

553295

科學圖書大庫

原子能文庫

主編 鄭振華

第13—16冊

成都科學技術大學圖書館

基本

-16

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

原子能文庫

主編 鄭振華

第13—16冊

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫



版權所有

不許翻印

中華民國六十八年三月二十四日再版

原子能文庫

13-16

基本定價 1.00

主編	鄭振華
譯者	行政院原子能委員會執行秘書
	薛榮貴
	李偉德
	邱秀吉
	程育甫

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

序

民國五十七年四月十三日，中美原子能委員會假台北市聯合舉辦原子能應用示範展覽會。會中展出一部原子能文庫（Understanding the atom series），凡四十餘冊，執筆者均為美國當代的原子能學者與專家。此文庫以通俗與淺顯文字，介紹有關原子能基本知識。國立清華大學核子工程學系四年級同學為響應推廣原子能和平用途，利用課餘時間，協力逐譯此文庫，並蒙該系主任翁寶山博士協助解答質疑與校對；復蒙徐氏基金會資助，陸續出版。預計在核四同學畢業之前，可全部譯竣付印。

我國正力圖發展與推廣原子能和平用途，此文庫之逐譯，適逢其時。希望不久的將來，原子能將為我國帶來繁榮與福祉，更希望有志青年，多參與發展原子能的工作。

鄭 振 華 民國五十七年國慶日
於行政院原子能委員會

原子能文庫

中文書名	英文書名	譯者
1. 輻射食品保藏學	Food Preservation by Irradiation	曾昭哲
2. 核動力與商船	Nuclear Power and Merchant Shipping	張世賢
3. 我們的原子世界	Our Atomic World	戴月亭
4. 稀土元素	Rare Earth	錢景常
5. 人體與輻射	Your Body and Radiations	陳松濤
6. 原子在農業上的應用	Atom in Agriculture	江祥輝
7. 能量直接轉換	Direct Conversion of Energy	朱 靜
8. 原子燃料	Atomic Fuel	甘肅市
9. 核反應器	Nuclear Reactors	徐格壽
10. 分裝式反應器	Package Reactor	呂東輝
11. 放射性同位素之工業應用	Radioisotopes in Industry	李寬宏
12. 計算機	Computer	周順康
13. 全身計數器	Whole Body Counter	薛榮貴
14. 核術語簡釋	Nuclear Terms-A Brief Glossary	清華大學核工系 1969 級
15. 太空之核動力	Nuclear Propulsion in Space	李偉德
16. 核子鐘	Nuclear Clock	邱秀吉
17. 核能電廠	Nuclear Power Plant	程育市
18. 輻射對遺傳因子之影響	Genetic Effect of Radiation	鄭德昌、呂東輝
19. 落塵	Fall-out	林國權
20. 放射性同位素在醫學上的應用	Radioisotopes in Medicine	黃宏仁
21. 合成超鈾元素	Synthetic transuranium element	鄭德昌
22. 加速器	Accelerator	秦維綱
23. 放射性同位素與生命程序	Radioisotopes and Life Process	陳松濤
24. 放射性同位素動力	Power from Radioisotopes	汪曉康
25. 太空核反應器	SNAR	鍾仁賢
26. 原子，大自然以及人類	Atoms, Nature and Man	張世賢
27. 低溫物理學	Cryogenics	黃炳華
28. 鈾	Plutonium	歐紹源、徐懷琮
29. 研究用反應器	Research Reactor	陳方顯
30. 放射性廢料	Radioactive Waste	彭武洪
31. 第一座反應器的故事	The First Reactor	黃海水
32. 融合控制	Control of Fusion	林伯穎
33. 原子動力之安全問題	Atomic Power safety	林宗堯
34. 非破壞性工業試驗	Nondestructive Testing	曾昭哲、黃炳華
35. 太空輻射	Space Radiation	徐懷琮
36. 核能脫鹽	Nuclear Energy for Desalting	董瑞清
37. 中子活化分析	Neutron activation analysis	丁英源
38. 科學展覽會中的原子	Atoms at the Science Fair	盧盛盛
39. 物質之顯微構造	Microstructure of Matter	徐定國
40. 原子研究應用於動物	Animal in Atomic Research	戴士熙
41. 原子能與其它科學	Careers in Atomic Energy	曾富雄
42. 鉀氣化學	The Chemistry of the Noble Gases	
43. 笨蛋的「A」	Plowshare	
44. 原子與海洋	The Atom and the Ocean	
45. 雷射	Laser	李偉德
46. 安全運送放射性物質	Shipping Radiative Material	

