

# 基于促进生成的教学原则的 物理概念教学设计\*

徐蓓蓓 (上海市松江二中 上海 201600)

**摘 要** 本文基于应用学习科学来阐述物理概念的生成加工过程和教学设计,既关注教,又关注学,主要采用了具体先导的教学策略,和形成表征、精细加工的学习策略。“学习即知识建构”的隐喻与概念的学习关系密切,促进意义学习。本文从物理大概念的理念出发,以能量大概念的教学设计为例,注重概念之间的联系、概念与实际情境的联系。通过教学实践的对比研究,说明促进生成的教学策略与学习策略对理解大概念的有效性。

**关键词** 生成学习 学习科学 物理概念 教学设计原则 大概念

**文章编号** 1002-0748(2021)1-0005

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

物理概念作为构成物理学知识体系大厦的基石,是最主要的教学内容,概念反映的是一类对象及其本质属性之间的联系,而大概念是相对于一般概念而言的,是在一组概念群中起核心引领作用的概念,是一种比组内其他概念更具抽象水平、更具有一般意义的概括性表达。例如能量,是由能量的形式、能量的转化、功能关系、机械能守恒定律、能量守恒定律等构成,表明了研究对象(系统)的能量输入、输出,以及通过做功过程来实现不同能量形式间的转化,通过热传递过程来实现能量在不同物体间的转移的关系。

学习有不同类型概念,理解概念,并能用来解决新问题,得到有意义的学习结果,属于生成学习。生成,指产生关联或形成意义。从学习科学来看,生成学习是一种将词语、图示等输入信息加工转换为心理表征、图式等实用性知识的过程。“学习即知识建构”的这个观点,非常适合概念和策略的学习过程。尤其对大概念的建构来说,紧密依赖学习者主动参与过程中产生的新知识结构。欧美学者们通过对教育改革研究的反思,批判性地指出了教育研究过多专注于教师专业发展实践,而对教与学的关系研究不足<sup>[1]</sup>。本文基于应用学习科学来阐述物理概念的生成加工过程和教学设计,既关注教,又关注学。

## 1 应用学习科学的实证教学原则描述

理查德·E·梅耶的《应用学习科学》<sup>[2]</sup>中指出

了课堂学习的教学设计原则,主要聚焦于如何为学习者呈现信息,比如以文本形式、课堂讲解或在线资源等形式呈现信息,其中有关于促进生成的实证教学原则;书中也提出了有效学习的教学设计原则,主要探讨激发学习者行为,引导成功学习的策略,其中有实现生成的策略;总结了指导认知加工的十条教学策略,其中有促进组织和整合的教学策略,即促进生成认知加工的策略。所以本文聚焦于应用学习科学中促进生成认知加工的教学设计原则和学习策略,如图 1 所示。

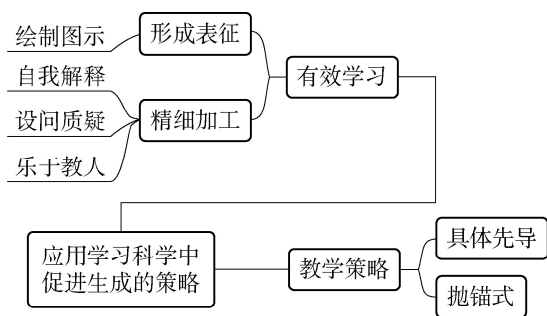


图 1

### 1.1 什么是生成认知加工?

“学习即知识建构”的观点认为学习是生成活动,“主动学习是学习者在学习过程中进行恰当的认知加工”<sup>[2]</sup>。生成认知加工包括进一步组织信息,以及新知识之间、新知识与原有知识之间的整合。由

\* 基金项目: 本文系上海市青年教师教育教学研究课题“应用学习科学的物理概念规律教学的实证研究”(立项编号: Y2019A1038S1379V7700)的阶段性成果。

由此可见,生成学习依赖学习材料的呈现方式,更取决于学习者的认知加工过程。

### 1.2 教师如何开展课堂教学?

对于抽象的概念来说,具体化原则和抛锚式原则,是促进生成认知加工的实证教学原则中两条重要的教学原则。

具体化原则的含义:使用将已学知识与新知识联系起来的方式学习,效果更佳。对应的教学策略是具体先导,即为了深度学习,在课前展示学习者熟悉的知识。具体先导教学策略的价值在于,学习者激活原有的知识,并借此同化新知识,能够促进“整合”。

