose from one chest CT scan may be equal to the corresponding dose of about 500 PA chest X rays

最適化判断(1/2)



**Adjust exposure parameters
according to patient and body part**

*Images courtesy of: MK Kalra, S. Singh, MGH Webster Center
for Advanced Research and Education in Radiation*

最適化判断(2/2)

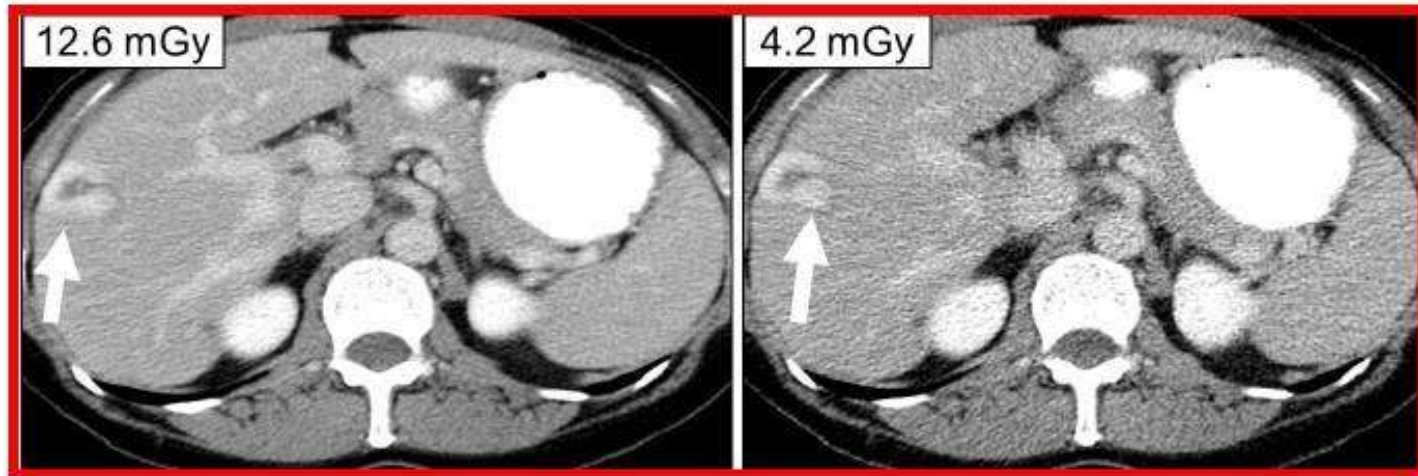


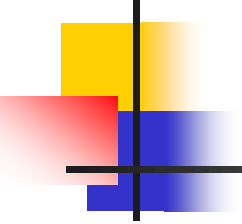
Image Quality: Unnecessarily high

Image Quality: Adequate for diagnosis

High quality /Crisp images may look nice but they impart higher radiation dose to patients

