

# 学习进阶理论在高中物理 概念教学设计中的应用

——以磁通量概念的教学为例

张秀梅 (复旦大学附属中学 上海 200433)

**摘要** 以磁通量概念为例,运用学习进阶理论描绘学习概念的路线、进行教学设计,破解“灌输概念”的问题,旨在让学生经历概念建立的过程,体验抽象概括、推理论证等科学思维方法,体会概念建立过程的漫长复杂,领略概念的简洁美,加深对概念的理解,从而落实核心素养的培育。

**关键词** 学习进阶 物理概念教学 磁通量

**文章编号** 1002-0748(2024)2-0005

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

## 1 引言

物理概念的学习、掌握是物理教学的主要目标之一,是物理课程的核心内容。高中物理概念的建立有两种形式,一种是从大量例证中抽象出共同特征,形成概念;另一种是先介绍概念的定义,后理解概念的意义。对高度抽象的概念,教材往往采用后一种形式。在实际教学中,教师也因缺乏符合学生认知规律的教学方法而直接介绍定义,然后学生记住定义、应用解题。实践表明,这种灌输式教学方法无法与新课标提出的素养导向相匹配。

笔者尝试利用学习进阶理论,破解“灌输概念”的问题。郭玉英等人提出的科学概念理解的发展层级模型把概念理解的发展由低到高分5个层级:经验、映射、关联、系统、整合<sup>[1]</sup>。教师利用它可以了解学生对概念理解发展的脉络,通过学情和进阶分析,定位学习起点、明确达标层级、设定中间认知状态,形成学习过程路线图,设计并进行有效的教学。

磁通量是高中物理重要且非常抽象的概念之一。本文以磁通量为例,在电磁感应单元视域下,依据科学概念理解发展的层级模型描绘磁通量概念的学习路线,设计教学,探索在概念教学中落实物理学科核心素养的培育。

## 2 基于学情和进阶分析,明确教学设计思路

在学习磁通量之前,学生已经了解磁感应强度概念,会用磁感线描述磁场,了解导体在磁场中运动

时产生感应电流的条件,但不知道“磁通量”概念,未关联电磁感应现象与磁通量的变化。学生学习磁通量的起点是欠缺经验的。

根据《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》中有关磁通量的内容要求,学生学习磁通量的达标层级对应系统层级,也就是能协调磁通量 $\Phi$ 、磁通量的变化 $\Delta\Phi$ 、磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 、感应电动势 $E$ 、感应电流 $I_{感}$ 、磁感应强度 $B$ 等物理量之间的共变关系。

从学习起点到达标层级中间有经验、映射、关联、系统四个层级,运用学习进阶理论,进行进阶分析,描绘学习磁通量的进阶路线,明确教学设计思路,如图1所示。

以单元大任务“制作一个无线传输电能的装置”驱动学生的学习。

## 3 运用多种策略优化教学过程,促成学习进阶

### 3.1 实验探究——交流讨论,获取经验

**设计意图** 通过学生分组实验探究产生感应电流的条件,归纳若干产生感应电流的电磁感应现象的共同特征,让学生认识到“穿过闭合回路磁感线条数发生变化是产生感应电流的条件”。在该层级的学习中,学生体验比较、归纳等科学思维方法,对磁通量概念的属性有初步的认识。

教学示例如下:

**教学资源** 如图2所示研究电磁感应现象的实验装置1~4(含DIS其他器材)、铁屑、玻璃板。

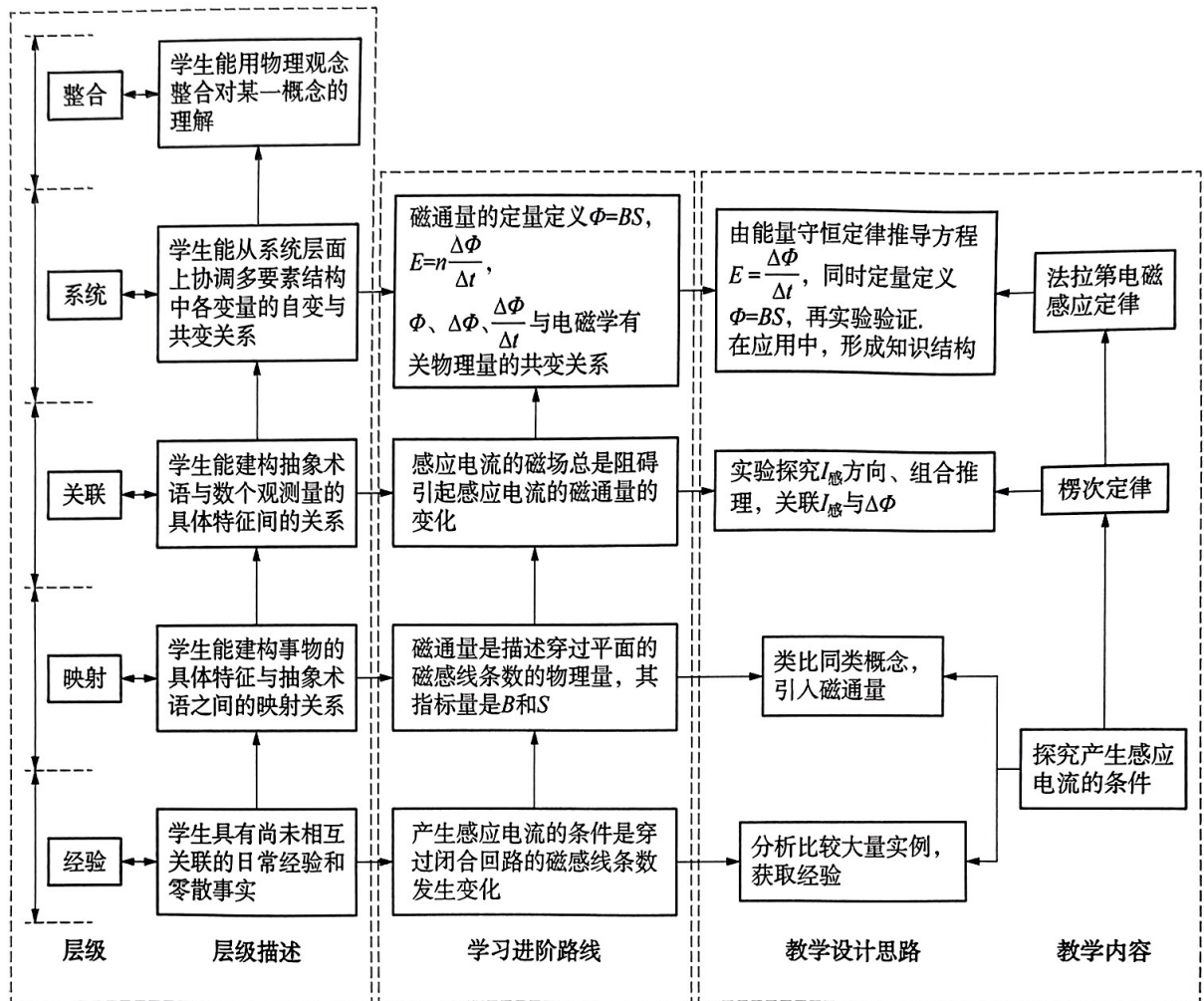
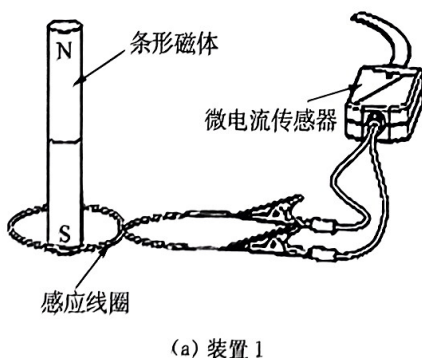
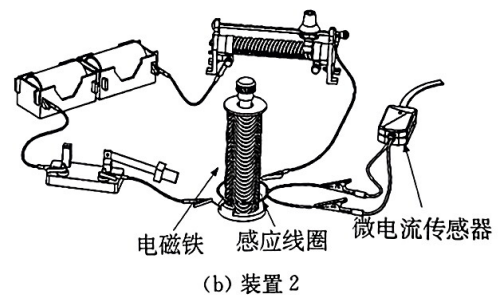


