



德国 KPK 物理课程设计思想评述

张恩德¹, 吴江海², 潮兴兵³

- 1、华东师范大学 物理系, 上海市 200062
- 2、上海政法学院 现代教育技术中心, 上海市 201620
- 3、江西九江学院, 江西省 九江市 332005

德国卡尔斯鲁厄物理课程^[1](DerKarlsruher Physik Kurs, 简称 KPK) 是以德国赫尔曼教授为首的团队开发设计的一套德国物理教材。一经面市, 它便以独特的设计思想、全新的课程结构受到广泛关注。KPK 在德国已有二十余年的历史, 学习 KPK 的德国学生已有一万余人。

他山之石, 可以攻玉! 毫无疑问, KPK 蕴含的丰富物理思想和课程文化将拓宽人们对物理课程的认识, 推进我国的物理课程改革。

1 独特的课程思想

1.1 抛开历史负担, 实现物理课程精简化

物理学的发展历程是一条错综复杂的道路, 在这条道路上演绎着众多令人可歌可泣的有关物理学家的故事。尽管如此, 物理学在实际上还是存在着更容易到达相同目标的捷径, 但是在各国的实际物理课程中, 这条复杂的道路还是强加于广大学生^[2]的学习过程之中。

回顾国际物理课程史, 不难发现“现代”物理教材和 19 世纪初的物理教材之间有很大的相似性。而 20 世纪物理学的发展成果仅仅被作为经典物理学附加的东西, 教材中的新旧知识不能理想结合, 物理教材也不能反应近百年来物理学结构的变化。中学物理课程的内容越来越多, 其原因之一是人们不愿意抛弃已成惯习的经典物理概念, 也不愿意改变原有的物理结构。

1.2 实现物理课程内容的现代化

纵观当今世界的物理课程, 20 世纪物理学的部分研究成果基本上是在高中学段的后期进入物理课程的。面对日益高涨的科学素养要求, 面对越来越多的物理研究成果, 加快实现物理课程内容的现代化, 使 20 世纪乃至 21 世纪物理学的部分研究成果更早地进入中学物理课程, 恐怕是今后几十年内乃至近百年来物理课程改革的

必要举措。

KPK 在加快实现物理课程内容的现代化方面做了大量的工作。目前初中的德国 KPK 涵盖了大量在高中学段, 甚至大学物理课程中出现的概念与定理, 如: 动量、节点定理、回路定理、引力场、矢量、位移、质心、角动量、应力、熵、热机、相变、电势、信息、信息量、磁场能、感应电流的磁场、电容器、抛物柱面镜、场深度、光谱、相对论、波、光子、能级图、粒子和反粒子、半衰期等。

当然, 实现物理课程内容的现代化绝不是一蹴而就的。德国 KPK 对此的做法可归纳为: 通过物理概念和物理思想的结构化实现物理课程的精简化; 通过物理课程的精简化加快实现物理课程内容的现代化; 在内容的现代化中进一步实现课程的综合化。对于物理课程内容的现代化, 德国 KPK 也很有分寸, 如: 相对论只讲述了质量和能量的关系, 以熵、物质的量、物质的流、化学势的概念贯穿反应这一章, 而波、光子、原子壳层和原子核等概念都没有涉及。

2 全新的课程结构

2.1 以广延量为基础, 搭建新的概念结构

在经典物理学和现代物理学中, 广延量扮演着极为重要的角色。KPK 认为广延量有能量、动量、角动量、电荷量、物质的量和熵等六种。物理学各分支学科之间的划分就是根据广延量在每种情况中所扮演的角色而对自然过程进行着分类。广延量包含在一个物理系统中, 并能从一个系统流到另一个系统。KPK 课程以这些实物型量为中心概念, 用实物型量的流来构建整个课程结构。

以广延量、流为基础, 又可以引入另外一些重要概念, 如内涵量、容量、阻力、驱动力、能量携带者等, 它们的定义如表 1 所示:

表1 KPK课程重要概念及其定义

重要物理概念	定义
流	通过某一面积的物质的量或广延量除以时间。
内涵量	一个能量携带者携带能量多少的量。
能量携带量 (energy carrier)	伴随能流的实物型量。
驱动力	内涵量的差异,驱动力越大,流越大。
阻力	它是导体的特性,它取决于导体的长度和横截面积。

KPK不但把物理学各分支学科综合在一个统一的结构内,而且还把化学、信息学和近代物理的部分内容整合在这一结构之中(见表2)。

表2 各分支学科在KPK课程中的整合

分支学科	广延量	流	内涵量
力学	动量 p	动量流(力) F	速度 v
	角动量 L	角动量流(力矩) M	角速度 ω
电学	电荷量 Q	电流 I	电势 φ
热力学	熵 S	熵流 I_s	温度 T
化学	物质的量 n	物质的量流 I_n	化学势 μ
信息学	信息量 H	信息流 I_H	未定

广延量、流、内涵量等彼此相互关联,共同构成了较为完整的概念意义网络(如表3),这个概念意义网络还在不断扩大,KPK希望以此概念网络为基础,不断整合新的内容。

表3 KPK课程概念意义网络

广延量和流之间的关系	能流和携带者流之间的关系	容量	阻力
$F = p/t$	$P = \mu F$	$m = p/v$	只有定性的关系
$I = Q/t$	$P = UI$	$C = Q/U$	$R = U/I$
$I_s = S/t$	$P = TI_s$	$\Delta S/\Delta T$ (没有特定的符号)	只有定性的关系
$I_n = n/t$	$P = (\mu_2 - \mu_1)I_n$	没有作相应的处理	只有定性的关系

KPK中新的概念既与原来的物理概念保持着某些延续性,又被赋予了某些新的特征。以实物型量为例,它有如下特点:

1、实物型量不一定是守恒的,守恒或不守恒只对于实物型量才有意义。

2、实物型量可能是标量,也可能是矢量,对于实物型矢量可以按照矢量的数学法则进行计算。

3、每一个实物型量有另一个属于它的量,这个量可以被解释为流。

4、实物型量是可加的。

事物的新、旧更迭不可避免,新概念体系的建立,必定有某些陈旧的概念被淘汰,为数不少的这样的概念在KPK教材里就被淘汰或弱化,如“能量形态”、“热”和“功”,而另一些原有的概念则得到进一步强化,如“熵”、“能量”等概念。

2.2 循序渐进的章节结构安排

KPK全书共三册,分12个主题共32章,涉及到力学、电学、热力学、磁学、光学、声学、相对论、原子物理学以及信息学、化学等其他学科,它们的主题结构及章节结构如表4所示:

表4 KPK课程主题结构及章节结构

主题	章节	
能量	1、能量和能量携带者	
流	2、液体和气体的流动	
动量	3、动量和动量流	
	4、引力场	
	5、动量和能量	
	6、动量是矢量	
	7、力矩和质心	
	8、角动量和角动量流	
	9、压缩和拉伸状态	
	熵	10、熵和熵流
		11、熵和能量
12、相变		
13、气体		
14、光		
信息	15、信息和信息携带者	
电	16、电和电流	
	17、电和能量	
	18、磁场	
	19、静电学	
	20、信息系统	

光	21、光
	22、光学成像
	23、颜色
反应	24、反应速率和化学势
	25、物质的量和能量
	26、反应的热平衡
质量和能量	27、相对论
声波、电磁波、光子	28、波
	29、光子
原子壳层	30、原子
	31、固体
原子核	32、原子核

解读 KPK 的章节结构,不难发现它具有如下特点:

1、循序渐进,螺旋上升

KPK 以能量和流作为开始,主要考虑到能量是最重要的广延量,而“流”的思想是 KPK 的物理思想精髓,该课程就是围绕这两个核心物理量而展开,它们构成了整个 KPK 的基础。为了使“流”的思想易于为学生理解,KPK 第二章以液体和气体的流动为切入点,通过研究气体、液体在一些机器中的流动发现一些简单的定理,这些定理稍加改动,可以适用于所有不同的流:电流、热流和动量流。

