

# 玻尔创造性思维的特色

## ——纪念玻尔诞生100周年

朱 亚 宗

**提 要** 玻尔(1885—1962)在长达半个多世纪的科学生涯中,无论从创立原子结构理论到发展量子力学的实证科学研究,还是从对应原理到互补原理的科学哲学思考,处处表现出强烈的创新精神和杰出的创造性思维能力。玻尔的创造性思维的特色同他所创立的物理学的丰功伟绩一样,将在人类科学史上留下不灭的影响和永恒的启示。玻尔创造性思维最显著的特色有四个:综合创新、大胆灵活、哲学思考和群体意识。

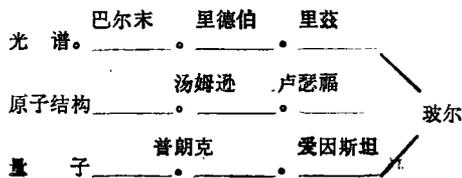
苏联杰出的物理学家朗道,曾将二十世纪最优秀的理论物理学家分为五级,除将爱因斯坦一人定为1/2级外,玻尔被列为一级物理学家的首位。对此,玻尔是当之无愧的。玻尔以自己出色的创造才能和卓越的组织能力,成为本世纪物理学黄金时代的学术领袖。情况正如著名物理学家奥本海默所述:“这是个天翻地覆的年代。这不是哪一个人造成的,它包含了许多来自世界各地的科学家的共同努力。当然,玻尔本人深刻的创造精神和识别本领,自始至终在引导、限定、深化和改变着这一事业。”<sup>[1]</sup>值此纪念玻尔诞生100周年的时刻,探索导致玻尔作出伟大科学贡献的创造性思维的特征,既是对这位科学大师的纪念,也是对颂扬创新精神的现时代的奉献。

玻尔在长达半个多世纪的科学生涯中,无论是从创立玻尔原子结构理论到发展量子力学的实证科学研究,还是从对应原理到互补原理的科学哲学思考,处处表现出强烈的创新精神和杰出的创造性思维能力,玻尔的创造性思维的特色同他所创立的物理学的丰功伟绩一样,将在人类科学史上留下不灭的影响和永恒的启示。从分析得知,玻尔创造性思维有四个最显著的特色,它们是:综合创新、大胆灵活、哲学思考和群体意识。

### 一、综合创新

作为玻尔科学贡献的标志,并使他荣获诺贝尔物理学奖的成就是玻尔原子理论。著名的德国物理学家洪德(F. Hund)在回顾玻尔这一重大成就的历史渊源时指出,玻尔

理论是原子结构理论、量子论（统计）和光谱理论三条发展线路相汇合的结果。〔2〕



玻尔是幸运的。他在大学攻读的时候，物理学领域正在酝酿着微观理论的重大变革，而当年青的玻尔1911年荣获博士学位后雄心勃勃地步入物理学界时，卢瑟福的行星原子模型恰好诞生，创造新的原子结构理论的素材至此已经完备，原子理论变革的时机已经成熟。然而，具备了客观条件和丰富材料，并不等于新理论就会自动诞生，如果没有爱因斯坦的天才创造，广义相对论也许至今仍付阙如，而没有伽罗华的贡献，群论也决不可能产生于19世纪30年代。可以说，没有玻尔天才的综合性创造，光谱、原子结构与量子论三条互相独立的发展线路，不可能立即汇合，也决不可能在卢瑟福行星原子模型刚刚提出两年，就发生原子结构理论的飞跃。这一系列奇迹的迅速产生要归功于玻尔天才的综合创新能力。情况正如著名物理学家弗朗克所述：“似乎是，如果玻尔不创立这种思想，那么也会有别人很快得出这个结论的。这种看法是根本错误的。这个思想得到广大物理学家承认的缓慢过程表明，在本质上需要多么大的勇气、独创和毅力。”〔3〕

