

理论,批判和哲学(续)

(海森伯著 李让贤译)

抛弃旧概念

科学进展到这个阶段最困难之处在于抛弃一些重要的旧概念,任何好的物理学家都愿意接受新概念,但即使是最优秀的物理学家有时却非常不情愿放弃某些显然可靠的旧概念,在量子力学的发展中人们不能从旧概念摆脱产出来的情绪也是十分强烈的,大家都知道在相对论的发展中这种情绪一直非常强烈,即使在今天还时而出出现一些论文,其作者依然拒不承认狭义相对论,这是因为他们不能摆脱“同时发生的事件”的这一旧概念,在讨论薛定谔的波动力学和量子力学时多少出现了类似的情形,我记得薛定谔的一次讲演及此后在 1926 年夏的讨论,或许我应提一下此事,这里决没有批评薛定谔的意思,他是一流的物理学家,只是为了说明从旧概念摆脱出来是多么的困难,薛定谔应索未菲的邀请做了关于波动力学的讲演,在座的还有实验物理学家威廉·维恩,那时波尔的理论决没有被普遍视为一个成熟的理论,例如在慕尼黑的实验物理学家们不喜欢所有量子项和量子跃迁这类游戏,称之为神秘原子学,即原子的神秘主义,他们觉得这种理论与经典物理大不相同了,以至不能真正严肃地去对待它,因此威廉·维恩非常高兴地听了薛定谔的新解释。

要知道薛定谔有一段时间曾相信,可以借助与麦克斯韦理论相同的概念使用波动力学,他认为物质波正如电磁波一样是时空中的三维波,因此一个能量本征值是某个真实振动的本征值,而不只是某个能量,从而他相信能避开各种类型的量子跃迁和所有的他称之为神秘主义的东西,薛定谔讲演后,我参加了讨论并争辩道,我觉得用这样的解释,甚至不能理解普朗克定律,因为毕竟普朗克定律是基于真正的量子论,基于能量的不连续改变,如此等等,当时维恩听了我说的话后非常生气,以至于他说:“好吧!年轻人,我们明白你对现在应该忘掉量子力学、量子跃迁及其余一切感到遗憾,但你将看到薛定谔会很很快解决所有这些问题的。”

我刚才提到的这段插曲为的是表明在物理学家中对此类事情的情感是多么的强烈!自然我丝毫也说服不了维恩或薛定谔;从而导致波尔邀请薛定谔来哥本哈根。1926 年夏薛定谔来到了哥本哈根,波尔是个极其和善和厚道的人,待人非常亲切、至诚,有时却很执著,我记得每当薛定谔站起,他也站起并说:“薛定谔,你必须明白,你必须真正地明白,”两天后,薛定谔病倒

了,不得不卧床休息,玻尔的夫人送来了糕点和茶水等等,但玻尔依然坐在床边说:“薛定谔,你必须明白”。此后薛定谔至少认识到解释量子力学比他想象的更困难。

在哥本哈根对量子力学的解释,我们也感到不太满意,因为我们觉得在原子中抛弃电子轨道的概念看起来是对的,但在云室里又怎样呢?在云室里人们看到电子沿着某条径迹运动,这条径迹是不是电子的轨道呢?

量子论解释

许许多多的夜晚,我和玻尔都在讨论这些问题,我常常处在绝望之中,玻尔更多地沿着波粒二象性方向尝试;而我却喜欢从数学公式着手去寻找自洽的解释,最后玻尔到挪威独自去思考这些问题,我则留在哥本哈根,于是我回忆起与爱因斯坦讨论时,他说的一句话:“正是理论决定了什么可以被观察到。”由此我们把问题转变一下,而去问:“只有能被量子力学数学公式所描述的那些现象才能在自然界里,甚至在云室里出现,这是不是真的呢?”转换问题的提法后,我必须调查研究这个公式体系里能描述些什么;此时,尤其是使用了狄拉克和约尔丹关于变换理论的新的数学发现后,显而易见,人们不能同时描述一个电子精确位置和精确速度;从而得到了这些测不准关系,这样一切显得明白了,当玻尔返回哥本哈根,他用他的互补性概念找到了某个等价的解释,这样我们都同意,现在我们懂得了量子论。

