

Research on Immersive Experiential Blended Teaching of Angular Momentum and Its Conservation

Pengcheng Xu Yunbao Zheng Yifang Li*

Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou, Guangdong, 510665, China

Abstract

Addressing the core teaching pain point of the abstract concept in the “Angular Momentum and Its Conservation” chapter of college physics, which makes it difficult for students to establish a three-dimensional understanding, this study is guided by the basic requirements for college physics course teaching in science and engineering disciplines. It integrates constructivist learning theory and designs and practices a “immersive experiential” blended teaching model. This model adopts a logical framework of “three-dimensional collaboration and three-level progression”, organically combining immersive perception through virtual simulation, deepening of thinking through case explanations, and embodied cognition through hands-on experience, throughout the entire process before, during, and after class. Teaching practice shows that this model can effectively break down the abstract nature of the concepts of angular momentum and its conservation, shifting principle learning from formula memorization to contextualized perception, understanding, exploration, and application. It significantly stimulates students’ interest in learning, enhances their spatial imagination ability and transfer reasoning ability to solve practical physics problems, and provides operable methods and approaches for teaching reform in core difficult chapters of college physics.

Keywords

angular momentum; conservation of angular momentum; immersive experiential style; blended Teaching; virtual simulation; university physics teaching

角动量及其守恒的沉浸体验式混合教学研究

许鹏程 郑允宝 李仪芳*

广东技术师范大学, 中国·广东 广州 510665

摘要

针对大学物理“角动量及其守恒”章节概念抽象、学生难以建立立体认识的物理核心教学痛点,本研究以理工科类大学物理课程教学基本要求为指导,融合建构主义学习理论,设计并实践了一套“沉浸体验式”混合教学模式。该模式采用“三维协同、三阶递进”的逻辑框架,将虚拟仿真的沉浸感知、案例讲解的思维深化与亲身体验的具身认知有机融合,贯穿于课前、课中与课后全流程。教学实践表明,该模式能有效破解角动量及其守恒概念的抽象性,将原理学习从公式记忆转向情境化感知、理解、探究与应用,显著调动了学生的学习兴趣,提升了学生的空间想象能力和解决实际物理问题的迁移推理能力,为大学物理核心难点章节的教学改革提供了可操作的方法和途径。

关键词

角动量; 角动量守恒; 沉浸体验式; 混合教学; 虚拟仿真; 大学物理教学

1 引言

角动量守恒定律,是自然界最基本最普遍的定律之一。

【基金项目】广东技术师范大学2025年度“实验室管理研究”项目“大学物理实验教学改革研究”(项目编号:25SYSGLO05);广东技术师范大学校级智慧课程“普通物理实验”(项目编号:Gsdzhkc1025)。

【作者简介】许鹏程(1981-),男,中国江西龙南人,硕士,实验师,从事基础力学研究。

【通讯作者】李仪芳(1981-),女,中国广东佛山人,硕士,讲师,从事光学研究。

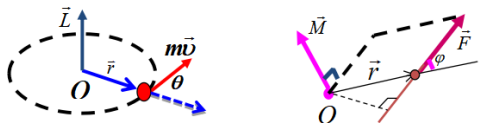
在经典力学中,它反映的是质点或质点系在系统具有空间旋转不变性时运动的普遍规律;在量子力学中,它体现为薛定谔方程(或哈密顿量)在空间旋转下的不变性。角动量及其守恒定律是大学物理力学部分的核心内容,是理解从宏观刚体转动到微观粒子运动乃至天体运行的基本物理规律。该章节一直是教学中的重点与难点。大学物理“角动量及其守恒”章节概念抽象、学生难以建立全面、深入、立体的认识,是物理教学的核心痛点。

2 角动量及角动量守恒基本原理

我们知道,动量是指物体的运动之量 $\vec{p} = m\vec{v}$,这里的 $\vec{p}$ 表示动量,动量是一个矢量,既有大小,又有方向; m

是质点的质量, $\vec{v}$ 是质点运动的速度。动量主要用于描述质点平动运动时的状态。当质点绕着固定点运动的时候, 这时动量是一直变化的, 动量不便描述质点运动的状态了。于是引入角动量的概念, 角动量对比动量, 既有相同之处, 又有其独特之处。质点的角动量是指转动运动之量, $\vec{L}$ 表示质点的角动量, 质点相对于固定点 O 点的矢径 $\vec{r}$ 与质点的动量 $\vec{p}$ 的矢积定义为该时刻质点相对于 O 点的角动量, $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v}$ 。角动量具有矢量性: 角动量既有大小, 又有方向, 方向由右手螺旋定则确定。角动量又具有相对性: 角动量依赖于参考点的选取, 对于不同的参考点, 角动量也不同。所以描述角动量时, 需要指明参考点 O 点。

