

基础物理 教学问题选讲

罗蔚茵 郑庆璋 编著

高等教育出版社

基础物理 教学问题选讲

罗蔚茵 郑庆璋 编著

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是一本关于基础物理教学心得的教与学方面的参考书,将作者数十年教授基础物理过程中发表的教学论文进行了重新梳理和补充,包括作者的教学理念、对课程内容的处理、对某些物理概念的理解,以及对一些问题的拓展讨论。

本书共分5篇:第1篇 我们的教学理念,第2篇 力学中一些基本概念的再探讨,第3篇 某些力学问题的拓展讨论,第4篇 相对论教学析疑,第5篇 热运动和光学问题拾零。

本书可供正在主讲基础物理的中青年教师和正在学习基础物理的学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理教学问题选讲 / 罗蔚茵, 郑庆璋编著. --
北京: 高等教育出版社, 2018.3

ISBN 978-7-04-048736-7

I. ①基… II. ①罗… ②郑… III. ①物理学-教学研究-高等学校 IV. ①O4-42

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第252632号

Jichu Wuli Jiaoxue Wenti Xuanjiang

策划编辑 张海雁
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 张海雁
责任校对 高歌

封面设计 张楠
责任印制 赵义民

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 大厂益利印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 12.25
字数 300千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.cn>

版 次 2018年3月第1版
印 次 2018年3月第1次印刷
定 价 36.40元



本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 48736-00

序

虽然从学术水平上看,在大学的课程中,基础课是最浅的,却是最难教好的。基础课的教学除了要求教师的知识面足够宽广外,课程内容中有许多细节需要澄清,学生有许多难点需要克服,如果教师没有经验,没花工夫钻研,是很难把课教好的。在 20 世纪 80 年代,“文化大革命”摧毁了正常的教学秩序,许多教师被剥夺了上讲台的机会,即使上台也不能按照正常的规范教学。1977 年恢复高考以后,学校秩序也恢复了正常,广大师生都很珍惜这样的机会,以极大的热情和精力投入教与学。在此之后的一二十年里,基础课的教师积极钻研课程内容,改进教学方法,并将自己的经验和心得体会写成文章在杂志上发表。这一代人现在都已退休,进入古稀或耄耋之年。现在的基础课教师多因科研任务重,不太可能在教学上再花那么多时间钻研。所以把老一代教师的文章加以汇总和整理,重新出版,是很有意义的。罗蔚茵和郑庆璋教授都是中山大学的优秀教师,基础课讲得非常好,深受学生爱戴。特别是罗蔚茵教授在退休后为文理科本科生开设的通识课“照亮世界的物理学”和“新概念物理撷英”,受到了各科学学生的热烈欢迎。现在他们把多年来发表的文章整理出版,是值得庆幸的。

赵凯华

2017 年 3 月

前言

我们退休前是中山大学物理系教授,退休后一直担任中山大学物理学类课程的教学督导。在十多年的听课过程中,很欣喜地看到,不少中青年教师热心教学,努力探索如何上好基础物理课,在课堂教学中展示了他们的学识和魅力。但我们也发现,一些青年教师在初上讲台时,尚缺乏教学经验,未能形成自己的教学理念和风格,对基础物理的教学要领和某些物理概念还未把握到位,影响了教学效果。因此我们萌生了要编写一本关于基础物理教学心得的教与学方面的参考书的念头,将我们数十年教授基础物理过程中发表的教学论文重新梳理和补充,主要内容包括我们的教学理念、对课程内容的处理、对某些物理概念的理解,以及对一些问题的拓展讨论,目光始终聚焦于如何在基础物理教学中培养学生的能力这一问题。希望本书对正在主讲基础物理的中青年教师和正在学习基础物理的学生有一定的参考意义。

本书共分5篇:第1篇 我们的教学理念,第2篇 力学中一些基本概念的再探讨,第3篇 某些力学问题的拓展讨论,第4篇 相对论教学析疑,第5篇 热运动和光学问题拾零。由于多年来我们主要讲授基础物理的力学(包括相对论)部分,其次是热学和光学部分,至于电磁学以及原子和核物理部分,虽然我们也讲授过,但心得不深不多,因此本书也就没有涉及这些方面的内容,所以本书只能说是基础物理教与学问题的选讲。

本书中所讨论的问题似乎不少是老生常谈,也有老一辈基础课教师曾热烈讨论过的一些基本概念,但根据我们当教学督导听课的感受,以及和一些中青年教师的交流经验,我们觉得,关于这些问题的教学心得,或许会对他们的基础物理教学有所帮助。

在编写本书的过程中,我们多次向北京大学赵凯华教授请教,他一直是我们的良师益友。多年前赵凯华教授曾带领本书作者之一罗蔚茵共同编写了《新概念物理教程 力学》《新概念物理教程 热学》《新概念物理教程 量子物理》和《新概念力学十讲》等书,也共同发表了一些教学论文。我们的教学心得,有许多得益于赵凯华教授的启发,如今又蒙他应允为本书写序,并对全书的文章提出修改意见,特此表示深深的感谢。

