

纪念尼尔斯·玻尔一百周年诞辰¹⁾

钱 三 强

今年是伟大的丹麦物理学家尼尔斯·玻尔诞辰一百周年。

1885年10月7日，玻尔出生于丹麦哥本哈根的一个知识分子家庭。他的父亲是丹麦皇家科学文学学院的院士，是一位著名的生理学教授。玻尔和他的弟弟、著名的数学家哈·玻尔，自幼就受到家庭浓厚的科学、哲学、文学和艺术气氛的熏陶。

1911年，玻尔获得哥本哈根大学的博士学位。同年10月，年青的博士来到英国剑桥大学卡文迪许实验室深造。第二年3月，他转到曼彻斯特大学。那里的实验室领导人是卢瑟福，他进行了一项开创原子时代的研究工作，即通过 α 粒子在原子上的大角度散射实验，证明原子的绝大部分质量是集中在一个极为微小的原子核中，它的尺度只有原子的万分之一。卢瑟福的发现和他在实验室里关于放射性研究的最新进展，深深地吸引了玻尔，他很快就认识到卢瑟福所发现的原子结构会带来意义深远的物理学革命。

在本世纪的第一年，德国物理学家普朗克通过他对热辐射的研究指出，热辐射放出的能量是不连续的，只能以一份一份不连续的“量子”的方式放出。1905年，另一位德国物理学家爱因斯坦提出，光也是不连续的，它是由一个一个的“光子”构成的。卢瑟福的发现使玻尔认识到，原子世界的奥秘和量子有密切的关系，牛顿力学和经典的电动力学是不适用于原子现象的。

为了证实这种想法，玻尔一头扎进卢瑟福的实验室里，不分昼夜地工作。他提出：元素的化学性质和物理性质，由原子核外的电子决定，而元素的放射性质则直接与原子核有关；由放射性元素放出的 α 粒子及电子，来自原子核；原子所含的电子数目决定原子在周期表中的位置，也就是说，在决定原子的化学性质上，原子

序数比原子量更根本。当时，在卢瑟福实验室中，分离放射性元素的失败使玻尔提出有些原子的电子数目相同，但原子核的质量不同，这些原子因而有着完全相同的化学性质，但有着不同的原子量。这种见解是如此新颖，一时连卢瑟福也接受不了。但不久实验证明玻尔的见解是正确的，玻尔指出的那些原子，后来被称为“同位素”。

与此同时，玻尔还用卢瑟福的原子模型分析了荷电粒子在通过物质时的行为，推导出它在物质里的射程与它的速度的关系。玻尔在推导过程中考虑是如此详尽，使量子力学建立后所作的更精确的推导只给出微小的修正。

1912年7月，玻尔回到丹麦。在曼彻斯特停留的短短四个月中，他的工作成果是惊人的，但更重要的是通过这一阶段的研究，使他从经典电动力学不适用于原子领域这个观念向前跨出了关键的一大步，形成了把普朗克和爱因斯坦的量子理论用于决定原子状态的想法。

在上一个世纪的开头，人们就发现了太阳光谱里有着不连续的谱线。其后经过几十年的努力，物理学家证明了在不同的化合物的光谱中，都有着不连续的谱线，而且认识到这些谱线与化学元素的性质密切相关。到了上一世纪的后期，不同元素数以千计的谱线的波长测量得极为准确。有些杰出的光谱学家如巴尔末和里德堡，正确地推测到这些谱线与元素的性质，特别是与它们在周期表中的位置密切相关。他们把繁多的光谱线分成不同的系列，得到不同的经验公式来说明它们的波长关系，例如，对于氢原子，它的谱线频率可以用如下的经验公式写出：

