

中学生物理概念理解水平的性别差异：影响因素及作用机制

赵淇儿 杨 洁

(华东师范大学教师教育学院, 上海 200062)

摘 要 大量研究表明,男生在物理学科能力和学习动机方面的表现显著优于女生。为探究外界评价和物理学习动机对学生物理概念理解的作用机制,本文选取 252 名高中生为样本,用结构方程模型分析性别差异的形成机制。该模型显示物理身份认同能够显著正向预测学生物理概念理解水平,而学习兴趣和自我效能感对其没有显著影响。外界评价是导致男女生物理身份认同存在显著差异的重要原因。女生感知到来自他人的认可度低,破坏了其物理身份认同的形成发展过程,从而进一步影响了女生在物理学习中的表现。

关键词 物理概念理解水平;物理身份认同;性别差异;结构方程模型

GENDER DIFFERENCES IN MIDDLE SCHOOL STUDENTS' LEVEL OF PHYSICAL CONCEPT UNDERSTANDING: INFLUENCING FACTORS AND ROLE MECHANISMS

ZHAO Qi'er YANG Jie

(College of Teacher Education, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract A substantial amount of research indicates that male students significantly outperform female students in terms of their ability and motivation to learn the subject of physics. In order to investigate the mechanism of external evaluation and physics learning motivation on students' conceptual understanding of physics, this paper selected a sample of 252 high school students and analyzes the formation mechanism of gender differences using a structural equation model. The model shows that physics identity can significantly and positively predict students' physics conceptual understanding level, while learning interest and self-efficacy have no significant effect on it. External evaluation is an important reason for the significant difference in physics identity between male and female students. Female students perceive a lower degree of recognition from others, which disrupts the formation and development of their physical identity, thereby further affecting their performance in physics learning.

Key words level of physical concept understanding; physics identity; gender differences; structural equation modeling

收稿日期: 2024-01-30

基金项目: 华东师范大学 2022 年度人文社会科学青年预研究项目“提高女性在科学领域代表性的策略研究”(项目编号: 2022ECNU-YYJ010)。

通信作者: 杨洁, 华东师范大学副教授, jyang@cte.ecnu.edu.cn。

引文格式: 赵淇儿, 杨洁. 中学生物理概念理解水平的性别差异: 影响因素及作用机制[J]. 物理与工程, 2024, 34(5): 218-224.

Cite this article: ZHAO Q E, YANG J. Gender differences in middle school students' level of physical concept understanding: Influencing factors and role mechanisms[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(5): 218-224. (in Chinese)

《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》中明确指出,要推进教育公平,同时关注学生个性化、多样化的学习和需求,促进人才培养模式的转变,着力发展学生的核心素养^[1]。关注物理学科中的性别差异及其影响因素不仅有助于挖掘潜在的不公平因素助力教育公平,同时也能因材施教,促进学生个性化发展。

作为科学、技术、工程和数学(STEM)领域的一部分,物理学科中的性别差异一直是一个备受关注的话题。物理学习动机包含自我效能感、物理学习兴趣、身份认同等。在自我效能感方面, Sonja Cwik 等人发现,即使男女生成绩相当,女生的自我效能感显著低于男生,成绩为 A 的女生和成绩为 B 的男生自我效能感相当^[2]。国内学者何秀君等人也发现,在高中阶段,女生在物理身份认同、物理学习兴趣方面显著低于男生^[3]。Kalender 等研究者开展关于女性在物理领域低代表性的原因的调查,通过结构方程模型分析发现影响女性物理身份认同的主要原因是外界评价,“女性天生不适合学习物理”的言论让其丧失了学习物理的动机信念^[4]。

在物理学科能力上,一些国外学者利用物理学科概念测试工具(如力学概念测试(Force concept inventory, FCI)、电磁学概念测试(Brief Electricity and Magnetism Assessment, BEMA)等)开展研究发现,女性在这些概念测试工具上的表现普遍弱于男性。Matthew 的研究发现,无论身处何种层次的学习阶段,女生在力学概念的理解和运用上均显著落后于男生^[5]。Rachel Henderson 等人通过使用电磁学概念测试量表发现,男女生在电磁学概念理解中也存在显著的性别差异^[6]。国内也有部分学者开展了中学生物理成绩的性别差异研究,如姚中华发现女生在高一、高二时物理成绩低于男生,而到高三时,物理成绩差异达到最大^[7]。

