

指向模型建构能力培养的高中物理BOPPPS模式教学设计研究

——以“带电粒子在匀强磁场中的运动”为例

朱钧霞¹, 朱祥荣^{1*}, 陈宇¹, 王虞燕²

¹湖州师范大学理学院, 浙江 湖州

²湖州市第一中学, 浙江 湖州

收稿日期: 2026年5月7日; 录用日期: 2026年7月20日; 发布日期: 2026年7月29日

摘 要

在高中物理教学中, 培养学生对问题进行模型建构的能力, 是发展学生科学思维核心素养的重要途径之一。本文以“带电粒子在匀强磁场中的运动”为载体, 基于BOPPPS教学模式开展教学设计, 构建“情境感知-模型抽象-数理表征-迁移应用”的模型建构能力培养教学路径, 并将教学设计用于教学检验效果。本文认为, BOPPPS的六个环节能够为物理中模型建构教学提供环节支持, 初步实施也表明这种教学设计能够有效提高学生对物理问题的模型建构能力, 但在实施过程中需灵活处理线性环节与建模思维非线性迭代之间的张力。本文中的教学设计为高中物理建模教学提供了可操作的范例。

关键词

模型建构, BOPPPS教学模式, 教学设计, 带电粒子, 匀强磁场

Research on BOPPPS Model Teaching Design for High School Physics Focusing on Model Construction Ability Cultivation

—Taking “The Motion of Charged Particles in a Uniform Magnetic Field” as an Example

Junxia Zhu¹, Xiangrong Zhu^{1*}, Yu Chen¹, Yuyan Wang²

¹School of Science, Huzhou Normal University, Huzhou Zhejiang

*通讯作者。

文章引用: 朱钧霞, 朱祥荣, 陈宇, 王虞燕. 指向模型建构能力培养的高中物理 BOPPPS 模式教学设计研究[J]. 创新教育研究, 2026, 14(7): 602-609. DOI: 10.12677/ces.2026.147553

²No. 1 High School of Huzhou, Huzhou Zhejiang

Received: May 7, 2026; accepted: July 20, 2026; published: July 29, 2026

Abstract

In high school physics teaching, it is one of the important ways to develop their core scientific thinking literacy by cultivating students' ability of model construction for problems. This article takes "the motion of charged particles in a uniform magnetic field" as the carrier and carries out a teaching design based on the BOPPPS teaching mode, constructing a teaching path for cultivating model construction ability that is "situational awareness-model abstraction-mathematical representation-transfer application", and testes the effectiveness of the teaching design through teaching. This article argues that the six links of BOPPPS can provide link support for model construction teaching in physics. The preliminary implementation also shows that this teaching design can effectively improve students' ability to construct models for physical problems. However, in the implementation process, it is necessary to flexibly handle the tension between linear links and nonlinear iteration of modeling thinking. The teaching design in this article provides an operable example for high school physics modeling teaching.

Keywords

Model Construction, BOPPPS Teaching Mode, Teaching Design, Charged Particle, Uniform Magnetic Field

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

物理模型建构是《普通高中物理课程标准（2017 年版 2020 年修订）》强调的关键能力[1]，但学生普遍面临“建模难、迁移难”的困境[2]，需要运用结构化、闭环式的教学框架将复杂、内隐的建模思维简单化、外显化[3]。BOPPPS 教学模式以其模块化结构与闭环反馈机制为此提供了可能[4]，但其与物理模型建构能力培养的系统性对接尚不多见，且已有研究指出该模式存在环节固化等问题[5]，需根据建模思维的内在节奏弹性调整[6]。本文将模型建构能力操作性地界定为“从具体情境中抽象理想模型、建立数理表征、在新情境中调适与迁移”的系统性思维过程，选取“带电粒子在匀强磁场中的运动”这一典型知识点，探索依托 BOPPPS 教学模式系统地显化模型建构的教学路径。

