

# 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

陈刚 (华东师范大学教师教育学院 上海 200062)

吕婧 (厦门双十中学 福建 361100)

**摘要** 信息加工心理学提出陈述性知识的表征方式:命题网络和图式。个体对命题网络中各意义单元的不同操作形式,可以解释布卢姆教育目标分类学修订版提出的“理解”层次的七种外显行为以及相互间的联系。物理概念和规律图式指出,应区分“理解”物理概念和规律的内涵与“理解”物理概念和规律蕴含规则间行为的差异。内部表征方式与外显行为的联系为“学”的结果有效的“评”提供一致性的标准,可以避免测评中,将对概念和规律所含规则的测试,误以为是物理概念和规律内涵的测量。

**关键词** 物理概念和规律 布卢姆教育目标分类学修订版 理解层次 命题网络 图式

**文章编号** 1002-0748(2023)10-0002

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

“教-学-评一致性”是本轮课标修订提出的核心要求之一,它要求教师的教学、学生的学习、对学习结果的评价共同指向教学目标的实现。

每一次具体的教学,都包含有对学习而言新的学习内容,学习者也会经历内部的学习过程,学习后会形成一定的内部表征,学习的内部变化也会导致学习者表现出相应的外显行为。

“教-学-评一致性”的核心显然是学习的机制。“教”只有符合学习者内部学习机制才是有效的;对教学目标达成与否的“评”,显然也应该以学习后学习者内部表征与相应的外显行为为依据。

如果要做到对习得结果真实可靠的评价,那么具体学习活动后,学习者内部表征方式以及相应外显行为为何,就是应该予以清晰回答的问题。

## 1 问题缘起

对于物理概念和规律的学习,课程标准提出的目标,最常见的表述为“理解”,比如:

“2.1 机械能及其守恒定律”<sup>[1]</sup>,内容要求为:

① 理解功和功率。了解生产生活中常见机械的功率大小及其意义。

② 理解动能和动能定理。能用动能定理解释生产生活中的现象。

③ 理解重力势能,知道重力势能的变化与重力做功的关系。

④ 通过实验,验证机械能守恒定律。理解机械能守恒定律。

该单元四个学习目标,均表述为“理解”。但课标给出“理解”所对应的表现却各不相同,如“理解”功和功率,是“了解常见机械的功率大小和意义”;“理解”重力势能,是“知道重力势能的变化与重力做功的关系”。似乎都给出一些“理解”的指标,但好像又不全面。

对于动能定理的“理解”,与“理解”重力势能类似,如下描述应也可以:

“理解动能定理;能解释物理过程中对象的动能变化与外力做功之间满足的关系。”

或“理解动能定理;能自己举出(非教材中已有)符合动能定理的实例”也不能说不合理。

课程标准(2022年版义务教育物理课程标准及2017年版普通高中物理课程标准)均未给出“理解”层次对应的行为表现。

对“理解”表现的不同认知,容易演化成各说各话、各自有理的状态,无法形成在同一标准下正常的研讨环境。

布卢姆教育目标分类学修订版(以下简称修订版)是国际上有一定影响力的教育测量理论。修订版按知识的类型和习得层次两个维度描述具体学习的目标。物理概念和规律属于知识类型中的概念性知识。概念性知识的习得,除了逐字逐句地记住内

容——“识记”层次,还有“理解”“应用”两个基本层次。其中,“理解”是教育目标中最大的一个类目<sup>[2]</sup>。关于理解,修订版给出如下描述:“学生的理解出现在他们将要学习的‘新’知识建立联系时,更具体地说,是输入的知识被整合进原有图式的认知框架中的时候”,并提出“理解”层次的七种行为表现,解释、举例、分类、推论、说明、比较和概要<sup>[2]</sup>。

**问题 1:**“理解”层次有七种行为表现。既然是同一层次,行为间有什么本质联系? 不同之处又在何处?

**问题 2:**“理解”物理概念和规律,其标准如何确定?

认知心理学是研究学习者内部学习机制的科学。信息加工心理学依据内部表征方式的不同,将个体习得的知识分为两类:陈述性知识和程序性知识。陈述性知识的内部表征方式为:命题与命题网络(proposition network)、图式(schema)。理解层次的行为表现主要是“能说”,如解释、举例、比较、区分等行为都能够以言语表述的方式实现。

