一类浮力习题情境真实性的探析与反思

沈 叶[1] 管栋浩[1] 龚宇晨[1] 童 逊[2] 王 强[1]
(1. 扬州大学物理科学与技术学院,江苏 扬州 225009; 2. 江苏省扬州中学,江苏 扬州 225009)

摘 要: 通过探究生活和实验中观察到的浮体倾斜漂浮现象,对一类浮力习题命题情境的真实性质疑. 基于浮体稳定漂浮条件,对观察到的漂浮现象进行解释. 对浮力习题"虚假情境"普遍存在的现状进行反思,命题者想当然创设情境可能导致科学性错误,非常不利于引导学生从"解题"向"解决问题"的转变.

关键词: 浮力;习题情境;真实性;稳定漂浮;反思

1 基于探究质疑命题情境真实性

"浮力"是初中物理教学的重点和难点,对学生的探究能力和思维能力均提出较高要求,成为初中生学习物理的一个重要"兴趣分化点". 浮力教学中需要引导学生形成浮力的基本概念,理解并掌握阿基米德原理,综合利用二力平衡、密度和压强知识来分析现实生活中的浮力现象.

为了优化浮力教学,教师或者命题者往往需要创设具有针对性、趣味性和探究性的情境,其中漂浮体情境是最为常见的. 不过很多此类情境往往是命题者信手拈来的,示意图也是随手画出来,其实并未验证情境的真实性. 例如,在浮力习题中,形状规则的漂浮体往往是以直立姿态漂浮于液面,如以下例题.

例 1. 甲、乙两个完全相同的容器放在水平桌面上,其中分别装有密度不同的液体;将两个完全相同的圆台物体 A、B 分别倒、正放入甲、乙两个容器中,此时两容器内液面及 A、B 物体上下底面恰好相平,如图 1 所示. 若 A、B 物体在甲、乙容器中所受浮力分别为 F_A、F_B,甲、乙容器中液体对容器底部的压强分别为 $p_{甲}$ 和 $p_{乙}$,下列判断正确的是

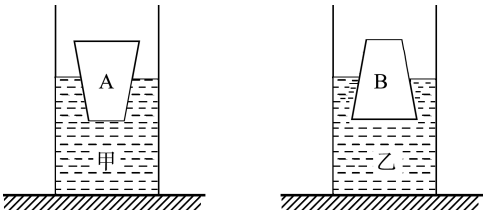


图 1 例 1 示意图

(A) $p_{甲}>p_{乙}$, $F_A<F_B$.

(B) $p_{甲}<p_{乙}$, $F_A>F_B$.

(C) $p_{甲}>p_{乙}$, $F_A=F_B$.

(D) $p_{甲}<p_{乙}$, $F_A=F_B$.

此题考查学生对于浮力和压强概念的理解,需要用二力平衡的知识来分析,命题者想当然地认为浮体可以所示姿态稳定地漂浮于液面. 但是,圆台浮体的这两种竖直漂浮状态都是可能的吗? 我们可以联想生活中的类似现象. 常见的水果青苹果,不管以什么角度接触水面,它最终往往都会翻转成"大头朝上"的稳定漂浮姿态,如图 2 所示.



图 2 青苹果漂浮时的稳定姿态

有了以上生活经验之后,可以猜想例 1 中的圆台形浮体并不总能以所示姿态稳定漂浮于水中. 我们采用圆台形蜡块进行实验验证. 如图 3 所示,实验过程中先将圆台窄面朝下接触水面,观察到其在水中"大头朝上"竖直稳定漂浮;再换由圆台的宽面朝下接触水面,观察到其在水中难以竖直

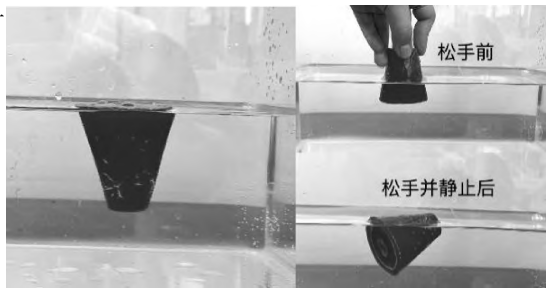


图 3 圆台形蜡块在水中的漂浮姿态

通信作者: 王强(1975—),男,山东烟台人,扬州大学教授,学科教学(物理)方向硕士生导师. 研究方向为大中学物理教学. 电子邮箱: wq@yzu.edu.cn.

