自我效能感、兴趣、身份认同、归属感、感知认可以及同伴互动的有效性在物理专业学生中的发展，以及与非专业学生和博士生的比较

KyleM.Whitcomb[1], Alexandru Maries[2], and Chandralekha Singh[1]

[1] 物理与天文学系，匹兹堡大学，匹兹堡，宾夕法尼亚州 15260

[2] 物理系，辛辛那提大学，辛辛那提，俄亥俄州 45221

摘要

近年来，人们日益认识到，自我效能感、兴趣、身份认同、归属感、感知认可和同伴互动的有效性等科学信念在科学教育中的重要性。自我效能感、兴趣和身份认同可视为学生的内在信念，而归属感、感知认可和同伴互动的有效性则与学生对教学环境包容性的感知有关。以往物理教育领域关于这些信念的研究主要集中于物理导论课程。在本研究中，我们使用了美国一所大型研究型大学连续五年的数据，这些数据来自经验证的问卷：调查对象包括一年级选修与物理专业学生共同学习的课程的非专业学生、整个本科教育阶段的物理专业学生，以及一年级物理学博士生。我们发现，在一年级时，物理专业学生对问卷题目的回答比同一物理导论课程中的非物理专业同伴更加积极，其中感知认可、兴趣和物理学身份认同方面的差异最大，而自我效能感、对同伴互动的感知以及归属感方面的差异相对较小。此外，从本科课程体系的一年级到最后一年，物理专业学生在每种信念上的平均调查答复总体上随时间保持稳定，并且与博士生相当。这表明，学生会调整自己对问卷条目的理解，以匹配所修课程对其当前专业水平的预期。一个例外出现在二年级，此时同伴互动和归属感降至最低。这可能是因为二年级对学生而言尤其困难，他们需要适应主要由物理专业学生组成的班级。此外，在四年级时，物理学身份认同降至最低值，此时许多学生正在考虑是否在本科毕业后继续从事物理学，或转向其他领域。我们还发现，与以往针对入门阶段学生的研究结果一致，感知认可始终是物理专业学生整个物理教育阶段中物理学身份认同的最佳预测因素，这凸显了教师在学生接受教育的全过程中持续努力认可并肯定学生的重要性。

关键词：结构方程模型、科学身份认同、动机、自我效能感、社会归属感。

引言

近年来，教育研究者日益认识到，关注学生在科学、技术、工程和数学领域的信念对于改善学生的学习成果至关重要（Broda 等，2018，Marshman 等，2018，Binning 等，2020，Theobald 等，2020），因为无论学生的表现如何，他们的信念都会对其在这些领域继续求学和从事相关职业的短期及长期规划发挥关键作用。教育研究中常考察的物理学信念包括自我效能感、兴趣、物理学身份认同、他人（如教师和助教）的感知认可、归属感，以及对同伴互动有效性的感知（下文简称“同伴互动”）。自我效能感、兴趣和物理学身份认同可视为内在信念，因为尽管它们会受到外部环境影响，却关乎学生对自我的认识、兴趣，以及在特定领域取得成功的能力。感知认可、归属感和同伴互动有助于了解学生对学习环境包容程度的感知，而这反过来又会影响他们的内在信念和课程表现。例如，既有研究表明，教学设计若通过营造包容性学习环境，明确关注这些动机信念，便能改善学生的学习并缩小成绩差距（Binning 等，2020）；反之，教学若未关注这些动机信念，成绩差距则可能扩大（Karim 等，2018，Maries 等，2020）。因此，一些研究者（Theobald 等人，2018）呼吁进一步研究他们所称的“头脑与心灵”假说。该假说认为，若教学纳入两个关键要素，即有效教学法，以及关注学生信念的包容性教学实践，就更有可能改善所有学生的学习成果。

框架与研究问题

大量既有研究（例如 Hurtado 和 Carter，1997年、Marra，2009年、Yeager 和Walton，2011年、Walton和Carr，2012年、Hazari 等，2010年、2013a、2013b、2020年、Aguilar，2014年、Trujillo 和 Tanner，2014年、Godwin等，2016年、Nissen 和 Stemwell，2016年、Broda，2018年、Marshman，2018年、Kalender 等，2019a、2019b、Banchevsky，2019年、Lock等，2019年、Binning等，2020年）已经研究了上述动机信念（定义见下文），既关注它们之间的相互关系，也关注这些动机信念与学生学习之间的联系。基于这些既有研究，我们的框架认为，营造一种关注这些信念的课堂环境，即帮助学生感到自己属于其专业、拥有较高的自我效能感、感到教师、助教和同伴认可自己有能力取得优异表现，并帮助提高学生学习课程内容的兴趣，是培育“包容性学习环境”的基础（Theobald 等，2020年）。因此，了解特定专业学生的信念如何随时间发展十分重要，这样教师便能掌握学生在某一时间点的状态，进而制定支持其学习的策略。由于大量既有STEM教育研究在考察这些信念时，要么关注某一时间点的学生群体（例如，使用一个学期内收集的问卷数据——Nissen和 Shemwell，2016年、Hazari 等，2010年、Kalender等，2019a），要么关注两个不同的时间点（例如，第一年和第二年——Marshman等，2018年；第一年和最后一年——Hazari等，2020年），要么关注多个时间点但只考察一种信念（例如，自我效能感——Marra 等，2009年），因此，有必要开展研究，考察学生群体（例如物理专业学生）在本科阶段多个信念的发展过程，以及这些信念之间的相互关系。这是因为，鉴于这些信念可能影响学生的短期和长期结果，在所有层次的教学中，促成这些信念的积极变化都应当是一个明确目标。因此，除了进行基于课程内容的评估之外，采用经验证的问卷来考察学生的物理自我效能、兴趣、身份认同、归属感、感知认可和同伴互动，对于全面了解教学成效十分重要。