目 錄

第一章	引 言	1
第二章	日內瓦計數器	3
第三章	勒斯·阿勒摩斯液體閃爍計數器	8
第四章	人體內的鉀-40	11
第五章	晶體計數器	14
第六章	鐳的故事	17
第七章	人體新污染物的發現	19
第八章	反應器與原子實驗所內全體人員的保健	22
第九章	全身計數器的特殊用途	25
第十章	結 論	32

全身計數器

原著 Gohn. H. Wooburn
Frederick. W.
Lengemann

譯述 薛榮貴

第一章 引言

全身計數器是很敏感的輻射性偵檢和測量的儀器，它給予我們有關最重要的化學系統——人身——的消息，為其他儀器所不易得到的。它能很快地、精確地和無痛地揭發因自然放射源、人造落塵或醫用目的的同位素示踪劑，而積聚在體內的放射性物質的種類和數量。和其他計數器一樣的是，它也計數放射性物質的放射量，而不同的是，全身計數器經常用於總計全身所承受的放射性劑量，而非僅量某一小面積或某一特殊器官。外型外而又有厚重的屏蔽，以及對低階能量放射的敏感性，亦是其特點之一。

全身計數器對於研究人類和動物的生理活動非常有用。它在計算因放射性物質暴露過量的人員所受的劑量上，證明有很大的價值。它並能顯示給醫生，他的病人的身體內有多少脂肪和多少肌肉。也給予醫生，關於缺乏鉀所引起的肌肉營養不良和其他疾病的線索，及判斷愛斯基摩人 (Eskimos) 和拉普蘭得人 (Laplanders) 體內積聚的落塵量，多於緯度較低的人們有多少。以上所講的祇不過是一些例子，醫學上和科學上的新用途，正在與日俱增。

1920 年代，當鐳元素危險的性質被認識後，人們第一次感到需要一種儀器，來估計某些工廠工人體內的鐳含量，那些工人在漆含有鐳的夜光鍍面時，不小心把鐳吸入體內，可是那些儀器沒有足夠的屏蔽 (Shielding)，以消除自然背景輻射計數 (background radiation)，所以測量的成果，受到限制。

2 全身計數器

直到 1950 年代，才利用某些晶體、液體或塑膠，因伽瑪射線（放射性發射的一種型態）撞擊而發光的特性，設計出新型的輻射度量儀器。而用來檢驗人體組織輻射性的儀器，主要的型式有兩種。

最普遍的全身計數器，是用碘化鈉晶體作輻射偵檢器。被檢驗的人，坐在一座厚鋼牆的房間內的傾斜椅子上，鋼牆的作用是吸收自然背景輻射計數（參見圖一），在計數的期間內，晶體放在物體中央幾吋高的上方，這種檢查型式，可用於低階能量輻射或是數種放射性原子所發射出來的射線。

另一種型式是，接受檢驗的物體（包括人）安置在一個圓筒裏，圓筒裏裝著用來檢驗伽瑪射線的液體，它的偵檢速率比晶體型式快，敏感性則較差。

在這本小冊裏希望你能使你利用想像，以接觸數種全身計數器，了解它們所應用的原理，學習它們所用的有趣方法，和欣賞它們幫助我們增進有關人類本身的知識和對於世界的瞭解所提供的助益。

第二章 日內瓦計數器

一般說來，所有的全身計數器須有以下的特性：(1)能和某種蛻變或放射性原子所發出的能量反應的機械作用。(2)展示或記錄這些作用的設備。(3)能祛除來自其他放射源所發出來的不必要射線的適當屏蔽。

