基于思维设计实验 培养迁移创新能力*

——以“非常规方法测固体密度”教学为例

毛鸿鸣 (广东省阳山县教师发展中心 广东 513100)

摘 要 迁移创新能力是学生能力发展的薄弱点。以“非常规方法测固体密度”教学为例,引导学生运用所学知识和科学方法,通过分析、论证、质疑、评估、迁移、创新等系列思维活动,完成实验方案设计,解决陌生情境中的物理问题,培养学生迁移创新能力。

关键词 设计实验 思维方法 迁移创新
文章编号 1002-0748(2024)5-0027 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

迁移创新能力是指学生利用物理核心知识和科学方法解决陌生和不确定性问题以及探寻新知识和新方法的能力。它是学生将内化的知识应用到陌生物理情境中以解决问题的能力,是核心素养中科学思维的高级体现。研究表明,迁移创新能力是学生能力发展的薄弱点[1]。迁移创新能力有三个要素,一是运用核心知识,二是解决陌生和不确定性问题,三是探寻新知识和新方法。

实验是学生在思维引导下发现问题、提出问题、解决问题的过程。实验设计需要综合运用已有知识;是促进学生将知识结构化的过程。实验设计与方案改进,与模型建构、科学推理论证、质疑创新等科学思维紧密联系[2]。实验探究需要运用科学方法。科学方法具有导源、突破、中介、建构等认知功能;实际问题的解决从科学知识出发经由科学方法的中介才能实现;科学方法作为科学的思维方式和行为方式,蕴含着能力价值[3]。

引导学生运用所学的知识和科学方法开展实验设计创新活动,是培养学生迁移创新能力的重要手段。“非常规方法测量固体密度”的实验设计,需要学生面对陌生问题,运用所学的知识和科学方法,通过分析、论证、质疑、评估、迁移、创新等系列思维活动,逐层深入地解决不确定性问题,完成实验方案的设计,以培养自己的迁移创新能力。

例题 给你水(足量)、烧杯(一个)、托盘天平(带砝码和镊子)、细线、铁架台等器材,如何测量一块形状不规则矿石的密度?请设计一个测量方案。

1 表征问题

面对要解决的陌生问题,首先需要理解问题,对问题进行重新表征,明确解决问题的关键和方向,为寻找解决问题的方案作准备。

用天平和量筒测物体的密度是学生熟悉的测量,而缺少量筒只用天平测密度是学生遇到的陌生问题。教师可通过提问引导,让学生明确根据题设条件要测量矿石的密度需要解决什么问题。

师:要测量矿石的密度,需要测出什么物理量?

生:根据密度定义可知,要测量矿石的密度需要测出它的质量与体积。

师:根据所给的器材,什么量可以测出来?什么量不能直接测出?有什么办法吗?

生:利用题目所给的天平可以测出矿石的质量。没有量筒,矿石的体积无法直接测量。

师:体积不能直接测量,有什么办法吗?

生:……学生一下子想不到解决问题的方法。

点评 通过提问聚焦问题,让学生明确测量矿石的体积是解决测量矿石密度的关键,把测矿石密度的问题转化成用天平测矿石体积的问题。

2 设计方案,解决问题

2.1 方案一:排水法测体积

物理学中,对一个不能直接测量的被测量,可以找一个与其等量的另一个可以测量的量(等量替代),通过测出可测量得到被测量,这就是转化测量

* **基金项目**:本文是广东省教育科研“十三五”规划2018年度项目“基于核心素养下山区初中物理学生实验教学的研究”(课题批准号:2018YQJK344)阶段性研究成果。

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

的思想(转换法)。由于没有量筒,矿石的体积无法直接测量,可以考虑用转化测量的方法测矿石的体积。对初中的学生来说,用转换法测固体体积最熟悉的方法是排水法。因此,从学生最熟悉的入手,引导学生考虑用排水法测矿石的体积。但根据题设条件,此时用排水法测体积会遇到另外的问题。

师:矿石的体积无法直接测出来,能否找到一个与矿石等体积的量(等量体积),通过测出这个等量体积得到矿石的体积(等量替代)。

生:如果能找到这样的等体积的量是可以的。

师:在你们学过的内容中有过这样的体积替换吗?比如在浮力的学习中?

生:有的。将物体浸没在水中,物体排开液体的体积就等于物体的体积,即$V_{排}=V_{物}$。

师:那么,没有量筒如何得到物体排开液体的体积$V_{排}$呢?

