E·卢瑟福的科学生涯

夏代云

英国实验物理学家欧内斯特·卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871—1937)出身于新西兰一个清贫的、重视教育的农民兼手工业者的苏格兰移民家庭。父亲富于创新精神,有一定的创造能力,作为小学老师的母亲对他的一生有着巨大的影响。卢瑟福在新西兰“接受了真正全面的教育”,并靠奖学金完成全部学业。新西兰美丽的原始自然风光和崇尚科学的风气,勤奋实干、温馨和睦、崇尚教育的家庭环境,广博扎实的知识基础,共同塑造了卢瑟福锐意进取、踏实苦干、锲而不舍、乐观自信、真诚友爱、团结宽容的性格和精神。这种人格特征对于他以后的科学研究和协作,以至提携后学具有重要的作用,并且这种人格特征在其后来的科学生涯中也得到强化和提升。

卢瑟福毕生都在从微观的角度探索物质的组成和结构,即探索原子的组成和结构,推动他工作的动力是想更深一层了解原子的组成和结构。古代哲学家深入关切的问题之一便是万物的本原,即万物由什么组成、具有什么样的结构问题。在对于该问题的回答中,成就最高的是以古希腊的德谟克利特为代表的原子论,即认为原子是世界万物的本原。一般来说,从古希腊到19世纪的化学原子—分子论时期被称为旧原子论,其理论核心在于原子是组成物质的终极粒子,原子是不可分和不可变的。这在哲学上和科学上都具有其局限性。从哲学方面来说,终极粒子的观念限制了人们对于物质构成的无穷层次的想象;从科学方面来说,原子不可分的观念限制了科学在很长时期内向原子之内的微观世界探索和发展。旧原子论对于科学的促进作用在于坚持了物质的微粒说,成为气体分子统计规律和新原子论的不可或缺的观念基础,也促进了原子量的大规模测定。门捷列夫的元素周期表也是以化学原子论为基础建立的。原子论的发展史以卢瑟福的原子论为转折点,卢瑟福的新原子论彻底变革了曾经存在了二千多年的微观物质观。

阎康年认为,卢瑟福的科学生涯按他在科学发现上的特点可以划分为五个时期:

(1) 1894—1897年,在新西兰坎特伯雷学院

读大学的最后一年至在剑桥大学作研究生的前期,以无线电发明的先驱性工作为标志:1896年初,卢瑟福发明的无线电检波器在G. W. 马可尼之前实现3.2英里无线电收发距离,成为“无线电发明的主要先驱者”。同年春末转向研究X射线使气体导电的精密实验,即从科学的应用研究转向科学的基础研究,发现X射线是一种电磁波,提出相关理论合理解释了气体导电的有关实验事实;1897年研究紫外线、铀和铀盐使气体导电的问题。

(2) 1898—1907年,在剑桥大学作研究生的最后一年至在加拿大麦克吉尔大学时期,以发现放射性元素衰变规律为标志:正是在铀辐射的离子化效应的启发下,他开始研究放射性的性质、种类和本质,进入物理学的前沿领域,并且引领了他毕生的科学研究和科学发现。关于卢瑟福的科研方向由无线电转向气体导电,又由气体导电转向放射性领域的事实,阎康年评价说:“两次根本转变研究方向在科学史上确实是不多的,但是卢瑟福以坚实的知识基础和顽强的渴求科学真理的精神顺利地克服了这两次转变带来的困难,使他的知识范围扩大了,并且进入能够更加发挥他的才能的新方向。”可见,科学研究的特点首先是行动着,然后在行动的过程中发现更深层次的、更基本、更有意义的选题。空等不是科研的属性,也不是创新的属性。重要的是行动,在行动中才会有所收获,卢瑟福的整个科学生涯都体现着这个道理。

1898年9月之前,卢瑟福发现并命名了放射性辐射的两种类型: α 射线和 β 射线,并提出钍的辐射还存在另外一种穿透力更强的射线,即他于1902年命名的 γ 射线。他于1899年发现了钍射气,命名了放射性淀质。1900年秋至1903年初,他与英国实验化学家F.索迪(1877—1956)的卓越合作中,发现了放射性元素自发衰变规律,并于1903年5月发表在《放射性变化》的著名论文中,在科学史上第一次提出放射性元素的自发转变,从而把元素不可变的观念变革为元素可变的观念,突破了古代原子论和道尔顿化学原子论的框架。他们在实验中还发

现了原子内蕴藏着巨大的能量，并将之推广到解释太阳能量的来源。卢瑟福还发明了用放射性元素测定太阳、地球和矿石的精确年龄的方法，1905年估算出太阳的年龄为约50亿年，与今天所公认的50—60亿年的结果基本相符。他于1903年初步确认 α 射线是带正电荷的氦原子，1905年着手研究 α 射线通过物质后而受到阻滞的现象，并坚定地把 α 射线作为探索原子内部结构的关键性手段，1906年发现了 α 粒子的小角散射现象。