第一批全身計數器中的一座，於1955年在瑞士、日內瓦的原子能科學會議中展覽（圖1d與圖2），在它陳列的期間內，有4258位人士們到場訪問了這座儀器，他們爬上了一組樓梯，進入10噸重的鉛牆室內，在裏面祇站了40秒鐘，體內的放射性原子就已經被計數或記錄了。因為這是第一種可以讓人走進去的設備，所以引起了極大的興趣。

日內瓦全身計數器的屏蔽，是三英吋厚的鉛所做成的。祇有最強能量的自然背景伽瑪射線和宇宙線才能穿透，而且在計數的期間中，穿透過的數目，幾乎保持常數，因此一旦決定其多寡後，再從記錄的數目中減去，就可以得到受檢驗人員的正確全身放射性計數。

在偵檢人體內放射性原子蛻變時所放出的伽瑪射線時，全身計數器利用到一個從1896年起就知道的有關輻射線的性質。就在那年，英物理學家，威廉·克魯克斯（William Crookes）發現，X光與某些化學物質作用時會產生熾光。數年後，紐西蘭物理學家，愛爾內斯特·拉塞福（Ernest Rutherford）用放大鏡觀察，結果發現這閃亮的光，是由許多微小的，個別的閃光或閃爍所組成的，每一個閃光都是由單一個阿爾伐（ α ）粒子的發射所引起。假使你用放大鏡在暗室中檢察夜光錶，就可以發現那些令人迷惑的閃爍，正和拉塞福以前所看到的一樣。

4 全身計數器



圖 1：全身計數器的類型。

A：物體（指人）可坐於以鐵做屏蔽的房間內的椅子上，閃爍偵檢晶體安置在物體的上面。

阿岡國立實驗所
提供

B：物體可以躺在床上，然後移到屏蔽好的偵檢晶體下。

康奈爾大學
提供

C：物體可以滑進雙層牆的圓筒形筒內，雙層牆裏面充滿了閃爍液。

勒斯·阿勒摩斯科學實驗所
提供

D：物體可以站在雙層牆的半圓柱形筒內，雙層牆內充滿了閃爍液。
（參考圖 2）。

勒斯·阿勒摩斯科學實驗所
提供





今日，科學家們已發現許多能特別有效地顯現核子放射所引起的閃爍的晶體、液體和塑膠（圖 3）。其中之一如 2,2'—對苯雙偶氮（2,2'-p-phenylenebis [5-phenyloxazole]），通常縮寫成 POPOP，便是日內瓦計數器內所用的閃爍液。檢驗閃光時，可想成在無窮小的原子世界中，每一個原子蛻變就產生一次閃爍。（圓滿的放射性說明，可參閱此叢書中的「我們的原子世界」（*Our Atomic World*）。

假使我們觀察人體內正要蛻變的鉀-40 單原子（鉀-40 是人體內最豐富的自然放射性元素）。我們知道，在任何可見大小的鉀-40，其中的半數原子，將以週期為一百億年以上的時間蛻變，可是這種蛻變是毫無章法的，所以我們無法知道任一個特別原子何時會蛻變。可是當它蛻變時，總不出下列二法：其他粒子（即電子）將從原子核

6 全身計數器



圖 6. 製造閃爍計數器時所用的晶體與液體的代表。當核子所生的光或粒子撞擊了這些物質，這些物質就會產生閃爍，經光電管，傳送到電子裝置而後計數。這種方法比蓋格計數器(Geiger Counter)的計數快，因此，閃爍計數器廣泛地用於高能加速器，如布洛克海文質子迴旋加速器(Brook haven Cosmotron)產生粒子的實驗。

布洛克海文國立實驗所提供。

中射出，而造成一種沒有放射性的鈣-40 原子(其或然率為 89%)，或是原子核將捕獲一個它自己軌道中的電子，造成穩定的氫-40 原子，同時發射伽瑪射線。(圖 4，指示此二種同位素的蛻變。)