生:用排水法和转换法能得到矿石排开水的体积。将矿石慢慢浸没在装满水的溢水杯中,用另一个烧杯承接溢出的水,如图1所示。用天平测出溢出水的质量$m_{排}$,利用$V_{排}=m_{排}/\rho_{水}$算出溢出水的体积(转换法),从而得到矿石的体积。

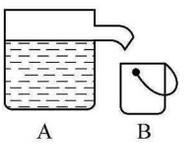

图1

到此,问题似乎得到了解决。但对照题设条件,显然不符合题意。为此,引导学生对方案进行质疑,继续探寻新的方案。

师:而这种方法要用到两个烧杯,题目只给多少个烧杯?方案可行吗?

生:只给了一个烧杯,方案不可行。

师:只用一个烧杯,可以测出矿石的体积吗?

点评　通过问题激发学生思维,引导学生运用等量替代法$V_{排}=V_{物}$、转换法$V_{排}=m_{排}/\rho_{水}$,设计利用排水法测矿石体积的方案。通过质疑烧杯的个数,否定方案的可行性,引导学生继续寻找新方案。

2.2　方案二:"剩水"法测体积

经过思考,有学生提出不用直接测出矿石排开水的质量(体积),而是通过测出矿石排开液体后剩余的质量与原来的总质量,来算出矿石排开水的质量,再根据质量求得体积,可称之为"剩水"法测体积。这是一种转化测量的思想,也称为转化测算法。转化测算是指对于不便测量的量X,可以先测出容易测量的量Y,然后根据规律,利用Y计算得到X[4]。通过测出剩余水的质量,算出排开水的质量,就是利用了转化测算的方法。(上面用到的测出$m_{排}$,利用$V=m/\rho$算出$V_{排}$,也是一种转化测算的思想)学生想到用这种方法测矿石排开液体的体积,是排水法测体积的一种拓展,体现了思维的创造性。

生:先测出矿石的质量$m_{石}$,在烧杯中装适量的水(不要装满,装满容易洒出),将装有水的烧杯放在天平上测出杯与水的总质量m_1。再将烧杯倾斜,让水面刚好与溢水口相平,如图2所示。用细线系住矿石,慢慢浸没在杯中,静止后,再将杯放平,用天平测出烧杯、剩余水和矿石的总质量m_2。则矿石排开水的质量为$m_{排}=(m_{石}+m_1)-m_2$,根据$m_{排}$求出$V_{排}$得到$V_{物}$。

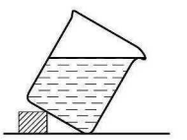
图2

师:这个想法非常棒,很有创意!实际操作一下,看是否可行。

然后让学生进行实际操作,用这种方法测矿石的体积,看是否发现什么问题。学生进行实际操作,发现很难控制水面刚好与溢水口相平,倾斜过了有水溢出,倾斜不到位(水面未达溢水口),都会导致$m_{排}$、$V_{排}$测量的误差。通过讨论,认为这种方法还是不够完善,难以控制产生的误差,需要继续寻找可行的方案。

点评　引导学生利用转变测算法$m_{排}=(m_{石}+m_1)-m_2$、$V_{排}=m_{排}/\rho$以及等量替换$V_{排}=V_{物}$,设计通过拓展排水法测矿石体积的实验方案二,同时通过对方案误差不可控的评估,否定实验方案的可行性,引导学生继续寻找可行的实验方案。

2.3　方案三:利用浮力测体积

用排水法不能解决矿石体积的测量问题,还有其他的原理方法吗?此时,教师可通过问题进一步激活学生思维,引导学生选用所学的物理概念和物理规律进行实验原理的创新,寻找解决问题的新途径。

阿基米德原理是学生熟知的原理,根据阿基米德原理学生容易想到由$F_{浮}$可以得到$V_{排}$。将这种方法用到测物体密度的实验中,是一种实验原理的创新,体现了学生思维的创新性。测浮力一般会用到弹簧测力计,没有弹簧测力计只有天平,如何测浮力呢?这是学生面临的又一个新挑战。

师:用溢水的方法不能解决矿石体积的测量问题,是否还有其他的方法测出矿石排开水的体积?在你们所学的知识中是否有过类似的方法?

