



世界科学技术新成就

放射性同位素在 轻工业方面的应用

王金堂

科学普及出版社

世界科学技术出版社

放射性同位素在 轻工业方面的应用

王 文 著

科学出版社

放射性同位素 在輕工業方面的应用

王 金 堂

科学普及出版社

· 1958年 · 北京

目 次

序言	1
第一章 什么是放射性同位素	3
第二章 怎样得到放射性同位素	7
第三章 放射性同位素的应用的簡單原理	10
第四章 放射性同位素在輕工業方面的应用举例	14
1. 利用射綫的穿透性	15
2. 利用射綫的反射作用	19
3. 利用射綫对某些物質的熒光效应	21
4. 利用射綫的电离作用	22
5. 利用輻射引起化学反应和改变物質的特性	23
6. 利用射綫消毒作用	24
7. 利用放射性同位素的輻射产生电压的效应	24
8. 利用放射性同位素的原子来示踪——示踪原子即标记原子	26
結 束 語	28

序 言

六十年前的 1896 年，貝克勒耳發現放射性；1898 年，居里夫婦又發現了鐳，就逐漸揭開了原子時代的序幕。經過多數科學家的努力，至 1912 年才確立了同位素的概念。1934 年約里奧·居里夫婦又發現了人工放射性，這樣更開辟了人工放射性元素的領域。但在原子反應堆發明以前，放射性同位素是利用迴旋加速器或其他來源的高能粒子得到的，所以生產量就很有限，價格也很高，因此放射性同位素的重要性雖已逐漸明顯，但供給量極少。在本世紀的四十年代，科學工作者經過長期艱苦的勞動，發現了原子核裂變的現象，不但啓示了大規模利用原子核能的可能性，而且為放射性同位素的大規模生產提供了有利的條件。以鏈式反應進行裂變^①的鈾 235 核子反應堆，是放射性同位素的重要來源，其產量較以前增大幾百萬倍，放射性同位素的品種增加很多，價格也大大為降低。

1954 年 6 月，人類歷史上第一座原子能發電站在蘇聯開始供電，同時放射性同位素在蘇聯的科學、技術、農業和醫療等各方面也開始廣泛應用，現在放射性同位素的應用已成為原子能和平利用的重要組成部分。

1955 年 1 月 17 日，蘇聯決定援助我們建設一個七千瓩的實驗性原子核反應堆和能產生二千五百萬電子伏的 α 粒子的最先進的迴旋加速器。這個反應堆所用的鈾棒含有 2% 的鈾 235，

① 某些重元素原子吸收中子以後會分裂為兩片（很少為三片，四片），分裂時發出巨大能量，同時生成多種多樣同位素，這種現象叫裂變。

它以重水作中子減速劑及傳熱體，在必要的情况下这个反应堆的功率可以提高到1万瓩。为了更能加速我国社会主义建設的速度，并且实现原子能在我国的和平利用，我們对于苏联的这个援助建議表示了热烈的欢迎。在同年1月31日我国务院全体會議第四次會議上通过了“中华人民共和国国务院 关于苏联建議帮助中国研究和利用原子能的決議”。1955年8月在日内瓦初次召集了和平利用原子能的国际會議，由于帝国主义的阻撓，我国未参加。1955年12月苏联政府又派遣苏联科学家訪华代表团向我国人民传达了日内瓦會議和苏联和平利用原子能的成就。1956年6月苏联和平利用原子能展覽会也在北京开幕。1957年6月26日周恩来总理在第一届全国人民代表大会第四次會議上所作的政治报告中郑重宣布：“苏联帮助我国建設的功率为七千瓩的重水型原子反应堆和能产生二千五百万电子伏的 α 粒子的迴旋加速器正在加紧建設中。”1958年3月，这个巨大的迴旋加速器开始工作，1958年6月13日下午四时，我国第一个实验性原子反应堆，也开始工作了。这标志着我国开始进入了偉大的原子能时代。

为了迎接这个偉大的技术革新，有必要广泛向全国人民介紹有关和平利用原子能的常識，这本小册子介紹了放射性同位素在輕工業方面的应用，但應該說明的这只是和平利用原子能中的一小部分。

由于放射性同位素的应用在我国尚未广泛展开，因此在这方面的經驗尚嫌缺乏。这本小册子主要根据一些資料、文献及參觀所得編写而成的，錯誤及遺漏之处在所难免，希望專家及讀者們批評指正。

