

# 传承与创新

李学潜

(南开大学 300071)

也许我应该把本文的题目改成创新与传承,至于哪个更重要是没有定论的。实际上它们两者的关系是密不可分的,唇齿相依!创新是物理学的精髓、灵魂,没有创新,物理学就成了死水一潭。但从另一个角度看,传承和提高是物理学的基础,没有传承根本谈不上任何创新!这也是我们对研究物理学的共识。可以认为,传承是沿着某种突破后开创的道路不断深化、提高,向更深入层次前进。在这个阶段,不仅要巩固已取得的成果,做更细致的研究和探讨,而且还有更重要的任务,就是发现现有理论中的错误和不足之处。暴露理论的缺陷实际上是为了新的突破,建立新的理论做准备。

让我们简单回顾一下物理学发展史。从我们最熟悉的牛顿三定律开始。伽利略定律实际上就是牛顿力学第一定律:物体不受外力时保持直线匀速运动。那么,牛顿就追问,那要有外力就怎么样了?实际上,加速度是可以测量的,但力和质量的定量表达是很困难和有疑问的。它们的定性确认并不困难,我们的经验就告诉我们,施加的力越大,物体获得的加速度就越大,而物体的惰性(也是惯性)越大,在同样的外力之下获得的加速度就越小。但定量决定这力是多大,惯性是多大,却不是简单界定的。

伽利略还利用根据比萨斜塔实验指出自由落体的加速度和物体的质量无关。这实际上已预示力与质量的线性关系(当然进一步看,也隐含爱因斯坦的等效原理,但这是后话了),但伽利略并没有继续深入,而是等到牛顿做出他的力学第二定律,这个至今仍然是力学经典的  $F=ma$  才出现。这个突破是在伽利略工作的基础上完成的,难怪牛顿说

“我站在巨人的肩上”。但这个突破不是简单的传承,而是实实在在的巨大创新。当牛顿把微积分结合到物理学中,将加速度写成位置矢量对时间的二次微商,  $F=ma$  就变成  $F=m\frac{d^2x}{dt^2}$ ,这可是石破天惊的突破了。力学定律成了数学上严格可解的微分方程,只要知道在某一时刻物体的位置和速度,就能知道其后任意时刻物体所处的位置和具有的速度。这种预言能力将物理学推到一个远远超越其他学科的科学。难怪当时的物理学家说“如果这个学科不是物理学,那就只能是集邮”!这种突破实在不是一般人能做到的,正因为牛顿是微积分的创始人之一(还有莱布尼兹)才能有这个能力。因而,看起来实现重大突破确实需要超出本领域的一些知识和才能。物理学后来的进展也说明了这个事实。下面我们通过一些大家比较熟悉的例子在来阐述传承和创新的辩证关系。

## 1. 传承的重要性

物理规律在我们这个宇宙中是亘古不变的,一万年人类祖先为了生存用来描述物体的运动是牛顿定律(虽然他们不知道这个伟大的定律)。先不说相对论,因为一般涉及的运动速度都是远低于真空中的光速,牛顿力学虽然是近似,但很精确地描述了一般出现的物理规律,今天还是这样。发射飞船,卫星依据的公式仍然是牛顿定律。但是尽管物理规律没有改变,但物理学在不断地进步。今天,物理学进入了量子时代,几乎所有的物理乃至化学、生物学分支都依赖量子力学。一万年量子现象就存在,但那时候没有量子力学。其原因首先是

我们的祖先为创造更好的生存条件用不到量子力学的知识,另一个原因是知识的积累没有达到需要量子力学的层次。

传承并不意味着全盘接受原有理论,当然合理消化原有理论是不可或缺的第一步,但不是终结。传承是为了在新的课题中应用,同时也不断检验这些知识,看看是否与新发现的现象有矛盾,从而推进理论的更新。所以传承不是接受所有存在的知识和简单重复,而是在应用过程中检验这些知识。另一方面,也是不断提高理论应用的技巧和计算效率的过程。简而言之,传承不是简单的堆积,而是在已有的基础上主动进取。但也要看到,传承的主流不是革命性的创新,而是为了理论的创新突破做积累,为理论的创新、飞跃积攒力量。

