考生须知

1、本试题共 3 道题，6 页，总分为 80 分。

2、如遇试题印刷不清楚的情况，请务必及时向监考老师提出。

3、解答一定要写在答题纸指定位置，写在其它地方一律不给分。

试题一 声速测量 （27 分）

声音在介质中的传播速度与介质的特性及状态等因素有关。本实验用压电陶瓷超声换能器来测定超声波在气体、液体中的传播速度。驻波法（共振法）测量声速的实验装置如图 1 所示，S1、S2 为压电换能器，其中 S1 为声波发生器，S2 为声波接收器。

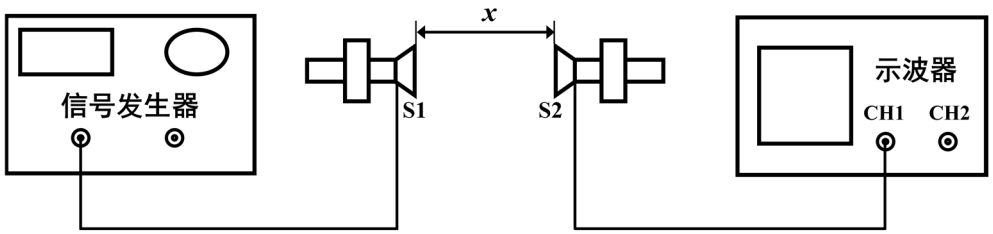


图 1 驻波法测量声速示意图

1.1（2 分）本实验中使用示波器进行测量，其具体设置会影响显示波形。示波器通入方波信号，手动改变示波器某一设置，改变前后屏幕上可分别显示如题图 1.1 所示的两种波形，说明改变了_____设置。



波形 1　　波形 2

图 1.1 示波器显示波形

1.2（8 分）为了确保高效激发超声波，超声换能器需处于谐振状态。在本实验中利用图 1 装置，如何操作才能得到超声换能器精确的谐振频率？_____。当两个换能器均已工作在谐振频率，形成稳定驻波，若调节 S2 使其与 S1 不平行，会导致实验中 S2 测量的信号幅度在波节位置_____（增大/减小），波腹位置_____（增大/减小）。室温升高时，空气中声速会_____（增大/减小）。

1.3（4 分）利用相位法测量水中的声速时，首先在答题纸上完成题图 1.3 中连线，并且将示波器显示模式设置为_____，才能观察到李萨如图形。

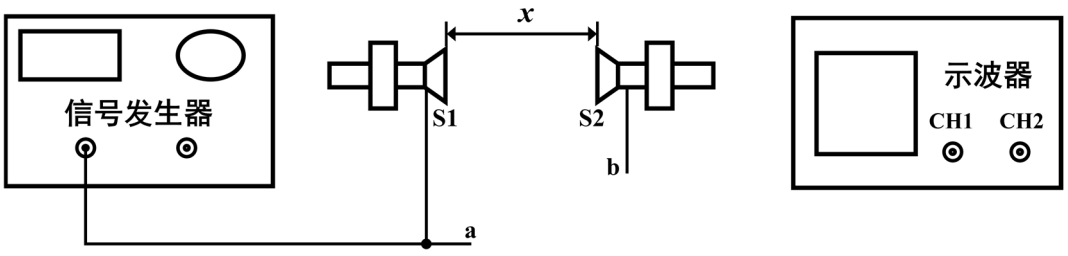


图 1.3 相位法测量声速示意图

1.4（4 分）利用相位法测量水中声速时，信号源频率为 37.00 kHz，单向移动 S2，从题图 1.4

(a)的位置移动到图 1.4 (b)的位置，对应的李萨如图形由图 1.4 (c)转变为图 1.4 (d)，则当 S2 移动到_____cm 时，李萨如图形再一次变为图 1.4 (c)，此时水中的声波波长是_____ cm，水中声速是_____m/s。

