

ETA 物理教学法在大学物理教学中的应用 ——以“稳恒磁场”教学为例

其木格

(内蒙古师范大学物理与电子信息学院, 内蒙古 呼和浩特 010022)

摘 要 ETA 物理认知模型从认知层面深入剖析了物理认知的规律, 并将物理认知分为实验物理(E)认知、理论物理(T)认知和应用物理(A)认知三个认知层次。三种物理认知构成了完整的物理认知过程。ETA 物理教学法是从物理现象开始, 从实验到理论, 再到应用, 最终建立系统化的物理认知。ETA 教学法的核心是按照 ETA 物理认知模型所描述的认知规律来教学。本文以“稳恒磁场”教学为例, 按照 ETA 物理认知模型和 ETA 物理教学法要求进行教学内容重构和教学, 体现出完整的物理认知过程、完整的教学过程、完整的学习过程, 更加清晰地理解了实验、理论、应用之间的关系, 以及科学探索和技术应用之间的联系。

关键词 ETA 物理认知模型; ETA 物理教学方法; 稳恒磁场

APPLICATION OF ETA PHYSICS TEACHING METHOD IN COLLEGE PHYSICS TEACHING —TAKING THE TEACHING OF STABLE MAGNETIC AS AN EXAMPLE

QI Muge

(College of Physics and Electronic Information, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022)

Abstract Based on an in-depth analysis of the laws of physics cognition at the cognitive level, the ETA cognition model divides physics cognition into three cognitive levels: experimental physics (E) cognition, theoretical physics (T) cognition, and applying physics (A) cognition. All three types of physical cognition constitute a complete physical cognitive process. The ETA physics teaching method starts with physical phenomena, moves from experimentation to theory and then to application, eventually establishes a systematic physical cognition. ETA teaching method is centered on teaching according to the cognitive laws described by the ETA cognitive model. In this paper, taking the teaching of “stable magnetic field” as an example, the teaching content is reconstructed and taught according to the requirements of ETA physics cognitive model and ETA physics teaching method, reflecting the complete physics cognitive process, complete teaching process, and complete learning process, and more clearly understanding of the relationship between experiment, theory, and application, as well as the relationship between scientific exploration and technical applications.

Key words ETA cognitive model; ETA physics teaching method; stable magnetic field

收稿日期: 2021-09-10; 修回日期: 2021-09-27

作者简介: 其木格, 女, 讲师, 主要研究方向为物理教学论, lhhqmg@126.com。

引文格式: 其木格. ETA 物理教学法在大学物理教学中的应用——以“稳恒磁场”教学为例[J]. 物理与工程, 2022, 32(3): 50-55.

Cite this article: QI M G. Application of ETA physics teaching method in College Physics Teaching—Taking the teaching of stable magnetic as an example[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(3): 50-55. (in Chinese)

《大学物理》作为理工科的通识课程,既起到对专业课程的核心支撑作用,又对理工科学生科学素质提升具有非常重要的学科价值和意义。无论是物理知识还是物理方法,抑或物理思维训练,对于培养理工科大学生的基本科学素养无不具有重要作用。目前,《大学物理》作为各高校理工科专业的公共课,教学方式缺乏创新,教学中仍旧采取“师讲生听”“填鸭式”方式。学生对《大学物理》普遍存在着缺乏兴趣和热情、上课不认真听讲和思考、课后不及时完成作业或实践训练、考前突击背诵一些习题练习、考试成绩不理想等问题。上述问题给《大学物理》教学带来较大困难和挑战,制约了教学改革创新,严重影响了教学质量的提高。

北京大学的穆良柱根据物理学家在实践中的尝试总结归纳出了 ETA 物理认知模型,提出了 ETA 物理教学法。研究和实践表明,ETA 物理教学法可以有效变革教学内容的呈现方式、教师的教学方式、学生的学习方式和师生的互动方式,使学生由以知识记忆的浅层学习转向以知识的理解和应用的深度学习,提高学生学习大学物理的效率和质量。下面以“稳恒磁场”为例介绍如何运用 ETA 物理教学法进行大学物理教学。

