



# 中欧比较视域下的物理文化教学的理解与实践<sup>\*</sup>

汪明 毛奇

(江苏省常州高级中学 江苏常州 213000)

(收稿日期:2020-03-06)

**摘要:**综述了国内外对物理文化的研究现状,从物理史、科学哲学、实践哲学3个方面阐释了物理文化的内涵,并从学科自身发展与教学的角度指出了物理文化的必要性.在此基础上,介绍了意大利与以色列两国学者将物理学史与科学哲学融入教学,形成物理文化课程的教学实践.同时相关研究表明,物理文化课程可以帮助学生建立正确的物理概念与物理知识框架.

**关键词:**物理文化教学 物理史 科学哲学 课程

物理学不仅是一种自然科学,更是一种科学文化.物理教学不仅是物理知识或事实的传授过程,也是一项极其重要的物理文化交流活动.因此,从物理文化的视角来研究和解决教学问题,有助于物理教育的良性发展.实际上,物理教育的基本任务之一就是传递物理文化,保证物理文化的连续性和创造性,也是实现物理文化延续和促进人的发展的重要方式.

## 1 学科分化与物理文化

人们对世界的认识肇始于哲学.从15世纪到近现代,随着哲学高潮不断兴起,人们对世界的认识逐渐深入,不同的学科从哲学中分化出来.学科分化在推动学科自身发展的同时,也导致不同学科的学者在认知与情感上的差距越来越大.斯诺在1959年的演讲中将这种学科文化之间的差异描述为“两种文化”的现象,引发了人们对学科文化持续而深入的研究.学科文化在指导学科管理与学科建设的同时<sup>[1,2]</sup>,更为实施科学教育、促进学生理解科学提供了重要途径<sup>[3]</sup>.物理作为自然科学的基础学科,其学科文化的研究在国内外受到了广泛的关注与重视<sup>[4~7]</sup>.

## 2 物理文化的科学内涵

在文献[7]中,作者详细阐明了物理文化的概念、知识建构、特征与功能.他认为,物理文化是古代哲学家、近代物理学家现代物理共同体历经数千年逐步创造的物理知识体系、观念形态、价值标准以及约定俗成的工作方法的总和.文献[8]从物理文化的整个形成过程出发,认为物理文化是由物理科学共同体在认识物理世界和相互交往中自觉形成的一种相对独立、相对稳定的社会意义网络.同时,他们认为物理教育可以成为物理文化的一部分<sup>[9]</sup>.欧盟的物理文化则建立在以“内核-躯干-外缘”模型为理论基础的学科文化之上<sup>[3,5]</sup>.该理论由以色列耶路撒冷大学的Galili教授等人发展起来<sup>[4,10]</sup>.

物理学的知识是由几种基本理论组成的,每一种理论都建立了一个包含大量元素(原则、概念、模型、实验、已解释的现象等)的包容性集群,其理论框架具有很好的相关性与可信度,可以用图1(a)来表示.它由二圈层的知识元素构成.第一圈层为内核知识,包含本体论和认识论的原则、范式模型与基本概念;第二圈层为躯干知识,是所有与内核一致的元素,它可以是从内核演绎而来,也可以是与内核不冲

<sup>\*</sup> 江苏省教育科学“十三五”规划课题“简易物理课堂教学实践研究”阶段性研究成果,课题批准号:D/2016/02/210

作者简介:汪明(1973-),男,正高级教师,江苏省物理特级教师,全国优秀教师,主要从事中学物理教学及研究.

突的经验性知识. 躯干知识包含了更多的定律、次级概念、特定现象的解释、实验、技术等等. 而如果要使物理学上升为物理文化,则需要引入第三个圈层,即外缘层知识,如图1(b)所示,它包含了与内核不一致的概念、矛盾的问题以及未能解释的现象. 通过挑战内核知识,外缘知识可以反过来定义核心知识的内涵,并向初学者揭示理论中隐含的边界,即外缘知识触及了哲学中经典的证伪与对比的方法.