2. BOPPPS 与模型建构的内在契合

BOPPPS 教学模式将教学过程划分为六个环节(导入、目标、前测、参与式学习、后测、总结)[4][7]。在物理模型建构的理论研究中，Hestenes 将物理建模过程概括为建构、分析、验证、应用四个核心环节，翟小铭和郭玉英在此基础上进一步阐述了建模教学在中学物理课堂中的实施路径[8]。结合高中物理教学实际，本文将上述四环节重构为现象观察、理想化抽象、数理表征、迁移应用四个连续的模型建构阶段，与 BOPPPS 的六个环节形成功能性对应，如表 1 所示。

Table 1. Correspondence between BOPPPS stages and model construction phases
表 1. BOPPPS 环节与模型建构阶段的对应关系

BOPPPS 环节	模型建构阶段	具体支持作用
导入(B)	激发建模需求	用真实科技情境引发认知冲突，锚定建模问题
目标(O)	明确建模层次	将内隐建模能力外显为可观测的行为目标
前测(P)	诊断前概念	暴露学生的原始“前模型”，确立建模起点
参与式学习(P)	抽象→表征→反思	经历“猜想－抽象－推导－质疑”的完整建模闭环
后测(P)	迁移应用	分层设计变式与陌生情境，检验模型调适能力
总结(S)	提炼建模思维	显化建模路径，形成可迁移的思维框架

3. 基于 BOPPPS 的建模导向教学设计

3.1. 教材与学情分析

“带电粒子在匀强磁场中的运动”是人教版高中物理选择性必修第二册的关键内容，上承“安培力”“洛伦兹力”的概念基础，下启“质谱仪”“回旋加速器”等科技应用的原理分析，完整呈现了从实际问题中忽略次要因素(如重力)、提取本质特征(力与速度垂直)并匹配理想模型(匀速圆周运动)的典型建模过程，是体验物理模型建构方法的绝佳载体。学生已掌握洛伦兹力与圆周运动基础，但普遍面临三重障碍：抽象障碍(难以从现象中提取本质特征并与已有模型连接)、表征障碍(难以将物理图景精确转化为数学模型)、迁移障碍(无法在新情境中灵活调用和调整模型) [3]。

3.2. 教学流程

为系统地引导学生完成模型建构，并跨越上述思维障碍，本文基于 BOPPPS 框架对“带电粒子在匀强磁场中的运动”一课的教学过程设计为导入、目标、前测、参与式学习、后测与总结六个环节，各环节围绕模型建构能力的培养逐层展开。

导入环节(B)，教师播放质子放疗、托卡马克装置视频，提问“如何用磁场控制粒子轨迹？”激发建模动机。

目标环节(O)，教师展示三层递进式目标：抽象出匀速圆周运动模型、推导半径与周期公式、实现模型迁移应用。将内隐的建模能力外显为可观测的行为目标，为教学过程提供清晰导向。

前测环节(P)，发放学案，要求学生标出洛伦兹力方向、画出猜想轨迹并简要解释。可预见三类“前模型”，如表 2 所示。教师收集前模型但不评判，作为认知起点。该环节可实现思维的可视化，诊断学生基于直觉的错误前概念，从而为参与式学习找准了认知冲突的切入点，使教学真正从“教教材”转向“教学生”。

Table 2. Different pre-models and guidance strategies exposed in the pre-test
表 2. 前测暴露的不同前模型及引导策略

前模型类型	典型回答	引导问题示例
抛物线型	轨迹是抛物线	“平抛运动中合力有何特点？洛伦兹力是否类似？”
圆弧直觉型	轨迹是弯的，但说不清	“什么力的方向会不断变化？它可能提供什么？”
圆周正确型	圆周运动，洛伦兹力提供向心力	“为什么一定是匀速？周期与什么有关？”