Start using images with some noise without loss of diagnostic information

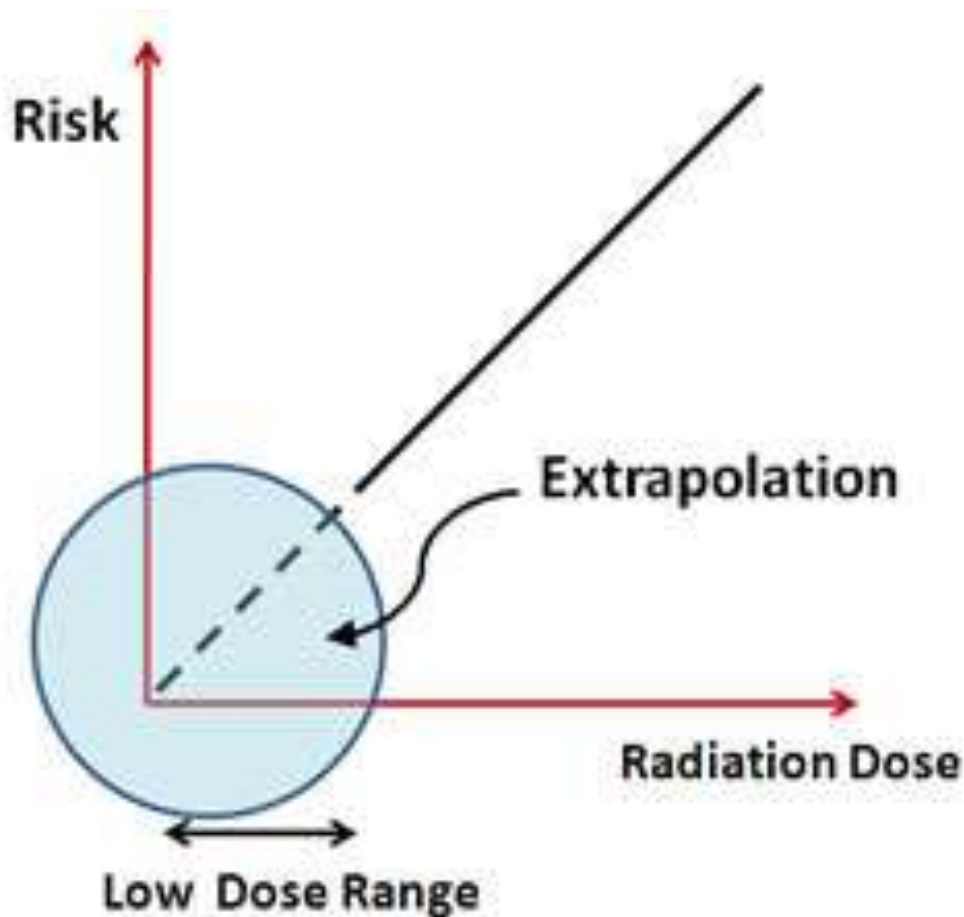
*Images courtesy of: MK Kalra, S. Singh, MGH Webster Center
for Advanced Research and Education in Radiation*



合理抑低

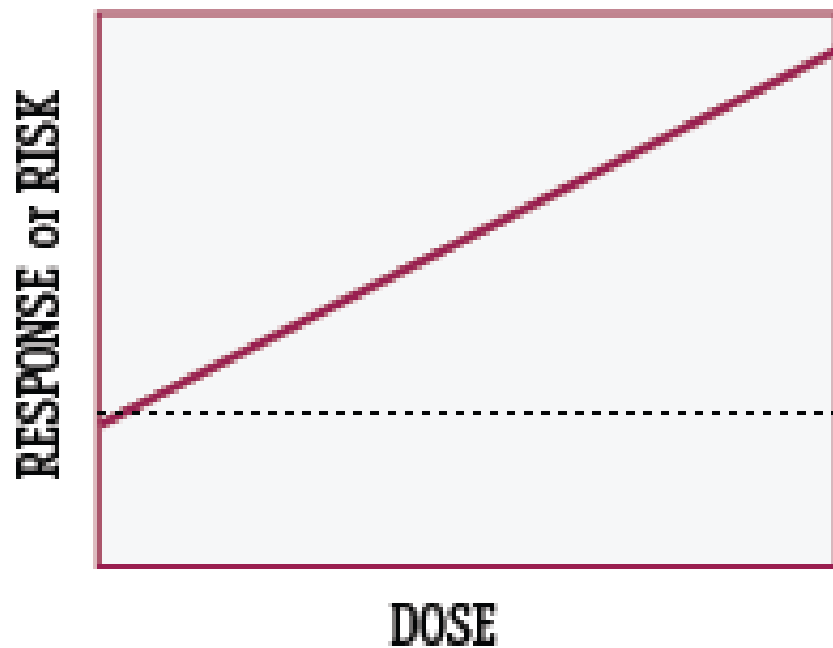
- **合理抑低**指盡一切合理之努力，以維持輻射曝露在實際上遠低於本標準之劑量限度。其**原則**為：
 - 一. 須符合原許可之活動。
 - 二. 須考慮技術現狀、改善公共衛生及安全之經濟效益以及社會與社會經濟因素。
 - 三. 須為公共之利益而利用輻射。

