基于工程的跨学科实践

——来自 STEM 的启示

顾 健[1] 李 刚[2]
(1. 西安交通大学苏州附属初级中学,江苏 苏州 215021; 2. 苏州市教育科学研究院,江苏 苏州 251000)

摘 要: 本文借鉴 STEM 教育的跨学科融合方式,以“走进非遗:自制杆秤”为例,阐述基于工程的初中物理跨学科实践活动的实施:工程设计,绘制草图解构物理模型;模型应用,方案设计紧扣学生认知;数学解释,问题解决发展高阶思维;测试优化,实践应用弘扬工匠精神;文化引领,内涵解读传承优秀文化. 对开展跨学科实践活动的教学提出三点思考:跨学科实践主题的选定取决于学生的认知水平;跨学科知识的整合应用根植于真实的问题情境;跨学科实践活动的实施融合于学科的专业特色.

关键词: 工程; 跨学科; STEM; 实践活动

1 问题的提出

初中物理跨学科实践活动引导学生将物理、数学、语文等知识与方法应用于生活实际、工程实践、社会发展等问题,具有综合性、实践性和开放性等特征,提升学生分析与综合的能力,发展学生跨学科知识应用的能力. 20 世纪 50 年代美国科学教育学者最早提出 STEM 教育,并得到其他国家科学教育者的普遍认同,认为提高国民的科学素养是提升国家综合实力的关键. STEM 是科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和数学(Mathematics)4 门学科的简称,强调多学科的交叉融合,能够为初中物理跨学科实践活动的设计、实施和评价等方面提供参考,具有良好的借鉴意义.

工程思维是一种系统思维,表现出运筹性、决策性、权衡性、集成性、复杂性和跨学科性的特点. 工程实践作为初中物理跨学科实践活动的一个重要组成部分,有助于培养学生的工程思维. 基于工程的跨学科实践要求学生对多个学科知识体系有高阶认识,真正意义上理解基本概念、原理、规律等构成的知识体系,提炼知识与技能的精华,迁移知识与方法应用于工程实践,进而实现工程设计中问题解决方案的开发、设计、制作与优化等.[1]

本文借鉴 STEM 教育的跨学科融合方式,以“走进非遗:自制杆秤”为例,具体阐述基于工程的初中物理跨学科实践活动的实施,提升学生动手实践的操作能力,培养学生的问题解决能力和实践创新能力.

2 基于“工程”的 STEM 教育

2.1 设计思路

研究表明,科—数整合教育无需“引进”,科—技整合教育有将科学教育带上培养“能工巧匠”歧途的风险,科—工整合才是最符合我国基础科学教育发展需要的 STEM 整合类型.[2] 工程实践在中小学 STEM 教育的本土实践过程中体现了重要价值,其具体设计思路主要有 3 种,分别为应用延伸型整合思路、工程框架型整合思路与设计即探究型整合思路. 结合 3 种整合思路的特点和目前我国初中物理教学的实际,笔者认为基于工程实践的初中物理跨学科实践活动可采用应用延伸型整合设计,强调在设计任务情境中运用已学知识,通过开发解决方案、检验设计合理性、权衡方案、讨论修正等过程发展工程设计能力.

2.2 实践过程

美国 STEM 教育研究者 Anne Jolly 针对 4—8 年级的学生,将工程设计过程描述为 8 个步骤,包括定义问题、背景研究、想象、计划、创造、测试与评估、重新设计、交流,如图 1 所示.[3] 陕西师范大学胡卫平教授团队对实施中小学 STEAM 课堂教学提出了基本教学程序包括:第一,创设情境;第二,提出问题;第三,自主探究;第四,合作交流;第五,总结反思;第六,应用迁移.[4]

基金项目:本文系江苏省中小学教学研究第十四期课题“基于课标的初中物理教师命题能力提升研究”(课题编号:2021JY14—L384)之阶段性研究成果;江苏省教育科学“十三五”规划 2020 年度课题“STEM 理念下初中物理教学的实践研究”(课题编号:E—c/2020/21)之阶段性研究成果;江苏省教育学会“十三五”教育科研规划重点课题“STEM 理念下初高中理科课程衔接的行动研究”(课题编号:190800)之阶段性研究成果.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