KPK 的力学从动量开始,主要因为 KPK 力学是以研究动量和它的流为其特点的。在传统的中学物理课程中,一般是先介绍力的概念,而动量概念介绍得很晚。而在电学中,KPK 是以电流开始,主要考虑到静电实验中电的积累量是很小的,以至于电流很难被检测到。KPK 从每个学生实际经历过的现象开始,有助于学生形成清晰的电流概念。

能量和光在不同的主题中以不同方式出现,也凸显了 KPK 循序渐进,螺旋上升的特点。能量首先作为一个独立的主题起到基底的作用,然后能量不断与其他广延量结合,在结合过程中深化对能量的认识,最后通过爱因斯坦的相对论介绍质量和能量的等同性,从而使能量概念在初中物理课程中达到最高点。而光先作为熵主题中的一章,主要是从光是熵的携带者,光是能量的携带者等角度来阐述,因为熵和能量先前已有详细说

明,所以此处光显得相对容易;接着光又独自成为一个主题,这部分大体上与我国中学的光学内容相对应,但是增加了全反射,弱化了凸透镜成像规律及光路图的作法;最后光子出现在主题声波、电磁波、光子之中,此处涉及到光子的量子性、光子的能量和动量、光子干涉,实际上已触及光的波粒二象性。光学也一步步由现象到本质,从几何光学到对光本质的最新认识,最终光学的思想螺旋上升到一个全新的高度。

2、注意物理学不同分支和不同学科的综合

在 KPK 的课程内容现代化过程中不断纳入新的知识与理论,实现物理学不同分支和不同学科的综合。动量主题将引力场、角动量纳入其中,熵将光纳入其中,电将磁和信息系统纳入其中,一方面突出了磁的电本质,另一方面也为后面的光是信息的携带者作了铺垫。KPK 课程还通过能量和流等概念将化学中的反应、信息系统纳入其中,以波为主题将声波、电磁波、光子等内容进行了综合。

2.3 自成一体的 SI 单位结构

KPK 认为能量、动量、电荷量、物质的量、熵和信息量等实物型量是物理学的基本量,它们的单位不是导出的,与之相应其他一些物理量则为导出量,它们的单位也应该为导出单位。为此,KPK 保留了能量、电荷量、物质的量和信息量的原有单位。由于在原物理课程中,电荷量、物质的量和信息量已经是物理学的基本量,它们的单位——库仑、摩尔、比特也符合 KPK 的规定,所以 KPK 对它们不需要作任何改动;而能量的单位焦耳在原物理课程中只是导出单位,KPK 仍保留能量的单位焦耳,但却将焦耳作为基本单位。

动量和熵是独立的实物型量,它们的单位不能作为导出单位,因此 KPK 为它们定义了相应的 SI 单位:动量的 SI 单位为惠更斯(Hy)(1 惠更斯 = 1 牛顿·秒),熵的 SI 单位为卡诺(Ct)(1 卡诺 = 1 焦耳 / 开尔文)。

以这些基本量的 SI 单位作为骨架,KPK 很方便地确定其他导出量的单位(见表 5)。

表 5 KPK 课程一些物理量的单位

广延量单位	流的单位	内涵量的单位
能量 W 或 E (焦耳)	能流 P (功率)(焦耳 / 秒)	/
动量 p (惠更斯)	动量流 F (力)(惠 / 秒)	
		速度 v (米 / 秒)

角动量 L (惠·米)	角动量流(力矩) M (惠·米/秒)	角速度 ω (弧度/秒)
电荷量 Q (库仑)	电流 I (库/秒)	电势 φ (伏特)
熵 S (卡诺)	熵流 I_s (卡诺/秒)	温度 T (开尔文)
物质的量 n (摩尔)	物质的量流 I_n (摩尔/秒)	化学势 μ (吉布斯)
信息量 H (比特)	信息流 I_H (比特/秒)	未定

