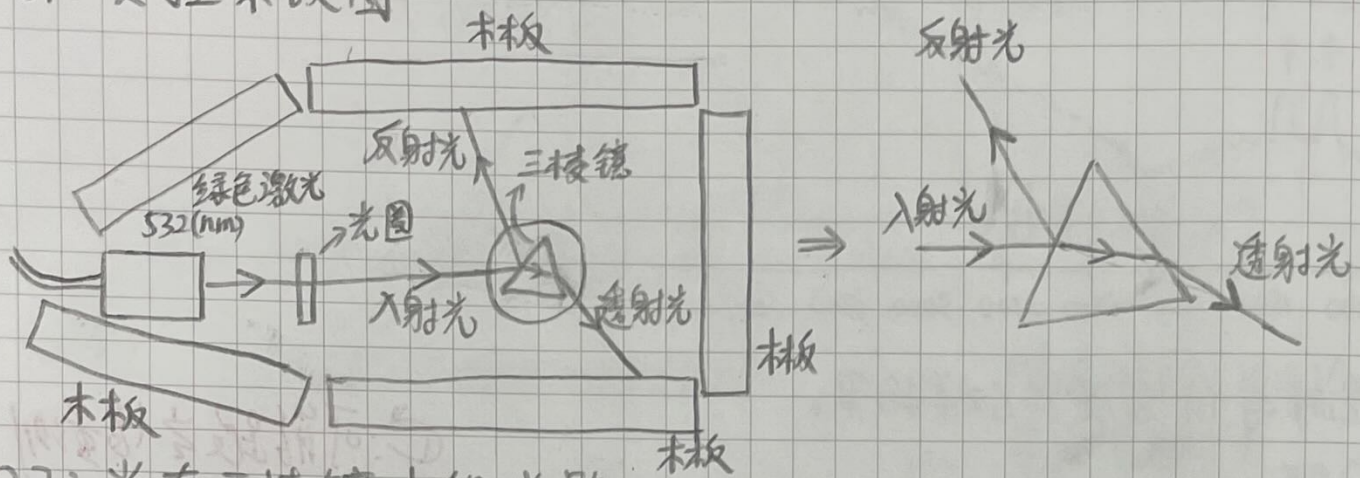


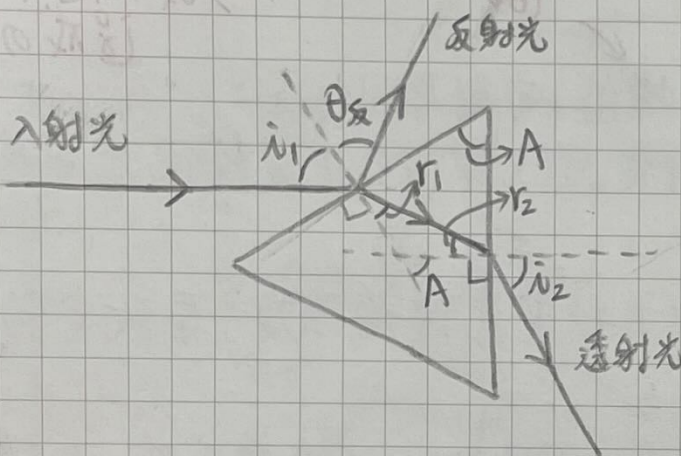
光的反射与折射现象

实验目标: 透过观察激光由入射到透射出三棱镜的过程, 来认识并验证光的反射定律与折射定律

Q1: 实验架设图



Q2: 光在三棱镜中的光路



折射定律

$$\sin(i_1) = n \sin(r_1)$$

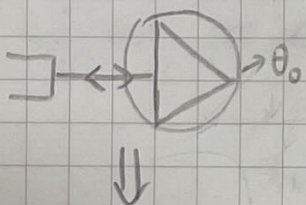
$$\sin(i_2) = n \sin(r_2)$$

反射定律

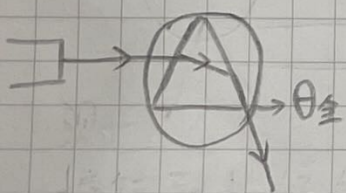
$$\theta_r = i_1$$

Q3: 设计实验测量第一界面入射角和反射角, 根据折射定律计算第一界面的折射角。考虑第二界面正好发生全内反射的第一界面入射角。

① 测量入射角: 调整三棱镜使第一界面的反射光正好打回激光



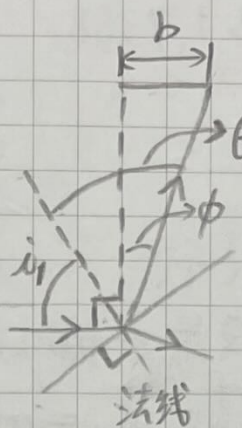
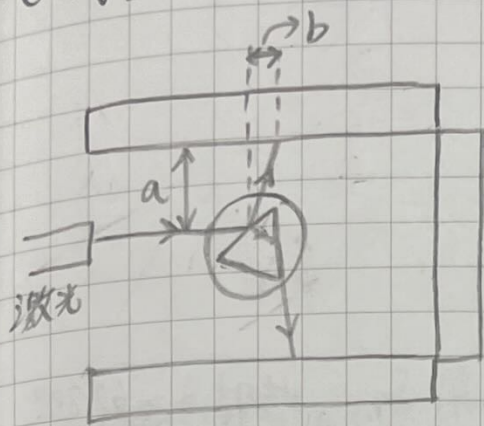
光源, 此时入射角 $i_1 = 0 \Rightarrow$ 记录转盘的角度 θ_0 。旋转转盘使得出射棱镜的光正好发生全内反射, 记录此时的转盘角度 $\theta_{全}$ 。



$\Rightarrow$ 恰好发生全内反射的入射角 $i_1 = \theta_{全} - \theta_0$ 。

$\Rightarrow$	角度 $\theta_0(^{\circ})$	$\theta_{全} (^{\circ})$	$i_1 (^{\circ})$
数值	-5.583	42.92	48.50

② 测量第一界面反射角



用卷尺测量长度 a 和 $b \Rightarrow$

$$\text{角度 } \phi = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \Rightarrow$$

$$\text{反射角 } \theta_r = \phi + \frac{\pi}{2} - i_1$$

物理量	$a(\text{cm})$	$b(\text{cm})$	$\phi(^{\circ})$	$\theta_r(^{\circ})$
数值	15.50	1.90	6.99	48.49

$\Rightarrow \theta_r \approx i_1$ 符合反射定律。

Q4:

③ 计算第一界面的折射角 r_1 ($n=1.7368$) $\hookrightarrow$ 百分误差: 0.02%

