

核能源與核技術

吳茂良 著



四川大學出版社

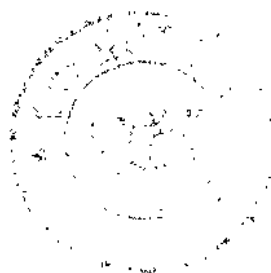
TL-49

446623

W. 7

核 能 源 与 核 技 术

吴茂良 著



00446623



四 川 大 学 出 版 社

1994 年 · 成 都

446373

(川)新登字 014 号

责任编辑:杨守智

封面设计:冯先洁



核 能 源 与 核 技 术

吴茂良 著

四川大学出版社出版发行 (成都市望江路 29 号)

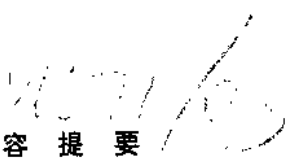
四川省新华书店经销 郫县犀浦印刷厂印刷

787×1092mm 32 开本 5.25 印张 105 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷

印数: 0001—1000 册

ISBN7-5614-1081-6/TL·1 定价: 3.80 元



内 容 提 要

本书介绍了 20 世纪初期物理学的一场革命。革命的成果之一，是核物理的诞生。该书介绍了中子的发现、核物理研究的学术成就和巨大的应用价值。讨论了核能、核武器和核技术应用，特别是民用核技术的一些具体实用事例。还介绍了近 30 位著名的中外核物理学家。

本书文笔流畅，深入浅出，生动活泼，史事可靠，资料丰富，数据新颖。融科学性、知识性、趣味性、可读性为一体。颇具特色。

本书可供高中以上文化程度的读者阅读，也可供大学、中学师生、科技工作者以及有关领导干部参考查阅。

作者从事核物理及核技术专业的教学和科研 30 多年。著有《应用核物理》、《原子物理》等专著，发表学术论文 30 余篇。

前 言

核能和核武器，现在已是人们都知道的当代高科技热门，也是国际竞争的重要科技领域。而核技术在理、工、农、医、环保领域的应用，只有专业科技人员才了解。至于核物理学发展历史，核能的来源以及怎样从宏观上获得核能，核武器的原理和威力，那么，知道的人就更少了。为了普及核能、核武器和核技术应用知识，宣传核物理的学术成就和应用价值，特别是放射性核素及其射线可以在哪些方面造福人类？为此，笔者编写了这本书。

笔者编写本书还有两个目的。其一，介绍核物理学家，特别是中国核物理学家。激发读者热爱科学，献身科学之精神。其二，为核技术正名。大家知道，原子核科学技术最先展示在人们面前的是核武器。造成了人们反核、恐核的心理。殊不知，核能及射线同位素的应用为人类带来的利益，远远大于核武器给人类造成的可能的危害。过去由于保密，社会公众应该知道的，实在太少了。

笔者撰稿时，力求做到以下几点：①科学性、知识性与趣味性，新颖性相结合。②发现、发明的历史事实与当时科技发展的背景情况相结合。③物理知识的获得、物理概念的提出与物理学家的创造性劳动、特别是艰难的长期的实验观

察和测量相结合。④理论与实验相结合。⑤解释物理概念、说明来龙去脉时，少用数学公式和复杂的图表。力求语言准确、生动、形象，叙述清楚、流畅、风趣。增强可读性。

倘若读者能从本书获得一点知识、受到一点启示，或者了解到某一物理上的发现、发明、某个物理实验，某位物理学家…笔者也就可以自慰了。

感谢杨自觉先生和杨守智编辑，对于促成本书出版所作的努力。

吴茂良

1993年10月20于四川大学

目 录

前 言	(1)
第一章 物理学的革命	(1)
一、 三大发现	(3)
二、 两朵乌云	(10)
三、 一场革命	(18)
四、 革命旗手普朗克 爱因斯坦 玻尔	(26)
第二章 核物理的诞生	(34)
一、 打开粒子物理大门的伟人汤姆孙	(34)
二、 核物理的鼻祖卢瑟福	(37)
三、 玻尔对氢原子的描述	(45)
四、 早期核物理的发展	(50)
五、 中国物理学家叶企孙 吴有训 赵忠尧	(56)
第三章 中子发现	(62)
一、 划时代的发现	(62)
二、 中子具有什么性质	(67)
三、 原子核的身份证	(70)
四、 加速器的发明	(75)
第四章 辉煌成就的三十年	(79)
一、 铀核一分为二	(79)
二、 如何描述核反应	(82)