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

漂浮，总是以倾倒姿态漂浮. 所以，圆台浮体能否以例题中所示姿态稳定漂浮于水面，需满足必要的力学条件，圆台浮体同时以例 1 中两种姿态漂浮往往很难实现，以上命题情境的真实性值得商榷.

其实此类情境在浮力习题中普遍存在，再如以下 3 个例题.

例 2. 如图 4 所示，棱长为 0.16 m 的正方体木块 A 漂浮于水面上，木块下表面距离水面的高度为 0.12 m，$g=10$ N/kg，求：(1) 木块下表面处水产生的压强；(2) 木块受到的浮力.

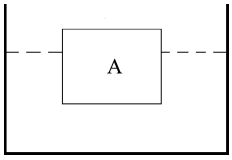


图 4　例 2 示意图

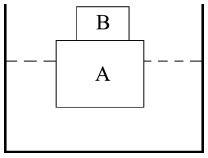


图 5　例 3 示意图

例 3. 木块 A 漂浮在容器中的水面上，在它的上边放一石块 B，如图 5 所示，此时木块 A 排开水的体积为 V_1. 若将石块 B 从木块 A 上取下，并放入水中，静止时石块 B 和木块 A 共排开水的体积为 V_2. 已知 $V_1-V_2=2$ dm^3，木块 A 的体积为 4 dm^3，石块 B 的密度为 3×10^3 kg/m^3，$g=10$ N/kg，则容器底部对石块的支持力为

(A) 10 N.　　(B) 20 N.

(C) 30 N.　　(D) 40 N.

例 4. 如图 6 所示，将长方体木块从甲图那样直立浮在水面变为乙图那样横浮在水面后，木块受到的浮力和木块底部受到水的压力的变化分别为

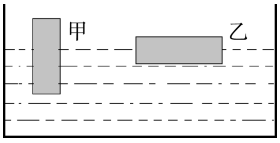


图 6　例 4 示意图

(A) 变大、变大.　　(B) 变小、变小.

(C) 不变、变小.　　(D) 不变、不变.

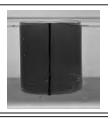
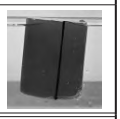
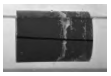
以上 3 个例题采用长方体浮体，也想当然地认为它们均可以示意图所示姿态漂浮于水面. 我们采用圆柱形蜡块(密度小于水)进行实验，来验证此类情境的真实性. 将切碎的蜡块放入熔蜡小锅中，隔水加热至熔化，然后将蜡液倒入直径 $b=5.00$ cm 的圆柱形模具中，冷却脱模之后可以制作出圆柱体蜡块. 再修整外形，使其表面光滑平整，并满足所需长度要求. 最后将蜡块放入水中，观察其在水中的稳定漂浮姿态. 实验中的变量即为圆柱体的高度 H，为了保证实验数据的有效性和充分性，设置了 8 个对照组来观察实验现象. 用记号笔在蜡块的外表面画一条平行于中心轴线的直线，以此作为测量蜡块倾斜角度 θ 的参考线.



图 7　高度为 6.00 cm 圆柱形蜡块的稳定漂浮姿态

实验开始前先在正方体水箱中加入适量清水，为了测量方便，让蜡块尽量稳定在靠近水缸前壁的位置，如图 7 所示. 当蜡块漂浮于水面稳定之后，利用手机自带的水平仪将拍摄角度调整为竖直方向，然后拍摄不同高度的蜡块漂浮于水面的稳定姿态. 最终利用角度测算工具，记录下所有高度/直径(H/b)取值不同的蜡块稳定漂浮于水面时所对应的倾斜角度，数据如表 1 所示.

