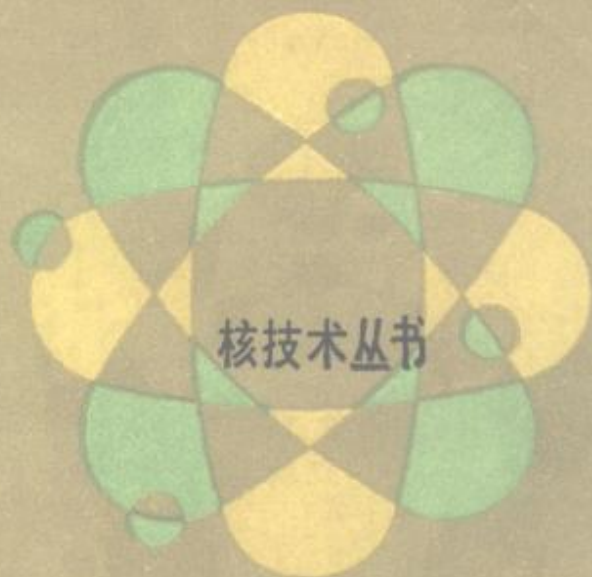


HE
JI
SHU
CONG
SHU



核技术丛书

核能史话



陈志成 著

原子能出版社

核 技 术 丛 书

核 能 史 话

陈志成 著

原 子 能 出 版 社

内 容 提 要

从1896年贝克勒尔发现放射性起,至今核科学史已将近90年了。在这不太长的历史时期中,人类经历了第一、第二两次世界大战的苦难。特别是在第二次世界大战末,日本人民首先遭受到美国原子弹的巨大灾难。直到1983年止,世界上已有25个国家和地区建成了317座核电站,其发电量占全世界总发电量的12%。核能的和平利用已越来越被人们普遍重视。

本书以核能科学史料为依据,深入浅出地介绍了放射性、电子、质子、中子和核裂变等重大发现,并把很多勇于探索原子奥秘的杰出科学家介绍给读者。从中不难看出,从核裂变发现到核能的和平利用,乃是世界各国核科学家共同努力奋斗的结果。

我国核能事业正处于发展阶段,相信这种新型的高浓缩能源必将为我国社会主义建设事业作出应有的贡献。本书可供具有中等文化程度,对核能科学有兴趣的青年、干部、教师及有关的科技人员阅读。

核 能 史 话

陈志成 著

张家骅 卢希庭 审校

责任编辑 李镁

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京丰华印刷厂印刷

(丰台区岳各庄)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092_{1/32}·印张 6·字数 132千字

1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷

印数1—1720·统一书号: 15175·802

定价: 1.25元

序

1896年，天然放射性的发现拉开了揭示原子内部奥秘的序幕。继这以后，经过世界各国许许多多科学工作者数十年的辛勤探索和研究，取得了辉煌的成果：发现了不少新的放射性元素；实现了人工核反应；人工合成了放射性同位素；中子、质子和正电子的发现，丰富了人们对原子核的认识；从三十年代起，各种类型加速器的建成，为核物理研究提供了一种强有力的新工具，同时，用加速器生产了很多新的放射性同位素；1939年，发现了核裂变，接着，1942年，建成了世界上第一座核反应堆，它标志着人类进入了原子能时代。核反应堆提供了一种强大的中子源，为中子的研究和应用，以及放射性同位素的大量生产创造了条件。这样，放射性同位素、放射源、放射性标记化合物、放射性药物和同位素仪表等的研制和供应，逐步走上了商品化的道路，为核科学技术在各个领域中的应用打下了良好的基础。

核反应堆技术的进步和成熟，导致五十年代中核电站的出现，开创了核科学技术应用的另一崭新的领域。核能发电突出的特点是单位重量燃料的发电量十分高，一座100万千瓦的核电站每年仅消耗约一吨铀-235，而烧煤电站则需270万吨标准煤。目前核电的成本不比火电贵，对环境的污染也少；包括反应堆在内的核发电设备现已十分成熟，达到了商品化水平。今天，核能发电已占世界电站总装机容量的十分之一，可以肯定，今后仍将不断增长。

