



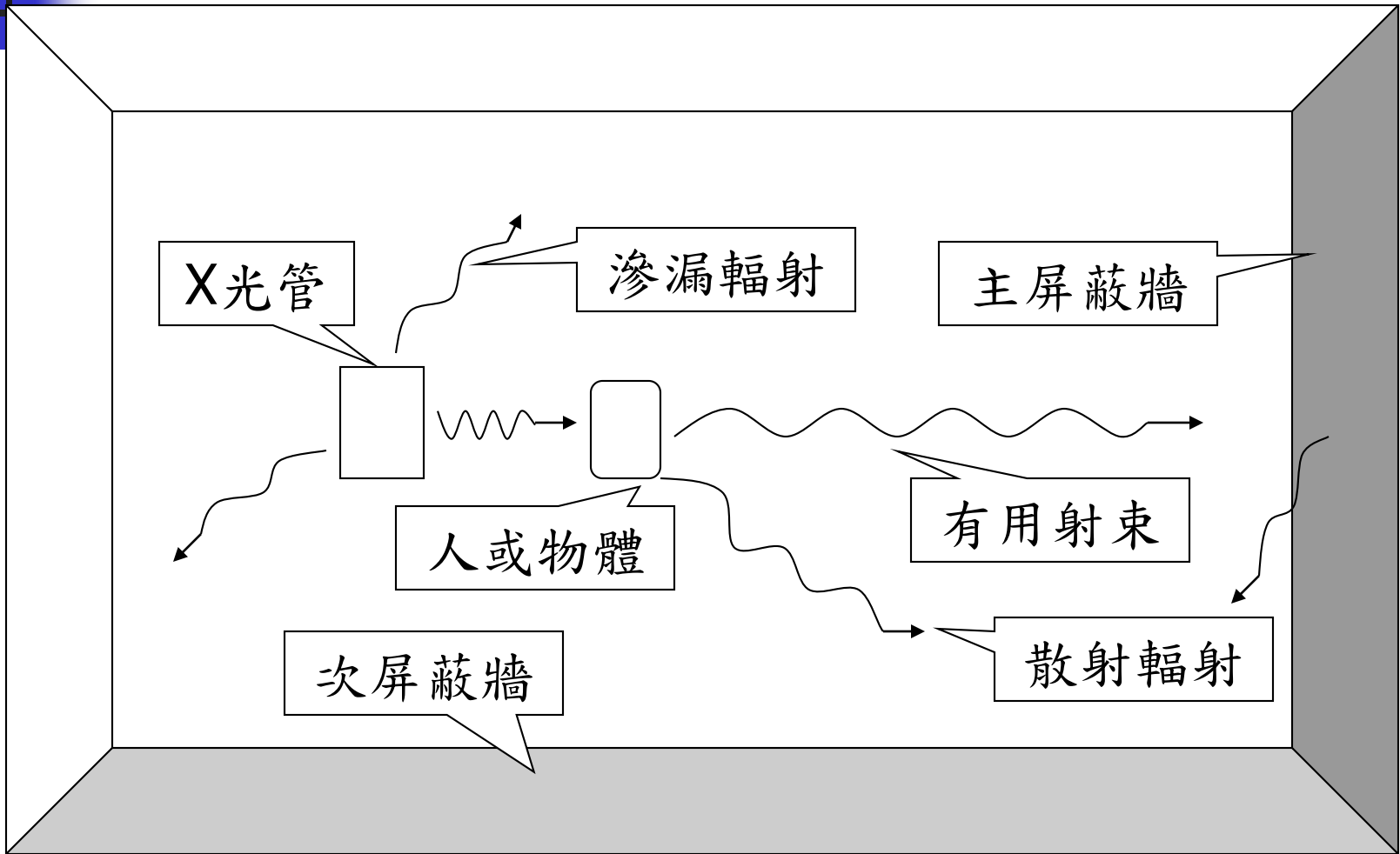
輻射防護



可發生游離輻射設備

- 游離輻射：指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。
- 高能電磁輻射：即光子，如X、 γ 。
- 高能粒子輻射：主要指(1)重荷電粒子，如離子射束、 α ，(2)輕荷電粒子，如電子射束、 β ，與(3)中子。
- 可發生游離輻射設備：指核子反應器設施以外，用電磁場、原子核反應等方法，產生游離輻射之設備。

