



深入核世界 探究核奥秘

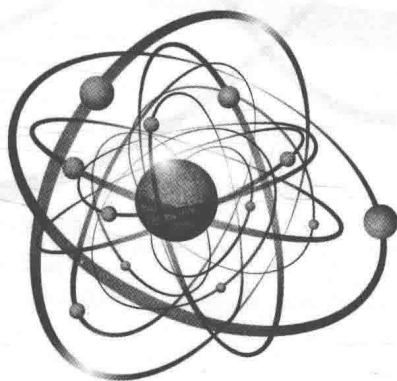
核科学基本原理

【新西兰】欧内斯特·卢瑟福◎著 贾向娜◎译

长江出版传媒
湖北科学技术出版社

核科学基本原理

【新西兰】欧内斯特·卢瑟福◎著 贾向娜◎译



长江出版传媒
湖北科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

核科学基本原理/ (新西兰) 欧内斯特·卢瑟福著; 贾向娜译. —武汉: 湖北科学技术出版社, 2016. 9

ISBN 978-7-5352-8869-1

I. ①核… II. ①欧… ②贾… III. ①核技术—研究 IV. ①TL

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 128027 号

策 划: 李艺琳

责任编辑: 李大林 张波军

责任校对: 王 迪 陈 元

封面设计: 胡开福 王 梅

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号

邮编: 430070

(湖北出版文化城 B 座 13-14 层)

网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

印 刷: 三河市华晨印务有限公司

邮编: 065200

700×960 1/16

14 印张 168 千字

2016 年 9 月第 1 版

2016 年 9 月第 1 次印刷

定价: 39.80 元

如对本书有意见和建议或本书有印装问题, 请致电 010-50976448

西利曼基金和卢瑟福放射性衰变

早在 1883 年海普斯·伊利·西利曼夫人 (Mrs. Hepsa. Ely. Silliman) 的子女们致信给位于康涅狄格州纽黑文市的耶鲁学院理事会，并附上 8000 美元，希望设立一个年度系列讲座，主题涵盖自然和历史科学，尤其是当时已给人类文明带来巨大影响的天文、化学、地质和解剖学科，以纪念他们至爱和尊贵的母亲！

耶鲁大学理事会深为感动，于 1902 年成立西利曼基金，致力于从全世界遴选学者来介绍人类文明科学的发展，并将授课内容编撰出版。

欧内斯特·卢瑟福 (Ernest. Rutherford) 接到邀请，他详尽地介绍了放射性的特性，把放射过程中会发生衰变这一最新发现也纳入讲稿之中，并于 1905 年 3 月整理成册以展示给大众。

处于那个年代的人类正站在原子外面窥视，是卢瑟福继伦琴和居里之后撬开了这扇大门，使人类进入了崭新的核物理科学时代。

今天的世界看上去已天翻地覆，但宇宙和地球似乎没多少变化，沿着作者指出的路，人类获益匪浅！

广岛和长崎核爆受害者存世不多，切尔诺贝利和福岛核泄漏阴影不散，加上媒体舆论，人人谈辐射色变！

然而你想过吗？我们身边又存在着多少辐射呢？

手机、电脑、家用电器……

这些时时散发着辐射的电子产品，对我们的身体又有多少危害呢？

赶快远离这些辐射的源头！

抽点空，来看看卢瑟福老爷爷是怎么说的吧！

100 多年前写的经典，对于今天的新新人类来说，依然是不可多得的宝贝！

序 言

目前这一卷的内容包含由耶鲁大学西利曼基金支持的 11 个主题讲座，1905 年 3 月完成。

我选择当下最有趣的放射性科学的发展作为我的讲座主题。放射性即指放射性物质持续发生的转变。在全力阐述放射性科学的最新发展这一主题的同时，为了清晰起见，我想有必要首先从总体上对放射现象做一些必要的解释，只不过不会像我之前在放射性方面的著作那样详尽全面和深入彻底。

