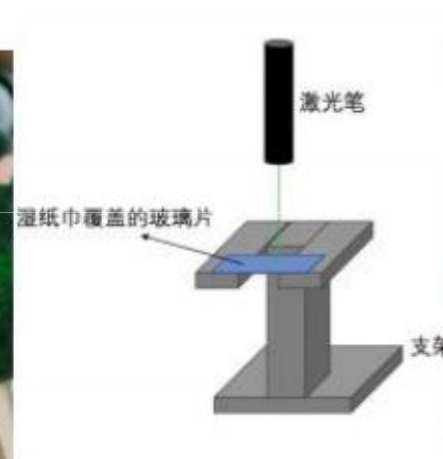
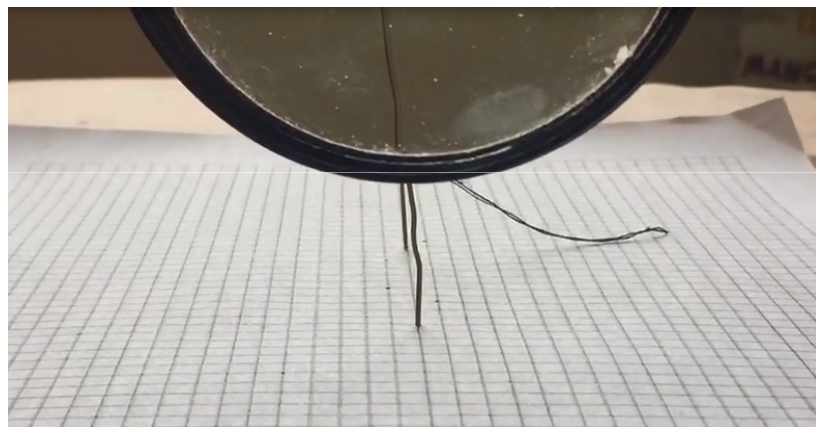




南开大学



# 光学居家实验的设计与意义



刘丽飒

南开大学 基础物理实验中心



# 内容提纲

- 居家实验设计的思考
  - ✓ 疫情改变了备课方式、授课方式、上课方式
  - ✓ 学生状态：萌新小白，老手
- 光学居家实验案例



南开大学合集3

- 从光学居家实验教学实践反思其意义
  - ✓ 实验能力和理论知识的“泛化”



# 居家实验的思考

- **核心**知识：测量
  - ✓ 量具：（手机）传感器，视频图像数据处理软件（Getdata，Tracker等等），米尺，秒表，电子天平
  - ✓ 测量对象，测量原理，测量误差
- **基本**物理量，**基本**技能：光路搭建，电路组装？？？，对现象观察与记录的能力
- 线上线下结合：哪些是讲看听能行，哪些是必须动手；哪些是可能动手的，哪些是只好讲讲
- 创新教育？？？



在这个明媚的劳动节早晨 ☀️

我收到了学校的快递！是老师寄的数电实验器件！！种类齐全（如果图三有示波器的话）还包邮😭

给我开疯狂打call ❤️ ❤️ ❤️





# 光学居家实验的思考

---

## 教师：

- ✓ 调研网络视频资源,网购元件
- ✓ 思考教学重点、难点、盲点
- ✓ 弱化教学对实验设备场地的依赖

## 学生：

- ✓ 理解实验环境设计
- ✓ 更好的了解实验装置设计：固定机构，调节机构，移动机构，读数系统
- ✓ 沉浸式体验
- ✓ 激发创新：装置、方案“变异”



## 例1：视差法确定虚像位置

---

- 视差是在光学实验的调整过程中，随着眼睛的晃动（观察位置稍微改变），标尺与被测物体由于不在同一平面，它们之间产生相对移动，造成不能准确的测量，这是误差。是常用的基本实验技能。
- 网络视频介绍资源少
- 部分学生在掌握上有难度，很多学生表示不会消除视差或没有观察到视差。本居家实验目的是强化这方面的训练。



## 例1：视差法确定虚像位置

- 网格纸：目的是在放装置的时候有个参考。尺子，纸板
- 缝衣针、大头针，图钉，曲别针都可以
- “半透半反镜”
- 待测光学原件：平面镜，化妆镜（2倍放大，凹反镜），  
玻璃瓶底（凹透镜），发光耳勺配的放大镜（凸透镜），  
望远镜
- 固定装置：鱼尾夹，文件带的杆子（橡皮泥，口香糖，甚至是面团都可以）