本文将以物理概念和规律最基本习得层次“理解”为例,阐述其内部表征与外显行为间的联系,为“理解”层次的有效评价提供参考。

## 2 命题网络表征及其相应外显行为

### 2.1 命题与命题网络

#### (1) 命题

信息加工心理学提出,个体知识习得的内部表征方式是命题与命题网络。信息是事物现象及其属性标识的集合。一个信息单位就是对个体而言的一个有意义单元,认知心理学用命题来表示。命题表征的一个例子如图 1 所示,命题一般由论题和关系项组成,如本例中“小明”和“书”是论题,“买”是关系项。

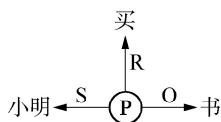


图 1 命题表征样例

#### (2) 命题网络

如果两个或两个以上的命题有共同成分或关系项,这些命题就可通过这些共同成分联系起来形成网状结构,即命题网络。

**案例:**牛顿第二定律物理性质的命题网络。

牛顿第二定律物理性质:物体加速度的大小跟作用力成正比,跟物体的质量成反比。

经过学习后,学习者内部出现命题网络的表征方式,如图 2 所示。

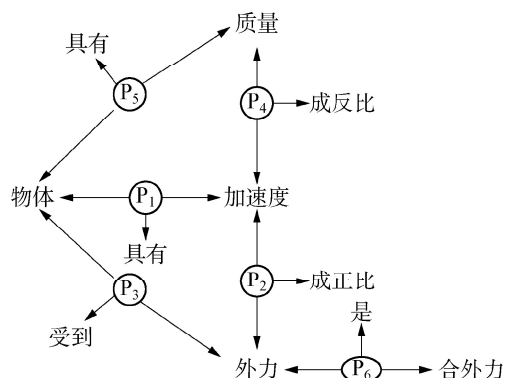


图 2 牛顿第二定律物理性质的命题网络

### 2.2 “理解”层次外显行为的实质

前述提及修订版关于“理解”层次有七种行为表现,接下来以“牛顿第二定律的物理性质”为例说明“理解”层次外显行为间的一致性。(本文下述的测试项目均为学生第一次面对时表现出的行为)

#### (1) 解释行为

**测试项目 1** 试陈述牛顿第二定律的物理性质。

如果学习者内部出现如图 2 所示命题网络表征,学习者就可以表现出如下陈述的行为。

**回答:**有一个物体;(该物体)具有一定质量;其受到一定外力;该物体会做加速运动;该物体加速运动有加速度;该物体的加速度大小与其所受外力成正比;该物体的加速度大小与其质量成反比。

**评析** 学习者表现出从对象、物理过程或特定状态、所涉物理量以及物理量间因果关系等,以相互关联的方式一个意义单元、一个意义单元地陈述学习内容的行为,而不是表现出逐字逐句陈述原文的行为(即以“对教学中呈现的材料基本相同的形式保持和提取”<sup>[2]</sup>的行为)。后一种行为是个体机械学习后表现出的“识记”层次的行为。

个体表现出“以一个意义单元与一个意义单元相关联的方式有序陈述学习内容”,即能组织自己的语言陈述所学的内容。此种外显行为是学习者将学习内容的原文呈现方式,用另一种词语形式表示出来,在修订版中,此为“理解”层次中的解释——“学生能够将信息从一种表征形式转化为另一种表征形式时,解释就产生了。解释可能涉及到从词语到词语(如释义)、图像到词语、词语到图画等多种转换”<sup>[2]</sup>的释义行为。

#### (2) 举例行为

**测试项目 2** 试举出生活中可用牛顿第二定律解释的现象。

**回答:**在篮球场上,我接到同学沿水平方向传递

过来的篮球,如果都在很短时间内将球停在手中(也就是篮球速度降为零),接球速快的篮球,速度降为零的过程中,篮球加速度比较大,所以,接球所用的力也要大些。接速度慢的篮球,其速度降为零的过程中,篮球加速度相对较小,所用的力要小些。

**评析** 个体的行为就是将图 2 命题网络中对象、过程、因果联系等意义单元在此情景下按照对象、物理过程、物理量间满足的关系等依次具体化的过程,外显表现出的行为就是“举例”行为。

显然,如果个体能表现出解释性行为,也就有可能根据相应意义单元所蕴含的属性,举出或识别出符合所学物理概念和规律的事例,即“理解”层次中的举例。举例的替代用语是“例示、具体化”<sup>[2]</sup>。