讲座中对主题的阐述顺序会紧紧遵循当前这卷书各章节的安排，但是我们的放射性相关知识增长如此之快，我认为将在讲座完成之后新出现的某些重要研究结果纳入相应章节也未尝不可。关于这一点，在对《 α 射线》一章的处理上尤其如此。由于 α 射线在放射性衰变中所起的重要作用，在过去一年科学家们将许多精力致力于 α 射线的研究。

我十分感谢我的同事哈克尼斯教授和布朗教授，感谢他们对本书相关内容不辞劳苦地进行仔细校对，感谢他们提出的许多有益建议。

欧内斯特·卢瑟福

麦吉尔大学

加拿大蒙特利尔

1906 年 6 月 4 日

目 录

	第一章 放射性概述	1
	1.1 放射性发展简史	1
	1.2 放射体射线	15
	1.3 放射性物质	17
	1.4 测定方法	19
	第二章 放射钍	29
	2.1 钍的放射性衰变	29
	2.2 钍的激发放射性	35
	2.3 放射性淀质和射气之间的关系	36
	2.4 放射性淀质的复杂性	38
	2.5 钍 X 的分离	44
	2.6 钍射气的来源	48
	2.7 衰减曲线和恢复曲线的初始不规则性	49
	2.8 钍产物的分离方法	50
	2.9 钍的衰变过程及产物	51
	2.10 放射钍	52
	第三章 放射镭	54
	3.1 镭射气	54
	3.2 射气的凝结	58

3.3	射气的扩散速率	62
3.4	射气的物理和化学性质	64
3.5	射气的体积	65
3.6	射气的光谱	68
3.7	射气的热辐射	69
3.8	结果讨论	70



第四章 镭的放射性淀质(I)

72

4.1	镭放射性淀质的衰变	72
4.2	放射性淀质的放射性活度曲线	75
4.3	α 射线活度变化曲线	77
4.4	β 射线活度变化曲线	78
4.5	射线活度变化曲线	79
4.6	镭的连续衰变理论	79
4.7	短期暴露放射性活度计算	80
4.8	长期暴露放射性活度计算	82
4.9	长时间暴露的 α 射线活度曲线分析	85
4.10	镭 A 和镭 B 是否为连续衰变的产物?	87
4.11	温度对放射性淀质的影响	89



第五章 镭的放射性淀质(II)

93

5.1	镭放射性淀质的缓慢衰变	93
5.2	α 射线活度随时间的变化	94
5.3	β 射线活度随时间的变化	95
5.4	温度对放射性活度的影响	96
5.5	通过铋分离 α 射线产物	96
5.6	镭放射性淀质缓慢衰变产物总结	98
5.7	镭 D 的半衰期	100
5.8	α 和 β 射线活度随时间的长期变化	101

	5.9 镭中放射性淀质的存在	103
	5.10 镭放射性活度随时间的变化	104
	5.11 放射碲与镭 F 的等同性	105
	5.12 钋和放射碲	108
	5.13 放射铅与放射性淀质之间的关联	109
	第六章 镭的起源与生命周期	112
	6.1 镭的起源与生命周期估算	112
	6.2 镭在矿物中的含量	118
	6.3 铀溶液中镭的增长	119
	第七章 铀、钍与放射性元素	123
	7.1 铀的衰变	123
	7.2 钍的衰变	125
	7.3 放射性元素之间的关联	129
	7.4 非射线性衰变	131
	7.5 衰变产物的性质	132
	7.6 放射性元素的生命周期	133
	7.7 铀、镭和钍之间的关联	134
	第八章 氦气与放射性衰变	136
	8.1 氦气的发现	136
	8.2 氦是镭衰变的终极产物吗?	139
	8.3 放射性矿物的年龄	142
	8.4 放射性矿物质中铅存在的意义	145
	8.5 放射元素的构成	146
	第九章 普遍放射性	148
	9.1 大气的放射性	148
	9.2 大气中镭射气的含量	154

