

# 量子力学创始人海森伯生平简介

邢志忠 编译

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)



2001年12月5日是量子力学创始人之一海森伯诞辰100周年纪念日。这一天在海森伯成长和工作的慕尼黑市组织了有多位世界著名物理学家参加的纪念活动。其实早在2001年9月德国冯洪堡基金会就在巴伐利亚州小城邦堡市召开了纪念海森伯诞辰100周年的国际大会,与会者包括来自世界各地的近百位专家学者(笔者本人也有幸应邀参加了这一盛会)。在这两个会议期间,海森伯的闭门弟子瑞辛堡等人举办了介绍海森伯生平、科学贡献和社会活动的图片展览。会后有关展览内容经瑞辛堡和威尔莫编辑成册,题为Werner Heisenberg 1901—1976: Schritte in die Neue Physik(即《沃纳·海森伯1901—1976:探索新物理之路》),由德国Sax-Verlag Beucha出版社公开发行。本文摘取编译了该书中总结海森伯生平的部分章节,以飨读者。

## 一、海森伯的青少年时代(1901—1924年)

海森伯1901年12月5日出生于巴伐利亚州小城乌尔兹堡。1910年海森伯一家迁居巴伐利亚州首府慕尼黑市。他的父亲在慕尼黑大学担任中世纪及现代希腊语言学终身教授。

1911年海森伯进入久负盛名的慕尼黑马克希米廉斯中学,并获得巴伐利亚州马克希米廉斯基金会颁发的奖学金。他的外祖父曾任该校校长。海森伯的中学时代恰逢第一次世界大战。1917年至1919年间他作为志愿者服务于战争后方,从事救助工作。1920年海森伯以优异成绩完成了中学学业,转入路易·马克希米廉斯大学(即慕尼黑大学)开始学习物理、数学、化学和天文学。

在大学第一学期海森伯想加入数学家林德曼的研讨班,却被拒绝了。他转而选择物理学家索末菲作为导师。索末菲教授精通原子理论,引导海森伯进入了新兴的量子论最前沿领域。1922年冬季索末菲带领海森伯来到格丁根大学聆听物理学大师玻尔关于原子结构的系列讲座。年轻的海森伯给玻尔

留下了深刻印象,两人的师生友谊也从此开始。

索末菲为海森伯选定的博士学位研究课题是一个经典难题——湍流。经过深入研究,海森伯提出了一种巧妙独到的解决湍流问题的方案。索末菲对海森伯的才能青睐有加,曾写信给他的父亲称赞道,“你的家庭出了一位物理学与数学奇才”。尽管受到实验物理学家韦恩的刁难,海森伯还是通过了博士论文答辩,于1923年夏天毕业。

获得博士学位后,海森伯受聘于格丁根大学,担任物理学家玻恩的助手。这时他的主要研究兴趣转到了量子理论。经过一年的努力,海森伯在格丁根顺利通过了申请终身教授职位的资格考试。1924年9月他离开格丁根,以洛克菲勒基金会研究员的身份奔赴他向往已久的理论物理学圣地——哥本哈根大学玻尔研究所。这是他人生的一个重要转折点。

## 二、量子力学的诞生(1924—1927年)

在哥本哈根访问数月后,海森伯于1925年5月返回德国,暂时任教于格丁根大学。1926年5月他再次访问哥本哈根大学,担任理论物理学讲师和玻尔的主要研究助手。作为量子力学的创始人之一,1924至1927年是年轻的海森伯学术生涯的第一个颠峰期。

玻尔与索末菲的半经典原子理论假设电子在围绕原子核的固定轨道上转动。这一理论取得了很大成功,但在解释几个关键实验结果(如光谱的反常拉曼效应和辐射性质)时却彻底失败了。为了克服玻尔-索末菲模型的缺陷,玻恩、海森伯和泡利在德国以及玻尔等在丹麦分别展开了深入细致的研究工作。1925年6月在海格兰岛养病期间,海森伯的研究有了突破性进展,从而导致了全新自洽的原子理论——量子力学的诞生。之后不久,玻恩、约丹和海森伯在格丁根大学建立了量子力学的完备数学体系,称为矩阵力学。

当时量子力学有 5 种不同的数学体系:(1)矩阵力学,由玻恩、约丹和海森伯在格丁根建立;(2)  $Q$ -代数,由狄拉克在剑桥建立;(3) 积分方程理论,由兰肖斯在法兰克福建立;(4) 算符力学,由玻恩和维艾纳合作完成;(5) 波动力学,由苏黎世大学的薛定谔于 1926 年根据德布罗意在 1923 年提出的物质波思想推导建立。在这 5 种不同表述中,薛定谔的波动力学最为实用,因为它的数学形式直观简洁,可以计算当时所有的原子问题。