三、	原子核结构的几种模型	(87)
四、	核物理硕果累累	(91)
五、	中国学部委员钱三强 王淦昌 张文裕 何泽慧	(93)
六、	美籍中国物理学家杨振宁 李政道 吴健雄	(99)
七、	中国人发现新核素.....	(102)
第五章	核能源与核武器	(104)
一、	核能来自哪里.....	(104)
二、	怎样获得核能.....	(110)
三、	核电站.....	(116)
四、	核武器.....	(125)
五、	奥本海默 库尔查托瓦 费米.....	(133)
第六章	核素及射线应用	(139)
一、	示踪技术和分析技术.....	(140)
二、	辐射加工和核仪表.....	(146)
三、	辐射育种及辐射保藏.....	(151)
四、	神奇的核医学.....	(156)

第一章 物理学的革命

茫茫玉宇、寥廓江天、大千世界、沧海桑田。这就是展现在我们面前的无限的永恒的物质世界。千百年来许多中外哲人、学者为探索物质世界的奥秘，付出了毕生的精力。

古代中国人曾经提出“五行说”，认为物质是由金、木、水、火、土五种基本元素构成的。提出了“阴阳说”，以阴和阳的矛盾运动来解释种种自然现象。还有“八卦说”，用以解释自然界的千变万化。

古希腊哲学家亚里士多德 (Aristotle) 提出，组成物体的四种基本元素是水、火、土、气，它们都“趋向于自己特有的空间”，寻找自己的“天然处所”。亚里士多德还首次提出了物质、空间、时间、运动等基本的物理学问题。

古希腊罗马时代，自然哲学家泰勒斯 (Thales)、留基伯 (Leucippus)、德谟克利特 (Democritus)、伊壁鸠鲁 (Epicurus) 和卢克莱修 (Lucritius) 等人，根据有关各种自然现象的思辩性考虑，提出了一种学说。该学说认为：宇宙万物都是由大量的不可分割的微小物质粒子组成的，这种微小物质粒子称为原子 (希腊文 atomos，意为不可分割的)；各种原子只有大小、形状和位置的不同，而没有质的区别；各种原子总是处于运动之中，并以各种方式相互结合或者重新

分散，从而形成了宇宙间千变万化的自然现象。这就是古希腊原子学说。

17世纪，物理学取得了辉煌的成就。其中最重要的是：在开普勒（Kepler）行星运动三定律和伽利略（G·Galilei）关于落体运动及抛体运动的实验研究基础上，科学巨人牛顿（I. Newton）的划时代世界名著《自然哲学的数学原理》，1687年在伦敦出版了。这本书系统地阐述了牛顿运动三定律及万有引力定律，从而形成了牛顿力学体系。此后两百年间，牛顿力学一直占据着物理学乃至整个自然科学领域的支配地位。

19世纪，整个自然科学都得到了巨大的发展。这当中最著名的三大发现是：细胞，能量转化，进化论。在物理学领域，则形成了系统而完整的经典物理学体系。它包括：牛顿力学，以热力学第二定律为核心的热力学——统计物理学，以法拉第（M·Faraday）——麦克斯韦（J·G·Maxwell）方程组为标志的电磁学，以及光学、声学。（经典物理学这个名称，是后人为区别现代物理学而给予的）。面对这种情况，19世纪中后期的许多著名物理学家都认为，物理学已经成熟而且完美了，后世物理学家只需做些补充完善、应用已有的物理定律就可以了。

然而，客观事实打破了这种认识。1900年英国著名的物理学家开耳文（L·Kelvin），在题为《遮盖在热和光的动力理论上的十九世纪乌云》的著名演讲中指出：“在物理学晴朗天空的远处，还有两朵小小的令人不安的乌云。”他说的两朵“乌云”，一是以太论的困难，因为迈克耳孙（A·A·Michelson）——莫雷（E·W·Morley）实验，始终未能证实以太