玻尔以前的旧原子结构理论，包括卢瑟福行星模型理论在内，在实体模型上大致不错，但有两个最基本的弱点：原子缺乏稳定性和无法准确解释原子的辐射现象。造成这种现象的原因，从思维方式上来说，是玻尔以前的原子物理学家缺乏足够广阔的视野和高度的综合思维能力。在1911年卢瑟福行星原子模型诞生以前，这种高度的综合思维能力尚受客观材料的影响，但在1911年以后，当产生新的原子理论的客观材料均已具备时，关键的问题就在于物理学家的综合创新思维能力了。在物理学强手云集的欧洲，玻尔也十分清楚，自己“只不过是远离伟大科学中心的一个默默无闻的哥本哈根助教。”〔4〕显然玻尔在向新的原子理论高峰攀登时，在很多方面并不占有优势，然而玻尔也有自己独到的过人之处，这就是他高度的综合创新思维能力。与玻尔的综合思维相比，他的前辈和同代物理学家思维的综合性显然要逊色得多。在他以前，物理学家们大多是将原子结构与经典的电磁理论相结合，这种视野狭窄的综合，导致了一个无法摆脱的矛盾——原子结构不稳定。虽然也有人试图用量子理论来研究原子结构，但在玻尔以前，没有任何人想到要将量子论、原子结构与光谱三个方面的知识综合起来。

在1913年2月以前，玻尔的知识结构也还不足以进行全面综合而形成新的原子理论，因为他几乎完全缺乏对形成新的原子理论来说不可或缺的光谱知识。幸运的是，正在他为原子的结构与稳定性问题绞尽脑汁仍百思不得其解的时刻，玻尔的朋友——一位出色的光谱学家汉森刚从哥廷根深造回来，他向玻尔详细说明了隐藏着原子内在奥秘的光谱现象。在玻尔原来的原子结构设想中，曾忽视了光谱现象对原子结构的约束，因为在玻尔看来，光谱的色带太复杂了，没有希望在自己设想的原子结构的基础上作出恰

当的解释，他甚至认为这个难题是无法解决的。但是汉森告诉玻尔，光谱并不是杂乱无章的，他向玻尔介绍了由瑞士物理学家巴尔末所发现、后由瑞典的里德伯加以发展的光谱规律，并将巴尔末光谱公式写给玻尔看。当光谱学的这个新鲜信息进入已经对卢瑟福原子模型和量子论作过深思熟虑的玻尔头脑时，奇迹产生了：具有高度综合创新能力的玻尔，立即将光谱学知识与原有的原子结构知识和量子论知识重新组合和系统化，形成了一个全新的知识系统——玻尔原子理论。玻尔产生这一伟大灵感的顿悟被爱因斯坦称为思维领域内的最高音韵。它是说明创造性思维过程，特别是综合创新思维及其心理过程的最精采的实例之一：

“在汉森指出氢光谱的这些规律分布时，玻尔越来越似听非听了。他已经计算过电子的第一、第二、第三等稳定状态。他知道每一状态的轨道大小。突然，他意识到，稳定状态间的能量差就是巴尔末氢原子光谱中那些特殊谱线所决定的数字。在这一瞬间的领悟过程里，玻尔看出：光谱的谱线可能是电子突然释放出来的能量，它是从一种稳定状态跳到能量较低的另一稳定状态时产生的。

‘我一看到巴尔末公式’，他说，‘整个形势一下子就清楚了’。玻尔有了一个全新的看法，一条全新的线索。这就象是一辆汽车，它只能在一条宽阔的越野公路——比如说三号公路上行驶，而它突然有了直升飞机的本领，跳到了二号公路这条只允许以较低的速度行驶的越野公路上。如果在跳跃过程中伴随着一道闪光发生，就会观测到一种特定的颜色的光”。〔6〕

玻尔出色的综合创新思维能力也表现在他后来的量子力学的研究工作中，波动性和粒子性这样对立的量子现象曾使许多量子物理学家迷惑不解，然而玻尔却将二者创造性地综合起来，成功地提出一种新的“互补”绘景。玻尔的综合思维恰如古罗马门神的“两面神思维”。

## 二、大胆灵活

科学的贡献既可以在传统的思想与通过方法的框架内通过解决难题而求得，也可以在突破传统思想与方法的创新中获取，科学史上后一类创新型贡献的影响往往更为广泛与深远。一般说来，创新型贡献对科学家的知识结构与思维品质的要求也更高，在知识结构上，创新要求更广阔的视野与更广博的知识，而在思维品质上，创新的一个必要条件是大胆灵活，并有突破传统的勇气。科学史上，有许多造诣很深的科学家只能因循传统的思想和方法，而不敢越雷池一步，甚至竭力反对突破传统的新思想和新方法。与这类完全保守型的科学家不同，大多数杰出的科学家则持另一类局部保守型立场。他们曾经在某个时候、在某些问题上作出过突破传统的大胆灵活的创新工作，但在另一些时候或另一些问题上却又反对突破传统的新思想和新方法。如马赫曾经首先对经典物理学的基础发起系统的攻击与批判，一度成为物理学革命的先锋，但是，当新的物理学大厦创建起来以后，马赫却又起劲地反对爱因斯坦的相对论，这是因为他有一个狭隘的不变的经验论哲学思想作指导。苏联著名物理学家朗道在理论物理学领域纵横驰骋，在量子力学、量子场论、粒子物理学、热力学、统计物理学、连续介质力学等方面有卓越的贡献，他提出

