

SHEXIANDETANCE



毛裕芳著

原子能出版社

射 线 的 探 测

毛 裕 芳

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书以通俗的语言，从原子核物理的某些基础知识出发，扼要地介绍了各种射线源、射线与物质的作用、探测射线的各种手段，特别着重介绍一些最常用的低能核辐射探测器，对高能粒子的探测也作了简要的介绍。

本书为了一本原子能科学技术方面的科普读物，适于具有中等文化水平的有关人员及有兴趣者阅读，有助于扩大他们对核辐射探测器的了解。

射 线 的 探 测

毛 裕 芳

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京市政工程水泥制品厂印刷厂印装

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $3\frac{1}{8}$ ·字数 90 千字

1981 年 12 月第一版·1981 年 12 月第一次印刷

印数001—1900·统一书号： 15175·278

定价：0.42 元

目 录

一、概述.....	(3)
二、射线的发现和早期的射线探测器.....	(5)
照相底板帮助发现了射线.....	(5)
验电器帮助找到了镭.....	(6)
看不见的射线到底是什么东西?	(7)
电离室——测量射线强度的工具.....	(9)
目测闪烁镜——第一个能观察单个 α 粒子的探测器.....	(10)
盖革计数器——能记录单个 α 粒子的计数器.....	(12)
云室——能直接观察粒子径迹的探测器.....	(14)
核乳胶——可以记录单个 α 粒子径迹的照相板.....	(15)
三、射线的进一步发现.....	(16)
宇宙射线——来自大自然的射线.....	(16)
中子——一种不带电的粒子.....	(18)
人造放射性同位素的发现.....	(20)
裂变和强中子源的获得.....	(22)
可提供各种类型、各种能量的射线——粒子加速器.....	(25)
四、射线探测的基本原理.....	(28)
五、气体电离探测器.....	(33)
电离室.....	(34)
正比计数管.....	(37)
盖革-弥勒计数管.....	(39)
六、闪烁探测器.....	(43)
无机闪烁体.....	(45)

测量 γ 能谱用的NaI(Tl)闪烁晶体	(45)
测量带电重粒子的CsI(Tl)闪烁晶体	(49)
测量慢中子用的LiI(Eu)闪烁晶体	(50)
测量 α 粒子的ZnS(Ag)荧光屏及其他无机闪烁体	(51)
有机闪烁体	(52)
作为标准用的有机闪烁晶体蒽	(53)
用于测量中子和 γ 分辨的有机晶体芪	(54)
可以做成大体积的有机液体闪烁体	(54)
可以加工成任意形状的塑料闪烁体	(56)
光电倍增管	(57)
七、半导体探测器	(60)
半导体探测器是怎样发展起来的	(62)
半导体探测器是怎样工作的	(66)
半导体探测器的主要类型及其应用	(70)
扩散型和面垒型硅探测器——可获得最佳带电粒子能谱	(70)
锂漂移锗半导体探测器——可获得最佳 γ 能谱	(72)
锂漂移硅半导体探测器——可获得最佳X射线能谱	(75)
高纯锗探测器	(77)
半导体位置灵敏探测器	
——可同时测量带电粒子的能量和位置	(78)
化合物半导体探测器	(80)
八、高能粒子的探测	(83)
泡 室	(85)
火花室和流光室	(88)
契伦柯夫计数器	(90)
闪烁计数器	(92)
多丝正比室	(93)
漂移室	(95)
九、结束语	(96)

目 录

一、概述.....	(3)
二、射线的发现和早期的射线探测器.....	(5)
照相底板帮助发现了射线.....	(5)
验电器帮助找到了镭.....	(6)
看不见的射线到底是什么东西?	(7)
电离室——测量射线强度的工具.....	(9)
目测闪烁镜——第一个能观察单个 α 粒子的探测器.....	(10)
盖革计数器——能记录单个 α 粒子的计数器.....	(12)
云室——能直接观察粒子径迹的探测器.....	(14)
核乳胶——可以记录单个 α 粒子径迹的照相板.....	(15)
三、射线的进一步发现.....	(16)
宇宙射线——来自大自然的射线.....	(16)
中子——一种不带电的粒子.....	(18)
人造放射性同位素的发现.....	(20)
裂变和强中子源的获得.....	(22)
可提供各种类型、各种能量的射线——粒子加速器.....	(25)
四、射线探测的基本原理.....	(28)
五、气体电离探测器.....	(33)
电离室.....	(34)
正比计数管.....	(37)
盖革-弥勒计数管.....	(39)
六、闪烁探测器.....	(43)
无机闪烁体.....	(45)

