

# 电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

让射线造福人类

## 目 录

一、 绪言 .....	( 1 )
二、 人们怎样发现了各种看不见的射线？ .....	( 5 )
1. 一种用未知数 X 命名的射线 .....	( 5 )
2. 阴极射线是什么？ .....	( 9 )
3. 天然放射性是怎样发现的？ .....	( 13 )
4. 中子射线的发现既复杂又带有戏剧性 .....	( 18 )
5. 来自天外的宇宙射线 .....	( 20 )
三、 人们能够用机器造出各种射线吗？ .....	( 27 )
1. 人工射线源的种类和优点 .....	( 27 )
2. 高压加速器 .....	( 32 )
3. 直线加速器 .....	( 35 )
4. 回旋加速器 .....	( 37 )
5. 储存环和对撞机 .....	( 41 )
6. 原子核反应堆 .....	( 44 )
四、 射线与物质的相互作用 .....	( 48 )
1. 带电粒子在物质中引起的物理效应 .....	( 48 )
2. X 射线与 射线与物质的相互作用 .....	( 54 )
3. 中子与物质的相互作用 .....	( 57 )
4. 射线的化学效应 .....	( 59 )
五、 怎样防护射线对人体的伤害？ .....	( 64 )
1. 射线的生物效应 .....	( 65 )
2. 影响射线生物效应的因素 .....	( 66 )
3. 射线生物效应的类型 .....	( 69 )
4. 与其它对人体致害因素的比较 .....	( 70 )
5. 射线防护的基本原则 .....	( 72 )
六、 射线在自动检测和自动监控方面的应用 .....	( 74 )
1. 特殊条件下的工业生产监测 .....	( 75 )
2. 材料的射线探伤 .....	( 81 )
3. 地下探宝 .....	( 83 )
4. 火灾报警 .....	( 88 )
七、 射线灭菌消毒 .....	( 91 )
1. 从一个真实的故事谈起 .....	( 91 )
2. 射线灭菌消毒的原理和特点 .....	( 92 )
3. 射线灭菌消毒在医疗上的应用 .....	( 94 )
4. 射线辐照设备 .....	( 95 )
5. 食品的射线辐照保鲜 .....	( 97 )
八、 射线照射引起生物体变异及其在农业上的应用 .....	( 103 )
1. 射线引起害虫绝育 .....	( 103 )
2. 射线刺激生物生长 .....	( 107 )
3. 农作物的辐射育种 .....	( 108 )
九、 一种新型的长寿电池——放射性同位素电池 .....	( 118 )
1. 放射性同位素电池是怎样发电的？ .....	( 119 )

2.在航天领域的应用 .....	( 121 )
3.在航空和航海的导航等领域中的应用 .....	( 122 )
4.心脏起搏器的电源 .....	( 123 )
十、射线用于疾病的临床诊断和治疗 .....	( 126 )
1.射线诊断 .....	( 127 )
2.射线治病 .....	( 132 )
十一、射线在环境保护上的应用 .....	( 140 )
1.燃烧炉废气的射线净化处理 .....	( 140 )
2.废水的射线净化处理 .....	( 143 )
3.用射线清除静电 .....	( 146 )
十二、射线在材料科学与技术领域中大显神威 .....	( 148 )
1.射线作为探究材料奥秘的探针 .....	( 148 )
2.射线束用于新材料的制备合成和表面优化 .....	( 158 )
3.射线有机合成 .....	( 160 )
4.固体材料中的离子注入 .....	( 167 )
5.离子束用于表面涂层制备 .....	( 178 )
6.硅的中子嬗变掺杂 .....	( 183 )
结束语 .....	( 186 )

本书介绍与人类关系非常密切的各种射线的来源、性质及在工、农、医等领域的广泛应用，从富有传奇色彩的 x 射线、阴极射线、中子射线和宇宙射线的发现讲起，接着扼要介绍射线的性质、射线与物质的相互作用以及射线可以对人体造成的伤害和如何对它进行有效的防护等方面的知识，最后着重介绍射线在工业、农业、医学、环保、新材料学领域的应用，阐述射线与人类生活的密切关系和射线可能给人类带来的种种好处。