我们编写本书的想法,一直得到中山大学教务部主任陈敏教授的积极支持,他热情帮助落实出版事宜,在此也深表谢意。

作者

2017年初春于康乐园

目 录

第 1 篇 我们的教学理念	1
1.1 《新概念物理教程 力学》的教学体会	1
1.2 谈谈《新概念物理教程 热学》的改革	4
1.3 对课堂教学的一些思考	7
1.4 试论基础物理必须实行直观教学	12
1.5 在基础物理教学中如何培养学生的能力	16
1.6 浅谈基础物理的启发式教学	19
1.7 物理通识教育的理念和实践	23
第 2 篇 力学中一些基本概念的再探讨	29
2.1 参考系、坐标系和惯性参考系	29
2.2 澄清讲述牛顿运动定律的一些谬误	31
2.3 关于能量的概念——从机械能的意义谈起	33
2.4 动量和动能哪一个才是机械运动的量度?	36
2.5 刚体的瞬心 滚动和滚动摩擦	38
2.6 角速度矢量以及它和有限转动角度的区别	42
第 3 篇 某些力学问题的拓展讨论	44
3.1 关于空间测量和时间计量的进一步讨论	44
3.2 惯性参考系与马赫原理	47
3.3 惯性的本质	50
3.4 力的表象和能量表象	60
3.5 机械能守恒与相对性原理	69
3.6 对质量和能量以及质能关系的理解	72
3.7 片流和湍流 雷诺数	76
第 4 篇 相对论教学析疑	81
4.1 相对论与高科技及我们的日常生活——纪念广义相对论建立 100 周年暨 狭义相对论建立 110 周年	81
4.2 狭义相对论的时空概念	85
4.3 广义相对论一瞥	100

4.4	狭义相对论教学中的误区析疑	110
4.5	孪生子效应及其狭义相对论解释	118
4.6	孪生子佯谬的广义相对论分析	124
4.7	高速运动物体的测量形象和视觉形象	131
4.8	全球定位系统(GPS)的相对论修正	135
4.9	对《用排列对比方法讲解相对论》一文的一些意见	140
第5篇 热运动和光学问题拾零		141
5.1	在分子物理教学中如何引导学生建立统计概念	141
5.2	分子动理论中的一个佯谬——也谈穿过某截面的分子的平均自由程	149
5.3	讲授气体内迁移现象的一些体会	154
5.4	“饮水鸭”的运动违反热力学定律吗?	159
5.5	“飘尿”陶娃娃的热力学特性	161
5.6	关于光的相干性问题	163
5.7	光的色散 相速和群速	174
5.8	光的反射、折射、全反射和散射杂谈	178
5.9	光子能否作参考系呢	183
5.10	在光子火箭上能正常通信吗?	184

第 1 篇 我们的教学理念

1.1 《新概念物理教程 力学》的教学体会

基础物理中的力学是大学物理基础课的基础,多年来总给人以老面孔的感觉。初进大学的学生往往会抱怨这门课与中学很多重复,没有新意,因而学习的积极性不高。这一代学生将成为 21 世纪的骨干,他们会不断受到科学知识和科学观念老化的威胁。如何使他们在今后的学习和事业中能适应科学和技术的迅猛发展,是我们教学必须考虑的问题。我们深感基础物理力学教学的改革任务特别迫切。从 1995 年起,中山大学物理专业一直采用赵凯华和罗蔚茵编著的《新概念物理教程 力学》作为教材,并按照其改革思路进行教学。下面介绍一下我们的教学体会。

一、如何用现代的观点审视、选择和组织好传统的教学内容

知识和概念两者更新的速度是不一样的。现代高新技术的发展突飞猛进,物理学知识的更新也比较快,但是基础科学里基本概念的更新节奏要缓慢得多,而其产生的影响也深远得多。作为基础物理学的教学,在知识更新和概念更新两个方面,我们更侧重于概念更新。基础物理的力学是以经典内容为主的,可以说基本是较成熟的、传统的教学内容,它们现在仍是学习物理学的重要基础。问题在于,我们要用现代的观点来审视经典物理中一些基本概念时应如何阐述,各经典物理定律相对的重要性的意义应如何正确理解,等等。据此,我们在教学中从新的角度考虑了如何用现代的观点审视、选择和组织好传统的教学内容。下面举几个例子说明。

(1) 传统力学教材的内容是以牛顿运动三定律为核心展开的,并把质量和力作为动力学中最基本的概念,从而导出动量和能量的概念以及有关的守恒定律。然而从现代物理的高度来看,在描述物质的运动和相互作用时,动量-能量的概念要比力的概念更基本也深刻得多。因此我们在教学中以动量、能量和角动量三个守恒定律为核心来展开。这样做,不仅从观点上与近代物理相衔接,而且关于质量、力、质心、势能、振动等概念的引入,更切合现代的思路和语言,与传统教材的讲述有较大的不同。

(2) 从近代物理的观点来看,参考系并不仅仅是确定运动物体速度、加速度的描述工具。寻找不同参考系之间物理规律的变换关系(相对性原理),以及变换中的不变性,能使我们超越认识的局限性,去把握物理世界中的更深层次的奥秘。因此我们在教学中,从概念和定律的阐述到应用举例,比传统教材更多地注意讨论参考系的选取及其意义、力学相对性原理和对称性运用的训练。例如,在讲述运动学时,从教材的思考题中选了以水流为参考系的题目进行课堂讨论,帮助学生改变在中学时习以为常地以地面为参考系的固定思维。又如在讲述动力学时,我们指出牛顿定律就具有在惯性参考系中的伽利略变换不变性,更深入理解惯性参考系和