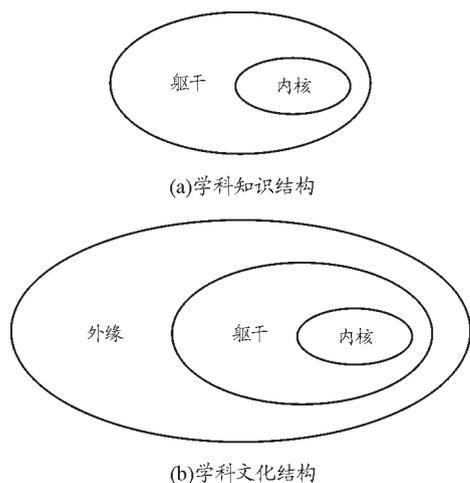


图1 内核-躯干-外缘模型

北美的学者除了将科学史与科学哲学作为科学文化<sup>[11]</sup>,还特别强调了实践哲学在物理文化中的地位<sup>[12,13]</sup>. 伊恩·哈金在《表征与干预》中提出了实验有自己的生命论断,他发现自然科学史现在几乎总是被写成理论史,科学哲学研究已经变成了理论哲学<sup>[14]</sup>. 他挑战了将科学仅仅作为理论知识的传统,认为科学家工作的空间具有多样性、补丁性和异构性,科学文化包含各种各样的零碎(物质的、社会的、概念的),它们之间并不一定会有统一的联系,因而科学文化并不能构成一个统一概念网络. 为此,他构建了科学实践的图像:实验室中的仪器、事实、现象与解释的智力成果正是将各种各样不同的科学文化元素整合到一起的创造性探索<sup>[12]</sup>. 因此,物理文化还应该涉及科学实践.

我们看到,物理文化是一个包容性的概念,从逆向思维的方式来看,物理文化至少应当涉及物理史、科学哲学与科学实践3个方面的内容,并且物理文化与物理教育有着密切的联系.

### 3 物理文化与物理教学

课程是由人类共同拥有的学科结构转化为个人

的认知结构的阶梯. 课程结构决定于社会结构、学生心理结构和学科结构三者的交叉和结合. 课程缘于文化传承以及对人教化的需要,没有物理文化就无法理解物理教学. 因此,物理课程中积淀了与人类认识自然的相关活动、实践、审美情趣和价值观等相关的文化性格. 物理文化教学要具体涉及对科学知识产生的社会文化背景、历史观、方法论及其教育价值观等方面,让学生不仅学习物理知识与技能,更要学习蕴涵于其中丰富的物理思想与正确的研究范式,养成理性精神和科学态度.

从学科发展的角度出发,物理学科需要大规模的合作与达成共识,物理文化有着竞争性、探索性、国际性等特征<sup>[7,15]</sup>,因此有志于终身学习物理的人需要了解物理文化. 自20世纪初以来,面对复杂的现实问题,以学科交叉与融合为基础的跨学科研究越来越受到关注<sup>[16]</sup>,明确物理文化有助于物理与其他学科之间的融合.

从学科教学角度出发,物理文化可以作为三维目标的理论教学基础<sup>[7]</sup>,同时也是中国学生发展核心素养中人文底蕴与科学精神的重要组成部分<sup>[17]</sup>. 过去的教学往往过度强调知识与技能,片面追求应试教育. 在新一轮的物理课程改革下,物理教育从“精英教育”变成“大众教育”. 物理文化中蕴含着丰富的课程资源,可以作为培养学生物理核心素养的立足点,让师生站在物理史、科学哲学与实践哲学的高度去重新认识物理学科.

从教学实践角度出发,目前学校开设物理课程过度地强调物理学科的科学性、逻辑性,业已发展出了“唯科学主义”的思想局限. 如果把物理教学实践作为物理文化的认识过程,既强调物理学的科学性、逻辑性,更强调物理学的历史性、整体性、人文性的认识过程,也是将物理教学定位于人类认识世界和改造世界的一部分,回归物理学科教学的文化品性. 从这个意义上看,从整体性、历史性和人文性的角度进行物理教学实践,无疑具有非常重要的意义. 下面我们通过两个课程实践案例,介绍国外在物理文化课程建设方面的研究成果.

