

如何准确理解“排开液体的体积”^{*}

马振波

(天津市南开中学 天津 300199)

(收稿日期:2022-12-08)

摘要:分别从实验操作角度、几何关系角度、概念辨析角度对 $V_{\text{排}}$ 进行考察,并使用公式推导显示其本质内涵,准确理解 $V_{\text{排}}$ 有助于深入理解阿基米德原理.从跨学科实践的角度给出3个应用实例.

关键词:阿基米德原理;核心素养;跨学科实践

1 问题的提出

阿基米德原理是浮力部分的重点内容,在整个初中物理知识体系中占有举足轻重的地位.教材中阿基米德原理的数学表述是 $F_{\text{浮}} = G_{\text{排}}$,在教学中经常使用的公式是 $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} g V_{\text{排}}$ ^[1].实际教学中发现学生对阿基米德原理的理解存在一定偏差.

【例题】一块体积为 100 cm^3 的实心玻璃,经过处理后做成一个容积为 300 cm^3 的玻璃杯(质量不变).当玻璃杯放入第一种液体中时完全浸没,当玻璃杯放入第二种液体时杯口与液面恰好相平,如图1所示.请同学们回答上述两种情况下 $V_{\text{排}}$ 各是多少时,较多同学的回答是错误的.在进行浮力教学时有必要对 $V_{\text{排}}$ 做适当的讲解,以增进学生对 $V_{\text{排}}$ 的深入理解.

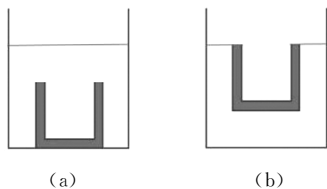


图1 排开液体的体积

2 对 $V_{\text{排}}$ 的3种理解方式

2.1 从实验操作角度理解 $V_{\text{排}}$

学生对 $V_{\text{排}}$ 的理解来自人教版教材中阿基米德鉴别王冠的故事. $V_{\text{排}}$ 即物体浸在液体中时被排开

的液体体积,它等于物体浸入液体中的体积.这种直觉的认识来自使用量筒测量固体的体积实验.在量筒中放入适量的水,记下示数为 V_1 ,将物体浸没在量筒的水中,读出此时的示数为 V_2 ,则物体的体积 $V = V_2 - V_1$.进一步推广至溢水杯的情况,把物体浸入装满水的溢水杯中,溢出水的体积即为浸入液体中物体的体积.更进一步可以推广至刻度尺和圆柱形容器的组合.圆柱形容器中放入适量的水,用刻度尺测量水的深度为 h_1 ,把物体浸在水中,用刻度尺测量此时水的深度为 h_2 ,则浸入物体的体积与高度差($h_2 - h_1$)成正比.若圆柱形容器的底面积 S 已知,则 $V_{\text{排}} = S(h_2 - h_1)$.

通过这种方式理解 $V_{\text{排}}$,学生可以在科学探究方面得到训练,进而提升在实验设计、动手操作、收集证据方面的能力,从而提升核心素养.

2.2 从几何关系角度理解 $V_{\text{排}}$

$V_{\text{排}}$ 既可以认为是一个物理量,也可以认为是一个几何量.我们可以从几何的角度认识 $V_{\text{排}}$.当物体浸入液体,液面静止时为水平面, $V_{\text{排}}$ 即液面以下的非液空间.通俗地讲,液面以下不是液体的那部分空间就是 $V_{\text{排}}$.从这个角度讲,图1中第一种情况下 $V_{\text{排}}$ 是 100 cm^3 ,第二种情况下 $V_{\text{排}}$ 是 400 cm^3 .学生只有对概念理解准确,才能建立正确的物理观念.

通过这种方式理解 $V_{\text{排}}$,学生可以在科学思维方面得到训练,进而提升在建立模型、推理论证方面

^{*} 天津市教育学会“十四五”教育科研规划重点课题“具身认知理论视域下初中物理实践类作业设计及实施策略研究”研究成果,课题编号:KT-[十四五]-201-2022-ZD-0001.

作者简介:马振波(1981-),男,硕士,中学高级教师,主要从事初中物理教学工作.

的能力,从而提升核心素养.