低量輻射(<100 mSv)風險？

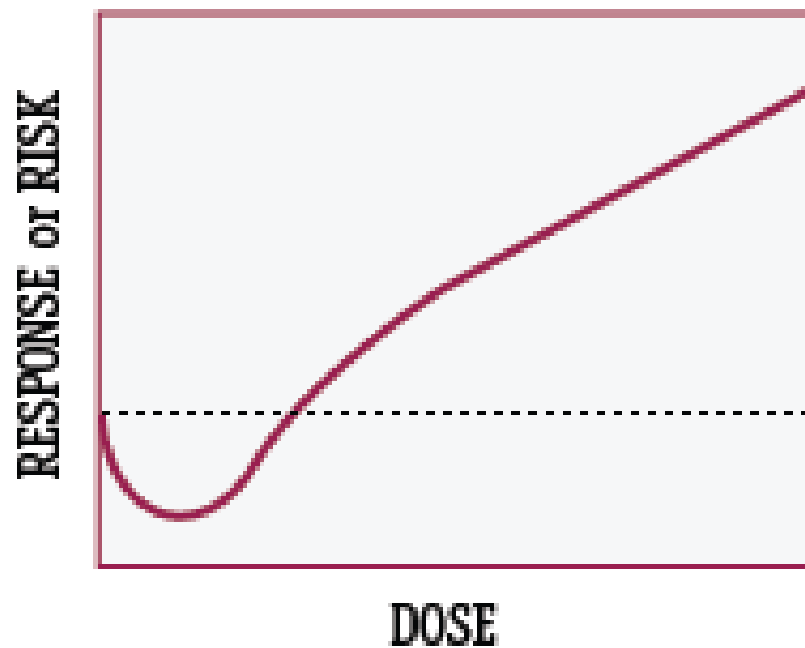


LNT vs Hormesis

LINEAR NO THRESHOLD MODEL



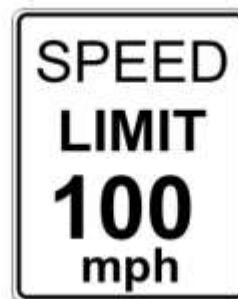
HORMESIS MODEL



合理抑低？

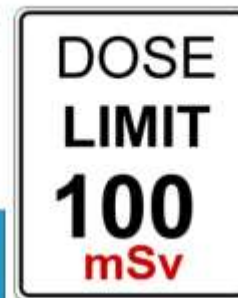
**"NO ACCIDENTS BELOW
100 MILES PER HOUR"**

who says that? No one.



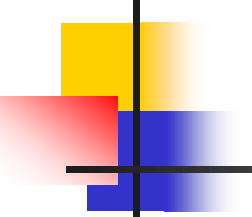
**"HEALTH EFFECTS non-existent
below 100 milli Sievert"**

who says that:



Nuclear Lobby Denies Low-Dose Radiation Effects With The The 100 Millisievert Threshold Lie:
www.strahlentelex.de/The_100_Millisievert_Threshold_Lie_Statement_German_GSS.pdf

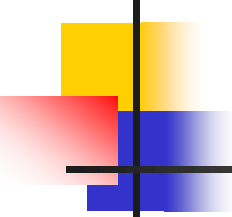
資料來源: <http://tekknorg.files.wordpress.com/2013/05/100msv100mph.jpg>



