

# 试论物理概念和规律的“运用”层次的实质

——信息加工心理学的视角

陈 刚 (华东师范大学教师教育学院 上海 200062)

章玉婷 (襄樊市第四中学 湖北 441021)

**摘 要** “运用”是物理概念和规律学习的基本层次。布卢姆教育目标(修订)依据测试项目情境对解决者的熟悉程度,将“运用”层次的行为分为执行和实施。执行是在“理解”物理概念和规律所蕴含规则的基础上表现出来的执行规则的行为;实施是在“理解”物理概念和规律内涵基础上表现出来的执行规则的行为。实施是物理概念和规律真正习得的核心指标。纸笔测试中应以实施类测试项目作为检测学习者是否真正习得物理概念和规律的基本形式,而不能仅以执行类项目作为习得概念和规律的指标。

**关键词** 物理概念和规律 布卢姆教育目标分类学(修订版) 应用层次 产生式系统

**文章编号** 1002-0748(2023)11-0002

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

## 1 问题缘起

布卢姆教育目标(修订)中关于概念性知识习得有两个重要的层次,其一为“理解”<sup>[1]</sup>,其二为“运用”。“运用涉及使用程序完成练习或解决问题。”<sup>[2]</sup>“运用”有两种行为表现:执行(Executing)、实施(Implementing)。

关于执行:“当学生遇到某一熟悉的任务(即练习)时,他会习惯性地执行一套程序。情景的熟悉性常常为选择适当的运用程序提供足够的线索。”<sup>[2]</sup>

**例 1**<sup>[2]</sup> 给学生提供公式:密度=质量/体积,要求学生回答:“一材料质量为 18 磅,体积为 9 立方英寸,则它的密度为多少?”

关于实施:“实施出现在学生选择和运用一个程序完成不熟悉的任务时候,因为需要进行选择,所以学生必须理解他们所遇到的问题的类型和可以利用的程序的范围。因此实施经常与理解、分析等其他认知过程类目一起运用。”<sup>[2]</sup>

**问题 1:**“运用”层次中的执行、实施两种“做”的行为,都是运用同一程序,当学习者面对一个新情景和一个熟悉情景时,“做”的行为有何本质不同?

**问题 2:**为什么说,实施通常与理解、分析等认知类目一起运用?

**问题 3:**“理解”层次与“运用”层次间又有何关系?

布卢姆教育目标分类(修订)对此未作出清晰地解释。

认知心理学将个体可习得的、表现出能“做”的行为所对应的知识称为程序性知识,提出程序性知识内部表征方式为产生式和产生式系统(Production system)。

本文将结合程序性知识表征以及问题解决相关研究,阐述“运用”层次的实质,并回答上述 3 个问题。

## 2 技能性行为的内部表征

### 2.1 产生式

现代认知心理学提出,表征程序性知识最小的单位是产生式<sup>[3]</sup>。产生式这个术语来自计算机科学,计算机之所以能完成各种运算和解决问题,是因为它存储了一系列以“如果/则”形式编码的规则的缘故。认知心理学家认为,人经过学习同样可以在头脑中存储一系列“如果/则”形式的规则,这种规则是一个由条件和动作组成的指令(C-A 规则),其中的 C 不是外部刺激,而是处于短时记忆中的信息,A 也不仅是外显的反应,还包括内在的心理活动。

物理概念和规律,通常表现为对象(概念)间定性或定量的因果关系。所谓因果关系,就是在一定条件下会出现的一定现象。那么在满足条件下,这

种关系就可以转化为指导个体做事的规则。

例:如果求密度(条件),则写下(或心里写下)质量/体积,将数据代入计算(行动)。

如解决案例 1 中的问题,我们解决时会表现出的外显行为是:写出“密度 = 质量/体积”;将数据代入,计算得出结果,密度 = 质量 / 体积 =  $18/9 = 2$ (磅 / 立方英寸) =  $5.6 \times 10^4$  (kg/m<sup>3</sup>)。

此时,个体表现出的是一种“做”事的行为。这种行为是依照密度概念所蕴含规则完成的。

## 2.2 产生式系统表征

个体在解决问题时,有的时候会表现出连续的操作行为。为此,认知心理学提出,如果一个产生式的行动将给出另一个产生式所需满足的条件,那么这些产生式就可以构成一个产生式系统,如下例所示,

