

光学材料折射率的测定

折射率是光学材料的重要参数之一，在科研和生产实际中常需要测量它。测量折射率的方法可分为两类：一类是应用折射定律及反射、全反射定律，通过准确测量角度来求折射率的几何光学方法，比如最小偏向角法、掠入射法、全反射法和位移法等。另一类是利用光通过介质(或由介质反射)后，透射光的位相变化(或反射光的偏振态变化)与折射率密切相关的原理来测定折射率的物理光学方法，比如布儒斯特角法、干涉法、椭偏法等。

本实验要求综合已学过的光学知识和基本实验操作，查阅有关资料，拟定实验方案，完成对各种待测样品的折射率测定，从而对光学材料折射率的测量，在原理和方法上有更全面的认识。

【实验目的】

1. 了解并熟悉光学材料折射率测定的方法
2. 学会利用多种方法测量三棱镜的折射率，并测量其色散曲线
3. 利用多种方法测量玻璃砖的折射率
4. 熟悉液体折射率的测量方法

方法(一) 掠入射法

【仪器用具】

分光计(含双面反射镜)、钠光灯、毛玻璃、夹持架、待测三棱镜

【实验原理】

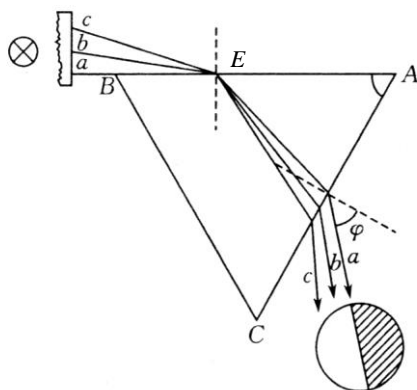


图1 掠入射法

掠入射法测介质折射率的原理如图 1 所示。将待测介质(如玻璃)磨制成三棱镜,用单色漫射光(在钠光灯前加一块毛玻璃)照射该棱镜的折射面 AB 时,到达 AB 面上任意点 E 的诸光线 a 、 b 、 c 将经过两次折射,从折射面 AC 射出。其中光线 a 以 90° 角掠入射到 AB 面上,其折射角 i_c 应为临界角。光线 a 经棱镜后以 φ 角射出。从图 1 可以看出,除光线 a 外,其它光线 b 、 c 等在 AB 界面上的入射角皆小于 90° ; 经棱镜出射后其出射角均大于 φ 角而偏折于 a 的一侧形成亮场。 a 的另一侧因无光线,是暗场。因此,用望远镜可以观察到视场是半明半暗的,中间有明显的明暗分界线。该分界线与出射角为 φ 的光线 a 相对应。可以证明,棱镜的折射率 n 与棱镜顶角 A 和以 90° 掠入射的光线 a 的出射角 φ 有如下关系:

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{\cos A + \sin \varphi}{\sin A} \right)^2} \quad (1)$$

用分光计分别测出棱镜顶角 A 和明暗分界线对应的出射角 φ , 利用(1)式即可求出棱镜的折射率 n 。

方法(二) 利用阿贝折射仪测定液体折射率

【仪器用具】

阿贝折射仪、加热恒温循环水箱、待测液体(石蜡、甘油)、光源

【实验原理】

阿贝折射仪是根据全反射原理设计的,有透射光(掠入射)与反射光(全反射)两种使用方法,其仪器结构如图 2, 仪器介绍详见本实验附录。

若待测物为透明液体,一般用透射光即掠入射方法来测量其折射率 n_x 。

阿贝折射仪中的阿贝棱镜组由两个直角棱镜(折射率为 n)组成,一个是进光棱镜,它的弦面是磨砂的,其作用是形成均匀的扩展面光源。另一个是折射棱镜。待测液体($n_x < n$)夹在两棱镜的弦面之间,形成薄膜。如图 3 所示,光先射入进光棱镜,由其磨砂弦面 $A'B'$ 产生漫射光穿过液层进入折射棱镜(图中 ABC)。因此,到达液体和折射棱镜的接触面(AB 面)上任意一点 E 的诸光线(如 1, 2, 3 等)具有各种不同的入射角,最大的入射角是 90° ; 这种方向的入射称为掠入射。对不同方向入射光中的某条光线,设它以入射角 i 射向 AB 面,经棱镜两次折射后,从 AC 面以 φ' 角出射,若 $n_x < n$, 则由折射定律得:

