



談國際輻射防護之 發展與趨勢

許芳裕 博士/副教授

國立清華大學原子科學技術發展中心

大 綱

- 一、游離輻射的發現與早期的輻射傷害
- 二、國際輻射防護組織之發展
- 三、人員劑量限值之訂定與變革
- 四、法定之人員劑量計

一、游離輻射的發現與 早期的輻射傷害



First medical X-ray by Wilhelm Röntgen of his wife Anna Bertha Ludwig's hand

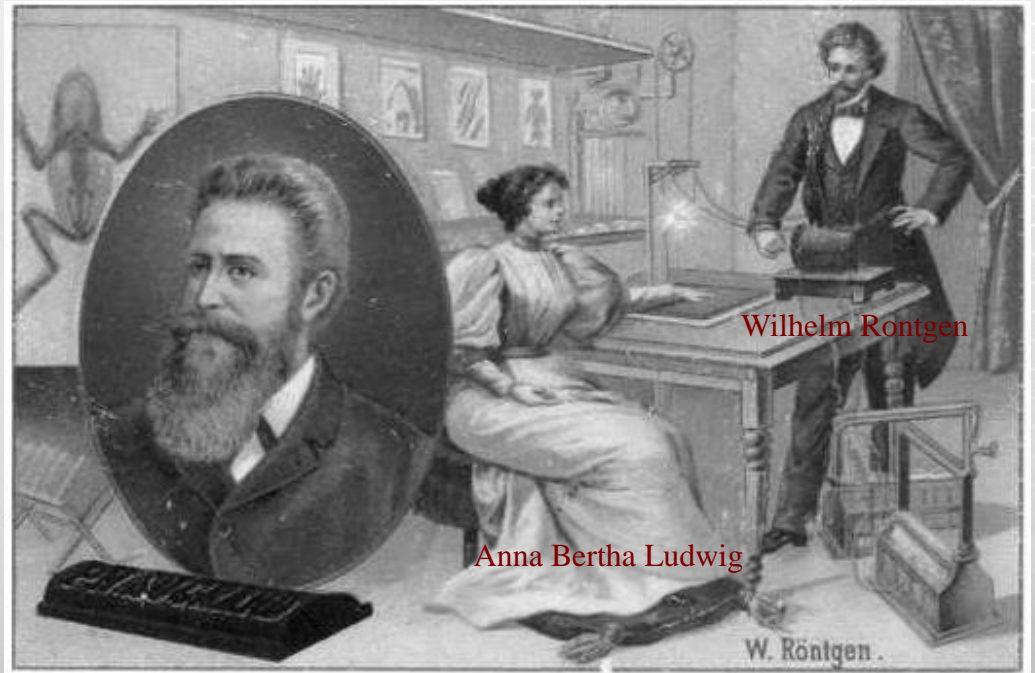
圖片來源：http://en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_R%C3%B6ntgen

X光的發現

- 1895年德國人—威廉·倫琴 (Wilhelm Röntgen)從操作陰極射線管的實驗中，發現一種眼睛看不見但能穿透物質的未知射線，稱為X射線。



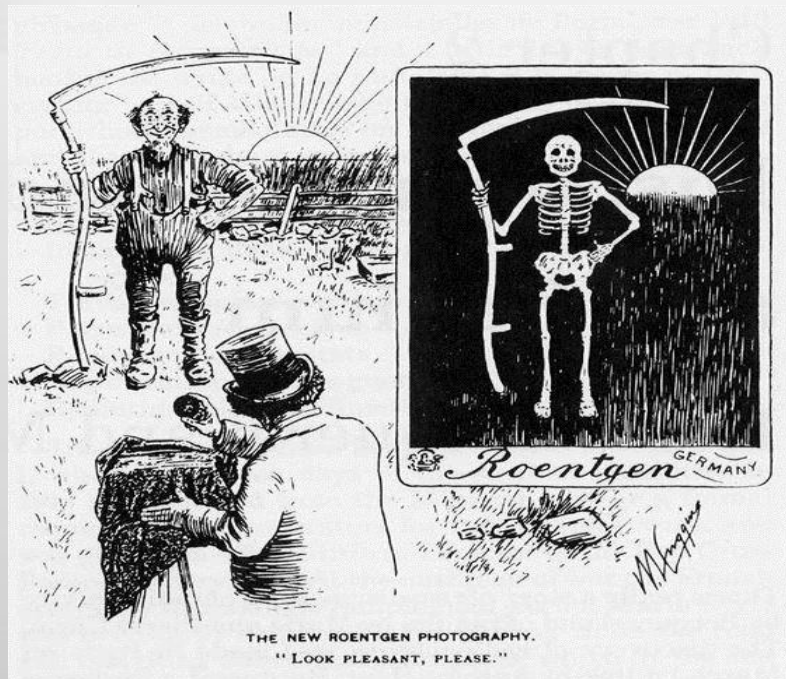
Wilhelm Röntgen



- 威廉·倫琴因此發現於1901獲頒第一屆諾貝爾物理獎 (Nobel Prize in Physics in 1901).

用X射線照相?!

- 倫琴雖然發現了X射線，但當時的人們，包括倫琴本人在內，都不知道這種射線究竟是什麼東西。



Life Magazine, 1896

X射線在醫療照相的應用

- 倫琴宣布發現X射線後一個多月(1896年2月)，在歐洲和美國一些外科醫生已陸續開始使用X射線在醫療照相。
- 1896年6月，X射線則已被戰地醫生使用來定位傷兵體內子彈的位置。



X射線的傷害?!

- 一實驗者試圖通過他的頭來檢測硬幣，在3個月後產生了禿頭(掉髮)。(Daniel,1896)

Daniel J. (1896). The X-rays. *Science*, (n.s.) 3, 526-563.

- 英國人史蒂文斯 (Stevens, 1896) 報告提出照射X光2個月後產生皮膚紅斑的痛苦。許多X光醫療工作者有手部燒傷的經驗。

Stevens L.G. (1896). Injurious effects on the skin. *Br. Med. J.*, 1, 998.

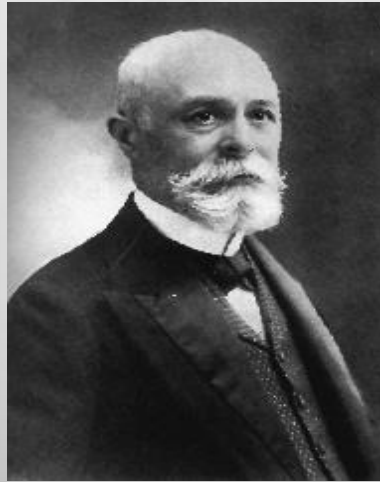
- 1896年美國芝加哥X光管製造商人 E.H. Grubbe，測試X光管時造成嚴重的皮膚灼傷；Grubbe的經驗使他成為第一個使用鉛屏蔽身體的X光工作人員。

Daniel s. Grosch, *Biological Effects of Radiations*, 2nd ED., Academic Press, 1979.