**实例 1** 理解电源在电路中的作用,与水泵在水循环回路中的作用相类比。

**实例 2** 理解抽象的等势线时,与地理上表示地势高低的等高线相类比,图 2 所示为等量异种电荷的等势线与等高线对比的示意图。

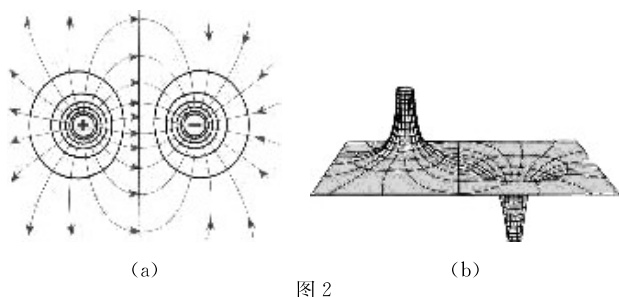


图 2

抛锚式原则的含义是学习者在熟悉的学习情景中学习,效果更佳。“锚”作为核心要素——问题情境,是学习者的知识增长点,帮助学习者将所学知识与原有知识联系起来。如何设计“锚”呢?可以是问题引领式的“锚”(比如实例 3 中坐车情境的系列问题),也可以是认知冲突式的“锚”(比如实例 4 中的“锚”是水果电池点亮小灯的任务)等。

**实例 3** “牛顿第一定律”的引入环节,采用“情景模仿秀”,想象学生们在乘坐一辆“伽利略”号大巴,让同学们再现刹车、拐弯时乘客的情景,引出运动和力的关系的问题探讨。接着以行驶的车里向上抛球的问题、急刹车时的氦气球的问题对惯性概念进行迁移应用。

**实例 4** “闭合电路欧姆定律”的课前,提出了用水果电池点亮小灯的情景任务。学生们发现:虽然水果电池能让灵敏电流计发生偏转,也有电动势,但为何不能让白炽灯发光?猜测水果电池有内阻。从而分析电源和闭合电路结构,研究电动势与内外电压的关系,得到闭合电路欧姆定律,最后解决情景任务,让 LED 灯成功发光。

除了具体先导和抛锚式原则,还有多媒体原则、人性化原则等。线上录播课、直播课更需要使用多媒体原则,比如依据双重通道原理进行设计,按照空间邻近、时间邻近、聚焦要意等教学原则改进教学材料的呈现方式。

以上教学原则都是属于教师对学习环境的控制,用于改进课堂教学环境和学习资料的呈现形式。然而,学生是学习的主体,他的角色是理解所呈现的材料的意义,而教师是主导,是认知的指导者,教学是“双主”互动的过程。虽然具备了合理的教学环境和资料的呈现形式,也具备了原有知识的基础,但是如果缺乏学习者的主动加工,意义学习仍然不能发生。所以教学设计还要激发学生主动性,从学生生活来考虑促进生成学习的行为。

### 1.3 学生可以做什么?

学习科学研究的非常重要的层次是教育领域中的学习研究。思维具有独特性,学生的思维并不是他所录入的教师传输给学生的观点序列的集合,而是学生所启动和调用的关联。学生已有概念是他学习的工具,同时也可能成为新理解的障碍,所以在教学中要更加关注学生的已有知识,深入认识主动学习的重要性,强调学习过程的不可替代性。

《应用学习科学》提炼了实现生成的教学设计原则。洛根·费奥雷拉和 E·梅耶在其他文献<sup>[3]</sup>中也详细探讨了学生可以做什么来促进生成学习,即“生成学习策略”——这些学习活动均能有效促进学习者尝试理解所呈现的材料内容,进行积极的认知加工,即通过选择最相关的信息,组织形成连贯的心理表征,与已有知识进行整合。

绘制图示、自我解释、乐于教人等策略适合物理学科的概念、规律的学习,经过实证研究,在一定边界条件下这些策略对生成学习起到积极作用<sup>[3]</sup>。本文将实现生成的学习策略归为两类——形成表征和精细加工。