了著名的二级相变理论与氦Ⅱ超流性量子论。在这些课题上，正如瑞典著名核物理学家弗·杨诺赫所说，“他能够轻而易举地把自己从他人观念的束缚中解脱出来，去掉其影响”。〔6〕但是，朗道最初听到狄拉克关于电子空穴与正电子的天才预言时，却全然不能理解，他在1931年给玻尔的一封电报中，竟断言狄拉克的预言是“废话”。这明显暴露了他物理思想的局限与自以为是的固执。爱因斯坦突破了那么多经典物理学的传统观念，最后却未能突破经典的因果决定论，因而无法接受量子力学的统计新观念。归根结底，爱因斯坦仍固守着经典物理的某些传统观念。一代数学骄子高斯的保守性又与爱因斯坦不同，他有突破传统观念的大胆设想，却缺乏公诸于世的理论勇气。非欧几何的最早的系统构思无疑是由高斯完成的，但是，“他没有发表过权威性的著作。他在1829年1月27日给Bessel的信上说，他永远不愿发表这方面的研究成果，因为怕受人耻笑，或者如他写的，他怕Boeoti人的嚷嚷，这是借喻希腊的愚笨部落来影射反对他的人。”〔7〕

可以说，科学史上，绝大多数的科学大师都因遵循某种独特的科学思想或方法而作出杰出贡献，但也正因为始终固守这一思想和方法，他们迟早会在某些问题上碰壁或误入歧路，这是科学史上和人才学上带有规律性的普遍现象，很少有人能够逃脱这条规律的制约。但是，玻尔是这样一位罕见的大胆灵活的物理学思想家，在长达半个多世纪的科学生涯中，玻尔虽有失误，却从未因为固守某一传统观念而碰壁或反对科学前沿的新思想和新方法。玻尔难得的紧随时代思潮前进的能力来源于他罕见的大胆灵活的创造性思维。

早在大学时代，玻尔就在一篇应征论文中，大胆地对当时物理学权威瑞利的液体表面张力理论提出挑战，他指出，为了确定表面张力，瑞利理论还需要补充发展，即要考虑粘滞性、稳定后的振幅及周围空气的作用等附加因素，这一发展，竟为三十五年后的原子结构研究提供了线索。而在1909年写作硕士论文时，玻尔又向理论物理学大师洛伦兹的电子论提出了挑战：

“在洛伦兹提出的观点里，看来肯定存在着至少属于概念方面的毛病。洛伦兹的结论都是从电子与金属分子的相互作用不会导致热平衡这一点推断出来的。这样，人们不禁要问，电子的速度是随金属各处的温度不同而不同，那么它是怎样得到的呢？电子的速度只能从与金属分子的碰撞中得来，而按照他的定解来计算，电子是既得不到能量，也不会失去能量的。”〔8〕

在接着的博士论文（《金属电子理论的研究》）中，玻尔又发现当时盛行的金属电子理论中的有些计算“不够十分严格”，甚至在“许多基本点上”，理论和实验的一致是“牵强”的，并指出，“应对金属的电子理论做出更普遍的假设”。而玻尔在他两年以后（1913年）划时代的论文《原子和分子的结构》一文中提出的观点的大胆和新颖，完全出乎当时某些卓有声名的物理学家的预料，以至他们完全未能理解。著名的瑞利认为这篇文章“对我没有用，……对我不适合”。而劳厄和斯特恩当时说：“假如玻尔的理论碰巧是的话，我们将退出物理学界”。