测量 γ 能谱用的NaI(Tl)闪烁晶体	(45)
测量带电重粒子的CsI(Tl)闪烁晶体	(49)
测量慢中子用的LiI(Eu)闪烁晶体	(50)
测量 α 粒子的ZnS(Ag)荧光屏及其他无机闪烁体	(51)
有机闪烁体	(52)
作为标准用的有机闪烁晶体蒽	(53)
用于测量中子和 γ 分辨的有机晶体芪	(54)
可以做成大体积的有机液体闪烁体	(54)
可以加工成任意形状的塑料闪烁体	(56)
光电倍增管	(57)
七、半导体探测器	(60)
半导体探测器是怎样发展起来的	(62)
半导体探测器是怎样工作的	(66)
半导体探测器的主要类型及其应用	(70)
扩散型和面垒型硅探测器——可获得最佳带电粒子能谱	(70)
锂漂移锗半导体探测器——可获得最佳 γ 能谱	(72)
锂漂移硅半导体探测器——可获得最佳X射线能谱	(75)
高纯锗探测器	(77)
半导体位置灵敏探测器	
——可同时测量带电粒子的能量和位置	(78)
化合物半导体探测器	(80)
八、高能粒子的探测	(83)
泡 室	(85)
火花室和流光室	(88)
契伦柯夫计数器	(90)
闪烁计数器	(92)
多丝正比室	(93)
漂移室	(95)
九、结束语	(96)

一、概 述

世界上的物质究竟是由什么最基本的东西组成的呢？这是许多学者毕生为之研究的一个课题，早在古代大约公元四至五世纪，我国的墨子就提出“端”的概念，认为物质是由“端”组成的，这里“端”指的是不能再分割的微小“原子”。与墨子同时代的古希腊德谟克利特学派也提出了“原子”的概念。这些古代的原子论者都认为：宇宙万物是由“原子”组成的，“原子”是不可分割的、是不可见的、是永恒的、没有比“原子”再小的东西了。

这些朴素的唯物主义的原子学说，由于封建统治和宗教神学的干预和禁锢，使它长时期得不到发展。直到十七世纪中叶，随着物理学和化学的发展，特别是化学实验上证明了：质量守恒定律、定比定律和倍比定律，这些实验上的定量结果，使人们又回到了原子学说上，并且利用原子学说正确地解释了许多物理和化学现象。至此，原子学说才真正为科学家们所公认。

到了十九世纪末，随着人们对原子结构的不断探索，人们终于揭开了原子的内幕，认识到原子不是不可分的，而是可以分解开来的。原子本身是有结构的，而封闭在每个原子内部的是一个微妙的世界。

那么，构成一个原子的又是些什么东西呢？我们知道，在原子内部首先被发现的是电子。电子是一个很微小的粒子，它不仅很小而且很轻。差不多1840个电子才有一个氢原子那么重，而氢又是所有元素中最轻的一个。电子是带负电的。原子

的中心有一个带正电的核，称为原子核。原子就是由原子核和围绕着核旋转的电子组合而成的。而这些电子又是在某些一定的轨道上运行着。

随着科学的不断发展，人们终于揭开了原子的内幕，认识到原子核是由质子和中子组成的。原子的体积大约是原子核体积的一百万亿倍。所以一个原子的内部绝大部分是空虚无物的空间，就好象一颗米粒放在一座大楼的中心一样。然而，虽然原子核很微小，但它却占有原子的几乎全部质量。并且更进一步地认识到质子、中子这些被称为基本粒子的，也不是最基本的。它们同样是有结构的，基本粒子中可能有更基本的东西。

由此我们可以看出，研究物质的结构是从原子结构深入到原子核结构，并进一步再深入到研究基本粒子结构的。

我们知道，原子是极其微小的。那么这样微小的东西，又如何去对它进行研究呢？那就是只有依靠射线，依靠各种射线作为“炮弹”深入到原子内部，深入到微观世界中去，只有这样才能使我们对原子有更深入的认识。因此可以说，射线是研究物质结构的重要工具。