## 例1：视差法确定虚像位置



➤注意背光，不要迎着光做，通常装置的反射率低，如果背光太强或物体光照不足都对现象观察有影响。



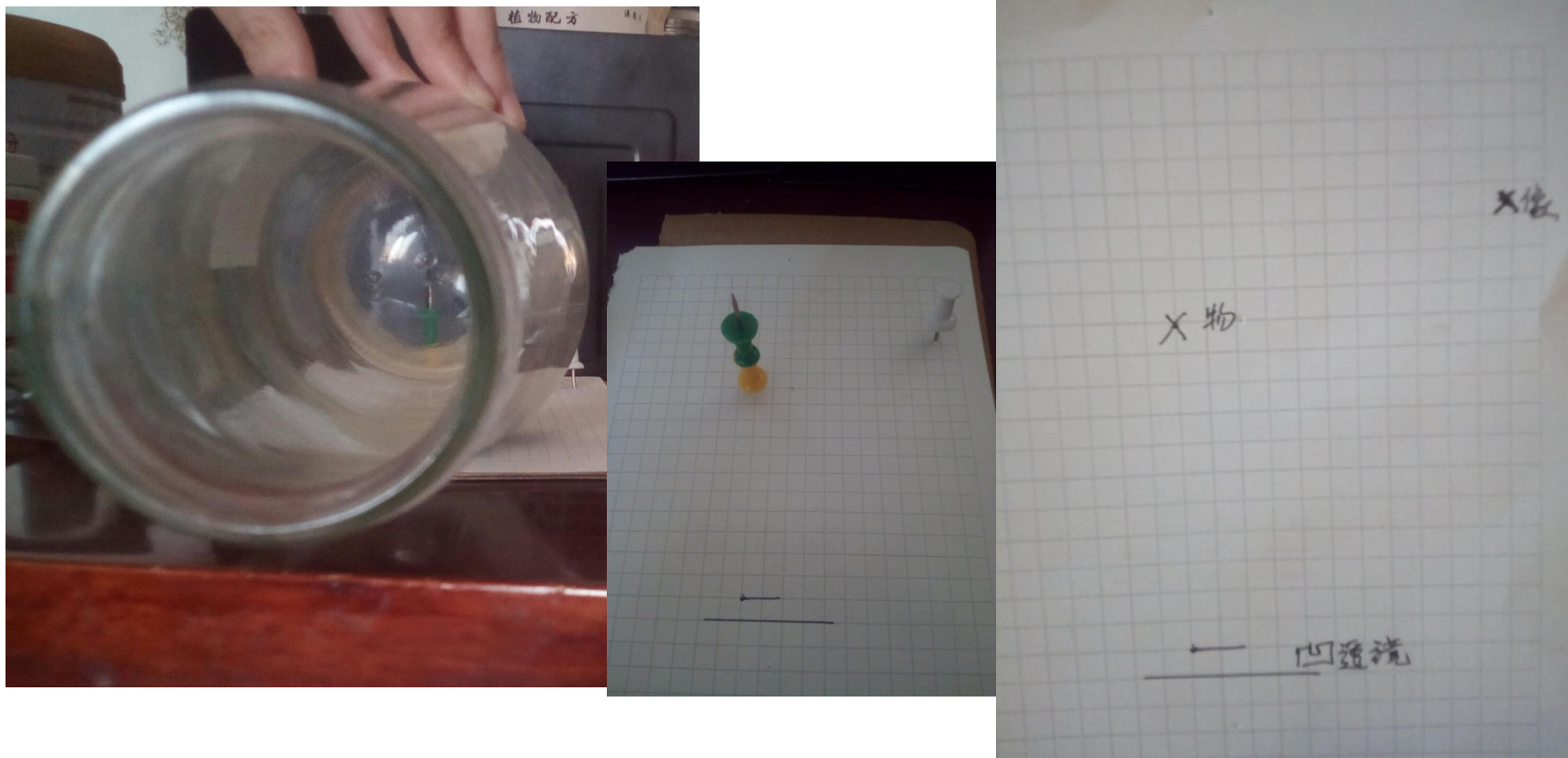
## 例1：视差法确定虚像位置

---

- 在这个环境中没有借助视差就轻松将蓝色的虚像和黄色的实物重合是依赖我们的双眼视觉。但当我们单目观察时（很多装置是单目的，或用于孔径的限制无法双眼观察）就没把握了，如果在暗的环境下，你的判断就更不行了。
- 体会视差：闭上一只眼，将左手向前移动，然后移动眼睛或者头，观察蓝色的虚像和黄色的实物的相对位置变化，然后总结经验。