9.3	地球表面的穿透性辐射	156
9.4	大气的带电状态	157
9.5	地球内部的热量	160
9.6	普通物质的放射性	163
	第十章 α 射线	165
10.1	α 射线的性质	165
10.2	穿过物质的 α 粒子的速度延滞	169
10.3	α 射线的静电偏转	171
10.4	α 射线的散射	174
10.5	来自镭厚层的 α 射线的感光作用	175
10.6	α 射线的吸收	178
10.7	α 射线携带的电荷	185
10.8	α 射线的热效应	187
10.9	α 射线性质总结	192
	第十一章 放射性过程的物理视角	193
11.1	放射性与物质原子学说	193
11.2	物质电子论的发展	195
11.3	电子辐射	197
11.4	原子构成表述	198
11.5	导致原子裂变的因素	200
11.6	镭中发生的过程	202
	参考文献	208

第一章



放射性概述

1.1 放射性发展简史

刚刚过去的十年是物理科学界硕果累累的十年。在这期间,最引人注目和最具重大意义的新发现接连不断地涌现。这些新的发现使我们的科学知识得以扩展至更广阔和更深远的天地,尽管它们来自不同的领域,然而经过仔细考察后会发现,这些看似不同领域的研究之间都存在着密切的联系,每一个新发现都为下一个发现提供了必要的激励与启发,并成为下一个新发现的起点。

新发现的脚步是如此之快,甚至那些直接参与研究的科学家们也很难即刻把握所披露事实的全部意义。这种状况在放射性科学领域更是如此。在这个领域中观察到的现象十分复杂,而这些现象的运行规律又非同寻常,以至有必要引入新的概念才能对有关现象加以解释。

物理科学发展的新纪元开始于 1895 年伦琴发现 X 射线和 P. 勒勒纳德的阴极射线实验。当时, X 射线奇特的性质立即引起了科学界的注意,并导致一系列相关研究的开展,目的不仅是为了考察射线本身的性质,也是为了揭示射线的真正本质和起源。

为了弄清楚 X 射线到底是什么,科学家们对真空管中产生的阴极射线进行了更加密切仔细的研究,因为据观察发现,这些阴极射线在某种方式上与 X 射线的发射有着某种紧密联系。1897 年,约瑟夫·约翰·汤姆逊最终

成功证明,阴极射线是由一连串携带负电荷并以巨大速度运动的粒子组成。这些粒子的表观质量仅是氢原子的千分之一,因此,这些粒子是科学上已知的最小物体。这些粒子被称为“微粒子”或者“电子”,显然,它们是所有物质构成的一部分,也是不可再分的最小原子组成部分。

电子假说的提出带来了极其丰厚的回报,这样的假说极大改变或者更确切地说是延伸了以前提出的物质构成概念。它为物理科学打开了十分广阔的研究领域,可谓是为科学研究提供了一台显微镜,可以通过这台显微镜去考察化学家眼中的原子结构。J. J. 汤姆逊通过数学模型考察了由若干旋转电子组成的模型原子的稳定性,结果显示,这些模型原子会以一种绝妙的方式模拟化学原子的某些根本性质。

阴极射线具有微粒子特征的有关证据说明,X射线的本质和起源可能是阴极射线。G. 斯托克斯、J. J. 汤姆逊和 J. 韦查特分别独立提出阴极射线是 X 射线的母体。阴极电子流中电子运动的突然终止会导致产生强烈的电磁干扰,该电磁干扰从受影响点起以光速向外传出。从这个观点可以得出结论:X 射线是由若干不连贯的电磁波组成,电磁波彼此接连不断地快速传播但没有固定的秩序。X 射线在某些方面与极短的远紫外光相似却又有不同,因为 X 射线电磁波没有周期性。如果 X 射线电磁波宽度小于原子的直径,则根据上述理论可以得出:X 射线具有穿透力,不具有直接反射、折射或极化作用这些特点。

