

物理实验



## 核心素养视域下“探究音调的影响因素”教学研究\*

张旺 汪志荣

(安徽师范大学物理与电子信息学院 安徽 芜湖 241000)

(收稿日期:2020-08-16)

**摘要:**根据中国古代传统乐器编钟的形制和发声原理,自制一种音调探究仪,并运用DIS实验进行科学探究的教学活动设计,发挥信息技术的实验数据采集和可视化功能,让学生获得具体定量的探究活动体验,激发学生探究兴趣,研究音调的影响因素,培养科学思维和实验探究能力,同时,让学生认识编钟的声学机理和中国古代声乐文化。

**关键词:**DISlab 音调 自制“编钟” 探究教学

《义务教育物理课程标准(2011年版)》规定“课程内容包括两大组成部分,即科学探究和科学内容”<sup>[1]</sup>.科学探究既是重要的课程内容,又是主要的教学方式,应受到物理教师足够的重视.科学探究教学是培养学生物理学科核心素养的重要途径,研究物理核心素养导向的教学是体现物理课程价值的必由之路<sup>[2]</sup>.

探究影响音调的因素是认识声音特性的教学重点和难点.在传统课堂教学中,通常采用拨动尺子,让学生听声音,观察尺子振动.这种教学方法虽然易于操作,灵活性很强,但尺子振动很快且振幅迅速衰减,也难以观察其振动周期和频率等特性<sup>[3]</sup>;同时,由于实验过于简单,只能大致得出定性的结论,不仅难以达成探究教学的综合目标,也很难激发学生的探究兴趣.鉴于此,通过仿制中国古代传统乐器编钟,自制一组由合金管组成的探究影响音调因素的乐器“编钟”,探讨在核心素养视域下探究音调的影响因素教学活动。

## 1 自制教具及实验原理

编钟是中国古代大型传统乐器.中国青铜乐钟是以瓦片对合状腔体结构为主要特征、有固定音高、可以演奏旋律的青铜钟类乐器,通常分为三大钟型:甬钟、纽钟和镛<sup>[4]</sup>.编钟是由青铜铸成的大小不同的

扁圆钟组成,这些扁圆钟按照音调高低的次序依次排列起来,悬挂在一个巨大钟架上,用木锤分别敲打编钟会发出不同音调的声音,按照乐谱敲打,可以演奏出美妙的音乐。

用编钟演奏时,由于钟体的形状和大小不同,敲击不同的编钟,发声相异,其钟体越小,音调越高,音量越小;钟体越大,音调越低,音量越大。

为了激发学生的学习兴趣,积极参与课堂探究,同时也为提高实验的直观性和准确性,基于编钟的形制和发声原理,设计并制作了一组探究音调高低性质的合金管“编钟”乐器,可称之为音调探究仪,如图1所示。

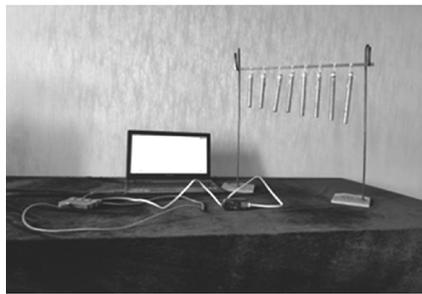


图1 音调探究仪实验组合

该演示仪主要由8根长短不一的合金管构成.这组合金管内外径分别为1.35 cm和1.59 cm,测出它们的长度,并且根据长度进行编号依次为1~8号.用细绳分别将它们按照由短到长的顺序依次竖

\* 安徽省高等学校省级质量工程/精品线下开放课程项目“中学物理实验设计与实施”,项目编号:2018kfk079;安徽师范大学博士启动金项目课题“科学史与物理课程融合的理论及实践研究”,项目编号:2017XJJ26

作者简介:张旺(1997-),男,在读硕士研究生.

通讯作者:汪志荣(1975-),男,副教授,主要从事物理课程与教学论研究.

直的吊在一组木架上,用小木棍敲击不同的管子,会发出不同的声音,音调的变化能够很清楚地辨别出来,依次敲击发声,能产生八度音,形成一个完整的

声音倍频单位,如表1所示.音调探究仪取材于生活中常见物品合金管,结构简单,而且具有很强的可操作性.

