

工程素养导向的大学物理教学模式探究 ——以 2026 年央视春晚“武 BOT”机器人表演的力学解构为例

谢 东

(西南交通大学 物理科学与技术学院, 四川 成都 610031)

摘 要 针对当前大学物理教学面临的知识体系碎片化、理论与工程实践脱节、工程思维培养不足等核心问题,本文以情境认知理论为指导,构建一种工程素养导向的大学物理情境化教学模式,并以 2026 年央视春晚“武 BOT”人形机器人武术表演的力学解构为例,系统阐述该模式的设计逻辑与实施路径。该模式将工程素养培养从隐性渗透转向显性教学,为大学物理课程实现知识整合、能力培养与价值引领的有机统一提供可迁移的理论框架与实践路径,亦为新工科背景下的其他基础课程改革提供借鉴与参考。

关键词 工程素养;大学物理;情境化教学;教学模式;“武 Bot”机器人;力学解构

DOI: 10.27024/j.wlygc.2026.02.22.01

EXPLORATION OF AN ENGINEERING LITERACY-ORIENTED TEACHING MODEL FOR UNIVERSITY PHYSICS —A CASE STUDY OF THE MECHANICAL DECONSTRUCTION OF THE “WU BOT” ROBOT PERFORMANCE AT THE 2026 CCTV SPRING FESTIVAL GALA

XIE Dong

(School of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031)

Abstract Addressing the core challenges in current university physics instruction, such as fragmented knowledge systems, the disconnect between theory and engineering practice, and the insufficient cultivation of engineering thinking, this paper, guided by situated cognition theory, constructs an engineering literacy-oriented situated teaching model for university physics. Taking the mechanical deconstruction of the humanoid robot “Wu BOT” martial arts performance at the 2026 CCTV Spring Festival Gala as an example, the design logic and implementation pathway of this model are systematically elaborated. The model provides a transferable theoretical framework and practical pathway for achieving the organic unity of knowledge integration, competency development, and value cultivation in university physics courses. It also offers a reference for the reform of other foundational courses within the context of Emerging Engineering Education.

Key words engineering literacy; university physics; situated teaching; teaching model; “Wu Bot” robot; mechanical deconstruction

收稿日期: 2026-02-22; 修回日期: 2026-03-15; 出版日期: 2026-05-20

基金项目: 全国高等学校大学物理改革研究项目(项目编号 2024PR074); 四川省高等教育人才培养质量与教学改革项目(项目编号 JG2024-0287); 西南交通大学本科教育教学研究与改革项目(项目编号 JG2024051, 20240319)。

通信作者: 谢东, xiedong@swjtu.edu.cn。

引文格式: 谢东. 工程素养导向的大学物理教学模式探究——以 2026 年央视春晚“武 BOT”机器人表演的力学解构为例[J]. 物理与工程, 2026, 36(3): 115-120, 148.

Cite this article: XIE D. Exploration of an engineering literacy-oriented teaching model for university physics—A case study of the mechanical deconstruction of the “Wu BOT” robot performance at the 2026 CCTV Spring Festival Gala[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(3): 115-120, 148. (in Chinese)

新工科建设要求高等教育培养具备解决复杂工程问题能力的创新型人才,工程教育认证标准将“工程知识应用能力”和“设计/开发解决方案能力”列为核心毕业要求^[1-2]。大学物理作为理工科专业的基础课程,其教学质量直接影响学生后续专业课程学习和工程实践能力的培养。然而,传统大学物理教学普遍存在知识碎片化、各章节内容割裂、理论与实践脱节等问题,缺乏引导学生从观察现象到建立模型、再到知识整合与工程决策的完整思维训练过程^[3-5]。

面对上述困境,大学物理教学亟须探索新的教学模式与实施路径。情境认知理论为这一探索提供了重要的理论支撑。该理论强调,知识只有在真实或逼真的情境中呈现与应用,才能被学习者有效理解并实现迁移^[6-7]。因此,将前沿的、富有吸引力的工程实践转化为教学情境,通过具有挑战性的驱动性的问题引导学生展开探究,是培养学生工程素养的重要路径之一。