#### 1.3.1 形成表征的策略

无论是做小结、做笔记、写提纲、写对比表格,还是绘制思维导图,都是学生将呈现的材料转换为各种形式的表征(如文字、框架结构、图片等),转换的过程可以促使学生先主动地选取相关度最高的信息,再通过寻找所选取信息间的内部关联来组织材料,逐步形成合适的表征,最终把组织好的新结构与长时记忆中激活的已有知识整合到一起。在教学中表格、维恩图、框架结构图都是常用的表征形式。

**实例 5** 如图 3 所示,请在图中两个圆的重叠

区写上物体的动能和分子的动能的共性,在重叠区之外写上各自独有的特性。这种维恩图,有助于学生归纳两个概念的异同。

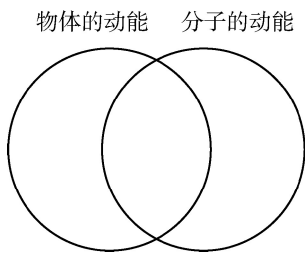


图 3

**实例 6 原子结构模型的概念习得过程中,**结合实验、历史人物、结论等内容,对原子物理的历史发展脉络用框架结构进行梳理,从而将原子结构模型的演化阶段形成意义学习。

1.3.2 精细加工的策略

自我解释、设问质疑、阐释难点、乐于教人等策略都需要学生对学习内容进行深层的加工,应用时极其关注学生的生成能力,通过行为使思维过程外显,鼓励学生运用已有知识对接收的材料重新建构,从而形成更有意义的连贯表征。

如实例 7 采用了设问质疑策略,当学生提出深层次的问题并作出回答时,学习效果更好。

**实例 7 学习相互作用力“总是”大小相等、方向相反时,**学生提出质疑:认为马拉着车加速时,马对车的力大于车对马的力。带着这样的猜想,通过课堂演示实验,从实验现象发现相互作用力总是等大反向,与运动状态无关。并且通过理论分析,将实验现象合理化,达到了与已有认知图示的整合,实现了意义学习。

2 应用学习科学的实证教学设计举例


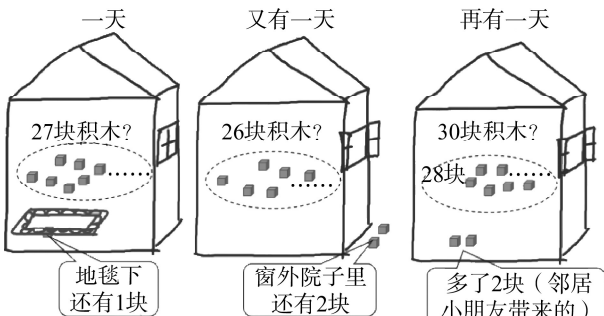
“‘能量’大概念的复习”的教学设计中,优化教学内容呈现方面,采用了具体先导的教学策略;促进生成学习方面,采用了形成表征和精细加工的学习策略。

2.1 基于“具体先导”的教学策略

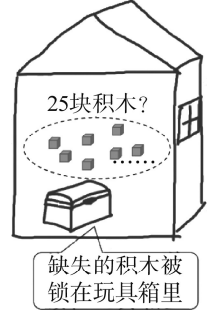

教学策略采用“积木”的故事为具体先导,贯穿整节课始终。课前互动环节中,学生阅读完学生端电脑显示的费恩曼“积木”的故事后,在师生互动平台上用文字描述自己小组对能量的理解,并提交。教师汇总并归纳各组学生提交的内容。能量概念重要而抽象,课前互动的设计意图为:在课前展示学习者熟悉的知识,借用积木的比喻,促进学生对能量的理解。课堂小结环节,教师以费恩曼对能量概念的定义指导学生总结。

“具体先导”教学策略借用了“隐喻”法,以通俗易懂、直观具体的积木故事为模型,如表 1 所示,由浅入深,层层递进地类比能量,促进学生对能量的理解,优化信息的整合过程。比如,对机械能守恒定律这个规律条件的辨析,学生的已有概念是按照“只有重力或者弹簧弹力做功”死板地进行判断,并没有研究对象意识。“积木”故事的具体先导,帮助学生形成“系统”的视角,机械能守恒是对一个系统而言的。“人”的机械能是人与地球构成的系统,而人和弹簧的机械能则包括了人、地球、弹簧的系统。