### (3) 分类行为

**测试项目 3** 一个质量为  $m$  的男孩和一个比男孩轻 10 kg 的女孩,在没有阻力的冰面上用一根质量可以忽略的轻绳做拔河游戏,若男孩所用的力大小为  $F$ ,则两个小朋友的加速度可以如何表示?

**回答:**两个小朋友在冰面上拔河,两人相向运动,男孩用力大小为  $F$ ,也就是两个小朋友的所受力均为  $F$ ,男孩的加速度为  $F/m$ ,女孩的加速度为  $F/(m-10)$ 。

**评析** 本例中,个体表现出将“属于男孩的加速度、受力等信息,与女孩的受力、加速度等信息区分开,并分别对应于各自的物理过程或状态中”的行为。将属于和不属于具体物理对象和过程的关系区分开,即是理解层次中的“分类”行为。显然“分类”行为的前提需要个体可以将具体对象的物理量与其相应的物理过程联系起来,此行为也就是“举例”的行为。故理解物理性质层次中“分类”,前提是“举例”行为。

### (4) 说明行为

**测试项目 4** 李明为了赶时间,从地上快速拎起一个装满水果的食品袋就出门,食品袋在被提起的过程中拎攀断了,试用物理知识说明拎攀断裂的原因。

**回答:**拎攀断了,说明拎攀受力大于其所能承受之力。快速提起说明速度变化快,也就是加速度大,根据因果关系意义单元——加速度与受力成正比。由此给出原因,在此过程中,装满水果的食品袋加速度大,其受力就大。

**评析** 如果个体能表现出解释性行为,也可以根据描述因果关系的意义单元,对给定事例提供理由,即为“理解”层次中的说明。“评估学生的说明能力,包括推理任务,要求学生为给定的事件提供理

由”<sup>[2]</sup>。同样,说明行为也需要个体可以将具体对象的物理量与其相应的物理过程联系起来,故理解物理性质层次中“说明”,前提是“举例”行为。

### (5) 推断行为

**测试项目 5** 高空跳伞运动员以张着翅膀的鹰的姿势匀速下落,运动员保持上述姿势打开降落伞,至完全打开降落伞的那一刻。在打开降落伞后的一段时间内,运动员的加速度会有什么样的变化?

**回答:**原先匀速,加速度为零,说明重力等于空气阻力;当降落伞打开过程中,降落伞引起的阻力  $f$  增大,根据加速度与受力有关的意义单元,向上加速度随  $f$  增加而增加;降落伞完全张开,降落伞引起的阻力达到最大  $f_m$ ,运动员向上的加速度也达到最大。

**评析** 如果个体能表现出解释性行为,也可以根据描述定性或定量关系的意义单元,对研究对象在特定物理过程中相应的变化趋势作出判断,即为“理解”层次中的推论。推论是对具体对象,依据其在某一物理过程中存在因果关系物理量间变化关系做出的,因此,个体表现出推断行为,前提还是“举例”行为。

### (6) 比较行为

**测试项目 6** 牛顿第二定律中有加速度  $a = F/m$ ; ①在运动学中也有  $a = (v_2 - v_1)/t$ 。②这两者之间有何联系和不同。

**回答:**对于同一个研究对象,其加速度是由它受到的合外力与质量决定的。当合外力恒定时,该物体后续速度的变化就满足②式,也就是受恒定合外力的对象,其加速度可根据单位时间内速度变化量来确定。

**评析** 如果个体能表现出解释性行为,也可以有依据地陈述所学概念和规律意义单元与其他相近概念和规律的意义单元之间的异同,即为“理解”层次中的比较。

### (7) 概要行为

从呈现的信息中抽象出一个概括的主题。概要的替代说法主要有概括和抽象。这一“理解”的行为在文科中应用比较多。

## 2.3 “理解”层次外显行为间的一致性

“理解”物理概念和规律的物理性质,其内部表征方式是形成物理性质完整的命题网络(即以意义单元相联系的方式存储)。

与命题网络相对应的最基本的外显行为——解释行为,也就是学习者可以对外表现出以一个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的行为。

如果学习者能表现出对物理概念和规律的物理性质的“解释”行为,也就意味着学习者,具有很大的可能:

① 从具体情境中,识别出与命题网络中对象、因果关系等意义单元相一致的信息,确定情景中满足物理性质的对象及关系——物理性质的“举例”行为;

② 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——物理性质的“分类”行为。

③ 在适用对象、因果关系的物理过程(情景)中,根据因果关系做出该情景中“因”“果”的陈述——物理性质的“说明”行为;

④ 在适用对象、因果关系的物理过程(情景)中,根据因果关系做出变化趋势的陈述——物理性质的“推断”行为;