的存在。二是能量均分定律的困难，因为瑞利 (Rayleigh) 公式无法解释黑体辐射谱的高频部分 (这习称“紫外灾难”)，而维恩 (W · Wien) 公式又不能解释低频部分。

就是这两朵小小的“乌云”，以及 19 世纪末物理学的三大发现，即 X 射线的发现、放射性的发现和电子的发现，还有当时无法解释的光电效应、氢原子的线光谱，带来了物理学的一场革命。

一、三大发现

19 世纪末期，物理学的三大发现是：X 射线的发现，放射性的发现和电子的发现。这三大发现都与气体放电和阴极射线有关。简言之就是，研究气体放电发现阴极射线，研究阴极射线发现 X 射线，发现电子，而研究 X 射线又发现放射性。

19 世纪中叶，从 1838 年法拉第开始，许多物理学家都在开展当时的热门课题——气体放电的研究。就是在一根玻璃管中，充以稀薄气体，管内两端分别安装两个电极，当加上电压时，管内出现有色辉光。1855 年盖斯勒 (H · W · Geissler) 发明了水银真空泵，能使玻璃管中气压降低到 1 大气压的 0.01%，即 10.1325Pa (1 大气压即 1atm=760mmHg=101325Pa, Pa 是压强单位帕斯卡的符号)。这有力地推动了气体放电的研究。

1958 年在研究气体放电时，普鲁克 (J · Plucker) 发现了阴极射线。(1975 年克鲁克斯 W · Crookes 认为是“来自阴极

的什么东西”。后来哥尔德斯坦, E·Goldstein 称之为阴极射线) 那么, 阴极射线究竟是什么东西, 它有什么样的性质?

1. 伦琴发现 X 射线

德国物理学家伦琴 (W·C·Rontgen, 1845~1923) 对阴极射线进行研究。1895 年 11 月 8 日, 他又到实验室工作, 一个偶然事件引起了他的注意。当时, 房间里一片漆黑, 而气体放电用的玻璃管是用黑纸包严了的。他发现, 放电管附近小桌上的荧光屏 (亚铂氰化钡) 上也出现微弱绿光, 跨接感应圈的高压导线在荧光屏上留下黑影。他很惊奇。于是他又把书、纸、薄铝片, 薄铅片置于放电管和荧光屏之间。结果又观察到荧光屏上出现了铝片和铅片的圆形黑影。经过几天废寝忘食的研究, 伦琴意识到可能出现了不同于阴极射线的某种新射线。由于不了解新射线的性质, 故取名为 X 射线。而其他人则称之为伦琴射线。

1895 年 12 月 28 日,《维尔茨堡物理学医学学会会刊》发表了伦琴关于这一发现的第一篇报告。继后又连续发表三篇论文, 阐明他的发现。1896 年 1 月 23 日, 伦琴在自己的研究所作了第一次学术报告。报告结束时, 拍摄出维尔茨堡大学著名解剖学家克利克尔的手骨照片。伦琴还为他的夫人的手骨摄了 X 射线照片, 现在许多书上刊出的照片就是这一张。

由于伦琴在 1895 年发现了 X 射线, 所以他荣获 1901 年首届诺贝尔物理学奖。

那么 X 射线的本质究竟是什么呢? 直到 1912 年德国物理学家劳厄 (M·Von Laue) 发现 X 射线是波长极短的电磁波。它的波长只有可见光的几千分之一, 约为 0.1nm (纳米,

10^{-9} 米)的数量级。(现在已知的X射线波长约为 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ nm)

2. 贝可勒耳发现放射性

伦琴发现的X射线,立即引起各国学者的研究兴趣。法国物理学家贝可勒耳(A·H·Becquerel, 1852~1908) 1896年1月20日参加法国科学院的每周例会。这天,著名数学物理学家彭加勒(J·H·Poincare)在会上展示了伦琴寄给他的照片和论文;另有两位法国医生也展示他们拍到的手骨X射线照片。贝可勒耳问这种射线是怎样产生的?彭加勒回答,也许是从阴极对面发荧光那部分管壁发出的,荧光和X射线可能出于同一机理。第二天贝可勒耳就开始试验,看看荧光物质是否在发荧光的同时,发出X射线。试验结果,没有这回事。贝可勒耳打算放弃这项试验。