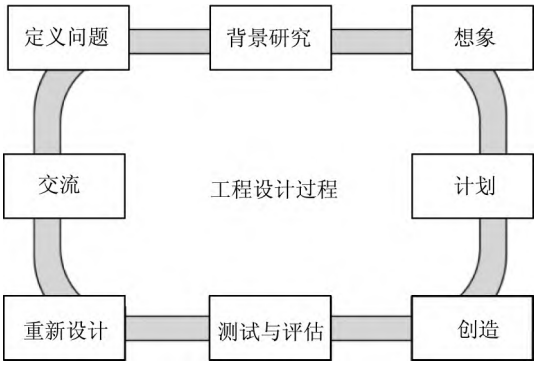


图 1　工程设计问题发现与解决的一般过程

目前，基于工程实践的初中物理跨学科实践活动是学生在学习某主题的内容后，整合章节知识应用于生产生活中的工程设计. 笔者根据跨学科实践活动特点和初中物理教学的样态，设计了活动的一般过程，如图 2 所示. 主要采用作品制作的形式，根据学生的学科知识基础、认知水平等背景研究，确定工程实践的问题，以物理学科知识整合为主导，其他相关学科知识应用为辅. 方案设计过程包括功能定位、材料选取、草图设计等. 功能测试与优化改进是一个迭代循环的过程，对产品不断地完善修正，以达到产品要求. 整个过程是一个循环系统，学生在展示作品与交流反思环节，对知识应用有了新的认识，通过师生的互动评价，学生产生较强的内驱力，促进综合素质的提升. 在新主题的实践活动选题时，需要关注学生的主观能动性，以此确定问题的复杂程度.

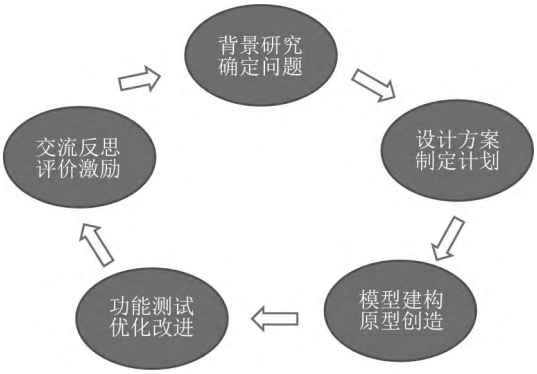


图 2　基于工程的跨学科实践活动的一般过程

3　基于工程的跨学科实践的教学实施

3.1　工程设计，绘制草图解构物理模型

通过非物质文化遗产杆秤的介绍，学生发表对杆秤的认识，对杆秤概貌有初步的了解. 引导学生绘制杆秤的草图，从而深入把握杆秤的整体构造. 利用磁吸式挂图板画呈现杆秤，拆解杆秤的各个组成部分. 学生回顾简单机械的相关知识，使用杠杆模型解构杆秤是省力杠杆，标出杠杆的五要素. 学生修正完善草图的设计，讨论各个部件的器材选取. 教师展示相关的实验器材，分别为火锅筷子（长约 45 cm）、秤盘、棉线、秤砣、铅笔、刻度尺、钩码等，如图 3 所示. 学生进一步谋划制作步骤如固定提纽、安装秤盘、标注刻度等，思考可能存在的问题，经历工程设计的过程，为杆秤的组装奠定基础.

