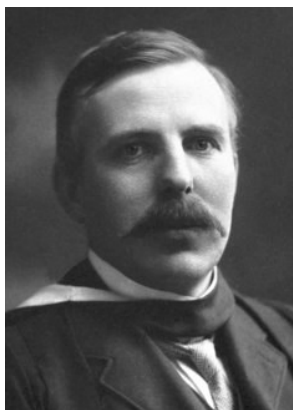


卢瑟福：嬗变与质子

王艺霖 周 顺 译

(中国科学院高能物理研究所 100049)

1919年,英国著名物理学家欧内斯特·卢瑟福(Ernest Rutherford)发现了质子。在质子发现100周年之际,CERN COURIER杂志在2019年5月刊登了来自新西兰坎特伯雷大学的约翰·坎贝尔(John Campbell)教授的特辑文章^①,详细地讲述了卢瑟福发现质子的来龙去脉。我们将其编译成文,以飨读者,同时以此表达对这位被誉为“原子核物理学之父”的科学巨擘的崇高敬意。



早年的欧内斯特·卢瑟福正是那个在正确的时间、正确的地点出现的正确的人。在获得新西兰大学的三个学位^②和两年在前沿电子技术方面进行原始研究的经验之后,他于1895年荣获“1851年博览会”科学奖学金^③,而这个奖学金使得他成功地进入英国剑桥大学的卡文迪什实验室。就在他到达后不久,X射线和天然放射性被发现,而且约瑟夫·约翰·汤姆孙(Joseph John Thomson)还发现了电子。卢瑟福立即相信存在比原子还小的微观客体。他毕生的工作转向对放射性的理解,并且命名了 α 射线和 β 射线。

1898年,卢瑟福在加拿大麦吉尔大学担任物理学教授,并在那里取得众多开创性的成果。这些重大的成就包括发现放射性化学元素氡,证明放射性只是某些元素的自然嬗变,展示 α 粒子在电磁场中运动轨迹的偏转(因此它很可能是失去两个电子的氦原子),鉴定矿物的年代并确定地球的年龄。

1901年,麦吉尔物理学会召开了一次名为“亚原子物体的存在性”的学术会议,其主要目的是挑战化学家们对存在亚原子物体的质疑。卢瑟福参加了会议并作报告,但遭到了当时碰巧在麦吉尔的牛津大学年轻化学家弗雷德里克·索迪(Fredrick Soddy)的反对。索迪用题为《原子不可分割性的化学证据》的演讲抨击了当时的物理学家,尤其是汤姆孙和卢瑟福,因为他们“……以不吝表达其对整个化学和原子理论的看法而闻名,特别是后者已遭到强烈的抗议”。卢瑟福邀请专门从事气体分析的索迪加入他的行列。这是一次短暂而富有成果的合作,他们两人很快就确定了重元素自然嬗变的最初几个关键步骤。

曼彻斯特的日子

多年以来,卢瑟福一直希望能够到欧洲工作,因为那里是当时科学研究的中心。1907年,他迁往英国的曼彻斯特大学。在这里,他开始跟进之前在麦吉尔大学开展的实验,其间他注意到一束 α 粒子穿过空气或薄薄的云母片之后就会变得模糊不清。它们因散射而以大约两度的角度散开,表明原子中存在每厘米100兆伏的电场,这促使他发表声明:“物质中的原子一定是极强电场的根源”。

在曼彻斯特大学,他遇到一名得力的助手——汉斯·盖革(Hans Geiger)。盖革很快就进入了工作状态,他能够精确地测量被金箔散射而发生小角度偏转的 α 粒子的数量。当时,盖革为高年级本科生提供放射性技术方面的培训,并于1909年告诉卢瑟福,欧内斯特·马斯登(Ernest Marsden)已经准备好从事相关课题的研究。虽然每个人都确信 β 粒子可

以被金属块散射,但没人知道 α 粒子穿过金属块会怎么样。因此,卢瑟福让马斯登研究一下这个问题。马斯登立即就发现 α 粒子确实可以被散射,即使用盖革的金箔来代替金属块,情况也是一样。这个结果完全出乎意料。正如卢瑟福后来宣称的那样,这就好像你对着一张薄纸片发射一枚15英寸的海军炮弹,而炮弹竟然被反弹回来并且击中你自己一样。