那么，究竟什么是射线呢？它又有哪些特点呢？

一般地说，射线的特点是：它非常非常的小，比分子和原子都小得多，就是用放大倍数最高的电子显微镜也看不到这样小的东西。同时它又跑得非常非常的快，它的速度比飞机、火箭、人造卫星等都要快得多。因此，通常是以光速（每秒30万公里）来作为量度它的速度的单位。这样小的东西而且又跑得如此之快，你要想观察到它可不是件容易的事。但是，科学家们却制造了许多射线探测器。依靠这些探测器，科学家们不仅能及时知道有射线通过，而且能够知道来的是哪一种射线，

它是什么时候来的？它的能量是多少？以及其他许多性质等等，都可以根据需要通过探测器向科学家们汇报。

所以我们可以说，这些奇特的探测器，好像是科学工作者的耳目。通过探测器可以深入了解微观世界并研究微观世界的各种现象。如果没有这些探测射线的仪器，我们也就无法知道射线的性质，也就观察不到微观世界的各种奇特的现象了，就好像把耳目都堵住了。

也许有人要问，既然没有探测器就不能知道射线的存在。那么，在不知道射线存在的情况下，又怎么能制造出探测射线的仪器呢？

现在，就让我们来看看它们是怎样发展起来的吧！

二、射线的发现和早期的射线探测器

照相底板帮助发现了射线

我们知道，用黑纸包好的照相底板是不透光的，冲洗后也不会显影。1896年法国物理学家贝克勒耳意外地发现，把铀盐和用黑纸包好的照相底板放在一起，照相底板会感光。在冲洗后不仅显示出与铀盐轮廓相似的黑斑，而且发现铀盐所照的黑影强度很大。这个结果使他很惊讶。为了搞清楚这个问题，他做了各种各样的试验。最后他证实了铀盐是能放射出一种当时还不清楚的射线。就是这种射线会使照相底板感光。因为这种

射线是贝克勒耳发现的，所以当时称它为贝克勒耳射线。这是一个伟大的科学发现。正是这个发现打开了原子核秘密的大门。而照相底板就可以看成是这个伟大发现所用的射线探测器。

验电器帮助找到了镭

在贝克勒耳发现铀盐能放出射线并使照相底板感光以后，物理学家居里夫人产生了这样的想法，是否只有铀盐才能放射这种射线呢？还有没有别的物质也能放射出这种射线来呢？为此，居里夫人认真地检查了大量的、各种不同的化学试剂以及各种矿石，观察这些物质能不能放出射线。

当时居里夫人并没有用照相底板来检验每一个样品。因为用这个方法花费的时间很长。居里夫人是利用了贝克勒耳的另一个发现，就是在有铀盐存在的情况下，绝缘性能很好的空气会变得导电了。她利用射线的这一性质制造了一种叫验电器的探测器。如图 2-1 所示。用这个验电器来检验放射性物质是很方便的。

验电器是由绝缘的金属杆和金箔组成。金箔装在金属杆的下端，当验电器带电时，金箔由于相互排斥而张开了一个角度。通常空气是良好的绝缘体，所以金箔在相当长的时间内保持张开的状态。但如果把铀盐放入验电器内，由于它使空气导电，验电器就很快地放电，张开的金箔就垂下来彼此合拢在一起。利用这种验电器检验一个样品是否放出射线，只要几分钟就可以了，比用照相底板又快又好。

藉助于验电器，居里夫人又遇到了一件使她惊奇的事实。她发现提炼金属铀所用的沥青铀矿的矿石，它放出的射线要比铀本身所放出的射线强得多。于是她认为沥青铀矿的矿石里一

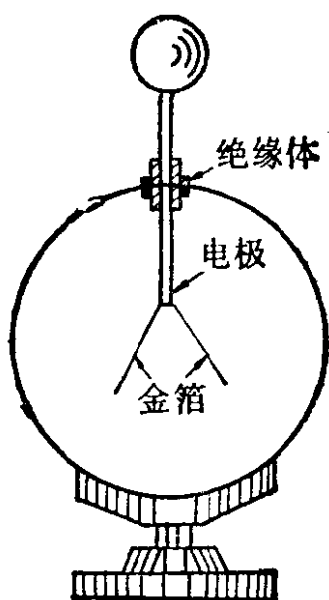


图 2-1 金箔验电器

定会有比铀放出的射线更强的物质，并断定这些物质一定是未知的新元素。为此，居里夫人开始了从沥青铀矿中提炼和寻找新的放射性元素的工作。经过两年的艰苦努力，她终于在1898年提炼出两种新的放射性元素，并分别命名为镭和钋。

