

# 泡利的科学成就和哲学思想\*

彭石安<sup>†</sup>

(苏州科技大学物理系 苏州 215009)

**摘要** 文章根据国外近期发表的关于泡利的大量文献资料,对泡利作了较为全面的介绍,包括他的物理学成就,高尚的道德品行以及哲学思想,提供了许多有趣的轶事.

**关键词** 泡利,爱因斯坦,物理学家,哲学思想

## WOLFGANG PAULI : HIS SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS AND PHILOSOPHY

PENG Shi-An<sup>†</sup>

(*Department of Physics, University of Science and Technology of Suzhou, Suzhou 215009, China*)

**Abstract** Based on a wealth of recent publications, this review presents a more complete description of W. Pauli including his achievements in physics, his high morals and personality, his philosophy and many interesting anecdotes.

**Key words** W. Pauli, A. Einstein, physicist, philosophical thought

对量子力学基础作出了重要贡献的玻恩,是一个同爱因斯坦和泡利都有过密切的个人接触因而对他们两个都有深刻了解的人,他在泡利去世 11 年后的 1969 年,在一个评注中对泡利有这样一个评价:“自从他(指泡利)在哥廷根作为我的助手以来,我就已经知道他是唯一一位可与爱因斯坦本人相比的天才.作为一个科学家,他也许甚至比爱因斯坦还要伟大.但是,他是完全不同类型的一种人.在我看来,他没有达到爱因斯坦那样的伟大.”<sup>[1]</sup>

泡利 1900 年 4 月 25 日生于维也纳.他父亲是维也纳大学胶体化学教授.著名物理学家同时又是激进的经验主义哲学家的马赫,也是维也纳大学的教授.他们两家关系很好,以致有着很强个性的马赫表示很愿意作泡利的教父.结果,泡利实际上可以说是受洗作为马赫的反形而上学的信徒.我们知道正是马赫的实证观点直接启发早年的爱因斯坦,有助于他发现了相对论,不过爱因斯坦晚年放弃了马赫的实证主义.与此相似,泡利的哲学观后来也发生了很大变化.

### 1 泡利在物理学上的贡献

泡利最早发表的文章是研究魏尔(H. Weyl)关于引力和电磁学的规范理论,魏尔本人后来(1946

年)对泡利的这个研究给予了很高的评价,说该文以泡利所特有的方式给了这个问题致命的一击<sup>[2]</sup>.

国际物理学界早就知道,泡利还在大学读书时,就为《数学大全》写了一篇诠释狭义和广义相对论的权威文章.该文长达 237 页,有 394 个脚注.此后几十年内该文一直都是对相对论的最佳阐述,以致爱因斯坦本人都为之吃惊,难以相信它的作者竟是一个 21 岁的年轻人.他著文对此大加赞赏,说该文无论是在对有关思想的理解上、在数学推理的可靠性上、在物理见解的深刻性上、在清晰而系统的表述能力上、在文献知识的丰富性上、在论题处理的完整性上、或是在批评性评论的恰当上,都极其优秀,以致人们不知道该文最应该受到赞赏的是哪个方面<sup>[3]</sup>.

评论相对论之后,泡利的主要兴趣转到量子问题上.他和他的同学海森伯被介绍到慕尼黑索末菲的研究班.不久,泡利就把玻尔磁子引入到物理学中,他研究了反常塞曼效应,发现了核磁<sup>[2]</sup>.

