

## 麦克斯·玻恩——令人回味的大师\*

厚宇德

(浙江省台州师范专科学校物理系 浙江临海 317000)

摘要 介绍了玻恩的生平和卓越贡献,探讨了他获得成功的原因,从而展示了对后人的启示.

关键词 矩阵,统计诠释,微扰论

### IN COMMEMORATION OF A GREAT TEACHER——Max Born

Hou Yu-De

(Department of Physics, Taizhou Teacher's College, Linhai, Zhejiang Province 317000, China)

**Abstract** The outstanding contributions of Max Born lead us to probe the reasons for his achievements for the enlightenment of future generations.

**Key words** matrix, statistical interpretation, perturbation theory

物理学家麦克斯·玻恩(Max Born)1882年12月11日生于德国的布雷斯劳(该地现属波兰),1970年1月5日逝世于哥廷根.2000年是他逝世30周年,现谨以此文表达对其无限的敬意.

#### 1 生平简介

玻恩同爱因斯坦一样也是犹太人,父亲曾在布雷斯劳大学教授解剖学.玻恩很小时就常和姐姐到父亲的实验室里去,后来还被允许去听父亲和朋友们的讨论.这些无疑为玻恩的成长提供了良好的科学氛围.

1901年玻恩进入布雷斯劳大学,开始学习拉丁文、希腊文和数学,但他更爱读荷马史诗.遵父嘱不立刻确定专业而听不同学科的演讲,听科学课、哲学课和艺术史课等等.最初最感兴趣的是天文学.但由于学校天文台的设备少得可怜不久就厌倦了.继而集中精力钻研数学,打下了扎实的数学基础,从罗桑斯教授那里学到了矩阵理论.利用假期到苏黎士,从数学家胡尔威兹那里,了解了数学的现代分析精神.

1905年,玻恩去哥廷根“朝圣”.在哥廷根,他主要师从希尔伯特和闵可夫斯基.不久,即成为希尔伯特的私人助理,有更多的机会同数学大师交流,不仅学习了包括物理学的数学,还学到了大师对社会和

国家的传统制度的批判态度.玻恩不喜欢克莱因的演讲,因此两人关系不大愉快.因此玻恩不敢冒险学习克莱因的几何学而又转学天文学,师从天文学教授卡尔·施瓦尔兹茨奇尔德,在他的帮助下,1907年获博士学位.

在哥廷根,值得一提的是玻恩听了理论物理学家沃尔德玛·福格特的光学演讲,并选了他的光学实验方面的高等课程.这为玻恩后来从事光学研究并撰写几部著作打下了基础.

毕业后,玻恩必须服一年兵役.由于身患严重的气喘而短期即退役.在服兵役期间,晚上在马厩值勤时,他就以马背做书桌,在艰苦的环境下仍勤奋钻研.

之后,为了更多地学习物理,玻恩去英国剑桥大学六个月,在其他方面收获甚微,但J.J.汤姆孙的实验给了他极深的印象.

从英国归来,玻恩回到家乡母校布雷斯劳大学,试图提高自己的实验技巧,但没能达到目的.因此又转而研究理论问题.这时他接触到了爱因斯坦的狭义相对论.玻恩把爱因斯坦的思想和闵可夫斯基的数学方法相结合,发现了一个新的直接计算电子的电磁能的方法.他把文稿送给了闵可夫斯基,闵可夫

\* 2000-05-23 收到初稿,2000-08-01 修回

斯基立即邀请他去哥廷根共同做相对论方面的研究工作。

1908年12月,玻恩到了哥廷根,但1909年元月闵可夫斯基即去世了。正当玻恩一筹莫展之际,福格特教授向他提供了一个讲师的职位。从此,他与奥多尔·冯·卡曼住在同一幢房子里,两人经常讨论物理问题,在讨论中接触了爱因斯坦的固体热容量理论,两个人合作发表了著名论文“关于空间点阵的振动”。

1909年,在萨尔茨堡会议上,玻恩结识了爱因斯坦,从此两人开始通信。1969年,慕尼黑出版了由玻恩编辑并注释且有海森伯和罗素撰序的《爱因斯坦和玻恩夫妇通信集》,全书117封信函凝结了二人的终生友谊。