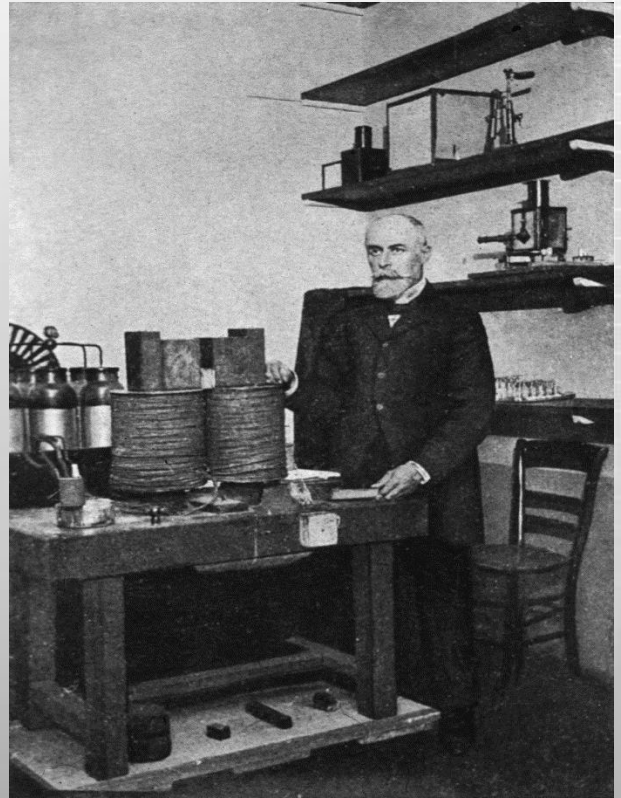
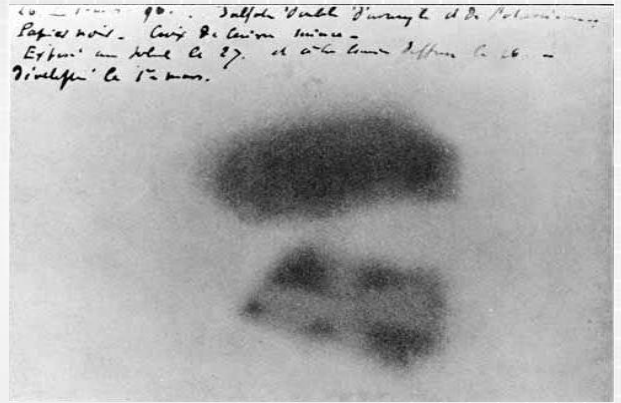


鈾的放射性發現

- 1896年法國人—安東尼·亨利·貝克 (Antoine Henri Becquerel) 從天然鈾礦中發現不同於x-ray但亦有穿透力能使底片感光的射線。他指出，即使以黑紙隔開，鈾元素仍可以使照相底片變黑。他還指出，鈾元素發射的射線具有不同的電性(帶正電、帶負電與不帶電)。



Antoine Henri Becquerel

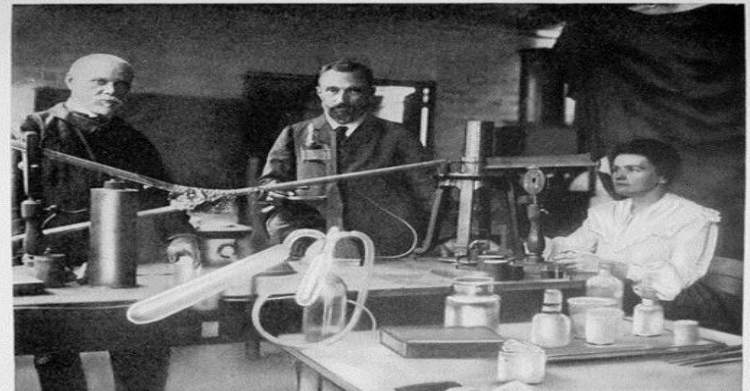


放射性鐳的發現

- 放射性的發現也引起了居里夫人與居禮先生(Marie and Pierre Curie)的極大興趣。通過對各種礦石的大量測試結果，他們發現了有一些礦石(如瀝青鈾礦)的放射性遠強於鈾和釷的放射性。通過分離和濃縮，於**1898年**他們先後發現了在瀝青鈾礦物中還有兩種放射性元素。
- 居里夫人稱第一種元素為“**釷**”(Polonium)，以紀念她的祖國波蘭；第二種元素被稱為“**鐳**”(Radium)，意思是放出射線。
- 1903年，居里夫婦與貝克，共享了諾貝爾物理學獎。



Marie Curie

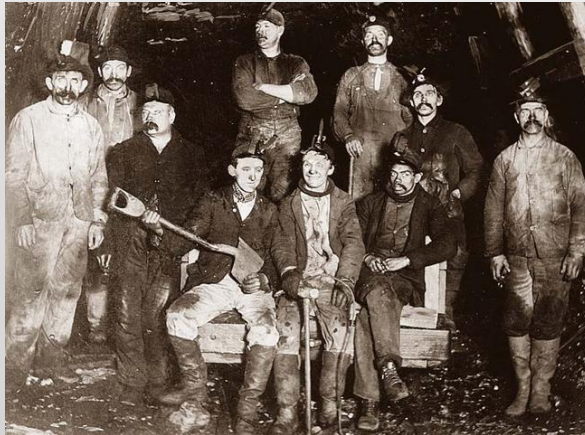


Pierre and Marie Curie in their laboratory, where radium was discovered

Becquerel(左起)、Pierre & Marie Curie

輻射的傷害?!

