

大学物理教学中的科学方法问题

任永健 黄清波

(中国农业大学东区物理教研室 北京 100083)

物理学的发展是不断地以新理论替代旧理论的历史,而每一次重大转折,总是伴随着一种新的研究方法的出现.因此,物理学的发展史本身就是科学研究方法的发展史.

科学的思维方法和研究问题的方法是比物理基本原理更为重要的知识,它是比“金子”还贵重的“点金术”.

作为一个大学物理教师,不仅要善于传授物理知识,交给学生知识的“干粮”,更要善于通过概念、定律的讲授,很自然地引入各种科学研究的方法,使学生得以掌握猎取“食物”(知识)的猎枪.这对提高学生独立研究问题的能力、学习其他学科,乃至今后走向社会将产生深远的影响.

拉普拉斯说:“认识一位天才的研究方法,对于科学的进步……,并不比发现本身用处少,科学研究的方法经常是极富兴趣的部分.”物理教学与科学方法的结合还可大大提高学生们学习物理的兴趣.

对科学方法的引进并不是系统全面地阐述,有时只是三言两语,有时则紧紧围绕着定律和原理的讲解逐步展开.它不但不会耗费更多的学时,而且对物理原理的讲授还可起到画龙点睛的作用.

一、力学中的科学方法

力学作为物理学的基础,它一直是物理教学中较难处理的部分.讲浅了与中学物理重复,讲深了与理论力学重复.于是就出现了两种偏向:一种认为应大大缩减力学的学时,甚至于干脆取消力学部分,以理论力学取而代之;另一种则是加深力学教学,将理论力学的内容放到物理中讲,以不适当的难度区别于中学物理.

力学是物理学的基础,取消了它,物理学

其他各篇则成了无本之木.力学中的基本观念,它的处理问题的方法贯穿着整个物理学的其他各部分.但物理中的力学又不同于理论力学,它偏重于物理概念、物理思想、物理学的研究方法.

学生从中学跨进大学,应有一个质的飞跃.正如教育家怀特所说:“在中小学阶段,学生在精神上是埋头在书桌上的;在大学里,他就应当站起来环顾四周……”在物理教学中,我们要使学生“站起来”,就应从一个新的高度讲授物理.所谓新的高度就体现在概念的加深,数学处理方法的适当提高,分析、综合问题能力的提高.尤为重要的是某种程度上再现人类的发现史,从科学研究方法上加以概括.

力学中引入科学方法是整个物理教学中的序幕.通过物理概念、原理的讲授,提出一个科学方法.不严格推敲方法的定义,也不详细阐述方法的内涵,有具体实例为佐证,学生很自然就能意会到.

在讲述牛顿第一定律时,通过伽里略思想实验提出理想化方法;在讲述质点、刚体等概念时提出模型方法;在讲述变力做功时,提出元过程法;讲述功能原理时,提出“黑箱”法;讲述刚体力学时,提出类比法;讲述谐振动方程时,通过方程的相似提出数学模拟法等等.

惯性定律是中学生熟知的定律,但伴随着这一定律的发现,提出了一种超出直观的理性方法——思想实验法.这一发现“是人类思想史上最伟大的发现之一,而且标志着物理学的真正开端.”它推翻了统治长达两千多年的亚里斯多德的错误观念.它告诉我们,根据直接观察所得出的直觉的结论不是常常可靠的,因为它们有时会引到错误的线索上去.

讲授时,要回顾这一段历史,要突出思想实

验这个方法. 尽管这种实验无论什么时候都不能实现, 但它表明了人类理论思维对事物本质的深刻理解. 这里所提出的方法, 为以后讲解热力学部分的理想过程, 卡诺循环以及相对论部分爱因斯坦思想实验埋下了伏笔.

简谐振动的数学分析, 使我们建立了一个振动微分方程:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

其中 x 表示位移, ω 表示圆频率. 因为大学低年级还未讲到微分方程, 我们当然不必花费精力讨论它的解法问题. 但建立了方程后, 我们就从形式上将其推广到任一物理量, 说明如果某一物理量也满足此种形式的方程, 那末不管它实际上是否是一种振动, 我们也称之为谐振动. 接着举一电谐振例. 由 LC 组成的振荡电路. 其微分方程为:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{1}{LC} q = 0$$

这就是一谐振动方程, 我们称之为电谐振, 与弹簧振子的振动方程对比可知:

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{故} \quad \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

这个公式是中學生所熟知的.

由这一段讲述, 引出了数学模拟法和类比法, 随着物理规律的阐述引出某一科学方法, 可使物理知识前后联贯, 可以活跃学生联想和推测的思维能力.

二、热力学中的科学方法

分子物理和热力学, 除了提出新的方法——统计方法与宏观方法以外, 在讲授热力学基本原理的过程中进一步深入展开了理想化方法的阐述. 理想化方法包括理想模型和理想实验(或思想实验). 从力学到热学所遇到的理想模型有质点、刚体、单摆、弹簧振子、孤立系统、理想气体、平衡态、卡诺热机等, 理想过程有自由落体、抛体、完全弹性碰撞、完全非弹性碰撞、等温、等压、等容、绝热等平衡过程. 这时学生已有了较多的感性知识, 因此, 可抓住适当时机归纳理想化方法在科学

发展中的作用. 通过阐述卡诺循环对蒸汽机技术改进的指导以及在热力学第二定律发展过程中的作用, 使学生领略到人类理论思维的伟大之处.