1 ETA 物理认知模型

ETA 物理认知模型是指完整的物理认知过

程由实验物理(Experimental Physics)认知、理论物理(Theoretical Physics)认知、应用物理(Applying Physics)认知构成^[1]。ETA 即由实验物理认知、理论物理认知、应用物理认知的英文首字母组成的。ETA 物理认知模型从认知层面深入剖析了物理认知的规律,并将物理认知分为实验物理(E)认知、理论物理(T)认知和应用物理(A)认知三个具有递进关系而又相互关联的认知层次,或者说这三种物理认知构成了完整的物理认知的过程。需要注意的是,对这三个物理认知的理解应该从认知角度而不是知识角度。实验物理认知不能理解为物理实验,在实验物理认知阶段,可以随机探索,可以完全不懂理论知识,人天生就有感知世界,观察世界的能力。理论物理认知不能理解为某种理论体系,在理论物理认知阶段,需要根据实验线索,构造完整的理论。应用物理认知不能理解为某种应用理论,在应用物理认知阶段,并不是有了理论才去应用,即便只有实验规律也可以应用。ETA 物理认知模型(见图 1)由 11 个具体认知步骤构成,其中实验物理认知和理论物理认知是科学探索过程,应用物理认知是技术应用过程。

物理认知的第一步是观察物理现象,这是零基础的,对于所有人都适用。通过观察发现同一类的对象有共同的性质,那就可以选同一类中最简单的进行研究,这是挑选研究对象。研究对象确定了,就该明确研究问题了。一个研究对象往往涉及很多物理问题,用主次法确定你当前最感

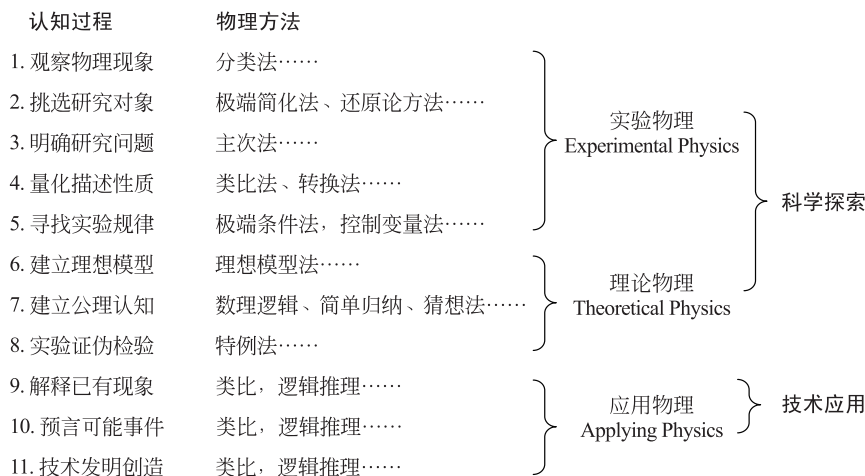


图 1 ETA 物理认知模型

兴趣的问题,这样可以抓住主要矛盾,忽略次要因素,简化问题。明确了研究问题,需要对问题所涉及的物理量进行量化描述,物理性质的量化描述就是定义和观测物理量。在定义和测量了各种物理量之后,需要找到这些物理量之间的关系,即寻找实验规律。以上是实验物理认知过程。

通过实验物理认知得到的是没有关联的,非系统化的认知,还需要得到经验规律背后的原因,即理论物理认知。为了建立理论,需要建立理想模型,即同一类研究对象中最能体现本质又最简单的代表。理想模型是对实际对象的一种近似。在理想模型的基础上就可以通过逻辑推理,归纳猜想构建公理认知了。公理只是一个猜想,是基于以往经验的总结,如果和实验相一致,只能证明在一定范围内暂时是有效的。理论必须是可证伪的,尽管实验不能证明其正确,但如果理论是错误的,则一定可以被证伪。证伪的意义在于找到理论有效的边界,边界内理论是有效的,边界外理论失效,需要重新构建。可证伪性保证了物理认知体系是一个开放体系,可以不断发现新认知。以上是理论物理认知过程。

一旦知道了物理认知的边界,就可以在边界内应用这些认知了,可以解释已有的规律,预测可能的事件,以及发明创造。以上是应用物理认知过程。

2 ETA 物理教学法

从物理现象开始,从实验到理论,再到应用,最终建立系统化的物理认知,在这个过程中学生学会了物理方法,学到了物理精神,这种教学方法称为 ETA 物理教学法^[2]。ETA 教学法的核心是按照 ETA 物理认知模型所描述的认知规律来教学。

在实验物理认知阶段,主要是引导学生对研究对象进行观察、探索、构建直观认识,并使用感官或者仪器去感受研究对象的性质。实验物理认知阶段,不强调理论,尽可能地探索研究对象的性质既可。在理论物理认知阶段,主要是引导学生如何构建最简化有效的系统化认知。这个阶段教师要引导学生构建研究对象的理想模型,寻找实

