

卢瑟福和尼尔斯·玻尔的友谊与合作及其 对现代物理发展的影响

阎康年

(中国科学院自然科学史研究所)

去年10月7日是伟大物理学家尼尔斯·玻尔诞辰一百周年。纪念玻尔，就是要纪念他为科学发展和世界和平作出的重大贡献，学习他的科学思想、科学精神、治学方法和他的优秀品德。在我们回顾他的卓越的科学生涯时，他与他的恩师卢瑟福的友谊与合作占有十分突出的地位。本文试图从这个方面作一些深入的探讨。

卢瑟福和玻尔，一个用实验一次次揭开了微观宇宙的奥秘，另一个则从理论上予以诠释，并揭示了原子内在的本质联系和建立理论体系。他们的结合，从根本上改变了人类的自然观。他们之间的友谊和合作，远远超出了“伯乐与千里马”的范围。卢瑟福和玻尔生于不同的国家，本来他们在科学的素养、性格和治学的方法上存在明显的差异。但是，为了追求科学真理和进行国际间的科学交流，他们之间建立了亲密的友谊和合作。这种友谊和合作经历了师生、同事和两大学派的密切结合三个时期，长达27年之久，从而在治学方法、学风和经历的道路等方面，呈现许多承袭和相似之处，对现代科学的巨大发展产生了深远的影响，同时也为科学家之间的友谊和合作提供了一个伟大的典范。

一、“伯乐”与“千里马”的情谊

在科学史上，巴罗和牛顿、戴维和法拉第、J. J. 汤姆孙和卢瑟福……，都被人们作为“伯乐”与“千里马”关系的典型，屡屡加以歌颂。但是，能够把“伯乐”与“千里马”关系发展到密切合作的同事关系，继而又发展为闻名于世的两

大学派的合作关系，并持续至终生的，并不多见。卢瑟福和玻尔，现代甚至整个科学史上可列入贡献最伟大的科学家行列的两位伟人，他们的友谊和合作却具有这种鲜明的特征。

卢瑟福和玻尔先后(相隔16年)投奔到他们所说的“科学中心”——英国剑桥大学的J. J. 汤姆孙门下。前者作为J. J. 汤姆孙的高足，在无线电、放射性理论和放射线的性质等方面作出举世称赞的成绩。后者因投不逢时，实际上受到冷遇。1911年10月已经获得博士学位的玻尔慕名到卡文迪什实验室，打算在电子发现者和物质的电子组成理论的提出者J. J. 汤姆孙指导下，进行研究工作。但是，时逢J. J. 汤姆孙科学创造时期的末尾¹⁾和行政事务缠身之际，对玻尔要研究的金属电子理论已无心指导。失意的玻尔在1911年圣诞节举行的卡文迪什实验室每年一度的聚餐会上，听到在放射性理论与原子核结构上作出过突出成绩的卢瑟福的讲话，并且了解到他具有领导来自各国年青的优秀物理学家进行实验研究的卓越才能，对卢瑟福留下很深的印象。原子核的发现和核原子模型的提出，对玻尔深入研究电子理论有着更重要的意义。为此，玻尔请曼彻斯特的病理学家J. L. Smith(玻尔父亲的学生和朋友)安排了他与卢瑟福的会见^[1]。卢瑟福谈到他刚参加第一次索尔维物理会议的情况(这次会议的议题是辐射和量子理论)，也提到普朗克和爱因斯坦的看法以及自己对物理学发展前景的看法。这

1) J. J. 汤姆孙经历四个科学创造时期：研究电磁理论，研究气体导电，发现电子和提出物质的电子组成理论，研究正射线。玻尔来时正值他研究正射线的晚期。

次谈话对玻尔以后的科学生涯产生十分重要的影响。正如 J. Mehra 在《索尔维会议》一书中所说：“会议的间接影响是不可估量的。例如，当玻尔在卢瑟福从布鲁塞尔回到曼彻斯特几周后访问他时，从他那里听到索尔维会议的第一次说明。L. 德布罗意的哥哥是第一次索尔维会议的秘书之一，当会议手稿正准备发表时，19 岁的 L. 德布罗意就阅读到会议的讨论情况”^[2]。这说明，玻尔正是从原子有核模型的提出者卢瑟福那里，了解到量子理论的进一步发展情况，种下了他不久将二者结合的种子。