例 2 产生式 1:如果(情景中)有对象受力、对象速度有变化等信息(条件),则判断可用牛顿第二定律求解(行动)。

产生式 2:如果用牛顿第二定律(条件),则写下  $F = ma$  (行动)。

产生式 3:如果用牛顿第二定律解决问题(条件),则应确定对象在该过程中的受力(行动)。

产生式 4:如果用牛顿第二定律解决问题(条件),则应确定对象在该过程中的加速度(行动)。

产生式 5:如果要求对象的加速度(条件),则应确定对象在具体过程中速度变化、变化所用的时间(行动)。

产生式 6:如果确定对象在具体过程中速度变化、变化所用的时间(条件),则用  $a = \frac{v_t - v_0}{\Delta t}$  求出该对象的加速度(行动)。

……

如果个体内部存储如上的产生式系统,当个体从题设情境中识别出“有对象、对象速度有变化、对象受外力等”,个体就会依次表现出:①判断可用牛顿第二定律;②写出(或在头脑中呈现)“ $F = ma$ ”;③尝试从情境中已识别出信息中或自己认知结构中,搜索特定对象在此物理过程中的受力、加速度等行为;也就是可以表现出连续相依的“做”的内部心理活动或外部操作(比如写下等)过程。

## 3 问题解决

### 3.1 问题解决的过程

信息加工心理学提出解决问题分为以下几个阶段<sup>[4]</sup>:

#### (1) 问题表征

问题空间也就是人对问题的内部表征。问题解决者要利用问题所包含的信息和已贮存的信息主动地来构成它。人的知识经验影响问题空间的构成。

在物理解题研究领域,形成问题空间的过程通常称为“审题、分析题”。

#### (2) 确定问题的解决策略

算子指能够将问题空间中的一种状态转化成另一种状态的操作行动,这种操作行动既可以是内部进行的认知思维操作,也可以是具体的动作操作。问题解决需运用一系列的操作,究竟选择哪些操作,将它们组成什么样的序列,这些都依赖于人采取哪种问题解决的方案或计划。问题解决的方案、计划或办法都称作问题解决的策略。可以将选择操作阶段同时看作确定问题解决策略阶段。

在物理解题研究领域,这一阶段通常称为“确定解题的思路”。

#### (3) 运用算子

实际运用所选定的操作来改变问题的起始状态或当前的状态,使之逐渐接近并达到目标状态。这个阶段也即执行策略阶段。

#### (4) 评价当前状态

在问题获得解决以前,对算子和策略有效性的评估起着重要作用。在一些情况下,经过评估,可以更换算子和改变策略。

简言之,问题解决可以看作问题解决者在形成的问题空间中,运用一定策略,挑选出解决问题所需基本技能的过程。问题解决者能否解决问题,取决于问题解决者是否能够形成正确的问题空间,是否能够运用正确的方式搜索问题空间。

### 3.2 问题解决的策略

认知策略是个体面对问题时,引导个体思考方向,从认知结构中搜索、挑选、组合解决当前问题所需技能的技能。

解决问题的策略有两种基本类型:强方法、弱方法。

强方法,如“运用楞次定律解决习题的方法”:

(1) 确定要研究的闭合回路;

(2) 判定穿过研究闭合回路的原磁场方向;

(3) 分析原磁场变化方式,穿过闭合回路的磁通量增大还是减小;

(4) 确定感生电流产生磁场的方向;(楞次定律)

(5) 确定闭合线圈中感生电流的方向。(右手定则)

强方法不仅给出解决此类问题的步骤,且每一步都聚焦于解决当前问题所需的必要技能。当学习者掌握必要技能,运用强方法解决的过程中通常表现出线性的思维过程,基本没有障碍,所以运用强方法解决问题,通常并不被视为真正意义上的问题解决。

当个体面对问题,没有强方法时,他只能采用弱方法。弱方法:“是由以往解决问题的经验形成的一些经验规则,启发式适用范围较广但是并不能保证问题的解决,一般称之为弱方法。”纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)研究发现人们经常运用并不局限于特定问题的通用策略,如手段一目标法、子目标分析、向后推理(逆推法)等<sup>[5]</sup>。

