

原子核輻射探測資料匯編

中国科学院原子核委员会編輯委员会編

(内部資料·注意保存)

科学出版社

原子核輻射探測資料汇编

中国科学院原子核委员会編輯委员会編

(内部資料·注意保存)

科学出版社

1960

7

內 容 簡 介

本书系根据几个有关射线探测仪器座谈会的发言稿彙編而成，其中介绍了关于探测仪器各方面工作的做法和經驗。全书包括八个方面共 46 篇文章。这八个方面是：（一）一般介绍；（二）探测元件；（三）放大器；（四）高压稳定电源；（五）定标器；（六）单道脉冲分析器及其他；（七）辐射测量；（八）放射性同位素应用与探矿仪。在探测元件方面，着重介绍了盖格计数管和閃爍计数器的制备和性能，也介绍了三氟化硼慢中子正比计数管和原子核乳胶。在放大器部分中，除了介绍和討論綫性脉冲放大器的一般問題外，还介绍了北京型不过載綫性脉冲放大器、負反饋脉冲放大器理論、直流放大器和脉冲放大器的噪声分析問題。在放射性同位素应用与探矿仪方面，介绍了利用放射性同位素测量物体厚度、探伤、探测沿岸漂沙运动以及各种辐射探矿仪的原理、設計、使用和维护問題。

本书内容丰富，可供研究和使用的探测仪器的科学技术工作者、从事原子能和平利用的科学技术工作人员閱讀。

本書憑下列單位的党委介紹信購買

中国科学院及各分院的原子能研究所；
高等学校的原子核物理专业、放射生物专业、放射医学专业、放射化学专业、放射化工专业、反应堆的設置运轉专业；
无线电器材厂、电子管厂、灯泡厂；
省、市級图书馆設有內部資料借閱机构者；
其他放射性同位素的使用单位。

原子核輻射探测資料汇編

中国科学院原子核委员会編輯委员会編

*

科学出版社出版（北京朝陽門大街 117 号）
北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 科学出版社发行

*

1960 年 4 月第 一 版	书号：2174 字数：411,000
1960 年 4 月第一次印刷	开本：787×1092 1/18
（京）0001—3,000	印张：19 4/9 插頁：12

定价：3.00 元

核輻射探測資料彙編

前 言

这本資料,是根据几个有关射綫探測仪器座談会的发言稿彙編而成的.发言人都从事过一段時間有关探測仪器的实际工作,有一定的实际經驗.但他們都声明,他們的經驗是不成熟的,或屬一得之見,或系因事制宜,各种做法都只是一个尝试.因此,这本資料所介紹的,并不是每一条經驗、每一种做法,都可以普遍推广.但我們认为,我国既然有这么一部分同志,做过一些工作,他們的做法、体会,已經在几个座談会上交流过,起了一定作用,那末把这些发言稿鉛印出来,使交流的范围更扩大一些,还是有益的.

为了尊重发言人的意見,我們在这里再次声明一下,这些資料还不很成熟,只能內部发行,仅供参考.

編 者

1959年9月

目 录

前言.....	(iii)
---------	---------

一 般 介 紹

探测技术和实验原子核物理.....	赵忠尧 (1)
原子核辐射探测器.....	戴传曾 (7)
原子核电子学.....	楊衍明 (19)

探 测 元 件

盖革计数管.....	李忠珍 (27)
仿苏 MC-4, MC-6, MC-7, MC-9 计数管的制作工艺	张荣显 (45)
低灵敏卤素管的制造.....	张荣显 (52)
盖革计数管问题讨论总结.....	李忠珍 (54)
三氟化硼慢中子正比管的制造.....	彭华寿 (72)
几种主要闪烁晶体的制备.....	毛裕芳 (81)
NaI (Tl) 晶体制备.....	周誦諧 (95)
探测慢中子用的闪烁计数器.....	齐卉荃 (101)
原子核乳胶.....	刘惠长 (107)
高绝缘零件的加工工艺.....	李惠林 (116)

放 大 器

线性脉冲放大器的一般介绍.....	郭瑞琪 (124)
线性脉冲放大器.....	复旦大学 (132)
关于线性脉冲放大器的讨论.....	(135)
北京型不过载线性脉冲放大器.....	屈建石 (138)
负反馈脉冲放大器理论.....	陈奕爱 (146)
脉冲放大器噪声的分析.....	陈奕爱 (154)
用于电流电离室测量的直流放大器部份工作小结.....	謝一崗 (160)
有关放大器方面的问题.....	許廷宝 (174)

