试论物理概念和规律的“精深化”教学

——基于学习心理学的视角

孔 云 (上海市七宝中学 上海 201101)

摘 要 物理概念和规律习得的结果是物理概念和规律的图式,图式包含物理意义、物理性质、符号或数学表达式等内容。在物理概念和规律所含定性、定量因果关系建立后,应通过情境化的测试项目,帮助学习者达到“理解”物理图式的学习层次。依据布卢姆教育目标分类(修订版),即表现出能区分所学物理概念和规律可应用的情境、能区分具体物理过程相应的物理量等行为,此教学环节为对所学物理概念和规律的“精深化”。通过精深化教学,学生将能够把所学物理概念和规律与其对象、物理过程和特定状态等建立起联系,避免只是在数学运算规则基础上的操练式学习。

关键词 物理概念和规律 精深化教学 理解层次 应用层次

文章编号 1002-0748(2024)7-0007 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

精深是精深加工(elaborative processing)(精细加工或增细加工)的简称,指的是:创建与所学信息有关且对它有所补充和扩展的额外信息的过程[1]。认知心理学家们研究发现无论是自主精深还是被动精深都能够更好地驱动人脑进行加工活动,精深效果的好坏受所提供的细节是否更多、更有意义的影响。

物理概念和规律是物理学科最核心的学习内容。

问题1:物理概念和规律的学习需要“精深”吗?**问题2**:如果需要“精深”,“精深”的主要内容和依据为何?**问题3**:如果需要“精深”,其“精深”教学如何实施?

本文以学习心理学关于学习结果和外显行为的研究为依据,尝试对上述问题做出回答。

1 物理概念和规律学习后不同行为表现

学习内容(查理定律):一定质量的理想气体,在体积不变的条件下,它的压强跟热力学温度成正比。

测试题1 一定质量的氢气,在1℃时压强是9×10^4 Pa,保持氢气体积不变,它在30℃时压强是多大?

学生A:$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}\rightarrow\frac{9\times10^4}{1}=\frac{p_2}{30}\rightarrow p_2=2.7\times10^6$ Pa。

学生B:$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}\rightarrow\frac{9\times10^4}{(273+1)}=\frac{p_2}{(273+30)}\rightarrow p_2=9.95\times10^4$ Pa。

测试题2 如图1所示,A、B两容器容积相同,用细长直导管相连,初始时两容器内均封入气体压强为p,温度为T的一定质量的理想气体,现使A内气体温度升至T',稳定后A容器的压强为多少?

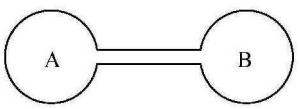


图1

学生C:对A容器,有$\frac{p_1}{T}=\frac{p_2}{T'}\rightarrow p_2=\frac{T'}{T}p_1$。

测试题3 “拔火罐”是我国传统养生疗法之一。“拔火罐”的流程为:医生先用点燃的酒精棉球加热火罐内的空气,然后迅速把火罐倒扣在需要治疗的部位,火罐会很快紧贴皮肤,一段时间后再把火罐拔去即可。若拔火罐最舒适温度为20℃,火罐体积300 ml,一次“拔火罐”中医生把火罐内气体加热至77℃,然后倒扣在人的背上。火罐每10 s温度降低30℃,当时的室温为22℃,人体温度为36℃,标准大气压强为1×10^5 Pa,则20 s后罐体内外压强差变为多少?

当学生第一次面对这一测试题,其解决过程可能为:

学生D:

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,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”。

中国知网 https://www.cnki.net

有一个罐体、对其内部加热、倒扣在人体表面；罐体的容积为300 ml、加热后温度为77 ℃、倒扣后火罐每10秒降低10 ℃、人体温度36 ℃、室温是22 ℃、拔火罐人体最适宜的温度为20 ℃。

待求：20秒后，罐体内外的压强差为多大？

阶段2：确定解决问题的思路。

确定了已知和待求，解决者可能无法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：

待求的是火罐内外的压强差，外部压强有变化吗？

外部压强没有变化，为大气压。

内部压强有变化吗？

罐内气体开始温度较高，逐渐降低，气压有变化。

罐内气压变化有满足的规律吗？

罐体倒扣在人体背上，密闭了一部分气体，罐内气体体积不变，一定质量气体、体积不变，温度变化，可用查理定律。

至此，学生运用逆推法，引导自己思考方向，逐步聚焦于并识别出该题设情境中：罐内有一定密闭气体(质量不变)、体积不变、温度有变化等信息，学习者可有意识做出判断的行为——“可能用查理定律”。