加速器的发展，使它超出了原先专供核物理研究的范围，已开始向着应用领域迈进。加速器能生产纯度高、半衰期短、发射正电子的无载体放射性同位素，加速器产生的各种粒子束流比放射性同位素放射出的射线的强度高很多，它为核科学技术的应用提供了一种新工具，开辟了新领域。

核技术丛书包括十几个专题，基本上反映了核技术及其在各个领域中的应用概貌。编辑本丛书的目的，在于使读者对核技术的特点及其应用能获得较清晰而又正确的了解，消除对放射性和射线的恐惧，普及核技术应用知识，推动核技术的应用，为我国四个现代化建设做出应有的贡献。

张守群 1983, 10, 3

目 录

一、 放射性的发现.....	1
1. 人类早期对物质结构的认识.....	1
2. 揭开X射线的秘密.....	3
3. 铀盐世家的新发现.....	7
4. “放射性”名称的由来.....	10
5. 居里夫妇找到了“镭”和“钋”.....	12
6. 镭射线性质的研究.....	15
7. 原子是能够转变的.....	19
8. 三个天然放射系.....	22
二、 原子的结构.....	31
1. 揭开原子秘密的新起点.....	31
2. 学生超越了老师.....	39
3. 原子世界的图象.....	45
4. 问题在于精确测量.....	55
三、 核世界奥秘的探索.....	64
1. 首次人工核反应.....	64
2. 发射轰击粒子的“原子炮”.....	70
3. 中子的发现.....	77
4. 找到了人工放射性核素.....	85
5. 铀原子核的裂变.....	91
6. 科学家的忧虑.....	101
四、 核能的开发和利用.....	109
1. 核能的来源.....	109

2.核力和结合能	113
3.跨出了划时代的一步	119
4.世界上第一批反应堆	127
5.原子弹和氢弹	132
6.核动力的应用	146
7.放射性的应用	155

附 录

核能发展史大事记	167
----------------	-----

一、放射性的发现

1. 人类早期对物质结构的认识

自古以来，人类一直想从千变万化的自然现象中，找到如何认识物质世界的客观规律。从而知道，各种物质来源于何处？它们是由什么东西组成的？等等。关于人类早期对物质结构的认识，综合起来，大致可分为两种不同的论点：一种认为，世界上的一切都是由上帝创造的。另一种认为，万物皆由某些种基本的物质要素所组成。我国古代思想家曾提出“五行说”，用以说明世界万物的起源。在古希腊时代，也曾流行过类似的学说。如亚里士多德就曾认为，土、气、火和水是组成物质世界的基本要素，它们分别代表干、冷、热和湿四种不同的物质属性。然而，在所有认为世界是由物质构成的学说中，其影响最大的要算由德谟克利特 (Demokritos) 首先提出的“原子说”。他的老师留基伯 (Leucippus) 也是这个学说的创始人之一。他们都认为万物皆由大量不可分割的微小物质粒子组成，这种粒子被称为原子（希腊文为 *atomos*，即“不可分割”之意）。于此同时，德谟克利特还认为：“原子”能具有不同的性质。这就是说，在大自然中能够同时存在各种各样的原子。有些原子很轻，能自由地向各处渗透，而彼此间相距又很远，空气和其它各种气体就是由这类轻原子所组成的。相比之下，液体中的原子要重一些，它们虽然相互粘连在一起，但仍能流动，故液体能具有体积不变而形状可任意改变的特性。至于固体中的原子，一定是更大、更

重的。它们相互结合得更紧密，同圆润而又光滑的液体原子相比，固体原子表面想必是粗糙不平的，因此固体原子间能互相钩牢而不能自由转动，结果形状和体积都可保持不变。由此可知，早期的原子说虽粗浅，但仍能像现在一样，可用来解释固体、液体和气体的某些物理现象。