## 序

大千世界，五光十色，生态环境，亟待保护；认识空气，饮水思源，万能石油，多彩塑料；南极北极，人迹罕至，皑皑冰原，臭氧空洞；宇宙飞船，飞上蓝天，空中楼阁，并非虚谈；地外文明，尚待探寻，追星逐日，翘首长空；科技发展，日新月异，生生不息，生殖奥秘；小小电脑，能力非凡；信息管理，高速公路；原子电子，各种射线，保鲜治病，造福人类；探求自然，永不停息，弯曲时空，无毛黑洞。

上面这段话，是这套丛书内容的片断，这仅涉及现代科技成果的极小部分，已足令人惊叹，大有“相见恨晚”之感。现在，科学技术对人类社会的影响日益增大，增强人们的科技意识显得越来越重要，我们要学的知识还有很多很多。当然，一个人不可能学得那么多，即使学其中感兴趣的一部分，仍不胜其多。生而有涯，学而无涯，此之谓也。最好的办法是用最少的时间学到最多的知识，开展科学普及工作是有有效的途径之一。

科海茫茫，何处觅知音？科普读物可作“领航员”。这套丛书共分九册：

1. 生生不息——生殖的奥秘
2. 漫游南北极
3. 寻找地球以外智慧生命
4. 探求上帝的秘密——从哥白尼到爱因斯坦
5. 工业化学漫谈
6. 让射线造福人类
7. 飞上蓝天飞向宇宙
8. 电脑与电脑时代
9. 让地球永葆青春

这套丛书的作者是各方面学有专长的教授、副教授或在教授指导下年轻有为的后起之秀，丛书是以初中毕业生的知识水平为基础来编写的。丛书内容翔实，语言流畅，力求生动，说理清楚，层次分明，剪系统性强，并注意反映最新科技成果，有文有图，通俗易懂，丛书各册相对独立，各册的封面勒口上都有内容介绍，供读者选择。

丛书的读者对象是广大的中学生、大学生以及成年的科技爱好者；对学有专长但非本行的专家们或许也是有用的读物；离、退休的老年人在休闲时也不妨看看这类小册子，或许使晚年生活多一点乐趣。

这套丛书可使读者增长科技知识，开阔视野；增加对新科技成果的兴趣，热爱大自然；理解科学技术在社会发展中的作用，热爱科学；也有利于养成科学的思想方法、建立正确的世界观；从而提高文化素质，在入门之后，如想在某方面继续深入，也许就不那么难了。当然，进入科技领域并能领会其中的奥秘是不容易的，科技图景远不如戏剧、舞蹈、小说中的艺术形象那样楚楚动人，如泣如诉，情景交融，动人心弦，但对有鉴赏力的人来说，科学技术的魅力并不差，这来源于科技成果的精密、有用、巧妙和神奇的力量。

时至今日，很快将跨入 21 世纪，世界各国都面临科技方面的激烈竞争，挑战与机遇并存，今年二月末，英国一研究所利用无性繁殖方法（或称克隆技术）成功地培育出一只绵羊，取名“多莉”，有母无父，世界轰动，忧喜参半，沸沸扬扬，对此也无须惊慌，人们定会用此新技术为人类的正当利益服务而不许滥用。“多莉”的出世毕竟有非同寻常的意义，不能不引起我们

的充分重视，绝不可掉以轻心，关于克隆技术在这套丛书的《生生不息——生殖的奥秘》分册中有较详细的阐述。

竞争时代，归根到底是人才的竞争，人的素质高低是竞争成败的关键问题之一。据劳动部门提供的资料表明：如果钢铁的初级产品的出厂价是 1，那么，轿车是 5，彩电是 30，电子计算机是 1000，集成电路块、计算机软件是 2000，可见，使产品向高附加值的转变是何等重要，这也是科教兴国的战略决策的重大意义所在。

我国有五千年的文明史，深厚的文化积累和一脉相承的传统，蕴藏着极宝贵的智力资源。激发人们的才情和向上精神，提高民族素质，是将学术成果走向大众化的目标。这套丛书在这方面是一次有益的尝试，相信会取得成功。

