

大中衔接

基于“ETA 物理认知模型”建构《静电场》
大单元教学设计

——大学物理教学成果对中学物理教学的启迪

李 银

(石家庄市第二中学, 河北 石家庄 050000)

摘 要 本文以“ETA 物理认知模型”为导引,以高中物理“静电场”单元为例,重点阐述教学设计的几个要点,包括教材次序的重构,教学素材的优化,教学过程的逻辑显化,科学方法显化,课程思政的明示和暗示。由此概括出物理教学的“四美”:导入艺术之美、逻辑简约之美、方法力量之美、人文情怀之美。

关键词 ETA 物理认知模型;大单元教学设计;静电场;比值定义法;类比法

CONSTRUCT THE LARGE UNIT TEACHING DESIGN OF ELECTROSTATIC FIELD BASED ON “ETA PHYSICAL COGNITION MODEL”

LI Yin

(Shijiazhuang No. 2 Middle School, Shijiazhuang, Hebei 050000)

Abstract This paper believes that the university physics teaching results have a good reference role for the high school physics teaching. After “ETA physical cognitive model” of 11 steps as the guide, in high school physics “static field” unit as the case, focusing on several key points of teaching design, Including the reconstruction of the teaching material order, the optimization of the teaching materials, the logic display of the teaching process, the scientific method display, Thus, it summarizes the “four beauties” of physics teaching: introducing the beauty of art, the beauty of logical simplicity, the beauty of method power, and the beauty of humanistic feelings.

Key words ETA physical cognition model; large unit teaching design; static field; ratio definition method; analogy method

1 引言

1.1 “ETA 物理认知模型”简介

本模型由北京大学穆良柱教授依据物理学的发展历程研究得出,共分 11 个步骤,每步有相应

的认知目标,动用相应的认知方法,在认知历程中感悟物理精神。实验物理 Experimental ①观察物理现象(分类法);②挑选研究对象(简化法,还原法);③明确研究问题(主次法);④量化描述性质(类比法,转换法);⑤寻找实验规律(极端法,控制变量法);理论物理 Theoretical;⑥建立理想模型(模

收稿日期: 2022-10-05

基金项目: 2021 年河北省专业学位教学案例(库)建设项目“基于核心素养的教学案例研究”(KCJSZ2021032)

作者简介: 李银,男,高级教师,主要研究方向,高中物理教学设计,14580027@qq.com。

引文格式: 李银. 基于“ETA 物理认知模型”建构《静电场》大单元教学设计——大学物理教学成果对中学物理教学的启迪[J]. 物理与工程, 2023, 33(1): 157-161.

Cite this article: LI Y. Construct the large unit teaching design of Electrostatic Field based on “ETA physical cognition model”[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(1): 157-161. (in Chinese)

型法);⑦建立公理认知(数理逻辑,归纳、猜想法);⑧实验证伪检验(特例法);应用物理 Applying;⑨解释已有现象(推理,类比);⑩预言可能事件(推理,类比);⑪技术发明创造(关联,类比,推理)。^[1]

1.2 “ETA模型”是大单元教学设计的导航图

“ETA模型”和认知学的学习进阶理论(经验、映射、关联、系统、整合)表述非常相近。和辩证唯物主义的唯物论、认识论、方法论相契合,穆老师认为这和马克思主义哲学受物理学发展启发有直接关系。显然用所有物理老师熟知的语言体系建构教学论,比之舶来翻译教学论更能在线老师这里得到共鸣。

