

模型在物理学发展中的作用

胡宁

(北京大学物理系, 北京 100871)

模型是物理学认识由唯象理论过渡到动力学理论重要的环节. 物理学的发展史清楚地说明了这一点. 它通常是摆脱了旧概念的独立思考的成果, 代表科学着认识的飞跃. 开普勒的行星运行模型, 气体的分子运动模型, 爱因斯坦的光子模型, 卢瑟福-玻尔的原子模型和爱因斯坦的时空模型等都是重要的例子. 这也表明在科学教学中培养和鼓励活跃和创造性的思想是非常重要的.

Abstract

In physics models are important links between phenomenological and dynamical theories. The history of development of physics have shown clearly that this is true. Important physical models include Kepler's model of planet motion, Einstein model of photons, Rutherford and Bohr model of atoms, and Einstein model of space-time in special and general theories of relativity. Correct physical models are usually the award of breaking through obstacles and limitations of old concepts. This shows that education in science should always encourage free and creative thinking.

物理学的发展是从人类对天体的观察和研究开始的. 伽利略对行星的观察奠定了物理学的基础. 在这以前, 人类曾对星象进行长期的观察, 并根据观察记录制定历法, 这是对天体运动规律认识的唯象阶段. 直到开普勒给出他的三定律, 物理学才从唯象阶段过渡到理论阶段. 开普勒的定律实际上给出了太阳系行星运行的模型. 按照这个模型, 行星围绕着太阳在椭圆轨道上运动, 而且行星对太阳视角的改变速度是与行星离太阳距离的二分之三次方成反比的. 牛顿正是在这个模型基础上建立牛顿力学和万有引力理论的. 在自然科学发展过程中, 我们发现模型通常是由唯象认识过渡到动力学理论的桥梁. 在这里顺便讲一下一件有趣的故事. 开普勒在他发表这个定律的论文中, 还详细地讨论了一直有争论的神学问题. 这个问题是在一个针尖上能有几个天使跳舞. 这种把神学与科学混为一谈的做法, 表示出那个时代人们的心态. 他从神学的论证得出的结论是可有七个天使同时在一个针尖上跳舞. 我还想再讲一个广泛流传的有关牛顿怎样创立引力理论的故事. 几十年物理

前我在小学读书的时候就曾在语文教科书里读到过这个故事. 故事说有一天牛顿在苹果树下睡觉, 突然树上一个苹果掉落下来, 牛顿受到启发, 才提出了引力理论. 应该指出, 这是个不真实的故事, 它完全违反科学发展的规律. 重大的科学进展都要经过大量的实验和理论的探索, 要经过很多人的劳动和智慧方能取得. 如上面所说, 牛顿力学和他的引力理论是经过几代人的探索才获得的科学成果.

模型在近代物理和其他学科的发展中也起着非常重要的作用. 最著名的有道尔顿的分子模型, 玻尔的原子模型, 以及后来的原子核模型等. 在上个世纪, 英国物理学家提出的气体运动论假定气体是由相互作用弹性碰撞的自由运动的分子构成的. 这个气体模型圆满地用牛顿力学解释了气体热力学的结果, 使关于气体的热力学唯象理论发展成动力学的统计理论. 气体运动论的方法还可应用于处理电磁场辐射的运动并根据电动力学导出黑体辐射的频率分布. 英国人对气体运动理论的成就感到非常骄傲, 称之为飘扬于英国上空的 19 世纪彩云. 气体运动

