

高中阶段物理建模问题的 深入剖析与教学建议

李维峰 林云强 姚华鑫

【摘要】基于国内外的科学建模研究现状与背景,分析现阶段中学物理建模教学存在的问题与成因,追溯物理建模的本源、剖析建模教学的本质,指出物理建模教学中常见的错误与容易混淆的认识,为循序渐进地将建模教学渗透至物理课堂之中,提出合理化的教学建议。

【关键词】物理建模;建模教学;问题与成因;教学建议;建模能力

一、国际与国内的建模研究背景与现状

(一) 国际物理建模教学的概述

科学建模教学起源于 20 世纪 80 年代美国教育学家 David Hestenes 与几位同侪提出的理念。从“以模型为中心的教学”(Model - based Teaching)到“以建模为中心的教学”(Modeling - based Teaching),相关研究使得理论与实践不断完善。鉴于其对学生的知识学习与创造性思维培养的促进作用,逐渐在科学教育与科学研究领域确立了科学建模的重要地位。

在国际范围内,建模教学模式的发展主要经历了三个主要阶段。第一阶段,Hestenes 在《中学物理的建模方法》一书中,与 Wells 共同提出了“建模循环”的教学理论,该理论将建模教学分为模型发展和模型部署两个阶段,向世人展现出一个与传统教学模式完全不同的教育景象。第二阶段,Schwarz 在 Hestenes 的基础上将建模能力根据知识与技能划分为建模实践能力和元知识两部分。于此,Schwarz 成为第一个将元知识纳入建模能力的人。元知识是指学生对模型本质、建模的意义以及建模过程的自我评价。第三阶段,Halloun 将建模过程划分为五个环节,即为模型的选择、模型的建立、模型的验证、模型的分析 and 模型的部署,使得模型建构教学过程理论进一步完善与发展。

(二) 我国物理课程标准对物理建模教学的要求变化

我国于 1996 年颁布的《全日制普通高级中学物理教学大纲(供试验用)》中首次提到了物理模型,要求教师“通过概念的形成、规律的得出、模型的建立、知识的运用等,培养学生抽象和概括、分析和综合、推理和判断等思维能力以及科学的语言表达能

力”,对于实际生活中具体问题,要求学生能运用所学的物理概念、规律和模型等知识进行具体分析。2003 年,《普通高中物理课程标准(实验)》要求学生“认识物理实验、物理模型和数学工具在物理学发展过程中的作用”,但并未明确指出学生应达到什么程度的建模水平。《普通高中物理课程标准(2017 年版)》(以下简称“2017 版课标”)将模型建构作为科学思维素养的关键要素之一,并对不同水平的建模能力表现进行了五个水平层级的划分及相应描述,如表 1 所示。

表 1 新课标对建模水平的划分

水平划分	水平描述	水平要求
水平 1	能说出一些简单的物理模型	知识性
水平 2	能在熟悉的问题情境中应用常见的物理模型	低应用性
水平 3	能在熟悉的问题情境中根据需要恰当选用物理模型解决简单物理问题	高应用性
水平 4	能将实际问题中的对象和过程转换为物理模型	低转化性
水平 5	能将复杂的实际问题中的对象和过程转换成物理模型	高转化性

据此分析,我国中学课程标准对物理模型的要求逐步明确和深入,物理模型与建模教学逐渐走进大众视野,成为中学物理教育教研的热点话题。一些学者和教师开始意识到物理模型和建模的重要性,聚焦教学方法和评价方式这两方面进行了初步探索与实践。

二、建模教学实施的困境与原因分析

(一) 物理建模教学存在的问题

通过对中等教育物理领域的相关文献资料进行深入研究,笔者归纳了当前中学物理建模教学中存在的问题。

(1) 不能有效挖掘物理模型并落实建模教学

许多理论和规律的发现都是从建立物理模型开始的,模型和建模对于物理学的发展始终发挥着重要的作用。反观当下的中学课堂,许多学生了解并记住了物理概念和规律,却不清楚其中包含的物理模型;学生按照课本和教师的指示进行实验探究,虽然得到了物理规律和结论,却不清楚自己在建构何种物理模型。由于教师对物理知识中包含的模型及建模方法的挖掘不足,在物理教学中只关注基本知识和规律,忽略了对隐含其中的模型和建模过程的教学。

