

物理实验



注射器在与真空度相关实验中的应用及原理分析*

杨万琴 马静 张轶炳

(宁夏大学物理与电子电气工程学院 宁夏 银川 750021)

(收稿日期:2017-03-07)

摘要:注射器是由一个空气室和一个活塞构成的设备,我们利用注射器对初中物理课本中的两个气体相关实验进行改进.在“验证真空不能传声”实验中,用气体体积的变化替代气体压强计的功能,使得真空罩内部真空度的变化可直接观测;在“验证大气压与沸点的关系”实验中,将注射器和广口瓶组合,通过拉伸活塞改变广口瓶内部大气压,从而降低瓶内水的沸点.

关键词:注射器 真空度 大气压强 声音 沸点

1 引言

实验教学是物理教学的重要组成部分,是落实物理课程目标,全面提高学生科学素养的重要途径^[1].其中,实验仪器改进是开发实验教学资源的有效方法之一.注射器在生活中很常见,主要是由一个空气室和一个活塞构成,这样一个简单的设备用到物理实验教学中有着意想不到的效果.笔者巧妙应用注射器将“验证真空不能传声”和“验证大气压与沸点的关系”这两个初中气体相关实验进行改进,启发初中物理教师要学会利用手头的物品对课本中实验仪器进行再设计,使得实验装置更加便捷,实验现象更加明显.

2 巧用注射器测量真空罩内的真空度

真空,即在给定的空间内低于一个大气压的气体状态,是一种物理现象,绝对的真空状态指一定空间内的物质被完全排除,没有空气及其他物质存在^[2].由于没有介质,声音在绝对真空中状态下无法传递,人教版初中物理课本中用真空泵、真空罩、闹钟和泡沫塑料块组合验证“真空不能传声”^[3].

如图1所示,在真空罩底盘放置一个塑料泡沫

块,将闹钟开关打开,放置到塑料块上,然后用真空泵抽取真空罩内部气体,同时听闹钟声音的变化情况.



图1 人教版物理教材实验装置图

经实际操作发现,课本中的实验存在一些不足:

- (1) 闹钟声音会通过塑料泡沫块传出,影响实验结论.
- (2) 实验装置没有配套的气压表,无法通过真空罩内部气压来判断其真空度的变化.
- (3) 真空泵在工作过程中噪音太大,覆盖了闹钟的声音,因此无法通过闹钟的声音变化来判断真空罩内的真空度.
- (4) 若实验过程中是抽气时间太短,真空罩空气密度没有达到最小,会影响实验效果.若是抽气时间太长,则会耽误学生有效学习时间,影响课程进度.

* 宁夏高等学院研究项目,项目编号:NGY2016077;宁夏大学研究生创新项目,项目编号:GIP201602

作者简介:马静(1992-),女,在读硕士研究生,主要研究方向:中学物理教学.

通讯作者:张轶炳(1964-),女,硕士,教授,主要研究方向:物理教育.

(5) 真空泵若连续工作太长时间会发热.

2.1 用注射器测量真空罩内的真空度实验过程

为使以上问题得以解决,笔者将实验装置进行如下改进,实验装置如图2所示.实验仪器主要有真空罩、真空泵、橡皮筋、挂钩、蜂鸣器、声音传感器.

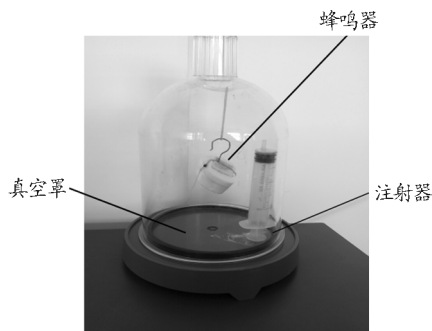


图2 改进后的实验装置图

改进方法:

(1) 用一个小型蜂鸣器代替闹钟,并将其悬挂到真空罩内部,可以减少蜂鸣器与真空罩的接触面积,减弱固体传声对实验的影响.

(2) 将一个20 ml的注射器抽拉到2 ml刻度处,用打火机烧注射孔使之完全密封,再将其固定在真空罩内部,实验过程中就可以通过注射器刻度的

变化来判断真空罩内的真空度.

(3) 利用声音传感器对蜂鸣器声音的变化波形进行记录,可以直接观测到实验过程中蜂鸣器声音的变化情况.

实验步骤:

(1) 第一次试验.首先按照图2方法对实验仪器进行组装;打开抽气泵和真空罩的开关,并开始计时;待注射器刻度不再变化时,关闭真空罩开关,同时停止计时.第一次实验主要判断注射器刻度的变化范围和实验所用时间,实验结果如表1所示.

表1 第一次实验数据记录表

	注射器刻度 / ml	抽气时间 / s
初始状态	2	0
末状态	19	50

通过实验得出,50 s后注射器活塞停止变化,整个过程中注射器的伸长量为17 ml.

(2) 第二次实验.每30 s停止抽气一次,观察注射器刻度的变化,同时用传感器记录蜂鸣器声音的波形,实验结果如表2所示.

