

实验 DIY 难点巧突破^{*}

——以真空罩实验的创新设计为例

田 川 (重庆市第八中学 重庆 400030)

摘 要 在教学过程中通过实验帮助学生认识概念、建构规律、形成物理观念,培养学生解决问题的能力,发展学生的素养是实验教学的核心。此文阐述了通过创新设置的真空罩实验,巧妙地突破教学难点的 4 个案例,供大家参考。

关键词 真空实验 实验改进 核心素养

文章编号 1002-0748(2020)1-0030

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 真空罩实验的常规设计

现行的实验教学中,通过将真空罩内抽真空后构建真空环境,演示学生平时难以看到的诸多现象,帮助学生实现概念、规律的构建。比如真空不能传声、气球膨胀、真空下覆杯实验总是失败^[1]、水在常温下沸腾(如图 1 所示)等演示实验。



图 1

此文在以往常规实验的基础上,对真空罩实验展开进一步思考,设计以下 4 个创新实验的案例,供大家参考。

2 真空罩实验的创新设计

案例 1 两个表面削净的铅块紧压在一起,然后竖直提起上面的铅块,只见下面的铅块没有掉落,甚至在其下方挂一个小钩码,铅块还是不掉落,传统教学便由此直接给出“分子引力”的概念。

实际上,传统教学中忽视了学生的“原始认知”,笔者调研发现,很多学生在看到“铅块不掉落”的实验时的第一反应是:“该现象是‘大气压’导致的”。因此,对传统实验进行改进是非常有必要的。要使学生顺利建构“分子引力”的概念,必须创设否定大气压的对比实验,实现新课教学的“破旧”与“立新”。

设计如图 2 所示的实验,就可以巧妙地解决以上疑难。通过抽真空的对比实验,会发现塑料皮碗

总会在抽气过程中掉落(多次实验发现从抽气到皮碗掉落需要 45 s 左右,因此建议对该实验耐心等待),在抽气过程中,塑料皮碗掉落,而另一边的铅块依然未落,如图 3 所示。由此看来,铅块不落,不能用大气压来解释,因此必须考虑一种“新”的相互作用,从而引出分子引力的概念。

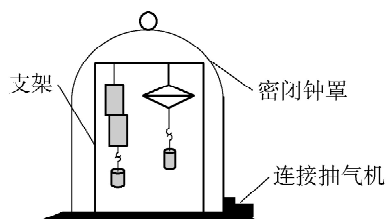
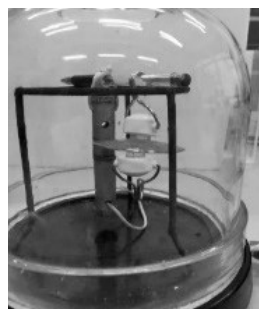


图 2



(a) 抽气前



(b) 抽气后

图 3

案例 2 将一小团脱脂棉塞入管中,安装好活塞后,迅速下压,可见棉花被点燃。这是演示“压缩气体(绝热),对该气体做功,其内能会升高”的典型实验。与之相对应的逆实验“膨胀气体(绝热)对外

^{*} 基金项目:本文是重庆市普通高中教育教学改革研究课题“基于物理学科核心素养的教学实践研究”(课题批准号:2019CQJWZ3037);和重庆市教育科学“十三五”规划课题“基于科学思维的教学策略研究”(课题批准号:2019-07-639);以及重庆市教育科学“十三五”规划重点课题“新课程背景下中学物理教师核心素养的养成研究”(课题批准号:2018-07-057)阶段性研究成果。

做功,该气体的内能会降低”的演示效果则很差。

首先,活塞冲出的过程过于短暂,学生还没回过神来,实验就已经结束了。

其次,学生需要观察活塞被冲出的瞬间,瓶口形成的小液滴,实际上此实验现象的可视性很差。

不少教师对此展开过思考,提出过改进,从实验效果上看通过 DIS 数字温度传感器的相关改进方案,很有价值,即在密闭的实验瓶中插入温度传感器的探棒(灵敏度高,可探测温度的瞬间降低),将观察小液滴转变为观察电脑显示屏上的温度骤降^[2]。然而成套的 DIS 数字传感器不是每所学校都会有,就算有,套数也不多。因此在实际的班级授课中,该方案受制于仪器设备的装配条件,在推广上将会受到一定的限制。

基于此,笔者提出改进方案:

