

# 物理概念图式进阶的理论探讨\*

郑朝阳

(中国人民大学附属中学朝阳学校 北京 100028)

(收稿日期:2020-09-08)



**摘要:**把物理图式和学习进阶理论结合起来,从图式本体、学习进阶的本质、物理图式的形成过程和结构等方面讨论了它们之间的联系,认为学习者头脑中的物理概念和规律的学习进阶实质上是物理图式的进阶过程。在此基础上,利用郭玉英教授和 Knut Neumann 等的研究成果,提出了“物理概念图式进阶的层级模型”和“物理概念图式学习进阶教学的分析框架”,旨在有利于教学实践中参考应用。

**关键词:**物理概念 物理图式 图式进阶

近几年来,学习进阶理论已经深入到教育理论研究和实践研究中,认知心理科学的发展也有效地推动了教育科学研究和教育实践,其中的认知图式理论也给教育理论和实践研究提供了新的视角。物理图式和学习进阶从不同视角对物理学习过程进行了研究和解释。在对物理学习进阶过程的进一步研究中,本研究发现物理图式和学习进阶之间存在着密切联系。

## 1 物理图式

根据图式理论,本文把物理图式定义为:物理图式是对即将呈现的有关信息刺激形成某种预期,进而引导相应物理知觉过程的积极的认知结构,包括物理表象图式、物理概念图式、物理规律图式、物理问题图式和物理实验图式等。

物理表象图式是认知者以表象形式储存的事实或现象及其之间关联的认知结构。物理概念图式是认知者对物理概念相关的文字、图像、表象、声音、关系、程序、规则、操作等信息及其相互关联构成的整体认知结构。物理规律图式是认知者对物理规律相关的文字、图像、表象、声音、关系、程序、规则、操作等信息及其相互关联构成的整体认知结构。物理问

题图式由物理概念图式、规律图式、表象图式、程序性知识、元认知知识、问题特征信息等按照问题主题有机构成的整体认知结构。

物理实验图式是由物理表象图式、物理概念图式、规律图式、物理仪器图式和操作图式等构成的认知结构。

目前物理教育研究领域中的“概念”是广义的概念,它包括了以往的概念和规律。本文借用这个广义的“概念”统称以往的概念和规律,因而“物理概念图式”代表物理概念和规律图式。

## 2 物理图式与学习进阶的关系

### 2.1 从图式本体和学习进阶的本质看学习进阶

图式是人脑中的认知结构,其中包含有显性成分和隐性成分。图式能够对即将呈现的刺激形成某种预期,也能够积极引导相应认知活动。根据图式理论,认知发展的过程是个体与环境持续发生相互作用的过程。由于环境的多样性和复杂性,环境给人脑的刺激不是单一的,而是多方面信息刺激构成的集合体。这使得个体的多种感官参与了多方面的认知活动,从而形成各种知识和技能紧密联系的认知结构网络——认知图式。

\* 北京市教育科学“十三五”规划课题“基于物理图式和学习进阶理论的高中物理概念和规律教学实践研究”的阶段成果,课题立项编号:CDDDB16156

在分析个体认知成分的过程中,可以把图式中能够外显的知识分为陈述性知识、程序性知识和元认知技能等成分.这些外显成分是对认知图式进行分解后得到的分析形式,它们是认知图式的组成部分.还原个体图式的分析形式,得到人脑内部的部分知识和技能存在方式——认知图式的显性部分.由于图式的隐性部分无法外显,只能通过其表现说明隐性部分的存在.

因此,个体知识技能在人脑中存在的形式或个体知识技能的本体是认知图式,简称图式.根据神经科学的研究成果,可以认为图式的物质载体是神经元之间的网络连接关系.

个体的学习过程是在脑中建构认知图式的过程,因而学习进阶的本质是认知图式的进阶.

## 2.2 从物理图式的形成过程和结构看学习进阶

个体脑中的物理图式包括物理表象图式、概念图式、规律图式、实验图式和问题图式等.这些图式都是在生活和学习过程中,通过动手和动脑的实践活动逐步形成,例如实验室实验、生活中物理现象的观察、课堂学习和课后学习等.每一种类型的图式形成过程有其特殊性,相互之间也有着各种联系.每一种物理图式不断丰富和完善的过程其实质也就是学习者物理图式不断进阶的过程.

就比较而言,相对于其他物理图式,物理问题图式是最复杂的物理图式,其他物理图式是问题图式的基础和组成部分.在解决问题的过程中,通过利用其他物理图式、问题情境等,逐渐对相应类型问题解决的图式不断丰富和完善,从而实现问题图式的不断进阶.

