

卢瑟福：核物理学的奠基人 和培养人才的巨匠

阎 康 年

(中国科学院自然科学史研究所)

“卢瑟福不仅是一位伟大的科学家，而且也是一位伟大的导师。……科学史告诉我们，一位杰出的科学家不一定是一位伟人，而一位伟大的导师则必须是伟人”。^[1]

——卡皮查

伦敦的威斯敏斯特公墓，在伟大的科学家牛顿墓和达尔文墓附近，于1937年10月25日葬下了卢瑟福的灵柩。国王和首相的代表及英国政府许多要人出席了葬礼，皇家学会会长、大英科学促进会的主席等十名显赫全球的英国著名学者，在挽歌和哀乐声中安葬了这位新原子论的开拓者、核物理的奠基人和至今培养诺贝尔奖获得者最多的伟大科学家。这充分说明英国科学界确认了卢瑟福在科学上的崇高地位，堪与牛顿和达尔文并列而无愧。

新西兰的优秀生，发展 无线电的先驱者

凡见过卢瑟福的人，都留下这样的印象，从他的高大魁梧的体魄和纯朴敦爽的性格来看，像一个农民。从他的幽雅和诙谐的气质及深邃而透彻的思考能力来看，又像一个科学家。把农民和科学家的形象集于一身的人是不多的，这可能与抚育他成长的自然条件和家庭环境分不开。

卢瑟福祖籍是苏格兰，祖父时全家迁到新西兰，以制造车轮为生。父亲 J. 卢瑟福做过车轮工匠和农民，后来经营木柴和亚麻生产。恰在卡文迪许实验室建立的1871年，8月30日卢瑟福诞生于新西兰纳尔逊城附近的泉林(Spring Grove)村。童年受到做农民的父亲和做教



图1 青年时代

师的母亲的双重教育。他的母亲是一位有教养和娴慧的妇女，对卢瑟福早年有着重要的影响。她一直保留着曼彻斯特大学物理教授斯台瓦尔(B. Stewart)写的一本自然科学教科书，书的序言上有卢瑟福十岁时写的一段“批语”：“这本书给的知识并不多，但它以与自然接触来训练人的思想，为此并从描绘的一系列简单实验中推导出重要的科学真理，它可唤起和加强学生的观察能力”。这种从简单实验探索重要科学真理的启示，后来成为他终生治学的主要方法。

卢瑟福在少年时代就在数学、物理和制造实验仪器方面显示出不凡的才华。从中学至研究生毕业，他靠获得各种奖学金而沿着学制的阶梯逐步进入科学的乐园。1893年他以数学和物理两个考试第一名的优异成绩从纳尔逊学院毕业，打破该大学的历来成绩记录。毕切尔顿教授在科学实验和严格治学方面对卢瑟福后来的科学道路起了重要的作用，指导他从1894年开始研究交变磁场中铁的磁化及制做磁检波器，并取得从窑洞隔障碍物短距收发无线电信号的成绩，发表了《高频放电使铁磁化》的论文。

1895年剑桥大学在 J. J. 汤姆逊的倡议下，利用1851创立的博览会奖学金制，卡文迪许实验室在英国首先设立从国外选拔研究生的制度。卢瑟福的名次落在比他高一年级的麦克劳林之后，麦克劳林因结婚而未被选取，录取了卢瑟福作为 J. J. 汤姆逊的研究生。这真是天赐良机，卢瑟福面前打开了通向世界科研中心的道路。

J. J. 汤姆逊了解到卢瑟福的成绩、志向和看了他的论文后，给卢瑟福写信说“我很高兴你能来卡文迪许实验室工作，并将给你一切帮助！”

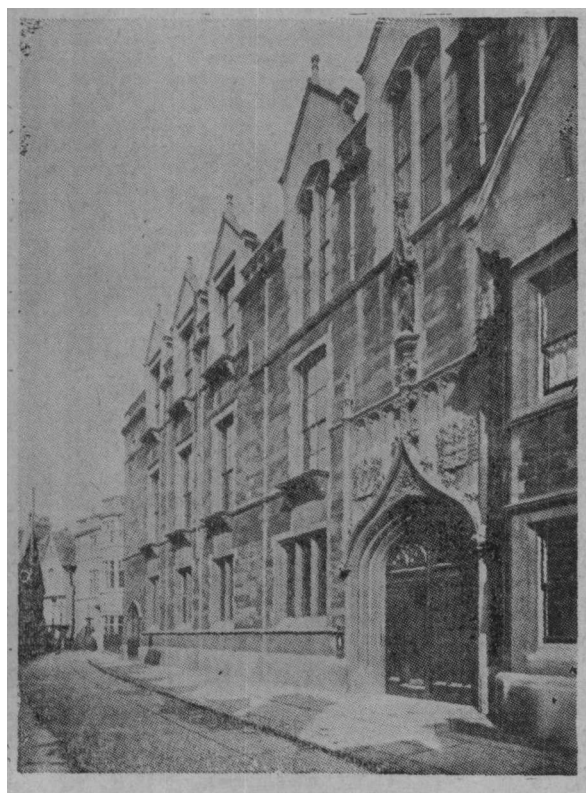


图2 卡文迪许实验室

卡文迪许实验室是英国第一个公立的物理实验室，它是为了振兴英国十九世纪后半叶的物理学，由剑桥大学校长第七代德文郡公爵为纪念著名化学家H. 卡文迪许而倡议和出资于1871年开始兴建的。第一任卡文迪许教授是以创立电磁理论著名的理论物理学家麦克斯韦，他晚年为推进实验物理学的发展和创建卡文迪许实验做出了重要贡献。他创立了有系统的教学和科研相结合的体制，建立了实验室的自制仪器设备和学生自己动手做实验及培养批评精神等优良学风和传统，对实验室百多年的发展产生重大影响。第二任卡文迪许教授是瑞利勋爵 (Lord Rayleigh)，他在学术界的崇高威望和在政界上层的广泛联系，为实验室的发展创造了有利的条件。1904年他把获得的全部诺贝尔奖金献给实验室，作为扩建和购置仪器图书之用。第三任卡文迪许教授是J. J. 汤姆逊，由于他在数学上的才能和长于构思实验等优点，

