·新课标研究·

# 基于测量工具制作过程的初中物理跨学科实践活动的设计

## ——以“自制浮力秤”为例

赵芸赫[1]　马宇翰[2]　李春密[2]
(1. 首都师范大学附属中学,北京　100048; 2. 北京师范大学物理学系,北京　100875)

**摘　要**:《义务教育物理课程标准(2022 年版)》在课程内容方面增设的“跨学科实践”主题为一线教师的课堂教学提出了新的挑战.为了探索在跨“内容领域”及跨“学科研究方法”的整合模式下将其育人功能高效融入初中物理总复习阶段课堂教学的方法,本文以“自制浮力秤”这一课例为例,以测量工具的制作为载体,深度剖析课例实施过程中的驱动问题设计方法以及学习活动实施策略,进而给出在初中物理总复习阶段进行跨学科实践的有效途径.

**关键词**:跨学科实践;测量工具制作;浮力秤;刻度标定

为响应时代需求和培育时代新人,教育部发布的《义务教育物理课程标准(2022 年版)》在课程内容方面明确提出在教学中需要设立跨学科的主题学习活动,强调学科间知识与方法的整合.这部分内容的设计旨在发展学生跨学科运用知识的能力、分析和解决问题的综合能力等,[1]从而强化课程协同育人功能.

为达成上述育人效果,目前形成了 4 种不同的跨学科内容整合形式:[2](1)“跨学科核心概念”,即“统合型”,也就是将不同学科的核心概念进行联系与整合,引导学生建立更为完整且更上位的跨学科核心概念.[3](2)跨“学科内容领域”,即“蜘蛛网型”,是指围绕某个学习主题,将两个及以上各学科不同领域的内容进行整合,此组织方式是目前跨学科教学的主要方式,[4-6]也是科学课程开展跨学科教学的独特优势.(3)跨“跨学科概念”,即“并列型”,是指基于一个或多个跨学科概念的教学,如数学中的“向量”与物理学中的“矢量”.[7]它对学科核心概念的教学起到了补充和支撑的作用,并进一步促进核心概念的整体理解和发展.(4)跨“学科研究方法”,即“共享型”,不同学科有着其独特的研究手段和一些共通的思想方法,通过合适的内容载体来呈现,可以有效地提升学生分析和解决综合问题的能力.[8]

本文整合跨“学科内容领域”和跨“学科研究方法”两种内容组织形式,提出这种整合模式下跨学科实践活动的整体设计思路.然后以“自制浮力秤”这一课例为例,深度剖析课例实施过程中的驱动问题设计方法以及学习活动实施策略,进而给出在初中物理总复习阶段进行跨学科实践的有效途径.

### 1　跨学科实践活动的整体设计思路

本文借鉴科瑞柴克等人的学习目标驱动设计模型(Learning-Goals-Driven Design Model),[9]基于跨学科实践活动的特点,提出了如图 1 所示的整体设计思路.

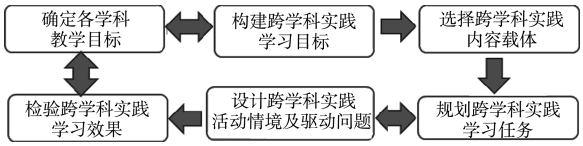


图 1　跨学科实践活动的整体设计思路

该框架强调“以终为始”,首先基于各学科课程标准以及学生学情,确定各学科教学目标并构建跨学科实践的学习目标.然后选择合适的跨学科实践的内容载体,既能实现跨“学科内容领域”的教学又能实现跨“学科研究方法”的渗透.进而

基金项目:本文系北京物理学会 2024—2025 年度教育教学科研立项课题“中学物理跨学科课程开发与实践研究”(课题编号:WLXH242022)研究成果.

通信作者:马宇翰(1994—),四川成都人,北京师范大学物理学系讲师,研究方向为统计物理.电子邮箱:yhma@bnu.edu.cn.



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

围绕该内容载体,规划学习任务、设计活动情境和驱动问题,让学生在问题解决的过程中达成学习目标.最终通过课堂上的过程性评价以及作业设计来检验跨学科实践的学习效果.图 1 中双箭头所指的两个过程并非严格线性的,在设计过程中是互相反馈且不断动态调整的.

