

# 基于 STEM 的综合实践活动的教学设计

——以“制作简易密度计”为例

刘炳昇 (南京师范大学物科院 江苏 210024)

杨树靖 (南京师范大学附属中学 江苏 210003)

**摘 要** 本文以“制作简易密度计”为例,提出了基于 STEM 的综合实践活动的教学设想,试图通过强化综合性、创新性以及自主性,提高活动的教学效果,促进学生核心素养的养成。

**关键词** STEM 综合实践活动 教学设计 制作简易密度计

**文章编号** 1002-0748(2021)6-0016

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

“科学、技术、工程、数学”(简称 STEM)教育是基于对科学、技术、社会关系本质认识的一种教育理念。STEM 提供了一种科学学习的模式,即项目探究、综合应用、自主学习的模式。这种教育的理念与模式与我国基础教育中上世纪末创生和发展的综合实践活动的理念和模式不谋而合,因此我们可以借鉴“STEM”的理念做好综合实践活动的设计。现以制作简易的密度计为例提出以下建议(文中部分内容和要求高于对初中学生的要求供老师们参考)。

## 1 以科学(数学)为核心去引领技术(工程)设计,提高综合实践活动的思想性和深刻性

技术设计是技术活动(技术发明和技术改进)的核心环节,它的过程大体上有如图 1 所示模块。其中,除了进行深入的社会调查和信息收集外,站在学科高端的原理构思是十分重要的。为此应注意以下三点:

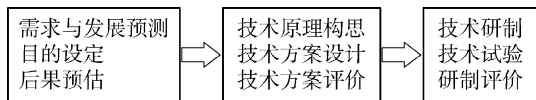


图 1

### (1) 方案选择的多样性

可能是因为受教材“制作简易密度计”内容的影响,很多教师先入为主地规定了制作的密度计原理和模型——漂浮标杆式,即应用物体的浮力与密度的关系来设计方案。其实,除此之外是否可以根据密度概念即通过测量质量和体积,或者应用其他与密度有关的物理规律,例如液体的压强与密度的关系来构思。即使是应用浮力与密度的关系,除了漂浮模型,也还有悬浮

模型。无论是什么原理,它实质上都是在应用间接测量的方法,于是可以演绎出许多不同的方案,再加以研究。

### (2) 模型构建的科学性

对于一定的方案,由于实际问题的复杂性,可以先理想化地处理,建立相应的物理模型,并应用一定的数学工具,或表达物理过程、或进行逻辑推理和分析,这样就可以提高方案设计的思想性、可靠性和深刻性。例如,对于“漂浮法”的方案,从规则几何体考虑,有如图 2 所示的模型。

图 2 所示是由受轮船吃水线刻度的启发而提出的模型,由理论分析可得:设柱体截面积为  $S$ 、重力大小为  $mg$ 、插入水中时浸没深度为  $H$ ,由于漂浮时处于平衡状态,浮力等于重力,则  $\rho_{\text{水}} gHS = mg$ ①。若密度计插入密度为  $\rho_{\text{液}}$  的某种液体时浸没深度为  $h$ ,同理可得  $\rho_{\text{液}} ghS = mg$ ②。综合两式得浸没深度  $h = \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{液}}} H$ 。表

面上看,浸没深度与液体密度成反比,似乎与柱体粗细无关。实际上由①式知  $H = \frac{m}{\rho_{\text{水}} S}$ ,故  $h = \frac{m}{\rho_{\text{液}} S}$ ,即浸没在液体中深度与柱体的截面积有关。若用图 2(a)所示截面积分别为  $S$  的柱体密度计测量 1、2 两种液体的密度,测量值分别为  $h = \frac{m}{\rho_{\text{液}1} S}$ 、 $h' = \frac{m}{\rho_{\text{液}2} S}$ ,故测量值之间的间距为  $\Delta h = h' - h = \frac{m}{S} \left( \frac{1}{\rho_{\text{液}2}} - \frac{1}{\rho_{\text{液}1}} \right)$ ,当  $m$ 、 $\rho_{\text{液}1}$  与  $\rho_{\text{液}2}$  为定值时,柱体截面积  $S$  越大,测量两种液体密度浸没的深度差  $\Delta h$  越小,导致这种密度计模型的刻度过密。因此必须减小截面积  $S$ ,密度计的刻度就不致过密,这就是选择图 2(b)中的细圆柱体(直杆如塑料吸管)制作密度计的主要原因。

