

基于数形建模的小学科学概念建构教学

——以“光的传播会遇到阻碍吗”课程为例

文_李溯源¹ 杨钰琪²

(1. 杭州市临平区临平第一小学教育集团世纪小学; 2. 深圳市宝安区松岗第二小学)

摘要: 本文以教科版小学《科学》教材“光的传播会遇到阻碍吗”为例, 通过数形建模的思维方法, 搭建“量化感知—数形互译—模型理解”学习模型, 将感性的现象观察转化为理性的物理量测定, 利用数据与图形转化, 提供概念转化的“脚手架”, 抽象概括事物的本质属性, 实现科学概念建构, 促进模型思维发展。

关键词: 数形建模 模型思维 科学概念 小学科学

《义务教育科学课程标准(2022年版)》提出:“观察并描述具体事物的构成要素, 分析并表达要素之间的关系, 找到它们之间重要的、共同的特征; 利用模型解释简单的科学现象”“能使用或建构模型, 解释有关的科学现象和过程”^[1]。模型思维是科学探究时帮助学生找到本质特征、建构科学概念的关键, 包括抽象、概括等思维方法。而数据是科学探究所需、最能够说服学生的证据, 利用数据与图形转化, 搭建概念转化的“脚手架”, 抽象概括事物本质属性的过程, 称为数形建模。

本文以教科版小学《科学》5 年级上册“光的传播会遇到阻碍吗”为例, 借助数形建模, 搭建感性现象认知与理性科学概念之间的桥梁, 让数据说话, 深入分析其中的科学本质, 实现科学概念的建构, 促进科学思维发展。

◎ “数形建模”学习模型建构

➤ 理论支撑

皮亚杰的认知发展阶段论指出: 7 ~ 12 岁儿童处于具体运算阶段, 依赖具体事物支持逻辑思维, 无法纯抽象推理^[3]。数形建模通过将模糊的现象转化为可操作的具体数据(测量、实验获取数据), 利用可视化的图表提供思维支撑, 替代纯语言描述, 符合思维具象化需求, 得以建构概念。

波斯纳的概念转变理论指出: 概念转变需要满足 4 个条件, 即对原有概念的不满, 新概念的可理解性、合理性和有效性^[4]。日常教学中, 教师可利用学生的原有认知引发冲突, 利用对原有概念的不满, 促进概念的生成。例如, “光的传播会遇到阻碍吗”一课中, 教师针对“纸与书对光的阻碍程度是否相同”这一认知冲突展开教学, 激发学生的探究热情。

➤ “数形建模”学习模型

基于上述理论支撑, 搭建数形建模学习模型(见图 1), 为处于具体运算阶段的学生提供思维“脚手架”, 使逻辑推理得以在具象载体(数据、图形)上展开, 建构科学概念。该学习模型经历“量化感知—数形互译—模型理解”的过程, 对应“情境呈现—数据汇总—图形表征—规律发现”载体演进, 每一阶段的输

