

課程名稱：輻射防護實習或見習

- (1)**偵測器度量操作
- (2)**屏蔽實驗
- (3)**行李檢查X光機偵測

講員：陳厚語

偵檢器度量

請參考：輻射度量課程

▶ 常用的輻射偵檢器

- ▶ ATOMTEX AT-1121
- ▶ Inspector

輻射防護器材

- ▶ 鉛衣
- ▶ 鉛板

個人輻射防護

- ▶ 呼吸器

行李X光機

- ▶ 依現場現有設備為主(Astrophysics、L3、Rapiscan、Perkin Elmer…etc.)



偵檢器原理



輻射偵檢器

▶ 1. 充氣式偵檢器

- ▶ 游離腔型、比例型、蓋格型

▶ 2. 半導偵檢器

- ▶ 矽 (Si)
- ▶ 鍺 (Ge)
- ▶ 銻化鎘 (CdTe)

▶ 3. 閃爍偵檢器

- ▶ 有機：液態閃爍偵檢器等
- ▶ 無機：固態碘化鈉 (鉍) 晶體等

▶ 4. 劑量計

- ▶ 人員： $\text{Li6F} + \text{Li7F}$ (被動型)、矽 (主動型)
 - ▶ 環境： $\text{CaF2} + \text{Li7F}$
-



輻射偵檢器（劑量計）使用特性

偵檢器	作用機制	輸出訊號	偵檢種類
充氣式偵檢器			$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
游離腔	游離	平均電流	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
比例型	游離	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
蓋格型	游離	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
半導體偵檢器	電子-電洞	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
閃爍體偵檢器	激發；光子；電子	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
熱發光劑量計	激發；光子；電子	電壓脈衝	β, γ, χ