輻射源豁免管制標準

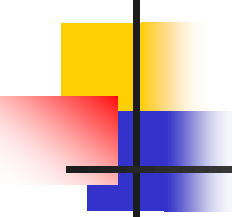
...免依游離輻射防護法管制：

- **放射性物質**單位質量之**活度濃度**不超過附表第2欄所列者。
- **放射性物質**之**活度**不超過附表第3欄所列者。
- 下列**商品**，其所含**放射性物質**不超過所訂之限量者：(一)鐘錶、(二)氣體或微粒之煙霧警報器、(三)微波接受器保護管、(四)航海用羅盤、(五)其他航海用儀器、(六)逃生用指示燈、(七)指北針、(八)軍事用途之、瞄準具、提把、瞄準標杆。



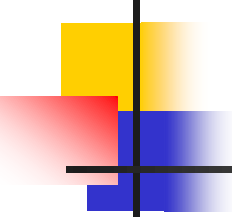
輻射源豁免管制標準

核種	豁免濃度 (Bq g ⁻¹)	豁免活度 (Bq)
H-3	10 ⁶	10 ⁹
C-14	10 ⁴	10 ⁷
P-32	10 ³	10 ⁵
P-33	10 ⁵	10 ⁸
S-35	10 ⁵	10 ⁸
Cr-51	10 ³	10 ⁷



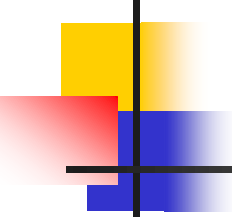
輻射源豁免管制標準

- 下列**可發生游離輻射設備**，在正常操作情況下，距其任何可接近之表面**0.1公尺**處之劑量率**每小時不超過1微西弗**者：
 - 公稱電壓不超過**3萬伏特**之可發生游離輻射設備。
 - 電子顯微鏡。
 - 陰極射線管。
 - 電視接收機。
- **其他**含放射性物質之商品或可發生游離輻射設備，在正常操作情況下，距其任何可接近之表面**0.1公尺**處之劑量率**每小時不超過1微西弗**，且其型式經主管機關核定公告者。



游離輻射防護法第29條

- 除本法另有規定者外，**放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業**，應依主管機關之指定申請**許可或登記備查**。
- ...
- 第二項及第三項申請許可、登記備查之資格、條件、前項設施之種類與運轉人員資格、證書或執照之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之**辦法**，由主管機關定之。



放射性物質與可發生游離輻射設備 及輻射作業管理辦法

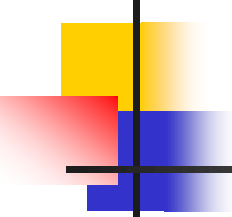
使用下列放射性物質者，應向主管機關申請**登記備查**：

1. 附表一所列第IV類及第V類**密封放射性物質**者。
2. 放射性物質在儀器或製品內形成一組件，其活度為豁免管制量**1000**倍以下，在正常使用狀況下，其可接近表面**5**公分處劑量率為每小時**5**微西弗以下者。
3. 前二款以外之放射性物質活度為豁免管制量**100**倍以下者。

放射性物質與可發生游離輻射設備 及輻射作業管理辦法

附表一 密封放射性物質分類活度一覽表

活度 核種	第一類 (TBq)	第二類 (TBq)	第三類 (TBq)	第四類 (TBq)	第五類 (TBq)
Co-60	$A \geq 30$	$30 > A \geq 0.3$	$0.3 > A \geq 0.03$	$0.03 > A \geq 3 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4} > A \geq 10^{-7}$
Ni-63	$A \geq 6 \times 10^4$	$6 \times 10^4 > A \geq 600$	$600 > A \geq 60$	$60 > A \geq 0.6$	$0.6 > A \geq 10^{-4}$
Kr-85	$A \geq 3 \times 10^4$	$3 \times 10^4 > A \geq 300$	$300 > A \geq 30$	$30 > A \geq 0.3$	$0.3 > A \geq 10^{-8}$
Cs-137	$A \geq 100$	$100 > A \geq 1$	$1 > A \geq 0.1$	$0.1 > A \geq 10^{-3}$	$10^{-3} > A \geq 10^{-8}$
Am-241	$A \geq 60$	$60 > A \geq 0.6$	$0.6 > A \geq 0.06$	$0.06 > A \geq 6 \times 10^{-4}$	$6 \times 10^{-4} > A \geq 10^{-8}$

