



漫谈理想实验

在物理学发展中的作用

卢学伟

(河北衡水师专物理系 衡水 053000)

理想实验亦称思想实验、构想实验、臆想实验或假想实验等。它是借助人脑的想象功能,凭借理想的或者说是最少外界干扰和影响的极端条件下,利用想象中最理想化的仪器,进行最理想化的实验操作和观察来完成的,贯穿于理想实验始终的是逻辑的方法。也就是说,这种实验没有实在的仪器,没有实际的操作,是依靠人们的直觉、丰富的想象和创造性思维来完成的。理想实验是人们的一种高级思维活动,是一种思考实验,是虚构的、不能实现的实验。但是理想实验无论是对于物理学的发展,还是对于物理学的教学,都有着极密切的关联,因为它提供了一种科学的研究方法,在物理学发展中具有重要而独特的作用。

众所周知,物理学是一门实验科学。实验定律是物理学理论的基础,也是用来检验各种理论真伪是非的标准。理想实验与实物实验相比,它没有实在的仪器和实际的操作,但两者

用爱因斯坦关于光的波粒二象性公式,提出了关于物质粒子的德布罗意关系式。

$$E = h\nu \quad \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

这种看来似乎荒谬绝伦的假说竟然奇迹般地得到了实验证明。

在德布罗意的启发下,奥地利物理学家薛定谔仍然采用类比推理,将经典力学与光学进行类比:几何光学是波动光学的极限情形,因此,经典力学就可能是某一种波动力学的极限情形。由此,他提出了薛定谔波动方程,建立了波动力学。

德国哲学家康德说:“每当理智缺乏可靠论证的思路时,类比这个方法往往指引我们前

具有一样的功能。

一、理想实验澄清物理学中的错误观念,推动物理学的发展

早在公元前4世纪,亚里士多德提出关于“力是维持物体运动的原因”这一错误观念,此后,在人们头脑里统治了两千年之久,使人们对运动的认识始终含糊不清。直到近代物理学之父伽利略痛斥了亚里士多德的错误观点,推出了物理学的新观念,使人们由错误观念的漩涡中解脱出来,并看到了物理学发展的曙光。在这里,伽利略借助的就是理想实验的方法。伽利略设想小球在无摩擦、无阻力的理想斜面间运动,若小球从一有固定倾角的这样的斜面上某一高度沿斜面滑下,能沿不同倾角的同样斜面爬到等高。当考虑到小球所爬斜面的倾角连续变化到 0° 的理想极限时,则“小球再也爬不到等高,而要永远运动下去。”根据这个理想的斜面实验,伽利略得出结论:“运动一旦开

进。”近代物理发展的史实充分证明了这一点。教学过程中,让学生从方法上了解前人是如何从已知寻求未知的,其重要性至少不低于对某一具体定律的学习。

五、结束语

综上所述,在整个物理教学的全过程中,科学方法的阐述贯彻始终。它可以激发学生的浓厚兴趣,从而调动了教学环节中主要成员的主动精神;它可以使物理这门课不但起到传授知识的作用,而且也培养了学生探索未知的创造精神;它好似一根红线,将物理学中的各部分联成了一个整体;它不是可有可无,而是与这门课程的基本知识处于同等重要的地位。总之一句话,它是在教学中不可缺少的一环。

始,就将无限地继续下去,假如没有障碍停止它的话。”这实际上就是惯性定律——运动第一定律,不受力的物体保持匀速直线运动状态,力与物体运动状态的变化相联系.这是伽利略、牛顿与亚里士多德在力与物体运动关系上的根本分歧.这个理想实验不仅推翻了亚里士多德的错误观念,在某种意义上来说,它标志着物理学的真正开端,物理学就是由此诞生的.