## 2. 创新

我们在前面已经明确指出,只有创新才是物理学的灵魂,也就是对大自然奥秘的更深层次获得新的认识。这种创新不仅是物质的,是对自然规律的深入理解,而且是在思维层次上的飞跃。我们下面就对物理学史上几个典型事例做些分析,希望从中得到一些启发,为我们的研究提供参考。

牛顿的万有引力定律可以说是在几百年来最伟大的突破,不仅是得到引力和距离,质量的定量关系,而且使人类关于引力的概念飞跃到新的水平。然而,万有引力的构造又为研究者设置了很多需要解决的难题。解决这些理论难题的要求促使爱因斯坦提出等效原理:惯性质量必须严格等于引力质量。这两个完全不同概念的融合作为了广义相对论的基础。这儿,我们不禁十分钦佩爱因斯坦思维的创造性和他致力于用最容易理解的方式向大众介绍那么深奥的理论。他用在高速运行的火车上进行测量解释了狭义相对论,又用高速提升的电梯(爱因斯坦电梯)解释了等效原理。概念清晰,即使不懂爱因斯坦的狭义相对论(洛伦兹变换)公式和广义相对论(黎曼几何)的普通人也能对这两个深

奥的原理有所了解。爱因斯坦抛弃万有引力中“力”这个传统概念,而代之以质量引起空间的弯曲,这个理论将物理规律与几何联系在一起,无疑是一个认识的飞跃。维尔切克将这个思想推广到解释弱相互作用,电磁相互作用和强相互作用:广义相对论-狭义相对论的局域化; $U(1)$ 规范对称性-电荷特征空间旋转的局域化; $SU(2)$ -弱核特征空间旋转的局域化; $SU(3)$ -强核特征空间旋转的局域化,局域化对应高能物理标准模型的几何解释。这个概念目前还没有被学术界普遍接受,但不失为一个很有意思地理解相互作用本质和统一四种不同相互作用(引力,弱,电磁,强)的可能途径。

另一个例子是麦克斯韦方程组。当然,他的理论是建立在几位科学家杰出工作的成果之上(传承),但他引入了位移电流 $\frac{\partial E}{\partial t}$ ,从而保证了电荷守恒的基本物理规律。他的方程,加上洛伦兹力构成了整个经典电动力学的理论框架。特别有意思的是麦克斯韦方程组明确地显示了电与磁,这两个看似无关的量之间的对称。有人会问,电有库仑定律,而磁场的散度为零,那怎么体现对称?这是由于自然界给我们设立的另一个法则:磁单极不存在,因而磁荷密度 $\rho_M=0$ ,形式上将 $\rho_M$ 写到方程中就看到对称性了。其实还有一点,电场的旋度正比于磁场对时间的微商(法拉第定律),但存在一个负号(楞次定律),而上面说的位移电流前面的系数是正的,这点不对称造就了我们的自然界。没有这个负号,就不存在电磁波的传播,太阳会由于无法散热而崩溃,当然,我们也就不能享受电视、手机带来的快乐啦。李政道先生的教导:对称体现了宇宙之美,不对称对应宇宙之实!诚然,麦克斯韦方程预示了电磁波的存在,赫兹实验真正用实验验证了电磁波的真实性和应用会给世界带来如此大的影响,没有它,这个现代的人类根本无法生存,人类文明也无从谈起。今天的学者,哪怕是普通人都对电磁波有深刻的认识,但诺贝尔奖获得者温伯格告诫学生:“你们可能