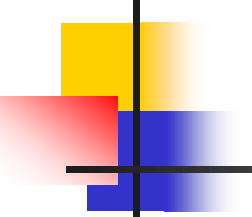


放射性物質與可發生游離輻射設備 及輻射作業管理辦法

使用下列可發生游離輻射設備者，申請人應向主管機關申請**登記備查**：

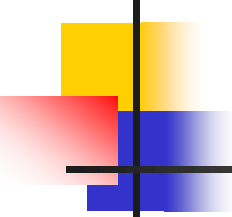
1. 公稱電壓為15萬伏(150 kV)或粒子能量為15萬電子伏(150 keV)以下者。
2. 櫃型或行李檢查X光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器在正常使用狀況下，其可接近表面5公分處劑量率為每小時5微西弗以下者。

使用前項以外或前項第1款非屬醫療用途，而**對人體直接照射**之可發生游離輻射設備者，應向主管機關申請許可證。



高強度輻射設施種類 及運轉人員管理辦法

- 第2條 高強度輻射設施(以下簡稱設施)之種類如下：
 - 一. 使用可發生游離輻射設備加速電壓值大於3000萬伏(30 MV)之設施。
 - 二. 使用可發生游離輻射設備粒子能量大於3000萬電子伏(30 MeV)之設施。
 - 三. 使用密封放射性物質活度大於1000兆貝克(1000 TBq)之設施。



危險度分類(1/2)

危險度分類

設備電壓

表面劑量率

高強度輻射設施

>30MV

-

許可

150kV~30MV

5 cm處>5 $\mu\text{Sv/h}$

登記備查

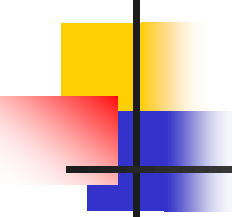
30kV~150kV

5 cm處<5 $\mu\text{Sv/h}$
10 cm處>1 $\mu\text{Sv/h}$

豁免管制

<30kV

10 cm處<1 $\mu\text{Sv/h}$



危險度分類(2/2)

危險度分類

密封物質

非密封物質

高強度輻射設施

$>10^{15}$ Bq

$>10^{15}$ Bq

許可

I、II、III

>100 EL

登記備查

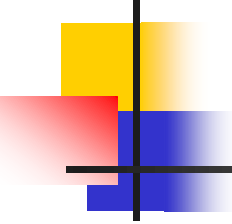
IV、V

EL~100 EL

豁免管制

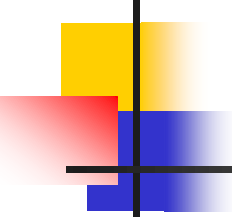
$<V$ 類活度

豁免管制量(EL)



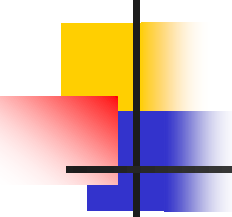
游離輻射防護法第31條

- 操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應受主管機關指定之訓練，並領有**輻射安全證書**或**執照**...
- 前項證書或執照，於操作**一定活度以下**之放射性物質或**一定能量以下**之可發生游離輻射設備者，得以**訓練**代之...