1925 年,在海森伯和薛定谔表述他们的新力学之前,泡利通过仔细分析原子光谱,就已经提出了他的著名的不相容原理,使元素周期表的结构得到了更合理的解释.泡利因此而获得了 1945 年的诺贝尔

\* 2001-10-29 收到初稿,2002-06-08 修回

<sup>†</sup> E-mail: wlx@sztc.edu.cn

物理学奖。至此，初出茅庐仅四年，泡利已成为世界一流的量子论专家。

泡利就 1925—1933 年间量子力学的发展为《物理学大全》分别写了两篇评述文章，它们被物理学界的权威们誉为物理学的“新旧约全书”。

泡利在量子力学发展的许多关键问题上做出了自己独特的贡献。比如他用二分量波函数的形式表述了自旋的量子理论。次年，狄拉克推广了泡利的做法，得到了相对论性量子力学的四分量旋量表述。

泡利关于顺磁性的一篇文章，实际上可以看作是现代固体理论的开始。鲜为人知的是，这篇文章里有一个极为卓越脚注，其所以卓越，是因为在这个脚注里，泡利改进了对波函数本身的几率解释！而且这个解释比玻恩早先只是对波函数展开系数的表述更准确和更具普遍性。

1928 年，泡利建立了量子统计力学，提出了费米黄金定则。

泡利与海森伯和约丹合作，发展了相对论量子场论。

1930 年，泡利在对  $\beta$  衰变的分析中，预言了中微子的存在。我们知道，玻尔为了解释  $\beta$  衰变中电子能量的连续谱问题，竟曾怀疑能量守恒如此根本性的定律在微观世界可能不再有效！与此相比，泡利的解决方法堪称创新思维的典范。

泡利与韦斯科夫 (V. F. Weisskopf) 合作完成了零自旋场的量子化，他还证明了量子场论的两根支柱：自旋统计定理和 TCP 定理。在杨-米尔斯理论提出之前，泡利在给派斯 (A. Pais) 的信里就有了这个理论的初步想法，并且引入了真空基态的简并性概念。这些思想后来都被吸收到粒子物理的标准模型里。

需要指出的是，泡利的许多开创性工作一直没有公开发表。比如他在给约丹的一封信中，证明了矩阵力学与波动力学的等价性。在给海森伯的信中写出了时间与能量的测不准关系式。1925 年 11 月，克喇末独立于狄拉克发现量子化的关键是将泊松括号变成对易子。克喇末在他这篇开创性文章的末尾写道：“泡利也已经指出对易关系的这种解释。”

## 2 泡利——物理学的良心

物理学界称泡利为“物理学的良心”。他从不关心自己的工作是否被社会承认。他的兴趣只在于探索自然界的物理规律，丝毫不在乎人们能否从人类

整体的认识活动中认出某某规律是泡利揭示出来的。但在他与别人的合作中，他却非常关心给他人以充分的信任。泡利若是独立地作出了别人的研究成果，甚至比别人的还早一些，他在自己的文章中对此连提都不提一下。他若得知别人发表了一个他准备要作的课题，他会说：“是的，我也想到过这个题目，但我很高兴他已经把它做了出来，因此我自己不必再去做这个工作了。”<sup>[4]</sup>泡利认为，在解读大自然这本书的集体努力中，谁是原作者并不重要。

泡利与海森伯及其他大多数人不同，他不是—一个雄心勃勃、满怀抱负和富有竞争性的人。科学研究活动中的竞争不自今日始，在量子力学建立时期已变得相当激烈，连性格内向喜离群索居的狄拉克也难免受到这种竞争气氛的影响，但泡利却能超然而立。泡利主要关心的是使自己能看到更大的一幅关于自然界的图景，对现象的总体得到一个一致的和谐描述。泡利一生中写有几千封信，分析事情的细节，力图得到对事物的正确理解。20 世纪 20 年代，泡利写的信被许多人传阅、复制和学习。他提出的许多重要思想，他分析问题时的精辟与公正，使他在物理学家们的心目中赢得了当之无愧的量子力学奠基者之一的地位。读一下在量子力学孕育时期泡利所写的书信和文章，可以清楚地看出，主要是两个人，即泡利和海森伯，有能力将艰深的数学与大量的光谱学数据结合起来建立新的力学。若把量子力学的建立比作一出戏剧，那么其中最主要的一幕是泡利与海森伯之间的对话，而非如一般传闻所认为的是玻尔和海森伯之间的对话。玻尔是一位受人尊敬的长者，但在量子力学建立时期，他已经不再有 1925 年之前他所起的那种领头作用。