高 压 稳 定 电 源

高压稳定电源.....	席德明 (176)
-------------	-------------

2500伏高压稳压电源·····	复旦大学 (183)
閃爍計数器用高压稳压电源·····	应模舜 (186)
有关高压稳定电压方面的問題·····	(191)

定 标 器

关于定标器問題的討論·····	許廷宝 (192)
有关定标器方面的意見及問題·····	許廷宝 (202)
双稳态定标器的一些計算方法·····	許廷宝 (205)
定标器小批生产及工艺的一些經驗介紹·····	許純仪、张至善 (217)

单道脉冲振幅分析器及其它

单道脉冲振幅分析器(一)·····	周和琦 (222)
单道脉冲振幅分析器(二)·····	复旦大学 (229)
单道脉冲振幅分析器(二)的改进說明·····	复旦大学 (235)
γ 射綫閃爍譜仪·····	芦希庭 (238)
若干綫路的簡單介紹·····	許廷宝、张至善 (245)

輻 射 剂 量

輻射剂量測量方法的一般介紹·····	邢振坤 (257)
两种簡單的監督 γ 剂量的方法·····	邢振坤 (268)
放射源的絕對測量·····	于凤翹 (271)

放射性同位素应用与探矿仪

利用放射性同位素測量物体厚度·····	刘兰华 (285)
利用放射性同位素探测沿岸漂砂运动·····	曹祖德 (293)
閃爍計数器在 γ 探伤中的应用·····	俞燕青 (300)
放射性探矿仪器的概况·····	严育才 (311)
对地面輻射仪的一些認識·····	严育才 (320)
伽瑪測井仪·····	錢定中 (325)
剂量(率)仪、地面輻射仪基本技术及設計 ·····	张惠民 (333)
野外地面輻射仪的維護和修理·····	吳长根 (349)
几种測量电离电流的仪器介紹·····	程景泰 (353)

一般介紹

探测技术和实验原子核物理

趙 忠 堯

探测技术是原子核物理中发展最早和应用最广的技术。它和加速器技术与反应堆技术是原子核物理的实验技术的三个主要部分。探测器的改进和創造,是原子核物理发展的主要因素之一,在实验原子核物理中,无论新的现象的发现,或物质内部运动规律的研究,都需要灵敏而且可靠的探测仪器。另一方面,在和平利用原子能的各种设备中,探测仪表是很重要的部分,所以原子能事业的发展也和探测技术的发展,起着相互推进的作用。

抗日战争以前,在我国的个别高等学校里,也初步试制了几种探测器,如盖革计数器 and 云雾室等,并且利用它们进行了一些简单的原子核物理研究工作。不过那时候工作的目的性和规模,根本不能和现在相比。由于日本帝国主义者侵占中国,連这一点仅有的工作也都中断了。只有在解放以后,共产党根据人民的利益,领导科学事业,探测技术才在我国土地上大规模地生根发芽。在今天许多学校、研究机构和产业部門都进行有关探测仪器的研究、試制和生产。无论在探测元件或电子学綫路以及应用的仪器各方面,我們都已取得一定的成績。只是和我国社会主义建設的規模相比,这还仅仅是一个开始,我們还需要努力克服各种困难,在巩固現有成績的基础上不断地加以提高和推广。

探测技术发展的历史

电离室和照相片是最早的射綫探测器,原子核射綫的发现和它們的性質的确定都依靠这二种探测器。电离室比照相片灵敏,大部分放射化学的工作和初期原子核物理的工作,都利用电离室来进行。大部分X射綫的工作,也应用电离室。现在在原子核物理的研究和原子能的应用方面,有好多工作,特别是射綫剂量的工作,还需要利用电离室。由于后来加上电子学綫路的放大,现在的电离室,比过去的更加灵敏和可靠。

利用照相片探測射綫也很早。放射性的發見就是由于它使照相片感光而顯出黑影。因為照相片上黑影的位置便于測量，早期好多原子核物理和X射綫的工作，也利用照相片來進行，特別是在測定各種射綫能量的時候。在利用照片的研究工作中，發現照片可以記錄個別帶電粒子的徑迹。為了記錄快速的粒子，人們設法增加照相乳膠內的溴化銀含量，並增加乳膠的靈敏度，由此創造了研究原子核用的乳膠。這類乳膠，在原子核物理和宇宙綫的研究以及和平利用原子能事業中，有廣泛的應用。