- 早期由於人們對輻射的無知，導致諸如礦工的罹患肺癌、製造夜光錶盤女工罹患骨癌，及從事x光工作者產生職業性疾患等。若他(她)們稍具有今日的輻射防護常識，則應可輕易避免。

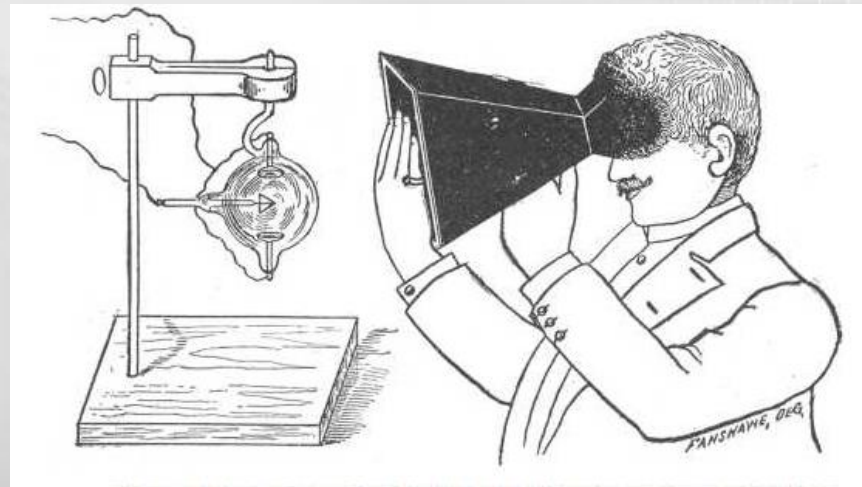
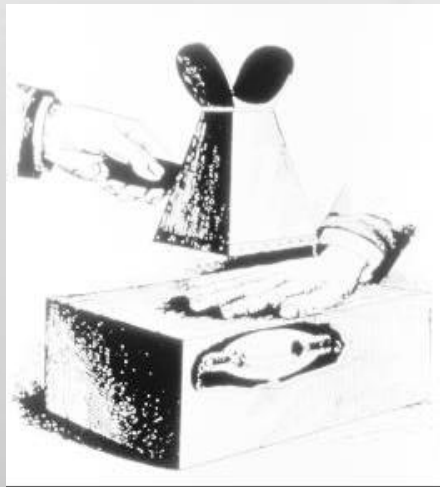


Over the course of several decades, 220 miners in Elliot Lake, Ont., lost their lives to radon-induced lung cancer contracted in the uranium mines where they toiled daily, writes Natalia Mozayani.

Saccomanno G, Archer VE, Saunders RP, James LA, Beckler PA. Lung cancer of uranium miners on the Colorado Plateau. [Health Phys.](#) 1964 Dec;10:1195-201.

操作X射線醫療人員的輻射傷害(1)

- 早期操作X射線的醫療人員並不知道大劑量的輻射可能會導致嚴重的生物效應。他們也沒有儀器來測量輻射場的能力。
- 當時X射線管的校準是以操作者直接放置一隻手在X射線束下，皮膚發紅（紅斑）的發生量來判定。



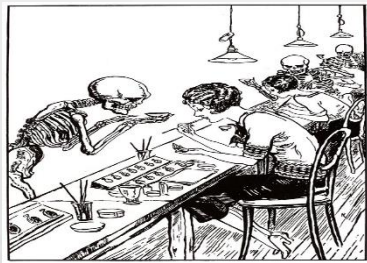
操作X射線醫療人員的輻射傷害(2)

- 產生紅斑所需的劑量確實是非常高的；如果皮膚以200千伏(kV)X射線進行每分鐘約30雷德(0.3戈雷)的高劑量率曝露，持續曝露約20分鐘後累積約600雷德(6戈雷)(約700倫琴)，皮膚產生紅斑；持續曝露約100分鐘後（累積約30戈雷）發生濕脫屑（相當於第三度燒傷）。



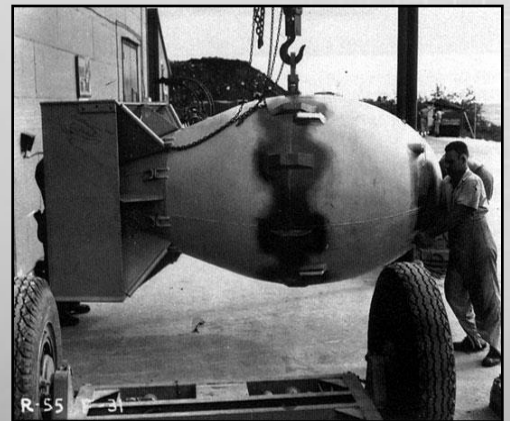
夜光錶女工的骨癌病變

- 1927年美國多位夜光錶工廠(Radium Dials)女工發生骨癌。

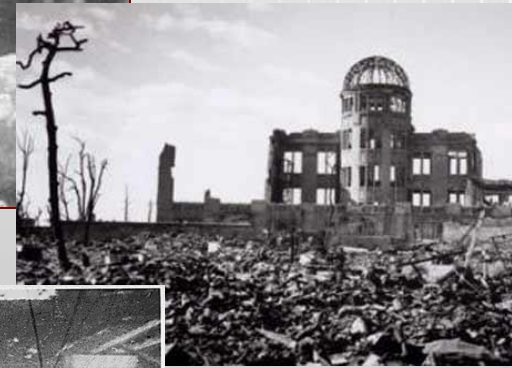
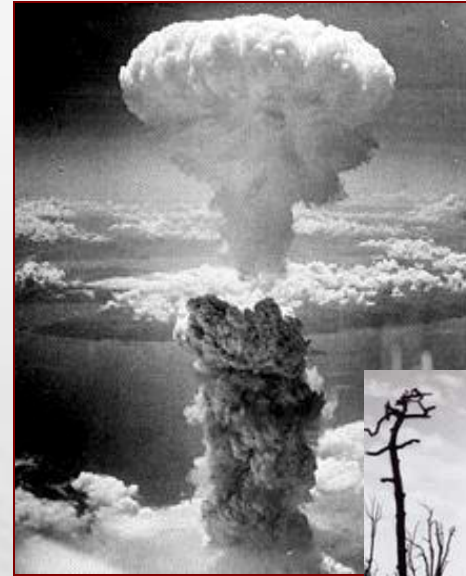


日本(廣島、長崎)原爆

- 1945年7月16日，美國進行了世界上第一次核爆實驗。
- 1945年8月6日，美國用B-29超級空中堡壘轟炸機運載「小男孩」原子彈轟炸廣島，上午8點15分原子彈在島醫院上空600公尺處引爆。戰後日本估計約69%的建築物遭到摧毀，6-7%的建築物受損。約30%的人口（7-8萬人）在原子彈爆炸及產生的暴風中喪生，另外有70,000人受傷。
- 1945年8月9日上午11時02分，「胖子」原子彈被投放於長崎。原子彈在距離長崎市內城區中心以北三公里的別墅網球場上空約500公尺處爆炸。戰後估計有4到7.5萬人立即死亡，到1945年底，總死亡人數達到8萬人；建築物約36%受到燒燬或破壞。
- 在長崎市原子彈爆炸6天後（1945年8月15日），日本正式宣布無條件投降。



日本(廣島、長崎)原爆(續)



