

# 輻射偵測與分析

楓展貿易有限公司  
李文瑞



# 大綱

一、前言

二、輻射的偵測原則

三、輻射的偵測方法

四、輻射偵檢儀器

五、輻射偵檢器的選擇

六、輻射偵檢儀器及防護設備介紹



# 前言

由於放射性物質或可發生游離輻射設備可藉由接  
曝露或間接藉由呼吸系統消化系統與皮膚接觸等攝  
入途徑，對人體組織器官造成輻射傷害。

依游離輻射防護法與游離輻射安全標準規定，對  
可產生游離輻射設施與其作業場所及工作人員均應  
實施輻射偵測，已確保人員輻射安全，因此正確的  
輻射偵測，有助於落實輻射防護目的。

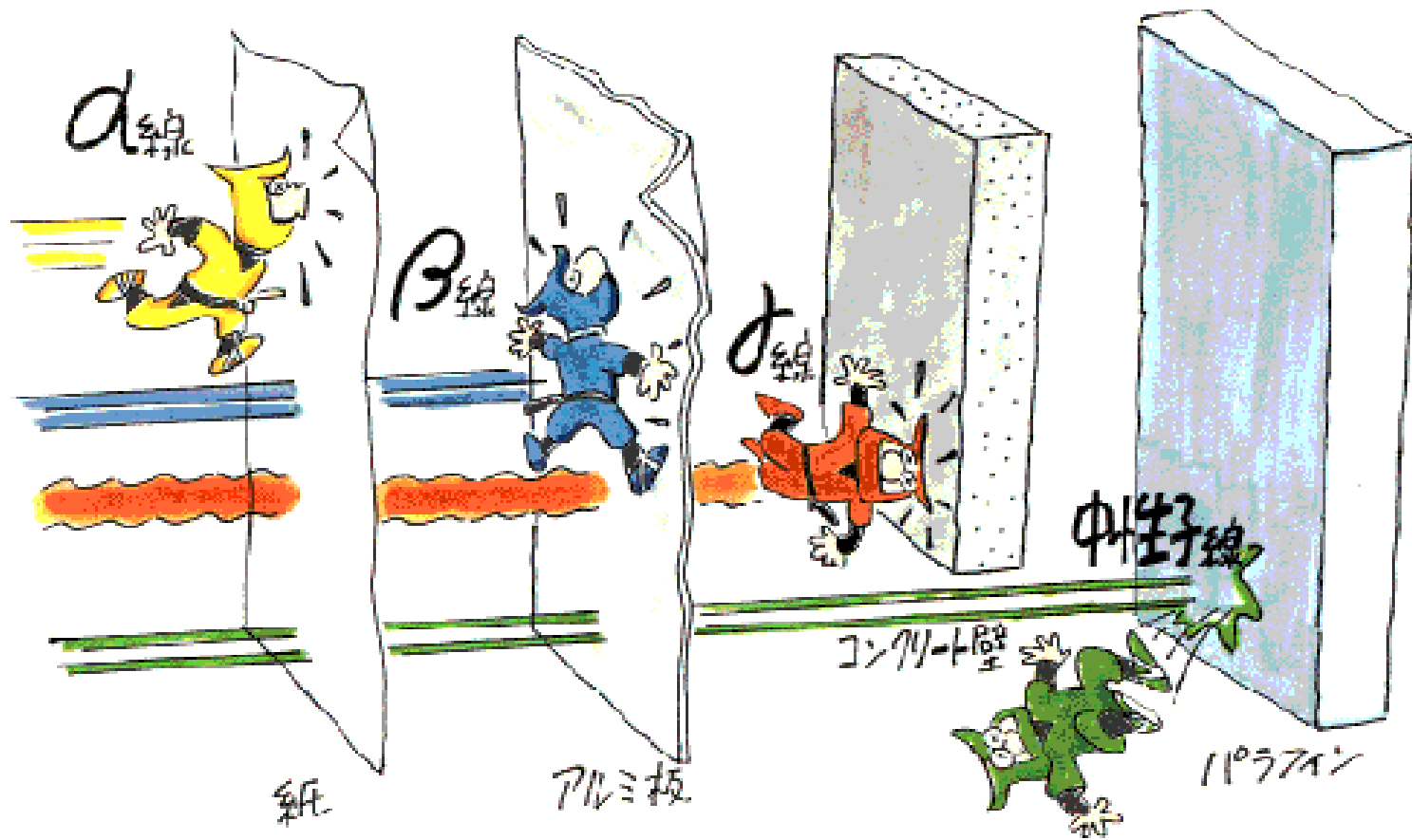
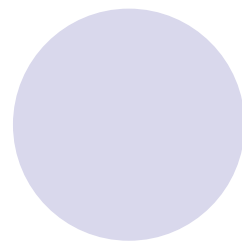
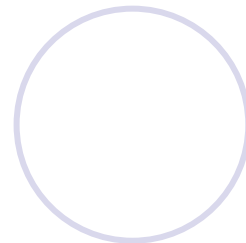
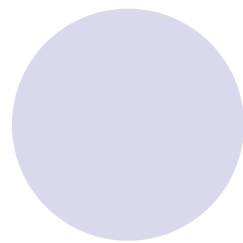
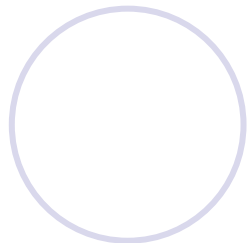
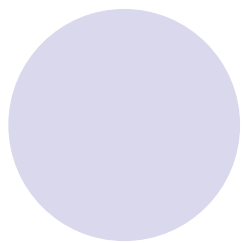
# 輻射與物質作用的機制

- 輻射與物質的原子外圍的電子相作用，傳遞能量給予電子，電子獲得能量後掙脫原子核的束縛，脫離原來的運轉軌道或能階，稱游離或激發作用。轉移給物質的能量最後以熱的形式散失。
- 直接游離  
粒子輻射（阿伐或貝他）直接與原子核外的電子撞擊，直接傳遞能量給予電子，使電子掙脫原子核的束縛而游離或激發。
- 間接游離  
光子和中子必須先與物質作用（光電效應，康普吞效應，成對發生效應），產生荷電粒子以後，再由此荷電粒子去產生游離作用。

# 輻射的偵測原則

必須考慮兩個主要因素：

- 輻射場的狀況
  1. 輻射種類
  2. 輻射強度
- 偵檢儀器的選擇
  1. 偵測種類
  2. 偵測範圍



# 輻射場的狀況

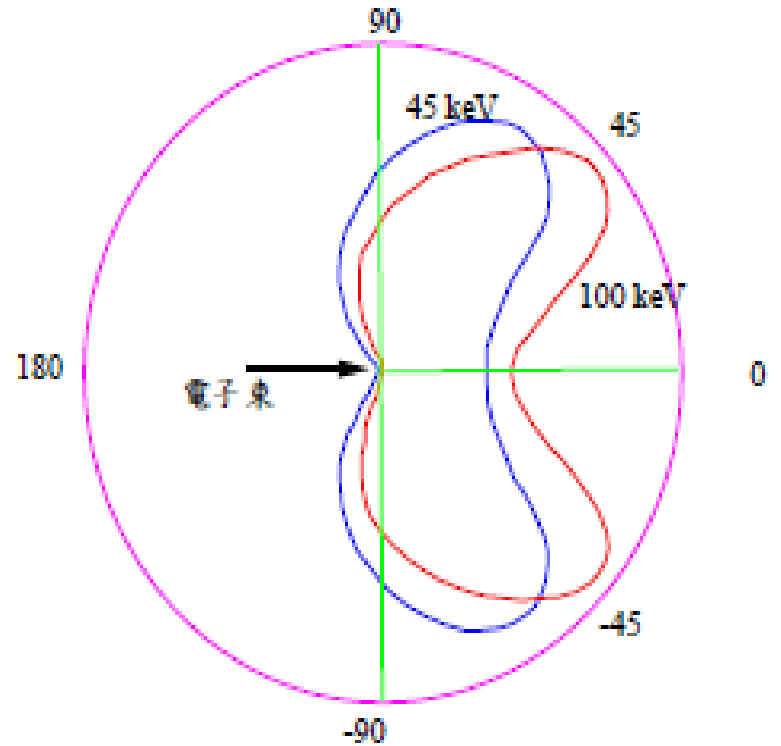
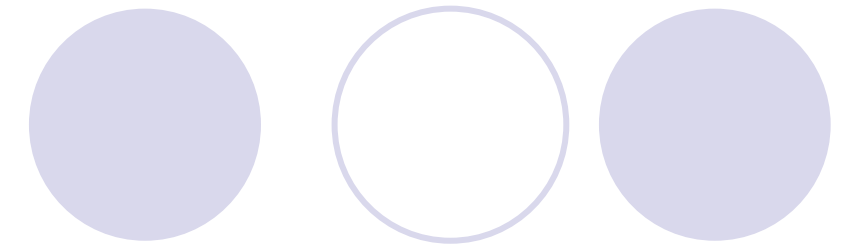
輻射的偵測，必須先瞭解輻射場的狀況，包括輻射源與環境因素才能選擇適當輻射偵檢儀器，執行輻射的偵檢。