## 例1：视差法确定虚像位置



由于瓶子厚度，下面的黄色图钉的针部分观察不到，  
所以这里如图用了相对的两个图钉作物。



# 同事、助教、学生实践

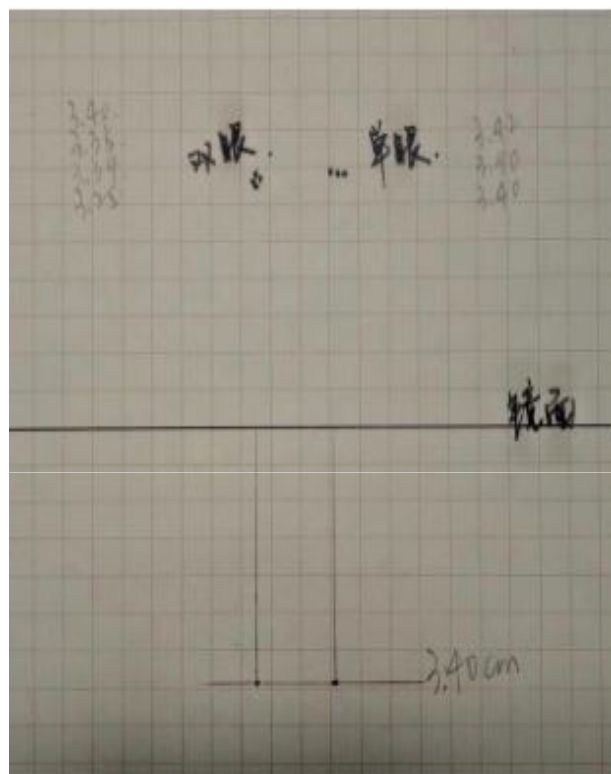


图 4

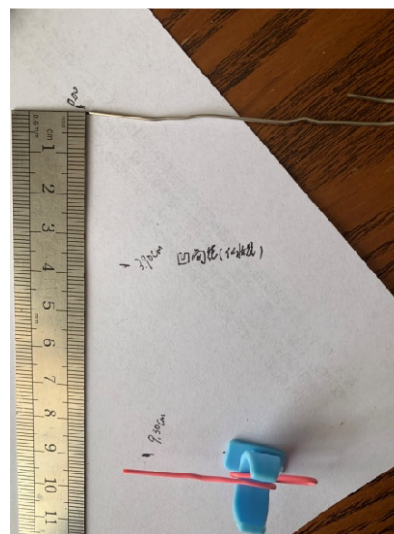
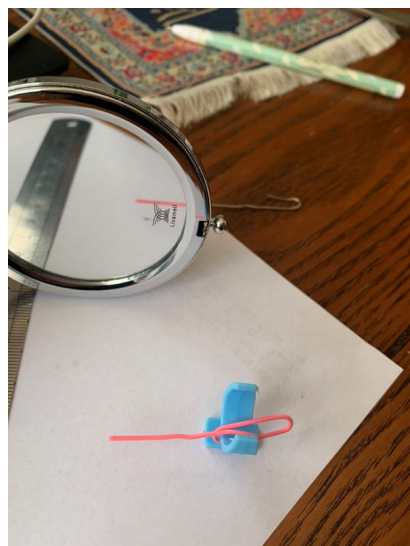
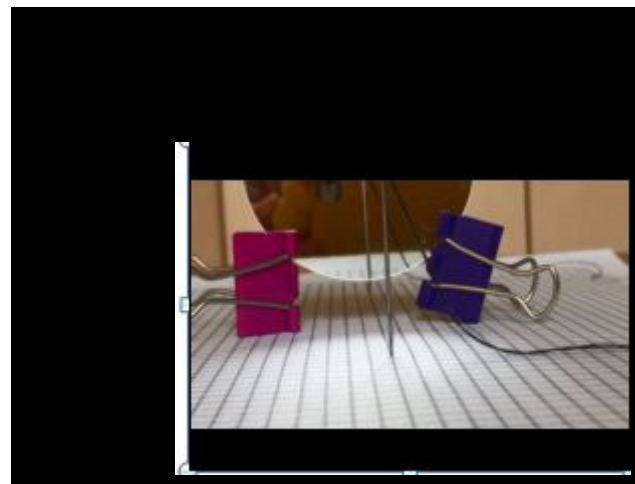
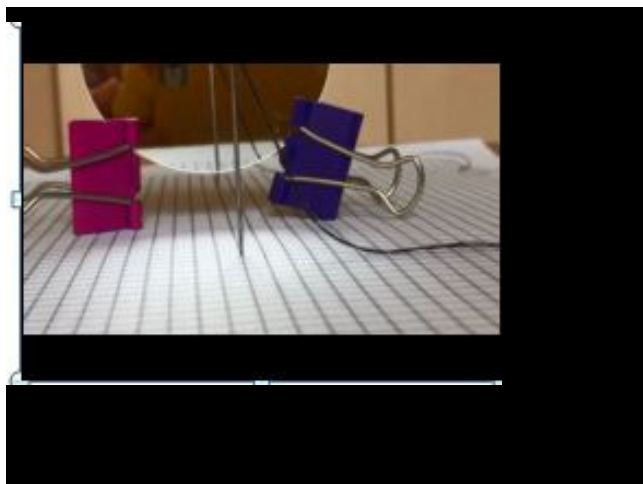
(1-4 为双眼测量, 5-7 为单眼视差法测量。单位: 厘米)

| 物距   | 像距 1 | 像距 2 | 像距 3 | 像距 4 | 像距 5 | 像距 6 | 像距 7 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3.40 | 3.25 | 3.40 | 3.34 | 3.35 | 3.40 | 3.40 | 3.42 |

上述数据说明, 单眼观察的数据离散程度低, 数据集中, 确定两个平面重合的准确度更高, 因此下面的实验均采用单眼消视差的测量方法进行。



# 同事、助教、学生实践





## 例2：居家自组光学干涉仪

---

- 主要练习光路调节的基本实验能力。
- 本居家实验设计，可以帮助学生在课下强化练习。疫情结束也依然有推广价值。



## 实验难点分析

- 光学干涉光路受环境**抖动**等不稳定因素影响比较大。
- 激光的扩束：居家条件下小焦距扩束镜比较难获得。并且需要比较精确的光路同轴调节才能实现较好的扩束效果。
- 激光扩束后单位面积**光强减弱**。
- 由于**精密的运动机构**比较难获得



## 例2：居家自组光学干涉仪





## 例2：居家自组光学干涉仪

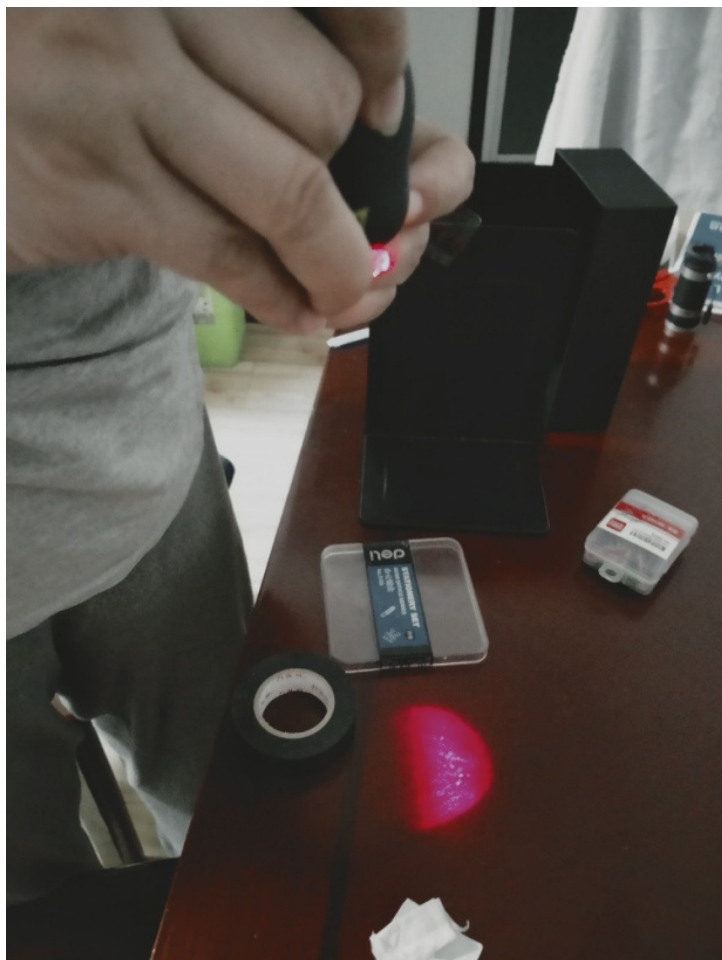
### 操作指导：光路调节中常见问题与难点



- 直线光路的调节在导轨上学习过。做上图小装置回顾一下。
- 强调主光源、次光源（物屏）的调节。在很多学生的实验过程对这个步骤的重视不足，造成光源三个扇形孔不能均匀照明。是学生调节光路的主要问题。



