

# 高端备课视域下“磁通量”的创新教学设计\*

孙庆全

(首都师范大学教师教育学院 北京 100048)

翟彦芳

(首都师范大学教育学院 北京 100048)

邢红军

(首都师范大学教师教育学院 北京 100048)

(收稿日期:2022-10-25)

**摘要:**在磁通量的教学中,现行高中物理教材未能阐明学习磁通量概念的必要性,没有彰显磁通量的本质和物理意义.为此,从物理概念教学的逻辑和学生的认知规律出发,先借助物理学史,从电与磁之间的联系引入,再通过“探究电磁感应现象”并运用科学方法展开,从而建立磁通量的概念.最后从磁通量的上位概念磁通量出发,诠释了磁通量的物理意义,从而为磁通量的教学提供了有益启示.

**关键词:**磁通量;教学逻辑;科学方法;概念本质

物理课程标准指出,“让学生了解磁场的基本概念,了解磁感应强度,知道磁通量是一个重要的物理量”<sup>[1]</sup>。“磁通量”作为高中物理一个重要的物理概念,应该在教学中凸显“磁通量”引入的逻辑,并揭示其本质.有鉴于此,本文立足于物理高端备课的视野,对“磁通量”的教学展开深入研究.物理高端备课是指以物理课程与教学理论为指导,采用“备课”的形式,研究既符合物理学内在逻辑,又符合物理教学规律,同时符合学生学习规律并接受课堂教学实践检验的教学设计,体现“从物理知识传授到物理方法教育,再到物理思想形成”的核心理念.由此,结合物理高端备课的优点进行“磁通量”创新教学设计,以期对“磁通量”的教学有所启迪.

## 1 现行教材的分析与回顾

“磁感应强度 磁通量”在整个高中物理课程结构中位于必修3“电磁场与电磁波初步”模块.由于“磁通量”是学生学习电磁感应现象的必备知识,现行教材将该部分的内容安排在“电磁感应现象及应用”的前一节,采取如图1所示的“磁感应强度—匀

强磁场—磁通量”的编写顺序.教材首先通过演示实验,得出物理量磁感应强度,然后在磁感应强度基础上,引入匀强磁场.随后,引入磁通量的概念<sup>[2]</sup>.仔细分析发现,本节教材的编写可能存在以下两点需要改进之处.

第一,教材没有明确磁通量引入的必要性和意义.物理教学应当讲求逻辑,这不仅是因为物理学逻辑诠释与彰显的需要,还因为物理教学所独有的教育性与简约性要求<sup>[3]</sup>.磁通量作为电磁场中的重要物理概念,在教材中的引入应当是顺理成章的.研究发现,教材对本节内容的编排思路如图1所示,在交代了“磁感应强度”和“匀强磁场”后就开始叙述“磁通量”,并未明确引入的缘由.当前教材编写的这种知识模块式的组织形式,的确是考虑到了传统教学对教学效率的要求,但是由于缺少了合适的导入方式,就难以达成培养学生的科学探究能力的目的.因此,合适的引入方式在磁通量的教学中至关重要.

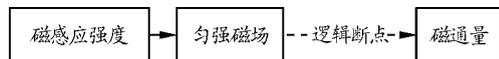


图1 教材中磁通量的编写顺序

\* 全国教育科学“十三五”规划2019年度国家一般课题“核心素养的关键能力构成及其表现研究”的研究成果,项目编号:BBA190024.

作者简介:孙庆全(1999-),男,在读硕士研究生,研究方向为物理教学论.

通讯作者:邢红军(1960-),男,教授,博士生导师,主要从事物理教学论、教师专业发展研究.

第二,教材没有揭示磁通量的来龙去脉.目前教材对磁通量的介绍首先用文字叙述:“设在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中,有一个与磁场方向垂直的平面,面积为  $S$ ,我们把  $B$  与  $S$  的乘积叫做穿过这个面积的磁通量”,其次是数学表达式介绍: $\Phi=BS$ .我们认为,要想揭示磁通量的本质,应该从其上位概念“通量”出发.因此,教材编写应该告诉学生为什么描述磁场引入了磁感应强度以后,还要引入磁通量、磁通量与哪个量相对应.显然,只有提纲挈领地回答学生的疑惑,才能使学生真正明白磁通量引入的必要性.