下面，我们定义所关注的信念，因为研究发现它们对学生成果至关重要，并总结有关其对成果影响的既有研究：

自我效能感是指一个人相信自己有能力在某个领域取得成功（Bandura，1991）。许多关于自我效能感的既有研究表明，它与教育的诸多方面有关，无论是总体而言还是具体到物理学，包括学业成绩、坚持选择该专业以及毕业后的职业选择（Marshman 等，2018 Broda，2018，Hazari 等人，2013b，Lock 等，2019，Gonsalvez，2018，Marra 等，2009，Hazari 等，2020，Nissen 和 Shemwell，2016）。

兴趣是指人们对某个领域抱有的积极情绪，这些情绪会增强他们对该领域的好奇心，并促使他们学习相关内容。既有研究已发现，兴趣与学习有关，也表明让课程内容与学生的生活更加相关，有助于提升他们的兴趣和学习效果 （Hidi，2006）。

物理学身份认同是指学生在多大程度上认为自己是物理学领域的人。此前的访谈表明，当学生认为自己能够在物理学课程中取得优异成绩时，他们会认为自己是物理学领域的人。既有研究已将物理学身份认同与自我效能感、感知认可和兴趣联系起来（Hazari 等人，2010、2013a，Kalender 等，2019a、2019b），并表明物理学身份认同会对本科生的学业发展轨迹和未来职业选择发挥重要作用（Hazari 等人，2013b，Lock 等，2019，Danielsson，2012，Gonsalves，2018）。关于身份认同的既有研究（Hazari 等人，2010、2013a，Kalender 等，2019a、2019b）提出了一个框架，指出物理学身份认同（也称为“内在”身份认同）受以下因素影响：（1）教师、助教、同伴和家庭给予的感知认可（也称为“外在”身份认同）；（2）与自我效能感密切相关的能力信念；以及（3）对物理学的兴趣。既有研究发现，感知认可最能预测物理学身份认同（Hazari 等人，2010，Kalender 等，2019b），这表明物理学教师可以通过努力认可学生有能力在物理学领域取得优异成绩，增强学生对自己作为物理学领域的人的认同。

感知认可与学生认为他人将自己视为某一特定领域有能力者的信念有关。如上所述，既有研究表明，物理学中的感知认可最能预测物理学身份认同。例如，Kalender等人发现，物理学中的感知认可可以解释学生的自我效能感、兴趣和身份认同（Kalender等人 2019b），而这些因素均已被证明会影响学生的成功。

归属感或社会归属感被视为人类的一项基本需求，而被排斥的感受会让人难以全身心投入，例如无法充分利用课堂学习机会，也无法完全参与其中。它出现在马斯洛最初提出的五种人类需求层级体系中（马斯洛1973年），被描述为人们“感到自己属于某个社会群体并为该群体所接纳”的需求。此后，关于社会归属感的研究著述颇丰（Yeager 与 Walton，2011年；Aguilar 等，2014年；Mahar 等，2013；Banchevsky 等，2019年），研究也表明，感到自己有所归属的学生具有更强的动机和参与度，学业表现也更好（Trujillo 与 Tanner，2013；Hurtado 与 Carter，1997；Binning 等，2020；Walton 与 Carr，2012年）。

同伴互动与学生对课堂中同伴互动有效程度的信念有关。为了营造积极的学习环境，课堂氛围应鼓励学生在低风险环境中协作；积极的学习环境有助于增强学生的归属感，而归属感又能提升学生的表现。

本研究聚焦于物理专业本科生在四年间的这些信念，从而拓展了既有研究。研究还纳入了同一所大学一年级课程中的非专业学生，以及一年级物理学博士生；他们属于不同的学生群体，纳入研究是为了进行基准比较。具体而言，我们考察本科专业学生从一年级到四年级这些信念的变化趋势，并将其与同一所大学的一年级非专业学生和博士生进行比较。我们在上述各年级收集与这些信念相关的问卷数据，并进行描述性统计和推断性统计，以回答以下研究问题：

研究问题1：使用经验证的问卷，物理专业学生自我报告的自我效能感、兴趣、身份认同、归属感、感知认可和同伴互动随时间呈现出怎样的趋势？

研究问题2：在物理专业学生的整个求学过程中，物理学身份认同与其他信念之间的关系有多稳定？

研究问题3：在物理专业学生的整个求学过程中，自我效能感与其他信念之间的关系有多稳定？

RQ4. 物理专业学生在整个求学过程中，归属感与其他信念之间的关系有多一致？

RQ5. 物理专业学生的所有研究结果与修读相同一年级课程的非专业学生相比如何？与同一所大学的博士生相比又如何？

方法

根据卡内基分类体系，本研究开展于美国的一所公立高研究型博士大学。该校的文理学院与专业学院规模均衡，本科生人数众多，主要为全日制住校生，招生选择性适中，且从其他学校转入的学生较少。

调查

本研究使用的所有问卷条目均改编自其他经验证的问卷（Activation Lab Tools、Glynn 等人，2011年；Hazari 等人，2010年；以及 PERTS，2019年）。针对本文研究的特定学生群体（物理专业学生、非专业学生和博士生），我们通过个别访谈、因子分析和克朗巴赫 α 系数，在本校重新验证了这些条目。表1列出了相关结果，以及针对物理专业学生的验证指标。学生使用李克特量表对每个条目作答，表示自己对陈述的同意或不同意程度，量表范围为1至4分（1分表示“非常不同意”，4分表示“非常同意”）。不过，“兴趣”部分的前两个条目采用了独特的回答选项，具体列于表1的图注中；“归属感”相关的一组条目则采用1至5分的李克特量表。

