

2019-2010 (2) 2019级物理实验 (1)

居家实验教学资源

物理实验（1）：32学时，学生人数5800人

教学方案：线上+线下混合式教学

线上时间段：7月9日-7月31日。

内容1：“误差及不确定度评估”的理论学习。中心录有视频
（<https://pan.baidu.com/s/19ar3Qql1VDV6OuPWuIHymw>，提取码：qqfv），
学生自行学习，并完成作业。

内容2：完成5个居家实验。（提供7个项目，选作5个）

线下时间段：下学期第1周-第3周。

内容：学生从8个实验项目中，选作1个。与之前上课模式相同。

本学期物理实验（1）取消考试环节。

2019-2020 (2) 《大学物理实验I》课堂安排

班级序号	院系班级	小班数量	总人数	任课教师
1	数学1901-3 数学拔尖1901 气卓1901 电信校交1901	6	188	杨光
2	自动化校交1901 化学1901-5 化学拔尖1901 中西医1901	8	171	杨光
3	临床(八) 1901-4 软件1901-2	6	181	杨明
4	重医1901-6	6	170	杨明
5	电气1901-6	6	177	张炯
6	电气1907-10	6	181	张炯
7	能源1901-7	7	177	陈劲
8	能源1908-10 计算机1901-3	6	176	陈劲
9	计算机1904-9	6	192	李香莲
10	计算机1910 计算机校交1901-2 (计卓 能卓 土卓) 1901 飞行校交1901	7	168	李香莲
11	网安1901-5	5	168	柯圣志
12	土木1901-8	8	171	柯圣志
13	土木1909-13 机卓1901 机械(校交) 1901 飞行器1901	8	167	范雅静
14	海洋1901-6 船卓1901 网安1907	8	179	范雅静
15	给卓1901 环科1901-6 网安1908	8	189	李瑞霞
16	(光实 集卓 光卓) 1901 中法1901-2 电子校交1901	6	182	杨凤霞
17	临床1901-5 预防1901	6	190	李智华
18	临床1906-8 法医1901 口腔1901 基医1901	6	179	李智华
19	生医1901-4 登峰1901 生尖1901	8	190	魏合林
20	生科1901-4 生实1901 生卓1901 医技1901	7	185	闫成飞
21	儿科1901 中德1901 药实1901 药学1901-3 药基1901 影像1901	8	168	龙长才
22	机械1901-6 预防1904	7	188	黄明涛
23	机械1907-12	6	182	王之江 (电气)
24	材料1901-7	7	174	欧阳钟文
25	材料1908-11 材卓1901 水电1901-3	8	191	陈志鹏 (电气)
26	电信1901-6	6	187	龙华
27	电信1907-10 提高1901 信卓1901	6	185	杨州军 (电气)
28	自动化1901-7	7	183	罗永康
29	自实1901 自卓1901 自动化1908-10 工程1901	6	170	王振兴
30	光电1901-7	7	185	张智
31	光电1908-14	7	189	张文号
32	光电1915-19 网安1906	6	172	李学飞

项目1：单摆测量重力加速度

项目2：非弹性碰撞

项目3：弦振动

项目4：凸透镜焦距测量

项目5：漫发射测玻璃折射率

项目6：单缝夫琅禾费衍射

项目7：三线摆测量刚体转动惯量

**注：每位同学完成5个项目，
按时提交报告**

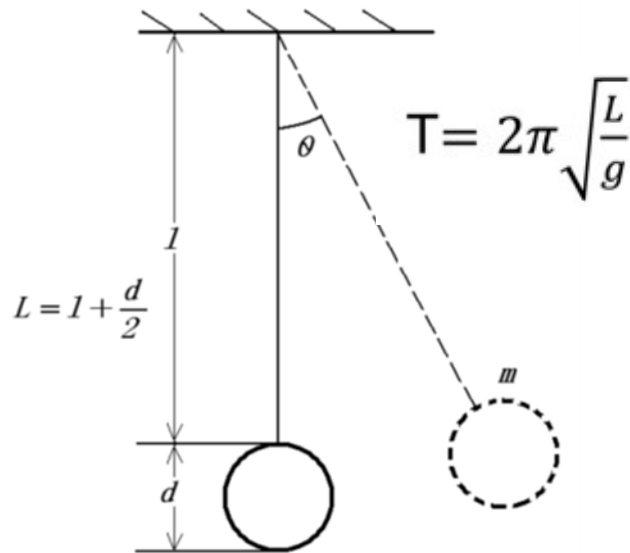
【注意】居家实验设计，切记：实验过程中必须避免一切不安全因素。

如有隐患必须改变方案，安全第一！

项目1：单摆测量重力加速度

实验目的：设计和搭建单摆装置，测量当地重力加速度 g ；学会不确定度的评估。

实验材料：支架、细线、充当摆锤的重物、手机、测量尺（米尺、卷尺等）、计时器（秒表或手机，精度0.01s）、phyphox软件等，根据需要自行选择。



实验步骤及过程:

1. 设计并搭建单摆，注意考虑一些因素（摆线质量、摆锤 体积、空气浮力、摆角等），运用理想单摆周期公式、误差均分原理及累积放大测量法去设计并选配仪器，要求相对不确定度 $U_g/g \leq 1$ 。
2. 摆长，周期各测量5次，取平均值。摆动周期采用累积放大测量法测量，其中周期数自己计算（例如：周期数若计算是50次，则每次测量50次周期的总时间，取平均值得到周期，共测5次）。
3. 手机拍照实验材料和装置。



实验任务：

1. 数据整理，绘制表格。
2. 计算当地的重力加速度 g ，计算出 g 的不确定度（过程）。
3. 分析误差原因。

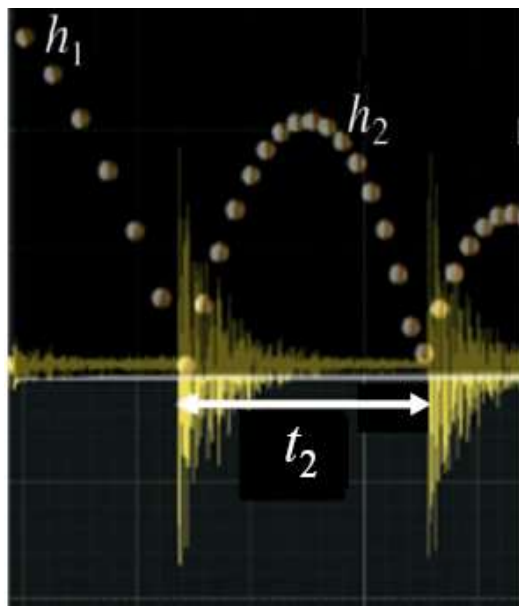
问题探究：

1. 影响单摆测量重力加速度精度的主要因素？要使单摆尽可能符合理想情况，摆线长度、摆锤质量（包括线度）、摆角如何选择？
2. 怎样减少实验中的随机误差？空气阻力和浮力属于哪类误差？怎样利用实验研究其对单摆运动的影响？
3. 运用phyphox软件测量当地重力加速度 g 。

项目2：弹性球的非弹性碰撞

实验目的：研究弹性球与地面的碰撞过程，测量小球的入射速度和反弹速度，计算每次碰撞的恢复系数；了解智能手机内置传感器及phyphox软件的使用方法；学习基本的数据处理分析方法。

实验材料：弹性小球（如乒乓球、网球）、智能手机及phyphox软件。

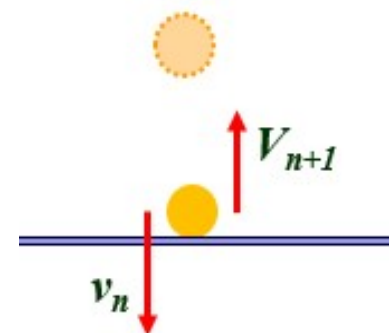


实验原理:

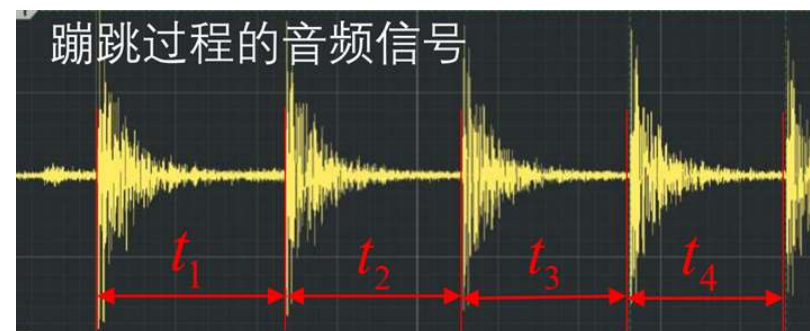
1. 垂直落到地板（或桌面）上的弹性球连续蹦跳若干次后静止下来。

碰撞过程中，可认为地面相对小球保持静止，每次碰撞的恢复系数为：

$$e = \frac{v_{n+1}}{v_n} \quad v_n、v_{n+1} \text{ 分别为小球碰撞时的入射速度、反弹速度}$$



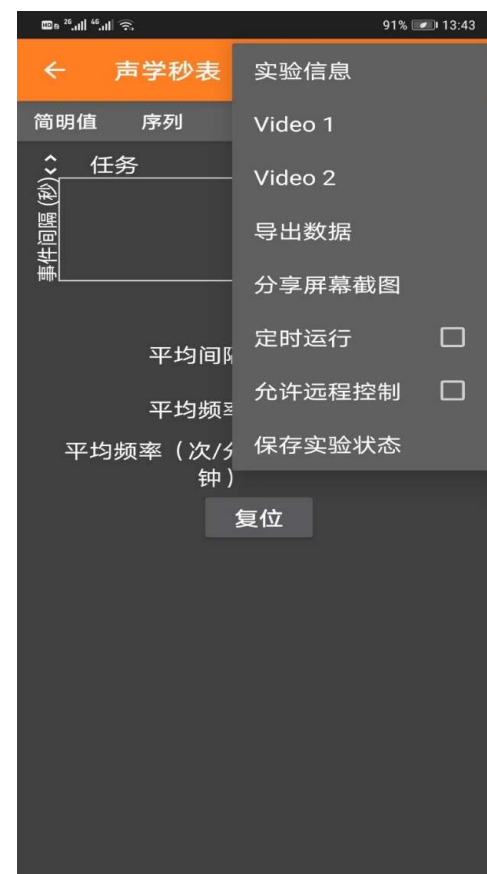
2. 球与地板每次碰撞都伴随一次声发射，通过“听音”可测量碰撞的时间间隔 t_n （即球的飞行时间）。忽略空气阻力影响，由 t_n 计算出每次碰撞的入射速度和反弹速度，求出每次碰撞时的恢复系数。



phyphox (Physical Phone Experiments) APP, 可利用手机中的传感器采集数据, 数据可导出, 内置了很多可用手机完成的物理实验内容。

使用“计时器”下的“声学秒表”中的“多任务”连续记录碰撞的时间间隔;

可用“导出数据”功能将数据导出到PC中处理数据。



实验任务：

1. 选择合适的弹性球和反弹板面，让小球在一定高度垂直落下并连续反弹，记录小球的反弹时间间隔，计算小球每次反弹时的入射速度、反弹速度、恢复系数，绘制恢复系数随速度的变化关系曲线。
2. 改变小球或反弹板的材质，重复以上测量，比较不同材料条件下恢复系数-速度曲线变化，并分析原因。

注意事项：

尽量选用光滑、水平、洁净的板面，这样可以减少小球的横向移动。

释放小球时，尽量使球不具有水平初速度和自旋。

选择在安静的环境下实验，同时手机靠近碰撞点。

问题探究：

试分析、估算空气阻力对测量结果的影响。

项目3：弦振动

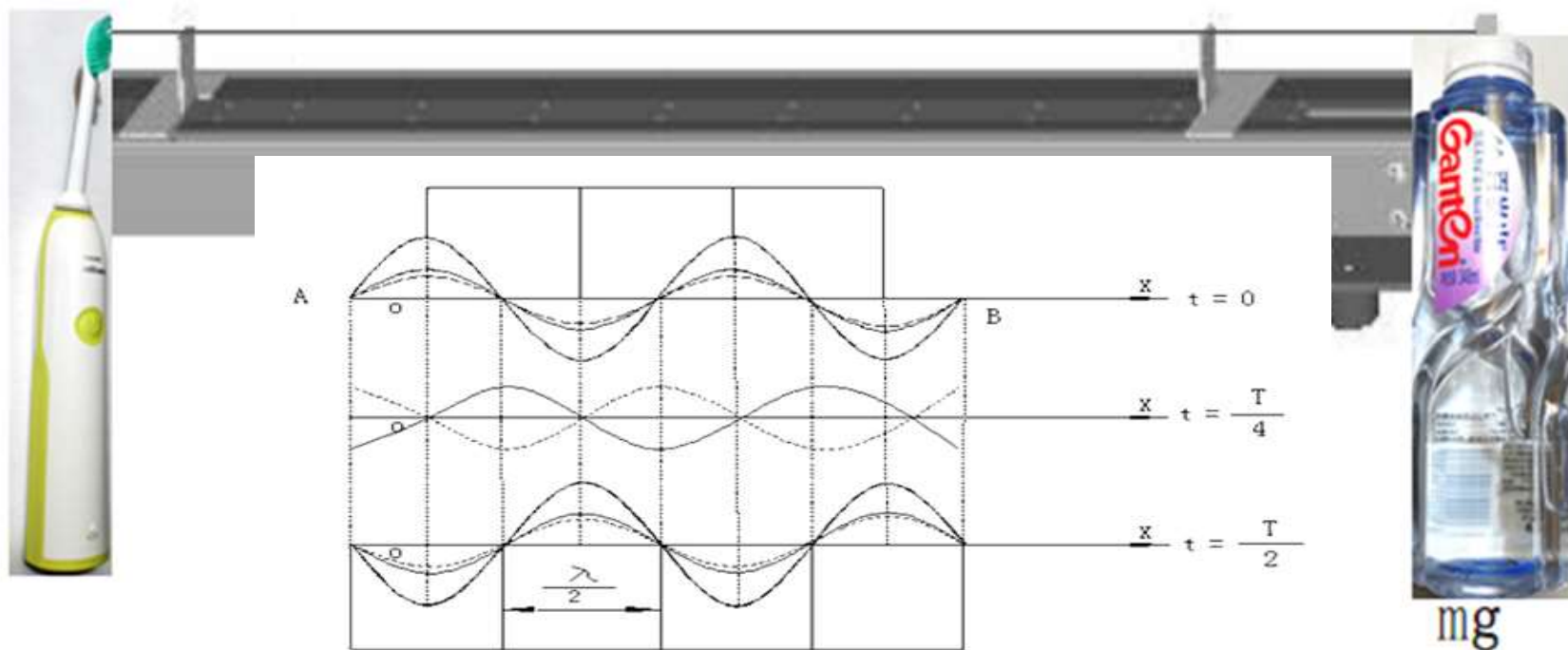
实验目的：调节恰当的弦长观察到驻波，掌握弦线形成稳定驻波的方法；改变弦线张力测定对应的驻波波长，用最小二乘法验证波长与张力的关系。