2026 年央视春晚,宇树科技的“武 BOT”人形机器人表演成为标志性科技事件。数十台机器人在舞台上完成单腿站立、连续空翻、器械操控等高难度武术动作(见图 1),不仅为公众呈现了一场科技盛宴,也为大学物理教学提供了极具时代性的教学素材。该表演涉及的静动态平衡、关节动力学、角动量守恒等问题,涵盖大学物理力学部分的核心知识点,是进行综合复习与能力拓展的理想载体。本文以该热点事件的力学解构为例,探讨如何构建工程素养导向的大学物理情境化教学模式。



图 1 2026 年央视春晚宇树机器人进行武术表演
(图片来源于央视网截图)

1 教学模式构建:从工程现象到教学问题的转化机制

本研究提出的情境化教学模式,其核心逻辑在于通过对复杂工程现象进行“逆向解构”与“教学化重构”,搭建连接基础理论与工程实践的认知桥梁。该模式构建包含三个递进的关键环节,形成可迁移的方法论框架。

第一环节:工程现象的解构。以“武 BOT”机器人表演为例,将其整体工程事件分解为若干具有明确物理内涵的典型子动作或技术挑战,如“静态站立”“快速出拳/踢腿”“空中翻转”“集群同步”等,从中提炼出适合课堂深度剖析的“工程切片”。

第二环节:核心物理原理的映射。针对每个“工程切片”,追溯其背后起支配作用的物理原理。例如,“静态站立”对应刚体静力平衡;“快速踢腿”对应转动定律;“空中翻转”对应角动量守恒;“集群同步”则关联反馈控制中的阻尼振动模型。由此建立工程现象与物理理论之间的清晰“点对点”关联,使抽象公式在具体问题中获得意义。

第三环节:驱动性问题的设计与教学嵌入。将物理原理转化为指向明确、富有启发性的驱动性问题。例如,将“静力平衡”转化为“机器人单腿站立时,为何必须将重心维持在一定范围内?超出后控制系统如何补偿?”,此类问题并非原理复述,而是引导学生运用知识解释现象、评估设计乃至提出改进方案的“思维引擎”。这些问题将嵌入以学生为主体的探究式教学流程,成为推动课堂深入的核心动力。

上述三环节构成该教学模式的方法论核心。本文第 2 节将以此框架对“武 BOT”表演进行系统力学解构,并基于解构结果设计具体教学模块(见第 3 节),完整呈现从工程现象到教学问题的转化过程。

2 机器人武术表演中的力学问题解构

2.1 刚体运动学:武术动作的物理建模

在物理学中,刚体是指在运动和受力作用后形状和大小保持不变的理想化模型。人形机器人的大腿、小腿、躯干等部件在工程允许的精度范围内可视为刚体,关节则构成刚体间的转动副,整个

机器人即是一个多刚体系统。“武 BOT”中的武术动作可分解为刚体的三种基本运动形式:平动、定轴转动与平面运动。

平动体现于机器人在舞台上的高速移动与集群变阵,其质心轨迹遵循质点力学规律。定轴转动则表现为关节(如肩、髋)绕固定轴的精确摆动,支撑双节棍操控等灵巧操作。最具挑战性的后空翻则属于典型的平面运动,机器人整体既有质心的抛物线运动(平动),又有绕质心的翻转运动(转动),其示意图如图 2 所示。借助定制弹射器,机器人可“跳”至 2~3 米高,在空中完成正空翻及侧空翻后平稳落地。这一过程可由刚体平面运动的运动学方程完美描述。

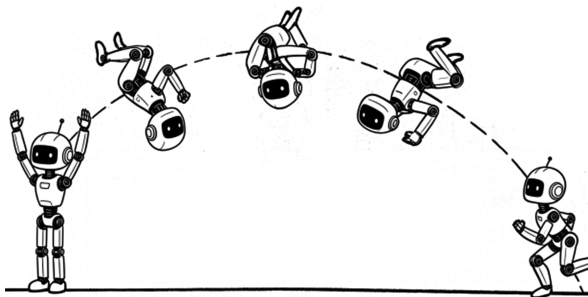


图 2 机器人腾空翻滚过程中的平面运动

2.2 转动定理:电机控制的物理本质

机器人要完成“刚劲有力”的武术动作,关节电机必须提供精确的驱动力矩。这正是刚体转动定理 $M = J\beta$ 的工程应用——合外力矩(M)等于转动惯量(J)与角加速度(β)的乘积。从“武 BOT”的技术突破中,可以清晰看到转动定理三要素的要义。