表1 合金管长度、振动频率及其对应的八度音名称

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
长度/cm	14.70	15.00	16.00	16.90	18.10	18.60	19.60	20.70
振动频率/Hz	4 227	3 924	3 508	3 197	2 801	2 653	2 358	2 125
对应八度音	do	xi	la	sol	fa	mi	re	do

利用DIS系统开展探究活动,可以更好地将实验现象转化为物理图像,在电脑显示屏上直观地看到声音的波形,可以比较不同音调的声音,其声源振动频率的差异性<sup>[3]</sup>.并且运用DIS实验系统开展实验,使得实验数据采集更加方便,数据分析结果能够可视化.只要将声波传感器和数据采集器与计算机相连接,如图1所示,即可用于显示出声波的波形图和频率值.

将音调探究仪放置在水平桌面上,敲击不同的管子,会发出不同音调的声音,此时声波传感器将采集发声体的声音信息,经与电脑端相连接的数据采集器传送,在电脑显示屏上会直接显示出声波的波形图和频率值,如图2所示.其中,波形图的纵坐标表示振幅,横坐标表示时间,由于频率与周期成反比关系,所以波形图的疏密程度反映了声音的频率大小,波形越密,频率越大,波形越疏,频率越小.

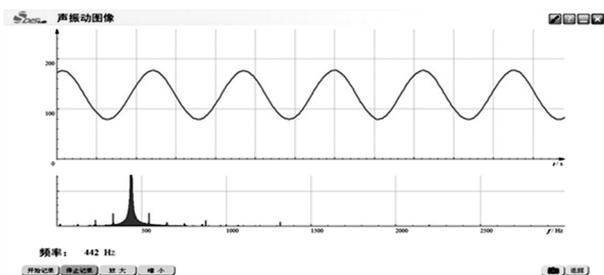


图2 计算机显示声波波形图

## 2 自制教具在音调探究活动中的应用

运用这套音调探究仪和DIS实验系统的组合,可以定性和定量探究音调与频率的关系.

### 2.1 定性探究实验设计

定性探究合金管的长度对于声音的音调及其振动频率的影响,可以分别敲击1号和8号管子,即最短和最长的管子,首先引导学生仔细听两组声音,辨别二者发声的音调有何差异,然后在体会两组声音的音调高低有别的基础上,判断敲击哪根管子发出

声音的音调更高.

结合DIS实验装置进行实验,需要利用两只声波传感器采集发声空气的振动频率,通过观察计算机显示屏上的声音波形图,对比分析两只合金管引起发声空气的振动频率.如图3所示,两列波分别表示1号和8号管子的声波图.

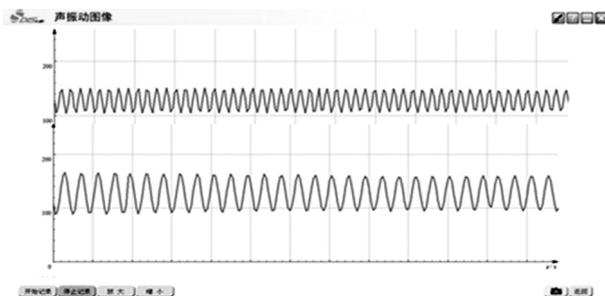


图3 波形图比较

教师运用DIS实验装置开展定性实验,主要引导学生辨别1号和8号管子发出的声音,谁的音调高?同时,通过观察两列波形图,哪个频率高一些?

实验表明,1号管子比8号管子发出声音的音调要高.通过分析DISlab显示的实验数据可知,敲击1号管子形成的波形图明显比8号管子的密,也就是说1号管子发出声音的频率比8号管子要高.

由此初步得出结论:两根管子振动发声时,音调与振动频率有关,较短的管子发声的音调更高,频率也高一些.

### 2.2 定量探究实验设计

学生通过“听”和“看”进行定性的对比实验探究,能初步得出音调与频率的关系,但该结论还不具有精确性和普遍性,因此还要进一步深入探究音调与频率的定量关系,检验该结论正确与否.

#### 活动1:设计方案和实施探究

音调探究仪共有8根管子,可以选用8根合金管进行定量实验探究.首先测量每根合金管的长度,依次辨别和记录各自发声的音调特征,然后开启

DIS实验装置,利用两只声波传感器依次采集这些合金管振动发声的频率,最后分析实验数据,得出结

论.为了体现实验数据的可靠性,可以先后开展多组实验.表2记录了3组实验测量结果.

