

基于教育支架理论的大学物理教学内容衔接研究

——以知识图谱为工具

李 晓¹, 范化喜¹, 李 红², 吴世永³

¹海军潜艇学院, 山东 青岛

²大连舰艇学院, 辽宁 大连

³海军航空大学, 山东 烟台

收稿日期: 2024年10月12日; 录用日期: 2024年12月9日; 发布日期: 2024年12月16日

摘 要

教学内容衔接研究是提升教学效果、培养学生知识整合与应用能力的关键所在, 大学物理以高中物理和高等数学知识为基础, 支撑理工类学生后续专业课程学习, 做好大学物理与前置和后置课程的教学衔接尤为重要。而教育支架理论对教学活动的指导理念, 与研究教学内容衔接的目的是相适应的, 基于此, 本文将教育支架理论融入到大学物理的教学活动中, 以能够直观反映知识内在逻辑的知识图谱为工具, 研究大学物理与高中物理、高等数学的教学内容衔接问题。

关键词

大学物理, 教学衔接, 教育支架, 知识图谱

Research on the Connection of College Physics Teaching Content Based on Educational Scaffolding Theory

—Using Knowledge Graph as a Tool

Xiao Li¹, Huaxi Fan¹, Hong Li², Shiyong Wu³

¹Naval Submarine Academy, Qingdao Shandong

²Dalian Naval Academy, Dalian Liaoning

³Naval University of Engineering, Yantai Shandong

Abstract

The research on the connection of teaching content is the key to improving teaching effectiveness and cultivating students' ability to integrate and apply knowledge. College physics is based on high school physics and advanced mathematics knowledge, supporting the subsequent professional course learning of science and engineering students. It is particularly important to do a good job in the teaching connection between college physics and pre- and post courses. The guiding philosophy of educational scaffolding theory for teaching activities is in line with the purpose of studying the connection between teaching content. Based on this, this article integrates educational scaffolding theory into the teaching activities of university physics, using a knowledge graph that can intuitively reflect the internal logic of knowledge as a tool to study the connection between university physics and high school physics and higher mathematics teaching content.

Keywords

College Physics, Teaching Integration, Educational Support, Knowledge Graph

Copyright © 2024 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

大学物理作为理工类学生基础必修课程,对学生学习、应用等素质能力培养及发展发挥着重要作用。近年来在高校课程改革的浪潮中,大学物理课堂教学中也涌现出多种新型教学模式,这些教学模式呈现出多样化、层次化、新颖化的趋势,例如当前实践探索较多的研讨式教学、分层次教学、翻转课堂等[1]-[4],均旨在通过改善当前大学物理教学现状,协助学生全方面地适应大学物理课程的学习。然而在当前高等教育体系中,如何实现大学物理与其他课程的有效衔接还未有系统的研究,研究教学内容衔接可以通过对不同层次教育中的“同”与“异”进行分析,探寻其中的关联性,进而通过改变“教”与“学”单方向被动输入的过程,协助学生顺利向不同层次课程学习过渡,最终使学生掌握独立学习的技能。

当前,教育支架理论指导的教学内容衔接研究正在越来越多的教学活动中得以实践[5][6]。教育支架理论中的“支架”原指建筑行业中增加新建筑稳定性的脚手架,随着建筑强度增强,脚手架随之撤销。在这里用来形象地描述一种教学方式:学习者即为一座建筑,学习的过程就是在不断地、积极地建构知识的过程;而教师对学习者的指导教授、答疑解惑对整个学习阶段而言起到类似于“脚手架”的支撑作用,支持学习者在探索实践的过程中不断地建构自己,不断建造新的能力[7]。具体来说,教育支架理论可大致分为三个部分:首先对学习者的当下学习水平进行诊断评估;其次,根据评估结果,教师为学生提供特定的适应性的支持:以学生的当前学习能力为基础,通过教师的教授获取新知识,综合多层次、多角度解决问题的方法,引导学生探索更高效、更便捷的学习方法;最后,随着独立学习能力的建立,教师作为“支架”便可逐渐撤去,最终培养学生各方面独立自主的学习能力。