几年后的一天,卢瑟福激动地告诉盖革,他终于知道原子长什么样子:它具有一种核心结构,即原子的大部分质量和所有的同种电荷都集中在一个只有原子尺寸的千分之一大小的原子核上。在卢瑟福去世80年后的今天,这仍然被公认为是他最著名的工作。

1913年前后,卢瑟福要求马斯登用 α 粒子和轻原子,特别是氢原子,来“玩弹珠游戏”。经典计算表明,当 α 粒子与氢原子迎头相撞,氢原子的反冲速度和运动距离分别是击中它的 α 粒子的1.6倍和4倍。在闪烁屏上,质量较小和电荷较少的氢原子的反冲将导致较弱的闪光,但是它的运动距离会比 α 粒子的长得多。马斯登的确观察到了这种运动距离更长的粒子,并称之为“H”粒子,它们是在氢气和富含氢的材料薄膜(如石蜡)中产生的。他还注意到,这种长射程的H粒子有时会由 α 粒子在空气中运动时产生,但他并不清楚具体来自何处:可能的来源包括气体中的水蒸气、仪器表面吸收的水,甚至可能是 α 粒子源释放出来的。

1914年中期,卢瑟福和马斯登的合作接近尾声。在去新西兰履职之前,马斯登将他的工作全部记录下来。与此同时,卢瑟福已经到加拿大和美国进行系列演讲,返回曼彻斯特仅仅一个月后,他又前往澳大利亚参加英国科学促进会的年会。在他抵达澳大利亚的前三天,欧洲宣战了。

撕裂原子

1915年1月,卢瑟福穿过被德国U型潜艇封锁的北大西洋返回曼彻斯特。那是一个已经发生天翻地覆变化的世界,年轻人都去打仗了。受英国海

军部所托,卢瑟福将注意力转向战争中最紧迫的问题之一:如何探测水中的潜艇。最终他发明的定向水听器(布拉格^④和卢瑟福拥有其专利)被用于装备舰队船只。直到1917年,卢瑟福才重新开始他的科学研究,特别是 α 粒子与轻原子的散射问题。这一年的12月份,他向玻尔(Niels Bohr)报告说:“我也在尝试用这种方法来分解原子。——请将此当作我们之间的小秘密吧。”

他研究了在不同的介质(氢气、富含氢元素的固体材料和诸如二氧化碳、氧气之类的气体)中运动距离长的氢粒子的反冲,并惊讶地发现当空气或氮气存在时,这些“反冲”粒子的数量会增加。他由此推断 α 粒子攻入氮原子核,并导致其发射出一个氢原子核。这意味着一个重大的发现,即氢原子核——或者质子,这是卢瑟福在1920年给其正式的命名——是更大的原子核的基本组成部分。

自1919年1月份起,马斯登又有几个月的时间帮助进行实验,因为他同时等待着战后返回新西兰。正好那一年,卢瑟福接受了卡文迪什实验室主任的职位。由于1917年已经得到的结果推迟到战后才能发表,卢瑟福在1919年完成了四篇关于轻原子的论文。在题为“氮元素的反常效应”的第四篇论文中,他写道“我们必须得出这样的结论:氮原子解体了……释放出的氢原子是氮原子核的基本组成部分”。他还表示:“考虑到在这个过程中起决定性作用的力的极大强度,氮原子被分解而 α 粒子逃脱瓦解的命运都不是很令人惊讶的事情。”

1920年,卢瑟福首次建议利用稳定的 α 粒子和氢原子核来产生其他原子。他还提出,只有存在质量数为1但电荷数为0的粒子(也就是中子),才能很好地解释同位素。在威尔逊的云室里,他观察到 α 粒子在其运动路径的末端有分叉的轨迹。后来,来自日本的访问学者清水武夫(Takeo Shimizu)建造了一个自动化的威尔逊云室,它能够每秒钟多次拍照,而且由两台相机垂直拍摄粒子的径迹。1921年,刚毕业的帕特里克·布莱克特(Patrick Blackett)在清水武夫返回日本后接手了这个项目。经过改

