

# 光声现象的探究及分析

柴雨稷 韦 祎 / 北京市第五中学  
指导教师 张留碗 路峻岭 李怀军

## ◎ 研究内容与方法简介

我们围绕“特定的光脉冲照射到一个半面涂黑的透明玻璃瓶时，瓶子可以发出声音”这一现象进行了一系列研究。我们先通过实验证实了实验的可行性，之后我们对实验原理进行了理论分析，并用实验证实了理论分析的正确性。

## ◎ 研究过程

### ➤ 实验可行性验证

#### ◆ 猜想与假设

通过对实验现象的分析，我们对实验现象产生的原理作如下猜测：由于照射瓶子的白炽灯电源是交流电，其强度会随时间呈周期性变化，导致其发出的光能和热能会出现周期性变化，所以瓶子黑面吸收的能量也应呈周期性变化，瓶中空气因而周期性地受热膨胀和收缩，导致空气振动，形成驻波，发出声音。根据以上的猜测，我们认为，瓶子黑面的材料、光源强度和光源类型应该是该现象能够发生的关键性因素，其他可能有影响的因素还有瓶子大小、孔洞大小与瓶盖材质等。

#### ◆ 寻找关键性因素

实验时我们用了不同瓦数的节能灯、白炽灯、射灯、荧光灯管、小功率LED手电筒、红外线光源，但均未产生明显现象。直到我们使用了20W

频闪灯（频率在数十至150Hz可调但脉宽很窄不可调）、数瓦强光手电灯（脉冲模式）、1500W白光灯（频率160Hz，脉宽很窄，但二者均不可调）时，终于出现了预测的实验现象，瓶子在实验时发出的声音是一种类似于高频率的汽车鸣笛声音。

### ➤ 初步理论分析

此实验中，使用具有周期性变化的光源（光脉冲）透过透明壁照射瓶内的黑色涂层，涂层吸收光而发热和不吸收光时迅速放热引起瓶内空气周期性膨胀和收缩，就可以激起某些模式（特别是基频）的驻波振动（受迫振动）而被人听到。这就是本实验的物理解释。

### ➤ 初步理论验证

#### ◆ 验证瓶子的固有频率

我们认为对一个有瓶盖的瓶子，其固有频率应为 $f=v/2l$ （ $v$ 为波速，这里取 $v=340\text{m/s}$ ， $l$ 为瓶长），对于一个瓶长为11.3cm的瓶子，其频率应为1504Hz。实验结果初步验证了瓶子发声频率近似等于瓶子固有频率。

#### ◆ 初步验证数学模型

我们想要通过实验证明之前对于实验的理论分析是正确的，所以需要找一个能知道光脉冲频率的可变光源。但由于频率达到上千赫兹的光脉冲不易制作，我们想到通过对低频光源进行一些改造，以实现高频率模式的激励效果。

我们首先寻找具有能发出低频窄脉冲的光源。经过不断的实验和摸索，我们发现了频闪灯、手电灯（脉冲模式）、1500W白光灯具有该种性质。我们使用它们做出了十分明显的现象，但是这几种光源仍存在的问题，对于我们的进一步探究意义不大。于是我们又想出了第2个办法：自己制作一个可变频率并可读出频率的斩波器。用高速马达驱动一斩波圆盘光阑（圆盘圆周上设置许多均布的通光孔）对直流或低频光波进行斩波即可得到高频光脉冲。这种方法的实验原理见图1。

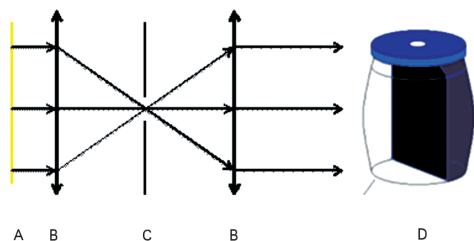
实验结果表明，在无光和有光的时候，瓶口声音会有着明显的不同。这也就证明之前对于频率的推论是正确的。之后，我们通过滑动变阻器改变电动机的转速从而改变光脉冲的频率。