1914年,柏林大学为玻恩提供了一个教授职位,以分担普朗克的一部分工作。1915年春,他迁往柏林工作,但很快由于战争而被迫参军,在一个炮兵研究机构声学测位部门工作,一有时间,仍从事纯科学研究。在马德隆的帮助下,和兰德成功地完成了离子性晶体内能的测定工作;与化学家哈伯一起,设计了玻恩-哈伯循环过程,从而能根据纯物理数据测定化学反应热。

当时,劳厄在法兰克福任教。为了方便与其老师普朗克接近,他建议同玻恩对调。因此,1919年玻恩到法兰克福任教授,继续从事点阵能量及其化学结论方面的研究,并和学生P·勒尔特斯合作,在实验上证实了分子的电偶极子的力学效应。1921年,玻恩被提议接德拜的班,出任母校哥廷根大学物理系主任。在母校,他从1921年一直工作到1933年。在这期间,哥廷根不仅是世界数学研究中心,而且被玻恩建设成为物理学研究中心之一,与柏林(普朗克和爱因斯坦)、慕尼黑(索末菲)和哥本哈根(玻尔)并列,形成哥廷根学派,许多物理学家均受益于此,如泡利、海森伯、约当、狄拉克、维格纳、罗森菲和加莫夫等等。

1933年纳粹上台,玻恩被迫离开德国。1933—1936年,在英国剑桥大学任教。在这之后,玻恩到印度工作了半年。再之后,接替C.G.达尔文任英国爱丁堡大学教授,直到1953年退休。退休后不顾爱因斯坦等朋友的不满回到他钟爱的德国定居,继续从事科学和写作活动,主要研究物理学的哲学含意,直至逝世。

玻恩终生未曾到过中国。但玻恩在书中<sup>[1]</sup>曾特别谈到他有四个有才华的中国学生,并指出了黄昆

的名字,还提到了与黄昆合作著书一事。本文作者曾通过中国科学院吴水清老师间接向黄老请教另外三个人的名字。黄老百忙之中回函告知另外三人是彭桓武、程开甲和杨立铭先生,都是有成就的物理学家。

## 2 玻恩的研究工作大略

玻恩一生取得了丰硕的学术成就,发表论文300余篇,出版著作近30部。主要著作有《固体的原子理论》(1923年)、《原子动力学问题》(1926年)、《爱因斯坦的相对论》(1926年)、《物理学实验与理论》(1943年)、《因果性和机遇的自然哲学》(1949年)、《晶格动力学》(1954年与黄昆合著)、《我们这一代物理学》(1956年)、《光学原理》(1959年)、《物理学与政治学》(1962年),等等。

玻恩主要的研究领域是点阵动力学和量子力学。在点阵动力学领域,他以微观点阵动力学观点来阐明晶体的热学、介电及光学性质,创立了独树一帜的玻恩学派。在该领域,以其名字命名的理论或方法有:玻恩-冯·卡曼理论、玻恩-哈伯理论、玻恩-奥本海默法、玻恩-奥本海默近似法、玻恩-梅耶方程等。玻恩在这一领域的研究始于1912年而几乎贯穿其一生,其功至伟。

在另一领域,玻恩是量子力学的奠基人之一。量子力学的矩阵理论也被称为哥廷根矩阵力学。但关于矩阵力学的形成过程,不同文献的叙述大有出入。本文作者经大量比较分析认为,曾师从海森伯的王福山先生的表述<sup>[2]</sup>是详尽和令人信服的。1923年10月,海森伯在玻恩那里开始他新的工作。1924年复活节(4月),他第一次去哥本哈根,但不久就回到了哥廷根。1924年7月28日,海森伯用“关于量子论的形式规律在反常塞曼效应问题上的更改”一文晋升讲师。同年9月他作为研究伙伴到哥本哈根去了一个学期。1925年夏季学期,他又回到哥廷根,继续从事量子论的研究。1925年5月底,生了枯草热病,他特向玻恩告假去赫尔兰岛治疗。一个多星期即返回哥廷根,途经汉堡时他把新产生的思想告诉了泡利(会见仅数小时,当时泡利在汉堡工作)。泡利给了他许多鼓舞。7月11日将论文“关于运动学和力学关系的量子论解释”交给玻恩,7月28日由玻恩送交《物理纪事》发表。