表2 合金管长度和振动频率及发声的音调特征

编号	合金管长度/cm	第一组频率/Hz	第二组频率/Hz	第三组频率/Hz	音调变化
1	14.70	4 228	4 227	4 228	由高到低
2	15.00	3 919	3 921	3 921	
3	16.00	3 509	3 508	3 511	
4	16.90	3 199	3 197	3 198	
5	18.10	2 803	2 801	2 803	
6	18.60	2 635	2 635	2 635	
7	19.60	2 358	2 358	2 358	
8	20.70	2 123	2 125	2 122	

### 活动2:科学观察和数据分析

首先感受8根合金管发声的音调,寻找音调与合金管长度的关系特征,同时,记录8根合金管发声时空气振动频率数据,然后分析合金管发声音调与管长、振动频率之间的关系特征.

### 活动3:基于实验现象和证据分析,总结结论

**总结实验结论:**3组实验都表明,从短到长依次敲击合金管,发声的频率越来越低,并且声音的音调也越来越低,进一步验证了在初步探究中所得出的结论是正确的.

### 活动4:对实验结论进行科学解释

关于音调决定于声源的振动频率,应从发声的物理机制进行解释,阐明物理原理.声音是由物体振动而产生的,敲击合金管,管子自身振动发声并带动管内外空气振动发声.由于八根管子的长度不同,质量不同,质量小的相对于质量大的振动得更快,即频率更高,因此带动管外空气振动传播这种声音;需要注意的是,管子是空心的,空心部分有空气振动,但由于空气流速低,所以管内空气振动发声对听觉影响小.

另外,实验时很难保证每次敲击合金管的力相同,外在实验条件变化是否影响实验结果,也应予以解释.很显然,用力大小决定声音的响度,学生通过之前学习,已经理解“响度”的概念,声源振幅主要决定声音响度,即在波形图上的体现是纵坐标的高低.如果敲管子所用的力大一些,那么听到的声音的响度会大一些,即波形图会“高”一些,反之,波形图则会“低”一些.音调与响度是声音的两个不同的性质,所以用力大小不会影响实验结果.

通过本次实验探究,进一步得出结论:声音的音

调与发声体振动的频率有关,频率越大,音调越高;频率越小,音调越低.

### 2.3 开展中国古典声乐文化教育

中国是礼仪之邦,古代国家庆典、大型宗庙祭祀、宴请贵宾时,常用乐器编钟演奏.编钟是古代大型打击乐器,其声音洪亮、形态雄浑、坚固耐用,正因为如此,历朝历代都把编钟尊为宫廷乐器之首.据史料记载,早在商朝就有了青铜编钟,如图4所示,1978年出土的曾侯乙编钟,是人类青铜时代最伟大的艺术作品,也是有史以来音乐考古学上罕见的重大发现,它一时被国际学人誉为“世界第八大奇迹”,全套编钟由多达65件单体青铜乐钟组成,有着三层八组的宏大构造,总用铜量达4 421.48 kg<sup>[5]</sup>.

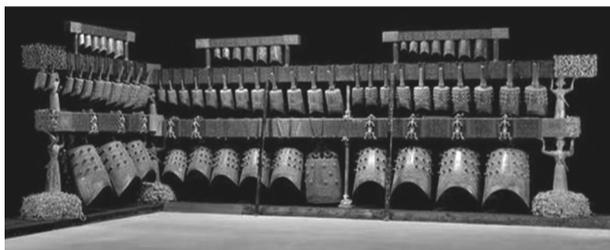


图4 曾侯乙编钟

教师进行有关声音特性的教学活动,需要开展中国古代声乐文化教育,不仅仅局限于介绍大型编钟的历史资料,可以运用音调探究仪模仿编钟演奏古代庆典音乐.音调探究仪与编钟的发声原理类似,管子的长度符合一定音律学的规律,按照从短到长的顺序依次敲击它们,会发出哆、瑞、咪、发、嗦、啦、西、哆的音调,所以按照乐谱敲打它们,会奏出一首曲子.课堂教学结束后,让学生在课余时间尝试利用音调探究仪自行演奏,通过实际操作体验,增进对编

钟了解,激发学生对于中国古代礼仪文化的兴趣.