$$\Rightarrow r_1 = \arcsin\left(\frac{\sin(i_1)}{n}\right) = \arcsin\left(\frac{\sin(48.50^{\circ})}{1.7368}\right) = 25.55^{\circ}$$

④ 计算第二界面的入射角 r_2

由36页中间的图可知 $A = r_1 + r_2 \Rightarrow r_2 = A - r_1 = 60^{\circ} - 25.55^{\circ} = 34.45^{\circ}$

⑤ 计算第二界面的折射角 (理论值为 90°)

$$i_2 = \arcsin(n \sin(r_2)) = \arcsin(1.7368 \cdot \sin(34.45^{\circ})) = 79.30^{\circ} \neq 90^{\circ}$$

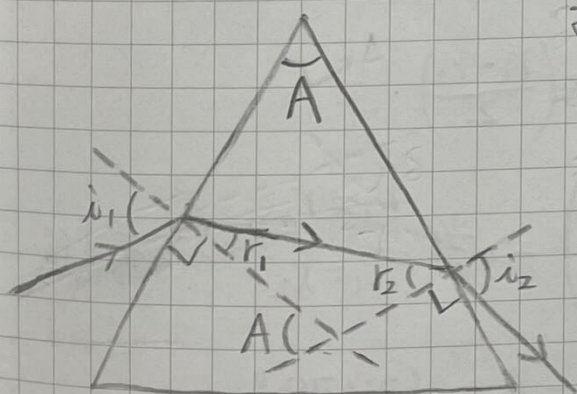
Q: Why?

额外问题

1. 折射率理论值不准确

Q4可以发现, i_2 在实验中为 $\pi/2$, 但根据 $n=1.7368$ 计算得到的 i_2 却只有 $79.30^{\circ} \Rightarrow$ 与实验结果不符。

考虑下图



由图可知: $A = r_1 + r_2$

折射定律: $\sin(i_1) = n \sin(r_1)$; $\sin(i_2) = n \sin(r_2)$

Q3和Q4的条件:

$$A = \frac{\pi}{3}, i_1 = 48.50^{\circ}, i_2 = 90^{\circ}$$

$$\Rightarrow r_1 = \arcsin\left(\frac{\sin(48.50^{\circ})}{n}\right), r_2 = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{\pi}{3} = \arcsin\left(\frac{\sin(48.50^{\circ})}{n}\right) + \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)$$

$$= \arcsin\left(\frac{\sin(48.50^{\circ})}{n} \sqrt{1 - \left(\frac{1}{n}\right)^2} + \frac{1}{n} \sqrt{1 - \left(\frac{\sin(48.50^{\circ})}{n}\right)^2}\right)$$