有用射束、散射輻射、滲漏輻射





半值層數目與光子衰減

- $I/I_0 = e^{-\mu x} = (1/2)^N$ ；其中，N代表欲使窄射束光子強度降為 I/I_0 所需半值層(HVL)數目。
- $I/I_0 = e^{-\mu x} = e^{-(0.693/\text{HVL}) x} = e^{-0.693 x/\text{HVL}}$
 $\therefore I/I_0 = e^{-0.693 x/\text{HVL}} = e^{-0.693 N}$
 $\ln(I/I_0) = -0.693 N$
 $N = -\ln(I/I_0)/0.693$

主防護屏蔽之設計

$$K = \frac{Pd^2}{WUT}$$

P : 最大許可曝露率，管制區為 0.04 R wk^{-1} ，非管制區為 0.002 R wk^{-1}

d : 屏蔽牆與X光管間之距離(m)

W : 工作負載，X光機管電流(mA) 與每週操作時間(min wk^{-1})之乘積，單位為 mA min wk^{-1}

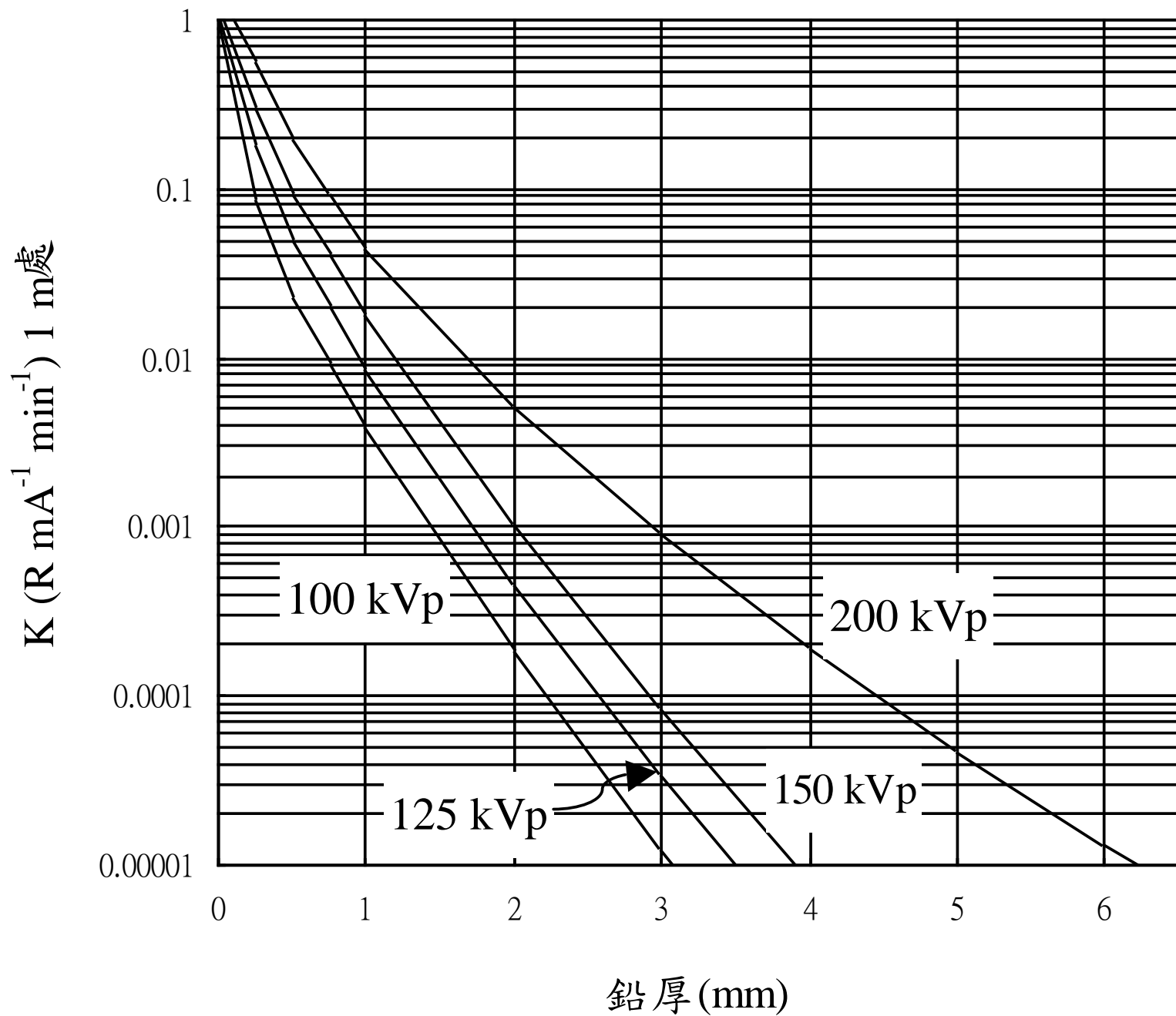
U : 使用因數，X光機有用射柱朝向主屏蔽方向的時間分率

T : 佔用因數，屏蔽牆外人員平均逗留時間分率



主防護屏蔽之設計

- K值也稱為穿透(或降低)因數，是使輻射線初曝露率降至最大許可曝露率之因數。K值單位為 $R \text{ m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 或 $R \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ at } 1 \text{ m}$ 。