验规律之间的逻辑关系,构建公理化体系,探索认知的边界。以往的教学往往强调物理正确的一面,以为物理是真理,其实物理认知只是探索过程中暂时有效的认知,探索认知是开放的。在应用物理认知阶段,主要是引导学生灵活类比使用有效物理认知,解决实际问题。

3 “稳恒磁场”教学案例

稳恒磁场,是不随时间变化的磁场。根据 ETA 物理认知模型对“稳恒磁场”教学内容进行重构并按照 ETA 物理教学法要求实施教学如下^[3-6]。

3.1 实验物理认知阶段

3.1.1 观察物理现象

对于大学生而言,磁现象已经比较熟悉,所以在观察实验现象阶段没有采用常见的演示实验或者实验视频、动画等,而是采用了大量物理学史,以史料形式呈现。观察简单直观的实验现象远不如帮学生梳理人们对于磁现象的认识历史更有意义,同时也能激发学生对科学史的兴趣。教学从磁现象最早的记录开始。大约公元前 6 世纪,希腊学者泰勒斯记述了磁石吸铁。中国古代,在公元前 3 世纪《韩非子》中记载有司南,《吕氏春秋》中记有磁石召铁,1600 年英国医生吉伯发表了《论磁、磁体和地球作为一个巨大磁体》,1820 年丹麦物理学家奥斯特发现电流的磁效应,安培重复了奥斯特的实验,并进一步发展奥斯特的成果,研究了直线电流之间的相互作用,安培还提出了分子电流假说,认为磁效应归结于电流和电流之间相互作用。1821 年毕奥和萨伐尔研究了电流对磁针的作用,这个作用正比于电流强度,反比于它们之间的距离。

3.1.2 挑选研究对象

磁现象是复杂的,可以追溯到公元前 600 多年,关于磁现象的物理实验也很多,有研究磁铁本身的,有研究磁化现象的,也有研究电流磁效应的,我们该如何挑选研究对象呢?本着最简单最基本的原则,我们确定研究对象为稳恒电流。因为根据安培分子电流假说,我们可以明确磁场是运动电荷产生的,这样我们就统一了磁铁产生的磁场和电流产生的磁场,因为它们本质是一样的,而

稳恒电流产生的磁场更简单。

3.1.3 明确研究问题

研究对象确定为稳恒电流, 稳恒电流的性质有很多, 可以研究稳恒电流的获得, 就涉及电动势, 非静电场的概念, 还可以研究电路中电流电压关系, 欧姆定律, 以及电流的热效应, 焦耳定律等。我们这里要研究的问题是稳恒电流激发的磁场以及磁场的性质, 即磁场对放入其中的运动电荷(电流)的作用。

3.1.4 量化描述性质

为了量化描述稳恒电流激发的磁场, 以及磁场对放入其中的运动电荷的作用, 需要引入电流强度物理量 I

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

可以把运动电荷(电量 q , 速度 v)放入稳恒电流激发的磁场中, 用它受到的力来定义磁场

$$B = \frac{F_m}{qv} \quad (2)$$

有了磁力线的概念, 也可以这样定义磁场

$$B = \frac{d\phi}{dS_{\perp}} \quad (3)$$

3.1.5 寻找实验规律

毕奥和萨伐尔做了一些载流导线对磁针的作用实验, 得到了毕奥-萨伐尔定律, 载流导线在真空中, 距离它为 r 处激发的磁场和电流强度呈正比, 和距离平方成反比, 还和电流和距离之间的夹角有关。安培研究了电流与电流之间的相互作用, 安培发现, 一段电流在磁场中某点所受磁场力, 与该点的磁场 B , 电流和磁场的夹角 θ 的正弦成正比, 得到了安培定律。

以上是实验物理认知过程, 在教学过程中并没有按照教材编排的顺序照本宣科, 而是以史料呈现的方式从观察实验入手, 从实验中了解要学习的磁现象, 再从纷繁复杂的磁现象中确定研究对象稳恒电流的磁场, 以及定义了描述研究对象需要的物理量, 探究这些物理量之间的规律, 毕奥-萨伐尔定律和安培定律。虽然这些实验不是学生自己动手做的, 然后得到的结论, 但是这个认知过程是完整的。而教科书的顺序, 则是先直接给出毕奥-萨伐尔定律, 然后是应用毕奥-萨