研究者们发现,专家头脑中的知识技能具有良好的认知结构,是按照层级结构组织起来的图式系统.专家的问题图式按照陈述性知识的层级结构来组织,是一些中等抽象水平的问题图式组成的图式系统.图式系统中最低端的问题图式与问题类型情境等具体细节知识相连,从而提高图式的针对性,便于激活来解决问题.

图式向上依次构成不同层级结构和抽象水平的

图式,因而从非常详细的具体问题图式到高度抽象水平问题图式共同构成了一个完整、庞大、精细的问题图式体系.正是专家的这种精细问题图式促使专家能够快速有效地解决问题.新手需要从局部图式的一致性,逐步达到图式系统的一致性和自恰,才能够从新手变成问题解决专家.

因为新手变成专家的过程是通过不断学习,使图式不断进阶,最终达到专家的精细化图式的过程,所以,物理图式结构深化和优化的过程就是物理图式的进阶过程.

在研究相应的物理问题的过程中,除了以上物理学习领域的专家形成了相应的精细化的物理问题图式外,在物理学研究领域,物理学家们也逐渐积累形成了研究物理问题的精细化图式.这些图式都极大促进了物理学家们对物理问题的研究,有力地促进了人类对物理现象的认知,从而推动物理学的发展.

## 3 物理概念图式进阶的理论探讨

学习者头脑中的概念和规律的学习进阶实质上是对应图式的进阶.在学习者物理概念图式进阶的过程中,不是单一某个知识和技能的进阶,而是相应认知网络结构及其技能的生态性的进阶.因此,我们需要用图式的观点来看待整个学习进阶过程.

基于此,利用物理概念图式进阶的教学设计,可以丰富教学设计的内容,也会更加接近于学生真实的认知过程.通过细化物理概念的进阶过程,本文得出了“物理概念进阶的层级模型”和“物理概念图式学习进阶过程的分析框架”.

### 3.1 物理概念图式进阶的层级模型

郭玉英教授(2016)认为,学习进阶的起点是学生的前认知,终点是期望达到的教学目标,学生的学习进阶过程要经历从起点到终点的一系列中间发展阶段.Knut Neumann等(2013)提出了科学概念理解发展的层级.根据这两位研究者的观点,结合物理图式理论,本文提出“物理概念图式进阶的层级模型”,如表1所示.

表1 物理概念图式进阶的层级模型

概念层级	概念理解层级描述	图式层级描述	层级行为表现期望描述	图式获取途径
1. 事实经验 Experience	学生具有尚未相互关联的日常经验和零散事实	碎片化的表象等及其简单联系构成的简单图式	能够基于需要提取已有的相关事实和经历	通过动手动脑的经验或实验得到
2. 映射 Mapping	学生能建构事物的具体特征与抽象术语之间的映射关系(事实经验上升到科学概念)	基于碎片化的事实经验和概念建构新的概念,形成概念图式	能够说出物理概念的物理意义;能够依据物理概念对物理事实经验分类或辨别现象和特征的异同	利用事实经验直接激活相关图式,并经历概念的建构过程
3. 关联 Relation	学生能建构抽象术语和事物数个可观测的具体特征间的关系(概念之间构成本质的定性和定量联系)	事物多个具体特征与多个概念间建立定性及定量的逻辑关系——局部概念系统图式	能够基于物理事实或经验进行推理判断;能说出物理概念之间的定性与定量关系;能够解决局部多个物理量有关的问题	利用事实经验和逻辑,经历动手和动脑的练习过程,建立概念之间的本质联系
4. 系统 System	学生能从系统层面上协调多要素结构中各变量的自变与共变关系(多个概念间构成的定性和定量联系)	同学科同领域中多个概念之间构成定性及定量逻辑关系——领域概念系统图式	能够说出同学科同领域中不同概念之间的定性与定量的逻辑联系;能够借助数学关系、图像等工具来解决或解释相关现象	反思同一领域多个概念之间的关系和意义,并利用思维导图、概念图等促进形成
5. 整合 Integration	学生能由核心概念统整对某一科学观念的理解(例如物质观念、能量观念等),并建构科学观念间和跨学科概念(例如系统、尺度等)之间的联系	同一学科不同领域间的概念形成层级分明的学科系统图式;不同学科概念图式间形成跨学科概念系统图式	能够说明同一学科核心概念与其他概念的关系、意义和价值;能够说明跨学科概念之间的关系;能够说出概念形成过程的研究思想和方法等	反思概念建立过程、目的和意义,利用思维导图、概念图和具体应用等,形成以核心概念为中心的概念规律图式系统