雲霧室、氣體計數管和閃爍晶體的探測作用，都在1910年左右發明。雲霧室首先顯示個別帶電粒子的徑迹，以及一個帶電粒子從原子核內打出另一個帶電粒子的徑迹。雲霧室本身的技术，在開始階段已經相當完善。這也應當歸功於發明者本人威爾遜氏。他在同一儀器上，不斷地努力改進達二、三十年之久。以後這項探測器的改進，主要是在輔助儀器上。特別是在1930年左右，人們加上磁場並且利用計數管的控制，由此可以辨別電荷的正負號，測量粒子的動量，並且選擇我們所要研究的特殊現象。雲霧室技術進一步的發展，導致擴散雲霧室和氣泡室的發明。這三項儀器，目前在宇宙綫和高能原子核物理的研究中，特別重要。

氣體計數管和閃爍晶體，在原子核物理發展的早期，都起過重要的作用。一克鐳每秒鐘所放出的 α 粒子的數目是一個重要的數據。它就是在1910年左右用當時所發明的氣體計數管首先測定的。啟示我們並且證明原子核存在的 α 粒子散射的實驗，是用閃爍晶體觀察的。由於當時沒有適當的輔助儀器，所以這二種探測器在早期沒有能夠很快地發展。它們以後的發展，一方面要歸功於電子管和電子綫路的幫助；另一方面也由於後來各種加速器的發明，原子核物理得到迅速的發展，對於探測技術提出迫切的要求，因而起了很大的推動作用。

1930年左右，人們首先設法改進氣體計數管的陽極金屬絲的處理，並利用電子綫路的放大和淬滅作用，使每個帶電粒子所引起的脈沖電流，經過放大以後能夠轉動機械計數器。以後在1937年，進一步利用有機氣體的淬滅作用，獲得更好的時間分辨率。這就是目前所通行的蓋革計數器。至於原來所設計的气体計數管，稍加改進就成目前的正比計數管。現在雖然好多計數器的個別性能比蓋革計數管好，但是由於蓋革計數管的設備經濟和使用方便，它是原子能事業中應用最廣、也可以說是最重要的探測器。

閃爍計數器的發展比氣體計數管更晚。第二次大戰以後，人們利用光電倍增管，使閃爍的微光產生光電子，並使電子的數目得到倍加。由此獲得便于放大的脈沖電流。由於閃爍計數器記錄 γ 射綫的效率，反應快，而且所給脈沖的大小比例於射入粒子的能量，它在原子核物理的研究和原子能應用方面，日趨重要。

上面所說的各种探测器都利用带电粒子电离或激发介质中的分子或原子的效应。契連科夫計数器利用另外一种效应。就是当带电粒子在介质中的速度超过它所产生的电磁扰动在介质中传播的速度时，这些扰动将在一定方向互相增强而产生契連科夫輻射。这种效应在1937年发现，1947年才被利用来做契連科夫計数器。由于它对粒子的速度有鑑別力，而普通的閃爍晶体对于高能粒子的能量不能鑑別，所以契連科夫計数器在高能原子核物理中很重要。

从探测技术发展的历史看，我們可以得出下面几点：

(1) 每一阶段原子核物理的发展，在极大程度上依靠探测技术。每种探测技术的改进和創造，都对原子核物理起很大的推动作用。

(2) 原子核科学的发展，对探测技术提出新的要求，由此促进探测技术迅速的发展。

(3) 探测技术的发展，在很大程度上也依靠其他科学的发展，特别是电子学的发展。

探测器在目前原子核物理各方面所起的作用

(1) 要观察个别粒子与原子核碰撞中所引起的各种现象以及它们的生成和转变，我們常常利用乳胶、云雾室、扩散云雾室和气泡室等设备。不带电的粒子虽然自己不能在这种探测器所給的照片上留下径迹，不过从它们所产生的现象，我們还是可以推测它们的性质。从带电粒子所給径迹的浓度我們能够推测粒子的速度或电荷的大小。从径迹在磁场中的弯曲方向和弯曲度，我們可以知道粒子所带电荷的正负号以及粒子的动量。此外从径迹的空间分布和时间联系，我們还能够推测粒子的其他特性和它们相互间的作用。正电子、 μ 介子、 π 介子、若干重介子和若干超子的发现，以及它们的特性的确定，都是这样获得的。