玻尔从不停滞不前，也从从不遵循所谓严格的逻辑道路和方法，玻尔的思想就象一艘升火待发的军舰，随时准备接受任何物理学的挑战，并驶入任何新的思想海洋。这种灵活

的思想特征，玻尔早在大学时代就已经具备，其间的一个重要原因，是他受大学的一位哲学教授于夫丁的影响。于夫丁讲授十六——十八世纪的主要哲学派别，但是，他并不劝说学生信奉其中的任何一种，他强调的是灵活性：“解答是死的，问题却是活的。”<sup>[9]</sup>与“胸有成竹”的研究家迥然不同，玻尔“不会拒绝任何有内容的挑战，不管他多么忙于某一个问题的，只要他认为某个新问题能澄清一个疑点，就会马上放下原来的工作，以同样的劲头来搞这个问题。……这种挑战可能来自国外的一篇论文，也可能来自讨论会上的一种观点，或者是一份讲学请柬，或者是修改过去的某篇论文。随便哪一项挑战，都会使玻尔迸发出一串新的思想。”<sup>[10]</sup>这种思想的灵活性也明显地表现在玻尔的论文写作中，他的论文总是夹叙夹议，各种概念往往很不固定，时常处于变动之中，以至于人们对他划时代的关于原子结构的论文的理解也常有分歧：有人说他只提出了两条假设，而有人却认为有三条假设，甚至还有认为提出了五条假设。理解玻尔这种思维特点与研究风格的人，会说他思想灵活，绝不僵化，甚至说他懂得辩证法，但不理解这种思想与风格的人则将玻尔的思想看作不合逻辑和充满混乱。

然而，玻尔灵活的思维特点与思想方法在今天已为越来越多的人所理解和赏识，当代著名的物理学家惠勒肯定玻尔遵循的灵活的思想道路“正是科学发展的道路”，而当代著名科学哲学家费耶本德提出的否定固定方法的“无政府主义方法论”思想，剔除其不合理的因素之后，正是从哲学思想高度对玻尔式的灵活思维方法的深刻说明。

玻尔思维中的大胆与灵活还可以从他几次未被证实的科学预言中得到更全面的理解。能量守恒与转化定律在十九世纪中叶确立以后，曾受到三次怀疑与挑战，其中第一次挑战由彭加勒发起，另外两次挑战的发起者均是玻尔。1924年，量子力学尚未建立，为了解决光在传播时的波动性与光在吸收和发射时的粒子性的矛盾，玻尔和他的助手克拉麦斯与斯莱特大胆提出，能量守恒定律只在统计平均意义上成立，而在光的吸收和发射的单个过程中并不成立。尽管不久以后创立的量子力学以及康普顿的电子和光子碰撞的实验表明，能量守恒定律与波粒二象性并不矛盾，玻尔关于能量只具有统计性守恒的假设并不正确，但是从历史唯物主义的角度来考虑，在量子力学创立以前提出这样的设想作为探索的一条途径是无可非议的。科学探索没有禁区，科学研究的生命力正在于各种新奇思想和观点的提出、争议和选择，因此在当时的历史条件下，玻尔的假设不失为一个有勇气的大胆构思。与此类似，玻尔又在1930年，鉴于原子核 $\beta$ 衰变的理论困难，而大胆提出在 $\beta$ 衰变过程中能量并不守恒，虽然未来物理学的发展证明玻尔的这一构想也是错误的，而泡利保留能量守恒定律并假设存在中微子的构想是正确的。但是我们并不能因此而完全否定玻尔这一探索的思想光辉，更不能简单地斥之为唯心主义。在玻尔这两次最终被物理实验否定了的假设中，仍然闪耀着玻尔一贯的大胆灵活的思维特色。可以说，如果没有如此大胆而灵活的思维，玻尔既不会尝到否定能量守恒定律的苦果，也不会摘取创立新原子理论的硕果。这恰如爱因斯坦极强的物理直觉既帮助他赢得创立相对论的桂冠，又使他酿成静态宇宙模型的过失一样。科学家同样是人不是神，他们的思维特色和定式，既是他们成功的法宝，也可能是他们失败的原因，同一思维特色与定式在这一场合的有效与另一场合的无力也恰成互补。况且在玻尔失误的假设中，还隐含着一定的真理的辉光，能量守恒定律原非无条件适用的金科玉律，在广义相对论的尺度

上,在时间缺乏均匀性的领域里,能量也并不守恒。能量守恒定律也应有其适用的范围与局限性,这正是玻尔的一个出发点。玻尔在科学探索中,“只要有论据,从不畏首畏尾”的理论勇气和不拘常规的灵活性,将给后人以永恒的启示。