如何诠释量子力学波函数的概念是 1926 年理论物理学界的一大焦点。经过一番辩论,薛定谔的“连续诠释”观点被玻恩的“统计诠释”观点和狄拉克-约丹的“统计变换理论”驳倒了。1927 年海森伯首次提出并证明了量子力学的“测不准原理”。紧接着玻尔发展了“互补性原理”。至此量子力学的基本概念得到了完备自洽的物理解释。

### 三、莱比锡——原子理论的新中心(1927—1933 年)

早在 1926 年春天海森伯就收到邀请,莱比锡大学有意提供给他一个特聘教授职位。但是他放弃了这个难得的机会,赴哥本哈根访问并同玻尔一起工作。莱比锡大学的教授职位后来给了索末菲的另一个得意门生温奇尔。1927 年年关前后,莱比锡大学的两位物理学终身教授德司考蒂意斯和维艾纳相继去世。他们空出的实验物理学教授职位由索末菲的第一个博士生德拜填补上,而理论物理学教授职位则给了海森伯。

海森伯于 1927 年 10 月到莱比锡任职后,立即吸引了许多天才后生前来求学。他带领学生们开始了凝聚态量子力学的研究工作,并同其他原子理论研究中心(比如哥本哈根,格丁根,慕尼黑和苏黎世)一直保持密切的学术交流。他与苏黎世的关系尤其特殊,因为他的密友泡利在苏黎世高等工业大学工作。泡利于 1928 年获得了理论物理学终身教授职位。

当 1928 年夏天温奇尔离开莱比锡去苏黎世大学接替薛定谔时(后者已于早些时候赴柏林大学就任以量子论的创始人普朗克命名的终身教授职位),罗斯道克大学的洪特加盟海森伯的研究所并担任数学物理终身教授。洪特与海森伯早在格丁根就是好朋友,两人在为人与教学等方面相得益彰,吸引了大批年轻学生和著名学者从世界各地前来莱比锡参加他们的讲座与研讨会。此外,与数学家们的密切合作使海森伯进一步巩固了量子力学的数学基础。

名噪一时的“莱比锡大学周”是由德拜组织的。

这一活动促进了现代物理和化学的理论与实验方法的广泛交流。在第一次大学周活动中,狄拉克做了关于相对论电子的全新量子理论的讲演。

### 四、周游世界及荣获诺贝尔奖(1929—1933 年)

1929 年 3 月初海森伯完成了一篇重要的研究手稿,概括了他两年来推导相对论性量子场论的尝试和结果。之后他开始访问美国,首先到达东海岸的麻省理工学院(波士顿)和哥伦比亚大学(纽约),接着来到芝加哥大学并做了题为“量子理论的物理原理”的系列讲座。

当时海森伯的朋友狄拉克正在威斯康星大学访问。两人相约一道去了美国西部,游览了著名的黄石国家公园和加州大学。后来他们经由夏威夷访问日本。海森伯和狄拉克向汤川秀树等日本同行介绍了他们各自在量子力学方面的最新研究工作。最后海森伯取道中国和印度返回了莱比锡,而狄拉克则穿越了苏联经由莫斯科回到剑桥。

这趟世界之旅大大提高了海森伯本人和量子力学的知名度。1932 年他再次应邀访问美国。许多美国和日本学生及学者频繁来莱比锡求学或讲学。国际著名的物理学大会(如 1930 年和 1933 年在布鲁塞尔召开的索尔维会议和 1931 年在罗马召开的核物理大会)也纷纷邀请海森伯参加并做报告。这些国际大会以及玻尔研究所举办的精英荟萃的小型研讨会激发了海森伯的物理思想同时也传播了他的最新研究成果,其中包括关于原子核结构的理论和关于宇宙线中的高能基本粒子过程的理论。

1933 年底海森伯名至实归,荣获 1932 年度的诺贝尔物理学奖,该奖项肯定了他对量子力学理论及其应用的创造性贡献。与此同时,诺贝尔奖评委会宣布将 1933 年度的物理学奖颁发给狄拉克和薛定谔,以表彰他们对新的原子理论的杰出贡献。

### 五、“犹太物理学”与“德意志家庭”(1933—1939 年)

1933 年初由新纳粹政府蓄意煽动的第一波种族歧视浪潮对德国各大学造成了严重冲击。海森伯在格丁根的老师玻恩和弗兰克不得不移居国外,他的助手布劳赫离开了莱比锡,原先的学生如佩尔斯和泰勒以及原来的助手贝克等都无法在德国的大学保留原职。1933 年 11 月,首次针对海森伯的人身攻击开始了,原因是他拒绝在一篇向希特勒献媚的致词中签名。然而海森伯依旧公开反对政府强行解雇更多的犹太同事,尽管他和他的朋友们的这种努力在残酷的现实面前是徒劳的。