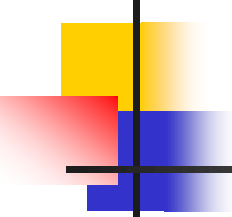
游離輻射防護法第29、30條

- (第29條第4項)置有**高活度放射性物質**或**高能量可發生游離輻射設備之高強度輻射設施**之運轉，應由合格之**運轉人員**負責操作。
- ...
- (第30條第2項)**放射性物質生產設施**之運轉，應由合格之**運轉人員**負責操作；其資格、證書或執照之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之**辦法**，由主管機關定之。



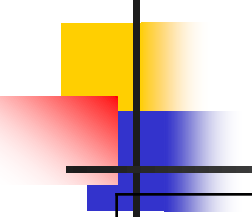
游離輻射防護法第7條

- 設施經營者應依其輻射作業之**規模及性質**，依主管機關之規定，設**輻射防護管理組織**或置**輻射防護人員**，實施輻射防護作業。
- ...
- 第一項**輻射防護管理組織及人員之設置標準**、**輻射防護人員**應具備之資格、證書之核發、有效期限、換發、補發、廢止及其他應遵行事項之**管理辦法**，由主管機關會商有關機關定之。



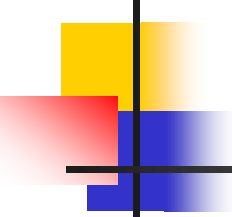
輻射防護管理組織及 輻射防護人員設置標準

- **可發生游離輻射設備** 巔值電壓達500 kV以上，未達30 MV者：輻射防護員一名。30 MV以上者：輻射防護管理組織、輻射防護業務單位、輻射防護師一名、輻射防護員一名。
- **放射線照相檢驗業** 使用或持有可發生游離輻射設備或放射性物質之機具：10(含)部以下、11至15部、16至20部—輻射防護員1、2、3名。21部以上—輻射防護管理組織、輻射防護業務單位、輻射防護師1名、輻射防護員3名。



人員規範

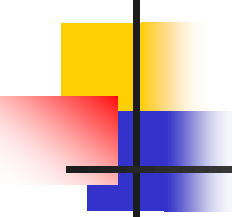
類別	資格(小時(學分))	繼續教育	證照
操作訓練	3 (-)	3/年	-
登記備查	18 (2)	3/年	-
許可	36 (4)	36/6年	輻安證書
高強度	30 + 160 (-)	36/6年	運轉人員
輻防員	108 (6)	72/6年	輻防人員
輻防師	144 (8)	96/6年	輻防人員



劑量監測

「游離輻射防護法」第15條：

- ◆ 為確保輻射工作人員所受職業曝露不超過劑量限度並合理抑低，雇主應對輻射工作人員實施**個別劑量監測**。
- ◆ 但經評估輻射作業對輻射工作人員**1年**之曝露**不可能超過劑量限度之一定比例者**，得以作業**環境監測**或**個別劑量抽樣監測**代之。



機率效應限值(1/2)

輻射工作人員職業曝露之劑量限度：

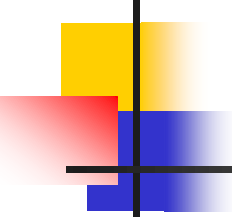
- ◆ 每連續五年週期之有效劑量不得超過100毫西弗。且任何單一年內之有效劑量不得超過50毫西弗。
- ◆ 5年週期，自民國92年1月1日起算。

輻射作業造成一般人之年劑量限限度：

- ◆ 有效劑量不得超過1毫西弗。

機率效應限值(2/2)

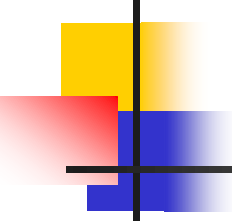
- ◆ 1991年美國「安全工業」的危險度為 0.2×10^{-4} (如貿易商、服務業) $\sim 5 \times 10^{-4}$ (如農夫、礦工)。
- ◆ 1980年美國輻射工作者的平均有效劑量約為 2.1 mSv (當年美國的年有效劑量上限為 50 mSv)。
- ◆ 輻射工作者的危險度為 $5.6 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 。
- ◆ $(2.1 \times 10^{-3} \text{ Sv})(5.6 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}) = 1.2 \times 10^{-4}$ (與安全工業者相當)。