对于这些 X 射线电磁波的本质和性质,J. J. 汤姆逊¹ 在 1903 年的西利曼讲座中已给出令人钦佩而简洁的解释。

同一时期,科学家们还对 X 射线的另一个非凡性质进行了仔细的检验。当 X 射线通过一种气体后会赋予该气体一种新能力,也就是使带电体快速放电的能力。可根据以下假设对这个现象进行圆满解释:X 射线可使电中性气体形成若干带正电和带负电的载体或离子。² 针对 X 射线这一特性进行的研究大致有两条截然不同的路线,一条是电学方向上的,另一个是光学

方向上的。C. T. R. 威尔逊³ 研究发现,在一定条件下气体经 X 射线作用而产生的离子会成为水分子在其上发生凝结的微核。这样每一个离子便成为可见的带电小水球的中心,而带电水球在电场中产生运动。这些实验异常卓越地验证了电离理论的根本正确性,清晰地提出了电荷载体的不连续性或原子性结构。

对离子在气体中扩散进行大量研究所得到的结果使得 J. S. 汤森⁴ 推断出一个重要事实,即气体离子携带的电荷在所有情况下均是相同的,且等于水电解产生的氢原子所携带的电荷。J. J. 汤姆逊⁵ 将电学方法和光学方法结合起来,求得了离子携带电荷的实际数值。

这个重要物理单位的测定可让我们计算出经电离剂作用后任意体积的空气中存在的离子数目。除此之外,从测得的离子电荷数值还得到了迄今为止一个最准确的重要推算,即在标准大气压和标准温度下,单位体积的任何气体中存在的分子的总数目。同时,以后会看到这个完全基于实验室数据而得出的数值对放射性科学中各种物理量的量级估算具有极其重要的价值。

气体的电离理论成功地应用于解释火焰和加热蒸汽的传导性能,以及用于阐明通过真空管放电这样的复杂现象。对气体电离理论这一影响深远的物理领域的有关探究,其开端和发展均归功于剑桥卡文迪什实验室的 J. J. 汤姆逊教授和他的学生们。

理论方面,远在实验证据出现之前,科学界已确认物质离子论或电子论的可能性。在这些理论研究领域最典型的代表人物是 H. A. 洛伦兹和 J. 拉莫尔, H. A. 洛伦兹创立了(经典)电子论并推出了洛伦兹力公式, J. 拉莫尔提出了具有磁性的微粒子在磁场中产生运动的理论并推导出了运动频率,这些理论在解释电磁场中的一些微观物理现象的同时,对辐射的机制也给予了解释。P. 勒塞曼所发现的原子光谱线在外磁场作用下发生分裂的现象(塞曼效应)为 H. A. 洛伦兹的电子论提供了强有力的印证,因为 P. 勒塞曼

观察到的上述光谱分裂的实验现象很大一部分可通过 H. A. 洛伦兹的电子论进行预测。除此之外,通过电子论和塞曼效应,还可推断出因运动而产生辐射作用的离子的质量与 J. J. 汤姆逊在真空管实验中观察到的微粒子的质量大致相等。相关研究结果即刻将离子论的范畴延伸至普遍物质,尽管有许多研究尚未完成,现有结果也已经证明了电子理论在阐明一些最深奥的物理现象方面所拥有的巨大价值。

伦琴发现 X 射线为新生代物理科学起源的重要标志之一,这个发现在一个始料不及的方向产生了甚至比 X 射线本身更加重要的成果。在 X 射线被发现后不久,就有人认为,这些射线的发射在某种方式上与真空管壁阴极射线形成的磷光有关系。

若干科学家认为,在光照射作用下产生磷光的自然物体或许拥有发射某种具有穿透力的类似于 X 射线的性质。我们现在知道,这个猜想事实上没有确凿的根据,但是它激发了研究者们在这方面进行深入研究,并且很快导致了具有深远意义的重大发现。