卡诺所处的年代, 正是欧洲资本主义兴盛时期, 蒸汽机的应用极为普遍, 但效率只有 3~5% 左右. 许多工程师以毕生精力研究提高热机效率的途径, 其收效甚微. 唯独法国综合技术学院毕业的工程师卡诺的研究方法独具特点, 这就是理想化方法. 影响热机效率的因素很多, 如不同大小、不同功率、不同冲程、摩擦、漏气、与外界热交换等因素, 若将这些都考虑进去, 基本原理就搞不清. 卡诺设计了一个理想循环过程, 这循环是可逆的、封闭式的, 这是对实际蒸汽机的纯化过程. 正如恩格斯所说, 发现蒸汽机的基本过程并不是以纯粹形式出现, 而是被各种各样的次要过程掩盖住了. 卡诺撇开了这些对主要过程无关紧要的次要情况而设计了一部理想的蒸汽机. 的确, 这样一部机器就象几何学上的线和面一样是决不可制造出来的, 但是它按照自己的方式起了像这些数学抽象所起的同样的作用: 它表现纯粹的、独立的、真正的过程.

正因为有了这样一部“思想机器”, 人们才可以进行理论计算, 得到卡诺循环的效率公式:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

其中 T_2 为低温热源的绝对温度, T_1 为高温热源的绝对温度. 由此给提高蒸汽机的效率指出了方向——提高高温热源的温度. 理论上的指导使人们采用过热蒸汽(约 230℃)推动活塞做功, 从而使效率提高到 20%. 也正由于在此种理论指导下, 工程技术上开始了由外燃机到内燃机的发展过程. 讲授时, 可以奥托循环为例, 说明“蒸汽机→汽油机→柴油机”的必然趋势.

热力学中的理想过程, 学生原来觉得脱离实际太远, 以似信非信的态度对待这种理想化处理. 只有当从抽象模型再回到实际技术问题

时,他们才真正体会到抽象思维与实际问题的关系及作用.正如列宁所说,一切科学的(正确的、郑重的、不是荒唐的)抽象,都更深刻、更正确、更完全地反映着自然.

热力学中的宏观方法也应予以重点阐述.物理学,特别是热学部分是非热工专业学生最不感兴趣的部分,总是以实用主义的观点看待.然而,热力学中所发展的理想化方法和宏观方法远远超出了热力学的范围,它已深入到自然科学的各个领域.

这里所说的“宏观”不单是指研究对象是宏观的物理系统,更重要的是指研究者考虑问题的范围不是局限于研究对象或研究领域本身,而是把它扩大为与研究对象有千丝万缕联系的其他部分或其他领域.如卡诺对热机的研究不是就事论事,而是站在全局的高度提出问题:①热所产生的动力是有限的还是无限的?能否无限制地改进热机?②是否存在比蒸汽更优越的工作物质?由于他提出的问题具有极大的普遍性,因而为归纳出普遍性的结论——热力学第二定律奠定了基础.爱因斯坦说:“一个理论,如果它的前提越简单,而且能说明各种类型的问题越多,适用的范围越广,那么它给人的印象就越深刻.因此经典热力学给我留下了深刻的印象.经典热力学是具有普遍内容的唯一的物理理论……我深信,在基本概念适用的范围内是绝不会被推翻的.”

三、电磁学中的科学方法

电磁学部分所涉及的主要是元过程法和对称类比法.

元过程法是将一个大过程看成许多微分过程积分的结果,找到了微分过程的规律,大过程则不过是积分问题.静电部分求任一带电体的电场强度 E ,电势 U ,原则上都可以将其分解为点电荷的场予以积分.在磁场部分,对任意电流分布所产生的磁场,由于电流总是一闭合回路,在实验中不可能分解出与点电荷相对应的电流元进行测定,人们必须探索新的途径.然而法国科学家毕奥、沙伐尔、拉普拉斯等人仍然是按照元过程法的思路,由宏观的有限

长直电流的磁场的实验结果,找到了与库仑定律相类似的毕奥-沙伐尔定律.从而在原则上还是将求任一形状电流磁场问题转化为电流元所产生的磁场的积分问题,取得了与实验符合的结果,为麦克斯韦创造电磁理论铺平了道路.这是科学方法对科学研究的指导作用又一实例.

类比法是根据两类对象之间在某些方面的类似或同一,类推出在其他方面也可能类似或同一的一种方法.电磁学中电与磁的相似性不但反应了自然界的对称美,而且也说明电与磁之间有一种内在的联系.

电学与磁学的相似反映在公式和定律上,我们在教学中应紧紧抓住这种相似性,以类推的方法将静电部分的概念推广到磁学部分,不但使学生温故知新,便于记忆,而且让学生欣赏到自然科学中的美.类比法将深深印入他们的脑海.