可以看出,教育支架理论的教学目的与教学衔接的目的是一致的:教学衔接正是基于对大学物理和其他学科教学现状的调查分析(即对学习者的诊断评估),从教学内容、课程标准、教学方法等方面比较其

差异性,提出与之相对应的教学衔接策略(为学生提供适应性支持)。因此利用教育支架理论探索大学物理与不同层次课程的衔接,理论上能够帮助学生更好地适应大学物理课程学习,也能够帮助学生顺利向后续专业课程过渡,最终实现学生独立自主地学习,培养学生的综合素质。

近些年,越来越多的课程在建设中采用了知识图谱为工具辅助教学[8]-[10]。知识图谱本质上是一种能够全方面展现课程知识和教学逻辑的网络化图形,可以显示科学知识之间的结构关系[8]。樊代和等[9]以“迈克耳孙干涉”为例构建了大学物理实验课程教学知识图谱(图1),为实验教学标准化工作提供了参考。林子舰等[10]以“声速测量”、“转动惯量”等物理实验项目为例进行了知识图谱分析,探讨了其对实验课程建设发挥的辅助功能。为更好展示大学物理与高中物理、高等数学知识的内在联系,本文以知识图谱为工具,直观展示知识点的逻辑关联及教学内容的衔接。

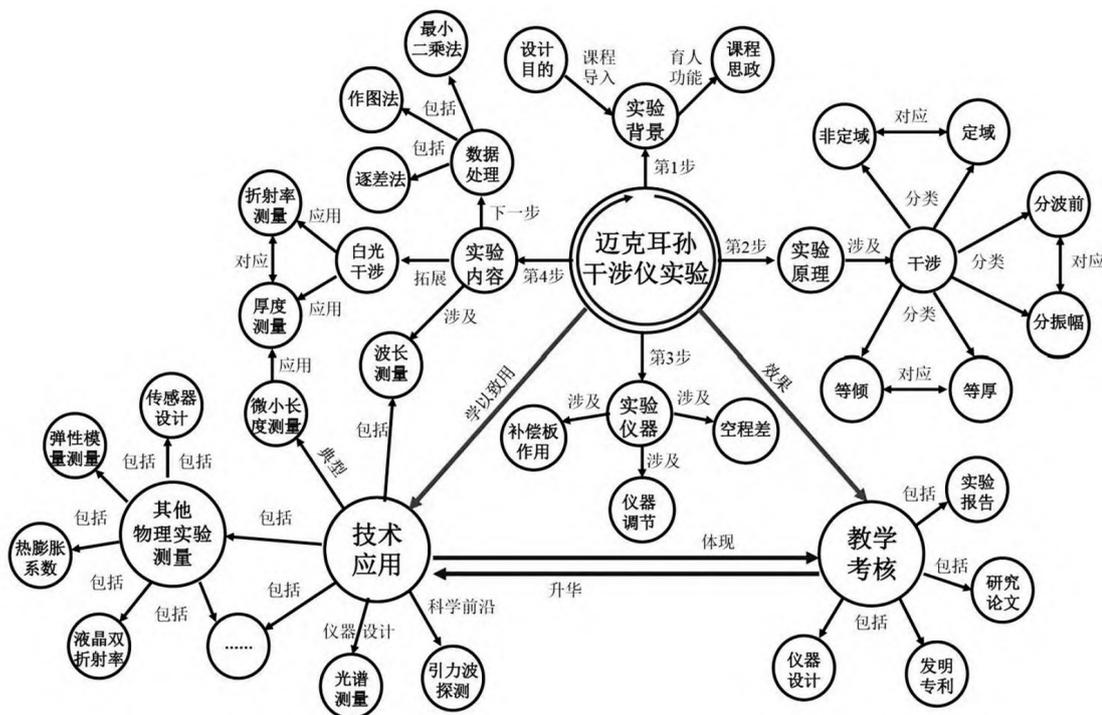


Figure 1. Knowledge graph of “Michelson Interference” Experimental Teaching [10]
图1. “迈克耳孙干涉”实验教学知识图谱[10]