本書承左世藩工程师协助繪圖及审校特此致謝。

編者

第一章 什么是放射性同位素

环绕在我们周围的物体都是由原子构成的。原子很小，但它的构造却并不简单。构造最简单的化学元素是占元素周期表中第一位的氢，这个元素的原子是由两种粒子——质子和电子所组成的，质子形成原子核，而电子则围绕着重子旋转，成为原子的外围。

质子和电子都是带电的粒子，从电荷的数量上来看，这两种粒子是相等的，而符号则相反。每一个电子都带有一个电子单位的负电荷，而质子则带有一个电子单位的正电荷。因而在氢原子中，质子和电子的电荷的作用互相中和了，这样整个氢原子就不带电了。假若把这个质子的整数质量数，作为一个质量单位，则电子的质量就约为质子质量的二千万分之一，因此可以认为氢原子的质量差不多就等于质子的质量，也就是可以认为等于一个质量单位。

为了简便起见，我们常常把这种氢原子写为 ${}_1\text{H}^1$ ，这里左下方的数字表示原子核的电荷，这就是原子序数，也就是在门捷列夫元素周期表中这个元素排列的顺序数，而右上方的数字就是原子重量的整数值，这也就是原子量。

在门捷列夫周期表里，氢的后面按顺序是元素氦(He)，在氦的原子核里有二个质子，而在外层则有两个电子围绕着重子核在旋转。在氦的原子核里除了二个质子，还有二个不带电的粒子，这就是所谓中子，所以氦的原子核就是由二个质子和二个中子所组成的。中子的质量约等于质子的质量，因此氦原子核的质量数或者说是原子量就等于4。

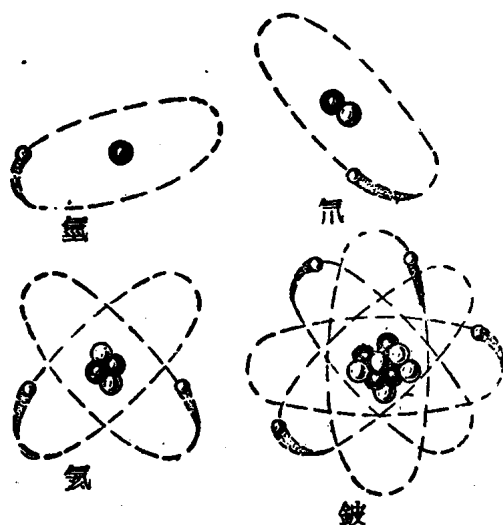


圖1 一些化学元素的原子構造圖

氦原子的簡單符号是： 2H_2^4 。

其他元素的構造可依此类推。每一个元素在它的原子核里都有一定数目的質子，在它的原子外圍就有与此数目相等的电子，在原子核里質子和中子的总数就等于原子質量数，并且大約等于这个化学元素的原子

量。

任何一个元素的全部原子，在它的原子核里，都有相同的質子数，而中子数則不一定相同。

即使在構造最簡單的元素——氫，也不是所有的原子都有上述的構造，假若我們用电流使大量的水分解成氫和氧，則殘留在容器底部的水的比重就比一般水的比重大些，这种水就是所謂重水。这个重量的增加是由于組成这种水的氫原子不是普通原子質量数等于一的輕氫，而是原子質量数等于二的重氫（氦），在这个原子的原子核里有一个質子还有一个中子。这种在原子核里有相同的質子数而有不同中子数的原子，就叫做同位素。多数化学元素是由几种不同重量的原子組成的，也就是他們有多种不同的同位素。

天然的碳(C)和氮(N)等就是同位素的混合物。例如 碳是

由兩種同位素 ${}^6\text{C}^{12}$ 及 ${}^6\text{C}^{13}$ 組成的，在 ${}^6\text{C}^{12}$ 的原子核里有六個質子和六個中子，在 ${}^6\text{C}^{13}$ 的原子核里有六個質子和七個中子。

存在于自然界中的任何一種元素，不論它們的來源如何，其所含各種不同重量的原子數目間的比例是一定的，例如不論何處收集的水含輕氫的原子與含重氫的原子的比例永遠是999,844比156。在碳元素里原子 ${}^6\text{C}^{12}$ 與原子 ${}^6\text{C}^{13}$ 的比永遠是989比11。

