

二十年代的玻尔研究所

杨福家

(复旦大学)

丹麦哥本哈根大学玻尔研究所创立于1921年3月，它的创立是近代物理发展史上的大事。它不仅为原子物理、量子力学和原子核物理的发展作出了重大的贡献，而且为国际物理学界创立了一种独特的学术气氛——很多人爱称它为“哥本哈根精神”。回顾对近代物理说来颇为激动人心的本世纪二十年代的玻尔研究所的发展，可使我们得到很多有益的启示。

玻尔的爱国主义

1913年，丹麦年青的物理学家尼尔斯·玻尔(Niels Bohr)发表了有关原子结构的三篇论文，为原子学说开辟了崭新的一页。他的理论，不仅解释了许多已有的实验现象，特别是近三十年来一直是谜的氢原子光谱，而且还预告了一系列新的结果并为实验所证实。从而使玻尔在国际物理学界赢得了崇高的声誉。很多国家请他去长期工作，特别吸引他的当然是他的导师和知友卢瑟福(E. Rutherford)的邀请，优越的工作条件、高于他国内薪金一倍以上的报酬，……。但是，玻尔决心在自己所诞生的国土上建立起国际研究中心。由于他的辛勤努力，一个不到五百万人口的国家，成了当时国际物理学的三大中心之一，并一直为许多物理学家誉为“物理学界的圣地”。

玻尔在1917年4月写报告给哥本哈根大学，要求建造一座350米²的楼房，拨款18万丹麦克朗(约合当时的三万美元)，创立以研究原子为主的研究所。1918年11月，丹麦教育部批准了这一计划。1920年年底，房子造成，1921年3月3日研究所举行成立典礼。

“原子”研究所的创立

1921年3月3日，丹麦报纸头版头条报道了“大学的原子研究所今日成立”的消息，登了研究所主要人员的照片，其中有：三十五岁的玻尔教授，他担任所长，一直持续了四十余年；丹麦光谱学家汉森(H. M. Han-

sen)副教授，他在所里工作了七年，后来创办哥本哈根生物物理研究所；匈牙利籍物理化学家海维赛(G. de Hevesey)教授，他在所工作了六年，在此期间，他对铅元素的发现、示踪同位素的应用作出重大贡献，后获诺贝尔化学奖；德国弗兰克(J. Franck)教授，他以“弗兰克-赫兹”实验而出名，依此实验证明了玻尔提出的原子中量子态的存在，他在研究所里只逗留了三个月，帮助建立电子与原子碰撞的实验装置，但他是研究所经常来访者之一；瑞典理论学家克喇末(H. Kramers)博士，他二十一岁来到丹麦，与玻尔整整合作了十年，1926年去荷兰任教，他作为玻尔的学生，从对原子一无所知到对原子学说作出了重要的贡献，并进而培养了像克莱茵(O. Klein)那样杰出的理论物理学家。除了这五位主要人员外，在研究所创立时还有二位年青的科研人员：丹麦1919年大学毕业生、实验工作者，雅柯伯生(J. C. Jacobsen)，他在研究所一直工作了五十年，是所内的实验骨干；挪威理论工作者，罗斯兰(S. Rosse-land)，他在研究所工作了五年，他首创性地把新的原子学说用于天文学，后来成了杰出的天文学家。

还有二位后勤人员：一位是技术员奥尔逊(H. Olsen)，管理金工车间，维护大楼整洁；一位是女秘书休兹(B. Schultz)¹⁾，她在研究所里一直工作了半个世纪。

这九个人就是当时研究所的全部人员。他们在350米²的大楼²⁾里开始了工作。

理论与实验相结合

研究所成立时的正式名称是：哥本哈根大学理论

- 1) 就是在她的记事本里，作者看到了所有到过玻尔研究所工作的中国学者的名字，其中包括周培源(1929)、张宗燧(1938)和胡宁(1948)等老一辈的物理学家。
- 2) 在当时这座楼内，宿舍几乎占一半。玻尔一家、技术员奥尔逊一家都住在楼内。来所工作数月的客人有时也住在顶层角楼。

物理研究所¹⁾，其实，当时的“理论物理”一词是指基础物理。玻尔在研究所创立的开始，就十分重视理论与实验相结合，当时，不论是实验还是理论，主要目标都是原子结构。

玻尔先请了德国哥廷根大学的实验物理教授夫兰克来所工作数月，把著名的夫兰克-赫兹实验装置移植过来，在大楼的半地下室里建立了电子与原子碰撞的实验设备。另外，和原子结构关系密切的光谱实验由汉森和雅柯伯生建立。化学实验则由海维赛建立于大楼的底层。