正当此时,贝可勒耳又读到彭加勒的介绍X射线的一篇科学普及文章。文中再次提到X射线和荧光可能产生于同一机理。于是他又继续试验。他把荧光晶体(钾铀酰硫酸盐)放在用黑纸密封的照相底片上,经日光照射晶体几小时。底片冲洗出来,果然底片上有荧光晶体的雾翳像。这样,他以为试验成功了,彭加勒说得对。他相信,X射线的产生是由于太阳光照射荧光物质的结果。1896年2月24日他将实验报告送交法国科学院。但是,这回他错了,他的推测不正确。彭加勒也猜错了。

为了在3月2日法国科学院的例会上报告他的实验结果,贝可勒耳本想再做几次试验。可是2月26日和27日连续阴天,无法试验,他只好将铀盐和黑纸包裹的照相底片,一

起放在暗室的抽屉里。3月1日把底片冲洗出来，出乎意料地发现，底片上仍有晶体的雾翳像！他又改变铀盐的状态（晶体、溶液）、温度、放电等等来进行试验，结果底片上还是有像形成。改用不发荧光的铀化物进行试验，结果相同。多次反复实验证明，底片上形成像的根源在于铀。

贝可勒耳意识到，从铀放出了新的射线，它即不是荧光也不是X射线。他又用实验证明了：新射线能使气体电离，这与X射线性质相同；但又能被电场或磁场偏转，这与X射线不同。这种新射线，别人称之为贝可勒耳射线。1896年3月，贝可勒耳发表论文《论磷光物质放射的看不见的射线》，报导了铀化合物自发地放出射线的事实。

后来人们公认，1896贝可勒耳发现了放射性，并将这一发现作为原子核物理学的开端，因为这是人类第一次接触到核现象。由于这一发现，贝可勒耳和居里夫妇共同荣获1903年诺贝尔物理学奖。

贝可勒耳的发现，往往被后人作为科学发现的偶然性之重要例证。本来是想研究X射线的产生与荧光有无关系、有何关系；大家最感兴趣的问题是X射线的性质、X射线是什么。假如没有铀盐，假如未遇到阴天…不过，偶然中有必然。贝可勒耳自己却喜欢说，在他家的实验室发现放射性“是完全合符逻辑的。”因为他的祖传三代都是研究磷光的世家。祖父A·C贝可勒耳是电学家、巴黎自然历史博物馆的物理教授。父亲A·E·贝可勒耳继承父业，成为欧洲有名的固体磷光专家，曾被选为法国科学院院士。他家的实验室有各种荧光和磷光物质，其中包括铀盐，并且经常进行试验。

玛丽亚·居里 (M·Curie, 1867~1934)，波兰人，与

她的丈夫皮尔·居里 (P·Curie, 1859~1906), 法国人, 都是因研究放射性贡献巨大而闻名于世的。居里夫人首先证实了贝可勒耳的一个结论: 铀盐的辐射强度与化合物中的铀含量成正比。他想到, 难道只有铀才有放射性吗? 1898年, 施密特 (G·C·Schmidt) 发现钍也具有贯穿辐射。她很快予以证实。她又找来各种矿石和化学品, 一一进行试验。初步结果是: 大多数材料的游离电流小于 0.2×10^{-12} 安培, 而沥青铀矿石可达 83×10^{-12} 安。氧化钍和辉铜矿石 (含磷酸铀) 约为 53×10^{-12} 安。她发现, 沥青铀矿和辉铜矿的放射性, 比纯金属铀强得多。她断定, 这两种矿石中可能含有比铀活泼得多的元素。于是, 在居里先生协助下, 居里夫人进行了艰苦的提纯工作。1898年7月, 从铀矿渣中分离出少量的铋, 此铋的放射性比相同质量的铀强400倍。居里夫妇抓紧研究铋的放射性, 结果证明放射性并不来自铋, 而是来自混在铋中的一种微量元素。又经反复试验, 她俩终于发现了一种未知的金属, 并建议称之为钋 (Polonium), 以纪念她的祖国波兰。