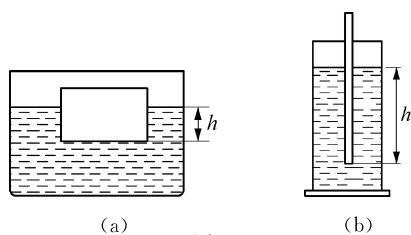


图 2

(3) 及时解决设计研发过程中遇到的科学问题  
在学生选择了直杆模型进行研制实验时,他们发现直杆并不会竖直漂浮在液体中,而是斜靠在容器的边沿上,什么原因呢? 于是需要进行原理分析。指导学生查阅资料可知,漂浮在水中的物体有两个心:重心与浮心。对于质量分布均匀、形状规则的物体。重心就是物体的几何中心;浮心是浮力的作用点,浮心的位置就是那部分被排开液体的重心的位置。漂浮着的物体,当重心高于浮心时必定会侧翻[见图 3(a)];而当重心低于浮心时,即使有所倾斜也必定会回到竖直平衡的位置[见图 3(b)]。由此完善了密度计的方案设计:要在密度计下端配重,降低重心以保证密度计直立。

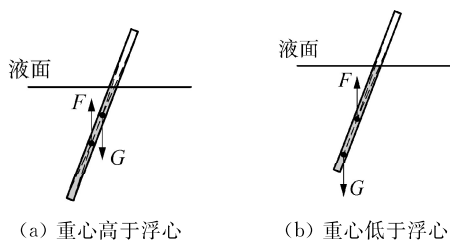


图 3

学生经过探索终于构建出了漂浮直杆式密度计的模型,其特点是:直立漂浮、粗细均匀、底端配重。然而旧的问题解决,新的问题又会涌现。例如有学生发现配重以后自己的密度计下沉触底了,什么原因、怎么解决……

总之,围绕着工程设计这个核心,让学生用所学的科学与方法在应用中不断交叉碰撞,发现问题、进而解决问题,综合就不会是学科简单地堆砌,而是水乳交融、浑然一体,学生不仅解决了方案设计的科学性问题,使方案有了可靠的基础,同时还能学到许多课堂上不可能学到的过程性知识,增进了对科学在技术活动中作用的理解。

## 2 将技术(工程)意识和创新能力的培养 贯穿于技术类综合实践活动中

技术类综合实践活动的目标之一是提高学生的“技术素养”。它不仅是一种熟练的技艺或技能要求,而是从广义的技术观来界定技术素养的内涵。它包含对技术性质的理解(与科学的区别与联系),技术活

动的思维和行为方式,基本的实践能力,以及与社会关联的价值取向。为什么在“STEM”教育中含有工程这一要素? 就是为了突出广义的技术观,工程是一种系统的技术,工程设计的思考必须跳出纯技术的范畴。

设计和制作密度计,从狭义来说,它是一种专用的测量器具,看上去是一个小的技术活动,但它归于计量系统,有许多相同的思想和方法。老师们应当从着眼于提升技术素养的高度来指导这种活动。

首先要让学生了解技术的重要性。密度作为物质的性质,是人类认识物质世界的一个切入点,得出与密度有关的规律需要有实验的证据;许多工程材料的应用,离不开材料性质的保证;许多生活用品的质量需要以系列测量的指标来界定。

另外,技术作为一种独特的人类文化活动,更多地倾向于实践的需求、实践的发现和突破,实践的检验。在计量仪表设计的活动中,需要选择标准量,设计密度计需要以水的密度为标准。水的密度怎样测量? 哪些因素可能影响到水的密度值? 技术设计需要有规范性,需要考虑各种制约的因素。例如,计量仪表需要刻度和校正,刻度需要考虑测量误差,结构和取材既要考虑测量要求,又要考虑工艺的要求,还要考虑安全、环保和能源以及给予我们的现实条件等问题。