近代原子核物理的偉大成就之一，就是創造了分離一種元素的同位素的方法。這不是一件簡單的事情，因為一種元素的各種同位素的化學性質實際上是一樣的，因此同位素的化學性質也就是化學行動是一樣的（這對於氫的同位素不完全適合，氫的原子量很小，因而其化學性質由於原子重量差異較大而微有不同）。為了使同位素分離，常利用物理性質上的差異來進行。在上面，我們已經說過利用電解的方法可以使氫的同位素分離，因為含有重氫的水分子，比較難於被電分解，因而殘留在容器的底部溶液中。此外還有別的分離同位素的方法，例如利用較輕的同位素通過小孔時的速度較快等等方法。

自然界內原子量較小的輕元素的同位素，例如氫、碳、氮、及其他同位素是穩定的，叫作穩定同位素。可是在自然界存在的元素中，位於門捷列夫周期表後部的重元素，他們都有自然放射性同位素（非穩定同位素）。這種不穩定性表現為同位素的原子核自動衰變並在伴隨著衰變的同時有放出射綫的現象。這種現象首先在上世紀之末（1896年）為法國科學家貝克勒耳所發現，他發現鈾的化合物能使附近包在黑紙里的照相底片感光，由此斷定鈾會不斷地自動放射出某種看不見的、穿透能力相當強的射綫。這種現象叫做天然放射現象。物質的這種性質就叫天然放射性。

現在知道，原子序數從 84 起的所有元素都有天然放射性同位素，但原子序數比 84 小的某些元素的同位素，也有天然放射性同位素。

放射現象的發現是人類歷史上的一件大事，它使人類的認識深入到原子的深處——原子核中去。人類第二種火——原子能的發展，是由放射現象的發現揭開了第一頁的。

放射性物質放射出來的究竟是些什麼東西呢？

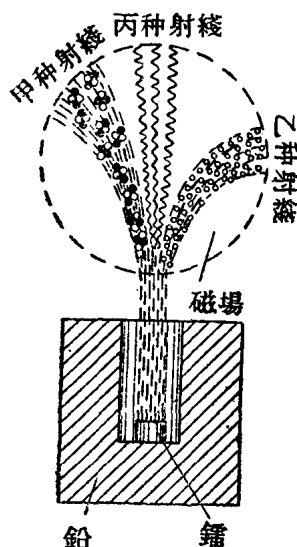


圖 2 鐳源中放出的三種射綫在磁場中的偏轉、分開

質。

甲種射綫也叫做 α 射綫或 α 輻射，是帶正電的高速粒子流，這種粒子也叫 α 粒子，它是氦的原子核 (${}^4_2\text{He}$)，它們從放射性元素的原子核中以每秒兩萬公里的速率放射出來。

乙種射綫也叫做 β 射綫或 β 輻射，是帶負電的高速粒子

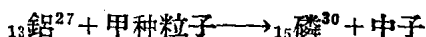
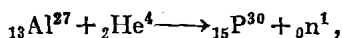
為了解決這個問題，可以在鉛盒子里面放少量含有鐳的放射性物質(圖 2)，鉛盒子上開一小孔，再把這個裝置放在強磁場中。利用各種方法就可以看出這些放射性物質放射出來的射綫在磁場中就分解成為三種射綫：一種偏向磁場的 S 極，就如帶正電的東西一樣，叫做甲種 (α) 射綫；另一種偏向磁場的 N 極，就如帶負電的東西一樣，叫做乙種 (β) 射綫；第三種沒有偏轉，仍舊按直綫方向射出去，就知道它不帶電，叫做丙種 (γ) 射綫。

經過科學家們的艱苦研究，我們已清楚地知道了這些射綫的本

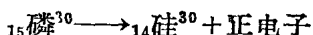
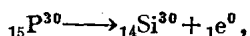
流，这种粒子又叫 β 粒子，也就是电子，它们的速率每秒约为二十多万公里。

丙种射线又叫做 γ 射线或 γ 辐射，是一种光子流，光子是不带电的，以光速（在真空中是每秒 30 万公里）运动的粒子。我们知道，一切可见光、紫外光、X 射线，丙种射线等，都是由一个一个的光子组成的光子流，它们的区别在于光子的能量不同，由于光子的能量和波长成反比，而丙种射线的波长极短，因此它的能量就很大。