手段一目标法:问题解决者分析问题的方法是观察终点(也就是所追求的目标),然后试图缩小问题空间里当前位置与最终目标之间的距离。

向前推理:问题解决者从起点开始,并试图沿着从起点到终点的方向解决问题。

向后推理:问题解决者从终点开始,并试图从终点开始逆向工作。

#### 4 “运用”层次的实质

为了解释“运用”层次的实质,也就是阐述个体表现出执行、实施的行为时,其内部的机制究竟有何不同。以下我们通过对具体问题解决过程来做出解释。

##### 4.1 问题解决样例

**例 3** 在某市市区道路上发生一起车辆追尾事故,事故中除了车损外,还造成一位乘客颈部受伤。当时的情况:乘客乘坐的小汽车以  $5\text{ m/s}$  ( $18\text{ km/h}$ ) 速度行驶,小汽车质量为  $2\,000\text{ kg}$ ;小汽车被一辆以  $15\text{ m/s}$  速度行驶、质量为  $3\,500\text{ kg}$  的汽车追尾,追尾碰撞时间为  $0.1\text{ s}$ ,碰撞后前车的速度为  $10\text{ m/s}$ ,刹车后运动  $10$  秒而停止,碰撞后后车的速度为  $8\text{ m/s}$ 。

问题:乘客可能会因为追尾而颈部受伤。请定量描述其中的原因?

如果学习者第一次解决这一问题,其解决问题的思考过程,可能如下:

##### (1) 阶段 1:审题

学生首先需要将题目读一遍。

内部过程:从信息加工心理学视角看,读题就是将文字呈现的内容,转化为对个体而言的一个一个有“物理”意义的单元。

读题的结果,外显表现就是学习者能将题设中的信息,一个一个有序地陈述出来。此种状态,我们

通常称为学生进行了“审题”。

有两辆车、前车车速为  $5\text{ m/s}$ 、后车车速为  $15\text{ m/s}$ 、后车追尾前车、碰撞时间是  $0.1\text{ s}$ 、碰撞后前车车速为  $10\text{ m/s}$ 、后车车速为  $8\text{ m/s}$ 、前车质量为  $2$  吨、后车的质量为  $3.5$  吨。

解答:前车乘客头颈为何容易受伤?

##### (2) 阶段 2:分析题

分析题就是将题设中已识别出的信息,组成具体物理过程、物理状态间的联系。

内部过程:将识别出的信息按物理过程、物理状态加以组合。

外显行为:能陈述题设情境中的物理对象、物理过程和特定物理状态。

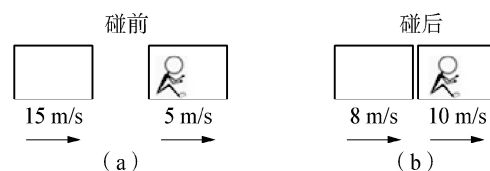


图 1

##### (3) 阶段 3:确定解决的思路

确定了已知和待求,并不能即刻找出解决问题所需的技能。接下来如何解决该问题呢?

解决者进一步思考的过程可能如下(实质是在运用逆推法、向前推理法等方法引导下从认知结构中选择解决问题所需技能)。

待求的是颈部受伤,颈部为什么会受伤?

受伤常常是因为受力的作用:

颈部受伤,可能与哪部分对它有力的作用。

因为颈部连接头部,当头部运动变化时,两者间存在相互作用。

此例中,头部运动状态有变化?

追尾,头部运动从低速到碰撞后相对高速,状态在短时间内有变化。

所以,在碰撞一段时间内,头部有状态变化,存在加速度,因此与颈部与头部之间存在相互作用。

以上,学习者找出解决该习题可能的途径。思考至此,学生识别出该题设情境中,有对象的受力、有对象的速度变化等信息,如果学生具有了产生式 1 的表征,学习者内部就会指引其有意识做出判断的行为:“可能用牛顿第二定律”。

##### (4) 阶段 4:确定解决的思路

当个体判断出可对头部的运动过程运用牛顿第二定律后,若学习者内部具有前述产生式系统 2、3、

4 的表征,个体就会表现出相应的行为,

① 写出(或在心中写出):  $F = ma$ 。

② 明确对象:对头部运动用牛顿第二定律。

③ 确定过程:碰撞过程。

④ 确定头部在过程中的加速度:找到碰撞过程中的头部速度变化以及时间。

⑤ 确定对象的受力:这是待求。

⑥ 确定对象的质量:条件未给,需要设定。(根据生活经验,设定质量大概为 5 kg)

(如果个体内部没有形成产生式系统 2、3、4 的表征,就不会表现出连续相依的搜索相关物理量的行为,可能表现出分立的、一个一个物理量确定的过程。)

(5) 阶段 5:执行规则阶段

假设头部质量为 5 kg,则此碰撞过程中的受力大小为:

$$F = ma = m \times \frac{v_t - v_0}{\Delta t} = 5 \times \frac{10 - 5}{0.1} = 250 \text{ N}$$

