

國立東華大學
109學年度「輻射安全防護」教育訓練

**游離輻射之
應用與安全防護**

國立東華大學
109學年度「輻射安全防護」教育訓練

蔡長書

慈濟科技大學
醫學影像暨放射科學系/放射醫學科學研究所
中華民國109年10月30日

01

法櫃奇兵顯身手 -
輻射在醫學、農業、
工業、環保、科學
等方面之應用

adiation



內容綱要

- 1-1 前言
- 1-2 輻射在醫學、農業、工業、環保、科技等方面之應用
 - 1-2-1 醫療應用
 - 1-2-2 農業應用
 - 1-2-3 工業應用
 - 1-2-4 環保應用
 - 1-2-5 科技其他應用
- 1-3 結語



1-1 前言



- 輻射與我們息息相關，很多時我們不知不覺間已經享用到輻射應用所帶來的好處。無論在醫療、工業、農業、科技、環保、發電等方面，輻射應用多不勝數。只要運用得宜，做好輻射安全防護，輻射可以促進社會科技發展，更可造福人類健康福祇。



1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用

- 輻射在醫療上的用途早為人所熟識，它可以協助醫生診斷及治療多種疾病，亦可用在醫學研究。
- 在診斷方面，如X射線可用來判斷身體器官和組織的異常變化或疾病。另外如運用現時先進的造影技術及電腦科技，只要我們將放射性同位素注入或進食入病人體內，就可以產生立體或動態的影像，從而研究病人的情況。





1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

治療

■ X光

- 直線加速器
- 電腦斷層治療儀
- X光刀
- 電腦刀
- 模擬定位
- 3D電腦斷層定位儀

■ 加馬射線

- 加馬刀 / 鈷-六十
- 遙控後荷治療

■ 阿伐及貝他射線(核子醫學)

- 鐳-223攝護腺癌末期骨轉移
- 碘-131治療
- 銻-89骨癌姑息性治療

■ 質子治療/ 重粒子治療

診斷

■ X光

- 一般X光機
- 心導管攝影(c-arm類)
- 乳房攝影(Mammography)
- 牙科X光機(Dental)
- 電腦斷層掃描儀(x-CT)
- 骨質密度檢查(BMD)
- 泌尿科碎石機
- 透視攝影檢查

■ 加馬射線(核子醫學)

- 骨骼掃描
- 正子攝影
- 心臟攝影
- 腦中樞神經



1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

一般醫用X光機

- 最高能量：150keV
- 最高管電流：600mA
- 功能：醫學影像診斷

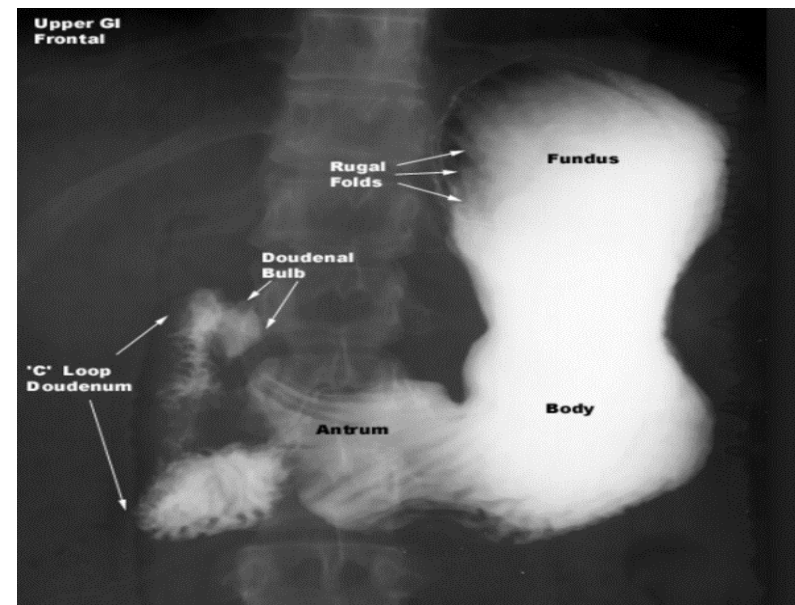
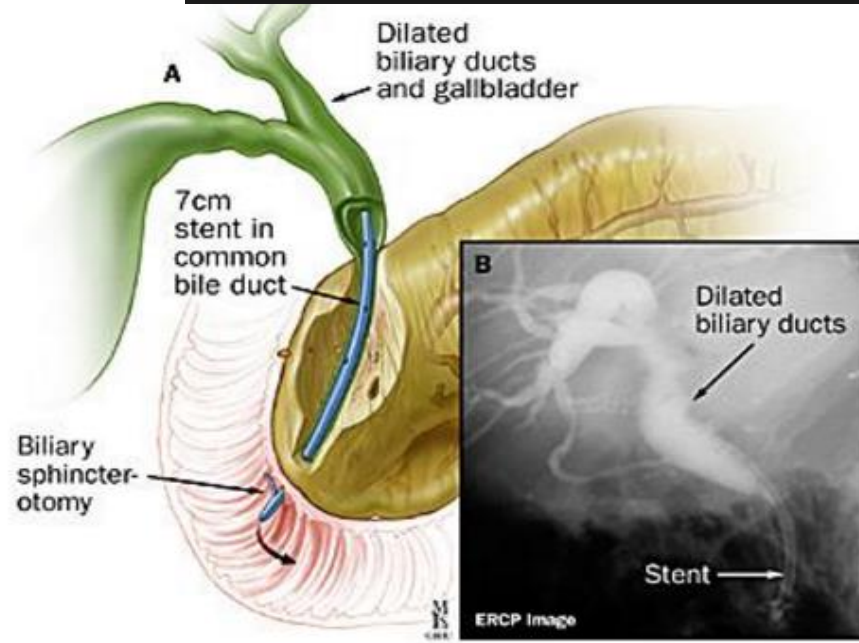




1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

一般透視

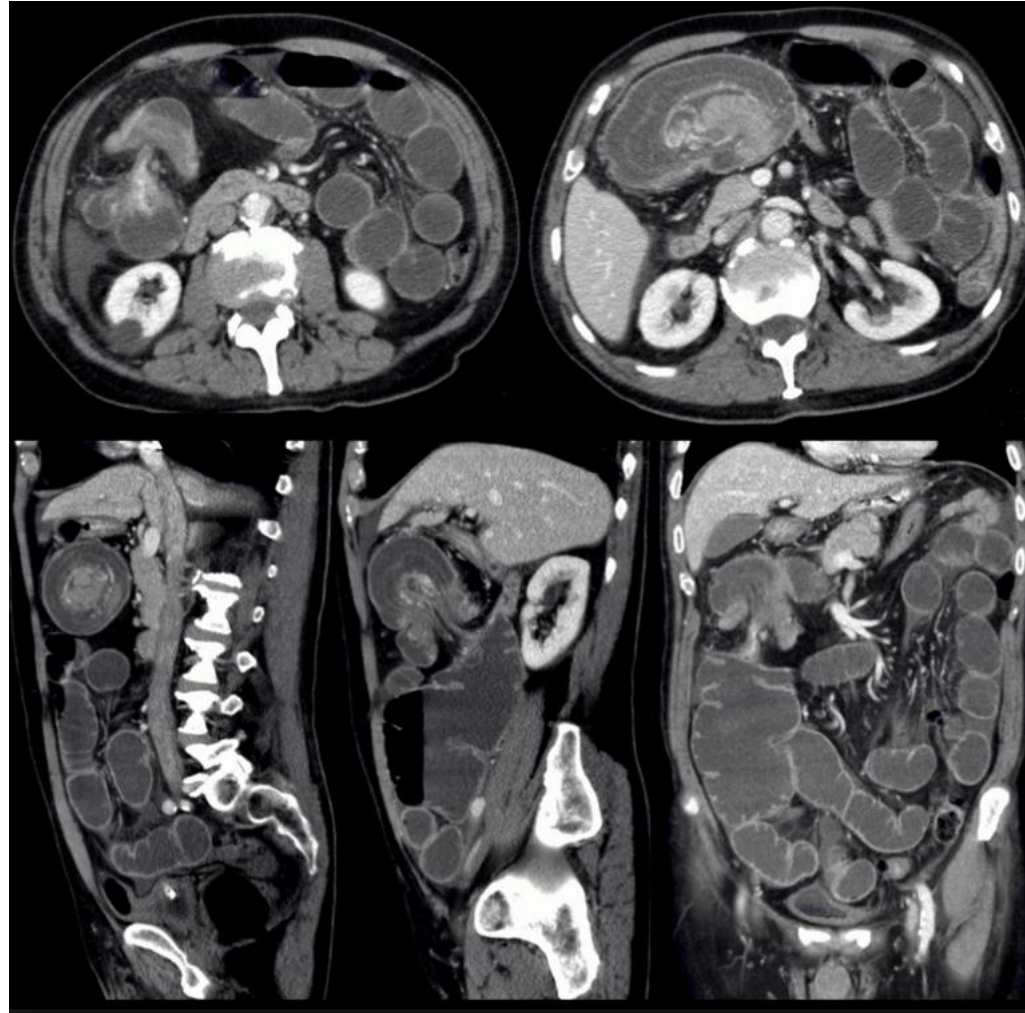
X光機





1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

3D電腦斷層掃描儀(CT)