1912 年 4 月，玻尔在卢瑟福指导下开始进行研究工作。他发现卢瑟福的直觉和洞察力正吸引着来自世界各地的青年物理学家，他们坚信卢瑟福的预见是正确的，并展开对他的模型的验证工作。

玻尔是在丹麦成长并在欧洲大陆的学术思想陶冶下走上科学道路的，他的知识基础和治学方法是按德国和法国的物理传统培育起来的，即从几个假设严格推导出普遍性的结论。这种偏重理论的演绎法与英国从经验事实进行归纳的传统不同，因此卢瑟福从一开始就提醒他：“注意不要从比较贫乏的实验证据得出过多的理论”^[3]。玻尔根据卢瑟福的教诲，在这个实验室中又经受英国研究风格的训练。玻尔后来时常提到他经历的幸运环境：“生于一个小国，没有民族自负感，在青年时代就接受了两个世界的优良传统，即‘大陆的’理论传统和英国的经验主义”^[4]。在卢瑟福的实验室，甚至在当时欧洲的科学家中，玻尔的这个特点是独树一帜的。这使他在原子有核结构和辐射的关系理论方面施展才能，他很快意识到放射性蜕变既然必须从核内变化得到解释，则元素的物理和化学性质就只能由核外电子系统决定，而且核外电子系统的组成取决于核外电子数或后来所说的原子序数。这个想法一方面导致他的核外电子具有基态和其他定态轨道思想，另一方面他又通过莫塞莱发现各种元素的谱线与周期表顺序符合，提出核外电子在各环上分配及跃迁的规律。

卢瑟福在识别科学工作者的才能方面，象

他研究物理学一样，有着深邃的洞察力，他很快认识到玻尔的理论才能和想法的重要性。他发现的原子核和提出原子有核模型的方法，是从确凿的实验出发，进行的合理推论。他从一开始就意识到他的原子模型与经典电磁理论背离，因为电子在轨道上运动必然放出辐射而损失能量，最终会陨落到核上，但实验事实却说明它不受射线轰击时是稳定的，因而需要新的理论加以说明。玻尔对普朗克的量子论和爱因斯坦将其应用到光和低温比热问题所取得的成功，早有了解。卢瑟福向他介绍第一次索尔维物理会议讨论的情况，已经在他的思想上萌发了用量子论说明卢瑟福模型的幼芽，至 1912 年早春，他已确信这个模型的核外电子结构由作用量子所控制^[5]。7 月中旬，玻尔得出核外电子存在基态的思想，这可由他在 7 月初和中旬分别给他的未婚妻和兄弟的信^[6]中说法的变化，得到说明。S. Rozental 认为这个想法“也包含着他的论文(1913 年的‘三部曲’——作者注)第一部中发展的理论的第一个萌芽”^[7]。

在这期间，玻尔与卢瑟福反复讨论他的想法的合理性，卢瑟福甚至在紧张地写《放射性物质及其辐射》这本巨著时，仍十分关心玻尔的工作，认为他是自己“遇到过的最聪明的人”。D. Wilson 和 T. Kuhn 根据详细史料考证，卢瑟福早在 1908 年计数 α 粒子和他测定的电子电荷大小与普朗克的预言符合时，就相信了量子理论。这是他“鼓励玻尔应用量子论解释光谱的起源问题”的起因。从 G. Hevesy, A. S. Russell 和 M. L. Oliphant 后来回忆这段关系时的谈话中，可以看出卢瑟福对玻尔的器重和信赖是不同寻常的。玻尔认为卢瑟福“是一位真正的第一流人物，极有能力，在许多方面比 J. J. 汤姆孙更有力”。与卢瑟福接触的短短四个月的时间，使玻尔“进入正确的路子”，“奠定了他在物理学上最大成就的基础，原子结构理论”^[8]。