他们研究了塞曼效应、 α 粒子在物质中的阻止本领、由电子轰击激发各元素的光谱等，都为玻尔的理论工作提供实验数据。

在20年代该所最大的实验成就可说是第72号元素的发现及其一系列性质的详尽测定。他们命名新元素为铪(hafnium，哥本哈根的拉丁拼法)，以纪念它的诞生地。对它性能的测定证实了玻尔的预言。

科研与社会相结合

玻尔一向认为，让社会各行业的人了解自己的科研工作，从而取得人们的支持，对研究所的发展至关重要。为此，他一方面鼓励在所内开展与其它领域相关的科研工作，例如把放射性同位素示踪技术用于生物，特别是首创性地用于医学，引起了各界的注意。另一方面，玻尔研究所十分重视科学普及工作。

克喇末教授与图书馆管理员何斯特(H. Holst)在1922年合写的“原子与其结构的玻尔理论”一书十分通俗地介绍了原子学说，引起了国内外广泛的兴趣。它很快被译成多国文字，著名学者卢瑟福专门为英文版写了序言。

研究所领导还鼓励一些人员到国内外演讲，通俗地介绍自己的成果。他们相信卢瑟福的一句名言：“只有为商店店员所能理解的理论才是好的理论。”

曾在20年代末在此工作过数年的著名物理学家伽莫夫(G. Gamow)，更是科普工作的积极分子。他在科普方面花的精力是如此之多，以致有人说：“他著名的 α 粒子贯穿势垒的理论成了他业余工作的产物。”他发表了为数众多的漫画、科普文章，通俗地介绍相对论及量子论。作者曾看到过他的一幅原作，印象极为深刻：一个明月高挂的夜晚，一家人正在壁炉旁喝茶聊天，突然一辆汽车从火炉中冲了出来，使大家大吃一惊！原来这是量子物理世界，被关在壁炉旁的汽车内的汽车不能静止，一直在运动（不确定关系，量子力学最基本原理）。虽然被关闭在屋内，但有一定几率破门而出（势垒贯穿理论，伽莫夫的最著名的贡献！）

科普工作的结果，使丹麦公众都对玻尔研究所十分关心。例如，1924年在丹麦报上登了一条广告，研

究所要雇用一名助手。虽然1924年是丹麦在20年代里失业率最低的一年，但前来申请这一缺额的人竟有227人，年龄从20岁到60岁不等，其中有牛奶场的工人，也有风琴制造者。

科学扎根于讨论

玻尔研究所在20年代最重要的贡献显然是建立量子力学。如果说相对论主要归功于爱因斯坦一个人，那末，量子力学却有不同的特色，它是一代人集体努力的结果。

玻尔以他的崇高声望在自己周围吸引了一批杰出的年青人，创立了哥本哈根学派。在20年代先后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人先后得到诺贝尔奖金。正是在这些人的日以继夜的努力下，新的概念一个个出现了：矩阵力学、泡利不相容原理、不确定关系（即测不准关系）、互补原理、量子力学的哥本哈根解释，……。由于篇幅关系，我们在这里只能作些简单介绍，着重讲讲不确定关系是怎样提出来的。

1924年，刚从大学毕业不久的23岁的海森堡(W. Heisenberg)从德国首次来到哥本哈根。当时已享有盛名的玻尔，发现与他讨论问题很有兴趣，就陪他作了几天的旅行，欣赏丹麦西兰岛优美的风景。两人背着小包，睡在小客栈里，从政治、地理讨论到哲学、物理。这就是从20年代开始的、玻尔研究所内师生关系的生动写照。

在与玻尔、克喇末共事了十个月以后，海森堡充分认识到，要摆脱老量子论的困境，必须放弃用经典概念去看原子过程的任何企图，需要认真对待的只是实验上可观察的物理量。按此原则，并利用对应原理²⁾，海森堡建立了矩阵力学，它比较偏重于物质的粒子性。不过半年，奥地利物理学家薛定谔(E. Schrödinger)，在物质具有波性的基础上，提出了波动力学。矩阵力学与波动力学的出发点完全不同，但在解决问题方面（例如氢原子的光谱），却得到完全相同的结果。1926年夏天，薛定谔与泡利(W. Pauli)证明，两种不同的形式只是数学上的差异，本质完全一样。1926年冬狄拉克(P. A. M. Dirac)在哥本哈根进一步给出了量子力学的一般形式，证明海森堡与薛定谔的两种表示只是它的特例。