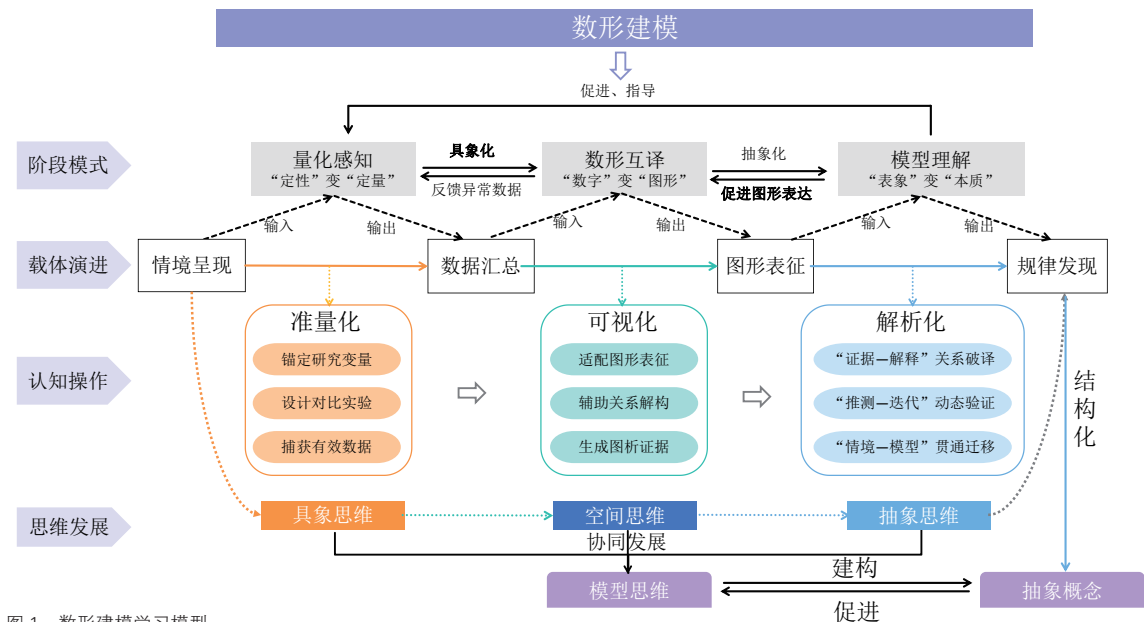


图1 数形建模学习模型

出恰为下一阶段的输入，三阶段伴随发展具象思维、空间思维、抽象思维，三者协同发展模型思维。借鉴波斯纳的概念转变理论，模型在情境呈现环节利用前概念制造认知冲突，随后借助数据汇总与图形表征，推动概念的顺利转变。

◆ 量化感知 量化感知阶段是基础，由生活现象为起点，输出数据汇总，将定性实验转化为定量实验，重在明确对象、捕获数据、发展具象思维。由于定性实验出现分歧，将现象观察转为数据采集，“用数据说话”能使科学探究更加真实、有效，更好地提高探究实践的效率，建立事实与观点之间的联系，体现“生本”。例如，在“光的传播会遇到阻碍吗”一课中，将光遇到阻碍的程度转化为可观测的照度值，区分光透过纸与书的实验结果。

◆ 数形互译 数形互译阶段是核心，输入数据汇总，输出图形表征，数字转为图形，重在数形转换、解构关系、外显空间思维。将数据转化成图形是数形建模的关键，条形图、折线图、饼图等均可数据信息提供可视图解，搭建概念转化的“脚手架”，展现空间动态，综合运用观察、比较、排序等方法，提升制图、分析处理数据、关系解读的能力。借助可视图

解，可识别、修正或删除异常数据。例如，将各小组测量的照度值转换为条形图/散点图，方便学生进行对比分析。

◆ 模型理解 模型理解阶段是重点，输入图形表征，输出模型公式，透过表象看清本质，重在破译关系、融会贯通、促进抽象思维发展。通过对图形模型的思辨，探寻现象与解释之间的联系，提炼关系规律，促进概念模型内化，指向知识的理解、迁移，举一反三。例如，在研讨阶段，大部分学生可根据照度值散点图发现：“光会遇到物体阻碍，物体的透明度越低，光遇到的阻碍越大”。

◎ “光的传播会遇到阻碍吗”教学案例设计

基于数形建模学习模型，教学经历“量化感知—数形互译—模型理解”3个阶段，获取精准数据（准量化），厘清关系特征（可视化），运用模型理解（解析化），发展模型思维。以“光的传播会遇到阻碍吗”一课为例，依托物理仪器，量化光遇到的“阻碍程度”证据，助力比较区分光照射不同透明度物体的情况，破除“光全部穿过或不穿过”的原有认知，建立“行进中的光遇到不同物体时传播方向会发生改变，

产生反射、折射、透过或吸收现象”的概念。

内容分析

“光的传播会遇到阻碍吗”一课是对“光的直线传播”的进一步学习，涉及行进中的光遇到不同物体时传播方向会发生改变的知识。通过光照射玻璃、纸和书的探索，引导学生发现在空气中沿直线传播的光遇到不同物体时，会发生穿过、部分穿过和不穿过等现象。实验中，光穿过纸与书的实验结果区别并不明显（均不能看到物体前方的杯子）。此外，实验受环境影响较大，难以保证手电筒为唯一光源；3组实验皆先后用肉眼观察现象，难以同时进行对比分析。