#### 3.1 融合物理史的物理文化课程

物理学科不仅关注科学内容的客观真实,而且

还体现在物理对物质世界的认识随时间逐渐呈螺旋上升的情况. 因此, 物理学科知识并不是一成不变的. 人们对世界的认识经历了从感性到理性, 再到对理性的综合的过程. 学生对物理的理解, 首先是通过感性的具体, 经过科学抽象成为抽象的规定, 再经过科学抽象成为思维中的具体<sup>[18]</sup>.

在历史上, 前人对世界的理解在现在看来可能是局限的甚至是错误的, 然而, 这种理解往往代表了当时的最先进理性水平. 文献[4, 10, 19, 20]将物理学史资源整合成为文化内容知识(Cultural Content Knowledge, 以下简称 CCK), 并展开了多年教学实践的研究. 课程以讲座的形式, 贯穿科技史中针锋相对的辩论, 再现了关于视觉与光的本质的讨论, 向中学生展示了物理文化.

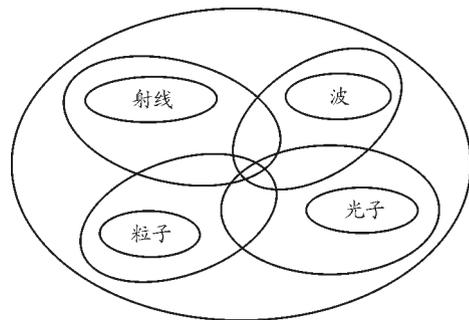


图3 20世纪光学理论:射线、粒子、波与光子<sup>[10]</sup>

文献[4, 10, 19]将学生的前概念与物理史的重演联系在一起. 以光学与视觉领域的教学为例, 重演的相关平行概念列于表1. 教师利用这些平行概念展开讨论, 唤起学生自身的观念与信仰并进行比较, 从而通过强调相似性来指明学生已有的迷思概念(misconcept). 通过理解科学观点的演进这种方式, 基于主题的CCK课程可以使学生对迷思概念免疫. 同时, Galili等人相信, 学生本人的构想通常并不会像物理史中的构想那样顺理成章, 理解相关的历史辩论可以丰富学生知识, 将他们直觉感受到的相异概念(alternative concept)变得清晰, 推动他们的概念学习, 促进概念转变. 因此, CCK课程对学生的相异概念有纠正作用.

表1 光学与视觉领域中的相关概念

历史概念	学生思想观念
毕达哥拉斯的主动视力(入射论, 公元前582—504)	主动视觉概念
欧几里德对视觉与光线的二分法(出射论, 公元2世纪托勒密到公元9世纪金迪)	视力射线与光射线
恩培多克勒的原子论(从被观察物体中发散出来的“似像”)	完整的像在空间移动
圣经中对光的二分法[注释, 圣经中(旧约, 创世记)认为上帝制造了两种光, 亮的光支配了白天, 较暗的光支配了夜晚], 光作为实体与光作为知觉(拉丁语中的流明通量与光度法)	存在于光源与被照亮的表面周围的静止的光与移动的光线
艾尔-哈桑·伊本的光与视觉理论(公元11世纪)	通过光射线观察到的光学图像的原因是射线构成的光对图像进行了投影
纯光(白光)与作为染料的颜色, 衰减与染色	纯光(白光)与作为染料的颜色, 衰减与染色

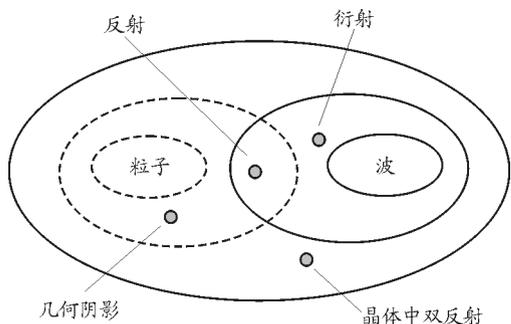


图2 17世纪粒子说与波动说的“内核-躯干-外缘”示意图<sup>[20]</sup>

文献[20]利用“内核-躯干-外缘”模型向有相应知识基础的学生重演了理论的发展. 例如, 在17世纪时, 经典的光理论有粒子说与波动说(图2). 光是粒子或者波作为内核能解释各自的躯干部分, 躯干有共同部分说明两种内核都能解释. 两种理论的内核各自处于对方的外缘区, 即它们之间相互无法解释.