这项调查在全年本科物理学课程体系的讲课课程中（包括一年级物理学课程中的非专业学生），以及一年级博士课程中，分别于前两周（前测）和最后两周（后测）进行。调查首次于2015年秋季开展，包含关于物理自我效能和兴趣的问题；2017年秋季，我们扩展了研究框架，加入了物理学身份认同，以及通过归属感、感知认可和同伴互动衡量的学习环境的包容性，并相应增补了调查内容。学生完成调查约需10分钟。大学通过诚实中介流程提供年龄、性别、族裔或种族等人口统计信息；研究团队在不知晓参与者身份的情况下获得这些信息。研究人员利用这些数据确定哪些学生属于物理专业学生，认定标准是学生在受教育期间的任何时候曾申报过物理学专业。

调查验证

在先前研究中，我们对本机构一年级物理学课程中的问卷条目进行了重新验证，这些课程中的大多数学生是非物理学专业学生（Kalender 等，2019a，2019b）。由于该问卷已经针对一年级课程完成重新验证，我们还对其在专业学生和博士生中的适用性进行了重新验证，并发现结果与先前研究中的结果非常相似。所开展的访谈证实，各个年级的学生都正确理解了问卷条目。接下来，我们进行了探索性因子分析（EFA），发现这些条目以一种与先前研究非常相似的方式归入表1所标示的构念中。随后进行的验证性因子分析（CFA）发现，基于EFA所指定的因子具有“良好”的模型拟合度（SRMR < 0.08，CFI> 0.90，TLI > 0.90）（Kline，2011年；Browne & Cudeck，1992年）。

在表1中，我们报告了此次验证性因子分析中各条目的标准化因子载荷（λ），其中 λ^2 表示各因子对每个条目所解释的方差（Kline, 2011）。我们还报告了包含多个条目的各因子的 Cronbach’s α。表2列出了已识别因子之间的皮尔逊相关系数矩阵（Kline, 2011, Freedman, 2007）。相关系数均介于 0.30 和 0.77 之间，这表明这些因子之间的关联程度适中，既相互关联，又不会高度相关到测量同一构念（Cohen et al., 2003）。

调查受访者

共有123名专业学生，在第一年中，共有3,591名非专业学生回答了问卷问题。样本量因年份而异；在某些情况下，不同构念的样本量也有所不同，因为随着研究框架的扩展，2017年秋季新增了与某些构念相关的条目。非专业学生（与专业学生一起修读一年级课程）主要是工程专业学生（70%），其余来自数学和化学专业。

表1. 本研究使用的问卷条目及提供给学生的回答选项。根据因子分析结果，每个条目都归入一组条目中，并列出每组条目对应的动机性构念。对于包含多个条目的构念，提供 Cronbach's α，以衡量这些条目的一致性（内部一致性）。对于每个条目，列出验证性因子分析（CFA）模型得出的标准化因子载荷 λ。在 CFA 中，物理学身份认同条目在其他三个构念上均有载荷，因此，兴趣（λ_{Int}）、感知认可（λ_{Rec}）和自我效能（λ_{SE}）因子各自列出三个 λ 值。所有条目均采用李克特量表，评分范围为 1 至 4，用于衡量学生对陈述的认同程度（1 表示强烈反对，4 表示强烈赞同）；但前两个兴趣条目采用以下独特的回答选项。选项组 A = {从不，每周一次，每月一次，每天}。选项组 B = {非常无聊，无聊，有趣，非常有趣}。带有 † 标记的条目在分析前进行反向编码，以使所有条目的量表方向一致。* 回答采用 1–5 量表，而非 1–4 李克特量表。

动机的构造	α	λ	问题文本
兴趣	0.82	0.52	• 我想知道物理学是如何运作的 [选项集 A]
		0.69	• 总的来说，我认为物理学[选项集 B]
		0.73	• 我想尽可能全面地了解物理学
		0.76	• 我对物理学的最新发现感到好奇
		0.82	• 我想了解物理学家正在进行的当前研究
感知认可	0.79	0.90	• 我的家庭认为我是物理学领域的人
		0.90	• 我的朋友认为我是物理学领域的人
		0.58	• 我的物理学教师/助教认为我是物理学领域的人
自我效能感	0.82	0.56	• †别人比我更了解这门物理学课程
		0.65	• 我能够在实验室或习题课上帮助同学学习物理学
		0.68	• †一想到要尝试解决棘手的物理学问题，我就感到心里一沉。
		0.70	• 我理解自己学过的物理学概念。
		0.68	• 如果我愿意，我可以擅长物理学研究
		0.78	• 如果我学习，我会在物理学测验中取得好成绩。
		0.73	• 如果我在物理学考试中遇到挫折，我能够克服它。
身份认同	N/A	$\lambda_{\text{Int}} = 0.24$ $\lambda_{\text{Rec}} = 0.27$ $\lambda_{\text{SE}} = 0.46$	• 我认为自己是物理学领域的人
归属感归属感	0.87	0.83	• *我觉得自己属于这门物理课
		0.78	• *†我觉得自己在这门物理课上格格不入
		0.84	• *我在这门物理课上感到自在
		0.68	• *我觉得在这门物理课上，我可以做自己
		0.74	• *†有时我担心自己不属于这门物理课
Peer互动	0.94		我在这门课中的经历以及与其他学生的互动.....
		0.84	• 让我对学习物理学感到更放松
		0.94	• 增强了我对自己学习物理学能力的信心
		0.95	• 增强了我在物理学方面取得成功的信心
		0.91	• 增强了我处理困难物理学问题的信心