到了十七世纪，由于科学技术的发展，各种发明和发现纷至沓来，从而加深了人们对客观世界的认识。人们开始不仅限于用头脑思考提出各种概念，而是力求用实验来验证对自然现象所作的种种假说。1661年，英国化学家波义耳(Robert Boyle, 1627~1691年)指出：“组成复杂物体的最简单物质，或在分解复杂物体时所能得到的最简单物质，就是元素”。这里，为波义耳所采用的“元素”这个词的含义和我们今天的理解是相同的，即物质可由各种元素组成。它是用一般化学方法不能再行分解的最简单的物质。一定的化学元素，就有一定的性质。自然界中各种物体，不论是动物、植物和矿物，还是气体、液体和固体都是由各种元素所构成的。例如金和银，氧和氢就都是元素。当时波义耳虽认为元素可有很多种，但确切的数字还是不知道的。后来，化学家们又找到了许多种新的元素〔包括1789年德国化学家克拉普罗特(Martin Heinrich Klaproth, 1743~1817年)发现的铀元素在内〕。至今我们已经知道自然界中存在90种天然元素；到1976年8月止，在实验室中由人工制造的不稳定元素已达17种；这样，总共就有了107种元素。

1808年后，另一位英国化学家道尔顿(John Dalton, 1766~1844年)不但进一步发展了波义耳的元素概念，而且把德谟克利特的原子概念也更加具体化了。在研究总结了化学变化的许多重要规律的基础上，他与意大利化学家阿伏加

德罗 (Amedeo Avogadro, 1776~1856年) 提出了“原子分子学说”。道尔顿曾构思了各种原子符号。当时他认为各种元素、单质都是由原子微粒所组成。同种元素的原子都是相同的,反之则不同。另外,他又设想,在物质起变化时,一种原子可和其它原子结合。例如,木材燃烧时,一个碳原子和两个氧原子结合成二氧化碳。当时把这种不同原子的结合称为“复合原子”。而阿伏加德罗又把这种“复合原子”称作“分子”。他认为分子是组成物质的最小单元,而每个单元又能严格地保持和物质大量存在时所具有的相同性质。根据这个概念,人们就能方便地区分什么是原子?什么是分子?此外,他也确认原子是组成元素的最小颗粒。当不同元素的原子相互化合成化合物时就形成了分子。例如,氧气和氢气是由许多氧分子和氢分子所组成,而氧分子氢分子又分别由氧原子和氢原子组成,人们日常生活中所不可缺少的水,就是由两个氢原子和一个氧原子结合成水分子(H_2O)所组成,这就是所谓的“原子分子学说”。

总之,到了十九世纪中叶,人们已经知道了五十五种元素;有关原子、元素和分子的概念和学说也已被人们普遍接受,这就为核科学的发展奠定了坚实的基础。

2. 揭开X射线的秘密

十九世纪末,物理学家们通过对电学的研究,不断思考物质的结构问题。他们采用自己独特的方法,对气体的放电现象进行了十分广泛的研究。一般说来,在正常条件下的气体都是不导电的。但在特定条件下,即在一个密闭玻璃容器的两端装上一对电极,并加上足够高的电压。与此同时,开动与玻璃容器相连接的抽气系统,容器中的气体压力将会逐渐下降,而且随着气体压力的变化,人们会看到一种奇异的

现象。一旦气压降到几毫米汞柱时（一个大气压相当于760毫米汞柱），容器内气体开始放电，而气体就开始导电，在电极间可观测到有电流流过。并可观察到气体放电的光柱，其颜色和容器内所充气体种类有关。如充氖气，就呈现出红色光；若充氩气，则为淡紫蓝色。生活中常见的霓虹灯和日光灯都是利用低压气体放电原理制成的。