玻尔于 7 月 24 日回哥本哈根，8 月 1 日结婚后去挪威和英国作蜜月旅行，受到卢瑟福及其夫人的殷切接待，从此结下两个家庭的亲密情谊。

玻尔任哥本哈根大学理论物理讲师，频繁地与卢瑟福通信，汇报自己在原子结构理论研究的进展并征求意见，这可能与卢瑟福在10月发表核外电子有一个以上的具有特定能量的环有关”。玻尔提出电子定态轨道和跃迁的两个基本假设，是“在1913年早春”^[9]。3月6日玻尔将论文第一部分寄给卢瑟福审阅，并请他推荐到《哲学杂志》发表，他在信中说：“我希望你会发现，关于同时应用古老力学和普朗克辐射理论得出的新假设这个微妙的问题，我已经得出一个合理的观点，很乐于知道您对它的全部看法”。3月20日卢瑟福回信称赞他的氢光谱起源的观点非常精确，搞得很好。但是，提了两个很中肯的意见，一个是“把普朗克的观念同古老的力学混合一起，使它很难于形成作为它的基础的物理观念。这里显示了你的假设中的一个严重困难。我毫不怀疑你是完全了解的，即：一个电子从一个稳态过渡到另一个稳态时，它是怎样确定自己的频率呢？对我来说，你好象已假定电子事先就知道自己将在何处趋于停止似的”。另一个是他衷心劝告玻尔，应使文章尽可能简短明晰。末尾注明“我料想你不会拒绝我的判断，删去论文中我认为不必要的任何地方可好？请回答”^[10]。显然，第一个意见切中玻尔的要害，说明他的论点与经典理论的妥协性和存在明显的弱点，成为他长期探索直至量子力学出现才解决的问题。第二个意见使他处于窘迫境地，玻尔后来是以思想敏锐和阐述繁琐闻名的，这时他为了保卫自己思想的正确性，坚持论文所必须的长篇幅，并决心去曼彻斯特当面商讨。3月15日卢瑟福的信中再次称赞论文的精彩和极其合理，却建议在不影响主要内容前提下，可删去三分之一。他写道：“如你所知，与德国的方法相反，把事情搞得简而明在英国是一个习惯”，“象上封信中所说的，很希望你不要发表过长的文章，因为它会把读者都吓跑的”^[11]。玻尔终于到曼彻斯特，经过日夜讨论，仍坚持写法的必要性，使卢瑟福只得让步，只作了文字上的修改并送去发表。6月10日和8月27日，第二、三部分完稿，仍由卢瑟福审阅后送去

物理

发表。“三部曲”是玻尔的成名作，在英国和欧洲大陆引起很大反响，它使已经初步验证但在曼彻斯特之外未引起重视的卢瑟福原子有核模型，迅速得到国际上的承认。卢瑟福和玻尔的第一次结合是极其成功的，它是以公认的“卢瑟福-玻尔原子模型”为象征。

从玻尔蜜月之行至1913年9月经卢瑟福推荐出席不列颠科学促进协会会议，两个人来往信件达12封之多，平均每月一封，这对已经是放射性理论权威和繁忙的卢瑟福来说，是破格的和空前的。

1914年初春，哥本哈根大学要设理论物理教授席位，卢瑟福应玻尔的要求，写了高度评价的推荐书，使玻尔得到理论物理教授的重要职务。他尚未到职，卢瑟福又邀请他继C.G. Darwin任曼彻斯特大学的高级物理讲师，这在当时是一个比在哥本哈根任教授更吸引人的职务。这次是玻尔自荐并冒德国海上封锁的危险，来到卢瑟福的实验室。第一次世界大战爆发，卢瑟福实验室的研究人员几乎都上了前线，卢瑟福本人也参与了英国研制探测德国潜艇仪器的工作，但仍抽时间继续研究E. Marsden在战争爆发前发现 α 粒子轰击氢原子时，出现带电荷的类氢谱线的粒子问题。思想敏锐的卢瑟福马上意识到它的重大价值，在这些研究中玻尔起了一定的作用。从此，开始了他们之间关系的新阶段。

二、友谊与合作对玻尔的深远影响

1914—1916年是卢瑟福的实验室处于战争期间的困难时期，在这期间，玻尔尽力帮助卢瑟福工作。他担任讲课和部分实验工作，同时对他的原子结构量子论加以补充和发展，也有可能同卢瑟福经常讨论他的理论和实验问题。1914年，弗朗克和G. Hertz利用充有痕量水银蒸汽的真空管，发现电子冲击水银原子时，只

1) 见 J. Chadwick, *The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson*, p. 287. 笔者将在《卢瑟福与现代科学的发展》一书中译作说明。