(2) 物理模型概念被教研人员宽泛化

通过在中国知网检索发现,科学建模、物理模型、模型建构、建模教学等词在相关研究中的出现频率呈现逐年升高的趋势,一些研究者将“正交分解法求合力”“同一直线上速度变化量的计算”等题目求解方法归纳成“问题模型”,接着从同类型的物理习题中归纳得到“答题模型”。将“答题模型”“数学技巧”等归为物理模型的做法,曲解了物理模型的本义,导致物理模型概念宽泛化。

(3) 将物理建模过程误解为物理解题过程

在习题教学中,建模与解题常常被混为一谈,物理题型常常被视为物理模型,解决一类题型的过程被视为建模的过程。将解题思路、推演过程等归结为物理模型的做法,是对解题与建模边界认识模糊的表现。

(二) 物理建模教学存在的问题追根溯源

为了清除上述建模教学的阻碍,我们须对建模者教学的相关概念追本溯源,以更好地开展物理建模教学。笔者认为,上述问题的成因主要有三个方面:

(1) 建模教学进入我国教育研究领域的时间不长,相关研究尚未深入

2017 年版课标虽然对物理模型与模型建构等做出了明确的要求,但国内对于建模教学的研究仍存在小众化、零散化和片面化等问题,对建模教学的各种误解导致教师难以有效实施建模教学和充分发挥其作用。

(2) 传统教学观念根深蒂固,难以转变

物理课程目标经历了从三维目标到核心素养的变化,表明我国的教育教学理念与时俱进,适应时代的发展。然而,知识与技能并重的观念已深入人心,科学思维中的物理模型建构作为新理念难以撼动其

至高地位。2017 年版课标颁布后,新修订的物理教材更加凸显科学方法的作用,但在课堂教学中加以落实还需要教师不断更新教学观念,提升教学能力。

(3) 应试教育氛围下,发展建模教学的空间有限

应试教育观念在一定程度上阻碍着建模教学与科学教育的融合,其重记忆轻理解、解题重套路轻思维、探究重形式轻思考、作答重统一格式轻个性表达等问题,都与建模教学的目标相悖。此外,物理课堂中呈现给学生的许多问题都经过了简化或模型化处理,导致学生缺少参与建模的机会。因此,在面对原始物理问题时,学生常常无法从给定情境中抽剥出研究对象及主要问题,久而久之,学生也就形成了物理抽象难懂的观念。

三、模型与建模的本质及辨析

准确把握物理建模和建模教学的本质,是有效实施物理建模教学的基础和前提,是落实 2017 年版课标中促进学生科学思维发展要求的关键一步。

(一) 什么是物理模型

“实际问题往往是复杂的,其中包含了一些非本质的枝节,物理模型就是把实际问题理想化,先略去一些次要因素,突出主要因素。”《牛津物理学词典》将模型定义为“为抓住物理系统的本质而对其进行的简化描述,以使数学问题得到解决”。可见,物理模型是对现实世界中的物质或现象等原型的简化性和概括性描述。研究目的决定了物理模型的本质。建构模型的功能是以自身为“中间途径”实现对原型事物的简化概括,旨在运用数学等工具表征客观规律及物质间的联系(如图 1)。因此,物理模型既可以促进理论的产生与发展,也能为应用概念和理论干预现实世界提供方法依据。