$$n_x \sin i = n \sin \alpha$$

$$n \sin \beta = \sin \varphi'$$

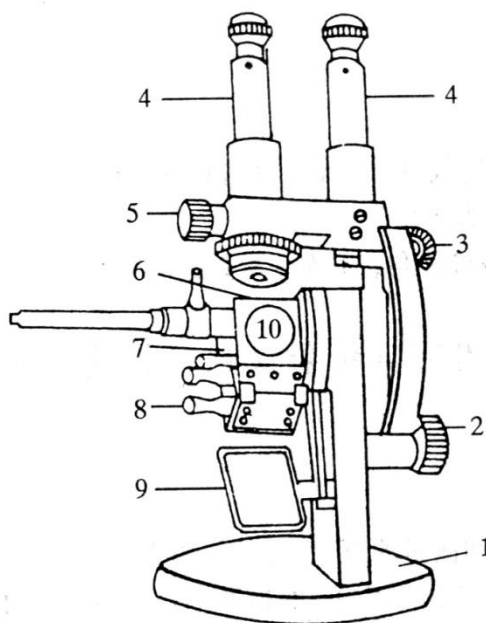
其中 α 为 AB 面上的折射角, β 为 AC 面上的入射角。由图 3 得棱镜顶角 A 与 α 角及 β 角

的关系为

$$A = \alpha + \beta$$

从以上三式消去 α 和 β 得

$$n_x \sin i = \sin A \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi'} - \cos A \sin \varphi'$$



1. 基座 2. 阿贝棱镜组及刻度盘手轮 3. 读数照明反射镜 4. 望远镜 5. 阿米西棱镜调节手轮 6. 棱镜组锁紧扳手 7. 阿贝棱镜组 8. 恒温器接头 9. 反光镜 10. 全反射照明窗口

图 2

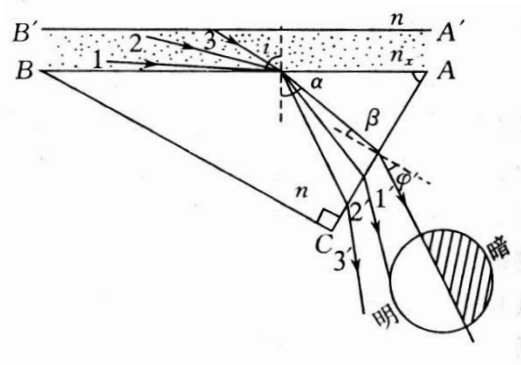


图 3

从图 3 可以看出，对于光线“1”，有 $i \rightarrow 90^\circ$ ， $\sin i \rightarrow 1$ ， $\varphi' \rightarrow \varphi$ ， $\sin \varphi' \rightarrow \sin \varphi$ ，则上式变为

$$n_x = \sin A \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} - \cos A \sin \varphi \quad (2)$$

因此，若折射棱镜的折射率 n 、棱镜顶角 A 已知，只要测出出射角 φ 即可求出待测液体的折射率 n_x 。

若 $A = \alpha - \beta$ ，这时出射光线与顶角 A 在 AC 面法线的同侧，(2)式变为

$$n_x = \sin A \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} + \cos A \sin \varphi \quad (3)$$

由图 3 可知，除光线“1”外，其它光线“2”、“3”等在 AB 面上的入射角皆小于 90° 。因此当扩展光源的光线从各个方向射向 AB 面时，凡入射角小于 90° 的光线，经棱镜折射后的出射角必大于 φ 角而偏折于“1”的左侧形成亮视场。而“1”的另一侧因无光线而形成暗场。显然，明暗视场的分界线就是掠入射光束“1”的出射方向(“1”)。