(2) 要测定大量粒子的数目，例如各种射线源的强度，各种衰变和反应产物的产额，以及各种产物的时间联系和空间分布，我們常常利用气体計数管。在比較精密的测量中，我們也利用閃爍計数器或原子核乳胶来测定粒子的数目。在这里，我們可以把质子的散射的实验作为例子来说明。上面說过，四十余年以前，人們曾經利用閃爍晶体观察 α 粒子的散射，由此証明原子核的存在。現在好多质子散射的实验，也利用閃爍計数器，但是有下面几点不同：(i) 現在的冲击粒子主要是用加速器产生，無論在数量、种类和能量范围上，都比从前多或者大；(ii) 現在的閃爍計数器利用光电转变和綫路放大，记录粒子的速率比从前快得很多；(iii) 現在研究的目的是要知道在原子核内核子分布的情况和明确外来粒子和原子核反应的机理。我們也值得注意，在这

样的实验中,原子核乳胶一样的可用,只是没有闪烁计数器来得方便。

(3) 在要研究能量关系的时候,特别是在原子核能级的研究中,我们常常需要确定放出的粒子的能量。我们可以利用两种方法来测量:(i)我们可以把计数器接在能谱仪上,测定具有一定能量的粒子的数目;(ii)我们可以利用原子核乳胶、正比计数器或闪烁计数器,直接测定粒子的能量和数目。

(4) 在中子物理的研究中,我们可以利用正比计数器,乳胶和闪烁计数器。由于闪烁计数器的反应快,可以用它测量快中子的速度。这就是飞越时间法。利用飞越时间法,可以选出各种能量的中子,由此研究原子核的中子反应截面对能量的关系。这类数据在反应堆的设计上特别重要。另一方面,利用飞越时间法,也可以研究核反应所产生的中子的能谱。这类数据在原子核物理中还很缺少。热中子的速度,是每秒2200米左右。测量慢中子的飞越时间,可以利用BF₃计数管或闪烁计数器,在电子学线路方面,需要微秒范围的时间分析器。一百万电子伏的快中子的速度大约是每秒 1.5×10^7 米。测量快中子的飞越时间可用塑料的或是麓的闪烁计数器,在电子线路方面需要毫微秒范围的时间分析器。

(5) 在高原子核物理和宇宙线的研究中,除原子核乳胶,云雾室和气泡室以外,人们常常利用闪烁计数器和契连科夫计数器。因为计数器可以累积大量的数据,对于统计性的记录特别有利。但是人们也可以利用计数器作巧妙的安排,在大量粒子中选出某种特殊的粒子。例如反质子存在的证明,就是用这样的安排。在这个实验中,人们利用60亿电子伏左右的高能质子打在铜的靶子上来产生反质子。这种反质子的动量应为11.9亿电子伏/c。利用二次磁场分析和二次磁场聚焦,得到具有上面的动量的负粒子束。但是由于高能加速器产生大量的 π 介子,这粒子束中的极大多数是负性 π 介子。问题就是要从很多负性 π 介子中分出少数几个反质子。他们利用双重的选择达到这个目的,第一种是飞越时间的选择。在这粒子束中的反质子和负性 π 介子虽然动量相同但是它们的速度不相同。它们飞越40呎所需的时间分别是51和40毫微秒。他们利用二个塑料的闪烁计数器把负性 π 介子和反质子完全分开来。第二种是利用契连科夫计数器来选择。所得的反质子的速度是 $0.78c$ 他们利用二个契连科夫计数器,一个检出 $\beta > 0.79$ 的粒子,一个选择 β 在0.75和0.78之间的粒子,当反质子进入第二个契连科夫计数器时,它们的速度略小于 $0.78c$,所以刚刚可以被选择出来。最后再用一个塑料计数器保证没有被散射的粒子混杂在内。利用这二种选择法他们无可辩驳地证明了反质子的存在。在证明反质子的存在以后,他们利用相似于上面所说的方法先得到反质子束,然后令这样的反质子束在闪光液体中转变为反中子,再利用二个闪烁计数器和一个特殊的契连科夫计数器的巧妙安排,证