实验材料：电动推剪（电动牙刷），卷尺，琴弦，松紧皮筋，棉线，饮料瓶，小器皿。



驻波原理:

驻波的形成，通常是在入射波与反射波相互叠加的情况下发生。若把弦线一端A固定在电动牙刷上，另一端通过滑轮系上砝码（一定质量饮料瓶），使弦线中产生一定张力T。振源起振时，入射波由A向B方向传播，并在B点发生反射，形成由B向A的反射波。入射波和反射波的频率、振幅和振动方向都相同，只是传播方向相反，满足驻波形成条件。若A、B间距即弦长L为半波长的整数倍（ $L=n\lambda/2$ ），可在A、B间形成稳定的驻波。



驻波原理:

为在弦线上获得稳定的驻波，可采取两种方法：一种是固定弦长 L ，改变 T ；另一种是固定张力 T ，改变 L 。本实验即是通过改变支架B的位置来获得稳定驻波的。形成稳定驻波的特点是：波节的位置不变，波腹最大且稳定。

根据弹性理论，当横波沿弦线传播时，在维持弦线张力 T 不变的情况下，波的传播速度 v 与张力 T 及弦线的线密度 ρ 之间存在关系：

$$v = \sqrt{T / \rho}$$

波长、频率及波速之间的关系为： $v = \lambda f$

因此当弦线的线密度不变时，波长与弦线的张力的平方根成正比：

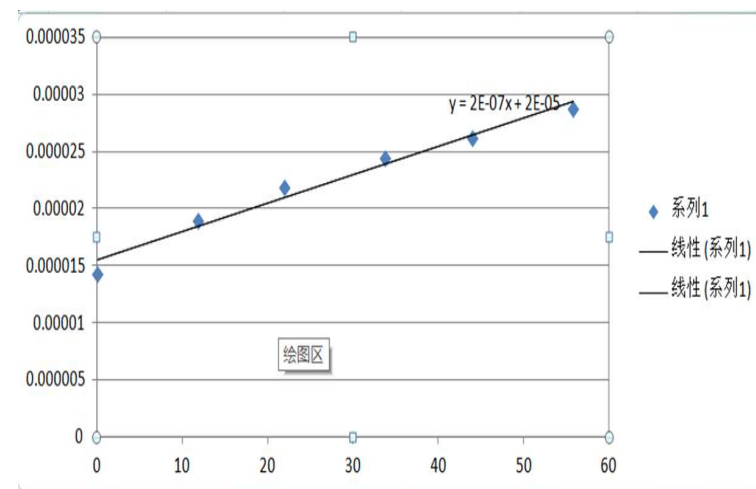
$$\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

驻波过程及步骤：

1. 电动牙刷连上弦线，固定在桌子或箱子一端，弦线另一端连上质量为 m 倍的已知灌水饮料瓶，改变振源与支架间距 L 直至产生明显的稳定驻波；适当调节使现象最为显著；
3. 改变振源或改变张力，测量和记录相关数据；
4. 拍摄实验材料，录制驻波图像或短视频。