## 2 课例设计与实施

本节课例的设计背景立足于中考总复习阶段对于浮力这一核心概念的复习.为了促进学生学以致用,本节课选取与工程实践相关的素材,将著名的历史典故曹冲称象作为背景引入,以“浮力秤的制作与应用”作为跨学科实践活动的主题,兼具人文与科学素养培养.以测量工具的制作为载体,让学生重演浮力秤的发明过程.从学生的认识入手,巧设实验与理论探究活动,渗透跨学科的思想方法,引导学生解决测量过程中的实际需求问题,从而落实学生应用阿基米德原理解决实际问题的能力.

### 2.1 学情分析

在设计课程前,需要综合考虑本节课前学生所具备的跨学科知识及方法基础,如表 1 所示.如在物理学方面,初三学生具备推导浮力秤测量原理和刻度特点的基础知识,如阿基米德原理的展开式等.除此之外,他们在前面的物理及数学学习中,经历过速度、密度、压强等物理量的定义过程,当面对多个变量同时改变无法比较待分析问题时,知道可以通过做比值的方法将其转化为单位变化量下的值进行比较,即他们具有利用比值定义法定义物理量来解决问题的经验基础.

表 1 跨学科知识及方法基础

| 跨内容领域 | 数学 | 物理学 | 化学 | 技术 | 人文历史 |
|---|---|---|---|---|---|
| 知识基础及方法基础 | 了解一次函数,知道成一次函数关系的两个变量间的变化趋势 | 了解浮沉条件,知道物体处于不同浮沉状态时浮力与垂力的关系 | 知道改变溶液中溶质含量,可以改变其密度 | 了解提高物体稳定性的方法,如降低物体的重心等 | 理解曹冲称象这一历史典故所蕴含的智慧 |
| 跨学科方法 | 知道可以利用比值定义法定义物理量来解决问题 | | | | |
| | | 能够利用控制变量法设计实验验证猜想 | | | |

除此之外,为了了解学生对于浮力秤制作过程的前认识,通过收集和分析所在班级 42 名学生的课前探究任务单可知,学生课前对于制作浮力秤过程的认识中,对于浮力秤的原理理解较好,但对于刻度标定尤其是精度的提高方法的认识不甚理想.

具体而言,在学生课前所提出的提高精度的方法中,有 19%的学生认为“减小液体密度”可以实现,受直观感受的影响,有 49%的学生认为“减小容器底面积”可以实现,且仍有 32%的学生无法给出任何方法,因此属于本节课的一个难点.

综合以上分析,确立本节课的跨学科学习目标如表 2 所示.

表 2 跨学科学习目标

| 学习目标 | 涉及学科 |
|---|---|
| 能够基于曹冲称象的原理,构建浮力秤的原理模型,分析并推导浮力秤测量质量的原理 | 人文历史、物理学 |
| 搭建浮力秤的实物模型,能够分析所遇困难的原因并尝试解决 | 技术、物理学、数学 |
| 标记浮力秤的刻度,能够利用数学函数思想分析其刻度特点 | 物理学、数学 |
| 基于问题解决,能够定义浮力秤精度并探究提高其精度的方法 | 物理学、技术、数学、化学 |

### 2.2 驱动问题设计方法

驱动问题作为推动跨学科学习的动力来源,其设计质量直接决定了跨学科实践的教学效果.本文借鉴戴维森提出的完整问题三要素——初始条件、目标和障碍[10]作为跨学科实践活动中驱动问题的设计要素.具体而言,作为实践活动的起点,初始条件即为学生具有的知识、方法基础以及他们从已解决的问题中所得的收获,这些都将作为问题生成的实际情境;作为实践活动的终点,问题目标则是问题解决的最终方案或者产品,同时指向跨学科学习目标的达成;而障碍则是问题解决过程中,从初始条件到目标方案所经历的所有可能障碍,它对应着逐步递进的为解决驱动问题而设计的系列子问题.

由于子问题与子任务一一对应,且引领着子活动的开展.因此对于本课例而言,为了引领子任



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

务——方案设计、模型初建、刻度标定再到精度提高的逐级开展，特设计相应的驱动问题及子问题如下所示.

“自制浮力秤”跨学科实践活动中驱动问题及子问题的设计.

驱动问题：如何基于浮力现象制作一个可以测量物体质量的工具？

子问题 1：基于浮力现象测量物体质量的原理是什么？

对应学习目标：能够基于曹冲称象的原理，构建浮力秤的原理模型，分析并推导浮力秤测量质量的原理.