论的确是牛顿力学和电动力学应用于描绘物质内分子的集体运动的辉煌的成就,但它却同时孕育着自身的危机.在19世纪终由这个理论所描绘的气体比热和黑体辐射的频率分布,与实验结果不符.为了解决理论和实验之间的矛盾,普朗克假定电磁辐射的能量是不连续的,即辐射能量具有最小的称为“能量子”的单元.不同频率辐射的能量子的能量为辐射的频率乘以普朗克常数.这个假定后来导致量子统计力学在微观领域内代替了经典统计力学.爱因斯坦提出的光子模型进一步阐明了物质的波动和粒子的二重性.卢瑟福的原子模型加上玻尔的对原理,海森伯的矩阵力学和薛定谔的波动方程所发展成的量子力学在微观领域内代替了经典的牛顿力学.这些物理学的模型真实而直观地反映出客观事物的本质,代表着科学认识上重要的飞跃.这是物理学基础深入发展的非常重要的环节.在60年代,盖尔曼提出的“夸克”模型现已成为组成质子、中子、介子等“强子”的更原始的粒子.这进一步地把人类对微观运动规律的认识推进到更深的层次.当盖尔曼提出强子是由更微小的粒子结合而成的复合粒子时,并没有很大的信心,因此以一种怪诞的鸟叫声作为这种粒子的名称.“夸克”就是这个叫声的声音.我们称这种新粒子为“层子”,表明它代表物质微观结构更深的的一个层次.上面这些模型都是从实验素材和唯象理论升华出来的.

19世纪牛顿力学对发展科学技术起了非常重要的作用.人们认为人类对自然界的运动规律已全部掌握.因而,所有的物质运动应能用牛顿力学解释.当人们认识到不能用牛顿力学解释量子现象时,一些人认为物理学出现了危机.事实上,正是牛顿力学取得辉煌成就的气体运动理论首次发现牛顿力学不能解释量子现象.这些并不表示量子统计力学和量子力学只在微观领域内才是正确的.在宏观领域内,量子力学和量子统计力学的计算结果将分别趋于牛顿力学和经典统计力学的计算结果.在处理原子的内部运动问题时,量子力学实际上比相应的牛顿力学简单得多.用牛顿力学计算两个行

星在太阳系中运动的三体问题非常复杂,而用量子力学处理由两个电子和一个原子核组成的氦原子问题则比较简单.我们知道原子内部粒子是通过电磁场相互作用的,电磁场是一个线性场,而现已知道描绘层子(夸克)之间的相互作用的“胶子场”是非线性的场,目前对非线性场的处理存在有很大的困难,这为解释层子的运动和相互作用造成很多困难.理论处理还停留在唯象阶段.在原子物理里非常有效的微扰近似计算方法对层子不再适用.完善的处理这类超微观问题是对理论严峻的挑战.这是下一代理论家们可以大显身手的领域.

近30年来,全世界的高能粒子的实验和理论都在探索层子的运动和相互作用的规律.这些作用包括强作用,弱作用和电磁作用,并且发现很多与层子作用的称为“强子”的由层子和反层子结合成的各种激发态.我国为高能物理实验新建的42亿电子伏电子对撞加速器是目前全世界做这方面工作最有效的装置之一,现在已经得出重要的实验结果,近期还将会得出更重要的成果.

我觉得在谈到模型对科学发展的重要时,还须指出独立的和创造性思想的重要性.研究最重要的精神是独立的和创造性的思考,而不迷信权威成为旧概念的俘虏.我们应当继承前人而不要陷入前人的束缚.也就是说,役古人而不为古人所用.这是上联,我还要添一句下联:用数学而不为数学所役.在量子力学发展前期,计算结果中出现发散的积分.按照严格的数学观点,量子力学方程根本无解,但物理学家正确地用物理的观点处理了发散的积分,获得了与实验相符的结果.

科学研究贵在有活跃的思想,思想活跃才能有创见.当然,首先必须联系实验,联系实验有时是直接的,有时则比较间接.基础研究不应忽视深入的思考和执着的探索.为着说明科学思想的重要,我们回顾一下爱因斯坦是如何提出狭义相对论的.大家知道牛顿力学的规律在所有惯性坐标中都是相同的,因此不能够用运动学和动力学来确定绝对静止的坐标.也就是