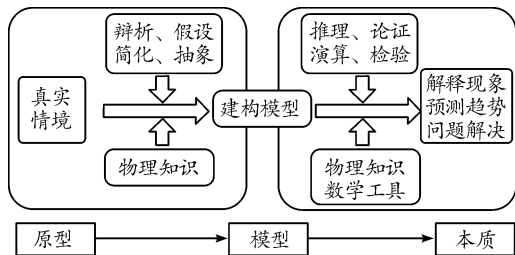


图 1 模型的“中间途径”作用

综上所述,标准的物理模型应具备以下要素:首先,模型必须依托于客观事物而存在,即模型都是对真实事件和流程的仿制品,没有绝对独立于客观事物而存在的模型;其次,模型具有简洁性和概括性,即模型体现的是客观事物的主要属性(通常是人们有需要的部分)而非全部属性;最后,模型具备解释力,即模型对于其所对应的客观事物参与的事件(变化、反应、流程等)具有解释和描述的能力。

(二) 物理规律、数学模型与物理模型等同吗

教学中我们经常把模型、理论和规律等名词混

用,忽视了它们之间原本存在着本质区别。考虑到物理理论和定律都是基于科学证据等客观事实对物理现象和规律作出的描述或阐释,因而二者存在某方面的相似性,不过定律还要通过数学符号和语言予以量化表达。一般而言,我们看到的是物理教材中的概念、定律及数学公式,仔细推敲会发现其背后往往隐藏着相关的物理模型。例如,库仑定律虽然能够计算两个带电体之间的库仑力大小,但前提是两个带电体都能视为点电荷模型。

数学是使科学研究由定性转向定量的必备工具,是科学表达规律的语言。数学模型注重问题的处理过程与结果,是对物理建模过程之后的进一步发展及归纳,不涉及原始问题的提炼与简化处理过程。物理规律是原始问题经过抽象、假设等过程简化为物理模型,然后用数学等手段表征的普遍规律与适用结论。

(三)什么是物理建模

物理建模是对复杂的研究对象进行抽丝剥茧、由表及里、提取主干,表征问题本质的过程,极大程度体现了物理模型的本质。于思维活动视角而言,物理建模是一种基于经验事实资料对客观对象进行抽象概况、具象表征的科学思维方法。于实践情境而言,物理建模是一种建构并依据相关模型对客观事物对象进行表征或问题解决的实践活动。这里笔者融合以往的外部活动形式和内部思维方法的两个定义角度,将物理建模定义如下:为实现对客观事物对象的表征与问题解决,基于经验事实资料等构建物理模型进行抽象概况、具象表征的过程。

(四)习题教学与建模教学等同吗

一些教师视建模教学为习题教学,视物理解题过程为物理建模过程。解决原始物理问题好比采收玉米的过程,即从玉米秆上掰玉米、剥皮、除须、脱粒等处理加工过程。模型建构的过程对应掰棒、剥皮、去须等过程,旨在抽象概括、简化提炼、具象分解以获得物理模型。此后的玉米脱粒过程对应物理模型的运用、定性推理、定量计算等最后解决问题的过程。然而多数情况下,测试学生的物理试题是经过命题者率先加工处理好的物理模型,只需要学生完成上文的“脱粒”过程,而模型建构的实际问题处理往往被命题者在题干中阐述清楚了。因而,习题教学不等于物理建模教学,适当引入原始物理问题,反而能够给学生提供更多参与模型建构的机会。

四、物理建模教学的策略与路径探寻

笔者在分析了我国中学物理教学情况的基础上提出了以下几点建议,以供各位同行参考与交流。

(一)以物理课程模型为起点,强化建模元知识

由于物理模型与物理建模隐藏在日常物理课堂中,学生难以觉察。为了提升学生对物理模型的认

识和对建模本质的理解,必须以课堂教学为起点,切实增强学生的科学建模实践能力,以达到学生的建模元知识和建模实践能力齐头并进的目标。

(1)显化课程模型,理解模型本质

基础教育阶段的物理教学需要考虑学生的认知水平、思维发展及实际教学情况,于是学生接触到的物理模型大多是经过简化加工处理的理想模型,省去了很多实际影响因素。例如,初中阶段忽略电源的电阻,仅考虑其提供电压的一面;而高中阶段则考虑电源的内阻,将其消耗的能量算到电路损失的总能量中。