非惯性参考系的内涵意义。

(3)在讲述力学三个守恒定律这个核心内容时,除了阐明三个守恒定律是大量实验的结果并为大量实践所检验外,我们还从时空对称性的角度阐明了三个守恒定律的物理渊源:动量守恒源于空间的均匀性,具有参考系空间平移的对称性;角动量守恒源于空间的各向同性,具有参考系空间转动的对称性;而能量守恒则是时间平移不变性(即对称性)的结果,使学生体会到,为什么三个守恒定律可以从宏观领域长驱直入到微观领域和宇观领域,正是源于时空对称性。可见,对称性原理是物理世界以至自然界迄今认识到的最高层次的普遍规律,是比胡克定律、牛顿定律等诸多不同层次的物理定律更高层次、更深刻和更普遍的规律,在粒子物理、固体物理、原子物理等领域都很重要,当代理论物理学家正高度自觉地运用对称性法则和相应的守恒定律去寻求物质结构更深层次的奥秘。在这门课程中,我们从参考系的角度介绍了对称性法则在物理学中的基本地位。

(4)为了更好地与现代物理学接轨,我们在教学中尽量采用前沿领域中所用的思路来讲解。例如对于势能的概念,我们特别强调了一维势能曲线的运用:从势能的极小值引入振动的概念,以展示振动这种运动形式的普遍存在;通过引入离心势能,化二维为一维,在避免使用微分方程的情况下用势能曲线讨论了开普勒运动等。

二、如何适当地为物理学前沿打开窗口和安装接口

许多近代和前沿的课题是与基础物理的内容有联系的,在打好基础的前提下,可以在适当的地方精心选择开一些“窗口”,引导学生向本课程窗外的物理世界望一望,哪怕仅仅是“一瞥”,都会对开阔他们的眼界,启迪他们的思维,加深他们对本门课程的理解有好处。我们认为,基础课的任务,不仅是为了后继课程的需要,更深层的意义在于科学素质的培养。在大学的每个阶段,包括从低年级起,让学生了解物理学新发展的现状和不同于传统经典的新理论,以发展他们的想象力,这是科学素质培养的一个重要方面。众所周知,爱因斯坦经常强调想象力比知识更重要,认为想象力是知识进化的源泉。所以,不能把开一些“窗口”误解为只是“观光”的旅游手册,我们强调处理好基础内容和“窗口”的关系,从教材总体的内容可以明显看出绝对不停留在观光手册的层次上,开拓视野的“窗口”正是为了鼓励学生发展他们的想象力,进一步去创造性“探险”。

我们并不追求大量引用现代物理学进展的例子,而是恰到好处地紧扣课程基本内容打开窗口。例如,在历史上,天文学是牛顿力学乃至整个物理学的先导;而今天,天体物理学和宇宙学激动人心的发展已成为令人瞩目的前沿领域。很自然,该教材中的一个窗口开向了这个领域:联系到角动量守恒时,说明为什么银河系是扁平的,联系逃逸速度谈黑洞,联系开普勒定律介绍星系冕和宇宙间的暗物质,等等。我们认为,在基础物理力学里必须有个窗口是开向广义相对论的,否则学生不可能真正懂得什么是惯性的本质,以及绝对时空观错在哪里。我们在新概念力学的课程中,继介绍狭义相对论之后,从等效原理出发介绍了广义相对论的一些基本内容,避免用黎曼几何与时空度规等数学语言来帮助学生认知正确的时空观。

除“窗口”之外,近代的前沿课题的概念往往在基础物理课程中已有了,只不过其内涵有所延伸和发展。我们在教学中注意为它们留下必要的“接口”,交代一下可由此延伸出去的领域和课题,即使对这些领域和课题本身并不作过多的介绍,对学生也是大有裨益的。例如,对于振动,我们增加了简正模的概念;对于波动,我们用一维弹簧振子链代替传统的弦,以便为固体物

理中声子、能带等概念作铺垫。通常在普通物理的力学部分讲碰撞时,多以宏观物体为背景,这时弹性与非弹性碰撞的分界在于有无能量耗散。该教材指出,对于微观客体之间的碰撞,概念将有所发展,弹性与非弹性碰撞的分界是能量有无向内部自由度转移。此外,我们讲碰撞时还适当提及微观领域所关心的角分布问题与相应的散射截面的概念。

在牛顿力学建立之后 300 年,除相对论、量子力学外,其世界观受到了来自内部的巨大冲击,这指的就是混沌运动问题。混沌理论是当前经典物理学范围内的前沿课题,但是混沌的理论过于深奥,难以纳入力学课程,而配以适当的接口,并稍为提及混沌的概念本身,是必要而且是可能的。非线性振动是通向混沌的重要道路,而现行的基础物理力学教材中,基本上只讲线性问题。如果说,多少也涉及一点非线性问题的话,那就是用傅里叶分析的观点来说明非线性元件产生谐频,混频后产生和频与差频,以及自振系统产生的自激振动。这些内容都是通向混沌理论必要的基础,缺少的是次谐频(倍周期分岔)、同步锁模和极限环的概念和相图的描述方法。该教材在适当的地方安装了这些接口,特别是相图的描述方法对帮助学生更深刻理解振动的概念提供了绝妙的物理图像。

三、如何通过知识的传授提高科学素质和能力

我们常说不但要授人以鱼,更要授人以渔,“鱼”指知识,“渔”指能力,就是说要通过知识的传授提高科学素质和能力。

科学不是死记硬背的知识,科学的任务是探索未知,科学素质终将在获取知识的能力上反映出来。当然,没有知识也谈不上能力,融会贯通的知识是能力的载体。对于既传授知识又培养能力这个问题,大家已有共识,许多老师在教学中都有自己的经验和体会。能力包括许多方面,一门课程不能面面俱到,作为一个特色,我们在新概念力学这门课中,针对学生现有的思维方法所存在的弱点,有意识地选择一些知识点,着眼于提高学生用定性或半定量的方法来提出问题和分析问题的能力。我国物理教学的优良传统是课程的内在联系紧密,论述条理清晰,逻辑严谨。问题在于我们的学生每遇到问题时,总是一开始便埋头于用系统的理论工具,按部就班地作详尽的定量计算,而且常为某些计算细节所困扰,尽管许多问题本可以通过直觉的思考,就能得到定性或半定量的结论。为加强学生这种能力的培养,我们作了一定的努力。