## 例2：居家自组光学干涉仪





## 例2：居家自组光学干涉仪

---

作业要求：

- 成败不是唯一的考量要求。
- 如果扩束后观察到条纹。请自制挡光板，挡住相干光中的一束，观察条纹是否消失。然后挡住另一路光束，观察条纹是否消失。以确保看到的是两束光的干涉。
- 干涉仪的种类很多，作业提交不限于本PPT提及的几种。
- 如果希望老师评阅视频文件，请提供网址或抖音账号等。



# 同事、助教、学生实践





# 同事、助教、学生实践

## ·收获与反思·

在调节仪器的过程中，我对迈克尔逊干涉仪有了更深的理解。将两个光路分别调整，效率会高许多。如果很难看到条纹，很可能是中心点在离光斑很远的地方，这时候应该检查各个元件是否等高，光束是不是照到了凸透镜的边缘。同时也说明观测光的干涉现象并不需要非常精密的仪器。合理利用工具和手边的材料(如积木，热熔胶枪)会让实验顺利得多。+



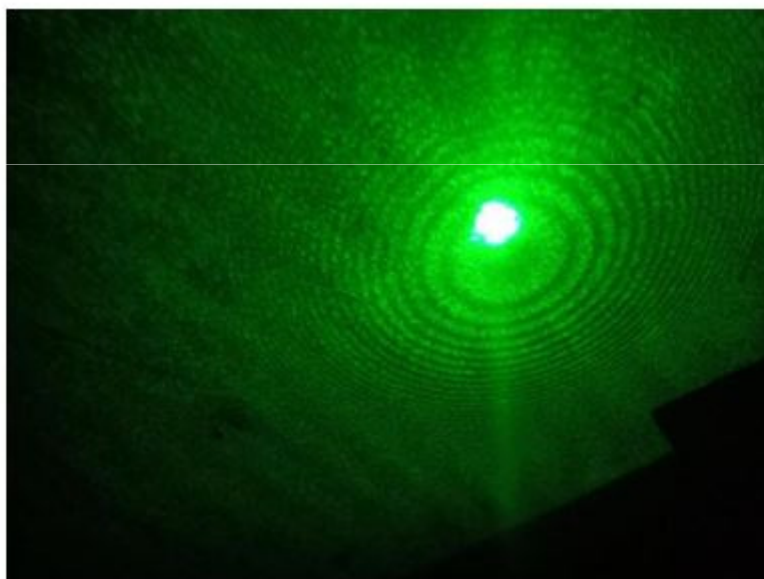
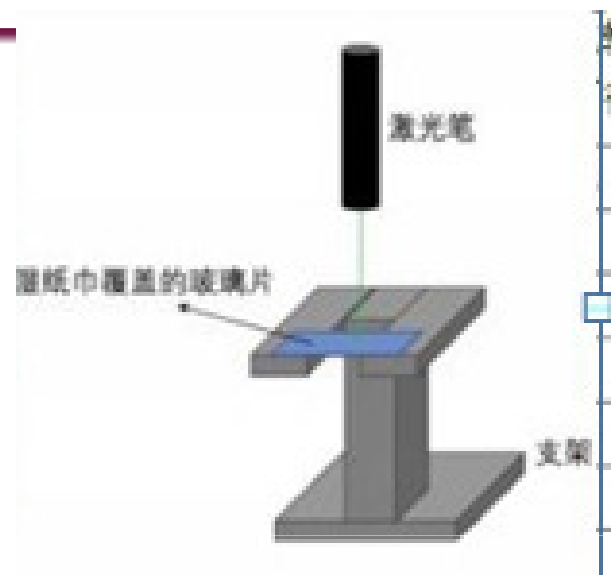


# 同事、助教、学生实践

六，实验结果：

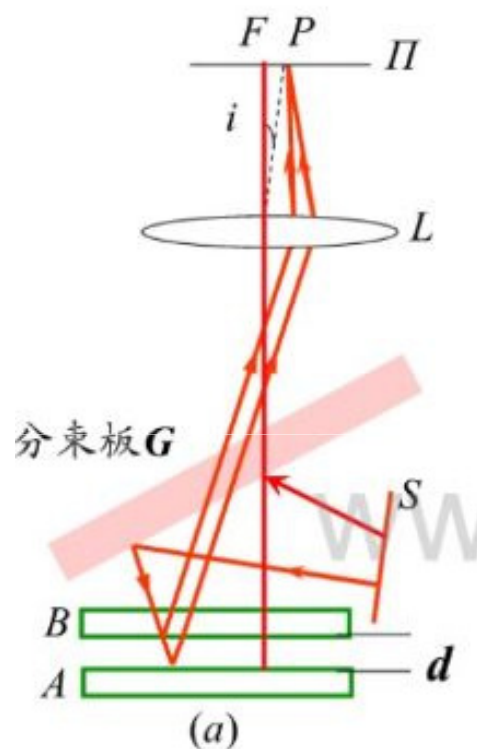
调整一面镜子时就已经出现干涉条纹，如下图：遮住其中一个光线条纹不发生改变。

对此，我的解释是激光器的镜头和对应的镜子，组成了相当于两面正对着的镜子，光在其中至少反射两次，第一次和第二次的光在半透半反镜上反射，这两束光光程差为激光器和镜子间的距离，光程差恒定产生干涉，并非迈克尔逊干涉仪原理中应出现的干涉。