驱动力矩 M 由高功率电机提供,以满足快速启动、急停与翻转的需求。转动惯量 J 随肢体姿态实时变化(如单腿伸展会显著增大绕支撑髋关节的 J),要求控制系统具备动态感知与力矩补偿能力。角加速度 β 则直接决定动作的“爆发力”,连续后空翻等高难度动作需在极短时间内产生极大的 β 。为实现这一动作,宇树团队在仿真平台进行了上亿次训练。从物理角度看,仿真训练的核心正是求解包含转动定理的动力学方程,寻找最优的力矩控制策略。

2.3 力矩平衡:姿态稳定的物理基础

机器人“站如松、行如风”的武术风范,以及要双节棍、倒地起身等动态动作的稳定完成,均以力

矩平衡原理为物理基础,涵盖静态平衡与动态平衡两大维度,其中零力矩点(ZMP)控制是动态平衡的核心技术。

机器人摆出武术起手式、金鸡独立等静态姿态时,满足刚体的平衡充要条件:合外力为零($\sum \mathbf{F} = 0$),合力矩为零($\sum \mathbf{M} = 0$)。机器人快速挥臂耍双节棍时,手臂对双节棍的作用力会产生反作用力矩,机器人则通过关节电机实时输出反向补偿力矩,维持整体角动量平衡,实现动态姿态稳定。而“醉倒”与“鲤鱼打挺”动作,更是力矩平衡原理的极限应用——倒地后快速起身要求机器人在极短时间内产生巨大力矩,以逆转身体的角动量方向,实现姿态的快速调整。

在机器人完成空翻落地时,观众可以观察到机器人会有一个轻微的移步调整。这一现象的背后,是动态平衡中的零力矩点(ZMP)控制。ZMP 是地面上的一个点,机器人所受的重力和惯性力的合力对该点的水平力矩为零^[8]。当 ZMP 位于机器人支撑多边形(由足底接触点构成的最小凸多边形)内部时,机器人保持动态稳定;若超出支撑区域,则可能倾覆。质心(CoM)、零力矩点(ZMP)和支撑多边形(Support polygon)的相对位置关系如图 3 所示。机器人落地瞬间,由于冲击和姿态偏差,ZMP 可能偏离稳定区域,控制系统通过移步调整支撑点位置,使 ZMP 重新回到支撑多边形内,从而恢复稳定。ZMP 理论是机器人动态稳定性控制的核心理论之一,主要用于双足和四足机器人的步态规划与平衡控制^[9]。

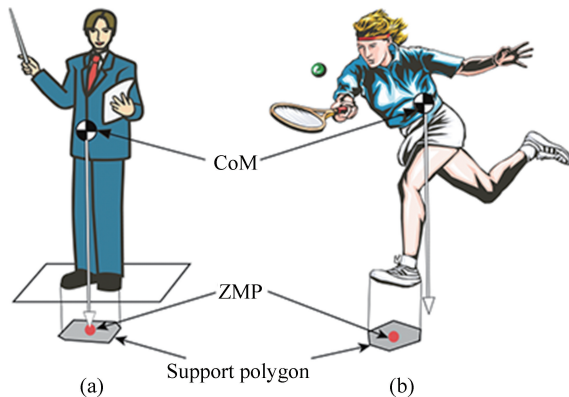


图 3 质心(CoM)、零力矩点(ZMP)和支撑多边形(Support polygon)示意图^[8]

