

物理之美与美的物理教学

吴 中 光

(福建师范大学)

众所周知,物理教学从来不是单一的抽象思维活动,在教学中师生的交流不应仅仅是作为知识概念的交流,还应该是心灵和感情的交流,即“真善美”的统一。因此,物理教学必须站在更广阔的知识背景上,挖掘教材中的美的因素,运用美学知识,激发学生的求知欲,增强学生的想象力和洞察力。所以物理教学中讲究美是为学生创造接受知识的条件,是提高学习效率的重要手段。物理之美和美的物理教学,可以培养学生的美学素养,使学生在更高的审美情趣中认识美的世界,创造美的未来。

一、科学家对现代物理学之美的追求

物理学史告诉我们,近代物理学是随着文艺复兴运动的兴起而兴起的。文艺复兴运动也使得希腊的科学美学思想在欧洲复活,唤醒了大批自然科学家。哥白尼、开普勒、伽利略、笛卡儿、牛顿等这些近代科学舞台上的巨匠都不同程度地接受了古希腊的科学美学思想,都相信自然界是按照和谐优美的数学方式设计的,自然界是合理的,简单的和有秩序的。因此,在探索自然界奥秘的过程中,他们往往是以科学美作为追求的目标,努力使物理理论在内容和形式上优美和谐。

现代物理学之美更为突出。由于物理学进入微观世界以后,不但需要高度抽象的逻辑思维,而且更需要发挥想象和利用比喻以借助形象思维来理解高度抽象的微观理论。因此,现代物理学的理论不但在内容上更接近真理,且形式美也比经典物理更突出。从物理思想史可以概括出物理学家追求科学美的若干线索为:

1. 对统一性的追求

① 数学形式上的统一

众所周知,静电场、静磁场、稳定电流场、静引力场、温度场、密度场、流体场等,均满足拉普

拉斯方程: $\Delta^2\varphi = 0$, 其格林函数为 $1/r$ 。在德拜-哈克的电解质理论、伦敦的超导理论和汤川的核力理论中常遇到广义泊松方程: $(\nabla^2 - 1/\lambda^2)\varphi = -4\pi\delta(r)$, 它的解分别为德拜屏蔽势, 伦敦核和汤川势: $G = (1/r)e^{-r/\lambda}$ 。这促使人们运用统一的数学方法去处理各种问题。

从理论形式上看,最小作用量原理将物理定律总结到高度统一的形式: $\delta S = 0$ 。

迄今为止,物理学上发现的全部基本定律,包括牛顿方程,光学中的费马原理,电磁场的麦克斯韦方程组,量子力学中的薛定谔方程和狄拉克方程,相对论力学方程,引力场的爱因斯坦方程,甚至粒子物理中的一些场方程等,均可以由它表示。因此,人们认为最小作用量原理以高度统一的形式,表达着自然界的规律,有时称它为第一原理。

② 物理观念上的推广与统一

由超导、超流的相似性,建立起类似的“二流体”理论;超流的玻色凝聚解释的基本成功,自然导致超导体中费密子配对的设想,而库柏的观念正是超导微观理论的基石之一。现在元激发、序参数、对称破缺、相变、超导机制等等观念都在不断地拓广,远远超越了原初提出的领域;这一切都反映了观念上的推广与统一的特征。

③ 物理实质上的统一

数学形式、物理观念的统一,可能反映了物理世界本身的统一性。麦克斯韦电磁场理论建立后,电磁场作为最简单的规范场。杨振宁和密尔斯发展的非阿贝尔规范场理论,成为当代理论物理中非常有成效的一个分支;并促进了电磁作用与弱作用统一理论的建立。

2. 对奇性的探求

物理学中的发散、非解性和各种反常——

物理学上的奇性,往往给人们带来许多困惑。

从长时间尺度来看物理学史,物理学奇性背后,往往蕴藏着新的物理学或物理理论方法。例如,黑体辐射中由经典物理导致的紫外发散:总辐射能为无穷大!它显示了经典物理在微观世界的局限性,促进了新的物理思想的诞生。在这个发散的背后,出现的是一代壮观的量子物理。

