

# 从理论到实践：项目式学习如何激发芬兰中学生科学学习投入

亚里·拉沃宁<sup>1</sup> 张军凤<sup>2\*</sup> (译)

- (1. 赫尔辛基大学教育科学学院, 00014;
2. 南京大学教育研究院, 南京, 210023)

**摘要：**首先，本文介绍了项目式学习（Project-Based Learning, PBL）背后的学习理论。项目式学习活动来源于学习科学研究，强调学生在学习过程中的主动性，以及合作、互动与情境化对学习的影响。项目式学习活动由情境化的驱动问题引导，学生围绕该问题开展真实、情境化的探究项目，以便理解某一现象或提出解决该问题的方案。在探究过程中，学生积极参与科学与工程实践中的合作活动，专注于学习核心概念或关键概念，提升思维能力与学习兴趣，并创造出应对驱动型问题的具体产物。学生的学习过程得到支架支持，使其能够在“最近发展区”内参与学习活动。其次，文章展示了一个面向初中阶段的项目化教学模块，并在学习科学研究成果的框架下对该模块进行了分析，识别出项目式学习的十个关键特征。最后，讨论了有关学生学习成效与参与度的研究发现。

**关键词：**项目式学习；科学学习；情境化驱动问题；科学与工程实践；批判性思维

项目式学习（PBL）在科学教育领域并非全新概念，近一个世纪以来，它一直被倡导用于教育改革。然而，“项目”这一术语在实践中被多种方式使用，并非所有学校项目都符合本文所探讨的 PBL 理念。项目式学习的思想可以追溯至 20 世纪 30 年代美国教育家约翰·杜威的理论。杜威在芝加哥大学实验学校（1896—1903 年）的教育实践<sup>①</sup>强调经验学习，认为学生应通过实践和反思经验来学习。杜威认为，首先教育应扎根于现实生活活动，学校应成为学生积极参与学习过程的“微型社会”。他强调学生应参与与其生活和兴趣相关的实践活动，以增强学习的意义与吸引

\* 张军凤, junfeng.zhang@nju.edu.cn。

① Mayhew K C, Edwards A C. The Dewey School-The Laboratory School of the University of Chicago [M]. Routledge, 1965: 1896-1903.

力。其次,杜威主张各学科之间应整合教学,反映知识间的互联性,而非割裂式地教学。再次,他强调学生之间的合作学习,通过小组活动培养社会技能与合作能力,这种协作氛围反映了现实世界的社交互动。最后,杜威鼓励学生发展批判性思维与创造性解决问题的能力,这一目标需要通过学生实际应用知识的项目与活动得以实现。在这一过程中,教师被视为学习的促进者,其角色是引导和支持学生,而非仅仅传授知识。杜威和其他几位研究者将这种方法称为“项目式学习”<sup>①</sup>。项目式学习已得到了广泛研究。根据 John Thomas 对 PBL 研究的综述,目前关于项目式学习的真正含义尚未达成共识,其在研究和开发项目中的应用也呈现出显著差异。

本文所提出的项目式学习模型植根于 Blumenfeld 等人<sup>②</sup>以及 Krajcik 与 Shin<sup>③</sup>所提出的理念,这一模型是在学习科学研究成果的基础上发展而来的<sup>④⑤</sup>。在项目式学习中,学生被引导参与一个对他们而言具有意义、但无明确或简单答案的项目。该项目不一定要多学科或跨学科,也可在物理、化学、生物等单一学科内开展。

根据学习科学研究,学生应在学习中发挥积极作用。所谓积极,意味着学生应参与学习计划的制定、知识建构过程,并对学习过程及其结果进行评估。这一观点是建构主义的一个既定观念,其根源在于社会心理学<sup>⑥⑦</sup>。社会建构主义<sup>⑧</sup>强调人类功能的社会性,主张学习者并非被动接受成品的知识,而是在与同伴和教师的社会互动中,依据自身的经验、已有概念、信念、态度和价值观,建构并不断重构对现实的理解。然而,学生的原有概念可能会对学习产生阻碍,因为其认知中的概念因人而异,且往往与科学概念存在较大差异<sup>⑨⑩</sup>。因此,教师在帮助学生表达其已有概念和经验,并意识到他们应该如何回答或解决问题的过程使这些概念明确时,发挥着关键作用。教师通过提问提供支架支持,引导学生从已有知识过渡到接下来能够学习的内容。支架化教学使学生能够在“最近发展区”内参与学习活动<sup>⑪</sup>。最近发展区指的是学习者在更有知识的人(如教师)的帮助和指导下能够完成,但在独立情况下尚不能完成的任务范围<sup>⑫</sup>。由此可见,尽管已有概念与经验深刻影响个体的思维与行为,学生仍可在与同伴及教师的互动中改变他们的观点。

科学教育的潜在目标在于帮助学生在参与科学实践并与小组协作的过程中,将学科核心思想

① Maida C A. Project-based learning: A critical pedagogy for the twenty-first century [J]. Policy Futures in Education, 2011, 9 (06): 759.

② Blumenfeld P C, Soloway E, Marx R W, Krajcik J, Guzdial M, Palincsar A. Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning [J]. Educational Psychologist, 1991, 26 (34): 369-398.

③ Krajcik J, Shin N. Project-based learning [M]. K Sawyer Ed. The Cambridge handbook of the learning sciences. 2nd Ed. Cambridge University Press, 2015: 275-297.

④ Bransford J D, Brown A L, Cocking R C, Eds. How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School [M]. National Academy Press, 2000.

⑤ Jin H, Yan, D, Krajcik J, Eds. Handbook of Research on Science Learning Progressions [M]. 1st ed. Routledge, 2024.

⑥ Gergen K. The Social Constructionist Movement in Modern Psychology [J]. American Psychologist, 1985, (40): 266.

⑦ Allen A. An introduction to constructivism: Its theoretical roots and impact on contemporary education [J]. Journal of Learning Design and Leadership, 2022, 1 (01): 1.

⑧ Matthews M R. Constructivism in science education: A philosophical examination [J]. Journal of Science Education and Technology, 1998, 7 (01): 1.

⑨ Smith III J P, diSessa A A, Roschelle J. Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition [J]. Journal of the Learning Sciences, 1994, 3 (02): 115.

⑩ Alexander P A, Winne P H, Eds. Handbook of Educational Psychology [M]. 2nd ed. Routledge, 2006.

⑪ 同⑩.

⑫ 同⑩.