而于1885年在仅28岁时被破格聘为实验室负责人。他是一个思想开放、学风民主、善于

运筹和管理的科学家。他适应近现代科学交替时期的历史要求，首次从国际上选拔研究生，录取女生，实行个人和集体研究相结合，广开渠道推进民主讨论。他任实验室负责人长达35年，在把实验室建成为现代世界物理学的第一个重要科研中心方面，起了关键性的作用。

能进入剑桥大学并在 J. J. 汤姆逊指导下在卡文迪许实验室学习，使卢瑟福喜出望外。他急忙起程，成为第一个到达这个实验室的研究生。他给女友玛丽·牛顿的信中写道“我是到达卡文迪许实验室的第一个成员”，“如果一个人得到像 J. J. 汤姆逊这样人的培养，就会安全地得到应有的位置，J. J. 汤姆逊会尽量去帮助他的”^[2]。

J. J. 汤姆逊打破卡文迪许实验室研究电标准测量、磁学和气体放电的传统，全力支持卢瑟福研究无线电。在这里，卢瑟福改进了他的简陋的磁检波器的灵敏度，又制成一个大的磁检波器。1895—1896年间，收发无线电信号的距离从0.5哩增至2哩，创当时最高记录。消息传遍剑桥大学，人们传说“从新西兰来了一只年轻的野兔，它的洞打得很深”。各学院从卢瑟福身上看到研究生制的优越性，纷纷筹建起来。

1896年6月18日卢瑟福第一次登上皇家学会的讲坛，报告他的磁检波器原理，对于年轻的卢瑟福来说，这是一件了不起的大事。在1902年给《电学家》杂志的信中，卢瑟福指出这些结果是在马可尼之前取得的，并建议马可尼应用磁检波器，认为它比金属屑检波器好得多。所以，后来英国电报和电话公司曾为无线电的发明权和专利问题，要卢瑟福出来作证，只是由于他的大度和不重私利，才解决了这场纠纷。卢瑟福实际上是发明无线电的先驱者。

放射性理论的奠基者，荣获诺贝尔奖桂冠

十九世纪末是近代物理学陷入严重危机和酝酿现代物理学革命的重要时期，1895年X射线的发现揭开了现代物理学的序幕，接着发现了放射性和镭。卡文迪许实验在 J. J. 汤姆逊领导下立即投入X射线、气体放电和放射性的研究。卢瑟福在无线电上的研究还没有取得可供实用的结果和应有的承认，J. J. 汤姆逊劝他转入工作急需的气体放电研究，他发现电子所用的仪器和测量方法，不少是卢瑟福设计和研制的。在贝克勒尔发现铀放射性后，卢瑟福立即用以研究气体离子化，而于1898年发现和命名了 α 和 β 射线，并进而发现钍的放射性。

卢瑟福在研究生毕业时，正值加拿大麦吉尔大学物理教授卡莱达尔应聘去伦敦帝国理工学院任教，J. J. 汤姆逊推荐他去麦吉尔大学说：“在我的学生

当中，没有一个在创造性的研究方面，有比卢瑟福更大的热情和能力，……我认为实验室能有卢瑟福先生任物理学教授将是幸运的”，于是，卢瑟福得到聘请。烟草富翁麦克唐纳向麦吉尔大学捐款建立的麦克唐纳物理实验室，有着世界第一流的实验设备。卢瑟福宁愿拿每年给教授500英镑的薪金（按当时英国标准并不算高），因为他把实验设备好坏看得重于金钱。

在麦吉尔大学，卢瑟福的放射性研究是从钍的放射性开始的。他发现钍放射出一种“射



图3 卢瑟福和 J. J. 汤姆逊

气”，使与它接触的物质产生放射性。又发现钍和镭的“射气”及其活性沉淀各有特定的半衰期。这些新奇现象引起他极大的兴趣。1899年底，他不得不放下这个研究回新西兰，同他心爱的女友玛丽·牛顿结婚，1901年3月生下了他唯一的女儿艾琳。

为了搞清上述现象产生的原因及定量测定衰变过程，卢瑟福需要一个化学家的帮助。1900年夏天，拉姆塞的助手索迪到麦吉尔大学做放射性化学示范表演。他们约定进行合作，从而开始了放射性研究的重要时期。他们发现从钍分离出来的钍X在几周内失去放射性，而与其接触的钍化物则恢复其原来的放射性，当把测定的数据绘成放射性与时间的函数关系曲线和图表时，发现钍X的半衰时间与钍的放射能力加倍的时间相等，为卢瑟福发现的半衰期提供了雄辩的证明。这时，关于放射性的原因有很多说法，开耳芬等提出外因论，在1903年发表的《献给镭射气的讨论》论文中，认为“当镭将热量放出到其周围的可称量的介质时，某种以太波可提供给镭以能量”^[1]。而卢瑟福和居里夫人则认为放射性是一种原子内在的性质，是放射性元素放射 α 、 β 和 γ 射线时自发转变为另一种原子时产生的。1902年卢瑟福和索迪合写的两篇《放射性的原因和性质》论文，受到开耳芬的非难。卢瑟福特地赶回剑桥向J. J. 汤姆逊求援，只是在J. J. 汤姆逊向《哲学杂志》主编开耳芬保证由他负责时，才得到发表。这两篇提出放射性变化定律和天然放射性元素家族传递规律而奠定放射性理论的论文，首次突破了古原子论的框架，引起国际科学界的极大注意。1903年索迪回英国工作，卢瑟福又与化学家玻特伍德合作，发现了镭最终衰变为铅的镭族衰变谱系图， α 粒子是带正电荷的氦粒子和 β 射线是负电子束。至1914年又与安德瑞德合作证明 γ 射线是一种X射线。1904年他发表的著名的第一次贝克里安讲演中，除系统阐述了他在放射性研究中的主要发现外，又提出用矿石含镭量计算铅的生成率，算出矿石(也可测定地球)的年代为五、六亿年，否定了开耳芬根据引力势能和陨石碰撞理论计算的两千万至四千万年。当时一个杂志以“地球末日延期”的大标题，头版头条予以报道，开创了用放射性计算地球和古物年代的测龄方法。