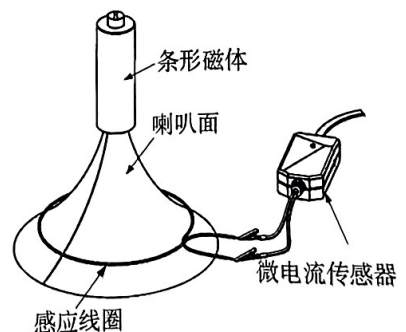
图 1

**教学过程** 复习回忆初中学习的“导体在磁场中运动时产生感应电流的条件”，引入高中阶段电磁感应单元的学习。

利用如图 2 所示实验装置 1 和 2，学生分组实验探究产生感应电流的条件，其中用装置 2 所做的实验现象突破学生原有的“切割磁感线”的认知。然后组织学生在班级交流自己的实验，归纳产生感应电流的电磁感应现象的共同特征。

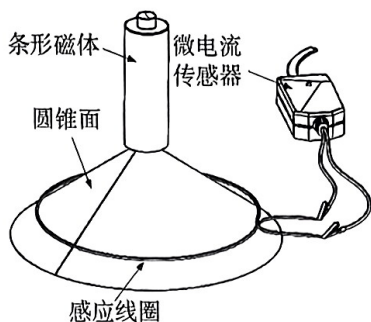


(a) 装置 1



说明：喇叭面与圆柱形磁体磁感线重合，且可以沿轴截面分成两部分

(c) 装置 3

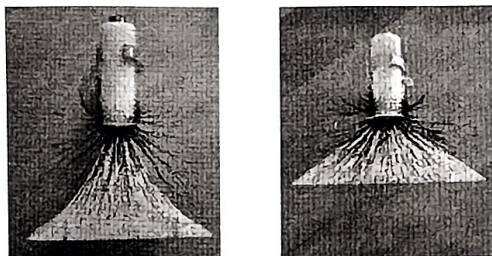


说明：圆锥面可以沿轴截面分成两部分

(d) 装置 4

图 2

利用实验装置 3 和 4, 演示产生电磁感应现象的关键特征, 即穿过闭合回路的磁感线条数发生变化。使感应线圈紧贴喇叭面(圆锥面)上滑, 沿喇叭面上滑过程中, DIS 显示不产生  $I_{感}$ ; 而沿圆锥面上滑时, 产生  $I_{感}$ 。然后分开喇叭面(圆锥面)的两部分, 带磁体部分的轴截面水平朝上放置, 再放上透明玻璃板, 撒上铁屑, 观察喇叭面(圆锥面)边缘是否与铁屑模拟的磁感线重合。发现喇叭面边缘与磁感线重合, 而圆锥面边缘与磁感线不重合, 见图 3。以上现象说明感应线圈沿喇叭面上滑时, 穿过线圈的磁感线条数不发生变化, 不产生  $I_{感}$ ; 而沿圆锥面上滑时, 穿过线圈的磁感线条数发生变化, 产生  $I_{感}$ 。



(a)

(b)

图 3

再分析前面学生交流的实验, 归纳所有情况, 得出结论: “产生感应电流的条件是穿过闭合回路的磁感线条数发生变化”。

布置单元大任务: 通过电磁感应单元的学习, 制作一个无线传输电能的装置, 该装置能点亮一盏灯。要求: 4~5 人一组分工合作设计方案并制作。本节课课后, 调查了解生产、生活中利用电磁感应的实例。

### 3.2 观察现象——类比推理, 建构映射

设计意图 知道了穿过闭合回路磁感线条数发生变化是产生感应电流的条件后, 通过类比光通量,

构建“磁通量”与“穿过平面的磁感线的条数”之间的映射关系, 明确其指标量  $B$  和  $S$ 。在该层级的学习中, 学生体验类比推理的方法, 从通量大概概念来认识磁通量。

教学示例如下:

教学资源 手电筒、白纸。

教学过程 演示手电筒射

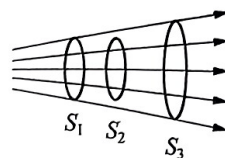


图 4

出的光束垂直照射在白纸上, 改变手电筒与白纸之间的距离, 观察打在白纸上的光斑的大小和亮暗的程度。用光线描述手电筒射出的光束, 如图 4

所示, 类比磁感线与光线, 推理得出: ①穿过某平面的光线的条数描述单位时间通过该平面的光的能量(即光通量), 那么引入“磁通量  $\Phi$ ”描述穿过平面的磁感线的条数<sup>[2]</sup>; ②光通量与光的强弱、光束面积有关, 磁通量也是与磁感应强度  $B$ 、磁感线穿过的面积  $S$  有关。

