



# 第50届国际物理奥林匹克竞赛实验试题第一题

惠王伟 宋峰

(南开大学物理科学学院 300071)

## 光学测量(10分)

在本实验中,需要利用所提供的装置,以能够达到的最高精度对样品的光学特性进行测量。

注意:在你的桌子下方有两个大水瓶,在第二个实验中需要用到,不要饮用。

在A部分中,将使用两种不同的方法来测量透明圆盘的折射率。第一种方法是传统方法,而第二种方法是原创方法,能够实现更高的精度。

在B部分中,将测量激光波长 $\lambda$ 与衍射光栅晶格常数 $d$ 之间的比值,以达到尽可能高的精度。

在C部分,将再次测量三棱镜的折射率,以达到最高的精度。

对于该实验,从考试开始后的20分钟起,考场光线将调暗100分钟(需要时可以使用台灯)。在黑暗中进行A部分的测量比较方便,但大部分测量也可以在光线下进行。

你可以把隔间的墙壁当作屏幕,在墙壁上贴上胶带。在这些实验中,使用一个二极管激光器作为光源。

### 激光安全说明:

- 切勿直视激光束!
- 在所有实验中,激光束都是水平的。当测量激光束在平面上的位置时,确保你的头部始终高于激光束所在的水平面。
- 不要将激光束对准实验隔间的开口。

- 不进行测量时,使用指定的开关关闭激光器。

设备清单:

器材1-9用于本题的所有部分,器材10-12用于本题的一部分。请注意,有多件光学元件,请确保不要直接接触它们的垂直面,以免污染它们的表面。

- 1) 60厘米长的尺子。
- 2) 可沿标尺移动的滑块。
- 3) 激光器,安装在滑块上。激光器可设置为两个高度或两个水平位置:A部分为低水平3A,B和C部分为高水平位置3B。激光器的开关如图3C所示。
- 4) 通过拧松或拧紧螺钉4A和4B,可控制旋转阻力,从而控制装置的稳定性。使用小金属棒4C可改变激光器的方向。将4C旋转180度可以改变激光器的高度。不要绕光束轴旋转激光器,因为光束的偏振是预先调好的。
- 5) 屏幕:可以使用隔间的墙壁;可以设定墙壁是相互垂直的。
- 6) 一卷胶带,可以用来把装置粘在桌子上。
- 7) 软卷尺。
- 8) 各种尺子。
- 9) 台灯。
- 10) 直径为20厘米的圆形透明圆盘,固定在量角器上,用胶水粘在木制底座上(A部分)。应该把附在木架上的4个小木块取下来。
- 11) 可用作透明屏幕的羊皮纸,临时(用手)贴在圆盘的侧面,以便在不污染抛光圆盘表面的情况下测量出射点(A部分)。如图所示,如果在纸上画一

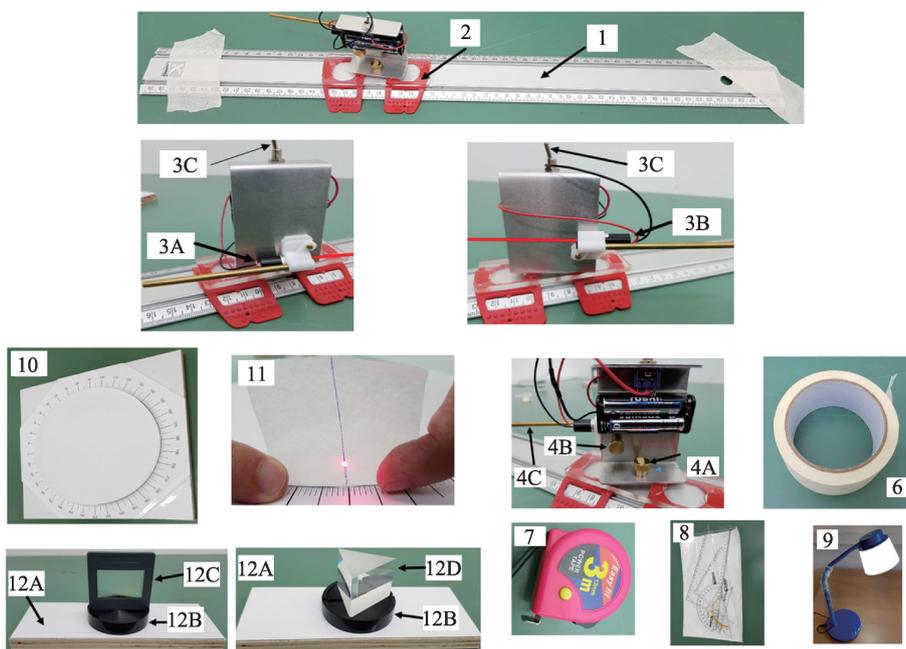


图1 实验器材

条线,测量光束出射点会更精确。

12) 一个木片(12A)和一个能沿其垂直轴旋转的圆筒架(12B),用于安装衍射光栅(12C)或三棱镜(12D)。

### A 部分: 圆盘的折射率(5.5分)

在这一部分中,我们将通过观察光束在圆盘内折射和反射时所走的路径来测量透明圆盘的折射率。

定义和符号:

$\alpha$ : 圆盘与入射光束之间的入射角

$2\Delta\alpha$ : 入射角的角度扩散,即入射角 $\alpha$ 取值范围大小

$\beta$ : 圆盘内部的折射角

$\gamma$ :  $180^\circ - 2\beta$

$n$ : 圆盘材料的折射率

$N$ : 光束从圆盘射入空气之前击中圆盘边界的次数(在草图中, $N=3$ )

$\delta$ : 入射光束的反方向与出射光束方向之间的角度,按顺时针方向测量(草图显示了 $N=3$ 的角度 $\delta$ )

$2\Delta\delta$ :  $\delta$ 的角度扩散

可以证明 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\delta$ 的关系为:

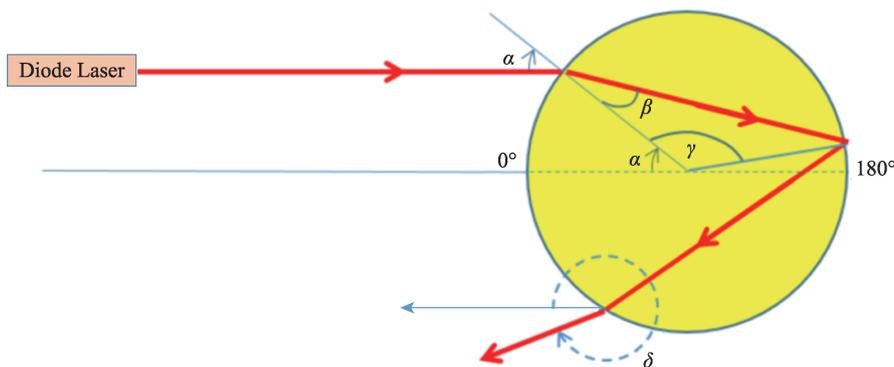


图2 实验示意图

$$\delta = 2\alpha + (N-1)(180^\circ - 2\beta) \quad (1)$$

你可以直接用这个公式,不用进行推导。

用胶带将直尺固定在桌子上,以控制激光束的入射角,并以便于测量入射角的方式调整激光。然后,通过将胶带粘贴到裸露的木质底座和桌子的角上,将圆盘粘贴到桌子上。用金属棒4C调整倾斜度。激光器可设置为两个不同的高度,A部分为低水平位置,B和C部分为高水平位置。已经事先对激光器进行了调整,使入射光束处于S偏振(反射更高的偏振)。不要改变入射光束的偏振(不要绕光束轴旋转激光器)!

#### A.1(1.0分)

画出一个系统示意图,显示带滑块的直尺、圆盘和激光束所走的路径。标出入射角 $\alpha$ 。在角度 $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$ 之间进行一系列测量,然后将 $\alpha$ 、 $\Delta\alpha$ 、 $\delta$ 、 $\Delta\delta$ 填入表1中。

注意:测量 $\delta$ 时,直接在圆盘上测量 $\delta/2$ 更方便。

#### A.2(1.0分)

使用上一步的测量值,绘制适当的图形,从中可以得到折射率 $n$ 和误差 $\Delta n$ ,如果需要计算额外的物理量,请将计算出的数字填入表1的空列中。求 $n$ 和 $\Delta n$ 。

#### A.3(0.5分)

对于在A1中进行的测量,绘制一张 $\delta$ 与 $\alpha$ 的函数关系图。在每个测量点上用直条标记 $\Delta\delta$ 和 $\Delta\alpha$ 的值。进行额外测量,以准确找到最小 $\delta$ 和相应的 $\alpha$ ,用 $\delta_{\min}$ 和 $\alpha_{\min}$ 表示。为了最准确地识别最小点,可以使用隔间的墙壁作为出射光束的屏幕。

## 第二种测量折射率的方法

在这一部分,将开发另一种方法,以便获得更为准确的结果。即使要求以最高可实现的精度进行测量,也不需要误差计算。尽管如此,还是需要详细说明用来得到结果的方程式。把方程式写在答题纸上。