或关键概念与其先前知识建立联系。科学知识实践——通常简称“科学实践”——是指科学家用于生成、验证和交流知识的方法与过程，如提出问题、观察、推理、分类和预测等<sup>①</sup>。其中，“核心思想”比“关键概念”更具广度。例如，“能量守恒”与“作用在物体上的力可以改变物体的运动”是物理学的核心思想，而“力”和“能量”则是关键概念。核心思想适用于多个自然科学领域，有助于解释现象、设计实验，并在个体、社区及全球背景下具有相关性<sup>②</sup>。小组协作的目的是引导学生有意识地投入学习活动，并产出可视化成果。这一成果可以是描述自然现象的模型或核心思想。模型或核心思想不仅是文化工具或“文化产物”，也是学生学习与协作的中心。这些产物在科学教学中代代相传，是科学学习与科学问题解决不可或缺的组成部分<sup>③</sup>。

认知工具在学习中具有广泛应用。例如，思维导图与概念图作为思维的视觉呈现形式，有助于学生组织和连接信息与思想、规划探究活动，并构建能有意义地表征现象的模型。类比与隐喻在模型构建中同样关键，它们帮助学生将新信息与已有知识建立联系，从而加深理解<sup>④</sup>。数字工具亦是科学学习中的重要认知工具。例如，基于微型计算机的工具与传感器能为学生正在探究的现象提供实时信息，这些信息可通过多种方式在数字平台上呈现和处理<sup>⑤</sup>。

社会互动是食堂与课堂讨论的共同特征。然而，课堂中的讨论与学习必须是有意的或目标导向的活动，而食堂里的讨论则不一定是。有意学习是指学习者将“学习”本身作为活动的明确目标。Bereiter 和 Scardamalia<sup>⑥</sup>使用“有意学习”一词来指代旨在学习的认知过程，而不是将其视为偶然的結果。在学校情境中，这些目标源自官方课程标准，因此教师应帮助学生内化目标，并激发其学习动机。在此过程中，学习策略的管理与对元认知技术监控学习的意识是有意学习的关键特征<sup>⑦</sup>。

情境化学习与情境学习均强调学习情境的重要性，包括学生接触核心思想与概念的情境、社会互动的环境，以及学习过程中认知工具与文化产物的使用。这些学习方式旨在提升学习经历的意义感、参与度与内在动机，使之贴近现实生活或模拟情境<sup>⑧</sup>。它们有助于将课堂学习与课外经验相连接，支持学生在成为未来社会成员和职业工作者过程中发展专业身份与效能感。此外，这些方法还可以帮助学生接触来自同伴与其他学科的多元视角，并在自己具体独特的情境中探索这些视角与自身的契合点<sup>⑨⑩</sup>。

① Erduran S, Dagher Z R. Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories [J]. Science & Education, 2014, 23 (09): 2069.

② Shin N, Choi S Y, Stevens S Y, Krajcik J S. The impact of using coherent curriculum on students' understanding of core ideas in chemistry [J]. International Journal of Science and Mathematics Education, 2019, 17 (02): 295-315.

③ Treagust D F, Chittleborough G, Mamiala T L. Students' understanding of the role of scientific models in learning science [J]. International Journal of Science Education, 2002, 24 (04): 357.

④ Kommers P A M, Jonassen D H, Mayes J T, Eds. Cognitive tools for learning [M]. Springer-Verlag, 1992.

⑤ Krajcik J S, Mun K. Promises and challenges of using learning technologies to promote student learning of science [J]. Handbook of Research on Science Education, 2014, (02): 337-360.

⑥ Bereiter C, Scardamalia M. Intentional learning as a goal of instruction [M] // L B Resnick, Ed. Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser. Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1989: 361-392.

⑦ Blumschein P. Intentional Learning [M] // N M Seel, Eds. Encyclopedia of the Sciences of Learning. Springer, 2012.

⑧ Krajcik J S, Mun K. Promises and challenges of using learning technologies to promote student learning of science [J]. Handbook of Research on Science Education, 2014, (02): 337.

⑨ Bouillion L M, Gomez L M. Connecting School and Community with Science Learning: Real-World Problems and School-Community Partnerships as Contextual Scaffolds [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2001, 38 (08): 878.

⑩ Sánchez Tapia I, Ed. International Perspectives on the Contextualization of Science Education [M]. Springer, 2020.

自我调节与反思在学习中同样至关重要，这两种活动密切相关，皆涉及帮助学习者管理学习和行为的元认知过程。反思是一个对自身经验、行为与决策进行批判性思考与分析的过程，其目的是获得更深层次的理解与洞察力。它包括回顾过往经历、分析结果、评估行为与策略的有效性<sup>①</sup>。其他学生与教师亦可通过支持个体反思，帮助学习者更好地审视自身行为。自我调节使学生能够通过设定明确目标、监控学习进度与使用策略来更有效地学习<sup>②</sup>。自我调节涉及对自身认知过程的觉察，而这也是反思的重要组成部分。对自身思想、行为与学习策略进行反思，有助于个体意识到自身的优势与不足，这对于高效的自我调节至关重要。自我调节鼓励学习者从被动反应转向主动掌控自己的学习过程。

总体来说，在科学教学与学习（本研究为项目式学习）的设计与实施中，应牢记：学习是一个具有目标导向性、有意性、社会互动性、情境性与境位性、建构性、自我调节性以及反思性的过程。本文将阐述项目式学习在科学课堂中的具体实践形态，并依据学习与兴趣研究相关成果对其特征予以理论阐释。该项目式学习模型基于作者本人及赫尔辛基大学与密歇根州立大学研究团队在过去十年内所开展的相关研究<sup>③</sup>。

## 一、项目式学习课程的一个案例

在如下所述的一个项目式学习模块中，学生通过学习过程产出有形成果——学习产物。该产物为描述物体运动的模型。该项目的目标和目的直接与课程目标相关联，并以“驱动问题”的形式呈现给学生。学生通过参与科学实践、与同伴协作、运用数字化工具以及在学习产物的互动来探索问题的答案。在多个课时中，学生以问题为中心展开有意义的学习活动，这有助于他们在小组合作中将新知识与先前的学习成果整合起来<sup>④⑤</sup>。项目式学习强调那些学生认为有意义的问题，具有培养整合性世界观的潜力，使学生能在思考科学原理的同时，反思并探讨存在性问题<sup>⑥</sup>。在呈现项目式教学模块之后，本文将详细分析这一学习活动的特征。

该模块的描述基于某高中第一节物理课中录制的视频资料。该项目学习阶段的目标在于探究

① Schön D A. The reflective practitioner: How professionals think in action [M]. Basic Books, 1983.

② Zimmerman B J. Becoming a Self-Regulated Learner [J]. An Overview, Theory into Practice, 2002, 41 (02): 64.