该行为表明学习者具有将查理定律适用的情境与不适用的情境区分开来的能力。——行为一。

阶段3：确定物理过程中查理定律的物理量。

① 写出(或在心中写出)查理定律：$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$；

② 确定罐内气体的初温：77 ℃，热力学温度为$T_1=273+77=350\,\mathrm{K}$；

③ 确定罐内气体的初压：在大气环境下，其初始气压为大气压；

④ 确定管内气体的末温：每10秒降30 ℃，20秒应降60 ℃，气体末温是否是17 ℃？

“罐内气体(含罐)与大气系统的热量传递，平衡时罐内气体温度是室温，即22 ℃；既不是17 ℃，也不是人体舒适的拔罐温度20 ℃，或人体温度36 ℃。

室温状态下，封闭气体对应的热力学温度为$T_2=273+22=295\,\mathrm{K}$。

至此，学习者从已知条件，结合物理规律所含物理量的意义，确定具体运用物理过程的对象，以及相应状态下的物理量。

此行为表明学生具有将具体物理过程中可用物理规律的物理量与同性质的其他物理量区分开来的能力。——行为二。

阶段4：执行规则阶段。

$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}\rightarrow\frac{1\times10^5}{350}=\frac{p_2}{295}\rightarrow p_2=8.4\times10^4\,\mathrm{Pa}$

所以，罐内外气体的压强差约为1.6×10^4 Pa。

此行为为执行数学规则的行为。——行为三。

以上测试项目中，学习者在解决问题中表现出相同的行为三的行为：执行$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$数学运算规则。

当然，解决过程也表现出明显不同的外显行为，其行为的不同对应不同的内部习得结果。

2　物理概念和规律习得结果与层次

2.1　物理概念和规律习得结果

认知心理学根据内部表征方式的不同，将习得的知识划分为陈述性知识和程序性知识。陈述性知识的表征方式是命题网络和图式；程序性知识的表征方式是产生式和产生式系统。

认知心理学提出，当人们对自己所了解的各个范畴的知识进行表征时，需要对某一范畴的某些典型特征加以编码，而忽略它的其他一些非典型的特征，人们这种对某一范畴典型结构的表征方式称为图式。图式是对一范畴中对象具有共同属性构成结构的整体编码表征方式[2]。

在物理课程中概念和规律的学习中，同样存在图式，如物理概念和规律图式，其结构往往包含：物理意义(物理概念引入或规律适用的情境)、物理性质(物理状态或过程中物理量间满足的定性、定量关系)、数学表达式、典型实例等方面。查理定律的图式如表1所示。

表1　查理定律的图式

物理意义		描述一定质量的理想气体，体积不变条件下，其压强随温度的变化规律
		对象：一定质量(理想)气体； 状态条件：其体积不变； 物理过程：当其温度变化时，气体的压强也会变化
物理性质	定性	气体压强的变化与其温度变化有关
	定量	在体积不变的条件下，它的压强跟热力学温度成正比
数学表达式		$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$

2.2　物理概念和规律的习得层次

(1) 理解层次外显行为的一致性

布卢姆教育目标分类(修订版)是有一定国际影

中国知网　https://www.cnki.net

响力的学习结果分类模型。(修订版)按知识类型和认知过程两个维度划分学习的结果。认知过程中的“理解”层次是最大的分类目标,包含解释、举例、分类、说明、推断、比较等行为[3]。

有研究指出:对于“理解”层次,个体表现出最基本的外显行为是解释行为,也就是学习者可以对外表现出一个意义单元、一个意义单元相联系的方式依次陈述:对象、物理过程或特定状态、所涉及物理量、物理量间的因果关系等意义单元[4]。