伐尔定律进行解题演练, 这样的教学过程对学生而言是断裂的、碎片化的、不完整的, 缺乏让学生参与和体验知识发生和构建的自主探究过程。

3.2 理论物理认知阶段

3.2.1 构建理想模型

实验物理认知阶段得到的是碎片化的知识, 如何构建完整的理论体系? 首先要构建理想模型电流元 Idl , 将实验中最本质最简单的东西提炼出来。在毕奥-萨伐尔定律和安培定律的实验中都是研究载流导线激发的磁场, 或者是载流导线在磁场中的受力。实验结果经理论化才写成了教材中电流元激发的磁场, 以及磁场中电流元受到的安培力。在教学中, 处理这一部分内容时不应该把实验物理认知和理论物理认知混杂在一起, 应该还原认知的本来过程, 帮助学生构建完整的认知过程。在这里可以用理想模型电流元先来代替一小段载流导线, 有了电流元的概念, 就可以运用叠加定理求任意导线激发的磁场, 也可以通过积分求整个导线在磁场中受到的安培力。

3.2.2 建立公理认知

现在用之前定义的物理量, 电流强度, 磁场, 由实验得到的毕奥-萨伐尔定律和安培定律, 以及理想模型电流元, 场叠加定理对稳恒电流激发的磁场的做系统的全面的认知。

电流元在空间激发的磁场

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times e_r}{r^2} \quad (4)$$

再用叠加定理得到任意线电流所激发的磁场

$$B = \int_L dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{Idl \times e_r}{r^2} \quad (5)$$

以及运动电荷在空间激发的磁场

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \times e_r}{r^2} \quad (6)$$

磁场是一个矢量场, 有了场线的概念就可以求场的通量和环流来确定场的性质了, 即

$$\oint_S B \cdot dS = 0 \quad (7)$$

$$\oint_L B \cdot dl = \mu_0 \sum I \quad (8)$$

通过求磁场的通量和环流就得到了稳恒磁场的高斯定理和安培环路定理, 即稳恒磁场是有旋

无源场,场线是无头无尾的闭合线。对于对称性强的磁场在已知场线分布的情况下还可以用环路定理求磁场。

电流元在磁场中的受力

$$d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (9)$$

任意形状载流导线所受磁场力

$$\mathbf{F} = \int_L d\mathbf{F} = \int_L I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (10)$$

运动电荷在磁场中的受力

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (11)$$

至此,所有稳恒磁场的问题可以系统化描述了。

3.2.3 实验证伪检验

对于稳恒磁场的所有问题都可以用上面的理论来解释吗?有没有认知的边界呢?以上讨论的是稳恒载流导线激发的磁场问题。如果不是导线而是异形导体中流有稳恒电流,那电流元该如何选取呢?磁铁和电流产生磁场的本质是一样的,都是运动电荷激发的,那磁铁的磁场该怎么求解呢?如果不是稳恒电流,而是随时间变化的电流激发的磁场该怎么求解呢?磁场中的运动电荷在其周围也会激发磁场,那磁场和磁场之间如何相互作用呢?磁场所处的环境不是真空,是有介质的,那磁场对介质,介质对磁场又有什么相互影响呢?有些物质可以被磁化,有些物质不能被磁化,有些物质被磁化后磁性很强,这又是什么原因呢?通过对稳恒磁场的实验证伪检验,得到了稳恒磁场理论的适用范围,也为进一步的研究指明了方向。其实本节只研究了稳恒载流导线在真空中激发的稳恒磁场的性质,磁场是有旋无源的,任意一点的磁场可求,在这种磁场中的运动电荷和电流的受力可求,仅此而已,在这个范围内,前面得到的理论就可以在这个范围内应用了。

3.3 应用物理认知阶段

3.3.1 解释已有现象

有了稳恒磁场的理论物理认知,就可以求解任意形状任意长度稳恒载流导线在真空中任意一点的磁场。对于对称性很好的磁场,还可以求解螺线管、螺绕环、同轴电缆的磁场。这时候再进行例题讲解和习题训练,认知过程就比较完整了,学生也深刻理解了例题设计的意图所在。以前教学中是在讲完毕奥-萨伐尔定律之后讲几个例题,讲

完安培环路定律之后又讲几个例题,认知过程是不连贯、不完整的,学生学习过程中不清楚其中的逻辑关系,理解不深刻,学完容易忘记,复习起来也比较繁琐。

3.3.2 预言可能事件

以上的理论是解决有限长载流导线激发的磁场的,对于无限长的圆柱形导体激发的磁场可以预言吗?答案是肯定的。距离无限长圆柱很远,忽略圆柱半径可以看成无限长导线,在空间激发的磁场是和圆柱同轴的圆,可以用环路定理求解圆柱内外磁场。