## 2 教学逻辑的重构与设计

根据奥苏贝尔的有意义学习理论,教师应当明确概念之间的关联,选择合适的模式,将学生待学习的新知识与学生已有认知结构中的知识经验相融合,以促进学生主动有意义的学习<sup>[4]</sup>.有鉴于此,我们遵从物理教学的逻辑和学生的认知规律,以显化科学方法,注重逻辑思维训练为突破口,对磁通量的教学进行了高端备课的探索.为了达成这样一种教学设计的思想,我们给出了磁通量的教学设计流程图,如图2所示.

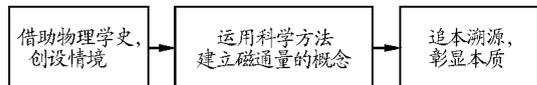


图2 磁通量教学设计流程

本文首先借助理物学史创设情景,确定教学的起点,为概念的引入做好铺垫.然后,利用探究电磁感应现象,再次强调磁通量概念引入的必要性,并运用科学方法建立磁通量的概念.最后,从磁通量的上位概念通量出发,结合环量的介绍,明确描述磁场必须引入的两个核心物理量,从而形成描述磁场的完整结构,同时诠释了磁通量的物理意义.

### 2.1 借助理物学史 创设问题情境

物理概念教学的起点,既要为学生提供感性认识的材料,同时又要说明概念引入的必要性,从而有利于教学逻辑的顺利展开.在教学设计的第一环节,回顾物理学史,磁通量概念的建立是在法拉第提出电磁感应定律之后,由麦克斯韦对电磁感应进行了量化的总结,才正式提出了磁通量的概念<sup>[5]</sup>.由此

可见,磁通量的概念在形成电磁感应公式中起到了重要作用,所以磁通量的引入尤为必要.同时考虑到磁通量的引入不能直接传授,需要结合直观的素材,因此,以法拉第磁铁线圈演示实验作为磁通量教学的引入环节是恰当的.

学生在学习该内容之前,已经学习了电流的磁效应,知道了电可以生磁,对电与磁之间的联系有了初步认识,在此基础上,可以进行法拉第磁铁线圈实验,该实验是法拉第在完成铁环线圈实验后,为了更深入、直观地观察电与磁之间联系而进行的实验,如图3所示<sup>[5]</sup>.通过演示实验,学生能直观地看到电流表的指针发生了偏转,进而让学生回顾奥斯特的实验,将该实验现象与电流的磁效应进行对比思考,学生能清楚地观察到磁也可以生电,从而拓展了学生对电与磁之间联系的认识.然后引导学生思考演示实验中通过怎样的操作产生了磁生电现象.至此,通过演示实验这一直观素材,学生在头脑中引起疑问并思考实验现象产生的原因.此时,教师还不能和盘托出磁通量这一概念,因为该环节教学的目的是借助直观的素材,说明磁通量概念引入的必要性,并为磁通量的引入做必要的铺垫.

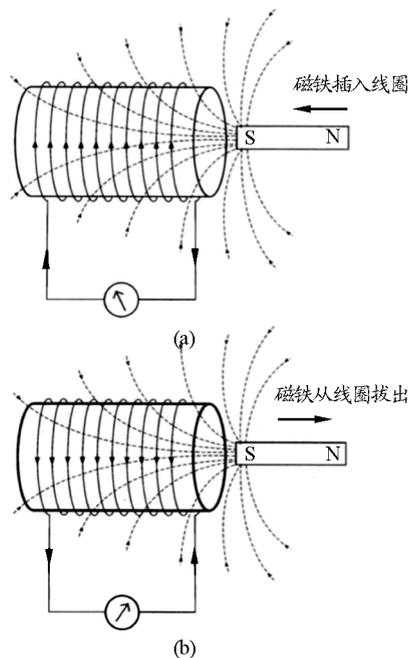


图3 探究电与磁的关系实验

### 2.2 运用科学方法 建立磁通量概念

物理概念作为物理知识,其获得必然要借助科

学方法.因此,在创设物理情境之后,需要沿寻物理概念获得的逻辑路径,运用科学方法建立物理概念<sup>[3]</sup>.因此,在磁通量引入之始,可以将电磁感应这一节中的“探究感应电流的产生条件”内容前置,以此作为磁通量引入的背景.在教学过程中,运用控制变量法这一科学方法,引导学生进行科学探究,探究过程如下:

(1) 设置两组实验,采用控制变量法.实验1展示的是:控制磁感应强度不变,当闭合电路的部分导体在磁场中做切割磁感线的运动时,产生感应电流的原因在于面积的变化,如图4所示.实验2展示的是:控制面积不变,闭合电路所在磁场的磁感应强度发生变化时,线圈中产生感应电流的原因指向磁感应强度的变化,如图5所示<sup>[6]</sup>.

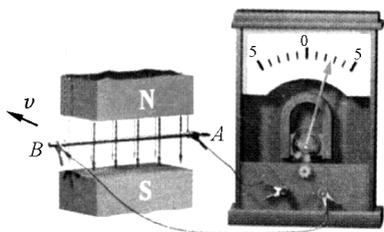


图4 产生感应电流的原因实验1

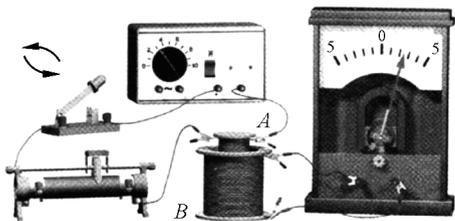


图5 产生感应电流的原因实验2

(2) 学生进行实验后,教师引导学生对实验现象进行分析,通过实验1,发现当与磁场相关的面积发生改变时,会产生感应电流.通过实验2,发现当磁感应强度发生改变时,也会产生感应电流.这样进行教学,就使得“面积”和“磁感应强度”这两个因素的得出,不是来自教师简单的传授,而是通过学生的科学探究,从而充分调动了学生的科学思维.

接下来再次强调磁通量引入的必要性.上述内容围绕“感应电流的产生条件”展开,呼应第一环节教学中提到的电流的磁效应、电和磁之间存在联系(电可以生磁),顺势利导,教师可以让学生结合实验结论,回答“怎样的操作产生了磁生电现象”.这时学

生的关注重点就来到了磁场,进而引导学生思考:既然是磁场的变化导致了感应电流的产生,那么是否可以引入一个物理量来描述磁场的这种性质.

为了能够简洁地描述磁场的这种性质,磁通量概念的引入便显得水到渠成.在磁通量概念建立时,教师可以强调实验探究中用到的科学方法——控制变量法,进而得出磁通量的表达式  $\Phi = BS$ .显然,通过显化科学方法,才能让学生更容易、更深刻地理解磁通量的概念.

### 2.3 追本溯源 彰显磁通量本质

在引入磁通量概念之后,由于学生第一次接触“通量”这个词,往往会存在理解上的困惑,所以有必要对磁通量概念进行详尽的阐释.

磁通量的上位概念是“通量”.通量的概念最初是在流体力学中引入的,流体力学中的速度  $\mathbf{v}$  是一个矢量场,然后在流体中取一面元  $dS$ ,那么,单位时间内流过面元  $dS$  的流体体积叫做面元  $dS$  的通量.然后对任一有限曲面  $S$  的通量  $\Phi$ ,就等于组成这一曲面的每个面元通量的代数和,用曲面积分表示为

$$\Phi = \iint_S \mathbf{v} \cdot d\mathbf{S}$$

并且通量的概念可以推广到任意矢量场  $\mathbf{a}$ ,所以有限曲面  $S$  的  $\mathbf{a}$  通量定义为

$$\Phi = \iint_S \mathbf{a} \cdot d\mathbf{S}$$

进而运用到磁场的描述上,就可以得出磁场  $\mathbf{B}$  对任一曲面  $S$  的通量

$$\Phi = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

即定义了磁通量<sup>[7]</sup>.根据磁通量计算公式  $\Phi = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$  可知磁通量  $\Phi$  是代数量,但同一面元可取两个法向,因此磁通量  $\Phi$  是存在“正、负”的.例如图6所示的面元,既可取  $\mathbf{e}_{n1}$  为法向,也可取  $\mathbf{e}_{n2}$  为法向,且  $\cos \theta_1 = -\cos \theta_2$ ,所以两种取法求得的磁通量  $\Phi$  等值异号<sup>[7]</sup>.