比如,对于查理定律,学习者表现出如下陈述的行为:一定质量的气体、被密闭一个空间中、该空间的体积不变、当其中的气体温度变化、其压强也变化、压强的变化与温度的变化满足数学关系 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$、其中的温度是热力学温度,即常用的摄氏温度值加上273所得。此种以一个、一个意义单元相关联的方式陈述物理规律的行为(不是逐字逐句的背出来),即理解层次中的解释行为。——行为四。

如果学习者能表现出对物理概念和规律的物理意义和性质的解释行为,也就意味着学习者,具有很大的可能从具体情境中,识别出与对象、因果关系等意义单元相一致的信息,确定情景中满足物理规律的对象及可能关系——物理意义的举例行为。

如在学习查理定律后,学习者举出实例:热水瓶灌上未满的热水,当瓶塞塞住水瓶后,水瓶中水面和瓶塞之间就密闭一定质量的气体,而这部分体积是基本不变的,当热水温度下降时,气体温度也会随之下降,这段时间内每一时刻,这部分气体气温的热力学温度与其对应压强变化满足关系 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$。此种学习者表现出从对象、对象经历的物理过程、物理过程中物理量的定性定量关系等自己举出符合查理定律实例,而非课本中已有或教师教学中呈现实例的行为,即理解层次中的举例行为。——行为五。

个体表现出举例行为,也就一定程度上具备将对象、因果关系可运用的情景(物理过程或状态)与不能运用的情景区分开来——物理意义的分类行为。

也就是说,“理解”层次上各行为之间实际上是相通的。

由于“解释”行为需要学习者组织自己的语言,属于主观性表述,不适合纸笔测试中的评阅。在纸笔测试中,如果需要学习者从测试情境中识别出特定物理规律适用的对象、物理过程等信息,从而确定可用物理概念和规律的,其行为即理解层次中的举例或分类的行为。

(2)“理解”物理概念和规律的实质

依据图式可知,就物理概念和规律学习来说,学习后“理解”通常对应如下结果:

① 理解物理概念和规律的物理意义。学习者能从对象、物理过程、特定状态等方面举例解释物理概念引入的原因或物理规律适用的情境。

② 理解物理概念和规律的物理性质(知其然)。学习者能从对象、物理过程、概念间存在的因果关系等方面依次举例解释其性质本身所含各意义单元。

③ 理解科学概念和规律的数学表达式。

④ 理解物理概念和规律蕴含的数学运算规则。能陈述物理概念和规律蕴含数学规则(如加、减、乘、除)等运算。

测试题4　关于查理定理数学表达式,你能说出什么?

如果学生只能回答(或写出):$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$。

此表现出的行为,其所达到的层次即理解数学运算规则。

如果学生能够在回答出公式的同时,还能表现出行为四、行为五,即所谓透过数学表达式看清其背后代表的物理对象、物理过程和状态、该过程或状态下物理量之间的因果联系,本质就是理解查理定律物理意义和物理性质。

学习者达到特定物理概念和规律习得的①~③,表明学习者达到理解所学物理概念和规律内涵的层次。

2.3　测试项目中学生表现行为的实质

在前述测试题的解决中,所有学生都表现出:能正确执行查理定律蕴含的数学运算规则。达到理解查理定律蕴含的数学运算规则的层次。

学生D,行为一从情境中选择出运用查理定律的对象、物理过程,即将可用查理定律的情境与不可用的情境区分开,此行为表明学习者达到理解查理定律的物理意义的层次;

行为二表现出学习者将具体物理过程中查理定律的物理量与不属于该过程的物理量区分开,此行为属于理解查理定律的物理性质。

在正确执行查理定理的数学规则——行为三中:

学生D的解决过程是在达到理解查理定律的物理意义和物理性质基础上的执行规则,在布卢姆教育目标分类(修订版)中,称为运用层次的“实施”。

学生A尽管正确执行查理定律的数学规则——

中国知网　https://www.cnki.net

行为三，但没有正确解答问题，是用错查理定律的温度，没有正确理解查理定律中温度是热力学温度，没有理解查理定律规律中蕴含物理量的物理性质，即没有达到理解查理定律的“物理性质”之子概念物理性质。

学生C尽管正确执行查理定律的数学规则，但没有正确解答问题，学生不掌握查理定律的条件——对象是质量不变的密闭气体，行为上表现出有将查理定律正确应用于可用的物理情景，没有达到理解查理定律的“物理意义”的层次。