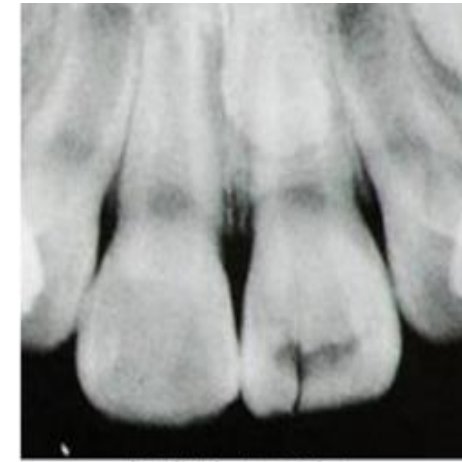


1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

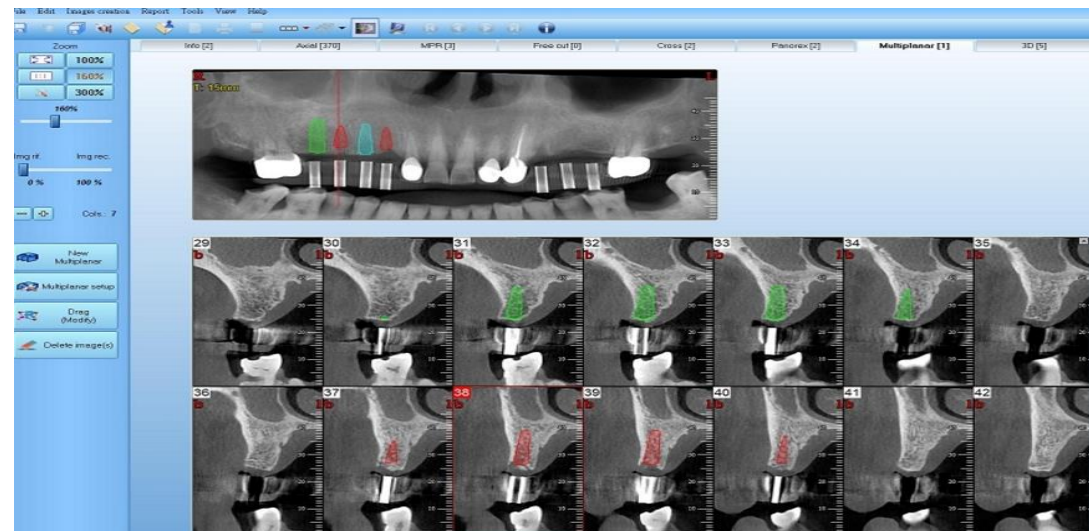
一般牙科X光機



全景片 (大片)



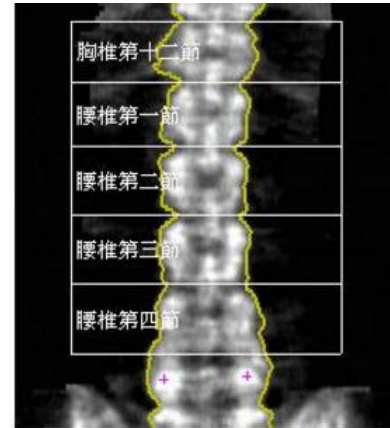
根尖片 (小片)



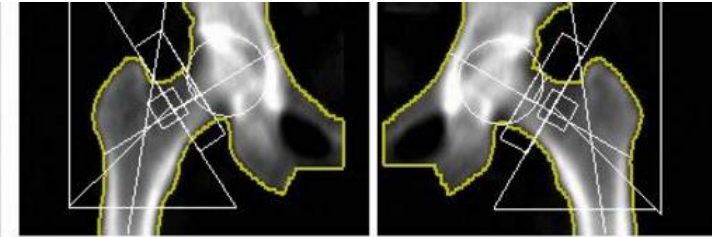
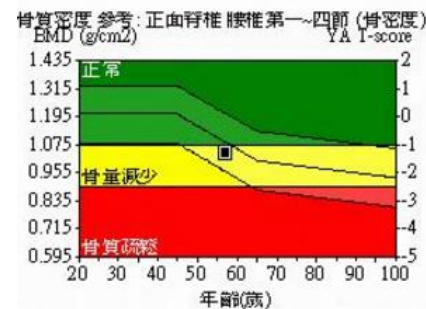


1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

骨質密度檢查儀 (BMD)



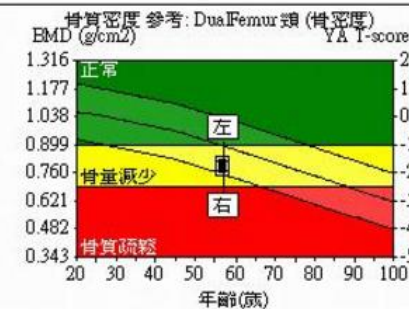
影像不用作診斷



影像不用作診斷

不能提供HAI的圖表結果

(右側= 100.6 mm) (左側= 102.8 mm)

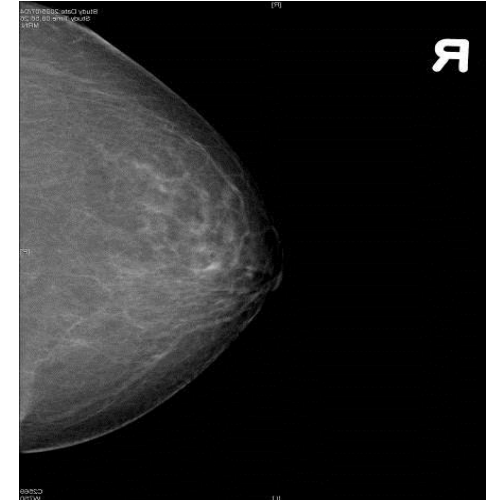


區域	骨密度 ¹ (g/cm ²)	年輕的成年人 ^{2,7} T-score	與同年齡正常人群 ³ Z-score	世界衛生組織分類 ¹¹
正面脊椎 腰椎第一~四節	1.089	-1.3	-0.4	骨量減少
DualFemur 頸				
左	0.801	-1.7	-0.7	骨量減少
右	0.780	-1.9	-0.8	骨量減少
均值	0.790	-1.8	-0.7	骨量減少
差別	0.021	0.2	0.2	-



1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

乳房攝影(mammography)





1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

乳房攝影 (mammography)

- 最高能量：40keV
- 最高管電流：56mA
- 功能：醫學影像診斷



放射治療方面

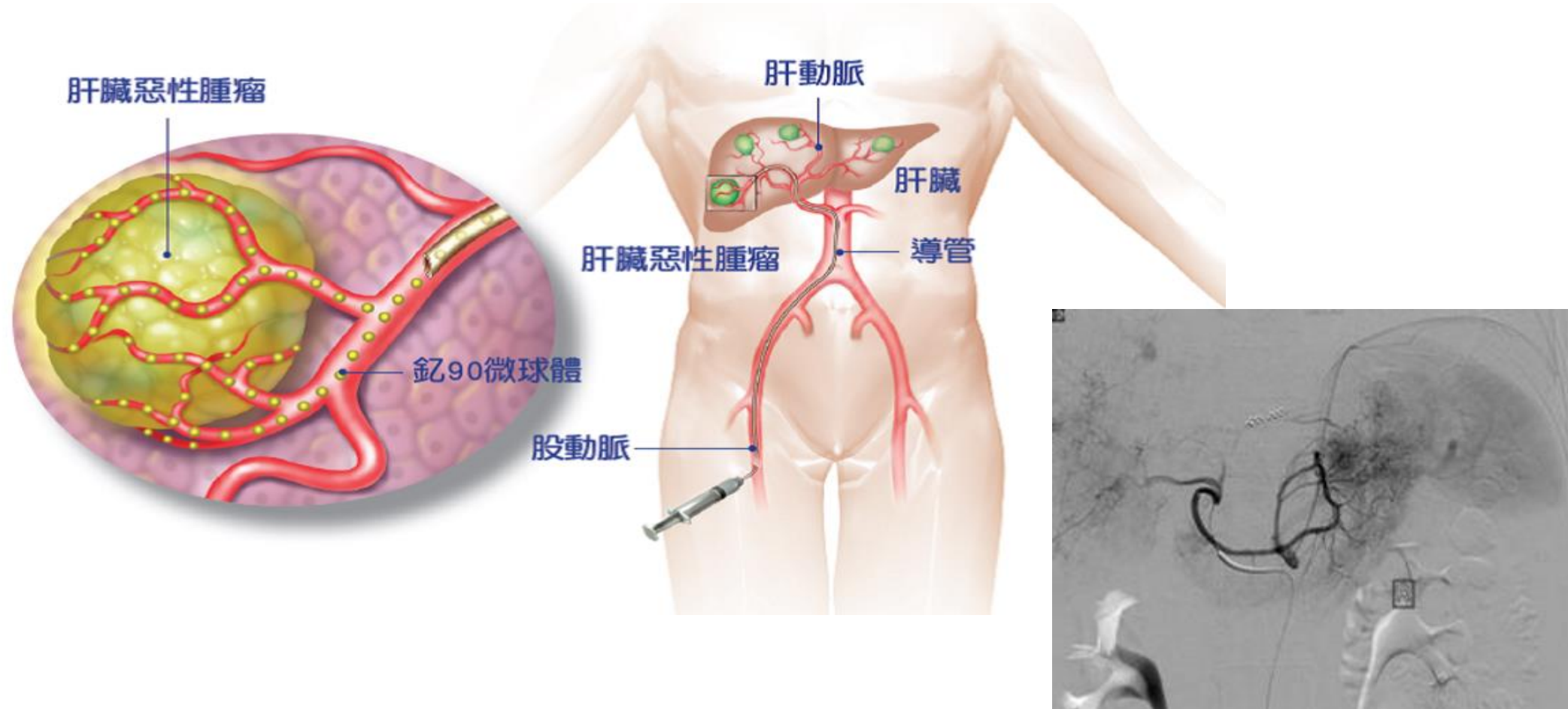
- 放射性同位素碘-131用於醫治甲狀腺癌等，在治療某幾種癌症時，亦會利用鈷-60所放出的 γ 射線或高能量的X射線，射入人體內，將癌細胞殺死。直線加速器，放射治療能有效抑制腫瘤生長，甚至能將癌症根治。