参与式学习环节(P)是本课的核心,教师引导学生经历四个递进阶段,完整走完模型建构的全过程。第一阶段为现象观察与模型猜想。教师利用物理仿真模拟软件展示带电粒子在匀强磁场中的动态运动,通过改变磁场方向、粒子入射方向、速度大小等参数,让学生直观观察到当速度方向与磁场方向垂直时,粒子轨迹呈现为圆周,从而初步形成匀速圆周运动的猜想。第二阶段为本质抽象与定性建模。教师抛出问题链:粒子为什么会拐弯?这个力的大小和方向是否变化?在必修二中,哪种运动的合力方向始终与速度垂直?通过层层追问,学生自主建立起“带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动”的定性模型,并明确其动力学本质是“洛伦兹力提供向心力”。以下是可能发生的师生对话示例,用于展示如何利用前测暴露的错误前概念进行引导:

师:刚才前测时,有同学画出了抛物线。平抛运动中,合力有什么特点?

生:平抛的合力是重力,大小方向都不变。

师:很好。那洛伦兹力会不会也像重力一样,是恒力?

生:不会,因为洛伦兹力方向始终与速度垂直,速度方向在变,力的方向也会变。

师:所以,轨迹还是抛物线吗?

生:不是抛物线。合力方向不断变化,应该是圆周运动。

师追问:那它一定是匀速圆周运动吗?为什么?

生:因为洛伦兹力始终不做功,速度大小不变,所以是匀速圆周运动。

第三阶段为数理表征与定量建模。教师提出挑战性任务:给定粒子的质量 m 、电荷 q 、速度 v 以及磁感应强度 B ,能否算出圆周运动的半径?学生以小组为单位,利用 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ 自主推导出半径公式。教师进一步追问转一圈所需的时间及其与速度的关系,引导学生继续推导出周期公式 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 。第四阶段为反思内化与模型深化。教师提出一个具有思辨性的问题:根据周期公式,周期竟然与速度 v 和半径 r 无关,这不符合直觉,如何从物理本质上理解?学生讨论后认识到,速度增大时半径线性增大,但周长也同步增大,二者“抵消”导致周期不变。这一环节促使学生超越公式的机械记忆,深入理解模型的内在结构与不变性,完成了从“知道公式”到“理解模型”的认知跃迁。

后测环节(P),为及时了解学生对模型的掌握程度特别是迁移应用能力,教师设计了三层测试题。A层(直接应用):质子和 α 粒子以相同的速度垂直进入同一匀强磁场,求二者的轨道半径之比和运动周期之比。该题主要检验学生是否掌握了半径和周期公式的基本应用,属于模型的直接套用。B层(迁移整合):若上述质子和 α 粒子具有相同的动能,再次垂直进入同一磁场,此时它们的轨道半径之比又是多少?该题创设了一个变式情境,要求学生主动整合动能公式 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$,先推导出半径与动能的关系 $r = \frac{\sqrt{2mE_k}}{qB}$,再进行求解。C层(拓展调适,选做):若磁场区域是一个宽度为 d 的条形区域(磁场方向垂直纸面向里),一带电粒子以速度 v 与边界成 θ 角斜射入磁场。请问:粒子是否一定能从磁场另一侧射出?若能,出射点与入射点之间的侧移距离是多少?该题要求学生超越“完整圆周”的简单套用,基于模型进行空间推理与条件调适,有效评估高阶迁移能力。这一过程直接训练学生的模型调适能力,有效评估其在新情境下解决复杂问题的迁移水平。

总结环节(S),教师引导学生回顾整个学习历程,共同绘制一个“建模思维流程图”,如图1所示。该图可采用板书形式呈现,引导学生将每一步与BOPPPS中的对应环节(前测暴露问题、参与式推导、后测应用)联系起来,从而显化建模思维,实现从“学模型”到“学建模”的升华。“建模思维流程图”的结构如下:

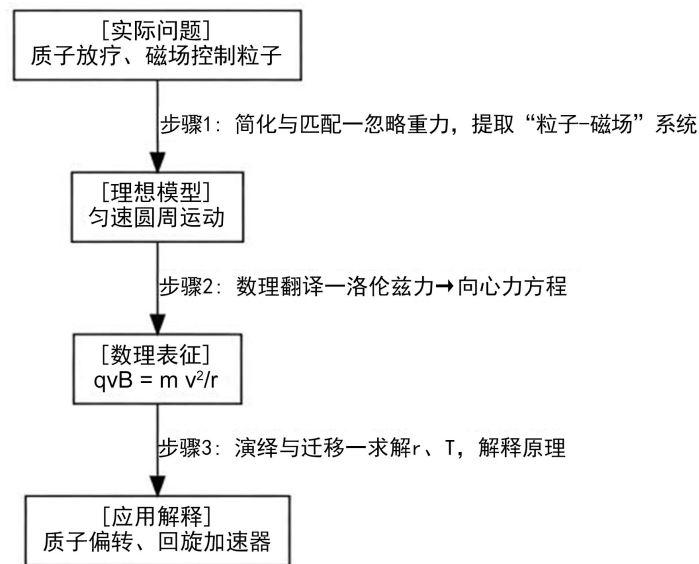


Figure 1. Modeling thinking flowchart
图 1. 建模思维流程图

根据上述思路将 BOPPPS 建模导向的教学设计思路应用于高中物理课堂，具体如表 3。

Table 3. BOPPPS Six-Link Modeling-Oriented instructional design
表 3. BOPPPS 六环节建模导向教学设计

BOPPPS 环节	时间/min	教师行为	学生行为	建模意图
导入(B)	2	播放质子放疗、托卡马克装置视频，提问：“如何用磁场控制粒子轨迹？”	观看视频，产生认知冲突，感知建模需求	锚定真实情境，激发建模动机。
目标(O)	2	1. 定性描述圆周运动模型 2. 定量推导半径与周期公式 3. 初步迁移应用。	明确建模任务与评价标准。	将建模能力外显为可观测目标。
前测(P)	5	1. 发放学案，让学生标出初始洛伦兹力方向，并画出猜想轨迹； 2. 收集“前模型”并分类。	暴露原始认知(如误画为抛物线)。	诊断前概念，确立模型重构的起点。
参与式学习(P)	28	1. 仿真演示引导观察； 2. 问题链驱动定性建模； 3. 组织推导半径、周期公式； 4. 追问“周期为何与速度无关”。 分层评估：	观察猜想→受力分析→推导公式→反思本质，经历完整建模过程。	亲历“观察－抽象－表征－反思”的建模闭环
后测(P)	5	A 层：同速入射求半径比、周期比； B 层：同动能入射求半径比。 C 层：有限区域斜入射求侧移	独立完成，B 层需整合动能公式；C 层进行空间推理。	检验模型掌握程度，评估迁移能力。
总结(S)	3	1. 绘制“建模思维流程图” 2. 回归导入问题，要求学生用模型解释质子放疗原理	回顾建模流程，用模型解释实际装置。	显化建模思维，实现从“学模型”到“学建模”的升华。

4. 教学实施与改进策略

4.1. 实施过程和效果

本次教学实践在湖州市第一中学高二(5)班进行，该班级共 48 名学生，教学现场如图 2 所示。按照表 3 所示的教学设计开展课堂教学，并以前测学案与后测答题纸作为数据收集工具。



Figure 2. The teaching scenario of classroom instruction implemented in this teaching design
图 2. 本教学设计开展课堂教学的教学场景

前测环节收集到的 48 份有效学案显示，学生前模型的分布如下：抛物线型占 37.5% (18 人)，圆弧直觉型占 47.9% (23 人)，圆周正确型仅占 6.3% (3 人)，其他占 8.3% (4 人)。该结果表明，超过九成的学生尚未建立稳定的匀速圆周运动模型，普遍存在将洛伦兹力类比为恒力(如重力)的思维定势。这一结果既验证了教学设计的必要性，也为后续参与式学习中认知冲突的创设提供了实证依据。

