

基于认知发展理论的高中物理《向心力》教学实践与反思

唐霞^{1*}, 关锋²

(¹ 荆州市沙市第五中学, 湖北省 荆州市 434000; ² 荆州市教育科学研究院, 湖北省 荆州市 434023)

摘要: 本文以皮亚杰认知发展理论为指导, 针对高中物理《向心力》教学中概念抽象、学生理解困难的问题, 设计“情境导入-实验探究-数据建模-应用迁移”的教学流程。通过优化实验方案、引入数据拟合技术, 将抽象的效果力概念具象化, 帮助学生构建从感性认知到理性分析的思维路径。选取高一年级 2 个平行班开展对照教学, 结合量化测试(信效度检验、t 检验)与质性访谈评估教学效果。结果显示, 实验班在知识掌握(平均分 54.2vs51.8)、应用能力(平均分 31.5vs25.7)及综合表现(平均分 85.7vs77.5)上均显著优于对照班($p<0.05$), 且学生科学思维与学习兴趣明显提升。研究表明, 该教学模式能有效突破教学难点, 但在学生全员参与度与实验时效性方面仍需改进, 可为高中物理动力学模块教学提供参考。

关键词: 认知发展理论; 向心力教学; 实验探究; 数据拟合; 教学效果评估

DOI: <https://doi.org/10.71411/jyyjx.2025.v1i6.635>

Teaching Practice and Reflections on Centripetal Force in Senior Secondary Physics Based on Cognitive Development Theory

Tang Xia^{1*}, Guan Feng²

(¹ Shashi No.5 Middle School, Jingzhou, Hubei, 434000, China; ² Jingzhou Institute of Educational Science, Jingzhou, Hubei, 434023, China)

Abstract: Guided by Piaget's theory of cognitive development, this paper addresses the challenges of abstract concepts and student comprehension difficulties in teaching *centripetal force* within the senior secondary physics curriculum. A pedagogical sequence comprising ‘contextual introduction-experimental inquiry-data modelling-application transfer’ was designed. By optimizing experimental protocols and incorporating data fitting techniques, the abstract concept of effective force was rendered concrete, facilitating students' transition from intuitive perception to rational analysis. A comparative teaching approach was implemented across two parallel grade 10 classes, with instructional effectiveness evaluated through quantitative assessments (validity and reliability testing, t-tests) and qualitative interviews. Results demonstrated that the experimental class significantly outperformed the control class in knowledge mastery (mean score 54.2 vs 51.8), application ability (mean score 31.5 vs 25.7), and overall performance (mean score 85.7 vs 77.5) ($p<0.05$). Furthermore, students exhibited markedly enhanced scientific thinking and increased learning interest. The study demonstrates that this teaching model effectively addresses pedagogical challenges, though improvements are needed in terms of full student engagement and the timeliness of experiments. It offers valuable insights for teaching the dynamics module in senior secondary physics.

Keywords: Cognitive Development Theory; Centripetal Teaching; Experimental Inquiry; Data Fitting; Teaching Effectiveness Evaluation

1 教学背景与理论依据

1.1 教学内容

《向心力》是人教版高中物理必修第二册第六章第二节的核心内容^[1]，是圆周运动知识体系的关键环节，也是学生首次接触“效果力”概念的重要节点。此前学生已掌握重力、弹力、摩擦力等性质力，而向心力作为“改变物体运动方向的合外力效果”，其抽象性与学生固有认知存在冲突，成为教学难点。本节课为2课时教学的第一课时，核心目标设定为：1、理解向心力的概念、作用效果及来源；2、探究向心力的影响因素并推导公式，为第二课时的圆周运动综合应用奠定基础。

1.2 理论支撑

依据皮亚杰认知发展理论^[2-1]，高中生处于形式运算阶段，其认知特点表现为从“外在经验感知”向“内在逻辑构建”转变。该阶段学生需通过亲身体验、实验对比与规律探索，逐步形成独立的物理思维框架。因此，本节课摒弃“概念灌输+公式推导”的传统模式，以“学生为主体、实验为载体”设计教学，通过具象化情境与探究性实验，引导学生主动构建向心力的知识体系。