1904年卢瑟福出版了《放射性》一书，被学术界视为经典著作。至1914年卢瑟福在《原子结构》论文中对他自己的放射性理论的意义作了这样的评价：“原子是一个大能库。……放射性现象的研究清楚地表明不仅重元素原子有很复杂的结构，而且这个原子不是永久不变的和不可破坏的”，又说“放射性的研究深刻地修改了旧原子概念，……它们的原子有一个有限的生命，并在其自身中播下它们最后灭亡的种子”^[2]。他以实验事实，首次突破了统治科学史达两千多年的古原子论框架。

放射性的研究使卢瑟福闻名于世，1903年他被选为皇家学会会员。在给妻子的一封信中他曾预言获诺贝尔奖要十年，结果只用了四年。在1908年庆祝他获奖的大会上，J. J. 汤姆逊说“在能向科学做出的一切贡献之中，介绍新的观念是最伟大的。……没有一个人能比得上卢瑟福教授以更严格的态度验证他的观念，没有一个人能比他更接近诺贝尔奖建立者的设计”([2], p. 185)。在麦吉尔大学时期，他写了40~50篇论文，绝大多数具有第一流的水平。他在美国耶鲁大学做了《放射性衰变》的讲学，1906年在伦敦汇集成书出版。这个时期，卢瑟福进入世界第一流科学家的行列。

发现原子核，实现元素的人工转变

1907—1908年间，卢瑟福拒绝了耶鲁大学的高薪重聘，也谢绝了J. J. 汤姆逊的推荐，

没有出任伦敦国王学院的物理教授，而于1908年秋接受了 A. 舒斯特的邀请，去曼彻斯特大学继任朗沃尔斯物理讲座的教授。他再次放弃金钱的诱惑，而宁愿到世界学术中心的英国和 A. 舒斯特建立的第一流物理实验室。他的助手和学生们一致认为他在学术上的最大成就，出现在曼彻斯特时期。如果说在麦吉尔大学，他的成功得利于同助手合作，那么在这里则应归功于他建立了一个高效能的研究集体和他的卓越组织才能。

放射性的研究，使卢瑟福成为这方面世界上最著名的权威。各国有志于探索原子奥秘的优秀青年物理学家，纷纷奔向曼彻斯特，云集在卢瑟福周围。他们如饥似渴地向卢瑟福学习知识，而卢瑟福则向青年人吸取朝气和智慧，因为他感到这会使自己思想更年轻和更富于进取心。

卢瑟福对放射性已研究了十年，他深知要了解原子及其内部组成， α 射线的动能比 β 和 γ 射线大得多。他开创以 α 粒子轰击原子这种对撞法，至今已成为揭示物质微观结构的典型方法。盖革原是 A. 舒斯特的助手，现在同他一起研制计数器（1913年盖革回德国后予以改进，称为盖革计数器）。1903年，卢瑟福让研究生马斯顿协助盖革用 α 粒子轰击金箔，发现了大角散射现象，即有些 α 粒子约以 90° 方向偏转，有的像撞击墙壁一样从原方向射回，箔片越厚、原子量越大，射回的 α 粒子越多，这与过去公认的小角散射不同。卢瑟福起初认为这有些像薄纸将15英寸炮弹弹回并使炮弹向发射者自己发射一样不可能。他紧紧抓住通常易于忽略的这个新现象，以其特有的洞察力和直觉，意识到这里孕育着一个重大的突破。他企图从原子内部结构寻求答案。W. 布拉格以前在信中曾告诉卢瑟福说，日本物理学家长冈于1904年曾提出过原子卫星结构的设想^[5]，但未被实验证实过。

卢瑟福认为，大角散射只能用 α 粒子与原子中央存在的密实核相互作用来解释。据当时卢瑟福的数学助手 C. G. 达尔文回忆，在1911年初期的一个星期天的傍晚，卢瑟福邀他们晚餐，谈话中卢瑟福提出了原子有核模型，并请他帮助计算而提出 α 粒子大角散射公式，C. G. 达尔文认为这是他一生中最伟大的时刻。原子核的发现和这个原子结构模型是于1911年3月7日在《哲学杂志》上发表的《 α 和 β 射线的散射和原子结构》论文中宣布的，但原子核具有正电荷这一点则是在5月发表的《 α 和 β 粒子被物质散射及原子结构》论文中提出的。后一篇论文中卢瑟福正确地提出原子由带正电荷的原子核和外围电子组成，指出核和外围电子的不稳定性是放射性元素放射 α 、 β 和 γ 射线的原因。这个模型和原子核的存在随后被威尔逊（C. T. R. Wilson）用云室法和盖革及马斯顿多次用闪烁法证实。

卢瑟福根据事实批判了开耳芬于1902年提出^[6]和 J. J. 汤姆逊于1903年根据小角散射实验予以发展的原子模型。开耳芬认为玻璃体电（即正电）均匀分布在原子内的空间或分布在同心球面上，树脂电（即负电）或电子占据在原子内的部分空间中。J. J. 汤姆逊则于1903年5月在美国耶鲁大学讲学时，提出电子是原子的基本组成单位，把开耳芬的上述想法发展为正电均匀分布在原子内，电子则由于与其他电子相排斥和与正电体相吸引而处于原子内的平衡位置^[7]，这就是有名的“葡萄干面包模型”。按经典电磁理论，电子绕核运转的同时必以电磁波的形式放射能量，因此轨道逐渐缩小而陨落到核上。卢瑟福敢于突破经典电动力学框架、批判开耳芬和 J. J. 汤姆逊的原子模型，完全由于他相信实验的可靠性。

显然，卢瑟福对经典电动力学的叛离需要一种新理论的说明，这个任务恰好落在1911年3~6月在他的实验室进修的丹麦青年玻尔身上。玻尔后来一再说这四个月对他的终生起了决定性的作用，这期间他用量子论说明卢瑟福的原子模型及提出核外电子具有定态轨道的思想，并与卢瑟福取得一致的看法，这可由卢瑟福于1912年10月发表的（在玻尔论文发表之前）