角动量 $\vec{L}$ 的方向垂直于 $\vec{r}$ 和 $\vec{p}$ 所决定的平面, 其方向用右手螺旋定则判定, 其大小为 $L = rmv \sin \theta$, 其中 θ 为 $\vec{r}$ 和 $\vec{p}$ 之间的夹角。质点改变运动(平动)状态的原因是力, 而质点改变转动状态的原因是力矩。力 $\vec{F}$ 对某固定点的力矩 $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$, $\vec{r}$ 为由固定点 O 点指向力 $\vec{F}$ 的作用点的矢径, 力矩也是矢量, 方向也由右手螺旋定则判定。力矩大小为 $M = Fr \sin \varphi$, 其中 φ 为 $\vec{r}$ 和 $\vec{F}$ 的夹角。如果将质点对 O 点的角动量 $\vec{L}$ 对时间求导, 可以得到质点角动量定理的微分形式 $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$ 和积分形式 $\int_0^t \vec{M} dt = \vec{L} - \vec{L}_0$, 当质点所受外力对某固定点的合力矩为零,



则质点对该固定点的角动量守恒, 即角动量将保持不变, 是一个恒矢量, 这就是角动量守恒定律。角动量守恒定律可以推广到质点系的角动量守恒定律, 由于刚体是不变质点系, 是一种特殊的质点系, 因而可以推广得到刚体的角动量守恒定律。

据此, 角动量守恒可以分成以下几种情况: 质点及质点系、刚体系统以及质点和刚体组成的混合系统。质点及质点系的角动量是针对某一固定点 O 而言, 刚体系统和混合系统的总角动量只关注对某固定轴的角动量之矢量和。所以, 对于质点及质点系, 刚体系统, 以及质点与刚体组成的混合系统分别有:

$$\sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i \times \vec{v}_i = \vec{L} (\text{常矢量})$$

$$\sum_{i=1}^N J_i \vec{\omega}_i = \vec{L} (\text{常矢量})$$

$$\sum_{i=1}^N J_i \vec{\omega}_i + \sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i \times \vec{v}_i = \vec{L} (\text{常矢量})$$

$\vec{r}$ 为质点相对于固定点 O 点的矢径, $\vec{v}$ 为质点运动的速度, $\vec{\omega}$ 为刚体的角速度, J 为刚体的转动惯量, N 为个数。为了方便理解, 我们可以把角动量分解为 x 和 y 轴方向的两

个分量 L_x , L_y 。则在这两个方向上, 角动量也守恒。因此我们可以进一步简化, 假设质点角动量和刚体角动量都沿着 y 轴方向, 则有

$$L_y = \sum_{i=1}^N r_i m_i v_i \sin \theta_i = \text{常量}$$

$$L_y = \sum_{i=1}^N J_i \omega_i = \text{常量}$$

$$L_y = \sum_{i=1}^N J_i \omega_i + \sum_{i=1}^N r_i m_i v_i \sin \theta_i = \text{常量}$$

其中 r 为矢径 $\vec{r}$ 的大小, v 为速度 $\vec{v}$ 大小, θ 为 $\vec{r}$ 和 $\vec{v}$ 之间的夹角, ω 为刚体角速度大小。角动量是常量, 指其大小和方向均不变。若其中之一发生变化, 则角动量不守恒。判断质点或系统总角动量是否守恒, 抓住关键条件: 质点或系统所受的合外力矩是否为零, 合外力矩为零, 则角动量守恒。角动量守恒, 是指质点或系统的总角动量保持不变, 即大小和方向均不变。其守恒条件合外力矩为零, 与学生已熟知的动量守恒条件合外力为零易混淆, 导致学生在学习时常停留在公式 $M_{\text{合}} = 0$ 的数学层面, 难以构建清晰的物理认知和理解, 更别提掌握并灵活应用。