后测结果显示：A 层(公式直接应用)正确人数 41 人，正确率 85.4%；B 层(同动能迁移)正确人数 40 人，正确率 83.3%；C 层(高阶迁移)因时间有限，仅 7 人作答，其中 4 人正确。该结果反映出高阶迁移任务在标准课时内完成的现实困难，也印证了后文 3.2 节增设课堂支架与模块化教学的必要性。

前测与后测数据表明，基于 BOPPPS 框架的建模导向教学设计能够有效暴露并转化学生的错误前模型，促进其对匀速圆周运动模型的建构与初步迁移应用。

4.2. 预设与现实的差距及其应对策略

BOPPPS 教学模式强调环节的线性推进，但在实际课堂中，预设的教学路径与学生的真实认知状态之间往往存在差距。本次教学实践的前测与后测数据清晰地揭示了这一差距，也为教学策略的调整提供了依据。

(1) 前测暴露的多样化“前模型”

前测预设“抛物线型”、“圆弧直觉型”、“圆周正确型”三类前模型。然而，在实际课堂中，学生还可能提出上述三类之外的“前模型”。为帮助教师(尤其是新手教师)从容应对课堂生成，建议在备课阶段构建“前模型预案库”(如表 4 所示)，将典型错误类型与引导话术对应编排，便于在参与式学习中灵活调用。

Table 4. Pre-model plan library (partial examples)
表 4. 前模型预案库(部分示例)

前模型类型	典型回答	引导问题示例
抛物线型	轨迹是抛物线	“平抛运动中合力有何特点？洛伦兹力是否类似？”
圆弧直觉型	轨迹是弯的，但说不清	“什么力的方向会不断变化？它可能提供什么？”
圆周正确型	圆周运动，洛伦兹力提供向心力	“为什么一定是匀速？周期与什么有关？”
螺旋线型	轨迹像弹簧一样向前	“如果速度方向与磁场方向完全垂直，粒子会向前运动吗？”
直线减速型	洛伦兹力让粒子停下来	“洛伦兹力做功吗？它会改变速度大小还是只改变方向？”

(2) 时间分配紧张与模块化教学建议

本次教学实践发现,参与式学习的四个阶段(现象观察、本质抽象、数理表征、反思内化)在标准课时(45 分钟)内难以充分展开。前测、参与式学习、后测与总结各环节容易相互挤压,导致学生反思内化的时间不足。为此,建议将本教学设计拆分为两个课时进行模块化重组:

第一课时:聚焦“模型抽象与定性建模”。包含导入、目标、前测及参与式学习的前两个阶段(现象观察与本质抽象)。学生通过仿真演示和问题链,初步建立“匀速圆周运动”的物理图像,明确洛伦兹力提供向心力的定性关系。课后布置思考问题:“你认为洛伦兹力是否做功?为什么?”

第二课时:聚焦“数理表征与迁移应用”。包含参与式学习的后两个阶段(公式推导、反思内化)以及后测、总结环节。开课时可先回顾第一课时的核心结论,然后完成半径与周期公式的定量推导、追问本质(周期为何与速度无关)、后测分层评估及建模流程图绘制。两课时之间的思考问题用于衔接,帮助教师了解学生的认知延续性。这种模块化设计既保证了核心建模闭环的完整性,又为学生留出了充分的思维发酵时间。

4.3. 高阶迁移任务的课堂支架设计

后测中的 C 层任务(有限区域斜入射求侧移)属于模型调适与高阶迁移问题。本次实践显示,仅有少数学生能当堂完成,若直接作为课后作业,学生容易因缺乏课堂引导而产生思维断层。因此,必须在参与式学习或总结环节中设置认知支架,帮助学生逐步发展模型边界调适能力。具体而言,可在参与式学习的“反思内化与模型深化”阶段之后,以问题链引导学生完成从“无限磁场”到“有限磁场”的思维跨越:

问题一:如果匀强磁场不是无限大的,而是被限制在一个宽度为 d 的条形区域内,粒子从边界垂直射入,轨迹还会是完整的圆吗?

问题二:粒子进入磁场后会沿圆弧运动,当它再次碰到边界时就会射出。你能尝试画出它的轨迹吗?它会是完整的圆吗?