生:经过思考,有学生提出可以通过测出浮力求出$V_{排}$。因为$F_{浮}=\rho_{液}gV_{排}$,知道$F_{浮}$就可求得$V_{排}$。

师:对,思路非常正确,可以不用溢水的办法,利用浮力可以求出$V_{排}$。但没有弹簧秤如何测出浮

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

力？这是接下来我们要重点解决的问题。

没有弹簧测力计，如何测出浸没在水中矿石所受到的浮力？学生又陷入沉思。

师：浮力是什么物体对矿石施加的力？方向如何？

生：水对它施加的力；方向竖起向上。

师：将矿石浸入水中，水对矿石有一个竖起向上的托力，那么矿石对水会产生作用力吗？

生：会，根据力的相互作用原理，矿石会对水产生一个等大的竖直向下的压力。

师：对，如果测出这个压力就能知道浮力。如何测出这个压力呢？

生：学生再次陷入沉思。

师：用手轻压天平，天平的视数会增加吗？由此你想到什么？教师用手轻压天平的左盘，让学生观察天平视数的变化。

生：示数会增加。此时，有学生提出如下解决问题的思路——将装有水的烧杯放在天平上，用细线系着矿石，将它慢慢浸入水中，浮力和压力均慢慢增加，天平的示数也会慢慢增加，增加的示数能间接反映压力的大小。

师：很好！我们来试试看。如图3所示，将装有水的烧杯放到调节好的天平上，测出水和烧杯的质量为m_1；用细线系着矿石，将矿石慢慢浸没在水中，天平再次平衡时读数为m_2；则天平增加的读数为$\Delta m = m_2 - m_1$。增加的读数Δm表示什么？是表示矿石受到的浮力吗？



图3

生：表示相当于杯中增加了质量为Δm的水，也相当于矿石排开水的质量$m_{排}$。由Δm可求得$V_{排}$得到$V_{石}$。此时，杯底受到的压力增加了Δmg，大小等于矿石受到的浮力。

师：对，Δm表示矿石排开水的质量，Δmg表示矿石受到的浮力。

点评　通过问题引导、分析论证激活学生创新思维，利用阿基米德原理、力的相互作用原理，以及转换测算、等量替换等科学方法，设计利用天平测出压力，间接得到浮力、矿石排开水的体积、矿石体积的实验方案，体现了实验原理、实验方法的创新性。

3　质疑评估，完善方案

此时，有学生对Δm的含义提出质疑。

生：天平增加的示数Δm，为什么表示的是矿石排开水的质量而不是矿石的质量？

师：将矿石浸没水中，矿石排开$V_{排}$体积的水，相当于在杯中增加质量$m_{排}$的水。将矿石在杯中取出，向杯中加水，当水面到达原来的位置时（注入$V_{排}$体积的水），天平的示数变为原来的一样，说明矿石排开水的质量等于天平增加的读数，即$m_{排} = \Delta m$。

同学们注意观察，此时矿石是用细线挂着的，并未“真正”放进杯中。请大家思考，如果解开细绳，将矿石放到杯底，天平的读数会变化吗？怎样变化？

生：会变化；应该是增加的。

师：我们试试看。将细绳解开，让矿石沉到杯底，如图4所示。天平重新平衡时，读数确实增加了！与未放入矿石时相比，此时天平增加的数读是矿石的质量吗？



图4

生：是的，这种情况下增加的数读才是矿石的质量。

师：根据上面的讨论与分析，请同学们完整地说说利用题中所给器材测量矿石密度的实验步骤，需要测量的物理量。并写出矿石密度的表达式。

通过讨论，本着简便、科学的原则，学生确定了完整的实验步骤，如图5所示，并推导出矿石密度的表达式。

（1）实验步骤

① 将天平放置在水平桌面上，把游码移至标尺的零刻度处，调节平衡螺母，使天平平衡。将装有适量水的烧杯放入天平的左盘，测出烧杯和水的总质量m_1。

② 用细线系住矿石，悬挂在铁架台上，让矿石浸没在水中，细线和矿石都没有与烧杯接触，测出此时天平的示数为m_2，如图3所示。

③ 将矿石下沉到烧杯底部，天平再次平衡时，测出烧杯、水和矿石的总质量为m_3，如图4所示。

（2）矿石的密度

矿石密度的表达式：$\rho_{矿石} = \rho_{水}(m_3 - m_1)/(m_2 - m_1)$。

点评　引导学生对方案进行评估、质疑，不断地发现问题、解决问题，完善实验方案的设计。培养学生质疑、创新能力，促进知识与方法的结构化，提升分析问题、解决问题的能力。

（下转第37页）

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

于零，才越接近于需要的结论。由②式知，$\sin\theta=\frac{mg}{2F_T}=\frac{m}{2M}$。

实验的相对误差 $\eta=\frac{2\theta}{\pi}=\frac{2\arcsin\left(\frac{m}{2M}\right)}{\pi}$，即有