下面一些事实使我们认识到，关于泡利对创立量子力学的贡献，恐怕我们怎么估计都不会过高。在关键的 1925—1927 几年里，人们发现 34 封海森伯写给泡利的信，但泡利写给海森伯的那么多信中却只保存下来 3 封。其他信件的去处令人生疑。据说是失火烧掉了。但另一种说法是，这些信件在 1945 年欧战结束海森伯被英国人逮捕时，从海森伯处拿了回来。在 1926 年 10 月 19 日的长达 12 页的信里，泡利曾勾画了测不准关系的思想：“我们可以用  $q$  眼看世界和用  $p$  眼看世界，但若我们想同时睁开两眼，我们就会发疯。”<sup>[2]</sup>说来奇怪，在海森伯关于与泡利合作的回忆中，根本没提一下这封信。从海森伯对丢失泡利信件的反应来看，人们很容易得到一种印象：海森伯的许多工作受到了泡利思想的启发和支持。

### 3 他诚实得像个小孩

物理学界流传着许多关于泡利的传闻轶事,但可惜它常常给人们一个歪曲了的泡利形象.听到最多的议论是说泡利脾气不好,爱批评人,且尖刻不留情面,常使人难以接受,而怯于与其相处.不错,泡利有时在公众场合确实有一些粗鲁的言辞.但若你愿意透过这表面现象进一步去深察一下,你就会发现它背后的真理:那不过是表明他不喜欢、甚至不能容忍人们发表一些没有经过认真而彻底思考过的思想去浪费听者的时间,他希望人们能正确表述他们理解了的事情,他想帮助人们看到他们的缺点.他从来不想去反对更不想去伤害任何人,尽管他有时确实无意中伤害了人.

曾经做过泡利工作助手的著名物理学家韦斯科夫(下称韦氏)说泡利是一个极其诚实的人,诚实得简直像个小孩,他总是直率地发表自己的思想.韦氏后来回忆说,没有什么比同这样的人生活和工作在一起更令人放心的了:他所说的一切都是他心里所想的<sup>[4]</sup>.

事实上,在韦氏初次与泡利接触时,泡利就曾使他难堪过.1933年韦氏被泡利选作助手.当时有两个候选人:韦氏和贝特(H. A. Bethe).泡利本来是想要比韦氏更有经验的贝特来做他的助手,选韦氏似乎是有点不得已而求其次.对于处世老练或稍有点世故的人,本可不必在韦氏面前提及此事,但清澈透底如一池清水的泡利,与韦氏首次见面时就讲了这种情况.韦氏在泡利处开始工作一周后,泡利发现他做得并不使自己满意时,竟当面又说了让韦氏难堪的话:“我毕竟还是应该要贝特.”

要知道,与一个诚实的人必定可以相处得很好,难以相处只是短暂而表面的现象.事实上,凡是同泡利相处过一段时间的人,特别是直接与他在一起工作的助手和同事,虽然几乎都曾被他难堪过,却无人因此离他而去.相反,和泡利一起工作过的人在离开他后,总是怀念同他相处的岁月,以致年轻的研究生们都渴望能到泡利手下工作,甚至将此作为他们梦寐以求的事.

只要你了解了泡利,你就会从与他的接触中找到对付他的有效办法(诚实的人总是容易对付的).泡利是一个客观存在,一个几乎未加任何人工雕琢和修饰的人,他凭自己的天性和良心自在地存在着,你必须适应他.事实上,他的同事和研究生们很容易