实际上,当一个成熟的物理学家进行探索性的科学研究时,常常从定性或半定量的方法入手来提出问题和分析问题,这个方法包括对称性的考虑和守恒量的利用,量纲分析,数量级估计,极限情形和特例的讨论,简化模型的选取,乃至概念和方法的类比,等等。这种提出问题和解决问题的能力要靠一定的物理直觉和洞察力。直觉是经验的升华,初学者是难以做到的。但是我们认为,在基础物理课程中应该从开始就有意识地培养学生这种能力,所以,我们在教学中结合教材增加了这些方面的内容和训练。

采用《新概念物理教程 力学》作为教材,在教学中有一定的难度。学生反映,有时候对所学的内容还吃不透,然而从中已经一点一滴地学到了许多新东西。在课程学习中,学生对于在中学没有接触过的新概念,无论在知识层面还是思维能力方面都有很大的提升,感到这门课的新概念和新思路令他们耳目一新,获益匪浅,更抱着浓浓的兴趣,强烈的求知欲去学习这门课和后继的课程,去探索物理的未知世界。我们注意到中美两种教育方式的特色,中国提倡按部就班的传统教育,扎实的基础。美国提倡“渗透式”的教育,是一种“体会式”的学习方法。我们试图在新概念力学课的教学中,兼容中美两种教育方式的特色,有所突破。

1.2 谈谈《新概念物理教程 热学》的改革^①

《新概念物理教程 热学》是继《新概念物理教程 力学》之后的第二本新概念物理教程,其编写和改革的思路是一脉相承的,但其改革的力度和教学的难度都较大。中山大学物理专业从1997年起一直采用这本教材,现根据教师和学生所提出的问题,谈谈我们对《新概念物理教程 热学》改革的看法。

一、为什么要强化“熵”的教学?

按照用现代的观点审视、选择和组织好传统的教学内容这一改革思路,我们在《新概念物理教程 热学》中强化“熵”的教学,适当淡化循环效率问题。热力学第一定律和热力学第二定律是热力学中最基本的两条定律。热力学第一定律因为找到了“内能”这个态函数,建立了数学表达式,才成功地解决了很多实际问题。为了采用普遍的数学形式把热力学第二定律表述出来,可以用一个态函数在初、末两态的差异,来对过程进行的方向作出数学分析,定量地判断过程进行的方向和限度,这个态函数就是“熵”。所以我们认为热力学第一定律是“能”的规律,热力学第二定律是“熵”的法则。“能”和“熵”两个概念哪个更为重要?传统的看法认为“能”是宇宙的主人,“熵”是它的影子。随着科学进步,观念正在变化。1938年天体与大气物理学家埃姆顿(R. Emden)在《冬季为什么要生火》一文中提出不同的看法:“在自然过程的庞大的工厂里,熵原理起着经理的作用,因为它规定整个企业的经营方式和方法,而能原理仅仅充当簿记,平衡贷方和借方。”熵增加导致能量的贬值,即在不可逆过程中可做功的能量随熵增加而降低,这是热力学第二定律的关键所在,其在生产实践中有重大意义。1948年,电气工程师香农(C. E. Shannon)创立了信息论,将信息量与“负熵”联系起来。历史上以热机发展为主导的第一次工业革命是能量的革命,当前以信息技术为主导的产业革命可以说是“熵”主导的革命。

热力学定律和达尔文的进化论同属19世纪科学上最伟大的发现,尽管表面上看起来二者似乎相互抵触。早在1943年,薛定谔(E. Schrödinger)提出了“生命赖负熵存在”的名言,从熵变的观点分析了生命有机体的生成和死亡。1960年代,普里高津(I. Prigogine)建立了耗散结构理论,并为此获得了诺贝尔化学奖。考虑到生命是耗散结构的系统,于是,热力学第二定律与进化论的矛盾被澄清了,科学发展从化学和物理学走向生命科学,越发显示出“熵”这个概念的重要性。现在“熵”这个名词已超出自然科学和工程技术的领域,进入了人文科学和经济学说。

但在传统的基础物理教材中,“熵”介绍得极为简略,有些为非物理专业开设的课程,由于教学难度较大,往往把“熵”的内容删除。我们认为,这不符合科学进步发展的需要。在该教材中,我们从微观熵(玻耳兹曼熵)到宏观熵(克劳修斯熵),从历史到前沿,从物理学到化学及环境与生命科学,多方面地介绍了“熵”的概念。我们体会到,只有通过应用才能加深对“熵”概念的理解。热力学第二定律的重要应用是讨论热平衡的条件和判据,因为最常见的系统不是孤立系统,而是在一定外部约束条件下(如定温、定体或定压)的热力学系统。我们应用“熵”的概念讨

^① 本文部分内容参考了北京大学赵凯华教授的见解,特此表示深切的谢意。

论最常见的热力学系统热平衡的条件和判据,得出热平衡的熵判据。我们还把“熵”的概念延伸到“自由能”问题上,可使学生反过来加深对“熵”的理解。

不可否认,“熵”的概念是教学的难点,需花大力气去帮助学生认识这个重要的概念。在基础物理的层次上主要是用生动的物理图像和诸多应用的例证去阐明,这是理论物理课程所不能代替的。当然,“熵”的概念还需在后继课程加深理解。建议教师可以依自己的体会,用适当的表述方法去讲述,不必按照该教材“照本宣科”。

顺便提出,过去基础物理的热学课常常热衷于讨论热机或一般循环的效率问题,并做许多这类的计算题。近年来国内外物理教育界都认识到,循环的效率问题不必作为热学课程的重点,可以淡化它。该教材不对各式各样循环的效率作过多的讨论,可适当地把精力转移在强化“熵”的教学方面。

二、如何运用定性半定量的方法引进量子统计的概念?