物理教学的进程不外乎是“数理逻辑线索、历史发现线索和认知建构线索”的协调统一,这恰恰是著名的哲学观点“逻辑与历史的同一性”。恩格斯认为,逻辑与历史的关系类似于胚胎生长和古生物进化的关系。“它使我们懂得,为什么物理教学的逻辑体系,在总体和主要环节上必定是物理学历史发展的反映;为什么历史上关键性的突破和前辈物理学家伟大贡献的精髓,应该成为物理教学的重点;为什么教学中学生的难点,往往与物理学史中长期未能克服的困难不谋而合,总是带有历史的烙印;等等。”^[2]“ETA模型”前四项构建物理概念课,“ETA模型”前七项构建物理规律课。“ETA模型”后四项构建专题课。物理学发展的各个模块(大部分教科书的分章依据)都经历“ETA模型”的各步骤。^[3]如此物理学的大单元教学设计完全可以循着每个大概念的“ETA”生成路径建构,认知链路完整了,核心素养的各要素也就凸显了。

2 “ETA”指引下的《静电场》单元教学

2.1 教材分析之节次优化

人教版《高中物理教科书 必修三》《静电场》单元目录如下:

第九章 静电场及其应用 1. 电荷;2. 库仑定律;3. 电场、电场强度;4. 静电的防止与利用。第十章 静电场中的能量 1. 电势能和电势;2. 电势差;3. 电势差与电场强度的关系;4. 电容器的电容;5. 带电粒子在电场中的运动^[4]。

以“ETA”视角看“静电的防止与利用”“电容器的电容”“带电粒子在电场中的运动”属于A应用环节,其他属于ET实验理论环节。在ET实验

理论没有建构完善时引入A应用,必然导致欲言又止,解释不清的问题,最终还要在ET之后返修,进一步考虑概念逻辑关系编排如下:

第九章 静电场的描述和规律。1. 元电荷和电荷守恒定律,2. 库仑定律,3. 电场强度和电场线,4. 电场力做功和电势能,5. 电势差和电势,6. 电势差和电场强度的关系,7. 电场线和等势面的关系。第十章 静电场的应用。1. 静电的利用与防护,2. 电容器及其电容,3. 带电粒子在电场中的运动。拆分后的小节和《教参》课时建议吻合。

2.2 教材分析之案例替代

“ETA”认知模型把“观察物理现象”放做第一步,物理观念始于物理现象终于实际应用。穆老师对此解释:人的所有认知最初都来自观察、体验,就像婴儿探索一个皮球一样,看、摸、踢、咬,调动的感官越多收获就越接近完整。对此《课程标准》这样要求,“物理概念的建立需要创设情境。学生在学习物理概念之前,基于生活经验形成了大量的经验性常识,要在此基础上建构物理概念,必须对所观察的现象重新加工,在诸多客观情境中概括事物的共同属性,抽象事物的本质特征,完成从经验性常识向物理概念的转变。”^[5]

《教科书》在每一节都以一个小实验或者生产、生活现象开篇。2004版教材编写时,航天英雄杨利伟乘坐“神舟五号”成功返回,2019版再编时,已经是“天宫”时代。与时俱进,教师要找到更贴切、更新奇、更震撼的案例替代。以“电光石火”下殿中安坐一人的视频替代“雷火炼殿”的图片。以“化纤长丝模拟电场线”(立体个大)替代“碎头发模拟电场线”(平面娇小)。课堂生成总是要比教科书陈述生动有趣,简述笔者随堂实验“观察电容器的充放电”:拿“450V, 50 μ F”的电容器,用400V直流电压充电,然后两极对接放电,让学生看到火花,听到爆破音,再看到电极铜线被焊接到一起,断开接线再重新充好电,对学生说我想尝尝电的味道,于是把一个电极放入口中假咬,看学生们惊呆,我说吓唬你们呢,然后真咬了下去,安然无恙,换另一个电极依然安全,是没充好电吗?有学生点头认可,两极对接,声光依旧,结论是单极不能放电,所以电器维修有一步,就是先给电容器放电。

营造认知冲突,诱发深度思考,教学实验成功和失败都是预谋。脑科学研究认为这样的启动会诱发右脑一个区域兴奋。互联网素材海量,但课堂需求要积存更要精选和加工,避免无效信息过