进,到1924年的时候,他拍摄了大约两万三千张照片,展示了约四十万条粒子的轨迹。这其中有一条是有分叉的,证实了卢瑟福之前的发现。布莱克特之后写道:“由这些照片可以推断出一个新奇的结果,那就是 α 粒子被氮原子核俘获并放射出一个氢原子的同时,产生了一个全新的、从未发现过的氧同位素,也就是 ^{17}O 。”

正如布莱克特的工作所证实的那样,卢瑟福已经分解了原子,并因此成为世界上第一个成功的“炼金术士”,尽管他不太喜欢这个头衔。事实上,他也更喜欢用“离解”这个词,而不是“嬗变”。当卢瑟福和索迪意识到放射性其实是一种元素自然地转变成另一种元素时,索迪后来写道他自己大声喊:“卢瑟福,这就是嬗变:钍正在离解并将自己嬗变成氡气体^⑤(原话如此)。”卢瑟福回答说:“看在上帝的份上,索迪,别把这叫做嬗变。他们一定会砍掉我们这些炼金术士的脑袋!”

1908年,卢瑟福因“对元素的离解和放射性物质的化学研究”而被授予诺贝尔化学奖。虽然他从未因对 α 粒子的实验探测,对原子核结构的发掘和对质子的发现而获得第二次诺贝尔奖,但没有人会

质疑这位伟人对物理学的巨大贡献。

(译自 *CERN COURIER*, 59 卷, 第 3 期, 2019 年 5/6 月刊; 原文链接: <https://cerncourier.com/rutherford-transmutation-and-the-proton/>)

注:

- ① 原文见 <https://cerncourier.com/rutherford-transmutation-and-the-proton/>
- ② 1894年,23岁的卢瑟福获得新西兰大学坎特伯雷学院的文学学士、文学硕士和理学学士学位。
- ③ 1850年,英国维多利亚女王发起并组织首次世界贸易博览会,并由她的表弟和丈夫阿尔伯特亲王作为主席成立了“1851年博览会”皇家委员会。1851年5月1日,盛大的贸易博览会在伦敦开幕并取得巨大的成功。自1891年起至今,该皇家委员会设立奖学金资助个人从事科学和工程方面的研究,获得过“1851年博览会”科学奖学金的名人包括欧内斯特·卢瑟福(获1908年诺贝尔化学奖)、约翰·科克科罗夫特(获1951年诺贝尔物理学奖)、威廉·彭尼(曾任大不列颠联合王国原子能管理局主席)。
- ④ 威廉·亨利·布拉格(William Henry Bragg)是英国著名物理学家、化学家和数学家。由于他和他的儿子威廉·劳伦斯·布拉格(William Lawrence Bragg)对X射线方法研究晶体结构做出重要贡献,他们共同获得1915年诺贝尔物理学奖。
- ⑤ 放射性元素钍的质子数为90,天然丰度最高的钍同位素是钍-232,它主要衰变到镭-228和一个 α 粒子,半衰期约为140亿年,与今天宇宙的年龄相当。



科苑快讯

碳原子首次结合成稳定的环

碳就像个变形金刚。当一个碳原子与四个碳原子结合,就成了钻石。它有三个化学键,可以变身为片状石墨或石墨烯、3D纳米管,甚至足球形的巴基球。但是迄今为止,还没有人使碳原子只与两侧邻位稳定地排列在一起。

瑞士和英国的化学家从18个碳原子组成的三角形环开始,在每个角上用两个一氧化碳(CO)基团提供稳定性。他们随后用原子力显微镜的尖端撞掉CO基团,最终移除所有CO基团生成18个碳原子构成的

环。这种新型分子称为环碳(cyclocarbon),是现存最小的理论上稳定存在的碳环,研究人员在《科学》(Science)上做了报告。

碳环的反应性很强,研究人员可以将它与其他碳环和氧环结合。这将导致其他新奇化合物的诞生,为一系列新奇环状结构的问世打开了大门,而它们将广泛用于电子工业和纳米器件。

(高凌云编译自2019年8月15日 www.sciencemag.org)