最著名的是法国物理学家 H. A. 贝克勒尔⁶,在对这个猜想进行研究的实验中,将一个磷光性铀化合物(铀钾双硫酸盐)与其他物质一起对黑纸信封里的照相底板进行照射,结果观察到底板变黑,这表明该铀钾双硫酸盐物质发射了射线,该射线能穿透普通光透不过的物质。然而他很快又发现,使照相底板变黑的性质与磷光毫无关系,因为所有铀的化合物和铀金属本身都具有这个性质,即使这些物质在暗室中放置很久,还是会有这个性质。

由此,科学家发现铀的射线与 X 射线具有类似的穿透力。科学家起初认为这些射线不同于 X 射线,因为它们表现出一定的反射、折射和极化性质,但是,科学家后来发现这个结论是错误的。

H. A. 贝克勒尔观察到铀射线除了具有感光作用,与 X 射线一样,还拥有使带电体放电的重要性质。卢瑟福⁷后来曾对铀射线使带电体放电的性质进行过详细验证,并认为可以用铀射线通过气体后使气体产生电离的假

设加以解释。他同时发现铀射线的电离作用产生的离子与 X 射线产生的离子相同,因而电离理论可以直接用来解释铀射线产生的各种放电现象。与此同时,卢瑟福也明确提出铀可以产生两种不同种类的射线,称其为 α 射线和 β 射线。 α 射线很容易被空气和薄的箔纸吸收,而 β 射线属于穿透力极强的类型。

铀的放射强度,不论是通过感光法还是电学方法检验,总是保持稳定的常数,或者以极其缓慢的速率变化,因为科学家在几年时间里并没有观察到铀的放射强度有明显的改变。铀所表现的感光作用和电效应与普通的聚焦 X 射线管产生的作用相比要微弱得多,需要将照相底板用铀盐照射至少一天时间才能产生显著的感光作用。

“放射性”一词现在已经被普遍理解为某类物质能够自发发射某些特殊类型射线,这种射线能够使照相底片感光 and 带电体放电,其中最具代表性的物质是铀、钍和镭。“放射性活度”一词用来指与某标准物质相比较,待测物质发射射线的电学或者其他作用的强度大小。通常选铀作为该标准物质,这主要是因为铀的放射作用具有很好的稳定性,其他物体的放射性活度通常以该待测放射性物体所产生的电效应与相同重量的铀或者铀的氧化物在相同放射面积下产生的电效应的比值来表示。举例说明,我们说镭的放射性活度大约为 200 万,则意味着它产生的电效应是相同重量的铀在相同放射面积下产生的相应电效应的 200 万倍。

铀所拥有的这种以某种特殊形式自发发射能量而铀物质本身并无明显变化的性质,不可否认是极其异常的现象。但是以普通标准评判,铀的能量发射速率是如此的微弱,以至它并没有在科学界引起十分活跃的研究和讨论,而后来镭的有关发现则激起了科学界极大的研究兴趣。因为镭把类似于铀的上述性质表现得非常显著,所以它不仅让“勤于思考的科学大脑”,还让“喜欢沉睡的大脑”对他产生了深深的吸引。

在 H. A. 贝克勒尔发现铀的放射性后不久,居里夫人⁸ 对各种不同物质

的放射性进行了系统检测,并且发现钍元素也拥有类似于铀的性质且放射性程度几乎相同。G. C. 施密特⁹ 也独立观察到了这一事实。接着居里夫人等人对含有钍和铀的自然矿物进行了检测,观察到的结果出乎意料。结果发现,一些矿物具有比纯的铀或者钍高几倍的放射性,在所有情况下,铀矿物所表现的放射性活度是矿物中所含铀量预期放射性活度的 4~5 倍。居里夫人发现铀的放射性属于原子性质,也就是说,所观察到的性质仅取决于铀元素的含量而与铀和其他成分或物质的结合没有关系。如果事实如此,则铀矿物所表现出来的巨大放射性活度只能通过假设矿物中另一个未知物质的存在而加以解释,且该物质的放射性活度远远高于铀本身。