### 三、哲学思考

爱因斯坦在晚年曾经对科学史家科恩说,本世纪初只有少数几个科学家具有哲学头脑。确实,当时绝大多数物理学家还局限于实证的思想和方法之中,这种思想的狭隘性是有深刻的历史原因的。一方面,自然科学家对黑格尔自然哲学与思辨哲学的反感情绪依然存在;另一方面,作为联系自然科学与哲学的桥梁的科学哲学还未曾充分发展与广泛普及,它仅仅流行于少数具有哲学头脑的科学哲学家之中。然而,在这种气氛下,玻尔却作为年轻而富有哲学修养的物理学家登上了科学舞台。1903年,玻尔进入哥本哈根大学前后,选修了父亲的好友于夫丁教授的哲学课,并选了哲学史和逻辑史两门课,年轻的玻尔曾为斯宾诺莎的心物平行论所吸引,穆勒富于哲理的一本小册子——《一个丹麦学生的故事》,对玻尔的震动更大,它激起了玻尔浓厚的哲学兴趣,以致他曾一度考虑改学认识论,并和别人讨论是否有朝一日能写一本关于思维领域的书。而穆勒书中某些寓意深刻的哲理,竟使玻尔终生不忘,玻尔后来在阐述互补哲学思想时经常引用的一句名言:“既是演员,又是观众”,便直接来源于此书。

但是,作为物理学家的玻尔,他的哲学修养和哲学思考有其独特的风格与表现。玻尔并不追求哲学思想的系统性,也不拘泥于哲学的传统思想,他也不为哲学的抽象概念和名词绞尽脑汁。玻尔只是通过卓越的哲学思考来促进自己的创造性思维和扩张自己的创造性成果,和爱因斯坦一样,玻尔也把哲学思考理解为最普遍和最广泛的形式中对知识的追求。事实上,玻尔毕生的科学创造,就是“以一种新的形式包含了他所梦寐以求的那些思想及其联系的哲学宝库”。或者说,玻尔的哲学思考锋芒,主要指向科学成果的普遍化与扩张化。

凡是有哲学头脑的自然科学家,在注重细节性的实证知识的同时,更关注那些具有普遍意义的基本原理,玻尔便是具有这种哲学素质的典型的自然科学家。早在撰写关于金属电子理论的博士论文时,玻尔已经十分懂得从基本原理的角度去考虑问题和寻求答案,当他看出传统的金属电子论的不足时,便提出“应对金属的电子理论作出更普遍的假设”。由此开始,玻尔在一生的科学探索中,始终恪守一条基本原则,答案要在根本原理中寻找。玻尔对“根本原理”的理解要比一般物理学家更为广泛,玻尔心目中理想的“根本原理”不仅应该具有物理学的普遍性,而且应该具有哲学的普遍性。深究每一个具体科学结论的哲学涵义,是玻尔理论思维最显著的特色之一。

对应原理便是玻尔对量子力学诞生以前的早期微观理论进行哲学反思而提出的著名原理。1918年,玻尔为了解释谱线强度这一当时原子理论无法解决的难题,提出了协调经典理论与微观理论之间相互关系的对应原理,在两个相互独立的理论体系——微观物理学和宏观物理学之间建立了联系。这条原理要求,新的微观理论在大质量或大尺寸轨道的极端情况下,应该与经典理论相一致。

对应原理是人类科学思想和方法论宝库中的瑰宝。这条充满哲理性的科学基本原理的光辉绝不亚于使玻尔荣获诺贝尔奖的原子结构理论，而它永恒的生命力和广泛的适用性远非相对正确的玻尔原子理论可以比拟。自从有了对应原理，人们在原有理论的基础上开辟新领域和发展新理论时，便有了一个强有力的约束条件和指导思想：现有的旧理论应作为极端形式而包含于未来更广阔的新理论之中。正如量子力学的另一位缔造者玻恩所评价的那样：自从有了对应原理，“推导出正确的公式的艺术是大大完善了；这些正确的公式离开经典公式，但又转到经典公式”。<sup>[11]</sup>