輻射場的輻射來源：

- 放射性物質
  1. 密封射源
  2. 非密封射源
- 可發生游離輻射設備
  1. 光子
  2. 粒子

# 環境因素

- 屏蔽物質與結構會影響輻射場的空間分布





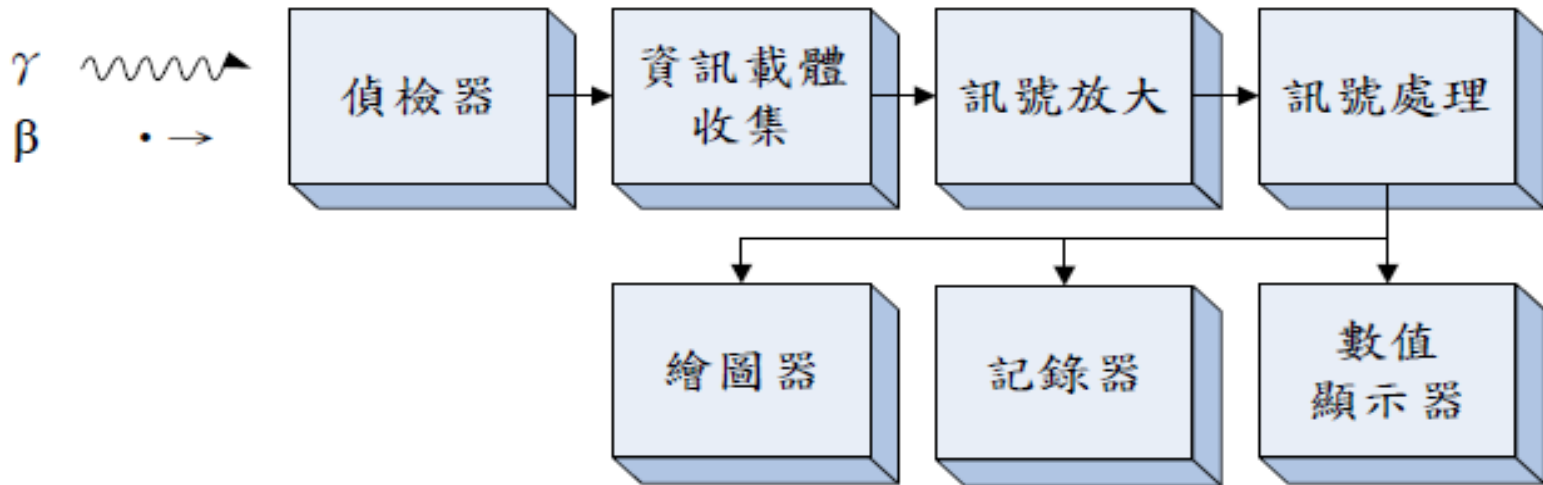
- 輻射場的空間分布
- 輻射場周圍屏蔽體對輻射的散射作用 使能量分布與輻射劑量率分布的均勻 度會發生變化。
- 此現象在狹小空間分布輻射場與靠進屏蔽體周圍處最常見。
- 屏蔽物質與結構
- 輻射與物質作用產生不同類別的二次輻射，例如貝他粒子與物質的作用會產生制動輻射（X射線）。
- 高能量光子與物質的（ $\gamma, n$ ）作用產生中子。
- 中子與物質的（ $n, \gamma$ ）作用產生加馬射線等。
- 以上會影響輻射場輻射類別。

# 輻射的偵測方法

- 輻射的偵測依輻射源的結構與形態，區分為：
- 直接偵測
- 係指不必藉助於其他輔助設施，直接利用偵檢器偵測輻射的強度並以劑量率或累積劑量的模式表示。
- 間接偵測
- 係指經藉助於各式各樣的取樣方法與不同的化學前處理等處理後所得的樣品，以適當計測系統計測所含放射性物質的活度，作為評估其對環境污染程度及攝入體內所造成的體內輻射劑量。

# 輻射偵檢儀器原理

- 輻射和偵檢器交互作用後會產生離子對、閃爍光或電子 電洞等現象，這些作用後的產物經過收集、放大及處理，最後由顯示器顯示出來，即為輻射偵測的基本機制。



# 輻射偵檢儀器

最普遍的輻射偵檢器分為三種：

## ➤ 充氣式偵檢器

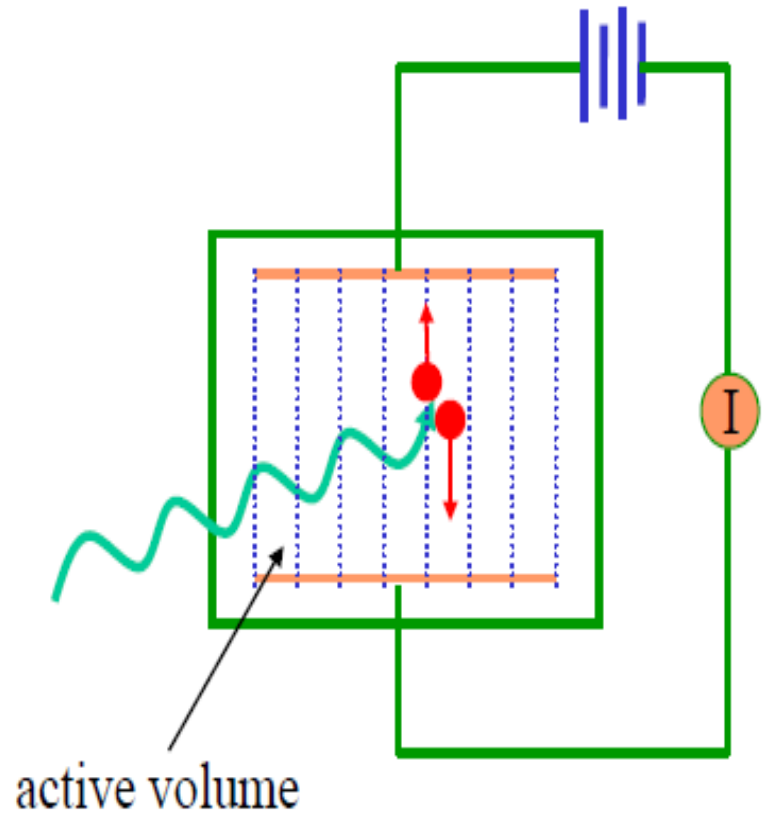
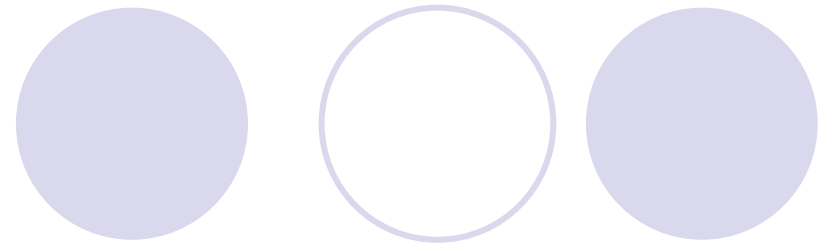
1. 游離腔
2. 比例計數器
3. 蓋革計數器