就找到了摆脱泡利使他们难堪的办法.比如,韦氏当泡利助手之初,曾向泡利以前的助手、著名物理学家皮尔斯(R. Peierls)请教与泡利相处的经验.我们知道,研究小组的同事们最经常的接触场合是在例行的学术讨论会上.泡利很重视这种讨论会,每次都坐在第一排认真听讲.他最让人感到难以接受的,是当他听到讲演者有地方讲错了,或前后叙述不一致时,就会立即打断讲演者.讲演者多不愿意出现这种有时令人尴尬的情况.所以,皮尔斯告诉韦氏:“当你要在讨论会上做一个学术报告时,你必须小心.(为了不出现因有错误而被泡利打断的情况)你可以在你要做报告的那天早上,先去找泡利告诉他你计划要讲些什么.若他不喜欢,他会以最激烈的言辞告诉你它多么蠢,或者说它是完全错误的,或者说它是连小孩都知道的平凡小事,等等.然后你在当天下午的讨论会上,只管照着你原先打算要讲的讲,不必做任何改动,除非你早上真的已被他说服.泡利将坐在第一排,当你讲到早上他批评你的地方时,他将几乎听不见的声音喃喃自语:我已经告诉了他,无论如何我已经告诉了他呀!事情因此不会太糟.”

泡利的助手和同事们很快就能适应泡利的尖刻话语而视它为平常.他们已经习惯:对泡利来说,他们问的每一个问题都是愚蠢的,因此他们可以毫不犹豫地去看他他们想要问的任何问题.当你到他跟前对他说:“请你给我解释一下这个,我不理解它.”他会很高兴很耐心地向你作解释.

泡利的尖刻话语,打断别人的学术报告,给人带来的不愉快,都远不足以使一个真正的学者过久地介意,使研究学者最感懊丧而久久难以释怀的是自己公开发表了有科学错误的文章.而在这时,泡利反而是一个很好的劝慰者.韦氏讲了这么一件事:泡利要他根据正电子理论计算一下电子的自能,看看在这个理论里自能的发散是否会小一些.韦氏计算后发现,发散情况同以前一样,没有改善,于是发表了这一结果.发表数周后,收到当时与奥本海默一起工作的W. Furry的来信,告诉韦氏说他的计算犯了一个符号上的小错误.若加以改正,则发散程度便大大降低.就是说,与韦氏文章的结论相反,正电子理论使事情大大得到改善.在这样一个基本问题上,犯如此愚蠢的错误并很快发表了它,使韦氏非常颓丧和消沉.以致韦氏去见泡利,说他想放弃物理,以忘掉这个耻辱.但泡利竭力安慰他,说:“别把这事看得那么严重,许多人都发表过错误的文章.”

泡利是一个少言语多思考的人.他宁愿把时间

花在思考问题上,而不愿意浪费在无意义的闲聊上。他有一句名言:一个人不应该说得太多。糟糕的是,他竟把这一点有意无意地贯彻到了他的学术报告和讲课上,这就表现为:他常常在讲演中停顿下来,背对着因尊敬他而静静地听他讲演的听众,长久地面对黑板沉思、踌躇,似乎是要当众演示一个他是怎样思维似的。这就使得他的讲课并不是非常受学生们的欢迎。更有甚者,在一次苏黎世欢迎爱因斯坦来访的重要场合,泡利是官方发言人,听众席中有政府高级官员,泡利在念他的发言稿时,每当发现讲稿中有错误,就当即在句子没念完的情况下停住,掏出钢笔将之改正,然后再继续念下去,毫不顾及听众中已开始有些骚动。

泡利对待约丹的态度也很能反映泡利的为人<sup>[5]</sup>。我们知道,约丹与玻恩和海森伯共同建立了矩阵力学。但1935年5月,约丹和德国其他百万机会主义者一起加入了纳粹党。泡利和玻恩都痛恨约丹的这种政治行为。然而约丹实际上却是一个胆小而和善的人,战后他也为参加纳粹党作了道歉。泡利出于爱才之心,帮助约丹恢复了名誉。1953年,由于泡利出面斡旋,又使约丹由汉堡大学的访问教授提升为正教授。