(a) A standing human; (b) A human in action

2.4 集群控制中的多刚体协同问题——阻尼振动视角下的反馈控制

“武 BOT”实现了全球首次“高动态、高协同”的人形机器人集群表演。在 20 余台机器人组成的集群表演中,多刚体协同问题尤为突出,其核心在于同步误差控制与累积误差消除。集群的误差修正通常采用比例-微分(PD)控制算法^[8],其控制律通过实时测量相对位置误差与相对速度误差,计算并修正加速度以驱动机器人回归期望轨迹。其控制律的核心公式可表述为

$$\mathbf{a}_d = k_p \Delta \mathbf{r} + k_d \Delta \mathbf{v} \quad (1)$$

其中, $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$ 为两机器人间的相对位置误差, $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2$ 为相对速度误差, $\mathbf{a}_d$ 为期望加速度(即控制输入)。这一控制律可类比经典的弹簧-质量-阻尼系统:每台机器人相当于一个“质量块”, $k_p \Delta \mathbf{r}$ 相当于“弹簧力”,驱使机器人回归目标位置; $k_d \Delta \mathbf{v}$ 则如同“阻尼力”,消耗动能以抑制振荡。通过合理调节 k_p 和 k_d ,使系统处于临界阻尼状态^[9],就能实现“即使不小心跑偏了,也能全自主快速纠正”——既无振荡也无迟缓地回归队形。这正是实现“高动态、高协同”集群武术表演的工程精髓所在。

3 基于“武 BOT”力学解构的情境化教学设计

基于对“武 BOT”机器人表演中力学问题的系统解构,本文提炼出四个核心教学主题:姿态稳定性、动作爆发力、空中姿态调整、集群协同。这四个主题系统涵盖了刚体力学的主要知识点,并分别对应机器人工程实践中的关键挑战。为实现知识整合、能力培养与价值引领的教学目标,本节遵循第 1 节所构建的方法论框架,将上述主题转化为四个相互关联且体现递进性与探究性的教学模块。每个模块均按照“工程现象解构—物理原理映射—驱动性问题设计—教学意图阐释”的逻辑展开,将抽象物理原理与真实工程问题有机融合。本教学设计建议安排于刚体力学课程结束后的综合复习与拓展应用环节,教学时长建议为 2 学时(90 分钟)。

3.1 模块一:姿态稳定性的物理基础——从静力平衡到 ZMP 控制

1) 工程现象解构

机器人展示“金鸡独立”、快速踢腿后稳稳落

地,以及空翻落地后的小幅移步调整。

2) 物理原理映射

刚体的静力平衡条件 ($\sum \mathbf{F} = 0, \sum \mathbf{M} = 0$)、质心(CoM)与支撑多边形的关系;动态平衡中的零力矩点(ZMP)理论^[8]。

3) 驱动性问题设计

(1) 模型建构:观看机器人“金鸡独立”的截图,尝试建立其简化物理模型。若机器人质量为 50kg,单脚支撑面积为 200cm²,其质心在水平面上的投影允许偏离脚掌中心的最大距离是多少?(引导学生计算,理解支撑多边形和静力平衡的量化关系)

(2) 原理应用:当机器人快速踢出右腿时,其质心会如何变化?如果控制系统不采取任何措施,机器人会发生什么?请运用刚体平衡的原理解释。

(3) 工程分析:结合图 3,解释为何当 ZMP 点位于支撑多边形内部时机器人是稳定的。空翻落地后的“移步”动作,从 ZMP 控制的角度看,其工程目的是什么?

4) 教学意图

本模块在于引导学生掌握静动态平衡判据,理解 ZMP 的物理本质,并通过建模与解释训练抽象思维,体会基础力学对尖端工程的支撑价值。

3.2 模块二:动作爆发力的来源——转动定律的工程诠释

1) 工程现象解构

机器人完成快速、有力的出拳和踢腿动作。

2) 物理原理映射

刚体定轴转动定律 $M = J\beta$ 。

3) 驱动性问题设计

(1) 工程估算:将机器人大臂简化为质量为 2kg、长度为 0.4m 的均匀细杆。若需在 0.1 秒内将其从静止加速到角速度 10rad/s,估算所需施加的平均力矩。若电机能提供的峰值力矩为 50N·m,这个动作能实现吗?(引导学生代入公式计算,体会力矩、转动惯量、角加速度的量化关系)

(2) 设计权衡:为了提高出拳速度,设计师可以采取哪些措施?请从转动定律的三个要素(M 、 J 、 β)出发进行分析。例如,讨论使用碳纤维材料(减小质量)和将电机靠近肩关节(减小质量分布半径)是如何通过减小转动惯量 J 来起作用的。