玻恩后来回忆说:“当时海森伯的乘法规则使我不安,经过八天的冥思苦想,我回忆起在布雷斯劳大

学时从师罗桑斯教授学到的代数理论。”<sup>[3]</sup>这就是当是已创立 70 多年的矩阵理论。为了对海森伯论文所运用的数学方法给以严密的论证,玻恩希望泡利同他合作。但被誉为“物理学心脏”和“上帝的鞭子”的泡利拒绝了玻恩。泡利认为用繁琐的数学只会损害海森伯杰出的思想。玻恩没有放弃,1925 年暑假,他从哥廷根去汉诺威,在火车上他遇到了约当。在玻恩的提议下,约当表示愿意协助玻恩工作。9 月他们就完成了长篇论文“关于量子力学”。在该文中,他们不仅采用海森伯的方法把坐标  $q$  用矩阵表示,而且进一步把动量  $p$  也用矩阵表示,从量子化条件出发,利用对应原理,得出了对应关系:

$$pq - qp = \frac{h}{i} I, \quad (I \text{ 为单位矩阵})$$

1925 年 10 月底,玻恩和约当继续研究,并且靠通信同海森伯合作,以“玻恩、海森伯、约当”三人名义完成题为“关于量子力学 II”的论文。该文最早给出了量子力学在解决实际问题时实用的微扰论,奠定了以矩阵形式表示的现代量子力学基本原理。

1925—1926 年的冬天,玻恩赴美国麻省理工学院讲学,同诺伯特·维纳这位后来的控制论之父合作,把算符引进到量子力学,证明了哈密顿算符  $\hat{H}$  与  $\frac{h}{i} \frac{\partial}{\partial t}$  全同。

1926 年,玻恩发表“散射过程的量子力学”一文,认为薛定谔波动力学的数学形式不仅适用于分立定态,也能胜任对散射过程的描写。在用平面波描写入射的粒子束,用球面波写出散射粒子的渐近行为之后,玻恩提出,如果用粒子的语言表述,球面波项的散射振幅因子表示入射的粒子以不同方向射出的几率。所以“我们得出的不是对‘碰撞后的状态是什么’这一问题,而只是对‘碰撞后的一种指定结果有多大可能’的问题的答案。”<sup>[4]</sup>稍后,玻恩更加准确地提出:代表测量到粒子的几率的,是波函数的绝对值平方,而不是同散射振幅相对应的波函数本身。由于有了玻恩的统计解释,薛定谔的波动力学才被普遍接受,成为与矩阵力学相并列的量子力学的另一数学表达形式。玻恩也因提出波函数的统计解释而荣获 1954 年诺贝尔物理学奖。

就玻恩的一生工作,本文作者也曾希望黄昆前辈给个权威评价。黄老说:“对玻恩这样国际上的大师是不宜随便评价的。”黄老的不随便评价,本身就是一种极高的评价。就对物理的贡献而言,玻恩同波尔、海森伯、狄拉克以及薛定谔等相比,毫无逊色之

处,是 20 世纪物理界举足轻重的一流大师。试想,没有玻恩的贡献,不谈其他,量子力学还剩下些什么?

### 3 成功的启示

玻恩的一生是极其成功的,在其成功的后面,有许多能给予后人启迪的东西。

#### 3.1 为人谦逊诚实

玻恩是一个非常谦逊而有平常心的人。请听他的话:“生活中的成就和胜利,在很大程度上依赖于好运气。就我的双亲,我的妻子,我的孩子,我的老师,我的学生和我的合作者来说,我是幸运的。”<sup>[1]</sup>不仅如此,他还说过:“我从来不愿当一个专家,因而始终是半瓶醋,甚至在被认为是我自己的专业方面也是这样。”<sup>[1]</sup>很难想象还有哪位大师会如此评价自己。

玻恩不仅谦逊而且诚实。薛定谔波动力学提出后,包括他本人在内,都没能给出波函数合理的解释。玻恩又一次拨云见日地给出了统计诠释。但他却公开表白:“爱因斯坦的观点又一次引导了我。他曾经把光波振幅解释为光子出现的几率密度,从而使粒子(光子或光子)和波的二象性成为可以理解的。这个观点马上可以推广到  $\psi$  函数上:  $|\psi|^2$  必须是电子(或其他粒子)的几率密度。”<sup>[5]</sup>

显然,玻恩是一个自己不为自己制造却不断从自己头上摘脱光环的人。他不像有的人,精心包装自己,使自己神秘起来,变成高深莫测的、有地位的、引人注意的权威。因此,他才没有任何负担,能够更加专心、更加快乐地沉醉于科研,成为硕果累累的丰收者。