#### A.4(0.7分)

根据在A.3中得到的图形特征,选择一个最佳

的角度来进行测量,以求出折射率。用这种方法可以得到折射率,写出公式。

#### A.5(0.8分)

对于 $N=3$ ,使用A4中的方法进行必要的测量,以计算高精度折射率

- 绘制圆盘和光束路径图,并在图上标明测量的物理量。

- 记录所进行的测量结果。

- 对测量值进行分析,并以可以达到的最高精度计算圆盘的折射率 $n$ 。如果需要,可以使用额外提供的图纸页。

#### A.6(1.5分)

对于 $N=4$ 和 $N=5$ ,重复上一个任务中执行的过程(无需绘制系统和光束路径图)。

- 记录在 $N=4$ 时进行的测量。

- 对 $N=4$ 时的测量值进行分析,并使用这些测量值,以能够达到的最高精度计算折射率 $n$ 。

- 记录在 $N=5$ 时进行的测量。

- 对 $N=5$ 时的测量值进行分析,并使用这些测量值,以能够达到的最高精度计算折射率 $n$ 。

- 根据在 $N=3$ 、 $N=4$ 和 $N=5$ 时,测量并计算得到的折射率值,计算折射率的平均值 $\langle n \rangle$ 。

A部分主要研究的是圆盘的折射率。本题要求使用两种方法测量圆盘的折射率,一种是传统的方法,另外一种需要自己开发。第一部分中因为需要进行作图,测量数据时,要满足一定的测量次数。第二部分的关键是通过A.3中得到的图形进行分析,利用题目中提供的公式,推导出折射率与折射角之间的关系,从而找出第二种折射率测量方法。

## B部分:衍射光栅的参数(2.5分)

在本部分中,你不需要进行误差计算。

在这一部分中,要求求出 $\lambda/d$ 的比值,其中 $\lambda$ 是激光的波长, $d$ 是光栅常数(相邻狭缝之间的距离)。

当激光束通过衍射光栅时,光束的入射方向与

$m$ 级最大强度的方向之间的夹角 $\theta_m$ 可以由下面公式得到:

$$d(\sin \alpha + \sin (\theta_m - \alpha)) = m\lambda \quad (2)$$

其中

$m$ : 衍射级

$\alpha$ : 光束与光栅之间的入射角

$\theta_m$ : 光束的原始方向与获得的最大衍射级数 $m$ 的方向的夹角

$d$ : 光栅常数-光栅中相邻狭缝中心之间的距离

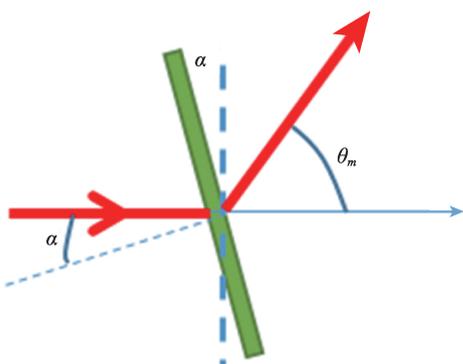


图3 光束穿过光栅示意图

高级次衍射可以使得波长之间更好地分离。因此,使用高衍射级次的精确测量降低了 $\lambda/d$ 值的相对误差。

松开螺钉4B,改变激光器的高度(垂直高度),将激光器绕垂直于光束方向的水平轴旋转180度(小心电线),使其处于3B所示的状态。此操作将使你能够完成B部分和C部分。使用金属棒4C进行激光器的精细调节,使其与使用衍射光栅进行测量的装置高度对齐。对准激光束,使其与屏幕垂直。将衍射光栅放置在指定支架12B的槽中。衍射光栅的方向由贴在光栅一侧的标签表示。确保光栅贴有标签的一面朝向激光器,并且标签位于光栅顶部。每个光栅都有一个唯一的ID,写在标签上。在答题纸的相应框中写下你的光栅ID。

在本部分中,你可能会发现使用类似于在A部分的第二部分中使用的想法是有用的。

B.1(0.7分)

- 在答题纸上画一张装置示意图。在图中标明

桌上的激光、衍射光栅、激光束的轨迹、它击中屏幕的点和测量的物理量。

- 对 $m=1$ 进行测量,写下测量值,求出 $\lambda/d$ 。
- 对 $m=2$ 进行测量,写下测量值,求出 $\lambda/d$ 。

B.2(1.8分)

使用更高的衍射级( $m>2$ )获得 $\lambda/d$ 的值。

在答题纸上画出 $m=3$ 和 $m=4$ 的两张装置示意图,在图中标明桌上的激光、衍射光栅、激光束的轨迹、它击中屏幕的点和测量的物理量。

- 对衍射级 $m=3,4$ 进行测量。记录测量数据。

对于每个 $m$ ,求出 $\lambda/d$ 的值。

B部分主要研究的是衍射光栅的相关参数,测量激光波长 $\lambda$ 与衍射光栅晶格常数 $d$ 之间的比值。注意,实验过程中要按照题目中的提示,精细调节实验装置,达到尽可能高的测量精度。

C部分: 三棱镜的折射率(2.0分)