爱因斯坦的假想实验

1927 年在索尔韦会议上,爱因斯坦与玻尔讨论此事时,我们又处境困难,几乎天天如此:我们住在同一饭店,早餐时爱因斯坦出现了,并告诉玻尔一个假想的新实验,以此证明测不准关系是错的,因此我们对量子论的解释也是错的,然后玻尔,泡利和我非常不安,我们跟随玻尔和爱因斯坦到会,一整天都讨论此问题,但是通常晚饭时,玻尔解决了这个问题并回答了爱因斯坦,于是这时我们觉得一切都是对的,爱因斯坦对此表示抱歉,说他会再想想,第二天早晨他又带来一个新的假想实验,我们又得讨论它,如此这般,这样持续了好些天,到会议结束时,哥本哈根的物理学家们已感到他们赢得了这场论战,实际上爱因斯坦没能提出真正有力的反驳,我以为玻尔最妙的论证是有一次使用了广义相对论去驳倒爱因斯坦,爱因斯坦构思了一个实验,实验中机器的重量是由引力决定的,所以玻尔不得不求助广义相对论去证明测不准关系是正确的,玻尔成功了,爱因斯坦提不出任何反对意见。

电子与原子核

现在谈谈较为近期的发展,在谈相对论量子理论

现代物理知识

前,也许我应该说几句有关核物理的话.这里只是想又一次证明,接受新的概念比起抛弃旧的要容易得多,事实上,当查德威克在1932年发现中子时,我想,原子核由质子和中子构成,几乎是显而易见的了.但是,要说在原子核内不存在着电子,却是不一般的,我写的有关原子核结构那些论文的关键点不是原子核是由质子和中子组成,而是明显与实验冲突的原子核内不存在电子的假定.直到那时之前人人都认为原子核内一定有着电子,因为电子有时从原子核中跑出来.因此若要说电子跑出来之前,核内不存在电子,就是奇谈怪论了.当然,出路在于质子与中子的短程作用力必定会以某种方式产生原子核内的电子.无论如何在我看来,假定原子核内不存在像电子这样轻的粒子,是一个好的近似.我记得,由于这个假定,我受到了一些杰出的物理学家的强烈批评,一封给我的信写道,假定原子核内不存在着电子,这真丢人,因为人们确实能见到电子从中跑出来;我的如此不合理的假定会导致物理学完全乱套,他们不能理解我的态度.我提起这件小事是因为,要想放弃看来如此自然和如此显然的,从而已被人们一直接受的事物,实在困难.我想,在理论物理的发展中,最大的努力始终是必须用在人们不得不放弃旧概念的地方.

原子物理观点的改变

现在让我转到基本粒子的问题.我想与基本粒子的性质或本性有关的最决定性发现应是狄拉克预言的反物质的发现,这显示了全新的特点,显然必然与相对论有关,以洛仑兹群代替伽利略群.我相信狄拉克的粒子和反粒子的发现完全改变了我们关于原子物理的整个看法,我不知道这种看法的改变是否是在当时立即实现的,可能只是逐步地被接受的,但我想说明我为什么把它看得如此重要.

从量子理论我们知道,例如:一个氢分子可以由两个氢原子或一个正的氢离子和一个负的氢离子构成.一般来说,某个态实际上由所有可能的满足同样的某种对称性的组态所构成.现在一旦知道,根据狄拉克的理论可以产生正反粒子对,那么就须把一个基本粒子看作一个复合的系统,因为它实际上可以看作是粒子上加上一对粒子及其反粒子,或该粒子上加两对粒子和反粒子,如此等等.这样关于一个基本粒子的基本观念突然变了.直到那时我想每一个物理学家都是沿用德漠克利特的哲学想象基本粒子的,也就是把基本粒子看作自然界存在的不变实体,它们永远是同样的东西,永不变化,永不能变成其它东西,基本粒子不是动力学系统,它们只是以自身的形式存在.

在狄拉克的发现后,一切显得不同了,因为现在人们会问,为什么一个质子只是一个质子,为什么一个质

子有时不应是一个质子加上一对正反电子,如此等等,基本粒子作为一个复合体系的这种新情形对我来说立刻象是一个巨大的挑战,以后当我与泡利一起研究电动力学时,我始终思索着这个问题.