1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

核醫放射性同位素治療





1-2-1 輻射在醫學之應用 - 醫療應用(續)

包裝封密消毒

- 今日很多醫療用品都利用鈷-60所放出的 γ 射線進行消毒。這種消毒程序比用蒸氣消毒更有效及便宜。例如，用完即棄的針筒、棉花、手術用品就是很好的例子。由於不需經過高溫處理，很多會被高溫破壞的物料，例如塑膠等，都可以使用放射程序消毒。加上 γ 射線有強穿透能力，物件可以在包裝封密後才進行消毒，確保物件在解封前不會受到細菌污染。
- 2001年十月期間，在美國發現了炭疽菌郵件後，美國政府亦是利用高劑量X射線為可疑的郵件消毒，以免炭疽菌在美國引起恐慌，其消毒的原理亦是一樣。



1-2-2 輻射之應用 - 農業應用

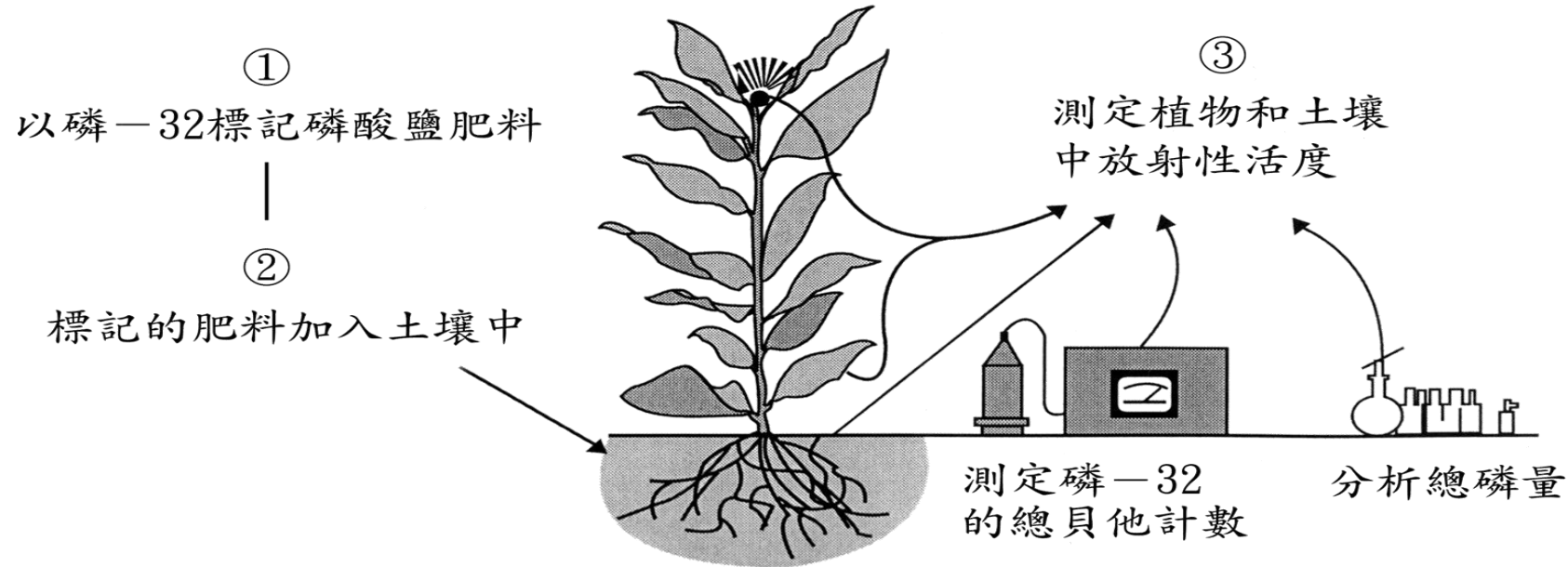
放射性同位素技術應用於有關**農業**上的改良為三大部分：

- 第一部分為**植物的生理機能**。
- 第二部分為**動物的飼育農務**。
- 第三部分為利用同位素釋出之加馬射線或其他輻射線源，
如電子束或X-射線等作**食品或農作物輻射照射**。



1-2-2 輻射之應用 - 農業應用(續)

利用放射性磷 - ^{32}P 標記磷酸肥料被植物攝取 及吸收效率之研究。



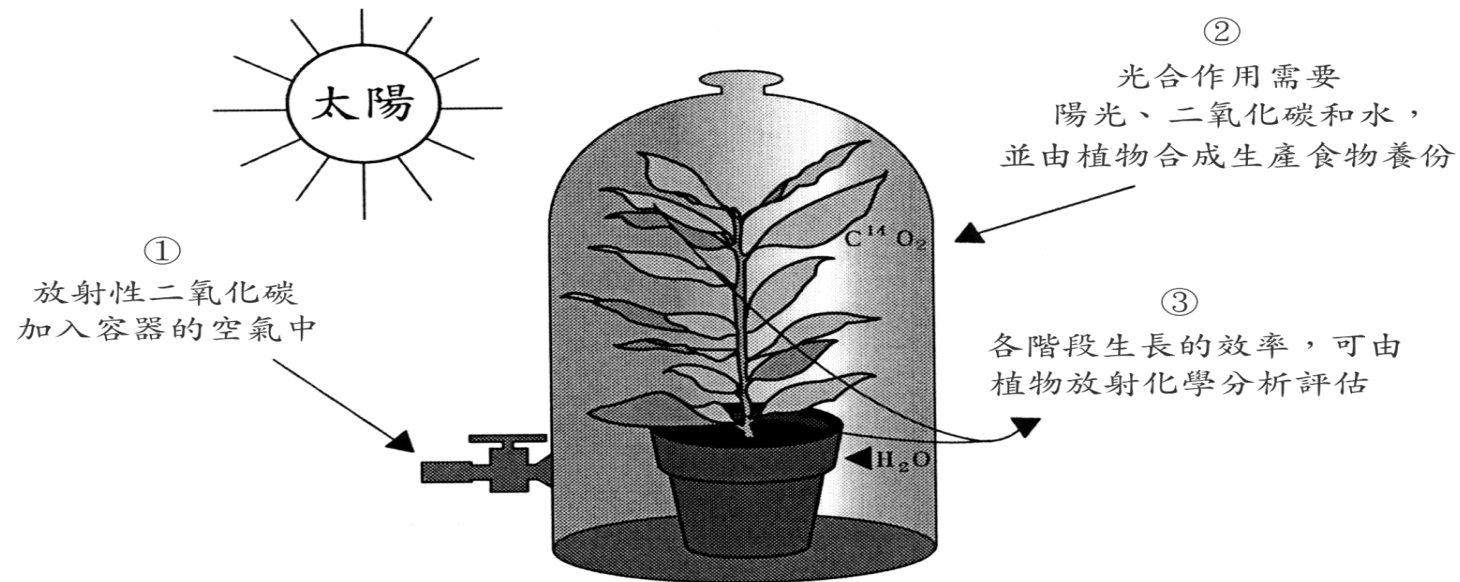
結論

1. 土壤所固定的磷
2. 磷被植物攝取
3. 認定肥料利用及效益

1-2-2 輻射之應用 - 農業應用(續)

放射性同位素技術應用於植物生理機能研究

■ 植物的光合作用 (Photosynthesis in Plants)：以碳 - 14標記食用植物 研究其光合作用的效率和機制



- 結論
1. 生長很快速（成長速率效益）
 2. 糧食之生產需要中間物（反應機制和中間步驟）
 3. 葉綠素的存在很重要（功能和角色）

1-2-2 輻射之應用 - 農業應用(續)