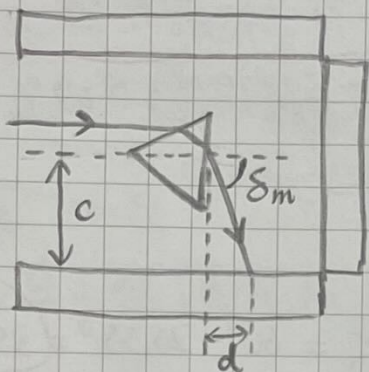
$$\Rightarrow \frac{\sin(48.50^\circ)}{n} \sqrt{1 - (\frac{1}{n})^2} + \frac{1}{n} \sqrt{1 - (\frac{\sin(48.50^\circ)}{n})^2} = \sin(\frac{\pi}{3}) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$\Rightarrow$ 解方程得到: $n = 1.754951 > 1.7368$

$\Rightarrow$ 后续计算都采用 $n = 1.754951$ 。

2. 测量最小偏向角并与理论值比较

当入射角使得偏向角最小时 $\Rightarrow$ 设最小偏向角 δ_m , 此时 $i_1 = 60.83^\circ$

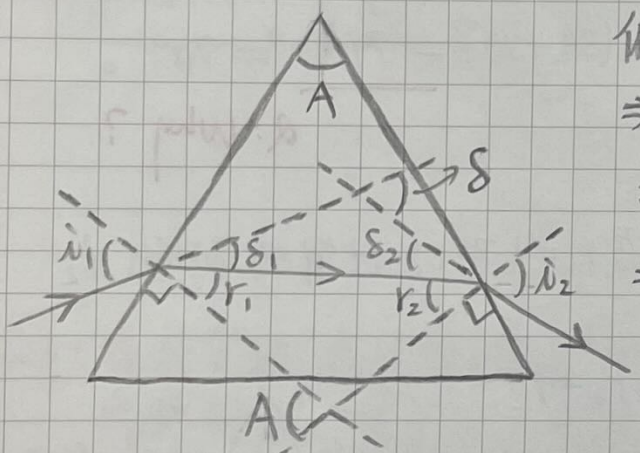


由左图可知 $\delta_m = \arctan(\frac{c}{d})$

测量 c 和 d 并计算 δ_m 实验值

物理量	$c(\text{cm})$	$d(\text{cm})$	$\delta_m(^{\circ})$
数值	14.70	7.60	62.66

理论值推导



由图可知 $\delta_1 = i_1 - r_1$, $\delta_2 = i_2 - r_2$, $A = r_1 + r_2$

偏向角 $\delta = \delta_1 + \delta_2 = i_1 - r_1 + i_2 - r_2 = i_1 + i_2 - A$

$\Rightarrow i_1 + i_2 = \delta + A$

折射定律: $\sin(i_1) = n \sin(r_1)$, $\sin(i_2) = n \sin(r_2)$

$\Rightarrow \sin(i_1) + \sin(i_2) = n (\sin(r_1) + \sin(r_2))$

$\Rightarrow 2 \sin(\frac{i_1 + i_2}{2}) \cos(\frac{i_1 - i_2}{2}) = 2n \sin(\frac{r_1 + r_2}{2}) \cos(\frac{r_1 - r_2}{2})$

$$\Rightarrow \sin(\frac{\delta + A}{2}) \cos(\frac{i_1 - i_2}{2}) = n \sin(\frac{A}{2}) \cos(\frac{r_1 - r_2}{2})$$

$$\Rightarrow \text{偏向角 } \delta = 2 \arcsin\left(\frac{n \sin(\frac{A}{2}) \cos(\frac{r_1 - r_2}{2})}{\cos(\frac{i_1 - i_2}{2})}\right) \Rightarrow \text{当 } \begin{matrix} r_1 = r_2 \\ i_1 = i_2 \end{matrix} \Rightarrow \delta \text{ 有最小值}$$

$$\Rightarrow \text{最小偏向角 } \delta_m = 2 \arcsin(n \sin(\frac{A}{2})) - A = 62.679^\circ$$

$\Rightarrow$ 百分误差: 0.03% $\Rightarrow$ 实验与理论相符。

Excellent
job!