表 1　H/b 取值不同的蜡块圆柱体的偏转角度和漂浮姿态

高度/直径(H/b)	0.9	1.0	1.06	1.1
倾角(θ)/(°)	0	0	0	7
漂浮姿态				
高度/直径(H/b)	1.12	1.16	1.2	1.24
倾角(θ)/(°)	8	14	15	90
漂浮姿态				

可以看到，在 H/b 值较小时(0.9、1.0 和 1.06)，圆柱形蜡块均能保持竖直漂浮姿态，倾角为 0；同时横躺姿态漂浮也是可以实现的. 随着 H/b 值继续增加(1.1、1.12、1.16、1.2)时，则需要逐渐增加倾角才能稳定漂浮，此时横躺姿态漂浮也是可以实现的. 其中当 H/b 值为 1.2 时，蜡烛漂浮于水面的倾斜姿态已经非常不稳定，只要受到微小扰动，就会立刻大角度翻转成水平状态，如图 7 所示；当 H/b 值为 1.24 时，不管以何种角度放入水中，只能呈现中心轴线平行于水面的横躺姿态.

长方体(或者圆柱体)浮体能否以例题中所示的竖直或者横躺姿态稳定漂浮于水面，需满足必要的力学条件，否则它们往往采用倾斜的方式浮

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

于水面. 所以,以上浮力习题(例 2～4)命题情境的真实性同样值得商榷. 在例 4 中,长方体木块同时以竖直和横躺两种方式稳定漂浮,需要满足比较严格的条件,[1]在以上实验中也得以验证. 唐建国也研究过浮力命题中长方体的稳定漂浮问题,[2]不过没有实验验证.

2 基于稳定漂浮理论解释现象

当物体的密度小于水时,它的一部分就会露出水面而漂浮,我们称之为浮体. 从力学角度来讲,当浮体稳定漂浮时,浮力与重力需要满足受力平衡,且应该同时满足微扰下的力矩稳定性判据.[3]假设浮体为旋转体,平衡时浮体与水面的切面称为浮面,浮面与旋转面的交线称为浮线. 假设圆柱漂浮体的密度分布是均匀的,所以其重力 G 的作用点 C(重心)位于几何中心. 物体的浮心是液体对与其接触的物体表面的浮力 F 的作用点 D,也就是所排开液体的重心位置. 对圆柱形漂浮体而言,若在初始状态浮体是受力平衡的,则浮心 D 在重心 C 的正下方. 很多人曾错误认为:浮心 D 在重心 C 的正下方时,浮体是不能稳定的. 另外,在浮体小角度倾转过程中浮面是不动的,我们可能会想当然地认为浮体是绕浮面内的某个轴转动,但实际情况也并非如此. 以上都导致此类问题的复杂性,定倾中心是解决此类问题中提出的重要概念.[3]

流体力学中指出,浮力的作用线与浮轴的交点 M 称为定倾中心,定倾中心 M 是浮体倾斜转动中旋转面与转轴的交点,或者理解为浮心运动轨迹的曲率中心,如图 8 所示. 浮体的重心 C 和浮心 D_0(浮力的作用点)所成直线 CD_0 称为浮轴,设浮轴所在直线与 y 轴平行,线段 $CD_0=a$. 当浮体受到轻微扰动时,在旋转面内绕 M 点转过微小角度 $\mathrm{d}\theta$,浮心也由 D_0 点转移至 D 点. 对某个平衡位置而言,定倾中心 M 与浮体重心 C 的高度差称为定倾高度 d,可以表达为 $d=I_z/V-a$.[2]其中 V 为排开的流体体积,I_z 为平衡时浮面对 z 轴的面积惯量