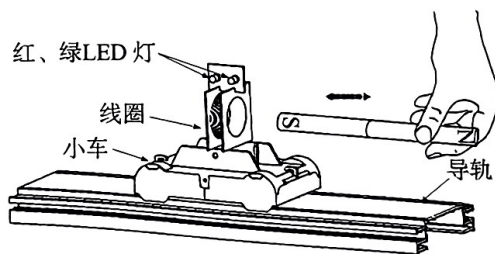
因此, 产生感应电流的条件可以表述为穿过闭合回路的磁通量发生变化。

### 3.3 实验探究——组合推理, 形成关联

设计意图 通过探究影响感应电流方向的因素、组合推理, 关联  $I_{感}$  的方向与  $\Delta\Phi$ , 得出楞次定律。教学的难点是分析数据、推理得出结论。在推理的过程中, 需要突破两个思维瓶颈, 一是引入中间量——感应电流磁场的磁感应强度  $B_{感}$ , 二是只用一个物理量  $\Delta\Phi$  来表述楞次定律。在该层级的学习中, 学生体验组合推理的方法, 领略物理规律的简洁美。

教学示例如下:

教学资源 ①图 2 中研究电磁感应现象的实验装置 1 和 2; ②研究感应电流方向的装置, 见图 5。



说明: 利用该装置可以同时观察感应电流的方向和小车受力运动的方向(从右向左看, 红灯亮表示感应电流为顺时针, 绿灯亮为逆时针)

图 5

教学过程 利用如图 2(a) 所示实验装置 1, 学

生分组探究影响感应电流方向的因素。保持感应线圈的面积不变,观察并记录 N 极(S 极)插入和拔出感应线圈时  $I_{\text{感}}$  的方向,记录并分析数据,不难得出: $I_{\text{感}}$  的方向与磁体磁场( $B_{\text{原}}$ )方向、原磁场磁通量( $\Phi_{\text{原}}$ )的变化均无直接关系,而与它们的组合有关。

接着,通过如图 5 所示的实验装置演示、观察和解释实验现象,突破思维瓶颈。具体做法如下:

磁体的 N 极(S 极)对着线圈插入和拔出,观察小车的运动方向及哪种 LED 灯发光,记录数据如表 1 中 1~6 行。由实验现象引出两个问题:①磁体插入或拔出时,是什么力改变小车的运动状态?②小车与磁体的运动方向总相同,这说明了什么?

表 1 实验记录表

1		N 极插入	N 极拔出	S 极插入	S 极拔出
2	磁体运动方向	向左	向右	向左	向右
3	$B_{\text{原}}$ 方向	向左	向左	向右	向右
4	$\Phi_{\text{原}}$ 的变化	变大	变小	变大	变小
5	小车的运动方向	向左	向右	向左	向右
6	发光的灯	绿	红	红	绿
7	$I_{\text{感}}$ 方向	逆时针	顺时针	顺时针	逆时针
8	$B_{\text{感}}$ 的方向	向右	向左	向左	向右
9	$B_{\text{感}}$ 与 $B_{\text{原}}$ 的方向关系	相反	相同	相反	相同

解释问题①:小车运动状态改变是因为磁体对载有  $I_{\text{感}}$  的线圈有作用力。该作用力可以看成是磁体对  $I_{\text{感}}$  等效成的“磁针”的作用力,继而引入感应电流的磁场  $B_{\text{感}}$  的方向,来判断“磁针”磁极的方向,再解释小车受力运动的方向。

引入  $B_{\text{感}}$  后,再判断四种情况  $B_{\text{感}}$  的方向(见表 1 第 8 行),分析比较  $B_{\text{感}}$  与  $B_{\text{原}}$  的方向关系,归纳得出结论:当闭合回路的  $\Phi_{\text{原}}$  增大时, $B_{\text{感}}$  与  $B_{\text{原}}$  方向相反;当闭合回路的  $\Phi_{\text{原}}$  减小时, $B_{\text{感}}$  与  $B_{\text{原}}$  方向相同。