丛书并非完美无缺，恳请读者、专家们批评、指正。

中国科学院院士

孙儒泳

97.4.9

## 一、绪言

在“射线”这个术语之下，包含着许许多多起源、形态和特性各异的对象，组成了一个名副其实的大家族。现在我们所了解的射线的种类已经多得难以胜数。本书所要介绍的射线又叫电离辐射，是那些能够使物质发生激发和电离的射线，包括X射线、放射性物质裂变和衰变时放出的各种粒子和辐射、宇宙射线、粒子加速器产生的各种带电粒子等。这些射线一般都非常非常的小，比原子还要小，看不见、摸不着，就是用最高倍数的电子显微镜也无法直接看到它们。而且它们跑得非常非常的快，比飞机、火箭都要快得多。

这些有着各种奇异特性的射线和人类有着非常密切的关系。我们人类赖以生存的地球上的一切，时时刻刻都处在来自外部和来自内部的各种射线的包围之下。很显然，这个行星上的各种生命形式，包括人类本身，在所有的进化阶段和所有的活动领域，都与射线密切相关。或许人们会发出疑问：为什么人类在长达数千年的历史长河中，却不知射线为何物？而真正从科学上发现射线的存在，才是100年前的事。

100年前，三个伟大的发现相继问世，对科学技术发生了翻天覆地的巨大影响。1895年伦琴发现了X射线；仅仅过了三个月，贝克勒尔发现了天然放射性——铀元素发出了以贝克勒尔命名的奇异射线；

1898年居里夫妇发现两种新的元素镭和钋也能发出贝克勒尔射线，并首先将这种现象命名为“放射性”。A.爱因斯坦称这些伟大发现是“从史前人类发现火以来的整个时期中技术进步的最具革命性的力量”。在当时的短短两三年中，物理学发生了决定性的转变，打开了用微观方法观察原子世界的大门，开创了科学技术的一个新时代。有人认为，这是一个科学上空前光辉的时代，犹如文艺上的“文艺复兴”时代一样。

这些伟大发现对科学技术的影响是全面的和深远的，而最直接的还是以射线为基础的科学技术及其应用。显然，射线的发现和应用是100年来科学技术最伟大的成就之一。

在这本书里，首先要向读者介绍的是人们是怎样发现射线和怎样制造出人工射线源的。希望把充满着机遇、灵感、艰辛和富有戏剧性的过程介绍给大家，相信会从中得到多方面的启示。

科学源于积累，水到自然渠成。就拿前面提到的关于射线的那些伟大发现来说，发现者的机遇、过人的智慧和能力以及为科学而献身的精神无疑起了非常重要的作用，因此这些伟大的科学家理所当然地成为历史上的第一批诺贝尔物理学奖得主。但是，任何的科学发现都需要一定的基础条件，需要有一个从量变到质变的积累过程。试想，如果没有真空技术、感光材料、高压电源等方面的条件，要从科学上发现那些奇异的射线显然是不可能的。因此，我们不应该忘记广大的工人群众所做的贡献，他们为科学发现做了铺路和奠基的工作。作为个人，他们是平凡的，默默无闻的，历史上不会留下他们中的任何人的名字，但是作为一个群体，他们对科学技术的发展与进步做出了不可磨灭的贡献。

本书的第二部分要介绍各种射线在与物质相互作用过程中所表现出来的各种特性，还要介绍射线可能对人类造成的伤害以及如何避免这种伤害。本书力求用浅显易懂的语言讲清这部分包含较多科学术语和规律的内容。然而，在这里具备一些物理学和化学方面的常识还是必要的。对于具备初中以

上文化水平的读者来说，经过一番努力，读懂是没有什么问题的。

人们一开始就从射线的巨大能量和各种奇异的特性中立刻感悟到它们巨大的应用价值，并以极大的热情让这些身手不凡的射线为人类造福，提高人类生产和生活的能力和水平。经过近 100 年的发展，射线的广泛应用已经到了几乎无处不在和无所不能的地步，在工业、农业、医疗和科研等领域发挥着日益重要的作用。因此，本书用了较多的篇幅介绍射线在国民经济各个部门的一些主要的应用。