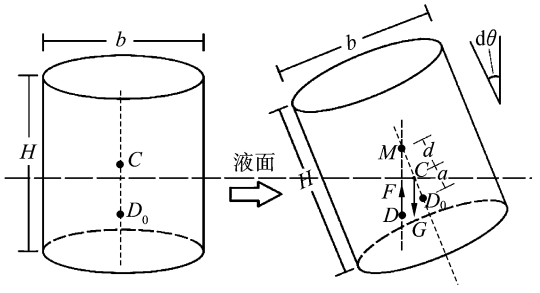


图 8　浮体倾斜转动示意图

矩($\mathrm{d}I_z=x^2\mathrm{d}A$,$\mathrm{d}A$ 为面元). 定倾高度是流体力学中研究浮体平衡和稳定的基础重要概念,在船舶和海洋平台设计中有广泛应用.[1]

重心 C 与定倾中心 M 之间的相对位置有 3 种可能:(1) 当重心 C 与定倾中心 M 重合,即定倾高度 $d=0$ 时,浮体能在任何位置保持平衡;(2) 当重心 C 位于定倾中心 M 之下,即 $d>0$ 时,重力 G 和浮力 F 就形成了一对恢复力矩,这时候浮体的平衡也是稳定的,如图 8 所示;(3) 但是当重心 C 位于定倾中心 M 之上,即 $d<0$ 时,浮力和重力形成了一对排斥力矩,此时浮体的平衡是不稳定的. 可见浮体是否能够稳定漂浮,取决于重心相对于定倾中心的位置,即定倾高度 d 的取值.

对于竖直漂浮的圆柱体而言,如果重心位于定倾中心的上方,竖直漂浮圆柱体会倾斜角度 θ,才能使得重心 C 位于定倾中心 M 之下,从而形成稳定平衡状态. 对于表 1 的实验结果定性分析可知:当竖直漂浮圆柱体高度较小时,若定倾高度 $d<0$ 但 $|d|$ 很小,只需较小的倾斜角 θ 就可使得重心 C 移至定倾中心 M 之下,使得 $d>0$,从而满足稳定平衡条件;但是随着圆柱体的高度增大,定倾高度 $d<0$ 且 $|d|$ 随之变大,则需较大的倾角 θ 才能满足稳定平衡条件. 对于青苹果和圆台而言,当它们“小头朝上”放进水中时,如图 9 所示,重心 C 较低,但是浮心 D 更低,从而往往使得定倾中心 M 处于重心 C 之下,导致定倾高度 $d<0$. 这属于不稳定平衡,它们将倾斜甚至翻转才能达到稳定平衡状态. 这就说明了为什么青苹果和圆台往往呈现“大头朝上”的漂浮状态.

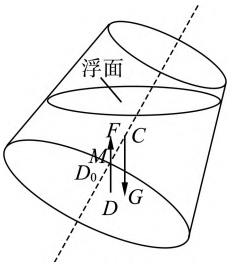


图 9　圆台状浮体“小头朝上”漂浮时受力示意图

关于浮体漂浮的稳定性,在生产生活实际中有广泛应用. 首先以简易密度计的制作为例,密度计模型对应的 H/b 值是比较大的,要想保持竖直姿态漂浮,就需要想法降低其重心以满足稳定性条件($d>0$).[4]再以海上拖航的设计为例,结构重心位置、吃水深度均对拖航稳定性有很大影响,[5]而吃水深度与结构的重心位置关系密切;重心过高在拖航中会发生后倾,重心过低则将发生前倾. 这些都与定倾高度 d 的取值密切相关.

(下转第 59 页)

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

知欲，反而会起到意想不到的教学效果.

3 反思与感悟

物理课堂开展项目式学习，一方面要落实生本课堂理念，让学生去观察、去思考、去探究、去发现.教师的任务是设置相应的问题情境，布置对应的任务，引导学生投入地完成每个任务，切实经历任务解决的全部过程，让学生积累任务解决的经验.另一方面，要强调反思，教师一定要组织反思活动，让学生“回头看”，让学生对具体问题的解决过程和方法更清晰，帮助学生丰富、优化任务解决的策略，提升任务解决的经验水平.

物理课堂开展和实施项目式学习，就是要充分信任学生，要以学生为本，要为学生提供“想”的时空、“做”的机会，让学生在主动地观察、思考、合作、尝试和发现中去解决问题、完成任务，同时感悟方法，积累活动经验，把所学的物理知识、物理技能和物理思想内化为物理素养，为其未来学习和发展提供持续动力.