问题链：

1. 如何基于浮力现象比较不同物体的质量大小？

2. 构建浮力秤的原理模型并结合浮力知识分析推导：如何将质量的测量转化成长度的测量？

子问题 2：如何搭建一个浮力秤的实物模型？

对应学习目标：搭建浮力秤的实物模型，能够分析所遇困难的原因并尝试解决.

问题链：

1. 你会选择什么器材来搭建一个浮力秤？

2. 如何使容器稳定竖直漂浮于液体上？

子问题 3：如何标记浮力秤的刻度？

对应学习目标：标记浮力秤的刻度，能够利用数学函数思想分析其刻度特点.

问题链：

1. 浮力秤的 0 刻度线如何标记？

2. 如何标定浮力秤的其他刻度？

3. 对于浮力秤上没有的刻度应如何标定？

4. 等分刻度时的基本前提是浮力秤的刻度是均匀的，那么浮力秤的刻度是均匀的吗？如何判断自制浮力秤的刻度是否均匀？

子问题 4：如何定义及提高浮力秤的精度？

对应学习目标：基于问题解决，能够定义浮力秤精度并探究提高其精度的方法.

问题链：

1. 你能否以 5 g 为间距补充浮力秤其他刻度？1 g 为间距呢？

2. 分析一下可能是什么原因导致无法将刻度划分得更细？

3. 相等刻度间的宽度越大，意味着什么？

4. 如何增大相等刻度间的宽度？

5. 如果两个浮力秤的 $\Delta m$ 和 $\Delta h$ 都不一样，如何判断哪个的精度高呢？

6. 如何提高浮力秤的精度？观察并计算不同小组的浮力秤的精度，验证自己的猜想.

7. 你能否从理论模型出发，推导出它的精度为什么与底面积和液体密度有关？

2.3 课堂实施策略

本节具体阐述一下该课例实施过程中的跨学科任务设计. 由于这节课是一节初三总复习阶段的跨学科实践活动课，需要让学生体会应用浮力解决实际问题的方法. 因此教学内容围绕核心任务——自制浮力秤，实施过程经历情境引入、明确驱动问题以及问题解决 3 个环节. 下面具体呈现了“自制浮力秤”跨学科实践活动的课堂实施过程.

环节：课堂实施.

情境引入：

教师引导. 通过一段现代版“曹冲称象”的视频，让学生回顾先人的智慧，分析其原理.

学生任务. (1) 思考如何利用标记线的位置来比较不同大象的质量？(2) 建立浮力秤的原理模型并进行分析推导：如何将质量的测量转化成长度的测量？

明确驱动问题：

教师引导. 如何搭建一个浮力秤的实物模型？

学生任务. (1) 选择合适器材来搭建一个浮力秤. (2) 解决所遇到的困难：如何使容器稳定竖直漂浮于液体上？

问题解决：

(1) 刻度标定.

教师引导. 从比较到测量，给仪器标定刻度是制造过程必不可少的环节，如何标记浮力秤的刻度？

学生任务. ① 利用现有实物模型及标准件设计刻度标定的思路. ② 利用浮力秤测量未知物体的质量. ③ 对于表盘上未标定的刻度，思考：如何仅利用已有的表盘“画”出该质量所对应的刻度线，而不是通过砝码进行标注？

(2) 精度的定义.

教师引导. 请学生观察自制的浮力秤，并针对在上述活动中有的小组学生测出“60 g”，有的小组学生测出“65 g”的实际情境，判断能否依据刻度均匀的特点来以更小的分度补充刻度？

学生任务. ① 延续上一环节的任务，继续外延更精细的刻度并分析出现困难的原因. ② 观察不同组制作的浮力秤，在刻度间的质量差 $\Delta m$ 相同时，提出比较浮力秤精度的方法. ③ 针对不同组



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

浮力秤的质量刻度差 $\Delta m$ 和间距 $\Delta h$ 都不一样的情况，分析此时应如何比较谁的精度更高？④ 提出浮力秤精度的合理定义方法.

(3) 精度的提高.

教师引导. 引导学生对如何提高浮力秤的精度提出猜想.

学生任务. 通过实验探究和理论分析相结合的方式探究影响浮力秤精度大小的因素.