表 1 具体先导在各环节的详细类比

	“积木”故事	类比“能量”
举例描述	费恩曼在他那本著名的《物理学讲义》里编造了如下的故事 <sup>[4]</sup> : 一个孩子有 28 块积木,这些积木完全一样,且不可破坏。每天早晨妈妈将这孩子和他全部的积木关在一间房子里,回来后总仔细清点积木的数目。不错,多少天来一直是 28 块……	 <p>对一个封闭系统来说,能量是守恒的。如同关在房间里面的积木,数量不变。而此情景下的房间可以看成是一个封闭系统</p>
弓箭实例分析		<p>能量有不同形式,可以转化或者转移,但总量守恒,如同躲在地毯下的积木。</p> <p>系统是开放的,如同窗口被打开。弓弦对箭做功,弓弦系统对外输出能量,如同积木被扔到窗外。</p> <p>手对弦的拉力做正功,给弓弦系统输入了能量,如同小朋友带来了积木</p>

续 表

<p>蹦极实例分析</p>	<p>她处置了多余的积木后,把窗子关起来,再不让别的孩子进来。于是在相当长一段时间里情况正常,直到有一天她只能找到 25 块积木。这孩子有个玩具箱,妈妈想打开这箱子找积木时,孩子不让妈妈开玩具箱。妈妈只好称一下这箱子的重量。她知道每块积木重 3 盎司,28 块积木全在时箱子的重为 16 盎司,她计算一下得到:眼前的积木数 <math>25 + \frac{\text{箱重} - 16 \text{ 盎司}}{3 \text{ 盎司}} = \text{常数 } 28</math></p>	 <p>25块积木? 缺失的积木被锁在玩具箱里</p>	<p>理论分析弹性绳未达到原长的下落过程,不计空气阻力,只有重力做功,则人的机械能守恒。 <math>E_k + E_{p重} = \text{常量}</math> 当弹性绳开始伸长,弹力做负功,“人”的机械能不守恒。 若系统包括弹性绳在内,则包含弹性势能,系统机械能又守恒了。 <math>E_k + E_{p重} + E_{p弹} = \text{常量}</math></p>
<p>蹦极实例分析</p>	<p>这箱子没再打开过,可是积木又少了许多。仔细调查发现,澡盆里脏水的水位升高了。显然,孩子把一些积木丢进了澡盆,但是水太浑浊,妈妈无法看清,然而她知道,澡盆里的水原来有 6 英寸深,每块积木使水位升高 0.25 英寸,于是她的计算公式里又添了一项: 眼前的积木数 <math>25 + \frac{\text{箱重} - 16 \text{ 盎司}}{3 \text{ 盎司}} + \frac{\text{澡盆水位} - 6 \text{ 英寸}}{0.25 \text{ 英寸}} = 28</math> 随着事态一步步地复杂化,越来越多的积木跑到她无法看到的地方。可是她找到一系列附加项,需要添加到她的计算公式里,以代表那些找不到的积木块数。这个复杂的公式保持着 28 那个数目不变。 眼前的积木数 <math>25 + \frac{\text{箱重} - 16 \text{ 盎司}}{3 \text{ 盎司}} + \frac{\text{澡盆的水位} - 6 \text{ 英寸}}{0.25 \text{ 英寸}} + \dots = \text{常数 } 28</math></p>	 <p>又少了? 还有些缺失的积木被藏在澡盆里</p>	<p>由蹦极的 DIS 实验数据推理得知,人的机械能减少了,有空气阻力和橡皮筋的内耗等原因造成一部分机械能转化成了内能。 <math>E_k + E_{p重} + E_{p弹} + Q = \text{常量}</math> 如果在砝码上吸附一个小磁铁,上下振动时穿过闭合线圈,则涉及电磁运动,又多了一项能量的表达。 <math>E_k + E_{p重} + E_{p弹} + Q + \dots = \text{常量}</math></p>

2.2 促进生成的学习策略举例

2.2.1 形成表征的策略例举

让学生进行总结,促进良好整合的学习,有助于学生在概念组织、表征、交流,还有推理、问题解决等方面获得进步。关于某特定问题的解决方法或步骤的机械式学习,不支持迁移。但是有研究表明“强调事实性或程序性知识运用条件的教学,也有助于迁移”<sup>[1]</sup>。