互补原理（并协原理）是玻尔对微观物理学规律哲学反思的又一成果。1927年，玻尔在对海森伯测不准关系进行哲学思考的基础上，提出了协调微观物理世界各种对立现象的互补原理，玻尔对互补原理的说明是：“在确定的实验条件下，和原子客体的行动有关的报道，可以按照原子物理学中常用的术语说成是和有关同一客体的另一报道互补的，这另一种报道要用和上述条件互相排斥的实验装置来得到。虽然这两种报道并不能利用普通的观念来结合成一种单一的图景，但是它们却代表着有关该客体的一切知识的同等重要的方面。”<sup>[12]</sup>简单地说，原子世界的各个单独的、甚至相互矛盾的侧面如波动性和粒子性，因果描述与时空描述，等等，是彼此互补的，它们只有互相结合起来，才能成为比单独的各个部份更和谐的整体。

玻尔的互补原理，曾受到西方许多著名物理学家的高度赞扬，量子力学创始人之一的约尔且说：“这种思想的启蒙力量，在于它解决了似乎不能解决的谜和清楚地出现在著名的光的二重性问题中的矛盾。”<sup>[13]</sup>美国著名物理学家惠勒甚至称之为“本世纪中最革命的科学思想。”<sup>[14]</sup>但是玻尔的互补原理在苏联和我国曾受到严厉的指责，这主要是受左倾思潮的影响。事实上，玻尔的互补原理是一个伟大的创造，一个跳出了物理学本身范畴的科学思想的创造，它富于哲理，发人深省。在哲学上，它与黑格尔——马克思的辩证法殊途同归，尽管在哲学的视野上它并不系统和精致，也似乎限于唯象讨论，但是作为在西方实证主义哲学思想背景中成长起来的物理学家玻尔，能够在总结物理学最新成就的基础上，提出富于辩证法气息的互补原理，是值得惊赞的。正如西方的皮亚杰通过心理学的研究重新发现马克思的实践概念一样，玻尔通过对物理学的哲学反思也重新发现了黑格尔和马克思的辩证法。从人类文明中两股潮流相互影响和作用的历史高度来考察，玻尔关于互补原理的构想，无疑是两大文明潮流的一个里程碑式的汇合点。正是玻尔哲学探索的这一硕果，促进了西方大批具有实证倾向的自然科学家转向辩证思维，以至西方有见识的自然科学家也一致惊呼，互补原理“急剧地改变了物理学家的世界观，其改变程度大概是空前的。”（狄拉克），它是“人类思维进入新的进化阶段的开始”（奥本海默）。<sup>[15]</sup>

最后需要指出的一点是，玻尔的哲学修养和洞察力与他的物理直觉和数学能力也恰成互补，有不少人指出，玻尔在思维的敏捷与数学的才能上要比自己的同行逊色（参见盖夫、赫尔内克等人的论述），但是玻尔却始终始终是哥本哈根学派的灵魂，其奥秘不仅在于他出色的组织才能，也在于他深邃的哲学头脑，哲学的修养无疑提高了玻尔的气质与智力水平。正如他自己所说，他对物理学的兴趣与其说是数学家的兴趣，还不如说是手工艺人和哲学家的兴趣。

#### 四、群体意识

相对论的创立几乎完全归功于天才的爱因斯坦一个人，而量子力学却是一代才华横溢的物理学家群体的创作，这一差异深刻地反映了作为伟大个体思想家的爱因斯坦与具有强烈群体意识和组织才能的玻尔在思想风格上的区别。玻尔与那些习惯于“形单影只”、孤军奋战的科学家不同，他在自己周围集结起一批才华出众的物理学家，创立了科学史上罕见的经久不衰的哥本哈根学派，从二十年代开始的数十年间，玻尔研究所的所在地哥本哈根一直是“原子物理学的首都”和物理学家的“麦加”，据曾在哥本哈根工作过的杨福家教授的统计，在二十年代到玻尔研究所工作一个月以上的学者共63人，来自17个国家，其中10人先后获得诺贝尔奖金。

玻尔一方面善于激发周围的研究人员产生新的物理思想，另一方面也善于从他们身上吸取新的思想养料。玻尔与哥本哈根学派成员之间相互促进与学习的主要方式是讨论，在哥本哈根学派看来，讨论与实验同等重要，“科学基于实验，但是，只有通过科学工作者的交谈、商讨，才能使实验结果获得正确的解释。……科学扎根于讨论”（海森伯）。〔16〕1926年底至1927年初，玻尔与海森伯的持久的激烈争论促成了著名的测不准原理的诞生：“玻尔与海森伯夜以继日地探讨量子力学的本质。理想实验一个个被提出来，各种释解一个个被驳倒。在研究所顶层海森伯居住的阁楼里，灯光通明。玻尔认为关键是对波粒二象性的理解，海森伯则认为需要一种数学形式来体现量子力学的本质。两人争论了几个月，精疲力尽，”〔17〕随即，奇迹便产生了：海森伯在一次深夜散步的时候，萌发了测不准关系的思想，而玻尔从挪威渡假回来后提出了互补原理。构成量子力学哥本哈根解释两大支柱的测不准关系与互补原理是在哥本哈根的思想撞击中迸发出来的两道耀眼的辉光。