游離輻射的流行病學研究



爆後的倖存者

二、國際輻射防護組織之發展

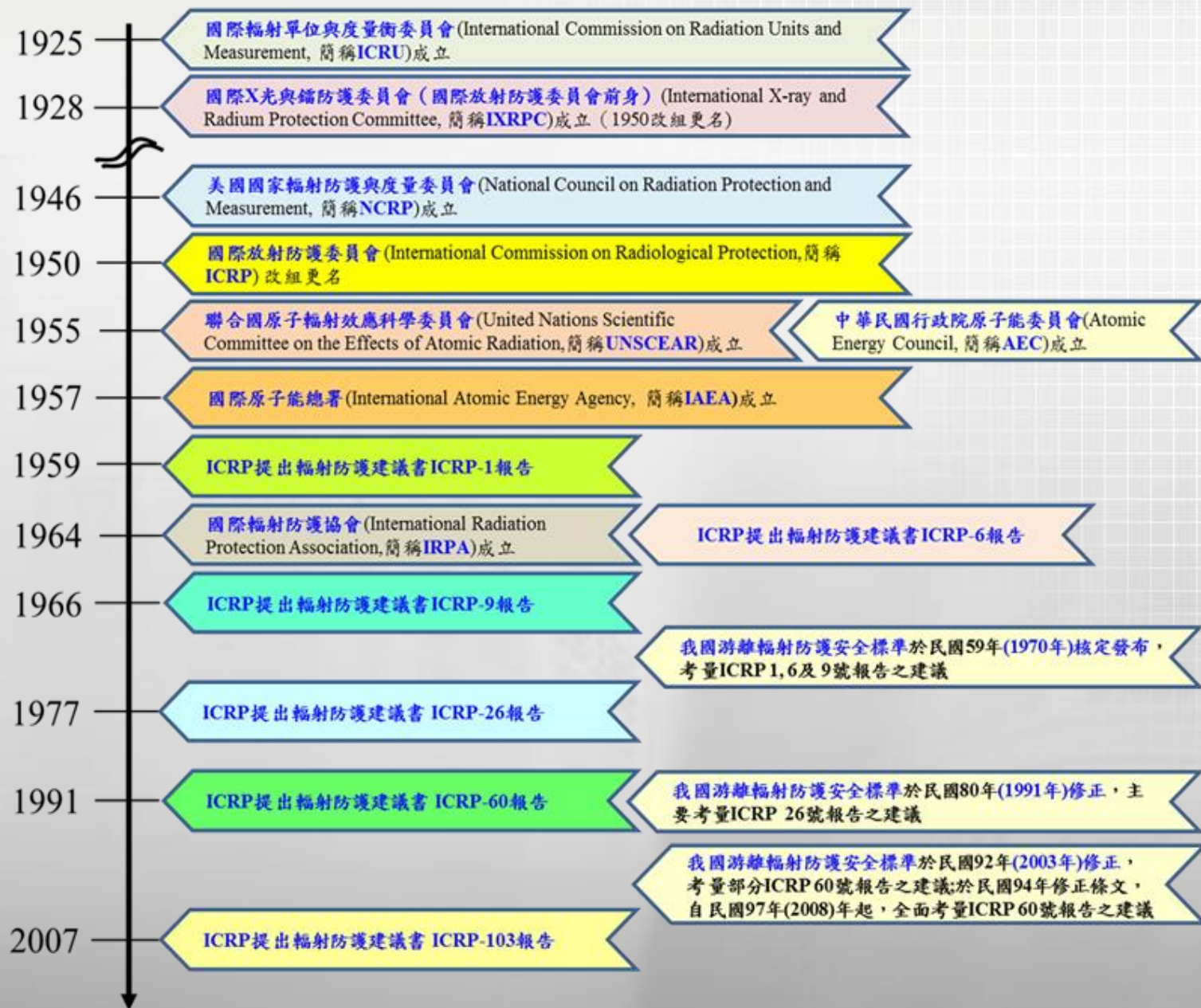


New Ionizing Radiation Warning

Symbol

On February 15, 2007, the [International Organization for Standardization \(ISO\)](#) and the [International Atomic Energy Agency \(IAEA\)](#) launched a new radiation warning symbol entitled the "[Ionizing-Radiation Warning — Supplementary Symbol.](#)"

國際主要輻射防護組織成立及ICRP主要輻防建議書提出時間表



ICRP 之主要輻射防護建議書

- 1959, ICRP Report 1
 - 1964, ICRP Report 6
 - 1966, ICRP Report 9
 - 1977, ICRP Report 26
 - 1991, ICRP Report 60
 - 2007, ICRP Report 103
 - 引入對環境的輻射防護概念
 - 對ICRP60作進一步詮釋
- 許可劑量
- 劑量限制系統
- 輻射防護三原則

IAEA GSR-PART3 , IAEA 115(1996)及 ICRP 103(2007) 輻防標準與建議之比較

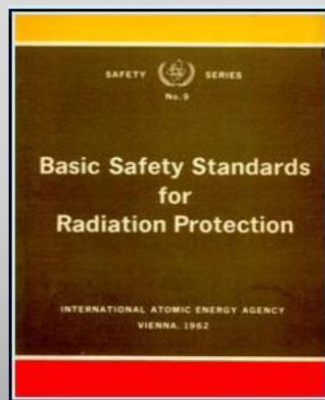
ICRP recommendations

- 1959 (“Publication 1”)
- 1966 (Publication 9)
- 1977 (Publication 26)
- 1990 (Publication 60)
- 2007 (Publication 103)

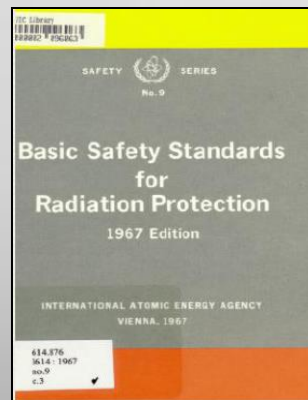
IAEA Basic Safety Standards

- 1962
- 1967
- 1982
- 1996
- 2011 (2014出版)