- 通常空氣1 R暴露，人體為10 mSv曝露。
- 單能量光子半值層數(N)與穿透因數(X/X_0 或K)之相關式為 $K = (1/2)^N$ 。
- X光為多能量光子，穿透因數為K時所需屏蔽厚度不易計算，通常以查圖(經驗)方式求得，此圖通常為一半對數座標圖。



佔用因數

完全佔用 $T = 1$	工作區域，如辦公室、實驗室、商店、護理站等；活動空間，如兒童遊戲間；臨近建築物的佔用空間等
部份佔用 $T = 1/4$	走廊、休息室、有操作員的電梯等
偶爾佔用 $T = 1/16$	等候室、廁所、樓梯、無操作員的電梯等

美國放射防護委員會(NCRP) 147號報告(2005)建議

- 診斷與治療X光機屏蔽設計不同。
- 週劑量約束管制區由0.4 mSv改為每X光機0.1 mSv；非管制區仍為每X光機0.02 mSv。
- 距離：由X光機至屏蔽距離，改為X光機至樓上0.5 m後、隔牆0.3 m後、樓下地面1.7 m高處。
- 電壓：由單一值(太保守)改為分布值。
- 使用因數視攝影室分類詳訂。
- 佔用因數改為1、1/2、1/5、1/8、1/20、1/40。
- 考慮前屏蔽(檯、柵、匣等)的屏蔽效果。



不同建材間屏蔽厚度的換算

密度法：

原子序近似的二不同建材，可利用密度法作厚度的換算，例如混凝土密度為 2.35 g cm^{-3} ，瓷磚密度為 1.9 g cm^{-3} ，則 10 cm 混凝土的屏蔽能力，約等於 $10 \text{ cm} \times 2.35 / 1.9 = 12.4 \text{ cm}$ 瓷磚的屏蔽能力。