相变中的奇性,使吉布斯统计成功地接受了一次重大的挑战:“吉布斯统计能否描写相变?”比热对数发散的导出,促进了人们对严格解理论及临界现象的研究,进而导致标度律及相变中重整化群理论的建立,重整化群理论的美丽特征之一是证明临界点奇性自然地来自具有解析系数的微分方程组,而这个临界点正好是不稳定的鞍点。

3. 对称性分析与守恒律

人们在运动中认识世界,在变化中去发现不变的东西,从而发现物质运动的内在规律。

一切惯性关系是等价的,一切惯性系中的运动方程形式是相同的,这在一定程度上反映物理规律的客观性。它是相对论的基本精神之一。

人们从各个角度发现了各种守恒律,例如能量、动量、角动量、电荷、重子数……等等守恒律以及若干近似守恒律,实际上是时间、空间及物质某些内部属性的对称性的直接结果。这个重要结果高度概括在能氏定理之中,例如由时间均匀性,导出能量守恒。由空间各向同性推出角动量守恒,等等。

爱因斯坦的卓越想法之一,是将这个推导过程倒转过来。由物理上要求的相对论性、守恒律,去要求体系的拉格朗日量满足一系列对称性,从而为寻求未知的运动方程提供线索,这一方法;正是人们所常常仿效的,并被用来探索粒子物理、凝聚态物理等领域中的未知的规律。

晶体结构的研究者,很早就注意到晶体的对称分析,并运用了群理论。粒子物理研究者对粒子作合适的分类,广泛地运用对称性分

析与群论。对称性分析这个方向,各个领域在不同程度上仍在继续着。

二、物理美的特点及在教学中的作用

(一) 物理美的特点

物理美的特点与各种艺术美的特点有所不同。艺术美突出地表现在它的形象性和情感性,美感的形成以形象思维为主。物理美是理性美,内容的真与形式美相结合。其美感以知识为基础,主要靠抽象思维。但也离不开形象思维。物理美的特点概括为:

1. **独创性**。科学界非常着重独创性,因为只有通过或大或小的具有独创性的科研成果,科学才能进步。重述和解释已有成果的作法,一般只能起到普及和宣传的作用,而有助于科学知识的积累。独创性的理论成果能给人以新奇美。

2. **统一性**。客观世界是统一的,作为描述和揭示客观世界的现象和规律的科学也是统一的。一部物理学史,实际上也就是由分化到统一,再分化,再统一的历史。因此,追求物理理论的统一性,也就成为科学大师们坚定不移的信念和始终不渝的目标。科学的统一性显示出一种崇高美,诚如爱因斯坦所说:“从那些看来同直接可见的真理十分不同的各种复杂的现象中认识到它们的统一性,那是一种壮丽的感觉。”

3. **和谐性**。主要表现为物理理论的内容协调、自洽和形式匀称,而且与其他知识体系也是相容和一致的。理论各部分以及各种理论之间的和谐、它们的形式对称、它们的巧妙平衡,无疑能给人以美感。科学的和谐性显示出科学的和谐美。

4. **简单性**。科学的简单性从古代的自然哲学家以及近代和现代科学家永不休止的追求中得到了充分的体现。开普勒三定律、牛顿力学体系、麦克斯韦方程组、相对论等理论都充分显示了这一特点。爱因斯坦认为物理美的本质是简单性。简单性显示了科学的质朴美。

(二) 物理美在教学中的作用

根据我们的教学实践,物理美在教学中的

作用主要可以表现为以下几个方面:

1. 能引起学生学习物理的兴趣,减轻心理压力和学习负担,提高学习效率。

众所周知,能否激起学生的学习主动性是教学成败的关键、这种主动性尽管与对学习目的的认识有关,但也与兴趣这种情感因素有密不可分的关系。而且在某种意义上来说,这种作用更明显。为此,在教学过程中注意让学生感到物理现象、物理实验、物理理论的美,对提高学生物理学习的兴趣是大有好处的,而兴趣又能使学生在学习中感受到更深层的物理美,从而形成一种正反馈的循环机制,这种学习机制是提高学习效率的重要因素。

2. 能促进学生对知识的理解与掌握,促进学生创造性思维的发展,起到“以美启真”的作用。

在物理教学中真与美的联系处处可见,物理规律的和谐统一、公式的简洁对称,物理模型美的形式,实验的巧妙精湛,都能使学生产生美感。正是这种美感,一方面促进学生对知识的理解和掌握,另一方面启发学生的创造性学习。例如,根据简洁和谐性原则,去总结所学知识,对知识进行比较和分类,理清由内在联系形成的知识的有序结构,总结归纳解题的思路和方法,形成方法体系。或自觉地用简单性原则去判断解题结果的正确与否。

三、选择美的物理教学途径

物理教学应该是美的教学,这当然不是要求教师在教学过程中单纯讲美学,而是要求教师在教学全过程中处处创造美的氛围,达到美的境界,主要有:

1. 展示物理学研究对象及物理现象的美;
2. 发掘科学思想(即物理规律及表述方式)美;
3. 教学设计力求美,这是就备课阶段说的,上课前要有个美的设想,美的设计;
4. 教学过程努力创造美(美的意境)。

必须强调,教学过程中审美感的产生及强弱程度,本质上依赖于师生双方的创造性劳动。物理知识只有被学生作为追求对象,在学习过

程中被其“发现”理解时,它的有序性的感性形态才能转化为美的形态。显然,一个对物理知识毫不关心的人,即使面对蕴含着极其丰富,形式简洁得令人惊叹的物理规律,还可能会无动于衷。

美学流派很多,美学原理也众说纷纭。下面依照目前流行的情感转移、和谐奇异和多样统一这美学三原理,结合“热力学统计物理”教学实践谈谈如何实现美的物理教学。

1. 整体结构教学——追求多样统一美

知识的高度系统化和结构化是物理学的重要特点。物理学作为一个完整的系统,它是由相互作用联系的各个部分所组成的。各部分在体系、内容、方法以及发展的过程中都有其自身的结构。掌握结构、培养能力是重要的教学原则。多样统一是重要的美学原理。教学中,将多样统一原理应用于掌握结构,培养能力的教学原则之中,无疑会使教学更添美色。

一般教材编写的顺序都是按照学生的认识规律,由感性到理性,由浅入深,由简单到复杂来安排的,是一个将知识展开的顺序。学完后如不加整理,对知识形不成整体感,不能从全局来认识各部分的地位和作用,更看不清它们的内在联系规律,所以对知识的理解必然不够全面。为此,必须引导学生对所学知识进行比较、分类组合,形成知识结构,从整体上把握知识,达到对知识的精化和深化。

我们在教学中,特别是在复习阶段,启发学生将自己总结的知识结构,用对称齐整的图表展现出来,去鉴赏各部分知识内在联系的“韵味”,必能深化对物理美的感受。使学生头脑中原来那些孤立、零星的知识串通为相互作用的系统知识,形成知识群纵横交错的完美的知识网络结构。

2. 比较教学——追求和谐奇异美

对比适应是和谐美的重要内容,“对称加破缺”是现代物理学的重要美学原则,类比是教学的重要方法。因而采用比较教学的方法,可以同中求异,异中求同。使奇异的物理现象和规律达到更高层次的和谐。使和谐的物理现象和

规律显示奇异,从而使教学进入和谐奇异美的境界。例如在讨论顺磁介质的热力学性质时,可从磁介质的热力学基本方程与简单均匀系的热力学基本方程的比较知:

$$P \xleftrightarrow{\text{地位相当}} -H \quad V \xleftrightarrow{\text{地位相当}} V \mu_0 M$$