③ Schneider B, Krajcik J, Lavonen J, Salmela-Aro K, Broda M, Spicer J, Bruner J, Moeller J, Linnansaari J, Juuti K, Viljaranta J. Investigating Optimal Learning Moments in U. S. and Finnish Science Classes [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2016, 53 (03): 400.

④ Blumenfeld P, Fishman B J, Krajcik J, Marx R W, Soloway E. Creating Usable Innovations in Systemic Reform: Scaling Up Technology-Embedded Project-Based Science in Urban Schools [J]. Educational Psychologist, 2000, (35): 149.

⑤ Krajcik J, Shin N. Project-based learning [M] //K Sawyer, Ed. The Cambridge handbook of the learning sciences. 2nd Ed, Cambridge University Press, 2015: 275-297.

⑥ De Witt A. Climate Change and the Clash of Worldviews: An Exploration of How to Move Forward in a Polarised Debate [J]. Zygon, 2015, (50): 906.

与运动相关的模型及其应用，并理解运动变化的原因（即牛顿第二定律）<sup>①②③</sup>。

项目式学习教学模块的示例：“在本课中，我们将探讨不同类型的运动、运动是如何发生变化的，以及这些变化背后的原因。我们将设计实验，构建模型，并围绕这些模型开展讨论。我们的驱动问题是：‘为什么从相同高度落下的不同物体到达地面的时间不同？’”

“为了理解这个问题，我们来观察咖啡滤纸的下落。我手中一个是单层滤纸，另一个是两个叠在一起的滤纸。你们认为会发生什么？这些滤纸会如何下落？它们会同时落地吗？仔细观察，看看发生了什么。”

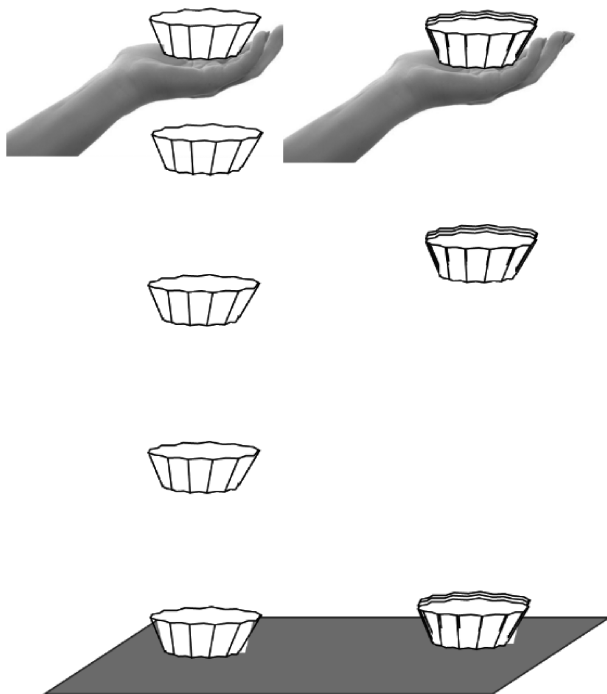


图1 实验表明，从同一高度落下时，较重的咖啡滤纸先落地

根据实验观察到较重的物体首先落地。老师询问学生他们注意到了什么，以帮助他们识别演示中的特征（咖啡滤纸的运动）。一名学生回答说：“较重的物体首先落地。”

教师继续进行演示，逐步增加下落物体的质量。第一组演示对比质量为1 g和2 g的滤纸，随后是2 g—4 g、4 g—8 g、8 g—16 g和16 g—32 g。在每次下落前，学生需预测结果是否会发生变化。学生未在前两次实验中观察到明显差异，但在第三次实验中，两滤纸几乎同时落地，这一观察结果让学生们感到惊讶。在8 g—16 g及16 g—32 g的实验中，下落行为非常相似。随后，学生

① Inkinen J, Klager C, Juuti K, Schneider B, Salmela-Aro K, Krajcik J, Lavonen J. High school students' situational engagement associated with scientific practices in designed science learning situations [J]. Science Education, 2020, 104 (04): 1-26.

② Inkinen J, Klager C, Schneider B, Juuti K, Krajcik J, Lavonen J, Salmela-Aro K. Science Classroom Activities and Student Situational Engagemen [J]. International Journal of Science Education, 2019, 41 (03).

③ Schneider B, Krajcik J, Lavonen J, Salmela-Aro K. Learning Science: The Value of Crafting Engagement in Science Environments [M]. Yale University Press, 2020.

被要求独立总结观察结果，并在小组内整合观点。

学生在小组内互相展示总结的观点，然后跨组进行比较。在全班讨论中，教师提出引导性问题，帮助学生识别咖啡滤纸运动的所有特征，例如：“一开始的运动与结束时相比有什么变化？”“第一次和最后一次下落的运动有什么不同？”教师解释道，这个演示是教学单元的锚点现象，引导学生进入本课的主题。“稍后，我们将更详细解释我们所观察到的内容。现在，它可能看起来令人困惑，但让我们从这里开始。自然现象往往并不简单。”教师重申本单元的驱动问题：“为什么从相同高度落下的不同物体到达地面的时间不同？”

教师将学生分为3—4人小组，要求他们围绕该现象提出研究问题，以回答驱动问题，并在数字化的共享区域中记录这些问题。教师鼓励学生们考虑他们需要什么额外的信息来回答驱动问题。在学生构思问题的过程中，教师在教室中巡视，并提供引导性提示，例如：

- 你对这个主题已经了解什么？
- 你想通过研究这个现象发现什么？怎样调整你的问题可以使之更清晰，让每个人都能理解？
- 根据你的问题，你打算测量或观察什么是否明显？你可以如何修改你的问题，以便让每个人清楚你打算测量什么？
- 你希望通过你的研究学到什么？

在教师巡视期间，学生以小组形式制定问题，并与教师就所提问题展开讨论。

学生围绕运动（例如，下落过程中速度如何变化？物体在下落过程中速度是否恒定？）以及运动变化原因 [例如，物体质量如何影响下落时间？物体大小（揉皱与未揉皱滤纸）如何影响下落时间？] 提出问题。

当教师注意到各组已在数字平台上记录问题后，他引导学生进入下一个环节，即对问题进行有意义的分类。教师说：“你们将问题分类后，与另一小组进行交流，并讨论彼此的分类方式，尝试达成共享分类方案。”老师指导学生们选择可以帮助找到驱动问题答案的问题，并在幻灯片上显示说明：

- 将你们提出的问题进行有意义的分类（5—8分钟）。
- 与另一个小组配对，并向他们介绍你们的分类，同时聆听对方的分类（5—8分钟）。
- 比较分类方式，并尝试创建一个共享的分类方案（5分钟）。
- 向其他学生示新的分类方案，说明分类标准并举出每类中的代表性问题。