从此，居里夫人给所有放射贝克勒耳射线的物质，取了一个总的名称叫做放射性物质。同时，贝克勒耳所发现的射线也从

此叫做射线。

镭虽然非常稀少，但它有非常强的放射性，比铀要强两百万倍。由于有了镭这样强的放射性物质，使得研究射线的性质和对这些射线的利用变得更有利了。因此，镭的发现是科学上的重大成果之一。

看不见的射线到底是什么东西？

放射线究竟是什么东西呢？为什么放射性物质能不断地放出射线呢？居里夫人的丈夫皮尔·居里发现，含镭的物质比它周围物体的温度要高。经过测量他计算出一克镭一小时内能放出140小卡的热量。尽管这个能量不大，但镭能长期不断地放射能量。所以总的来讲，镭能放出大量的能量。那么这些能量是从哪里来的呢？

我们知道，能量守恒定律是物理学的一个基本定律。按照这个定律，能量是不会自行产生也不会自行消失的，它只能从

一种形式转化为另一种形式。放射性物质的能量是以射线的形式放射出来的。因此，人们不禁要问镭放射的能量是从什么地方转化来的呢？这个疑难问题引起了物理学家们的兴趣。

物理学家们试着用各种手段来改变镭的放射能力。如把含镭的物质放在很高的温度或很低的温度下；或者把它放在很强的电场内；或者给它加上很大的压力；甚至让它起化学反应等等。凡实验室内一切能使用的手段都不能改变镭的放射能力。但在强磁场作用下，发现镭放出的放射线被分成为三种成分。图 2-2 表示了镭放射线在强磁场作用下被分开的情形。通过

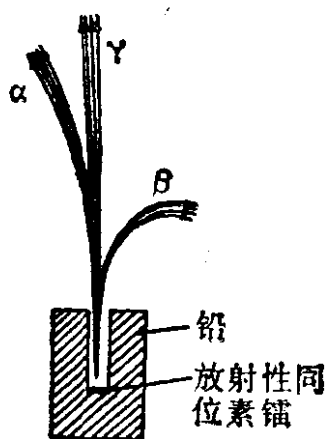


图 2-2 放射线在磁场中

这个实验把射线的秘密揭开了一些。知道了射线的成分是非常复杂的。原来最初所观察到的射线是由三种不同的射线混合而成的。而且这三种射线又有各自不同的性质和不同的吸收能力。

这三种不同类型的射线分别称它们为： α 射线、 β 射线和 γ 射线。

α 射线是带正电的。它在磁场内只略微有些偏离。 α 射线很容易被物质吸收，只要用一张普通的纸、0.05毫米的铝片或几厘米的空气就能把它全部吸收掉。但 α 射线有很强的电离本领。

β 射线是带负电的，它在磁场中偏转得比较厉害。 β 射线在物质中被吸收的程度显著减弱，相当数量的 β 射线能穿透几毫米厚的铝片。但 β 射线的电离本领要比 α 射线弱。

γ 射线是不带电的，它完全不被磁场偏转。但 γ 射线有很强的穿透能力，它能穿过几十厘米厚的铝板。1.3厘米厚的铅板也仅能减弱 γ 射线强度的一半，但它的电离本领很弱。