问题三:什么情况下粒子无法从另一侧射出?(提示:圆弧的半径 r 与宽度 d 的关系)

问题四:如果粒子不是垂直边界入射,而是与边界成一定角度斜射,轨迹会发生什么变化?侧移距离可能与哪些因素有关?

通过小组讨论和教师引导,学生能够形成“部分圆周”“对称性”“边界条件决定轨迹完整性”等关键建模思想。这一过程既为 C 层任务提供了必要的几何与物理铺垫,也直接训练了学生在模型边界发生变化时进行条件判断与参数调适的能力。教师可将 C 层任务中完整的侧移计算作为课后选做任务,但需在课堂总结时明确其与条形磁场边界问题的逻辑联系,并提示学生运用课堂讨论中形成的几何建模思路。

4.4. BOPPPS 模式的局限性及其适应性改造

BOPPPS 模式的强结构化线性特征与模型建构的非线性本质之间存在内在张力。真实的建模过程包含假设试错、路径回溯等迭代思维,而机械遵循环节顺序易使学生形成“建模即按步骤操作”的惯性认知。本次实践中,部分学生在推导出半径公式后,面对“是否所有情况均可忽略重力”的追问表现出不适应,倾向于直接套用公式而非质疑建模假设,说明线性结构可能弱化元认知监控。

为缓解这一张力,本文提出以下适应性改造:第一,设置弹性迭代节点,在参与式学习中,教师应允许“回溯”至前测或建模阶段引导学生反思建模假设的适用条件;第二,允许依据课堂生成情况临时跳转至先前环节进行再建构,形成“检测-回溯-再建构”闭环;第三,增加多模型比较,在总结前引导学生对比不同模型的适用条件,进一步了解理解模型。上述改造旨在保持 BOPPPS 结构优势的同时,容纳建模教学所需的开放性与反思性。

5. 总结

本文以“带电粒子在匀强磁场中的运动”为载体,基于 BOPPPS 教学模式开展教学设计,构建“情境感知-模型抽象-数理表征-迁移应用”的模型建构能力培养教学路径,并将教学设计用于教学检验效果。研究表明,BOPPPS 的六个环节与模型建构四阶段存在功能对应关系,构建的“情境感知-模型抽象-数理表征-迁移应用”路径可有效外显建模思维。初步教学实践显示,该教学设计能效性提高学生对物理问题的模型建构能力,而 BOPPPS 的线性结构需根据建模思维的非线性迭代特点进行适应性改造,以兼顾结构化效率与思维开放性。

基金项目

湖州师范大学 2026 年研究生教育教学改革项目,项目名称:“四方协同·学研训用”一体化的新时代教育硕士创新培养机制探索与实践研究,项目编号:YJGYB2026007。

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] 沈正杰. 真实情境下高中物理模型主动建构观的培养[J]. 物理教师, 2024, 45(8): 78-81, 96.
- [3] 孙宜好, 尹亚玲, 孔祥戈, 等. 提升学生理解能力和模型建构能力的教学策略——以“带电粒子在复合场中的复杂曲线运动的简化处理”为例[J]. 物理教师, 2024, 45(8): 86-89.
- [4] 曹丹平, 印兴耀. 加拿大 BOPPPS 教学模式及其对高等教育改革的启示[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(2): 196-200, 249.
- [5] 许逢楠. 基于 BOPPPS 教学模式的高二电磁学教学研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海师范大学, 2023.
- [6] 郜攀. 指向深度学习的科学建模教学探索与实践[J]. 物理通报, 2025(6): 56-60.
- [7] 张梦婷, 董裕力. 基于 BOPPPS 教学模式的高中物理教学设计——以滑动摩擦力为例[J]. 中学教学参考, 2022(35): 49-52.
- [8] 翟小铭, 郭玉英. 美国科学建模教育研究三十年概述及启示[J]. 全球教育展望, 2015, 44(12): 81-95.