学情分析

建构科学概念易超出小学生的思维范畴^[2]。学生在建构概念前，需要进行探究实践，积累丰富的证据，从而找到其中重要的、共同的特征。光的传播过程对学生来说非常抽象，学生需要理解光遇到的“阻碍程度”这一不可直接观测的属性。对于一些受主观感受、个体差异及外界环境影响较大的实验，学生对同一实验现象难以达成共识，造成科学探究中“分析证据并得出结论”环节出现分歧，难以对结果进行解释与评估。当定性实验不能满足小学生的探究需求时，则需要将模糊的现象观察转化为精准的物理量测定，借助数据形成现象差异对照。

学习流程

◆ 准量化：定性变定量，获取精准数据

● 锚定研究变量 定性观察出现分歧时，引入定量实验，获取更直观的数据。当学生仅靠肉眼观察难以判断时，自然会生成“到底是什么/怎么回事”的疑问，需要确定反映现象的物理量，并利用更精密的仪器量化现象差异。学生采用相同厚度的纸片和书本作为遮挡物，其实验结果区别不大，出现“光是否穿过”的争议，难以准确观察到光发生部分穿过时的实验现象。此时，教师出示并介绍可以测量照度（一个反映被照面接收光量的物理量，衡量光遇到阻碍的程度）的照度计（见图2），引发学生思考。由于光传播过程本质是光与物质的相互作用^[5]，而肉眼判断光发生部分穿过或不穿过现象差异容易受主观因素影响。利用照度



图2 照度计示例

量化光遇到的阻碍程度，可将不可见的光阻碍转化为可见的精准数字，打破学生原有认知，解决主观判断光遇到障碍物的阻碍程度问题。

● 设计对比实验 确定物理量与测量仪器后，可设计对比实验，用科学方法赋予数据说服力。《义务教育科学课程标准（2022年版）》中5—6年级学段目标指出：“制订比较完整的探究计划，设计控制变量的实验方案，初步具有制订比较完整的探究计划的能力。”^[1]以往教师直接将实验装置与操作微课提供给学生，导致学生并未对为什么要这么做进行思考或未作好研究的准备。因此，需要学生自主设计对比实验，教师提供工具与表单支架。例如，学生经过讨论发现本实验不仅受到主观感受影响，还受环境影响较大，难以保证手电筒是唯一光源。教师提供照度计（包括感光探头、显示器）、黑色的亚克力外壳、手电筒、橡胶卡槽、3种厚度相同但透明度不同的挡板等材料。要求学生自选材料设计研究“光的传播遇到不同物体会是否遇到阻碍”的对比实验方案，并画出简图（见图3）。交流讨论时，大部分学生表示需要改变材料这一变量，重复进行3次实验。研究方案能反映学生是否清楚研究对象与目的，能否考虑如何控制变量，为后续获取证据、整理信息作好准备。

● 捕获有效数据 基于研究方案，组装实验装置（见图4），使用装置获取数据（见图5）。为了获得有效的数据，需进行试操作，规范操作技能，排除设备故障。使用照度计前需确认单位，且黑暗情况时数值是否为0。由于手电筒等常见光源的光照强度不稳定，为方便学生

“光的传播会遇到阻碍吗” 研究方案

★研究问题：光的传播遇到不同物体会受到阻碍吗？

材料：照度计、感光探头、显示器、黑色的亚克力外壳、手电筒、橡胶卡槽、三种厚度相同但性质不同的材料

思考①：要不要记录不加阻挡物时的数据？

☒要 ☐不要

思考②：同一种材料需要进行几次测量？

☐1次 ☒3次

思考③：如何避免环境影响，保证手电筒是唯一光源？

你们小组有什么好办法？

答：外加亚克力黑色外壳后再进行实验，我们认为这样可以避免外光的干扰，还可以再罩上遮光纸箱。

★用简图画一画实验装置！

图3 学生填写的“光的传播会遇到阻碍吗”研究方案示例

记录，选择照度计按钮“Max”统一记录每一次测量的最大值。小组成员明确职责分工，通过实验获取有效数据。获取真实数据后还需甄别数据的可靠性，剔除异常数据或错误数据，要求学生掌握一定的数据分析方法，关注数据间的差异并进行判断。提供二维记录表（见表1），帮助学生从众多数据中甄别异常数据，