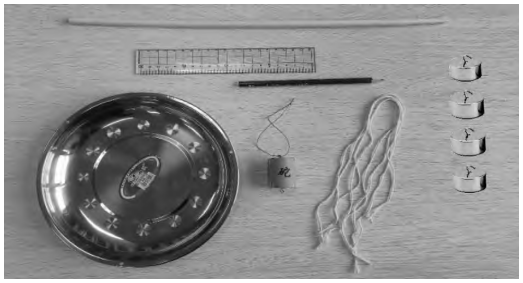


图 3

3.2　模型应用，方案设计紧扣学生认知

在组装杆秤的过程中，存在两种设计方案. 一种是先安装秤盘后固定提纽. 用棉线在火锅筷子粗的一端附近安装秤盘，再利用棉线制成提纽，左右移动棉线在杠杆上某个位置固定作为支点，可以使杠杆在水平位置平衡，如图 4. 该方案中 O 点为支点，秤盘和杠杆作为整体已平衡，从而 O 点即为杆秤的零刻度线. 在后面标刻度环节，学生利用杠杆原理 $F_1L_1=F_2L_2$ 即可推导得出杆秤的刻度分布是均匀的. 另一种是先固定提纽后安装秤盘. 用棉线制成提纽，在杠杆粗的一端附近加以固定，后用棉线安装秤盘，挂上秤砣，左右移动使杠杆在水平位置平衡，此时秤砣所挂的位置即为零刻度线，图 5 中 B 处为该杆秤的零刻度线.



图 4



图 5

两种方案的设计均考虑杆秤的测量作用，是对杠杆模型的灵活应用. 前一种方案对学生的认知水平要求较低，但与杆秤的实际制作流程存在差异；后一种方案要求学生具备一定的应用数学

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

解决物理问题的能力，符合常见杆秤制作的一般化流程. 教师可根据授课学生的特点，自主选择方案进行设计，笔者在实践过程中针对方案二开展教学尝试. 此外，杆秤的组装步骤较为复杂，可以采用小组合作与教师指导相结合的方法，如固定提纽和秤盘时要求同学会打结，秤盘被挂起时应处于水平等，促进小组同学积极思考，探索解决方案，发挥小组合作的重要性.

3.3 数学解释，问题解决发展高阶思维

学生确定零刻度线后，讨论标记刻度的方法. 在秤盘内加 50 g 钩码，移动秤砣时秤杆在水平位置平衡，用铅笔在秤杆上秤砣悬挂的位置标记为50 g. 笔者提供了 4 个钩码，学生利用同样的方法可标出 100 g、150 g、200 g 的刻度线，制作完成杆秤的毛胚. 要求学生使用自制的杆秤测量一个苹果的质量(约 300 g)，发现超出杆秤的量程，需要继续标记刻度. 学生思考解决的方法，一些小组表示可以与其他小组合作，增加秤盘内钩码的数量；还有小组提出前面所标记的刻度是均匀的，可以继续等间隔标记. 教师提出问题：杆秤的刻度是不是均匀分布的，如何加以证明？由图 6 可知，当秤盘内加入质量为 m 的物体时，需要将秤砣从零刻度线 B 处向右移动至 C 处，秤杆在水平位置平衡. 作出此时杠杆的五要素，由杠杆的平衡条件可知，$m_{重物}g\times OA=m_{秤砣}g\times BC$，从而得到 $m_{重物}=\frac{m_{砣}}{OA}BC$. 对于该杆秤，$m_{砣}$ 和 OA 为定值，所以 $m_{重物}$ 与 BC 成正比，即杆秤的刻度线分布是均匀的. 推导证明过程中，保持左侧阻力臂和右侧动力不变，学生对阻力增加量 $m_{重物}g$ 对应的动力臂增加量为 BC，而非 OC 存在疑惑，要求学生深入理解杠杆的平衡条件，与数学知识综合应用于该情境中解决问题.