⑤ 在对象、物理过程或特定状态、所涉物理量、物理量间的关系等几方面,陈述不同的物理概念和规律间的异同——物理性质的“比较”行为。

也就是说,“理解”层次上各行为之间实际上是相通的,无论是解释、举例,抑或是说明,其操作的对象都是所学物理概念和规律的命题网络表征中相应的意义单元。

解释行为是“理解”层次最基本的行为。

体现个体对所学物理概念和规律达到“理解”层次比较直接的行为是举出自己的例子,举例行为是

分类、推断、说明等行为的基础。举例行为不是给出例子的情景(如只是陈述“在传递篮球中可用牛顿第二定律解释”),而是能在具体情景中将对象、过程中的物理量以及物理量间的关系有序呈现,如测试项目 2 中学生表现出的行为。

以上是对问题 1 的回答。

### 3 概念图式表征及其外显行为

#### 3.1 概念图式

概念图式是对一类范畴的对象,所形成整体结构的表征。图式就像是围绕某个主题组织起来的认知框架,它是一些观念及其关系的集合<sup>[3]</sup>,是对某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。有学者将图式视为陈述性知识的综合表征形式<sup>[4]</sup>,强调围绕某一主题的各种表征形式的综合。

#### 3.2 物理概念和规律图式

经过一定量的物理概念和规律学习后,当学生学习一个新的物理概念和规律时,往往也会从概念或规律建立的必要性(物理意义),对象、对象待研究属性、待研究属性与其他概念间的关系(物理性质),概念和规律的表达式等几个方面去认知。也可以说,学习者内部出现对物理概念或规律这类范畴对象的结构化内部表征方式,即物理概念和规律的图式。