载。此为教学艺术之美,和“广告美学”的“AIDA”标准一致,要求短小精悍。

2.3 教学主线之显化逻辑

“ETA”认知模型的 11 步,给出了如何承上启下建构教学设计的基本环节,《教科书》从整体上是遵循认知规律编写的,但个别处存在不合逻辑之处。例如:

《教科书》按照“电势差是电势的差”的算术逻辑,选择先讲电势后讲电势差,两个概念分在两个小节。丽江的导游对山东的游客说:“我们家的床比你们家的泰山还高!”游客懵了一下后会心一笑。这意味着高度的概念在人们心目中是相对的,实际是高度差的概念。物理学的概念都是先有实质,后取名称。对物理学名词的理解很多时候不能用拆文解字的方式,它们更像是约定好了内涵的成语,字面含义不足以表达组合含义。所以从势能定理用比值定义法同步建立“电势差”和“电势”,才是学科应有的逻辑。如图 1 是板书设计片段。

W_{AB}	$=$	E_{pA}	$-$	E_{pB}	① 电势差又称电压 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$;
q	$=$	q	$-$	q	
U_{AB}	$=$	φ_A	$-$	φ_B	② 电势是位置的函数 $\varphi_A = \frac{E_{pA}}{q}$; $\varphi_B = \frac{E_{pB}}{q}$;
U_{AO}	$=$	φ_A	$-$	0	③ 电势差就是电势的差 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$

图 1 电势电势差关系板书设计

《教科书》用地表重力场类比匀强电场得出“静电力所做的功与电荷的起始位置和终止位置有关,与电荷经过的路径无关。”旁白“这个结论虽然是从匀强电场中推导出来的,但是可以证明对非匀强电场也是适用的。”^[4]这种一带而过,对建立“场”理解“势”这一重要物理观念留下了隐患。毕竟只要是恒力,做功就和路径无关。这里有必要对点电荷的电场进行分析,为理解电势的可叠加属性打下基础。微积分的函数理解可以躲避,但微积分的几何理解已经在《必修一、二》多次出现,所以实际教学中补充“点电荷电场中电场力做功和路径无关”的图形分析。如图 2,任意曲线轨迹看成沿以 $+Q$ 为圆心的圆弧和半径的微元接续而成,在圆弧小段上运动时电场力不做功,在半径的小段上电场力做功可以累加,最终结果相当于从 A 点沿圆弧到达 A' 点再沿半径到达 B 点,结论:点电荷电场力做功和路径无关。

和初中物理相比高中物理侧重定量,和大学物理相比高中物理的定量则是极端特例的定量。

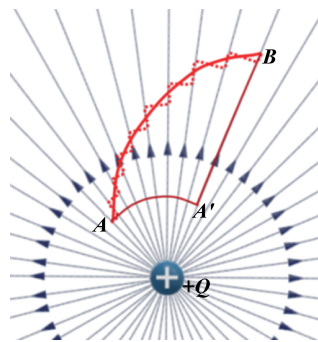


图 2 点电荷电场力做功和路径无关

“自然科学的目的在于对自然现象给出一组合理的、系统的解释,并使我们能够以过去的经验对新环境做出预言。理论是这种论证的正规基础,它不一定要用数学语言表达,但数学语言会给我们最为强大和普遍的推理方法。”^[6]“ETA”⑥建立理想模型(模型法)、⑦建立公理认知(数理逻辑,归纳、猜想法),这两步历来是教学的重点和难点。

现象是物理的根,数理逻辑是物理的干。物理概念、规律教学必然经历从生活语言(汉语、英语)到物理语言(专属理解)再到代数和几何的四项解读。“场”的物理观念是所有物理观念的中心,是大概概念,是相互作用和能量观的基础,整个物理学都在和“场”纠缠,至今有的认知已经比较完善,有的还在发展。场强、电场线、电势、等势面,两个代数、两个几何,是矢量场也是标量场,理论上互相关联,应用上互相支持。因此成为高中物理所有章节中逻辑上最复杂、最深刻、最难领会的单元。