屏蔽阻擋光子的能力，約與其原子序成平方或立方成正比，當建材間原子序差異較大時，此法的換算方式則誤差太大，不宜採用。

商用建材的平均密度

建材	密度(g cm ⁻³)	建材	密度(g cm ⁻³)
混凝土	2.35	鉛	11.4
軟磚	1.65	鉛玻璃	6.22
硬磚	2.05	沙灰泥	1.54
包裝土	1.5	鋼	7.8
花崗石	2.65	瓷磚	1.9

不同建材間屏蔽厚度的換算

半值層法：

原子序差異較大的二不同建材，可利用半值層法作厚度的換算，例如以300 kVp X光為例，混凝土半值層為3.1 cm，鉛半值層為1.47 mm，則10 cm混凝土的屏蔽能力，約等於 $10/3.1 = 3.23$ HVLs，即 3.23×1.47 mm = 4.74 mm鉛的屏蔽能力。

於是，常用建材的厚度，欲換算成鉛的厚度時，通常須先以密度法換算成混凝土的厚度，再以半值層法換算成鉛的厚度。

X光機鉛與混凝土的半值層

電壓巔值(kVp)	鉛半值層(mm)	混凝土半值層(cm)
50	0.06	0.43
70	0.17	0.84
100	0.27	1.6
125	0.28	2.0
150	0.30	2.24
200	0.52	2.5



密封放射性物質

- 定義：密封在包殼或緊密覆蓋層裡的放射性物質。
- 該包殼或覆蓋層應具有足夠的強度，使之在設計上的使用條件和正常磨損下，不會有放射性物質散失出來。
- 非破壞檢驗所用放射性物質，可能因為工作性質或疏忽緣故遺失。



非密封放射性物質的特點(1/2)

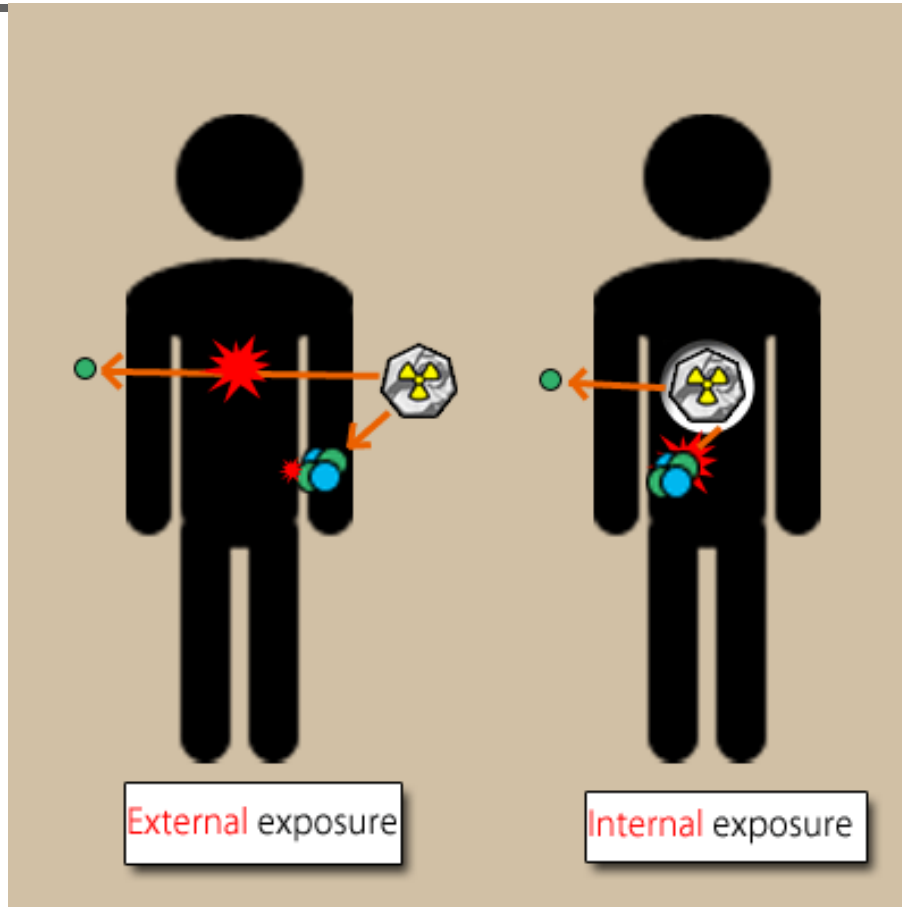
- 使用或操作過程中，其物理化學性質可能變化，如加溫時固體可變成液體，液體又可變成氣體。
- 放在容器中的放射性物質，當容器損壞時液體氣體就有漏出擴散之虞，使操作過程中的輻射危險性增加。
- 放射性物質攝入人體內而使體內受輻射照射時，稱為體內曝露。