实验任务：

1. 振源为电动牙刷，弦线为琴弦，改变张力，测量 5 组张力对应的波长数据；
2. 用最小二乘法绘制和计算，得到波长与张力的平方根关系。



实验探究：

1. 相同的振源和张力对不同的弦线而言，波的传播速度是否一致？
2. 若振源换成小马达，则电机是转动的，能否实现驻波的观测？

项目4：凸透镜焦距测量

实验目的：掌握一般光路的光学元件的共轴调节方法；了解掌握共轭法或自准直法测凸透镜的原理与方法；利用日常生活中材料完成实验，锻炼动手能力、分析问题能力。

实验材料：

光源：手电筒、台灯或手机手电筒

物屏：硬纸板、白纸等

透镜：老花镜、放大镜

或自制凸透镜（矿泉水瓶制作大小、厚度不一的凸透镜）

平面镜及其它测量工具（筷子、剪刀及胶水等）

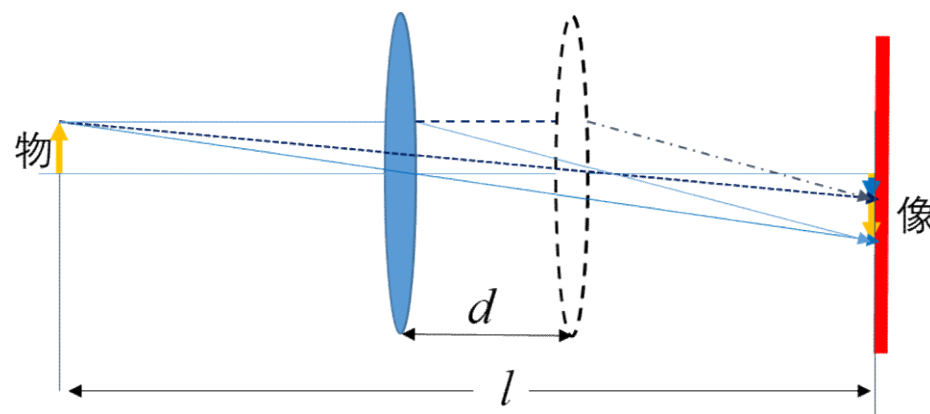
参考：<https://Jingyan.baidu.com/article/27fa7326b3b2e546f8271ff5.html>



共轭法测量凸透镜焦距实验原理：

物与像（屏）的间距 l 大于凸透镜的4倍焦距时，将凸透镜置于物像之间，移动凸透镜能在屏上得到两次清晰实像，若 d 为两次成清晰实像时凸透镜位置的间距，透镜的焦距为：

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l}$$

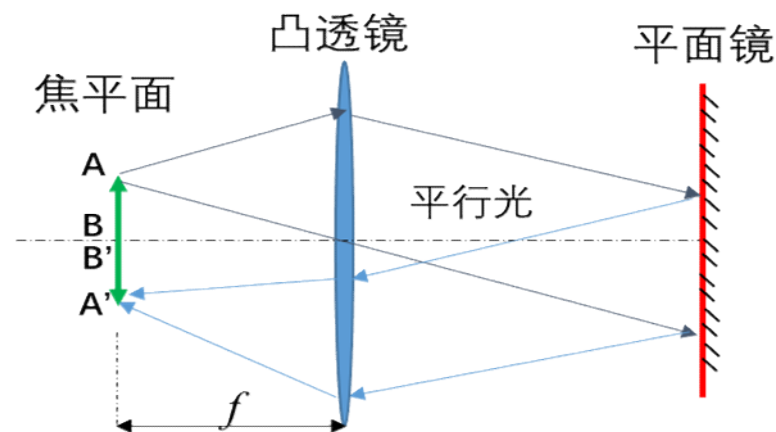


实验内容：

1. 粗测凸透镜焦距：手电筒距墙壁大于5米处，手电筒发射的光近似平行光，移动凸透镜位置使墙壁上形成最小的光点，凸透镜到墙壁距离即粗测焦距。
2. 光学系统共轴调节：依次摆放光源、物屏、凸透镜、像屏，物屏与像屏间距离大于4倍粗测焦距。各仪器等高同轴调节，各元件中心一条直线上，记录物屏与像屏距离 l ；
3. 放大和缩小的清晰像：凸透镜由靠近物屏端开始，逐渐远离物屏，记录物屏上成清晰倒立实像时凸透镜位置 x_1 和 x_2 ， $d = x_1 - x_2$ ，重复5次，取平均值，计算焦距。

自准直法测凸透镜焦距实验原理:

物体AB处于凸透镜前焦面上，物体上任一点发出的光经凸透镜后成为平行光，经平面镜反射后再通过凸透镜会聚于透镜前焦面上，形成一个大小与原物体AB相同的倒立实像A'B'，此时物体到透镜间的距离就等于凸透镜的焦距。



实验内容:

1. 光学系统共轴调节 (同共轭法)
2. 测薄透镜的焦距: 沿光轴移动凸透镜, 直至物屏上得到一个与物体大小相等、倒立实像, 分别记下物屏和凸透镜的位置 x_1 、 x_2 , 则测得焦距: $f=x_2-x_1$
3. 凸透镜转 180° , 记下物屏和凸透镜的位置 x'_1 、 x'_2 , 测得焦距: $f'=x'_2-x'_1$
4. 计算平均焦距: $f_0=(f+f')/2$, 重复测量5次

数据记录、处理与分析：

- 1. 拍摄照片和视频记录必要的实验过程、实验现象；
- 2. 共轭法和自准直法实验数据记录可参考下表；
- 3. 计算焦距的平均值，结合实验过程分析实验结果，讨论误差来源。

共轭法数据表格

次数n	l	x_1	x_2	d	f
1					
2					
3					
4					
5					

自准直法数据表格

次 数n	x_1	x_2	x'_1	x'_2	f_0
1					
2					
3					
4					
5					

注意事项:

1. 光学器件的镜面不要用手触摸;
2. 调共轴时, 应先目测粗调;
3. 物屏、凸透镜、平面镜及物屏相互平行且与光轴垂直。

问题探究:

1. 还可以怎样粗测凸透镜的焦距? 共轭法测透镜焦距时成像有哪些特点?
2. 自准直法测透镜焦距时成像有哪些特点? 如何判断物像重合?
3. 凸透镜旋转 180° 后测得的焦距一样吗? 为什么?