统计概念不仅在热现象的研究中有重要意义,而且在整个微观物理领域内也是一个基本问题。《新概念物理教程 热学》中讨论热平衡态的统计分布律时,首先重点讨论麦克斯韦速率分布律、玻耳兹曼密度分布和能量均分定理这些经典统计规律,对于那些刚进大学、第一次接触微观图像的学生,建立正确的统计概念和掌握统计方法是一个奠基石。但是近代科学的发展表明,即使在基础物理层次上要讨论热的微观图像和本质时,也不能停留在经典统计的观念上。基础物理不同于经典物理,若在适当和必要的地方引入现代物理的概念,例如量子统计的概念,对打开热学知识的窗口和安装对接后继课程的接口是大有裨益的,但必须考虑学习知识的循序渐进规律和数学基础,处理好与“渗透式”学习方法的关系,我们尝试采用定性半定量的方法引进量子统计的概念。

为运用定性半定量的方法引进量子统计的概念,我们只讨论理想气体。注意到简并理想气体的量子性主要体现在能级的离散性和粒子之间的量子关联上,学生对能级的离散性并不太难接受,我们可以利用离散性把复杂的多重积分化为求和,求和表达式的简洁性有利于突出物理本质,因而我们采用了离散形式的玻耳兹曼方程,导出理想气体的麦克斯韦-玻耳兹曼分布、玻色-爱因斯坦分布、费米-狄拉克分布三种统计分布和H定理来,突出体现了它们是粒子在不断碰撞(跃迁)的过程中达到的动态平衡,粒子之间的量子关联影响着跃迁的概率,从而决定着统计分布的具体形式。

量子理想气体与经典理想气体的区别和特征,是它的简并性强烈地依赖于它们的密度,找出描述量子气体简并性的参量(如费米能、简并温度和简并压强)与密度的函数关系,在将理论应用到实际问题时是十分必要的。反映这种函数关系的信息本来已包含在统计分布的表达式中,我们从海森伯不确定度关系出发,采用了定性半定量的方法,导出了简并温度依赖密度的半定量函数关系。如前所述,简并性源于粒子之间的量子关联,而量子关联是微观客体波粒二象性的体现,后者正是海森伯不确定性原理的本质,所以我们采用的这种定性半定量的方法比按部就班的数学推演能更好地反映出量子统计的物理本质,呈现出更鲜明的物理图像,可以为学生以后准确掌握量子统计的概念和定量方法作好铺垫。

三、《新概念物理教程 热学》中有哪些开往前沿课题的窗口?

热学涉及的领域很广,只要我们把传统热学内容向现代化跨一步,马上就有许多前沿课题的窗口展现在眼前。我们只能展示其中一部分,举例如下:

首先,有了定性半定量的量子统计概念,我们就能向读者较为深入地展示一些费米气体的

实例,如金属中的自由电子气、白矮星与中子星等,以及一些玻色气体的实例,如液氦的相变与超流、光子气体等。在该教材最后还联系到大爆炸热宇宙模型等前沿课题。

又如,在线性不可逆过程热力学中进一步讨论了输运过程的熵产生、化学反应的熵产生等,并增添了耗散结构等内容的介绍。非线性科学和远离平衡态热力学的新概念,对生命和生态环境问题的理解有着特殊重要的意义,该教材有一节内容从负熵流讨论生命和生态环境问题入手,打开有关方面的窗口。

该教材用小字介绍了关于热力学第二定律的若干诤难和佯谬,包括洛施密特诤难、策尔梅洛诤难、吉布斯佯谬,以及麦克斯韦妖与信息,历史上围绕着它们有过不少疑虑和诤难。这些问题的分析和澄清可以大大深化对热力学第二定律和“熵”的概念的理解,并有助于提高学生的批判思维能力。

该教材还开了一个很有趣的窗口,就是分形。1982年美国物理学家提出“分形”的概念,并定义了分形维数。教材还介绍了科赫曲线和谢尔平斯基垫等有趣的图形,并讨论了布朗粒子轨迹的分形维数。目前“分形”的概念,已应用到诸多的领域,包括自然界(如冰雪)和经济学(分形市场)。

该教材诸多的窗口性课题,在课堂教学中不可能都有时间去讲述,教师需要主动积极通过适当方式指导学生课外阅读,这对于低年级学生学习基础课时提高获取知识的能力尤为必要。

四、该教材的体系和内容还有何特点?