2. 大学物理与中学物理的教学内容衔接

2.1. 教育支架理论基础

大学物理的教学内容是在中学物理的基础上进一步拓展和延伸,像力学、热学、电磁学、光学、原子物理等内容学生在高中物理阶段都进行过初步学习。以力学为例,学生在中学物理中已经学习过质点力学中速度、加速度等基本概念,而大学物理在此基础上采用更严谨的推导过程对概念进行说明,同时还新增力矩、角动量等物理知识,是知识的螺旋式上升。基于教育支架理论的适应性支撑特性,大学物理与中学物理教学内容衔接非常适合采用教育支架理论。根据教育支架理论中 Anghiler 提出的学习支架层级理论[11],在学习活动中需要搭建的支架有三层:

第一层支架发生在学习前,即教师在线下课堂前的教学活动准备阶段。大学物理教学中第一层支架就体现在教师需要充分了解学生高中物理学习的知识水平,帮助学生回顾理清知识结构,在此基础

上进行大学物理教学。例如大学物理学习质点力学部分知识前，教师应对学生高中物理学过的匀变速直线运动、牛顿第二定律等知识掌握情况进行检测；此外，不同地区学生高中物理的选修内容不同，在学习大学物理振动与波动、热学等内容前，需充分调研学生的选修情况，为后续学习活动的展开做准备。

第二层支架发生在教师与学生之间的交流互动。在大学物理的教学过程中，第二层支架就体现在线下课堂的师生学习互动过程中，教师在进行课堂教学设计时，需从整体上分析大学物理与高中物理教学内容上的差异性，按照内容本身的逻辑和学生的认知逻辑搭建好课堂学习的逻辑框架，引导学生在高中物理的基础上深入理解相关概念，实现教学内容的有效衔接。例如对于光学部分，高中物理仅要求学生了解干涉、衍射等现象及产生的条件，知道其在生产生活中的应用，而大学物理需要学生定量分析衍射产生的明暗条纹位置，因此教师需要在学生已知的衍射现象基础上，介绍惠更斯菲涅耳原理和半波带法，由浅入深帮助学生掌握衍射部分的授课内容。

第三层支架发生在学生通过概括、推断和抽象思维等具体的学习过程中；在大学物理的教学中，搭建这层支架时需要注意对学生高阶思维的培养和向后续课程的延伸过渡，经过概念原理等内容的学习后，引导学生对课程内容进一步梳理总结，形成自己的逻辑概念与结构体系，并发布相应的学习任务，让学生独立完成，逐渐撤去支架，实现学生独立自主的学习。

2.2. 案例分析：以质点的碰撞为例

质点的碰撞是质点动力学部分的重要内容，在高中物理和大学物理中都有所涉及。根据 2.1 章节讨论的 Anghiler 学习支架层级理论，搭建第一层支架需要教师在课前了解学生对高中物理“完全弹性碰撞、非完全弹性碰撞以及完全非弹性碰撞”这三种碰撞特征及分类的掌握情况，通过课前检测的形式发送典型习题，根据答题情况分析学生的知识水平。