项目5：漫反射测量玻璃折射率

实验目的：通过观察漫反射、全反射现象，测量玻璃（塑料）的折射率。

实验材料：



激光笔

+



直尺

+



纸巾

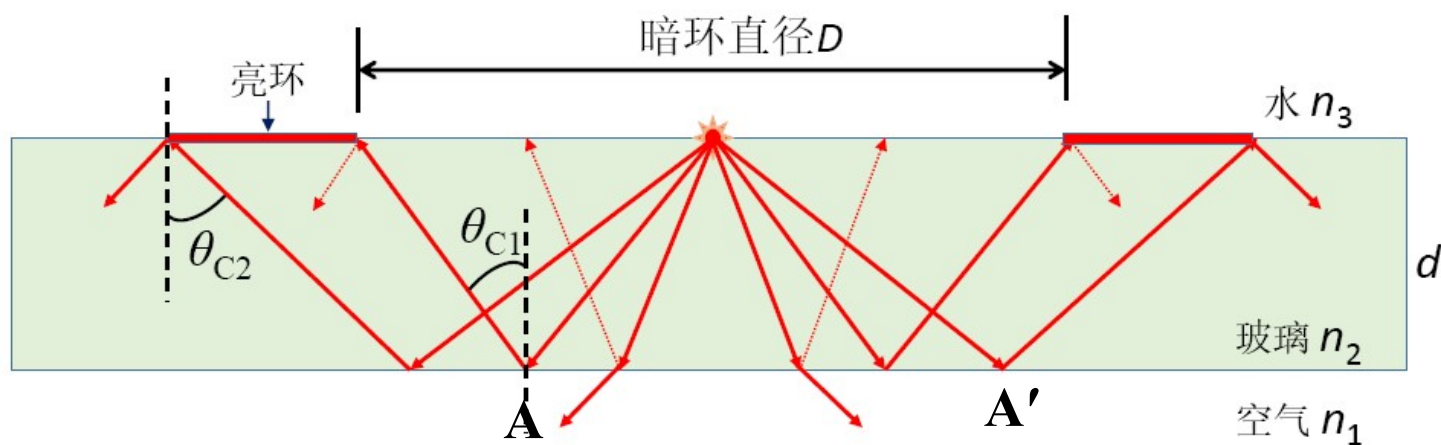
+



玻璃或透明塑料（厚度3-10mm）

实验原理:

当激光照射在湿纸巾（餐巾纸）上，产生漫反射现象，以不同方向透射到玻璃里面（塑料）。由于玻璃与下面空气，折射率不同，当透射角满足一定条件时，会在玻璃与下面空气界面，发生全反射形成暗环图像，如下图。



设在A处发生全反射

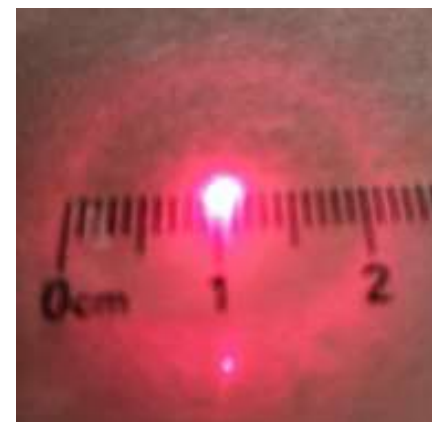
$$\theta_{C1} = \arcsin(n_1/n_2)$$
$$D = 4d \tan \theta_{C1} = \frac{4d}{\sqrt{(n_2/n_1)^2 - 1}}$$

$$n_2 = n_1 \sqrt{(4d/D)^2 + 1} \approx \sqrt{(4d/D)^2 + 1}$$

即：测量出暗环直径 D 以及玻璃厚度 d ，可得出玻璃的折射率。

实验步骤及过程:

1. 纸巾蘸湿后贴在玻璃上，激光笔照射纸巾
2. 观察实验现象，可看到多级圆环，其亮度依次递减
3. 直尺测量暗环的直径，记录数据（不同地方测量5次取平均值）
4. 直尺测量玻璃厚度，记录数据（测量5次取平均值）
5. 手机拍照形成的圆环
6. 将玻璃另一面浸入水中观察光环消失的现象