图 2-3 表示了 α 、 β 、 γ 三种射线的相对穿透本领。

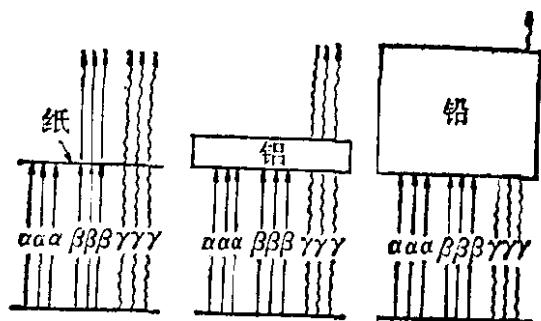


图 2-3 α 、 β 、 γ 三种射线在纸板、铝板和铅板中的穿透情况

但是我们知道， α 射线虽然有很强的电离本领，可是它很容易被吸收，任何衣服都能足以挡住。而 β 射线的电离本领虽比 γ 射线强，但它的穿透能力却比较小，任何厚的实心物质都能把大部分 β 射线阻挡住。而 γ 射线穿透能力

最强，要避免它的作用最困难，因而危害也最大。

1900年居里夫妇证明了 β 射线实际上是一种高速运动的电子流。1908年英国科学家卢瑟福证明了 α 射线是一种带正电的高速粒子流，这种粒子就是氦原子的核，它的电荷是氢核的两倍。它能以相当高的速度（每秒将近两万公里）从放射性物质中放射出来。1914年卢瑟福和安德雷又证明了 γ 射线是一种波长极短的电磁波，是一种能量较高的光子流。它不带电因而在磁场中不被偏转。并且科学家们很快就证明了，凡是原子量大于铋的元素都具有放射性，而每种放射性元素是能够放射出这些射线当中的一种或几种。

电离室——测量射线强度的工具

由于射线能使物质电离，人们就设计出一种能测定射线强度的仪器，这就是电离室。

电离室的基本构造是由两个相互绝缘的导体作为两个电极。在这两个电极之间充有气体，并加上电场。当射线经过导

体间的气体时，能使气体电离产生成对的正、负离子。在电场作用下，正离子向负电极运动，负离子向正电极运动，形成电离电流。通过测量电离电流的大小，就可以确定射线的强度。

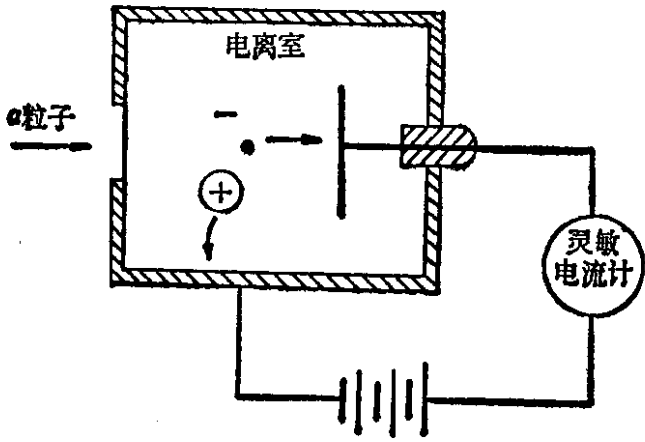


图 2-4 电离室示意图

一个 α 粒子的电离电流是微不足道的，每秒钟有几百万个 α 粒子才能产生 10^{-8} 安培的微弱电流。但这种简单的仪器，在早期的核物理工作中曾得到广泛的应用。图 2-4 表示了电离室的示意图。

目测闪烁镜——第一个能观察单个 α 粒子的探测器

1903年克鲁克斯第一个发现了能观察单个 α 粒子的方法。他在研究荧光物质发光时，发现 α 粒子对激发荧光物质发光非常有效。于是产生了观察单个 α 粒子打在荧光物质上使之产生闪光的想法，他设计了一个目测闪烁镜。图 2-5 表示了目测闪烁镜的示意图。它是一个能直接观察单个 α 粒子所引起的闪光的仪器。