《放射性物质发射 β 和 γ 射线的起源》论文中看出。他写道“总之，证据强烈表明，由 γ 射线引起 β 射线或反之，其能量的转变是以确定的单位发生的，这对既定的电子环来说是特定的，并由一环向另一环变化”([5], p. 447), 这里“环”就是后来玻尔说的电子定态轨道。玻尔关于原子结构量子论的三篇论文系1913年3、6和9月寄给卢瑟福，经后者的仔细审阅和修改后，推荐到《哲学杂志》发表的。他们从此结下终身父子般的深厚情谊，科学界往往将他们的原子模型统称为“卢瑟福——玻尔原子模型”。在1914年发表的《原子结构》论文中，卢瑟福提出原子核半径不超过 $3 \times 10^{-12} \text{cm}$ ，原子半径约为 10^{-8}cm 。他写道“核虽很小，但其自身包含了由强电力紧密结合在一起的大量正和负电荷的很复杂系统”([5], p. 447)，因而预言了原子核内存在一种将基本粒子结合在一起的强力。

卢瑟福发现原子核和提出原子有核结构模型，标志着自然观和科学基本观念产生了一次重大的突破，它像雪崩一样引起了一系列重要发现。如布罗克(Van der Broek)提出核电荷决定于原子序数，原子性质取决于核外电子数。法坚斯、索迪和鲁塞尔发现放射性位移定律，特别是莫斯莱在卢瑟福指导下发现元素的X射线谱线与原子序数的关系，可由各元素的谱线序列预见和鉴定新元素的存在，其价值堪与元素周期表的发现媲美。卢瑟福至此取得的成就，可从居里夫人于1913年在伯明翰举行的大英科学促进会议上的讲话得到说明。她说，“卢瑟福博士是一个在世的人，作为镭发现的结果，他向人类赠送了一些不可估价的礼品。我劝英国注意卢瑟福博士，他在放射性上的工作使我大为震惊，伟大的发现很快传开。对这个发现来说，镭的发现只是一个序幕”([2], p. 223)。

1913年卢瑟福发表了《放射性物质及其放射性》一书，系统总结了他研究放射性和原子结构的成果。1914年被英王授与“爵士”称号，以表彰他在科学上建立的卓越功勋。

第一次世界大战爆发，他的年轻助手和学生纷纷奔向前线，他自己也参加了有关侦察潜艇的研究工作。但是，马斯顿用 α 射线轰击氢原子的新发现一直萦绕他的脑海，并产生用 α 射线使核分解及其产生嬗变的思想。他在1917年12月和1918年11月给玻尔的信中写道：“我试图以此法击破原子”和“我希望你能在这里讨论我们一些进行核碰撞的设想。在已得到一些惊人的结果，但还想要得到一些推论的证明，将是一个繁重而长期的事”^[6]。大战一结束，

他立即投入实验室，用 α 射线轰击轻核，于1919年6月在《哲学杂志》连续发表四篇《 α 粒子与轻原子碰撞》的论文，宣布发现了 α 粒子使氧和氮原子蜕变并放出氢核，及认为氢是氮和氧等轻元素的基本组成单元。在卢瑟福家中的一次晚餐会上，根据C. G. 达尔文和弗勒(A. Fowler)的建议，为纪念氢是一切元素组成基本单位的提出者——普劳特(Prout)，将打出的氢核定名为质子(proton)。

卢瑟福极其敏锐地抓住马斯登新发现的迹象，终于人工分裂了原子，实现元素转变和证实了质子的

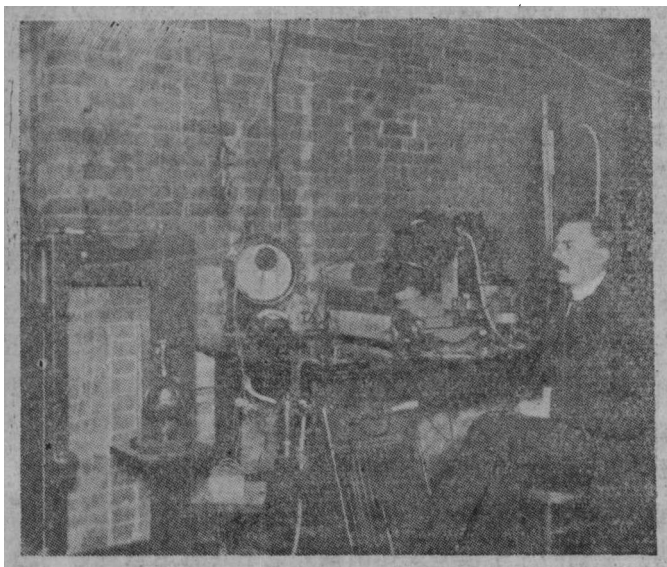


图4 卢瑟福在实验室

存在，而登上他在科学征途上的第四个高峰。

卢瑟福及其实验室的成就是巨大的，但他们用的仪器设备则是简单的。用简单明捷的思想、简单的仪器和简单的实验，做出最先进而可靠的成果，可以说是卢瑟福从事科学研究的特色，这是他继承和发扬麦克斯韦为卡文迪许实验室立下的规矩的传统。麦克斯韦应聘为第一任卡文迪许教授时提出三个条件：实验室、图书馆和造仪器的工厂。他指出：那个用自己制造的常引起差错的仪器的学生，比用别人仔细调整过的因而易于相信并不敢弄坏仪器的学生，学到的东西常常要多些。他说“我从不劝阻别人进行实验，即使他找不到正在期待的东西，也可以找到其他的东西呀！”日本现代物理的奠基人长冈半太郎在参观了卢瑟福的实验室后，给卢瑟福的信中写道：“我被你所用仪器的简单性和取得的光辉成就所震惊。……我钦佩你用极简单的方法取得了光辉的成果”。

卡文迪许教授，培养人才的巨匠

1919年，年事已高的 J. J. 汤姆逊从卡文迪许实验室退休，担任了剑桥大学三一学院院长。作为第三任卡文迪许教授，他在把这个实验室发展为现代世界物理学研究的主要中心上起了关键性的作用。要遴选麦克斯韦—瑞利—J. J. 汤姆逊的继承人是一个事关重大的问题。像学术界普遍看法一样，J. J. 汤姆逊终于选择了他的得意门生卢瑟福担任第四任卡文迪许教授。但是，J. J. 汤姆逊在这个实验室工作已达四十年，他希望仍留在实验室做一个研究人员，并仍享有原有的研究条件：房间、助手和实验室。卢瑟福非常尊重自己的老师，但他担心打破只有一个教授的传统会在工作上带来不便。他们四次通信磋商，终于达成协议，J. J. 汤姆逊只保持必要的研究条件，而把卡文迪许教授和实验室指导权让给卢瑟福。这在科学史上已成为让贤的一个范例。1919年4月2日，卢瑟福被正式任命，夏末他开始上任。