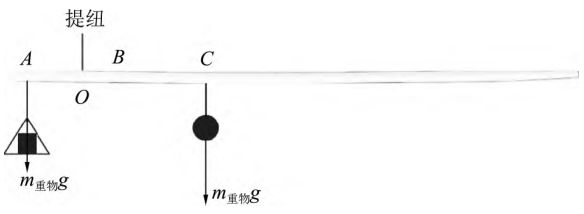


图 6

3.4 测试优化，实践应用弘扬工匠精神

学生使用制作的杆秤称量苹果的质量，测试杆秤的称量效果. 再用电子秤测出苹果的实际质量，两者比较后发现，存在一定测量误差. 要求学生提高杆秤的精确度，由于杆秤的刻度均分分布，现在杆秤的分度值为 50 g，可将相邻刻度继续等分 10 份，分度值变为 5 g；若再等分成 10 份，分度值变为 0.5 g，更加精确. 但随之而来的问题是相邻刻度的间隔特别小，标刻度比较困难. 教师提出问题：如何增大相邻刻度间的距离？可以通过换小的秤砣来实现. 播放非物质文化遗产中的杆秤制作工艺的视频，它由十余道工序构成，做法讲究，工艺精细，测量精确. 图片展示教材中动物园的工作人员利用一根杆子称出了一头大象的质量，要求学生用手上的杆秤也称量大象的质量. 通过巨大的反差对比，学生讨论增大杆秤量程的方法. 教师补充古代劳动人民就利用这些方法，包括增大秤砣的质量、减小提纽与秤盘的距离、增大杆秤的长度等，制作出各种不同规格的杆秤，以满足不同领域的需求. 实物展示量程分别为 5 斤、60 斤、100 斤的杆秤，上面两个提纽是通过改变支点的位置来改变量程，比较秤砣的大小以及秤杆的长短. 学生深刻感受杆秤制作技艺传承人完美地诠释了工匠精神，对杆秤的质量有着精益求精的品质追求.

3.5 文化引领，内涵解读传承优秀文化

杆秤已有 2000 多年的历史，它的发明与改进汇集了劳动人民的智慧. 在生产、生活的广泛应用中，也对杆秤赋予了文化内涵. 播放微视频杆秤的发展简史，杆秤起源于楚国，相传是范蠡发明的，他受桔槔在井中取水的启发，观察到桔槔上的石块上下移动打水，制成了杆秤. 结合教材中杆秤的图片，介绍杆秤的文化内涵. 秤的杆叫衡，砣最早是环状的叫权，所以才有权衡之说. 早期一斤是 16 两，有种说法叫半斤八两，表示差不多，彼此一样，不相上下. 1959 年后为了与国际接轨，才把一斤改成 10 两. 杆秤还有许多美好的寓意在里面，比如结婚时用秤挑红盖头，寓意着称心如意. 中华传统优秀文化融入跨学科实践活动，激发学生探索钻研的精神，产生强烈的民族认同感与国家自豪感.

4 开展跨学科实践活动的教学思考

4.1 跨学科实践主题的选定取决于学生的认知水平

学生的认知水平直接影响跨学科实践活动的效果，主题的选定既要关注学生已有的知识储备，特别是除本学科外的内容掌握情况，还要熟悉学生的技能水平，包括数据处理能力、推理演绎能力以及动手操作能力. 跨学科实践主题的选定可以依据教材中实践活动的设置，如制作一个医用冷藏盒、制作简易密度计等. 教师也可借助生活中的器材，自主开展主题活动，如制作一个水动力小车、制作一个电磁玩具等. 实践主题能够体现工程实践的综合性，问题解决过程的开放性，提升学生的实践素养. (下转第 53 页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表的使用、电表的改装和伏安法测电阻. 这样可以考查到学生是否具备较高的素养水平. 另外考试需要用到的实物如电表的取材不能想当然提供，要结合实验室已有仪器命制操作试题.

4.2 试题命制应有侧重点

命题的重要依据是《课程标准》，和纯书面测试一样，命制一个实验操作题目时，不可能全方面考查，因此制定考核目标和考查内容时便要有所取舍和侧重，本文中的例题重点考查的是方案设计和仪器操作. 如果本实验要重点考查仪器的选择，则可以多准备几个不同量程的电表，增加迷惑性；如果要降低本试题中要求实验分析的水平 5 的要求，则可在最后一部分多提供一到两个仪器，引导学生进行电路设计，使解题方向不至于过于发散.