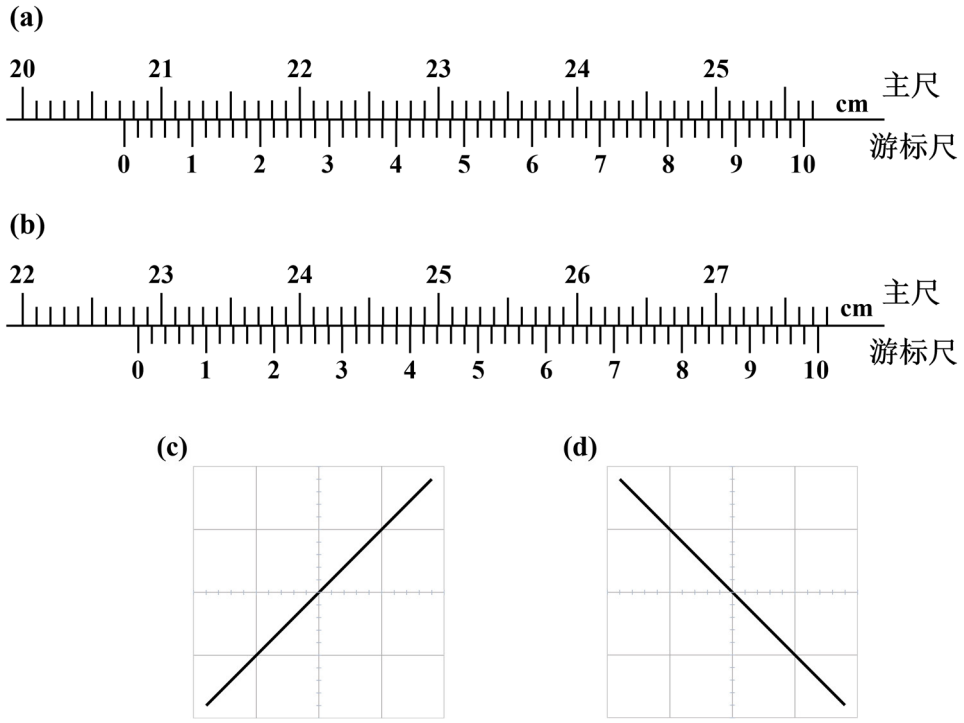
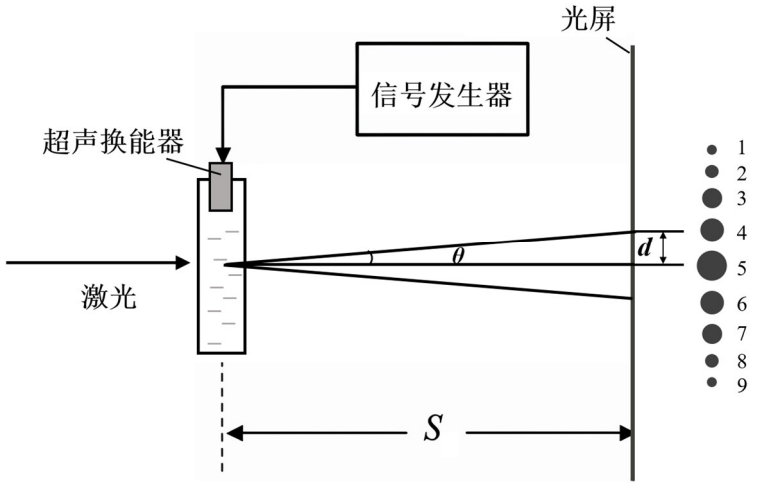