(3) 1908—1914年，在英国曼彻斯特大学早期至第一次世界大战爆发，以发现原子核和提出原子有核结构理论为标志，并创建了小组分工协作的集体研究模式：1908年初卢瑟福与德国物理学家H.盖格一起记数 α 粒子。同年，他设计新的实验确证 α 射线是带两个正电荷的氦原子。1909年他与H.盖革和E.马斯顿进行了著名的 α 粒子大角散射实验。1911年5月他发表论文《 α 和 β 粒子被物质散射和原子结构》，宣布发现了原子核(当时被称为正中心电荷)，提出了原子有核结构理论。1914年8月，卢瑟福和安德雷德用X射线晶体分析法证实 γ 射线是比X射线波长更短、频率更高的电磁波。第一次世界大战时期，卢瑟福参与英国海军科研，发明了检测潜水艇的声纳方法和仪器，并在战争的空闲里坚持进行人工分裂原子核的实验。

(4) 1917—1930年，在曼彻斯特大学后期至卡文迪什实验室中期，以发现和研究人工轻核嬗变为标志：1917年11月，他发现并验证氮原子核被 α 粒子轰击后分裂了，放出了长射程的氢粒子。1919年6月，他发表了《 α 粒子与轻原子碰撞》一文，令人信服地证明了氮核在俘获 α 粒子后分解了，并放出了氢核。这是人类历史上第一次打破原子核，从而为元素的人工嬗变和聚变开辟了道路。玻尔于1922年认为“这些实验确实可以说开辟了自然哲学的新纪元，因为它第一次实现了把一种元素变为另一种元素的人工转变。”延续几千年之久的元素不可变的观念在确凿的实验事实面前彻底崩溃。卢瑟福在该文中还提出原子核附近的非库仑力效应，即在 3×10^{-13} 厘米距离内，斥力很大，库仑定律失效，处于斥力与引力相互转变的界限；还预言氢有两种原子量分别为2和3的同位素，即后来发现的 H^2 氘和 H^3 氚。

1919年4月，E.卢瑟福任卡文迪什实验室第四

主任，面向世界，不分国籍、种族、民族、信仰，招收优秀科研人才。他于1920年预言氦有原子量为3同位素 He^3 ，预言中子及其巨大穿透性；并用“质子”命名氢的原子核；1922年预言正电子；1924年8月，提出原子核外存在“势垒”，以及势垒附近存在非库仑力的强作用力，在势垒附近粒子与核按平方反比的斥力和四次方反比的引力的结合相互作用，还估算出铝核势垒的电势约为三百万伏，硫的势垒更大，认识到人工分裂重原子核的困难。1927年正式命名中子，并由此认识到核由质子、电子、中子组成。1927年左右发现 α 射线、 β 射线和 γ 射线均起源于核内，并进一步完善了放射性元素衰变理论。1928年，卢瑟福很容易地接受了苏联青年物理学家G.伽莫夫(1904—1968)的隧道效应理论，领导J.D.考克饶夫(1897—1967)和E.T.S.瓦尔顿(1903—?)研制粒子加速器。

(5) 1931—1937年，在卡文迪什实验室后期至去世之前，以加速器的发明和人工重核嬗变的发现为标志：1932年研制出世界上第一台粒子加速器，并在1932—1933年间用它人工打破一系列重元素的原子核，验证了爱因斯坦的质能等当定律。弗雷曼·迪松认为加速器的出现标志着“案头核物理学时代终结了，大规模科研时代开始了”。邦奇(M.Bunge)和施伊(W.R.Shea)认为，“卢瑟福……无论如何应是今天‘大科学’的先驱者”。卡文迪什实验室在他的领导下发展到颠峰。卢瑟福在30年代的社会活动比较多，最重要的是，发展英国工业研究实验室和援救德国逃亡知识分子。

卢瑟福平生最重要的三大科学发现是：1903—1904年最先系统地阐述了放射性元素衰变理论，并因此获得1908年诺贝尔化学奖；1911年发现原子核，并提出原子有核结构模型，这是他最伟大的科学成就；1917—1919年实现元素的人工嬗变。他发现了 α 射线、 β 射线、 γ 射线、射气、原子核、原子能、质子、势垒、聚变和氘，预言了氘、氚、氦³、中子和正电子，最早提出原子核的中子、质子、电子组成模型。这些实验事实和理论成果彻底改变了旧原子论的原子不可分、元素不可变的微观物质观念，引入了并彻底建立了原子可分、元素可变的微观物质观念，奠定了放射性理论、原子物理学和核物理学的基础，在很大的程度上建立了这些学科的基本范式，极大地推进了物理学和纯科学在二十世