## ➤ 閃爍偵檢器

1. 有機閃爍體
2. 無機閃爍體

## ➤ 半導體偵檢器

1. 矽半導體
2. 鍺半導體



## 工作原理

- 當輻射通過充氣式偵檢器時，與內部氣體分子或偵檢器的壁材發生游離作用，生成電子與帶正電荷的離子，此電子和正電荷離子稱為離子對（ion pair）。由於偵檢器內有外加電場高壓，因此電子朝中央陽極絲移動，正電荷離子朝周圍的陰極壁移動，因而產生可測得的電子脈衝信號。
- 信號的強弱與發生的頻度代表輻射的能量和輻射的強度。
- 使氣體分子產生一離子對所需能量稱為平均游離能（W 值），此值依氣體種類而異。空氣的W值約為34eV。若有340keV的貝他射線，會使空氣產生約10k個離子對。

- 圖2為充氣式偵檢器的簡圖，密封的管中充滿特定氣體，
- 管中央之正電極為金屬細絲，通常連接高壓正電，並與
- 管壁絕緣，而管壁為負電極並接地。

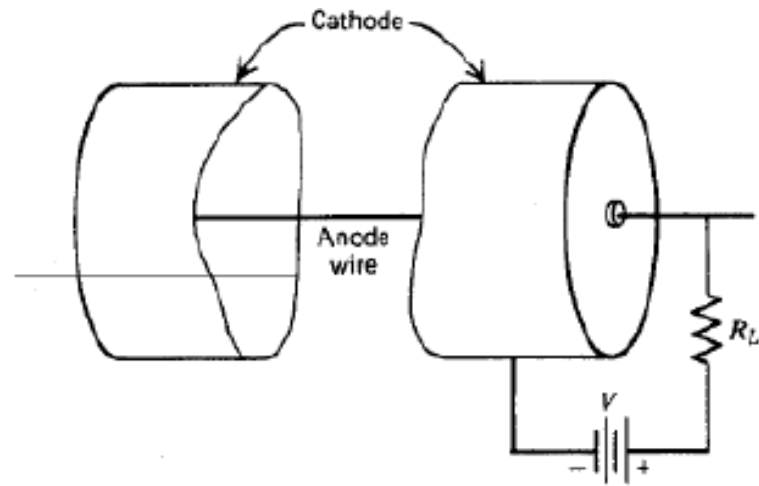


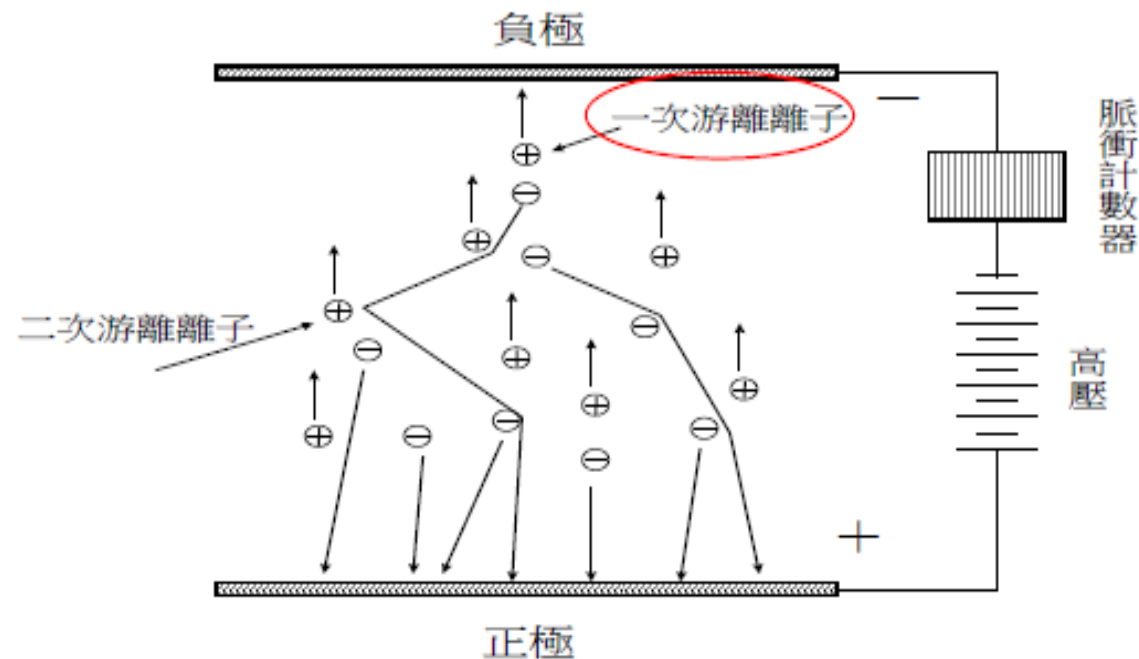
圖2 充氣式偵檢器的簡圖

- 一次游離

入射輻射與管內氣體或是管壁起作用，所產生的游離稱為一次游離。

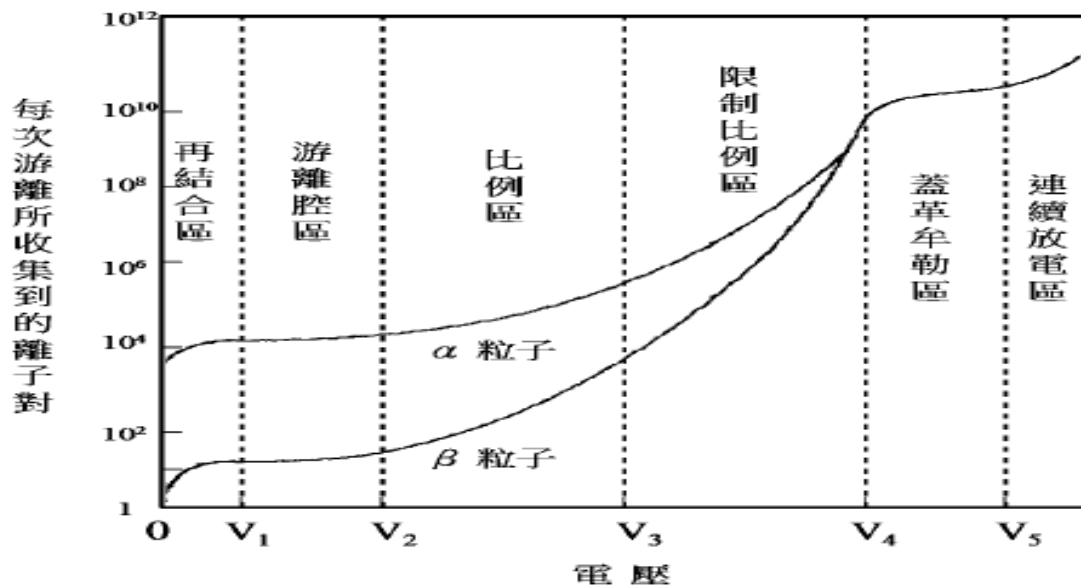
- 二次游離

如果所加的電壓夠高，一次游離所產生的電子獲得足夠的能量再產生更多的游離，此種游離稱為二次游離。



# 充氣式偵檢儀器之特性曲線

如果入射的輻射強度維持不變，每次游離所收集到的離子對數目（亦即測到的訊號大小）與所加電壓或電場強度的關係稱為充氣式偵檢器之特性曲線。





# 充氣式偵檢儀器之特性曲線

- 再結合區

當外加電壓不足時，部分由輻射產生的離子對會再結合而消失，因此產生的脈衝信號太小，使得這區域並沒有實際的應用價值。

- 飽合區

當外加電壓逐漸升高，電子和正離子再結合的機率減少，電壓增至適當值後，所產生的離子對全部被收集而呈現飽和的脈衝信號，此脈衝高度與游離的離子對數目有關，而與外加電壓大小無關，此區域稱為飽和區，為游離腔的工作區域。