如果继续抽气，容器中的气压就会进一步下降，直到0.1毫米汞柱时，放电发光现象就会突然消失。若再把气压抽到 10^{-3} 毫米汞柱以下，就能在阴极对面的容器壁上观察到荧光。这好象是从阴极上发射出了什么东西，打到对面玻璃壁上使得玻璃发光。当时人们把从阴极上发射出的东西叫做“阴极射线”。这种用来研究气体放电的玻璃容器叫做“阴极射线管”，如图1-1所示。

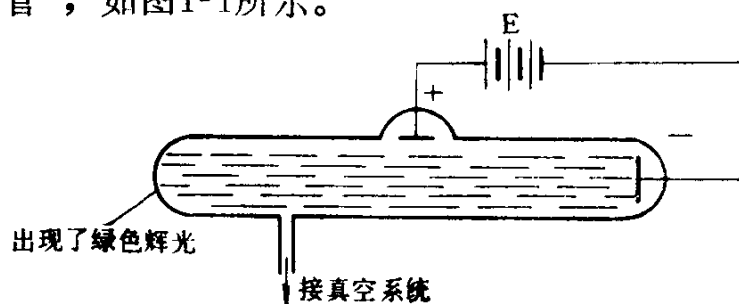


图1-1 阴极射线管

德国物理学教授伦琴（Wilhelm Konrad Röntgen, 1845~1923年）就是利用这种阴极射线管进行科学研究的杰出代表，他在1895年12月28日发现了X射线。

当时伦琴曾对阴极射线进行了仔细观察研究。有一次突然发现放在1米以外涂有亚铂氰化钡（它是一种荧光物质）的纸上，也能发出一种青绿色的荧光。如果去掉阴极射线管上的高电压，则阴极射线管停止工作，而亚铂氰化钡纸上的荧光也就同时消失。若再加上高电压使阴极射线管重新工

作，纸上的荧光就又重现。奇怪的是当把纸慢慢移远时，竟然仍可见到闪烁的荧火。由此可知，纸上的荧光一定是由阴极射线管工作时所产生的。而当时已知的阴极射线只能穿过几厘米厚的空气层，故一定还有一种人们肉眼所不能见到的射线穿过阴极射线管的管壁，打在纸上，结果产生了荧光。

伦琴为了对这种神秘的射线能有更进一步了解，他又继续做了许多试验。例如，他曾用黑纸把整个阴极射线管严密地包封起来。又在阴极射线管和涂有荧光物质的纸间放置上千页厚的书，或几厘米厚的木板，或几毫米厚的铝板，等等。试验结果发现，无论是纸、木板、玻璃，甚至金属都不能挡住这种射线。这就说明所产生的射线确有很强的穿透能力。由于当时伦琴对这种射线的性质还不十分清楚，故就把它叫做“X射线”。后人为了纪念伦琴的功勋，也称之为“伦琴射线”。

另外，伦琴还发现X射线能穿过墙壁，使相邻房间内的胶片感光。同时又发现它虽能容易地透过薄而轻（即密度小）的物质，但对厚而重（即密度大）的物质却很难穿过。例如，伦琴曾在暗室里，把某种柔软物质或金属钥匙之类的硬物质放在照相底版上。然后，用X射线对准底片进行照射（也称曝光）。结果发现射线能全部穿透柔软物质使底片全部曝光。但在放有金属钥匙的底片上，却清晰地看到了一个和钥匙形状一样的未曝光区。

伦琴的伟大发现是在1895年圣诞节后公诸于世的。当时立即引起了许多物理学家的注意。特别是医生们在看到第一张显示人体手骨骼的照片后（见图1-2）就更为激动。从此，他们可利用X射线拍片，察看病人的骨骼在何处破裂或直接寻找弹片和子弹在人体中的位置，以便及时治疗。在第一

次世界大战期间，居里夫人就曾在法国部队中，组织伤兵医疗服务队，在战地前线建立了第一座有X光设备的医疗站，抢救和医治了很多伤病员。而目前X射线在医学上不论是诊断或治疗都得到了非常广泛的应用。