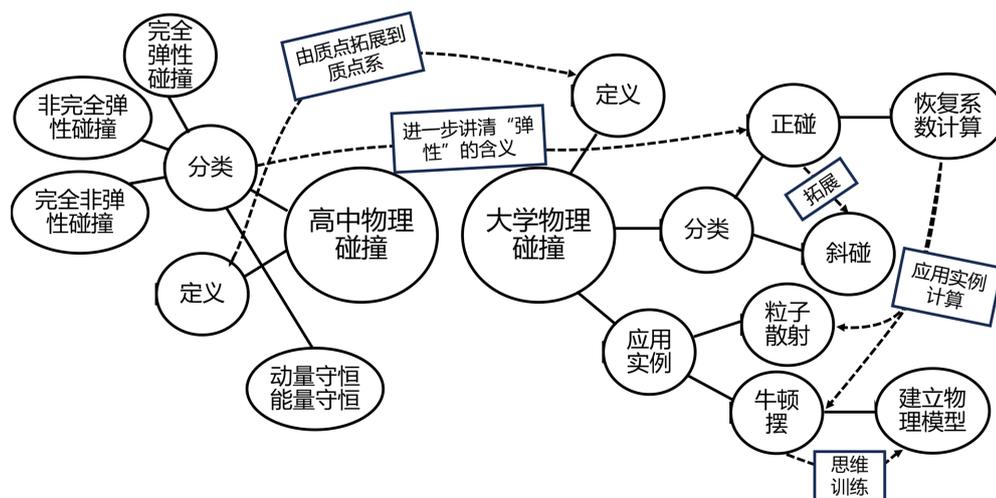


Figure 2. Knowledge graph of collision points between college physics and high school physics
图 2. 大学物理与高中物理碰撞知识点知识图谱

搭建第二层支架需要教师针对质点的碰撞系统梳理高中物理和大学物理间的知识逻辑：通过高中物理学习，学生已经熟悉碰撞的特征和分类，并会根据条件计算典型碰撞前后质点的速度，但是未涉及碰撞分类的依据以及各类型的具体含义。大学物理教学需要在此基础上先引入恢复系数 e ，其中 v_{10} 、 v_{20} 和 v_1 、 v_2 分别是碰撞前后两质点的速度：

$$e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}}$$

进而说明如果将质点换成小球，则碰撞后两球的分离速度与碰撞前两球的接近速度成正比，比值由两球的材质决定。之后引导学生根据恢复系数计算碰撞前后能量的转化情况，通过对不同情况下动能和弹性势能的分析说明三种碰撞情况的分类依据。以完全弹性碰撞为例，恢复系数 $e=1$ ，此时两球碰撞后相互分离的速度 $(v_2 - v_1)$ 等于碰撞前相互靠近的速度 $(v_{10} - v_{20})$ ，可以分析出碰撞过程中动能完全转化成弹性势能，之后又完全转化成动能，因此将这种情况归类为完全弹性碰撞。

第三层支架的搭建发生在讲清碰撞基本的概念和计算方法后，可以引导学生计算粒子散射实验中粒子的碰撞，还可以引导学生建立牛顿摆碰撞的物理模型，在此过程中教师可以逐渐撤去支架，让学生进行自主探究，培养学生灵活运用知识的能力和 innovation 思维。基于以上讨论可以建立大学物理与高中物理质点的碰撞部分相联系的知识图谱(如图 2)。

3. 大学物理与高等数学的教学内容衔接

3.1. 教育支架理论基础

与中学物理相比，大学物理研究的问题更贴近复杂的客观世界，处理问题的过程由理想化和简单化转入到一般化和实际化，因此需要学生使用高等数学知识为工具进行学习。大学物理教学的重要目标就在于高等数学的思维方法在具体物理模型中的应用，因此搭建好大学物理与高等数学的学习支架是培育理工科学生专业素养的关键。

同样根据 2.1 章节讨论的 Anghiler 学习支架层级理论，搭建大学物理与高等数学教学内容衔接的第一层支架依然发生在学习前，即教师在线下课堂前的教学活动准备阶段。许多物理现象需要借助数学的方法来描述和解释，例如简谐振动的振动方程需要通过求解其运动学方程(常微分方程)得出，两种或多种简谐振动的合成需要涉及到较多三角函数的运算等。因此，大学物理课前准备阶段，教师应明确所要使用的数学知识和技巧，并通过习题或问卷的方法掌握学生的学习情况。