正反粒子对的产生

沿此方向的下一步是关于粒子的多重产生的观念,如果两个粒子相碰撞,正反粒子对可能被产生出来,没有理由只产生一对正反粒子,为什么不会产生两对正反粒子,只要能量是足够高,耦合足够强,在两粒子碰撞中总可以产生出任意多粒子来.这样,关于分割物质的这一问题出现了新的情形.至今人们一直认为有两种可能性:或者把物质一次又一次地分割得越来越小,或者这种分割不能无限地继续下去,这样就存在着最小的粒子,现在突然出现第三种可能性,我们能够一次又一次地分割物质,但却永远达不到更小的粒子.这是因为我们正是用能量,用动能来产生粒子,并且因为正反粒子对的产生,这可以永无休止地继续下去,因此把基本粒子看作同一些基本粒子的复合体系的概念是自然的,但又似非而可能是.自然,这时的问题是,“怎样一种数学方式可以描述这种情形?”

那时,由狄拉克的辐射理论和由泡利,韦斯柯夫和我的工作,人们已知道,要避免量子电动力学中,以及更一般的相互作用场论中的发散所遇到的巨大困难,我完全同意狄拉克不喜欢发散的看法.如果你在物理中引进无穷大,你只是在胡言乱语,不能这样做,所以我试图考虑在一开始就可以避免无穷大的数学方式.我又想起了关于可观察量的早先的故事,这使我觉得“在基本粒子相互碰撞中什么才是真正被观察到的”这样的提问也许是有意义的,从而自然地导致S-矩阵,并认为S-矩阵或散射矩阵是一个理论的合理的基础.

又一次看到,说一说什么能被观察到这第一步,比起下一步以及缩小种种假设的适用范围,自然要容易得多.但是你最后必须作出一些新的假定,并以“什么不再能观察到”告终,因此现在的问题是,“为了能得到真正行得通的体系,在此体系中我们能够定义我们所想要的,并能构成自然规律,我们对S-矩阵应给什么样的限制呢?”那时我仍从狄拉克处知道,希耳伯特空间中采用不定度规的量子场论也许行得通.自然我知道泡利曾强烈地批判过这种做法;希耳伯特空间的不定度规意味着负几率,因此这类理论是行不通的.泡利惯于批判,且常常是对的.

自然会想到如下的可能性:在渐近区域当然必须是正几率,因此渐近地得到么正的S-矩阵,但允许局域地偏离正几率的概念,并说“局域地我们可以有负几率,因为与在渐近区域不同,局域地我们什么测量也不能作.”当进入某个比“普适长度”更小的范围,几率的概念也许不适用了,这样我试图以如下说法来限制理

论框架的范围：“理论中将出现定域算子，相应的希耳伯特空间却有着不定度规。”这个框架的有利之处在于，人们真地可以避开无穷大，自然付出了很高的代价，即在希耳伯特空间中失去了确定的度规。另一方面，到那时整个框架已显得令我颇为信服，因为与此同时实验已表明真地存在着粒子的多重产生。

多重产生现象的确认

事实上，关于粒子的多重产生十多年来一直是较大争议的，这自然是因为大约自1936年以来我们已知宇宙射线的这类簇射，但是这类簇射可以用巴巴和海特尔的级联理论很好解释，因此不能证明是粒子的多重产生，大约到1950年才真地得到了这种多重产生的极好证据，因为这种现象现在已确认无疑，我觉得可以沿此方向前进。所以我试图构造某类场论。我想李模型能对其中的数学方式以帮助，当然我很清楚地知道，我们没有严格的场论的数学方法，我觉得就目前来说，寻找某种程度与实验符合的数学方式也许足够了。

开始时，我们不知道什么样的场方程能表示真实的情形和实验事实。然后，1957年，我在欧洲核子研究中心作了一个讲演后，遇到了泡利，我们讨论了种种新可能。从李政道处我们得知了在 β 衰变中宇称不守恒，沿着这个思路，我们得到了某个场方程，它具有 $SU(2)$ ，即同位旋对称性。我从来没见过泡利有过对这种可能性更为热衷的情形，他不断地来信说，现在物理学的新曙光已出现，所有的困难将消失，如此等等，我总是不得不劝说他，“喂，不会是那样容易的。”但是他对此如此激动，充满着精力和热情，他整个兴趣放在解决这些问题上。在这段时期内我在苏黎世见过他几次，此后我必须去美国，当他不得不就这些问题在美国作讲演时，他力图整理他的思路，这时他感到他不能做到这一点，他看到整个问题比他预期的要复杂得多。也许与此有关的我应提一下，泡利对我们合写文章所贡献的最本质的想法是关于基态简并的想法，后来这个与高德斯通定理有着关系的想法在基本粒子物理中起着重要作用。