在卢瑟福面前的实验室，处于战后恢复时期，主要研究人员离散，急需招收和培养新一代的研究人才。在曼彻斯特时期，在他周围的都是知识基础扎实并做出重要成绩的优秀人才，他把主要精力放在研究上。而现在，他必须把主要精力放在造就人才和使他们多出成果方面。卢瑟福是科学史上培养第一流科学人才最多的科学家，仅诺贝尔奖获得者就达13人。他在麦吉尔时期的助手中后来获诺贝尔奖的有索迪和奥托·哈恩。在曼彻斯特时期造就了大量第一流人才，其中玻尔、亥威西和查德威克后来都获得诺贝尔奖。人们公认如果莫塞莱没有在大战时中流弹牺牲于前线，肯定也会获得诺贝尔奖。在卡文迪许实验室，卢瑟福造就了更多的优秀人才，仅得过诺贝尔奖的就 有 阿 斯 顿、阿 波 莱 顿、布 莱 凯 特、考 克 饶 夫、瓦 尔 顿、狄 拉 克、鲍 威 尔 和 卡 皮 查。

除前面提到的索迪和玻尔外，阿斯顿原是 J. J. 汤姆逊的助手。他于 1919 年发明的质谱仪可测定大量元素的同位素，于 1922 年获诺贝尔化学奖。奥托·哈恩于 1905 年在麦吉尔大学做过卢瑟福的助手，此后一直从事放射性化学和核物理的研究，1938 年发现铀核裂变，于 1946 年获诺贝尔奖。亥威西原是卢瑟福在曼彻斯特时的助手，在卢瑟福指导下研究放射性元素在生物体内的示踪问题，1922 年他在哥本哈根又用莫塞莱法发现钷，于 1945 年因这些发现获诺贝尔奖。虽然卢瑟福的实验室主要研究放射性和核物理，但是他仍不遗余力地爱惜和使用有才华的其他专业的人才。如阿波莱顿、考克饶夫、狄拉克和卡皮查都是学电气工程的，却受到卢瑟福破格的欢迎和全力的帮助。战后，阿波莱顿到剑桥，希望继续研究无线电，卢瑟福要他搞核物理，他说“我将违背你，向前进”。在卢瑟福帮助下终于在 1930 年发现了电

离层，1947年获诺贝尔奖。1937年卢瑟福去世时由阿波莱顿代理实验室指导，后来人们认为如果他能做第五任卡文迪许教授，这个实验室将在射电天文学、微电子技术等方面做出更大的贡献。

考克饶夫原是卢瑟福在曼彻斯特大学的本科学生。他执意要随卢瑟福到剑桥做研究生。卢瑟福说你只有考取第一名我才收留你，后来他果然以最优异的成绩进入卡文迪许实验室。1928年伽莫夫在玻尔理论物理研究所根据量子力学提出核势垒存在隧道效应。该年10月他访剑桥大学时，同卢瑟福和考克饶夫讨论，提出按此理论用能量不大的 α 粒子可击穿核，因此可以制造一台低能加速器。这个看法得到卢瑟福的同意和支持。卢瑟福说：“我一辈子也没化那么多钱，看你们怎么办？”结果由荷兰利浦电器公司制成60万伏高压倍加器。1932年3月考克饶夫和瓦尔顿用它加速质子轰击锂核，产生高速 α 粒子，实现锂核的人工蜕变，证明了量子力学处理微观粒子问题的正确性，并将 α 粒子的动能变化与反应粒子的质量联系起来，首次验证了爱因斯坦质能关系式的正确性。考克饶夫和瓦尔顿因此于1951年获诺贝尔奖。

卡皮查是苏联人，1921年来到这里做研究生，他在高压电磁场和低温物理方面的才华受到卢瑟福的特别器重，便用工业家蒙德捐献的部分资金为他建立了著名的蒙德实验室。卡皮查后来在低温物理上的重大贡献发端于这时的研究。以他为首的卡皮查俱乐部，主要成员有考克饶夫、布莱凯特、狄拉克和奥利番特，他们探讨重大物理问题，制度严格，学风民主，促进了卡文迪许实验室的发展。1934年他回苏探亲被苏联政府挽留。卢瑟福为此很伤心，亲自给苏联政府写信并派狄拉克等去交涉，都未成功。为了卡皮查在回到祖国后能继续从事科学研究，卢瑟福将卡皮查使用的设备全部送给苏联，并派考克饶夫去帮助安装。卡皮查被迫留在苏联后心情一直不好，卢瑟福至少每隔两个月给他一封信，劝他道：“你将来的幸福要靠你埋头于实验室的工作，过多思虑往事，对任何人都没有好处”。卡皮查后来对苏联物理学特别是低温物理的发展起了重大作用，为此于1978年获得诺贝尔奖。

狄拉克原学电机工程，大学毕业后学物理，在理论物理上有众所周知的重大贡献，但是他的实验技术不行，他的工作得到卢瑟福及其女婿弗勒的很大帮助。卢瑟福对他的空穴理论十分赞赏，常开玩笑地问“你的空穴怎样了？你的空穴存在吗？”他的空穴预言与布莱凯特于1932年用自动化云室发现宇宙线正电子有直接的关系。显然狄拉克获诺贝尔奖是人们所预料的。

