

## 光学测量

在本实验中，我们利用现有设备尽可能地精确测量样品的光学性质。

注意：在你的桌子底下有两大瓶水，这是实验二需要的，**不要喝它**。

在 A 部分，我们将使用两种不同的方法来测量透明圆盘的折射率。第一种是传统方法，而第二种是原创方法，可以达到更高精度。

在 B 部分中，我们将测量激光波长  $\lambda$  与衍射光栅的光栅常数  $d$  之间的比值，旨在达到最高精度水平。

在 C 部分，我们再测量折射率，这次是三角形棱镜的，也试图达到最高精度水平。

实验考试开始 20 分钟后，考试大厅将变暗 100 分钟（需要时可以使用台灯）。这是因为在 A 部分，暗环境对观测有利，当然在灯光下也可进行大多数测量。

可以使用工作间的墙壁作为屏幕，胶带也可以用在墙壁上。在这些实验中，你使用二极管激光作光源。

可以使用工作间的墙壁作为屏幕，胶带也可以用在墙壁上。

在这些实验中，你使用二极管激光作光源。

### 激光安全说明：

- **切勿直视激光束！**
- 在所有实验中，激光束沿水平传播。当测量激光束在某平面上位置时，**确保你的头部始终高于光束的高度**。
- 不要将激光束对着实验工作间的开口处。
- 不进行测量时，使用开关关闭激光。

### 设备清单

在本题的所有部分中会使用标号 1-9 设备，标号 10-12 设备用在本题的某些部分。注意你有多件光学器件，不要触碰他们的垂直面（光学面）以免损坏表面。

1. 尺子，长 60 厘米
2. 可以沿着标尺移动的滑块
3. 激光源，安装在滑块上。激光器位置可以固定在两个高度：在 A 部分，激光固定在较低处（图中 3A）；B 部分和 C 部分，激光固定在较高位置（图中 3B）。激光器的开关如图中部件 3C 所示。
4. 螺丝 4A 和 4B 的张力控制着绕它们转动的阻力因而也控制装置的稳定性。要进行光束竖直方向的微调，可轻轻提压小金属条 4C。将 4C 旋转 180 度可以改变激光的高度。不要绕出射光束轴旋转激光，因为激光的偏振是预设好的。
5. 屏幕：你可以使用工作间的墙。你可认为各墙面相互垂直。
6. 一卷胶带，可用于将设备固定在桌子上。
7. 卷尺
8. 各种尺子
9. 台灯
10. 直径为 20.00 厘米的透明圆盘，固定在量角器上，量角器粘在木质底座上（用于 A 部分）。你应该移除附在木质底座上的 4 个小木方块。
11. 可以被用作透明屏幕的纸，你可用手临时将纸放在圆盘的侧面，这样可以测量出射点时不致弄脏抛光的圆盘表面（对于 A 部分）。如图所示，如果在纸上画条直线，测量光束出射点会更准确。