3 物理概念和规律精深化教学

3.1 物理概念和规律的精深

物理概念和规律反映的是在特定对象，在具体物理过程和特定状态中，相关物理量之间满足的定性或定量的因果关系。

(1) 物理概念和规律学习的第一阶段

因果联系形成阶段：通过实验探究学习途径（其间经历提出问题、假设猜测、规划方案、设计实验、执行实验、获得结论等一系列子环节）、理论分析学习途径，形成相关概念间因果联系。实际是初步建立物理概念和规律的物理性质。

教学后，学生应能表现出：有依据地解释物理概念和规律所蕴含定性或定量的因果关系。

学生表现出能有依据地阐述因果关系以及关系是如何建立的，并不代表学生必然表现出从其他情境中识别出可用物理概念和规律的行为——“理解”物理意义的举例行为或区分行为。也就是说，有效地建立物理概念间因果联系，并不能自发达到“理解”物理概念和规律内涵的层次。

(2) 物理概念和规律学习的第二阶段

脱离了对象、物理状态和过程对物理概念和规律的解释都是不合适的。

在达成“因果”关系后，如果教师直接对规则的操练，学生就没有将概念和规律适用情境、适用物理过程等信息与具体对象形成联系的经历，也就可能更多地表现出对规则操作的行为，缺少区分可用情境和可用过程的能力。

所以，当物理量之间满足的规律（定性或定量关系）形成后，教学中应对规律存在的对象、过程和状态等特征做进一步的分析解释，此部分教学课称为“精深化”教学。

精深化阶段：对物理概念和规律的物理意义、对物理概念和规律物理性质的具体情境，做进一步分析，帮助学生形成物理概念和规律的图式。

3.2 精深化教学的目标

根据物理概念和规律图式，经过精深化教学，学生应该达到“理解”物理概念和规律内涵的层次，也就是表现出：

理解物理概念和规律的物理意义：学习者应能表现出将可用物理概念和规律的情景与不可用的情景区分开的行为。

理解物理概念和规律的物理性质：学习者应能表现出将具体物理过程中运用该规律的物理量与不适于该物理过程的物理量区分开来的行为。

其中，“理解”物理概念和规律的物理性质，通常由包括：

(1)“理解”物理概念和规律的满足的函数关系；——(量)关系。

(2)“理解”物理概念和规律的满足的方向关系；——(方向)关系。

(3)“理解”物理概念和规律蕴含关系在物理对象和过程上的一致性；——关系一致性。

(4)“理解”物理概念和规律中各子概念；——子概念。

物理概念和规律“精深”化教学的理解其物理意义和物理性质，相应的行为表现如表2所示。

表2

理解物理意义	理解物理性质			
	理解物理关系(量)	理解物理关系(方向)	理解物理概念在关系或情境中一致性	理解子概念
能从情境中识别出物理概念和规律所蕴含的对象、物理过程和状态	能从情境中识别出并呈现出物理量和其间关系	能从情境中识别出并呈现物理量方向和其间关系	多过程多状态情境中能识别出各过程相对应物理量以及其间的关系	能正确识别关系中的子概念

以上是对问题1、问题2的回答。

3.3 精深化教学的样例

物理量之间满足的关系形成后，实际教学中，教师可以通过呈现情境类例题，帮助学生从中识别出所学物理概念和规律适用的对象、物理过程以及特定状态、相关物理量等信息，引导学生表现出举例、区分、说明等多种行为，进而将所学物理概念和规律与其对象、物理过程、特定状态等物理特征更好的

中国知网 https://www.cnki.net

对应。

以下测试项目1、2、3，为帮助学生达到理解“力的合成”物理意义的层次；

测试项目4、5，为帮助学生达到理解“力的合成”物理性质的层次。

测试项目6，为帮助学生达到实施“力的合成”规律的层次，即达到在理解“力的合成”物理意义、物理性质(内涵)基础上的对规则的执行。

表3　项目1(理解“力的合成”规律的物理意义-举例行为)