研究人员通过大学数据识别出物理专业学生，因为在这所大学，学生必须在毕业前的某个时间申报自己的专业。所有申报了物理学专业的学生都被纳入物理专业学生群体。物理专业学生的调查答复按照该校学生修读物理学课程的典型进度，分组归入相应的"年级"。例如，修读物理学导论 1（一年级修读）的学生，其答复被归为"第 1 年"；修读近代物理学（第二年修读，同时还要修读几门必修数学课程）的学生，其答复则被归为"第 2 年"。专业学生的大部分必修物理学课程——经典力学（CM）、电磁学（EM）以及超出入门层次的热物理学——都在第三和第四年修读。虽然建议学生先修读经典力学和电磁学课程，再学习其他高年级课程，但有些学生并未遵循这一建议。这可能是因为要有效处理经典力学与电磁学理论，不可避免地需要运用更高阶的数学严谨性（例如，使用偏微分方程，以及涉及多个变量的积分）。不过，出于本研究的目的，课程按照建议的课程体系分组，因此修读经典力学和电磁学课程的学生，其答复被归为"第 3 年"；修读量子力学和热物理学课程的学生，其答复则被归为

“第 4 年”。需要指出的是，部分本科生可能会在不同年份的数据中出现在多门课程里。然而，尽管本科生群体和博士生群体就读于同一所大学，两者完全独立（因此，博士生群体仅用于基准比较）。

表 2. CFA 中各动机性构念因子之间的皮尔逊相关系数 (r)。由于矩阵对称，省略对角线上方的条目。

	兴趣	感知到的认可	自我效能感	意识归属感
兴趣	1.00			
感知到的认可	0.55	1.00		
自我效能感	0.55	0.56	1.00	
感知归属感	0.42	0.45	0.77	1.00

分析

为考察随时间变化的趋势并回答研究问题1，我们将样本限定为有匹配的前测和后测回答者，并报告这些匹配回答的样本量、均值和标准误。为回答研究问题2、研究问题3和研究问题4，我们仅针对每一年学生的后测回答进行了多元线性回归模型分析（Montgomery 等人，2012年），这与身份认同框架领域先前研究的做法一致（Hazari 等人，2010年、2013a、2013b；Kalender 等，2019a）。由于模型中不包含前测回答，因此在这些多元线性回归模型中，我们没有将样本限定为匹配回答者，而是使用了所有可用的后测回答（尽管使用匹配数据的后测回答所得结果相似）。最后，文中明确讨论的所有差异在 $p < 0.05$ 水平上均具有统计显著性，且进行多元回归分析所需的各项假设均成立，即关系呈线性、残差呈正态分布，并且不存在异方差和多重共线性问题。例如，我们对每个模型都进行了 Shapiro-Wilks 检验，发现 W 统计量接近 1，除一个值为 0.92 外，其余均大于 0.97，表明数据可以合理地近似为正态分布。为回答研究问题5，我们使用统计检验（主要是 t 检验）比较一年级专业学生与非专业学生（他们修读相同的课程，并按专业进行区分），还比较了专业学生与博士生在所有动机信念方面的差异。

结果

为回答 RQ1 并考察物理专业学生的自我效能感、兴趣、身份认同、归属感、感知认可和同伴互动随时间变化的趋势，我们计算了各年级专业学生每项构念的均值和标准误，并将其绘制于图1中。我们首先讨论专业学生的内在信念（自我效能感、兴趣、物理学身份认同）。我们发现，兴趣（图1b）和自我效能感（图1a）总体上保持稳定；不过，自我效能感从一年级前测（3.17）到一年级后测（3.00）略有下降。此后直至四年级，自我效能感相对稳定：每次前测到随后的后测略有下降，之后又在下一学年的前测中略有回升。自我效能感最高值出现在一年级前测（3.17），最低值出现在三年级后测（2.88）。物理学身份认同（图1c）虽然总体上随时间保持稳定，但也略有下降，从一年级前测的最高值 3.63 降至四年级后测的最低值 2.98（即整个本科阶段）。

关于学生对学习环境包容性的感知，感知认可在第1至第4年间非常稳定（最低为第1年后测的3.23，最高为第4年前测的3.40）。另外两个构念的呈现方式与图1中的其他构念略有不同。只有在后测问卷中才纳入同伴互动（图1f），因为问卷条目涉及学生在整个课程期间与同伴的经验和互动。同伴互动的回答范围从第2年后测的最低值2.73到第1年后测的最高值3.05。此外，第2年后测中报告的同伴互动最低值似乎与其他回答略有偏差；其他回答的平均值则较为一致地接近3分。类似地，关于归属感（图1e，注意量表范围为1至5），其数值从第1年前测的最高值4.09迅速下降至第2年后测的最低值3.46。不过，到了第3年前测，这一数值回升至3.96，并且此后保持

相对稳定。 综合考虑同伴互动和归属感，数据表明第二年对学生而言是与物理学专业同学建立关系较为困难的时期。有趣的是，图1显示，包括自我效能感、兴趣和身份认同在内的内在信念，在第二年并不那么容易发生变化。