在技术类综合实践活动中,尤其要关注学生创新能力的发展。创造性思维有多种,同中求异是其中的一种重要的思维方式。

### 2.1 原理方案求异

在原理构思阶段,希望学生能够展开发散性的思维。有的老师让学生独自提出一种原理方案,再以这个方案为起点,传递到第 2 位同学,请他(她)提出一个与之有区别的方案,以后依次传递到更多的同学,提出更多的不同方案,再展开小组的交流和讨论。有的老师让学生封闭式地提出一种原理方案,然后小组交流、讨论甚至辩论。这种头脑风暴式的方法值得推荐。例如,有提出密度天平的方案、漂浮式密度量筒的方案、漂浮式密度标杆的方案。还有提出悬浮式密度计的方案,设计制作许多不同密度的“悬浮子”,能在某种液体中处于悬浮状态,这种液体的密度就与该“悬浮子”的密度相同。对密度天平方案,需要测量液体的体积和质量,不如漂浮式来得简单,但随着技术的发展,该方案可能发展为智能型的测量方案,用不同的传感器和电子线路来控制。由此可以让学生感受到信息技术的发展可能会对测量技术产生巨大的影响。

### 2.2 技术环节的求异

对于技术创新,原理构思和整体设计很重要,但

局部的技术环节和部分之间的结构关联设计也不容忽视,有时会产生关键性的影响。

例如,漂浮标杆式的密度计的标度环节,需要在标杆上标出刻度,实验法是学生容易想到的一种方法。需要配置许多不同密度的液体样本,而且要用更精确的方法测出它们的密度,再把标杆式密度计放入样本液体中,标出对应的刻度。由于实验误差的影响,通常计量设计中不采用这种方法。我们还可用水的密度定标,即实验求出  $H$  值,再按理论关系  $h = \frac{\rho_{水}}{\rho_{液}} H$  计算出对应密度的  $h$  值,进行刻度,再进行校准。为了直观地理解刻度所遵循的规律,或帮助我们刻度,可以应用信息技术软件,如“几何画板”,展示出对应的图象。横坐标为被测液体的密度  $\rho_{液}/g \cdot cm^{-3}$ 、纵坐标为密度计被浸没的深度  $h/cm$ 。为了刻度方便,在纵轴左侧添加了浸没深度对应的密度值。

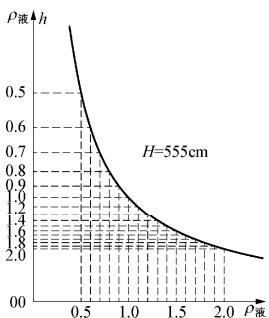


图 4

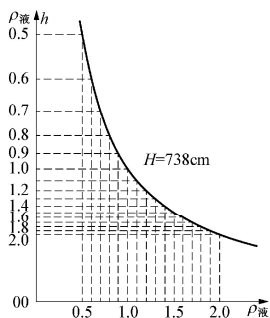


图 5

从图 4 与图 5 可知,  $h - \rho$  是个反比例函数。其图象上任意一点对应的纵坐标与横坐标的乘积应为定值(等于图象顶点横坐标与纵坐标的乘积),即  $\rho_{液} \cdot h = \rho_{水} \cdot H$ ,考虑到  $\rho_{水} = 1 g \cdot cm^{-3}$ ,所以  $\rho_{液} \cdot h$  的数值等于  $H$ 。 $\rho_{液}$  越大,  $h$  值越小,对应的刻度上小下大,密度值越大刻度线越密,密度值越小刻度线越疏(即上疏下密)。与一般仪表的刻度不同(如温度计)。分析这些特点,可为密度计的设计提供下列信息和思考:

- ① 由于刻度的不均匀,密度越大刻度越密,读数的误差就越大。
- ② 图 5 对应的  $H$  值比图 4 的大,可见增大标杆浸没水中的深度  $H$ ,可以使浸没待测液体中的深度  $h$  增大,从而增大相邻刻度线间的距离,减小估读的误差。

③ 作为测量器具来说,精确程度的要求是由实际需要来确定的,并非越精确越好,因为还要考虑经济等因素。对漂浮标杆式密度计而言,满足了较高密度段的精确要求,较低密度段的精确度要求就过高,没有必要为此浪费过多的成本。怎样才能较好在照顾两头呢?于是人们就想到把一支密度计分成两

支密度计,即设计两支不同量程的密度计。测量密度大于水的称为重表,测量密度小于水的称为轻表。

技术设计中,取材和工艺也是重要的。在学生可能的条件下,应让学生关注这种要求。例如,制作漂浮标杆式密度计,有学生用木筷、下端缠绕铁丝配重、用小刀刻线;有的学生用塑料吸管、下端用蜡封口放入小钢珠配重、在卡片纸条上画刻度放入管中(如图 6 所示)。通过比较和评价学生发现,后者粗细均匀,加工方便,绘制刻度较准确,不易被污染,且能调节刻度位置。在此评价过程中可以增进学生的技术意识。



图 6

### 2.3 发现问题,力求创新

技术设计活动中的求异,不是为异而求异,而是通过求异实现创新。对学生来说毕竟是一种前所未有的创新的认识和经历,过程中会出现意想不到的问题和缺点,不断反复和不断创新是它的特点。例如,漂浮标杆式结构,要想提高它的精确程度,需要增大浸没水中的深度  $H$ ,这就需要增大标杆的总长度和容器的深度。发现这个缺点就需要改进。仔细分析,漂浮时物体的重力等于浮力,对于质量(重力)一定的密度计,它排开液体的重力是一定的,可得排开液体的体积和密度的乘积是一定的。如果把密度计下端改为横截面更大的形状(如图 7 所示),那么浸没的深度就可以减小。

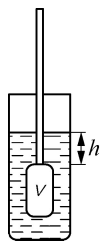


图 7

因为  $\rho g(hS + V) = mg$ ,令  $V = h'S'$ ,可得  $h + h' = \frac{m}{\rho S}$ ,则  $h = \frac{k}{\rho} - h'$ ,其中  $k, h'$  都是常数。因此浸没液体的深度  $h$  仍然是一个反比例函数 ( $y = \frac{k}{bx} - c$ ),用“几何画板”软件绘制的图象,与图 4 与图 5 中图线相同,只不过横坐标轴向上平移了一段距离。实验室里的重表与轻表都是按这种思路设计的(如图 8 所示)。

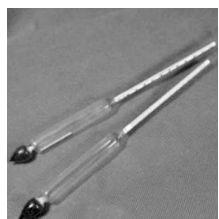


图 8

通过求异而实现创新,也许不是尽善尽美,也可能有前人研究过,但是相对于那种把活动简单化、思维线性化的流水线,是不是综合实践活动的课程实践又前进了一步呢?

### 3 尊重学生的选择,提升综合实践活动的自主性

基于 STEM 的综合实践活动强调学生的自主性,主要是给学生自主选择的机会。苏科版初中物理

(下转第 20 页)