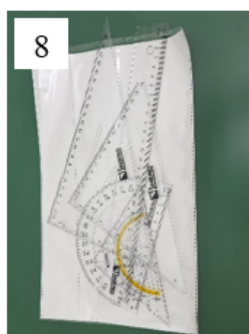
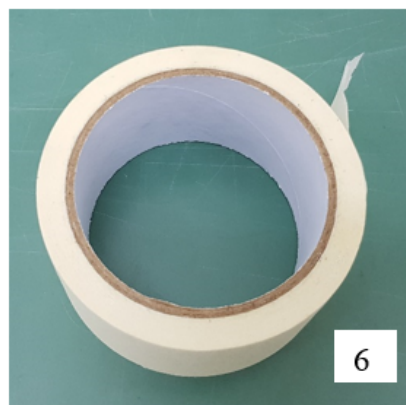
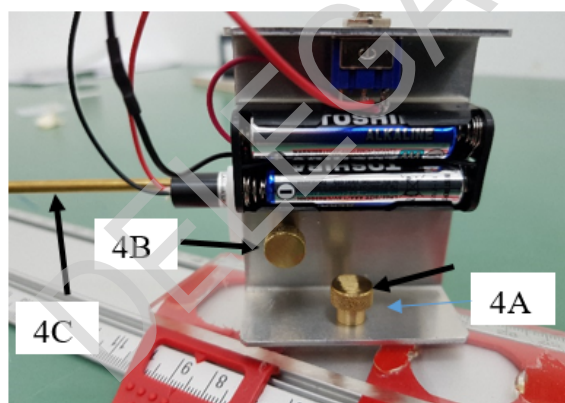
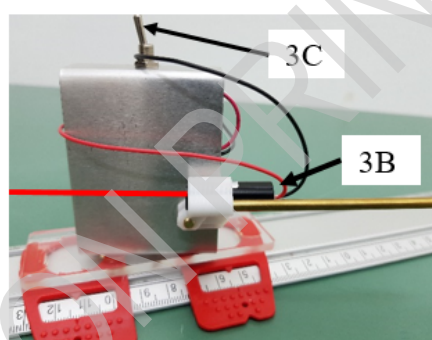
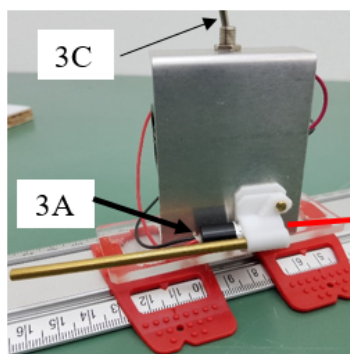
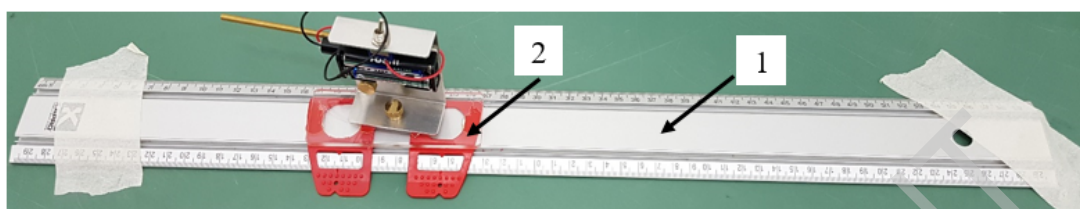
# Experiment

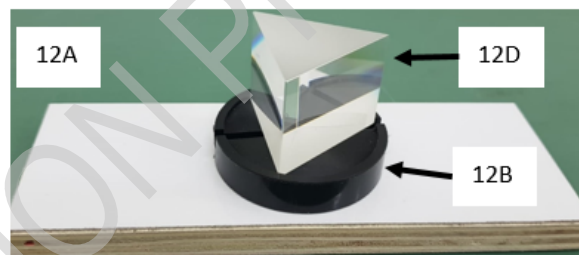
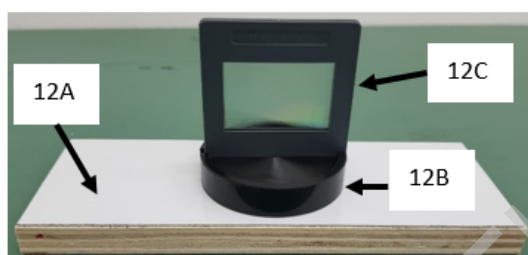
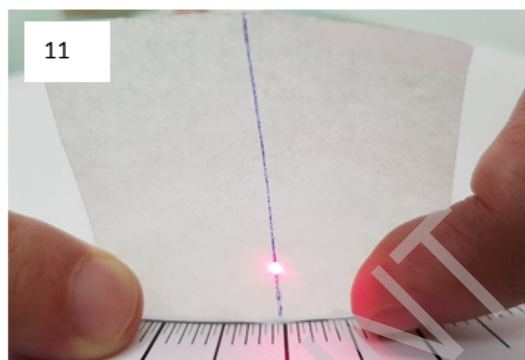
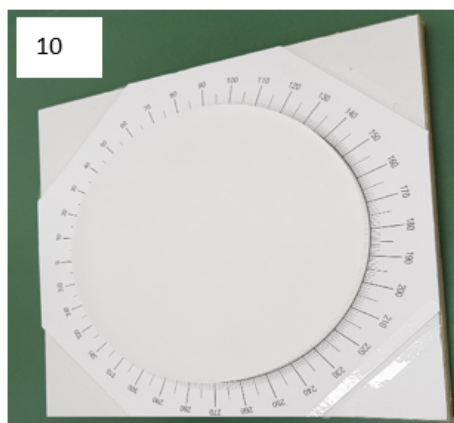