现有研究尝试从学生、课堂等多个角度对中学阶段学生物理学科能力表现的影响因素做探讨。一项研究表明,改变课程设置以激发学生的兴趣,有助于提高所有学生对学科的理解能力^[8]。同时,自我效能感能够正向预测学生各学科的学习能力表现,这一结论得到纵向研究^[9]和元分析文献^[10,11]的支持。国内学者也从生理、心理、社

会、课堂等角度分析了物理学习中性别差异的产生原因^[12,13]。形成物理学科能力中的性别差异的因素有很多,但在物理学习过程中,学生无疑是学习活动的主体,因此,学生因素在物理学习影响因素中占据理论和实践的首要地位。目前,中学生物理学科能力性别差异的影响因素研究很少考虑外界评价、物理学习动机等因素的交互作用。

为此,本文以 FCI、BEMA 量表为参考自编概念测试量表,对三个省份高二、高三学生的物理概念理解水平及相关影响因素进行研究分析,期望通过结构方程模型探究性别、物理学习兴趣、外界评价与物理概念理解水平之间的关系。本研究在 Kalender 提出模型的基础上,参考已有研究,建立以下理论模型(见图 1)。

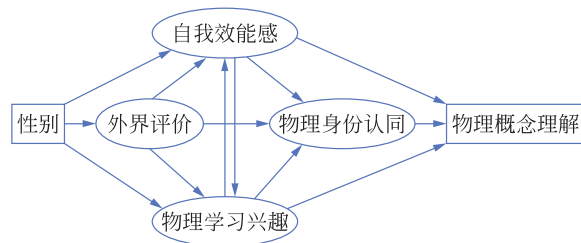


图1 理论模型:在 Kalender 提出模型的基础上,引入物理概念理解变量,研究中学生物理学科能力性别差异中外界评价、物理学习动机等因素的交互作用

1 测试工具与样本

1.1 研究工具

1.1.1 物理概念检测量表

FCI 主要用来测量学生对经典力学基本概念的理解和掌握情况,包含 30 个选择题,是学界公认的标准化学力学概念测试工具。D. Hestens 等人在 20 世纪 90 年代开发了该量表^[14]。之后由 Ibrahim Halloun、Richard Hake 和 Eugene Mosca 三位学者对其进行了多次修订,以提高量表的信度和效度^[15]。BEMA 则是标准化的电磁学概念测试工具,主要用来测试学生对电磁学基本概念的理解和掌握情况。该量表是 Chabay 和 Sherwood 于 1997 年在 Fred Reif 的协助下开发的一个电磁学概念评估工具^[16]。在开发后, Lin Ding、Ruth Chabay、S. J. Pollock 等学者多次对该工具进行评

估,认为 BEMA 是一个可靠的评估工具^[17, 18]。

本研究中的物理概念检测量表是依据《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》,同时参考 FCI 和 BEMA 编制形成的。为保证学生回答量表问题的质量,本研究中的物理概念测试量表共 11 题,包含运动学、力的合成与分解、力的种类、牛顿三大定律、库仑定律、电势差与强度的关系、电容器的充电过程、电磁感应等力学、电磁学中的重要概念。物理概念检测量表由两名物理教育研究生在专家的指导下编制完成,并邀请多位高中在职教师进行试测。在专家指导和教师试测反馈的基础上,物理教育研究生完善和优化了测试题,确保测试题质量。

在物理课程中,成绩是衡量学生学业成绩的常用指标。除考试成绩以外,物理概念量表是衡量学生物理学习成果的另一个常用指标。有研究显示,学生在物理概念测试上的表现与物理成绩呈正相关^[19]。同时,与考试相比,这些测试工具摒弃了常规考试中对技巧、方法的考查,更加注重对物理规律的本质理解,更能体现被测者的物理观念。因此,本研究利用物理概念检测量表反映学生某一阶段物理学习成效。