# 充氣式偵檢儀器之特性曲線

- 比例區

- 當外加電壓繼續升高，一次游離的電子開始被加速，當其具有足夠的動能時會使其其他未游離的氣體亦因碰撞而產生二次游離，此現象稱為氣體增殖。此時離子對的數目會急劇增加，脈衝信號亦隨著升高。在此區域內，脈衝高度正比於一次游離離子對的數目。此區域稱為比例區，為比例計數器的工作區域。

# 充氣式偵檢儀器之特性曲線

- 限制比例區
- 若繼續升高電壓，則電場與電壓的關係將呈非線性。此現象為二次游離過程中，電子很快被收集到，而正離子卻緩慢的移向陰極，如果這些正離子的濃度很高，則空間電荷會嚴重影響偵檢器內電場的分布，而使外加電壓和電場的關係呈非線性。此區域中，脈衝高度仍隨初次游離的離子對增加而增加，但不呈線性關係，所以此區域不適合應用於輻射偵測。

# 充氣式偵檢儀器之特性曲線

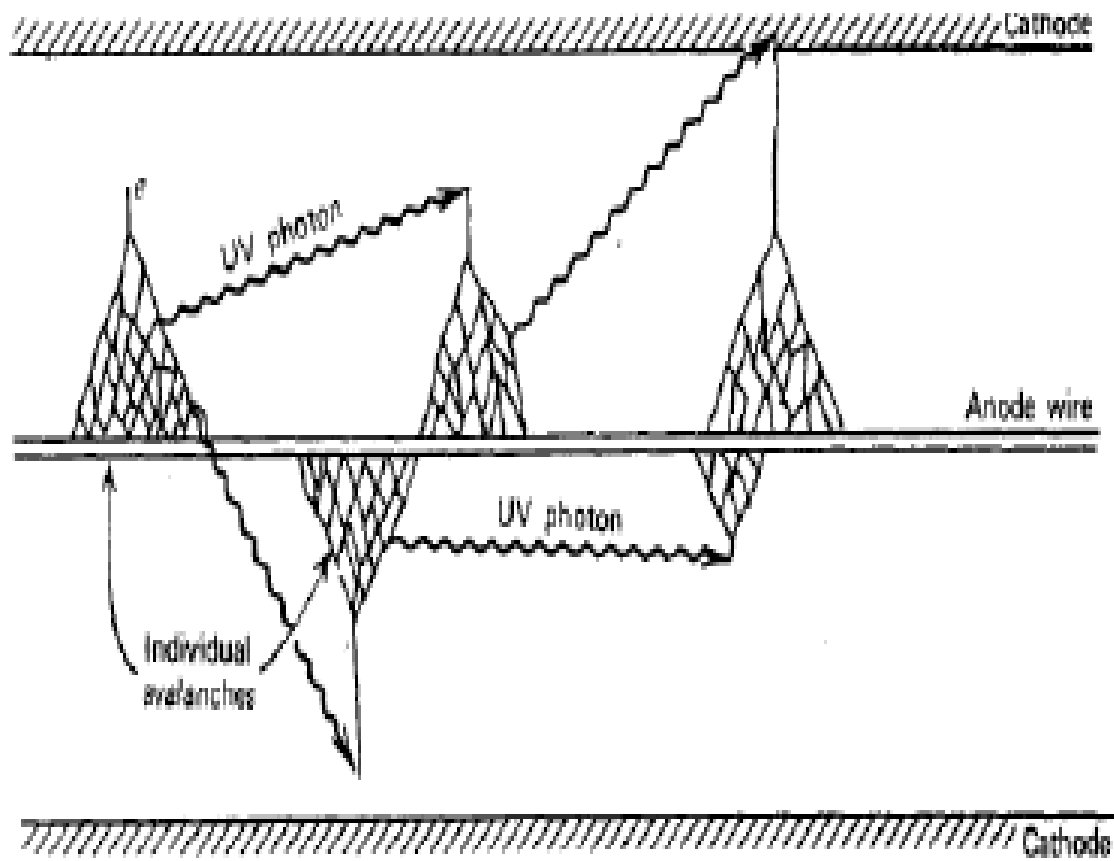
## ● 蓋革區

當外加電壓再升高，氣體游離的增值作用繼續加，直到產生足夠的正離子，使得電場降低直至氣體增值作用終止。此區域為蓋革區，為蓋革計數器的工作區域。

## ● 連續放電區

此區域由於工作電壓過高，縱使沒有輻射粒子入，也會自行產生游離並連續放電，所以此區域不適合應用於輻射偵測。