有人称泡利是近于完美的人。泡利在科学上的重大失误是他曾认为在弱相互作用中宇称守恒。对此他幽默地说,好在“我还输得起我的一些声誉”。

#### 4 物质与精神 泡利的哲学思想

众所周知,量子力学于20世纪二三十年代很快就建立了起来,但对量子力学的物理解释,或由量子力学引出的哲学争论却一直延续至今。注重实际的物理学家只关心使用量子力学的一套计算方法去解决具体问题,而把量子力学的哲学解释丢开一边不予理会。但是,没有哲学思维的科学是走不远的,是缺乏生命力和创造性的。因此有哲学兴趣的物理学家,不满足于量子力学只是成功地作出经验预言,他们站在量子力学所代表的人类思想的前沿,顽强而执着地进行着智力探索,力求明白量子力学背后的神秘性与暗含。这后一种人中的英雄是玻尔、爱因斯坦、薛定谔、海森伯等,另外,特别还有泡利。

在量子力学的哲学解释上,在学术界长期占统治地位的是以玻尔为代表的所谓哥本哈根(下称哥派)解释。哥派解释大大推进了人类对世界在纵深方面的认识,丰富了人类的思想宝库,开辟了人类认识

世界的全新视野。但是,玻尔在这方面虽论著甚丰,却晦涩难懂。通过爱因斯坦和薛定谔与之辩论,使玻尔的哲学思想明白了点。但作为哥派解释的反对者,爱因斯坦和薛定谔二人并没有写什么文章为自己的哲学进行清晰地辩解。海森伯的哲学著作中所描述的哥派解释,虽然较玻尔的清了一些,但有的地方却与后者相矛盾。

少有人知道,除玻尔和海森伯以外,泡利是第三个对哥派解释作出重要贡献的人。只是由于他的过早去世,其哲学思想才只有片段发表。但是,泡利留下的大量宝贵的私人通信向我们揭示了他的博大精深哲学思考。二十多年前,学者K. V. Laurikainen通过查阅保存在欧洲核研究中心(CERN)的泡利通信集<sup>[6]</sup>,对泡利的哲学作了认真的研究,发现泡利与菲尔兹(Fierz,理论物理学家,泡利的同学和朋友)之间有一批卓越的信件,它们触及的问题面很广,包括物理学、心理学、神学、本体论及认识论。这些信件充分表明,若泡利再多活一些年,他很可能会写出哥派解释的最终版本,它无论在哲学深度和广度上都比玻尔或海森伯的工作更正确,更伟大。特别值得指出的是,虽然自20世纪60年代后,哥派解释开始受到一些批评,但这些批评始终没有触及到泡利所坚持的观点。

泡利哲学思想的要点可述之如下<sup>[7,8]</sup>:泡利从对量子力学基础的深刻思考中发现,17世纪笛卡儿的精神与物质相分离的二元论哲学在原子现象的研究中不再能行得通,只有将二者结合才能真正理解原子现象。观察者的意识必须被引入到我们对客观世界的科学描述中。泡利推广了实在性概念,认为它应该包括精神和物质二者。物质和精神,物理和心理,理性和非理性,必须看作是互补的两个方面;它们只有相结合才能完整地描述实在。泡利力图对实在性构造出一个统一的物理心理学的描述。泡利说:物理心理学问题是我们时代最重要的问题。泡利的哲学世界可用一个三维空间来表示:理性方法所描述的科学世界是这个空间中的一个二维截面,其中一维是物理的,一维是心理的,实在的非理性方面是这个空间的第三维。

不管对哲学兴趣狭窄的我们眼下多么难于理解和接受泡利的这种哲学思想,我们切不可轻视它,更不可草率地否定它。要知道,泡利年轻时即已精通物理学的先进理论——相对论与量子力学,深得其精要,此时他已敏锐地认识到,深深隐藏在量子力学基础背后的哲学核心是人类意识,于是他便在三十