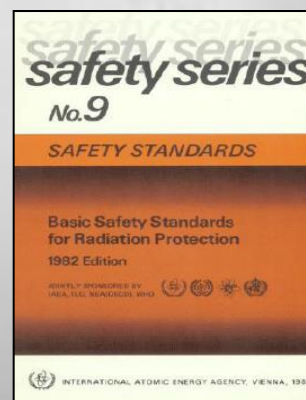
2014



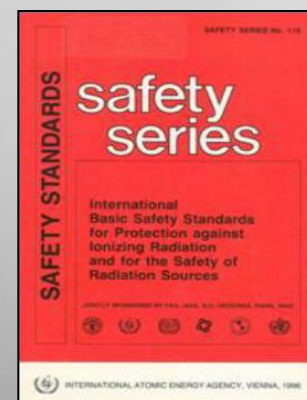
1962



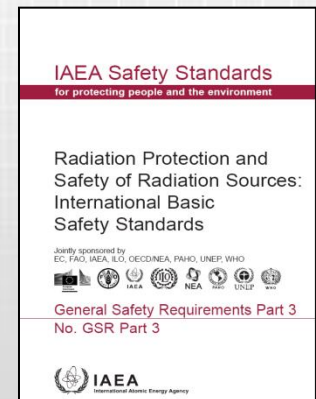
1967



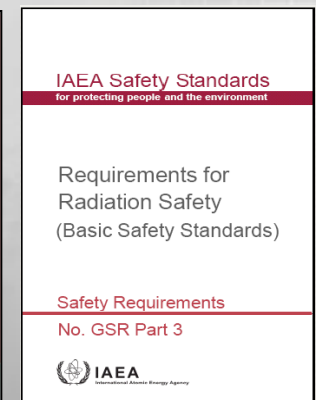
1982



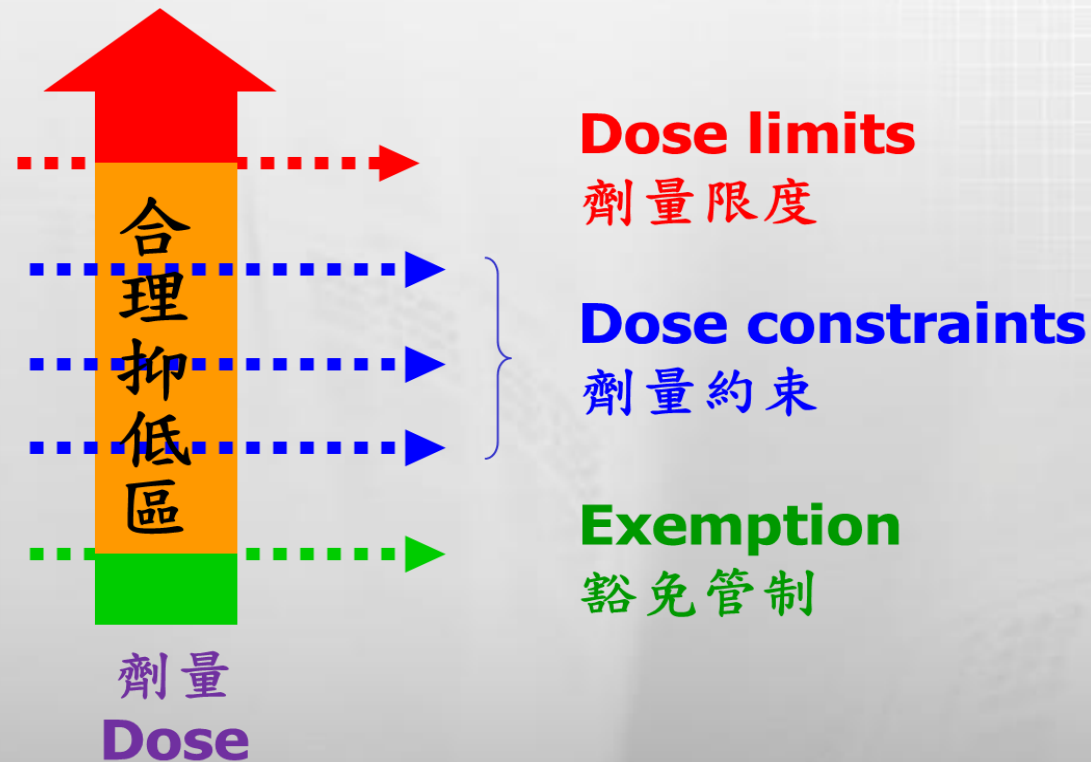
1996



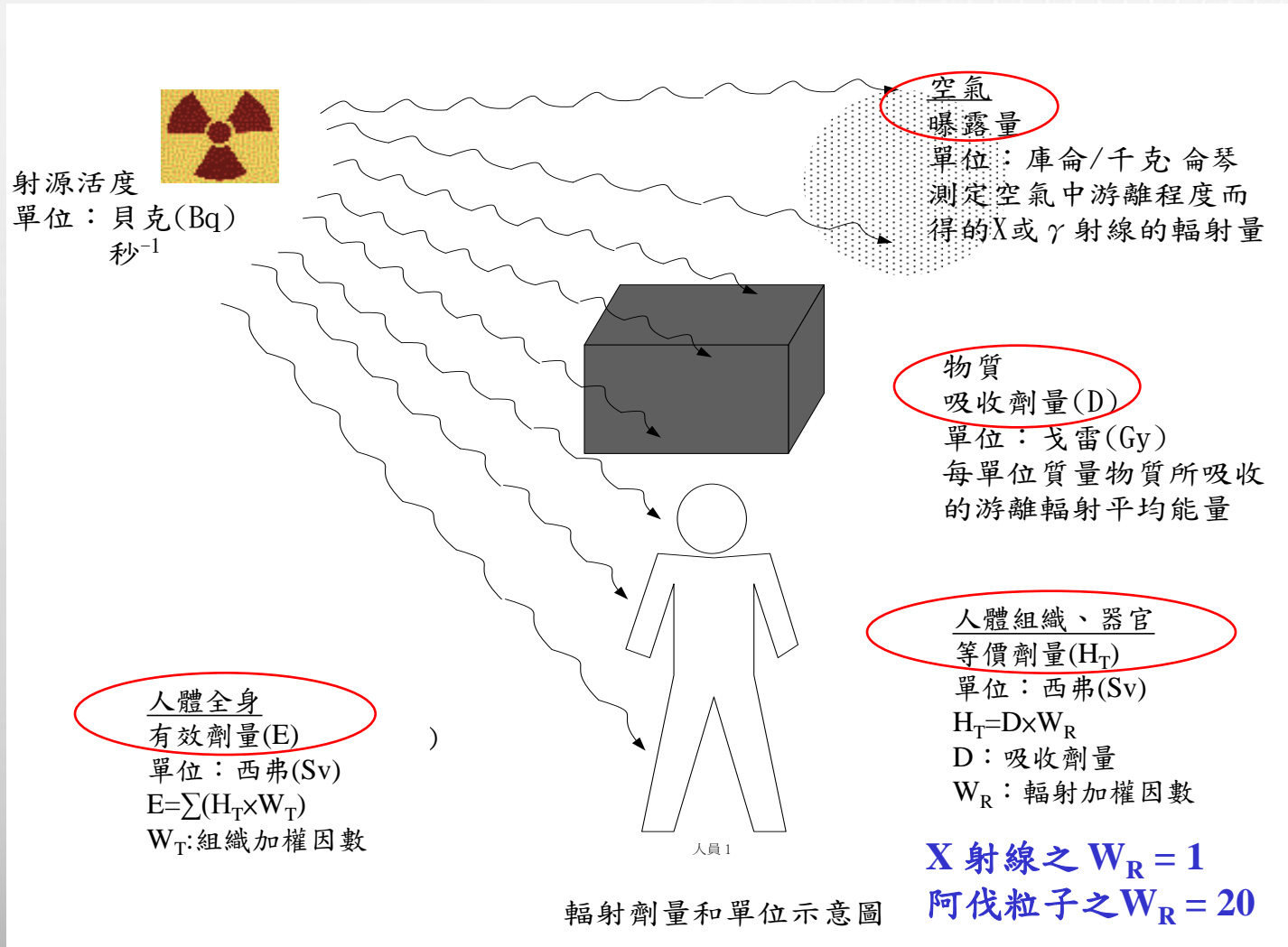
2011



三、劑量限值之訂定與變革



輻射的量與單位示意圖



等價劑量與有效劑量

個別組織或器官的

等價劑量 H_T

$$H_T = D \times W_R$$

(西弗 Sv)

等價劑量的單位為西弗 (Sv)

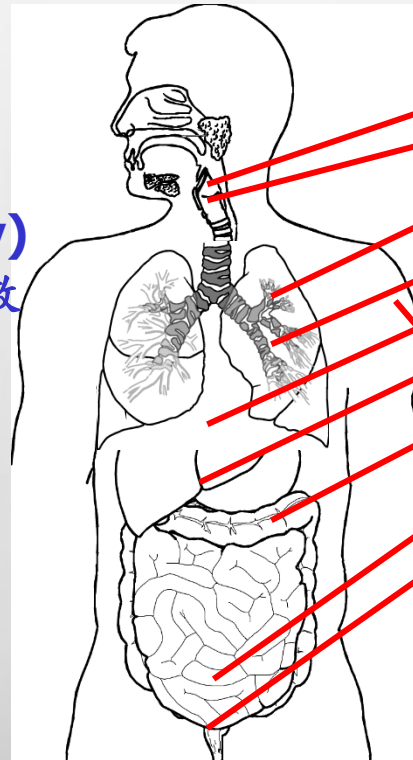
= 吸收劑量 × 輻射加權因數

全身的有效劑量 E

$$E = \sum_T W_T H_T$$

(西弗 Sv)

組織加權因數 W_T 、等價劑量 H_T



甲狀腺 (0.05)	(5)
食道 (0.05)	(1)
肺 (0.12)	(1)
乳 (0.05)	(0)
胃 (0.12)	(0)
肝 (0.05)	(0)
直腸 (0.12)	(0)
膀胱 (0.05)	(0)
性腺 (0.20)	(0)
皮膚 (0.01)	(0)
骨表面 (0.01)	(0)
紅骨髓 (0.12)	(0)
其他 (0.05)	(0)

$$\text{有效劑量} = 0.05 \times 5 + 0.05 \times 1 + 0.12 \times 1 = 0.706$$

甲狀腺

食道

肺

射質因數(Q)與輻射加權因數(W_R)

Quality factors, Q (ICRP-26) and Radiation weighting factors, W_R (ICRP-60, ICRP-103)

ICRP-26 ICRP-60 ICRP-103
Quality and Radiation Weighting Factors for Various Radiations

Radiation	Q	W_R	W_R
X, gamma, beta	1	1	1
Neutrons			
Thermal	2	5	} A continuous function of neutron energy
0.01 MeV	2.5	10	
0.1 MeV	7.5	10	
0.5 MeV	11	20	
>0.1 MeV-2 MeV		20	
>2 MeV-20 MeV		5	
Unknown energy	10		
High-energy protons	10	5	2
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20	20	20

組織加權因數

Tissue weighting factor (W_T)

Tissue ($W_{T,26}$)

Thyroid (0.03)

Lung (0.12)

Breast (0.15)

Bone surface(0.03)

Red bone marrow
(0.12)

Gonads (0.25)

Remainder (0.30)



Tissue ($W_{T,60}$)

Thyroid (0.05)

Oesophagus (0.05)