比麦克斯韦更懂得麦克斯韦方程,但你们绝对没有麦克斯韦伟大!”这就因为麦克斯韦的工作是创新,从无到有,从0到1。

再有一个影响20、21世纪人类文明的量子力学的诞生,更是一次无法想象的飞跃。当牛顿将微分引入物理学,大家相信所有的物理量,不论宏观还是微观,都是一点一滴积累起来的,任何可测量的物理量,能量,动量,电荷等都是从 $\varepsilon \rightarrow 0$ ,积累得到。所有量都是连续的,可以用积分来 $\int dx$ 得到,其中积分变量 $dx$ 就是无穷小量。积分是无穷小的积累到有限。19世纪对黑体辐射能量分布的研究指出,所有这些原有的理论公式都不能给出符合实验的结果,经过长期痛苦的思考,普朗克认为只有抛弃无穷小求和,也就是让 $dx$ 不是 $\varepsilon$ ,而是一个有限数, $\Delta E = h\nu$ ,其中 $\nu$ 是电磁波的频率, $h$ 是普朗克常数,是有限的。于是积分就变成了求和 $\int dx \rightarrow \sum \Delta x$ 这个假设给出完全符合观测的结果,但颠覆了多年来理论家对牛顿力学的信仰!难怪普朗克本人用了几十年的时间,思考如何将这个惊人的假设归结到传统的连续理论框架中,直到薛定谔的理论获得成功,他才意识到这个不连续是描述微观(我们今天知道还有宏观量子效应)的正确理论,于是量子力学就诞生了!

### 3. 突破性的飞跃总是伴随剧烈的争论

突破传统的观念是困难的,有时也是很痛苦的。特别表现的是爱因斯坦的狭义相对论和量子论的诞生引发当时整个物理学界的巨大争论。

爱因斯坦的狭义相对论颠覆了当时视之为永恒真理的牛顿-伽利略的时空观:时间和空间是相互独立的。正因为狭义相对论的革命性,这个理论激起很大争议,以至于诺贝尔奖委员会是以爱因斯坦在给出光电效应的量子解释颁发诺奖。但真理就一定胜利。现在除了少数顽固不化的“科学家”,已经没有人怀疑狭义相对论的正确性了。狭义相

对论的基础是因果律,也就是宇宙中任何事都是前因的结果。

量子力学会导致因果律的违反,因而它的创生使当年学术界充满了争论。前面我们已经介绍了当普朗克在将“量子”这个概念引入到物理学中时,他承受了巨大的压力。在P. 罗伯森著的《玻尔研究所的早年岁月》中就介绍了1921~1930年,以玻尔为首的哥本哈根学派与爱因斯坦的另一派之间的尖锐的争论。爱因斯坦坚持“上帝不玩骰子”,否定量子力学的概率解释,特别是他认为量子“纠缠”违反了因果律。他认为量子力学本身不完备并提出的若干“理想”实验以支持他的“隐变量”的观点,提出了著名的EPR佯谬。玻尔逐条进行了反驳。这个争论持续了几十年直到贝尔建立了可以判断量子力学是否错误的理论——贝尔不等式(贝尔本人在那个时候是支持爱因斯坦观点的),经典理论(隐参量存在)保证这个不等式一定成立,因而如果这个不等式被实验推翻,即不等式的不等号翻转,那就是宣告量子论的正确。直到近年来才由蔡林格领导的小组验证了贝尔不等式的破坏,证实了量子“纠缠”的存在。玻尔和爱因斯坦间尖锐的争论实际上是促使双方乃至这个物理学界对量子力学的理解更趋深化,是非常有益的,尽管辩论的双方感觉到压力,情感上也受到一定的损伤,但从推进对量子力学的理解方面是积极的,有益的。可以说争论是促进理解必不可少的环节。

我们东方人一直有谦虚的美德,不愿意和对手刀枪相见,争得脸红脖子粗。这是美德,但对推进对学术的更深层次的认识,提高学术水平却不是很有利的,这在玻尔-爱因斯坦之争中就深有体现。在我国的学术界基本上是保持互相学习,在一些有争议的问题上尽量不作剧烈的批评,保持和气。但也不总是这样。北京大学的曾谨言教授和中山大学的李华中教授是我国量子力学泰斗级的人物,他们围绕贝利相位的拓扑性质进行了激烈的争论。两人分别发表了若干学术论文阐明自己的观点,也在全国的学术会议上进行辩论。一度双方的观点