项目式教学还需要教师用心研究教材和学生，亲手动手实验，深入思考，设计有价值的任务，来调动学生课堂内外的积极性，发挥其最大潜能.[5]从一定程度上讲，任务驱动下的初中物理生本课堂并不高效，教学过程也不会顺风顺水，它是一种慢学习，更是一种深度学习，但对学生的关键能力的培养有着不同凡响的作用，它理应成为初中学段的一种主流的教学方式.

参考文献：

1 蒋亦华，刘国艳. 评价与改进[M]. 南京：南京大学出版社，2022.

2 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022.

3 贲可敬. 单元视域下的任务型教学设计——以“欧姆定律复习”为例[J]. 物理教师，2022，43(2)：31－33，38.

4 姜小凤. 新课程下布白在化学教学中的应用浅析[J]. 宁波大学学报(教育科学版)，2011，33(3)：129－130.

5 向奎，王小涛，熊卫. 例说课堂教学中的提问策略——以“探究自由落体运动”教学为例[J]. 物理教学，2021，43(2)：32－35.

(收稿日期：2023－10－11)

(上接第55页)

3 重视引导学生解决真实问题

在《义务教育课程方案和课程标准(2022年版)》中明确指出“注重真实情境的创设，增强学生认识真实世界、解决真实问题的能力”，要引导学生“学会在真实情境中发现问题、解决问题”.关于什么是真实情境，郭学锐认为，[6]首先是真实经历或者实践过的情境，其次是那些经过精心设计、与真实世界高度相似的模拟情境.我们认为，所谓真实物理问题，既可以是现实情境也可以是模拟情境中的问题，应该强调解决问题过程的真实性，让学生经历真实的认知历程.但是，正如以上浮力习题的命题情境，模拟情境的创设不应该过于脱离生产生活中的实际现象.任少铎也有类似观点，[7]他认为，命题中脱离事实、随意捏造情境，可能导致违背科学事实的错误，这非常不利于彰显物理学科的严谨性，也不利于学生建构良好的知识体系和科学素养.我们认为，命题者想当然地创设情境，只是为了“学知识”而命题，这与目前倡导的“用真情境考查真素养”命题理念背道而驰，非常不利于引导学生从“解题”向“解决问题”的转变.

当然，我们并不是要求所有的命题情境都是命题者所亲身经历过的，这不现实也没有必要；在设置模拟情境时，命题者应当尽量避免命题“陷阱”，多用“假设”“适当条件下”等字眼.例如，例1中“圆台浮体的两种漂浮姿态同时出现”，以及例4中“长方体木块同时以直立和横躺两种方式稳定漂浮”这类情境，只有在较为严格的条件下才可能实现，必须谨慎采用.

4 结语

不同形状的浮体对应着不同的力学稳定性条件，例题中浮体以直立(或者横躺)姿态漂浮是需要满足一定力学条件的，否则往往以倾斜方式漂浮.教师在命题时务必要确保命题情境的真实性，让学生在真实情境中解决物理问题，培养其严谨的科学态度.

参考文献：

1 尤明庆.圆柱浮体的平衡姿态及其稳定性[J].力学与实践，2018，40(6)：676－682.

2 唐建国.浅议试题命制中浮体平衡的稳定性问题[J].物理通报，2020(10)：29－30.

3 谢建华.关于浮体的平衡与稳定性[J].力学与实践，2010，32(5)：77－80.

4 唐建国.浅谈自制简易密度计的竖直漂浮的稳定性问题[J].物理教师，2023，44(1)：70－71.

5 刘博，裴爱国.桶型基础气浮拖航特性综述[J].南方能源建设，2020，7(2)：81－90.

6 郭学锐.对“真实情境”的概念理解、特征分析与路径创设[J].中国基础教育，2023(6)：72－75.

7 任少铎.物理试题不应脱离实际命题——对几道2021年中考题的商榷[J].物理通报，2023(7)：139－141.

(收稿日期：2023－07－23)

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