续 表

教师(创设实验情景,引导实验探究)	学生(通过实验探究,形成正确观念)
实验二:拿出一张大纸片和一张小纸片,将小纸片揉成团,让二者从同一高度同时下落。 现象:小纸团先落地	说出结论:轻的物体下落得快。否定猜想二
实验三:两张同样的纸片,一张揉成团,一张平整,让二者从同一高度同时下落。 现象:纸团先落地	说出结论:同样重的物体下落快慢不同
提出问题:以上三个实验说明了什么?	分析:下落快慢有时相同,有时不同;下落快慢与轻重、形状、大小等无关
指导学生完成实验四: 将形状不同的两铁球从同一高度同时下落。 现象:几乎同时落地。 将粉笔头、橡皮从同一高度同时下落 现象:几乎同时落地。 引导:发现了什么问题	科学思维,发现问题:空气阻力是影响下落快慢的主要因素
指导学生完成演示实验五,充分证明空气阻力的重要影响。 实验五:将实验一中的纸片揉成团,重做实验一;将实验二中的两张纸片都揉成团,重做实验二;将实验三中的两张纸片都揉成团,重做实验三 现象:均同时落地。 引导:说明了什么?	科学思维,做出猜想:如果没有空气阻力,所有轻重不同的物体下落快慢相同
教师做实验六:牛顿管实验,抽成真空的玻璃管内放着羽毛、小铁块,做落体实验。 播放视频:美国 NASA 大空间真空实验室(高 37.2 m)自由落体实验。 验证猜想,引导学生说出结论	得出结论:在没有空气阻力的情况下,所有物体的下落快慢相同。——形成了正确的物理观念
播放视频:播放 1971 年阿波罗号飞船宇航员斯科特在月球上的自由落体实验,进一步验证猜想	进一步夯实物理观念

(上接第 18 页)

教材中安排了 9 个综合实践活动的课题。学生可根据自身情况,在一个学期中至少选择一个课题。此外,还应鼓励学生自主立项选择有兴趣和有意义的课题。要给予学生自己选择学习伙伴和组织团队自由,在团队中充分发挥每个人的特长,培养学生的合作精神和合作能力。

强调综合实践活动中学生的自主性,就必须给予他们足够的时间和空间。建议采取课内与课外相结合的方式,课内只是开题、中期交流论证、结题成果展示;而其他活动则放在课外甚至假期中。需要注意的是:强调综合实践活动的自主性,绝不否认教师的主导作用,这种作用应体现在学科整合、技术设计、实施和评价过程中。为此,教师应当更多地了解工程设计在哪个阶段需要应用到哪方面的知识和技能,以不断

根据表 1 中设计的教学过程,教师在创设实验的情景下逐一否定猜想,引起学生认知上的矛盾冲突,从而排除不相关因素,进而寻找到了影响物体下落快慢的主要因素——空气阻力,这时做牛顿管实验就显得顺理成章。不仅如此,牛顿管和 NASA 大空间真空实验室毕竟是人工环境,能在自然界证实吗?此时播放月球上的自由落体实验视频就清除了学生思想上的最后一个疙瘩,从而水到渠成地形成了正确的物理观念——在没有空气阻力的情况下,所有物体的下落快慢相同。树立了正确的物理观念后,教师就可以顺理成章地启发学生从初始状态和受力两个角度思考得出自由落体的定义。

### 3 教学体会

以上教学将问题的解决置于实验探究的情景中进行,把问题的解决过程转化为形成正确物理观念的过程,从而拔高了教学层次。而且,由于实验的设置具有很强的问题性、参与性、实践性和开放性,使得教师的主导作用和学生的主体作用得到了充分的体现,这同时也是基于核心素养的物理教学所追求的终极目标。

#### 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)[S]. 北京:人民教育出版社,2018:4—5.
- [2] 罗莹. 物理核心素养研究:物理知识与物理观念[J]. 物理教师, 2018(6):2—6.
- [3] 梁旭. 物理观念的结构与形成过程探究[J]. 中学物理教学参考, 2018(5):22—26.

提出问题引起思维碰撞并及时捕捉学生所产生的微小、甚至是一闪而过的思维亮点,指导学生将其梳理放大成有意义的问题,然后提供台阶提示学生寻找解决问题的方向并自己解决问题,并在解决老问题后再提出新的挑战。教师只有学得更多、想得更深,既热情帮助又不包办代替,甚至放下架子虚心向学生学习,才能把综合实践活动不断引向深入,把学生创新意识和实践能力提升到学科核心素养要求的高度。

#### 参考文献

- [1] 刘炳昇. 在物理课程中设置综合实践活动的意义和教学建议[J]. 物理之友, 2015(1).
- [2] 刘炳昇. 再论“物理综合实践活动”设置的意义与实施策略[J]. 物理之友, 2019(1).