其实,物理教材中蕴含着丰富的建模过程和物理模型,只是教学中需要注重挖掘物理定律建立背后所隐藏的物理模型建构过程,以帮助学生获得建模的元知识。因此,教学中留心物理模型的建构过程,引导学生比对理想模型与原模型间的差别,明确理想模型的局限性和适用范围。例如,在教学“共点力的平衡”一节时,需要突出多个力的作用点在可视质点的物体上,否则将无法解释上端固定的匀质绳在匀强水平流动风力的作用下呈现一条倾斜直线的情况。

(2)建构课程模型,体会建模过程

致知在格物,物格而后知至。可见,“格物”即探究事物的本质,对人类科学技术文化发展起着重要的推动作用。为此,科学教师可以将建模思想融入传统的探究教学中,在探究过程中让学生分析物理现象,思考建立某种物理模型时应该关注或忽略哪些因素,再据此设计相关实验。在之后的数据分析、现象阐释、探究规律总结阶段,着重引导学生分析相关结论和规律是建立在何种物理课程模型的基础上的,并考虑使用这种模型的合理性,尝试分析该模型使用的优劣和进行科学性评估。

以“行星绕太阳运动模型”的建构为例。教科书中对行星绕太阳的物理模型的建构过程做了较为详尽的描述,向学生呈现了一个较为完整的物理建模过程。这个物理模型是基于大量真实数据,进行综合分析、抽象概括、不断修正建立起来的。模型的建立过程包含科学推理、质疑批判、科学创新等要素,学生真切体会到过程,认识到科学建模是对自然界现象进行科学抽象的创造性实践活动。以课程模型为载体的建模教学会使学生经历像科学家一样的建模过程,体会科学家的建模思想,并对知识形成更深刻的理解。

(二)以原始问题为抓手,发展新模型建构能力

要培养学生的物理建模能力,就不能仅仅依靠物理课程教材中现有的模型,还要多为他们提供陌生而真实的问题情境,让他们尝试在新情境中建构新模型,以此培养学生的高阶建模能力,发展高阶

思维。

(1) 创设真实情境,强化理论与实际运用的联系

纵观当下的科学教育,知识学习与知识应用被割裂,花费大量时间完成习题,缺少参与实验探索、质疑创新、交流表达的机会,无法体会物理的本真和学习乐趣,所学知识与生活实践脱节。因此,为了鼓励学生积极参与科学探究和推理表达,教师尽量呈现生产生活实践中的原始问题,让学生体会到真实情境下进行探讨与质疑交流的乐趣。在面对原始问题时,引导学生尝试对客观事物进行抽象概括,忽略次要因素,突出主要因素,构建合理的理想模型,从而强化学生运用所学知识的实践能力,有效提升科学建模能力。

例如,在人教版物理必修1第二章的章首图有这样一个问题:世界上第一条商业化运行的磁悬浮列车——“上海磁浮”,已于2003年10月1日正式运营。据报道,上海磁浮路线总长33 km,一次试车时全程行驶了7 min 30 s,其中以430 km/h的最高速度行驶约30 s。磁悬浮列车的行驶速度比汽车快得多,是不是它的加速度也会很大?学完这章后请你根据相关报道的数据,再结合实际情况给出一些简化概况的假设,自己尝试估算它的加速度。

(2) 以解决原始问题为主线,经历模型建构过程

由于建模是一项实践性的科学教学活动,经历完“建构”这一动作后,还需要推理、验证、演算、检验等环节使得之前的模型更加完善,最后通过解释现象和趋势预测以解决问题。考虑到真实的、完整的物理建模教学具有实践周期长、精力投入大等弊端,教师可酌情围绕原始问题开展小规模的物理建模教学活动,以此提供学生亲自参与模型建构的机会。

为指导教师设计与开展科学建模教学活动,贾斯蒂(Justi)和吉尔伯特(Gilbert)提出“建模的框架构建”(model of modelling)过程图(见图2)。教师可以根据建模活动的性质和教学条件,从中选择部分步骤和阶段加以整合实施。