KPK 保留了大量的原物理课程的 SI 单位,除了一部分符合 KPK 的物理逻辑与物理思想之外,另一部分作为常用单位与 KPK 规定的 SI 单位共存,这样就保证了 KPK 既能与原物理学体系保持一致,又能使 KPK 具有自身逻辑上的严谨性。如,仍将牛顿、瓦特作为动量流和能流的单位之一。

3 颇受倚重的类比方法

3.1 物理学独特的结构为类比方法运用提供了可能

KPK 认为一个系统的能量总可以被表示为其他几个确定的变量 x_1, x_2, x_3 的函数,如果恰当地选择这些变量,这个系统将完全可以用下面的函数来描述: $E = E(x_1, x_2, x_3 \dots)$

在某些情况下,可以分解为互不相干的子系统: $E(x_1, x_2, x_3 \dots) = E'(x_1, x_2) + E''(x_3)$

对于电容器,则其总能量:

$$E(Q, p) = E_0 + Q^2/2C + p^2/2m$$

若一个系统从一种状态转换到另一种状态时,则至少有两个量的值要发生变化,对应的吉布斯方程为: $dE = Tds + \varphi dQ + v dp + \mu dn + \dots$

即,能量的每一次变化对应至少有另外一个广延量的值发生变化,吉布斯基本方程每一项中的广延量和内涵量是相互耦合的,或确切地说是能量耦合的,方程左右同时除以 dt ,得:

$$P = TI_s + \varphi I + vF + \mu I_n + \dots$$

无论能量什么时候流动,至少有另一个(实物型)量在同时流动。如果上式中有一项不为 0,则其可以简化为: $P = yI_s$

y 表示某一内涵量, I_s 则表示与这一内涵量所对应的流。这个关系式描述了属于相应的物理学分支的能量传递,因而也就成为物理学各分支学科之间类比的基础,从而使学生在不同的物理学领域应用相同的模型和思维表达方式成为可能。KPK 物理教学的简化方法大部分建立在这

一类比的基础上。

3.2 KPK 课程思想奠定了类比方法的地位

所谓类比,就是由两个对象的某些相同或相似的性质,推断它们在其他性质上也有可能相同或相似的一种推理形式。KPK 课程的思想是期望使物理课程尽量精简,提高教育的效率,必然会采取种种有效的教学方法,以便于学生的学习,而类比方法则是其中之一。KPK 采用了大量的类比方法,如动量流和水流之间类比来进行内容设置(见表 6)。

表 6 动量流和水流之间类比

物体	具有竖直壁的盛水容器
质量 m	容器的水平横截面 A
动量 p	水的容量 V
速度 v	水面的高度 h

KPK 类比电路中的节点定理、回路定理,建立了动量流的节点定理;类比水流的路、阻力、驱动力、泵等概念,建立了动量流、角动量流、阻力、驱动力、泵等概念;将动量表达式 $p = mv$ 与电量 $Q = CU$ 类比,通过电容的物理意义(电容是 Q 和 U 比例系数)来类比说明质量的定义(质量是 p 和 v 的比例系数)。

4 令人耳目一新的物理表述

KPK 课程思想和结构的改变使得物理定律、定理表述方式出现了戏剧性的变化,这些表述方式与通常的物理课程大相径庭,给人耳目一新的感觉。牛顿运动三大定律在 KPK 中可以用动量流来表述(见表 7)。

表 7 用动量流的图像来表述牛顿定律

	传统的表述	用动量流图像来表述
牛顿第一定律	如果没有力作用在物体上,物体将保持静止或做匀速直线运动	如果没有动量流流入或流出物体,物体的动量将保持不变。
牛顿第二定律	一个物体的动量对时间的变化率 dp/dt 等于作用在物体上的力 F ; $F = dp/dt$	一个物体的动量对时间的变化率 dp/dt 等于流入这个物体动量流 F ; $F = dp/dt$
牛顿第三定律	如果物体 A 将力 F 作用在物体 B 上,则物体 B 将大小相等、方向相反的力 F 作用在物体 A 上。	如果动量流从物体 A 流出,并流入物体 B,则从 A 流出的动量流强度和流入 B 的动量流强度相同。