#### 3.2 醉心研究境界高远

爱因斯坦曾将科学家依其从事科学研究的目的分为四类。第一类人爱好科学,是因为科学给他们以超乎常人的智力上的快感,科学是他们自己的特殊娱乐,他们在这种娱乐中寻求生动活泼的经验和雄心壮志的满足;第二类人之所以把他们的脑力产物奉献在祭坛上,为的是纯粹功利的目的;第三类人研究科学为的是逃避日常生活中令人厌恶的粗俗和使人绝望的沉闷,是要摆脱人们自己反复无常的欲望的桎梏;第四类人报身科学目的是以最适当的方式来画出一幅简化的和易领悟的世界图像。

一个科学家对科学的强烈兴趣,很大程度上可以决定他的成功,而境界则能决定他的成就的层次。

谈到研究工作,玻恩说:“我一开始就觉得研究

工作是很大的乐事,直到今天,仍然是一种享受.这种乐趣有点像解决十字谜的人所体会到的那种乐趣.然而它比那还要有趣得多.也许,除艺术外,它甚至比在其他职业方面创造性的工作更有乐趣.这种乐趣就在于体会到洞察世界的奥秘,发现创造的秘密,并为这个混乱的世界的某一部分带来某种情理和秩序.它是一种哲学上的乐事.”<sup>[1]</sup>玻恩非常重视哲学,他曾说:“科学的哲学背景始终比科学的特殊成果更使我感兴趣.”<sup>[1]</sup>切身的体验使他认识到:“...每一个现代科学家,特别是每一个理论物理学家,都深刻地意识到自己的工作同哲学思维错综地交织在一起的,要是哲学文献没有充分的知识,他的工作就会是无效的.在我自己的一生中,这是一个最主要的思想...”<sup>[1]</sup>他有说有做:“我曾努力阅读所有时代的哲学家的著作,发现了许多有启发性的思想,但是没有朝着更深刻的认识和理解稳步前进.然而科学使我感觉到稳步前进.我确信,理论物理学是真正的哲学.它革新了一些基本概念,例如,关于空间和时间(相对论),关于因果性(量子理论),以及关于实体和物质(原子论)等等,而且它教给我们新的思想方法(互补性),其适用范围远远超出了物理学.最近几年,我试图陈述从科学推导出来的哲学原理.”<sup>[1]</sup>

玻恩研究哲学而对物理学的最大贡献可能是他提出的可决定性(decidability)这一基本原则,“只要某个概念是可以决定的就运用它,而不管它在某个特殊事例上能否应用.”<sup>[1]</sup>在文献[1]中,玻恩通过这一原则在狭义相对论、广义相对论和量子力学中的应用,充分说明了这一原则的力量和丰富性,并指出把可决定性原则应用于客观世界图景的起源这个哲学问题是合理的,且做了详尽的论述.遗憾的是玻恩的这一重要思想未引起人们足够的重视.

### 3.3 数学功力卓而超群

前文提到,玻恩在大学阶段就师从罗桑斯教授学到了物理学家们很长时间不熟悉的矩阵理论.在苏黎士通过听胡尔威兹关于椭圆函数的演讲,了解了现代分析的精神.哥廷根一直是世界的数学中心,在这里玻恩师从希尔伯特、闵可夫斯基和克莱因等数学大师,这无疑有助于玻恩的数学功力更上一层楼,远远超过了同时代的大多数物理学家.这使得他在后来的研究工作中受益无穷,应用数学解决物理问题游刃有余.

当然,在物理界也有不同看法.据彭桓武先生讲:“玻恩的老朋友埃沃德访问都柏林时对我说:玻

恩过于形式’,指的是玻恩擅长数学推导而物理直观可能弱些.”<sup>[6]</sup>而事实却未必如此.玻恩虽是理论物理学家,但他很懂实验,在他自己家里就备有车床.而且玻恩非常重视物理直观、物理思想.他明确表白:“我们科学家始终应当记住,所有经验都是根据感觉来的.一个沉浸在他的公式里的理论家,忘记了他要说明的现象,就不是一个真正的科学家,真正的物理学家或化学家;而如果他钻在书本里,同自然界的美和多样性疏远起来,我就会称他为可怜的傻瓜.现在我们在实验和理论之间,在感觉的实在和理智的实在之间有一种合理的平衡,我们务必要将它保持下去.”<sup>[1]</sup>如此,说“玻恩过于形式”,可能是将其优点看成了短处.如果没有玻恩出色的数学功力并投身其中,矩阵力学不会那样快在一年左右时间里完善起来.