物理学习很像生长一棵树的过程,而不是画一棵树。新概念建立总是需要一组已经消化吸收的观念体系做支撑。捋顺逻辑体系构建教学纲要,由纲要演化成板书设计,而板书是笔记的示范,好笔记是支撑高效学习的必要手段。严密、自洽、简约是为物理逻辑之美。相应的板书美感是“提纲挈领,逻辑清晰;言简意赅,一目了然;图文并茂,赏心悦目。”

2.4 教学副线之显化方法

“ETA”把常规物理方法和认知的 11 步骤对应。穆老师认为“物理方法的训练一定是结合认知过程展开的,不遵循这个规律,就会产生许多问题。比如,现有的高中物理教育基本忽略了认知过程,直接跳到认知应用阶段,其实大量训练的就是认知应用方法,而做题的过程就是记住已有的公理化理论,然后反复应用到题目设定的场景中,这其实就是应用思维训练,不利于学生整体认知方

法的训练。”^[1]

《课程标准》中科学方法分成科学思维的方法(理论层面)和科学探究的方法(实践层面),对本单元强调了“模型化方法”、“比值定义法”、“扭秤法”。《教科书》在本单元以段落呈现了“比值定义法”,(摘录如下:在物理学中,常常用物理量之比表示研究对象的某种性质。例如,用质量 m 与体积 V 之比定义密度 ρ 、用位移 l 与时间 t 之比定义速度 v 、用静电力 F 与电荷量 q 之比定义电场强度 E ,等等。这样定义一个新的物理量的同时,也就确定了这个新的物理量与原有物理量之间的关系。比值定义包含“比较”的思想。例如,在电场强度概念建立的过程中,比较的是相同电荷量的试探电荷受静电力的大小。^[4])此法在本单元用了五次(比荷、场强、电势差、电势、电容)。“比值定义法”从《初中物理》到《必修一、二》用了多次,本单元已无必要再单独呈现,这样的呈现也很初步,没有满足高中阶段的认知要求。比较是指两种或两种以上同类的事物辨别异同或高下,属于个性和共性的关系。“比较”非“比值量”独享,用乘积定义的动能同样用来比较物体的做功本领。在形式逻辑看来,所有概念的形成都要经历比较、反思和抽象。比值是数学运算,最早是为了比较两个同类物性的差距,分子除以分母是个倍数。比值定义法是量化并简化描述现象所需语言的科学抽象方法,它有从表象达机理的深刻含义,是现象和本质的关系。比值定义的参量带着量纲,不能说力是电荷量的多少倍。定义式有人为约定的色彩,是规定不是规律,不像定律式那样包含因果关系,比值量不依赖公式中的分子与分母。电场强度、电势是场空间自己的本质属性,和试探电荷无关,“你探我,或者不探,我就在那里”。

本章使用频繁且具有深意的是类比法,此法在“ETA”各步骤都有体现,穆老师认为“类比是人类的元认知,人的几乎所有认知都是依赖类比逐步建构起来的。”^[1]类比法是在对自然界观察的基础上,将具有相似或相同特征的事物划为一类,并在类的基础之上对未知或不确定的对象与已知的对象进行归类比较、推导,进而对未知或不确定对象提出猜测,使得知识在不同类间迁移的一种思维方法。类比法虽然不十分可靠,但是对新发现、新创造启发作用很大。在电磁学认知发展历程中,类比法不断地发挥先导作用,库仑定律是类比万有引力定律得来,法拉第的场线是类比流体流管得来,麦克斯韦电磁理论从流体理论类比而来。

《教科书》把在重力场部分学到的理论经验迁移到静电场中来,有效地减轻理解的负担。类比法的哲学认识是同一性和差异性的辩证关系,正可谓“难以理解用类比,理解之后是哲学。”