各组将向全班展示其共享分类标准和问题示例，并解释各问题如何有助于理解该自然现象以及如何推进探究过程。

随后，教师说明学生将依据所提问题，开始探究锚定现象或类似现象。首先，他们会选择有助于理解自由落体运动的问题（例如，在什么条件下物体下落的速度保持不变？此类情况下属于什么类型运动？下落过程中速度如何变化？）。接下来再探讨运动变化的原因。在这一阶段，学生不会进行运动变化的实验，而是专注于分析运动本身。

接下来，学生通过与运动相关的问题展开现象探究。教师介绍实验所需设备与工具。学生已熟悉超声波传感器的使用，并了解如何利用其软件绘制图像。

学生依据研究问题开始规划探究活动。教师在教室中巡视，协助设备使用，随着学生们在测量和建模活动中取得进展，教师用适当的问题引导他们，例如：

- 你的研究问题是什么？你是否采取了能够找到答案的方法？

- 你的实验设计是什么？它能否回应你的研究问题？为什么？
- 你构建了什么模型？该模型描述了何种关系？
- 你为什么选择这种表示方式？还有其他可能的表示方式吗？
- 你对模型有什么证据？你在主张什么？有什么证据支持你的主张？
- 你的模型与收集到的数据有什么关系？

在下一节课中，小组将向其他组展示他们的发现或图像模型（位置-时间图和速度-时间图）。展示后，其他小组的学生将提出阐明性问题。展示过程中，学生需明确模型如何解释所观察到的现象。展示结束后，全班讨论总结：运动可分为两类——速度恒定的匀速运动与速度变化的加速运动。讨论中引入“匀加速运动”概念。在对匀速运动和匀加速运动的图像定义（位置-时间图、速度-时间图）达成共识后，教师要求学生举例说明具有匀速（或几乎匀速）和匀加速（或几乎匀加速）特征的运动类型，并展开讨论。

学生此前已围绕不同类型的图像表示展开学习。他们还完成了以下练习：根据图像（位置-时间和速度-时间图）识别运动类型、从表格数据生成图像，反之亦然；分析不同运动的动态图像；进行插值法推测；探索图像表示方式。随后，教师回顾数学知识，帮助学生将公式表示与图像表示联系起来，明确匀速运动和匀加速运动的数学模型（匀速和匀加速运动的公式）。在确定相关公式后，开展若干解题活动，以支持学生对数学表达的理解。在解题过程中，学生需先识别并命名现象，再选择恰当模型（图像或公式），接着确定已知与待求量，最后解题或分析图像。该阶段历时多个课时，学生既有独立完成任务的时间，也有小组协作的环节。

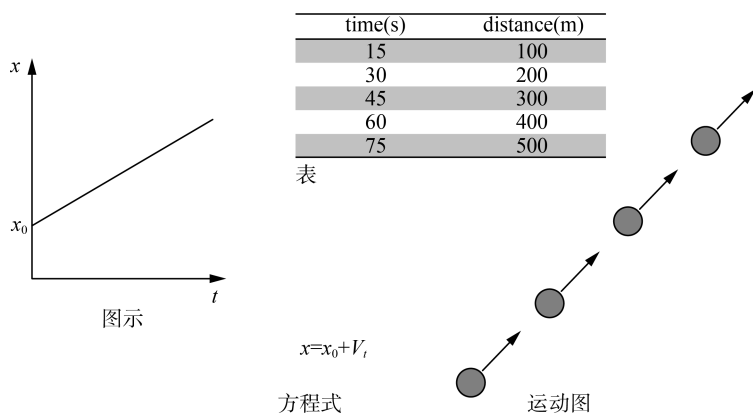


图2 匀速运动的表示图

在熟悉了匀速和匀加速运动及其表示之后，教师指出，尽管学生在回应驱动问题方面已有所进展，但仍需进一步探索。学生们最初在实验中观察到，重物在下落过程中几乎始终为匀加速运动，而轻物的速度先增加后趋于匀速。

学生在小组中回顾先前提出的关于运动变化的研究性问题，评估其相关性，并考虑是否需提出新问题。随后，他们与其他小组交流并选择最恰当的问题，开始制定新的探究方案。教师组织简短的集体讨论，并在规划过程中给予支持。

上述项目式学习示例具有与工作场所项目中观察到的相似特征：项目具有明确目标、包含多个不同阶段，并以具体成果（此处为模型）告终。然而，项目式学习并不能单凭其过程进行界定，

因为其实施模式具有高度灵活性。相反，它可以通过特定特征来描述，如上述示例所示。根据这种描述，项目式活动以情境化的驱动问题为导向。在本例中，学生围绕“物体下落”现象开展了真实情境中的探究活动，这与驱动问题是一致的。学生在过程中积极参与科学实践，聚焦核心概念、思维技能与科学态度；进行社会互动与知识建构；并产出回应驱动问题的学习产物。教师在过程中提供了大量支架支持。接下来，本文将详细分析项目式学习的特征是如何在本课程实例中得以体现的。

## 二、对上述案例的分析

### （一）驱动问题使学生的学习目标明确

设计项目式学习示例的起点是课程标准中所设定的目标，尤其是基于能力的教学目标。在本研究所分析的教学模块中，第一个能力目标是引导学生分析运动数据，并为匀速或变速运动的物体建立模型；第二个目标则是指导学生分析宏观物体所受合力与其加速度之间的关系。对于高中阶段的学生而言，一个重要的目标是应用科学实践来设计、评估并优化用于建模自然现象的实验方案。

该示例的教学目标通过一个“驱动问题”引入给学生，该问题指示了学生将在与科学实践相关的情境中探索的核心概念与基本思想。驱动问题将学习情境化，并说明这些概念与思想是如何与自然现象相联系的。在该示例中，提出的问题是：“为什么有些物体以相同速度下落，而另一些物体则以不同速度下落？”驱动问题使学习变得有意图、有方向<sup>①</sup>。示例同时展示了学生如何管理和监控自己的学习过程<sup>②</sup>。

提出一个有意义的驱动问题是项目式学习的首要特征。该问题通常与一个现实世界的现象（即锚定现象）相配对，指导学生展开探索并使学习更具目标性、意识性。驱动问题能够引导进一步探究，并将示例中的各课时内容有机连接在一起，其呈现方式旨在增强教学的连贯性<sup>③</sup>。

### （二）在科学实践中掌握学科核心概念

在项目式学习中，学生通过理解现象来学习关键概念和学科核心思想。诸如“能量”与“能量守恒”之类的核心概念不仅用于解释现象，也用于规划新的研究与探究活动。在解释现象时，学生处理观察和测量结果，呈现他们的探究发现，并评估结果和整个研究过程<sup>④</sup>。这些观察、解释和呈现的活动被称为“科学实践”，反映了专业科学家在实际工作中的做法<sup>⑤</sup>。这些实践促使学

① Bereiter C, Scardamalia M. Intentional learning as a goal of instruction [M] //L B Resnick, Ed. Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser. Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1989: 361-392.