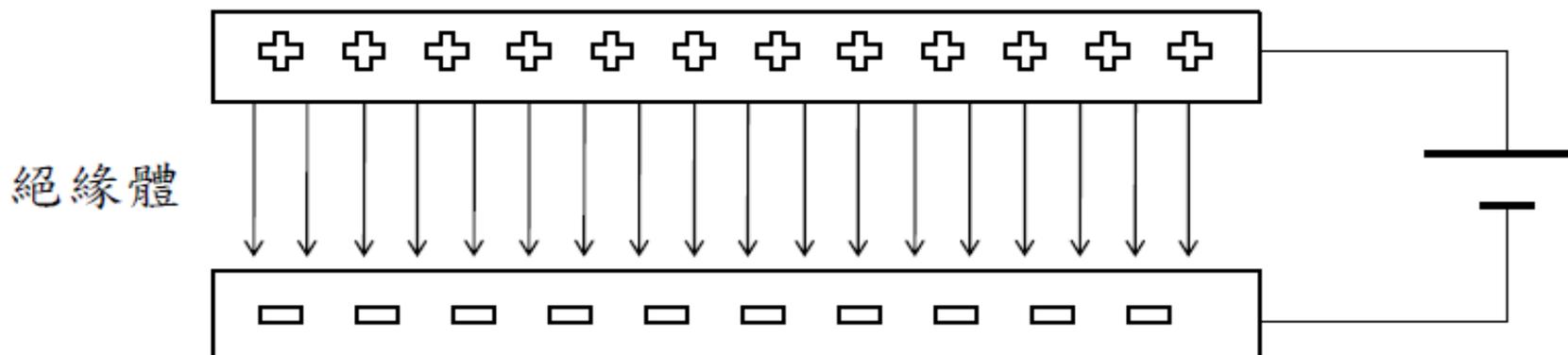
充氣式偵檢器



基本操作原理

1. 充氣式偵檢器

- 像一顆電容
- 在腔管內產生一個游離電子電所需約 20~45 電子伏特

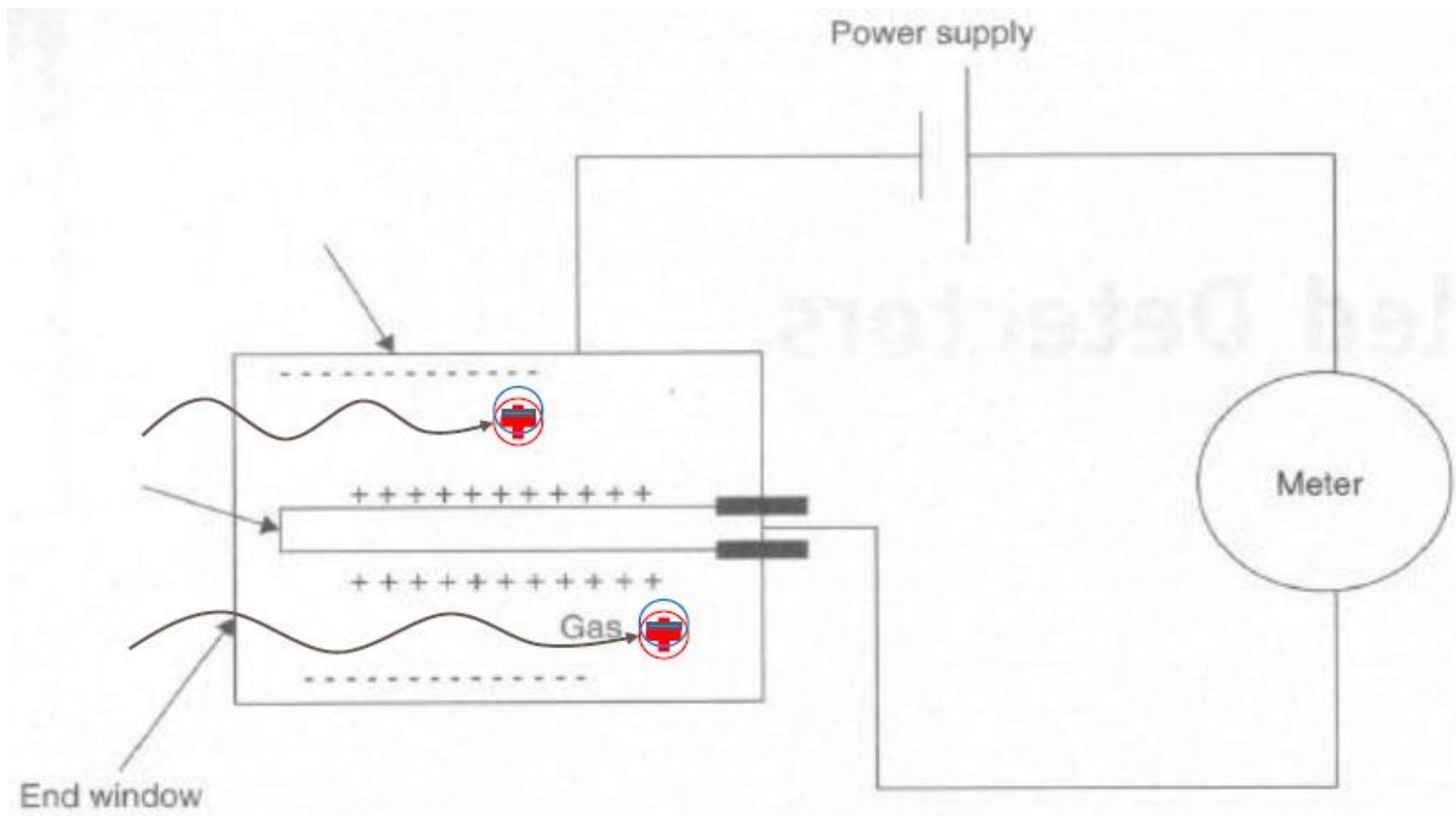


$$Q = C \cdot \Delta V$$

2. 充氣式偵檢器

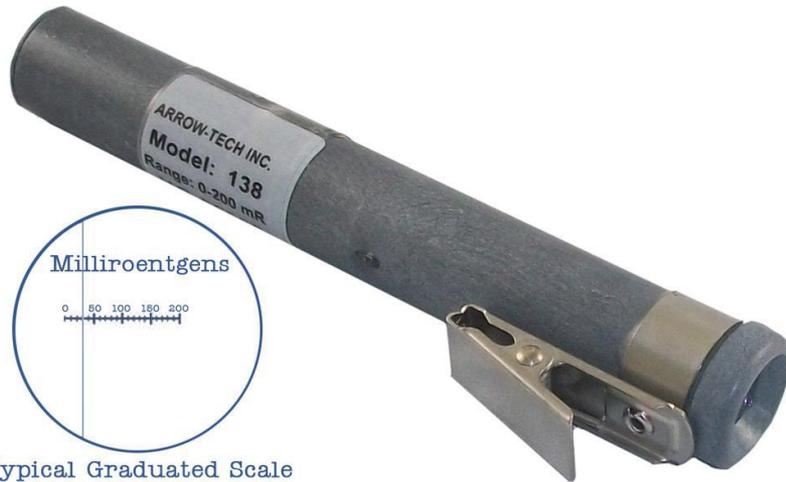
- 電池
- 電荷收集器（充氣式偵檢器）

充氣式偵檢器 (gas-filled detector)



圖：充氣式偵檢器工作原理示意圖

游離腔(筆型劑量器)



Typical Graduated Scale
(Enlarged View)



蓋格偵檢器 (Geiger counter)



其它蓋格偵檢器(Geiger counter)