平常所谓“XX法”在方法论体系里隶属各种层级。整体法、隔离法、理想物体、理想过程等从属于科学建模的方法;分类法和比较法、类比法和相似法、归纳法和演绎法、分析法和综合法从属于逻辑推理的方法;比值定义法、微元法、图像法等从属于数学抽象的方法;控制变量法、替代法、模拟法、放大法、缩微法、黑箱法等从属于实验探究的方法。

赵凯华老师说:“学物理的干什么都不算转行。”因为“物理学中有一套最全面最有效的科学方法,现在物理学的概念、原理和方法已被运用到化学、生命科学、地学等所有自然科学中,甚至渗透到经济学、社会学等社会科学,产生了十分积极的效果。”^[7]科学方法在各领域的普适性,以至于让“科学”从名词变成了形容词,这是“物理的力量之美”。

2.5 教学隐线之课程思政

“ETA”在认知发展中找出了物理方法、物理精神。穆老师认为:“物理课程思政教育的本质就是物理认知(科学认知)能力培养,包括物理认知模型的构建(如何思考)、物理方法的训练(如何做事)和物理精神的养成(如何做人),实际上就是物理文化的传承。”^[8]

课程思政是立德树人的要求,是支持所有教学环节的基础架构。是“盐化水中”还是“花栽盆中”要看具体情境。在操作层面可以,(1)恰当选取教学素材,让背景暗传思政;例如用雷击事件讲珍爱生命。(2)突出学科发展中的史学价值,发掘人文要素,恰当表达思政。例如,大科学家为人为学的品质。(3)科学进化中的哲学概括。例如,从动电生磁到动磁生电。(4)赋给科学规律以人文内涵,例如,推后背的力是压力还是动力,你趴下躺平就是压力,你奋勇向前就是动力,你的状态决定力的效果。(5)用优美的中文表达物理的优美,例如,用物理理解成语中的“势”,人单势孤,合围之势,势均力敌,势不两立,势不可挡,狗仗人势。

所有学科的课程思政纲要都可以用《中国学生发展核心素养》的三维六面十八个要点建构。篇幅所限,本文只抓取一个教学片段说说“文化自信、家国情怀”。

在元电荷测定的实验过程中,密立根教授有两个得意门生,一个是李耀邦,一个叫 H. Fletcher,前一个对用固体(虫胶)带电测量元电荷有重要贡

献,后一个对用液体(油滴)带电测量元电荷有重要贡献,这两个人都没有参与分享诺贝尔奖,对此李耀邦认为自己是在导师指导下完成的工作,原创性当然属于导师。后者却在密立根去世后撰文说导师窃取了他的成果,但要求在自己去世后公布,毕竟导师对他个人的生活学习都有切实的帮助。^[9]先不管他个人在元电荷测定中的贡献是否足以分享诺奖,在他八十多岁时念念不忘导师没给他名分,在见上帝前向世人告了导师一状,这很难理解,我想到了一个词“欺师灭祖”。历史的真相是按照芝加哥大学当时的学术规范,他要博士学位就只能放弃在第一篇文章署名,后来他发表的博士论文密立根也没有署名。元电荷测定和利用光电效应测定普朗克常数,都是密立根先生获奖的理由。从密立根先生后来对待学生的态度看,他是一个严谨有度、宽容善良、德高望重的长者,他获得的诺贝尔奖奖金悉数捐给了实验室。同样还是密立根的学生,赵忠尧先生也因为评奖委员会的疏忽和诺奖失之交臂,赵先生从没有把这些名利当回事,他自己获得的“何梁何利奖”也悉数捐给了祖国的教育事业^[10]。密立根和他中国学生的师生情缘从李耀邦(民国科学仪器实业家)、颜任光(北大物理系第三任系主任)、赵忠尧(中国核物理学的祖师)到徐璋本(清华大学教授)长达40年的跨度,可见先生对中国学生的信任和偏爱,我想一定是这些学生的优秀品质感动了他。因为密立根先生对中国学生的偏爱,使得一批青年学者前往加州理工学院深造,这些学者后来在中国科学界扛起了重任,他们中有钱学森、钱伟长、郭永怀、卢嘉锡、谈家桢、周培源、赵忠尧、何增禄、张文裕、朱正元、林家翘等。抗战期间密立根先生曾帮助中国募捐,新中国成立后曾帮助留学生回国(其中有钱学森),他是中国物理学会名誉会员,他是一个对中国有恩的科学家、教育家。^[11]

