



# 纪念尼尔斯·玻尔获得诺贝尔物理学奖 100 周年\*

张珍珍 薛莉 赵春然

(淮北师范大学物理与电子信息学院 安徽 淮北 235000)

(收稿日期:2022-09-16)

**摘要:**100年前,丹麦科学家尼尔斯·玻尔由于对原子结构理论的贡献获得了诺贝尔物理学奖.在当前的教材中,对玻尔的描述大都集中在玻尔模型上,但纵观玻尔的一生,就会发现玻尔留给后人的财富不仅在科研成就中,也在于他伟大的人格和精益求精的科研精神.

**关键词:**物理学家;物理学史;诺贝尔物理学奖;量子理论

## 1 引言

在现代物理学这一星空中,曾闪耀过许多明星:马克斯·普朗克(Max Planck)、阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)、尼尔斯·玻尔(Niels Bohr)等.其中,爱因斯坦最为人们所熟知,他推导出的质能方程仍旧是当今最伟大的十大公式之一.诚然,爱因斯坦的成就震古烁今,但纵观现代物理学的发展史,尼尔斯·玻尔在其中也扮演着举足轻重的角色.

玻尔的成就涉及到现代物理学的许多方面.1922年,他因在原子模型等方面取得的巨大成就获得了诺贝尔物理学奖.但他对后世的影响并不仅限于他的物理学成就,他伟大的人格在历史的洪流中熠熠生辉.

## 2 玻尔模型以及科学家玻尔

### 2.1 玻尔原子结构模型

1885年10月7日,尼尔斯·玻尔在丹麦出生.玻尔的祖父是一位语言学博士,他的父亲是在哥本哈根大学任教的生理学教授<sup>[1]</sup>.出生在书香门第,玻尔在小时候就受到了家人的熏陶.玻尔的父亲从小就

引导孩子们观察自然,领略自然的美<sup>[1]</sup>.他还在家中搭建了工作台,培养孩子们的动手能力<sup>[2]</sup>.不仅如此,玻尔的父亲也常邀请不同的教授来家里探讨问题,玻尔也因此能与不同学科的科学家在家中进行交流<sup>[3]</sup>.这种民主型家庭式的教育,对年幼的玻尔产生了深远的影响.玻尔在之后也延续了这种家庭教育方式.

1912年,玻尔在听过欧内斯特·卢瑟福(Ernest Rutherford)的演讲后,敏锐地意识到卢瑟福原子结构的超前性,便转到卢瑟福实验室进行学习,开始研究原子结构.

当时,对于原子结构的研究还处于初始阶段.约瑟夫·约翰·汤姆孙(Joseph Jhon Thomson)在发现电子后,针对原子结构提出了枣糕模型,他认为:原子是一个球体,带正电的粒子均匀地分布在球体内,电子则镶嵌在球内的同心圆环上.但这个模型随后被 $\alpha$ 散射实验推翻.而后他的学生卢瑟福提出了行星模型:原子中大部分体积是空的,正电荷集中在原子内极小的一部分,电子随意地围绕着这一小部分转动,就像行星围绕着太阳.但卢瑟福的行星模型仍有缺陷,它无法解释原子的稳定性.如果电子绕核

\* 安徽省自然科学基金面上项目,项目编号:1808085MA08;安徽省高等学校质量工程项目,项目编号:2021jxtd255,2020rcsfjd35,2020SJJXSFK2160;淮北师范大学质量工程项目,项目编号:2020xylkc004.

作者简介:张珍珍(2000-),女,在读硕士研究生,研究方向为学科教学.

通讯作者:赵春然(1980-),女,硕士,副教授,研究方向为物理教育与教法.

转动,在这个过程中原子会不断向外发射电磁辐射,损失能量,继而出现原子坍塌<sup>[4]</sup>。

对于卢瑟福的行星模型,玻尔并没有持完全否定的态度。经过研究,玻尔指出卢瑟福原子模型的合理性:原子中的核外电子可以决定物质的物理和化学性质,放射性源于原子核。对于其不合理之处,他说:“现在看来,在有关这类问题的定律中,有必要引入一种与经典电动力学不同的物理量,这就是普朗克恒量。”<sup>[1]</sup>

创新总是伴随着“不着边际”,而这也是物理学发展的动力。就像马克思·普朗克(Max Planck)在1900年提出量子化时,谁也不会想到如此“大逆不道”的理论,却就此打开了量子物理的大门。玻尔将量子化同卢瑟福原子结构模型进行结合,提出了自己的原子结构量子模型。