明反中子的湮沒。从上面所說的实验,我們可以体会到閃爍計数器契連科夫計数器和毫微秒电子綫路在高原子核物理中的重要性。

探测技术和我国原子能事业的发展

我国目前正在全国各地建立原子核物理、放射化学和同位素应用的实验室。每一个实验室必須掌握有关的探测技术。作为原子能事业的先行官,探测技术的发展必須配合其他主要設備和整个原子能事业的发展。为适应目前国家的建設,在大多数地区,我們將先建立輕型的加速器,然后逐步建立中型加速器和反应堆。目前在各实验室里,气体計数管有最广泛的应用。它不但在同位素应用和放射化学实验室里很需要,在原子核物理实验室的研究工作中也不能缺少。例如在宇宙綫工作中,我們需要利用大量的盖格計数管,云雾室也需要盖格計数管来控制;在利用能譜仪的各种工作中,我們常常需要钟罩形的計数管;由于气体計数管所需的設備輕便,我們也常常用它作为預試的仪器。关于气体計数管的探测技术,我們大家已經有一些基础。但是还需加以巩固、推广和提高。否則我們就会在前进的道路上遇到困难和产生浪費。

閃爍計数器有它的优点,在原子核能譜和原子核反应的工作中,它将是不可缺少的工具。但是在好多研究工作中,我們可以利用比它更加簡單或是更加經濟的別种探测器,特别是在目前光电倍增管供应很紧张的时候。所以对于閃爍計数器,我們目前需要准备条件和尽快掌握这项技术,但是它的应用不一定能够立即大量的推广。

中子計数器在中子实验室里是必需的,为了尽快掌握中子物理的实验技术,在未有反应堆以前,我們將先利用小的中子源和高压倍增器或是其他加速器所供給的中子。中子流的強度可用它所产生的放射来探测,这就可以利用盖革計数器。在中子物理的工作中,我們經常利用正比計数器和閃爍計数器。BF₃計数器实际是正比計数器的一种。

在原子核物理和宇宙綫的研究工作中,原子核乳胶是輕便而且經濟的工具。我国已能自己生产各种乳胶,此后的供应将不成問題。我們应当利用这一有利条件。

从上面所談的,可以总结出下面的几点:

(1) 几年以来,我国对于探测技术已經累积了不少宝贵的經驗,对这些已有的成績我們需要加以巩固、推广和提高。对于尚未接触的部分,我們須要尽快地掌握。我們原子能事业发展的速度,在某些方面将取决于探测技术发展的速度。

(2) 探测技术的发展,主要由于整个原子能事业的推动。設法解决实际問題是促进探测技术的最好途径,这对无论那門学科和技术,都是一样。

(3) 扩大眼界、吸收新的科学和技术的成果是发展探测技术的一个重要因素。

(4) 好几种探测方法，在停留一个时期以后，由于吸收新的科技成果而得到发展。所以从前认为难于发展的方法，以后不一定没有希望。

(5) 电子线路的技术，是每一个原子核实验室所必需的。目前所急待解决的是常用线路的制造和改进。同时应当尽快掌握更高一级的技术。由于人力物力的限制，在开始研究每种线路的时候，最好先明确要解决的问题。

(6) 分工协作是我国发展科学和技术最重要的环节。有的技术各实验室都需要，大家都要进行。有的技术比较专门，而且产品的需要量不太大，为了人力物力的经济，就不必有太多地方同时进行。

以上这些意见，免不了片面或是不正确，仅供参考，并且希望得到指正。

原子核輻射探測器

戴傳曾

核輻射探測器是用來探測核輻射的儀器。人們可用它來測知輻射的存在及它們的種種性質，並從而窺探微觀物理世界的奧秘，自從人們由照相底片的感光而發現（測知）天然放射性的存在以後，輻射探測技術就隨着原子核科學和技術的發展而不斷革新與提高。人們利用輻射與物質相互作用的多種形式而創造出不同類型的探測儀器。本文將對探測器作一概括性的介紹，至於幾種常用探測器的使用方法及注意事項則請讀者另行參考專著^[1]。

一、探測輻射的原理

原子核輻射有帶電的（如 α , β 射綫，加速粒子等）與不帶電的（如 γ 射綫，中子，中性介子等）二類。我們首先討論帶電粒子的探測原理。

當具有一定能量的帶電粒子經過物質時，鄰近其徑迹的物質中的電子受到它的電場作用而獲得能量。當入射粒子本身能量夠大時，就能在其徑迹附近擊出一些自由電子，使組成物質的分子或原子電離；並同時產生一些處於激發態的分子或原子。在這種電離和激發的過程中帶電粒子也就逐漸消耗能量。直接量度這些自由電子和離子，或觀察它們的次級效應，或通過激發態分子或原子的消激發過程就可以探測原來的帶電粒子。為此，我們可以有下列種種不同方法：