布莱凯特也是在战后做卢瑟福的研究生的，起初接替要回日本的清水，从事改进云室为半自动化的工作。他按卢瑟福的要求，用这种云室测定 α 粒子轰击轻元素核的径迹。至1924年夏天共拍25,000张照片，44万条径迹，其中发现有8条呈现卢瑟福曾发现过的原子人工转变产生的粒子径迹，即轰击后只出现氮核和从氮核打击氢核的径迹，而 α 粒子的径迹消失了。这种图象说明 α 粒子被氮核俘获转变为氧的同位素 ^{17}O ，因而首次人工制成同位素和为卢瑟福于1919年实现元素人工转变提供了确证。1931年制成计数器自控的云室，从宇宙线中发现 γ 射线轰击大气粒子会产生正负电子对，证明了狄拉克的“空穴”预言。次年，又独立地从宇宙线中发现正电子，客观上起了验证安德逊稍早发现正电子的作用。由于这些重要贡献，他于1948年获诺贝尔奖。鲍威尔于1925年来到卡文迪许实验室做研究生，在卢瑟福指导下研究核物理，1927年得博士学位后成为丁铎尔(A. M. Tyndall)的助手。他是用乳胶照像法研究宇宙线的发明者，1946年在阿尔卑斯山顶实验室用此法发现了 π 介子(汤川所预言的)和 μ 子，于1950年获诺贝尔奖。

在卢瑟福学生中值得特别提及的是查德威克，他是卢瑟福在曼彻斯特时期的研究生。他于1913年随盖革去德国研究核物理。第一次世界大战期间，被作为人质关入监狱，但他克服重重困难在狱中实验研究，并与被俘的英国军官艾利斯合作。战后，他们回到卢瑟福身边，查德威克成为他最得力的助手。卢瑟福早在1920年的第二次贝克里安讲演中，从氢及其同位素的性质比较出发，预言了具有与质子同质量但电荷为中性的粒子（1927年明确命名为中子），并预言它作为子弹对核具有更大的穿透力。卢瑟福要查德威克通过实验去寻找它。1932年5月，查德威克终于沿卢瑟福的思路通过实验发现了中子。中子的发现在核物理的发展中具有重大意义，它不仅标志着基本粒子物理学的诞生，而且作为轰击铀核的子弹，对后来发现快、慢中子引起核转变、铀核裂变与原子能大规模释放创造了条件。为此，查德威克于1935年获诺贝尔奖。

在卡文迪许实验室，卢瑟福手下有五员大将：查德威克、布莱凯特、考克饶夫、艾利斯和奥利番特。艾利斯在德国监狱中向查德威克学习了放射性和核物理知识，来实验室后在卢瑟福指导下从事这方面的研究。1919年C. G. 达尔文提出 β 衰变过程中能量不守恒，后来玻尔根据当时观测的 β 衰变能谱，提出统计上守恒、对于单个过程是不守恒的假说，引起学术界很大的争论。艾利斯化了十几年时间终于将核外与核内放射电子产生的能谱分开，搞清了 β 衰变的真正能谱，为泡利提出三体衰变和费米建立 β 衰变理论和提出中微子概念，创造了条件。这个工作得到泡利的高度评价。据说他后来因未能获得诺贝尔奖而气愤地去做燃料部长了。奥利番特是澳大利亚人，在战后成为卢瑟福的研究生和助手。1934年与卢瑟福一起发现了氢的同位素——氘。

1930年，卢瑟福与查德威克、艾利斯合写并出版了《放射性物质的放射性》一书，1937年卢瑟福又发表了《新炼金术》。这两部著作系统总结了他多年研究的一系列重要成果，指出古代炼金术家的幻想在今天科学基础上变成了现实。

值得特别提出的是我国一些物理学家，在二、三十年代曾有幸得到卢瑟福的教诲。颜任光约在1925年，赵宗尧在1931年，先后到卡文迪许实验室做过短期访问学者。赵宗尧于1933年写的《硬 γ 射线与原子核的相互作用》论文，实际上已独立地发现正负电子对，经卢瑟福推荐和加批语后由《自然》杂志发表。1937年卢瑟福致信赵宗尧，欢迎他到卡文迪许实验室做访问学者，从事较长时间的研究，但因“七七”事变爆发未能成行。我国到卡文迪许实验室做卢瑟福的研究生的科学家有四人，他们是霍秉权(1930~1934)、李国鼎(1934~1937)、张文裕(1935~1938)和周长宁(1937~1939)。他们亲受卢瑟福的教导和卡文迪许实验室优良学风及传统的熏陶，对我国的物理学的发展不同程度上都做出了贡献。

在二、三十年代，由于卢瑟福在科学研究和造就人才上取得的重大成就，已经成为世界上影响最大的物理学家。1923年他当选为大英科学促进会主席，1925~1930年任皇家学会主席，1930~1937年任科学和工业研究部顾问委员会主席。在这些重要的学术岗位上，他克己尽责，以自己的学识、影响和卓越的组织才能，对英国科学技术发展起了重大作用。1933年希特勒开始掀起大规模排犹运动，将大批优秀科学家驱逐出德国时，仅到英国的犹太族学者就达1,200人之多。卢瑟福拍案而起，主持正义，倡议并组织万人募捐大会，同爱因斯坦一起发表讲演。1934和1935年，相继发起和担任学术援助委员会及保卫科学和知识协会的主席，为大批科学技术专家安排了工作。爱因斯坦、玻恩和亥特勒等都是应他的邀请去剑桥的，不久爱因斯坦应普林斯顿高级研究所之聘，赴美任职。

1931年元旦，卢瑟福被授与勋爵，这是英国科学家可能得到的最高社会荣誉。但他却一

再声明不要叫他“勋爵”，仍愿以一个平凡的科学工作者自居。

科学思想、方法和学风

卢瑟福的著作与爱因斯坦的有着明显的不同的是，他几乎没有一篇专门系统论述科学思想、方法和学风问题的，甚至引用科学哲学词汇的地方也很少。

但是，这决不能表明卢瑟福不重视科学思想、方法和学风问题。仔细研究一下卢瑟福的著作、讲演稿和他的科学活动，就自然会发现其中始终存在一条主线，他的学生们称这为“卢瑟福的研究路线”，他的朋友们叫做“卢瑟福学派”。这就是：全实验室和谐一致地合作，运用实验的方法，明快而可靠地揭示科学真理。

卢瑟福继承了英国的实验哲学传统，但既不像它的奠基者 F. 培根那样去从哲学含义上探讨哲理，也不像牛顿那样“不做假说”，更不像法拉第那样单枪匹马地只从实验寻求答案，而是在现代科学研究的条件下，在卡文迪许实验室的传统和经验的基础上，做了很大的发展。