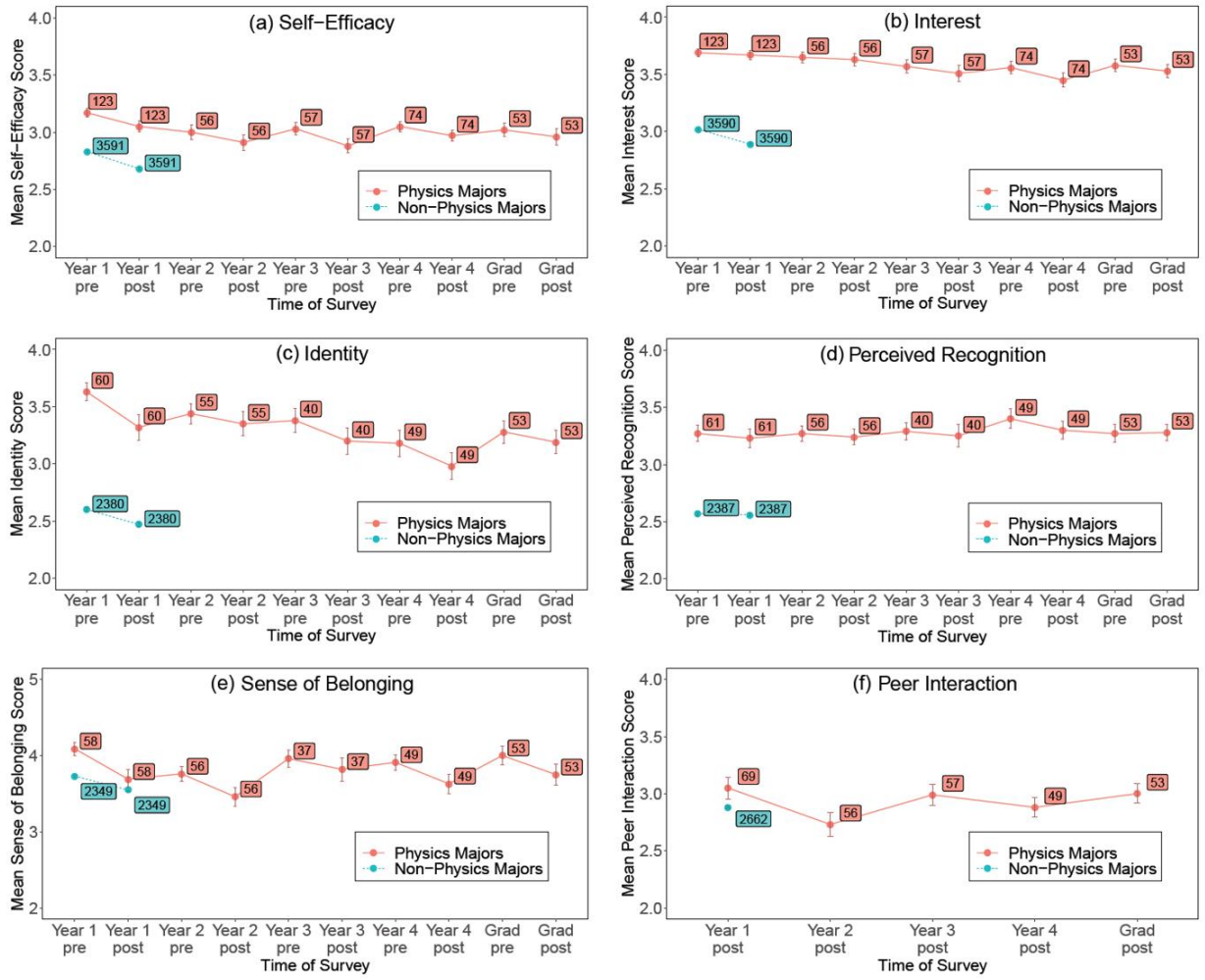


图1。图中绘出了（a）自我效能感、（b）兴趣、（c）身份认同、（d）感知认可、（e）归属感和（f）同伴互动的平均分及其标准误。请注意，（a）、（b）、（c）、（d）和（f）的答复采用1–4的李克特量表（为便于观察，图中范围限制为2–4），而（e）的答复采用1–5的李克特量表（图中范围限制为2–5）。图中分别绘出了四个本科年级中物理专业学生匹配的前测和后测问卷答复的平均分，以及非物理专业一年级学生和物理学博士生（“博士”）的平均分。由于关于同伴互动的问题仅在后测问卷中设置，因此这些答复仅绘出了后测分数。每个点旁标出了样本量。连接各点的线条仅用于视觉引导。

接下来转向研究问题2并考察预测关系，我们依据物理学身份认同的先前研究（Hazari 等人，2010、2013a、2013b；Kalender 等，2019a），使用多元回归模型探究兴趣、感知认可和自我效能感在多大程度上能够预测物理学身份认同。表3展示了六个此类模型：每个学习年级的专业学生各一个，博士生一个，非专业学生一个（博士生和非专业学生的数据将在研究问题5中讨论）。在所有情况下，预测因素对物理学身份认同方差的解释率均超过50%（如表3中的R^2 所示）。

仅关注一年级专业学生时，我们发现这一模型与先前针对专业学生和非专业学生的研究结果（Hazari 等人，2010、2013a、2013b；Kalender 等，2019a）略有不同；在那些研究中，感知认可是物理学身份认同的唯一预测因素。不过，我们注意到，提升学生的自我效能感也仍有改进空间，因为图1a显示，物理专业学生的自我效能感平均而言在1–4李克特量表上仍有整整一个点的提升空间。进入二年级后，对于物理专业学生（表3），感知认可仍是身份认同的首要预测因素，而自我效能感则成为具有统计显著性的预测因素。此后，对于三、四年级的专业学生，兴趣与感知认可、自我效能感并列成为具有统计显著性的预测因素，其标准化β 呈现出与一年级非专业学生相似的模式。