非密封放射性物質的特點(2/2)

- 放射性物質未攝入體內，但存在於周圍環境時，就構成體外曝露。
- 體內曝露：某些 α 與 β 放射核種，常侷限於體內的一定組織器官，因高能量轉移而造成較大的生理危害。
- 體外曝露：某些 α 與 β 放射核種因穿透力小，故體外曝露較不嚴重。體外曝露則須特別注意高穿透力的 γ 放射核種。

體外與體內曝露



<http://contest.japias.jp/tqj14/140053/top/kiso/img/e-hibakuzu.gif>



密封放射性物質種類

- 以種類區分，計有阿伐、貝他、加馬、中子和低能量光子射源。
- 以幾何形狀區分，有點狀、線狀、面狀、圓柱狀、圓環狀。
- 以活度的精確度區分，有核對級(check)、操作級、參考級、標準級等不同級別的放射性物質。
- 以用途作區分，有醫學應用、工業程序控制用、工業照相用、加馬照射用、輻射儀表用、離子發生器用、放射測量用。

阿伐射源的防護

- 避免密封層震裂、摔壞、受酸鹼腐蝕。
- 經常檢查射源的外表有無阿伐放射性污染。
- 強活度阿伐射源常伴隨放射其他輻射，故須考慮其他輻射的防護。
- 防止遺失和被盜，不可隨便拆開或丟棄。

空氣	水(組織)	鋁	銅	鉛
59,000	74	34	14	2

7MeV 阿伐粒子的射程(μm)

貝他射源的防護

- 貝他射源的內層包封材質或屏蔽應選用低原子序的材料，可減少制動輻射的產率。
- 射源窗的厚薄與貝他射線的能量有關，使用時應避免射源窗被刺破、磨損、腐蝕、震裂。
- 定期檢查射源的外表有無貝他放射性污染。