2.3 从概念辨析角度理解 $V_{\text{排}}$

$V_{\text{排}}$ 与 $V_{\text{液}}$ 、 $V_{\text{物}}$ 三者之间有怎样的关系? 通过概念辨析可以帮助我们弄清 $V_{\text{排}}$ 的内涵和外延. 首先,分析 $V_{\text{排}}$ 与 $V_{\text{液}}$ 的关系. 设想一个理想化实验,我们把一个略小于容器底面积的圆柱形物体放入容器中,液体的液面会有显著上升,如图 2 所示. 此时 $V_{\text{排}}$ 远大于 $V_{\text{液}}$, $V_{\text{排}}$ 与 $V_{\text{液}}$ 没有必然的大小关系. 其次,分析 $V_{\text{排}}$ 与 $V_{\text{物}}$ 的关系. 当物体是实心物体时,显然 $V_{\text{排}}$ 小于等于 $V_{\text{物}}$; 当物体是开口类空心物体(如各类容器)时, $V_{\text{排}}$ 可以大于 $V_{\text{物}}$, 由此可见 $V_{\text{排}}$ 与 $V_{\text{物}}$ 没有必然的大小关系(图 1). 综上可知 $V_{\text{排}}$ 与 $V_{\text{液}}$ 、 $V_{\text{物}}$ 三者之间没有必然的大小关系.

通过这种方式理解 $V_{\text{排}}$, 学生可以在科学思维和物理观念方面得到训练,进而提升在建立模型、推理论证、质疑创新方面的能力,从而提升核心素养.

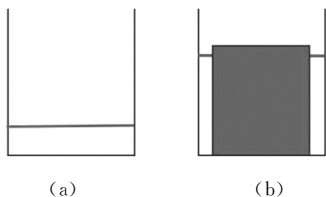


图 2 液体的体积与排开液体的体积的关系

2.4 $V_{\text{排}}$ 本质特征

人教版教材指出:浸没在液体中的物体,其上、下表面受到液体对它的压力不同,这就是浮力产生的原因. 由此可知浮力是按照力的作用效果命名的弹力的合力,即

$$F_{\text{浮}} = F_{\text{向上}} - F_{\text{向下}} = p_{\text{向上}}S - p_{\text{向下}}S = \rho gh_2S - \rho gh_1S = \rho g(h_2 - h_1)S = \rho gV_{\text{排}}$$

式中 $V_{\text{排}}$ 与物体浸入液体中的底面积和浸入的深度有关,与 $V_{\text{液}}$ 、 $V_{\text{物}}$ 无关. 从几何的观点看液面之下不是液体的体积就是“排开液体的体积”.

通过这种方式理解 $V_{\text{排}}$, 学生可以在科学态度与责任方面得到训练,科学本质观得到塑造,从而提升核心素养.

3 $V_{\text{排}}$ 在跨学科实践中的使用举例

义务教育 2022 版新课标一级主题“跨学科实践”中明确指出“跨学科实践”主题的内容具有跨学

科性和实践性特点,与日常生活、工程实践及社会热点问题密切相关^[2]. 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、动手操作的实践能力,培养学生积极认真的学习态度和乐于实践、勇于创新的精神.

3.1 测肺活量

我们已经知道,肺活量是一个人做最大吸气后再做最大呼气所呼出的气体的体积,单位是毫升(mL). 肺活量是身体机能的重要指标之一,对青少年的成长及日后身体是否健康都关系重大.

我们要注意增强自身的肺活量. 图 3 所示的是一种测定肺活量的方法示意图,图中 A 为倒扣在水中的开口薄壁圆筒,测量前排尽其中的空气(即测量前筒内充满水). 测量时,被测者吸足空气,再通过 B 尽量将空气呼出,呼出的空气通过导管进入 A 内,使 A 浮起. 测得圆筒质量为 m , 横截面积为 S , 筒底浮出水面的高度为 H , 大气压强为 p_0 , 水的密度为 ρ_0 , 求:

(1) 此时圆筒内气体的体积;

(2) 此时筒内气体的压强;

(3)“肺活量体重指数”是人体重要的呼吸机能指数,它主要通过人体的肺活量与体重的比值来反映肺活量和体重的相关程度,用以对不同年龄、性别的个体与群体进行客观的定量比较分析.

肺活量体重指数: $\frac{\text{肺活量}}{\text{体重}}$, 单位是 mL/kg

例如,我国初三年级男生肺活量体重指数标准:67 mL/kg 以上为优秀;50 ~ 66 mL/kg 为良好;33 ~ 49 mL/kg 为及格;32 mL/kg 以下为不及格. 如果体重 60 kg 的小强用上面的肺活量仪测肺活量,测得 $H = 18 \text{ cm}$, 已知筒 A 的质量为 200 g, 横截面积为 200 cm^2 , 请计算他的肺活量体重指数是多少?