② Blumschein P. Intentional Learning [M] //N M Seel, Eds. Encyclopedia of the Sciences of Learning. Springer, 2012.

③ Nordine J, Sorge S, Delen I, Evans R, Juuti K, Lavonen J, et al. Promoting Coherent Science Instruction through Coherent Science Teacher Education: A Model Framework for Program Design [J]. Journal of Science Teacher Education, 2021, 32 (08): 911.

④ Krajcik J, Merritt J. Engaging students in scientific practices: What does constructing and revising models look like in the science classroom? Understanding a framework for K-12 science education [J]. Science Teacher, 2012, 79 (03): 38.

⑤ Erduran S, Dagher Z R. Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories [J]. Science & Education, 2014, 23 (09): 2069.

生与数据和信息进行互动,增强他们在科学教育中的参与度<sup>①②</sup>。

这种将核心概念学习与科学实践紧密结合的方式,是项目式学习的第二个关键特征。如果没有参与科学实践,就无法学习关键概念和核心思想;而科学实践如果没有与核心思想联系起来,也就无法发挥作用<sup>③</sup>。

### (三) 在项目式学习中学生积极投入学习或建构知识

项目式学习的第三个特征是学生积极参与规划他们的学习、参与学习或知识建构以及反思和自我评估<sup>④⑤</sup>。在规划阶段,学生通过教师提问、演示和展示,特别是小组讨论,得到支持以识别与现象相关的经验和先前知识。在这个阶段,学生设定学习目标,如制定研究问题。在学习或理解现象时,学生进行观察、测量和构建模型,表达他们的经验和理解。这些学习活动均以学生已有的概念、知识与技能为基础。然而,学生的原有概念常常与科学知识不一致,因此教师需要帮助学生识别这些概念<sup>⑥⑦</sup>。

知识建构,即学科学习的核心内涵,是一个有意图、系统性的学习过程,该过程旨在发展研究问题、实施课堂观察或测量,并基于收集的数据构建模型,得出结论<sup>⑧</sup>。支持知识建构的教学关注引导学生不断提炼其所获得的知识来加深他们的理解<sup>⑨</sup>。学习是一个积极的认知过程,而非被动的信息接受。在这一过程中,学生以他们先前的知识和经验为基础来解释观察到的现象和新信息<sup>⑩</sup>。

学生活动的第三个方面,即对自己的学习进行反思,这在项目式学习中得到了鼓励<sup>⑪</sup>。学生被引导分析他们从驱动问题中学到了什么,尚需探索哪些领域。除了自我反思与评估,学生还会在展示研究问题或模型时接受来自其他小组的反馈。

### (四) 支架式教学是项目式学习的核心

尽管项目式学习强调学生在学习中的主动性,但教师的支持仍然不可或缺。在该示例中,教

① Inkien J, Klager C, Juuti K, Schneider B, Salmela-Aro K, Krajcik J, Lavonen J. High school students' situational engagement associated with scientific practices in designed science learning situations [J]. Science Education, 2020, 104 (04): 1.

② Niemiec C P, Ryan R M. Autonomy, competence, and relatedness in the classroom Applying self-determination theory to educational practice [J]. Theory and Research in Education, 2009, 7 (02): 133.

③ Blumenfeld P, Fishman B J, Krajcik J, Marx R W, Soloway E. Creating Usable Innovations in Systemic Reform: Scaling Up Technology-Embedded Project-Based Science in Urban Schools [J]. Educational Psychologist, 2000, (35): 149.

④ Gergen K. The Social Constructionist Movement in Modern Psychology [J]. American Psychologist, 1985, (40): 266.

⑤ Allen A. An introduction to constructivism: Its theoretical roots and impact on contemporary education [J]. Journal of Learning Design and Leadership, 2022, 1 (01): 1.

⑥ Smith III J P, diSessa A A, Roschelle J. Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition [J]. Journal of the Learning Sciences, 1994, 3 (02): 115.

⑦ Alexander P A, Winne P H, Eds. Handbook of Educational Psychology [M]. 2nd ed. Routledge, 2006.

⑧ Shin N, Choi S Y, Stevens S Y, Krajcik J S. The impact of using coherent curriculum on students' understanding of core ideas in chemistry [J]. International Journal of Science and Mathematics Education, 2019, 17 (02): 295.

⑨ Tan S C, Chan C, Bielaczyc K, Ma L, Scardamalia M, Bereiter C. Knowledge Building: Aligning Education with Needs for Knowledge Creation in the Digital Age [J]. Educational Technology Research and Development, 2021, 69 (01): 2243.

⑩ Tynjälä P. Towards Expert Knowledge? A Comparison Between a Constructivist and a Traditional Learning Environment in University [J]. International Journal of Educational Research, 1999, 31 (05).

⑪ 同⑩。

师通过提问来为学生的学习提供支架,使其能在最近发展区内参与活动<sup>①</sup>。这些问题旨在引导学生思考、深化理解,并帮助其将新信息与已有知识建立联系。支架教学正是项目式学习的第四个特征。

在上述教学实例中,有几种情况是教师通过提问来指导学生的学习。在预计学生会遇到困难环节,教师使用PPT展示问题或指令,引导学生从不同角度审视现象或主题,例如,进行如下提问:“你将基于哪些数据得出结论?”“你主张什么?”“你的主张基于哪些数据?”“你是如何得出那个答案的?”