由于作者学识疏浅，在内容的取舍和问题的把握上，都会存在不少错误和缺点，诚恳希望读者不吝予以指正。

## 二、人们怎样发现了各种看不见的射线？

### 1. 一种用未知数 X 命名的射线

今天我们常常会看到这样一种情景：一个甚至连自己的姓名都不会写的老奶奶，当她看到可爱的孙儿站到紧靠电视机屏幕跟前看电视的时候，就会这样对他说：“不要挨那么近，那里射线太强！”并立即将他引开。这位老奶奶对电视机屏幕发出 X 射线的认识，在以下三点上是相当正确的：其一，这种看不见、摸不着的射线确实存在；其二，离射线源（发散性的，如此例中的电视机屏幕）越近，射线越强；其三，这种射线会和人体发生作用，射线太强，会对人体造成伤害。

让我们把时间上溯到上世纪 90 年代初，即使是当时科学界的泰斗，对今天已经妇孺皆知的 X 射线也是一无所知。而打破这种局面的，竟是一次十分偶然和充满神秘色彩的发现。

那是在 1895 年 11 月 8 日，德国物理学家 K.W. 伦琴和往常一样，走进他的实验室，先用一张黑纸把克鲁克斯阴极射线管（图 2.1 所示）包裹起来，放下实验室遮光用的窗帘，实验室里变得漆黑一片。然后他接通克鲁克斯阴极射线管的电源，突然发现离克鲁克斯阴极射线管约 1 米远处的一个荧光屏发出一种他从未看见过的奇异的亮光。当他切断电源以后，那种亮光立即随之消失。反复试验的结果无一例外地印证了上述的发现。伦琴对这种意外的发现感到无比的惊奇和兴奋。这种射线对当时的人们是如此的新奇和不可思议，因此伦琴选用了—个数学上表示未知数的字母“X”把这种奇异的射线命名为 X 射线。伦琴的这一发现，立刻在国际上引起极大的轰动。伦琴发现了 X 射线以后，物理学家和医学界人士争先恐后地开展 X 射线的研究，在国际上形成了一股热潮，在 X 射线发现之后短短的半年时间内，仅是法国科学家在法国科学院的《学报》杂志上就发表了通讯和摘要 135 篇。他的发现对现代科学技术的发展，尤其是对射线科学技术的发展，具有十分重大的意义。人们为了纪念伦琴的这一历史功绩，也将这种射线叫做伦琴射线。由于他的这一重大贡献，1901 年 K.W. 伦琴成为获得诺贝尔物理学奖的第一位科学家。国际放射学会还曾经以伦琴的名字来作为射线剂量的单位。

K.W. 伦琴还对 X 射线进行了系统的研究。他试着在阴极射线管和荧光屏之间放入木板和纺织物，荧光屏仍然在发光，而当他把—块金属板放入时，在荧光屏上能够清晰地看到这块金属板的影子。伦琴还让他的妻子把手放在照相感光板上，然后用 X 射线照射，结果得到了一张清晰的戴着金戒指的手骨骼照片（图 2.2 所示）。这是历史上第一张 X 光照片。当这张珍贵的照片以“物理学教授的新发现”的醒目标题见报后，引起了很大的轰动。以上的实验结果充分证明 X 射线具有极强的穿透能力。同时人们也从这张照片上看到了这种奇异射线在医学上的巨大价值，实际上也可以把这看作为 X 光透视诊断医学的开端。

人们已经知道，当高速运动的电子束（如阴极射线）轰击金属靶时，就会产生 X 射线。通常由阴极射线管产生 X 射线由二部分组成，有一部分具有连续的能谱，另一部分则具有固定的能量。这是因为它们是由两种不同的过程产生的。当快速运动的电子受到靶材料的阻挡而损失能量，所损失的能量

就以连续能量的 X 射线发射出来。这种 X 射线也称为韧致辐射。而当快速电子打掉靶材料原子的内层电子后，留下来的空位立即被较外层电子所填充。这种过程导致了原子能量的减少，所减少的能量以 X 射线发射出来。对于一种元素来说，原子的能量变化是完全确定的，因此这种 X 射线也就具有确定的能量。这种 X 射线的能量与元素有关，因此将这种 X 射线称为特征 X 射线。