泡利敏锐的批判

泡利的特性完全与我不同，他比我的眼光锐利得多，他同时做两类事，而我想即使对于最好的物理学家这也是很困难的：首先他受到实验事实的激励而着手研究，以某种直觉看到事物之间的联系，与此同时，他努力使得他直觉得到的系统合理化，并且找到某种严格的数学方式，从而他真能证明他所说的一切。我想这样做的确太多了，因此如果泡利放弃他这两个前提要求中的一个，他在他的一生发表的文章将会多得多。玻尔敢于发表他不能予以证明的文章，它们毕竟是对的。另一些人用合理的方法和优美的数学完成很多工

作。但是我想，对一个人来说要同时完成这两类事是太难了。泡利看到了这些困难，他失望了，他十分伤心地中止了工作。他告诉我他的思维能力已不足以胜任，并且他的身体完全不行了，即使在他不同意发表文章后，他还鼓励我，他说，我应继续工作，但是他不能继续下去了，正如你们已知道的，半年后他不幸去世了。这是我与泡利长年友谊一个相当凄惨的结局，我能说的是，直到现在几乎每一天我都感到惋惜，我再也不得到他的非常尖锐的批评了，在我从事物理的一生中，这些批评曾给我那么多次的帮助。

现在让我们回到物理学的进一步发展。我想我们对于基态的简并知道更多了，也许你们大多数人知道比我多得多的详细内容和所使用的数学方式。我只能期望这个图象将依然是一个完备的图象，我毫不怀疑，基本粒子的谱能够用某个统一的自然规律来描述，就象是例如离子原子的谱可以用量子力学来描述一样，这个规律自然是某种综合，它是今天正在被研究的许多详细内容的一个纲要。

我的一般哲学

给出我们在理论物理学中应如何工作的某个药方，会是诱人的。然而，这会是很危险的，因为该药方对不同的物理学家应是不同的，因此我只能谈谈我自己一直在使用的药方。这就是你不应过于盯着某一个特殊的实验；而应该力图触及所有有关的实验的一切发展情形，使得你总是在脑海里有着整体图象后，才试图去寻找用数学的或其它的语言来表达的理论。

也许我应该讲两个不同的故事来说明这个一般的哲学。我的祖父，是一个手工艺者，他心灵手巧，当我还是孩童时，有一次他见我正在给一个木盒钉盖子，这个木盒用来装书之类的物品。他看到我，拿着钉子，按着盖子，试图一锤将钉子钉到底，“咳，”他说：“你这样做完全是错的，没有人这样做，让人看到会出丑的。”我不懂什么是出丑，而他接着说“我来教你该怎么做。”他拿一根钉子按着盖子，轻轻地将钉子敲入木盖，并钻进盒子一点儿，接下来第二根，第三根，直到所有的钉子都敲进一点儿为止，只有当你看到所有钉子的位置都合适时，一切都清楚了，你再将钉子最后钉进木盒。所以我想这是人们如何在理论物理中工作的很好的比喻。

另一个故事涉及到我与狄拉克之间有过讨论，狄拉克常喜欢说，——而我总感到，这是委婉的批评——他觉得，人某一时刻只能解决一个困难。这也许是对的，但对此我不这样看。这时我记起尼尔斯·玻尔曾常说的，“如果你有一个正确的陈述，那么一个正确陈述的否定陈述，当然是一个不正确的陈述，一个错误的陈述。但当你有一个深邃真理，那么一个深邃真理的否命题可以仍是一个深邃的真理。”因此我感到，也许不仅是“在某一时候你只能解决一个困难，”这一

迈克尔孙和迈克尔孙-莫雷实验

郭奕玲 沈慧君

迈克尔孙(A. A. Michelson, 1852—1931)是美国著名实验物理学家,以光速的测定和迈克尔孙-莫雷实验著称。1880年,他发明了以自己名字命名的干涉仪,用之于比较不同方向的光速,取得了出乎意料的结果。后来他又用干涉仪方法对国际米原器进行校准,第一次实现了非实物的长度基准。由于他用光学精密仪器所作的精确测量和光谱研究,荣获1907年度诺贝尔物理学奖。