2 教学实践设计与实施

2.1 情境导入：以游戏激活认知

为打破学生对“圆周运动受力”的固有误区，课堂伊始设计“高脚杯运乒乓球”游戏：在桌面上放置乒乓球、高脚杯与陶瓷杯，要求学生用高脚杯将乒乓球转运至陶瓷杯。此任务快速吸引学生注意力，一名学生通过快速旋转高脚杯使乒乓球沿杯壁运动，成功完成转运。教师顺势提问：“乒乓球的运动轨迹是什么？运动过程中为何会沿杯壁向上？”学生观察到“圆周运动+沿壁上升”的现象，产生认知疑问，为新课导入创设探究情境。

2.2 实验探究：分层构建概念

2.2.1 小组实验：感知向心力来源

将学生分为4组，每组提供水平桌面、不同质量的小钢球/橡皮球、细绳、旋转木马模型等器材，要求完成两组核心实验：

表1 核心实验

实验1（水平圆周运动）：用细绳拴住不同质量的小球，在水平桌面旋转，观察不同质量、转速下细绳的拉力变化。部分小组发现，当转速过快时，小钢球会飞离桌面，引发“为何会飞离”的讨论。

实验2（旋转木马模型）：分析模型中木马的受力，学生通过受力分析图发现，木马的重力与绳的拉力的合力指向圆心，进而理解“向心力是合外力的效果，并非额外存在的性质力”。

通过小组合作与观察总结，学生自主得出结论：做匀速圆周运动的物体，合外力始终指向圆心，此合外力的效果即为向心力。该环节既强化了生生互动，又让学生通过动手操作，将抽象的“效果力”概念与具体受力分析结合，符合认知发展规律。

2.2.2 演示实验：推导向心力公式

在学生初步感知向心力影响因素后，进入定量探究环节。考虑到传统实验误差较大，本节课引入向心力演示仪与Excel数据拟合技术，分三步开展探究^[3-1]：

表2 开展探究三步骤

第一步（探究F与r、ω的关系）：3名学生在讲台操作演示仪，控制小球质量不变，改变转动半径r与转速n（对应角速度ω），记录不同参数下的向心力F。将数据导入Excel，以F为纵轴、n为横轴拟合图像，发现呈曲线关系；进而猜想“F与n²成正比”，将横轴改为n²后，拟合图像为过原点的直线，结合ω与n

成正比，得出 F 与 ω^2 成正比。

第二步（探究 F 与 m 的关系）：因课堂时间有限，提前让学生在课外完成“控制 r 、 ω 不变，改变小球质量 m ”的实验，录制实验视频在课堂播放，对比不同质量下的 F 值，得出 F 与 m 成正比。此环节参考了简易化实验设计思路，通过提前操作降低课堂时间压力^[4]。

第三步（推导公式）：综合上述结论，学生自主推导得出向心力公式 $F=mr\omega^2$ ，完成从定性感知到定量分析的跨越。

该环节通过“提出猜想-设计实验方案-采集数据-处理数据-得出结论”的流程，让学生掌握控制变量法，体验物理规律的探究过程，培养科学思维素养。其中，向心力演示仪的使用参考了数字化改进方向，提升实验数据的准确性与直观性^[5]。

2.3 应用迁移：联结生活与物理

为实现“学以致用”，设计两道生活情境题，让学生运用所学知识解释现象：

1. 解释“高脚杯运乒乓球”：乒乓球做圆周运动时，杯壁的支持力水平分力提供向心力；当杯体旋转时，转速越快，所需 F 越大，支持力与水平方向夹角越小，乒乓球沿杯壁上升；停止旋转后， F 为零，乒乓球无法运动。

2. 解释“小钢球飞离桌面”：转速加快时，所需 $F=mr\omega^2$ 增大，当细绳拉力不足以提供所需 F 时，小钢球因“向心力不足”飞离桌面。

3 教学效果评估

为客观检验基于认知发展理论的《向心力》教学设计成效，本次教学实践选取高一年级 2 个平行班作为研究对象，其中实验班（52 人）采用本文设计的“情境-实验-建模”教学模式，对照班（51 人）采用传统“概念讲解+例题演练”教学模式，通过量化测试与质性访谈相结合的方式，从知识掌握、能力提升、素养发展三个维度开展评估，评估周期为教学结束后 1 周内。