# 同事、助教、学生实践



海定格干涉仪  
结构示意图



| 玻璃板数目 | 一定长度线段内的暗环数目 |
|-------|--------------|
| 1     | 6            |
| 2     | 7            |
| 3     | 8            |
| 4     | 9            |
| 5     | 8            |

表 1: 单位线长的暗环数目

由此表我们可以发现，当玻璃的片数增加，即  $h$  增大时，干涉图样的密集程度增加，即干涉环向中间“吞”。

接下来我们分别用理论值简要计算第一暗斑的直径并且使用 `tracker` 软件对实验得到的图像进行测量，得出比较。在计算过程中有载玻片厚度  $h_o = 1\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ，架子高度  $H = 23.40\text{cm}$ ，可得

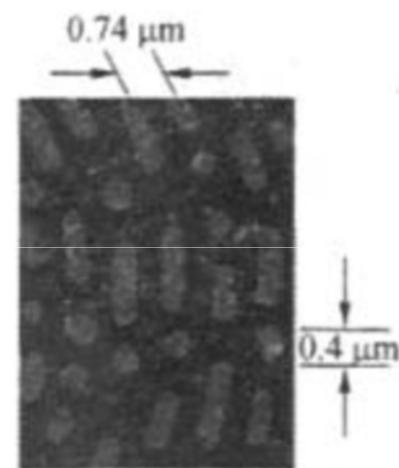
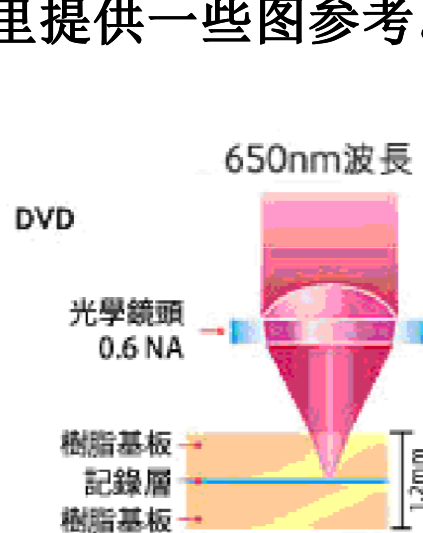
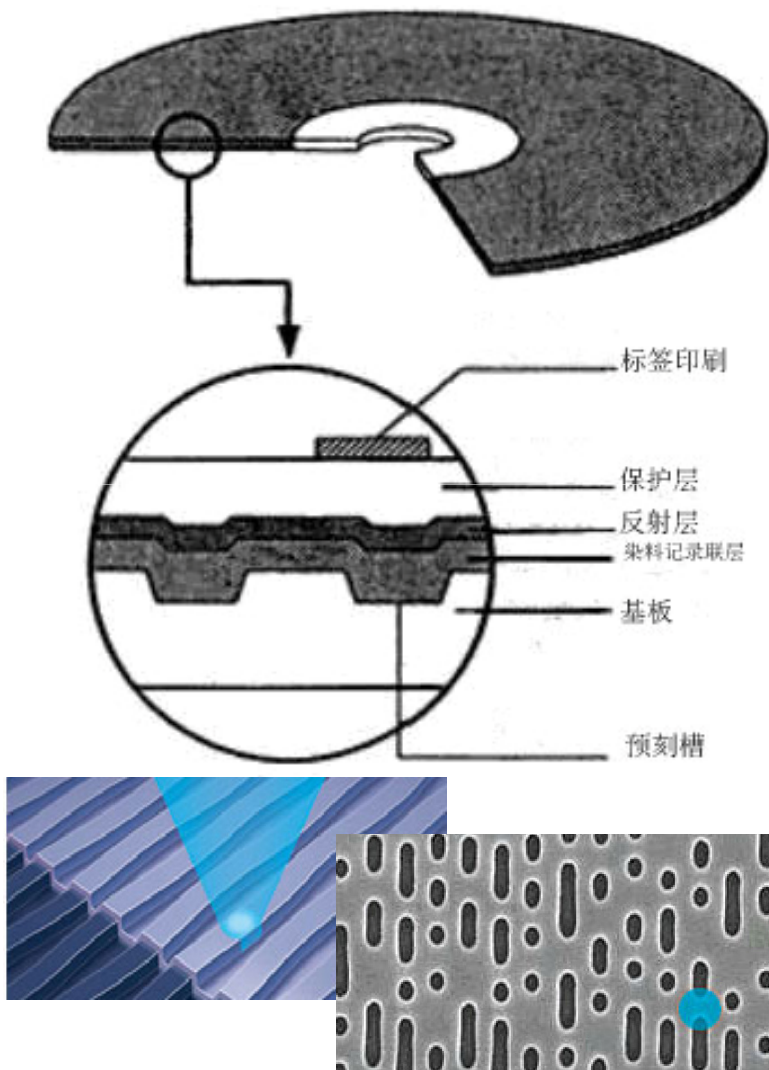
| $h$ mm | 理论暗环直径 cm | 测得暗环直径 cm |
|--------|-----------|-----------|
| 1      | 3.58      | 3.052     |
| 2      | 7.16      | 6.064     |
| 3      | 10.73     | 9.057     |
| 4      | 14.31     | 10.560    |
| 5      | 17.89     | 11.440    |



## 例3: 居家测量光盘的光栅常数

光盘的结构:

► 查阅文献了解光盘的结构。以DVD为例，这里提供一些图参考。



► 光盘记录和读取数据,是沿着**螺旋轨道**,从光盘中心沿光道往外沿旋转记录或读取。



## 例3: 居家测量光盘的光栅常数

实验目的:

- 利用光的衍射是测量微结构 尺寸的常用方法。适用于衍射物体线度在几微米至几百微米的情况。
- 通常一个微线度对应一组衍射光斑，如果有多个微结构线度尺寸，将同时观察到不同尺寸的衍射光斑。
- 光盘的结构对比实验室提供的理想光栅是复杂的。
- 如果你要探究光盘预刻槽的尺寸，需要**对衍射图样的观察和甄别**。这是本实验的练习重点。

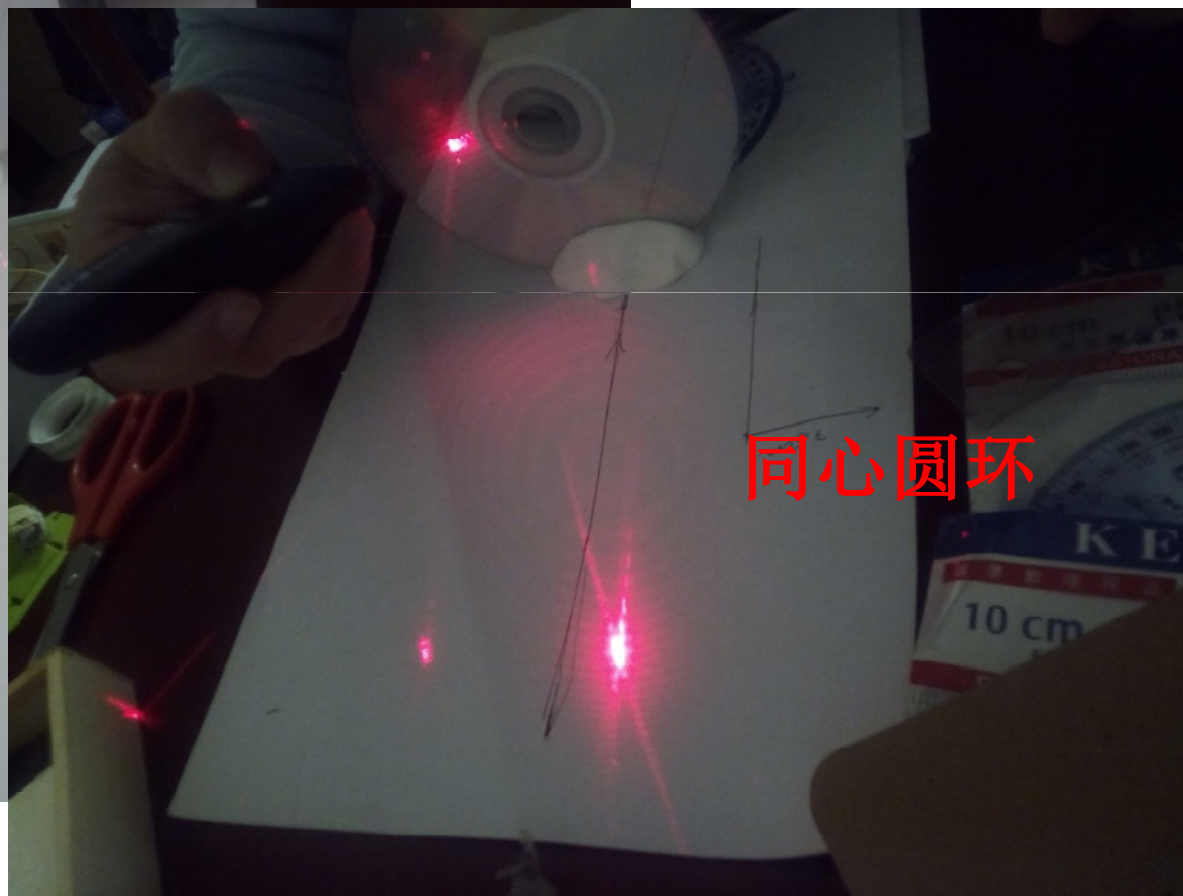




### 例3: 居家测量光盘的光栅常数



环形点状光斑



同心圆环



## 例3: 居家测量光盘的光栅常数

---

实验现象预期:

- 根据查到的**DVD**结构数据, 估计实验中预刻槽的尺寸所对应的等效反射光栅的一级衍射角。
- 以 $30^\circ$  为例计算斜入射时正负级衍射角的大致数值。



## 例3: 居家测量光盘的光栅常数

---

实验测量（必做）：

- **排除干扰信息**后，设计方案进行光盘预刻槽的尺寸等效的反射光栅常数测定。
- 尽量对光路进行尽可能准确的必要调节，以**消除**光的衍射平面与测量平面不平行引入的**粗大误差**。进行**对称测量**降低非正射引入的误差。
- 如果不能调整衍射面或对称测量，请提出相应的测量方法以及**误差估计**。