**解释:**碰撞过程速度变化很快,加速度就大,根据牛顿第二定律,颈椎部和头部的相互作用力就大,所以就容易受伤。

**评析** 本例中,学生需要将题设中文字转化为对自己而言一个一个有意义的信息单元,并依据物理过程和状态形成本题物理过程模型;再通过运用逆推法,结合待求识别出解决本问题情景中存在加速度等信息,由识别出运用牛顿第二定律的可能因素(也就是产生式 1 的条件部分),做出推断:本例问题解决需要运用牛顿第二定律(此即产生式 1 的行动部分)。此种行为就是将可以运用牛顿第二定律的情景挑选出来,即“理解”牛顿第二定律物理意义的举例行为。

其二,学生将牛顿第二定律运用于具体的碰撞过程中头部的运动中,将头部运动可用的加速度、质量和受力从题设中各已知条件中挑选出来,即“理解”牛顿第二定律物理性质的举例行为。

此例中,虽然最终是“执行”牛顿第二定律的规则解决问题,但“执行”规则的前提是需要解决者达到“理解”牛顿第二定律的物理意义;“理解”牛顿第二定律的物理性质等层次。

**例 4** 如果乘客坐在一辆以 5 m/s(18 km/h)速度行驶的汽车中,小汽车质量为 2 000 kg,被一辆以 15 m/s 速度行驶、质量为 3 500 kg 汽车的追尾,追尾碰撞时间为 0.1 s,碰撞后前车的速度为 10 m/s,刹

车后运动 10 秒而停止。假设碰撞过程中两车间平均作用力为  $F$ 。

**问题:**乘客可能会因为追尾而颈部受伤,假设人的头部质量约 5 kg,试用牛顿第二定律定量解释颈部可能受伤的原因。

**评析** 此测试项目的解决,与案例 3 问题解决相比,尽管少了一些无关的干扰信息,也提及需要运用牛顿第二定律,但解决者仍需确定“对何对象”运用牛顿第二定律,也就是还是要经历前述分析的阶段 3,故解决本题,仍需要表现出将可用牛顿第二定律的对象和过程选择出来,即“举例”行为,属于“理解”牛顿第二定律的物理意义层次。同时需要解决者将可用于头部运动的加速度、受力和质量等信息从题设信息中挑选出来,也需要学习者达到“理解”牛顿第二定律物理性质的层次。

即本题的解决同例 3 相同,都达到“理解”牛顿第二定律的物理意义和物理性质(即“理解”内涵)的层次。

**例 5** 如果乘客坐在一辆以 5 m/s(18 km/h)速度行驶的汽车中,被一辆以 15 m/s 速度行驶汽车的追尾,追尾碰撞时间为 0.1 s,碰撞后前车的速度为 10 m/s,假设人的头部质量大概是 5 kg,碰撞过程中颈部对头部的作用力大约是多少?

**评析** 本例因为已指向对头部的受力,故学生有很大可能识别出应该对头部运用牛顿第二定律,因此本题的解决,较例 3 的解决过程,可能无需或很少需要经历阶段 1~3,但在阶段 4 中要区分头部运动可用的加速度、质量和受力等,将它们从题设中各已知条件中挑选出来。

所以,此问题的解决,需要学习者达到“理解”牛顿第二定律物理性质的层次。

**例 6** 一个质量为 5 kg 物体,速度在 0.1 s 内从 5 m/s 变为 10 m/s,则在这段时间内物体所受平均作用力为多大?

**评析** 学生读完此题,基本能确定可用牛顿第二定律(没有弱方法引导下的识别过程),执行其中的规则(没有“区分”其物理过程中物理量的过程)解题,这时个体表现出的行为,就是“执行”的行为。

#### 4.2 “运用”层次的实质

从以上分析可知,面对情景不熟悉的问题和面对情景熟悉的问题,尽管都是运用同一套程序或者说规则( $F = ma = m \times \frac{v_t - v_0}{\Delta t} = 5 \times \frac{10 - 5}{0.1} = 250 \text{ N}$ ),但个体内部认知过程本质上存在不同。情

景熟悉时,如同样例 6,其产生式启动需要条件,个体可以比较容易识别出,一旦识别出,即可以启动相应产生式,执行其规则,表现出(修订版)“运用”层次中执行的行为。

面对情景不熟悉的问题,个体识别出启动产生式所需条件的过程是一个解决问题的过程。需要运用形成问题空间的一般方法(即先审题、分析题),以及向前推理法或逆推法等策略,在策略的引导下搜寻启动产生式的条件。此即(修订版)“运用”层次中实施的行为。