3.1 量化测试：知识与应用能力评估

3.1.1 测试工具设计与信效度检验

工具设计：测试卷由 3 名高中物理骨干教师联合编制，严格依据《普通高中物理课程标准》对“向心力”模块的要求^[7]，分为基础题（60 分，含概念辨析、公式计算）与应用题（40 分，含生活情境分析、复杂受力推导），共 15 道题，考试时长 40 分钟。

信效度检验：测试前对高一年级实验班 A（48 人）进行预测试，采用 Cronbach's α 系数检验信度，结果显示 $\alpha=0.82$ ，大于 0.8 的标准，表明测试卷内部一致性良好；通过专家评审法检验内容效度，3 名专家对“试题覆盖教学目标的程度”评分均达 90% 以上，效度符合要求。

3.1.2 测试结果统计与 t 检验分析

测试数据采用 SPSS 26.0 软件进行统计，通过独立样本 t 检验分析相同层次实验班 B 与对照班的成绩差异，结果如下：

表 3 实验班与对照班成绩差异独立样本 t 检验

评估维度	班级	人数	平均分	标准差	t 值	p 值	差异显著性
知识掌握 (基础题, 60 分)	实验班 B 对照班	52 51	54.2 51.8	3.8 4.5	3.21 -	0.002 -	显著 -
应用能力 (应用题, 40 分)	实验班 B 对照班	52 51	31.5 25.7	5.2 6.1	4.87 -	<0.001 -	极显著 -
综合表现 (总分, 100 分)	实验班 B 对照班	52 51	85.7 77.5	6.5 7.8	5.13 -	<0.001 -	极显著 -

注： $p<0.05$ 为差异显著， $p<0.001$ 为差异极显著。

由表1可知，实验班在基础题、应用题及总分上的平均分均高于对照班，且 t 检验结果显示 p 值均小于 0.05，其中应用题与总分的 p 值小于 0.001，表明实验班学生的知识掌握深度与知识迁移能力显著优于对照班，教学效果突出。

3.1.3 学生典型错题案例分析

通过对实验班测试错题的整理，选取 3 类典型错题，结合教学过程分析错误原因，为后续教学改进提供方向：

表 4 实验班测试错题整理与分析

错题类型	题目示例	出错人数	占比	错误原因分析	教学改进建议
向心力来源辨析	下列哪项是斜面上做圆周运动的小球所受向心力的来源？（多选）A.重力分力 B.支持力 C.摩擦力 D.额外的“向心力”	8	15.4%	学生仍存在“向心力是独立性质力”的误区，未理解“效果力需由性质力合成提供”，尤其是在斜面复杂情境中，无法准确拆分受力	后续教学可增加“多情境受力分析对比实验”，如水平面、斜面、竖直面圆周运动的受力模型对比，强化“效果力与性质力”的对应关系
角速度与转速换算	某洗衣机脱水桶转速为 600r/min，求其角速度 ω （结果保留 π ）	6	11.5%	学生仅机械记忆 $\omega=2\pi n$ ，但未理解 n 的单位换算（需将 r/min 换算为 r/s），导致计算结果偏差 10 倍	教学中可增加“单位换算实操环节”，让学生用向心力演示仪测量不同转速（r/min 与 r/s）对应的 ω ，通过数据对比理解公式物理意义
公式灵活应用	汽车过水平弯道时，若路面动摩擦因数不变，当车速加倍时，所需转弯半径需变为原来的多少倍？	5	9.6%	学生能回忆 $F=mv^2/r$ ，但无法结合“向心力由摩擦力提供 ($F=f=\mu mg$)”建立等式，存在“公式与物理情境脱节”问题	设计“一题多解”训练，如同一问题分别用 $F=mv^2/r$ 与 $F=mr\omega^2$ 求解，引导学生根据已知条件选择公式，强化“情境-受力-公式”的逻辑链。