图 1.4 (a), (b)换能器 S2 的位置, (c), (d)示波器中的李萨如图形

1.5（9 分）将特定频率的超声换能器浸入装满水的矩形水槽中，超声波经水槽底面反射形成驻波。如果一束激光垂直入射该装置，在后方光屏就可以观察到题图 1.5 所示的图案。说明上述图案形成原因_____。激光波长λ为 635 nm，S 为 256.13 cm，超声换能器工作频率f为 9465 kHz，θ满足小角度近似，则相邻光斑等间距（距离用d表示），各光斑位置见题图 1.5。光通过水槽的时间远小于声波周期，给出声波波长的计算公式_____；用最小二乘法计算水槽中声波波长的 A 类不确定度为_____mm，声波波长为_____mm（不确定度有效数字保留两位，据此确定结果的有效数字），水槽中声速为_____m/s。若此实验中使用的水、温度、湿度等实验条件与 1.4 完全一致，测得水中声速存在一定差异，主要原因是_____。



光斑序号	位置 x/mm
1	94.0
2	83.5
3	72.5
4	62.4
5	52.0
6	41.1
7	31.2
8	20.4
9	10.0

图 1.5 用激光测量水中声速示意图

试题二 弦振动（30 分）

（选择题中有多选题，多选少选不得分）

在拉紧的弦线上，利用图 2 所示装置可以测量驻波共振频率，从而计算弦线上横波的传播速度。传播速度与弦上张力F_T和弦的线密度μ有关，满足公式$v=\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$。实验装置中 1 为电磁驱动器，2 为金属弦，3 为电磁接收器，4 为劈尖（固定器），5 为砝码。

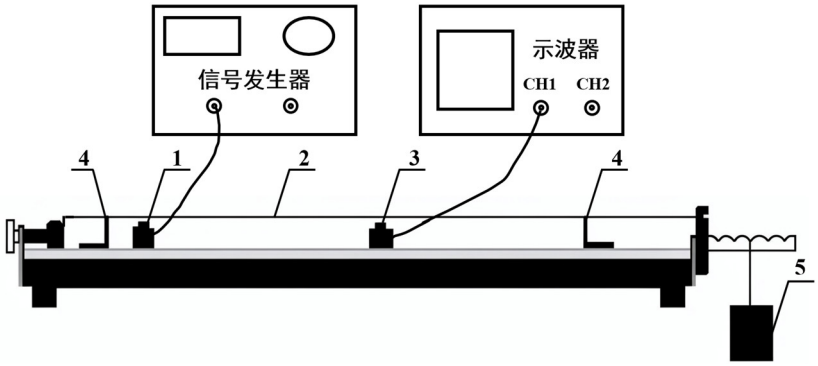


图 2 弦振动实验装置示意图

2.1（2 分）信号发生器输出频率为f的交流信号，在驱动器的导电线圈中产生周期性变化的磁场，驱动磁性弦线作频率为f的受迫振动，在特定条件下可形成驻波。下列材料中，适合作为弦线是（　　）

A. 铁丝　　B. 镍丝　　C. 铜丝　　D. 铝丝

2.2（4 分）电磁驱动器的位置需合理设置，不可紧邻劈尖（固定端），其原因为_____；而电磁驱动器在驻波的_____位置驱动效果最佳；将电磁驱动器移动到劈尖外（如题图 2.5 中 E、F 之间）是否可以在两劈尖之间形成稳定驻波_____（是/否）。

2.3（4 分）将电磁接收器固定在有效弦线中点，如何测出驻波最低共振频率_____。如果测得最低共振频率为 50 Hz，则用该方法测得最紧邻的驻波共振频率应为_____Hz。

2.4（6 分）形成稳定驻波后，实验中如何利用电磁接收器找到驻波波腹和波节的位置？_____；电磁接收器在波节两侧对称位置测量到的信号振幅、相位有何异同？_____；如果电磁接收器紧邻电磁驱动器，探测信号有何变化？为什么？_____。