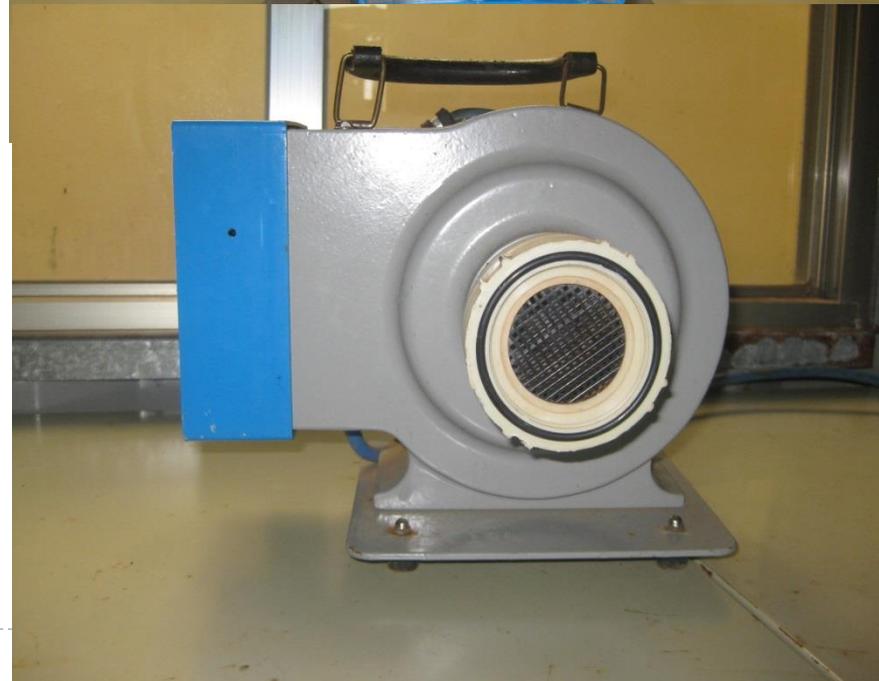


台電放射試驗室校驗標籤
儀器名稱 SE INSPECTOR
儀器序號 1111
校驗日期 97年1月2日
校驗結果 合格
有效期限 97年1月2日止
校驗者

比例計數器



實際應用—空浮收集



項目	游離腔	比例計數器	蓋革偵檢器
偵測對象	α, β, γ, X	α, β, γ, X	α, β, γ, X
適用範圍	高劑量率	皆可	低劑量率
充氣氣體	空氣	P-10 (90%氬+10%甲烷)	氬、氫
工作高壓	50-500	250-600	400-1000
氣體增幅	無	有 (10^2-10^4)	有 (10^6-10^8)
陽極	金屬絲	不鏽鋼絲	鎢絲
抑止	不需	不需	外加電路或高電阻
輸出形式	電流式(多)脈衝式(少)	脈衝式	脈衝式
輸出訊號	0-1 mV	0-100 mV	0-10 V
電流意義	與入射劑量率成正比	—	—
脈衝意義	—	脈衝高度與粒子能量成正比，脈衝數與粒子數成正比	脈衝數與入射粒子數成正比
鑑別器	不需	需要	不需
劑量靈敏度	較差	高	高
準確度	高	高	較差
能譜分析	可(脈衝式)，但很少用	可(主要用途)	否
手提偵檢器	可	可(固定式較多)	可