3.1.4 成绩分布可视化分析

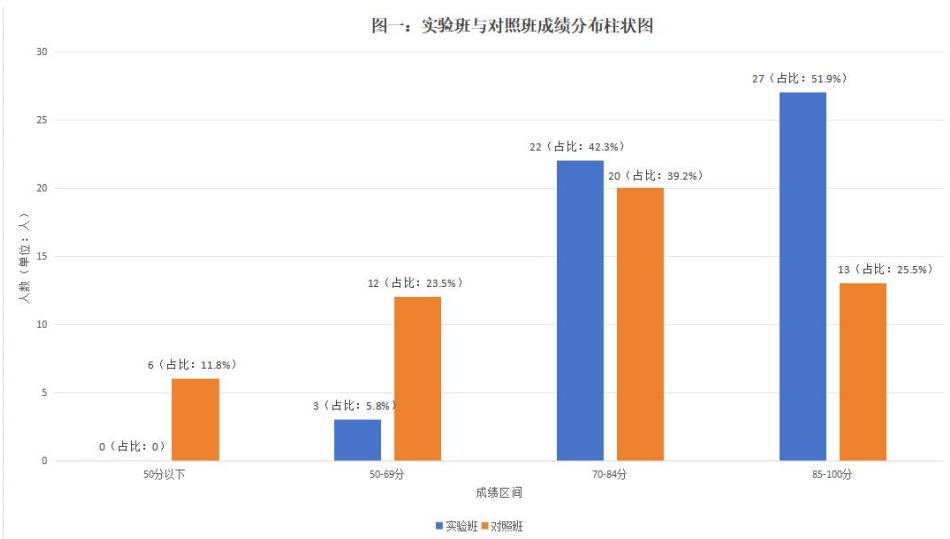


图 1 实验班 B 与对照班成绩分布柱状图

趋势特征：实验班成绩呈“右偏态分布”，高分段（85-100 分）人数占比超一半，无低分段学生；对照班呈“近似正态分布”，中低分段（70 分以下）人数占比达 35.3%，直观反映两种教学模式对学生成绩的影响差异。

3.2 质性访谈：素养与思维发展评估

3.2.1 访谈设计与实施

访谈对象：从实验班 B 按成绩分层随机选取 12 名学生（优等生 4 人、中等生 4 人、学困生 4 人），确保样本代表性。

访谈提纲：围绕“实验参与体验”“知识理解方式”“学习兴趣变化”“改进建议”4 个维度设计 6 个核心问题，如“实验过程中哪个环节让你对向心力的理解最有帮助？”“相比之前的物理课，这次学习让你在解题或观察生活时发生了哪些变化？”

实施流程：采用一对一半结构化访谈，每人时长 10-15 分钟，全程录音并转录为文字，运用 Nvivo 12.0 软件对访谈文本进行编码分析，提炼高频主题。

3.2.2 访谈结果高频主题提炼

通过编码分析，共提炼出 4 个高频主题，各主题出现频次及典型反馈如下：

表 5 高频主题出现频次及典型反馈

高频主题	出现频次	典型反馈摘录
实验具象化促进理解	12 次	“拉着绳子转小球时，能明显感觉到转速越快、绳子越紧，这让我直接记住了‘F 与 ω 有关’，比背公式好懂”（学困生 0）
数据建模强化科学思维	10 次	“当 Excel 里的曲线变成直线时，我突然明白‘为什么要研究 F 与 ω^2 的关系’，原来规律是靠数据验证的，不是老师说的”（中等生 B）
生活联系提升学习兴趣	9 次	“现在看到妈妈用洗衣机脱水，会想‘里面的衣服为什么不会甩出来？’，感觉物理不再是课本上的文字，而是身边的东西”（优等生 A）
参与体验待优化	7 次	“向心力演示仪只有 1 台，我坐在后排看不清操作，要是每组能有一个小装置，自己动手调转速就好了”（中等生 D）

3.3 评估结论

教学有效性验证：量化测试的 t 检验结果 ($p < 0.001$) 与质性访谈的高频主题均表明，基于认知发展理论的“情境-实验-建模”教学模式，能有效提升学生对向心力概念的理解深度、公式应用的灵活性及知识迁移能力，符合高中物理核心素养培养要求。