## 例3：居家测量光盘的光栅常数

---

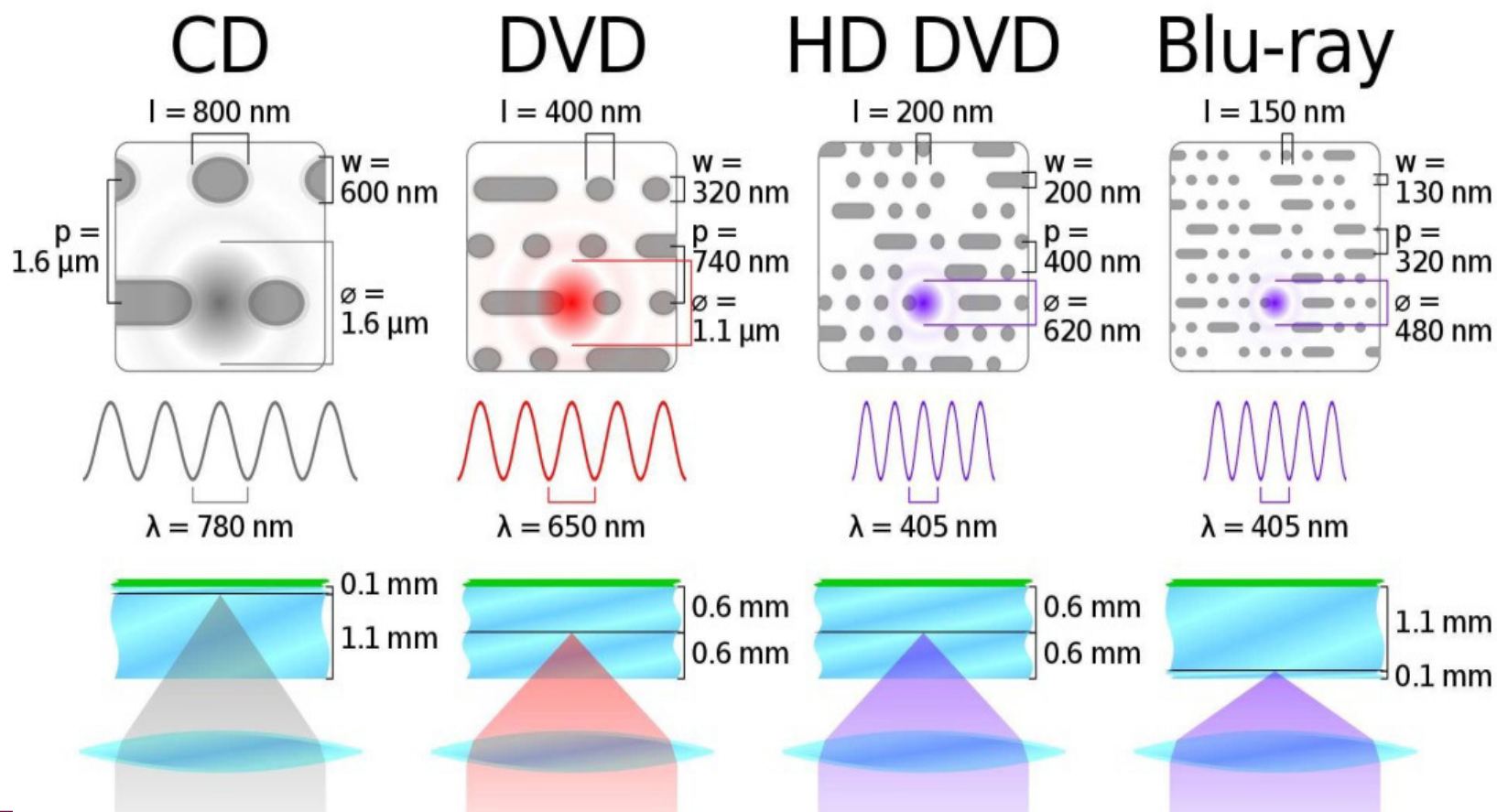
### 实验探索（选做）：

- ▶ 尽可能的收集实验过程中观察到的所有结构型光斑。观察这些光斑的产生条件，对其进行初步测量，猜测它们的成因。下页给出了一些可能观察到的实验现象供参考。
- ▶ 查阅文献，设计实验准确测量，依据理论分析和测量结果，确定某些现象的成因。



# 同事、助教、学生实践

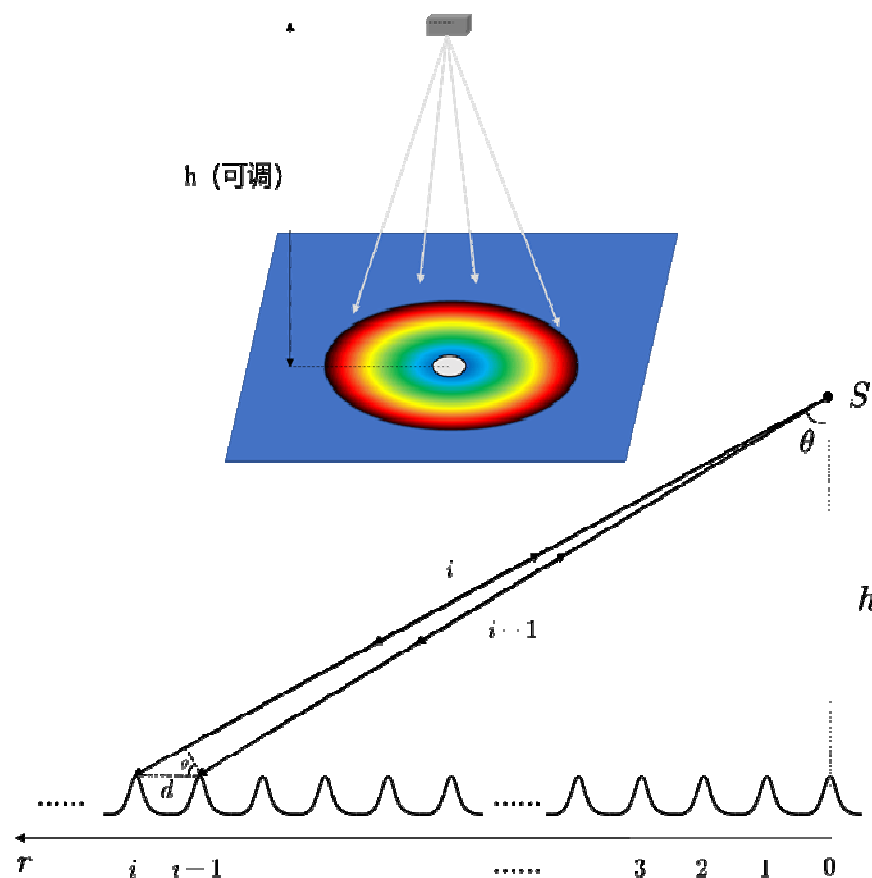
## 没现象??!