## 2. 阴极射线是什么？

前面我们已经说过，克鲁克斯阴极射线管在伦琴发现 X 射线的过程中起了重要的作用，那么阴极射线是一种什么射线呢？阴极射线是德国物理学家 J. 普吕克尔在 1858 年进行低压气体放电研究的过程中发现的。稍后，英国物理学家克鲁克斯在实验室里研究闪电现象时，也发现了这种射线。当装有 2 个电极的玻璃管里的空气被抽到相当稀薄的时候，在 2 个电极间加上几千伏的电压，这时在阴极对面的玻璃壁上闪烁着绿色的辉光，可是并没有看到从阴极上有什么东西发射出来。这究竟是怎么一回事呢？

这种现象引起许多科学家的浓厚兴趣，进行了很多实验研究。当在阴极和对面玻璃壁之间放置障碍物时，玻璃壁上就会出现障碍物的阴影；若在它们之间放一个可以转动的小叶轮，小叶轮就会转动起来。看来确实从阴极发出一种看不见的射线，而且很像一种粒子流。在人们还没有弄清楚这种射线的庐山真面目之前，只好将它称为“阴极射线”。

关于阴极射线的本质，当时在国际上有两种截然不同的意见。大多数英国物理学家（如 J.J. 汤姆孙）认为阴极射线是一种带电的粒子流，因为它可以被电场或磁场偏转。汤姆孙等英国物理学家由实验中还测得阴极射线速度比光速小 2 个数量级。19 世纪 90 年代初，德国物理学家由实验中得知，阴极射线甚至可以穿透薄金属箔，据此他们认为阴极射线不可能是粒子流。

在阴极射线是不是带电这个问题上，开始时英国物理学家汤姆孙和德国物理学家赫兹做了同样的实验，也观察到同样的结果。我们来听听汤姆孙本人对这一段经历的回忆吧：“我使阴极射线偏转的第一次尝试是使它通过固定在放电管内的 2 个平行板之间的空间，并且在平行金属板之间加上一个电场。结果没有产生任何持续的偏转。”

对于这样一个同样的实验结果，赫兹简单而错误地得出了以下的结论：阴极射线是不带电的。而汤姆孙没有简单从事，他进行了更加深入的分析 and 思考，终于找到了问题的症结所在。他在《回忆与感想》一书中继续回忆说：“偏转之所以没有出现是由于气体存在（压力太高），因此要解决的问题是获得更高度的真空。而这一点说起来比做起来容易得多。”

汤姆孙继续对阴极射线进行深入的研究，1897 年终于完成了他那闻名于世的实验。图 2.3 就是汤姆孙实验中所使用的仪器的简图。

阴极射线由阴极 C 发出，通过狭缝 A 和 B 将阴极射线约束成细束，然后穿过 D、E 之间的空间，最后达到右边带有标尺的荧光屏上进行观察。当 D、E 充电，阴极射线束会向上或向下偏转（方向取决于 D、E 的极性）。汤姆孙根据实验中阴极射线偏转的方向确定出阴极射线是带负电的。然后他又在 D、E 之间换成用通电线圈加上一个方向与简图平面垂直的磁场。磁场也使细束发生向上或向下的偏转（方向与磁场的方向有关）。阴极射线细束在磁场中的偏转方向也证明阴极射线束所带的电荷是负的。接着汤姆孙巧妙地使磁场产生的偏转正好抵消电场所产生的偏转，这样就可以计算出阴极射线细束的速度。然后分别从电场和磁场单独产生的偏转幅度，再计算出细束的电荷与质量的比值（荷质比） $e/m$ 。汤姆孙求得的阴极射线的荷质比  $e/m$ ，比在电解过程中测得的氢离子的荷质比  $e_H/m_H$  大将近 2000 倍。因此汤姆孙认为阴极射线是由比氢离子小得多的带负电的粒子所组成。他把这种粒子称为“微粒”，所带的电荷（代表电荷的基本单位）称为“电子”。后来人们直接将