20世纪,哲学、数学和物理学之间已空前地纠缠不清,数理逻辑成为哲学的重要领域.在德国的哥廷根,希尔伯特、闵可夫斯基和克莱因主张数学家和物理学家结合起来一同研究物理.他们认为物理学家需要数学家的协助.希尔伯特还同玻恩联合组织过物理学家和数学家参加的名叫“物质结构”的讨论班.

他们是明智的,他们的思想是物理界的福音.缺乏了这种数理互动,今天数理之间隔行如隔山的情况会更加严重.1980年,杨振宁先生在韩国汉城演讲时说:“有那么两种数学书:第一种你看了第一页就不想看了,第二种是你看了第一句就不想看了.”这就是今天物理学家眼中的纯数学:从头到尾都是定义、定理和推论式的纯粹抽象演绎,生动活泼的实际背景淹没在形式逻辑的海洋之中.结果使物理学家摸不着头脑,对现代数学缺乏应有的了解.现实使物理界人士清楚地认识到物理专业的数学课程有必要进行适当的改革.但如何改?改什么?只有数学家和物理学家再次密切联系,才能改好,才能造就更多的玻恩.

### 3.4 关心人类关心未来

玻恩像热爱科学一样热爱和平,珍重人类创造的历史文明和优良传统.他那个时代的一些社会现象使他断言传统的伦理因技术而瓦解了.他说:“虽然我热爱科学,但是我感到,科学同历史和传统的对立是如此严重,以至它不可能被我们的文明所吸收.”<sup>[1]</sup>他认为:“如果人类没被核战争所消灭,它就会退化成为一种在独裁者暴政下的愚昧的没有发言权的生物,独裁者借助于机器和电子计算机来统治他

们。”<sup>[1]</sup>他写过许多这方面的文字,可以看出他对人类社会的未来是非常绝望的.他曾用“还有什么可以希望的呢”为题的一节作为文献[1]的结尾.

当然,他不愿这一切成为现实:“但是,我的推理也许完全错了.我希望如此.也许有朝一日有一个人显得比我们这一代人中的谁都聪明能干,他把这个世界引出死胡同.”<sup>[1]</sup>“希望还是有的,但是这种希望只有在我们不顾一切,全力以赴投入这场反对我们时代的疾病的斗争中去的条件下,才能实现.”<sup>[1]</sup>

玻恩,就是这样一个人,继承了人类历史文明中许多优良的成分,又成为20世纪现代科学的一位大师,在良知的驱动下,他积极关注人类社会问题,关心现实,关心未来.

周光召先生曾把我国物理界同20世纪20年代德国物理界做过比较,认为当时德国物理界取得辉煌成就的条件有三:首先德国人非常重视实验和实验数据分析;第二德国有强的数学传统;第三德国有非常强的哲学传统.周先生指出:“必须研究哲学,因为现在的发展进入全新的阶段,物理学无论是凝聚态还是基本粒子都是无穷自由度的系统,跟过去讨论的少数自由度系统有本质的不同,这里肯定需要新的哲学思想和方法论的突破.这方面我们更弱...”<sup>[7]</sup>.

周先生指出的三条,尤其后两条十分突出地体现在玻恩身上.有兴趣借鉴德国物理界这一时期成

功经验的人,认真研究一下麦克斯·玻恩,定然大有裨益.

致谢 感谢黄昆老师的帮助使本人对玻恩有更多的了解,感谢至今尚未谋面但神交已久,多予我关爱的水清先生.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 玻恩著.李宝恒译.我的一生和我的观点.北京:商务印书馆,1979[ Max Born. LI Bao Heng trans. My Life and My Views. Beijing: The Commercial Press, 1979( in Chinese) ]
- [ 2 ] 王福山.近代物理学史研究.上海:复旦大学出版社,1983. 70—72[ WANG Fu Shan. The Researches of Modern Physics History. Shanghai: Fudan University Press, 1983. 70—72( in Chinese) ]
- [ 3 ] 申先甲,张锡鑫,祁有龙.物理学史简编.济南:山东教育出版社,1985. 768[ SHEN Xian Jia, ZHANG Xi Xin, QI You Long. The Concise History of Physics. Jinan: Shandong Education Press, 1985. 768( in Chinese) ]
- [ 4 ] 关洪.物理学史选讲.北京:高等教育出版社,1994. 338 [ GUAN Hong. The Physics History Le