表2 第二次实验数据及波形记录表

抽气时间 / s	0	10	20
注射器刻度 / mL	2.0	7.5	13.5
声音波形图			
抽气时间 / s	30	40	50
注射器刻度 / mL	16.0	18.0	19.0
声音波形图			

实验结论:

(1) 将实验过程中的波形图进行对比,可以发现0~40 s声波的振幅在不断减小,说明声音的响度随着真空罩内真空度的增大而减小.由此可以推

理,当真空罩内部达到绝对真空,则不会有声音传出,即:真空不能传声.

(2) 第40 s和50 s,波形图几乎不再变化,但注射器刻度依然在增加.主要原因是蜂鸣器声音太微

弱,与外界其他声音相互混淆,传感器无法识别到蜂鸣器发出的声音.由此可以看出,在实验过程中即使我们听不清楚声音,但是真空罩内还可能有气体存在,所以该实验是一个近似实验.

2.2 用注射器测量真空度的实验原理

整个装置可以分为注射器和真空罩两部分.假设注射器内部气体为系统1,其内部气体的体积为 V_1 ,空气的质量为 m_1 ,压强为 p_1 ;真空罩内气体为系统2,空气的体积为 V_2 ,质量为 m_2 ,压强为 p_2 .

由于活塞的作用,注射器内部压强与真空罩内部压强始终保持相等,即

$$p_1 = p_2 \quad (6)$$

根据理想气体状态方程可以得出

$$p_1 = \frac{m_1 RT}{M V_1} \quad (7)$$

$$p_2 = \frac{m_2 RT}{M V_2} \quad (8)$$

联立(6)、(7)、(8)式可以得出

$$p_2 V_1 = \frac{m_1 RT}{M} \quad (9)$$

由于注射器与外界不能进行物质交换,所以 m_1 始终保持不变,所以等式的右边为一个常量,即

$$p_2 V_1 = \text{常量} \quad (10)$$

该实验中 p_2 是影响真空罩内部真空度的直接因素,但是在原始实验装置中不可观测.改进后的实验装置实现了用 V_1 的变化来直观反映 p_2 的变化,从而实现真空罩内部的真空度可观测.

2.3 实验仪器改进后的优点

(1)改进后的实验仪器装置内部的真空度可测量.能够确定抽气多长时间真空内部空气密度不再变化.

(2)该方法能够帮助教师筛选实验仪器,教师可将同一注射器放入不同的真空罩中,通过观察注射器刻度的变化来筛选出密封性较好的真空罩.

3 巧用注射器验证水的沸点与大气压的关系

沸腾是在一定温度下液体内部和表面同时发生的剧烈汽化现象^[2],沸点则是液体沸腾时的温度,大气压是液体沸点的主要影响因素之一.生活中沸点与大气压的例子很多,比如,蒸汽锅炉里的蒸汽压强约有几十个大气压,锅炉里的水的沸点可在200℃以上;在高山煮饭,水易沸腾,但饭不易熟等.

中学物理课本中“沸点与压强的关系”是一个小知识点,一般情况下教师在教学过程会直接告诉学生结论.部分教师为加深学生的理解,会用真空罩、真空泵、烧杯和热水组合完成实验.然而,这些实验仪器比较笨重,操作比较繁琐,需要占用的课堂时间较多,实验装置组装和操作很复杂,在操作过程中,水剧烈沸腾时会溅到真空罩内,还需清理实验仪器.其次,在部分中学,实验室没有抽真空实验仪器,仪器放置太久密封性不好,无法成功地观察到实验现象.

3.1 用注射器验证水的沸点与大气压的关系的实验过程

为了使实验仪器更加轻巧,实验操作更加简单,笔者对实验装置进行如图7所示的改进.

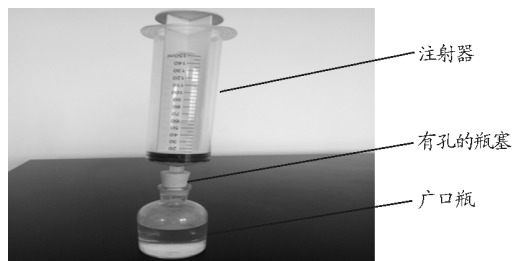


图7 改进后的实验装置图

主要实验仪器有广口瓶、注射器、有孔的瓶塞、70℃左右的温水.实验仪器组装方法如图7所示,向广口瓶中加入温水,用橡胶塞塞住瓶口,然后将注射器插入橡胶塞中,此时当抽拉注射器,会观察到70℃的温水开始沸腾.