# Q1-2

Chinese (China)

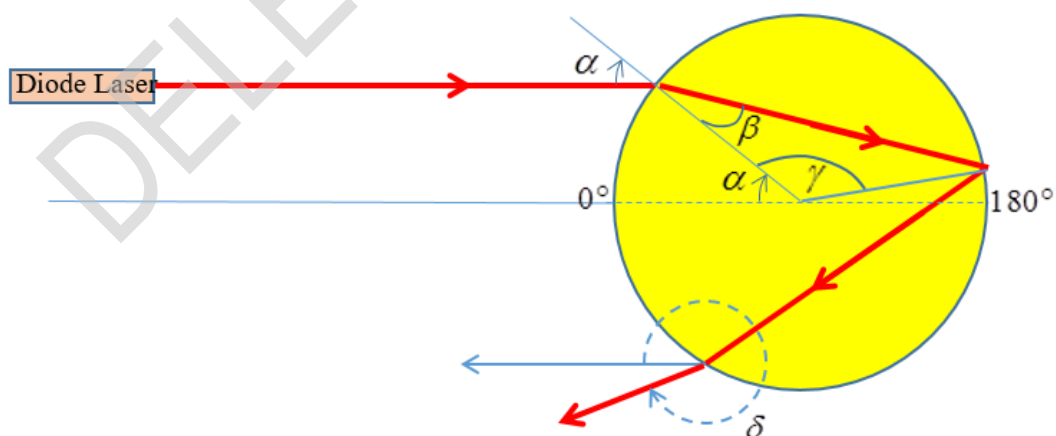
12. 一个木板 (12A) 和一个能够沿其垂直轴旋转的圆柱架 (12B)，用于安装衍射光栅 (12C) 或三角棱镜 (12D)。





### A 部分：圆盘的折射率（5.5 分）

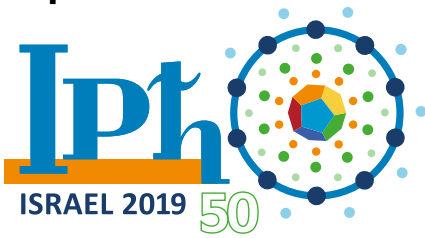
在这部分中，我们将通过观察一束光在圆盘内折射和反射的路径来测量透明圆盘的折射率。



实验的示意图

定义和符号：

## Experiment



# Q1-4

Chinese (China)

$\alpha$	入射光束照射圆盘的入射角
$2\Delta\alpha$	入射角的角度宽度，即入射角的角度有一定取值范围，这一范围的宽度。
$\beta$	圆盘内的折射角
$\gamma$	$= 180^\circ - 2\beta$
$n$	圆盘材料的折射率
$N$	光束从圆盘出射到空气中之前打到圆盘边界上的次数（在示意图中， $N = 3$ ）
$\delta$	顺时针测量入射光束反方向与出射光束方向之间的角度（角度 $\delta$ 在 $N = 3$ 的情况下见示意图）
$2\Delta\delta$	$\delta$ 的角展宽

角度  $\alpha, \beta$  和  $\delta$  之间的关系为：

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

你可直接利用这个关系式，无需推导。

为了调控激光相对圆盘的入射角，将导轨用胶带固定在桌面上，想办法调节在导轨上的激光，使你容易测量激光束相对圆盘的入射角。然后用胶带将暴露的木质底座的边角和桌子粘连起来，将圆盘固定到桌子上。用金属杆 4C 可调节光束竖直倾斜度。

激光器可以设置为两个不同的高度：Part A 用低位；Part B、Part C 用高位。

激光光束的偏振已被调成 S 偏振（使反射光较强的偏振）。**不要改变入射光束的偏振（不要沿光束轴旋转激光）！**

**A.1** 绘制测量系统的示意图，显示导轨滑块、圆盘和激光光束的路径。指出入射角  $\alpha$ 。进行一系列入射角度  $15^\circ \leq \alpha \leq 75^\circ$  之间的测量，并在表 1 记录下  $\alpha, \Delta\alpha, \delta, \Delta\delta$ 。注意：对于测量  $\delta$ ，直接用圆盘上刻度测量  $\delta/2$  更方便。 1.0pt