并获取最终取值。

- ◆ 可视化：数字变图形，厘清关系特征
 - 适配图形表征 根据实际需求与数据类型，适配不同的图形表征。通过表格对数据进行有效整理后，学生需要进一步对数据进行分析，挖掘众多数据中隐含的信息，排除数据干扰。借助数形建模，将原本的数据表转化为更

表1 “光的传播会遇到阻碍吗”实验数据记录表

挡板材质	实验数据：照度			
	第1次	第2次	第3次	最终取值
没有挡板				
透明挡板				
半透明挡板				
不透明挡板				



图4 实验装置



图5 使用装置获取数据

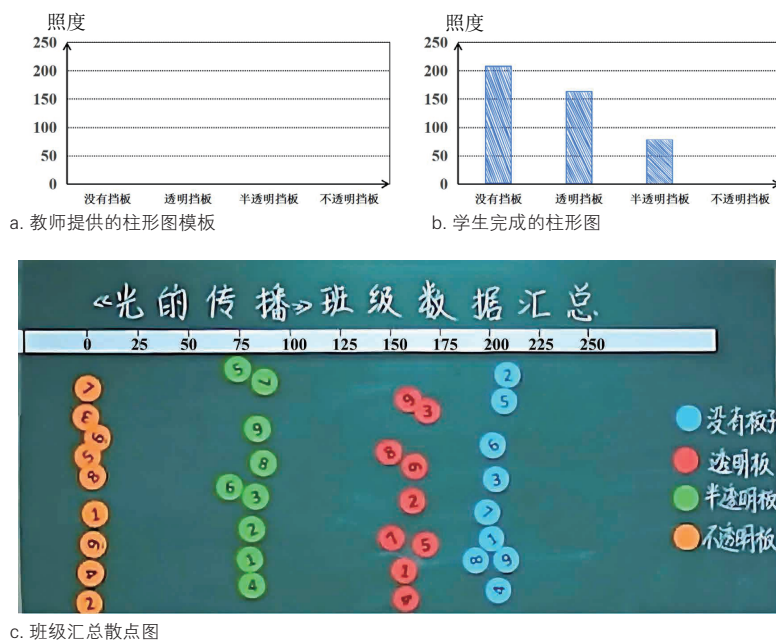


图5 数据分析、汇总示例

加直观的图形，帮助学生从形象思维转化为抽象思维，呈现科学现象，搭建概念转化的“脚手架”，建立证据意识。常见的图形类型包括柱状图、折线图、饼图、堆积图、散点图等，可用于反映不同的数据特征（见表2）。

• 辅助关系解构 借助数学方法处理数据，优化图形，剥离干扰因素，让数据间的科学关系（差异/趋势/比例）自动“跳出来”。常见的数学方法包括：计算数据的差值或比值/百分比，凸显本质属性；图中添加参考基准线，提供参照标准；图中添加变化趋势线，寻找变化规律。例如，计算无挡板与透明挡板、半透明挡板、不透明挡板之间的差值或比值/百分比，凸显“光在传播过程中会遇到物体的阻碍”这一本质属性；在确定的图形上可添加参考基准线，在柱状图上标注“100%透光”位置（无

遮挡基准）、“0透光”位置（完全遮挡基准）；完成柱形图后，添加趋势线，用于预测透明度介于半透明与不透明之间的照度，助力揭示“透明度越高，透光率越高”的规律。通过简单的数学方法处理，帮助学生厘清物理量之间的内在关系，也利于科学与数学学科融合。

• 生成图析证据 让学生亲手测量数据、绘制图表并解读证据，将可视化过程转化为认知建构过程。在动手制图中，学生必然思考数据间的内在关系，生成图析证据，为模型理解奠定基础。考虑上课时长、学生学情，教师可发放画好坐标系和背景线的图表模板（见图5a），学生根据数据补充