1.1.2 影响因素量表

影响因素量表问题项及因子载荷系数如表 1 所示。四个维度 Cronbach's alpha 系数均大于 0.7,因此量表具有较好的信度。同时,影响因素量表由两位物理教育专家及多位物理教育研究生共同翻译完成,在翻译时不存在跨语境歧义,量表的内容效度得到保障;对量表进行验证性因子分析(Confirmatory Factor Analysis, CFA),结果显示各题项对相应维度的因子载荷在 $p < 0.001$ 水平上显著,且因子载荷系数均大于 0.5。同时模型拟合指数为 $\chi^2/DF = 2.298$, $TLI = 0.938$, $IFI = 0.934$, $CFI = 0.951$, $RMSEA = 0.072$,根据 D. Hooper^[20]关于结构方程模型拟合指数的指南,当 $\chi^2/DF < 3$, $TLI > 0.9$, $IFI > 0.9$, $CFI > 0.9$, $RMSEA < 0.08$ 时,CFA 结果良好,因此,该量表具有较好的结构效度。量表以李克特 5 级量表的形式编制,评分值越大表示学生对该题项表示的意义积极正向认同程度越高。

自我效能感是指个体对自己成功执行给定任务所需行为能力的信念^[21]。本研究选取由 Lindstrom 和 Sharma 编制的“物理自我效能感问卷”

表 1 影响因素量表题项以及验证性因子分析的因子载荷

维度和题项	因子载荷系数	p
自我效能感 (Cronbach's alpha = 0.875)		
我通过努力就可以解出比较难的物理题	0.81	<0.001
对于我认为学会的知识,考试时就能发挥出来	0.71	<0.001
我足够用功的话,就能考出好成绩。	0.70	<0.001
别人能学会,我也能学会	0.75	<0.001
我总能达成自己物理学习的目标	0.84	<0.001
物理身份认同 (Cronbach's alpha = 0.842)		
我会介绍自己是懂物理的	0.73	<0.001
我可以成为一个好的物理学者	0.71	<0.001
物理学习兴趣 (Cronbach's alpha = 0.721)		
我会在课外阅读科普读物或物理学家的故事	0.73	<0.001
我会主动了解物理研究方面的新发现、新进展	0.85	<0.001
我愿意参加物理竞赛	0.53	<0.001
外界评价 (Cronbach's alpha = 0.808)		
其他同学会认可我适合学物理	0.84	<0.001
有老师鼓励过我选考物理	0.72	<0.001
我的父母鼓励过我选考物理	0.65	<0.001

(PSEQ),该问卷以物理学科中的自我效能感为焦点,具有较强的针对性。问卷的原始问题 4 的表述为:“我可以通过物理考试”,我们将其改为“我足够用功的话,就能考出好成绩”,更符合中国高中教育的实际情况。

物理身份认同即个人在学习物理或从事物理相关工作的过程中,是否认为自己是一个“物理人”^[4]。在 Yangqiuting Li 的研究中,物理身份认同仅用一个题项来测量:“我把自己看成一个物理人”^[22]。本研究在此基础上,参考 Lauren Kost-Smith 关于《物理自我效能感与身份认同问卷》^[23]中关于身份认同的题项,最后确定两个题项作为物理身份认同维度的测量。

外界评价指的是个体感知到的来自他人的评

价。在 Yangqiuting Li 的研究中,外界评价主要来自家人、朋友、老师,笔者稍作修改,使题项表述符合目前高中的现实情况。如:将“My friends sees me as a physics person”改为“我的同学认为我适合学物理”等。

物理学习兴趣是指学生对物理学习活动产生的喜爱和探求的情感状态,是推动学生学习物理的内在力量^[24]。学习兴趣量表参考了由 E. F. Redish 等人编制的《马里兰物理期望问卷》^[25]。

1.2 研究对象

本研究在秋季学期中将量表以问卷的形式发放,选取来自三所中学的 252 名高中生为样本(表 2)。为实现样本多样性,消除样本仅来自单一地区所带来的偶然性,笔者选取来自三个省份的高中生填写问卷,共发放 312 份问卷,剔除无效问卷 60 份,共回收有效问卷 252 份,问卷回收率 80.77%。样本包括上海高二学生 117 人,浙江高二学生 77 人,安徽高三学生 58 人,其中,男生 168 人,女生 84 人。最新研究表明,高中生物理选科存在显著的性别差异,男生选考物理的意向要显著高于女生^[26]。学生在高二时已经完成选科,故样本中的男女比例约为 2:1 符合实际情况。