2.5（6 分）实验中选用 2.0 kg 的砝码，弦线张力等于砝码重力，弦线直径为 0.500 mm，测得最低共振频率为 111.9 Hz，实验中各部件位置参数如题图 2.5 所示，则有效弦长为_____m，线密度为_____g/m（保留三位有效数字）。若仅更换同材质的其它直径弦线重复实验，测得最低共振频率变为 93.2 Hz，则该弦线直径为_____mm。重力加速度取常量 9.8 m/s^2。

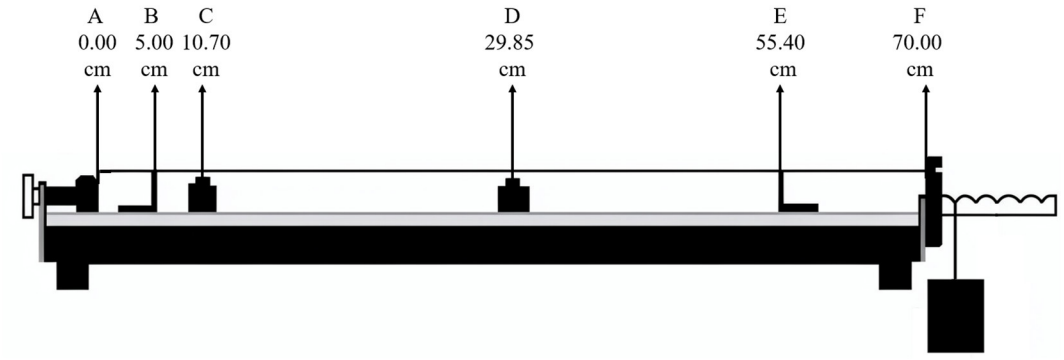


图 2.5 弦振动实验中各部件位置参数示意图

2.6（4 分）改用棉线作为弦线，固定弦线一端，利用机械振动源驱动弦线另一端上下振动形成稳定驻波。用一闪频 LED 光源水平照射弦线，沿光源照射方向用肉眼观察到弦线在 LED 照射下呈现相对静止，如题图 2.6 所示。已知 LED 闪烁频率在 50 Hz，则此时弦线的振动频率可能为（　　）。

A. 25 Hz　　B. 50 Hz　　C. 75 Hz　　D. 100 Hz

LED 的供电电源波形最可能是（　　）。

A. 直流信号　B. 正弦交流信号　C. 50%占空比的方波脉冲信号　D. 2%占空比的方波脉冲信号

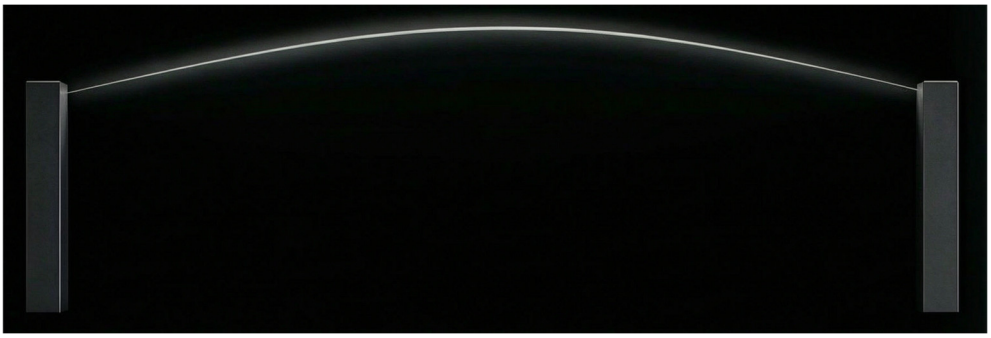


图 2.6 弦线在闪频 LED 照射下相对静止示意图

2.7 (4 分) 题图 2.6 中弦线处于驻波最大振幅处，若要看到一个静止的完整正弦波形，说明如何操作_____。以题图 2.6 弦线状态为基础，仅改变 LED 电源，使观察到的弦线处于水平位置，说明如何操作_____。