### 3.2 物理概念图式学习进阶教学的分析框架

根据以上物理概念图式进阶的层级模型,结合外显的物理图式构成成分和促进图式形成的途径等,本文从概念图式、模型、逻辑、方法、元认知、思维

导图、概念图7个方面提出了物理概念图式学习进阶的分析框架,如表2所示,以便使物理概念图式进阶的教学设计具有可操作性。

表2 物理概念图式学习进阶过程的分析框架

进阶层级	初始图式	可能的中间图式	目标图式	获取途径	检测途径
概念图式进阶层级	碎片化前认知构成的简单图式	事实经验与科学概念间的直觉联系构成不稳定的新图式。 事物具体特征与科学术语建立本质的定性关系,形成新的定性的概念图式	事物抽象特征之间构成本质定性和定量关系,形成局部系统的概念图式。 同一学科概念之间整合为有层级的系统图式。 不同学科概念间图式整合,形成跨学科系统图式	利用事实经验、建模、归纳、推理判断等参与概念建立过程,利用反思总结、概念图、思维导图、变式练习	前后测、观察、访谈、各种考试等

续表 2

进阶层级	初始图式	可能的中间图式	目标图式	获取途径	检测途径
模型进阶层级	真实物理情景和有关的基础模型	建模过程的具体简化观念和条件等,或利用基础性模型再构	理解建模过程,并能说出建模的思想方法.使用条件和范围,能应用此模型解决问题	参与概念规律的建立过程,并反思讨论	前后测、访谈、观察、各种考试等
概念进阶的逻辑层级	前认知概念建立中形成的一些物理思想、观念、信念	探究物理概念过程中使用的具体思想观念等,例如建模思想、哲学信念	理解并能够用语言和科学术语描述或陈述概念建立过程中的思想观念及其作用和价值,能够陈述概念的物理意义	参与并反思概念建立过程的思想观念、变式练习等	前后测、访谈、观察、各种考试等
方法进阶层级	建构前认知概念中的一些方法	建模方法、比例、类比、归纳、演绎等	概念建立过程采用的一些方法及其作用	概念建立过程方法反思讨论,变式练习	前后测、访谈、观察、各种考试等
元认知进阶层级	前认知中与概念建立有关的具体元认知技能	概念建立过程中的条件和使用范围的讨论,概念中每个物理量含义和单位讨论	能够说出概念的使用条件和范围,以及使用过程中的注意事项	概念建立过程的条件和范围讨论,对应变式练习	前后测、访谈、观察、各种考试等
思维导图进阶层级	碎片化的概念关系	概念建立的思路、步骤、观念、方法、逻辑关系	按概念建立的逻辑思维路径画出思维导图	通过概念建立的归纳总结和思维导图样例练习	画对应概念的建立过程思维导图
概念图进阶层级	概念之间的零散关系	概念建立的观念、逻辑思路、步骤方法等构成的思维导图	有逻辑地画出所属内容的概念图	通过概念建立过程归纳总结和概念图样例练习	画对应的概念建立过程的概念图

以上分析框架试图将图式进阶的理论和实际教学相融合,旨在细化物理图式进阶过程的特征,使其能够融入实际教学设计的过程中,增强了图式进阶教学设计的可操作性,使抽象的图式进阶观点转化为具有指导教学设计的具体建议。

### 参考文献

- 1 Knut Neumann. Towards a Learning Progression of Energy[J]. Journal of research in science teaching, 2013(2):162 ~ 188
- 2 郭玉英. 整合与发展——科学课程中概念体系的建构及其学习进阶[J]. 课程·教材·教法, 2013(2):44 ~ 49
- 3 姚建欣, 郭玉英. 为学生认知发展建模:学习进阶十年研究回顾及展望[J]. 教育学报, 2014, 10(5):35 ~ 42
- 4 王磊. 科学教育的新兴研究领域:学习进阶研究[J]. 课程·

- 教材·教法, 2014(1):112 ~ 118
- 5 陈小红. 基于学习进阶的物理概念教学研究[D]. 重庆:西南大学, 2015
- 6 皇甫倩, 常珊珊, 王后雄. 美国学习进阶的研究进展及启示[J]. 外国中小学教育, 2015(8):53 ~ 59, 52
- 7 范增. 我国高中物理核心概念及其进阶研究[D]. 重庆:西南大学, 2013
- 8 英温·哈伦. 科学教育的原则和大概概念[M]. 韦钰译. 北京:科学普及出版社, 2011. 9
- 9 郑朝阳. 影响物理问题解决的认知因素研究[D]. 北京:北京师范大学, 2010. 6
- 10 邓铸. 问题解决的表征态理论与实证研究——高中生物问题解决的认知机制[D]. 南京:南京师范大学, 2002
- 11 王志鹏. 高中物理力学核心概念学习进阶研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2014