

温伯格的量子力学观

孙天玉 王 鑫

(湖南大学物理系 长沙 410082)

1990年前后,诺贝尔物理学奖获得者温伯格教授曾提出一种修改量子力学体系的方案——在薛定谔方程中引入一个很小的非线性项。当时曾激起过热烈的研究和讨论。由于不仅实验不支持这一理论,而且理论本身的自洽性也成了问题。很快人们放弃了这一理论。1993年,温伯格出版了一本书,书名叫《终极理论之梦》(Dreams of a Final Theory)。在该书中他系统地表达了他对量子力学线性性质的认识,较全面地介绍了引入和放弃他的非线性量子力学的经过。我们将与此有关的一部分内容编译如下(按温伯格第一人称叙述):

大约一年前,当我和同在得克萨斯大学物理系的菲利普(Philip Candelas)先生在等电梯时,谈到一个他以前的学生。这位同学在读研究生时就是相当有前途的理论物理学家,可毕业后却销声匿迹了。我问菲利普,究竟是什么妨碍了他的研究,菲利普连连摇头并说:“他试图理解量子力学。”

由于量子力学的哲学内涵与其应用如此不相关,以致于人们开始怀疑所有对测量的深入的理解真的都会一无所获。在这个没有人能完全理解的理论框架内研究了一辈子,我承认感到不舒服。把量子力学应用于整个宇宙,而不能想象有外在的观测者,就得到了量子宇宙学。在那里,我们需要对量子力学有一个较好的理解。现今的宇宙看来实在太大了,就是用到量子力学也不会得到什么新结果。但在过去的某个时刻,粒子靠得如此之紧以致于量子效应是重要的。今天,没有人知道把量子力学应用于这种情况的规则。

有一个问题我相当感兴趣,那就是量子力学是否一定正确。由于在解释粒子、原子、分子的性质时量子力学取得了唯象上的成功,因此我们就认为它是对真实的一个非常好的近似。问题在于:是否存在一些可能的合乎逻辑的新理论。这些新理论与量子力学极其相近但又不完全等同。在一些小的方面对物理理论进行一些变通是很容易想到的。例如:对牛顿的万有引力定律,可以将两个粒子之间的万

有引力与其距离的平方成反比修改成两粒子之间的万有引力与其距离的接近于二次但又不精确等于二次的某次幂成反比,从而可以将我们的期望值与在太阳系中的观测值相比较以决定对幂指数修改的最大限度,进而检验牛顿理论的正确性。对广义相对论也可以作一些微小的修改,可以在场方程中添加一些复杂的微小项,或者引入一些弱相互作用场。很令人吃惊的是,除了量子力学本身以外,迄今为止尚未出现一种与其很接近而又逻辑自洽的新理论的可能性。

几年前,我曾尝试着构造这种新理论。我并不是想为量子力学寻找一个全新的替代品,而只是想作一点小修正,其实实验预言与量子力学接近而又不同,从而为实验物理学家提供一些对量子力学的有效性进行实验验证的新想法。如果想要验证量子力学自身,而不是去验证特定的像标准模型那样的量子力学结果,就必须构造在整体特征上区别于量子力学的新的不同的理论。在发明这种新理论的过程中,我注意到量子力学的一个普遍特征:线性性,这一特征比其他特征看来更显得没有道理。

量子力学线性性的一个非常重要的后果就是量子系统不表现出混沌。任何初态的微小变化只能导致后来波函数的一个微小变化。在这种意义下,许多经典系统也是线性的。但是经典物理中的线性从来就不是精确成立的。相反地,量子力学假定在任何环境下都遵循严格的线性性质。因此,任何人如果想寻找对量子力学的修正,都必须借助于实验来寻找波函数在演化时并不严格遵守线性性质的可能性。

经过研究,我提出了对量子力学修正的微小非线性理论,这一理论颇具物理意义,并且很容易通过对线性性的一般性后果的非常高的精确度进行检验。几年前,通过与国家标准局的戴维·温兰德的交谈,我发现国家标准局那用来校对时间的自旋原子核可以用来很好地测量量子力学的线性性质。根据我提出的带有微小非线性修正的量子力学理论,原