表3. 按学习年级，对物理专业学生以及一年级非物理学专业学生和博士生（Ph.D.）进行多元回归模型分析的研究发现总结；该模型以兴趣、感知认可和自我效能感预测物理学身份认同。每列显示使用指定年级数据进行回归分析的结果。报告了各预测因素的标准化回归系数（β）、学生人数（N）以及物理学身份认同的方差解释比例（R^2）。p 值以星号标示，不显著的预测因素从模型中剔除，并以“–”替代。

动机构建	第一年非专业学生	标准化 $\boldsymbol{\beta}$ 预测物理学身份认同 第一年	第2年	第3年	第4年	博士
兴趣	0.25***	–	–	0.32***	0.31***	–
认可	0.48***	0.74***	0.45***	0.42***	0.48***	0.62***
自我效能感	0.21***	–	0.35***	0.20*	0.22**	0.34***
N	2109	59	65	93	108	58
R^2	0.64	0.54	0.52	0.63	0.63	0.74
*p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001						

表4. 基于感知认可、同伴互动和归属感，预测各学习年级物理专业学生及一年级非物理学专业学生物理自我效能的多元回归模型的研究发现总结。约定和符号与表3一致。

动机性构念	第一年非专业学生	标准化 $\boldsymbol{\beta}$ 预测物理自我效能 第一年	第2年	第3年	第4年	博士
认可	0.33***	0.50***	0.39***	0.36***	0.19*	0.22*
同伴互动	0.16***	–	0.23*	–	–	–
感觉归属感	0.45***	0.45***	0.30*	0.54***	0.64***	0.63***
N	3013	76	65	70	69	57
R^2	0.62	0.73	0.57	0.57	0.54	0.59
* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001						

表5。各学习年级的物理专业学生以及一年级非物理学专业学生中，感知认可、自我效能感和同伴互动对物理学归属感的多元回归模型研究发现总结。约定和标注方式与表3相同。

动机性构念	第一年非专业学生	标准化的$\boldsymbol{\beta}$ 预测物理学归属感 第一年	第2年	第3年	第4年	博士
认可	0.11***	–	0.29***	–	–	–
自我效能感	0.52***	0.60***	0.26*	0.53***	0.71***	0.60***
同伴互动	0.22***	0.28***	0.43***	0.34***	–	0.27**
N	3013	76	65	70	69	57
R^2	0.65	0.53	0.55	0.60	0.51	0.61
* p < 0.05 ** p < 0.01 *** p < 0.001						

为回答RQ3和RQ4，我们在表4和表5中检验了自我效能感、同伴互动和归属感之间的关系。鉴于这些动机性构念之间存在复杂的相互依赖关系，我们利用这些模型了解这些相关性如何随时间变化。

在表4中，自我效能感主要由感知认可和归属感预测，而同伴互动仅在第2年是显著预测因素。与表3一样，表4中报告的每个模型都能解释自我效能感50%以上的方差。在第1年和第2年，认可和归属感对专业学生自我效能感的预测作用大致相当，标准化β。然而，在第3年和第4年，归属感是自我效能感的最佳预测因素；感知认可的标准化回归系数 β 随时间逐渐下降，但始终具有统计显著性。

最后，在表5中，我们考察归属感如何取决于其他信念。我们发现，除二年级专业学生外，在所有模型中，归属感的最佳预测因素都是自我效能感，其次是同伴互动（但在四年级中，同伴互动的预测作用在统计上并不显著）。二年级专业学生的结果再次是个例外，正如我们在表4预测自我效能感时所看到的那样。

转向研究问题5，我们注意到，在比较专业学生与非专业学生时，图1中一年级前测和一年级后测的两组回答来自相同的微积分基础物理课程；被认定为物理专业学生的学生与其余非物理学专业学生分开统计。我们发现，在所有内在信念方面，专业学生的平均回答都比非专业同伴更积极，不过自我效能感上的均值差异小于另外两个构念。具体而言，在身份认同方面（图1c），前测差异为1.03，后测为0.85；在兴趣方面（图1b），前测差异为0.67，后测为0.78。然而，专业学生与非专业学生在自我效能测量上的回答则更为相似，专业学生在前测和后测中的平均得分分别仅高出0.34和0.37分。专业学生与非专业学生在同伴互动和归属感方面的回答，比在感知认可相关条目上的回答更为相似（图1d）；感知认可方面的差异在前测为0.70，后测为0.67。具体而言，一年级后测中，物理专业学生在同伴互动方面的平均得分仅比非专业学生高0.17分；在归属感方面，前测平均高出0.46分，后测平均高出0.14分。

表3所示的一年级非专业学生的研究发现，与涵盖普通物理专业学生和非专业学生的既有研究相符（Hazari 等人，2010，2013a，2013b；Kalender 等，2019a），并表明物理学身份认同的主要预测因素是感知认可，而兴趣和自我效能感也是具有统计显著性的预测因素（但其回归系数 β 小于感知认可）。对于一年级物理专业学生而言，只有感知认可是物理学身份认同的显著预测因素。

关于专业学生与博士生的比较，我们注意到，博士生的物理学身份认同和归属感略高；但在其他测量指标上（包括信念以及对学习环境包容性的感知），两组的平均值非常相似。考察表3所示的预测关系后，我们发现，兴趣再次不再是物理学身份认同的显著预测因素，只有感知认可和自我效能感仍是具有统计显著性的预测因素。