从密立根到赵忠尧,接通了近代物理和中国物理的历史文脉。榜样的力量是精神世界的类比认知,放在历史长河中检验。从“李约瑟难题”到“钱学森之问”,这些宏大的问题不方便放入课堂,但是要装在教师心里。面对祖国的花朵,家国情怀是教学之美中的大美。

3 结语

“ETA模型”从物理学宏观发展视角得出,局部单元也恰好是整体的分型,单节教学截取部分

环节也能在实践中运用。物理教学之美笔者概括为“操之有物,言之有理,感之有爱,行之有人”。把“ETA模型”引入中学教学设计,希望有更多同行参与,本文权当引玉之砖。

参 考 文 献

- [1] 穆良柱. 什么是物理及物理文化? [J]. 物理与工程, 2019, 29(1): 15-24.
MU L Z. What is physics and its culture? [J]. Physics and Engineering, 2019, 29(1): 15-24. (in Chinese)
- [2] 陈熙谋, 胡望雨, 陈秉乾. 逻辑与历史的一致性对物理教学的指导意义[J]. 物理通报, 1994, (4): 13-14.
CHEN X M, HU W Y, CHEN B Q. The guiding significance of the consistency of logic and history for physics teaching[J]. Physical Bulletin, 1994, (4): 13-14. (in Chinese)
- [3] 李银. 在哲学视域下领会物理学科核心素养[J]. 物理与工程, 2020, 30(3): 74-78.
LI Y. Understanding the key competencies of physics under the vision of philosophy [J]. Physics and Engineering, 2020, 30(3): 74-78. (in Chinese)
- [4] 人民教育出版社, 课程教科书研究所, 物理课程教科书研究开发中心. 普通高中教科书物理必修第三册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 1, 29, 16.
- [5] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 52.
- [6] 马尔科姆·朗盖尔. 物理学中的理论概念[M]. 向守平等, 译. 合肥: 中国科技大学出版社, 2017: 5.
- [7] 赵凯华. 九旬畅谈物理教育[J]. 大学物理, 2020, 39(11): 15-18+55.
ZHAO K H. Free talk on physics education at 90 age[J]. College Physics, 2020, 39(11): 15-18+55. (in Chinese)
- [8] 穆良柱. 物理课程思政教育的核心是科学认知能力培养[J]. 物理与工程, 2021, 31(2): 9-15.
MU L Z. The key point of cultural education in physics teaching is the training of scientific cognition[J]. Physics and Engineering, 2021, 31(2): 9-15. (in Chinese)
- [9] 宋子良, 叶子青, 盛建新, 等. 密立根是否占用了学生成果案件之发微[J]. 华中科技大学学报(人文社会科学版), 2002, (2): 30-35.
SONG Z L, YE Z Q, Sheng Jianxin, et al. Whether Millikan occupied the incidence of student achievement cases[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Social Science Edition), 2002, (2): 30-35. (in Chinese)
- [10] 柳怀祖. 李政道在赵忠尧诞辰百年纪念会上发言[J]. 现代物理知识, 2002, (6): 54.
LIU H Z. Li Zhengdao spoke at the centenary meeting of Zhao Zhongyao's birth[J]. Modern Physics, 2002, (6): 54. (in Chinese)
- [11] 张炜. 密立根与中国[J]. 自然辩证法通讯, 1984, (4): 74-77+80.
ZHANG W. Millikan and China[J]. Journal of Dialectics of Nature, 1984, (4): 74-77+80. (in Chinese)