岁左右时开始与 20 世纪著名心理学家、分析心理学创始人荣格( C. Jung )接触,亲自参与荣格心理学研究的各种实验,与荣格进行合作研究,且有重要成果发表<sup>[2,7,8]</sup>。泡利力图使自己在人类心理的研究上也达到像他在探索物理世界上所达到的那种深度。他与荣格的合作研究长达二三十年,直至他去世。这两位天才默默地长期合作,长久未为人知。近来由于泡利书信的发表,才开始受到人们日益增长的关注。

我们知道,牛顿对真理的探索不仅包括他的力学和光学,也包括他对神学和炼金术的研究。无独有偶,泡利在寻找对实在性的理解中,同样是不仅包括对物质,也包括对精神进而对神学和炼金术的研究。泡利甚至怀疑生命的出现可以用随机变异来解释<sup>[2]</sup>,因为分子随机结合并演化出生命的几率可能远远超过宇宙的年龄!寻找自然规律的对称和和谐是泡利物理研究的主题。他试图在人的大脑中找到自然秩序的根源,这导致他写出了关于开普勒的著名文章<sup>[2,7]</sup>。

近代科学的创立者们如牛顿和麦克斯韦等,尤其是量子力学的创立者们,他们在学术上有了重大建树后几乎都要转向哲学思考,决不是一个偶然现

象。事实上,在他们进行科学探索的过程中随时都伴随有哲学上的思考,只不过在他们达到学术上的顶峰后也同时感到需要有一个哲学思想上的升华。爱因斯坦说过,自然界最不可理解的事是它竟可以被理解,他对哥派解释的思考使他发问“月亮在人们没看它时是否存在”就是他对物质世界科学探索的哲学的或精神的总结。在这方面,泡利照例又远远地走在了他大多数同时代人的前面。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Einstein A/H. & M. Born Briefwechsel 1916—1955, with commentary by M. Born. Munich : Nymphenburger Verlagshadlung , 1969.226
- [ 2 ] Meyenn K V , Schucking E. Physics Today 2001( 2 ) 43
- [ 3 ] Einstein A. Naturwissenschaften ,1922 ,10 :184
- [ 4 ] Weisskopf V. Physics Today ,1985( 12 ) 36
- [ 5 ] Schucking E L. Physics Today ,1999( 10 ) 26
- [ 6 ] Ed. Meyenn K V. Wolfgang Pauli , Wissenschaftlicher Briefwechsel. New York : Springer-Verlag ,1979—2000( 这是一套六卷的泡利科学通信集 )
- [ 7 ] Laurikainen K V. The Message of the Atoms :Wolfgang Pauli and the Unspeakable. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag ,1997
- [ 8 ] Laurikainen K V. Beyond the Atom : The Philosophical Thought of Wolfgang Pauli. New York :Springer-Verlag ,1988

## · 物理新闻 ·

# 纳米管有助于迅速提高原子的发光度

## ( Atoms Light Up Very Rapidly Near Nanotubes )

通常避雷针的尖端可以改变建筑物周围电场的性质,同样一个高度弯曲的表面(约为纳米量级)也能改变表面附近真空电磁场的物质特性。在纳米体(例如量子点、纳米球或纳米棒等)附近的原子由于电磁场的改变会导致它的物质行为的变化,这种现象在物理上称为珀塞尔效应(Purcell effect)。它的产生是由于原子内的激发电子能强烈地感应其周围的真空电磁场的变化。

白俄罗斯的国立明斯克(Minsk)大学的 S. Maksimenko 教授及其同事们完成了一项物理实验,他们证明,由于碳纳米管导电性质的异常,在其附近的激发原子或分子能迅速地增大它们的荧光发光率,甚至于可达到百万倍左右。这个效应要比其他的结构改变带来的结果大得多,因此现在 S. Maksimenko 教授希望能找到合作伙伴来进一步证实他们的这个纳米管假设,因为这个效应将极其有利于控制在纳烛管附近的核子、原子和有机分子的物理行为。

(云中客 摘自 Physical Review Letters 9 September 2002)