如果说将活塞压下去气温升高,那么将活塞拉起来,气温会下降吗?改进方案旨在向学生演示将活塞拉起来,气温会下降。如图 4 所示,将活塞上提后的 A 区域看做真空罩内剩余的气体,B 区域看做被抽走的气体,通过抽气来模拟气体的膨胀(气体膨胀为原来的五倍可以等效为气体稀薄成原来的五分之一),观察在抽气过程中,罩内温度的变化。

将一根普通的电子温度计放入真空罩中,如图 5 所示,抽气前温度为 26.9℃,抽气约 15 秒后温度降至 24.9℃。以此说明“膨胀气体(绝热)对外做功,该气体的温度会降低”,为了增强实验的可视性,可以用摄像头将这个电子温度计的示数投影出来。

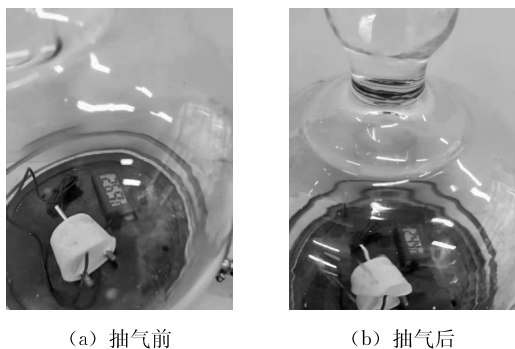


图 5

案例 3 空气有质量吗? 如何帮助学生获得“空气有质量”的认知呢?

该问题也可以通过抽真空的实验得到解决,从而帮助学生构建相关规律。如图 6 所示,将一台灵

敏度为 0.05 g 的电子秤按“去皮”使其归零,接着缓慢地将真空罩放到电子秤上,待读数稳定后,读取示数为 2 015.50 g,然后开始抽气,可见电子秤的示数在逐渐减小,待其示数几乎不再减小时,读取示数为 2 011.10 g,由此,学生可以形象具体地认识到“空气也有质量”。

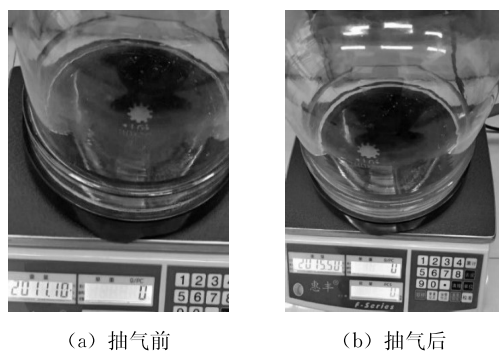


图 6

另外,此实验还可以估测空气的密度。可以近似地认为真空罩内的空气质量为 4.4 g,将真空罩内的尺寸与 5 L 桶装纯净水进行比拟,可以估计玻璃罩的容积约为 5 L,因此可以快速估算出空气的密度在 1 g/L 左右。

如果用量筒分批地往倒置的真空罩内倒水,当罩内被水装满时,算出倒入水的体积的总和,就可以更加精确地测出罩子的容积,这样可以设计出一个测量空气密度的新实验。如进一步地利用手机内置的气压传感器 APP^[3],还可以测出抽真空后的残余稀薄气体对应的气压,根据 $pV = nRT$ 中的 n (视为等温变化),得出残余气体的质量占抽气前的气体质量的百分比,进而修正实验结果,这样便可以获得更加精确的测量结果。

案例 4 学生在初学托里拆利实验时,很容易将托里拆利实验与图 7 所示的实验混淆。因此,当问及将图 7 中的装置带到海拔更高的地方,管内的液柱高度 h 会变_____ (选填“高”或“低”)时,多数学生会毫不犹豫地填“低”。笔者发现初次作答此题的学生的正确率往往不到 10%,常规的、直接的理论分析的讲评只是让学生机械地记住了结果,内心的认知冲突并未得到有效的化解。

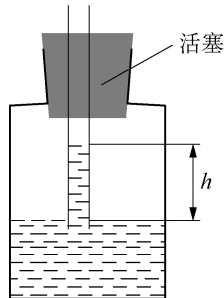


图 7

(下转第 29 页)