搭建第二层支架发生在线下课堂中，师生之间需进行有效互动，并得到学生的响应。此阶段教师发布任务，与学生共同探究用数学方法解决物理问题，对学生感到吃力的部分及时补充数学知识，搭建好数学到物理的第二层支架。例如在学习圆环、圆柱、圆球等典型几何体的转动惯量时，学生普遍对运用柱坐标系积分计算几何体体积掌握不够熟练，教师需先简要回顾柱坐标系数学知识，再和学生共同探讨转动惯量的求解过程。

高等数学到大学物理第三层支架搭建的过程是学生回归独立的过程：教师逐渐减少对学生的支持，逐步实现学习责任的转移；此阶段教师再次发布学习任务，鼓励引导学生独立完成。体现为通过第三层支架的搭建，学生能够独立运用数学工具解决物理问题。

3.2. 案例分析：以电场强度为例

电场强度是描述电场性质的一个重要物理量，在大学物理的静电场部分主要提供三种求解电场强度的方法：叠加法、高斯定理和电势梯度法。这三种方法的适用条件不同，但都需要用到高等数学中微分和积分的知识。充分利用微分和积分工具解决实际中的物理问题，不仅增强了大学物理教学的严谨性和科学性，而且能够提升学生的工程技术素养。然而微积分的知识较为抽象，学生与物理问题相结合时可能存在困难，在此过程中教师需要从求解电场强度的实际问题出发，搭建与高等数学微积分知识的支架，引导学生掌握采用微积分解决实际物理问题后逐渐撤去支架，让学生能够独立解决此类问题。

基于以上讨论可以建立大学物理电场强度与高等数学微积分相联系的知识图谱(如图 3)。需要教师搭建支架的部分主要体现在:

第一层支架需要教师课前充分调研学生对微积分的掌握及运用情况, 结合高等数学的教学进度对学生学习基础展开全面分析。

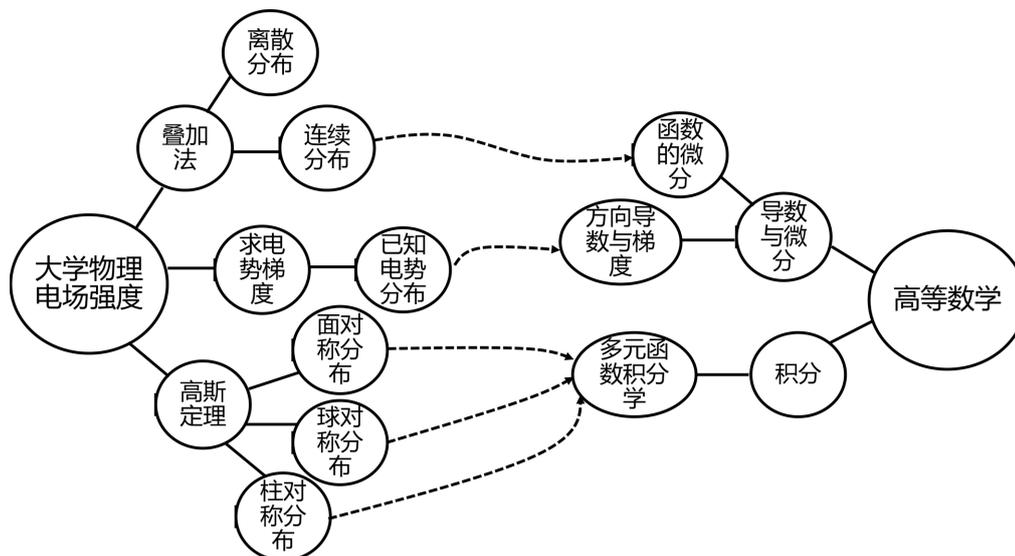


Figure 3. Knowledge graph of electric field strength in college physics and calculus in higher mathematics
图 3. 大学物理电场强度知识点与高等数学微积分知识点知识图谱