阿贝折射仪直接标出了与 φ 角对应的折射率值，测量时只要使明暗分界线与望远镜叉丝交点对准，就可从读数装置上直接读出 n_x 值。

方法(三) 最小偏向角法

【仪器用具】

分光计(含双面反射镜)、高压汞灯、待测三棱镜

【实验原理】

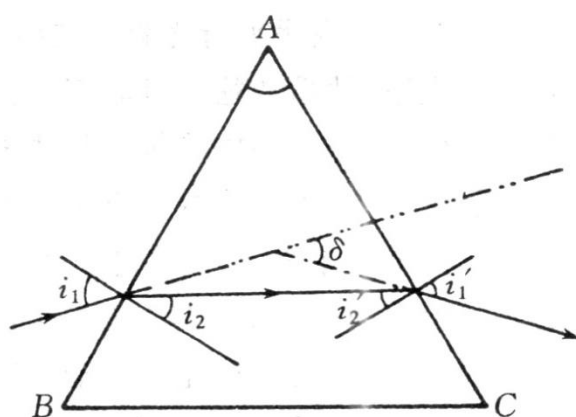


图 5.20.4

如图 4 所示， $\triangle ABC$ 是三棱镜的主截面，波长为 λ 的光线以入射角 i_1 投射到棱镜的 AB 面上，经 AB 和 AC 两个面折射后以 i_1' 角从 AC 面出射，出射光线与入射光线的夹角 δ 称为偏向角。 δ 的大小随入射角 i_1 而改变。在入射线和出射线处于光路对称的情况下，即 $i_1 = i_1'$ 时，偏向角有极小值，记为 δ_{\min} 。可以证明，棱镜玻璃的折射率 n 由下式给出：

$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (4)$$

式中： A 是棱镜顶角， δ_{\min} 称为最小偏向角。该法称为最小偏向角法

若入射光为非单色光，则经棱镜折射后，不同波长的光将产生不同的偏向而被分散开来，这就是色散现象。因此，最小偏向角 δ_{\min} 与入射光的波长有关，折射率也随不同波长而变化。折射率 n 与波长 λ 之间的关系曲线称为色散曲线。实验时，只要测出 A 和 $\delta_{\min}(\lambda)$ ，由式(4)计算相应的折射率 $n(\lambda)$ 值，就可作出该棱镜材料的色散曲线。

方法(四) 全反射法

【仪器用具】

He-Ne 激光器、聚焦透镜、玻璃砖(其中一面为毛面)、平台(以分光计的载物台为平台)、游标卡尺

【实验原理】

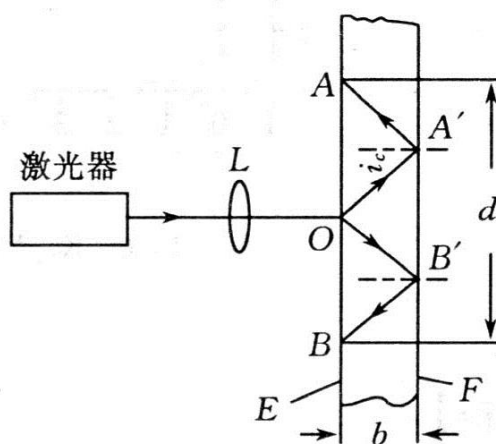


图 5

全反射法测介质折射率的原理如图 5 所示。将待测介质加工成厚度为 b 的平行平板，并将其一面打磨成毛面，或涂以牙膏等漫散射薄层，另一面为光面。让 He-Ne 激光束经一透镜 ($f \approx 5\text{cm}$) 在其焦点上形成一细光束。平板样品被照面(毛面 E)上 O 点，处于透镜的焦点上。 O 点可视为点光源，它发出的光在样品另一面(光面 F)上发生反射、透射和全反射。当光线与反射面法线夹角小于临界角 i_c 时，大部分光将透出平板(F 界面上入射点 $A'B'$ 之间各点的入射角 $i < i_c$)；夹角等于或大于临界角(入射点 A' 、 B' 处入射角 $i = i_c$)时，全部光能将反射而折回样品。因此，在界面 E 上 AB 范围以内，由于反射回来的光很弱而形成暗斑。但在 A 、 B 处，由于对应的 $A'B'$ 处反射光强发生突变而形成清晰的明暗分界线，于是在样品的毛面上就形成一个内部暗外部亮的圆。根据全反射原理，不难求出亮暗分界圆的直径 d 与样品折射率 n 的关系为

$$n = \frac{1}{\sin \left[\arctan \left(\frac{d}{4b} \right) \right]} \quad (5)$$