# 同事、助教、学生实践

## • 理论知识的不足



考虑两束白光  $i$  与  $i+1$ ，它们分别照射到了第  $i$  与  $i+1$  个突起上并且刚好垂直于反光镀层的切面，即光线与法线重合。随后这两束光原路返回，再次回到被  $S$  点被拍摄到。两束光之间的光程差为：

$$\Delta L = 2d \sin \theta_i \quad (1)$$

(1)中  $d$  为每个微小突起的间隔（光道间距或光栅常数）， $\theta$  由第  $i$  与  $i+1$  个突起在光盘上的位置所决定，角度  $\theta_i$  与其对应的突起在圆盘上的位置满足(2)式：

$$\tan \theta_i = \frac{r_i}{h} \quad (2)$$

因为  $S$  点可以发出任意波长的可见光，因此一定存在两束波长为  $\lambda_i$  的光（它们包含在两束白光中）在角度  $\theta_i$  处光程差为  $\lambda_i$ ，即：

$$\lambda_i = 2d \sin \theta_i = 2d \frac{r_i}{\sqrt{r_i^2 + h^2}} \quad (3)$$

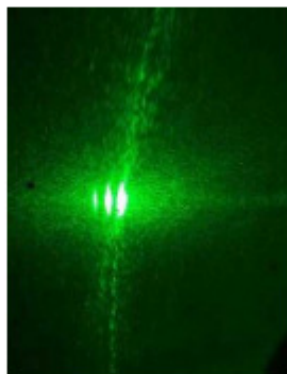


# 同事、助教、学生实践

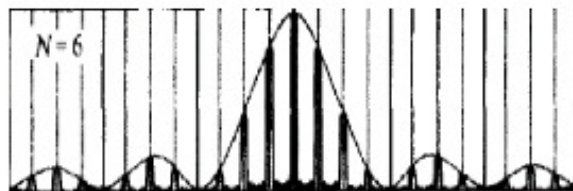
- 远场条件远  
不满足
- 光栅方程的  
推导

所以六日0, 1和1级条纹

2、为什么每个条纹处有3个亮点(如下图)



答：由  $N$  缝衍射的知识可知，每一亮条纹处并不知一条理想的线状亮纹，每一亮纹处度实际上对应一系列亮线的包络，而每一包络内的分布和单缝衍射条纹分布是一样的  $N=6$  时就有：



所以上图的本题中：最亮的条纹是由缝间干涉因子决定的，它是干涉的加强点，剩下两纹的亮度由衍射因子决定。



## 行业检测：知识扩展

Basler REFERENCE 独创的光路结构从红色主激光束（635nm）中分离出一束子光束。改变子光束的不同入射角度来达到捕获二级衍射光的目的。图1分析了计算原理。假设按照双折射的要求将激光入射角度仅设为  $7^\circ$ ，盘基上无法就出现二级衍射。Basler 设备采用较平的  $60^\circ$  角来照射盘基。这样二级衍射光束在盘基上形成一个便于探测器记录的角度。采用这种设计巧妙的光学结构，Basler REFERENCE 对于 DVDR 光盘槽深和槽宽的测试可以精确到 1 nm。槽深的测试范围在 10 nm 到 1000 nm 之间，槽宽在 50 nm 到 370 nm 之间。



$$\text{Width} = \frac{P}{\pi} \cos^{-1} \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

$$\text{Depth} = \frac{\lambda_0 \cos^{-1}}{4\pi \cdot n_s} \left[ 1 - \frac{p^2}{2W \frac{T_0}{T_1} W \text{sinc}^2 \frac{\pi W}{P} + P - W} \right]$$

式中  $T_0$ 、 $T_1$ 、 $T_2$  分别是零级、一级、二级衍射光的透射光强度，

$W$  是槽宽， $P$  是轨道节距。



# 光学居家实验教学实践的意义

- 简化与深化
- 杀龙绝技？

第 27 卷 第 5 期  
2007 年 5 月

物 理 实 验  
PHYSICS EXPERIMENTATION

Vol. 27 No. 5  
May, 2007



实验教学研究

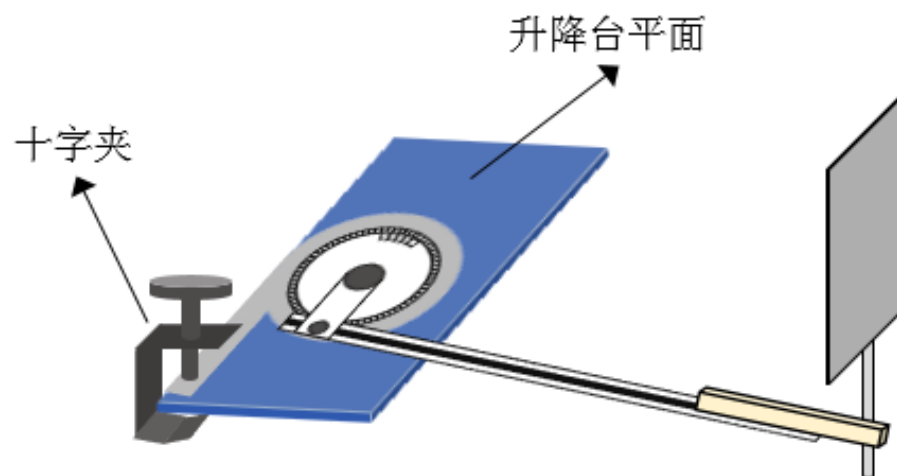
大学物理实验的简化与深化

王思慧, 苏为宁, 周 进  
(南京大学 物理系, 江苏 南京 210093)

## 实验能力和理论知识 的“泛化”



# 居家毕业设计





# 居家毕业设计