二、理想实验是建立新概念的最佳方法

理想实验不象实物实验那样依靠人们直接使用仪器,进行实际操作,但也有它一定的程序.一般的程序是:实验者首先提出需要研究或者是评判的命题,进而设计一个不必考虑任何的技术困难和任何外界影响的又在实际上是往往无法实现的实验,然后借助于自己本身已有的知识,在大脑中或者纸面上发挥人的高级思维和丰富的想象,运用逻辑推理的方法,得出实验的逻辑结论,最后对命题做出评判.由著名的麦克斯韦妖这一理想实验引入负熵的概念就是最好的例证.

1871年麦克斯韦提出了旨在反对热寂说的“麦克斯韦妖”的问题,这实际上是一个关于热力学第二定律的著名理想实验.麦克斯韦认为,在连为左右的两个密闭容器内盛有温度相同的气体,两容器由隔板隔开,隔板上有小孔,小孔上有可以自由开关、无摩擦力的小闸门,小门由一种能够追踪并识别每个分子运动的小精灵把守,小精灵能够操纵此小闸门,并只允许运动速度快的分子由左到右,运动速度慢的分子由右到左.于是在小精灵的控制下,完成了分子动能由左到右的有效转移,不消耗任何功而使一个容器升温和另一个容器降温,形成温差,建立了秩序,实现了熵的自发减小,从而推翻了热力学第二定律.由于麦克斯韦的高度声望,使他的这个理想实验闻名遐尔,引起了广泛的关注和讨论,迷惑科学界数十年之久.麦克斯韦妖是否存在,若存在,则热力学第二定律是否应该修正或甚至被推翻,这是需要认真回答的问题.直到1949~1956年,布里渊在前人研

究的基础上进一步研究了信息和熵的关系,认为麦克斯韦妖并不违背热力学第二定律.很明显,麦克斯韦的小精灵要完成分子动能的有效转移,就必须获得分子运动的信息,也就是要看得见、分得出,这就需要进入外界的光线和能量,而光线和能量进入密闭容器后,就会引起熵的增加,增加的熵足以抵消麦克斯韦妖所减小的熵.所以,布里渊最后的结论是“麦克斯韦妖是一个非封闭系统”即开放系统.光线和能量进入容器,就是向该容器输入了负熵,从而引入了负熵的概念,对宇宙的熵是无限增大的错误理论提出了有力的挑战.

三、理想实验是探索和创建新理论的必不可少有效方法

爱因斯坦不仅创建了狭义相对论,而且创建了广义相对论.在这两种新理论的创建过程中,爱因斯坦运用了大量的理想实验作为他这两种理论的方法论依据.“追光”是爱因斯坦与狭义相对论有关的第一个朴素理想实验.他想:“如果我以速度 c 追随一条光线运动,那末我就应当看到,这样一条光线就好象一个在空间里振荡着而停滞不前的电磁场,可是无论依据经验,还是按照麦克斯韦方程,看来都不会有这样的事情.”从而使他认识到,伽利略变换和麦克斯韦方程之间的矛盾,想到了牛顿力学所隐含的问题.而对同时性的相对性,爱因斯坦则是通过这样一个理想实验形象地论证的:东西方同时出现闪电时,站在中间的观察者认为是同时发生的,而坐在由东向西行驶的火车上,并由他旁边经过的第二个观察者则认为不是同时发生的.这是因为第二个观察者正在趋近西方的闪电而远离东方的闪电,因此他认为西方的闪电早于东方的闪电.因此静止的观察者看来是同时发生的闪电,在运动的观察者看来却是先后之分.若再进一步设想,第二个观察者坐的火车若是以光速由东向西前进,则他只能看到西方的闪电而不能看到东方的闪电,因为东方的闪电根本追不上他.爱因斯坦在这里指出了同时性的相对性——相对论的精髓之一.同时,爱因斯坦又通过理想的时钟和理想的刚性

量杆两个实验进一步指出：“我们不能给予同时性这个概念以任何绝对的意义，两个事件，从一个静系看来是同时的，而从另一个相对于这个坐标系的运动着的坐标系看来，它们就不能再被认为是同时的事件了。”在这里，爱因斯坦对“同时性”定义了新的概念，提出了长度和时间的相对性原理。