式中： b 为样品厚度。只要测出分界圆直径 d ，就可根据(5)式计算出样品对激光的折射率。

方法(五) 位移法

【仪器用具】

He-Ne 激光器、玻璃砖、平台(以分光计的载物台为平台)、游标卡尺

【实验原理】

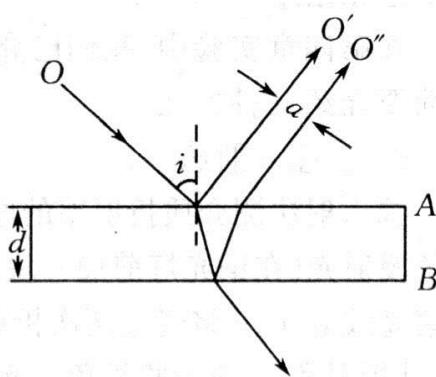


图 6

如图 6 所示, 加工成厚度为 d 的平面平行板的待测介质, 让激光细光束 O 以入射角 i 入射到平板的上表面 A 。 O' 是 O 光线经上表面 A 的反射光线。 O'' 是 O 光线经上表面 A 折射, 由下表面 B 反射, 再经 A 表面折射后的出射光线。光线 O' 、 O'' 彼此平行, 两者的垂直距离为 a , 可以证明, 介质折射率 n 由下式决定:

$$n = \sin i \sqrt{1 + \frac{4d^2}{a^2} \cos^2 i} \quad (6)$$

该法称为位移法, 只要设法测出两反射光间的垂直距离 a 、样品厚度 d 及入射角 i , 即可求得样品的折射率。

方法(六) 激光照射法 (选做)

【仪器用具】

He-Ne 激光器、液体槽、反射镜、钢尺、待测液体

【实验原理】

激光照射法是基于玻璃板上液体层表面的反射和液体的折射来测量折射率的一种方法。实验装置如图 5.20.7 所示。根据 Snell 定律和几何关系, 可得液体折射率的计算公式为

$$n = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha} = \frac{\sin \left[\arctan \frac{OD}{ON} \right]}{\sin \left[\arctan \left(\frac{M_2 M_1}{NM_2} \cdot \frac{OD}{ON} \right) \right]} \quad (7)$$

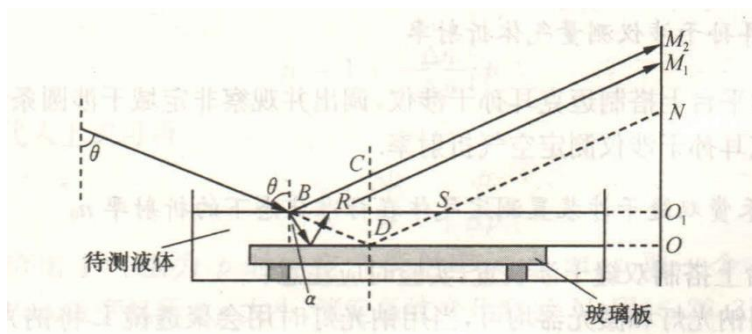


图 7

方法(七) 等厚干涉法

【仪器用具】

迈克尔逊干涉仪、白光源、钠光灯、石英片或云母片、螺旋测微器

【实验原理】

这里介绍一种用迈克尔逊干涉仪测介质薄膜折射率的方法。

先将迈克尔逊干涉仪调出白光干涉条纹，此时 M_1 镜（位置可调反射镜）的位置读数为 d_1 。将待测样品插入 M_2 镜（位置不可调反射镜）与补偿板 G_2 之间（或插入在 M_1 与分光片 G_1 之间），再次调出白光干涉条纹，这时 M_1 镜位置读数为 d_2 。因为 M_1 镜移动引起光程的变化应补偿由于插入样品而引起的光程变化，设样品的折射率为 n ，其厚度为 l ，故有