閃爍體偵檢器

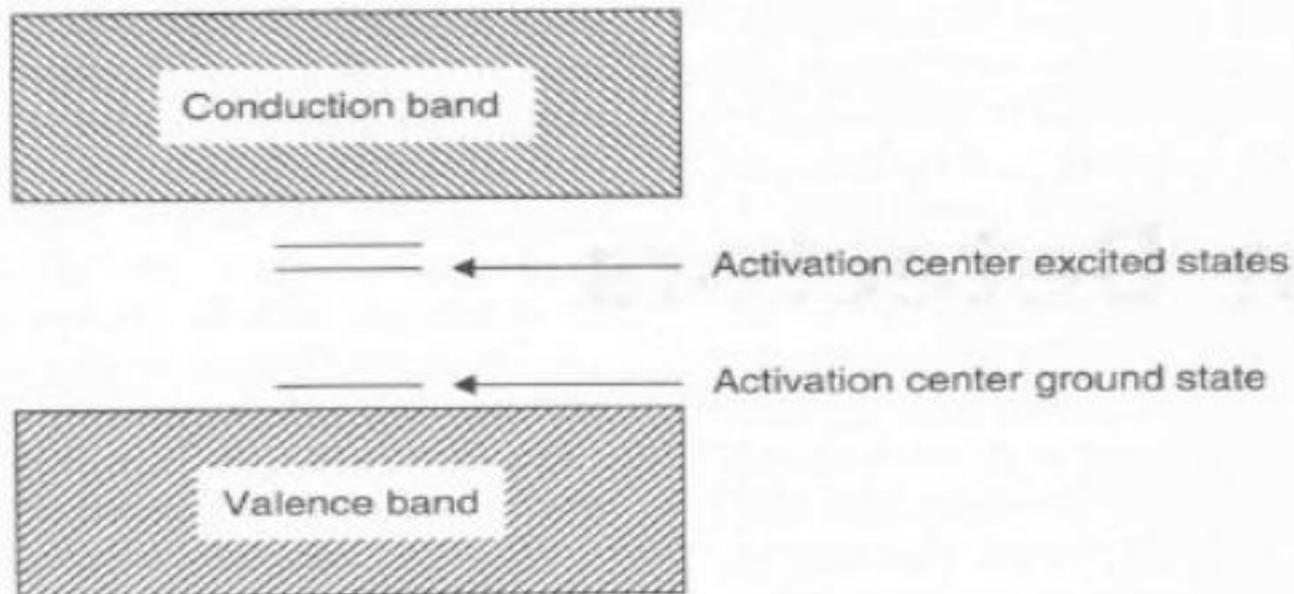


閃爍偵檢器-基本原理(1)

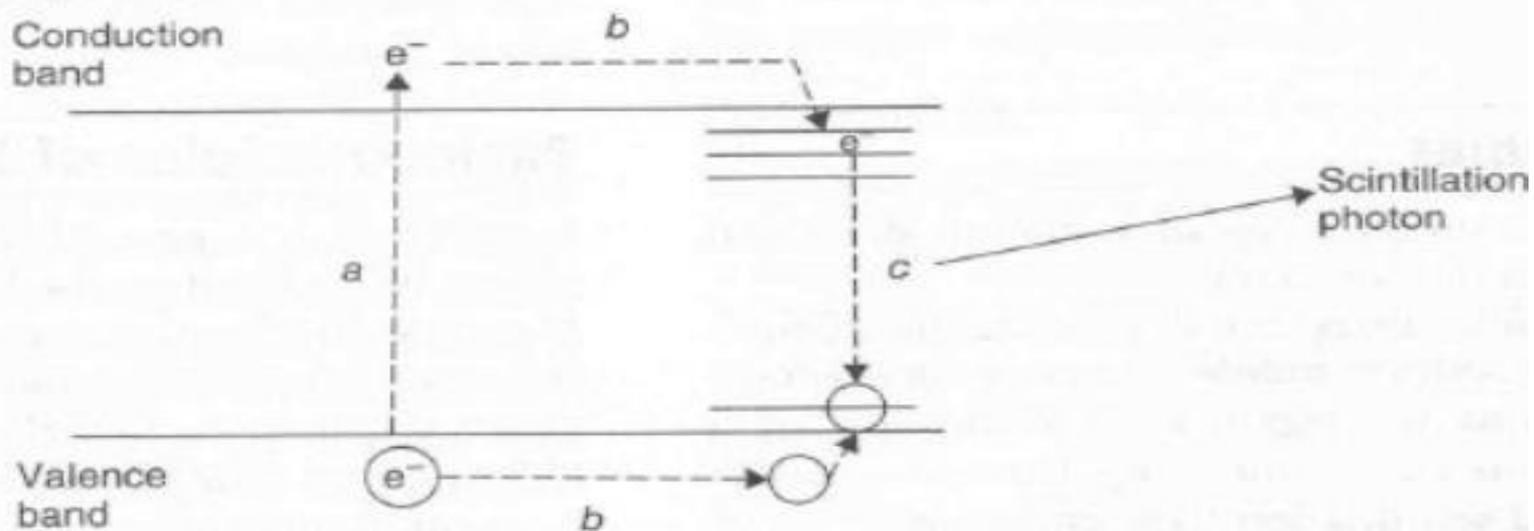
1. 碘化鈉（鉍）閃爍晶體（NaI(Tl)）

- 晶體：無機閃爍晶體（alkali halide）
 - 碘化鈉（鉍）晶體：摻雜比例約在0.1~0.5%
 - 活化能區：鉍不純物
 - 合適偵測能區：低能加馬輻射
 - 物理特性：透明狀晶體、易脆、易潮解（hygroscopic）
 - 高產光率：產光範圍325 ~ 550 nm
 - 消失時間（decay time）：230 ns
 - 閃爍光效率：~13%
 - 缺點：易潮解、低能量解析度
-