- 1) 不过，长期以来，人们爱称它为“玻尔研究所”，虽然正式命名是在1965年，以纪念当时已病故的尼尔斯·玻尔八十诞辰。
- 2) 对于玻尔1913年发表的那篇划时代的文章，很多人只注意到它成功地算出了里德堡常数，却忽视了它隐含的精华所在：对应原理。而海森堡却牢牢地抓住了这一精华。

量子力学的基础已经形成,一大批青年学生和物理工作者把量子力学应用于各种实际问题,得到了丰硕成果。1927年,玻尔研究所的访问学者的人数(24人)、发表论文的数目(47篇)都创历史纪录。

但是,在量子力学的物理涵义方面仍存在着深刻的分歧:薛定谔认为他提出的波动方程中的波函数本身代表了描写物质分布的、真正的、可观察的物理量。他反对玻尔在1913年引入的量子态之间跃迁发光的概念,他认为光辐射的产生,是两种驻态物质波同时激发又发生相互干涉的结果。他的主要想法是要放弃不连续概念,而用连续的数学函数来描写一切过程。这种观念为普朗克(M. Planck)、爱因斯坦(A. Einstein)和劳厄(von Laue)等著名学者所欢迎,他们希望在经典物理的框架内来理解原子现象。但是,这种观念为哥本哈根学派坚决反对,玻恩(M. Born)提出:薛定谔波动方程中的波函数模的平方才代表在某时某地发现电子的几率;对原子现象的描述,原则上只能是统计性的。

为了弄清问题,1926年10月玻尔邀请薛定谔到哥本哈根。玻尔与海森堡一起和薛定谔整整辩论了一个星期。他们两人坚决相信,薛定谔在正确的公式外面套了一层错误的解释。但是,在认定薛定谔是错的同时,又怎么用正确的观念来解释一些实验现象呢?像云室中的电子径迹那样简单的现象,都无法用理论来描述。在薛定谔离去后,玻尔与海森堡日以继夜地探讨量子力学的本质。理想实验一个个被提出来,各种解释一个个被驳倒。在研究所顶楼海森堡居住的角楼里,灯光通明。玻尔认为关键是对波粒二象性的理解,海森堡则认为需要一种数学形式来体现量子力学的本质内容。两人争论了几个月,精疲力尽,都需要独自思考的时间。于是,玻尔到挪威去度假,海森堡独自留在哥本哈根。

一天深夜,海森堡在面对研究所的公园中散步的时候,突然觉察到电子在云室中的径迹并非真正轨迹:

“我们经常说,可以观察到电子在云室中的轨迹,但是,我们实际观察到的只是一系列水滴,离开真正的轨迹差得很远呢!”他同时想起了爱因斯坦与他讨论问题时讲过的一句话:“正是理论,它决定了我们可能观察到什么。”应该有个理论,由它决定电子的轨迹可被描述到什么程序。

海森堡从公园回到顶楼,在一番运算之后,得到了著名的不确定关系。它是量子力学中最基本的原理;它告诉我们经典概念可被应用到何种程度,它决定了对量子力学体系作几率描述的必然性,它使我们容易地理解辐射和物质的波粒二象性。

1927年3月,玻尔从挪威回来,提出了互补原理。它与不确定关系一起成了量子力学的哥本哈根解释的两大支柱。

不确定关系的提出,生动地说明了海森堡的一段名言:“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。”

在结束本文时,我们愿意引用1961年苏联学者朗道(Л. Д. Ландау)向玻尔提的一个问题:“您怎么成功地创办了国际上第一流的物理学派、第一流的物理研究所?”玻尔回答说:“可能是因为,我从来不怕羞耻地向青年们承认自己的愚蠢。”坦率、热烈、自由而平等的学术讨论气氛,恐怕就是“哥本哈根精神”的核心,也是作者三次访问玻尔研究所得到的最深刻的印象。

作者感谢玻尔研究所吕亭格(E. Rüdinger)博士的协助,也感谢奥格·玻尔(Aage Bohr)教授的有益讨论,他的两本赠书^[1,2]给予作者很大的帮助。

参 考 文 献

- [1] S. Rozental (edit.), Niels Bohr, North-Holland Pub. Co., (1968).
- [2] P. Robertson, The Early Years, Akademisk Forlag, (1979)