**A.2** 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  $\Delta n$ 。如果你需要计算其他量，将计算的值填在表 1 的空列中。求出  $n$  和  $\Delta n$ 。 1.0pt

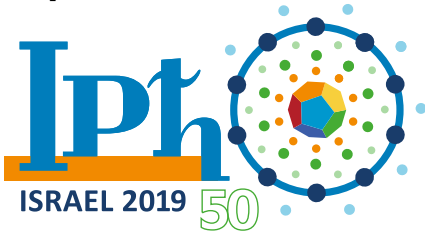
**A.3** 对于在 A.1 中完成的测量，绘制  $\delta$  作为  $\alpha$  函数的图。图中每个测量点用误差棒标记  $\Delta\delta$  和  $\Delta\alpha$  值。进行额外测量以准确地找到  $\delta$  的最小值和对应的  $\alpha$ 。用  $\delta_{\min}$  和  $\alpha_{\min}$  来表示它们。为了最准确地识别最小点，你可以用工作间的墙壁作为出射光束的观测屏幕。 0.5pt

### 第二种测量折射率的方法

在本节中，你要采用另一种方法来进行非常精确的测量。尽管你被要求得到尽可能高的精度，但**你不需要做误差计算**。然而，你需要详细列出用于获得结果的推导过程。把它们写在答题纸上。

**A.4** 根据你在 A.3 中获得的数据图的走势，选择最佳的入射角度进行测量得到折射率。写下使用新方法用来获得折射率的方程。 0.7pt

## Experiment



# Q1-5

Chinese (China)

- A.5** 对于  $N = 3$ , 使用 A.4 中开发的方法, 完成必要的测量 (measurements) 来高精度计算折射率 0.8pt
- 绘制圆盘和光束路径的示意图, 并在图中指出你测量的那些量。
  - 记录你的测量值 (measurements)。
  - 对测量值进行分析并尽可能高精度地计算圆盘的折射率  $n$ 。如果需要, 你可以使用额外提供的绘图页。

- A.6** 对于  $N = 4$  和  $N = 5$  的情况, 重复前面的工作过程 (无需绘制系统和光束路径的示意图)。 1.5pt
- 记录你在  $N = 4$  时进行的测量。
  - 对  $N = 4$  的测量值 (measurements) 进行分析, 并使用这些测量值尽可能地高精度计算折射率  $n$ 。
  - 记录你在  $N = 5$  时进行的测量。
  - 对  $N = 5$  的测量值进行分析, 并使用这些测量值 (measurements) 尽可能地高精度计算折射率  $n$ 。
  - 从  $N = 3$ ,  $N = 4$  和  $N = 5$  时得到的折射率结果, 计算折射率的平均值  $\langle n \rangle$ 。

### B 部分: 衍射光栅的参数 (2.5 分)

这一部分不必进行误差分析。

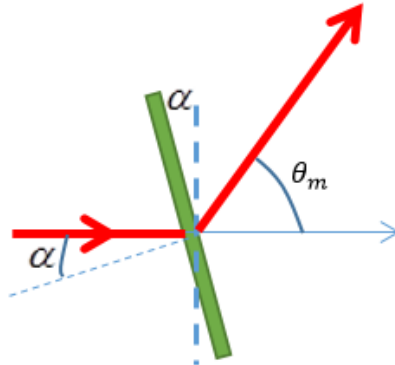
在本节中, 我们要找到比值  $\lambda/d$ , 其中  $\lambda$  是激光的波长,  $d$  是光栅常数 (相邻狭缝之间的距离)。

当激光束穿过衍射光栅, 入射光方向和最大强度 ( $m$  级主极大) 的方向之间的角度  $\theta_m$  由下式给出:

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

这里

$m$	衍射级数
$\alpha$	入射光束与光栅之间的入射角
$\theta_m$	光束的原始入射方向与 $m$ 级衍射主极大方向之间的角度
$d$	光栅常数 - 光栅中相邻狭缝中心之间的距离