a) Delocalized bonding



b) Scintillation process



圖：碘化鈉（鉍）閃爍體晶體能帶示意圖

Table 8.3 Properties of Common Inorganic Scintillators

	Specific Gravity	Wavelength of Max. Emission	Refractive Index	Decay Time (μ s)	Abs. Light Yield in Photons/MeV	Relative Pulse Height Using Bialk. PM tube	Reference:
Alkali Halides							
NaI(Tl)	3.67	415	1.85	0.23	38 000	1.00	
CsI(Tl)	4.51	540	1.80	0.68 (64%), 3.34 (36%)	65 000	0.49	78, 90, 91
CsI(Na)	4.51	420	1.84	0.46, 4.18	39 000	1.10	92
Li(Eu)	4.08	470	1.96	1.4	11 000	0.23	
Other Slow Inorganics							
BGO	7.13	480	2.15	0.30	8200	0.13	
CdWO ₄	7.90	470	2.3	1.1 (40%), 14.5 (60%)	15 000	0.4	98-100
ZnS(Ag) (polycrystalline)	4.09	450	2.36	0.2		1.3 ^a	
CaF ₂ (Eu)	3.19	435	1.47	0.9	24 000	0.5	
Unactivated Fast Inorganics							
BaF ₂ (fast component)	4.89	220		0.0006	1400	na	107-109
BaF ₂ (slow component)	4.89	310	1.56	0.63	9500	0.2	107-109
CsI (fast component)	4.51	305		0.002 (35%), 0.02 (65%)	2000	0.05	113-115
CsI (slow component)	4.51	450	1.80	multiple, up to several μ s	varies	varies	114, 115
CeF ₃	6.16	310, 340	1.68	0.005, 0.027	4400	0.04 to 0.05	76, 116, 117
Cerium-Activated Fast Inorganics							
GSO	6.71	440	1.85	0.056 (90%), 0.4 (10%)	9000	0.2	119-121
YAP	5.37	370	1.95	0.027	18 000	0.45	78, 125
YAG	4.56	550	1.82	0.088 (72%), 0.302 (28%)	17 000	0.5	78, 127
LSO	7.4	420	1.82	0.047	25 000	0.75	130, 131
LuAP	8.4	365	1.94	0.017	17 000	0.3	134, 136, 13
Glass Scintillators							
Ce activated Li glass ^b	2.64	400	1.59	0.05 to 0.1	3500	0.09	77, 145
Tb activated glass ^b	3.03	550	1.5	~3000 to 5000	~50 000	na	145
For comparison, a typical organic (plastic) scintillator:							
NE102A	1.03	423	1.58	0.002	10 000	0.25	

^afor alpha particles

^bProperties vary with exact formulation. Also see Table 15.1.

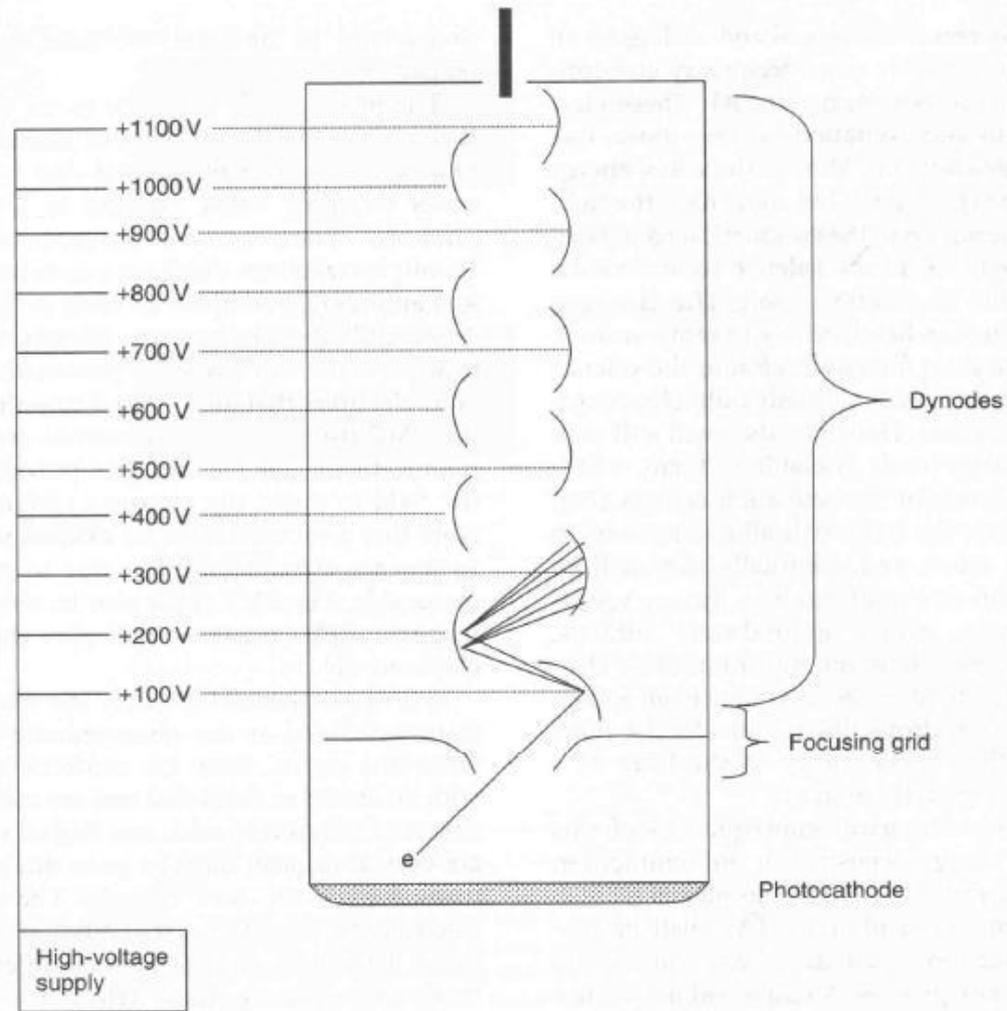
閃爍偵檢器-基本原理(2)