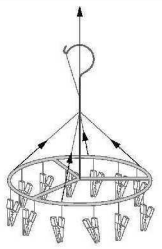
请按以下要求举出一个“力的合成”例子。 (1) 受力对象是什么？ (2) 该对象受哪几个力？ (3) 选择其中共点(两个以上)的力？ (4) 这共点力的作用效果如何？ (5) 能否用一个力，达到这样的效果？ (6) 在该例中的分力和合力分别是什么？	题目解析：学生回答如图2所示： (1)衣架受力；(2)受到如图(2)中4根绳的拉力；(3)这几个拉力共点于O；(4)作用效果是保持衣架使用时框架水平；(5)可以用一个作用于衣架圆心施加一个竖直向上的力F，达到同样的效果；(6)F是四根绳对衣架拉力的合力。 学生举出自己的例子，达到“理解”力的合成规律的物理意义；如果学生举出教材中的例子，或者只是模糊指出力的合力是求合力的过程，属于力的合成的概念的“识记”层次  图2

表4　项目2(理解“力的合成”规律的物理意义-分类行为)

图3中的三对力中可以求合力的是　　(　　) (A) 图3中的F_{a1}和F_{a2} (B) 图3中的F_{b1}和F_{b2} (C) 图3中的F_{c1}和F_{c2} (D) 图3中的F_{a1}和F_{b2}  图3	题目解析：该题考察学生能否区分适用力的合成的场合和不适用力的合成的场合。学生应该从对象、物理状态和过程、物理量及之间的关系来判断。当学生在情境中识别出四对力的受力对象时，即可判断B选项F_{b1}和F_{b2}、D选项F_{a1}和F_{b2}不属于同一对象的受力，不属于“力的合成”适用的情境

表5　项目3(理解“力的合成”规律的物理意义-说明行为)

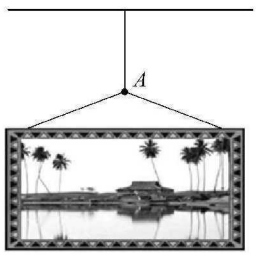
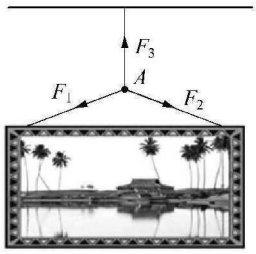
一幅油画用三根绳子悬挂，如图4所示。王翔同学说：图5中的F_3是F_1和F_2的合力！这种说法是否合理，请说明理由  图4  图5	题目解析：学生从“对象、对象的物理过程和状态、涉及物理量及其间的关系”角度识别该问题中的三个力是否符合合力和分力的关系，也就是将属于力的合成的情境与不属于的情境区分开。用自己的话说明F_1和F_2对结点A的作用效果是将节点A向下拉伸至图示位置，而F_3对结点A的作用效果是将A点向上拉伸，判断F_3不是F_1和F_2的合力
项目建议：考察是否理解概念规律的物理意义的方式一般是给学习者一个具体的物理情境，让学习者从对象、物理状态或过程、物理量及之间的关系匹配物理情境的信息与认知图式中的意义单元，从而做出选择或判断。因此一般采用选择、判断或简答等题型	

表6　项目4(理解“力的合成”规律的物理性质-举例行为)

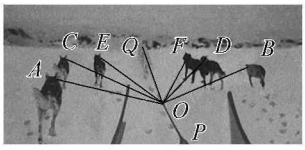
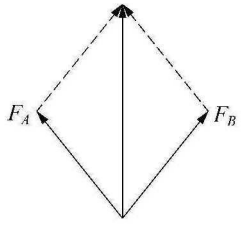
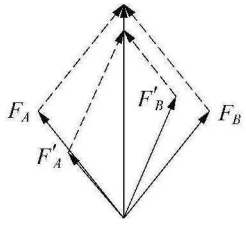
新移栽来的树木根系不稳，为了防止树木倒苗，通常会使用如图6的支撑架固定树木。支撑架有分为三脚桩和四脚桩。为了使树木尽量直立生长，在安装支撑架时有什么要求，试以四脚桩支撑架为例说明  图6	题目解析：学生需要从树木直立生长判断出树木受支撑架的合力向上，此处的研究对象是树，四个支撑架对树干的四个力属于共点力，可以合成。学生只有理解了力的合成规律的物理意义，才能从对象、物理过程或状态、物理量及其间的关系判断出该题情境适用于力的合成。如何使得四个分力的合力向上，学生需要运用平行四边形定则得出当两个共面的等大的力以竖直方向对称分布时，合力向上。得出以上结果需要学生理解力的合成规律的物理性质