1) 利用外加電場來分離自由電子（帶陰電的）及離子（帶陽電的）。當這些自由電子和離子分別向陽陰電極漂移時在電極上產生了感生電荷。這些感生電荷就可作為原來帶電粒子的一種量度。用這種方法來探測的有各種氣體電離室及目前應用較少的固體電離探測器。又假如外加電場夠強時，電子在向陽電極運動過程中可以獲得足夠能量，擊出新的電子，並如此產生雪崩形式（圖1）的新的電離，使電荷量大大增加以方便於探測。用這種方法來探測的有氣體放電的正比計數管。當外加電場大到一定程度後，一次雪崩形式的放電可以引發再次以致於更多次雪崩放電，這樣就產生更大量的電荷。用這種方法來探測的有氣體放電的蓋格計數管。

2) 電離產生的電子及離子可以作為過飽和蒸汽的凝聚中心或可作為過熱液體的气化中心。前者是雲霧室的工作的根據，後者是氣泡室工作的根據。人們可以利

用这些探测器观察带电粒子的径迹并了解它的一些物理特性。

3) 辐射所产生的电离和激发也可能引起或促使某些物质引起化学的或其他性质的改变, 例如使照相乳胶中的溴化银颗粒感光。由此而有原子核乳胶、X光底片等探测工具。

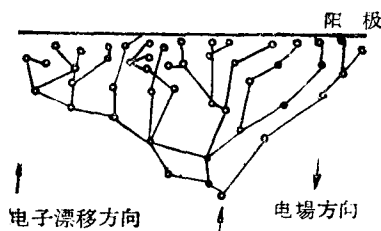


图1 雪崩形式的碰撞电离。原始单个电子在电场作用下获得能量, 击出新的电子, 过程的继续发展如同雪崩。

4) 利用被激发或电离的分子或原子在消激发过程中有直接或间接发出的光来探测辐射。由于这些光常是很微弱的, 近来人们利用光电倍增管将这些光转化为电信号再加以测量, 属于这一类型的有闪烁计数器和契连科夫计数器。

后者利用的发光原因是: 当高速带电粒子通过介质时, 邻近整个径迹的原子中的电子受到粒子电场的作用而发生电磁扰动, 产生电磁波, 若粒子运动速度超过介质中的光速, 则沿径迹的电子所产生的这些电磁波在某一特定方向上互相加强而发出光¹⁾。

5) 激发能的很大一部分(或全部)经过电子离子或光子等与物质中分子或原子碰撞或被其吸收, 最后转化为组成物质的分子的运动能。这种热能引起的温度升高在一定条件下也可用灵敏测温仪器测出。

以上是对带电粒子的探测而言。中性辐射没有电荷所以不能由于静电力而产生电离或激发, 但是它们通过物质时有种种可能与物质中原子核或电子起相互作用而击出一个或几个带电的快速粒子。因此中性辐射就可以通过这些带电粒子来探测, 下面分别讨论中子与 γ 射线的情况。

中子与组成原子的电子相互作用微不足道。它与物质的作用主要有: (1) 散射——中子与原子核碰撞, 把它的动能部分或全部地传给带电的原子核。氢核由于质量与中子差不多, 中子与之碰撞可以使它获得较大能量, 而有利于探测, 因此含氢物质常被用来作为中子击出带电质子的媒质。这种媒质有时可能又是探测带电粒子的探测器主体, 如以后将谈到的有机闪烁体, 充含氢气体的电离室正比管等。(2) 核反应或重核裂变——中子不带电, 不受核的电场斥力, 因此较易引起核反应或裂变, 尤其当中子速度慢时, 靠近核的时间较长, 反应或裂变的几率常可达很大数值。利用核反应产生的快速带电粒子或 γ 射线, 及有时形成的新核所带有的 β 或 γ 放射性就可探测中子。裂变产生带电碎片及其随后的放射性也可用来探测中子。

中子在含氢物质中散射而击出快速质子是探测快速中子的主要方法。利用慢速

1) 可参看“物理通报”1957年9月号“契伦科夫辐射”一文——编者。

中子引起核反应的几率较大的物质、如硼及锂的化合物等组成的探测器,或利用裂变几率大的铀等物质组成的探测器,是探测慢中子的主要工具。利用铀等物质与中子起核反应后的放射性的测量也是探测慢中子常用的方法。