他们继续进行试验, 又发现钼盐有更强的放射性。他们相信这钼盐中还有另一种物质。经过一系列的分离, 得到这种物质的氯化物, 其放射性比铀大900倍以上。他们认为, 新的放射性物质中有一种新元素, 并建议命名的镭 (Radium)。经过4年的奋斗, 终于从8吨矿渣石中以人工方式提取出0.1克纯镭盐。并测得镭的原子量为225, 又找到了两条非常明亮的特征光谱线。这样, 镭的存在才得到公认。这是1902年的事。

1898年居里夫妇发现钋和镭, 大大推动了放射性的研究。附带说一句, 放射性物质一词是居里夫妇对铀、钍、钋、

镭等放射贝可勒耳射线的物质的称呼，并被世人公认。

那么贝可勒耳射线到底是什么呢？1899年卢瑟福根据自己和其他人的实验研究，将贝可勒耳射线分为软成分和硬成分，并分别命名为 α 射线和 β 射线。1900年维拉德（P·Villard）发现，贝可勒耳射线中还有电磁场不能偏转的第三种成分，并称为 r 射线。

直到1914年，卢瑟福和恩特勒（E·Nda C·Andrade）用晶体使 r 射线发生衍射，才证明了 r 射线是电磁波。其波长远小于 X 射线，一般在0.2nm以下。那么 α 射线、 β 射线又是什么呢？请见第二章。

3. 汤姆孙发现电子

研究阴极射线却发现了 X 射线，并轰动一时。而研究 X 射线又发现了放射性。现在我们回到阴极射线的问题。

1895年佩兰（J·Perrin）用法拉第圆筒接收阴极射线，结果证明：阴极射线带负电。阴极射线的本质是什么？当时却有两种对立的观点：以英国学者为主的一派认为，阴极射线是粒子流，例如瓦尔莱（C·J·Varley）和克鲁克斯；以德国学者为主的另一派则认为，阴极射线是电磁波，例如H·赫兹（H·Hertz）和哥尔德斯坦。不同观点的争论，在物理学史上是常有的事，是好事。

英国物理学家汤姆孙（J·J·Thomson）认为，阴极射线的带负电的粒子是比氢原子小得多的粒子。他这个看法的根据是勒纳（P·Linard）的实验：通过金属箔窗口从放电管中取出了阴极射线。因为原子大小的粒子很难穿过金属箔，即使透过也不会走得太远。既能取出则粒子必然更小。另外，汤

姆孙注意到，阴极射线被电场引起的偏转，在电势差不变的情况下也是不变的，并且与放电管中残余气体的种类无关。1892年2月他口头上报告了这些情况。

实际上，从1890年开始汤姆孙带领他的学生进行了一系列的实验。一是用静电场使阴极射线偏转。二是用电场和磁场直接测阴极射线的电荷。三是用不同方法测量阴极射线的荷质比，即电荷 e 与质量 m 之比值 e/m 。他测得 $e/m \approx 10^{11}$ 库仑/千克。1879年3月，塞曼(P·Zeeman)在《哲学杂志》上发表文章，谈到他测出的分子内带电粒子的荷质比。其值与汤姆孙在阴极射线中测得的基本一致。汤姆孙受到塞曼的启示。

1897年4月30日在英国皇家学会晚会上，汤姆孙作了题为《阴极射线》的报告，宣布他测出的 e/m 值，并作出结论：“阴极射线是由比氢原子小得多的带电粒子组成的。”随后，他在《哲学杂志》上发表长篇论文，阐述他的实验结果。他把阴极射线粒子称为微粒子(Corpuscle)。后来才采用了斯通尼(G·J·Stoney)在1874年提出的电子(Electron)这个名词。

人们公认，1897年汤姆孙发现了电子。这是人类发现的第一个基本粒子。由于对气体导电理论和实验研究，汤姆孙荣获1906年诺贝尔物理学奖。

对于汤姆孙发现电子，有三位著名物理学家既有巨大贡献，又感终身遗憾。一位是休斯脱(A·Schuster)，1890他研究阴极射线在氢放电管中的偏转，并计算出阴极射线粒子的荷质比 e/m 大于氢离子的荷质比 e/m_H 千倍以上。然而，他却觉得“阴极射线粒子质量 m 只有氢原子质量 m_H 的千分之