中国古代传统乐器文化博大精深,其中蕴含着丰富的物理声学和乐律学知识,在我国传统乐器文化中,还有很多极具我国文化特色的乐器,如二胡、古筝、笛子等.学生学习音调知识之后,还可以引导他们课下查阅资料,结合所学知识进一步了解这些古代乐器的发声原理.

### 3 结论

根据古代编钟的形制和发声原理,自制音调探究仪结构简单,易于操作.基于音调探究仪与DISlab相结合,开展科学探究教学,不仅能增强实验现象的直观性,也能开展定量研究教学活动,引导学生获取证据,收集和处理数据,总结结论,并作出合理解释,进而培养中学生在科学思维、科学探究能力等方面的物理学科核心素养.这种融入STEAM教育理念的的教学活动设计,有助于学生从多学科视

角认识不同学科间的联系,提高自身综合运用知识解决现实问题的能力<sup>[6]</sup>,同时在物理教学中渗透我国优秀的传统声乐文化,也有利于陶冶学生的艺术情操,彰显中国古代的文化自信.

### 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年版)[S].北京:北京师范大学出版社,2011.8
- 2 林钦,陈峰,宋静.关于核心素养导向的中学物理教学的思考[J].课程·教材·教法,2015,35(12):90~95
- 3 马静,杨万琴,张轶炳.DIS实验系统在声现象教学中的应用[J].物理教师,2017,38(09):50~54
- 4 王子初.我们的编钟考古(下)[J].中国音乐学,2013(01):64~75
- 5 王子初.复原曾侯乙编钟及其设计理念[J].中国音乐,2012(04):42~49
- 6 赵慧臣,陆晓婷.开展STEAM教育,提高学生创新能力——访美国STEAM教育知名学者格雷特·亚克门教授[J].开放教育研究,2016,22(05):4~10

(上接第69页)

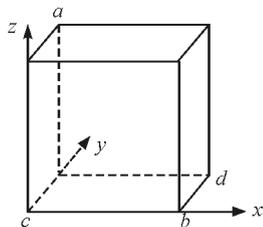


图5 以c为原点,建立三维直角坐标系

则有 $\mathbf{ca} = (0, 2, 2)$ ,  $\mathbf{cb} = (2, 0, 0)$ ,  $\mathbf{cd} = (2, 2, 0)$ , 有

$$U_{ca} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{ca} = (E_x, E_y, E_z) \cdot (0, 2, 2) = 4 \text{ V}$$

即 
$$2E_y + 2E_z = 4 \text{ V/m}$$

$$U_{cb} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{cb} = (E_x, E_y, E_z) \cdot (2, 0, 0) = -6 \text{ V}$$

即 
$$2E_x = -6 \text{ V/m}$$

$$U_{cd} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{cd} = (E_x, E_y, E_z) \cdot (2, 2, 0) = -3 \text{ V}$$

即 
$$2E_x + 2E_y = -3 \text{ V/m}$$

可得

$$E_x = -3 \text{ V/m} \quad E_y = \frac{3}{2} \text{ V/m} \quad E_z = \frac{1}{2} \text{ V/m}$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} = \frac{\sqrt{46}}{2} \text{ V/m}$$

空间向量法是一种学生容易理解且在高中数学中常用的方法,可快捷求解匀强电场的电场强度.这种方法有利于增强学生学科融合意识,拓展学生视野,提升学生思维能力.教师们教学中不妨一试.

### 参考文献

- 1 王凯,苏有生.基于“两个过程”的课堂教学设计——以“空间向量的正交分解及其坐标表示”为例[J].中学数学教学参考,2018(16):38~40

## Appreciating and Questioning of Multiple Solutions to a Classic College Entrance Examination Questions

Wang Shenghua Chen Xiangzheng

(Chongqing Tsinghua Hight School, Chongqing 400054)

**Abstract:** Given the potential of some points in the uniform electric field, solving the magnitude and direction of the field strength is a typical problem of uniform electric field widely appearing in senior high school physics teaching. This paper analyzes and compares it from the perspective of multisolution appreciation.

**Key words:** space vector method of electric field; intensity of uniform; intensity electric field