人们虽然都承认不同观点和思想的撞击有利于产生创造性的新思想，但是却很少有人能最大限度地利用这种形式去促使自己和同伴的研究工作。之所以如此，一个普遍的心理障碍是羞于下问。然而，玻尔却完全没有这种心理障碍，他具有彻底的开诚布公的品格和虚怀若谷的美德，为了追求学术的进步，玻尔采取了彻底的讨论式和彻底的不耻下问。1961年5月，玻尔最后一次访问苏联，当他在一次讨论会上作报告后，有人问他，为什么你能在自己周围聚集那么多具有创造性才能的青年物理学家？玻尔回答说：

“可能因为，我从来不感到羞耻地向我的学生承认——我是傻瓜”。但是朗道的亲密合作者栗佛席茨将玻尔的话错译为：“可能因为，我从来不害臊去告诉学生——他们是傻瓜”。当时在场的著名物理学家卡皮查深刻指出，这个误译并非完全出于偶然，“确切地说，玻尔和朗道两个物理学派的不同之处，就在于此”。〔18〕缺乏足够的民主作风的朗道，曾经因为压制沙皮罗的一篇创造性论文而使苏联物理学家错过一次获得诺贝尔奖金的机会。

玻尔用强烈的群体意识培植起来的群体创造性，开创了物理学研究工作的新局面。从此，物理学研究的主流思想要求物理学既基于实验，又扎根于讨论，而以爱因斯坦为最后一位卓越代表的伟大个体思想家的时代也随之一去不复返了。

## 参 考 文 献

- [1] R·穆耳, 尼尔斯·玻尔, 科学出版社, 1982年, 第159页。
- [2] F·Hund, Path to Quantum Theory Historically Viewed, Physics Today, 19, NO.8, 1966。
- [3] 赫尔内克, 原子时代的先驱者, 科技文献出版社, 1981年, 第248页。
- [4] R·穆耳, 尼尔斯·玻尔, 科学出版社, 1982年, 第54页。
- [5] 同[4], 第56页。
- [6] 成功与失败, 自然辩证法通讯杂志社编, 第76页。
- [7] [美] M·克莱因, 古今数学思想, 第三册, 上海科技出版社, 1980年, 第287—288页。
- [8] [美] R·穆耳, 尼尔斯·玻尔, 科学出版社, 1982年, 第26页。
- [9] 同[8], 第14页。
- [10] 同[8], 第179—180页。
- [11] 赫尔内克, 原子时代的先驱者, 科技文献出版社, 1981年, 第256页。
- [12] N·玻尔, 原子物理和人类认识, 商务印书馆, 1964年, 第29页。
- [13] 萨契柯夫, 论量子力学的唯物主义解释, 上海人民出版社, 1961年, 第46页。
- [14] J·A·Wheeler, Physics Today, 16(1963), No.10, 38~45。
- [15] R·穆耳, 尼尔斯·玻尔, 科学出版社, 1982年, 第162页。
- [16] 王福山主编, 近代物理学史研究, 复旦大学出版社, 1983年, 第46页。
- [17] 同上, 第46页。
- [18] 成功与失败, 自然辩证法通讯杂志社编, 第79—80页。

## The Characteristics of Bohr's Creative Thinking

Zhu Yazhong

### Abstract

In his scientific career of over half a century, Niels Bohr showed his strong creativeness and outstanding ability of creative thinking in the founding of the theory of atomic structure and the positivism of quantum mechanics as well as in the scientific philosophical thinking about the correspondence principle and the complementary principle. Just like the great achievements in the physics founded by him, the characteristics of Bohr's creative thinking will have tremendous influence and eternal enlightenment in the human history of science. The four most remarkable characteristics of Bohr's creative thinking are: synthesizing and bringing forth new ideas, being bold and quick-witted, philosophical thinking and group consciousness,