如学习牛顿第二定律后,推测其内部表征方式如图 3 所示。

因此,图式本质上还是命题网络表征方式,只不过这种命题网络具有了一类范畴对象特有的结构特征。

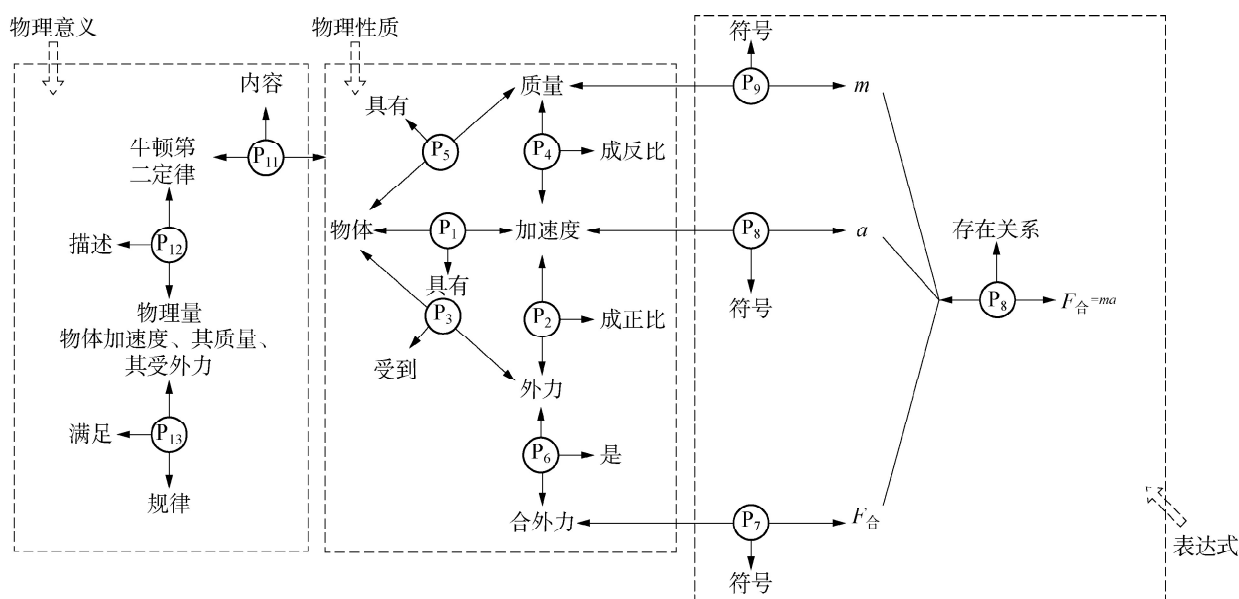


图 3 牛顿第二定律图式构成

我们可以用表格作为这种命题网络结构的外显呈现方式(注:不意味着学习者内部表征方式是表格)。

对于牛顿第二定律,其学习后的图式结构可用表 1 表示。

表 1 牛顿第二定律的图式结构

物理意义		描述物体(视为质点)加速度与受力、质量之间的定量关系	
		对象:一定质量的物体; 状态或过程:物体受到外力;物体速度变化有快慢	
物理性质	存在规律	定性	物体的加速度与物体受力有关,与物体质量有关
		定量	质量相同时,物体速度变化快慢(加速度)与物体所受合力成正比;受力相同时,物体速度变化快慢(加速度)与物体质量成反比
		特点	矢量性、瞬时性、因果性
定义		物体的加速度与所受作用力成正比,与物体的质量成反比	
数学表达式		$F = ma$	

### 3.3 物理概念图式对应的外显行为

前述介绍了牛顿第二定律的物理性质的“理解”。

同样,对于牛顿第二定律的物理意义及数学表达式的学习,同样可以达到“理解”层次,表现出:解释、举例、分类、说明、推断等行为。

#### 3.3.1 牛顿第二定律物理意义的“理解”

**测试项目 7** 以下情景中,可以直接用牛顿第二定律解释的现象为( )。

① 标枪选手将标枪掷出后,标枪通常在空中划出美丽的抛物线。

② 当人们用湿手握玻璃杯喝水时,通常要比用干燥的手更大的力握住玻璃杯。

③ 通常飞机着陆时速度都比较大,落地后需要滑行很长时间,航母上利用阻拦索将高速着陆的飞机在短时间内拉停。

④ 当人们用麦管喝纸盒包装的牛奶时,如果一口气,感到越到后,需要用更大的力“吸”,才能喝到牛奶。

**解决过程:**①中,标枪轨迹为抛物线(不能识别出情景中物体受力以及加速度等的变化),故不能用牛顿第二定律直接解释。

③中,飞机着陆时在一段时间内从高速度到滑停速度为零,存在加速度,也会受到接触面的阻力;舰载机受阻拦索作用(增大阻力)在更短时间内停止。情景中可以识别出加速度有大小,情境中受力有大小(速度变化快,用力大),可以用牛顿第二定律解释。

**内在机制:**学习者需要从文字表述的情景中识别出对个体而言的一个个意义单元,并与认知结构

中相关命题网络匹配,从情境中能辨析出对象、对象受力、对象加速度等物理量,即可做出判断此情境中现象可用牛顿第二定律解释。

**行为:**将可以用牛顿第二定律解释的情景和不能用牛顿第二定律直接解释的情景区分开,也就是“分类”行为,属于“理解”牛顿第二定律的物理意义。

#### 3.3.2 数学表达式的理解

数学表达式主要用数学语言反映物理量间的定量关系,所以,本质上就是物理性质。

**测试项目 8** 请解释牛顿第二定律的数学表达式。

A 同学回答:  $F = ma$ 。

**行为表现:**学习者只能按与原文相同的方式陈述牛顿第二定律的数学表达式。此为牛顿第二定律数学表达式的“识记”层次。

B 同学回答:  $F = ma$ ,  $F$  是力,  $m$  是质量,  $a$  是加速度,三个量之间关系满足:力等于质量乘以加速度。

**行为表现:**学习者能陈述牛顿第二定律数学表达式中各物理量,以及各物理量间满足的加、减、乘、除等规则,但没有与具体物理对象、物理过程或状态联系起来。此为牛顿第二定律物理性质蕴含规则的“理解”层次。

C 学生说:  $F = ma$ ,  $F$  是物体所受的合外力,  $m$  是该物体的质量,  $a$  是该物体在受力  $F$  时的加速度。比如,当我用力拉一个小朋友向前跑时,若小朋友的加速度为  $1.5 \text{ m/s}^2$ ,小朋友的质量为  $40 \text{ kg}$ ,那么可以用  $40 \text{ kg} \times 1.5 \text{ m/s}^2$  表示我拉小朋友的力。

**行为表现:**学习者能陈述牛顿第二定律数学表达式中各物理量,并将与物理量对应的对象和物理过程等联系起来,还能举出自己的例子。表明个体“理解牛顿第二定律的数学表达式”,本质上也就是理解牛顿第二定律的物理性质。

显然,A 同学和 B 同学所表现出的行为,并不是“牛顿第二定律”的教学目标。

## 4 物理概念和规律的“理解”

### 4.1 物理概念和规律的“理解”

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

等方面依次解释其性质本身所含各意义单元。

③ 理解物理概念和规律性质建立的过程(知其所以然)。学习者能解释性质(定性、定量关系)形成的依据。

④ 理解物理概念和规律的数学表达式。(如前述测试项目 8 中 C 同学的回答,其实质就是理解物理概念和规律的物理性质)