有电子能量大于 $h\nu$ (h 为普朗克常数, ν 为频率) 才能使水银原子变为“受激”的原子, 而放出可检测的谱线, 因而证明了玻尔的核外电子定态轨道和跃迁理论。玻尔立即同卢瑟福实验室的 W. Makower 进行验证, 卢瑟福对此加以鼓励, 并创造了必要条件。1915 年, 玻尔发表《论辐射的量子理论和原子结构》一文, 提出了以下重要观点: 原子具有多种稳态; 辐射的放射和吸收与两个稳态间的跃迁相对应; 电子每进入一个内环必放出各自的特定谱线的辐射。与卢瑟福两年的密切合作, 使他对卢瑟福治学的特点和指导科学研究的方法有了更切身的感受, 他认为这是他最愉快和受益极大的一段经历。1916 年夏天, 玻尔回哥本哈根大学任理论物理教授, 与卢瑟福通过通信密切联系, 卢瑟福对他与索末菲和艾伦菲斯特研究和探讨核外电子椭圆轨道的精细结构, 深感兴趣并予以鼓励。1917 年 12 月 9 日卢瑟福写信告诉他, 自己用 α 射线轰击轻核可能取得重要结果, 次年 11 月 17 日又告诉他实验取得重大进展, 希望玻尔能去曼彻斯特共同探讨其深刻含义和可能取得的结果。但是, 直至 1919 年 7 月停战后, 玻尔才可能与卢瑟福会面, 详细了解人工核转变的情况并讨论有关的理论问题。

玻尔在八年中四次去卢瑟福实验室, 并在那里工作近两年半, 卢瑟福的帮助和自己的努力使他由科研岗位的新兵变成举世闻名的第一流科学家。他对卢瑟福的优秀品德和伟大的国际科学合作的胸怀, 对卢瑟福治学的简单性、直觉和透彻的洞察力, 以及他对卢瑟福善于倾听青年人的意见和指导青年人工作, 并具有组织高效率研究集体的卓越能力, 留下极深刻的印象。他认为“难于用几句话去描绘卢瑟福在科学界的无比地位”, 卢瑟福的实验室是一个全力献身于科学事业的地方, 是既工作又娱乐的场所, 有劳有逸, 使智慧上的成就达到新的高峰, 这一切促使他了解到科研中心到底是怎么一回事, 它对科学发展具有多么重要的意义。早在曼彻斯特时, 他就细心观察, 虚心学习, 准备回哥本哈根后仿效卢瑟福实验室的样子, 建立一个类

似的研究机构。亥姆霍兹说过: “任何人一旦同一个或多个第一流的人接触, 他就必定会有了改变他的余下生活的整个精神量杆”^[12]。Thomas Mann 写道: “每个人都有个模特儿, 按照这个模特儿形成自己的一生”, “毫无疑问, 玻尔自觉和不自觉地向他的模特儿, 这个人就是卢瑟福”^[13]。

三、卢瑟福和玻尔的理论物理研究所

玻尔早在卢瑟福实验工作期间, 就细心观察, 认真学习, 以期回哥本哈根后建立一个类似卢瑟福实验室那样的研究集体。1958 年, 他在一次回忆讲话中, 提到“自从我在 1916 年离开曼彻斯特, 我自然希望应用我在卢瑟福的实验室取得的经验, 并且我以感激的心情回忆起卢瑟福从一开始就赞同和有效地支持我, 在哥本哈根创立一个研究所, 以促进理论物理学家和实验物理学家的密切结合”^[14]。1917 年玻尔向学校当局提出建立一个理论物理机构的意见, 战后学校同意这个建议。正在着手建立之时, 卢瑟福拟把他的实验室发展成现代物理研究中心, 并已设博士学位, 仍打算请玻尔到他那里, 作为理论物理教授与他搭配, 可见他爱才之心深切。他在 1918 年 11 月 17 日的信中写道: “你知道我们是多么喜欢看到你和我们一起一道工作。我想我们两个人能够尝试并使物理学蓬勃发展。请好好想想, 一旦能同意, 请告诉我你的想法”。玻尔于 12 月 15 日回信说: “您知道, 我一直强烈希望能在您身边工作, 以分享您对周围所有人给予的热情和想象力, 我对自己受到如此的恩泽感到高兴……。我也知道它将对我的科学工作是最为重要的”。但是, 玻尔的爱国心使玻尔“感到在这里尽我的力量是我的责任, 虽然我强烈感到, 其结果是我与您一起工作所绝对无法比拟的”^[15]。卢瑟福再次回信, 要他不要把话说绝, 请玻尔到曼彻斯特去看看和谈谈。1918 年 7 月, 玻尔到卢瑟福那里面谈, 并用自己的想法说服了他。玻尔对人工核转变的发现深深钦佩, 认为卢瑟福“创造了他喜欢说的