$B$  是  $\Phi$  的指标量,把  $B_{\text{原}}$  和  $B_{\text{感}}$  整合到  $\Phi$  中,上述结论的表述将变得更为简练。如何整合?可通过回答问题②进行整合:磁极插入线圈的过程中,小车的运动阻碍  $\Phi_{\text{原}}$  的增大;磁极拔出线圈的过程中,小车的运动阻碍  $\Phi_{\text{原}}$  的减小。归纳得出:感应电流的磁场阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

分析前述的学生分组实验,也得出同样的结论。

利用如图 2(b)所示实验装置 2 做实验可以再

次验证。

大量事实表明:感应电流产生的磁场总是阻碍引起感应电流的磁通量的变化,即楞次定律。

布置课后作业:构思设计无线传输电能的装置方案,并准备相应的器材。

### 3.4 演绎—验证、理解—应用,突破系统层级

**设计意图** 由电磁感应现象的特例根据能量守恒定律推导方程  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  的同时,定义磁通量  $\Phi = BS$ ,再实验验证  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ,然后完成单元大任务。该层级的教学,旨在让学生从电磁感应的角度了解为什么  $\Phi$  等于  $B$  与  $S$  的乘积,更深入理解  $\Delta\Phi$  的属性;辨析  $\Phi$ 、 $\Delta\Phi$ 、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  与电磁学有关物理量之间的关系;体验演绎推理、预测—验证的科学方法。

教学示例如下:

**教学资源** ① 电磁感应现象的特例:如图 6 所示,水平平行金属导轨相距  $l$ ,其左端连接电流表,垂直于导轨的有界匀强磁场磁感应强度大小为  $B$ ,金属杆  $ab$  从距磁场左边界  $x_1$  处沿平行于导轨方向向右匀速运动,经时间为  $\Delta t$  到达  $x_2$  处,根据能量转化和守恒定律推导回路中的电动势  $E$  的大小。

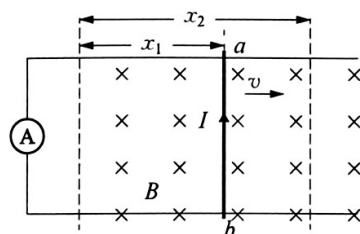


图 6

② 研究感应电动势大小与磁感应强度变化率之间的关系(见图 7)和研究感应电动势与导线运动速度间的关系的装置(见图 8)<sup>[3]</sup>。

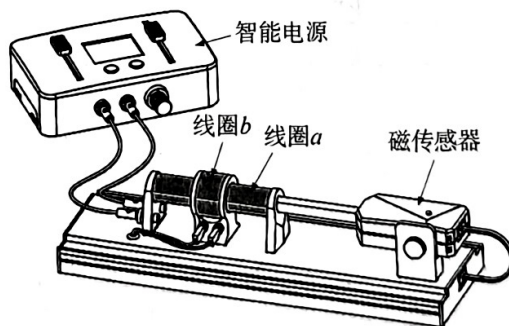


图 7

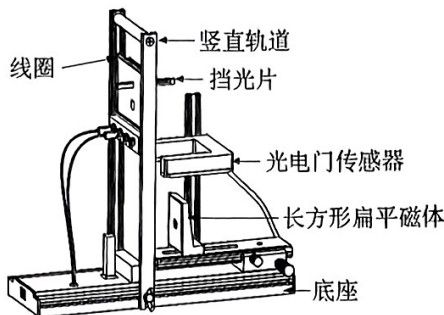


图 8

教学过程 (1) 演绎推理—预测验证  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

和  $\Phi = BS$ 。

复习闭合电路欧姆定律,知道有感应电流,必有感应电动势,引入探究感应电动势大小的教学。

由教学资源中的电磁感应现象的特例推导得到方程  $E = \frac{Blx_2 - Blx_1}{\Delta t}$ ,式中  $lx_1$ 、 $lx_2$  是初、末回路中磁感线穿过的面积,令  $lx_1 = S_1$ 、 $lx_2 = S_2$ ,方程变为  $E = \frac{BS_2 - BS_1}{\Delta t}$ 。因  $B$ 、 $S$  是计算磁通量的指标量,故将  $B$  与  $S$  的乘积定义为磁通量,即  $\Phi = BS$ 。令  $BS_1 = \Phi_1$ 、 $BS_2 = \Phi_2$ ,方程接着变为  $E = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

问题:磁通量的定义  $\Phi = BS$  正确吗? $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  对各种电磁感应现象均成立吗?