1934 年约里奥·居里夫妇在研究铝受甲种粒子轰击所引起的反应时，发现在反应中有中子和正电子放射出来。这个反应可以写为：



其中磷是不稳定的，它放射正电子



这样就发现了人工放射性，这个发现帮助我们更进一步地认识原子核。它的意义非常重大。

人工放射性元素有的放乙种射线，有的放正电子，它们有的同时放射丙种射线。还有少数重元素的人工放射性元素，也会放出甲种射线。

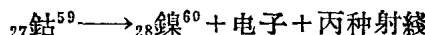
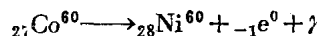
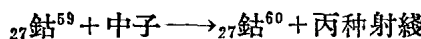
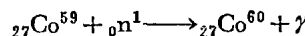
根据以上所述，我们就可以知道放射性同位素就是具有放射性的同位素，也就是不稳定的同位素，其原子核会自动衰变的同位素。

第二章 怎样得到放射性同位素

在 1934 年以前，只知道几种由铀矿或钍矿中得到的几种天

然放射性物質。其中最重要的是鐳，这个元素在被居里夫妇發現后的第二年，就被用来治疗癌症。

自1934年約里奧·居里夫妇發現人工放射性以后，科学家發現不單是用甲种粒子去轟击原子核可以得到某些元素的放射性同位素，就是用質子、氘核（重氫核）、中子、丙种射綫去轟击原子核时，也都能得到。其中質子、氘核、中子还比甲种射綫更有效，而中子最为有效。應該注意的是一些原子核吸收一个中子（时常是速度較低的或能量較小的中子，也就是所謂慢中子）时，会放出丙种射綫并同时产生常常具有放射性的产物，例如：



鈷60在工業上很重要，它所放出的丙种射綫的能量很大，半衰期^①約为五年。

对于所有元素，都能用人工方法得到它們的放射性同位素，已經得到的人工放射性同位素已近千种。

在原子反应堆建成之前，放射性同位素的生产主要依靠加速器用氘核、質子、甲种粒子或中子（在實驗室里可以由中子源得到中子），轟击一种元素而得到；可是这样得到的放射性同位素为量很少。

在核子反应堆里由于鈾的裂变就产生了由 ${}_{30}\text{Zn}^{72}$ 到 ${}_{63}\text{Bi}^{158}$ 一系列的放射性同位素，如 ${}_{38}\text{Sr}^{89}$ ， ${}_{38}\text{Sr}^{90}$ ， ${}_{39}\text{Y}^{91}$ ， ${}_{40}\text{Zr}^{95}$ ， ${}_{41}\text{Nb}^{95}$ ， ${}_{43}\text{Mo}^{99}$ ， ${}_{44}\text{Ru}^{103}$ ， ${}_{44}\text{Ru}^{106}$ ， ${}_{52}\text{Te}^{127}$ ， ${}_{52}\text{Te}^{129}$ ， ${}_{52}\text{I}^{131}$ ，

① 不論是天然的或人工的放射性同位素，不是很严格地說的話，它的衰变是不受外界影响的，它每隔一定時間，就衰变一半，这段時間就叫做这个放射性元素的半衰期。

$^{137}_{56}\text{Ba}$, $^{140}_{56}\text{Ba}$, $^{141}_{58}\text{Ce}$, $^{144}_{58}\text{Ce}$, $^{143}_{59}\text{Pr}$, $^{147}_{60}\text{Nd}$, $^{147}_{61}\text{Pm}$ 。

但是更重要的是因为核子反应堆是一个很强大的中子源，因此把很多种元素或其化合物放在反应堆里，用中子轰击就可得到各种各样的放射性同位素，如钠 24 ，磷 32 ，硫 35 ，氯 36 ，钾 42 ，钙 45 ，钪 46 ，铬 51 ，铁 55 ，铁 59 ，钴 60 ，镍 59 ，铜 64 ，锌 65 ，镓 72 ，锗 71 ，锗 77 ，砷 76 ，硒 75 ，溴 82 ，铷 85 ，铈 89 ，钇 90 ，锆 95 ，钼 99 ，钽 103 ，钡 109 ，银 110 ，镉 115 ，铟 114 ，锡 113 ，锡 123 ，锑 124 ，碲 127 ，碲 129 ，碲 131 ，铊 134 ，铊 131 ，镥 140 ，铈 141 ，铈 143 ，镨 142 ，钕 154 ，钆 151 ，钆 152 ，铈 155 ，铈 156 ，铈 159 ，铈 192 ，铈 194 ，金 198 ，汞 197 ，汞 203 ，铀 204 ，铀 210 。

也可以得到碳 14 ，磷 32 ，硫 35 ，钙 45 。

也可以得到氘即氢 3。

也可以先得到一个短寿命的同位素，这个同位素由于它放出乙种粒子因而变成另外一种同位素，下列同位素就是这样得到的：砷 77 ，铈 95 ，铈 97 ，铀 105 ，银 111 ，铈 125 ，碘 131 ，铈 131 ，