用思维导图形成表征,可以促进搭建问题范畴的结构,并反思用以解决问题的方法,深刻理解学习内容。

实例 8 学生归纳判断机械能是否守恒的不同方法;如图 4 所示是学生总结分析功与能问题的一般思路。

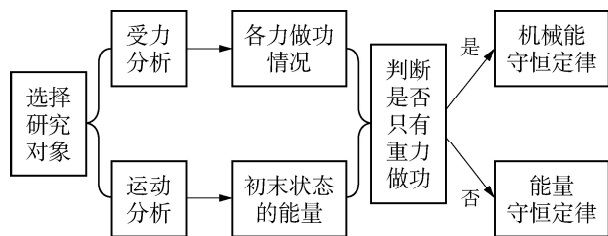
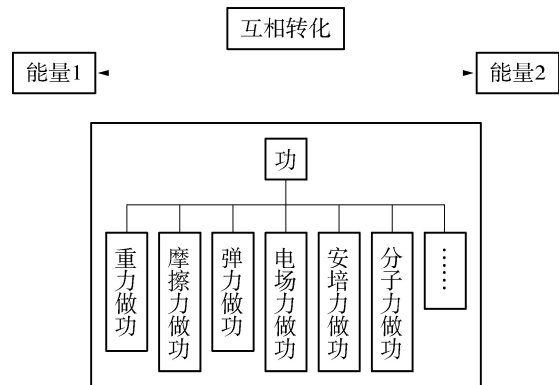
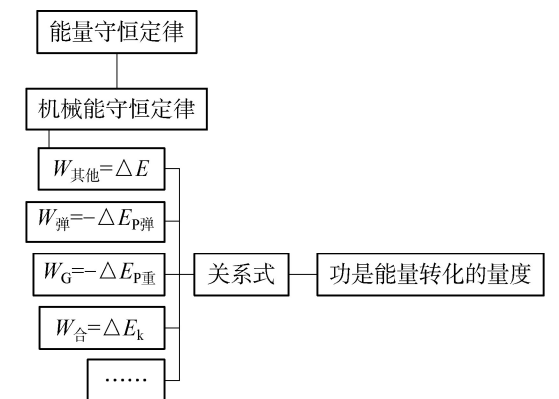


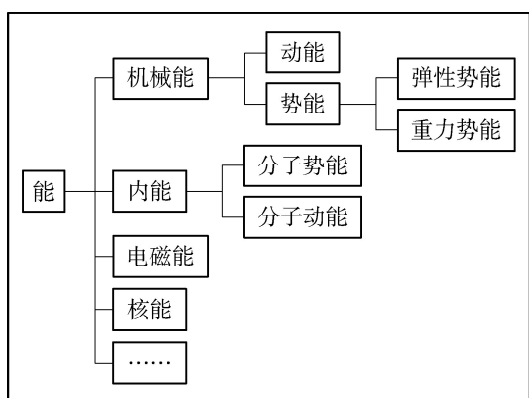
图 4

实例 9 学生刚开始画了“功 $\rightleftharpoons$ 能”的结构图,在建立联系时出现了“功”和“能”可以发生相互转化的“过渡概念”;在结合实例分析进行理解学习后,修

改为“一种能量”通过“做功”过程转化为“另一种能量”,最后呈现能量概念框架的思维导图(见图 5)。



(a)



(b)

图 5

“过渡概念”虽然不一定准确,却是由学生生成的,成为自身下一阶段继续完善概念的生长点,在教师引导下继续整合新信息,逐步修正。于是学生在原来新课的基础上,从以机械能为载体的守恒,演绎到各种形式的能量转化,建构知识板块以及板块之间的联系,树立能量观念。在功、能、功能关系这些核心概念的引领下,发展出组织良好的知识结构。新手的知识是对某一章节内容的事实和公式的罗列,在思维导图的建构过程中,逐步像专家那样,将启发性的大概概念作为核心来组织自己知识的大单元。能量大概念的梳理,是为了能够在新情境下用能量观念去解释自然现象,解决实际问题。