依赖于这个假设,居里夫人大胆进行了进一步实验,看是否能将该未知物从铀矿物中分离出来。承蒙澳大利亚政府的支持,她从波西米亚的约阿希姆斯塔尔国家工厂获得了一吨的沥青铀矿残渣。在这个地区,铀沉积量十分丰富,通常称为沥青铀矿,该矿可用于冶炼铀。沥青铀矿主要含铀,同时含有少量的其他稀有元素。

作为分离放射性物质的先导,居里夫人使用了适当的验电器来测量放射体产生的电离作用。在化学分离步骤完成后,分别检测沉淀物以及滤液蒸干后残留物质的放射性活度,这样便可以确定放射性物质主要是被沉淀出来了还是留在了滤液中。

因此,电学方法便成为快速定性和定量的分析手段。沿着这个方向继续研究,居里夫人发现不是一种物质,而是有两种放射性物质存在于铀矿残渣中。第一种物质与铋一起被分离出来,她将其称为钋¹⁰,取名“钋”是为了向她的出生国波兰表达敬意。第二种物质与钡一起被分离出来,居里夫妇将其命名为镭。¹¹ 镭这个名字用以表达一种开心的激励,因为该物质在纯态时的放射性活度至少是铀的 200 万倍。居里夫人然后继续从事繁重的分离工作,目标是将镭从钡中分离出来,她最终成功分离得到的少量物质很可能是纯的氯化镭。镭的原子量经计算为 225。镭的原子光谱首次被 E. A. 德马

尔塞测得,所得光谱含有数条亮线,在许多方面类似于碱土金属的光谱图。

在化学性质方面镭与钡密切相关,但是可利用两者氯化物和溴化物溶解性的不同,将镭从钡中完全分离出来。考虑到只能获得少量的镭化合物以及分离期间产生的巨大花费,还没有人愿意尝试去获得金属态的镭。然而,K. 马尔克沃德¹²用汞电极作为阴极对镭溶液进行电解得到了镭金属与汞金属形成的汞镭合金,与钡汞合金形成的方式一样。这种方法得到的痕量金属镭也展现出了镭化合物的放射性特征。

以金属状态获得的镭毫无疑问仍具有放射活性,因为放射性属于原子层面的性质而非分子层面的性质。除此之外,铀和钍作为金属所展现的放射性活度经检测与铀化合物预期的放射性活度相同。

镭以极少量存在于放射性矿物中。之后科学家们发现在不同矿物中镭的含量总是与铀的含量成一定比例关系。每吨铀中镭的含量大约为 0.35 克,或者小于矿物的百万分之一。在 1 吨含有 50% 铀的约阿希姆斯塔尔沥青铀矿中,理论上镭的含量大约为 0.17 克。

居里夫人采用对钡镭的氯化物进行分级结晶的方法将镭从钡镭混合物中分离出来。F. O. 吉赛尔¹³发现通过使用钡镭的溴化物而不是氯化物,能使镭的分离更加容易方便。他称只要进行六次结晶,即能够几乎全部将镭从钡混合物中分离出来。

镭的发现成为利用化学方法检测放射性矿物中是否存在其他放射性物质的一个巨大推动力。A. 德拜耳尼¹⁴成功提取出一个新的放射体,称为“锕”。F. O. 吉赛尔¹³独立观察到一个新的放射体的存在,他将之称为“发射挥发放射物的物质”,后来称为“emanium”,用于表明该物质快速发射寿命短暂的挥发性放射物质(射气,emanation)或气体的性质。最近有研究工作显示,A. 德拜耳尼和 F. O. 吉赛尔分离出来的两种物质在放射性质方面相同因而两者必定含有相同的元素。A. W. 霍夫曼和史特劳斯¹⁵以与铅形成共沉淀的方式分离出一种放射性物质,他们将它称为“放射铅”,而 K. 马尔克沃