1) 本文未在纪念玻尔诞生一百周年大会上报告，但其摘要在人民日报(1985年10月17日)与光明日报(1985年10月25日)刊登过。

$$\nu_{nm} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

其中 n, m 是整数, R 是一个常数(后来被称为里德堡常数)。不过很显然,在原子结构被发现之前,这些推测还只能停留在很初步的阶段。

玻尔正确地认识到光谱学所提供的正是原子结构的信息,特别是里德堡的经验公式为他提供了建立原子系统的量子理论的关键性的依据。经过几个月努力的探索,在1913年初玻尔提出了他著名的原子理论,这个理论的基本假设有两个:原子系统只能处在一系列能量分立的稳态上;原子系统可以从一个稳态跃迁到另外一个稳态上,这时伴随着光辐射量子的发射或吸收。

在经典物理学中,作变速运动的带电粒子是会由于放出光辐射而失去能量,这样一来,原子里围绕原子核运动的电子将不断地损失能量,亦即卢瑟福所建立的原子图象是不稳定的,但事实上却并非如此。玻尔理论的第一个假设,就是说普朗克所提出的能量量子化的概念,不但适用于热辐射,也适用于原子系统,原子中的电子,只能处在一系列能量分立的稳态中,处在一个稳态上的电子,不能象经典电动力学预期的那样,连续地放出光辐射。玻尔的第二个假设是,原子中的电子可以从一个稳态过渡到另外一个稳态,这个过程伴随着光的吸收或光的辐射,视这两个稳态的能量的相对大小而定,所放出的或吸收的光的频率由爱因斯坦的光量子能量与频率的关系公式给出。而且,为了说明原子的稳定性,原子必须存在一个能量为最低的稳态。在玻尔的理论中,里德堡常数不再是一个经验常数,而是一个由电子的电荷和质量以及普朗克常数完全确定的数。

玻尔的理论随即在卢瑟福的实验室里接受了氦原子光谱实验的考验。当时新发现了一系列的谱线,发现者认为它们是氢原子发出的,但是和玻尔的理论不符;而玻尔指出这是氦发出的,而不是氢原子发出的。实验证明玻尔是正确的。这样,玻尔的理论随即被用于分析各种谱线,获得了巨大的成功。由于他对原子结构

模型的研究,他获得了1922年的诺贝尔奖金物理学奖。

尽管玻尔的理论系统地解决了复杂的光谱线之谜,但是他并没有停留在已取得的成就上,他清楚地意识到他的理论远不是一个完善的理论,还只是一个经典理论和量子理论的混合:在理论的两个基本假设中,稳态的性质由经典理论给出,而稳态之间的过渡性质则由量子理论所描述,他对此很不满意;而且由他的理论触发的一系列重要的实验如原子的X光谱学实验、电子激发原子的实验、在电场里的光谱线实验等结果,都要求理论进一步完善。摆在玻尔面前的是建立一个能在微观现象中描述量子过程的基本的力学。为此,玻尔提出他著名的“对应原理”,寻求经典理论与新的量子理论对原子系统的描述的对对应关系。按照对应原理,经典的辐射理论不但在具有很大量子数的稳态之间的量子跃迁这个极限情况下成立,而且在量子数不大的稳态之间的跃迁也应成立。虽然应用“对应原理”的论证得到很多重要的结果,但玻尔很清楚,他的理论还不是一个完整的理论。他曾经尝试过使量子跃迁理论与传统的经典理论框架相容,但是在1924年,他和他的合作者得出结论:这只有在原子这一层次上放弃能量和动量守恒定律才是可能的。他甚至提出,能量和动量守恒定律只有在统计意义下才是对的,对单个的原子过程可以不成立。但过了不久,康普顿的实验证明,对单个的原子过程,能量和动量守恒也是成立的。他认识到这个实验事实的正确性之后,在1925年7月指出:“经典电动力学所需的推广,要求对迄今为止人们探索到的对自然的描述来一次深刻的革命,对此必须有所准备”。

这次革命在几个月之内就发生了。这是由年青的海森堡在玻尔的“对应原理”的思想引导下掀起的,其后经过玻恩、约当、狄喇克、薛定谔等许多物理学家的努力,一门描述原子现象的新的力学——量子力学建立起来了,这是玻尔一直在追求的。新力学要求有完全与经典力学不同的物理概念,它是在激烈的争论过程中从