1. 迈克尔孙干涉仪的由来

迈克尔孙干涉仪的发明起源于以太的研究。

在经典物理学家看来,地球在以太的汪洋大海中遨游,如果以太不随地球运动,它们之间必有相对运动。用光学方法应该能测得出来。麦克斯韦分析了这个问题。他在1879年为《大英百科全书》撰写的“以太”条目中写过这样的内容:“如果可以在地面上从光由一站到另一站所经时间测得光速,那么我们就可以比较相反方向所测速度,来确定以太相对于地球的速度。然而,实际上地面上测光速的各种方法都取决于两站之间的往返行程所增加的时间,以太的相对速度等于地球轨道速度,由此增加的时间仅占整个传播时间的亿分之一,所以的确难以观察”。

我们可以作一推导:设光速为 c ,地球相对于以太的速度(即地球运动速度)为 v ,两站之间的距离为 l ,则麦克斯韦所说的“增加的时间”占“整个传播时间”的比值为:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta t}{t} &= \left[\left(\frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} \right) - \frac{2l}{c} \right] / \frac{2l}{c} \\ &= \frac{v^2}{c^2 - v^2} \approx \frac{v^2}{c^2} \left[1 - \frac{v^2}{c^2} \right]\end{aligned}$$

今已知 $c = 3 \times 10^8$ 千米/秒, $v = 30$ 千米/秒,故

$$\frac{\Delta t}{t} \approx \frac{v^2}{c^2} \approx 10^{-8}.$$

“亿分之一”!这是测量史上从未达到过的精度!麦克斯韦认为难以实现,于是转而寻求一次效应,即与 $\left(\frac{v}{c}\right)$ 成正比的效应。他发现罗默观测天体运动的方法可行,于是在1879年3月19日写信给美国航海历书局的托德(D. P. Todd),询问地球围绕太阳运行于

不同部位时,观测到的木星卫星蚀有没有足够的精度来确定地球的绝对运动。信中又一次提到:“地面上测量光速的方法,光沿同样的路径返回,所以地球相对于以太的速度对双程时间的影响取决于地球速度与光速之比的平方 $(v/c)^2$,这个量太小,难以测出”。

这封信被迈克尔孙读到了。这时他正在托德所在的美国航海历书局工作,协助这里的局长纽康姆进行光速实验。麦克斯韦的信件激励他设计出了一种方法,用相互垂直的两束光产生干涉来比较光速的差异,实验的精度可达亿分之一,有可能检测到以太漂移速度。迈克尔孙擅长光学测量,正好这时他有机会到光学技术最发达的德国学习。1880年,他在柏林大学的赫姆霍兹实验室开始筹划用干涉方法进行以太漂移速度的实验。当时利用干涉原理进行光学测量的方法已经应用到许多实验之中,并且作为成套仪器已有商品供应。例如,贾民(Jamin)发明的一种干涉折射计就在德国一家仪器工厂正式生产。迈克尔孙吸收了这些仪器的长处,并且创造性地用之于以太漂移速度的测量。他的构思很巧妙,如图1,光源 S 发出的光,经半透射的 45° 镀银面 M ,分成互相垂直的两束光。透过 M 的一部分组成光束1,经反射镜 M_1 反射,返回 M 后再反射到望远镜 T 中;被 M 反射的一部分组成光束2,经反射镜 M_2

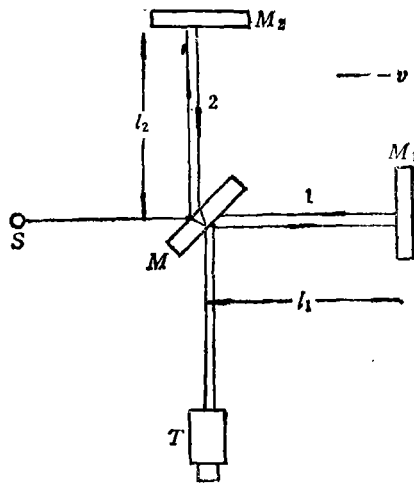


图1 迈克尔孙干涉仪原理图

说法是一个深邃真理,而且“在某个时候你决不能只解决一个困难,你总是必须同时解决许多个困难。”这一

说法也是一个深邃的真理,也许我应以这段话结束我的讲演。