假設有某種特殊能階的伽瑪射線，射向計數器內的閃爍液。要記住，伽瑪射線和原子比起來是很小的，幾乎不佔空間，所以任一伽瑪射線可能從人體內肉體的原子空間中穿過；可能穿透衣服和不銹鋼槽而不與它們碰撞；當然它也可能不與閃爍液中的原子碰撞。但是讓我們假設，我們所觀察的是有和閃爍液的原子相碰撞的，同時它所有的能量立刻轉變成許多光子所成的閃光。

這些光子從碰撞處輻射，而後撞擊在計數器內一個或多個光電放大管的對光線很靈敏的表面上，這些管子裝在可以捕獲閃爍的角度內。能量轉變的結果，產生了微小的電脈波。光電放大管(圖 6b)的裝置，它的用途有如“電眼”門開關，它們不但應和著閃爍液所產生的閃光，並將微小的電干擾放大，變成電脈波，使記錄閃爍總數的儀表工作。

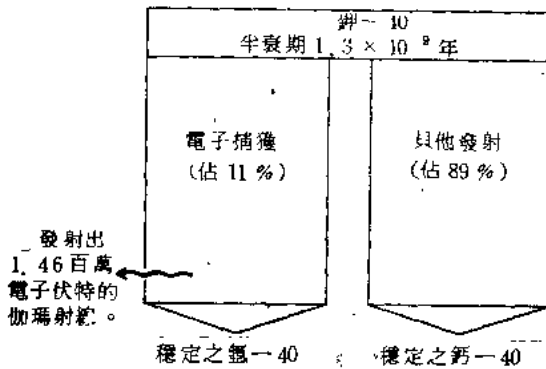


圖 4

日內瓦計數器大約記錄每一物體所發射的伽瑪射線總強度的 25 %，因為這試樣和人體總放射強度有一定的常數比，所以它可以轉換成全身計數，而使可靠性高達 97 %。

日內瓦計數器除了計數人體正確的污染量外，1955 年附帶地有一令人感興趣的發現；未能除下含鐳錶面的人們，經過儀器前面，立刻就被認出，可是一個小孩子在展覽會場附近檢了一塊鈾樣品，却使得儀器發生了故障。

當時有 25 個人超過了正常放射性標準，同時發現他們之中的每一人，以前都曾經在有鐳或其他有放射性物質的地方工作過。

第三章

勒斯阿勒摩斯液體閃爍計數器

談起此種計數器時，不禁想起第一個發現人體總輻射劑量可以被計數的人們。1950 年代早期，弗烈德利克·萊納斯（Frederick Reines）和克利德·科灣（Clyde L. Cowan），在新墨西哥州的勒斯·阿勒摩斯科學實驗所的兩位科學家，造了一個很大的閃爍計數器，希望證明或反證微中子的存在。微中子是一種難以捉摸的，不帶



圖 5 a：萊納斯博士（左）和科灣博士將傑姆士·布利居（James A. Bridgeman）放進第一個閃爍計數器。



圖 5 b：萊特·蘭漢姆博士（Dr. Wright Langham）坐在計數器內。

勒斯·阿勒摩斯科學實驗所提供。

電的，沒有質量的粒子。它們已經在 20 年前，解釋顯然相同的核種（nuclide）何以能發射不同能階的其他粒子的理論中，就預言它的存在。

根據理論，祇要有發射負貝他粒子的原子發生，微中子就會存在。基於這個論點，萊納斯和科灣相信，華盛頓州理契蘭（Richland）

地方的漢佛（Hanford）原子工廠的反應器，在核子燃料分裂時，應該會產生高密度的微中子，因此，他們到漢佛設立微中子捕獲實驗，他們的方法是檢定並計量某一定能階的伽瑪射線。爲了完成這個實驗，他們造了一個大到可以讓人爬進去的液體閃爍計數器，並用屏蔽使伽瑪射線不致於擾亂這實驗，結果他們成功地發現所要找的粒子，同時發展了可以研究人體的儀器。