2.3.1 “情境引入”及“明确驱动问题”部分的设计意图

在情境引入部分，基于历史典故“曹冲称象”中的智慧，引导学生进一步建构出质量称量工具的原理模型. 然后通过子任务——将质量大小的测量转化为长度测量的思维过程书写下来，引导学生从形象思维过渡到抽象思维，培养模型建构能力.

在制作原理的基础上进一步明确实践活动的核心任务，即自制浮力秤. 在制作过程中，学生会经历浮力秤不断倾倒的困难. 对于这个工程技术问题，引导学生利用手边的器材并结合重心原理和技术调整解决真实问题，体会学以致用的成就感.

2.3.2 “问题解决”部分的实施策略

在问题解决的过程中逐步搭建脚手架让学生突破刻度标定和精度理解的难点. 其中，刻度标定这个过程需要标准的选择以及刻度的外延. 而刻度的外延需首先判断浮力秤的刻度是否均匀，这是学生理解的一个障碍.

因此设计活动让学生利用已经标定的刻度对未知物体的质量进行测量，未知物体的质量对应表盘上未标定的刻度，学生凭借感性认识会很快想到通过均分距离得到未知刻度. 此时再顺势让学生借助数学函数思想补充说明这样操作的依据，也就是浮力秤刻度均匀的判断依据，从而达到突破学生认知障碍的目的.

对于精度的定义和提高方法，学生从补充更精细刻度的困难入手，首先分析出原因是相邻刻度之间不够宽. 从而引导学生意识到，在刻度间的质量差 $\Delta m$ 相同时，间距 $\Delta h$ 越宽，仪器的精度越高.

学生通过观察不同组制作的浮力秤可以发现，由于每组选择标记的刻度有所不同，所以出现了不同组浮力秤的 $\Delta m$ 和 $\Delta h$ 都不一样的情况，借此让学生分析这种情况下比较精度大小的方法. 学生通过类比迁移联想到可以利用比值定义法来进行判断，由此得出了浮力秤精度的定义方式，并可以进一步讨论 $\Delta m/\Delta h$ 和 $\Delta h/\Delta m$ 哪种定义方式更好.

为了进一步提升学生的证据意识，且为了在课堂上提质增效，在实验探究环节告知学生不同组制作的浮力秤的相关参数是有所不同的. 学生便可以直接针对各组精度的测量值进行对比来验证自己的猜想，并尝试通过原理推导出精度的影响因素，在这个过程中体会理论分析与实验验证相结合是物理学研究的一般方法.

## 3 小结

“跨学科实践”活动为一线教师的教学提出了新的挑战，引导学生参与跨学科实践是帮助他们提高真实问题解决能力的重要途径之一. 应对挑战，抓住机遇，才是教学思想和教学模式不断更新的基础. 近年来，各地中高考试题引导教学从“解题”转向“解决实际问题”，例如 2023 年北京市中考 26 题就基于浮力秤自制过程中的真实需求创新了设问角度，使学生们感受到了跨学科知识和方法的应用价值.

本文以“自制浮力秤”这一教学案例为载体，给出了在跨“内容领域”及跨“学科研究方法”的整合模式下将跨学科实践的育人功能高效融入初中物理总复习阶段课堂教学的几种有效策略，总结如下.

(1) 在内容选题方面，可以让学生亲历仪器的制作过程. 在制作过程中逐步加深对测量工具的认识. 在此过程中，既有工程技术方面的困难与问题解决，又需结合数学函数的思想进行理论推导分析问题，以及物理的思想与方法提供原理的支撑，真正实现跨学科实践，在实践中提升学生的能力.

(2) 在真实问题解决过程中调用学生跨学科的思维方法. 为了发挥学生在教学中的主体性和主动性，在有效把握学生学情的基础上，以问题驱动思维，以任务为导向. 在实际测量的过程中遇真问题，“对于浮力秤上没有的刻度应如何标定?”“如果两个浮力秤的 $\Delta m$ 和 $\Delta h$ 都不一样，如何比较谁的精度高呢?”等“问题串”触发“知识链”，环环相扣，层层深入. 通过学生的“疑”带动教师的“问”，使得学生自己在选择、创造和创新中内化知识，感悟方法，从而实现跨学科学习，培养核心素养.