讲到电磁感应部分,法拉第正是从电与磁的对称性出发,由电能生磁大胆猜测磁能生电,经历了将近十年含辛茹苦的实验,终于发现了电磁感应定律.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

继法拉第之后麦克斯韦将该定律与安培环路定律对比时,发现了其中的不对称性.由变化磁场能产生电场推断变化电场能产生磁场,提出了位移电流假说,建立了麦克斯韦积分方程组,从理论上预言了电磁波的存在,开创了无线电的新时代,这是类比推理在物理学史上完成的一项伟业.

1931年,英国物理学家狄拉克为了消除方程组中电与磁的不对称性,又提出了磁荷假说.尽管直到如今,磁荷还未曾在实验上得到证实,但已经吸引了不少近代物理学家的注意和研究.

除了电与磁的类比外,力与电类比的例子也很多.如库仑定律与牛顿万有引力定律的相似;静电力的保守性与重力保守性的相似;电势能与重力势能的相似;牛顿第二定律与自感电

动势的相似;磁场能量与动能的相似;力学中的波动方程与麦克斯韦波动方程的相似等等.将这些例子穿插在原理和概念的讲授中,活跃了学生的联想推测思维,激发起对未知的探索精神,同时加深了对概念的理解.

四、光学和近代物理中的科学方法

光学部分主要是以大量实验阐述光就是电磁波.其思想渊源仍然是将光与声波、水波类比的惠更斯原理.教学中应结合科学史、表演实验论述实验方法在科学研究中的作用.

近代物理的发展是本世纪初物理学史上的一场大革命,被人称之为激动人心的年代,各种科学方法的应用取得了丰硕的成果.思想实验使爱因斯坦完成了狭义相对论和广义相对论;理想模型是研究原子结构的主要手段;类比法敲开了量子力学的大门……在这新旧理论交替的年代里,不少新观点、新概念的发现本身就具有传奇色彩.尽管这些新概念,如波粒二象性、能量量子化、测不准关系、波函数的物理意义等是那样不容易被人们理解,但只要结合历史上理论与实验矛盾的自然发展过程,结合科学方法的论述,则这些从常理看来不可捉摸的新观点、新概念的出现就是顺理成章的事了.

原子结构波尔模型的提出就是这种情况.

经典物理中的理想模型,如质点、刚体、理想气体、点电荷等,都是客观事物某一看得见、摸得着的特征的突出反映,在实际中是可以近似实现的.到了近代物理,研究对象发生了质的变化.分子、原子是人们用肉眼乃至用仪器也看不见的客体,或者说是一“黑箱”.研究方法上只有综合前人各种方法的成果,才能取得成效.

古希腊时代,人们已提出了物质由原子构成的观念.不过那只是思辨的结论,并没有实验基础.19世纪末20世纪初,由于电子的发现,原子光谱的实验研究,知道不同原子其特征光谱不同,人们可以通过光谱线的结构及其强度来分析不同元素的含量.因此,很自然想到原子结构与光谱的特征密切相关.然而,正

如不能通过人的指纹直接推测某一具体人的形象一样,我们也不可能由光谱的实验资料直接得到原子结构的具体形象.此时,科学家的丰富想像力是至关重要的,这正是现代创造性思维的主要特征.

由汤姆逊模型、卢瑟福模型到波尔模型的发展过程,是随着教学中理论与实验矛盾的展开而引入的.汤姆逊模型认为原子中正电荷呈球形均匀分布,而负电子则像葡萄干一样嵌入其中.汤姆逊发现了电子;由他想像出这样一幅原子图景是一种必然.但这不是实际上某一看得见的客体的抽象,而是人类思维的一种想像.

卢瑟福通过 α 粒子的散射实验,发现了汤姆逊模型的矛盾.他通过与太阳系的开普勒模型的类比,提出了原子的有核模型,这里是想像与类比方法的综合创造.

卢瑟福模型的稳定性问题以及与原子光谱实验的矛盾,加上当年普朗克能量量子化观点的提出,又促成了玻尔原子光谱理论的出现,如此等等.近代物理中的模型方法是对不可穷尽的原子世界的认识的不断逼近,它是人类对客体的猜测,是经典物理中发展起来的模型化方法的高级阶段.

在近代物理中起着更为突出作用的科学方法就是类比法.德布罗意和薛定谔等人对此方法的应用达到炉火纯青的地步.量子物理的发展,是一种崭新理论的建立过程.正如爱因斯坦所说:“要走向理论的建立,当然不存在什么逻辑的通道,只能通过构造性的尝试去摸索……”德布罗意提出物质波之时,并不是因为理论与实验的矛盾提出了什么新问题,也不是理论发展的逻辑推论.1923年,德布罗意将光学理论与力学理论作了仔细分析,发现了它们在数学形式上的相似性(光学中的费尔马原理与分析力学中的莫泊图原理的相似),并将经典弦振动的驻波与原子辐射的光谱规律作了类比:两端固定的弦上的驻波波长不能连续变化;原子光谱的波长也不能连续变化.根据这些相似性导致他大胆提出了物质波假说,并借



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。