Breast (0.05)

Lung (0.12)

Stomach (0.12)

Liver (0.05)

Colon (0.12)

Bladder (0.05)

Gonads (0.20)

Skin (0.01)

Bone surface (0.01)

Red bone marrow (0.12)

Remainder (0.05)

Tissue ($W_{T,103}$)

Thyroid (0.04)

Oesophagus (0.04)

Breast (0.12)

Lung (0.12)

Stomach (0.12)

Liver (0.04)

Colon (0.12)

Bladder (0.04)

Gonads (0.08)

Skin (0.01)

Bone surface (0.01)

Red bone marrow (0.12)

Salivary glands (0.04)

Brain (0.04)

Remainder (0.12)

輻射工作人員的劑量限值變革

劑量限值	建議年分	備註
曝露: 造成紅斑劑量的10% /年	1925	由A. Mutscheller 與R.M.Sievert 提出;對100 Kv X-ray約30 R/y; 對200 Kv X-ray約70 R/y。 (造成皮膚紅斑的劑量約700 R)
曝露: 0.2 倫琴(R)/天或1倫琴(R)/工作週 (working week)	1934	由IXRPC提出之建議
等效劑量 150 毫西弗(mSv)/年或 約3 毫西弗(mSv)/週	1950	由ICRP提出之建議
等效劑量 50 毫西弗(mSv)/年或 約1 毫西弗(mSv)/週	1956	由ICRP提出之建議
所有曝露須合理抑低;有效等效劑 量限值: 50 毫西弗(mSv)/年	1977	由ICRP提出之建議
有效劑量: 連續5年週期內不得超過100 mSv , 且任何單一年內不得超過50 mSv	1991, 2007	由ICRP提出之建議

現行(ICRP 60)的輻射劑量限值

	工作人員	一般人
劑量限度類別	年 劑 量 限 度	
有效劑量	每連續5年週期內不得超過100 mSv， 且任何單一年內不得超過50 mSv	1 mSv
等價劑量		
眼球水晶體	150 mSv	15 mSv
皮膚或四肢	500 mSv	50 mSv
說明：①國內法規(游離輻射防護安全標準)明訂：輻射工作人員有效劑量限度於2003年起，每連續五年為一管制週期；其他限度以年為管制週期。 ②背景輻射和醫學診斷、治療之輻射劑量，不列入管制範圍。		

眼球水晶體劑量限值改變

- 國際放射防護委員會 (ICRP) 於2011年之年會中宣告，擬將工作人員眼球水晶體之等價劑量限值由一年不得超過150毫西弗，調整為五年加總不得超過100毫西弗(年平均最好不超過20毫西弗)，且任一年不得超過五十毫西弗；
- 國際原子能總署 (IAEA) 亦於2011年9月的會議批准，將工作人員眼球水晶體之等價劑量新限值納入“一般安全要求第3部分 - 輻射源的輻射防護和安全：國際基本安全標準” (IAEA GSR-PART3)，並於2014年7月發布。

Table 1. Limits on the equivalent dose to the lens of the eye in the 2014 edition of the International Basic Safety Standards (BSS) and the 1996 edition of the BSS.