‘现代炼金术’这门科学，总有一天它将对人类控制自然力产生重大影响”，并认为这是卢瑟福最伟大的成就。

玻尔回到哥本哈根，由于建所基金仍未筹足，致函卢瑟福和索末菲，请他们出面向“卡尔斯堡基金会”申请，结果如愿以偿。研究所于1920年9月底建成，玻尔做的第一件事是邀请卢瑟福出席开幕典礼并讲话，认为这是研究所值得庆幸的大事。根据玻尔建议，哥本哈根大学授与卢瑟福荣誉学位。成立时，卢瑟福实验室的 G. Hevesy 成为研究所的主要成员，继续研究原来的题目：放射性元素示踪，不久又发现了元素钷，他后来因示踪元素在化学过程中的作用的研究获1943年诺贝尔奖金化学奖。但是，在钷的发现权问题上与英国化学家 Scott 发生影响很大的争论，玻尔求助于卢瑟福，卢瑟福同情的回信使研究所全体成员感到欣慰。1922年玻尔因对“原子结构和原子放射性的研究”获诺贝尔奖金物理学奖，这与卢瑟福的推荐分不开，他获得诺贝尔奖金时的讲演题目就是《原子结构》。卢瑟福向玻尔发了电报和祝贺信，玻尔回信说：“这些天，我是多么想念您，我强烈感到我蒙受您多么大的恩泽，不仅因为您对我的工作的直接影响和您的灵感的启示，而且也为了从我有幸在曼彻斯特第一次遇到您之后12年来的友谊”。1923年又由于卢瑟福的推荐，玻尔获得剑桥大学的荣誉学位，当时这是仅次于诺贝尔奖的荣誉，并被接纳为剑桥大学哲学学会会员。

理论物理研究所成立后，与卡文迪什实验室之间的人员与信息交往频繁。卢瑟福接任卡文迪什教授职务后，立即请玻尔到剑桥大学讲学6—8次，并希望玻尔放下手头工作写他原来打算写的《原子理论》一书，由于很忙，未能如愿。此后，卢瑟福实验室的 C. G. Darwin, R. Fowler, P. A. M. Dirac, N. F. Mott 和 D. R. Hartree 等许多人，都曾在此所工作过很长时间。玻尔几乎每年都到剑桥大学了解新的实验发现和讲学。卡文迪什实验室为玻尔研究所提供新的实验事实和验证他们的理论，同时也从他们

那里取得理论上的启发和帮助。例如伽莫夫在玻尔研究所提出核的势垒具有隧道效应之后，访问剑桥时，卢瑟福和考克饶夫采纳了他的建议，于1928—1930年制成60万电子伏的高压倍加器，开创了人工加速粒子使核转变和使科学研究“工业化”的新的历史时期，开始了进行大规模的集体研究的时期。

1925年，正是量子力学诞生的关键的一年，波动力学与矩阵力学奠基者之间存在着分歧，玻尔致信卢瑟福，希望与他讨论这个理论上的困难，卢瑟福宽慰他不能指望在几年内解决一切问题，他们的会见有可能是玻尔邀请薛定谔访问玻尔研究所的原因之一，后者导致两种力学等效的发现和量子力学的哥本哈根解释。二十年代末，国际科学界出现“核物理热”，玻尔曾规定他的研究所重点研究核外电子结构，把核内问题留给剑桥、罗马和巴黎。但是，他和研究所的工作时常涉及核内，后来玻尔也卷入这个领域。1931年，玻尔在麦克斯韦诞辰100周年纪念会的讲话中指出：“现在，整个物理学界都以急切心情在一门崭新的物理领域内进行探索，这门崭新的物理领域就是现任卡文迪什教授卢瑟福领导下的卡文迪什实验室正在进行的工作。我为能有机会表达这种急待的心情而高兴”。这一年，玻尔的研究所扩建，主要是扩大实验设备和能力。次年，核物理进入关键时刻，查德威克根据卢瑟福的预言和指导，发现了中子，考克饶夫和劳伦斯分别在英、美制成加速器，安德孙和布莱克特发现和验证卢瑟福早已预言过的正电子的存在。这三大发现和发明都与卢瑟福直接相关。为此，1932年9月1日卢瑟福应邀访问玻尔研究所并出席其“荣誉楼”落成典礼，发表了著名的《物质转变》讲演。玻尔介绍说：“原子核的基本性质发现的王冠性成就，已经引起物理和化学上末期的巨大发展。……他能证明原子核被 α 粒子破坏，从此开始了科学的新时代，它首次表明一个原子能被外因所改变”。玻尔在丹麦自然科学协会的致词中说：“今天下午我有一个荣幸的但却未料到的任务，即以几句话描述卢瑟福勋爵在科学界的无比地位，