从而由气体的绝热膨胀获得低温公式:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_s = \frac{T}{C_p} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

立即得到绝热去磁后的低温公式为:

$$-\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_s = \frac{T}{C_H} \left(\frac{\partial(V \mu_0 M)}{\partial T}\right)_H$$

可见 P 与 H 、 V 与 M 这两对物理概念,虽然存在很大程度的奇异,但由于它们分别是一对强度和可加量,内在联系十分密切,因而在处理方法上既相似,又和谐。通过比较,从和谐中发现了奇异,从奇异中又求得了新的和谐,这不仅使学生容易掌握各种复杂系统的热力学性质,而且也给学生以美的感受。又如,同一物理问题的解决,可以根据不同的原理,即使根据同一理论也可以用不同的方法,如用同一规律来解题可以用分析法,也可用综合法。当学生用多种思路完成一题多解时,对殊途同归的巧妙方法会产生和谐奇异之美感。

3. 兴趣教学——追求情感转移美

明确意义、增强兴趣是教学的重要原则。兴趣是学好物理的潜在动力。教师的理解、兴趣和爱好会导致学生的理解、兴趣和喜爱,使之发生

情感的共鸣与转移,这是教学美的重要标准。

这里的关键是:创设出实际问题或理论问题的语境。其方法有二,或是从客观实际与学生的已有知识出发,注意新旧知识的联系,提出问题,引而不发,让他们产生要求解决和必须解决问题的愿望;或是讲点物理学史,尖锐地提出矛盾,使学生处于积极思维的“愤”与“悱”的状态中,教师指导学生利用已有知识,独立地探寻解决问题的途径,从而达到发现新知识的目的。如在讲述热力学第二定律时,首先引导学生回顾克氏说法和开氏说法,接着问第二定律是否仅有这两种说法呢?这时学生感到愕然,教师介绍历史上七种说法,指出只要你们抓住自然界中一种不可逆过程准确地叙述,就是第二定律,这时学生对自己也能猜到定律感到非常兴奋。紧接着教师又尖锐地提出能否用这种语言叙述的定律去判断一切过程进行的方向呢?并立即根据学生想弄通而又弄不通的心理状态,与力学中的“势能”进行类比,提出能否找一个普适的物理量来判定过程进行的方向,再与学生共同探索一种新的推理方法,引入新概念熵。事实证明,当学生从课本和教师提供的材料,结合自己的思维找出新规律时,就会感受到探求知识的兴奋快乐之意。

综上所述,物理学教材无处不蕴含着美的内容,各种教学方法都可以渗透美学原理。不贯彻美学原理的物理教学不是完美的教学,也不可能收到较佳的教学效果。

人类认识的局限性

我们在近乎对世界毫无了解的情况下过着日常生活。我们对于使生命得以实现的阳光的产生机制,对于将我们束缚在地球上,否则我们就会以漩涡的轨道被抛到太空去的重力,对于我们由之构成并依赖其稳定性的原子思考得很少。除了小孩(他们知道太少,会不知轻重地问重要的问题),我们中间很少有人会用大量时间去为如下问题而惊讶:自然界为何是这个样子;宇宙从何而来或它是否总在这儿;时间会不会倒流,并因此导致果先于因;人类的认识是否有

一最终的极限。我曾遇到一些小孩,他们甚至想知道黑洞是什么样,物质的最小组份是什么,为何我们记得的是过去而不是将来;如果早先是紊乱的,则今天显然是有序的,这究竟是怎么回事?为何存在一个宇宙?

在我们的社会里,父母或老师总是依惯例用耸肩膀或借助依稀记得的宗教格言作回答。有些人则对这一类问题感到不舒服,因为它们如此生动地暴露了人类认识的局限性。

(江向东摘编自卡尔·沙冈为《时间简史》作的序)