接着根据  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  做预测—验证。

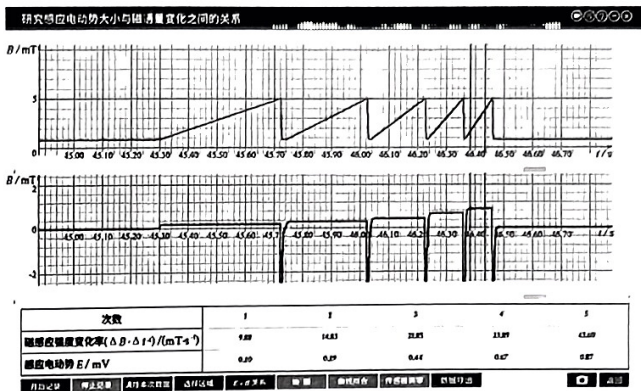
预测①:如果感应线圈由相同的  $n$  匝线圈密绕而成,那么感应线圈可以看成是由  $n$  个单匝线圈串联而成,因此整个线圈中的感应电动势就是单匝线圈的  $n$  倍,即  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。如果线圈的面积  $S$  和匝数  $n$  一定,原磁场的磁感应强度发生变化产生感应电流,那么  $E = n \frac{B_2S - B_1S}{\Delta t} = nS \frac{\Delta B}{\Delta t}$ ,即  $E \propto \frac{\Delta B}{\Delta t}$ 。

预测②:如果匝数为  $n$ 、边长为  $l$  的正方形感应线圈的一条边在匀强磁场中做切割磁感线运动,那么  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = nB \frac{\Delta S}{\Delta t} = nBlv$ 。若  $n$ 、 $B$ 、 $l$  一定,则  $E \propto v$ 。

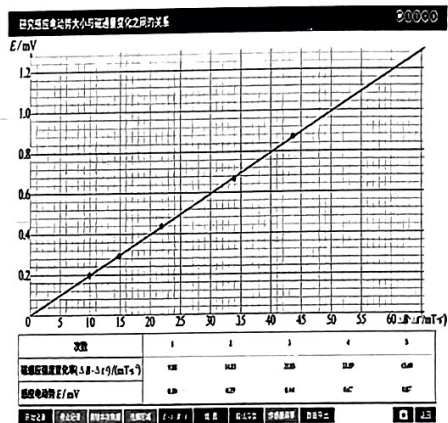
接着做实验验证。

利用如图 7 所示的实验装置验证预测①。通过智能电源对线圈  $a$  输入“连续的锯齿形电压”,由磁

传感器测得其内的磁感应强度随时间( $B-t$ )变化的规律,由电压传感器测得  $b$  线圈产生的感应电动势  $E$ ,如图 9(a)所示。再获取多组  $E$ 、 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  数据,绘制  $E - \frac{\Delta B}{\Delta t}$  图象,如图 9(b)所示,可见  $E \propto \frac{\Delta B}{\Delta t}$ 。



(a)



(b)

图 9

利用如图 8 所示的实验装置验证预测②。选择  $n = 100$  匝的线圈,让线圈从不同高度下落,光电门传感器测量线圈的瞬时速度  $v$ ,电压传感器记录对应的感应电动势  $E$ ,作  $E - v$  图线,如图 10 所示,可见  $E \propto v$ ;再选择  $n = 200$  和  $n = 300$  匝的线圈重复上述步骤,也得到  $E \propto v$ 。利用图 10 还能得到  $E \propto n$ 。

大量实验表明: $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  不仅适用于动生电动势,也适用于感生电动势;定义  $\Phi = BS$  是正确的,也是有意义的。

(2) 指导学生回答下列问题,理解磁通量的概念。

- ① 磁通量是描述什么的物理量?
- ② 磁通量的定义是什么? 单位是什么?