水(組織)	壓克力	玻璃	鋁	銅
3.9mm	3.2mm	1.8mm	1.1mm	0.2mm

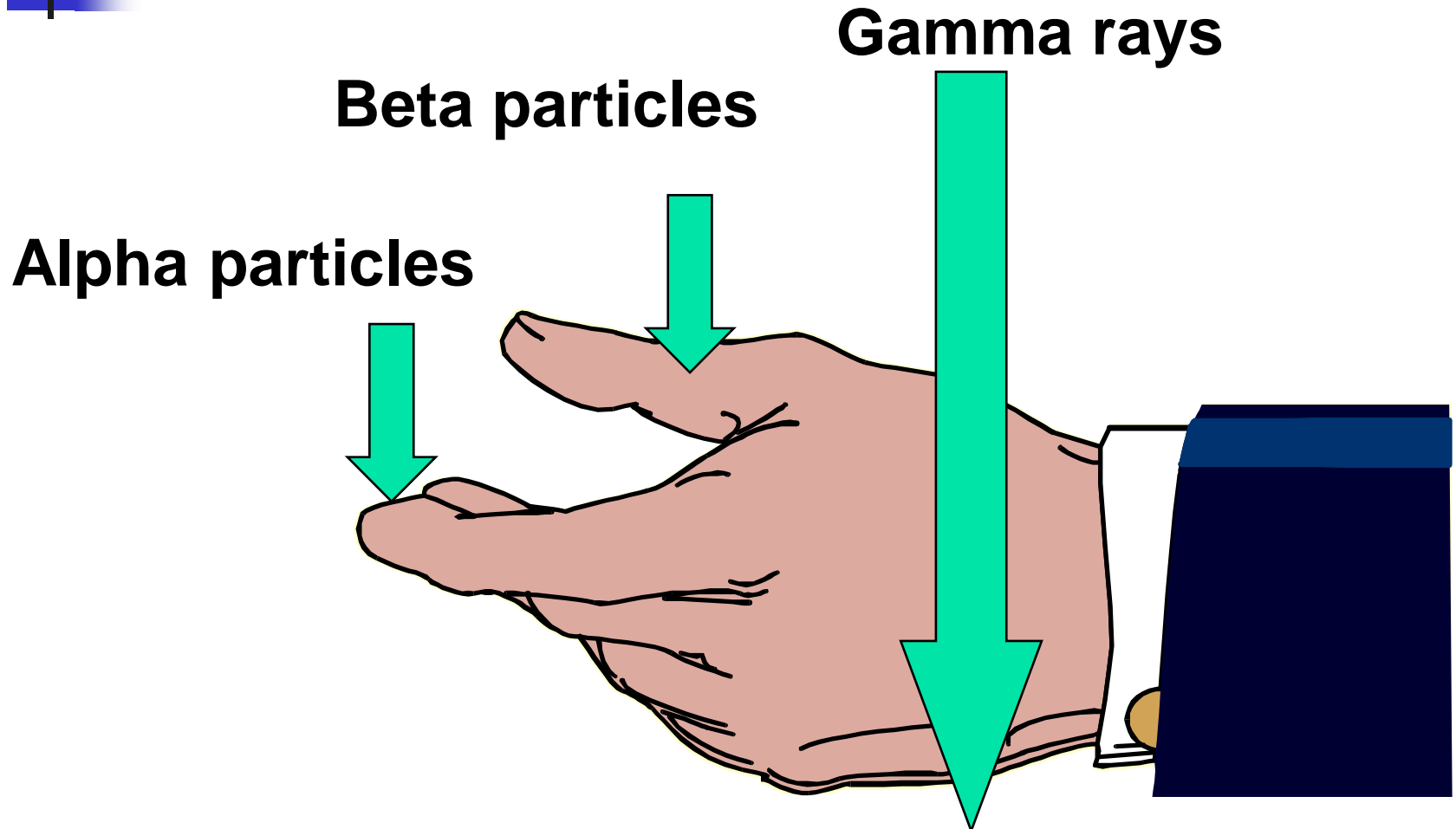
1MeV貝他射線的射程



加馬射源的防護

- 加馬射線穿透力甚強，使用加馬射源要注重體外曝露的防護。
- 除符合TSD原則外，尚須注意：
 - 建立監測區和管制區
 - 適當的屏蔽：鉛或混泥土
 - 執行輻射監測
 - 設置連鎖保全系統
 - 建立保管、貯存和運送的程序

體外曝露的防護





體內曝露的輻射防護

預防形成放射性污染的2C措施：

- **封閉(Contain)**：使放射性物質不與人體直接接觸。例如收納於容器、使用手套工具箱(glove box)等。
- **集中(Concentrate)**：集中管理，以預防分散放射性物質易造成的疏忽。例如實施放射性物質保管、將放射性物質濃縮後貯存等。



體內曝露的輻射防護

已形成放射性污染時的3D原則：

- **稀釋(Dilute)**：將受放射性污染的空氣或水稀釋至可接受範圍，然後排放。
- **分散(Disperse)**：將放射性污染的物質由空氣或水域加以分散。
- **除污(Decontaminate)**：對人體或物體遭受的放射性污染，利用各種除污方法，使附著的放射性污染減少。