除了上面所介绍该教材的内容相比于传统教材有较大的改革外,为了注重物性知识的背景,该教材对常见热学教材的体系作了适当的调整。传统上基础物理热学教材都把气、液、固三态和它们之间的相变放在全书的最后,内容多半是描述性的。我们把这部分内容搬到全书的最前面作为第一章,这一章从微观模型去讨论气、液、固三态和它们之间的相变,以分子运动和分子力的抗衡为统一的线索,贯穿分子动能和相互作用势的数量级估计和对比,还介绍了化学键。这样调整的好处是,为后面讲述分子动理论和热力学定律提供了较好的物性知识背景,符合由浅入深、从表到里的认识规律。

另外,为体现当前热学与其他学科的相互渗透,该教材增添了一些与化学有关的内容,主要有化学键和热化学的基本原理。第一章讲化学键的特色是将它与物性和物质结构联系起来,例如讲金属键时与金属的延展性及其晶体的密堆结构联系起来;讲离子键时与离子晶体的脆性联系起来;讲碳的两种共价键时与其三种同素异形体金刚石、石墨和足球烯(C_{60})联系起来;讲氢键时与水的一系列反常特性,如高热容、高汽化热等联系起来,并由此进一步联系到水在生命和环境系统中无可替代的作用,等等。热化学的内容是用热力学方法讨论化学反应和化学平衡问题,结合混合理想气体模型介绍了有关的基本概念:如反应焓与生成焓、标准规定熵与标准反应熵、混合气体的化学平衡、化学反应的熵产生与亲合势等。在学科交叉的潮流中,这些知识对物理系的学生也变得越来越重要,尤其是在当前许多物理类专业已不开设大学基础化学课程的情况下,基础物理热学在相应内容中适当增添一些与化学有关的知识,很有必要。

总的来说,《新概念物理教程 热学》的改革比《新概念物理教程 力学》更有挑战性,知识的跨度和广度更大,教学的难度也大大增加了。可幸在该教材出版后十几年来,中山大学物理专业的老中青教师一位接一位坚持采用该教材,发挥他们的聪明才智,对教材内容的处理和教学方法不懈探索改善,学生也怀着追求新知识的强烈愿望刻苦钻研,使得该教材在教学中取得了良好效果,在此表示深切的敬意和谢意!

1.3 对课堂教学的一些思考^①

课堂教学是履行教师职责的重要任务,是教书育人的主渠道。课堂教学是学生追求知识的科学殿堂,也是展现教师专业学识和人格魅力的舞台,许多老师在课堂教学中都有自己的教学理念,形成了各有特色的教学风格。笔者从事物理基础课的教学四十多年,在此期间,随着科学发展和教学技术的进步,课堂教学也有了很大变化,但关于课堂教学的理念还是一脉相承的。我们的教学理念是:一、授人以“鱼”,更要授人以“渔”;二、教无定法,教要得法;三、兴趣是最好的老师。这三者又存在不可分割的有机结合。

一、授人以鱼,更要授人以渔

一般而言,“鱼”指知识,“渔”指能力。课堂教学首先要帮助学生掌握好课程的基础内容,由浅入深,由表及里,逐步展示学科的知识体系和思维方法,打好基础。著名数学家华罗庚在一篇文章《学与识》中提出,要真正打好基础,有两个必经的过程,即“由薄到厚”和“由厚到薄”的过程。“由薄到厚”是学习、接受的过程,“由厚到薄”是消化、提炼的过程。

如果教师在课堂上所讲的已经十分完备,学生也能够把所讲内容都记住背熟,仅此而已还不能叫好的课堂教学。人们常常将教课简单地看作一种工具,教师只要能将知识传授给学生,便是尽了教学之能事;学生能将知识记住,考试得高分,就算是学习的成功。物理学大师爱因斯坦对此提出了批评,他在自述中写道:“人们为了考试,不论愿意与否,都得把所有这些废物统统塞进自己的脑袋,这种强制的结果使我如此畏缩不前,以致我在通过最后的考试以后整整一年对科学问题的任何思考都感到扫兴。”^[1]他希望教师在他的本职工作上成为一种艺术家,启发学生的创造性思维能力,他强调想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。

学生的基础是否打好,关键要看能否自我深化,我们赞同有人提出的一种观点,在课堂教学中,要使学生把“听课”变成“品课”。要引导学生不但要听讲授的知识内容,还要从讲课内容的布局看到教师分析问题的思路,综合地思考知识点之间的内在联系,逐步积淀基本知识和基本技巧,形成自有的知识体系和思维方式,品出知识的核心所在,把知识内化于心,不断有所感悟,成为自得的知识。只有这种自我感悟、自我深化而自得的知识,才能够牢固掌握,不断深化和拓展,运用自如。“感悟深化而自得”的教育理念,对我们提倡的“授人以渔”具有很好的启迪和借鉴作用。

能力包括多方面:自主学习能力、独立思考能力、解决问题能力、批判思维能力、专业实践能力、创新发明能力、想象能力等。对不同的专业、不同的对象和不同的培养目标,培养能力的着力点可以有所侧重。爱因斯坦在《论教育》中提出:“发展独立思考和独立判断的一般能力,应当始终放在首位,而不应当把获得知识放在首位。如果一个人掌握了他的学科的基础理论,并且学会了独立地思考和工作,他必定会找到他自己的道路。而且比起那种主要以获得细节知识为

^① 本文部分内容参考了中山大学数学学院徐远通教授的见解,特此表示谢意。

其培训内容的人来,一定会更好地适应进步和变化。”^[2]

至于如何授人以“渔”培养能力,我们认为没有标准模式可供借鉴,只能在深刻领会这一教学理念的前提下,教师充分发挥聪明才智去实现,这也是对教师本身教学创新能力的检验。曾担任普林斯顿数学系主任的数学家莱夫谢茨(S.Lefschetz, 1884—1972)主张把学生“扔到河里”,游过去的,就成为博士。著名教育家梅贻琦在《大学一解》的文章中曾说“学校犹水也,师生犹鱼也,其行动犹游泳也,大鱼前导,小鱼尾随,是从游也,从游既久,其濡染观摩之效,自不求而至,不为而成。”教师在课堂教学中也是带领学生在知识海洋中“从游”,使学生在游泳中学会游泳,也是一种授人以“渔”的方法。