一般来说,在教育情境中支架是教师为学生理解新知识或掌握新技能所提供的临时支持。这种支持应“恰到好处”,随着学生能力的提升逐步减少。在许多情况中教师可以通过支架式教学来支持学生的学习。除了提问和反馈,教师可以通过将复杂任务拆分为若干可管理的子任务,这有助于学生一次专注于一个方面,降低学生的认知负荷。例如,在上述案例中,学生首先研究“运动”,再研究“运动为何改变”。教师还可以鼓励学生使用图表、绘图等可视化工具帮助理解。小组合作与同伴讨论使学生相互学习并建立群体知识<sup>②</sup>。

### (五) 基于互动与合作的学生学习

项目式学习的第五个特征是学生通过互动与合作参与学习过程。这种学习互动类似研究小组或工程团队的工作模式,包括观点的协商、主张的验证与基于数据的解决方案的构建。学生间的互动是促进学习的关键要素。

鼓励学生讨论自身的经验与概念对于建立良好的学习环境至关重要。通过提问、观点交流、观点补充、论证、概念联结、观察与结论陈述等方式,学生在互动中基于已有知识构建新知识。小组讨论和教师提问均是引导学生表达和阐述想法的教学策略。当学生表达他们的概念时,教师可以评估这些想法是否与科学概念一致。如发现偏差,教师可通过追加问题或引导进一步探究予以纠正。此外,学生在表达过程中也能察觉并修正自身的错误认识,这是学习的第一步。倾听不同观点并在不同的视角中审视自己的看法有助于学生重新评估与调整理解。另外,表达自己的想法使学生在过程中保持积极参与,提升他们的参与度和投入感<sup>③④</sup>。

### (六) 学习与知识建构中的认知工具

项目式学习的第六个原则是将各种认知工具(如数字工具)整合到工作中,以获取和处理信息、数据集、模型或模拟现象。多种基于微型计算机的工具和传感器能够为学生探究的现象提供实时信息,学生可以通过多种方式呈现与处理这些信息。无论是解释宏观还是微观现象的模型,学生都可以借助各种模拟与建模软件展示与探索其运行机制。在线学习环境或共享文档也可用于记录笔记、绘制解释现象的模型,并共享信息。因此,数字工具不仅是学习资源,支

① Alexander P A, Winne P H, Eds. Handbook of Educational Psychology [M]. 2nd ed. Routledge, 2006.

② Van de Pol J, Volman M, Oort F, Beishuizen J. The Effects of Scaffolding in the Classroom: Support Contingency and Student Independent Working Time in Relation to Student Achievement, Task Effort, and Appreciation of Support [J]. Instructional Science, 2015, 43 (05): 615.

③ Smith III J P, diSessa A A, Roschelle J. Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition [J]. Journal of the Learning Sciences, 1994, 3 (02): 115.

④ Alexander P A, Winne P H, Eds. Handbook of Educational Psychology [M]. 2nd ed. Routledge, 2006.

持学生掌握学科核心概念和科学实践，同时也是学生进行数据与信息处理、呈现过程中用于创造性与协作性学习的关键媒介。项目式学习中的一个核心理念是，学生在数字工具的辅助下进行协作式的知识建构，这使得他们能够参与某些若无数字工具则不可能或不合理的烦琐的科学实践<sup>①</sup>。

除了数字工具，还有其他类型的认知工具可以在项目式学习中用来支持学习。例如，思维导图和概念图是一种可视化的思维与想法表达方式，有助于学生组织与连接信息、规划探究活动并以有意义的方式勾勒出解释现象的模型。因此，模型本身也是一种认知工具，有助于学生理解抽象概念。在建模过程中使用类比和隐喻，能够帮助学生将新信息与已有知识建立联系，从而促进更深入的理解<sup>②</sup>。

### （七）项目式学习中的具体成果——学习产物

项目式学习整合了具体产物与文本或图表的使用，这是其第七项特征。例如，这些产物可以是潜在研究问题的列表，或是对所研究现象建模的图示表示<sup>③</sup>。生成产物旨在促使学生参与类似科学研究者在调查时所经历的过程。从社会文化学习理论的角度来看，与成果性作品互动是促进学习的重要因素之一。该理论认为，学习是通过与社会文化情境、工具与活动实践的互动而发生的<sup>④</sup>。学习产物与文化实践互为补充，丰富了认知学习理论关于学习过程的理解。此外，学习产物还帮助教师评估学生的学习过程与学习成效，因为这些作品能够将学生的思维过程具象化、可视化。

### （八）反思与自我调节使思维过程可视化

对元认知过程的支持、反思<sup>⑤</sup>和自我调节<sup>⑥</sup>被认为是项目式学习的第八个特征。在示例中，学生将自己的思维与行为对自己和他人加以可视化呈现。反思的过程包括回顾并审视经验，或将经验与他人分享。将自我调节与反思相结合，使学习者能够认识并优化自己的学习过程；他们可以设定明确的目标，并基于这些目标与策略来监控自身的进展。在项目式学习中，学生有多种机会使用学习产物在小组内或小组之间展示自己的思考与行动。因此，学习产物在反思过程中也发挥着核心作用。当教师在教室中巡视指导时，学生正在各种情况下支持反思和自我调节。教师可以询问学生：“你们目前完成了哪些工作？”“下一步准备做什么？”教师还可以提出更具体的问题，如：“你们的观察结果是什么？基于此你们现在能得出什么结论？”

① Krajcik J S, Mun K. Promises and challenges of using learning technologies to promote student learning of science [J]. Handbook of Research on Science Education, 2014, (02), 337.

② Kommers P A M, Jonassen D H, Mayes J T, Eds. Cognitive tools for learning [M]. Springer-Verlag, 1992.

③ Treagust D F, Chittleborough G, Mamiala T L. Students' understanding of the role of scientific models in learning science [J]. International Journal of Science Education, 2002, 24 (04): 357.

④ Leach J, Scott P. Individual and sociocultural views of learning in science education [J]. Science & Education, 2003, 12 (01): 91.

⑤ Schön D A. The reflective practitioner: How professionals think in action [J]. Basic Books, 1983.

⑥ Zimmerman B J. Becoming a Self-Regulated Learner: An Overview [J]. Theory into Practice, 2002, 41 (02): 64.

### (九) 项目式学习中的创造性思维和批判性思维

创造性思维与批判性思维被广泛认为是探究、解决问题与设计活动中不可或缺的能力<sup>①</sup>。在上述示例中，学生在多个情境中均需运用这两类思维技能。创造性思维和批判性思维的使用代表了项目式学习的第九个特征。

创造性思维也称设计思维，强调在创造过程中产生创新想法并发展有效且有用的解决方案。近年来，这类能力已成为各教育与研究领域教学、研究与实践的焦点<sup>②③</sup>。Sawyer<sup>④</sup>提出，学生应理解创造过程的迭代性与非线性本质，这要求他们掌握并运用创造性技能。例如，当学生在构建研究问题和设计探究方案时，一定程度的创造力是必不可少的；此外，在将数据或结果与已有模型或知识建立联系时，创造性思维也发挥着关键作用。

对于批判性思维的界定多种多样，例如，哲学导向的定义涉及古典思想和人类发展<sup>⑤</sup>。一些定义强调批判性思维在教育背景中是如何被感知和培养的<sup>⑥⑦</sup>。批判性思维的一个基本特征是它属于一种元认知过程，使人们不仅能够反思外部世界（第一阶能力），也能反思自身的思维过程（第二阶能力）<sup>⑧</sup>。在学校教育中，批判性思维通常被视为逻辑、理性思维的表现，包括推理、评估论点与证据，以及建构合理论证以识别问题的合适解决方案。然而，根据 Vincent-Lancrin 等人<sup>⑨</sup>的说法，批判性思维还涉及识别多种观点以及任何观点所固有的假设和局限性。Gelerstein 等人<sup>⑩</sup>概述了在上述的项目式学习示例中可以观察到的批判性思维技能及其子技能。这些批判性思维技能和子技能的定义如表 1 所示。

① Abrami P C, Bernard R M, Borokhovski E, Waddington D I, Wade C A, Persson T. Strategies for teaching students to think critically: A meta-analysis [J]. Review of Educational Research, 2015, 85 (02): 275-314.