體內曝露的輻射防護

若放射性核種已進入體內，降低體內曝露的處置方式：

- 減少吸收：例如皮膚除污、洗胃等。
- 增加排泄：例如大量液體補充、服用鈣片、碘化鉀、利尿劑等。
- 防止滯留：例如服用螯合劑等。



輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(1/3)

- 依規定設輻防組織(輻射防護管理委員會)或輻防人員，執行輻射防護管理業務，定期(至少6個月)開會，並留存紀錄備查。
- 已依「游離輻射防護法」修訂「輻射防護計畫」，且確實宣導與執行。
- 依規定對工作人員實施教育訓練(每年3小時)，並留存紀錄備查。



輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(2/3)

- 依規定對工作人員實施體格檢查及健康檢查，並依檢查結果為適當之處理，且留存紀錄備查。
- 依規定對工作人員實施劑量監測(體外、體內(有體內曝露之虞者))，並留存紀錄備查。
- 依規定進行地區劃分及管制。



輻射作業管理檢查及輔導紀錄表(3/3)

- 置備適當之輻射偵測或監測儀器，定期(每年)校驗，並留存紀錄備查。
- 定期實施輻射偵測及排放廢水分析，並留存紀錄備查。
- 已建立放射性物質、可發生游離輻射設備完整料帳紀錄且放射性污染物、廢棄物管理完善，並留存紀錄備查。



年度偵測項目法源依據

- 「游離輻射防護法」第32條第3項：...設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，每年至少偵測一次...。
- 行政院原子能委員會92年9月1日公告：「領有許可證之放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施年度偵測項目」。
- 行政院原子能委員會93年3月10日公告：「非醫用可發生游離輻射設備、密封放射性物質(裝備)輻射安全測試報告」。



年度偵測證明

- 護管套外表面距靶一公尺處，不得超過有用射柱內中心軸上輸出劑量之千分之一，或X光管罩滲漏輻射**空氣克馬**小於0.87 mGy/h。
(非醫療用途設備免填)
- 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**：「設備」正常使用時可接近表面5 cm處劑量率小於5 $\mu\text{Sv/h}$ 。



場所平面圖

- 放射性物質或可發生游離輻射設備之位置描述及透視圖。
- 場所四周之狀況(含樓上、樓下)描述。
- 場所四周屏蔽材料及厚度。
- 主射束照射方向。
- 各進出大門位置。



場所平面圖規劃內容

- 放射性物質或可發生游離輻射設備之位置描述及透視圖。
- 場所四周之狀況(含樓上、下)描述。
- 場所四周屏蔽材料及厚度。
- 主射束照射方向。
- 各進出大門位置。



屏蔽規劃內容

- 鉛玻璃位置及鉛厚當量；無此規劃者免。
- 進出大門應安裝安全連鎖之位置。
- 進出大門應張貼輻射警示標誌及裝置警示燈之位置。
- 使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。



移動型規劃內容

- 放射性物質或可發生游離輻射設備之使用場所及場所四周描述。
- 主射束照射方向之描述。
- 使用時之輻射劑量之描述或屏蔽計算過程。
- 設可移動式鉛防護屏蔽者，應註明屏蔽之鉛厚當量或其他相關防護措施。



特殊規劃內容(1/2)

- 醫用之可發生游離輻射設備，於同一治療室或X光室裝置兩部或兩部以上，各設備間應置有切換開關。放射性物質不得於同一治療室或X光室裝置兩部或兩部以上。
- 高強度輻射設施之使用場所，應設置警報器、監視器、急停裝置及安全連鎖裝置。



特殊規劃內容(2/2)

- 醫用治療之放射性物質或可發生游離輻射設備，應於治療室中設置監視器及緊急停止等裝置。
- 移動型放射性物質或可發生游離輻射設備經常在同一地點使用者，應視為固定型。