个体表现出上述行为,可以称为个体“理解”物理概念和规律的内涵。

⑤ 理解物理概念和规律的物理性质所蕴含的规则。学习者可以正确陈述数学表达式中的符号代表的对象,以及各符号间满足的加、减、乘、除间的关系。

以上是对问题 2 的回答。

#### 4.2 拓展讨论

##### (1) “理解”一词的对象应明确

提及“理解”这一内部表述的词语,应与具体内容相联系,如我们讨论的是“理解”具体物理概念的物理意义,还是“理解”具体物理概念和规律的物理性质,抑或是“理解”具体物理概念和规律的内涵,或者只是“理解”物理概念和规律蕴含的规则。只有“理解”的对象清晰了,我们才能依据学习者表现出的外显行为,推断学习者是否达到对该学习内容的“理解”。如此一来,讨论就可以有一致性的标准。

(2) 同一动词描述的行为对应的习得层次可能不同

同样的行为动词,学习者经历的内部过程不同,所反映的学习结果不同,学习层次不同,不能仅通过行为动词来确定学习结果的习得层次。

**测试项目 9** 水平面上物体受力  $F$  沿直线运动,当物体加速度增大时,其所受力  $F$  是如何变化的?

学习者解决此问题所表现出的同样是推断行为,与测试项目 5 中的推断行为相比,基本无需学生

(上接第 16 页)

化成点迹坐标进行线性拟合从而求加速度的方法,希望能为一线教师进行测定匀变速直线运动加速度的实验教学提供参考。

#### 参考文献

- [1] 卢炜杰,吴先球,王笑君. 三种实验数据处理方法的误差分析和教学探讨[J]. 物理教学, 2013(12): 22—23.
- [2] 孙殿平,戴放文,景培书. 关于纸带测加速度数据处理方法的几个问题[J]. 物理教学, 2014(9): 27—29.
- [3] 何述平. 图像法处理打点纸带的研究[J]. 物理教师, 2013(1): 57—60, 62.

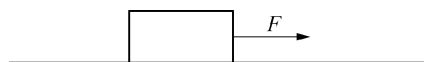


图 4

经历辨析对象、分类不同过程中对象加速度、受力等信息的过程,可直接依据所具有的规则作出推断。测试项目 5 的解决是在“理解”牛顿第二定律物理性质所表现出的行为;测试项目 9 的解决是在“理解”牛顿第二定律蕴含规则所表现出的行为。

## 5 结 语

学习者外显行为的变化理应与内部表征的变化息息相关。“人类的头脑能以不同的方式来表征信息,而表征的方式则决定了它对行为的影响”<sup>[5]</sup>。本文以物理概念和规律的学习为对象,依据命题网络、图式等内部表征方式解释修订版中“理解”各层次行为间的内在联系和区别。我们认为,在教学实践中要注意区分“理解”概念和规律的内涵和“理解”概念和规律蕴含规则的行为间的差异。只有这样才能避免在学业测试中用“理解”规则类测试项目来检测“理解”内涵目标是否达成的误区,真正做到学业测评中“标准”准确的参照考试。

#### 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: 14.
- [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: 62, 61, 63—67.
- [3] 皮连生. 学与教的心理学[M]. 上海:华东师范大学出版社, 2003: 137.
- [4] 吴庆麟. 认知教学心理学[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2000: 67.
- [5] 托马斯·费兹科,等. 教育心理学[M]. 吴庆麟,等译. 上海:上海教育出版社, 2008: 67.
- [4] 陈熙谋,吴祖仁. 物理(必修第一册)[M]. 北京:教育科学出版社, 2016.
- [5] 彭前程,黄恕伯. 普通高中教科书·物理(必修 1)[M]. 北京:人民教育出版社, 2019.
- [6] 廖伯琴. 物理(必修第一册)[M]. 济南:山东科学技术出版社, 2019.
- [7] 杨晓宇. 剪纸法得到的是  $v-t$  图象吗[J]. 物理教学, 2020(5): 29—30.
- [8] 汪向阳. 剪纸法测加速度的原理分析与教学设计探析[J]. 中学物理教学参考, 2021(34): 44—46.
- [9] 陈熙谋,吴祖仁. 物理(必修第二册)[M]. 北京:教育科学出版社, 2005.