旧力学中脱胎而出的。在这个过程中，哥本哈根成为量子力学发展的最大的中心。从1916年起，丹麦为玻尔建立起一个理论物理研究所，在他身旁聚集了一批出类拔萃的年轻物理学者，玻尔对他们的影响是很大的、深远的。他不但鼓舞和引导他们努力探索，而且在量子力学发展中的一系列关键问题上（如测不准关系、测量过程在微观描述中所起的作用等）也作出过重要的贡献。在确立微观现象与宏观现象的物理规律的本质上的差异方面，在建立新力学和哥本哈根解释的艰巨过程中，玻尔所起的指导性作用是会永远载入物理学史册的。此外，他还是新力学的强有力的辩护士，但这使他卷入一场与爱因斯坦毕生的学术争论中，物理学家为这场争论感到幸运，因为争论的每一个回合都使人们对量子力学的本质有更深入的了解。

三十年代是物理学变化急剧、新发现层出不穷的年代。原子核嬗变、中子、正电子、人工放射性，这些发现接连而来，把玻尔注意力吸引到原子核物理上去。1936年费米在罗马做的慢中子在原子核上的反应实验，引起全世界的注意。乍看起来，中子和质子的区别只在于质子带正电，而中子不带电，它们在原子核上的反应除了电的性质之外应当完全一样，但费米的实验结果却并非如此。在一系列的特定能量（共振能量）上，慢中子在原子核上有异常大的俘获几率。这个性质是质子和原子核的反应所没有的。

费米的实验引起玻尔巨大的兴趣，使他发展了复合原子核的理论。玻尔指出，原子核可以设想为一只浅碗，碗里装有许多小球，它们是质子和中子。中子和原子核的反应，相当于用一个小球来撞这碗里的小球，其结果是使得碗里的小球都动起来。如果撞入的小球速度很低，可想而知，结果是碗里的小球的速度都不够大，不能够逸出碗外，这时，碗里的小球就多了一个。这就是复合原子核的概念。不过这个复合的原子核是处在很高的激发态上（因为碗里所有的小球都在动）。实验上发现的共振能量实际上就是复合原子核的能级。一个原子核是

不能长时间处在激发态上的，这些小球彼此撞来撞去，经过足够长的时间，便会有一个或几个小球集中了足够多的能量，获得足够大的速度，离开浅碗。这个图象和液体中的分子从液体中蒸发出来相仿。因此，原子核可以看作一颗液滴。从这个反应的图象出发，玻尔的研究取得很大的成功。不久，玻尔又把他的理论扩充到另一种情况下的核反应过程——入射粒子能量较大，不形成复合原子核的“直接相互作用”过程，引入光学位势，得到很好的结果。

1938年秋，法国的约里奥-居里夫人和南斯拉夫的萨维奇证明铀和钍被中子轰击后产生放射性镭的同位素。得到这个信息后，德国的哈恩(Hahn)和斯塔兹曼(Strassmann)用很精确的方法于1939年底证明铀在慢中子的轰击后产生放射性钡的同位素。镭和钡都是元素周期表中靠中间的元素。这个新发现震动了科学界。在瑞典的两位科学家 Meitner 和 Frisch 经过详尽的分析后意识到，这只能是铀原子核的裂变，就是铀在慢中子的轰击下裂成两片质量和电荷大致相等的碎片，其中的一片就是钡，而且在裂变过程中放出巨大的能量。其后弗里许在哥本哈根用实验证实这个观点：原子核是可以裂变的。玻尔马上认识到这个发现的极端重要性，很快地从复合原子核和原子核的液滴图象出发，结合统计物理的方法，建立起原子核裂变的理论。这又是一个开创性的工作，对后来原子能的应用所起的作用是十分重要的。

1943年，由于在纳粹占领下的丹麦面临作为人质被逮捕的危险，玻尔不得不逃离丹麦，经过瑞典转去英国和美国，而且马上参加了制造原子弹的工作。在原子弹尚未试验之前，玻尔就看到原子武器可能给人类文明带来的灾难。他指出，如果原子能掌握在世界上爱好和平的国家手中，这种能量就会保障世界的持久和平；如果它被滥用，就会导致文明的毁灭。