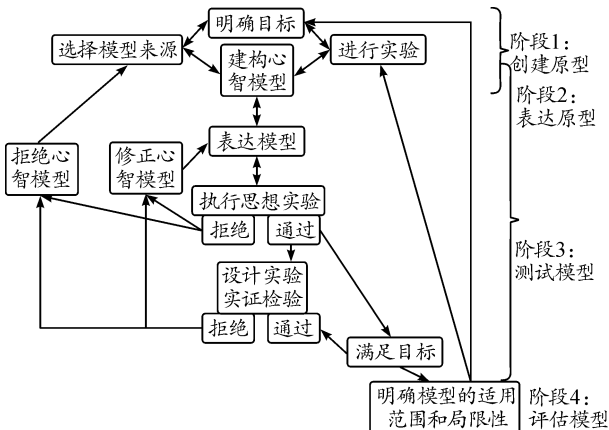


图2 建模的框架构建

首先,创建原型(proto-model)的过程即学生在头脑中建构心智模型的过程。面对原始问题时,学生先需要明确物理建模的目标,然后从原始问题中抽象概况、分离提炼出待解决的问题,接着通过初步观察、实验演示或查阅资料等方式以寻求相关证据资料来支持建构心智模型。其次,需要通过图片展示、口头语言或文字描述等方式来表达和评估自己的心智模型。之后,可以开展逻辑推理验证的思想实验,即通过推理检验假设模型的真伪。根据皮亚杰认知发展理论可知,以上的思想实验过程一定程度上使得学生的思维水平从具体运算阶段过渡到形式运算阶段。如果条件允许的话,可以接着设计实验进行可靠的证明,判断已建立的模型能否达到建模的目标要求。最后,如果模型通过了实验检验,那么其适用于我们刚开始的建模目标的要求,但对于其他的情况是否依然适用有待进一步考虑。为提升学生合理使用物理模型的严谨科学意识,还需要考查所建立模型的适用条件和范围,并进行合理的评估,以培养学生的科学态度与责任素养。

(三) 注重培养建模技能和方法,全方位评价建模能力

一些关键的建模技能和方法是学生顺利完成建模任务的必备工具,因此,教师须重点关注这些技能和方法的培养,并将其纳入建模能力的评价体系之中。

(1) 以类比法推进建模,提升物理建模能力

杜特(Duit)提出,模型是被表征事物中成分到目标的映射,它本身就是与被表征事物的类比,因此也可以说模型是类比推理的产物。类比是一种具有启发性、灵活性和创造性的逻辑推理方法,它贯穿于物理学的发展历程。爱因斯坦曾将电磁场的几何化类比于引力场的几何化,创立了统一场论,他指出:“物理学家们常常会发现表面上看似不相关的现象之间有着密切的联系,并且通过类比,取得了重大的进展。”类比法是一种能够帮助人们更好地认识客观世界,用来解决信息迁移问题的创造性思维方式。无论是物理课程中现有模型的学习还是根据真实情境建构新的物理模型,类比不仅能加深学生对新旧模型的理解和对背后物理知识的架构,还能启迪学生建构新的物理模型。此外,通过对比分析新旧模型间的优劣之外,学生能够以批判的眼光看待旧模型,领悟新模型的建立离不开对旧模型的继承与质疑。有研究表明,学生通过类比更能提高模型建构的思维能力,比直接引导他们进行建模理解更具教育意义。当面对陌生情境的问题时,学生迫于头脑中尚无现成的抽象概括经验和资料,只能将新的情境与旧的问题情境进行类比,尝试搭建二者的联系