3.2 用注射器验证水的沸点与大气压的关系的实验原理分析

生活中我们会发现水被加热时,其容器内会有很多小气泡出现.这些气泡内含有好多空气和水的饱和蒸汽,泡内压强即为空气压强 p_a 和水的饱和蒸汽压 p_s 之和,气泡外是水内部的静压强 $p + \rho gh$,一般情况下水的压强可以忽略,所以气泡外界压强可以看成 p ,这样气泡内外压强的平衡只考虑泡内总压强 $p_a + p_s$ 与外界压强 p 的关系,假如在某一温度下,小气泡已经达到两相平衡^[2]

$$p_a + p_s = p \quad (10)$$

如果继续增加水的温度,泡内压强就会等于外界压强,此时平衡彻底被打破,大量气泡迅速膨胀.并在浮力作用下迅速上升,到达液面时破裂,发出里面的饱和蒸汽,该过程就是沸腾.水的沸点随着大气

压的增大而不断增大,一般情况下外界压强 p 与水的沸点满足如图 8 所示的关系^[4].

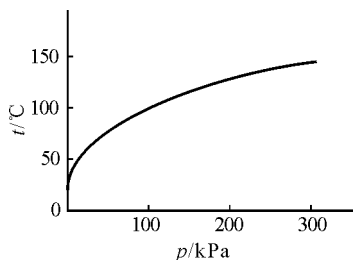


图 8 水的沸点与压强关系图

在标准大气压下,水的沸点为 100°C . 在该实验中,笔者通过抽拉注射器,使得广口瓶内部的大气压强 p 减小,液体内部压强 $p_a + p_s$ 与大气压强 p 提前达到两相平衡,在温度没有达到 100°C 时,水便开始沸腾.

3.3 改进后的优点

改进后实验仪器操作简单,实验现象明显,能够节省课堂时间,同时还易于携带. 相比于真空泵和真空罩,注射器价格便宜,取材便捷.

4 结语

初中物理课程不仅应注重科学知识的传授和技能的训练,而且应注重对学生的学习兴趣、探究能力、创新意识以及科学态度、科学精神的培养. 本篇文章中,笔者利用简单的注射器对物理教学实验进行改进,不仅使得实验操作更加便捷,实验现象更加明显,而且将物理实验仪器生活化,启发学生“从生活走进物理,从物理走向社会”,用发现的眼光看待周围的事物.

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(2011版). 北京:北京师范大学出版社,2011
- 2 黄淑清,聂宜如. 热学教程(第3版). 北京:高等教育出版社,2008. 245 ~ 246
- 3 物理课程教材研究开发中心. 义务教育教科书物理八年级上册. 北京:人民教育出版社,2014. 28 ~ 29
- 4 物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准试验教科书物理选修3-3. 北京:人民教育出版社,2014. 35 ~ 36

(上接第 76 页)

比实际值大,会得出机械能增加的结论,因为系统受摩擦阻力的影响,系统机械能应该减小,所以各点的瞬时速度应从纸带上直接测量的数据计算而得. 同样的道理,重物下落的高度 h ,也只能用刻度尺直接测量,而不能用 $h_n = \frac{1}{2}g\Delta t^2$ 或 $h_n = \frac{v_n^2}{2g}$ 计算得到.

(2) 在验证机械能守恒定律实验中,要求选取第 1 点和第 2 点间距离接近 2 mm 的纸带进行测量,为什么呢? 打点计时器每隔 0.02 s 打一次点,自由落体运动在最初 0.02 s 内下落的距离为

$$\frac{1}{2} \times 9.80 \times 0.02 \times 0.02\text{ m} = 0.00196\text{ m} \approx 2\text{ mm}$$

所以,纸带的运动越接近自由落体,纸带第 1 和第 2 两点间的距离就接近 2 mm ,意味着纸带是在打第 1 个点的瞬间开始下落. 利用打点计时器在纸带上打点时都应遵守的一个步骤是:先接通电源,后放开纸带. 即在接通电源和放开纸带之间有一段时间间隔,而打点计时器每 0.02 s 振针压打复写纸一次,因此在先接通电源与后放开纸带之间的一段时间内打点计时器在纸带上已打了许多次点,但这些点是重合在一起的,即所谓的第 1 点. 注意到上述这个现

象,也就可知在放开纸带瞬间打点计时器的振针并不一定处在复写纸上.

(3) 根据题中提供的条件,因为纸带在下落过程中受到阻力作用,重锤实际下落的加速度应当比重力加速度要小,即 $a < g$.

(4) 要求学生注重有效数字的保留,这也是学科素养的体现.

综上所述,引题中出现问题的关键是出题教师在编写题目的时候没有尊重实验事实,随意编写的实验数据,导致学生误用 $v_n = g\Delta t$ 来计算,算出 $g = 9.7\text{ m/s}^2$,一看这个结果和实际重力加速度的值很接近,就认为自己的答案是正确的了. 这一次课堂上的小插曲,教师让学生经过激烈的讨论,让学生深深地意识到实验的科学性,实验的数据更不能随意臆造,否则会弄出笑话的. 这次教训还启示我们教师出题的时候更要注意科学性. 科学面前人人平等,有错就改就是尊重科学,就是热爱科学.

随后笔者在网络上继续搜寻了一些试题,结果发现了很多这类题目都犯了例题 1 同样的错误. 所以在选题时,教师要认真,命题者更要认真,“千教万教教学生求真”,如果我们为师者都不能尊重科学,我们还怎么能教学生呢?