(3) 约束识别:如果一味追求更大的电机力矩 M ,会带来什么新的工程问题?请从转动功率公式($P=M\omega$)分析高速运动下的功率限制,引导学生理解工程设计中“速度-力矩-功率”的三角制约关系;同时引导学生讨论质量增加、能耗上升、结构强度要求更高等工程约束,初步建立“权衡”的工程思维。

4) 教学意图

本模块旨在使学生超越公式计算,理解“力矩-惯量-加速度”三要素间的工程权衡,培养多约束下的优化决策能力。

3.3 模块三:空中姿态调整的奥秘——角动量守恒的妙用

1) 工程现象解构

机器人在腾空后,通过收拢或伸展肢体来改变自身的旋转速度,完成空翻动作。

2) 物理原理映射

角动量守恒定律(当合外力矩为零时, $L=J\omega=\text{常量}$)。这里需要补充介绍质心参考系下的角动量守恒定律,明晰其在非惯性系中的应用条件。

3) 驱动性问题设计

(1) 类比分析:观看机器人空翻与花样滑冰运动员旋转的对比视频。分析两者在物理本质上的一致性。机器人空翻时,是通过什么方式来增大或减小旋转角速度 ω 的?

(2) 难点探究:一个更深层的问题:机器人由电机驱动,电机转子在高速旋转时会产生陀螺效应,对机身施加一个反作用力矩。这是否会破坏系统的角动量守恒?若会,工程师应如何消除或利用这种干扰?(引导学生展开小组讨论,提出可能的方案,如配置反向旋转的飞轮来抵消净角动量变化等。)

4) 教学意图

此模块重在揭示真实工程中关节反作用力矩的耦合复杂性,激发学生批判性思维与解决复杂问题的意识。

3.4 模块四:集群协同的精髓——从阻尼振动看反馈控制

1) 工程现象解构

20余台机器人整齐划一地完成动作,即使个别机器人出现位置偏差,也能迅速、平稳地回归队列。

2) 物理原理映射

比例-微分(PD)控制^[9],其动力学行为与弹簧-质量-阻尼系统高度相似。

3) 驱动性问题设计

(1) 现象类比:当一台机器人的位置偏离了队形,它受到的控制指令就像被一个“虚拟弹簧”拉回正确位置,同时又受到一个与运动方向相反的“虚拟阻尼力”抑制振荡。这让你联想到物理学中哪种典型的运动形式?(引导学生类比弹簧振子的阻尼振动。)

(2) 物理诠释:PD控制的核心公式为: $a_d = k_p \Delta r + k_d \Delta v$ 。请将公式中的各项与弹簧-质量-阻尼系统中的“弹簧力”和“阻尼力”对应起来。并解释,如果 k_p 过大(弹簧过强)或 k_d 过小(阻尼太弱),机器人的纠偏过程会表现出什么现象?(引导学生关联到欠阻尼、过阻尼、临界阻尼的概念。)

(3) 工程优化:为实现“既无振荡也无迟缓”的快速纠偏,工程师应如何调节 k_p 和 k_d 参数,应遵循什么样的调节思路?

4) 教学意图

本模块作为跨学科融合的升华,旨在帮助学生建立从个体力学到群体控制的认知跃迁,领悟基础物理模型在不同工程领域的普适性与统一性。

4 教学论意义与实施建议

4.1 教学论意义

本研究构建的情境化教学模式,其核心价值在于提供了一种以工程素养培育为导向、可迁移的大学物理教学理论框架。从教学论视角看,其理论贡献体现在五个方面:

第一,实现前沿性与时代感的融合。以最新科技热点(如人形机器人)为载体,将前沿工程成果转化教学资源,有效回应了传统教材案例滞后、脱离工程实际的问题,增强了课程内容的吸引力与时效性。

第二,追求知识整合与系统化。突破知识碎片化局限,以真实工程问题为线索,有机串联质点力学、刚体运动学、转动动力学、阻尼振动等模块,为知识体系的“重构”与“活化”提供了可行路径。