在犹太学者被驱逐出德国各大学和研究所之后,科学界的纳粹帮凶们加强了他们反对普朗克、冯劳厄和索末菲的活动。更有甚者,他们把矛头指向年轻的海森伯,因为在这些人眼中海森伯是“犹太物理学”(特别是相对论和量子力学)的主要代表人物之一。海森伯成功地抵制了用心险恶的诽谤,但最终他没有被当局允许去接任他的导师索末菲在慕尼黑大学的终身教授职位。此后,现代物理学的研究环境在德国急剧恶化,而美国则在许多方面取代德国处于领先地位。

许多莱比锡的同事在这段困难时期给予了海森伯巨大帮助和安慰。1937年4月,海森伯与苏玛赫结婚,组成了一个典型的“德意志家庭”。两人共生育了七个孩子。有限的国外旅行以及那仍旧具有国际水准的莱比锡理论物理研讨会使得海森伯能够和世界范围的量子物理学家们保持一定程度的联系和交流。尽管战争的阴云笼罩欧洲,尽管收到名声卓著的美国大学的高薪聘请,海森伯经过一个夏天在巴伐利亚的阿尔卑斯山避难之后依然于1939年8月返回莱比锡。

#### 六、从和平到战争:核物理与核能源(1935—1945年)

在20世纪30年代海森伯继续探索一个能够满足相对论的量子场理论。他为此与泡利和其他苏黎世的同行开展了合作研究。海森伯和他的学生在高能宇宙线和介子理论方面也做了大量工作,并和日本著名物理学家汤川秀树就有关问题通过书信进行探讨。他成功地创立了莱比锡理论核物理讲习班,在国际上久负盛誉。这个讲习班直到第二次世界大战爆发后才被迫停办。

1938年12月哈恩和思特拉斯曼发现了铀裂变。这一发现使得原子能的开发和利用成为可能。1939年9月战争在欧洲爆发,德国军械局把利用铀裂变制造核武器的研究立项,并招海森伯来领导这个项目。海森伯首先在理论上分析了“铀裂变机器”的工作原理,然后和他的莱比锡同事进行了实验研究。1942年春天他们相当肯定地得出结论,建立以天然铀为燃料和以重水为缓冲剂的核反应堆是现实可行的。

到了1942年年中,纳粹军械局将上述铀裂变项目转交民用部门负责。海森伯被任命为凯撒-威海姆物理研究所所长兼柏林大学教授,计划在柏林进行核武器的具体研制和大规模实验。由于战争条件

的限制,该计划直到1945年初才在德国南部小城海格劳赫实施并近乎取得成功。

尽管海森伯肩负战时秘密使命,他仍被允许数次出访国外,其中包括1941年9月的哥本哈根之行。海森伯是否在哥本哈根将德国的核武器计划泄露给了玻尔已成为一个历史谜团。就海森伯本人而言,他希望访问交流能使自己与丹麦、荷兰、匈牙利以及瑞士的同事和朋友保持学术联系。

在欧洲战事即将结束时,一个美国特别分队逮捕了海森伯和其他9位德国原子物理学家。他们被拘留在英国将近一年,接受盟军的秘密审讯。在拘留所里,海森伯等人获悉了日本广岛和长崎被美军原子弹摧毁的消息。第二次世界大战以核武器的研制成功和毁灭性使用而告终。

#### 七、重建德国和欧洲的物理事业(1945—1957年)

1945年10月,和海森伯一同被拘留在英国的德国物理学家哈恩荣获1944年度的诺贝尔化学奖——该奖项肯定了他率先发现铀裂变的科学意义。在这之前,英国物理学家及政府科学顾问布莱克特已经同哈恩,海森伯和冯劳厄讨论了重建德国科学事业的可能性。

重建工作是在盟军的严格监督和限制下展开的。由于饱受战火的摧残,德国当时一片废墟。几个前凯撒-威海姆学会所属的研究所迁到英美控制区,由马克思-普朗克学会统一领导。这样海森伯将他的物理研究所从柏林迁至格丁根,并增加了基本粒子物理和天体物理等新学科。不久以后海森伯与英国、意大利、瑞士和西班牙的同行恢复了密切的学术交流。日益广泛的国际交流慢慢冲淡了盟军原定的对德国科学家从事原子和原子核物理研究的种种限制。

在重振西德的科学事业过程中,海森伯和时任马普学会主席的哈恩起了关键作用。1949至1951年间,海森伯担任德意志研究院院长。他同时是西德政府处理核问题的科学顾问。到了20世纪50年代中期,西德也参加了一些开发利用核能的项目。然而海森伯、哈恩、冯魏茨塞克和其他科学家坚决反对政府生产制造任何核武器。他们为此于1957年4月发表了著名的格丁根限制核武器宣言。