卢瑟福相信从实验事实出发，突破和提出新的概念和理论。但是，这种概念和理论只有得到实验的验证时才能信得过。对那些经反复实验验证的新概念和新理论，卢瑟福又敢于维护。因为这样，在本世纪初期，他曾在镭放射性的来源、原子是否是最基本的物质组成单位、地球年代的测定和原子结构模型等问题上，与英国当时的物理学权威，晚年趋于保守的开耳芬勋爵，发生了四次严重的争论。当爱丁顿在一次会议上说电子只是一种观念时，卢瑟福迎战说：“你污辱我心爱的女人，不存在！不存在！为什么我看到电子像餐桌上的汤匙一样清楚”。卡皮查曾给卢瑟福起了个“鳐鱼”的绰号，象征他像鳐鱼一样吞吃知识，那样勇猛地追求科学真理。

卢瑟福在培养研究生时，凡属重要的实验，特别在发现新的现象时，他总要亲自做一遍，以弄清真实情况。每当学生陷入错误的理论或对实验情况说不清楚时，卢瑟福就让他“回到实验室去！重做实验！”

目前，国内外有一种卢瑟福不重视理论的说法，这一方面是由于在量子力学刚出现时，他认为用经典理论能说明他发现的低能核物理和放射性现象。这时，他说过：“理论物理学在玩弄数学符号游戏，而我们在卡文迪许实验室做出可靠的事实”^[1]。对于海森伯的测不准关系，他认为“对我来说，它是非科学的，而且从一个不可能用实验证明的理论去直接或间接地广泛推论，是危险的”^[2]，p. 378)。另方面，前些年萨拉姆来我国讲学时，曾提到卢瑟福不重视量子力学，所以在卡文迪许实验的学生不学量子力学，这在我国科学家中造成一定影响。事实是当卢瑟福与伽莫夫合作，并在高压倍加器实验后，证明量子力学计算高能 α 粒子引起核转变比经典力学更准确时，便很快改变了看法。他赞扬薛定谔的波动力学，对伽莫夫应聘去美国非常惋惜。他曾与数学家 C. G. 达尔文合作，这已传为美谈。他对狄拉克的支持和赞赏也可作为他重视理论工作的明证。据张文裕教授介绍，卡文迪许实验室是学量子力学的，卢瑟福讲课中曾一再提出理论特别是量子力学的重要性。所以，卢瑟福并不像有的人所说的那样，对理论的态度那么不近人情和“霸道”，而是他作为一个实验家，当时采取了谨慎态度。对实验中产生的复杂理论问题，他有一句口头语：“让理论家去照顾它吧！”

卢瑟福作为核科学的奠基人，对原子能的大规模释放和利用，曾一度做过不恰当的预言。

1933年他讲过“我们不能控制原子能达到有任何商业价值的范围，并且我相信我们不像有能力做到这一点”([2], p. 374)。1936年又说过“当全部有效的进展随着轰击粒子能量的增加而提高时，用此法从原子中得到有用的能量是少有希望的。另方面，中子的最近发现及证明其以低速产生核蜕变的有效性，打开了新的可能性，……但对于用于技术目的来说其规模则太小了”([8], p. 41)。这些后来被事实否定的预言经常被人引用是可以理解的。他明确指出：“我们对物质的兴趣是纯科学的”。他对原子能的应用不感兴趣，让学生不要把精力老放在这里，应多搞些切实可行的东西。

卢瑟福的一个学生说，他的成功在于“善于领导一个科研集体”，这句话有一定道理。本世纪与过去的科学研究不同，理论深、学科多和实验仪器精密而复杂，为了适应这个特点，研究方法也必须从以个人为中心转变到将个人的才能与集体的力量结合起来。J. J. 汤姆逊适应了这个转折，取得了成功，他的学生和继任者——卢瑟福则有了更大的发展。

卢瑟福在领导科研集体上有一个发展过程。他在麦吉尔时期是与几个人合作，曼彻斯特时期和1930年前的卡文迪许实验室时期则是一个小集体。1930年后由于加速器的出现，实验研究必须靠很多人协作，从此开始了较大规模的集体研究时期。这个发展过程主要由实验设备的复杂程度决定的。

卢瑟福深刻认识到继承在科学发展中的重要性 and 善于组织一个科研集体。他认为科学研究的“很大成功和智慧应归功于过去时代那些伟大人物的劳动，他们明智地奠定了可靠的基础，在这个基础上科学家们才创造了今天”([2], p. 296)。实验工作使他深刻认识到“科学是逐步前进的，每个人依赖于他的先行者的工作。当你听到一个发现时，可肯定地说它是由一个人对另一个人的影响产生的。科学不是取决于一个人的思想，而是取决于几千个人共同的智慧，所有的人想一个问题，而且每个人做它的部分工作，添加到逐渐建立起来的知识大厦之中”^[10]。同时他也强调了科研领导人的重要性。他说：“这样的科研组织者应该对科学研究有卓越的能力，并激励和指导别人沿有成果的路线进行研究，这样的人是很少的，但对于一个研究组织的成功却是本质的”([2], p. 421)。

卢瑟福是这样一位科研领导者，他的学风民主，把一个科研集体组织得像一个和睦的大家庭。对不同国家、信仰、性别和能力优劣的研究者、助手和学生，都能做到平等公正待人，而且一旦接受就负责到底，把你引向成功之路。卢瑟福的心和实验室紧密相连，他的情绪和大家共通。玻尔说过他早晨到来时有如太阳突然照耀，有时又像天空突然笼罩着乌云。当卢瑟福在走廊哼着“前进！基督的战士！”时，说明实验室工作正常。当他哼着挽歌时，说明贵重的仪器被损坏或出现重要的疑难。他的一句诙谐的话，常常使沉闷的气氛一下子活跃起来。