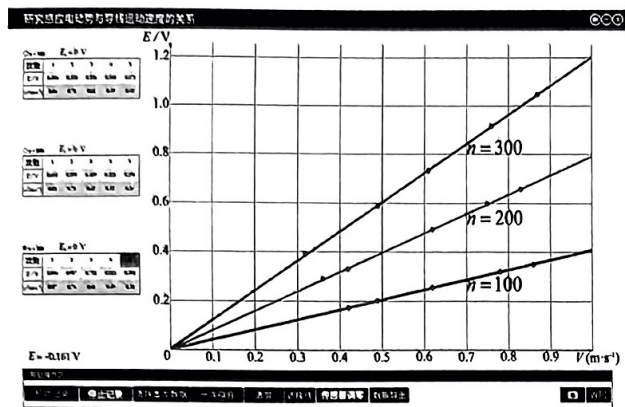


图 10

- ③ 磁通量是标量还是矢量?
  - ④ 如图 11 所示,  $B$  与  $S$  成  $\theta$  角时, 穿过  $S$  的磁通量为多少?
  - ⑤ 磁通密度的含义是什么?
- (3) 应用  $\Phi = BS$  和  $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  开展活动, 形成知识结构。

活动一: 利用磁传感器测量并描绘通电线圈内

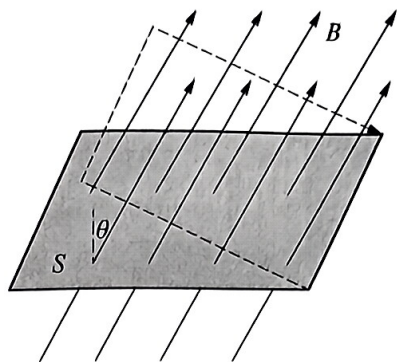


图 11

部和周围的磁感线。

要求: 在理解磁通量、磁通密度概念的基础上, 设计方案, 依照方案测量、描绘磁感线。

活动二: 完成单元大任务, 即制作无线传输电能的装置。制作完成后, 在班级集中展示成果、分享设计的依据和思路。

在应用的基础上, 梳理  $\Phi$ 、 $\Delta\Phi$ 、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  与电磁学中有关物理量的共变关系, 见图 12。

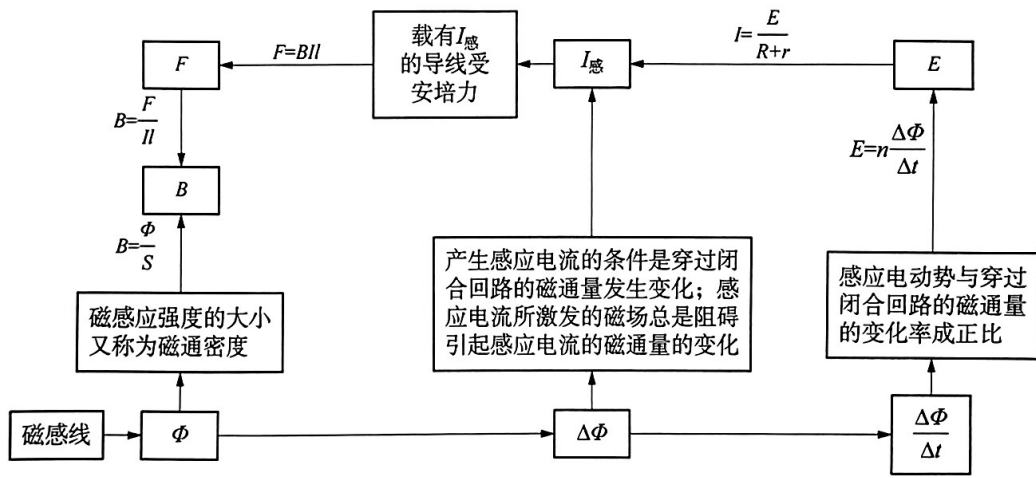


图 12

### 4 总 结

本文以磁通量为例, 运用学习进阶理论描绘学习概念的路线来设计教学, 破解“灌输概念”的问题, 让学生在经历概念建立的过程中, 体验抽象概括、推理论证等科学思维方法, 领略概念规律的简洁美, 加深对概念的理解, 从而落实核心素养的培育。

### 参考文献

- [1] 郭玉英, 姚建欣. 基于核心素养学习进阶的科学教学设计[J]. 课程·教材·教法, 2016(11): 64—70.
- [2] 彭前程, 张玉峰. 普通高中教科书教师教学用书·物理(必修第三册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019: 156.
- [3] 蒋最敏, 高景. 普通高中教科书·物理(选择性必修第二册)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2021: 33—38.
- [4] 向义和. 物理学基本概念和基本定律溯源[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 120—142.