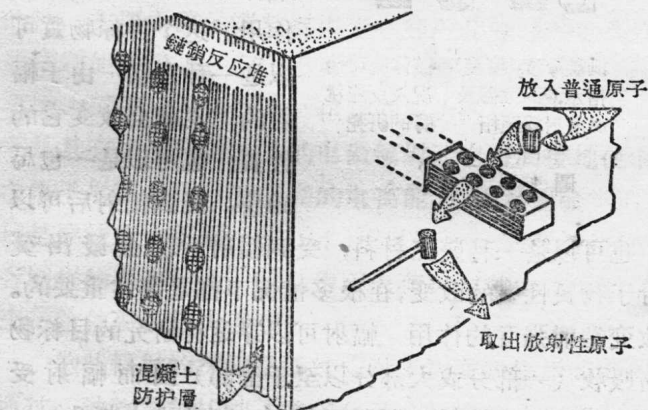


圖 3 由反应堆制得放射性同位素

鐳¹⁴³，鉅¹⁴⁷，鎢¹⁵⁵，金¹⁹⁹，鈾²¹⁰。

因此核子反應堆就成為放射性同位素的重要來源和製造放射性同位素的有力工具。隨著反應堆的建立，就可以大量生產各種放射性同位素。

第三章 放射性同位素的應用的簡單原理

放射性同位素可以作為電離輻射的來源及作為示蹤(標記)原子；作為放射源的放射性同位素和鐳及 X 射綫的功用相似。放射性同位素的應用的原理可以歸納為三種主要型式，如圖 4 所示。

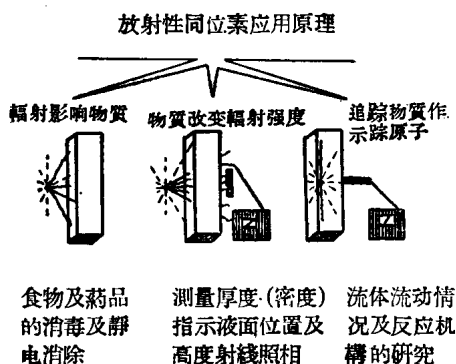


圖 4

輻射對物質的作用

這裡放射性同位素作為一個固定放射源，很像 X 光機。人們將一個待研究的目標物質使其在某種形式下感受輻射的作用。這個目標物質可以是一種塑膠，由於輻射的作用就會改變它的性質；也可以是一包馬鈴薯，受到輻射後可以

防止腐敗；也可以是一種熒光材料，受到輻射後就會發出熒光。輻射對於物質性質的改變，在很多情況下都是非常重要的。

物質改變輻射強度的作用 輻射可以穿過待研究的目標物質，被它所吸收（一部分或大部分以至全部）因而輻射受到相應的減弱作用，或被該物質所反射（一部分或大部分）。因而在輻射源的同一面，輻射會有所增強。探測輻射的裝置可

以是計數管或照相乳膠，這要看所需指示的要求而定。如果應用在工業上，這就構成了一個理想的探傷（尋找金屬結構的缺陷）的裝置，同時也成為大多數放射性同位素用來控制生產的基礎。例如測量一個正在移動金屬板的厚度是否合格，測量在密閉器內液體的水平面的漲落位置等的自動控制儀，就是根據這作用而設計的。

追蹤物質起示踪原子的作用 這裡放射性同位素可以作為一種示踪原子，以顯示某一種原子在物理運動及化學或生物反應中的複雜過程。人們常將放射性同位素加到流體中，探測確定地下管道或暗管漏泄的地方。如使含有放射性 Na^{24} 的水，流經檢查的水管，然後用普通水將水管沖洗干淨，再用計數管沿水管探測，在水管漏的地方，因放射性已滲入地下，故很容易找到它。

放射性的探測 由上述應用原則里可以看出放射性的探測是應用放射性同位素的重要環節。我們已經提到過，放射性同位素的射綫主要有下列四種類型：（1）甲種粒子——即氦原子的核，主要由重元素放射出來，它產生強烈的電離作用，但它的穿透能力很小。（2）乙種粒子——是高速負電子流，它的電離能力較甲種粒子為小，但穿透能力較強。（3）丙種射綫——它是具有高度穿透能力的電磁輻射，它可間接地使電子以高速由原子射出，因而有很高的電離能力，丙種射綫類似X射綫，只是穿透能力更強一些。（4）正電子——它与乙種粒子類似，也有同樣的電離能力，只是帶正電荷，與其他三種型式比較起來，這種射綫較少遇到。