表 2 样本概述

地区	上海	浙江	安徽	总计
男	79	51	38	168
女	38	26	20	84
总计	117	77	58	252

2 数据分析

2.1 性别差异检验

先对数据结果进行正态性检验。Shapiro-Wilk 正态性检验结果表明,男女生各维度均不服从正态分布。对于不满足正态分布的定量数据,可用 Mann-Whitney U 检验。因此,我们使用 Mann-Whitney U 检验来进行性别差异检验,如表 3 所示。Mann-Whitney U 检验只能检验组间差异是否显著,因此,本文引入 Cohen's d 反映差异的效应量,即差异的大小程度,Cohen 认为,0.1、0.3、0.5 分别代表小、中、大效应量^[27]。

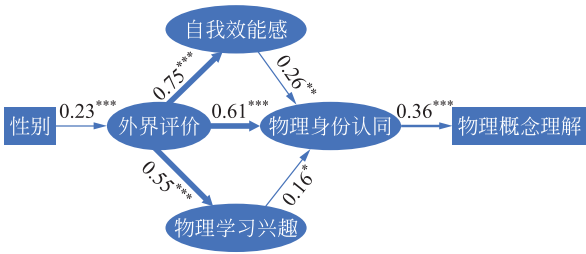
表 3 各变量的性别差异检验

	男生(168 人)		女生(84 人)		均值差	Cohen's d
	均值	标准差	均值	标准差		
物理成绩	0.709	0.188	0.639	0.201	0.071	0.371**
自我效能感	3.694	0.877	3.360	0.824	0.335	0.391***
物理身份认同	3.125	1.014	2.530	1.131	0.595	0.567**
外界评价	3.669	0.898	3.369	0.908	0.300	0.334**
物理学学习兴趣	3.085	0.879	2.746	0.891	0.339	0.386**

物理概念检测量表共 11 题,笔者将物理成绩作归一化处理。男女生均值分别为 0.709 和 0.639,男生成绩在 $p < 0.01$ 水平上显著高于女生,达到中等效应量,说明男生对物理概念的理解水平显著高于女生。从物理身份认同这一变量看,男生的平均得分高于理论中值 3 分,说明男生整体上具有较强的物理身份认同,普遍认为自己有成为优秀物理学者的潜能。而女生在物理身份认同这一变量上的平均得分较低,仅为 2.530 分,接近理论中值,说明女生对自己在物理学科的角色定位不如男生那样明确和坚定。男女生差异这一变量具有统计学意义,效应量为 0.567,属于较大程度的差异。在自我效能感和外界评价两个变量上,尽管男女生得分均高于理论中值,但男生的均分显著高于女生。这说明男生对自己在物理学科表现出更高的信心,同时也感知到来自外界的更多正面评价。这两个变量上男女差异均达到中等程度。数据结果表明,男生在物理学习兴趣这一变量上的均分显著高于女生,且高于理论中值,而女生的得分低于理论中值,说明男生对学习物理科目具有更浓厚的兴趣,与何秀君^[3]等人的研究结论一致。

2.2 结构方程模型构建

结构方程模型(Structural Equation Model, SEM)是一种用于建构观测变量与潜变量之间或多个潜变量之间因果关系的多元统计分析方法,该方法是验证性因子分析和路径分析的结合,即包含测量模型和结构模型。如图 2 所示,在 SEM 中,我们将变量分为两大类,可以直接测得的变量



Chi/DF=2.439; IFI=0.931; TLI=0.914; CFI=0.930; RMSEA=0.076

图2 各影响因素间的路径系数和显著性

注： $p<0.001$ 用***表示， $p<0.01$ 用**表示， $p<0.05$ 用*表示

为显变量,用方框表示,如学生性别属于显变量范畴。无法直接观测到的变量为潜变量,用椭圆表示,可以通过观测变量之间的关系推断出来。通过测量模型,我们可以了解潜在变量和观测变量之间的关系,以及观测变量之间的测量误差。如自我效能感属于潜变量,我们只能通过题项的分数来估计自我效能感的高低,但是分数无法准确代表自我效能感。与多元回归模型相比,SEM的一大优势在于我们可以同时估计多个结果的所有回归关系和项目的因子载荷,从而提高统计能力^[28]。同时,在本研究中,各变量的相关性如表4所示,变量之间存在中度显著相关关系。若使用简单的回归分析,则会导致多重共线性问题,结构方程模型能够突破传统回归分析中的多重共线性限制,灵活建模处理多个变量间的复杂关系。本文使用 Amos26.0 建立结构方程模型。