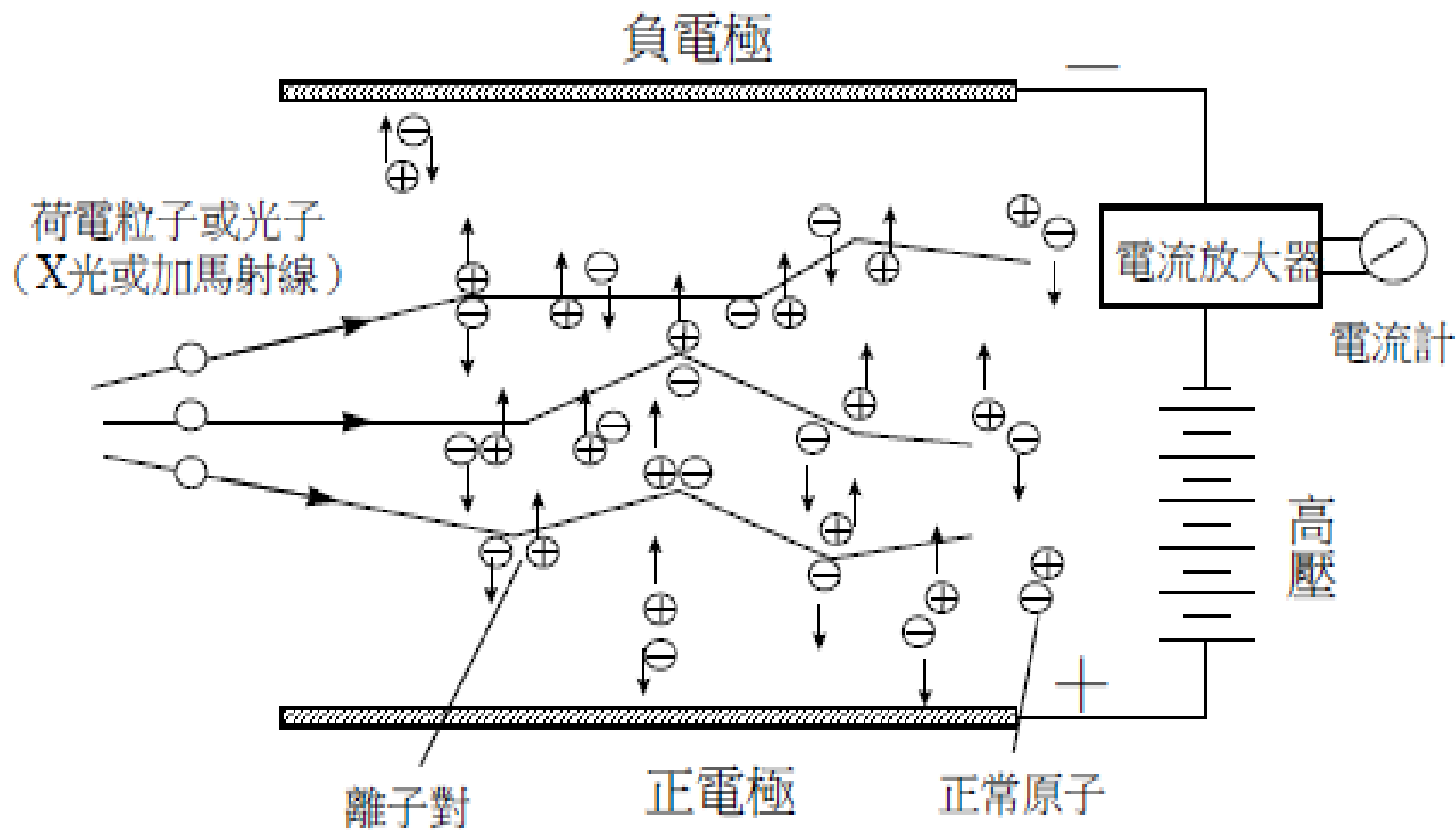
# 充氣式偵檢儀器之特性曲線



# 游離腔

- 輻射穿過薄窗進入游離腔，使腔內空氣游離，產生離子對，負離子被正電極的金屬絲吸收。游離腔的外形主要有圓球形及圓筒形兩種，填充的氣體通常為一大氣壓之空氣或氫氣。但有時為提高靈敏度，會充較大壓力的氣體，這種游離腔稱為高壓空氣游離腔。游離腔的優點為對於高劑量率的偵測很準確。缺點為靈敏度差，對低微劑量率不易測到。

# 游離腔

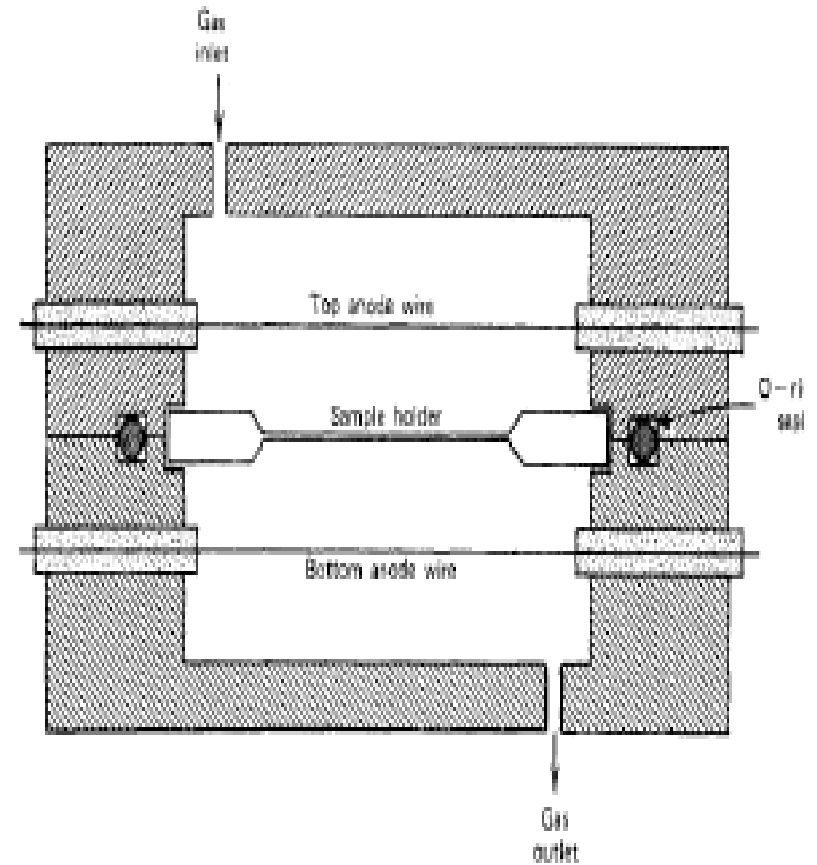
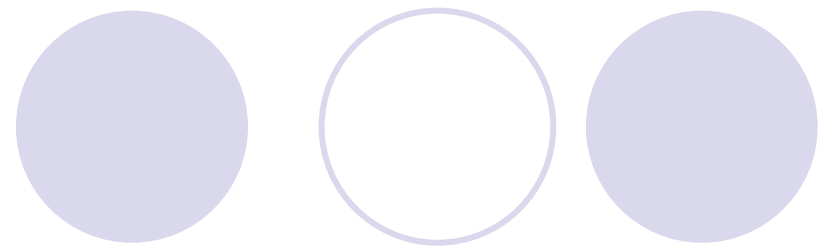
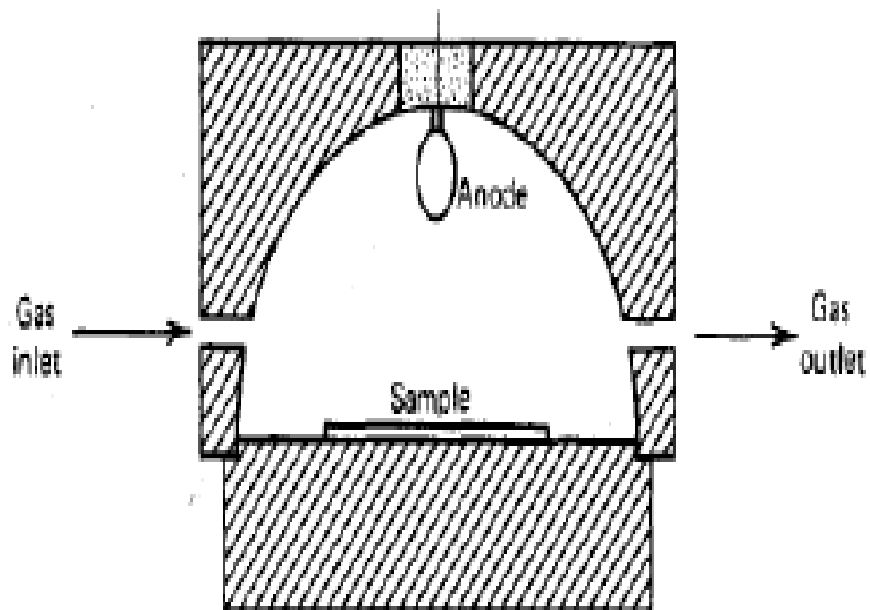


# 比例計數器

- 比例計數器外形多為圓筒形，管內充一種稱為P-10之氣體（內含90%氬氣及10%甲烷）。比例計數器幾乎總是以脈衝的型式操作，且利用比例區氣體增殖的特性，增加氣體中產生的二次離子對數目，因而在相同輻射強度下，比例計數器產生的脈衝高度比游離腔大得多。因此用來偵測低能量X射線能譜是比例計數器很重要的應用之一，此外經特殊設計的比例計數器可用來偵測中子。