圖 6a 顯示，一個人正要進入勒斯、阿勒摩斯計數器內。圖 6b 則爲裝 140 加侖的閃爍液槽和 108 個光電放大管中的 45 個。在使用此儀器時，此槽滑進 20 噸重 5 英吋厚的鉛屏蔽內。

裝載槽可裝一個 6 呎 4 吋高 260 磅重的人，人躺在裏面然後將它滑進計數器內，頭的後面有鉛塞用來關閉圓槽增加屏蔽，此型計數器內設有緊急按鈕，假使在裏面覺得不舒服時可以按它，可是多數的計量在 5 分鐘內就可完成，所以這按鈕很少使用。

當裝載槽移到定位的時候，偵檢器的液體幾乎完全將人包圍了，所以伽瑪射線的捕獲量爲日內瓦計數器的兩倍。

每一種放射性物質所發射的伽瑪射線都有它的特性能階。全身計

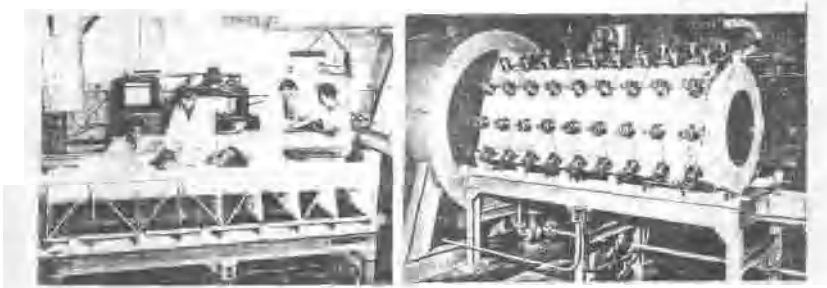


圖 6a 與 6b：勒斯、阿勒摩斯 4- π 液體閃爍全身計數器。右邊是同一計數器，祇是將屏蔽移掉的 108 個光電放大管中的五組。

勒斯、阿勒摩斯科學實驗所提供。

數器能够測量這種特殊的能階譜或是稱作爲“指紋”的，因此它可以驗明某種輻射是由那一種原子產生的。在閃爍液內產生的光子數和射入的伽瑪射線能量成正比，如鉀-40 所發射的伽瑪射線，它的能量爲 1.46 Mev（百萬電子伏特），銫-137（ Cs^{137} ）則爲 0.66 Mev，

10 全身計數器

當這兩種放射性原子核在閃爍液內同時產生閃光時，光電放大管產生兩種不同強度的電子脈波，然後用多頻路脈波高度分析器（multi-channel pulse height analyzer）分析它們的類別，同時記錄每一種放射性原子核的脈波數。

第四章 人體內的鉀 —40

從全身計數器所得到的數據中顯示，人體內最多的放射性核種是鉀-40，我們體內也含有其他自然放射性物質，可是它們的含量太低（如鐳），無法用全身計數器測量。人體的組織和器官也發現數種人造放射性原子，其數量有時候達到可以偵檢的程度。

測量人體組織中鉀-40原子的蛻變，可以決定他體內鉀的總含量（包括具有放射性的及穩定性的鉀）。我們已經知道鉀-40佔鉀總含量的0.0119%，而其中的11%可蛻變的鉀-40原子，發射出可用計數器測量的高能階伽瑪射線。

決定人體內鉀含量的方法，是將從人體得到的計數，與放在人像模型（phantom）（如圖）內的已知鉀含量所發出的伽瑪射線強度相比較。人像模型是人工造模軀體，它的大小、形狀及密度極似人體，用來校正計數器。設計時裏面的同位素分佈，都仿照人體。



人像模型內 140 克鉀的每分鐘計數	16,800
計數器內沒有放射性物質時的每分鐘計數，即自然背景計數	12,000
140 克鉀每分鐘的淨計數	4,800
77 磅小孩每分鐘的計數	14,400
自然背景每分鐘的計數	12,000
小孩的淨計數	2,400
因此小孩體內的鉀有	70克