Occupational exposure of workers		Occupational exposure of apprentices and students		Public exposure	
> 18 years		16–18 years			
2014 edition	1996 edition	2014 edition	1996 edition	2014 edition	1996 edition
20 mSv year ⁻¹ averaged over 5 consecutive years and 50 mSv in a single year	150 mSv year ⁻¹	20 mSv year ⁻¹	50 mSv year ⁻¹	15 mSv year ⁻¹	15 mSv year ⁻¹

眼球水晶體劑量的評估

- 目前輻射工作人員眼球劑量的評估方法，針對均勻輻射場，可於身體軀幹部位(胸前)配戴人員劑量徽章，藉由徽章評估之Hp(3)個人等效劑量來推估眼球水晶體的劑量；
- 但對於非均勻輻射場，使用人員劑量徽章佩掛於胸前來評估眼球劑量的方法並不適宜。



蓋格計數器的發明

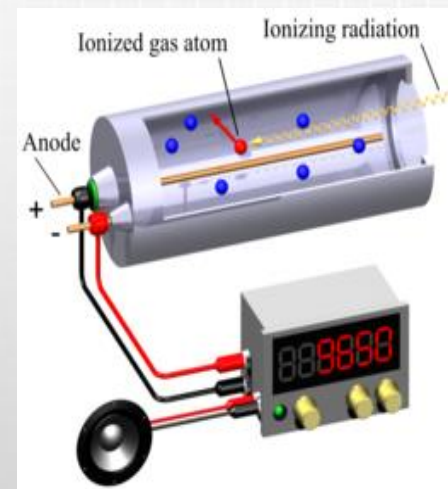
- 德國物理學家漢斯·蓋革(Hans Geiger)於1908年發明了輻射檢測器：蓋革計數器(Geiger counter)。



Hans Geiger



Walther Müller



Schematic of a Geiger counter using an "end window" tube for low penetration radiation. A loudspeaker is also used for indication

- 1925 Walther Müller 成為Hans Geigerat 在德國Kiel大學指導的首位 PhD 博士生。
- 1928年二人共同修改Geiger counter，並稱之為Geiger-Müller tube。

四、法定之人員劑量計

人員輻射劑量評定機構認可及管理辦法

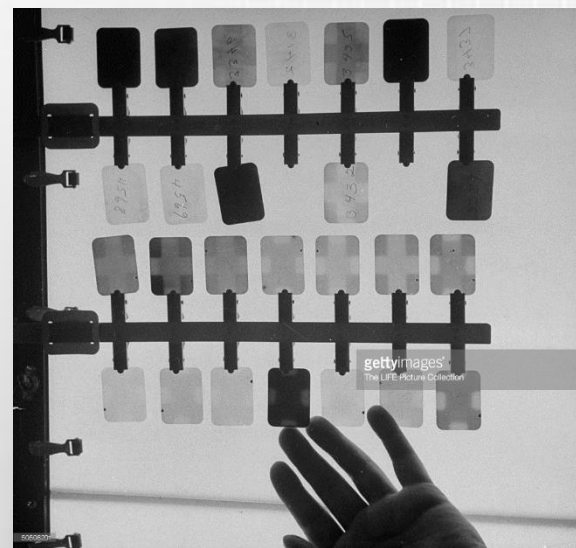
中華民國九十一年十二月十一日行政院原子能委員會會輻
字第○九一○○二三六九一號令訂定發布全文十七條

中華民國九十六年七月二十六日行政院原子能委員會會輻
字第○九六○○二〇一一九號令修正第二條、第三條及第
十七條

第三條 本辦法之劑量計指熱發光劑量計、膠片劑量計、光刺激發光劑量計及其他經主管機關公告之劑量計。

膠片佩章問世

- 1919年膠片佩章(Film badges)開始被用來測量輻射暴露。



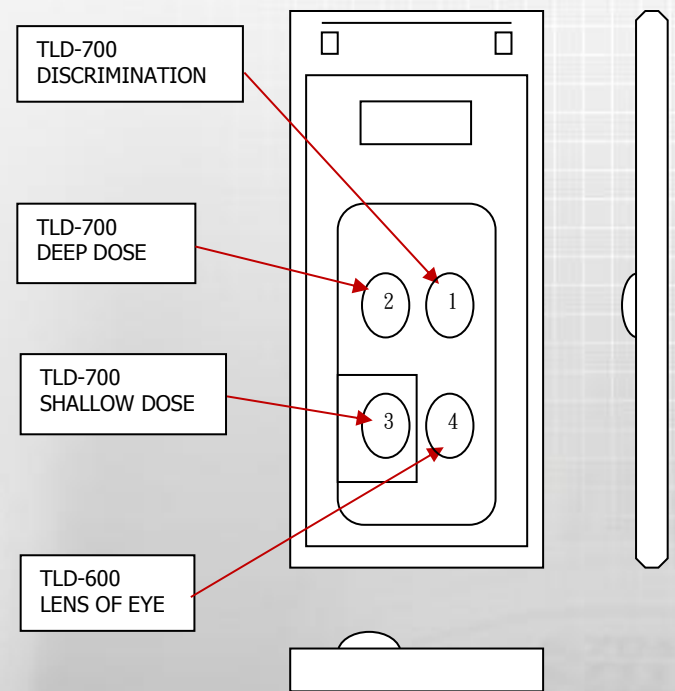
熱發光劑量計

(Thermoluminescent Dosimeter, TLD)