以上是对问题 1 的回答。

个体能够表现出“运用”层次中实施行为所需要的条件:

(1) 学习者需要运用审题、分析题的方法、以及逆推、向前推理方法搜寻和确定启动产生式的条件,表现出对问题情境的“分析”行为。这也就是(修订版)对实施的界定中,所称“通常的实施都伴随着分析、理解等层次的认知类目”的原因。

(2) 学习者从相对新的情景中搜索出符合运用特定科学概念和规律的条件,实际上就是找到可用特定科学概念和规律的一个例证,即具体化或举例的行为,也就是说学习者要表现出实施的行为,需要达到对物理概念和规律物理性质的“理解”层次(如样例 5),或需要达到对物理概念和规律物理意义的“理解”层次,或两者兼而有之的“理解”层次,如样例 3、样例 4。

以上是对问题 2、问题 3 的回答。

## 5 拓展讨论

### 5.1 应区分“运用”层次两种不同的学习结果

“运用”层次中的执行,只需要学习者达到“理解”物理概念和规律所蕴含的规则层次,也就是学习者表现出能陈述该规则中各量之间的数学关系即可。

如果你告诉一个初中生:一个物体运动前后速度之差与这段时间比值再乘以物体的质量,就能求得这个物体受到的力。

$$\text{给出公式: } F = m \frac{(v_2 - v_1)}{t}.$$

要求学生完成样例 6,估计也有很多学生能做出此类习题。此时,学生表现出执行上述公式的行为,就是达到“理解”该表达式所蕴含规则的层次。以上行为显然不能说明,该学生达到“理解”牛顿第二定律的物理意义和物理性质的层次。

所以,学习者表现出“运用”层次的执行,并不是我们对物理概念和规律学习所要求达到的目标。

“运用”层次中的实施,如前分析,需要学生表现出“理解”物理概念和规律的物理意义或物理性质的行为,是测试学生对具体概念和规律学习达到“理解”内涵的适当的材料。

### 5.2 应区分实施的三种类型

“理解”物理概念和规律的物理意义:个体表现出能从题设情境中,识别出相应对象、物理过程等方面的信息,根据识别出的信息推断出可用物理概念或规律的行为。此为行为 1。

“理解”物理概念和规律的物理性质:个体表现出能将具体对象所经历物理过程中的物理规律中各物理量从情境中选择出和区分的行为。此为行为 2。

学习者解决不熟悉情境中的问题,其表现出实施的行为,可分为以下三类:

实施 I 类:个体在执行规则前,表现出根据题设情境推断出可用物理概念或规律的行为 1;达到理解物理意义的“实施”。

实施 II 类:个体在执行规则前,表现出将具体物理过程中可用物理量识别出来的行为 2;达到理解物理性质的“实施”。如样例 5。

实施 III 类:个体在执行规则前,表现出行为 1、行为 2;达到理解物理概念和规律内涵的实施。如样例 3、样例 4。

显然,对于物理概念和规律的学习,其基本的目标应该是使学生达到“理解”物理概念和规律内涵的层次。所以在新授课后,测试项目应以学习者能够表现出对所学物理概念和规律的物理意义和物理性质的“解释”“举例”“说明”“分类”等行为为宜,此类问题通常都要求学习者自己组织语言来阐述,属于主观性试题。在终结性测试中,如期中期末考、中考、高考等测试中,由于主观性试题阅卷中存在的客观困难,所以,要测试学习者是否达到“理解”具体物理概念和规律的内涵,建议测试项目可设置一定比例的“运用”层次实施类的试题,这样既可考察学习者对规律物理意义或物理性质的理解,还可考察其执行规则的能力。

课程标准提出“教学评”一致性,这本应是有效教学的基本要求。如果在实际教学和测评中,不能将理解物理概念和规律的内涵、理解物理概念和规律蕴含规则的行为区分开,不能将基于理解内涵的实施行为和理解规则基础上的执行行为区分开,就

(下转第 23 页)

论,一是实验。有时一条腿走在前面,有时另一条腿走在前面,但只有使用两条腿,才能前进”(密立根)。

相反,设若知识的流变和实验的渐变不是遵循以上规律,在学习电生磁的理论知识时,就用带铁芯的线圈;虽然实验现象很明显,现象有力地支持了推理,但线圈为何要插铁芯的变压器这种结构却成了新的问题。知识对实验的消解作用并没同步发挥出来。