讨论与总结

在这项据我们所知首个研究信念变化过程的研究中，我们发现：1）在物理专业学生的所有年级中，感知认可始终是物理学身份认同的首要预测因素，这一点在一年级尤其明显；2）总体而言，物理专业学生在整个学习过程中，对于涉及物理自我效能、兴趣、身份认同、归属感、感知认可和同伴互动的条目，回答都非常一致（图1）。调查验证表明，学生正确理解了这些条目，并且是根据当时所修课程的背景进行回答的，而他们的回答总体上保持相对稳定。例如，回答“如果我学习，我就能在物理学测验中取得好成绩”这一提示语的一年级学生，是根据自己对普通物理课程中物理学测验表现的信念来回答该条目的；而正在学习量子力学课程的四年级学生，则是根据自己对量子力学测验表现的信念来作答。

有趣的是，贯穿整个物理学课程体系的这些信念如此一致。不过，这种一致性也有一些例外。物理学身份认同在一年级前测到一年级后测、以及四年级前测到四年级后测期间均明显下降。这两种情况都发生在这些学生学业生涯中极其重要的时期：一年级时，他们正在考虑是否继续学习物理学；而四年级时，他们正在决定下一步。

毕业后的职业生涯阶段。不到 50% 的学生会继续攻读研究生，只有约 30% 会继续进入物理学研究生院。因此，在第四年末考察整个群体学生的总体物理学身份认同时，出现轻微下降是合理的，因为可以预期，一些决定不继续攻读物理学研究生院的学生（通常在第四年作出这一决定）会有较低的物理学身份认同。另一个例外是，第二年的同伴互动和归属感略有下降，这可能是由于第一年（主要由工程学学生构成）和第二年（此时大多数学生是物理专业学生）的物理课学生构成发生了显著变化。另一个可能的原因是，在第一年的入门课程中，学生除了参加讲课，还会参加习题课，在那里他们与班上的一小部分学生一起学习。第一年之后的物理学课程中不再设置这些习题课，因此第二年的课程可能 正逢一个过渡时期（有些学生或许也开始意识到，与物理专业同伴组建学习小组的重要性），学生在此期间逐渐适应讲课时较小的班级规模，而不再是大型讲课班和较小的习题课班。

比较第一学年的专业学生与非专业学生，我们发现专业学生的各项回答始终更高。就内在信念而言，兴趣和身份认同方面的差异（在1—4量表上约为0.6至1.0分）大于自我效能感方面的差异（在1—4量表上约为0.3分）。就对学习环境包容性的感知而言，专业学生与非专业学生在归属感和同伴互动方面的回答相近，但在感知认可方面存在较大差异（在1—4量表上约为0.7分）。对此的一种解释是，尽管物理学并非非专业学生的专业，但在这些微积分基础物理课程中，非专业学生占多数，其中大多数为工程学专业学生；因此，来自工程学课程项目所要求的其他共同课程的众多同伴，使他们的归属感以及对积极同伴互动的感知得到增强。此外，我们发现，对于非专业学生而言，兴趣、认可和自我效能感都是物理学身份认同的重要预测因素；而对于专业学生而言，只有认可是一项重要预测因素。关于第一学年专业学生与非专业学生之间这一差异，一种解释是，专业学生在物理学方面的兴趣和自我效能感水平更加同质化，而他们对自身所获认可的感知则存在更大的差异。

最后，比较物理学博士生与专业学生后，我们发现，他们在物理学身份认同和归属感方面存在差异（博士生的程度更高），而在所有其他测量指标上，两者的平均值都非常相似。这在一定程度上可能是因为博士生与本科生属于不同的群体。此外，我们发现，对于最后一年的专业学生，兴趣、认可和自我效能感都是物理学身份认同的重要预测因素；而对于博士生，只有认可和自我效能感是重要预测因素。一种可能的解释是，与一年级本科生的情况类似，一年级博士生对物理学的兴趣程度更为一致，而他们的感知认可和自我效能感则各不相同。

结论与启示

我们的研究结果进一步证实并拓展了采用身份模型的先前研究（Hazari 等人，2010、2013a、2013b；Kalender 等，2019a）的发现。这些研究呼吁入门课程的物理教师积极努力，将学生视为能够在物理学上取得优异成绩的人。具体而言，我们发现，对于一年级专业学生，认可比对非专业学生和博士生更为重要；对于一年级之后的本科生，认可的重要性则与一年级课程中的非专业学生相当。我们还发现，在学生本科阶段的关键时刻，即第一年和第四年，物理学身份认同有所下降。鉴于认可最能预测物理学身份认同，这表明，通过帮助专业学生认识到只要努力学习便能在物理学上取得优异成绩，并在整个课程体系中提供适当支持，尤其是在这些过渡时期给予支持，或许能有效鼓励他们。教师可以通过积极认可来帮助提升学生物理学身份认同，这是一个很有前景的方法；也就是说，采取措施，促进从入门阶段到研究生阶段的所有学生之间积极、鼓励性的互动。这对于自我效能感较低、对自身成功能力抱有消极信念的学生尤为重要。入门课程的研究表明，教师的积极认可有助于营造所有学生都能茁壮成长的学习环境（Hazari 等人，2010；Kalender 等，2019b）。此外，表4和表5表明，自我效能感或归属感与其他构念之间的关系随时间推移保持一致。另外，鉴于既有研究强调自我效能感和归属感对于支持学生成功和提高留校率的重要性，可以将促进积极认可的努力与文献中所述的、旨在提升自我效能感的有效干预措施相结合

和归属感（Binning 等，2020；Broda 等，2018；Yeager 和 Walton，2011；Aguilar 等，2014）。不过，应根据需要在整个课程体系中持续努力提升学生的自我效能感及其社会归属感，以进一步巩固这些干预措施的成效。