- ▶ 光電倍增管 (Photomultiplier tube; PMT)
 - ▶ 光陰極 (photocathode)
 - ▶ 光陰極材料：K₂CsSb、Na₂KSb；鹼金屬化合物、鈉-鉀-銻-銱)
 - ▶ 聚焦柵 (focusing grid)
 - ▶ 代鈉倍極 (dynodes)：通常一個PMT含9~12個代鈉倍極
 - ▶ 高壓系統：供應PMT工作使用

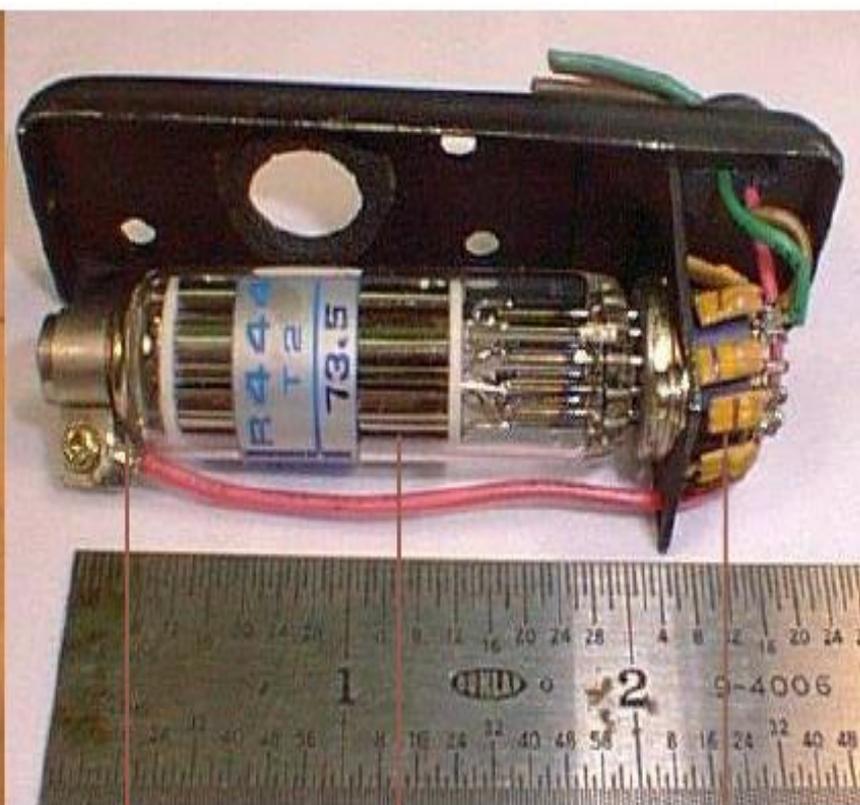
註：閃爍偵檢器系統裡的「高壓」非常重要，如果高壓有1%變化的話，將導致輸出脈衝大小10%的變化。



光電倍增管(photomultiplier tube; PMT)



光電倍增管 (PMT)



閃爍晶體

光電倍增管

信號輸出

□ 自動加馬計數儀(auto gamma counter)



圖：井型式的閃爍計數儀「自動加馬計數儀」系統

□ 貝他閃爍計數儀(beta counter)

- ▶ 液態閃爍計數儀(Beta-counter)，其檢體測試形式可為液體（有機溶劑閃爍介質）或固體（固態閃爍介質）檢體。
- ▶ 原理是利用閃爍介質吸收了放射性能量後會發射低能光子。再收集光子數量，而對檢體中特定物質作定量分析。



其他輻射防護器材



輻射防護器材





鉛眼鏡

0.5mm 鉛當量



鉛衣架

鉛屏風



性腺防護



鉛圍裙



生殖腺防護

生殖器官的理想保護選擇

各種尺寸兼適用

易穿脫設計

1.0mm 鉛當量

鉛手套

超彈性手套設計提供您舒適的手感

無縫表面可完全阻擋輻射

好穿易脫不卡手

偵測器輻射度量操作



輻射偵檢器

- ▶ 比較游離腔蓋革管與閃爍體偵測器特性：



輻射偵檢器選擇重點

▶ 準確度：

- ▶ 指儀器的讀數與真正的劑量率之比值（校正因子 = 劑量率 / 讀數）真正的劑量率由標準射源計算或由標準游離腔標定射源於某距離之劑量率，儀器讀數與真正劑量率越接近越佳。