### 2.3 流变与渐变交融有效提升实验品质

实验品质提升首先体现在学生对实验非常熟悉。实验教学不管是演示实验、学生分组实验还是知识教学中的实验寻求,学生都应熟悉实验器材,熟练实验操作,研判实验效果,这样才能在实验中发现问题、进行探究、交流、论证;也才能培养熟悉、设计、改进实验的能力,养成用实验校验,通过实验探讨的实验习惯,提高知识学习融合实验、联系实验、建立与实验对接的学习品质。达到丰富实验内涵、提高实验素养,凸显实验的育人功能<sup>[3]</sup>。

学习互感知识前,学生已熟悉了通电线圈磁变;学习法拉第电磁感应定律前,学生已熟悉两线圈的互感;待推导变压器的变压规律时,学生已熟悉了变压器从线圈到铁芯,从片状铁芯到匝数可变的所有渐变环节。经过前面学习不同知识时对变压器各部件的认识,学生对变压器已经相当熟悉,没有认知障碍,规律的总结就很自然顺畅。

实验品质提升的另一表现是学生日渐养成的实验意识。每个知识点都对应着若干个实验,要么是通过线圈通电呈现电生磁的现象、要么是通过改变线圈电流验证产生电磁感应发生的条件、要么是通过测量副线圈的电压推导变压器的变压规律……。概念建立、原理得出都离不开实验;在实验中看到、得到、验证了的才是可信的、成立的,否则是待检验的、令人生疑的。每节课均延续这一思路,学生自然形成课前设计实验、课上观察实验、得出结论用实验

(上接第 6 页)

无法做到真正的“教学评”一致性,还可能将物理教学导向对物理规则操作训练不合理的路径上。时下高考评价强调通过情境与情境活动两类载体实现“四层”考查内容和“四翼”考查要求。面对新情境,学习者表现出能识别和能解决问题所需有效信息的行为,正是学习者达到“理解”物理概念和规律的内涵以及“运用”物理概念和规律的实施等层次的核心特征。所以,正确领会“理解”和“运用”习得层次的实质,是做好物理学科“教学评”一致性的基本保证。

验证的意识。通过多次的有意识实验,培养学生做实验的习惯意识。

实验品质提升还表现在将一个实验重复使用、改进再用,助力学生打下坚实的实验基础。变压器从一个线圈逐渐演化变迁,加铁芯、换回形铁芯、改变匝数……;稍作改变,就可以为新增知识提供新用途。实验教学中实验设计环节一直是个不容置疑的难关。学生不会设计、不知道用怎样的器材、进行怎样的组合;一个重要原因是学生脑中缺乏可以借鉴的实验模型。打点计时器、电流表、电路连接等器材、实验的多次使用,必然帮助学生形成一些基础而可靠的实验能力。

### 3 反 思

实验意识的养成,品质的提升是通过长时间多次实验慢慢实现的,不是有限的几节课可以一蹴而就的。本文并非着眼某节具体的实验展开讨论,而是针对变压器这种复杂的装置结合电磁感应这一长链条大概念,按教材顺序遵从由易到难、由少到多,先逐节分解成诸多小部件演变的小实验;逐个操作,日渐丰盈,最后生成为变压器的过程。尽可能多地为学生创设实验氛围;不能因实验简单或曾做过类似实验而轻易放弃,使学生错过再熟悉一次实验、加深对实验认识的机会。

#### 参考文献

- [1] 刘增泽,侯雨晴. 指向深度学习的物理科学探究教学:以电磁感应现象为例[J]. 基础教育课程,2021(20):50—55.
- [2] 张世成. 证据课堂:证据物理的十年探索[J]. 中学物理教学参考,2020(12上):5—9.
- [3] 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.
- [4] 张玉峰. 以大概概念、大思路、大情境和大问题统领物理单元教学设计[J]. 中学物理,2020,38(5):2—7.

#### 参考文献

- [1] 陈刚,吕婧. 试论物理概念和规律“理解”层次的实质——信息加工心理学的视角[J]. 物理教学,2023(10):2—7.
- [2] L·W·安德森,等. 学习、教学和评估的分类学[M]. 皮连生,等译. 上海:华东师范大学出版社,2008:67—69.
- [3] 皮连生. 教学设计·心理学的理论与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:36.
- [4] 王甦. 认知心理学[M]. 北京:北京大学出版社,1999:288.
- [5] John B. Best. 认知心理学[M]. 黄希庭,等译. 北京:中国轻工业出版社,2000:386.