经过上述的实验，我们初步验证了前面所述的基本原理，初步证明了理论的正确性。

通过实验我们还发现，光的波长的不同不是致使瓶子发声的关键性因素。波长的不同于本实验的现象出现并无直接关系。

### ➤ 实验装置改进

上述实验中，我们的斩光器会产生很大的噪声，而且这一噪声难以除去，于是我们又进一步对实验装置进行了改进。通过不断地寻找，成功找到了合适



A 光源 B 凸透镜 C 斩光器 D 瓶子  
图 1 获得高频光脉冲装置的实验原理

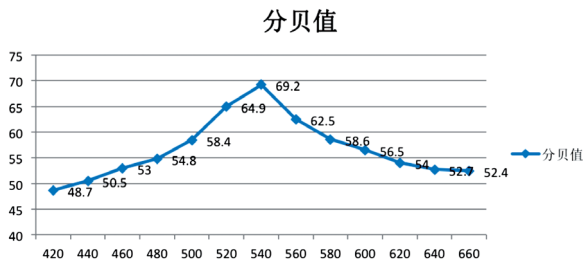


图 2 完善装置后的实验数据

的频闪光源和高精度分贝仪，于是用以上两种器材我们完成了如下更完善的实验。

#### ◆ 实验器材

频闪光源，高精度分贝仪，半面涂有碳黑且未盖瓶盖的玻璃瓶。

#### ◆ 实验过程

①将瓶子放在频闪光源的正前方，调节频闪光源位置，使频闪光源与玻璃瓶中心在一水平面上；②用高精度分贝仪测出环境背景噪声的分贝值；③打开频闪光源，用高精度频闪光源在瓶口测出此时的分贝值，记录数据；④调节光脉冲的频率，重复步骤③的操作。

实验现象表明：几乎任何频率的光脉冲都可以使瓶子发出人耳可听到的声音。而这种声音在光脉冲激起瓶子的驻波振动时，可以达到最大，声音接近 70 dB。实验具体数据见图 2（我们使用的瓶子。其驻波频率为 562 Hz，环境背景噪声 38.2 dB）。

#### ➤ 进阶理论分析

这种声音的出现可以分为 2 种情况。第 1 种就是简单的光声效应，这种现象早在 1880 年就被贝尔发现，其原因就是光脉冲打到黑面时，会使黑面周期性的吸热放热，从而加热周围的空气，使其周期性的膨胀和收缩，发出声音。这种声音的频率与光脉冲的频率相同。第 2 种就是我们之前讨论的情况。它发

出的频率与瓶子驻波频率相同，发出的声音相比第 1 种要明显得多。

我们之所以之前没有发现这种现象是因为我们的光源大部分都不能调节光脉冲的频率，而可调光脉冲频率的仪器，噪声过大，完全掩盖住了第 1 种机理发出的声音。

#### ➤ 其他因素对于现象的影响

我们利用上面提到的不同口径的瓶盖探究了口径与声音的关系，发现当口径超出 5 mm 时声音就已经很难听到。当没有空洞时也没有声音。

经过探究发现无论有无瓶盖，都可以听到声音，且有瓶盖时声音更尖锐。

当光线直接照射瓶外侧黑面时，声音几乎没有。这是因为碳层即使再薄，也有其厚度，当其外面受热时，内面的受热并不明显。这就是为什么直接照射外面时，几乎没有声音。

当整个瓶子都涂上涂层时，对瓶子的四周都进行照射，没有声音产生。之所以要涂半面涂层，是因为如果多于一半的话，关于轴对称的 2 个面所产生的振动就会被抵消；如果少于一半的话，涂层则无法吸收光能。所以当内表面全被涂层覆盖时，几乎所有的振动都被抵消，自然声音就较小。

#### ◎ 结果与讨论

当对一个半面涂黑的透明玻璃瓶中

的振动模式进行激励时，我们可得出如下结论：当倍频系数  $n$  尽量小、且脉宽等于固有振动模式的半周期时，光脉冲对振动模式的激励最有效，即发出的声波振幅最大。而其他的光激励也可使瓶子发出声音，但声音强度较低。我们要进一步探究光的强度对于实验现象的影响。

该项目获得第 29 届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组物理学一等奖。

#### 专家评语

为什么一个半面涂黑的透明玻璃瓶在电灯泡照射后会发声？作者经过深入研究发现：受强度周期变化的光照射后，玻璃瓶的涂黑部分会出现周期性的加热与放热，引起瓶内空气的膨胀与压缩，导致发声。作者充分展现出较强的分析问题和解决问题的能力及动手实验能力，体现出中国“90 后”学生不怕困难、敢于创新、积极进取、勇攀高峰的精神。■