3 沉浸体验式混合教学模式构建

3.1 混合教学模式的框架结构

传统的“讲授-推导-例题”教学模式因其局限性, 教师是教学的核心, 课堂主导, 知识传授者, 教学形式以课堂讲授为主, 学生参与度和主动性通常较低。在突破此难点上效能有限。

当前, 教育信息化与教学改革的融合不断深化, 利用虚拟仿真(VR)等技术支持沉浸式、探究式学习, 已成为物理教学改革的重要趋势。研究表明, 沉浸式虚拟现实(VR)技术能通过创设可交互的直观情境, 将抽象概念具象化, 有效促进学生理解并提升其参与度。同时, 混合式教学通过融合线上资源与线下活动, 为重构教学流程提供了可能。

基于此, 本研究以“学生中心、成果导向”为理念, 提出针对“角动量及其守恒”的沉浸体验式混合教学模式。该模式旨在超越传统教学的局限, 通过虚拟仿真构建初步感知、精讲案例深化理论思维、实体体验强化具身认知, 三个维度的深度融合, 引导学生完成从现象观察、概念建构到原理应用的知识内化全过程。

本教学模式的设计以建构主义理论和具身认知理论为基础, 强调学生在亲身参与和互动体验中主动建构知识。本教学模式的整体框架遵循“三维协同、三阶递进”的原则, 将三种教学维度虚拟仿真维度、案例教学维度、亲身沉浸体验维度, 有机嵌入课前、课中、课后三个教学阶段, 形成了螺旋上升式的学习闭环。

3.2 混合教学模式实施

课前阶段: 情境感知, 核心目标是激发兴趣, 初建表象; 课中: 探究内化, 核心目标是深理解, 掌握原理; 课后:

迁移创新,核心目标是应用拓展,提升能力素养。

课前阶段侧重于通过虚拟仿真创设沉浸式预习环境。学生借助一个简化的VR角动量实验室,可以徒手“抓取”并改变哑铃状物体的质量分布(即改变转动惯量 J),或对其施加力矩 M ,同时实时观察系统角速度 ω 和角动量 L 矢量箭头大小与方向的动态变化。这种游戏化的交互,将抽象的矢量运算转化为可视化的动态过程,有效激发了学生的好奇心和前置性思考。

课中阶段是深理解的关键。首先,教师引导学生分享虚拟实验观察的体会和认知,从而引入角动量的基本概念,带领学生共同推导角动量定理及角动量守恒定律,实现从感性到理性的飞跃。随后,通过讲解实际案例,逐步理清其概念和难点。角动量守恒有许多实例和应用,小到玩具,大到飞机,航天器等,通过实际案例讲解角动量守恒的应用,让学生更好的理解并掌握角动量守恒的原理、特征及应用。如三轴陀螺仪OO'轴转子高速旋转时角动量守恒,因此OO'轴转子指向不变,飞行员可以据此了解飞机的飞行姿态,从而驾驶飞机做出各种机动飞行动作;跳水运动员离开跳台以后,在空中角动量守恒,身体落水前完全伸展,其实也是在微微旋转;花样滑冰运动员在冰面上旋转时近似角动量守恒,通过伸展手臂和收缩手臂改变身体的转动惯量,从而改变身体旋转的快慢,即改变角速度 ω ;卫星在太空中飞行,整体角动量守恒,通过安装在内部的飞轮,利用角动守恒原理可以调整卫星的飞行姿态;又如直升机空中飞行,因角动量守恒,旋翼转动时,机身要朝相反方向旋转,为了使机身稳定,可采用尾桨使机身保持平衡,或者采用双旋翼反向旋转,从而保持机身稳定,比如支奴干直升机就是采用双旋翼;现在应用广泛的无人机,一般装配有四个螺旋桨,两两反向旋转,产生大小相同,方向相反的角动量,角动量之和为零,从而使机身保持平衡;通过对比直升飞机主旋翼与尾桨的角动量关系,强调系统的选取与力矩分析;通过展示陀螺旋转不倒的奇特现象,引入进动概念,拓展理性认知边界。