战后，玻尔回到饱经劫难的丹麦，在他面前是一个满目疮痍的欧洲和分裂的世界。他为恢复丹麦的科学研究努力工作，为全世界的原子能的和平利用进行呼吁，为促进各国科学家之

间的国际合作不断作出努力。他是目前欧洲最大规模的国际合作组织欧洲原子核研究中心(CERN)的发起人之一。这个中心的理论部,在日内瓦的总部建成之前,一直设在他的研究所里,搬走之后,在他的研究所里又成立了北欧国家的联合研究机构。

玻尔对中国的文化和中国人民一直有着深厚的感情,他的徽章用的就是中国阴阳太阳图案。1937年夏天,玻尔夫妇和儿子汉斯来中国,访问了上海、杭州、南京、北平等地,在中央研究院、浙江大学、北京大学等单位作了关于原子和原子核的演讲。我那时刚从清华大学毕业不久,在北平研究院物理研究所工作,玻尔来参观物理研究所,又在北京大学演讲,对原子的结构和原子核的图象讲得深入浅出,深深地吸引了我们这些听众,他的关于复合核的概念对于我后来做有关裂变的工作有很大启发。当时吴有训先生陪同他们游览了明陵和八达岭长城,中国历史悠久的文化给他留下极深刻的印象。

玻尔研究所以促进国际学术交流和培养年青的科研人才为己任。在苏联建国后不久,玻尔就邀请了苏联的年青物理学家盖莫夫、朗道等去访问,这些人中有不少后来成为苏联物理学领域中的重要人物。这在苏联当时还处在孤立的状态下确是绝无仅有的。我国解放前,他的研究所里,陆续有一些中国的物理学者去访问过,其中包括周培源、张宗燧、胡宁等。解放后,由于种种原因,他的研究所里一直没有来自新中国的物理学者,他对此深感遗憾。1960年在英国皇家学会成立三百周年纪念会上,吴有训

见到玻尔,玻尔提起这件事,他当时还说:“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?”吴先生向他表示中国愿意接受丹麦方面的邀请。两年之后,玻尔邀请了我我国在苏联联合原子核研究所工作的青年物理学者冼鼎昌到他的研究所工作。1962年底,我们邀请他的儿子奥格·玻尔来中国访问。奥格·玻尔当时主持玻尔研究所工作,他后来因原子核集体运动的研究而获诺贝尔奖金物理学奖。在他访问期间,丹麦和中国达成一个长期学术交流的协议,这是我国和西方国家进行学术交流的第一个协议。这个协议开辟了两国物理学家学术交流的宽广的道路,一直继续到现在。

我们曾期待着玻尔能够重访中国,但是就在奥格·玻尔访华的日程结束即将启程离京的时刻,我突然得到玻尔逝世的消息。我随即赶到北京饭店,向奥格·玻尔表达了我国科学界对这位科学伟人逝世的深切哀悼。

继承玻尔的遗志,奥格·玻尔于1973年又来中国访问,作了非常精辟的关于原子核集体运动的学术报告;他的研究所陆续邀请我国十余名青年物理学者去工作,其中有冼鼎昌、杨福家、卓益忠、曾谨言等,对培养我国原子核物理骨干作出了贡献。

我十分满意地回顾这些年来中丹两国物理学者卓有成效的交流和合作,我预祝两国青年学者的学术交流取得更大的成绩,对科学的发展作出更大的贡献。

哥本哈根精神的启示

——纪念伟大的丹麦物理学家尼尔斯·玻尔诞辰一百周年

周光召

今年是丹麦伟大的物理学家尼尔斯·玻尔(Niels Bohr)诞辰一百周年,全世界的物理学家都在开会纪念他。他不仅是一位杰出的物理

学家,同时又是一位杰出的教育家和社会活动家。他提出的原子结构和量子理论,原子核复合模型和裂变理论等开始了近代物理和化学的