2.2.2 精细加工的策略举例

“‘能量’大概念的复习”教学设计的课前和课堂活动采用了精细加工的学习策略,见表 2。

表 2 精细加工的学习策略的举例

策略	学生活动	教师活动
自我解释	举例并描述不同形式的能量转化: 古代科技、运动项目、教材上各章的例子	引导学生从例子中归纳出不同形式的运动对应不同的能量
乐于教人	小组代表汇报自己小组的实验方案,分析射箭的做功过程和能量转化,展示小组的实验过程	课前提供帮助,指导学生作为“小老师”自信、完整地表述见解;课中作为组织者倾听和适时地协助
设问质疑	其他小组学生对汇报内容提出质疑,做出评价,并提出设计的其他方案,运用功能关系进行解释	师生共同讨论并小结不同方案对应的功能关系,提炼功能关系的主线
自我解释	刚开始认为蹦极第一阶段可以近似成自由落体运动,但是蹦极的弹性绳一旦超过原长,运动员就“立即”开始做减速运动。学生用自己的话说出与原有概念冲突的想法,改进后,尝试更正确的分析	教师播放蹦极运动的视频后,演示 DIS 实验得出运动图像;提出系列问题,引导学生从运动和力、功和能、机械能、系统能量分析等方面进行解释

为何精细加工策略可以促进物理概念的生成学

习? 对新概念的加工过程可以分为两种类型,一种是建构,另一种是“解构—重构”<sup>[5]</sup>。

第一种,建构。如果需要接受的新信息与学生的知识结构吻合,就可以找到已有知识中相应的位置后直接接受。如图 6 所示,学生已经有动能、重力势能等能量的概念,将内能这个新信息归类为能量的形式,这个意义体系与自身相融,顺势而为地完成建构,而且能对原有的知识起到补充和“加固”的作用。

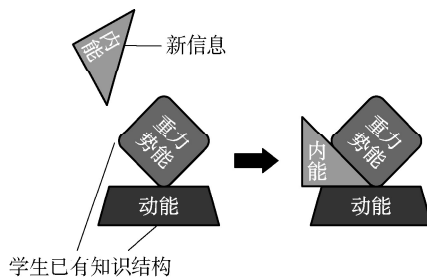


图 6

第二种,“解构—重构”。当原有概念与事实冲突则需要发生变革学习。如图 7 所示,学生已有知识结构是将“力  $F$ ”与“运动  $v$ ”直接关联,如同表 2 提到的蹦极实例,学生想到当绳对人有向上的弹力,误以为“立即”就会减速。当教师采用强框架,将“合力”与“加速度”的信息强塞给学生,学生虽然知道这些新信息是解决此问题的正确思路,面对这些新信息却不知如何摆放。

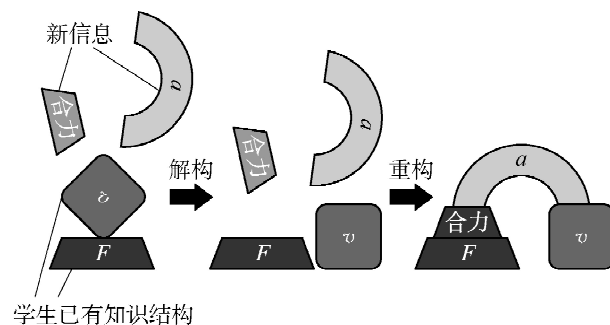


图 7

要改变学生的错误概念并不容易,这时,教师需要创设并操控学习环境。先让学生观看蹦极的视频中弹性绳形状和人的速度的变化,再让学生使用橡皮筋和钩码做模拟演示,配合位移传感器的 DIS 实验研究,学生就能从实验得到的图象中分析发现“橡皮筋原长时物体的速度并不是最大”,这一系列过程使学生原有的概念结构发生“松动—变形—解构”,即图 7 中的第一步,  $F$  与  $v$  分离的过程。接下来,进入第二步“重构”,在问题的引导下,学生逐步形成“弹力→合力→加速度→速度”的线索。运用自

我解释策略,让学生用自己的话说出与原有概念冲突的想法,并做出改进过程的反思,形成动力学关系的结构图,最后教师用新情景的问题,让学生及时调用新形成的知识结构,使之巩固。

### 2.3 教学实践研究

以笔者所在市实验性示范性学校的高三学生为研究对象,学习材料内容一致。内容为能量大概念,注重概念之间的联系、概念与实际情境的联系。关注这样的“联系”,学生才有可能对概念有深度理解,形成物理核心素养所要求的物理观念。由于大概念是以核心概念为中心形成的,更具有抽象性,比一般概念更需要生成学习的组织和整合过程。