说,运动是相对的.因而在牛顿力学中没有绝对静止的概念,虽然牛顿本人认为绝对静止的坐标是存在的.按照当时的电磁学,电磁现象在不同惯性坐标中是不同的.也就是说,绝对静止的坐标是存在的.人们认为这个绝对静止的坐标就是“以太”.电磁波以固定不变的光速在以太中向不同方向传播,正像声音以固定的速度在静止的空气中传播一样.在相对于以太运动的坐标中,光速在沿运动和反运动方向是不同的,因此可以用对光速的测量来确定测量者所在的坐标相对于以太的速度.但是后来迈克尔逊和穆莱的实验却测不出这个速度.当时人们对这个矛盾的解释是:由于在运动中测量仪器的内部电磁力发生变化而使仪器长度沿运动方向缩短,因而光速变快和长度变短的效应互相抵消.这种长度的缩短称为洛伦兹缩短.有些教科书认为特殊相对论的提出是为着消除光速测量和以太理论间的不可调和的矛盾,这是不正确的.爱因斯坦在他的自传中曾提到他是怎样提出特殊相对论的.他当时并不知道这个测量光速的实验.他所以考虑相对性问题,是因为他注意到只要把牛顿力学中由一个惯性坐标系到另一个惯性坐标系的伽利略坐标变换换成洛伦兹变换,电磁现象就可以满足相对性原理.当时洛伦兹变换已经存在,但是人们不认为它代表惯性坐标变换.因为它与牛顿力学的惯性坐标变换相矛盾.爱因斯坦给这个变换一个重要的意义:他认为这个变换显示时间和空间可以相互转化.这样洛伦兹变换就代表真正的惯性坐标变换,电磁场的运动和力学运动都将在新定义下的惯性坐标变换下满足相对性原理.为着使力学规律在新定义下也满足相对性原理,牛顿力学也被推广成相对论力学以使它在新的惯性坐标系中满足相对性原理.当运动的速度比光速小得多时,相对论力学即趋于牛顿力学.

认为时间和空间可以互相转化是概念上一个重大的飞跃.它表现出思想的洞察力和能动性.

性.爱因斯坦另一个重要工作是广义相对论.这个理论所根据的“等效原理”的内容可用下述的“理想实验”来说明.在加速降落的电梯里,地心引力将变小.在自由降落的电梯中,则感觉不到地心的吸引力.这说明引力可以转化为加速.坐标加速可以改变引力.这个简单的现象是人们经常体验到的,但很少有人会深入地思考这个问题.爱因斯坦就是善于深入思考这类问题而在科学研究中获得成就.这说明在学习和作科学研究时,必须勤于思考.勤思考才能产生洞察力和预见性,才能在人们认为没有问题的地方发现新问题.再者,不应认为有些想法看来可笑而不敢提出或进一步予以思考.有时候你开始时认为是错误的想法最终证明是正确的,即使是错误的想法也可通过思考获得教益.

从以上的讨论我们看到,独立的、活跃的、不受旧有概念限制的思考方式是发现新理论和物理模型重要的条件.我国古代读书人讲究博学强记,有很多人无目的地搞博学强记,对像《十万个为什么》这类书非常感兴趣.近年来在电视上兴起的对中小学生的知识竞赛,有些内容异常偏僻.在学校里,通常沿用灌输式和填鸭式教学方式,除此以外还加进很多清规戒律.例如,在小学里,如果在算术应用题的答卷里,把3乘2写成2乘3,就算错误.很难设想,一个农民,在售卖农产品作类似的算题时,会注意到2乘3与3乘2的区别.这样用清规戒律限制学生独立的和创造性思考能力的做法是很不应当的.有一次美国一个杂志编辑列出一个科学家应该记住的知识和数字,请爱因斯坦审查.爱因斯坦回答说:“根本不需要记住这些.”诚然,知识和数据都不难在文献中查到,训练学生从文献中查阅需要的重要知识正应该是重要的教学内容.工作上需要的知识和数据在多次接触后自然会记住,而最重要的却是独立判断和创造性思考的能力.学者不应该让博知和强记挤掉自己创造和判断的能力.