给你一个近似等边的三棱镜。棱镜的三个面是平面且高度抛光。棱镜的角度可能偏离 $60^\circ$ ,但偏离不超过 $0.7^\circ$ 。你不需要测量棱镜的角度。本节的目的是测量棱镜所用材料的折射率。为了减少折射率的误差,可以使用小角度近似( $\sin x \approx x, \cos x \approx 1$ ,测量的 $x$ 以弧度表示)来校正棱镜角度的小偏差。在本部分中,需要进行误差分析。下面的图显示了光线通过一个面进入棱镜并通过下一个面出射的示例。

将滑尺放在桌子上合适的位置,以保证激光可

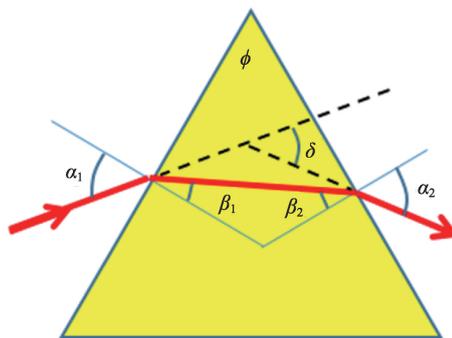


图4 光在三棱镜中的传播

以使测量达到最高精度。将棱镜放置在指定的支架 12B 中。

C.1(0.4分)

在对称情况下,  $\alpha_1 = \alpha_2$ , 对于等边棱镜, 下列关系成立:

$$n = 2 \sin \left( \frac{\delta_{sym}}{2} + 30^\circ \right) \quad (3)$$

• 设计出一种方法, 使你能够以最高的精确度求出棱镜的折射率。

- 在答题纸中详细写出用于计算折射率的公式。

C.2(1.6分)

• 在答题纸上记录所测量的物理量及其测量数值(包括误差)。

- 计算该激光波长下的棱镜折射率, 以及折射

率的误差。

C 部分主要研究的是三棱镜的折射率, 本题的关键是根据题目中给出的提示和等边棱镜公式, 利用折射定律, 分析棱镜不完全等边时  $\delta$  与折射率之间的关系, 从而设计出一种能够以最高精度求出棱镜折射率的方法。

\* \* \* \* \*

欢迎读者朋友参与“物理奥赛”系列专题的有奖竞答活动, 并在答案公布前将您的解答同时发送至 [aosai@ihep.ac.cn](mailto:aosai@ihep.ac.cn) 邮箱。对于参与并答对每期题目的前 20 名读者, 编辑部将赠阅 1 年《现代物理知识》杂志。



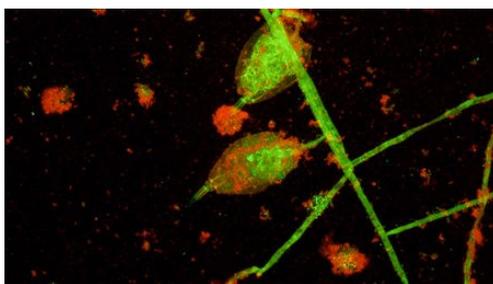
## 科苑快讯

# 一滴水中惊现真菌杀死轮虫的微生物战争

在污水处理厂的搅拌池深处, 微生物学家们发现了堪与人类游击战相匹敌的秘密联盟和阴谋诡计。策划者是一种微小的真菌, 其目标是轮虫, 这是一种废水淤泥中同样常见的微小水生动物。

利用光学和电子显微镜, 以及对细菌、DNA 和其他物质进行染色的技术, 研究组整合出这种真菌得逞的过程。观察一滴水, 真菌首先形成一种称为菌丝体的细丝网, 上面又长出棒棒糖状的短分支, 用来捕捉轮虫。细菌聚集在这些丝网的上面及内部, 集中于棒棒糖表面的顶部, 噬菌体及其一些 DNA 覆盖在这层薄膜上。

为了应对轮虫的伏击, 这种粘稠的混合物可以防止轮虫逃脱。研究人员在《国际分子科学杂志》(*International Journal of Molecular Sciences*) 上报告, 在这场看似协调一致的攻击中, 真菌丝在悬垂的轮虫体内和全身生长, 带来了开始消化轮虫的细菌。菌丝享用完细菌消化释放的脂肪滴后, 即抽身离去, 而被消耗殆



尽的轮虫只剩下体外的空壳和体内的细菌。这些不幸猎物的残骸最终将被这些微生物降解。

科学家统计发现, 单单一个真菌上可以悬挂多达 50 只死亡轮虫。需要研究的东西还有很多, 但是这似乎再一次证明了, 个体微小的微生物不容小觑, 它们远比我们想象的要复杂得多。

(高凌云编译自 2021 年 2 月 15 日 [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org))