在学习新的内容时,要着重指导学生把握两个思考点,一是如何用“已明的概念”表述出“未明的概念”;二是如何用“已知的结果”推演出“未知的结果”。在物理学发展过程中,一代代物理学家创造出许多思维技巧,在教学中我们应结合教学内容帮助学生掌握这些本领,以体现授人以“渔”。

当今中国大学生的一大弱点是缺乏创新性的想象力。课堂教学要用开放性思维开拓学生的想象力,通过一些“出人意料”的反例,引导学生打破惯性思维的框框。教师可以创设与学生已有知识经验相联系的问题情境,有一定的难度和挑战性,以问题为导向展开探讨,让学生能开动脑筋,锻炼思维能力。例如,在讨论参考系时,我们向学生提出一个问题:“你坐在向前运动的车厢中,看到窗外的事物是怎样运动的?”几乎所有的学生都回答“向后!”我们把自己录制的一段视频给他们看,当坐在由广州到珠海的汽车上,看到近旁的树木和房子确实往后退,而远处的高大烟囱和广州塔却和我们同向往前移。学生们对此视频感到很意外。我们进一步提问学生,为什么月上柳梢头,我们感觉月亮跟我走?需知月亮离我们几十万千米!再进一步思考:观察运动的现象时,测量图像和视觉形象有何不同?学生反映,通过这个问题,学习了如何观察现象和运用正确的物理图像和物理概念去分析思考,并丰富了想象力,达到感悟深化而自得的效果。

讲述一个新的概念或定律,既要介绍实际模型或物理背景的实例,从中抽象其特性加以概括,还要联系直观提升联想能力,对知识点“举一反三”。例如,在讲述角动量定理和守恒定律^[3]时,笔者在课堂上提出一系列问题和学生讨论,并播放有关录像。芭蕾舞演员和溜冰运动员如何加快身体的旋转?杂技演员如何翻跟斗?秋千如何能越荡越高?为何地球在近日点公转较快?为何银河系呈扁平型?中子星的旋转频率如何估算?上至天体运行,下至人体活动,角动量守恒定律无处不在。学生反映,通过对此知识点的“举一反三”,做到触类旁通,大大提升了观察分析能力和联想拓宽能力。

二、教无定法,教要得法

“教无定法”,就是说课堂教学没有标准模式,从来就是不拘一格。但是上每堂课时都要使学生明确三要素(3W: What? Why? Way?),即要学什么?为什么要学?用怎样的方法学?

我们一直提倡“启发式教学”,它不等于“问答式”教学。“启发式教学”的核心是教学内容要能启发学生心智和追求学问的真谛,指引学生获取知识的科学方法。“讨论式教学”也是个好方法,我赞赏英国戏剧家萧伯纳的理念:显然,不争的事实是,如果你有一个苹果,我有一个苹果,彼此交换,那么,每人还是一个苹果;如果你有一个思想,我有一个思想,彼此交换,我们每个人就有了两个思想,甚至多于两个思想。学识和见解需要互相启发,问题和疑难有待共同探讨,

兴趣和爱好可以互相激励。

当前国内外倡导的 PBL 和 TBL 教学法,都不失为适应新网络时代和教育新理念的好方法,和“启发式教学”“讨论式教学”也是一脉相承的。TBL(team-based learning)教学法是一种基于学生团队合作、互相研讨学习内容的新型教学模式,由美国 Barrows 教授在医学教学中率先实行。学生在老师指导下,分成若干个学习小团队,围绕老师提出的内容进行资料收集、观察、实验、讨论、制作 PPT 和课堂展示等。教师必须对展示内容作课前的审阅和指导修改,课上点评,保证课堂展示的质量和效果。PBL(problem-based learning)教学法是一种基于问题式的,以学生为主体,以教师为引导的教学方法,最早由美国大学教师 Michaelsen 倡导。采用 PBL 教学法,老师必须按照课程的核心内容设置问题,学生带着问题看书,查找资料,观察现象,进行实验或实践,寻找答案。显然,问题设置的合理与否,直接关系到教学的效果。

笔者在课堂教学中尝试把 PBL 和 TBL 两种方法有机结合起来。例如,在讲声波在不同介质界面的反射率时^[4],设置一个问题来切入教学内容:你能否解释为什么在做 B 超检查时要在检查部位涂一种黏液?要求学生课外查找资料、有关公式和数据,进行计算,展开讨论。最后学生得出,声波在空气-脂肪介面的反射率为 99.9%,由空气进入人体的超声波只有 0.1%;而声波在蓖麻油-脂肪介面的反射率为 0.033%,由蓖麻油进入人体的超声波有 99.967%。当超声波进入人体皮肤表面时,在超声发射探头与皮肤之间涂上一层耦合剂(油式液体),它的声阻抗与皮肤相近,从而增加了透射,减少了反射。于是进一步引导学生举一反三、由此及彼,联系光波在不同介质界面的反射率与哪些因素有关,为以后理解高级照相机镜头镀上增透膜及光纤原理安装一个知识接口。学生很欢迎这种教学方法,在此过程中,学生的学习主动性得到了充分发挥,学生独立思考问题的能力也得到了锻炼。