以放射性硫-35標記為氨基酸飼料作為研究生物體內各器官機能

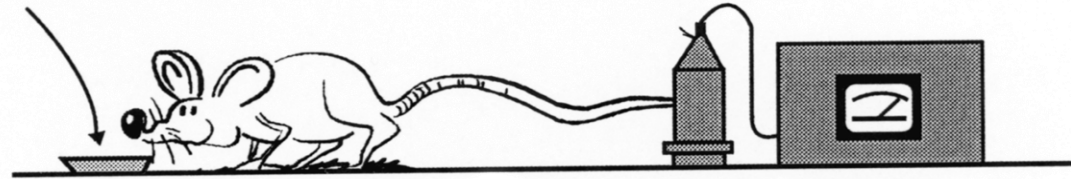
①

以硫-35標記下列氨基酸

1. 氨甲硫醇丁酸
2. 麩氨酸
3. 胱氨酸

②

標記的氨基酸飼料



③

測定生物體內各器官
標記中的硫-35含量

結論

1. 各器官所吸收的氨基酸量
2. 氨基酸進入生物體的步驟
3. 吸收量之差異和各種疾病（如癌症、肝硬化、糖尿病、維生素不足等）之消耗量之關係



1-2-2 輻射之應用 - 農業應用(續)

- 輻射農業應用方面，包含以放射同位素示蹤劑的標記特性，評估動植物新陳代謝和營養攝取過程，改良品種與土壤性質、農業污染及提高產品品質。
- 另外，運用輻射照射於農業上是一項創舉。輻射照射是一種物理處理，主要應用原理是基於輻射對物質所產生的激發、游離等反應造成物體產生在物理、化學和生物效應方面之應用。常利用的輻射線源包括放射性同位素釋出之高能加馬射線或利用電子束、X-射線等。



1-2-2 輻射之應用 - 農業應用(續)

目前，**國內外的輻射照射仍以放射性同位素鈷-60的加馬射線源為大宗**。在農業上的應用及其所具有的特性和優點，一般而言，主要包含以下幾點：

1. **消除植物或農產品的病蟲害**，尤其在控制昆蟲的繁殖及農作物或植物的損害方面。例如：透過Sterile Insect Technique (SIT) 可以令昆蟲失去繁殖能力，從而減少牠們的數目。
2. 在一定劑量的射線照射下，可消滅細菌與微生物、昆蟲及高等生物體的細胞，**增進食物的保存與保鮮**。
3. 輻射照射可用於植物基因突變育種(Mutation Breeding)，可提高農作物產量，改進品種以及抗病能力，**亦可提早或延緩成熟時間**。
4. **抑制農產品發芽與老化**，延長農產品的儲存期限。例如大蒜照射後可貯藏約五個月不致變形或枯萎。

1-2-2 輻射之應用 - 農業應用(續)

- 1. 輻照過的食品無放射性物質的污染和衍生的放射性物質產生。

用於食品照射的不是高劑量的中子，加馬照射是使食物通過照射場，但食品絕不接觸照射源。

- 2. 不會有毒性物質的生成。

迄今為止，所做的大量動物實驗中，即使投以多種經過50千戈雷（kGy）劑量照射過的食物飼養的實驗動物，也從未發現引起實驗動物急性中毒和慢性中毒，也沒有發現由此引發的癌病變。



1-2-2 輻射之應用 - 農業應用(續)

■ 3. 沒有微生物類發生變異的危險。

食品輻照加工所達到的生物學上的安全性與其他現行的食品處理方法相比並無差異。微生物經輻射照射後，不會增加其致病性及毒素的形成力，也不會誘發其抗性。

■ 4. 對營養物質的破壞力不大。

所有食品的加工形式：烹調、冷凍、製罐或儲存都會使營養降低一些。輻射不會使食物變熱，大部分的人無法覺察風味或組織有任何改變。



輻射照射應用



Irradiation technology for applications in medical, agricultural, and industrial products





1-2-3 輻射之應用 - 工業應用

- 工業上常運用放射性同位素技術於計量儀器。這一方式的應用原理頗為簡單，主要是基於不同物質對放射性同位素如 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{252}Cf 等所放射出輻射的吸收、穿透與散射程度的不同與活度的變化，以輻射度量儀器計測物質的厚度、密度、均勻度、液位、界面、觸媒床高度與濕度等。最代表性的應用實例之一為液面高度之測定。



1-2-3 輻射之應用 - 工業應用(續)

放射性同位素技術計量儀器之優點如下：

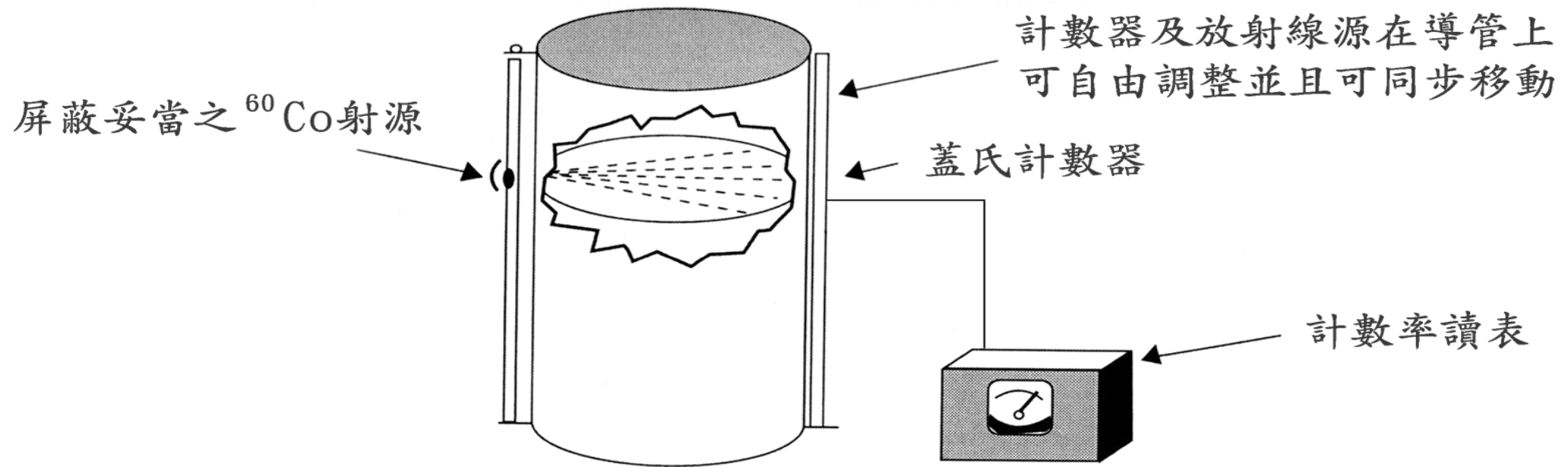
- 因放射線射源及檢測儀器系統可以安置在裝液體的容器之外，因此不受液體的腐蝕性或極高溫度所損害。
- 被檢測液體物質如具有毒性可使用密閉容器。
- 被檢測液體物質的溫度很高時，如鍊鋼廠的熔礦爐或平板玻璃工廠的熔融爐內的高溫液體等的液面高度之偵測，利用本法可獲得正確滿意的結果，且步驟簡單、實際操作及維修簡易。
- 可以利用自動記錄方式獲取實驗數據，可應用遙控方式實施檢測。
- 液面高度檢測的技術亦可以配合在生產線上加以使用。



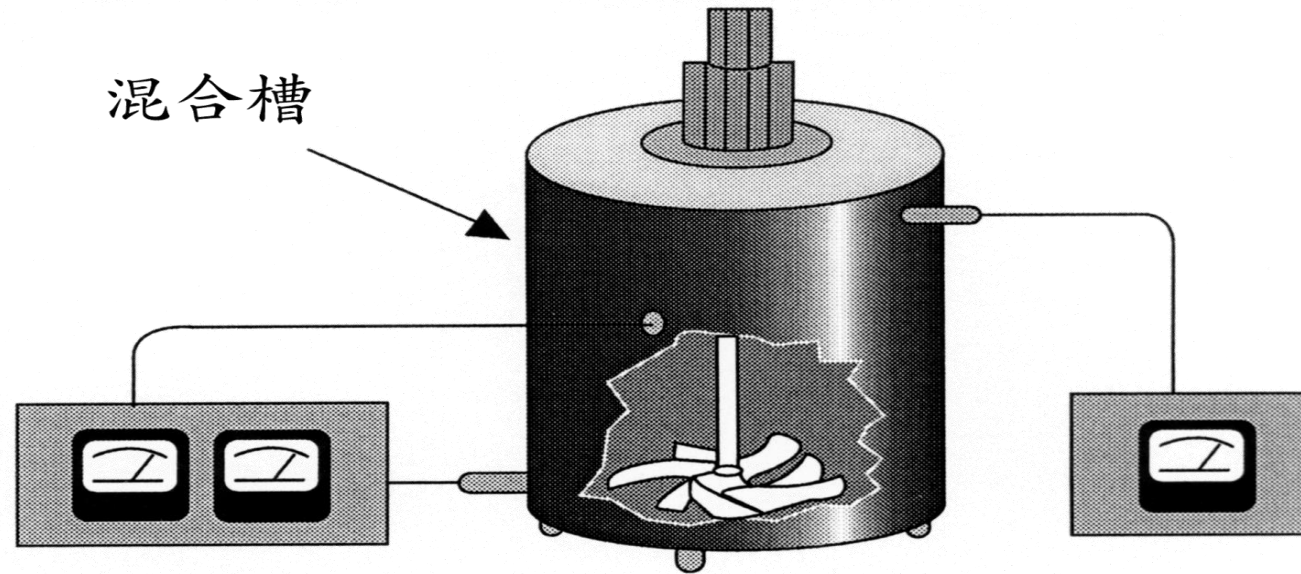
1-2-3 輻射之應用 - 工業應用(續)