这是一个所有时代都靠他的许多发现所支撑的地位,其中有几个可以说是划时代的创造,如果‘时代’这个词能合理地用于与他所经历的短时间有关的时期的话”^[16]。

玻尔理论物理研究所是按卢瑟福建议的理论与实验相结合的目标,并在他的支持和关怀下成立和发展的。后来,也着手制造加速器,并在逝世前嘱咐他的儿子筹建大型加速器,以开展实验工作。它吸取了卢瑟福实验室的“喝茶时间”漫谈和民主讨论传统,面向国际科学合作,依靠集体的力量和智慧。从可靠的实验事实出发,发展和验证理论。它也吸取了欧洲大陆的优良传统,继承和发展了卢瑟福的经验,终于形成科学史上最广泛的学派——哥本哈根学派。它与卢瑟福的学派,出于同源,对现代科学发展产生重大影响。

四、对现代物理学发展的深远影响

卢瑟福和玻尔的合作,在科学观点、方法、学风和管理上,对现代物理学的发展产生深刻的影响:

(1) 他们的终生友谊和合作,不但改变了几千年的物质观和自然观,而且为领导科研组织进行集体研究和追求科学真理,提供一个伟大的范例。

(2) 从实验出发,提出、验证和发展理论。他们相信自然的简单性和研究方法的直觉性,用敏锐的洞察力揭示出新现象和新观念,开拓了一系列重要新领域。

(3) 向往世界科研中心,拜名师,合作,创新,建立有特色的新学派。从科学的国际性观点出发,打破国家和民族界限,提倡自由讨论与交流。不但会促进了科学的繁荣,而且为现代造就大批优秀人才开辟了道路。

(4) 他们以追求科学真理为己任,一旦邪恶与战争临头,就利用自己的能力和威望,为支

援受害者和反对侵略战争贡献自己的力量。

(5) 他们在物理上做出一系列划时代的巨大成就,并善于培养和造就大批优秀科学家。他们是伟大的科学家,又是伟大的教师,这在科学史上是极少的,他们却集二者于一身,使他们成为科学上的伟人。他们的伟大形象,成为一代代物理工作者学习的楷模。

卢瑟福和玻尔是现代科学史上的一对伴星,卢瑟福去世时,玻尔称他是科学上“最伟大的人物之一”和“我的第二个父亲”。去年,在玻尔诞辰一百周年的时候,全世界的物理学家都在为这位继承和发扬了卢瑟福的优良学风,并在科学上做出划时代贡献的伟大科学家举行纪念活动,以学习他的优秀品德和科学精神。今天,纪念玻尔,就是应该把昔日的曼彻斯特-剑桥学风与哥本哈根精神结合起来,学习其有益的精髓,推动当代物理学的发展。

参 考 文 献

- [1] R. Moore, Niels Bohr, Alfred. A. Knoff, Inc., Newyork, (1966), 38.
- [2] J. Mehra, The Solvay Conference On Physics, Holland, Boston, (1975), 37—38.
- [3] Ref. [1], p. 403.
- [4] S. Rozental, Niels Bohr, Amsterdam, (1967), 46.
- [5] N. Bohr, Reminiscences of the Founder of Nuclear Science, J. B. Birks, Rutherford at Manchester Heywood and Co. LTD, London, (1962), 120.
- [6] Ref [1], p. 43—44.
- [7] Ref. [4], p. 50.
- [8] L. Rozental, Niels Bohr: Collected Works, Vol. I, Amsterdam, (1972), XXI—XXII.
- [9] Ref. [5], p. 122.
- [10] L. Rozental, Niels Bohr: Collected Papers, Vol. II, Amsterdam, (1975), 383, 384, 585.
- [11] Ref. [10].
- [12] H. R. Robinson, Rutherford, J. B. Birks, Rutherford at Manchester, London, (1962), 85.
- [13] Ref. [1], p. 85.
- [14] Ref. [5], p. 142.
- [15] Ref. [1], p. 97—99.
- [16] A. S. Eve, Rutherford: Being the Life and Letters of the Rt Hon. Lord Rutherford, Cambridge, (1939), 361—362.