X射线的发现大大地推动了近代物理学的发展。就在伦琴发现X射线的第二年，法国人贝克勒尔从铀盐中发现了放射性。又过了一年，英国人汤姆逊发现了电子（这将在以后的章节中作详细介绍），等等。由于这些重大发现，就使得人们对物质结构的认识更加深化了，人们的思维已深入到原子内部，开始探索原子世界的奥秘了。



图1-2 第一张显示人体手骨骼的照片

3. 铀盐世家的新发现

正当1896年1月20日在巴黎法国科学院宣读关于伦琴发现 X 射线的报告时，在众多的听众中，有一位名叫贝克勒尔 (Henri Antoine Becquerel, 1852~1908年) 的法国物理学家。他在听过报告后，反复思考着一个问题，即荧光与神奇的 X 射线间，究竟有什么内在的联系？

然而，最使贝克勒尔感兴趣的是 X 射线不但和阴极射线管发生荧光时同时产生，而且 X 射线也来自阴极射线管发生荧光的那部分玻璃处。也就是说，荧光和 X 射线是同时、同处产生的。由此他想 X 射线必然与荧光有什么联系，并自己反问自己，那些能发出荧光的物质是否也能发射 X 射线呢？当然贝克勒尔对荧光现象并不陌生。他祖父也是一位有名望的物理学教授，对荧光物质也很有研究。他的父亲爱德蒙·贝克勒尔 (Edmund Becquerel) 也从事铀盐荧光现象的研究。而亨利·贝克勒尔已是这个铀盐世家的第三代。他在1880年制备了一种铀和钾的复合硫酸盐，其分子式为 $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ ，并且发现这种铀盐在太阳光的紫外线激发下也能产生荧光。此时，贝克勒尔为了要研究荧光和 X 射线之间的关系，也就回想起曾经研究过的铀盐，觉得很有重新进行仔细研究的必要。

接着，贝克勒尔就用这种铀盐进行新的实验。他把未感过光的照相底片，用黑纸包好，然后在黑纸上放上铀盐，并将它们捆在一起，最后放在阳光下照射。日光中的紫外线能使铀盐产生荧光，这是贝克勒尔早已知道的。至于铀盐会不会同时产生使底片感光的 X 射线，就需要实验验证。经过几个小时以后，他把底片拿去冲洗。结果正如他所期待的那

样，底片不但感光了，而且在底片上清楚地显示出铀盐的影像。在多次重复实验中，他又把某些中间打孔的金属板或硬币等物体，放在铀盐和底片之间。所得结果使他非常高兴，因为每次实验在底片上均留下了所放置物体的影像。

随后，贝克勒尔根据上述实验结果，写出了完整的实验报告，并在1896年2月24日法国科学院的一次会议上，宣读了这个报告。他宣称：铀盐在经过日光照射以后，能够发射出一种类似X射线的射线，它也能穿过黑纸、玻璃等其它物质，能使底片感光。

贝克勒尔的实验结果本身确是一项重大发现。但在分析实验现象时却犯了先验论的错误。为此每个科学家都应从中吸取有益的教训。不论做哪一种科学实验，往往在不能获得预期结果时，一定会非常仔细地检查实验过程。而在工作顺利时，却容易犯粗枝大叶的错误。贝克勒尔正是这样犯了一次意想不到的错误。他在实验前已经认为X射线的发射与荧光有关。而铀盐在日光照射下刚好能产生荧光，因此联想到同时又产生X射线。实验结果又证明了铀盐确能放射出某种能使底片感光的射线。最后他就简单地认为铀盐所以能放射出某种类似于X射线的射线是由于太阳光照射的结果。