实验任务：

1. 观察并记录实验现象，绘制表格，记录暗环直径 D 和玻璃厚度 d 。
2. 理解光环产生和消失的物理机理。
3. 计算玻璃的折射率；分析影响实验误差的因素。

问题探究：

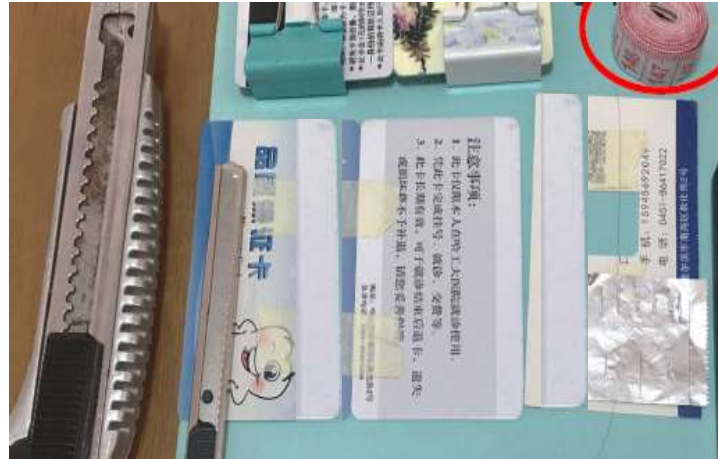
1. 激光光束相对玻璃平面的倾斜角度是否会对圆环直径测量产生很大影响？原因？
2. 实验中纸巾为何需要蘸水才能观察到光环？不蘸水是何实验现象？
3. 采用不同厚度玻璃（塑料）观察暗环的变化情况。

项目6：单缝夫琅禾费衍射

实验目的：观察激光通过单缝后的夫琅禾费衍射现象，测量出单缝宽度

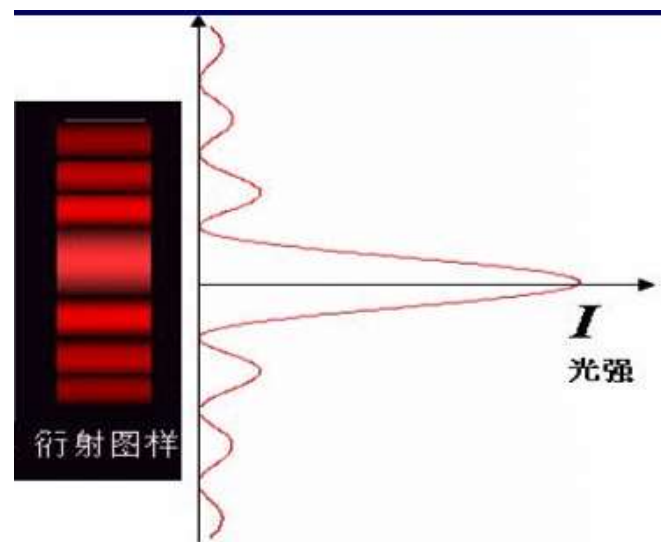
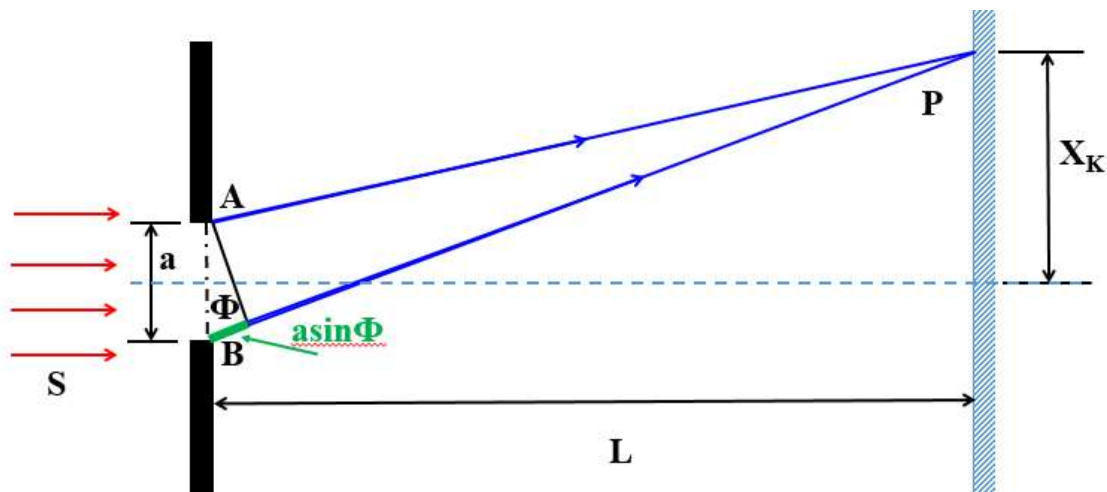
实验材料：