组成阴极射线的粒子本身称为“电子”。阴极射线束就是电子束，这是射线大家族中一个非常重要的成员，在现代科学技术中占有重要的地位。

从阴极射线实质的揭示过程，对我们至少有两点极为有益的启示：其一，穷追不舍的探索精神和深入细致的分析与思考的习惯，对于科学技术的发明和发现是何等的重要，古今中外这样的事例俯拾皆是，一切有志于科学技术的人们都要十分注意培养这种基本素质；其二，技术的革新与改进和实验科学的进展是相辅相成的，这样的例证也是不胜枚举的。

### 3. 天然放射性是怎样发现的？

仅仅在伦琴发现 X 射线还不到 2 个月之后，法国物理学家 A.H. 贝克勒尔在进行萤石发出 X 射线可能性研究的过程中，又发现了一种十分奇异的现象。

1896 年 2 月 26 日，他把一包硫酸铀钾样品放进抽屉，无意之中又将它放在一块未曝光的感光板上。过了几天，当他去取样品时，发现感光板已经被感光。我们来听听贝克勒尔在向法国科学院的报告中是怎样叙述他的发现经过的：“由于几天来太阳不露面，我在三月一日冲洗了底片，心想即使在照片上出现了阴影，它也一定很浅。可是事实适得其反，那阴影看来很深。我立刻想到也许黑暗之中也能产生辐射。”

在那几天中这包样品既未接触过阳光，又未接触过其它任何的能源。因此这种能使感光板感光的奇异射线不是荧光现象，只能被认为是样品自身发射出来的。贝克勒尔本人称这个发现“是非常重要的，是完全出乎意料的”。随后，贝克勒尔又对其它含铀化合物进行实验，结果发现这些化合物都发出同样的射线，即使是这些化合物被熔化或溶解之后也照样发出射线。他还发现，纯铀样品发射这种射线的本领更强。

贝克勒尔的这一新的重要发现更具有翻天覆地的特殊意义。它就像一把打开原子内部奥秘的钥匙，向人们预示着，在过去一直被认为是构成物质最基本单位的原子内部，竟存在着一个异彩纷呈的亚原子粒子的神奇世界。这真是科技史上又一个典型的偶然事件。在这样紧要的关头，科学家个人的机遇、学识、判断力和想象力都是缺一不可的。

P. 居里和 M. 居里夫妇继续贝克勒尔的工作，又发现其它几种元素也和铀一样，能够发出贝克勒尔射线。在异常艰苦的研究工作条件下，他们还发现了镭和钋这两种新元素。M. 居里还将这些元素发射贝克勒尔射线的特性称为放射性。她认为放射性不是一种化学现象，而是一种从原子内部产生的科学现象，因为任何简单的物理过程和化学过程，如加热、冷却、熔化、溶解以及与非放射性元素的化合等等都丝毫不影响给定元素的放射性。

1903 年 12 月，贝克勒尔和居里夫妇因为在贝克勒尔射线——放射性研究上的杰出贡献，共同获得了当年的诺贝尔物理学奖。

与此同时，还有许多其它国家的科学家也在深入进行由以上 3 位杰出物理学家所开创的研究工作，其中做出了最突出贡献的是英国剑桥大学的两位物理学家 J.J. 汤姆孙和他的助手、新西兰人 E. 卢瑟福。汤姆孙的一个最伟大的贡献就是前面已经介绍过的电子的发现，从而揭示了阴极射线的本质，第一个打破了原子是物质最小单位的传统观念。因此杨振宁教授称 J.J. 汤姆孙是“一位最先打开通向基本粒子物理学大门的伟人”。进而，汤姆孙对原子的结构提出了一种模型。这种模型认为，原子是一个比较大的带正电的球体，而电子就像散布在布丁中的葡萄干那样地均匀镶嵌在原子球内。这就是所谓汤姆孙原子模型。