# 比例計數器

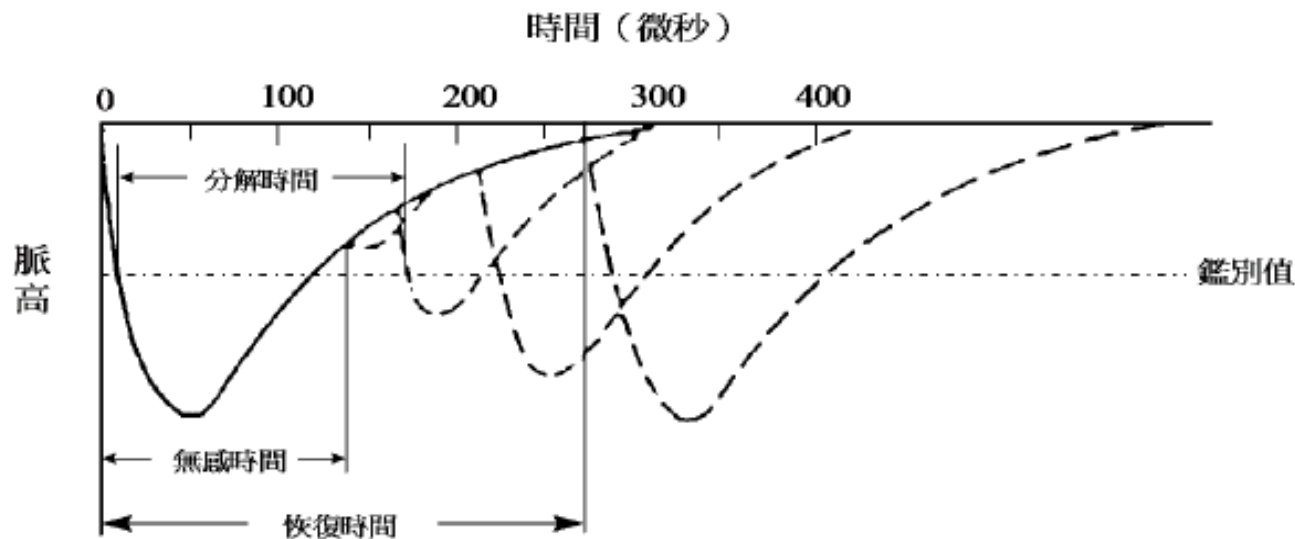


# 蓋革計數器

- 蓋革計數器又稱G-M計數器或蓋革管，蓋革計數器係於1928年由蓋革和牟勒兩人所設計，具有構造簡單、靈敏度高、價廉和易於操作等優點。蓋革計數器的構造亦為密封之金屬筒，以鍍石墨之管壁作為陰極，筒內充稀有氣體如氬、氫氣，通常壓力小於1大氣壓。
- 蓋革計數器的特點為，祇要有一個輻射粒子進入筒中，筒中的氣體即被全部游離，並產生一個很大的脈衝，且與入射粒子的種類及能量無關，故蓋革計數器無法辨別輻射種類與輻射能量。

# 蓋革計數器

- 蓋革計數器放電後，因有正空間電荷充斥在腔體陽極附近，產生電場的屏障作用（screen effect），電場隨即減低至增殖臨界點以下。假若在此期間，發生了另一次的游離事件，則無法觀察到第二次的脈衝，此時段稱為蓋革計數器的無感時間（dead time）。

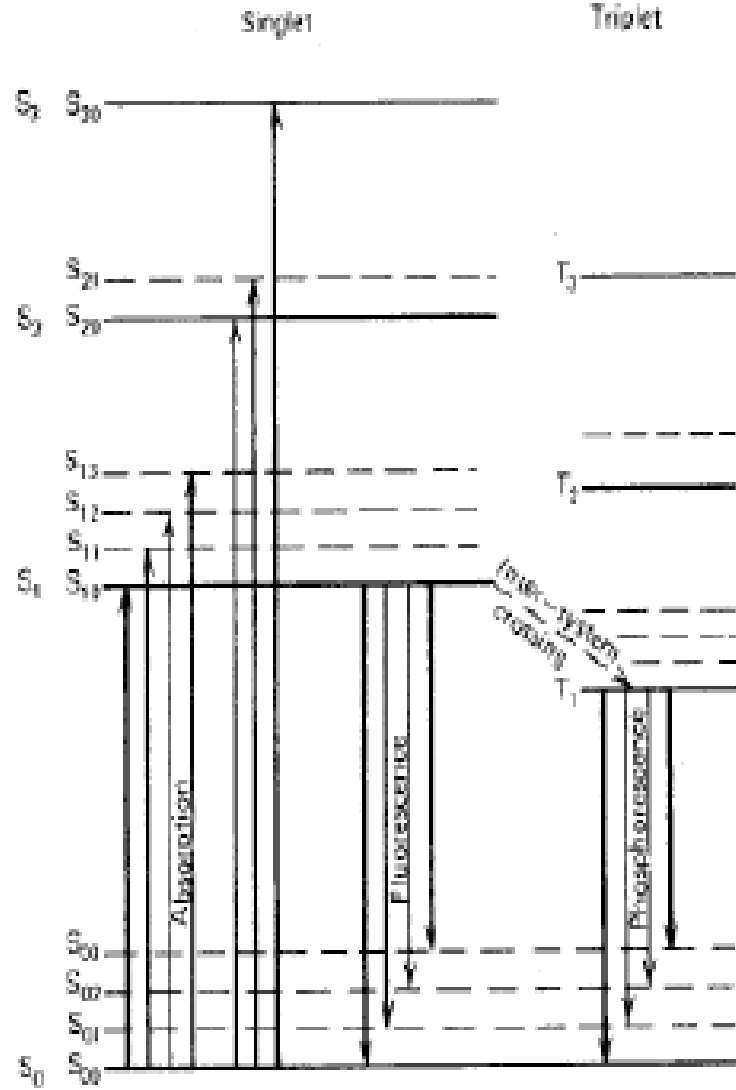
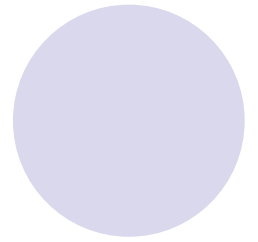
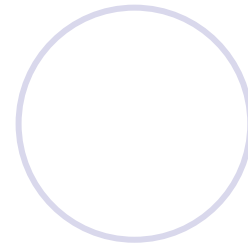
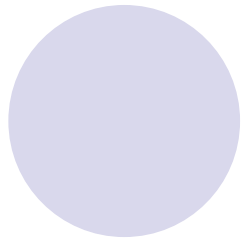


# 三種充氣式偵檢器特性比較

項目	游離腔	比例計數器	蓋革計數器
適用範圍	高劑量率	皆可	低劑量率
電壓	低	中	高
氣體	空氣、氫氣	P-10	氬或氫氣
氣體增殖	無	低	高
靈敏度	較差	高	高
準確度	高	高	較差
鑑別輻射種類	可(脈衝式)	可	否

# 閃爍偵檢儀器

- 某些物質吸收能量之後會放出可見光，此種物質稱為閃爍物質。它是利用游離輻射將晶體或分子中的電子激發至激態，而當電子回到基態時放出的螢光被收集後來作輻射偵測。
- 閃爍偵檢器所選用的閃爍物質，其特性為：
  - 將輻射能轉化為可見光的效率很高
  - 不會吸收轉化的可見光
  - 反應時間短
  - 對可見光的折射率與玻璃相近等