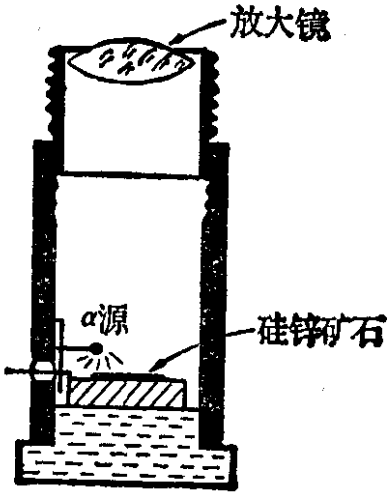


图 2-5 克鲁克斯闪烁镜

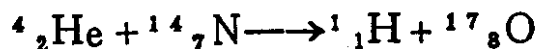
他利用沾有微量镭的针尖放在一块硅锌矿石附近，

当镭放出的 α 粒子打在硅锌矿石上，便发出一种带黄绿色的闪光。由于所产生的闪光很微弱，所以整个装置是放在暗室中。他用了一个放大镜来观察。如果让眼睛长久地处在黑暗里，通过放大镜就可以观察到矿石上发出的非常好看的变化着的闪光，每一个闪光都是一个 α 粒子对矿石撞击的结果。利用这个简单的装置，就可以观察到单个 α 粒子的作用。

后来，人们用硫化锌荧光屏代替硅锌矿石，用显微镜代替放大镜，使得观察到的闪光更加清楚。如果改变一下闪烁镜的构造，使放射源与荧光屏之间的距离加大，使 α 粒子打到荧光屏上的数目减到每秒钟 1—2 个，那么就可以用眼睛数出 α 粒子打在荧光屏上的数目。这种简单地能记录 α 粒子数目的目测闪烁镜是非常有用的，利用这种目测闪烁镜做了许多有意义的工作。

1911年英国著名物理学家卢瑟福，就是利用这种目测闪烁镜做了著名的 α 粒子散射实验。由于这个实验的结果，才证明了原子核的存在。而且认识到了原子核是非常小的，但它却几乎集中了全部原子的质量。也可以这样说，原子核物理学正是由于发现了原子核的存在而开始的。

1919年卢瑟福又利用这种目测闪烁镜，发现了第一个人工核反应。在这个实验中，他利用钋源放出的 α 粒子作“炮弹”去轰击氮原子核。发现在 α 粒子射程（射线在一定物质中所能通过的路程叫射程）之外的地方，放着的荧光屏上出现了闪光。经过仔细分析，他认为这种闪光不是由钋源放出的 α 粒子引起的，而是质子（氢原子核）打在荧光屏上引起的。那么这些质子又是从什么地方来的呢？实验证实这种质子正是由 α 粒子打进氮原子核后放出来的。它们的核反应式是这样的：



这个原子核的人工转变的发现，第一次证明了一个稳定的原子核是可以被分裂的，这是一个非常重要的科学发现。

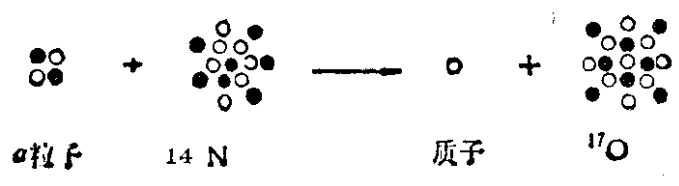


图 2-6 表示了卢瑟福实验中参与反应的原子核示意图

中子用黑点表示，质子用圆圈表示。

图 2-7 为1919年 卢 瑟福所做实验的示意图。 α 粒子轰击氮原子核后发射出一个质子，质子撞击荧光屏产生了微小的闪光，可用显微镜观察到。

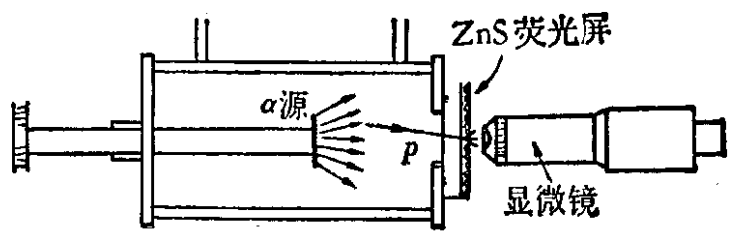


图 2-7 卢瑟福发现人工核反应所用的实验装置

由此可见，这种目测闪烁镜在早期的核物理研究工作中，曾起过很重要的作用。而且直到1930年左右，它仍作为核物理研究中的主要探测工具在使用着。

盖革计数器——能记录单个 α 粒子的计数器

我们知道，用目测闪烁镜记录 α 粒子的数目不能太快，每秒钟最多只能几个，否则就来不及数了。而且测量的时间长了