▶ 再現性：

- ▶ 儀器對固定的輻射強度在相同的條件下，讀數之比較，讀數越接近越好
-



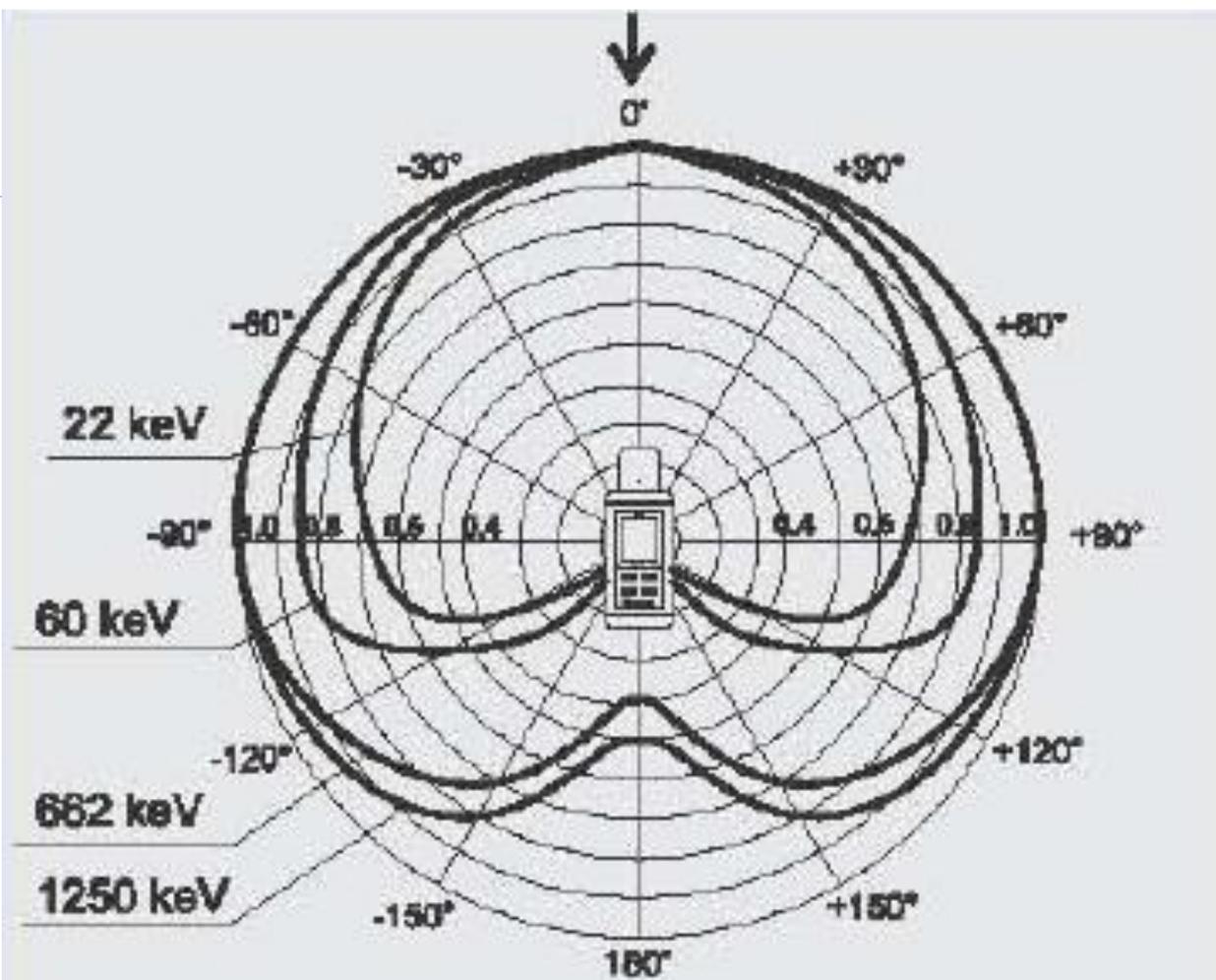
▶ 角度依存性：

▶ 偵檢器幾何形狀不同（非圓形），在不同角度上亦會產生儀器讀值之差異，因此，在偵測時須注意儀器度量位置，尤其有開窗偵檢器，如窗不能正對輻射源方向，讀數會明顯偏低。一般輻射儀器的角度依存性 $0^{\circ}-45^{\circ}$ 最好在 $\pm 20\%$ 內。