上表中右边的表述表明牛顿运动三大定律

他山之石,可以攻玉

——澳大利亚物理课程教学见闻

王汉权

江苏射阳中学,江苏省射阳县 224300

摘要:本文从澳大利亚物理课程教学见闻出发,阐述了如何在物理教学中激发学生兴趣,培养学生的创新能力。

关键词:兴趣动机;学生主体;实践创新;研究报告

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

文章编号:1003-6148(2008)7(S)-0031-3

笔者有幸参加了澳大利亚昆士兰大学的短期教育培训,听取了资深专家的讲学,观摩了课堂教学示范,感触颇深。澳洲课堂教学中体现出的以学生为主体的活动探究、引发兴趣动机的情境教学、培养创新能力的研究报告等方式给我们留下了深刻的印象,值得我们在新课程改革中借鉴和运用。

1 注重引发兴趣动机,课堂自主探究活跃

澳洲的规律教学是选择某主题展开,活动前教学组要研究该主题有哪些是能激发学生的兴

趣动机、引导自主探索的实例。负责教学的Kevin老师告诉我们,他要花一至两周课时来安排学生寻找与物理规律有关的实例,鼓励上网,收看有关资讯等,并着重让学生自己演示和讨论。这样学生就会非常注重对身边所发生现象的观察和探究,他们会带着动机目的去研讨,自然对相关知识学得牢固,甚至还会发现一些与主题相关的其它规律。

在热能、温度及热量的教学中,Kevin老师从一个实例开始:一群孩子玩堆雪人游戏,突然

是动量守恒的不同表达形式。KPK还用动量流表述了平衡状态、节点定理等内容。

平衡状态:把流出的量调节到恰好等于流入的量。

节点定理:流入节点的总动量流等于流出节点的各动量流之和。

杠杆原理:杠杆可以将一个小的动量流变为一个大的动量流。

动量定理:动量会自动地从速度较大的物体流向速度较小的物体。

动量的回路定理:动量可以在一个闭合的回路中流动,动量在流动中既不增加也不减少。

KPK还运用场的观点来表述电荷与磁极之间的相互作用。

电荷之间的相互作用:如果两个物体带同种电荷,电场把它们相互推开;如果它们带异种电荷,电场把它们拉拢。

磁极之间的相互作用:同名磁极通过它们的磁场相互推开;异名磁极通过它们的磁场相互拉拢。

5 对新课改的建议

目前我国物理课程及物理教材研究现状堪忧:不同研究者占有资料大同小异,研究视角与研究的结论相似度高;开发的物理教材高度雷同,使得物理教材的一纲多本违背了教材百花齐放的初衷,与以往的一纲一本没有本质的区别。物理课程研究必须寻找新的视角,物理教材建设必须走多元化的道路。德国KPK课程立足于物理学自身发展的逻辑,力图改变物理的概念结构来使用物理课程精简化,其课程研究与开发的思路给人启示。物理课程研究不能再局限于话语的转换,迫切需要转换视角,吸收域外的营养。KPK作为新生事物,还有不少尚待改善之处,如有“学科中心”倾向、缺乏广阔的文化背景、概念体系还有待完善等,但本着包容的心态,本着取长补短的至诚,KPK还是有诸多宝藏值得我们去撷取。

参考文献:

- [1]F. Herrmann, G. Job 著,陈敏华译,中学物理(德国卡尔斯鲁厄物理课程)[M],上海:上海教育出版社,2007,9.
- [2]F. Herrmann and G. Job (1996). The historic aburdeno n scientific knowledge, Eur, J. Phys. 17, 159—163.