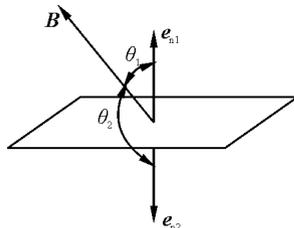


图6 分析磁通量的符号

在中学物理教学中,考虑到中学生的知识水平与认知水平,不能仅仅停留在上述数学描述. 鉴于场线是一种描述矢量场的直观方式,具体到本节课的内容,磁场中的场线就是“磁感线”,而且学生在初中已经学习了磁感线,知道磁场可以用磁感线来定性描述,即磁感线的切线方向表示磁场方向,磁感线的疏密程度表示磁场的强弱. 此时,可以借助生活中直观的物理模型,加深学生对磁通量的理解. 例如,以生活中常见的台灯为例,一方面台灯可以调节明暗程度,类比为改变磁感应强度  $B$ ,另一方面将“光线”类比为“磁感线”,追问学生如何改变台灯照亮桌面的亮度,如图 7 所示. 这时通过改变台灯亮暗程度,即改变“照在桌面上光线的条数”,对应改变了“穿过一定面积的磁感线的条数”. 将教材对磁通量的描述由抽象的“穿过这个面积的磁通量”变为形象的“穿过一定面积磁感线的条数”.

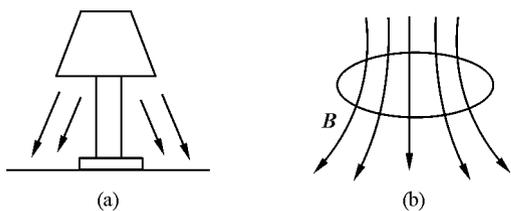


图 7 光线与磁感线类比

在揭示磁通量的本质后,教学中还需要诠释磁通量公式的物理意义,回归到物理的本质意义上,从而促进学生形成认知闭环,同时促进学生深刻理解和熟练应用. 对于磁通量的关系式  $\Phi = BS$ ,其基本意义可以解释为:匀强磁场中穿过某平面的磁通量等于磁感应强度与该平面面积的乘积. 其中  $S$  为磁感线垂直通过部分的面积.

如果对磁通量的关系式  $\Phi = BS$ ,进行变形,则可以得到另外一个关于磁感应强度的公式  $B = \frac{\Phi}{S}$ ,如果仅仅从数学的角度来看,这就是一个简单的数学变换,实则不然,从物理的角度来看这个公式蕴含着丰富的物理意义. 这个公式让我们从另一个角度来理解磁感应强度,它说明的是,磁感应强度在数值上等于穿过垂直磁感应强度的单位面积的磁通量,从而能够让学生更好地理解为什么磁感线的疏密表

示磁场的强弱. 从比值定义法的物理意义来看,磁感应强度是在统一的面积情况下,磁场中磁通量的大小,可以形象地理解为磁感线的条数,在此基础上,教师可以给出磁感应强度的另外一个定义方式,即“磁通密度”,让学生明白为什么磁感应强度又被叫做磁通密度.

### 3 研究启示

#### 3.1 借助物理学史 遵循物理教学逻辑

物理概念教学的起点是创设物理情景,所以本节课在一开始从物理学史的视角出发,借助理学史中的法拉第磁铁线圈演示实验作为引入环节的直观素材. 该实验是在当时人们知道如何进行“电生磁”但并未能实现“磁生电”的背景下,法拉第在其探究“磁生电”过程中设计. 之后法拉第基于直观的实验现象,最终发现了电磁感应现象. 因此在教学中,不能忽视学生脑中已有“电生磁”的认识,所以教师借助该实验,让学生的认识从“电生磁”拓展到“磁生电”,引导学生重新审视电与磁之间的联系,发散学生的思维,培养学生的可逆思维,形成电与磁之间联系的完整认识. 同时初步在学生头脑中引起疑问,进而带动学生思考什么现象导致了“磁生电”. 这样的教学设计就既符合物理概念教学的要求,又遵循物理概念教学的逻辑,从而训练学生的科学思维.