# 閃爍偵檢儀器

閃爍物質可分為有機與無機二種，簡要說明如下：

➤ 有機閃爍體：

● 液態有機閃爍體：適用於偵測阿伐、貝他輻射

● 塑膠式閃爍體：適於測貝他輻射。

➤ 無機閃爍體：

● 碘化鈉(鈹)  $\text{NaI(Tl)}$ ：碘化鈉閃爍體因密度大、原子序數高，對加馬及X光輻射有極高的靈敏度。

● 碘化鋰  $6\text{LiI(Eu)}$ ：適於於測量中子等。

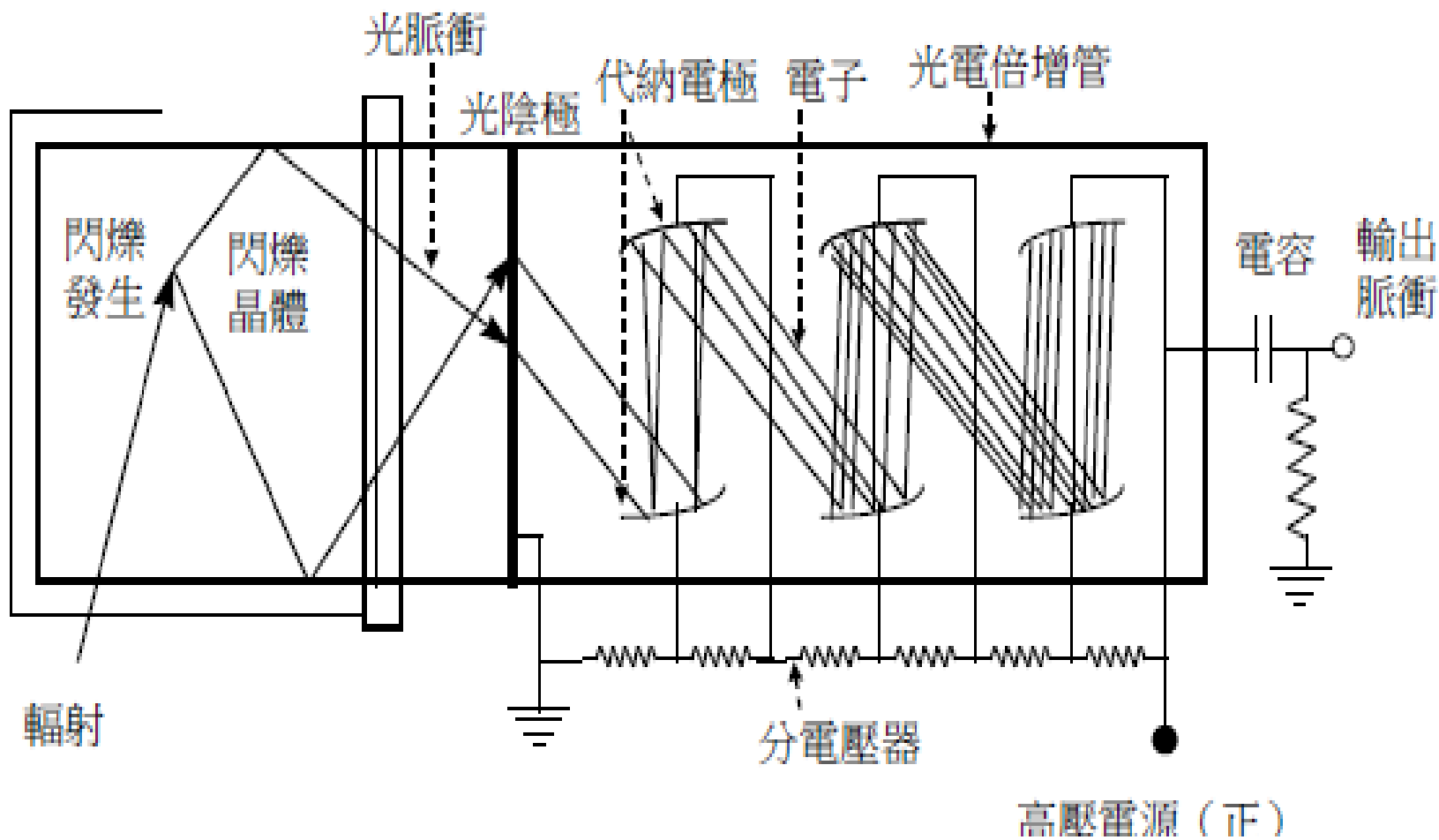
●  $\text{BGO}$ ， $\text{LSO}$ ， $\text{GSO}$ ：適用於正子電腦斷層儀中。

# 閃爍偵檢儀器

- 閃爍體與輻射作用後所發射的可見光，可利用光電倍增管將可見光轉化為電子，再倍增放大，通常電子倍增放大率可達 $10^7$ 至 $10^8$ 。
- 陽極輸出的電子數與入射輻射的能量成正比，因此閃爍偵檢器能度量輻射的能量。



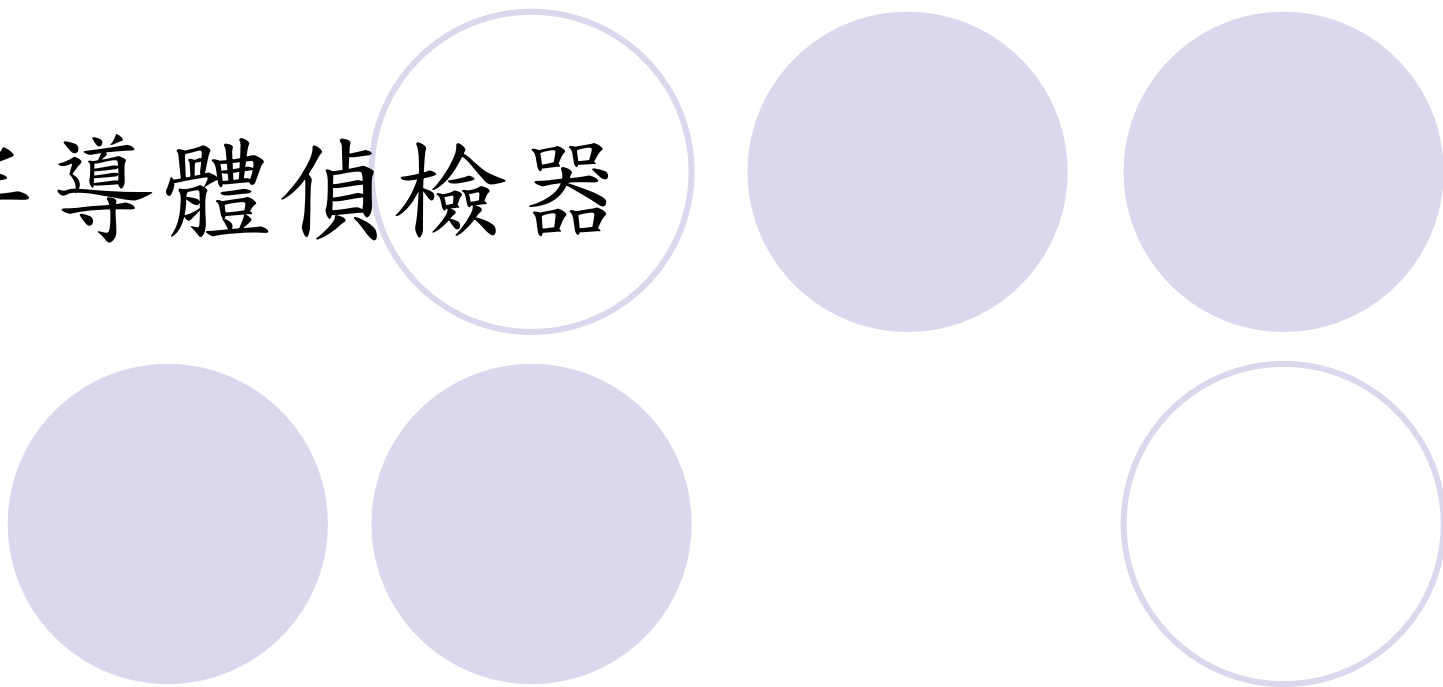
# 閃爍偵檢儀器



# 閃爍偵檢器總結

- 閃爍偵檢器偵測輻射的作用原理歸納如下：
- 閃爍體吸收輻射後，將電子激發至激態並陷入活化體能階上。
- 陷入活化體能階的電子回到基態，以螢光釋出過多的能量。
- 螢光打到光電倍增管的光陰極上，光子被吸收並放出電子。
- 電子向第一級次陽極加速而放大，產生4至6倍的二次電子。
- 次陽極的電壓後一級比前一級高，因此電子逐級被吸收而放大，產生極多的電子。
- 最後電極的輸出是電流脈衝，其強度正比於原始輻射的能量。