(3) 科学设计，提质增效. 在对如何提高浮力秤的精度进行实验验证时，如果现场改变参数进行操作，时间上不允许. 但为了提升学生的证据意



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

识,便在课堂一开始提供给不同组参数不同的仪器制作浮力秤,在课堂推进到这一环节时,再告知学生.因此此时直接针对各组精度的测量值来验证自己的猜想即可,并尝试通过原理推导出精度的影响因素,在这个过程中体会理论分析与实验验证相结合是物理学研究的一般方法.从而通过这样的课堂设计高效地完成教学目标.

(4) 紧扣主线,升华主题.课堂小结部分是整节课的梳理与升华,可以给学生留下较深的印象.因此在这一部分,首先请学生总结制作一个测量工具的过程,并回顾在此过程中都运用了哪些学科的思想与方法,从而升华主题,意识到跨学科实践的重要意义,引导学生今后多利用跨学科的思维来解决问题.

**参考文献:**

1 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准(2022年版)[M].北京:北京师范大学出版社,2022.
2 R Fogarty. Ten ways to integrate curriculum[J], Educational leadership,1991,49(2):61－65.
3 廖峰.跨学科概念融入高中物理教学研究[D].武汉:华中师范大学,2022.
4 王兴芳.基于科学史开展跨学科项目学习的实践研究——以九年级化学微项目"空气中氧气含量测定"为例[J].新课程教学(电子版),2023(7):16－19.
5 宋定飞.基于核心素养的初中物理"跨学科实践"教学探索——以"制作小孔成像仪"教学为例[J].中学物理,2023,41(8):35－40.
6 沈伟云.指向科学思维的跨学科实践活动问题设计策略——以"自制杆秤"实践活动为例[J].物理教师,2023,44(4):43－44,67.
7 郭伟,陈旭远.科学教育视域下的跨学科概念教学:理论内涵与实践路径[J].中国教育科学(中英文),2023,6(2):58－69.
8 黄龙文.英国初中物理教材中跨学科实践内容研究[J].物理教师,2023,44(6):59－62,65.
9 J Krajcik, K L McNeill, B J Reiser. Learning goals driven design model: Developing curriculum materials that align with national standards and incorporate project-based pedagogy[J]. Science education, 2008, 92(1):1－32.
10 J E Davidson, R Deuser, R J Sternberg. The role of metacognition in problem solving[M]//Metcalfe J& A P Shimamura. Metacognition: Knowing about knowing. Massachusetts: MIT press,1994.

(收稿日期:2023－10－06)

(上接第 23 页)

课程的要素之一,也是课程有效实施必要条件.[5]不仅有利于民族地区学生形成科学的物理观念,有效促进物理学科素养的形成,而且对于提升物理课堂教学效果、传承民族优秀传统文化也具有十分深远的意义.

**参考文献:**

1 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准(2022年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022:55.
2 王贵林.基于地方课程资源的物理跨学科实践设计——铜犴发声原理探究与拓展[J].物理教师,2023,44(9):17－19.
3 关亚琴.中学物理课程资源开发与利用研究进展述评[J].物理教师,2015,36(10):27－30,35.
4 廖伯琴.从《普通高中物理课程标准》例析民族地区科学实验课程资源利用与开发[J].民族教育研究,2009,20(1):32－34.
5 戴芯芬.基于高中物理教材课程资源开发与利用的研究[J].物理教师,2016,37(2):17－19.

(收稿日期:2023－12－14)

(上接第 27 页)

略.我们认为,教材本身就有比较丰富的、可用以培养学生批判性思维的课程资源,作为一线教师,要扎实钻研教材文本,深入理解物理概念和物理规律的内涵,深层挖掘模型教学的价值和功能,增强自我研究意识和研究能力,不断提升课堂教学品质,为学生批判性思维和创新思维能力的培养提供强大助力.

**参考文献:**

1 刘霁华.指向素养发展的物理课堂转型与重构[J].基础教育参考,2021(12):50－54.
2 刘霁华.从知识积累学习到素养发展学习的转变[J].中小学教材教学,2021(9):47－52.
3 汪明,任虎虎.浸润批判性思维的物理教学框架与策略[J].物理教师,2023(11):20－24.
4 汪明.融入批判性思维的深度学习范式建构[J].江苏教育研究,2019(6):7－11.
5 陈新华,陶兆宝.基于批判性思维的高中物理论证式习题教学[J].物理教学探讨,2023(2):9－13.

(收稿日期:2024－01－02)



(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net