以达到创造性解决问题的目标。因此,我们可以说类比是建构新模型的一种思维方式和思维起点,建模活动恰好也是培养学生类比迁移和创新创造能力的重要载体。

(2) 评价发展建模能力,兼顾过程和结果

建模是一种综合性的实际活动,需要对学生的知识储备、实践技能、交流合作能力、发散性思维、批判性思维等多方面的综合素质进行全方位的评价。为了更好地完成一个完整的物理课程模型建构过程,教师需要合理设置课前、课中、课后的课程任务,以提高学生物理建模的针对性,有效衔接各个模型建构的小环节。

表 2 “开普勒三定律的发现”建模评价的维度与量度设计

评价内容	评价标准	教学环节	评价方法	指向模型建构的评价特征
对教材中科学家对天体运动探究过程的了解程度	非常熟悉 2 分 比较熟悉 1 分 不熟悉 0 分	课前	课堂复述	阅读相关科学家的事迹,学习科学家的科学建模精神和科学态度,锻炼勇于克服建模困难的毅力
在地心说模型与日心说模型辩论课堂活动中的积极程度	非常积极 2 分 积极 1 分 不积极 0 分	课中	教师观察	学生在活动中的模型认知表现
论证开普勒第一定律中行星运动轨道是椭圆的原因	逻辑清晰 1 分,论据合理 1 分 逻辑混乱 0 分,论据不足 0 分	课中	课堂提问	进行科学论证、数据分析和解释的表达能力
给出表示行星运动的参数	参数合理且充分 2 分 参数合理但不充分 1 分 参数不合理不充分 1 分	课中	课堂提问	能对知识进行转化与建构,能够理解运动观念
收集我国古代科学家关于天体运动的相关资料	内容丰富 1 分,思考深入 1 分 内容不丰富 0 分,思考不深入 0 分	课后	作业点评	独立思考与自主发问的能力,以及了解现实世界物理建模问题的积极态度

参考文献:

[1] 袁媛. 国际科学建模教学的发展及其促进策略[J]. 教学与管理(理论版),2021,(10):113-115.

[2] 周莹莹,李维. 我国物理建模教学的问题剖析与对策建议[J]. 中小学教材教学,2023,(9):10-16.

[3] 穆振波. 高中物理模型教学的理论与实践研究[J]. 现代经济信息,2018(20):455.

[4] 王洁. 高中物理模型教学的理论与实践[D]. 苏州:苏州大学,2016.

[5] 何欣欣. 高中物理模型教学的理论与实践研究[D]. 成都:四川师范大学,2009.

[6] 计智威. 高中生物理建模能力培养现状及教学实践研究:以曲线运动部分为例[D]. 赣州:赣南师范大学,2023.

[7] 王腾. SOLO 分类理论下物理建模能力的研究[J]. 物理之友,2023,39(5):51-53,56.

[8] 赵景秀. 建构物理模型,解决生活情境化试题:以 2022 年广东高考试题为例[J]. 物理教学探讨,2023,41(9):39-41,47.

[9] 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.

[10] 秦笑春. 经历物理模型进阶,培养模型建构能力[J]. 物理教师,2023,44(8):13-18.

[11] 王玉春,张晓,彭前程. 物理模型建构的价值分析与教学策略研究[J]. 中学物理,2023,41(15):33-37.

[12] 廖伯琴. 《普通高中物理课程标准》(2017 年版)要点解读[J]. 物理教学,2020,42(2):2-5.

[13] 王玉春,蒋炜波. 物理学科模型建构研究的综述与思考[J]. 中学物理,2023,41(13):8-13.

[14] 侯新杰,李思雨. 高中生物理模型建构能力的现状调查及培养策略[J]. 中学物理,2021,39(11):2-5.

[15] Justi, R. S., Gilbert, J. K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers[J]. International Journal of Science Education, 2002, 24(4):369-387.

[16] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书·物理(必修 1)[M]. 北京:人民教育出版社,2006.

【作者简介】李维峰,济南市章丘区官庄中学(山东 济南 250217);林云强,安庆市石化第一中学(安徽 安庆 246002);姚华鑫,北京师范大学未来教育学院(广东 珠海 519087)。

【原文出处】《中学物理教学参考》(西安),2024. 2 上. 7~12