E. 卢瑟福采用了一种简便而精巧的方法（如图 2.4 所示），对铀元素发出的贝克勒尔射线进行深入一步的研究。一小块铀元素材料被放在一个铅容器的长槽底部，将贝克勒尔射线约束成一细束。照相底版作为射线的探测器。在铅容器长槽的出口处，放置一个方向与图面相垂直的磁场，并将整个系统抽成真空。被贝克勒尔射线感光过的照相底版经冲洗后，发现有 3 个明显的

斑点，一个正对着铅容器的长槽，另外两个则分别置于第一个斑点的两侧。根据贝克勒尔射线在磁场中的偏转方向可以推知：铀元素发出的贝克勒尔射线中有3种射线，即带正电的α射线，带负电的β射线和不带电的γ射线。

进一步的研究表明，并不是所有能发出贝克勒尔射线的放射性元素都同时发出这3种射线，有些发射α射线，有些发射β射线，而γ射线有时伴随α射线发射，有时伴随β射线发射。

卢瑟福的另一个重要贡献是完成了著名的卢瑟福散射实验，从而提出了原子结构的卢瑟福模型。图2.5是实验装置的示意图。左边放射源发出的射线从两块厚铅板的中心小孔中穿出而成一小细束，然后向一块薄金箔射去。在金箔的右边放了一块荧光版或照相底版。结果他发现，大多数的α射线都一直穿过金箔或仅仅有极微小的偏转，只有少数α粒子产生很大的偏转，甚至向后散射。这种现象是汤姆孙原子模型无法解释的，而只能用一种假设来解释，这就是在原子中有一个体积很小而具有几乎全部原子的质量的带正电的核心（称为原子核），而带负电的电子在离原子核很远的地方绕着核心运动。这就是著名的卢瑟福原子模型。不久之后，卢瑟福的学生盖革和马斯顿也提出了这种原子模型的有力实验证据。

## 4. 中子射线的发现既复杂又带有戏剧性

1920年卢瑟福在一次学术报告中提出了一个重要的构想，认为有可能存在一种中性粒子，它的质量和质子相似。在他的这个构想中，中子已经呼之欲出了，只有待实验的证实了。因此卢瑟福的这个构想实际上已经拉开了发现中子的序幕。1930年德国物理学家玻特和贝克发现，放射性同位素钋发出的射线轰击铍、硼、锂靶时，会产生一种穿透力比射线大得多的射线。他们实际上迈出了发现中子的第一步。两年后，F.约里奥和I.居里（居里夫人的女儿）夫妇在巴黎所做的进一步的实验，有了更进一步的发现。他们发现新产生的射线能够从石蜡中把质子驱赶出来。他们实际上已经从实验上发现了中子，可惜与这一伟大发现失之交臂，正如当时一位物理学家为之叹息的那样：“他们发现了中性质子而居然认不出来。”

这到底是一种什么射线呢？人们最先想到了射线，不幸的是，一切想用射线来解释以上结果的努力都没有成功。人们只好进行新的探索。

1932年英国物理学家J.恰德维克利用一种新的实验技术完成了他的著名的实验。图2.6就是恰德维克发现中子时所用仪器的结构简图。从这个实验中他发现，从铍核中发射出的穿透力很强的粒子不是无质量的，而是具有和质子差不多的质量。早在1920年卢瑟福就曾经讨论过这种粒子，并把它称为中子。随后许多物理学家曾经进行过许多实验来寻找，但都没能找到肯定的证据。恰德维克在发现中子上的贡献，使他荣获1935年的诺贝尔物理学奖。

中子的发现才第一次真正揭开了原子核结构的奥秘。中子的发现，在核物理方面产生了重大而深远的影响。在1930年以前，人们一直认为原子核的总质量仅仅由质子一种粒子所组成。在恰德维克发现中子后不久，德国物理学家海森堡提出了原子核是由质子和中子组成的假说认为原子核既包含质子，也包含中子（氢原子核是唯一的例外），其质量数等于质子和中子质量的总和，原子序数等于质子数目。对中子质量所做的更为精确的测量，显示出它比质子更重一些，质子是 $1.67243 \times 10^{-24}$ 克，中子是 $1.6747 \times 10^{-24}$ 克。