1913年,玻尔相继发表3篇论文来阐述自己的原子理论模型。在这一模型中,玻尔认为原子中的电子只能在一些分立的轨道上绕原子核做圆周运动,且不会产生电磁辐射,即轨道量子化;当电子从一个定态轨道跃迁到另一个定态轨道时,会以电磁波的形式放出(或吸收)一定的能量,能量大小取决于能级差,即能量量子化<sup>[4-5]</sup>。在玻尔原子结构理论中,玻尔提出并运用对应性原理推导出角动量量子化,并在第二篇论文中用角动量量子化算出了氢原子的能量、角频率和轨道半径的量子方程。对应性原理,是指在原子范畴的微观现象与宏观范围内的现象各自遵循各自范围内的规律,如果将微观规律延伸到宏观规律时,所得的结果应该与宏观规律得到的结果一致<sup>[5]</sup>。在往后的研究中,对应性原理一直是玻尔在量子领域研究时的指导思想,也为后来沃纳·海森堡(Werner Heisenberg)建立矩阵力学提供了基础。

玻尔的原子理论在物理学界引发了轩然大波,不少的质疑和反对之音纷至沓来。玻尔也在回应的过程中不断完善自己的理论。19世纪末,美国天文学家威廉·亨利·皮克林(William Henry Pickering)观察出一组波长与氢光谱非常相近的谱线。人们一直认为这些谱线是特殊的氢谱线。这些谱线的波长在套入巴尔末公式时,谱项会出现半整数,而这与玻尔理论

相违背,所以一些人用皮克林系来反驳玻尔的理论<sup>[1]</sup>。而玻尔经过研究,用自己的理论解释了皮克林系。他指出皮克林系并不是氢原子光谱,而是类氢光谱,在计算时,只需将巴尔末公式乘上氢原子序数的平方,谱项就不会出现半整数。经过研究,实验结果与玻尔的结论完全符合。同时,玻尔利用自己的原子理论对氢原子的结构进行计算,得出的结果成功地解释了氢原子光谱,也完美地解开了巴尔末公式之谜。1922年,玻尔因对原子结构理论的贡献而获得了诺贝尔物理学奖<sup>[6]</sup>。

把卢瑟福、普朗克、爱因斯坦的思想结合起来,创造性地将光的量子理论引入到原子结构理论中<sup>[2]</sup>,这就是玻尔的独特之处。以现在的视角审视玻尔模型,它是一个半经典半量子化的理论,但任何事物都脱离不开当时的历史背景,其原子结构理论的先进性是无法否定的。站在前人的肩膀上,敏锐地洞察到新理论的超前性,冲破传统观念的束缚,创造新理论,这正是玻尔留下的智慧财富,也是每一位研究者应具备的科研精神。但玻尔的人格魅力不止于此。

## 2.2 玻尔研究所

在发表了3篇论文后,一些顶尖学府向玻尔抛出了橄榄枝,甚至他的导师卢瑟福亲自写信邀请,但玻尔全都回绝了,毅然决然地回到了哥本哈根大学任教,为丹麦的物理研究工作奋斗。1917年,在玻尔的提议下,哥本哈根大学开始建立理论物理研究所<sup>[7]</sup>。1921年玻尔研究所建立,玻尔出任研究所所长。

在玻尔研究所成立大会上,玻尔说:“研究所不仅是科学研究的场所,而且也是教育中心……极端重要的是:不仅仅要依靠少数科学家的能力与才华,而且要不断吸收相当数量的年轻人,让他们熟悉科学研究的成果与方法,只有这样,才能在最大程度上不断地提出新问题。更重要的是,通过年轻人自己的贡献,新的血液与新的思想就会不断地涌入科研工作。”<sup>[8]</sup>这份海纳百川的胸襟,使玻尔研究所在人才培养方面更为纯粹。在苏联还处于孤立状态时,玻尔就对苏联的青年物理学家抛出了橄榄枝,这在当时是绝无仅有的<sup>[9]</sup>。除此之外,1937年,玻尔就受邀前

往中国进行讲学.在讲学期间,玻尔对中国传统文化十分感兴趣,他甚至将太极图作为族徽的中心图案<sup>[10]</sup>.1960年,玻尔在英国皇家学会成立300周年纪念会上向吴有训表达了研究所里没有来自新中国的物理学者的遗憾,并表示:“有些人想封锁中国,对于一个幅员辽阔、人口如此众多的国家,这是怎么可能的呢?”<sup>[9]</sup>在玻尔去世后,他的儿子奥格·玻尔(Aage Bohr)不负父亲的希望和委托,促进了丹麦与中国于1962年签署了新中国和西欧学术交流的第一个协议.