搭建第二层支架需明确学习电场强度问题时需用到的数学工具: 1) 电荷连续分布时(例如带电小球、带电圆环等), 要计算空间中某一点的电场强度, 可利用函数微分的思想将带电体分解成无限多个电荷元, 再根据电场强度叠加原理: 整个带电体的电场强度等于各电荷元电场强度的矢量和, 因此该部分教师需要先引导学生回顾函数微分的相关知识; 2) 在已知电势分布的情况下要计算空间中某点的电场强度, 可以根据电场强度 \vec{E} 在任一方向上的分量等于该方向电势 U 变化率的负值来计算:

$$\vec{E} = -\frac{dU}{dn} \hat{n}$$

教师需要先搭建起与高等数学方向导数关联的支架, 借助场线与等势面的几何关系, 导出电势梯度在三维直角坐标系中的表达式, 从而说明电场强度与电势梯度的关系; 3) 如果电场强度的分布具有一定对称性, 在分析对称性的基础上, 可以采用高斯定理求解电场强度:

$$\oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

在计算高斯面所包围带电体的带电量时, 会较多涉及面积分、柱积分等的运算, 教师需要先搭建好与高等数学多元函数积分学相关联的支架。

第三层支架是帮助学生学会独立解决问题的过程。第二层支架中回顾的三种数学工具, 为求解电场强度提供了三种方法, 因此第三层支架需教师给出电场强度求解的具体案例(例如带电细棒、带电圆盘或不规则形状的带电体), 引导学生自主判断选择哪种数学工具分析电场强度, 最终达到学生能够独立解决此类问题的目标。

4. 结语

大学物理课程的教学内容既是中学物理课程的延伸和拓展,又依赖于高等数学的工具和方法来解释物理现象。教师通过搭建教学支架将这些课程有机结合,便于学生理解和把握大学物理的教学内容,提高教学质量;待学生掌握基本的概念和原理后逐渐撤去支架,让学生独立解决问题,更能够培养学生的科学思维 and 创新能力。以知识图谱为工具,基于教育支架理论研究教学内容衔接也是一个非常积极有益的尝试,对于知识图谱的建立方式,以及知识图谱与课程的深度结合还有待于进一步探索。

参考文献

- [1] 郭建鹏. 翻转课堂教学模式: 变式-统一-再变式[J]. 中国大学教学, 2021(6): 77-86.
- [2] 查国君, 吴闰生, 曾祥明, 等. “微课 + 翻转课堂”复合教学模式在大学物理教学中的探究——以“刚体角动量定律及守恒定律”为例[J]. 新余学院学报, 2020, 25(3): 120-124.
- [3] 封玲娟, 闫丽, 王凤超. 应用型高校“大学物理”课程教学改革探索与研究[J]. 科技风, 2022(36): 95-97.
- [4] 王永瑛, 姜先策, 王玲. O-PIRTAS 翻转课堂教学模式的应用[J]. 电子技术, 2021(12): 88-89.
- [5] 盛艳, 张伟平. 系统方法视域下的支架式教学实践[J]. 现代教育科学: 普教研究, 2011(5): 56-58.
- [6] 盛艳. “支架式”课堂教学: 特征、挑战和建议[J]. 教学研究, 2015(5): 117-119.
- [7] 余震球. 维果茨基教育论著选[M]. 北京: 人民教育出版社, 1994.
- [8] 陈悦, 刘则渊. 悄然兴起的科学知识图谱[J]. 科学学研究, 2005, 23(2): 149-154.
- [9] 樊代和, 贾欣燕, 刘其军. 基于知识图谱的大学物理实验课程教学策略研究——以“迈克耳孙干涉”实验项目为例[J]. 教育理论与实践, 2023, 43(36): 57-60.
- [10] 林子舰, 冯超超, 王廷振, 等. 知识图谱技术在物理实验教学中的应用探讨[J]. 物理与工程, 2020, 30(4): 88-95.
- [11] Anghileri, J. (2006) Scaffolding Practices That Enhance Mathematics Learning. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 9, 33-52. <https://doi.org/10.1007/s10857-006-9005-9>