尖锐对立,争论有时超出学术探讨的范围。据说,在一次国内专业会议期间,两位年纪已高的学者带着急救药品参会。一方面,我们不希望看到这么激烈的个人间的争论(可能造成可怕后果),但我们更是由衷钦佩这两位学者对物理学的执着精神。在整个物理学史中没有这种精神就不会有今天的成就。也许我们应该鼓励年轻人在物理学的根本问题上坚持自己认为是正确的理论,不要怕分歧和争论,相信真理是越辩越明的。一旦自己的理论被(实验数据)证明是错误的就要老实地接受,这不是丢人的事!

#### 4. 传承与创新

传承与创新是辩证的统一,相辅相成,确是哪一个侧面都不可能达到今天物理学的辉煌。

纵观我们国家的物理学进展,1949年新中国成立以来,我国物理学家取得了举世瞩目的进展。在物理研究的支持下,数不胜数的成就显示了我国科研和工业已经进入到世界的前列。但正如钱学森先生多年前指出的,我们虽然在很多方面处于世界领先地位,但在创新,特别是重大突破方面仍然没有特别可夸耀的成绩。

前些天何祚庥院士和夫人庆承瑞教授接受电视台采访时,庆老师就很激动地批评说,你看看医院那么多先进设备,那都是根据物理学最基本原理建造的,但怎么都是进口的,我们国家的物理学家不能造吗?这也体现了我国科学家在传承方面做得很突出,但在创新方面就落后了。这并不是说我们年轻物理学家不努力,或在智商上不如西方科学家,绝对不是的。炎黄子孙在历史上,在近代物理发展上都表现优异,它们也是日以继夜地在学术领域刻苦耕耘,那为什么就没有突破呢?原因可能是多方面的,甚至可能和我们的文化中趋于保守的观

念有关。而且也来源于社会对物理学家有些过激的期望。威尔逊(Wilson)多年来一篇文章都没有,学校也有人认为应该解除他的合同,但他的同事认为威尔逊是少有的杰出物理学家,他对物理的见解超人一等。果然,厚积薄发之下,他连续发表若干论文,奠定了统计物理中这个领域的基础,包括他获得诺贝尔奖的文章。这让我想到,我们国家,或一个大学如何对待这样若干年不发文章的精英。由此可见,要想在物理研究中做出重大突破,就必须给这些精英一个宽松的环境。当然也许100个这样的学者,多年来做不出成果,不出文章,也许这100个里面只有1个(也许更少)最后能成功,但要是真这样,也值了!

当然,如相对论的诞生、量子论的创建这样巨大的突破在历史上也是极为罕见的,它们的成功不仅需要理论家的丰富学识,知识的积累,还需要实验条件达到新水平,相互配合才有可能实现。我们不能期望天上掉馅饼的好运气,要建立一个新的相对论或量子论是需要大智慧和时机的。但相对比较小的突破却比比皆是,能否抓住机会是每个物理学家需要思考的。正如当年黑体辐射的疑难导致量子论的诞生,今天关于暗物质的疑难也像20世纪初两朵乌云那样悬挂在天空,这无疑也是给年轻的物理学家提供了机会,解决它就实现了跨越时代的突破。

突破式的创新和传承是紧密连在一起的,突破是从0到1,传承是从1到100,直到下一个突破的来临,传承为新的突破做好准备。相对来说,我国的年轻学者在传承方面做的努力更多一些,而在涉及突破的方面就显得不足,与我们国家整个科技水平不相匹配。我们期望我国优秀的年轻物理学家能在21世纪做出真正以我国科学家为主,突破的项目与他们的名字能联在一起的新理论,给钱学森教授提出的问题一个完美的回答。