在任期间,玻尔慧眼识才,邀请了许多物理学家来研究所进行交流、学习,如朗道、海森堡、泡利、薛定谔、狄拉克等,这些人也正是量子力学的半壁江山.在研究所中,没有语言、文化的限制,他们的思想自由地碰撞,就当时的研究热点激烈地争论、大胆地质疑.这种研究氛围大大地促进了量子力学的发展.据统计,20世纪20年代总共有17个国家的60多位物理学工作者在玻尔研究所工作过,其中有10人先后获得诺贝尔奖<sup>[11]</sup>.正如戈革在1988年的丹麦之旅中曾引用了一句古诗词来描述玻尔研究所,“山不在高,有仙则名;水不在深,有龙则灵.”<sup>[12]</sup>玻尔研究所之所以能成为世界物理学研究中心,与玻尔广阔的胸襟、对研究的纯粹和谦和的待人之道离不开关系.

### 2.3 亦敌亦友的关系

提到玻尔,绕不开的一个人物就是爱因斯坦,他们“亦敌亦友”的关系极大地促进了现代物理学的发展.而他们之间的3次论战至今仍为人们津津乐道.1927年,海森堡提出了不确定关系,即粒子在客观上不能同时具有确定的坐标位置和相应的动量<sup>[4]</sup>.对于这一个“本世纪最有革命性的科学概念”,玻尔并没有急于否定,而是通过研究,于1927年9月的纪念伏打逝世100周年的国际物理会议上首次提出互补性的概念<sup>[1]</sup>,“一些经典概念的应用不可避免地将排除另一些经典概念的同时应用,而这‘另一些经典概念’在另一些条件下又是描述现象不可缺少的;必须而且只需将所有这些既互斥、又互补的概念汇集在一起,才能而且定能形成对现象的详尽无遗的描述.”<sup>[4]</sup>

但作为20世纪科学传统继承者的爱因斯坦却对玻尔一方的理论持反对态度.他认为“量子力学固然是堂皇的,可是有一种内在的声音告诉我,它还不是那真实的东西,这理论说得很多,但是一点也没有真正使我更加接近‘上帝’的秘密.我无论如何深信上帝不是在投骰子”<sup>[13]</sup>.

1927年,在布鲁塞尔的第五次索尔维会议上,玻尔受邀又一次阐述了他的互补原理.在这次会议上,双方进行了第一次交手,爱因斯坦设想出了一个电子小孔衍射思想实验,被玻尔进行反击.第一次论战以玻尔胜利告终.双方的第二次交手是在1930年的第六次索尔维会议上,爱因斯坦又提出了一个思想实验“爱因斯坦光子盒”,这次玻尔巧用爱因斯坦的广义相对论进行了反驳,第二次论战又以爱因斯坦失败告终.两次失败让爱因斯坦承认了测不准原理,也承认了量子力学表述形式的逻辑自洽性,但他不愿意像玻尔所呼吁的那样在因果性问题上作出让步,于是他就把自己的攻击力量转向了量子力学的所谓完备性问题<sup>[14]</sup>.1935年,爱因斯坦同鲍里斯·波多尔斯基(Boris Podolsky)和纳森·罗森(Nathan Rosen)发表了一篇名为《能认为量子力学对物理实在的描述是完备的吗?》<sup>[15]</sup>,以对微观世界的认识为辩论点,对量子力学的完备性进行了抨击.同年,玻尔以《物理实在的量子力学描述能认为是完备的吗?》为题做出了反击<sup>[13]</sup>.

爱因斯坦-玻尔的3次论战持续了28年,直至双方先后去世才终结.可以看出,随着论战的深入,谈论的主题愈发地偏向哲学的范畴<sup>[1]</sup>.虽然直到最后双方也没有争论出明确的结果,但这场涉及物理学、哲学的论战产生的影响仍在推动着相对论和量子力学的发展.