当然，任何错误的结论都不能持久，贝克勒尔很快又从实践中发现了自己所犯的错误。他在重复上述实验时，有一次准备工作做好后，天气突然变阴。他想没有太阳实验是无法进行的。故只得把已准备好的底片暂时放入抽屉，并在底片上面撒了一些铀盐，待天晴后再用日光照射。可是一连数日都是阴天，他的实验也就无法进行。几天后，他怕底片可能会有些漏光，便决定将其中一张冲洗出来看一下。不料其结果竟好得出奇。虽然铀盐未受日光照射，但底片上仍留下

了比以往更深、更黑的阴影。他反复思考这一奇怪的现象，为何不经阳光照射，放置时间长一些，就能得到更深、更黑的图像呢？为了揭开这个谜底，他又多次重复这个实验。结果发现，即使在暗室中制备铀盐样品，也就是说这种铀盐从未经过日光照射，铀盐仍能放射出本身特有的射线使底片感光。显然，这种射线的发射和阳光无关。

后来，贝克勒尔对不同类型的荧光物质也进行了实验。他发现不是所有的荧光物质都能发射这种射线的。但只要是含有铀元素的，则都能放射出这种能使底片感光的射线。而且这种射线还具有使空气电离，验电器放电的本领。看来，铀确是能放射这种奇特射线的关键物质。为了证明这一点，贝克勒尔又用含铀但不发射荧光的物质做实验，同样也获得了使底片感光的結果。即使把含铀物质加热熔化或把铀盐配制成溶液，也都破坏不了这种射线的发射能力。这样一来，贝克勒尔终于肯定了射线是从含铀物质中放射出来的结论。而且实验还继续证明，射线的强度和铀的含量成正比。由于整块纯铀的含铀量要比铀盐大得多，故它能放射出更强的射线，底片感光的阴影也就更深更黑。虽然早在1789年就发现了铀元素，但它的放射性性质却在一百多年后才得以证实。而当时要获得纯铀也是很困难的，贝克勒尔从一个和他相识的化学家那里取得了很少一点纯铀。他高兴地把纯铀包在黑纸里进行实验。结果这次所得底片上的阴影要比以往任何一次都深而黑。这样就直接证明了铀确是放出射线的原始物质，无论在黑暗中或阳光下都能不断放射出射线。

贝克勒尔从错误的假设开始，经过不断实践，最后终于在1896年发现了铀元素的放射性特性。胜利地完成了一项有助于其他科学家进一步了解原子秘密的重大发现，而1896年

也就成为原子核科学史的起点。

4. “放射性”名称的由来

虽然现在我们都一致认为贝克勒尔发现的重要意义并不亚于伦琴，但当时贝克勒尔的影响却远不如伦琴。因为不少人认为贝克勒尔发现的射线，不过是伦琴早已发现了的东西。他们不知道贝克勒尔所发现的射线和伦琴的X射线相比，在现象上确有某些相似之处，例如，它们都能穿透黑纸和不太厚的金属层，都能对照相底片感光 and 使空气电离，但在本质上，两种射线之间却存在很大区别。伦琴射线是在极稀薄的气体中放电时发生的，通常气压低到一个大气压的百万分之一左右，故在两个电极间需加高电压。伦琴射线的发射与管内所充气体性质、电极材料均无关。但贝克勒尔发现的射线的产生既不需加高电压，也不需要什么稀薄气体。还有，伦琴射线仅在气体放电时发生；而新发现的射线却能连续发射。

此外，从实用角度上看，新发现的射线也代替不了X射线。因为前者的强度很弱，根本无法用它来拍片。而用X射线拍一张手部透视照片只需几分钟，至少到几秒钟。因此，贝克勒尔的重大发现，当时似乎没有引起人们足够重视。

然而也有例外，当时在巴黎大学求学的一位年轻女学生却对贝氏所发现的射线，发生了浓厚的兴趣，并决定把它作为自己博士学位论文题目进行研究。她就是出生于波兰，后来加入法国籍的、历史上第一位两次获得诺贝尔科学奖的著名物理学家玛丽·居里(Marie Skłodowska Curie, 1867~1934年)。

1897年，她已获得了物理学位和数学学位，已经是一位