表 3 实验组与对照组的对比分析

	前测	后测(6个月后)			
		题目 1	题目 2	题目 3	题目 4
B 班得分率均值	74.9%	100.0%	79.0%	93.5%	87.8%
A 班得分率均值	89.4%	93.0%	63.3%	95.7%	90.0%
方程方差的 Levene 检验	方差齐性 ( $P = 0.000$ )	方差齐性 ( $P = 0.000$ )	方差齐性 ( $P = 0.006$ )	方差齐性 ( $P = 0.058$ )	方差齐性 ( $P = 0.528$ )
独立样本检验	$P = 0.000$	$P = 0.049$	$P = 0.119$	$P = 0.298$	$P = 0.749$

如表 3 所示,B班(普通班)与 A 班(尖子班),在复习功能专题之前的高三综合卷检测分数显示: B 班得分率较 A 班低。经过 SPSS 独立样本  $T$  检验,有显著差异。在进行该专题复习时,B班(实验组)的教学实践应用学习科学中促进生成的学习原则——具体先导、形成表征、精细加工这三个策略;A 班(对照组)按照传统的教学方式,主要以教师举例、分析实例、演示实验等为主,采用强框架。第一次后测(一个月后)是另一套高三综合卷,其中涉及能量主题的所有题目的得分率,分析结果显示方差齐性。第二次后测(6 个月后)中有四道是关于能量问题的解答,如表 3 所示,题目 1 和题目 2 的平均得分率显示,B班甚至超过了 A 班。

由此说明,基于应用学习科学的促进生成认知

(上接第 14 页)

**验证猜想** 光从空气斜射向玻璃情形下,折射角  $r$  与入射角  $i$  关系为:  $\frac{\sin i}{\sin r} = k$ , 验证猜想。

### 参考文献

[1] 黄国龙. 构建多元创新教学模式 培养学生质疑创新核心素养

加工的具体先导、形成表征、精细加工等策略的使用,能有效促进生成学习,整合后的新结构存储在大脑中,经过较长时间仍然可以随时调用。对于成绩较好的学生,理解能力强,当教师采用强框架时,也能够生硬地接受一部分。但是对于大概念来说,哪怕教师选用了非常科学、严谨、完整的模型,如果不符合学生已有知识结构,则不能与已有知识形成稳定的新结构,导致弱吸收。

### 3 结束语

生成学习依赖学习材料的呈现方式,更取决于学习者的认知加工过程;教学方式和学习策略是生成学习的两个决定因素。以上是基于促进生成的教学原则的物理概念教学设计例举,主要应用了“具体先导”“形成表征”“精细加工”等策略,在物理概念的教学中,引导学生积极参与生成活动的信息选择、组织和整合,能促进理解学习。在教学过程中,学生已有知识结构如果缺少必要的承接和解构过程,容易形成错误认识,成为学习的新障碍。所以需要给学生表达自己原有概念的机会,无论是形成各种形式的表征,还是自我解释、设问质疑、乐于教人,书面和口头的表达都能使思维结果清晰外显,教师就可以因势利导,促进学生新概念的整合,新意义的生成。这些教学策略和学习策略不仅追求有效的教学,还蕴含了平等和谐的师生关系,考虑了学生的社交需求、学习动机、情感沟通等因素,值得我们进一步挖掘和研究。

### 参考文献

- [1] 裴新宁. 学习科学研究与基础教育课程变革[J]. 全球教育展望,2013(1): 37.
- [2] 理查德·E·梅耶. 应用学习科学[M]. 盛群力,丁旭,钟丽佳,译. 北京: 中国轻工业出版社,2019.
- [3] [美] 洛根·费奥雷拉,理查德 E. 梅耶. 八种生成学习策略[J]. 陆琦,盛群力,译. 数字教育,2016(3): 8—91.
- [4] 上海市中小学课程教材改革委员会. 物理教学参考资料(高中二年级第一学期)[M]. 上海: 上海科学技术出版社,2007. 1.
- [5] 裴新宁. 让学习成功——变构模型及其教学应用[J]. 教育生物学杂志,2013,1(12): 268.
- [J]. 物理通报,2019. 12.
- [2] 黄国龙. 中学物理探究教学模式构建和策略探讨[M]. 上海: 上海科学普及出版社,2005. 12.
- [3] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准[S]. 北京: 人民教育出版社,2018.