- 工業上利用加馬射線(gammar-ray)穿透力特強的特性，用作探測焊接點和金屬鑄件的裂縫。
- 在工業生產線上的自動品質控制系統，例如測檢罐裝飲品內的飲料高度或香煙的煙草密度等，都廣泛應用了輻射。
- 輻射更可用於量度電鍍薄膜的厚度，也可用於消除靜電。

以鈷 - 60射源檢查液面高度之裝置(液位計)



利用放射性同位素技術檢查混合的完全性

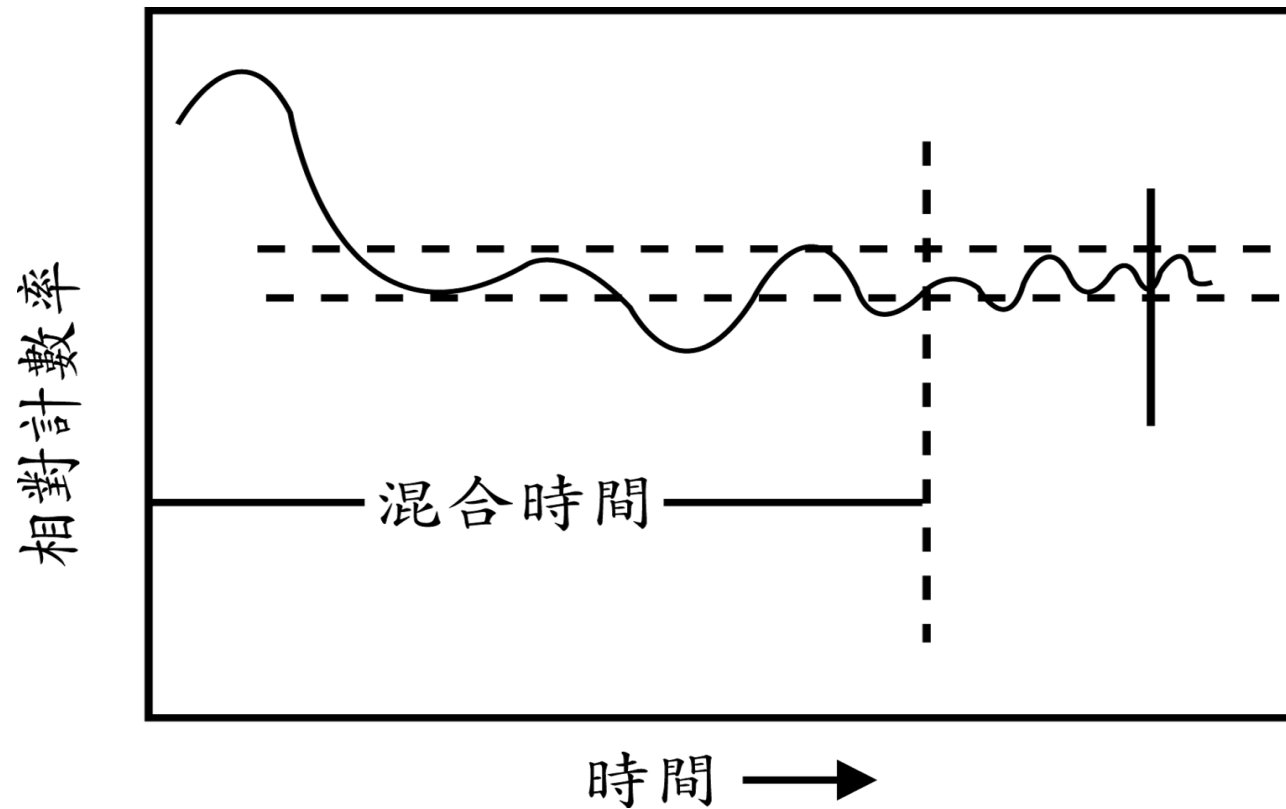


- 優點
1. 混合的均一性及品質容易達成
 2. 避免不必要的過長混合時間



1-2-3 輻射之應用 - 工業應用(續)

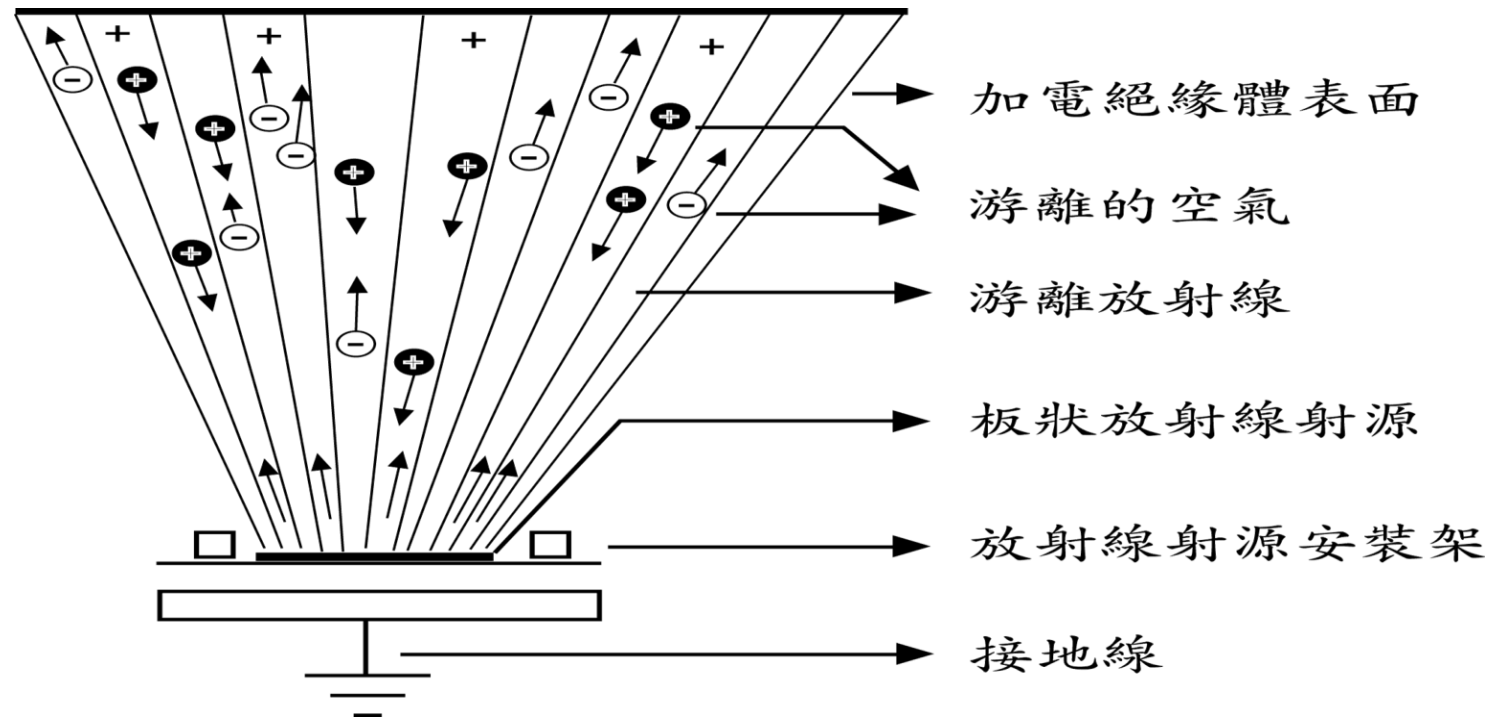
由連續偵測所得之計數率與時間關係測定混合時間





1-2-3 輻射之應用 - 工業應用(續)

以放射性同位素消除靜電原理



工業上之輻射應用.....