② Melles G, Howard Z, Thompson-Whiteside S. Teaching design thinking: Expanding horizons in design education [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, (31): 162.

③ Mosely G, Wright N, Wrigley C. Facilitating design thinking: A comparison of design expertise [J]. Thinking Skills and Creativity, 2018, (27): 177.

④ Sawyer R K. Teaching and learning how to create in schools of art and design [J]. Journal of the Learning Sciences, 2018, 27 (01): 137.

⑤ Nussbaum M C. Creating capabilities [M]. Harvard University Press, 2011.

⑥ Halpern D. Thought and Knowledge: An Introduction to Critical Thinking [M]. 4th ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

⑦ Bailin S, Case R, Coombs J R, Daniels L B. Conceptualizing Critical Thinking [J]. Journal of Curriculum Studies, 1999, 31 (03): 285.

⑧ Halpern D. Thought and Knowledge: An Introduction to Critical Thinking [M]. 4th ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

⑨ Vincent-Lancrin S, González-Sancho C, Bouckaert M, de Luca F, Fernández-Barrerra M, Jacotin G, Urgel J, Vidal Q. Fostering Students' Creativity and Critical Thinking: What It Means in School, Educational Research and Innovation [M]. OECD Publishing, 2019.

⑩ Gelerstein D, del Rio R, Nussbaum M, Chiuminatto P, López X. Designing and Implementing a Test for Measuring Critical Thinking in Primary School [J]. Thinking Skills and Creativity, 2016, (20): 40.

表 1 批判性思维类型及其在本案例中的体现

| 批判性思维技能              | 定义                                                                                                                        | 批判性思维子技能   | 本项目式学习案例中的体现                                                                                           |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 解释<br>(经验、数据、规则、程序等) | 理解并表达各种经验、情境、数据、事件、判断、惯例、信念、规则、程序或标准的意义或重要性                                                                               | 分类归类       | 在提出问题后对可能的研究问题进行分类                                                                                     |
|                      |                                                                                                                           | 识别与问题相关的元素 | 识别教师在开始时阶段演示实验中咖啡滤纸运动的特征                                                                               |
|                      |                                                                                                                           | 阐明意义       | 在向另一组介绍基于实验的模型时，学生需要说明该模型如何解释现象<br>举例说明匀速运动的物体                                                         |
| 分析                   | 识别陈述、问题、概念、描述、模型或其他旨在表达信念、判断、经验、原因、信息或意见的形式之间的预期和实际推理关系                                                                   | 检验想法和模型    | 通过比较速度与加速度的概念，在具体实例中识别其相似性与差异性<br>分析题目所指的问题现象并命名，继而选择恰当的模型（图像或方程式）来进行描述                                |
|                      |                                                                                                                           | 识别论点       | 在小组讨论中识别一个论点是支持还是反对某个陈述                                                                                |
|                      |                                                                                                                           | 分析论点       | 识别论点的主要观点<br>识别支持论点的理由<br>在小组讨论数据时，从所提出主张的角度出发分析论点                                                     |
| 评估                   | 评估某陈述或描述（涉及个人感知、经验、情境、判断、信念或观点）的可信度；以及评估陈述、描述、问题或其他表达形式之间推理关系的逻辑强度                                                        | 评估主张       | 评估信息或观点来源的可信度<br>在小组讨论中判断某论点是否支持所提出的主张                                                                 |
|                      |                                                                                                                           | 评估论点       | 在其他小组向本组介绍研究发现时，判断其结论是否基于有效数据<br>在小组讨论中，评估对某论点提出的反驳逻辑是否合理<br>判断某论点是否相关、适用，或对特定情境有无启发性                  |
|                      |                                                                                                                           | 评估替代方案     | 评估不同研究问题的优缺点                                                                                           |
| 推断                   | 推理是基于证据/观察/数据/信息/观点所作出的解释，是观察到的信息与已有知识之间的联系。涉及识别并获取得出合理结论所需要素；形成猜想与假设，考虑相关信息，并从数据、陈述、原则、证据、判断、信念、观点、概念、描述、问题或其他表达形式中推导出后果 | 质询证据       | 在一个小组向另一个小组介绍研究发现时，识别推断是否来源于证据<br>在小组内部或由教师主持的讨论中，识别判断两个相互矛盾观点所需的附加信息<br>根据实证证据接受或拒绝某一假设               |
|                      |                                                                                                                           | 提出替代方案     | 针对与研究问题相关的一组优先事项，提出可能同意或不同意的替代方案<br>使用不同策略解决问题，例如，在解决问题活动中使用图形表示或方程/公式                                 |
|                      |                                                                                                                           | 得出结论       | 基于证据/数据得出有效结论                                                                                          |
| 推理/解释                | 推理是将主张与证据联系起来的正当性说明，用于展示数据如何构成支持主张的证据。包括根据证据、概念、方法、标准和语境来阐明和正当化推理结果，并以有力论证的形式呈现推理                                         | 陈述结果       | 在小组向另一小组展示研究发现时，沟通所得结论<br>以图示方式表达概念与想法之间的关系<br>介绍物体下落过程中速度的变化                                          |
|                      |                                                                                                                           | 证明程序的合理性   | 在将模型介绍给其他小组时，描述用于决策的策略<br>回答教师的质疑                                                                      |
|                      |                                                                                                                           | 展示论点       | 在讨论特定现象中运动是否为匀速时，支持或反对某一观点<br>解释“加速度”这一概念的理解：如何描述物体运动<br>在一小组向另一小组展示研究结果时，用证据支持自己的观点或反驳不同的观点，并将其纳入推理过程 |