到了电路中电阻不能为零,闭合回路中产生的热量与电阻的大小无关,电容器充电时闭合回路并没有向外辐射电磁波这三个貌似不可思议的结论。其实,这是可以从似稳电路和电磁波的发射来解释的,电磁学中指出:“当电源的频率比较低,电磁波的波长远大于电路尺寸时,电磁场的变化传布整个电路所需的时间远小于一个周期,在此短暂的期间,电流、电荷、电磁场的分布都未来得及发生显著变化。这类电路叫做似稳电路,保证电路似稳的基本条件是: $T \gg \frac{\lambda}{c}$ 。”^[3] 研究充电电流表达式 $i = I_m e^{-\frac{t}{\tau}}$ 可知:当 $t = \tau$ 时, $i_1 = 0.368 I_m$; 当 $t = 4\tau$ 时, $i_2 = 0.0183 I_m$; 当 $t = 6\tau$ 时, $i_3 = 0.002 I_m$, 这时,闭合回路中的电流基本可以当做零了。为了说明问题,我们取这样一组数据来进行估算,金属棒质量 $m = 1 \text{ kg}$, 电容器电容 $C = 1 \mu\text{F}$, 闭合回路电阻 $r = 10 \Omega$, 磁感应强度 $B = 1 \text{ T}$, 导轨间距 $L = 10 \text{ cm}$, 代入⑬式则有时间常数 $\tau = \frac{Cmr}{m + B^2 L^2 C} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$ 。显然,此题中电流变化的时间远大于电磁场的变化传布整个电路所需的时间,满足电路似稳的基本条件 $T \gg \frac{\lambda}{c}$, 也就是说,对此题而言,我们是可以将这个充电闭合回路看做是似稳电路的。这样的话,在所讨论的充电过程中,我们就可以认为电容器中电场的变化是足够缓慢的,电路中并没有形成电磁波,金属棒减少的动能转化为闭合电路电阻上的内能和电容器

中所储藏的电场能。如果我们只是简单地认为,只要电容器中的电场发生非均匀的变化,电容器就一定向外辐射电磁波,这就大错特错了。其实,要想有效地发射电磁波,振荡电路必须具有如下特点:第一,要有足够高的振荡频率;第二,振荡电路的电场和磁场必须分散到尽可能大的空间,这样才能把能量有效地发射出去。而此题中的电路并不符合这一条件,这也从另一方面说明了题中所给充电过程中闭合回路并没有向外辐射电磁波。此外,电容器作为理想化的集中元件,电场全部集中在很小的范围内,电路又是一个似稳电路,这样对闭合回路应用基尔霍夫电压定律分析就毫无问题了。

4 结论

通过上面的分析,我们可以看出,从命题的角度来说,这个题目的严密性是有所欠缺的,但如果将题中所给的金属框架、金属棒及导线的电阻均忽略不计这个叙述舍去,同时将不计电路向外辐射能量这个叙述改为电路并不向外辐射能量,那么,这个题目仍不失为一个好题,在高三复习时还是可以采用的,自然而然地,甲同学的求解就合情合理了。

参考文献

- [1] 李瀚荪. 电路分析基础(中)[M]. 北京:高等教育出版社,1992.
- [2] 普通高中课程标准实验教科书编写组. 物理选修3-4[M]. 北京:人民教育出版社,2006.
- [3] 赵凯华. 电磁学·下册[M]. 北京:高等教育出版社,1993.

(上接第31页)

将图7所示的装置放入真空罩内,通过抽气降压来模拟高海拔处的低气压。实验显示,管内液柱将迅速变高。为了避免抽气过程中水从管中喷出后飞溅到底盘,可以用导管引流,烧杯盛接,如图8所示。



图8

通过设计抽气实验可以有效地、直观地让学生认识到图7所示实验与托里拆利实验的区别,从而引起学生的求知欲,引导学生生成学习动机,激发学生内在的、主动地进行理论分析的行为和意识,促使学生通过自主分析,获得解释自然现象的成就感。

3 结束语

演示实验中那些原理越简单、操作越方便、现象越直观的实验,学生越容易接受。因此演示实验就

应该本着最简单的原理、最方便的操作、最直观的现象的“三最原则”进行设计。物理教师不仅需要熟练使用各种成套的演示仪器,还可以根据教学的需要灵活多变地对实验进行创新设计,从演示原理、器材、方法、内容、手段等方面展开创新,让物理实验成为物理课上一道亮丽的风景线;不拘泥于教材,深度思考,先行先试,勇于创新,让物理课魅力四射,让学生永远怀念我们的物理课堂^[4]。

参考文献

- [1] 费志明,陈懋. 初中物理教学中学生证据意识的培养[J]. 物理教学,2019(8):47—49.
- [2] 陈涛,刘全民,刘东利. “做功改变物体内能”改进实验[J]. 中学物理,2019(06):30—32.
- [3] 田川. 关于手机传感器APP的利用——以沸点与气压的定量关系为例[J]. 物理通报,2019(04):94—96.
- [4] 张飞翔. 高中物理演示实验创新的几点思考[J]. 物理教学,2013(11):21—23.