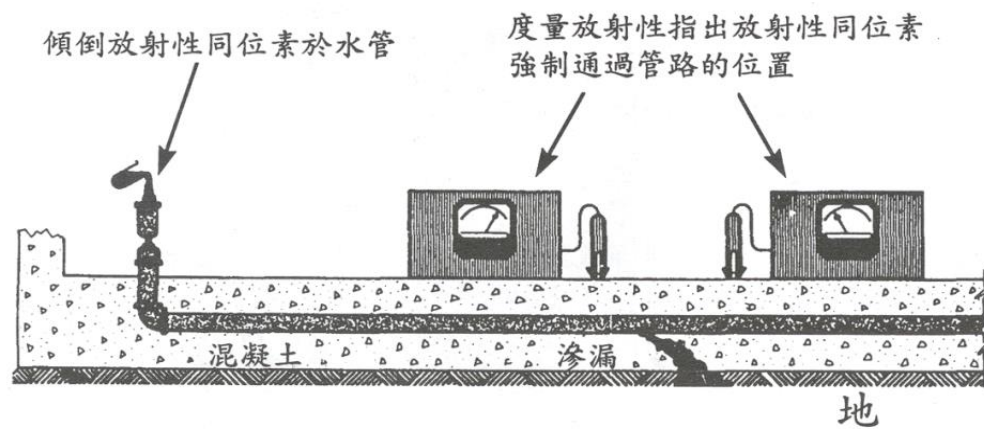
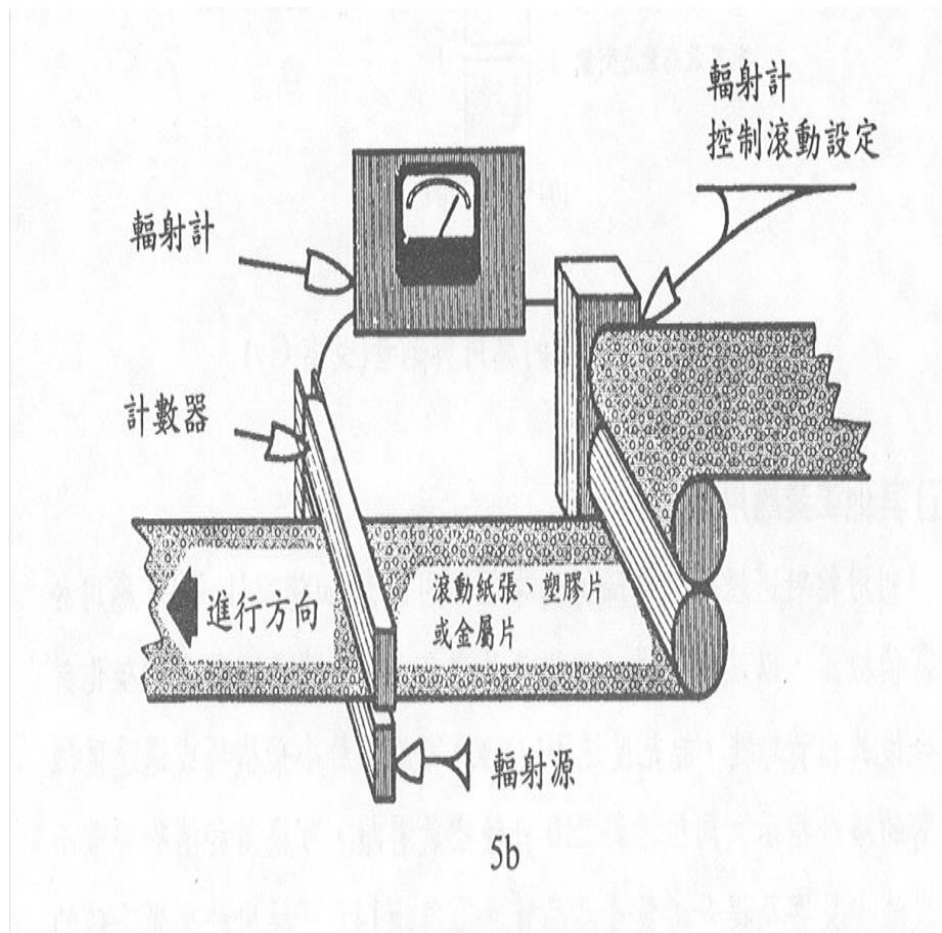


圖 4 測漏計

測漏計



厚度計



1-2-4 輻射之應用 - 環保應用

- 環境之保護（環保）人人有責。為要保護環境須要先了解環境被污染的情形，而要了解污染的嚴重性程度必須建立一可靠且準確的微量分析技術，更重要的是要培養一批具備這方面技能的人才。
- 微量分析方法很多，範圍更廣。其中，比較特別的一項是中子活化分析法。開發中子活化分析法(neutron activation analysis, NAA)並積極推展微量元素的分析工作。以下謹介紹中子活化分析原理及應用中子活化分析技術於環境科學研究方面的一些實例與作業。



1-2-4 輻射在輻射在醫學之應用 - 環保應用(續)

中子活化分析法(neutron activation analysis, NAA)

- 中子活化分析法是一種具特色的放射微量分析方法。特別是需要分析很少量的已知試樣中所存極微量未知物質的種類和含量時，更可發揮其功能。
- 中子活化分析法之基本原理，主要是將無放射性的分析試樣以中子加以撞擊，即可得激發性中間產物(Excited Intermediate)並在 10^{-14} 秒以內放出加馬射線，稱之為瞬發加馬射線(Prompt Gamma Ray)。爾後所得的放射性產物(Radioactive Products)即可以進行阿伐、貝他或加馬射線的衰變模式。



1-2-4 輻射之應用 - 環保應用(續)

此時所觀察到的加馬射線稱為延遲加馬射線(Delayed Gamma Ray)。

上述，瞬發加馬射線，延遲加馬射線、阿伐射線及貝他射線等均可以適當的偵測儀器測定之並直接或間接獲得未知物質定性和定量資料。

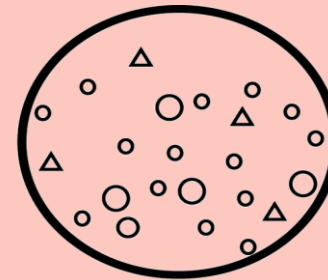
$$\frac{(\text{待測試樣 Y 中未知 X 的質量})}{(\text{標準試樣中已知 X 的質量})} = \frac{(\text{待測試樣 Y 中未知 X}^* \text{的放射活度})}{(\text{標準試樣中已知 X}^* \text{的放射活度})}$$

所以，待測試樣 Y 中未知 X 的質量 =

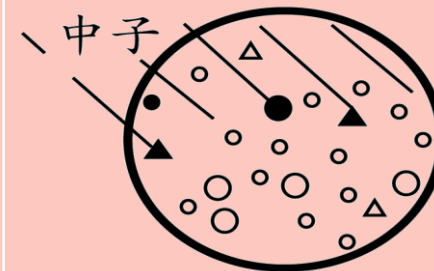
$$\frac{(\text{標準試樣中已知 X 的質量}) \times (\text{待測試樣 Y 中未知 X}^* \text{的放射活度})}{(\text{標準試樣中的已知 X}^* \text{的放射線活度})}$$

中子活化分析示意圖

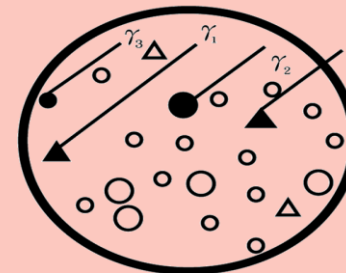
分析試樣由主成分○及微量的其他成分△所組成



分析試樣經中子撞擊後僅小部分的原子變成放射性核種▲●



放射性核種射出加馬射線，由其能量可判別元素的種類，由其放射性活度可知其含量。





1-2-4 輻射之應用 - 環保應用(續)

中子活化分析法之特點

- 高靈敏度(High Sensitivity)。
- 高選擇性(High Selectivity) (對於複雜的Matrices亦可以使用) 。
- 多元素同時分析可行性高(Multi-elements, Simultaneous Analysis) 。
- 不受試藥及實驗室污染的影響。
與試樣的環境(Matrix)及化學分子結構形式(Chemical Species)無關。
- 快速、試樣測試工作量大 (可以做很多分析) 。



1-2-4 輻射之應用 - 環保應用(續)

中子活化分析法應用實例：

- 台灣地區工業廢水之分析。
- 台灣地區上水道水之分析。
- 台灣地區出產米中微量金屬之定量分析。
- 台灣工業品中不純物之分析。
- 台灣地區海水中汞、金、及銅之元素分析。
- 利用電解法製造氫氧化鈉的工廠工作人員，尿中水銀的含量分析。



1-2-4 輻射之應用 - 環保應用(續)

空氣中微量污染物的分析 (Analysis of Trace Contaminants in Air)

■ 國立清華大學曾與高雄市環保局共同合作有關空氣品質探討的研究計劃。高雄市是台灣南部最大的工業都市，在市郊有很多種工廠林立（包括二個大型的水泥廠）深深影響該市的空氣品質。環保局負責提供測試試樣，清大從事分析工作。因為測試試樣數量龐大，清大部分採取以儀器中子活化分析法(INAA)處理試樣。高市環保局人員根據氣象資料，採取定時，定點（在高樓的三、四樓屋頂）以抽氣器經過特製濾紙抽完定量空氣後再將試樣送清華大學，清華大學經分析整理所得數據後，再將測試報告及內容送回高市環保局作為了解高市空氣污染程度及改進策略的參考。



1-2-4 輻射之應用 - 環保應用(續)

地上水的污染程度查驗 (Survey on the Extent of Contamination of Surface Water)