卢瑟福对学生和助手的研究课题，非常重视，他参与制定重要的研究计划和实验方案。在选题上，他很尊重学生的特长和爱好，从不强求。如果你一时定不下来选题，他就为你创造条件，并等待你。张文裕教授原在国内学磁学，当他刚刚到卡文迪许实验室时，卢瑟福问他带什么题目来？张先生回答说没有带题目，就让他先到一组，说慢慢就会有你的题目。莫塞莱刚去时带了三个题目，卢瑟福帮他选择了其中的X射线光谱与原子序数的关系这个题目，结果获得举世的赞扬。当时，实验室有一句谚语：卢瑟福能“给课题带来光明”。每当课题结束之前，他已想好下一个课题，并以不可阻挡的力量带学生冲向新的高峰。他的所有学生，都是乘兴而来，载誉而归。有的学生后来说卡文迪许实验室的秘密，在于能把即使一个普通的人造就成第一流的人才。他的一位朋友说：“他永未树立过一个敌人，也未失去过

一个朋友”，他的学生离开后，都与他保持终生的友谊。

他的性情急躁，当有人不爱护或损坏仪器时，他往往会发脾气。他讨厌夸夸其谈和不务实际，特别是对同代人。但是，他的坦诚、善良和友爱的素质和欢愉的性格，填补了这个不足。他乐于同青年人在一起，这会使他感到有朝气和年轻。他对不懂的专业从不充作内行，请这方面的专家合作，补偿自己的不足。

每天下午四时为实验室“茶时”休息时间，人们不分职务和级别，随意参加，上自天文下至地理，形势、新闻无所不谈，当然也谈起各人的实验。很多新的观念在这里迸发，许多疑难此时摊开，它被认为是实验室一天中最好的时刻。“茶时”通过学生传到各地，如玻尔理论物理研究所、普林斯顿高级研究所，张文裕教授甚至把它推广到杜布纳核子联合研究所。每星期有一、二天傍晚，教授邀请几个人在家里晚餐，“餐时”也就自然成为新观念新思想出现的良机，如原子有核模型、质子的名称……都是这时提出来的。

善于领导一个和谐和高效能的研究集体，是卢瑟福出成果和出人才的关键所在，这对导师和学生是互利的。

值得特别提出的是卢瑟福在科学研究上除了具有深邃的洞察力和构思物理图象的能力外，还始终站在科研的前沿。查德威克赞扬卢瑟福“对物理过程有最惊人的洞察力，能用几个标志说明整个课题”^[11]。玻尔和鲁塞尔等也认为他的最大才能是对科学问题的洞察力，张文裕和钱临照先生也认为卢瑟福最重视洞察力和物理图象。这种洞察力来源于他的求实精神和因之产生的天才直觉，这种直觉又来源于确信自然的和谐及客观真理的简单性。卢瑟福在长期实验和构思过程中，养成了用几句话或物理图象明确说明一个复杂问题的能力，并下意识地迅速反应出来。这在他的历次重大发现中表现十分突出，如根据人们极易忽略的大角散射现象和 α 射线轰击氢原子时发现类似氢谱线的粒子光谱，分别意识到原子核的存在及其人工蜕变，并放出质子。又如根据氢及其同位素原子电荷相同和原子量的差异为质子质量的整数倍这个事实，预见到中子的存在，并让查德威克有意识地探索和发现了中子。

卢瑟福指导研究生，极其注意他们的洞察力和构想物理图象的能力的素质。他每进实验室，首先问学生看了哪些书和实验有什么问题，如果你只叙述过程而说不出新想法和提出新观念，他是不高兴的。他甚至要学生说出某一想法的提出者是谁，又怎样想出来的。他认为培养学生的独立思考能力和创造性极其重要。一个研究集体的好坏，关键在于形成一个好的学风和传统，一个研究人员和学生的好坏主要在求实精神和构思新思想和图象的能力。他批评当时美国和加拿大不少科学家在办公室中花费过多时间，而应当把时间自由地用于研究上，他劝告教授们应花更多的时间去想，花少量时间去做，只有这样才能获得富有进取心的优秀工作质量。时时观察科学发展的动向，始终使自己处在科研的前沿，卢瑟福一生一直活跃在研究的突破口上，并以献身科学真理的精神和旺盛的精力组织力量予以突破。所以，伊夫说卢瑟福“永远处在波浪的峰巅之上”，这恐怕是一个科学家保持学术青春和立于不败之地的关键之一。

1937年10月19日，一直康健的卢瑟福患癌病很快去世了。这位伟大的科学家临死前嘱咐他的妻子“记住，赠给纳尔逊学院一百镑”，一个小时后便与世长辞了。

卢瑟福一生中获得了科学家所可能得到的几乎一切崇高荣誉，除去前面介绍的诺贝尔化学奖、爵士和勋爵这些崇高的荣誉和皇家学会及大英科学促进会主席职务外，1925年他荣获皇家学会最高荣誉奖；柯普莱奖章，并被几十个世界著名大学和科学院聘为荣誉教授和国外院士。

参 考 文 献

- [1] 卡皮查,《科学史译丛》,1981年,第1期,54页。
- [2] A. S. Eve, Rutherford, Cambridge, 19(1939)。
- [3] Kelvin, Mathematical and Physical Papers, Vol. VI, Cambridge, 208(1911)。
- [4] J. Chadwick, The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, Vol. II. London, George Allen and Unwin LTD, 447(1963)。
- [5] 同注[4], p. 254. J. B. Birks, Rutherford at Manchester, London, 10(1962)。
- [6] Kelvin, Philosophical Magazine, Six series, Vol. III, 260(1902)。
- [7] Lord Rayleigh, The Life Sir J. J. Thomson, Cambridge, 138(1943)。
- [8] J. B. Birks, Rutherford at Manchester, London, 138(1962)。
- [9] E. N. de C. Andrade, Rutherford and the Nature of the Atom, 209(1964)。
- [10] I. B. Cohen, The Birth of A New Physics, New York, 112(1960)。
- [11] J. Chadwick, Nature, October 30, 1937, p. 750。

科学与哲学 (研究资料)

1983年第6辑要目

科学家的创造性

介子理论三十年

多么美好的人生啊

汤川秀树简略年谱

汤川理论年表

量子电动力学的发展

关于朝永先生的科学观

关于坂田昌一先生的业绩

坂田昌一简略年谱

自然科学认识与社会科学认识

三阶段论与自然辩证法

自然科学与社会科学的统一

物理学与《资本论》

自然科学与恩格斯