试题三 表面张力系数测量（23 分）

在“天宫课堂”中，重力消失使表面张力成为主宰液体形态的主角，水可聚成巨大液球或搭建一座液桥。测量液体（例如水）的表面张力系数有多种方法，常用的有拉脱法、最大泡压法等。

考虑液体表面上的一个可测曲线段，其两侧的液膜受到与之垂直的张力f，大小总和与其长度L成正比，则此时定义表面张力系数为 $\sigma = f/L$。

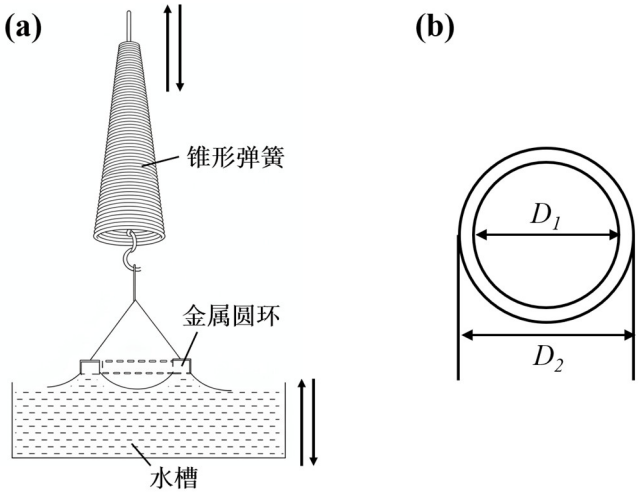


图 3(a) 焦利氏秤测量表面张力示意图, (b) 圆环示意图

实验中常用焦利氏秤测量表面张力系数，核心原理是用锥形弹簧秤测量微小力，如题图3(a)所示。把金属圆环浸到液体中，缓缓提起金属环就会拉出一层与液体相连的液膜，由于表面张力的作用，向上提拉的力逐渐达到一最大值F（超过此值，膜即破裂）。则F应当是金属环重力mg与液膜拉引金属环的表面张力之和（忽略液膜的重力）。由于液膜有两个表面，则

$$\sigma = \frac{F - mg}{2l}$$

式中$l = \pi(D_1 + D_2)/2$，D_1和D_2分别为圆环的内、外直径，如图 3(b)所示。实验中先测量弹簧弹性系数，进而根据拉膜过程中弹簧的伸长量及胡克定律求出拉力，计算表面张力系数。

3.1（2 分）如图 3 所示，焦利氏秤利用竖直悬挂的锥形弹簧测量微小力，解释弹簧采用锥形结构的原因：_____。

3.2（3 分）用力敏传感器代替锥形弹簧也可实现拉脱法测量液体的表面张力系数。首先测量力敏传感器的灵敏度，在竖直放置的力敏传感器下方挂上砝码，实验测得力敏传感器电压与砝码质量的关系如题表 3.2 所示；利用最小二乘法，计算力敏传感器的灵敏度K为_____mV/N （根据不确定度有效数字保留两位，确定结果的有效数字）。重力加速度取常量 9.8 m/s^2。

表 3.2 砝码质量与电压关系

砝码/g	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
电压/mV	0.0000	0.5000	1.0050	1.4970	1.9960	2.4980	2.9980	3.5000

3.3 （3 分）实验中采用的吊环外径D_2 =34.96 mm，内径D_1 =33.10 mm，利用题 3.2 中的力敏传感器实时测量圆环拉脱前后电压数据如题图 3.3 所示，根据图中电压数据计算表面张力系数为_____N/m （保留三位有效数字）。