### (十) 项目式学习激发学生学习兴趣

项目式学习的第十个特征是它能够激发学生的学习兴趣。根据 Schneider 等人的研究,学生对学习的投入需要满足三个前提条件:学生对所学主题感兴趣,该主题具有适度挑战性,学生的能力与挑战之间保持良好匹配。可通过选择令学生好奇的学习情境来激发学生的兴趣。例如,将学习主题与人类活动联系起来,被发现比单纯从物理或化学的学科角度进行呈现更能引发学生的兴趣<sup>①②③</sup>。在项目式学习中,驱动问题与其前期讨论的目标即是对学习主题进行情境化处理。

驱动问题及其相关的锚点现象能够激发学生的兴趣,同时也构建起适当的学习挑战,这是学生投入的另一个重要前提条件。通过在整个教学模块中不断回顾驱动问题,可以保持学生的兴趣。驱动问题和锚点现象将正在学习的概念和知识实践与学生的已有知识联系起来,而将学习成果展示给他人及接受教师反馈则进一步增强了学生的技能感和胜任感。学生在小组中协作学习,并使用数字工具进行信息加工与建构。这些工具还为教师调整任务或现象的难度以优化学生理解提供了可能。

根据我们的研究发现,许多项目式学习情境都能激发学生的学习兴趣,这表明学生在学习过程中遇到的挑战与他们的技能相匹配,特别是在他们制定研究问题、设计实验以及根据观察或测量结果开发模型的情境中<sup>④</sup>。

## 三、讨论

项目式学习的核心在于:学生以协作的方式产出项目成果,即展示如何通过基于观察与测量所构建的模型来解释或描述所研究现象的成果性作品。该成果或模型是在学生探究现象的过程中,运用关键概念、学科核心理念、知识实践与数字工具逐步发展而成的。此外,探究的各个阶段还需向其他学生进行表达与讨论。

尽管项目式学习看起来比传统教学需要更多时间,但其学习成效也明显更高。一项涉及 4000 名学生的随机对照试验表明,参与项目式学习的学生在国家标准化测试中的得分比传统教学中的同龄人高出 0.2 个标准差。此外,有强有力的证据表明,项目式学习能够有效提升学生在科学学习中的投入程度,在小组协作与科学实践参与方面表现尤为突出<sup>⑤⑥⑦</sup>。

① Hoffman L. Promoting girls' interest and achievement in physics classes for beginners [J]. Learning and Instruction, 2002, (12): 447.

② Inkinen J, Klager C, Juuti K, Schneider B, Salmela-Aro K, Krajcik J, Lavonen J. High school students' situational engagement associated with scientific practices in designed science learning situations [J]. Science Education, 2020, 104 (04): 1.

③ Schneider B, Krajcik J, Lavonen J, Salmela-Aro K. Learning Science: The Value of Crafting Engagement in Science Environments [M]. Yale University Press, 2020.

④ Inkinen J, Klager C, Juuti K, Schneider B, Salmela-Aro K, Krajcik J, Lavonen J. High school students' situational engagement associated with scientific practices in designed science learning situations [J]. Science Education, 2020, 104 (04): 1.

⑤ Inkinen J, Klager C, Schneider B, Juuti K, Krajcik J, Lavonen J, Salmela-Aro K. Science Classroom Activities and Student Situational Engagement [J]. International Journal of Science Education, 2019, 41 (03).

⑥ 同④。

⑦ Schneider B, Krajcik J, Lavonen J, Salmela-Aro K, Broda M, Spicer J, Bruner J, Moeller J, Linnansaari J, Juuti K, Viljaranta J. Investigating Optimal Learning Moments in U. S. and Finnish Science Classes [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2016, 53 (03): 400.

项目式学习模型与探究式学习有许多共同特征<sup>①②</sup>。两者都强调引导学生对自然现象进行观察与探究。然而,从学习科学研究的视角出发,探究式学习往往未充分考虑学生的已有知识、文化工具与实践的重要性。此外,部分观点认为,在探究式学习中,教师的指导角色应被最小化,甚至在学生开展探究活动时完全退出。而在项目式学习中,教师的指导作用与脚手架支持被视为关键组成部分。

从认识论角度来看,部分教师与研究者们认为探究式学习遵循的是一种“简化”的科学研究流程,即从提出研究问题出发,最终构建出模型。而项目式学习并不持此观点:在其教学中,知识实践可能以不同的顺序出现,并根据学习主题的差异被赋予不同的权重。另一潜在差异在于过程与知识之间的关系。一些观点认为,在探究式学习中,过程本身最为重要,学习时间主要用于识别、变动与控制变量。而在项目式学习中,起点是需要被理解的现象,学生需构建出能够解释该现象的模型。在项目式学习中,核心概念、学科核心理念以及用于描述、解释和预测现象的模型的学习构成了学习的中心内容。然而,在这种比较中仍存在一个挑战,即研究者与教师对探究式学习与项目式学习两种模式的理解各不相同。因此,很难明确区分两者的相似点与差异点,尤其是当这两种模式都强调学生参与科学实践时。

#### 作者简介

亚里·拉沃宁,赫尔辛基大学教育系名誉教授,主要从事科学教育、教师教育研究。

张军凤(译者),南京大学教育研究院助理研究员,主要从事学生学习心理和行为、教师教育研究。

## From Theory to Practice: How Project-Based Learning Engages Finnish Secondary Students in Science Learning

Jari Lavonen

(University of Helsinki, Faculty of Educational Sciences)

**Abstract:** First, the learning theories behind project-based learning (PBL) are introduced. PBL has its roots in learning science research, which emphasises the active role of students in learning and the impact of collaboration, interaction, and contextualization on their learning. PBL activities are guided by a contextualizing driving question. Students engage in authentic, situated inquiry projects to understand phenomena or to develop solutions that align with the driving question. While exploring these phenomena,

<sup>①</sup> Anderson R D. Inquiry as an organizing theme for science curricula [M] //S K Abell, N G Lederman, Eds. Handbook of research on science education. Lawrence Erlbaum Associates, 2007: 807-830.

<sup>②</sup> García-Carmona A. From Inquiry-Based Science Education to the Approach Based on Scientific Practices: A Critical Analysis and Suggestions for Science Teaching [J]. Science & Education, 2020, 29 (02): 443.

students actively participate in collaboration in scientific and engineering practices, concentrating on learning core ideas or key concepts, enhancing their thinking skills and interest, and creating artefacts that address the driving question. Students' learning is scaffolded, allowing them to engage in activities within their zone of proximal development. Second, an example of a lower-secondary project-based teaching module is presented. Next, the module is analysed within the context of learning science research outcomes and the ten key characteristics of PBL are recognised. Research findings related to student learning and engagement are discussed.

**Key Words:** project-based learning; science learning; contextualizing driving questions; scientific and engineering practices; critical thinking