γ (或 X) 射线经过物质时主要与其电子结构起相互作用: (1) 当射线能量较低时 (例如 100 千电子伏上下), 主要作用是被原子中的电子吸收。射线的全部能量给予电子使其脱离核的电场吸力而快速飞出。这种能量转换方式叫做光电效应。 (2) 当射线能量在几十万电子伏以上时, 主要作用是将部分能量传递给电子使其快速飞出而减弱了射线本身的能量。这种作用可以看作是构成射线的光子与物质中电子的碰撞, 叫做康普顿效应。 (3) 当射线能量更大时, 它与物质相互作用的一种形式是使它本身转化为一对阴阳电子。电子对的总动能相当于光子的全部能量减去与二个电子质量相当的能量 (即 $2m_0c^2 = 1.02$ 兆电子伏)。这种作用叫做电子对效应。以上三种作用的几率随射线能量及组成物质的原子序数而异。重元素的作用几率较大。

利用这些作用产生的次级带电粒子 (电子) 就可以探测 γ 或 X 射线。

二、几种常用的探测器

探测器按其给出信号的方式可以分为二类: 给出电信号的与不给出电信号的。前者有 (一) 气体电离型的; (二) 闪烁计数器和契连科夫计数器; (三) 固体电离型的等。后者有云雾室, 乳胶, 气泡室, 化学剂量仪等。由于给出电信号的 (一)、(二) 二种类型的探测器应用领域较广, 以下就专门讨论这二种探测器。

(一) 气体电离探测器

1. 电离室

设想在产生电离的气体中加一电场, 电子与离子就将沿电场方向漂移而使产生电场的电极上发生感应电流。通过这些电流的测量来探测射线的装置就叫电离室。以下说明感应电流的产生。

图 2 表示在电离室中两电极 (电压分别为 $+V_0$ 及 0) 间产生一对电子和阳离子, 离子对产生时的位置的相当电位为 V_1 。开始时阴阳电荷同处, 电极上无感应电荷。在电场作用下阳离子和电子分别向阴阳电极漂移 (在同样条件下电子漂移速度比离子的约大 1,000 倍数量级)。当电子漂移至电位较高处 $V_1 + \Delta V$ 时, 电

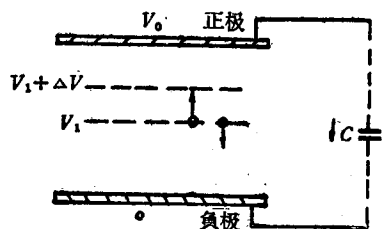


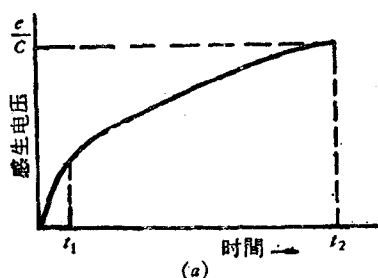
图 2 电离室中电子与离子的漂移

場对它作功 $e\Delta V$, e 为电子电荷值(正值)。依能量守恒定律, 电极間及与其相連的导体上所蓄的能量将有相应的减少。这减少是由于电子接受了阳极上阳电荷放出的一部分电力綫, 使极間电场减弱或需由(与电极并联的)电容器 C 上供应阳电荷至阳极以补偿。換句話說, 阳极上产生負的感生电荷 Δq 。因此:

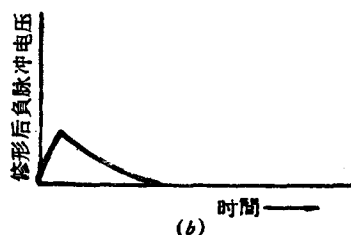
$$e\Delta V = -V_0\Delta q$$

$$\Delta q = -\frac{e\Delta V}{V_0},$$

当电子到达阳极时(假定阳离子静止不动), $\Delta V = V_0 - V_1$ 阳极上将产生感生电荷 $q_- = -\frac{e(V_0 - V_1)}{V_0}$ 。实际上阳离子也以約小 1,000 倍的速度向阴极漂移, 当阴极收集阳离子时阳极上也将产生感生电荷 $q_+ = +\frac{e(0 - V_1)}{V_0} = -\frac{eV_1}{V_0}$ 。仅当此时阳极上总感生电荷才等于 $q_- + q_+ = -e$ 。图 3 表示因感生电荷随时间的改变在一对平



t_1 ——电子到达阳极时间(約 1 微秒)



t_2 ——阳离子到达阴极时间(約 1,000 微秒)