我们指出，本研究属于探索性研究，仍需进一步研究，以验证本文针对所发现差异所讨论的分析。此外，未来收集到更多数据后，研究可采用其他方法（如分层线性模型或回归树）探讨这些关系。

致谢

本研究由美国国家科学基金会（NSF）资助，项目编号为 DUE-1524575，相关内容也见于 K. M. Whitcomb 的博士论文（Whitcomb，2020年）。

参考文献

Aguilar 等人（2014）。改善物理教学的心理学见解。《今日物理》67，43。Banchefsky 等人（2019）社会归属感与能力归属感在男性和女性坚持选择 pSTEM 方面的作用。《心理学前沿》10，2386。Bandura（1991）。自我调节的社会认知理论，《组织行为与人类决策过程》50，248。Binning 等人（2020）。改变社会规范，促进多元工作组协作的益处，《心理科学》31(9)，1–12。Broda 等人（2018）。减少新入学大学生学业成功中的不平等：成长型思维模式与归属感干预措施的随机试验，《教育效果研究杂志》11，317。Browne 与 Cudeck（1992）。评估模型拟合度的其他方法。《社会学方法与研究》21，230–258。Cohen 等人（2003）。《行为科学应用多元回归／相关分析》，第3版。新泽西州马瓦：LEA。Danielsson（2012）。探究女性大学物理学生如何“践行性别”与“践行物理学”。《性别与教育》24，25。Freedman 等人（2007）。《统计学》，第4版（W. W. Norton & Co.）。Glynn 等人（2011）。科学动机问卷 II：对科学专业学生与非科学专业学生的验证，《科学教学研究杂志》48，1159。Godwin 等人（2016）。身份认同、批判性能动性与工程学：用于预测选择工程作为职业的情感模型，《工程教育杂志》105，312。Gonsalves（2018）。探究性别如何影响两名观测天体物理学博士生的身份认同轨迹。《物理教育研究》14，010146。Hazari 等人（2010）。联系高中物理学习经验、结果预期、物理学身份认同与物理职业选择：一项性别研究。《科学教学研究杂志》47，978–1003。Hazari 等人（2013a）。大学生的科学身份认同：探究性别、种族与族裔的交叉影响。《大学科学教学》42，82。Hazari 等人（2013b）。影响女性学生对物理科学职业兴趣的因素：检验五种常见假设。《物理教育研究》9，020115。Hazari 等人（2020）。物理学身份认同的情境依赖性：考察表现／能力、认可、兴趣和归属感在低年级与高年级女性物理专业本科生中的作用。《科学教学研究杂志》57，1583–1607。Hidi（2006）。兴趣：一种独特的动机变量。《教育研究评论》1，69。Hurtado 与 Carter（1997）。大学过渡及对校园种族氛围的感知对拉丁裔大学生归属感的影响。《社会学与教育》70，324–345。Kalender 等人（2019a）。动机因素构建物理学身份认同的性别化模式。《物理教育研究》15，020119。Kalender 等人（2019b）。女性科学、技术、工程和数学专业学生为何不认同物理学：她们认为别人并不这样看待自己。《物理教育研究》15，020148。Karim 等人（2018）。基于证据的主动参与式课程能否缩小普通物理中的性别差距？《欧洲物理学杂志》39，025701。Kline（2011）。《结构方程模型：原理与实践》，第3版（Guilford Press）。Lock 等人（2019）。课外科学与工程活动对物理学身份认同和职业意向的影响。《物理教育研究》15，020137。Mahar 等人（2013）。归属感的概念化。《残疾与康复》35，1026。

Maries 等人（2020）。在不公平的学习环境中，主动学习可能扩大性别表现差距：刻板印象威胁的负面影响。《物理教师》58，430–433。Marra 等人（2009）。女性工程专业学生与自我效能感：一项针对女性工程专业学生自我效能感的多年、多机构研究。《工程教育杂志》98，27。Marshman 等人（2018）。入门课程中，成绩为 A 的女性学生与成绩为 C 的男性学生具有相似的物理自我效能：这是否值得警惕？《物理教育研究》14，020123。马斯洛（1973）。人类动机理论，载于 R. J. Lowry（编），《支配、自尊、自我实现：A. Maslow 的奠基性论文》（加利福尼亚州蒙特雷，Brooks-Cole）。Montgomery 等人（2012）。《线性回归分析导论》第4版（约翰·威立父子出版公司）。Nissen 与 Shemwell（2016）。普通物理中的性别、经验与自我效能感，《物理教育研究》12，020105。PERTS 思维模式调查，2019年获取，https://survey.perts.net/share/dlmooc。Theobald 等人（2020）。主动学习缩小了本科科学、技术、工程和数学领域代表性不足的学生的成就差距，《美国国家科学院院刊》117，6476–6483。Trujillo 与 Tanner（2014）。思考情感在学习中的作用：监测学生的自我效能感、归属感和科学身份认同，《生物科学教育》13，6–15。Walton 与 Carr（2012）。社会归属感与受到负面刻板印象影响的学生的动机和智力成就，载于 M. Inzlicht 与 T. Schmader（编），《刻板印象威胁：理论、过程与应用》（纽约州纽约市，牛津大学出版社），第89–106页。Whitcomb K. M.（2020），《探究物理课程关系中的性别差异、自我效能感与身份认同，并促进学习成果公平》。博士学位论文。匹兹堡大学。可查阅：http://d-scholarship.pitt.edu/39322/ Yeager 与 Walton（2011 81，267 301）。《教育中的社会心理干预：并非魔法》。《教育研究评论》–。