又如,我们在讲述流体力学的伯努利方程^[5]时,自己录制了一个“从无扇叶风扇到空气动力学”的短片在课堂上播放,引导学生从伯努利原理去剖析无扇叶风扇的原理。同时提出有趣的思考题:大雁南飞的长途迁徙中为什么雁阵总是排成人字形或一字形?而且其排列方向总是斜的?还要求联想长跑运动员的跟随战术。给出参考资料,要求学生联系伯努利方程分析。这些问题都引起学生课后主动地热烈讨论,并引申到伯努利方程在日常生活中的许多应用,达到深化知识、触类旁通的效果。

课堂教学中要鼓励学生多思多问,积极提出新问题,思考新途径,探索新方法,让学生保持探索的热情和好奇心。我们经常向学生介绍爱因斯坦的名言:“提出一个问题往往比解决一个问题更重要,因为解决问题也许仅是一个数学上的或实验上的技能而已,而提出新的问题,新的可能性,从新的角度去看问题,却需要创造性的想象力,而且标志着科学的真正进步。”^[6]我们要求学生课堂听不明白的地方不要马上问老师,这种提问题的方式不是好方式。我们一般也不立刻回答,而要他们课后自己反复钻研,和同学切磋,不得已才寻求老师帮助。我们总是鼓励学生对书本写的、老师讲的要加以判断,从新的角度去看问题,把自己不同的见解和老师切磋,这样提出的问题才是好问题。这样做有助于培养学生独立思考、批判思维的能力。

有一种说法,教课只需熟悉教材就行了。当然这是必要的,但并不够,还必须接触本学科前沿。因为,教科书总是第二手的東西,缺乏现代的气氛。气氛不同,学生学习的生动活泼程度及能力的培养就不同。诗人陆游的《示子通》中的两句诗“汝果欲学诗,工夫在诗外”对我们教学也很有启示。在陆游看来,能写出好诗不单是掌握写诗技巧,而更应重视生活阅历和人生感悟。

一个成功的教课必须汲取广博的学识和前沿知识,善于积累教学实践的经验,注意探索正确的教学方法,才能形成正确的教学理念和有特色的教学风格。中国一代大师陈寅恪提出课堂讲授三不讲:一是书本已写了的我不讲,二是别人讲过了的我不讲,三是自己讲过了的我不讲。我们未能达到大师的高度,但作为课堂教学要求的底线,我们相应地提出三不要:一不要照本宣科讲,二不要全搬别人的讲,三不要每遍都重复旧的讲。

现在教师已普遍使用 PPT 进行课堂教学,PPT 要教师自己动手按教学需要精心设计,起码要纲目清晰、言简意赅,图文并茂、引人注目,还要有创意、有启发性。不要变成教材的电子版,也不能全盘照搬教材所附的现成的课件。除 PPT 外,还可采用微视频、动画等多媒体教学辅助手段。总之,教无定法,没有标准模式,但教要得法,可采取多种不同的教学策略来提高课堂教学质量。

三、兴趣是最好的老师

现代教育学和心理学的研究表明:人的各种活动,都是由一定的动机所引起的,学生学习也总是为一定的学习动机所支配的。学习动机中最活跃的成分是求知的欲望和兴趣,是渴望获得知识和不断探求真理而带有情绪色彩的意向活动。

孔子说:“知之者不如好之者,好之者不如乐之者。(对于任何学问,了解它的人不如喜爱它的人,喜爱它的人又不如以它为乐趣的人。)”(引自《雍也》。)著名物理学家汤姆孙(J.J. Thomson)也认为上课的真正功能不是给学生灌输他所需要的所有信息,而是激起学生的热情,使学生自己收集知识。

为提高学习兴趣,要善于运用有趣、生动和新颖的典型例子,引入与学生日常生活或社会现实相联系的事例,介绍本学科的最新研究动态,介绍所学知识的价值及其实用性,激发学生认知的兴趣,振奋学生的精神和情绪,唤起学生掌握知识或解决问题所带来的成就感。从而激发其迫切学习的动机。

例如,笔者在基础物理的水平上讲述相对论时,结合时间的相对论效应介绍 GPS 的相对论修正,指出由于相对论效应,卫星钟与地面钟每天相差 38 ms,其间光速走过的距离约为 11 km,从而影响了 GPS 定位的精度。为了提高 GPS 的精度,要考虑卫星和地面的相对速度和引力差异的相对论修正,才能使目前的民用 GPS 的定位精度达到约 10 m。^[7]这样就把看似与我们生活相距甚远的抽象理论具体渗透到日常的高科技中,自然会激发起学生很大的学习兴趣。

又如讲授热力学时,通过课堂演示玩具陶娃娃会飙尿和饮水鸭会不停点头,引导学生分析判断这些现象是否违反热力学第一和第二定律。^[8]这些问题的讨论,引起学生很大的兴趣和联想,有助于提高学生的分析和批判能力,有的学生还把对这些问题的研讨写成心得笔记与老师分享。

兴趣是最好的老师,并不是说只注意讲课的趣味性。培养学习物理的兴趣要从认识物理学的重要性开始。2004 年联合国大会通过决议,确立 2005 年为“世界物理年”,决议确认:物理学是认识自然界的基础;物理学是当今众多技术的发展基石;物理教育为培养人的发展提供了必要的科学基础。物理学对人类文明的影响是 Exploring the nature, driving the technology, saving the life。教师要结合教学内容宣扬这些观念,激发学习物理的热情和兴趣。物理教学还要帮助学生体会物理学的美,物理法则的普适性就是物理美的重要体现。李政道曾感言,在中国作学