高衍射级数的光可以更好地区分不同波长的光。因此，使用高衍射级的光可精确测量  $\lambda/d$ ，减小它的相对误差。

松开螺钉 4B 并改变激光器的垂直高度，将激光器绕垂直于光束的水平轴旋转 180 度（小心连着的电线）到 3B 所示的状态。这使你能够进行 B 部分和 C 部分。使用金属条 4C 可对激光束进行微调，使它传播方向的高度与衍射光栅测量装置的高度对齐。对准激光束使其垂直于观测屏幕。将衍射光栅放在指定的支架 12B 的槽中。衍射光栅的取向由贴在光栅一侧的标签来表示。确保带有标签的光栅侧面朝向激光器，并使标签位于光栅顶部。每个光栅都有一个唯一的 ID，写在标签上。在答题纸的对应框中写下光栅的 ID。

在整个 B 部分，你可能会用到与 A 部分后半部分相似的方法。

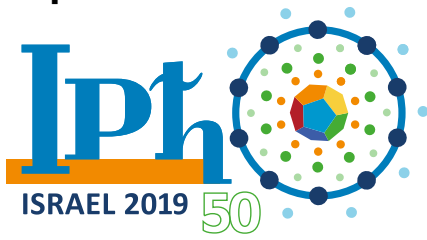
- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>B.1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 在答题纸上画出装置图。在图中标出桌子上的激光、衍射光栅、光束的路径，光束打到观测屏的各点，以及你要测量的各量。</li> <li>· 利用 1 级衍射光 <math>m = 1</math> 进行测量。记下你测量的值。计算出比值 <math>\lambda/d</math>。</li> <li>· 利用 2 级衍射光 <math>m = 2</math> 进行测量。记下你测量的值。计算出比值 <math>\lambda/d</math>。</li> </ul> | 0.7pt |
|------------|---|-------|

- |            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>B.2</b> | <p>利用更高的衍射级 (<math>m &gt; 2</math>) 获得比值 <math>\lambda/d</math>。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 在答题纸上，画出两个装置图，对应 <math>m = 3</math> 和 <math>m = 4</math> 时的情形。在图中标出激光，衍射光栅，光束的路径，光束打到观测屏的各点，以及你要测量的各量。</li> <li>· 分别对 <math>m = 3, 4</math> 进行测量。记下你测量的值。对于每个 <math>m</math>，给出测量的比值 <math>\lambda/d</math>。</li> </ul> | 1.8pt |
|------------|---|-------|

### C 部分：三棱镜的折射率 (2.0 点)

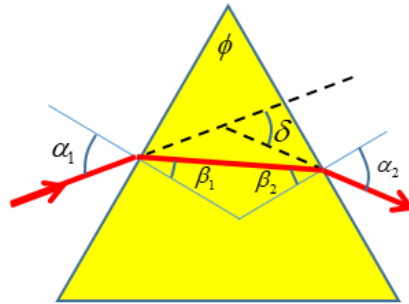
一个近似等边的三棱镜。棱镜的表面很平、且高度抛光。棱镜的角度可能偏离  $60^\circ$  但不会超过  $0.7^\circ$ 。你不用测量棱镜的各角度。本节的目的是测量棱镜所用材料的折射率。为降低折射率的误差，可以通过使用小角度近似 ( $\sin x \approx x$ ,  $\cos x \approx 1$ ,  $x$  以弧度为单位) 来修正棱镜角度的微小偏差。在本节中，你需要做误差计算。下图给出了一条光线通过一个面进入棱镜后从另一个面出射的例子。

## Experiment



# Q1-7

Chinese (China)



将滑轨放在桌子上合适的位置，使用激光来让你的测量达到最高精度。将棱镜放在指定的支架 12B 中。

- C.1** 在对称的情况下， $\alpha_1 = \alpha_2$ ，对等边三角棱镜有下面的关系： $n = 2\sin(\delta_{\text{sym}}/2 + 30^\circ)$ . 0.4pt
- 开发一种方法以尽可能高精度地测量棱镜的折射率。
  - 在答题纸上，给出用于得到折射率的详细过程。

- C.2**
- 在答题纸上，记录你所测量的量及其数值（包括误差）。
  - 计算棱镜对激光波长的折射率，及该值的误差。
- 1.6pt