第三,显性化工程思维培养。不仅阐释物理

原理,更深入剖析其背后的工程约束与设计逻辑,将工程素养从“隐性渗透”转向“显性教学”,构建可操作的能力培养框架。

第四,深化跨学科融合。融合物理学、机械工程与自动控制等多学科知识,契合新工科发展趋势,为跨学科教学提供了具体“锚点”,有助于拓宽学生学术视野。

第五,贯彻探究式教学理念。采用“情境观察—模型建构—原理分析—工程诠释”的教学链条,通过驱动性问题、小组讨论与工程估算等环节,激发学生主体性,培养批判性思维与复杂工程问题解决意识。

4.2 实施建议

上述教学论意义阐明了该模式的理论价值,而其实践价值的实现则有赖于在不同教学情境中的有效迁移与应用。为保障该模式的落地实施,提出以下五点建议:

(1) 与课程大纲的系统衔接。该模式适用于基础物理课程中特定知识模块(如刚体力学)结束后的综合复习与拓展应用环节,建议安排在理论授课完成后、课程作业或实验之前实施,以实现理论知识与工程应用的快速联结。

(2) 教学时长的灵活把控。根据实际教学安排,可对模式中的教学模块进行时长调整。对核心知识点的复习与工程分析应留出充足时间,可根据学生接受程度,对拓展性内容(如本文所举案例中的 ZMP、PD 控制)进行精简或深化。

(3) 教学难度的分层设计。根据学生的专业背景(机械类、电子类、物理类、化工类等)调整理论深度与工程分析难度:对基础薄弱的班级,侧重定性分析与物理图像构建;对基础较好的班级,可引入更深入的动力学建模讨论,开展定量分析。

(4) 教学素材的更新迭代。该模式的核心理念在于“以真实工程问题为载体”,具体案例可根据科技发展动态进行替换或补充。教学中可持续关注人形机器人、智能装备等领域的最新进展,保持课程的前沿性与时代感。

(5) 与实践教学的有机结合。鼓励将该模式与大学物理实验、工程创新实践相衔接,引导有兴趣的学生在课后通过仿真软件或简易实验平台,对课堂讨论的工程问题进行模拟验证或拓展探究,实现“理论教学—案例分析—实践验证”的教学延伸。

5 结语

以情境认知理论为指导,本文提出了一种工程素养导向的大学物理情境化教学模式。该模式遵循“工程现象解构—物理原理映射—驱动性问题设计”的方法论框架,以真实、前沿工程问题为载体,通过设计具有递进性与探究性的驱动性问题链,引导学生在知识整合的过程中实现从物理建模到工程决策的思维跨越。

本文提出的情景化教学模式不仅强化了对物理原理的深层理解,更显性化地融入了工程约束、设计权衡与系统思维等核心素养要素,为大学物理教学与工程实践的有机融合提供了可迁移、可操作的实施路径。以 2026 年央视春晚“武 BOT”机器人武术表演的力学解构为例,本文系统阐述该模式的设计逻辑与实施路径,其中“武 BOT”机器人案例可直接为一线教师的教学提供参考。

本文后续研究中,将聚焦于该教学模式在更多教学情境中的实施验证与迭代优化,通过教学实践不断检验和完善其模块设计,以期在大学物理教学中更有效地支撑学生工程素养的形成,为服务国家新工科建设和高层次工程科技人才培养战略提供有益的理论探索与实践参考。

参 考 文 献

- [1] 教育部. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准[S]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
Ministry of Education. National Standards for Teaching Quality of Undergraduate Majors in General Higher Education Institutions [S]. Beijing: Higher Education Press, 2018. (in Chinese)
- [2] 中国工程教育专业认证协会. T/CEEAA 001—2022 工程教育认证标准(2022 版)[S]. 北京: 中国工程教育专业认证协会, 2022.
China Engineering Education Accreditation Association. T/CEEAA 001—2022 Accreditation Standard for Engineering Education (2022 Edition) [S]. Beijing: China Engineering Education Accreditation Association, 2022. (in Chinese)
- [3] 谢东,樊代和. 与专业相衔接的“大学物理”绪论课教学设计——土木篇[J]. 物理与工程, 2019, 29(06): 99-102.
XIE D, FAN D H. Teaching Design of Introduction Course of College Physics Connected with Major: Civil Engineering [J]. Physics and Engineering, 2019, 29(6): 99-102. (in Chinese)