现存问题明确：从典型错题与访谈反馈可看出，学生在“复杂情境受力分析”“公式与情境结合”及“实验全员参与”方面仍存在不足，为后续教学改进提供了明确方向。

教学推广价值：该教学模式通过“具象化实验+数据建模”突破抽象概念教学难点，且评估过程包含信效度检验、t 检验等科学方法，可为高中物理“万有引力定律”“电场强度”等抽象概念的教学提供可复制的参考范式。其中，实验器材的优化可进一步参考低成本自制教具的思路，降低教学实施门槛^[8-1]。

4 教学反思与改进方向

4.1 优势总结

教学逻辑契合认知规律：从“游戏情境”到“小组实验”，再到“数据建模”，逐步引导学生从感性认知过渡到理性分析，有效突破“效果力”的抽象性难点。

技术赋能提升教学效果：采用 Excel 数据拟合替代传统实验，降低误差且直观呈现变量关系；旋转木马模型等器材的使用，让“向心力来源”可视化，帮助学生区分性质力与效果力。此技术

应用也参考了数字化实验在物理教学中的创新实践^[3-2]。

素养导向落实学科目标：通过探究式实验，培养学生的实验操作、数据处理与科学推理能力，符合高中物理核心素养的培养要求。

4.2 不足与改进

学生参与度待提升：向心力演示仪数量有限，仅 3 名学生能现场操作，其余学生参与感较弱。后续可采用“分组循环实验”模式，提前准备多套简化版演示器材（如用电机带动不同半径的旋转装置），让每个学生都能动手操作；同时，针对“复杂情境受力分析”难点，设计“情境卡片分组讨论”活动，让学生在合作中拆解受力逻辑。器材准备可参考自制向心力探究仪的方案，平衡成本与效果^[8-2]。

实验时效性需优化：“探究 F 与 m 的关系”采用视频播放形式，学生印象不深刻。未来可通过“课前预习实验+课堂快速验证”的方式，课前让学生用简易器材（如弹簧测力计、细绳、不同质量砝码）完成初步探究，课堂仅用 5 分钟验证关键数据，兼顾时效性与体验感；针对“单位换算”“公式应用”等薄弱点，设计 5 分钟课堂微练习，即时巩固知识。

个性化教学待加强：从访谈与错题分析可知，学困生对“具象化实验”依赖度较高，优等生则希望更深入的规律探究。后续可设计“分层实验任务”，为学困生提供“步骤引导式实验单”，为优等生增设“自主设计实验方案”环节，满足不同层次学生的学习需求。

5 结语

《向心力》的教学不仅是公式的传递，更是对学生固有思维模式的重塑。基于皮亚杰认知发展理论^[2-2]，通过“具象化情境-分层实验-数据建模”的教学设计，能有效帮助学生跨越“感性-理性”的认知鸿沟。未来高中物理教学中，还需进一步优化实验设计，平衡“全员参与”与“教学效率”，兼顾“知识传授”与“素养培养”，让物理知识真正从课堂走向生活，从抽象走向具象，为学生构建更扎实、更灵活的物理知识体系。

参考文献：

- [1] 彭前程. 普通高中课程标准实验教科书. 物理(必修 2)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2019.
- [2] 皮亚杰. 发生认识论原理[M]. 王宪钿, 译. 北京: 商务印书馆, 1981.
- [3] 林钦, 陈峰. 深度学习视角下高中物理“向心力”概念教学的优化策略[J]. 中学物理教学参考, 2024, 53(16): 18-21.
- [4] 戎杰, 郭拯, 胡科杰. 自制验证“向心力”公式和“机械能守恒定律”教具[J]. 物理教师, 2019, 40(8): 57-59.
- [5] 朱新培. 向心力演示器的创新改进: 基于数字计时的半圆凹槽向心力定量演示仪[J]. 物理教师, 2022, 43(9): 56-58.
- [6] 张艺馨. 用 DIS 机械能守恒实验器定量探究向心力[J]. 中学物理教学参考, 2018, 47(24): 48-49.
- [7] 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.
- [8] 张宇, 吴敏. 基于核心素养培养的“向心力”教学中科学思维的进阶路径[J]. 物理通报, 2024(07): 45-49.