表4 各变量间的相关性

	物理概念理解	自我效能感	物理身份认同	外界评价	物理学学习兴趣
物理概念理解	1				
自我效能感	0.269***	1			
物理身份认同	0.295***	0.662***	1		
外界评价	0.322***	0.578***	0.672***	1	
物理学学习兴趣	0.158*	0.387***	0.535***	0.411***	1

结构方程模型如图2所示。在图2中,箭头表示变量间因果关系方向,其上方为标准化路径系数,数值表示影响效应的大小,效应大小用箭头

粗细表示。根据 D. Hooper^[20] 的结构方程模型拟合指数指南,本研究建立的关于物理概念理解水平影响因素结构方程模型拟合指标比较理想,拟合度良好。

本研究的结构方程模型中,性别作为类别自变量,男生编码为1,女生编码为0,与之相连的路径系数是男生相对于女生的水平^[29]。在进行结构方程模型建构的过程中,笔者发现性别对物理概念理解水平的直接影响在统计学上不显著,说明物理概念理解水平中性别差异的解释需引入其他变量。

通过路径分析发现,外界评价和物理身份认同是关键的中介变量。如表5所示,性别对外界评价的直接影响的标准化路径系数为0.23,且在 $p<0.001$ 水平上显著。物理身份认同对物理概念理解的直接影响的标准化路径系数达到0.36,属于中等程度影响。而外界评价、自我效能感和物理学习兴趣对物理概念理解没有显著的直接影响。

表5 各路径效应及占比

路径	效应量计算	效应量	占比
1. 性别-外界评价-物理身份认同-物理成绩	$0.23 \times 0.61 \times 0.36$	0.0505	68.34%
2. 性别-外界评价-自我效能感-物理身份认同-物理成绩	$0.23 \times 0.75 \times 0.26 \times 0.36$	0.0161	21.79%
3. 性别-外界评价-物理学学习兴趣-物理身份认同-物理成绩	$0.23 \times 0.55 \times 0.16 \times 0.36$	0.0073	9.87%
总效应(各路径效应之和)		0.0739	100.00%

学生性别变量主要通过以下三条途径间接影响物理概念理解:

- (1) 性别→外界评价→物理身份认同→物理概念理解;
- (2) 性别→外界评价→自我效能感→物理身份认同→物理概念理解;
- (3) 性别→外界评价→物理学学习兴趣→物理身份认同→物理概念理解。

这三条途径都涉及了外界评价和物理身份认同这两个核心中介变量,说明外界评价和物理身份认同对学生学科能力表现具有重要影响作用。

3 讨论与分析

与理论模型进行对比发现,首先,在物理学习动机与物理概念理解水平的关系中,唯有物理身份认同对学生物理概念理解水平有显著影响,说明学生对自身物理身份的认同会影响其学科能力,可见物理身份认同是个体物理学习、成就的关键,也是个体获得物理知识和能力不可缺失的一部分。其次,在物理学习动机内部,自我效能感和物理学习兴趣均显著正向影响物理身份认同,而与 Kalender 得到的模型不一致的是,本研究中,中国学生的物理学习兴趣对自我效能感并没有显著影响。

外界评价是本研究中的关键变量,一方面,性别对学生的自我效能感没有显著影响,而是通过外界评价影响自我效能感,标准化路径系数高达 0.75,说明自我效能感发展中的性别差异是来自男女生感知到的他人对自我评价的差异,这一结论与外界评价在个体的自我效能感发展中发挥关键作用的理论是一致的。同样地,性别对学生的物理学习兴趣没有显著的直接影响,而是通过外界评价影响物理学习兴趣,这与 Kalender 的模型不一致,说明外界评价在中国高中生物理学习兴趣形成与发展中起到关键作用。另一方面,男女生感知到的外界评价直接或间接显著影响物理身份认同,从而影响学生在物理学习中的表现。研究发现,男女生感知到的外界评价存在显著差异。从结构方程模型分析结果看,性别对外界评价的直接影响路径系数为正值且达到了显著水平。这意味着女生整体上感知到的外界负面评价更多。外界的消极评价会降低女生的物理学科自信心和学习动机,这继而对她们的学习行为和效果造成不利影响。该结论与国外一些研究关于性别差异生成机制的类似发现一致^[4]。