虽然在学术方面两人各执己见,但在二战时期两人都为和平作出了贡献.1939年,德国成立了“铀元素协会”,海森堡等一批科学家留在德国进行原子弹研究<sup>[1]</sup>.为了赶在德国前造出原子弹,爱因斯坦等人向美国总统提议研制原子弹.1943年,玻尔从被纳粹占领的丹麦逃到美国,化名为“贝克”参加了研制原子弹的“曼哈顿计划”<sup>[2]</sup>.随着两枚原子弹在日本爆炸,原子弹的威力震撼了一众科学家,使人们认

识到原子弹的使用会给人类文明带来毁灭. 玻尔呼吁:“全世界一致合作,阻止任何一种不把这种新力量用于为全人类服务的作法.”<sup>[1]</sup> 战后,在玻尔的支持下,在哥本哈根筹建了“欧洲核子研究中心”. 这个机构的宗旨是为自然科学的研究,不为军事和商业服务<sup>[1]</sup>. 这也是玻尔作为一名科学家的本性,保持对研究的初心,坚持人道主义精神.

1962年,玻尔在睡梦中逝世,享年77岁. 尼尔斯·玻尔的一生,可以说是传奇的一生. 作为研究者,玻尔用祖述有自的科研思维和入木三分的洞察力,将量子化应用到原子结构中,极大地促进了量子力学的产生和发展;作为学者,玻尔博物通达,泰而不骄,建立玻尔研究所,广招人才;作为和平战士,玻尔坚持人道主义思想,希望把世界引进一条会给全人类带来和平和新繁荣的道路<sup>[1]</sup>. 正如罗森菲尔德所说,玻尔“对于我们这些曾经认识他的人们来说,他所赠予的最宝贵的礼物却是一个光辉的典范——如此热心地献身于真理、如此充满着智慧和人性的一生. 他的姓名写在史册上,和牛顿及爱因斯坦的姓名相并列;他在我们心中占据着那些最亲爱的人们的位置”<sup>[16]</sup>.

### 参考文献

- [1] 本刊编辑部. 二十世纪的科学巨匠——N·玻尔——纪念尼尔斯·玻尔诞辰一百周年[J]. 松辽学刊(自然科学版),1985(4):1-12.
- [2] 杜正国. 玻尔和他的原子理论[J]. 物理教学,1992(4):

28-29.

- [3] 维尔海姆·玻尔. 尼尔斯·玻尔:物理学背后的人生[J]. 中国科技奖励,2013(11):74-77.
- [4] 杨福家. 原子物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
- [5] 曾永志,马靖. 对应性原理和玻尔原子模型[J]. 物理与工程,2008(1):12-14.
- [6] 郭微,孟宪辉,章莺鸿,等. 基于哥本哈根精神的高职生人格培养内涵研究[J]. 现代职业教育,2017(7):24.
- [7] 涂兴佩. 精神领袖玻尔[J]. 中国科技奖励,2015(11):77-79.
- [8] 《物理》编辑部. 向读者推荐一本好书——《玻尔研究所的早年岁月(1921-1930)》[J]. 物理,1985(11):704-705.
- [9] 钱三强. 纪念尼尔斯·玻尔一百周年诞辰[J]. 物理,1986(4):195-198.
- [10] 戈革. 关于尼耳斯·玻尔思想的几点历史考察[J]. 自然杂志,1985(8):549-557.
- [11] 陈波,何彪,李幼真,等. 20世纪的物理学巨匠——尼耳斯·玻尔[J]. 大学物理,2020,39(2):66-68.
- [12] 戈革. 尼耳斯·玻尔研究所——哥本哈根见闻之三[J]. 自然杂志,1989(11):867-869.
- [13] 蔡红颖. 玻尔与爱因斯坦关于量子力学的论战[J]. 周口师范高等专科学校学报,2001(2):55-56.
- [14] 戈革. 量子物理学的兴起和哥本哈根学派[J]. 华东石油学院学报(物理学史),1984(S1):46-80.
- [15] 李田. 科学争论及其解决机制[D]. 广州:中山大学,2011.
- [16] 戈革. 尼耳斯·玻尔和二十世纪物理学[J]. 华东石油学院学报,1982(S1):1-42.

## Commemorating the 100th Anniversary of Niels Bohr's Nobel Prize in Physics

ZHANG Zhenzhen XUE Li ZHAO Chunran

(School of Physics & Electronic Information, Huaibei Normal University, Huaibei, Anhui 235000)

**Abstract:** A hundred years ago, the Danish scientist Niels Bohr won the Nobel Prize in Physics for his contributions to the theory of atomic structure. In current textbooks, the description of Bohr mostly focuses on the Bohr model. However, throughout Bohr's life, it's found that the wealth that Bohr left to future generations is not only in scientific research achievements, but also in his great personality and scientific research spirit of excellence.

**Key words:** physicist; history of physics; the Nobel Prize in physics; quantum theory