同时, 有些现象(双反射)处于两种理论的外缘, 两种内核都无法解释. 到了20世纪初, 人们对光学领域的物理知识结构有了新的认识(图3), 光子说可以用于解释由偏振光引起的双反射现象. 虽然学生与这些科学家不在同一个时代, 但讲座帮助他们聚焦于过去的科学家所交流和争辩的概念、矛盾、论证、实验、证明与反驳, 引导学生领会物理学基于理论的知识结构, 而不是像通常的物理学科课程那样按部就班地给出主题、概念与习题.

### 3.2 融合科学哲学的物理文化课程

众所周知,同一时代的科学哲学与科学之间有密切的联系.科学哲学关注如何描述科学结构的问题.物理学知识体系是在物理事实的观察和实验的基础上建立起来的,但物理观察和实验结果堆积还不是物理学.物理知识体系,是由一系列的物理概念、定律、定理以及推论,按照严密的逻辑关系,借助物理语言符号有机组成的<sup>[7]</sup>.在描述物理量之间的相互作用和相互关系与物理教学过程中,物理语言构成物理文化的载体.在物理语言中,物理概念的定义是最根本的问题.实际教学中,课程设计者需要对概念的定义有所选择,使物理的概念与知识结构紧密联系在一起.

文献<sup>[21]</sup>根据中学生的认知特点,对各类教材中能量概念的定义开展了调查与研究,将科学哲学融合在以色列的中学课程中,并在七年级与九年级的能量模块教学中付诸实施.课程精心挑选了能量概念的定义,用物理语言明确地向学生解释了“能量概念用来表达变化”以及“为何能量守恒是一个合理的推论”,从而将物理概念的定义上升到物理文化的高度.

Lehavi等人发现,中学生在学习能量的概念时,普遍对4个问题感到疑惑:

- (1) 什么是能量(能量的定义).
- (2) 什么是能量形式.
- (3) 能量转换与转移.
- (4) 能量守恒.

基于这些观察,他们认为能量教学应该包含以下几个方面:

(1) 多变量共存,即自然界中的过程是无法用单变量的变化来描述,因此需要引入同步(耦合)过程.

(2) 相反的变化方向,即在同步过程中总有一方能量增加,另一方能量减少.

(3) 能量的同步变化可以相互抵消,即同步过程中各方能量的变化方向相反并不意味着能够相互抵消,是否能相互抵消应该由实验来决定.

(4) 孤立系统与非孤立系统,即同步过程实际上定义了一个孤立系统.

(5) 能量守恒,从(1)到(4)可以看到,对于孤立系统,其能量是否守恒应该是一条实验定律.

同时,以往物理教育工作者并没有在能量概念的语言描述上达到一致.例如既然能量并不是物质,能量本应该是表达物质的某个属性的量,但“能量转移”的说法可能会启发学生将能量物质化.基于以上两点,Lehavi等人将能量相关的课程设计工作分为两个阶段,在第一个阶段科学教学系的研究员为七年级到九年级的科学教师开发教师材料,在第二个阶段相关教师在工作室开发七年级到九年级的课本.

在第一个阶段,中学的科学教师通过教师材料了解了“能量是描述变化”的基本原理,获得了课堂活动的指导建议,例如一些简单的实验与演示.教师材料特别提供了精心设计的提问,意在强调变化而不是静止状态,例如提问“当课本从桌面掉到地时能量变化”而不是“静止在桌面上的课本的能量”,或者提问“当汽车从行驶到停下时的能量变化”而不是“运行中的汽车的能量”.为了将注意力集中在系统中的过程与过程相关的能量变化上,教师材料给出了示意图(图4).同时,教师材料增加了能量变化的操作定义,即能量的变化可以通过标准物体温度的变化来定量测量(焦耳定律).