完整（见图5b）。汇总全班的数据时，可以用彩色贴纸代表不同材料，粘贴到对应的数据点位置（见图5c）。图析证据可让异常数据一目了然，促进“准量化”。

◆ 解析化：表现变本质，运用模型理解

• “证据—解释”关系破译 让学生对数据的图形模型进行整合解释，是一项不小的挑战。在研讨论证过程中，教师应注重引导学生利用科学的语言归纳概括实验结论^[6]，摸清数据变化的基本规律，破译“证据—解释”的关系。此环节应给予学生充分的时间，若学生感到困难，也可采用集体论证的方式，将个人反思与集体智慧结合，有利于意义建构。由于学生思维可能较为单一、片面，教师可为学生提供一些学习支架，培养学生严谨的科学态度。例如，用照度反映光穿过多少，学生可发现“透明挡

表2 数形建模的常见类型

数据特征	推荐图表	教学片段（以“光的传播会遇到阻碍吗”课程为例）
类别对比	柱状图	透明/半透明/不透明物体照度值对比
变化趋势	折线图	不同厚度毛玻璃的透光率变化
部分与整体	饼图/堆积图	光穿过物体的光量占比
异常数据分析	散点图	同一物体多次实验的照度值对比



课堂实录

板、半透明挡板、不透明挡板挡光程度依次增加，聚焦照度与透明度 2 个变量间的本质关联，进一步归纳出“透明度越高，照度 / 透光率越高”。学生能直观感知到半透明物体与不透明物体对光阻挡的差异，培养证据意识。此外，学生也可发现现实中透明板对光的传播是有一定影响的，但不影响透过透明档板观察物体，肉眼很难察觉差异。

● “推测—迭代”动态验证 初始模型可能较为简单或存在误差，需通过证伪式检验推动模型迭代，理解科学模型的相对性。可基于模型理解，提出反例，动态检验模型是否适用或有无局限。例如，部分学生提出光线穿过很厚的透明物体（如 1 米厚的玻璃），照度有无变化？有些学生觉得并无影响，部分学生觉得会使照度减弱。测量光穿过不同厚度的同种玻璃后的照度值，发现透光量随厚度增加而递减，因此原模型需要附加条件：“针对同一厚度的不同材料”。此外，学生发现利用这一关系可以帮助判断岩石或矿物的透明度，进一步检验模型的可靠性。通过检验、修正模型，学生对科学知识、理想模型的相对性有了更深的理解，培养了初步的模型建构能力。

● “情境—模型”贯通迁移 基于真实情境迁移运用数形建模，能够启发学生思考。如果跳过情境，直接抛出指向知识结构的问题，学生通常很难将需要解释的内容与已知内容联系在一起。而结合情境，推动学生从解决某个问题转向掌握某类方法，可以内化为终身受用的思维习惯。遇到定性观察无法解决问题的情况，学生可自主拆解问题，主动跨域应用“量



学生动手操作

化感知—数形互译—模型理解”方法，建构新的科学概念。

◎ 总结

基于数形结合思想的建模教学，是一种理想的学习模型，其逻辑起点是科学的学科立场，体现实证法，指向科学本质。经历“量化感知—数形互译—模型理解”，帮助学生突破定性观察判断不清的障碍，借助理性的数据，建立证据与解释的关系，助力建构科学概念，最终培养学生的科学核心素养。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准：2022 年版[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022.
- [2] 沈晓英，林晓峰. 基于最近发展区理论，搭建科学思维培养支架[J]. 教学月刊，2024（12）：9-13.
- [3] Piaget, J. Genetic epistemology[M]. New York: Columbia University Press, 1970.
- [4] Posner G J, Strike K A, Hewson P W, et al. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change[J]. Science education, 1982, 66(2): 211-227.
- [5] 胡卫平，刘守印. 义务教育科学课程标准（2022 年版）解读[M]. 北京：高等教育出版社，2022.
- [6] 姜卫英. 关注探究过程，提升小学生科学实践能力[J]. 教学月刊，2024（12）：43-46.

作者贡献声明：第一作者李溯源构建了论文核心教学理论框架，设计探究流程范式，承担整篇文稿的撰写与修订工作；第二作者杨钰琪独立完成小学《科学》教科版（2024 版）5 年级“光的传播会遇到阻碍吗”一课的教学设计与课堂实践，整理提供课堂数据，自主提出本课教学教具的优化创新方案，并独立完成教具制作

本文系 2025 年浙江省教研课题“指向学科实践的小学科学微项目教学研究”（课题编号：G2025017）阶段性成果