$$\frac{M}{m}=\frac{1}{2\sin\frac{\pi\eta}{2}} \qquad ③$$

据此，二力平衡的共线问题，就变成了寻找 m、M 的比值与相对误差 η 的关系。不同的误差要求对应了不同的质量比要求。

即确定的实验误差要求，会直接得到 m、M 两者之间的关系。按照常见的相对误差范围，笔者汇总了相应的 M/m 的大小、对应的角度以及相应的绳子和卡片正视形状，见表1。

表1　常见的相对误差与质量倍数、角度和装置正视形状的关系

相对误差	角度 θ(°)	倍数 M/m	正视形状
1.00%	0.9	31.8	
2.00%	1.8	15.9	
3.00%	2.7	10.6	
4.00%	3.6	8.0	
5.00%	4.5	6.4	

由于Word软件的制约，表格中正视形状的夹角实际是1°、2°、3°、4°和5°，即比理论值稍大。从正视的角度观察，2%的相对误差，还是比较接近直线的。

本题答案为C选项，即钩码质量为纸片质量的20倍，有表1知，其相对误差在1%到2%之间，小于传统意义的5%，数据是可靠的。

考虑到③式涉及三角函数，计算上需要借助计算器。能否简化一点呢？注意到当 θ 很小时，如角度值在5°以内，有 $\sin\theta\approx\theta$，注意现在 θ 采用的是弧度制。③式可以改写成 $\frac{M}{m}=\frac{1}{\pi\eta}$。通常我们是已知了质量之间的关系。如 M 为 m 的20倍，则相对误差为1.6%。考虑到阻力因素，参见参考文献3，20倍也是很好的数据。

一般而言，义务教育阶段的实验相对误差控制在5%以内是可以接受的，此时 $M>6.4m$。可见实验的数据要求并没有想象的那样极端。为了比较好地演示，笔者以为20倍及以上即可。由此可见，所谓的“远大于”在不同的情境中，根据误差需求，会有着具体的结论。

4　结束语

模型建构是《义务教育物理课程标准(2022年版)》倡导的核心素养的一个要素。本文源于真实情境，抽象问题的本质需求，通过对比、概括、抽象等方式建构模型，基于科学推理和论证，最终解决问题。类似的实践对提高学生学科核心素养提供了有益的借鉴，对一线教师的教学提供了有益的参考。

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.
[2] 刘炳昇，李容. 义务教育教科书物理八年级下册(第3版)[M]. 南京：江苏凤凰科学技术出版社，2018：63.
[3] 张广宏，曾晖. 合理建模　科学推理　以“定滑轮”误差分析为例[J]. 中学物理，2020(09)：48　50.

(上接第29页)

4　落实方案，得出成果

让学生按所设计的实验方案，动手操作完成实验，测出相应的实验数据，得出矿石的密度，如表1所示。

表1　实验数据及结果

m_1/g	m_2/g	m_3/g	$\rho_{矿石}$/(g·cm^{-3})
202.0	209.5	222.4	2.7

点评　让学生动手动脑，一方面提高实验操作能力，另一方面在实际操作中进一步理清实验思路，检验实验方案的可行性，体验探究的成功，收获探究的乐趣。

综上所述，引导学生利用所学的知识和方法，通过分析、论证、质疑、评估，以及科学方法的迁移、拓展、创新等系列思维活动，设计实验方案，创造性地解决问题，能有效培养学生迁移创新能力，发展物理学科核心素养。

参考文献

[1] 郭玉英，姚建欣，张玉峰，等. 基于学生核心素养的物理学科能力研究[M]. 北京：北京师范大学出版社，2017.9：23，93，360.
[2] 张玉峰，陈伟孟，汤玉林，杨斌，等. 基于核心素养的中学物理实验教学重难点突破[M]. 北京：北京师范大学出版社，2021.8：12　17.
[3] 刘大明，江秀梅. 以科学方法为中心　落实核心素养目标　以“伏安法测电源电动势和内阻实验系统误差分析”为例[J]. 中学物理教学参考，2023(9)：6　12.
[4] 攀勇. 发展性思维在初中科学教学中的运用　以测量水中硬币的深浅为例[J]. 物理教学，2023(7)：77　79.

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