台灣西部的幾條大河川下游各流經新竹、台中、彰化、嘉義及台南等大都市並由附近出海。事實上，沿著這些河川的流經區域很多居民的生活可說與這些河流息息相關，尤其河流的水質影響居民的生活品質至巨。清大原子科學院及原科技術研究中心的研究人員，曾以中子活化分析技術對這些河流的水質加以測定。因河川水中的各元素之溶存量極為微量，以普通的方法（包括中子活化分析法）亦無法直接加以偵測，必須先經過一段所謂“前濃縮”的程序處理。



1-2-4 輻射之應用 - 環保應用(續)

- “前濃縮”法通常包括共沉澱，有機溶劑萃取法，離子交換法等。一般而言，實驗室需先購入“標準物質”(Standard Materials)測試“前濃縮”法之可靠性(Reliability)。經過此一處理後，再將試樣進行中子活化分析。以此方法和分析步驟，清大研究人員提供了不少有關台灣較大河流流域的水質資料供政府當局作環保政策的參考。
- 除此之外，工廠廢排水中所含重金屬（例如，微量的汞、鎘及銅等）確實也污染了環境的水質及土壤等，以此方法亦可有效檢視污染的範圍、程度以及污染源的種類，對於環境科學的研究的確是一項好的且又可行的應用技術。



考古用途

透過量度古物內天然放射性物質的濃度，我們可以鑑定古物所屬的年代，常用的技術包括「**碳-14定年法**」和「**熱釋光定年法**」，對地質學、人類學及考古學的研究都有莫大的幫助。

碳-14定年法

- 碳-14是因宇宙射線撞擊地球大氣層而產生的，碳-14氧化成二氧化碳後會被植物吸收。同時，動物又會進食植物，所以大部份有機體都會有一定份量的碳-14。但當植物和動物死去，他們便會停止吸取碳-14。
- 碳-14的份量因衰變會隨時間而減少，每經過一個物理半衰期(即大約5,730年)，含量便會減半。透過量度古代有機體的碳-14含量，我們便可以估計該有機體的死亡年份。



1-2-5 輻射之應用 - 科技其他應用(續)

熱釋光定年法

■ 泥土中含有微量的鈾、釷和鉀等天然放射性物質，這些放射性同位素的半衰期可以長達10億年。同時，粘土中又含有各種無機晶體和礦物質。當無機晶體受到上述放射性物質照射後，一部份輻射能量會令晶體發熱，另一部分能量則貯藏在晶體中。如果晶體被加熱，部份能量會以可見光的形式釋放出來，這種現象叫做熱釋光現象。**熱釋光定年法可判斷古物距離最近的一次加熱的時間，古物發出的熱釋光越強，年代就越遠，反之，則屬較近期。熱釋光定年法常被用作判斷陶器的年代。**



草葉紋青花瓷碟



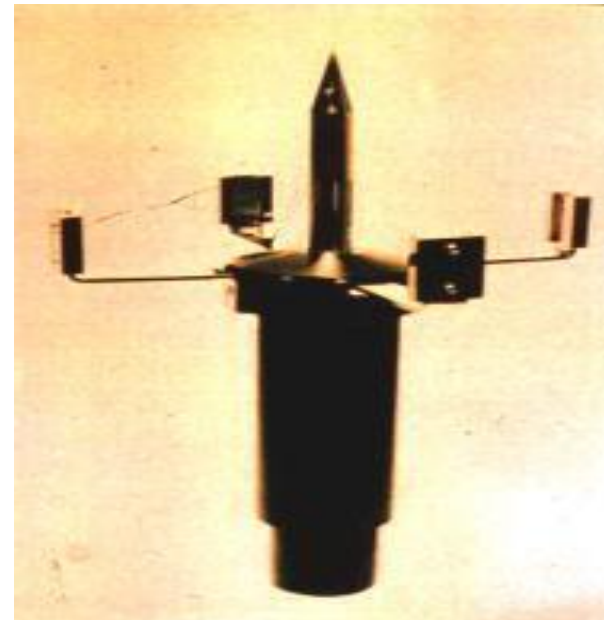
硬陶豆



1-2-5 輻射之應用 - 科技其他應用(續)

消費品用途

有些用品，如煙霧警報器(^{241}Am)、螢光指示牌和避雷針等都包含放射性物質。
通過合適的設計和適當的使用，輻射的好處其實遠遠大於其所引起的危害。



民生消費性產品

手錶和時鐘
的光源
(早期²²⁶Ra，
近期³H，¹⁴⁷Pm)

陶瓷器皿
(天然的 U、
Th、K)

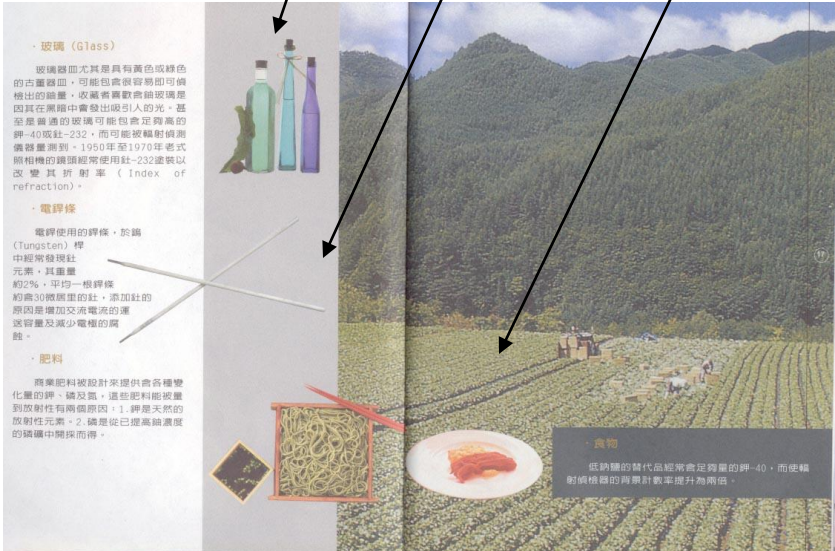


煙霧偵檢器
(²⁴¹Am)

黃綠古董玻璃
(天然的U、Th、K)

電焊條
(鎢桿中的 Th)

肥料
(K, P, U)





1-2-5 輻射之應用 - 科技其他應用(續)

1. 測量塑料、焊料和印刷線路板中的重金屬含量。
2. 對不同材料的分析：電纜、PCB、零部件、塑料外殼、焊料、緊固件等。
3. 可分析包含原子序Cl ($Z=17$)至U ($Z=92$)等元素。



X光繞射儀



螢光分析儀

航空犯罪的防範

■ 維護飛航安全方面，托運行李或隨身手拿包時都會通過X光檢測設備，防範不法人士攜帶危險物品，如槍械、彈藥、爆裂物或塑膠炸彈、尖利金屬刀械等，若無防範將直接影響乘客、機組人員及飛機的安危。另外，攜帶毒品、野生動物之活體及保育類野生動植物、國家文化資產等等違禁品，都是出境時必須管制。



機場托運行李與乘客安檢過程



1-2-5 輻射之應用 - 科技其他應用(續)

■ 水文及地球科學

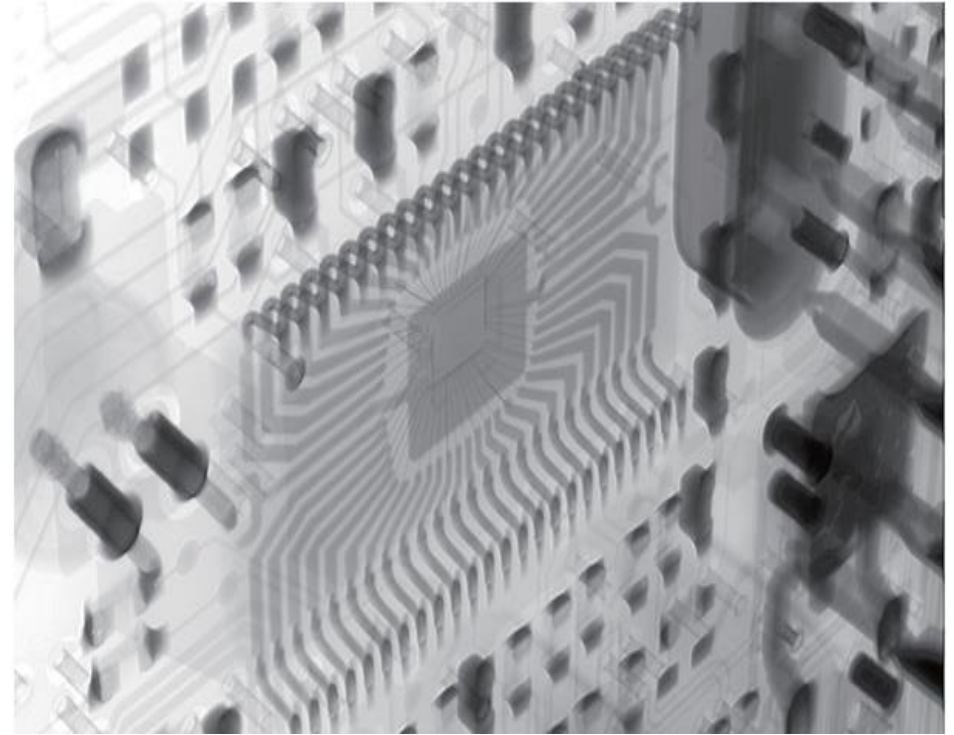
- 測定地下水分佈、年代、流量等
- 地質上之年代測定
- 石油蘊藏量之測定

■ 物理化學生物科技應用

- 同位素稀釋分析
- 未知元素、物質檢測及結構分析
- 基因檢測及生物技術應用

IC半導體產業

半導體IC封裝或電子零構件主要都是大量生產，龐大的檢測工作已無法單靠人力完成的，運用穿透性X光檢測系統在不破壞元件條件下觀察內部各種缺陷現象，可有效率監控製程良率，如圖右為IC內部結構影像。其檢驗項目包含有印刷電路板(Printed Circuit Board, PCB)、矽晶圓、先進封裝技術中的凸塊銲接(Bump Bonding)、穿矽導孔製程(Through-silicon Vias, TSVs)、或封膠(Molding)。