4 建议

本研究表明,物理身份认同能够正向显著预测学生的物理概念理解水平。同时,外界评价是影响物理身份认同的最主要因素。因此,笔者呼吁中学教师努力为学生建立平等包容的学习环

境,消除外界评价中的刻板印象,从而提高物理身份认同,提升学生在物理学习中的表现。

学生在进入物理课堂之前可能就受到社会刻板印象的影响,在物理中常见的刻板印象是人们通常认为天赋是学好物理的重要因素,而天才往往和男性联系在一起,女性从小就倾向于回避与先天才华有关的领域^[30]。因此,教师作为学生学习的引导者,应该帮助学生减小外界刻板印象带来的负面影响。在教学中,教师应谨慎用语,尽量避免使用“显然的”“有天赋”等词语,因为这些语言会潜在加重女性认为自己不适合物理学科的刻板印象。在物理课堂中,教师应当采取公平包容的教学策略,鼓励男女生一起参与课堂环节,为每个同学提供平等的机会来表达他们的观点。当女生在课堂上表现良好或进步时,教师应给予肯定,这可以潜在地减少学生感知到来自他人评价中的性别差异,从而建立其物理学习的自信心。同时,教师也可以采取多样化的教学方式,比如,胡提臻等人在高中物理课堂中实施同伴教学法,发现该方法对提高女生的物理学习动机有轻微的成效^[31]。教师作为最直接影响学生的群体,应对每一位学生表达对他们的期待,但是这还不够,还需要引导学生为达到学习目标而付出努力,同时改善其学习方法,促进同伴间的交流互动,真正营造一个让学生具有“物理归属感”的学习空间。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] CWIK S, SINGH C. Damage caused by societal stereotypes: Women have lower physics self-efficacy controlling for grade even in courses in which they outnumber men[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(2): 020138.
- [3] 何秀君, 黄雨寒, 朱广天. 中学生物理身份认同中的性别差异[J]. *物理与工程*, 2022, 32(4): 68-73.
HE X J, HUANG Y H, ZHU G T. Gender differences in middle school students[J]. *Physics and Engineering*, 2022, 32(4): 68-73. (in Chinese)
- [4] KALENDER Z Y, MARSHMAN E, SCHUNN C D, et al. Why female science, technology, engineering, and mathematics majors do not identify with physics: They do not think others see them that way[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2019, 15(2): 020148.
- [5] MEARS M. Gender differences in the Force Concept Inventory for different educational levels in the United Kingdom[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2019, 15(2): 020135.
- [6] HENDERSON R, STEWART G, STEWART J, et al. Exploring the gender gap in the conceptual survey of electricity