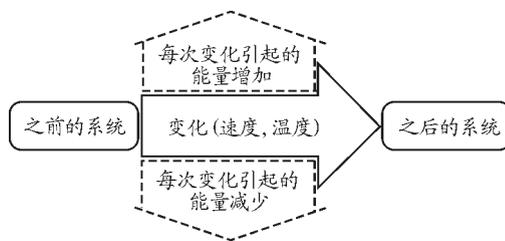


图4 能量变化图<sup>[21]</sup>

在第二个阶段,为了明确向广大师生明确表达能量作为描述变化的概念,自编课本将能量概念的相关定义分成了若干个方面:

(1) 过程.自然界中不同的过程,特征是可变化的属性(参数或指标),如高度、速度等,可用能量变化来定量描述.

(2) 同步(耦合)的变化. 自然界中的变化总是与其他的变化同时发生.

(3) 统一. 能量被认为是单一的性质,因为它在不同过程中的增加或者减少可以通过测量唯一的定量描述. 不同的“类型”或者“形式”只是代表在能量增加或减小的不同过程的标签,因此不同形式的能量并没有本质上的不同.

(4) 可测性. 能量的增加或者减少可由实验来验证. 这种测量的结果可以是通用的并用在数学表达式中.

(5) 能量转移. 在相互作用的系统中耦合的能量增加和减少.

(6) 能量转化. 在不同种类的耦合过程中能量的增加和减少.

(7) 守恒. 测量(或者计算,基于通用的测量结果)某类系统(孤立系统)中能量的全部耦合变化时,这些耦合变化的能量相互抵消.

利用这些概念,当物体做自由落体时,物体高度减小时的能量变化可以看作是与高度变化呈线性关系(由焦耳实验来测定),物体速度增加时的能量变化可以看作是与速度呈二次函数关系(同样由焦耳实验来测定),然后就能论证物体由于高度减小的能量改变与物体由于速度增加的能量改变呈线性关系. 同时考虑能量增加/减小的定性关系,就能向学生呈现出能量守恒是一个合理的推论.

#### 4 结论

本文从物理史、科学哲学与实践哲学 3 个方面介绍了国内外物理文化的研究现状,强调了物理文化对于物理学科自身发展与物理教学的必要性,并通过介绍国外物理文化课程的相关案例,诠释了将物理学史与科学哲学融入物理教学的实践方案与研究成果. 研究表明,任何一种理论,包括它使用的概念、命题、预设都是文化的产物,不同的语言、文化背景会使人们对同一概念或理论产生完全不同的思路和理解. 虽然物理科学的符号、概念、定律不会随着文化的不同而发生变化,但其形成过程以及不同的

人对其产生的理解是与既定的文化背景有密切关系的. 新一轮课程改革以“立德树人”为核心,从物理学到物理文化的转变,是理解物理教学在育人认识上的一大进步,让师生共同成为物理文化的传播者、整理者和创造者,有利于学生核心素养的形成.

从另一层面来说,相较于物理学科课程,物理文化更加重视学生的反思与思维品质,不但让学生“知其然”,而且让他们“知其所以然”,使学生正确理解物理概念与物理知识结构的本质,这与物理学科素养中强调科学态度和责任有共通之处. 需要注意的是,将物理学史与科学哲学等要素融入物理教学,并不是让学生原原本本地去理解这些要素,而是将物理文化作为一种资源,使师生能够从多维度开展教学活动. 当然这也要认识到,物理文化课程在为教师发展开辟了新进路的同时,也对物理教师教学提出了更高的要求. 同时,物理文化涉及到的科学实践理念,对于我国学生在物理学科进行研究性学习时有重要的指导作用,值得进一步的研究.