图 3 电离室中感应电压的形成

板电极(与之并联导体构成总电容为 C)間电压随时间改变的示意图。通过这样产生的电讯号就可以测知气体中电离的存在及它的数量。可以利用静电計或直流装置测量平均电离电流, 也可以利用电子学的方法来记录个别的电离效应。此时常利用适当电路把以上訊号修形。图 3 (b) 表示經一定修形后的脉冲图。

电离室可以采用不同几何形状, 不同电场分布也反映在感生电压(流)随时间的关系上。不同气体中电离过程及电子阳离子运动过程各有区别, 甚至气体中微量杂质也可能引起显著的区别。

当电离室极間电压适当加大时, 脉冲或电流将增大至一飽和值而不再增加。电离室一般是在飽和条件下工作的。单个带电粒子产生的飽和电流或电压数值常是很小的。为了給出定量的概念, 設想鈾 (Po) 在邻近阴极处放出 α 粒子(5.3 兆电子伏)。充氫气电离室内将产生 $\frac{5.3 \times 10^6}{26.3} \simeq 2 \times 10^5$ 离子对。其中 26.3 电子伏是氫气中产生一对离子的平均能量, 別的气体有不同数值。又設电离室及其连接导体总电容为 20

微做法,则上述 α 粒子最大感生脉冲 $V = \frac{2 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{-19}}{20 \times 10^{-12}} \simeq 1.6 \times 10^{-3}$ 伏,是一个很小的数值。

当测量能量很小或电离很少的辐射时,例如低能量的 β 射线 (≤ 50 千电子伏),感生脉冲大小将与作为放大用的电子管中电流的统计性涨落数值相当。此时电离室就不宜于探测或量度这种低的电离大小。为此必须在讯号进入有“噪音”的电子管前先行放大。利用气体本身的特性有可能达到这个目的。

2. 正比计数管

当将电离室内电场强度继续增加时,向阳极运动的电子由电场获得的能量也随着增加。增加到超过一定值时电子能够在气体中引起碰撞电离,而使电子数在行程中获得倍增(阳离子质量大、能量小,一般情况下不产生倍增),电极上感生讯号也就相应加大。由于这种倍增与原始电子数成正比,这种气体电离探测器就叫正比计数管。

设每个电子在单位行程中能因碰撞而增加 α 个 (α 是气体成分、压强和电场强度的函数。粗略地说 $\alpha \propto E - E_0$, E_0 为临界电场强度,是一恒量),则在 r_0 处的一个电子经受倍增后在 r_1 处将为 M 个(因 $dM = M\alpha dr$),

$$M = e^{\int_{r_0}^{r_1} \alpha dr}.$$

为了在低的工作电压下获得强电场以产生碰撞电离并使 α 值增大起见,正比管常利用细丝作为阳极而置于一同心的圆筒阴极中。图4是这种管中电场分布的示意图。在同样作用电压下,电场强度最大处可与间隙仅为阳极半径几倍的平板电极间的电场相当。

利用细丝作阳极的正比管,在适当条件下倍增因子 M 可达万倍以上而依然不因原始电离数大小而变,即依然保持正比的特性。因此单个电子也可能产生较大的脉冲讯号而不被电子管的噪音所淹没。如此正比管可被利用于记录并分析低电离能力的辐射。

由于电场分布形式的关系,绝大部分碰撞发生于阳极附近(几倍阳极半径距离内)。由类似电离室一节中感应电荷的大小的考虑可以看出:由于大量电子都产生在阳极表面附近,这些电子跑到阳极丝上只相当于很小的电位改变因此由之而来的感生脉冲很小。脉冲的形成主要由于阳离子向阴极运动。由于电

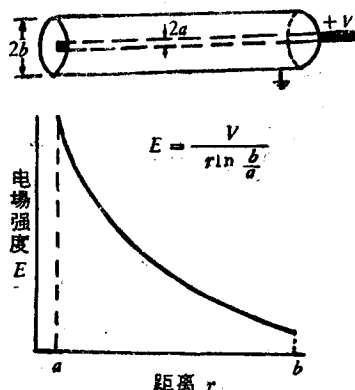


图4 圆筒中心电极间电场分布。
近中心丝处电场可达甚大之值,利于产生倍增。