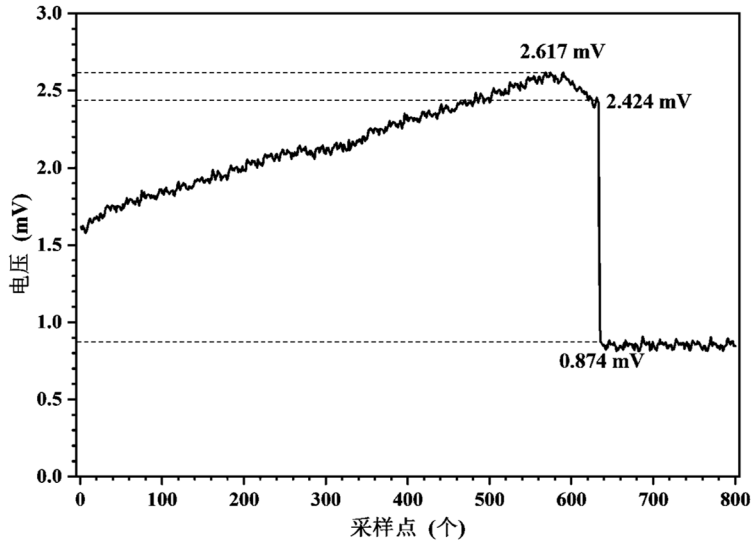


图 3.3 力敏传感器的电压采集曲线

3.4（4 分）说明获得题图 3.3 中数据的操作过程及三个电压数值对应的液膜状态：_____。

3.5（4 分）用电子秤代替 3.3 中的力敏传感器，设计测量方案，实现表面张力的测量：_____；参考题图 3.3，画出测量过程中电子秤读数变化示意图_____。

3.6（7 分）利用最大泡压法也可以实现表面张力系数的测量。最大泡压法原理如题图 3.6 (a) 所示，如果将毛细管插入液体中，创造条件使毛细管端口气、液界面处的压强$P_1 > P_2$，端口就会形成气泡，随着两者压强差$\Delta P = P_1 - P_2$逐渐增大，气泡会不断长大，当气泡变为半球形，气泡两边压强差达到最大（ΔP_{max}），进一步增大压强差，气泡会继续长大直至破裂。通过增大气体中的压强P_1(正压法)或减小液体中的压强P_2(负压法)来测得ΔP_{max}等参量就可以计算出液体的表面张力系数。仅利用题图 3.6 (b)中装置可实现最大泡压法测量表面张力系数，该装置采用的是_____（正压法/负压法），如何测量ΔP_____。如果毛细管已固定，且插入液体内部一定深度，为确保准确测量ΔP，实验起始阶段应该如何调节_____。为进一步测得ΔP_{max}，实验中如何调节ΔP_____，如何判断最大泡压ΔP_{max}_____。

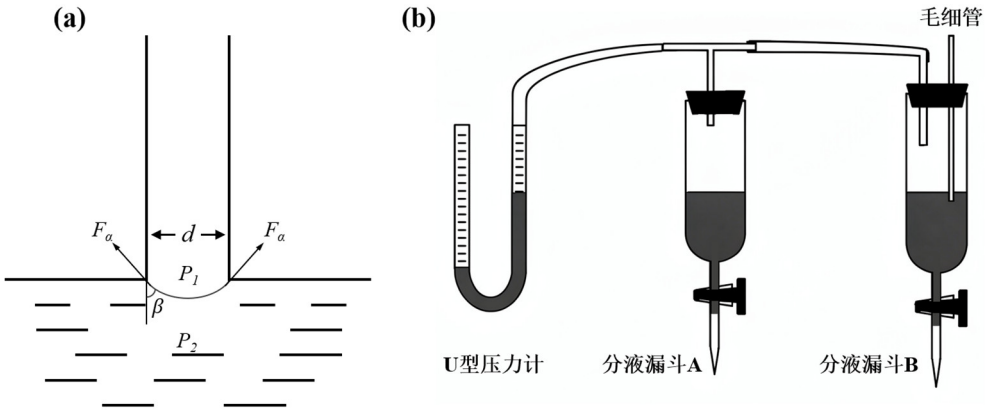


图 3.6 (a) 最大泡压法示意图, (b) 测表面张力系数实验装置示意图