#### 参考文献

- 1 胥秋. 大学学科文化的冲突与融合[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010
- 2 庞青山. 大学学科结构与学科制度研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2004
- 3 薛永红, 王洪见. HPS教育的新进路:“学科文化”理论及其在科学教育中的应用[J]. 科普研究, 2018, 13(04): 27 ~ 34, 105 ~ 106
- 4 Galilii. Scientific Knowledge as a Culture: A Paradigm for Meaningful Teaching and Learning of Science [M]//MATTHEWS M R. History, Philosophy and Science Teaching: New Perspectives. Cham; Springer International Publishing, 2018: 203 ~ 33
- 5 薛永红, 王洪鹏. 欧盟 HIPST 科普研究计划及其“学科文化”理论概览[J]. 科普研究, 2014(02): 73 ~ 78, 90
- 6 解世雄. 关于物理文化的学术探讨[J]. 自然辩证法研究, 2004(11): 17 ~ 21
- 7 解世雄. 物理文化与教育[M]. 北京: 科学出版社, 2009
- 8 薛永红, 续佩君. 物理文化: 定义及其对物理教育的启示[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2006(01): 43 ~ 47

(下转第 128 页)

- 12 Ling X H, Zhou X X, Huang K, et al. Recent advances in the spin Halleffect of light [J]. Reports on Progress in Physics, 2017, 80(6):066401
- 13 Bliokh K Y, Rodríguez - Fortuño F J, Nori F, et al. Spin - orbit interactions of light [J]. Nature Photonics, 2015, 9(12):796 ~ 808
- 14 Bliokh K Y, Aiello A, Goos - Hänchen and Imbert - Fedorov beam shifts: an overview [J]. Journal of Optics, 2013, 15(1):014 001

## The Extensions and Applications of Snell's Law

Ling Xiaohui Wang Youwen Dai Zhiping

(College of Physics and Electronic Engineering, Hengyang Normal University, Hengyang, Hunan 421002)

**Abstract:** Based on the classical Snell's law in optics and electromagnetics, this paper introduces several important extensions and generalizations of Snell's law in the fields of negative refraction, metamaterial, metasurface, and spin Hall effect of light, through some enlightening questions such as assuming negative refractive index, artificially applying a transverse phase gradient at the interface, and non - plane wave illuminations.

**Key words:** Snell's law; metamaterials; metasurface; spin Hall effect of light

(上接第 124 页)

- 9 薛永红, 续佩君. 物理文化与物理教学[J]. 物理教师, 2004(11): 1 ~ 2, 17
- 10 Galilii. Teaching optics: A historico - philosophical perspective[M]. International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. Springer, 2014:97 ~ 128
- 11 Matthews MR. Science teaching: The role of history and philosophy of science[M]. London: Psychology Press, 1994
- 12 Pickering A. From science as knowledge to science as practice[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1992
- 13 Hacking I. Representing and Intervening; Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science [M]. Cambridge University Press, 1983
- 14 哈金. 表征与干预 [M]. 北京: 科学出版社, 2011
- 15 托尼·比彻, 保罗·特罗勒尔. 学术部落及其领地 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2008
- 16 周朝成. 当代大学中的跨学科研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008
- 17 核心素养研究课题组. 中国学生发展核心素养 [J]. 中国教育学刊, 2016(10): 1 ~ 3
- 18 许国梁. 中学物理教学法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993
- 19 Galilii, Hazan A. The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets - schemes analysis[J]. American Journal of Physics, 2000, 68(S1): S3 ~ S15
- 20 Levrini O, Bertozzi, Gagliardi M, et al. Meeting the Discipline - Culture Framework of Physics Knowledge: A Teaching Experience in Italian Secondary School[J]. Science & Education, 2014, 23(9): 1 701 ~ 1 731
- 21 Lehavı Y, Eylon B - S. Integrating Science Education Research and History and Philosophy of Science in Developing an Energy Curriculum [M]//MATTHEWS M R. History, Philosophy and Science Teaching: New Perspectives. Cham: Springer International Publishing, 2018. 235 ~ 260