▶ 對非偵測輻射的反應：

▶ 有些偵檢器度量只針對某一種輻射，因此，對於不想度量的輻射最好沒有反應如偵測X or γ - ray最好對中子沒有反應，測中子的最好對光子不要有反應





**Normal dosimeter anisotropy
for horizontal plane**

實作：輻射度量步驟

依偵檢器操作手冊，開機後待穩定後再進行測量。

- ▶ 1. 執行偵測前應先檢查儀器功能是否完善、充電是否正常，校正日期是否合於規定。
 - ▶ 2. 檢查時偵檢器應盡可能接近材料表面，並以掃描方式全面偵測為佳。
 - ▶ 3. 偵測時在每個測量點停留時間，需依所使用儀器之反應時間而定，蓋格偵檢器10秒以上，碘化鈉偵檢器3秒以上。
 - ▶ 4. 完成一個材料量測後將平均值記錄於紀錄表內。
-
- 

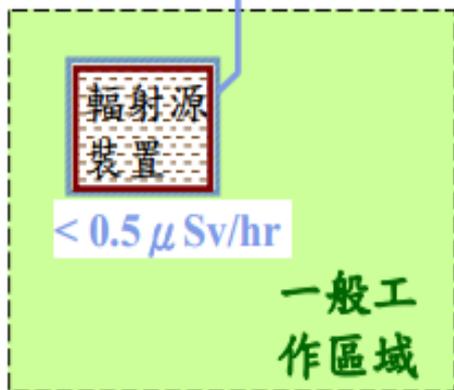
實作：注意事項

- ▶ 若測量時儀器顯示劑量偏高，則需停留在該點，觀察劑量變化情形，並以平均值為依據，判斷結果及處理方式。
 - ▶ 行李X光機法規規定值為表面5cm處應小於 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，但管制區外應小於 $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ，若X光機外即為管制區外，如可能造成人員輻射劑量，必要時應適時拉大管制區範圍。
-

案例1

輻射工作場所
管制區

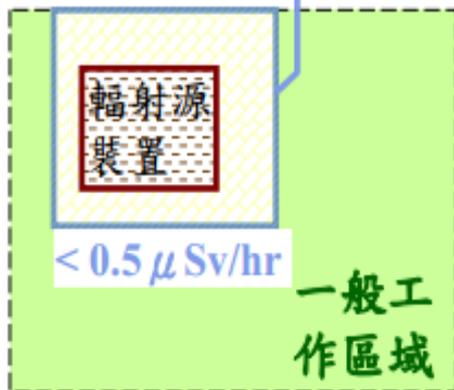
輻射工作場所
(管制區)



部份登記類裝置，如
ECD、XRF(不涉及維
修、拆移輻射源)

案例2

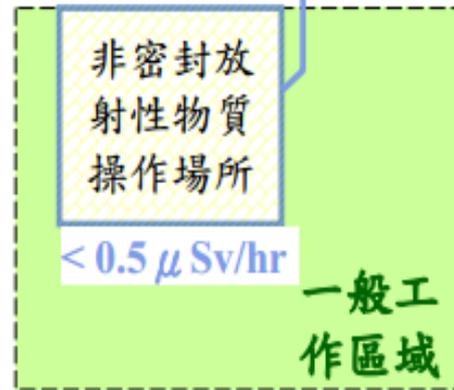
輻射工作場所
管制區 (圍籬、房間)



動物X光機、照射器...等

案例3

輻射工作場所
管制區 (圍籬、房間)

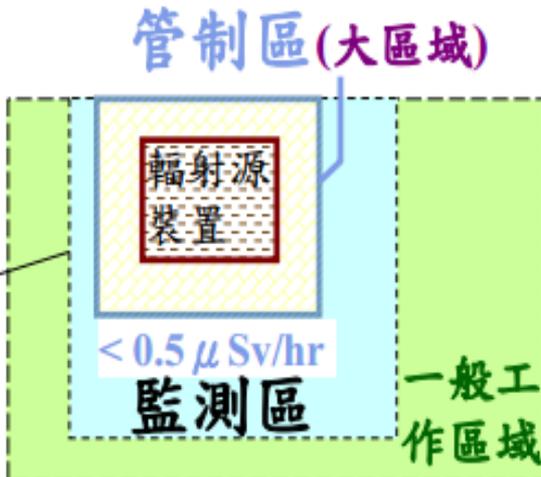


放射性同位素實驗室

案例4

輻射工
作場所
(管制區
+
監測區)

輻射工
作場所



問題與討論：

- ▶ 游離腔蓋革管與閃爍體偵測器偵測結果？
- ▶ 距離遠近對讀值影響？
- ▶ 屏蔽厚度對讀值影響？
- ▶ (+)測量不同角度對讀值影響？
- ▶ 其它