在相对论的创建中，爱因斯坦运用理想实验做为新理论的论证工具和基础。除前面提到的两个理想实验外，比如还有利用爱因斯坦盒子的理想实验证明了质能公式 $E = mc^2$ ，阐明了质量和能量的等价性，即任何有惯性的物质必具有能量，反之任何具有能量的物质必具有惯性，使原来彼此独立的质量守恒定律和能量守恒定律可统一成质量和能量守恒定律。再比如借助两个流质物体的转动和两只时钟在旋转盘上的理想实验等，找到了所以要扩充相对论公设的缘由，提出了广义协变的公设要求：“普遍的自然规律是由那些对一切坐标系都有效的方程来表示的，也就是说，它们对于无论哪种代换都是协变的（广义协变）。”这就构筑出了广义相对论的框架，为广义相对论的建立铺平了道路。可以说，爱因斯坦在创建相对论的过程中，巧妙地利用理想实验指出相对论的某些原理，理想实验的方法是爱因斯坦最具特色的重要的科学研究方法，使它在相对论的创建过程中占有独特的地位。同时，在相对论创建中理想实验的运用数量之多，也是前无古人的，从某种意义上讲，相对论就是创建在理想实验之上的。相对论的创建史，就是理想实验一部绝妙的运用史。

四、理想实验是解释新概念和新理论的切实可行的好方法

理想实验重要而不可取代的作用在于判断，判断理论或假说是否符合事实。物质波的概率论解释就是建立的理想实验的方法之上的。

德布罗意提出的微观粒子的波动性概念被人们普遍接受并认可以后，随之而来的是描述粒子行为的波函数究竟有何种意义，立即成

了物理界广泛关注的问题。物理学家设想了各种理想实验进行尝试，试图对波函数做出解释，以便把微粒的波动性和粒子性统一起来。当时量子力学权威之一的薛定谔认为，电子的质量和电荷并不集中在一点上，而是按与波函数平方成正比的方式分布在空间某一体积内。薛定谔提出了一个理想实验来解释自己的这一观点：设想电子被禁锢在两个绝对刚性的壁之间往返运动，则电子的波函数在两壁之间形成驻波，利用波函数可以很好地说明电子质量的分布并与经典理解对应起来。这样看来，薛定谔的观点似乎已被得到证实。但谁知立刻在另一个理想实验中遇到了麻烦。若设想一个电子向一负电荷层运动，按经典量子理论，如果电子能量较小，因受负电荷层排斥而反射返回；当电子能量大到足以克服负电荷层形成的势垒时，才能穿越负电荷层并进入到负电荷层的背后。若用波来描述电子，入射电子就相当于入射波，根据薛定谔方程的解，无论此入射电子的能量多大，总是会同时存在反射波和透射波。按前面薛定谔的理想实验，入射电子则应被一分为二，其中一部分质量被反射，另一部分质量则被透射。但在事实上这是从未观察到过的，即电子不会被一分为二，更不可被分成多份。因而后一个理想实验否定了前一个理想实验。至此，是否山穷水尽了？不然。玻恩在考察了所有这类理想实验之后，提出了微粒波函数的概率论解释，也就是粒子在某处出现的概率正比于该处波函数的平方。此解释被物理界所接受，为物理学家所公认。同时，也使量子力学的重要原理——粒子的波、粒二象性的地位得到巩固，为量子力学的进一步发展奠定了基础。

总之，纵观科学的发展史，特别是物理学的发展史，理想实验处于重要而独特的地位，每逢重要概念或重要理论的出现，总有它伴随；而概念或理论的解释更需要利用理想实验，科学的前进还需要理想实验来发挥它的作用。随着科学的前进还需要理想实验来发挥它的作用。随着科学的巨轮滚滚向前，理想实验必将会迸发出更加灿烂的光辉。