- and magnetism[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2017, 13(2): 020114.
- [7] 姚中化. 高中物理学习中的性别差异研究[J]. *物理教学*, 2016, 38(6): 46-48+51.
YAO Z H. A Study of Gender Differences in High School Physics Learning[J]. *Physics Teaching*, 2016, 38(6): 46-48+51. (in Chinese)
- [8] HÄUSSLER P, HOFFMANN L. An intervention study to enhance girls' interest, self-concept, and achievement in physics classes[J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2002, 39(9): 870-888.
- [9] AFFUSO G, BACCHINI D, MIRANDA M C. The contribution of school-related parental monitoring, self-determination, and self-efficacy to academic achievement[J]. *The Journal of Educational Research*, 2017, 110(5): 565-574.
- [10] 纪春梅, 赵慧. 教师支持、学业自我效能感与中小学生学习成绩的关系: 元分析结构方程模型[J]. *教师教育研究*, 2021, 33(6): 106-113.
JI C M, ZHAO H. The relationship between teacher support, academic self-efficacy and academic achievement of primary and middle school students: A meta-analytic structural equation model[J]. *Teacher Education Research*, 2021, 33(6): 106-113. (in Chinese)
- [11] RICHARDSON M, ABRAHAM C, BOND R. Psychological correlates of university students' academic performance: A systematic review and meta-analysis[J]. *Psychological Bulletin*, 2012, 138(2): 353-387.
- [12] 王南方, 冯秀梅. 物理学习态度中的性别差异及其应对策略研究[J]. *物理教师*, 2011, 32(12): 6-8.
WANG N F, FENG X M. A study of gender differences in physics learning attitudes and their coping strategies[J]. *Physics Teacher*, 2011, 32(12): 6-8. (in Chinese)
- [13] 许静. 基于学生感知的中学物理课堂环境现状调查研究[J]. *物理教师*, 2018, 39(8): 9-13.
XU J. An investigation of the current state of the secondary school physics classroom environment based on students' perceptions[J]. *Physics Teacher*, 2018, 39(8): 9-13. (in Chinese)
- [14] HESTENES D, WELLS M, SWACKHAMER G. Force concept inventory[J]. *The Physics Teacher*, 1992, 30(3): 141-158.
- [15] 张红洋, 杨艳妮. FCI 的内容分析及其使用研究[J]. *中学物理教学参考*, 2014, 43(9): 46-48.
ZHANG H Y, YANG Y N. Content analysis of FCI and research on its use [J]. *Teaching Reference of Middle School Physics*, 2014, 43(9): 46-48. (in Chinese)
- [16] CHABAY R, SHERWOOD B. Qualitative understanding and retention[J]. *AAPT Announcer*, 27(2): 96.
- [17] DING L, CHABAY R, SHERWOOD B, et al. Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment[J]. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 2006, 2(1): 010105.
- [18] POLLOCK S J. Comparing student learning with multiple research-based conceptual surveys: CSEM and BEMA[J]. *AIP Conference Proceedings*, 2008, 1064(1): 171-174.
- [19] SEYRANIAN V, MADVA A, DUONG N, et al. The longitudinal effects of STEM identity and gender on flourishing and achievement in college physics[J]. *International Journal of STEM Education*, 2018, 5(1): 40.
- [20] HOOPER D, COUGHLAN J. Structural equation modeling: Guidelines for determining model fit[J]. *Electronic J Bus Res Methods*, 2007, 53(6):
- [21] BANDURA A. Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change[J]. *Psychological Review*, 1977, 84(2): 191-215.
- [22] LI Y, SINGH C. Effect of gender, self-efficacy, and interest on perception of the learning environment and outcomes in calculus-based introductory physics courses[J]. *Physical Review Physics Education Research*, 2021, 17(1): 010143.
- [23] KOST-SMITH L E. Characterizing, modeling, and addressing gender disparities in introductory college physics [D]. University of Colorado at Boulder, 2011.
- [24] 吴靖媛, 胡象岭, 高光珍. 高中生物理学习兴趣与学习成绩关系的研究[J]. *物理教师*, 2010, 31(3): 3-4+39.
WU J Y, HU X L, GAO G Z. A Study on the Relationship between physics learning interest and academic achievement of High School Students[J]. *Physics Teacher*, 2010, 31(3): 3-4+39. (in Chinese)
- [25] REDISH E F, SAUL J M, STEINBERG R N. Student expectations in introductory physics[J]. *American Journal of Physics*, 1998, 66(3): 212-224.
- [26] 孙英红, 刘笑, 孙继雯. 新高考背景下高中生学业自我概念与物理选科的关系研究[J]. *北京教育学院学报*, 2023, 37(4): 55-60.
SUN Y H, LIU X, SUN J W. Research on the Relationship between academic self-concept and physics subject selection of high school students in the context of the new college entrance examination[J]. *Journal of Beijing Institute of Education*, 2023, 37(4): 55-60. (in Chinese)
- [27] COHEN J. Statistical power analysis for the behavioral sciences New York[J]. NY: Academic, 1988, 54.
- [28] TOMARKEN A J, WALLER N G. Structural equation modeling: Strengths, limitations, and misconceptions[J]. *Annual Review of Clinical Psychology*, 2005, 1(1): 31-65.
- [29] 方杰, 温忠麟, 张敏强. 类别变量的中介效应分析[J]. *心理科学*, 2017, 40(2): 471-477.
FANG J, WEN Z L, ZHANG M Q. Mediation analysis of categorical variables[J]. *Journal of Psychological Science*, 2017, 40(2): 471-477. (in Chinese)
- [30] BIAN L, LESLIE S-J, CIMPIAN A. Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children's interests[J]. *Science*, 2017, 355(6323): 389-391.
- [31] 胡昶臻, 张谷令, 邹斌. 同伴教学对男女生物理学习态度的影响[J]. *物理与工程*, 2021, 31(5): 22-27.
HU P Z, ZHANG G L, ZOU B. Impact of peer instruction on gender difference in attitudes to physics learning[J]. *Physics and Engineering*, 2021, 31(5): 22-27. (in Chinese)