# 半導體偵檢器

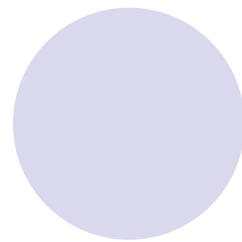
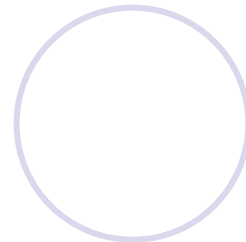
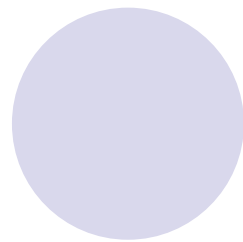
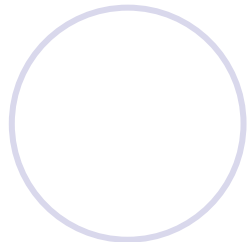
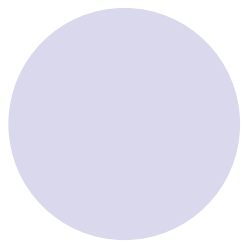


- 半導體偵檢器與充氣式偵檢器的原理相似，都是利用游離作用來偵測輻射，不同之處是它以鍺（Ge）及矽（Si）等半導體材料代替充氣式偵檢器的氣體。
- 游離輻射使半導體材料產生一個電子—電洞對所需消耗的能量很小，故比起充氣式偵檢器，相同能量的輻射會產生較多數目的電子—電洞對，因而可降低計數的統計誤差，進而提高鑑別輻射能量的解析能力。
- 在半導體內產生一對電子與電洞。若未外加電場，則電子和電洞很快會複合而消失。因此，需外加電場將二者分離，並為兩端電極所收集，再於外電路上加電阻而產生脈衝訊號。

# 半導體偵檢器



- 常用的半導體偵檢器與用途
- 擴散接合式偵檢器：加馬能譜分析。
- 矽面障偵檢器：阿伐能譜分析。
- 高純度緒偵檢器：加馬能譜分析。
- 複合半導體偵檢器：加馬能譜分析。



半導體材料	原子序	能階差 (eV)	產生一對電子—電洞所需能量 (eV)
Si	14	1.12	3.61
Ge	32	0.74	2.98
CdTe	48-52	1.47	4.43
HgI <sub>2</sub>	80-53	2.13	6.5

# 輻射偵檢器的選擇

## ▶ 輻射偵檢器固定於實驗室：

一般用於計測放射性物質的活度或能譜分析，構造較為複雜，且往往有許多附屬設備。

## ▶ 輻射偵檢器固定在一區域定點位置：

目的在於監測該區域輻射的強度。

## ▶ 輻射偵檢器製成移動式

以輕便的手提偵檢器使用最為廣泛。

# 輻射偵檢器的選擇

- ▶ 輻射偵檢器的選擇必須考慮：
  - 偵檢器的物質與結構對不同輻射類別的偵檢能力、輻射能量與射束角度的依持性反應及劑量率的線性反應範圍。
  - 輻射場的輻射類別、能量分布與輻射強度（或劑量率）分布，以及環境溫度、相對濕度大氣壓與電磁場的變化。
  - 偵檢儀器對輻射場環境變動因素的抵抗干擾能力。
- ▶ 如何選擇適用的手提式偵檢器：
  - 依據所要偵測的輻射種類（ $\alpha$ 、 $\beta$ 、X光或 $\gamma$ 射線），選擇適當的偵檢器。
  - 決定儀器的監測能量範圍、偵測低限與劑量率範圍。
  - 理想的靈敏度、準確度和穩定度（再現性）。
  - 有聲、光警報功能，有助於發現異常輻射。



# 手提式偵檢器

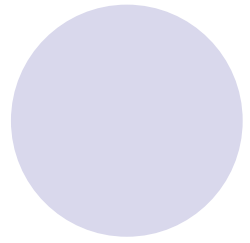
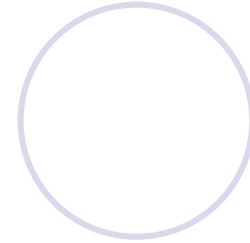
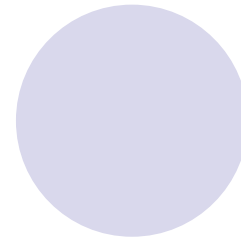
## 使用手提式偵檢器的注意事項

- 偵測器應存放於乾燥處，使用時避免受潮以防止失靈。
- 避免敲擊偵測器，勿使變形或撞擊掉落地上。
- 按照說明書使用正確的電池，經常核對電池的電壓。
- 量測時先使用最大刻度（例如 $\times 100$ ），如指針不動再轉到較小刻度例如 $\times 10$ ， $\times 1$ ）。
- 使用無感時間較長的偵測器（如蓋革計數器）時，要注意是否因輻射場太強，偵檢器的指針反而不動而沒有反應。
- 應經常操作零點偏離校正，確保偵測的準確性。
- 使用完畢應把開關關閉(OFF)，如此可避免消耗電池及縮短儀器壽命。
- 定期送往合格機構校正。

# 輻射偵檢儀器及防護設備介紹

- 針對不同輻射與偵測目的，有許多種常用的偵檢儀器，包括人員劑量佩章、個人輻射示警器、手提輻射偵檢器、污染偵檢器、環境監測器等，都是為了偵測輻射，達成輻射安全的目的而設計。

# 人員劑量佩章



# 個人輻射示警器

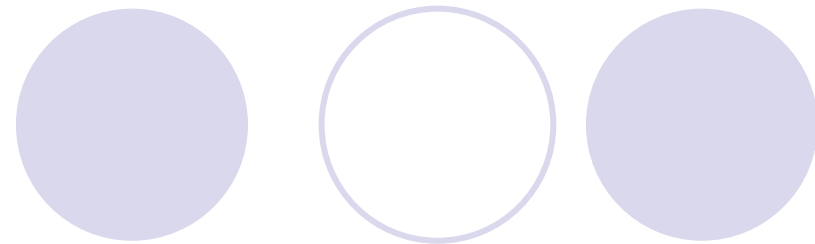


警報劑量計



劑量筆

# 手提輻射偵檢器



長桿式偵檢器



手提輻射偵檢器

# 汚染偵檢器



地板汚染偵檢器



表面汚染偵檢器

# 區域監測器



# 手、足、全身污染偵檢器



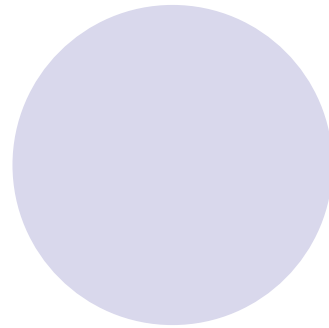
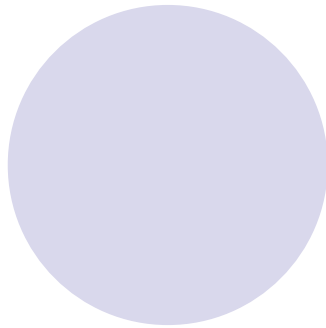
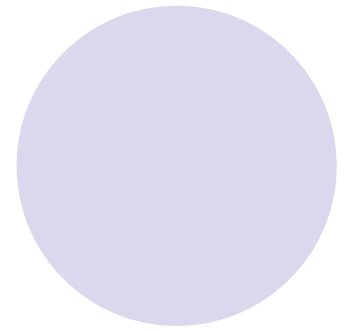
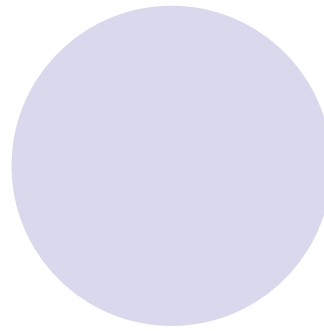
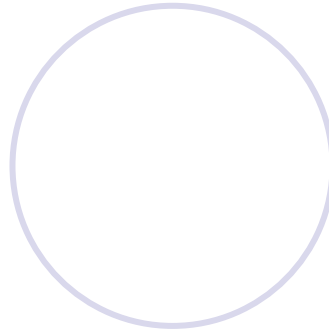
手足偵檢器



全身污染偵檢器



謝謝聆聽



參考：

吳杰 中臺科技大學 放射技術系