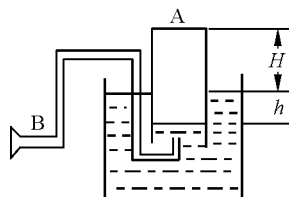


图 3 测量肺活量

该题引导学生关注自身身体素质,加强体育锻炼,提高肺活量.题目描述的情境是与日常生活联系紧密的测量肺活量的过程.学生面对跨学科的情境,使用物理学科核心素养来解决新的问题,真正实现新课标中的“能用物理及其他学科知识解释与健康、安全等有关的日常生活问题”.此题中最关键的是图3中的 h ,而求解 h 涉及到对 $V_{\text{排}}$ 的理解.

3.2 模拟“盆水举缸”

用1 N的水能不能产生大于1 N的浮力?这是一个特别容易让学生误判的问题.实验是最好的“法官”.用实验来模拟“盆水举缸”,以此来检验和纠正我们头脑中的认知.

在烧杯中倒入适量水,使用一个略小于烧杯底面积的玻璃瓶代替“缸”,如图4(a)所示.将玻璃瓶放入烧杯的水中,我们看到玻璃瓶漂浮在烧杯的水中,如图4(b)所示.此时 $V_{\text{排}}$ 远大于 $V_{\text{液}}$,即用1 N的水可以产生大于1 N的浮力.我们看到以问题的解决为驱动性任务进行方案设计,以设计、实验、观察、论证等方式将对理论的认识课题转化为可操作的物化的实验过程.学生在进行实验的同时不仅获得了大量的物理表象,形成了直观印象,而且锻炼了动手操作能力.

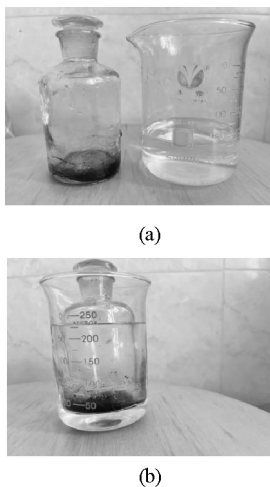


图4 模拟“盆水举缸”实验

3.3 观看并重现“浮力消失实验”

天宫课堂是非常难得的科普素材.浮力消失实验中航天员王亚平将乒乓球放入水中后并没有出现地面上常见的现象——乒乓球浮上来,如图5(a)所示.通过深入分析可知,浮力产生的条件为视重大于

零^[3].在外太空环境下,视重为零浮力为零.此时 $V_{\text{排}} = V_{\text{球}}$,但 $F_{\text{浮}} = 0$,通过该实验更加深刻认识 $V_{\text{排}}$ 与 $F_{\text{浮}}$ 之间的逻辑关系.

在地面上,我们可以重现“浮力消失”实验.将乒乓球压入水中,当水瓶与乒乓球一起做自由落体运动时,我们看到乒乓球没有从水中浮起来,如图5(b)所示,乒乓球不受浮力.重现“浮力消失实验”让学生关注社会热点,激发学生学习兴趣,增强动手能力,提高跨学科水平.

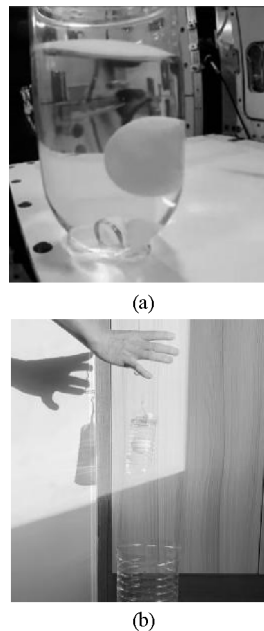


图5 “浮力消失”实验与重现“浮力消失”实验

4 结束语

概念是物理大厦的根基,是学科核心素养的前提和必要条件.正确且准确理解概念是物理教学必须解决的首要问题.教师从思维操作和动手实践两个方面来帮助学生深刻理解概念,再从概念辨析的角度厘清概念的边界.学生在处理跨学科实践时使用物理概念来解决现实问题帮助学生进一步掌握和理解本学科知识,提升了学科核心素养.

参考文献

- [1] 彭前程.义务教育教科书物理八年级下[M].北京:人民教育出版社,2012:55.
- [2] 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准(2022版)[S].北京:北京师范大学出版社,2022:34.
- [3] 缪映闻,童大振,潘苏东.从“浮力消失实验”探究判断浮力的关键因素[J].物理教学探讨,2022,40(7):56-58,61.