纪的发展，绵延几千年的原子论进入了一个崭新的发展时期。N·玻尔曾说：“卢瑟福的成就是这样伟大，以至于提供了物理学家集会所说的几乎每一个词的背景”。

卢瑟福一生发表了约 215 篇学术论文，6 本关于放射性和人工核嬗变的书，分别是：《放射性》(1903)、《放射性》(第二版)(1905)、《放射性的转变》(1906)、《放射性物质及其辐射》(1913)、《放射性物质发射的辐射》(与查德威克和艾里斯合著)(1930)、《新炼金术》(1936)。这些著作都是放射性物理、原子物理和核物理的奠基之作。

卢瑟福的一生获得了无数与他的贡献相当的荣誉，其中主要的有：1908 年获诺贝尔化学奖，1925 年获皇家学会最高荣誉——功绩勋章，1914 年被封为爵士，1931 年被封为勋爵，1923 年当选为大英科学促进协会主席，1925—1930 年任英国皇家学会主席，1931—1933 任物理学会主席，1929—1937 年出任英国科学和工业研究部的顾问委员会主席，1933—1937 任学术援助委员会主席。他共获 23 个名誉博士学位、6 个学会奖章和 3 次奖金。他曾当选为包括美国科学院、法兰西学院、哥廷根科学协会、俄国科学院和皇家医学院、意大利天主教科学院、阿姆斯特丹皇家科学院在内的达 28 个国外科学院、皇家学会和主要学术团体的荣誉院士、荣誉会员、院士和通讯院士。在如此巨大的荣誉面前，卢瑟福始终保持着农民般的淳朴和谦逊。

关于卢瑟福在科学史上的地位，一般认为他是现代原子物理和核物理的奠基者，被誉为“核物理之父”、“微观宇宙之王”。美国著名科普作家阿西莫夫认为，卢瑟福是仅次于牛顿的、在世界上名列前茅的伟大科学家，与爱因斯坦、玻尔、巴斯德、达

尔文、伽利略、麦克斯韦、阿基米德等人比肩而立。1938 年英印科学联席大会主席金斯说“卢瑟福是原子物理上的牛顿”。新西兰坎特伯雷学院的学者约翰·坎布尔(John Campbell)高度评价卢瑟福：“卢瑟福之于原子，可以比肩于达尔文之于进化论、牛顿之于力学、法拉第之于电学、爱因斯坦之于相对论。”费密认为，“卢瑟福勋爵肯定属于实验家的最高阶层（在人类思想史上是极少的）。”弗雷曼·迪松说：“卢瑟福是实验科学家的上帝，爱因斯坦是理论科学家的上帝。”美国科学史家 L.巴达许认为：“作为从经典物理向现代物理转变的一个主要参与者，卢瑟福创造的波甚至比他能想象的还要大。”我国著名科学家张文裕认为：“卢瑟福对物质微观组成理论的发展做出了巨大的贡献，他无愧于现代科学技术革命的一位主要旗手。”Hon.B.E.Talboys 赞誉卢瑟福是“现代科学之父”，“翻阅他的著作就像阅读科学的现代圣经。”我国科技史专家童鹰教授把卢瑟福开创的核物理列为现代物理学革命的三大主要成就之一，与量子论、相对论并列。阎康年教授认为，卢瑟福和爱因斯坦的划时代开拓工作，分别从实验与理论出发，在微观和宇观两极奠定了整个 20 世纪的科学基础。

卢瑟福在其漫长的科研和教育生涯中，取得了伟大的科学发现，组织了和睦进取、贡献卓越的学派，进行了广泛的国内国际科学交流，培养了许多学生、科研工作者和优秀科学家，其中 11 人获得诺贝尔奖，与他的作用有关而获奖的还有三人。据此，我们说卢瑟福无愧于“一位伟大的科学家、伟大的教师和科研工作的杰出组织者与领导者”的称号。他的伟大既体现在他的科学贡献上，也体现在他伟大的人格上。

(广州中山大学哲学系 510275)

封底照片说明

这是由南京航空航天大学研制的“轻舟一号”轻型飞行模拟器，该系统采用半虚拟现实座舱概念，按照“眼见为虚，手摸为实”的原则构建航空器驾驶舱。舱内操作的手摸部分为实物，具有三轴飞行主操纵、开关、按钮、手柄等肢体力反馈和触觉真实模拟及 1:1 空间位置复现。具有座舱内外主体视

景，六自由度动感模拟，听觉模拟。采用直接驱动纯电动系统，提高了驱动系统性能，从而不再使用液压源。而且同一模拟器基本硬件可以改装为不同的机型，而模拟功能接近传统模拟器。成本低、结构轻、动力好、易安装、且环保是该系统突出的优点。

(李博文 / 摄影报道)