#### 3.2 运用科学方法 恰当建立物理概念

在以往的磁通量教学中,磁通量作为一个独立的知识板块,由于没有合适的引入,仅仅让学生学习磁通量的表达式,导致学生不能理解磁通量的必要性,难免有灌输之嫌,不利于培养学生的科学探究能力. 而本文立足于培养学生的科学探究能力,将“探究电磁感应现象”作为磁通量的引入方式,学生通过探究认识到学习磁通量的必要性,随后显化科学方法来建立磁通量的概念,这样便形成了完整的知识逻辑. 进而显化科学方法,对磁通量进行定义. 科学方法的显化不仅有利于学生更好地理解概念,而且能促进学生认知水平的提高,以最大限度地发展

学生的思维能力,让他们的思维进入更高层次的运算阶段,培养他们的逻辑推理能力<sup>[8]</sup>.

### 3.3 搭建认知框架 彰显物理概念本质

在对磁通量的本质进行阐述中,首先从其上位概念通量出发进行教学,在此基础上,通过场线的形象描述方式,将抽象的场量几何化,使物理模型具体直观,促进学生深入理解磁通量背后的原理,将数学概念和物理模型有机结合.如此,整个教学设计从本质入手又兼顾学生的认知水平,使得教学过程“深入浅出”,让学生形成了描述磁场的完整图式,从而彰显了物理概念建立的内在价值.

物理概念教学不能仅限于孤立地给出概念,也不应仅限于给出文字描述及数学表达式.对于本节的教学来说,理解好磁通量的物理意义尤为重要,对磁通量的公式进行变形,并阐述公式变形后蕴含的物理意义,便可说明磁感应强度又被叫做磁通密度的原因.这样的教学是立意高处、着眼整体、理解形象、认知完整的教学,为学生后续对矢量场的认识和

学习打下了坚实的基础.

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京:人民教育出版社,2018:22.
- [2] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 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.
- [3] 邢红军,张抗抗,胡扬洋,等. 物理概念与规律的教学要求:反思与重构[J]. 课程·教材·教法,2018,38(2):91-96.
- [4] 邢红军. 物理教学论[M]. 北京:北京大学出版社,2015:1-2.
- [5] Nancy Forbes, Basil Mahon. 法拉第、麦克斯韦和电磁场:改变物理的人[M]. 宋峰,宋婧涵,杨嘉,译. 北京:机械工业出版社,2020:56-146.
- [6] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书物理选修3-2[M]. 北京:人民教育出版社,2010:5-7.
- [7] 梁灿彬,秦光戎,梁竹健. 普通物理学教程 电磁学[M]. 北京:高等教育出版社,2012:15-16,184.
- [8] 邢红军. 高中物理科学方法教育[M]. 北京:中国科学技术出版社,2015:76-77.

## Innovative Teaching Design on “Magnetic Flux” from the Perspective of High-End Lesson Preparation

SUN Qingquan

(College of Teacher Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

ZHAI Yanfang

(College of Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

XING Hongjun

(College of Teacher Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

**Abstract:** In the teaching of magnetic flux, the current physics textbooks of senior high school fail to clarify the necessity of learning the concept of magnetic flux, and do not show the essence and physical meaning of magnetic flux. Therefore, starting from the logic of physics concept teaching and students' cognitive law, this paper first introduces the relationship between electricity and magnetism with the help of the history of physics, and then establishes the concept of magnetic flux by “exploring the phenomenon of electromagnetic induction” and using scientific methods. Finally, starting from the upper concept flux of magnetic flux, the physical meaning of magnetic flux is explained, which provides useful enlightenment for the teaching of magnetic flux.

**Key words:** magnetic flux; teaching logic; scientific methods; conceptual essence