輻射安全測試(1/3)

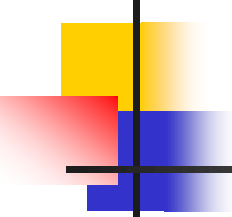
- 「游離輻射防護法」第32條 ...核發之**許可證**，其有效期間最長為**5年**。期滿需繼續輻射作業者，應於屆滿前，依主管機關規定期限**申請換發**。

...許可證有效期間內，設施經營者應對...可發生游離輻射設備或其設施，**每年至少偵測一次**，提報主管機關偵測證明備查，偵測項目由主管機關定之。



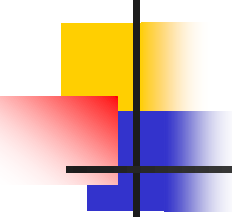
輻射安全測試(2/3)

「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」第5條申請輸入、第18條申請許可類使用、第21條申請使用換發許可證、第23條申請登記類使用、第25條申請再同意登記，均應檢附輻射安全測試報告。



輻射安全測試(3/3)

- 管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過 $10\ \mu\text{Sv/h}$ 。
- 管制區外距任何可以接近四週障壁外表面30 cm處之劑量率最高不超過 $0.5\ \mu\text{Sv/h}$ 。
- 登記類(每5年)：「設備」正常使用時可接近表面5 cm處劑量率小於 $5\ \mu\text{Sv/h}$ 。



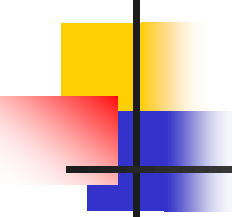
呼吸與飲食攝入管制

- **年攝入限度**：指參考人在一年內攝入某依放射性核種而導致五十毫西弗之**約定有效劑量**或任一組織或器官五百毫西弗之**約定等價劑量**兩者之較小值。
- **推定空氣濃度**：為某一放射性核種之推定值，指該放射性核種在每一立方公尺空氣中之濃度。參考人在輕微體力之活動中，於**一年**中呼吸此濃度之空氣**二千小時**，將導致年攝入限度。

輻射工作人員攝入管制限度

游離輻射防護安全標準 附表四之一

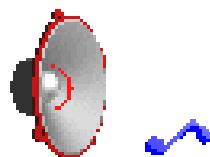
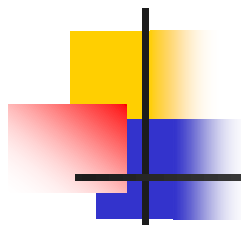
第一欄	第二欄	第三欄	第四欄	第五欄	第六欄
原子序	放射性核種	肺吸收類別	吸入每單位攝入量放射性核種劑量轉換因素(西弗/貝克)	嚥入每單位攝入量放射性核種劑量轉換因素(西弗/貝克)	推定空氣濃度(貝克/立方米)
4	鈹(Beryllium)				
	Be-7	M	4.3×10^{-11}	2.8×10^{-11}	4.84×10^5
		S	4.6×10^{-11}		4.53×10^5
	Be-10	M	6.7×10^{-9}	1.1×10^{-9}	3.11×10^3
		S	1.9×10^{-8}		1.10×10^3



一般人 排放管制限度

游離輻射防護安全標準 附表四之二

第一欄	第二欄	第三欄	第四欄	第五欄	第六欄
原子序	放射性核種	肺吸收類別	排放物濃度(貝克/立方米)		污水下水道排放物月平均濃度(貝克/立方米)
			空氣中	水中	
1	氫(Hydrogen)				
	氚水	F	1.99×10 ⁴	5.07×10 ⁷	5.07×10 ⁸
		M	2.74×10 ³		
		S	4.75×10 ²		
	有機結合氫			2.17×10 ⁷	2.17×10 ⁸



Thanks for your attention