X 光檢測於IC 電路板影像

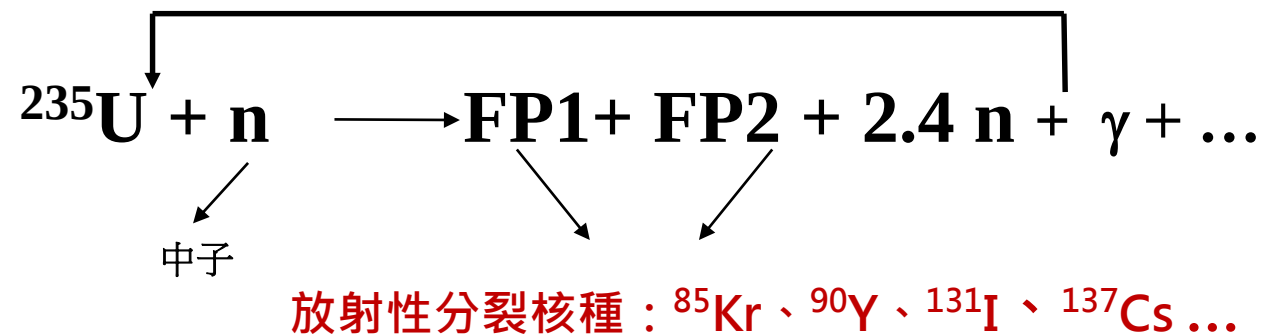
核能商業發電

- 隨著世界人口不斷膨脹及經濟增長，人們對能源的需求日益增加。我們消耗能源的速度，遠超過地球所能負擔，核能是解決能源需求日增的其中一個方法。目前，世界各地的核能發電廠大約有四百四十座，供應全球所需電力的約百分之十七。這些發電廠主要利用鈾(U-235)的原子核分裂而發電。
- 核能發電最重要須防範核能發電安全意外事故(如爐心熔毀)，也需處理放射性廢料儲存問題及溫排水對環境生態的衝擊。

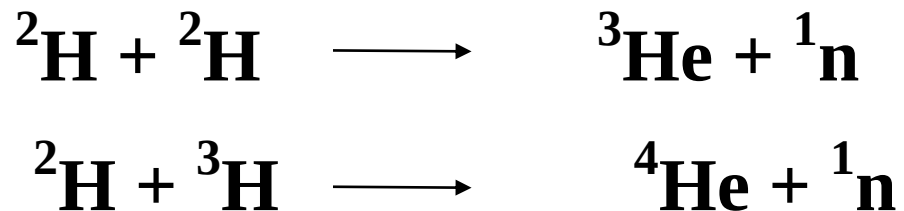
1-2-5 輻射之應用 - 科技其他應用(續)

核反應(Nuclear Reaction)包括：核分裂、核融合、 (n, p) 、 (n, α) 、 (n, γ) 、 (α, n) 、 (γ, n) ...

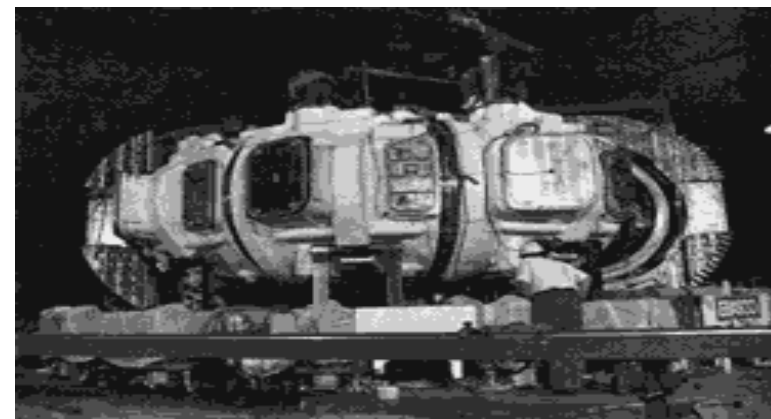
核分裂：



核融合：



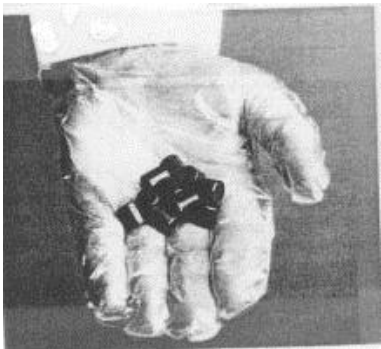
台灣核三廠圖



美國普林斯頓大學的Tokamak
核融合測試反應器

1-2-5 輻射之應用 - 科技其他應用(續)

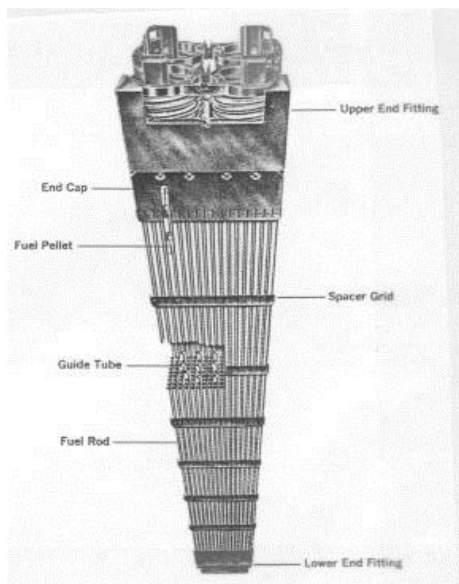
核能發電



UO₂燃料丸

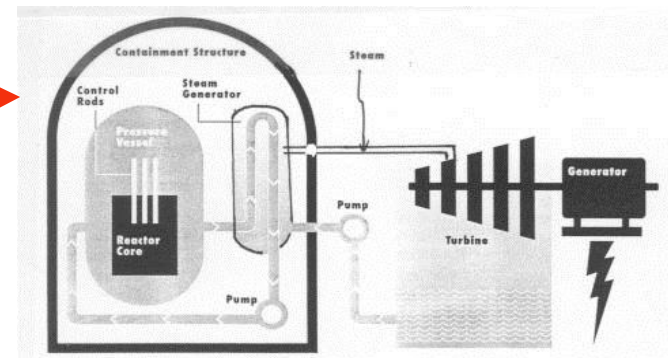
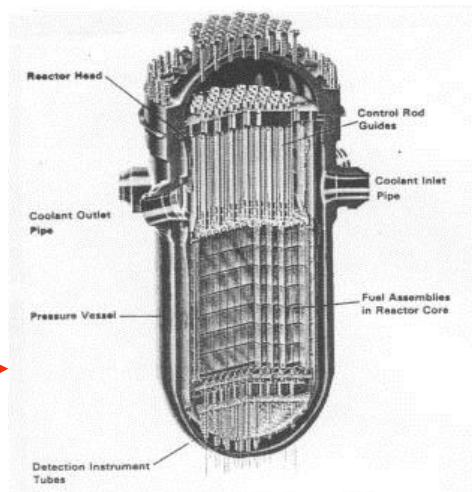


每一個²³⁵U分裂反應的中子淨產生率為約1.4個中子，若不加以控制將成(1.4)^m級數成長，控制中子淨產生率是核能發電中重要的控制原理。



燃料束

核反應爐



核能電廠



1-2-5 輻射之應用 - 科技其他應用(續)

軍事用途 - 核子武器





1-3 結語

- 輻射應用領域在醫學、農業、工業、環保、科學等方面之應用可說不勝枚舉，且具有他的優點與特色。當然我們還是需有輻射安全的考量與防範，在我國「游離輻射防護法」極其施行細則、游離輻射安全標準等相關法令，用於設備、專業操作人員訓練與安全防護、環境管制等等，都必須經審查通過才可合法使用。
- 一般民眾日常仍會受到微量輻射影響，我們可透過行政院原子委員會偵測中心，查詢台灣各地環境輻射背景值，一般都小於0.2微西弗以下屬背景輻射安全範圍內。醫療檢測方面，例如健康檢查常用 X 光，是直接曝露在輻射下，若不是迫切需要，不建議常使用全身電腦斷層攝影這類檢驗。