1952年6月,由海森伯等人倡议的欧洲核子研究中心(CERN)在日内瓦正式创建。这是一个以研究基本粒子和原子核的性质与相互作用为目标的国际物理中心,海森伯是该中心的首任科学政策委员

会主席。德国的许多科研机构(如海森伯任所长的格丁根物理研究所)都参加了欧洲核子中心的合作项目。

1953年海森伯担任战后重建的冯洪堡基金会主席,邀请世界各国的优秀青年学者到西德的大学和研究所从事科学研究和交流。他担当这一职务达27年之久,直到去世。如今冯洪堡基金会名声显赫,受它资助过的学者遍布全世界。

#### 八、科学、政治、哲学和艺术(1955—1976年)

通过战后的各种活动,海森伯逐步规划和重组了德国的基础科学研究。特别是在马普学会内部和所谓“大规模科学研究”计划方面,海森伯起的作用影响深远。1958年9月海森伯回到慕尼黑,将他原先的研究所扩展为国际著名的马克思-普朗克物理和天体物理研究所,并与比尔曼共同担任所长。以此为模式,海森伯又在慕尼黑附近的伽兴市推动成立了马普等离子体研究所和马普大气物理所,在斯坦堡市推动成立了马普生态环境研究所。

对于海森伯来说,一个关于物质的最基本成分的理论应该基于对称性、简单性和完整性。这不仅反映了他作为物理学家的深邃洞察力,也是他的世界观的思想基础。他认为对称性、简单性和完整性是概括物质世界的普遍规律的出发点,可以从物理学、化学和生物学延伸到人类意识、社会秩序、宗教行为和艺术活动的各个方面。

海森伯晚年致力于建立一个描述基本粒子及其相互作用的统一量子场论。他的研究工作最初得到

了泡利的支持,但是后来泡利开始怀疑海森伯的物理想法并最终退出了合作。海森伯的有关研究结果虽然在1959年后陆续发表,却没有被物理学界广泛接受。这种情况是他以往不曾遇到的,也很令他失望。尽管如此,他的所谓非线性旋量场理论包含了许多具有创新意义的物理思想,启发后人最终成功地建立了电磁和弱相互作用的统一量子理论。

虽然战后德国分裂成东西两个不同的政治实体,这并没有影响海森伯偶尔从西德造访属于东德的莱比锡。他于1958年在莱比锡物理研究所和1967年在萨克逊科学院的讲演吸引了大批听众,造成了广泛的影响。

1976年2月1日,一代物理学宗师海森伯在慕尼黑逝世,享年75岁。

#### 作者简介

邢志忠,1987年毕业于北京大学物理系,1993年获得中科院高能物理所博士学位。之后在慕尼黑大学和名古屋大学从事基本粒子物理理论研究,2001年初回国并任高能所研究员。主要研究方向包括中微子物理、B与D介子物理、CP对称性破坏、以及新物理唯象学。目前已



发表学术论文近100篇,被国内外同行引用超过1200次。

#### 科苑快讯

##### 太阳光会在哪里“终止”

几乎在所有人类建造的宇宙飞船上都装有太阳能电池板,即利用太阳能作为宇宙飞船的工作电源。例如在位于近地轨道的国际空间站上,太阳能电池板具有非常大的结构。但是距离太阳越远,则来自太阳的光线就越少,究竟到什么时候或距离太阳多远时宇宙探测器的太阳能电池板就会缺乏足够的太阳光来产生电能呢?

我们在地球上看到的太阳是一个巨大火球,它如此耀眼以致根本无法用肉眼直接观看。但是在太阳系其他行星上观看太阳就完全不是这样,比如说在冥王星上着陆后,即在太阳系中距离太阳最远的

第九颗行星上,我们看到的太阳就像地球上看到的一颗普通恒星一样。

对于目前安装在现代宇宙飞船上的太阳能电池板来说,太阳光的“终点”是在地球绕太阳运转轨道半径4倍的距离上。在那里太阳光的强度比地球上减弱16倍,4倍地球绕太阳运转轨道半径比火星绕太阳运转轨道半径(相当于1.5倍地球绕太阳运动轨道半径)还要大,但比木星绕太阳运转轨道半径(相当于5.2倍地球绕太阳运动轨道半径)要小。航天专家正在研制更灵敏的光电池,他们相信新型光电池不久将会确保宇宙飞船所需的电能,即使是在宇宙飞船飞往太阳系最边缘的太空。

(周道其译自俄《宇宙信息分析高架网》2002-01-13)