接下来,引入沉浸体验环节,让身体和大脑协同起来,在感受中理解和记忆知识原理及其应用。学生分组,以立正姿态且脸朝正北方向静止站于角动量守恒转台上,当人上半身向右转动时,会惊讶地发现双脚和转盘却向左旋转,当上半身回正,双脚和转盘也同时回正。而且,脸初始是朝正北方向,可以通过屈伸双手和扭动身体,使身体“转动”后,朝正南方向。在这个复杂的扭动过程,身体和守恒转台始终保持角动量守恒(此例角动量守恒是针对通过转台中心且与地面垂直的转动轴而言)。另一个有趣的体验,让学生坐在茹科夫斯基凳上,双手拿适量的哑铃,另一同学施加力矩,使椅子先转起来。通过收放手臂重物,椅子上的同学可以切身感受到转动惯量与角速度的此消彼长,大小转化,这个现象符合并验证了角动量守恒规律。通过这种强烈的身体感受和反馈,学生对“守恒”的理解从理论公式升华为切身理解。让同学们亲身体验角动量守恒的有趣现象,从而全面理解角动量守恒定律,并留下深刻印象。陆游诗句“纸上得来终觉

浅,绝知此事要躬行”,说的就是体验、实践的重要性,通过亲身体验和实践,才能达到彻底通晓的境界,并难以忘记。

课后阶段重在能力迁移。学生不仅需要在虚拟平台上解决更复杂的工程性问题(如模拟卫星姿态控制),还需完成一项结合案例分析与动手体验的开放性任务,如分析“猫的下落转身”的力学原理,或利用简单材料制作一个能持久旋转的铁丝陀螺,并在过程中优化其转动惯量分布。

3.3 混合教学模式的实施效果

通过沉浸体验式混合教学,达到了使同学们理解角动量守恒相关知识,掌握了利用角动量守恒定律解释相关的现象与实例,并会运用角动量守恒来分析和解决实际问题。调动了学生的学习兴趣,提升了学生的空间想象能力和解决实际物理问题的迁移和推理能力。这个过程同时实现了知识原理从感知到理解、应用到创新的跃升。

4 混合教学模式总结和展望

“虚拟仿真+沉浸体验”的教学方式极大帮助学生“看见”并“感受”角动量及其守恒原理和现象,降低了认识和理解难度。在亲身体验环节,学生表现出极高的热情,并能主动用刚学到的理论解释观察到的现象。这种混合学习方式增强了他们探索物理问题的兴趣和用物理原理解释身边现象的意识。教学实践证实,沉浸体验式混合教学模式的有效性源于其多维刺激协同作用于学生的认知过程:虚拟仿真突破了空间想象力的限制,提供了安全、可控的探究环境;精选多个案例搭建了理论与实践的桥梁,彰显了物理学的应用价值;亲身体验则通过具身认知,激发出了印象非常深刻的直观理解和感受,让物理定律变得“可感知,可触摸,可掌控”。

在实施过程中,也面临一些挑战:一是优质、精准匹配知识点的虚拟仿真教学资源开发成本较高;二是课堂中体验环节的组织需要精确的时间管理和安全保障;三是对教师的综合能力提出了更高要求,要求教师娴熟驾驭各种教学相关软件和工具、同时做好课堂互动与实践指导。

未来的改进方向包括:创建知识图谱思想,将角动量内容与前后章节(如质点的角动量,刚体力学)的虚拟仿真资源串联,构建系统化学习环境。探索引入AI助学工具,根据学生在虚拟实验中的操作数据,进行个性化学习辅导和资源推送,智能答疑等。构建更科学的多元化的评价体系,将学生在虚拟实验中的探索过程、体验环节的表现以及开放性任务的完成质量,纳入形成性评价,即过程性评价和实践能力考核纳入综合评价体系。

参考文献

- [1] 杨武,石晓燕,欧海峰.提高大学物理演示实验学习效果的教学模式探索[J].大学物理实验,2020,33(01):115-118.
- [2] 何明睿,杨海彬.基于OBE理念的大学物理混合式教学改革——以“角动量守恒”教学为例[J].物理与工程,2025,35(01):102-107.
- [3] 李静,高小珍,许丽.信息化“翻转课堂”在大学物理教学中的构建——以“角动量守恒定律”为例[J].广西物理,2025,46(02):66-67.
- [4] 邱红梅,秦吉红,徐美,等.碰撞问题中的动量和角动量守恒辨析[J].大学物理,2023,42(10):6-9.