中国知网　https://www.cnki.net

表7　项目5(理解“力的合成”规律的物理性质-说明行为)

一位男生和一位女生两人用力将店铺招牌拉至图7所示位置静止，店招的重量为G，有同学说：男生用力和店招重力的合力方向沿图中红色箭头所指方向。这种说法正确吗？试说明理由。 (在此问题的研究中，可将店招视为质点)  图7	题目解析：完整规范的答题思路应该是先判断男生用力和店招重力可以合成，这要求学生理解力的合成概念的物理意义，然后使用平行四边形定则将F_1和G合成为一个力，理解力的合成规律的物理性质，再运用二力平衡判断合力的方向

表8　项目6(应用“力的合成”规律-实施行为)

如图所示，七只狗拉雪橇在雪地上先加速，后匀速前行，最后减速停止。一只头狗Q在中间引领方向，其余六只狗对称地分布在头狗两侧。  图8 (1) 试说明狗拉雪橇时，为何要对称在头狗的两侧。 (2) 如果其中一头狗的力气较其他小，比如A狗，那么要保持雪橇仍按头狗方向，A狗应该靠向还是远离头狗的运动方向？试作图说明	题目解析：在本题中，学生首先根据实际情况判断出雪橇运动方向保持恒定才能稳定前行，所以狗对雪橇的合力应与头狗方向一致，由此推断出解决该题应该使用力的合成，此行为表明学生达到理解力的合成规律的物理意义。根据力的合成的物理性质可知，两个等大的力的合力沿两分力的角平分线方向。当每头狗的力气差不多大时，每两条狗对称分布在头狗两侧可以使合力方向基本沿头狗前进方向。如A狗和B狗。当A狗的力气较小时，为了使得A、B的合力沿头狗方向，B狗应该靠近头狗方向。如图9、10所示  图9　 图10
项目建议：实施类题目与执行类题目的不同之处在于，这些题目可能有多个对象、多个过程，还包含一些无关信息，需要学生根据概念规律的内涵选择合适的物理量再使用规则和公式。或者需要学生根据题干中的线索、问题中的待求分析出本题应该使用的物理概念和规律，再使用规则解决问题	

本文讨论可知，物理概念和规律“精深”教学，本质上是帮助学习者形成物理概念和规律的图式，习得层次上应达到“理解”内涵或“理解”内涵基础上的对规则的执行(“应用”层次的实施行为)。测试项目中应该包含学习者不熟悉的情境，学生只有表现出从实际情境中识别对象、具体物理过程或特定状态，从而推断可用物理概念或规律；从情境中选择出具体物理过程中可用物理量并正确执行，才是真正意义上习得物理概念和规律，而不是仅仅停留在对规则本身的理解和应用上。

参考文献

[1] 约翰·安德森. 认知心理学及其启示[M]. 秦裕林，等译. 北京：人民邮电出版社，2012：313.

[2] 吴庆麟. 认知教学心理学[M]. 上海：上海科学技术出版社，2000：67.

[3] 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，2008：62.

[4] 陈刚. 物理学习与教学论[M]. 上海：华东师范大学出版社，2019：270.

(上接第33页)

大单元内部的各知识点串联起来，以学生已有的知识经验为基石展开教学，培养学生的迁移能力，完善学生的认知结构。

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2020年修订)[S]. 北京：人民教育出版社，2020.

[2] 崔允漷. 如何开展指向学科核心素养的大单元设计[J]. 北京教育(普教版)，2019(02)：11　15.

[3] 董友军. “大单元教学”视角下中学物理概念教学设计与反思[J]. 物理教师，2024，45(01)：31　36.

[4] 任海锋. 创新物理演示实验的策略[J]. 物理通报，2023(08)：106　110.

[5] 刘炳昇，陈娴. 继承　创新　物理实验教育功能深层次开发的理论与实践[M]. 江苏：江苏凤凰科学技术出版社，2018.

中国知网　https://www.cnki.net