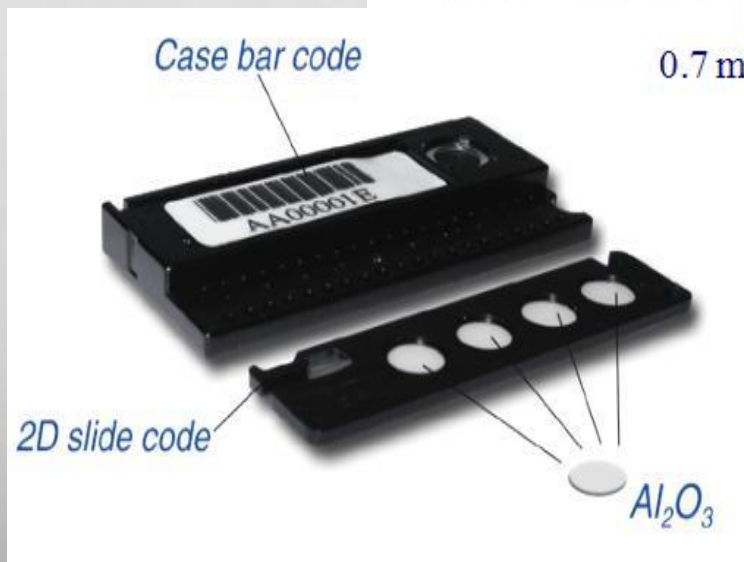
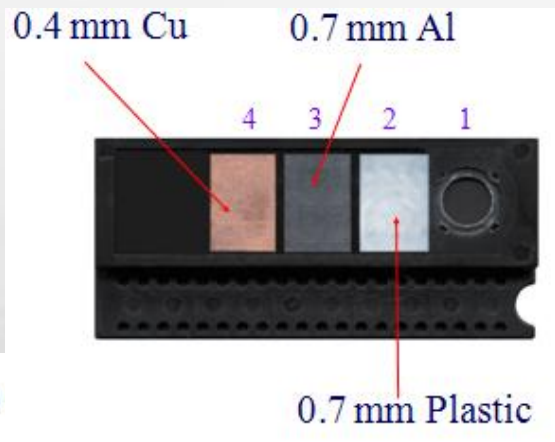
判讀TLD佩章之簡單原理

- ◆ **chip 2**模擬身體1公分深處之強穿輻射(深部)劑量，**chip 3**模擬身體0.007公分深處之弱穿輻射(淺部)劑量，**chip 4**模擬0.3公分深處組織之眼球等效劑量。
- ◆ 不同能量的 β 射線、X射線或 γ 射線對**chip 2**、**chip 3**、**chip 4**所造成的讀數和**chip 1**之間成一定的比例。



光刺激發光劑量計

(Optically Stimulated Luminescent Dosimeter, OSLD)



OSLD之主要優缺點

□ 優點

- ◆ 單次曝露可重複計讀多次
(Reanalysis)
- ◆ 不需加熱
(No heat up process)
- ◆ 消光之影響少
(Minimal fading)

□ 缺點

- ◆ 對可見光較敏感
(Light sensitivity)
- ◆ 缺乏適當之OSL特性材料
(Lack of suitable materials)

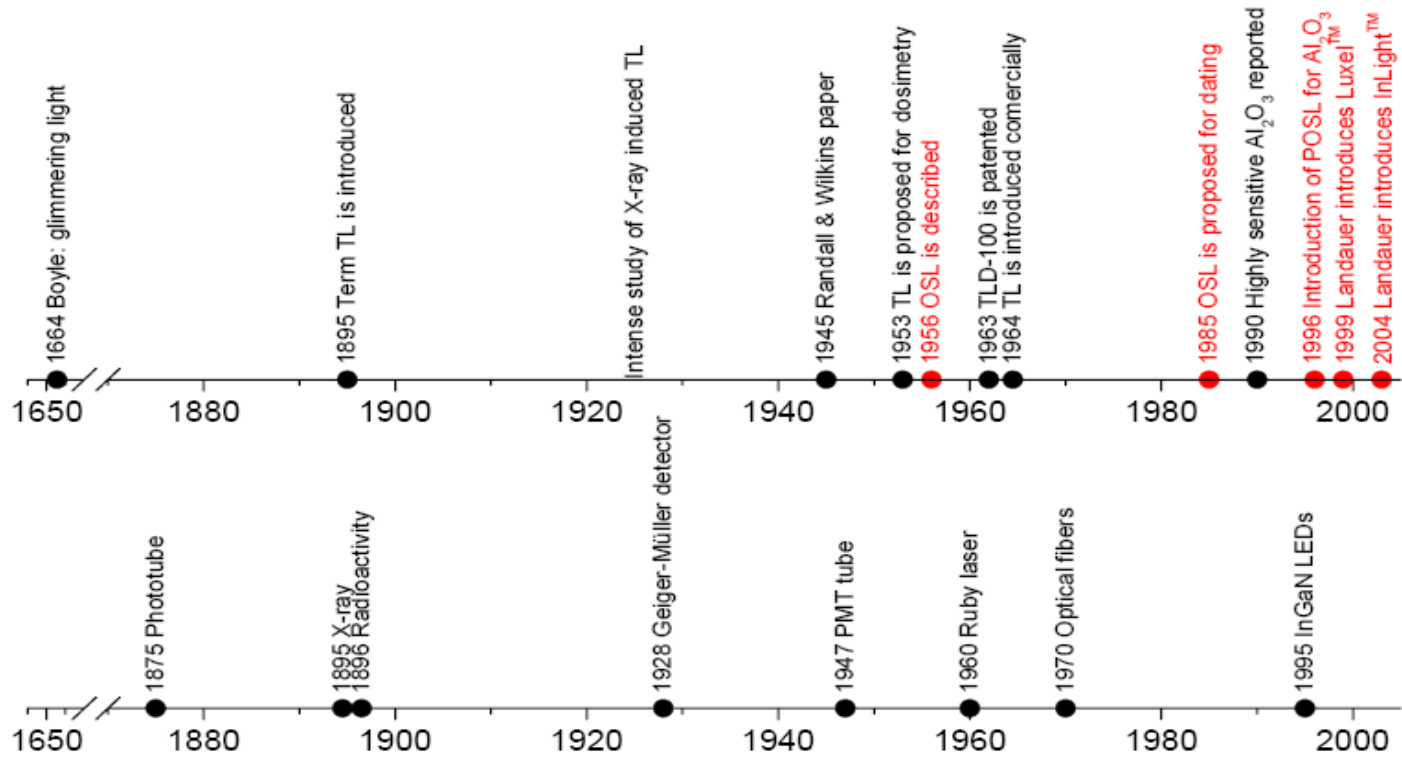
指環劑量計 (Ring Dosimeter)



TLD晶片



熱發光劑量計(TLD)與光刺激發光劑量計(OSLD)之技術發展



結語

- 游離輻射在現今社會的應用非常廣泛，任何人都會從日常生活中接觸到輻射。在對輻射有充分的認識，從根本上建立正確的輻射防護觀念，才能減少不必要的恐慌，避免輻射意外的發生，確保人員的安全。