3.3.3 技术发明创造

利用带电粒子在均匀磁场中的运动的磁聚焦现象可以制成电子显微镜。利用带电粒子在非均匀磁场中运动制成磁约束装置。利用带电粒子在电场和磁场中运动,可以制成回旋加速器、质谱仪。和由霍尔效应制成的霍尔效应传感器,以及目前正在研究的磁流体发电。

在应用物理认知阶段,解释已有现象和预言可能事件直接对应书上的例题和习题,可能对于上公共课的学生更有现实意义。技术发明创造这一部分,往往属于大学物理B类内容,要求理解或者了解,不做重点考核,而且这部分内容往往也是教师的知识盲区,遇到这样的内容甚至可以不讲。其实这一部分往往包含很多前沿的科研成果,对于开阔学生眼界,参加大学生创新大赛以及数学建模大赛都很有帮助,同时也是课程思政最佳结合点。这部分内容可结合自身科研或者兴趣进行讲解,比如可以介绍磁约束装置、托卡马克原理或者合肥等离子所目前“人造小太阳”的最新研究成果等,润雨无声中将课程内容与科技前沿联系在一起,并巧妙地将思政教育融入物理教学中。

4 教学效果评价

为了评价按照ETA物理教学法组织稳恒磁场教学的教学效果,作者通过超星“学习通”在线学习平台对所教班级学生进行了在线问卷调查。调查共设计了教学的接受程度、物理学认知能力、物理学科学的方法与科学精神三个问题。此次问卷调查共有53名学生参与,调查结果如表1所示。“教

表 1 教学效果评价问卷调查及结果

问题	选项	调查结果	
		人数/人	百分比/%
教学接受程度	A. 讲解到位	10	18.9
	B. 能够理解	22	41.4
	C. 一知半解	18	34.0
	D. 不太理解	3	5.7
物理学认知能力	A. 有所提高	13	24.5
	B. 得到了训练	31	58.5
	C. 没有提高	7	13.2
	D. 没有得到训练	2	3.8
物理学科学的方法与科学精神	A. 得到训练	22	41.5
	B. 有所提高	25	47.2
	C. 没有训练	2	3.8
	D. 没有提高	4	7.5

学接受程度”选择“能够理解”的占 46%，选择“讲解到位”的占 18.9%；“物理认知能力”选择“得到了训练”的占 58%，选择“有所提高”的占 24.5%；“物理学科学方法与科学精神”选择“得到训练”的占 41.5%，选择“有所提高”的占 47.2%。从调查结果来看，学生对利用 ETA 物理教学法进行稳恒磁场教学的接收程度较高，而且认为这种教学方法明显有助于物理学认知能力训练和提高，也能使科学方法与科学精神得到有效训练和提高。

5 结语

以“稳恒磁场”教学为例，按照 ETA 物理认知模型和 ETA 物理教学法要求进行组织教学，体现

出完整的物理认知过程、完整的教学过程、完整的学习过程，可以很清晰地看到这些认知是如何一步步构建的，相关知识点是如何全部串接在一起的，也更加清晰地理解了实验物理认知、理论物理认知、应用物理认知之间的关系，以及科学探索和技术应用之间的联系。推而广之，大学物理的其他章节也可以按照 ETA 物理教学法进行组织教学，有效训练和提高学生的物理认知能力和物理素养，促进大学物理教学质量的提高。

参 考 文 献

- [1] 穆良柱. 什么是 ETA 物理认知模型[J]. 物理与工程, 2020, 30(1):29-33.
MU L Z. What is ETA physical cognition model[J]. Physics and Engineering, 2020, 30(1):29-33. (in Chinese)
- [2] 穆良柱. 什么是 ETA 物理教学法[J]. 物理与工程, 2020, 30(2):32-36.
MU L Z. What is ETA physical teaching. Physics and Engineering, 2020, 30(2):32-36. (in Chinese)
- [3] 穆良柱. ETA 物理教学法应用案例之静电场篇[J]. 物理与工程, 2021(4):166-173. (in Chinese)
MU L Z, HUA J. How to teach static electric field using ETA cognition model[J]. Physics and Engineering, 2021, 31(4):166-173. (in Chinese)
- [4] 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, 202131(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)
- [5] 程守洙, 江之永. 普通物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016:338-378.
- [6] 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005:87-104.