(下转第 148 页)

- ZHANG F, YIN X G, ZHU M Z. A variety of solution about theoretical mechanics problem[J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2010, 30(5): 93-95. (in Chinese)
- [8] 师玉荣, 张得健, 王峰. 转动参考系中质点运动的动力学分析及数值模拟[J]. 物理与工程, 2023, 33(4): 31-35.
- SHI Y R, ZHANG D J, WANG F. Dynamic analysis and numerical simulation of particle motion in a rotating reference frame[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(4): 31-35. (in Chinese)
- [9] 马淑红, 焦照勇, 贾光瑞. 基于“一题多解”促核心素养发展[J]. 物理通报, 2022, 12: 83-85.
- MA S H, JIAO Z Y, JIA G R. Promoting the development of core accomplishment based on multiple solutions to one problem[J]. Physics Bulletin, 2022, 12: 83-85. (in Chinese)
- [10] 周衍柏. 理论力学教程[M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 2023, 201.
- ZHOU Y B. Theoretical mechanics[M]. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2023, 201. (in Chinese)
- [11] 马淑红, 侯振, 焦照勇, 等. 基于 Python 的科里奥利力对物体运动影响的可视化模拟[J]. 物理与工程, 2023, 33(2): 81-87.
- MA S H, HOU Z, JIAO Z Y, et al. Visualizing the coriolis effect on moving objects by numerical simulation based on python[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(2): 81-87. (in Chinese)
- (上接第 120 页)
- [4] 高倩倩, 戴玉强, 赵荣霞, 等. 工程教育专业认证背景下大学物理课程的优化与实践[J]. 物理通报, 2025, (10): 2-4, 9.
- GAO Q Q, DAI Y Q, ZHAO R X, et al. Optimization and Practice of College Physics Course under the Background of Engineering Education Professional Certification[J]. Physics Bulletin, 2025(10): 2-4, 9. (in Chinese)
- [5] 颜超, 朱泉水, 冯翠娣, 等. 面向工程思维能力培养的大学物理分层进阶的混合式教学模式的构建与实践[C]. 2025 年全国高等学校物理基础课程教育学术研讨会论文集(中国天津), 2025: 162-170. DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.068683.
- YAN C, ZHU Q S, FENG C D, et al. Construction and Practice of Hierarchical and Advanced Hybrid Teaching Mode of College Physics for Engineering Thinking Ability Cultivation[C]//Proceedings of 2025 National Academic Symposium on Basic Physics Courses in Colleges and Universities. Tianjin, China, 2025: 162-170. DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.068683. (in Chinese)
- [6] 王文静. 情境认知与学习理论: 对建构主义的发展[J]. 全球教育展望, 2005, 34(4): 56-59, 33.
- WANG W J. Situated cognition and learning theory: A development of constructivism[J]. Global Education, 2005, 34(4): 56-59, 33. (in Chinese)
- [7] BROWN J S, COLLINS A, DUGUID P. Situated cognition and the culture of learning[J]. Educational Researcher, 1989, 18(1): 32-42.
- [8] KAJITA S, HIRUKAWA H, HARADA K, et al. Introduction to Humanoid Robotics [M]. Berlin: Springer, 2014.
- [9] 林玎玎, 刘莉, 赵建东, 等. 双足步行机器人的 ZMP-CoP 检测及研究[J]. 机器人, 2004, 26(4): 6. DOI:10.3321/j.issn:1002-0446.2004.04.016.
- LIN D D, LIU L, ZHAO J D, et al. ZMP-CoP detection and research of biped walking robots[J]. Robot, 2004, 26(4): 6. DOI:10.3321/j.issn:1002-0446.2004.04.016. (in Chinese)
- [10] 柳文林, 潘子双, 崔凯凯. 基于 PD 控制算法与 Isight 系数优化的无人机轨迹跟踪[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43(12): 188-193.
- LIU W L, PAN Z S, CUI K K. UAV trajectory tracking based on PD control algorithm and Isight coefficient optimization[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2022, 43(12): 188-193. (in Chinese)