狄拉克获诺贝尔奖的经过

王 正 行

(北京大学技术物理系 北京 100871)

20世纪物理学的第一位巨人当然是爱因斯坦。但谁是第二位,谁又是第三位呢?这个问题的答案就因人而异。扬振宁先生在一次演讲中曾经说过,他最佩服的3位当代物理学家,是爱因斯坦,费米和狄拉克。杨先生说,狄拉克解决问题的方法像是神来之笔,读狄拉克的论述有秋水文章不染尘的感觉。我们想在这里来说说狄拉克获诺贝尔物理奖的事。

20世纪20年代中期参与量子力学建立的,主要是格丁根学派的玻恩、海森伯和约尔丹,剑桥的狄拉克,法国的德布罗意和奥地利的薛定谔。1924年玻恩意识到需要有一种新的数学规则来从经典力学过渡到量子力学。1925年夏天海森伯猜到了这种数学的基本形式应该是二维的数组即矩阵,写了一篇论文。玻恩和约尔丹写了第二篇论文,随后他们与海森伯合写了第三篇论文。这3篇论文奠定了量子力学的基础,在物理学史上分别称为一个人的论文、两个人的论文和三个人的论文。狄拉克看了海森伯一个人的论文预印本后,提出了一套量子力学与经典力学对应的规则,独立地得到了与玻恩和约

尔丹两个人的论文相同的结果,并进而发展了一个系统的理论。另一方面,德布罗意在1924年提出物质波假设。1926年薛定谔在这个思想的启发下提出了一个波动方程,算出氢原子的能级,建立了波动力学,后来又进一步证明波动力学与量子力学完全等效。量子力学的这6位奠基人,除了约尔丹外,余下5位后来都相继获得了诺贝尔物理奖。

狄拉克在物理学史上具有里程碑性的工作,是两年后的1928年发表的。这就是他关于电子的相对论性波动方程,这个方程现在称为狄拉克方程。这个方程从几个简单和明显的假设出发,出乎预料地自动包含了电子的自旋,并且给出了电子的与实验符合的朗台 g 因子2,立即为物理学界所接受,并激起了对它进一步和深入的研究。

这种深入的研究揭示出一个相对论所固有的问题。在经典力学中,自由粒子的能量正比于动量的平方,所以总是正的。但是在相对论中不然。在相对论中,自由粒子能量的平方与动量的平方成线性关系。所以,对于给定的动量,粒子的能量有正负两

子核的自转轴绕磁场的进动以一种很细微的方式依赖于自转轴和磁场的夹角。国家标准局一直未发现此效应使我相信:原子核的非线性效应对其能量的贡献不会大于 10^{-27} 。在此以后,温兰德和其余几位实验家先后在哈佛大学,普林斯顿大学和一些实验室内改进了这些测量,结果发现,非线性效应甚至还要小。因此,如果说量子力学的线性性质只是一种近似的话,那它毕竟是一种很好的近似。

这一切也并不非常令人奇怪,因为即使存在对量子力学的微小非线性修正,我们也没有理由去要求它能大到在第一轮实验中就能清晰地观察到。真正对这种理论感到失望的地方在于这种非线性修正存在一些纯理论上的困难。一方面,我没能找到一种能将这种量子力学的非线性修正建立在爱因斯坦狭义相对论的理论基础之上。另一方面,在我的论

文发表之后,日内瓦的吉辛和我的同事、德克萨斯大学的约瑟夫·波琴斯基都分别指出,根据爱因斯坦-波多斯基-罗森(EPR)的思想实验,这一非线性理论可以用来在长距离间瞬时传递信息,但这与狭义相对论相违背。至少在目前,我已经放弃了我的非线性理论,原因很简单,由于我不知道如何对量子力学作一点小改动而不将其彻底破坏掉。

不仅仅是对线性性的精确验证,而是寻找另一种可行的量子力学新理论的失败使我相信:对量子力学的任何修改都会导致逻辑上荒谬的后果。如果确是这样的话,量子力学将是物理学中永恒的一部分。这就是说,量子力学不是深层次理论的一种近似,即不像牛顿引力理论只是爱因斯坦的广义相对论的一个近似那样,而是像终极理论那样具有精确成立的特征。