中子在自然界中是不能单独存在的，它是在原子核受到外来粒子轰击时才从原子核中释放出来的，因此中子射线也是一种核射线（核辐射）。自由中子是不稳定的，它会蜕变成一个质子、一个电子和一个中微子。这个过程可以用下面的式子来表示：

$n$ （代表中子）  $p$ （代表质子） $+e$ （代表电子） $+v$ （代表中微子）

中微子是一种既无质量又不带电的粒子。在后面我们将要介绍的内容中，我们将会进一步看到，中子射线在物理学上和技术上都非常独特和非常重要的射线。

## 5. 来自天外的宇宙射线

宇宙射线是来自宇宙深处的各种高能射线的总称，实际上是存在于宇宙空间的各种高能粒子。宇宙射线是在研究大气电导率的过程中偶然发现的。在研究中，人们注意到，在屏蔽良好的静电器中仍能测出微弱的漏电流，因此人们猜测可能有某种至今未知的射线导致空气电离，这种射线应该具有非常强的穿透力。

1911年~1912年，奥地利物理学家 V.F. 赫斯利用气球将高压电离室带到 5000 米以上的高空。结果发现了非常有趣的现象：当离开地面 700 米时，电离度有一些下降，随后，电离度随着气球高度的增加而持续增加。无论白天和黑夜，观测的结果都一样。

究其原因，在地面附近，电离室的电离度主要受地面放射性的影响，随着气球的上升而减弱。而到了 700 米以上的高空，地球以外的射线对电离度的影响起了决定性的作用，随着气球高度的上升而持续增强。因为这种射线来源于地球以外的宇宙空间，因此被称为宇宙射线。

宇宙射线本身就是成分很复杂的许多射线的统称。在进入大气层之前的宇宙射线称为初级宇宙射线，进入大气层之后与大气层中的原子核相互作用而产生的各种粒子则称为次级宇宙射线。在接近海平面的次级宇宙射线又可以分成软性和硬性两部分。软性部分是指那些能够被 10 厘米厚的铅块几乎完全吸收的射线，主要是电子和  $\beta$  射线，其余的是硬性部分，可以穿过很厚的物质层，主要是各种介子。这是一个比较笼统的划分，和射线的探测条件还有一定的关系。

宇宙射线的起源和传播是高能天体物理学中的一个重要课题。宇宙射线是各种高能天体演化过程的产物，特别是各种高能天体物理过程的产物。很显然，因为问题本身的复杂性，宇宙射线的起源和传播的研究有许多实际的困难。随着初级宇宙射线观测的进展，人们现有核物理和高能物理知识的不足，也已越来越成为限制人们了解原始宇宙射线的重要原因。一般认为，宇宙射线中高能粒子应起源于天体的高能活动过程，如太阳和其它恒星表面的高能活动，超新星爆发，脉冲星，和活动星系等都可能是宇宙射线的源头。自本世纪 60 年代以来随着对初级宇宙射线以及射电、X 射线和  $\gamma$  射线天文观测的进展，人们对宇宙射线的起源和传播的认识取得很大的进展，并在不断地深入，然而，至今仍未出现比较令人满意的理论模型。而人们对极高能宇宙射线的认识就显得更加不足。

人们对宇宙射线的观测发现，宇宙射线的强度随纬度而变化，赤道附近的强度比高纬度地区的明显降低，这就是所谓宇宙射线的纬度效应。这表明初级宇宙射线带有电荷，电磁场使它们发生偏转。

除了发现纬度效应外，人们还发现了宇宙的东西效应，这就是在同一观测点，来自西方的粒子多于来自东方的。宇宙射线表明初级宇宙射线应带正电荷，在地磁场作用下发生偏转，导致强度的东西不对称。初级宇宙射线主要是各种原子核，观测宇宙射线主要是探测它们的电荷、速度、能量及其含量丰度，以及它们与靶物质的核相互作用过程等。宇宙射线是自然界为我们提供的天然的高能粒子库。宇宙射线除了能量高之外的另一个显著特点是强度低，在每平方厘米面积内只有每分钟几个，而且能量越高的粒子数目越少，适合做一些发现新现象的研究工作。在研究宇宙射线中，威尔孙云室曾经是