4.3 试题实施和流程设置应符合操作实验特点

在器材准备上操作考试会比纯粹的书面考试要求更高，操作考试涉及更多实物，因此考试前要多次检查相关器材确保给学生公平的实验条件. 在实施实验操作考试时，应让学生在有录像的情况下相互“隔离”进行实验. 由于操作考试的评分更具有主观性，观看录像时可进行“二改”，两位老师各自观看录像评分，由于组织此类考试比书面测试需要更多的人力物力，所以要注意考试流程安排的合理性，如笔者在设置考场和实施考试时候，把实物操作、记录数据的地点和完善实验报告、处理数据的地点隔离开，不需要实物操作的地方采用一人监考多人的方式，采用操作与数据处理时间连贯但地点不同的考查模式，提高考核效率.

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[M]. 北京：人民教育出版社，2018.
2 JohnB. Biggs，Kevin F. Collis. 高凌飙，等译. 学习质量评价：SOLO 分类理论，可观察的学习成果结构[M]. 北京：人民教育出版社，2010.
3 杜明荣. 基于核心素养不同表现水平的高中物理学业质量测评——SOLO 分类理论的视角[J]. 物理教学探讨，2020，38(04)：15－18.
4 杜文博. 2019 高考物理试题体现核心素养的测评研究[D]. 开封：河南大学，2020.
5 张书良，洪华标. 基于 SOLO 理论的高中物理实验能力操作试题开发[J]. 物理教学，2020，42(07)：39－42.
6 胡振欢. 基于高中物理学业质量标准考查科学思维的命题实践——以竖直方向运动知识点的试题命制为例[J]. 物理通报，2020(08)：2－5，10.
7 胡振欢. 从“四层”角度谈将物理选考内容纳入必考的意义[J]. 物理教师，2020(10)：78－81.

(收稿日期：2022－06－23)

(上接第 48 页)

4.2 跨学科知识的整合应用根植于真实的问题情境

跨学科实践活动是将多个学科知识进行有机整合，并将其应用于工程设计、作品制作、优化改进等各个环节，以提升作品的科学性、实用性、精确度和美观度等. 在该过程中学生遇到各种真实的问题，对多学科的知识进行灵活转换解决问题. 部分问题学生小组内自主合作解决，还有部分问题班级同学共同讨论解决方法，对于挑战性的问题需要教师的引导帮助. 从而，跨学科知识的整合应用不是将多个学科知识进行简单的组合，而是根植于真实的问题情境，从而提升学生的分析与综合能力，培养发散性思维能力.

4.3 跨学科实践活动的实施融合于学科的专业特色

跨学科实践活动立足于具体的学科教学，以本学科知识应用为主体，渗透相关学科知识，彰显本学科的专业特色. 物理是一门以实验为基础的学科，跨学科实践活动以实验引领学生完成学习任务，以思维进阶驱动学生解决问题，能够有效发挥实践活动的教育价值. 学生在跨学科实践活动中，既可迁移应用本学科知识、方法，促进对本学科概念、规律的掌握，还能促进相关学科内容的统整. 基于工程的跨学科实践可以通过设计真实问题解决，利用自然、控制自然和创造人工自然，增加人类的物质财富. 教师把跨学科实践作为一种教学方式渗透于课程的始终，增加学生跨学科实践的体验，进一步推动创新人才的培养.

参考文献：

1 何善亮. 中小学工程教育的价值、内容与路径[J]. 教育科学研究，2020(10)：68－74，80.
2 唐小为，王唯真. 整合 STEM 发展我国基础科学教育的有效路径分析[J]. 教育研究，2014(04)：61－68.
3 孙妍妍，何沣燊. 以“工程”为中心的 STEM 课程驱动问题设计研究[J]. 华东师范大学学报(教育科学版)，2021(08)：35－44.
4 胡卫平，首新，陈勇刚. 中小学 STEAM 教育体系的建构与实践[J]. 华东师范大学学报(教育科学版)，2017(04)：31－39，134.
5 李刚. 在综合实践活动中培养学生创新能力——以“制作简易的密度计”的教学为例[J]. 物理教师，2021(03)：22－24.

(收稿日期：2022－02－27)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net