激光笔、光屏（白纸、墙壁）、卡片（卡纸、银行卡、校园卡）、直尺（钢尺）、卷尺



夫琅禾费衍射实验原理：

光的衍射通常分为两类：当衍射屏离光源或接收屏的距离为有限远，称为菲涅耳衍射；当衍射屏与光源和接收屏的距离都是无限远，称为夫琅禾费衍射。



如图：单缝宽度 $AB=a$ ，单缝到接收屏之间的距离是 L ，衍射角为 Φ 的光线聚到屏上 P 点。设 P 点到中央明纹中心距离 X_K 。A、B出射光线到 P 点的光程差则为 $a \sin \Phi$ 。

当光程差是半波长的偶数倍，形成暗纹。由于 Φ 很小， $a \sin \Phi \approx a X_K / L$ 。

即：当 $a X_K / L = k \lambda$ 时，出现暗纹。得到单缝宽度： $a = L k \lambda / X_K$ 。

夫琅禾费衍射实验步骤、过程 and 任务：

1. 寻找可用狭缝或自制狭缝（利用卡纸或卡片），激光笔照射狭缝，远处墙壁初步观察到明显的夫琅禾费衍射现象。
2. 搭建实验装置，固定狭缝（垂直）、激光笔保持水平。
3. 测量狭缝-墙壁（屏幕）距离 L ，测量暗环中心到中央明纹中心的距离 X_K ，可选择第1级（ $K=\pm 1$ ）或第2级（ $K=\pm 2$ ）暗纹。测量5次，取平均值。
4. 通过公式计算出狭缝宽度。

激光波长参考：红光650nm；绿光530nm

5. 手机拍照实验材料、装置和实验现象。



狭缝尽量小



数据表格：

物理量	1	2	3	4	5	平均值
L (mm)						
X ₁ (mm)						
X ₂ (mm)						
X ₃ (mm)						

问题探究：

- 1. 暗环中心到中央明纹中心的距离 X_K 怎样测量比较准确？
- 2. 利用夫琅禾费衍射，测量一根头发丝的直径。
- 3. 尝试圆孔衍射或杨氏双缝干涉实验，观察实验现象。

项目7：三线摆测量刚体转动惯量

实验目的：学习测量物体转动惯量的简便方法-三线扭摆法；加深对转动惯量、机械能守恒定律、简谐振动等理论的理解；学习phyphox 对物理量进行定量测量。

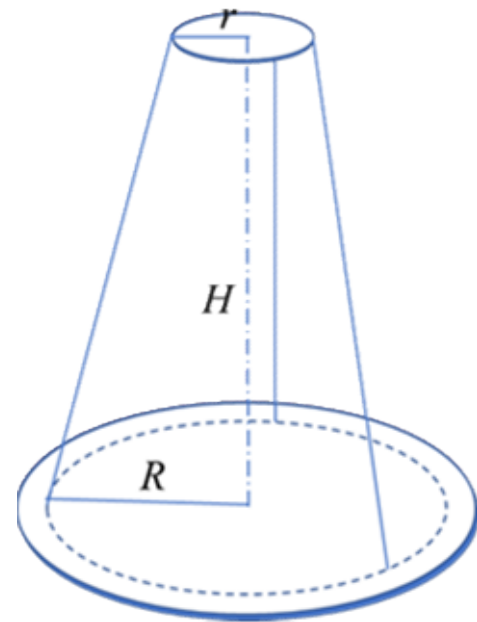
实验材料：

钢尺（卷尺）、棉线、圆盘、电子天平、秒表

实验原理：

$$I_0 = \frac{m_0 g R r}{4\pi^2 H} T^2$$

其中 r 为上盘半径，下盘半径为 R ，质量为 m_0 ，上下盘间距为 H ， T 为三线摆周期



实验步骤及过程:

1. R (下方物体半径)、 r (上方物体半径)、 l (绳长) 参数选择结合不确定度传递公式, 尽量减小误差。
2. 上盘可做成固定的, 可以不做成圆盘, 保证三个接线端成等边三角形。
3. 微调三根线的长度, 使底盘水平。接线端最好设计成锁线螺钉来固定绳子, 方便调节绳长。
4. 轻轻转动底盘, 摆角不超过 5° , 尽量测多个周期总的时间计算平均值 (秒表或phyphox软件) 。
5. 测量记录下盘质量 m_0 以及 R 、 r 、 H 。每个量测量5次取平均。根据情况, m_0 、 R 、 r 的测量可在组装前完成。
6. 手机拍照实验材料和装置。



实验任务：

1. 计算待测刚体的转动惯量。
2. 计算不确定度。计算各个直接测量量的A类、B类不确定度，由传递公式计算转动惯量的不确定度。
3. 分析结论以及误差来源。

问题探究：

1. 设计实验，验证平行轴定理、垂直轴定理。
2. 推导实验原理公式，推导过程中用到了那些假设，设计实验检验假设是否成立？
3. 大角度释放时，摆角对测量结果的影响？
4. 设计三线摆时， R 、 r 、 H 是不是都是越大越好？
5. 测量未知刚体的转动惯量。将待测刚体放到底盘上，重复测量，计算时需减掉底盘的转动惯量。