這些輻射的探測是通過它對於物質的作用而進行的。射綫通過一種物質就擾動了許多分子，這樣就產生帶有正電及負電的部分，即所謂離子，這種電離現象，可用離子的電荷作用或

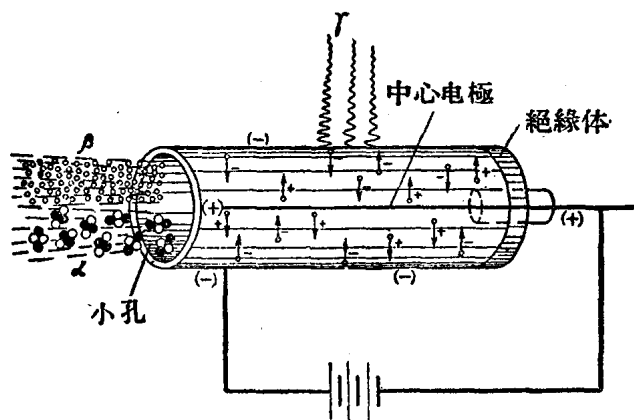


圖 5 电离室的作用原理

离子的重結合作用显示出来。

射綫一般用一种灵敏的仪器如盖革計数管或閃爍計数器来探测和测定的。当一种粒子进入盖革計数管后，就可以使其中的气体变成离子，这样就引起一次放电，如此得到的微弱的电流，經過放大，就产生一个可以看到、听到或可用机械計数器记录下来的訊号。

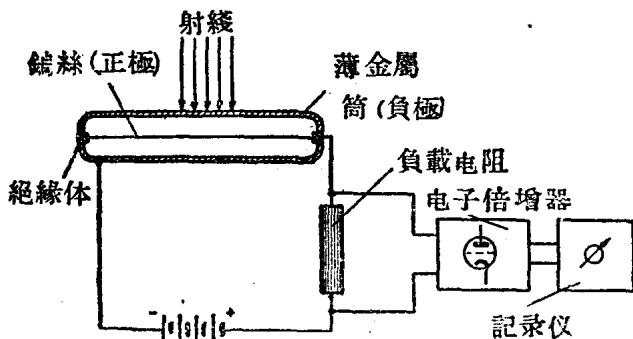


圖 6 气体計数器的綫路及構造

在閃爍計數器里，粒子射到一種液體或結晶內，就會產生一個小閃光，如果利用一個光敏裝置把閃光轉變為小的電流，再加以放大的話，就可以記錄下來在那種液體或晶體上接受到的粒子數。

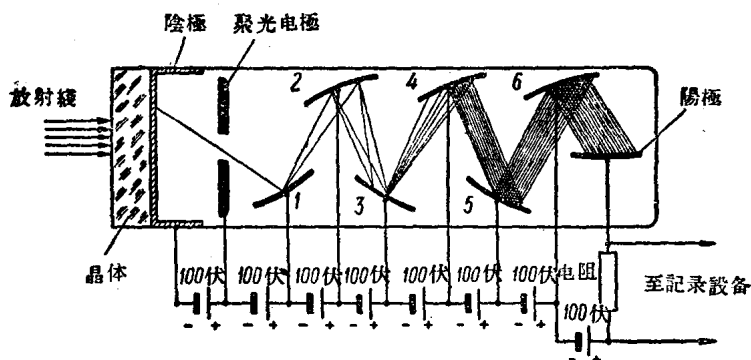


圖 7 閃爍計數器的路線示意圖

放射性同位素的靈敏性及特殊性 應用放射性同位素可以示踪極微量的物質，在若干情況下可以探測至其他方法所能探知的百萬分之一到萬萬分之一。探測由非放射性物質稀釋一億至十億倍的放射性同位素是很容易的，有些同位素甚至稀釋十萬億倍後仍可以探測出來。

放射性示踪(標記)原子的特殊性，比它的靈敏性更重要，它可以標記特定的一批原子，並可以利用許多化學的或物理的方法加以示踪。被標記的原子雖然與其他若干原子或分子進行了多次的化學反應，但仍然可以探測出來，這是其他方法所辦不到的，因此示踪(標記)原子對於研究複雜的化學及生物學過程是非常有用的。

放射性同位素探測的靈敏性，示踪(標記)原子的特殊性及每個放射性同位素的放射性特性，就使放射性同位素能廣泛應