$$2|d_2 - d_1| = 2(n-1)l$$

即

$$n = \frac{|d_2 - d_1|}{l} + 1 \quad (8)$$

实验中应设法确定白光零级条纹在视场中的位置，使第二次白光零级条纹也处于该位置，且两次调出白光干涉鼓轮转动的方向必须一致，否则因为螺距差的原因测量会有很大误差。

方法(八) 光纤杨氏干涉法（选做）

【仪器用具】

He-Ne 激光器、单模保偏光纤、液体槽、毛玻璃、读数显微镜、待测液体

【测量原理】

该方法的测量装置如图 8 所示。

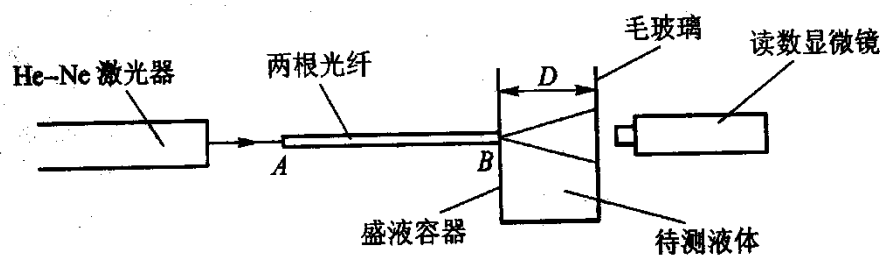


图 8

设两根光纤(单模保偏光纤)中心距离为 $2a$ ，毛玻璃板到光纤 B 端的距离为 D ，读数显微镜测出的干涉条纹宽度为 Δx ，则容器中物质的折射率为

$$n = \frac{\lambda D}{2a \Delta x}$$

测出未加液体的条纹宽度 Δx_0 和加入待测液体后的条纹宽度 Δx_1 ，由上式可得

$$n = n_0 \frac{\Delta x_0}{\Delta x_1}$$

n_0 为空气的折射率，令其值为 1，则

$$n = \frac{\Delta x_0}{\Delta x_1} \quad (9)$$

方法(九) 布儒斯特角法(偏振法)

【仪器用具】

分光计、钠光灯、待测玻璃板、偏振片

【实验原理】

当自然光由空气入射到各向同性介质(如玻璃)的表面时，反射光和折射光一般为部分偏振光。改变入射角，反射光的偏振程度可以改变。设介质的折射率为 n ，当入射角为

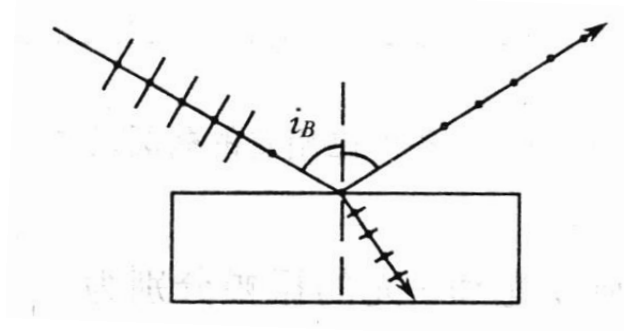


图 9

$$i = i_B = \arctan n \quad (10)$$

时, 反射光为线偏振光, 其振动面垂直于入射面, 而透射光为部分偏振光, 如图 5.20.9 所示, 其中黑点“·”表示振动面垂直于入射面的线偏振光, 短线“—”表示振动面平行于入射面的线偏振光。式(10)称为布儒斯特定律, i_B 为布儒斯特角。

【实验内容与步骤】

测定如下样品: 三棱镜、玻璃砖、石英片(或云母片)、石蜡、甘油等的折射率, 其中三棱镜需要测量其色散曲线, 液体需要测量折射率随温度的变化曲线。根据待测样品的特点自行选择方法。 测量三棱镜不同波长的折射率可用表 1 记录数据, 其它方法的数据表格自行设计。

表 1

顶角 A=_____

汞谱线 波长 (nm)	测量 序号	出射光方位读数		入射光方位读数		$\delta_{\min} =$	$\bar{\delta}_{\min}$	n
		θ_1	θ_2	θ'_1	θ'_2	$\frac{1}{2} [\theta_1 - \theta'_1 + \theta_2 - \theta'_2]$		
435.8	1							
	2							
	3							
491.6	1							
	2							
	3							
546.1	1							
	2							
	3							
577.0	1							
	2							
	3							
579.1	1							
	2							
	3							
623.5	1							
	2							
	3							

【附录】

阿贝折射仪

阿贝折射仪是测量物质折射率的专用仪器，它能快速而准确地测出透明、半透明液体或固体材料的折射率(测量范围一般为 1.300~1.700)，它还可以与恒温、测温装置连用，测定折射率随温度的变化关系。

阿贝折射仪的光学系统由望远系统和读数系统组成，如图 10 所示。

望远系统：光线经反射镜 1 反射进入进光棱镜 2 及折射棱镜 3，待测液体放在 2 与 3 之间，经阿米西色散棱镜组 4 以抵消由于折射棱镜与待测物质所产生的色散，通过物镜 5 将明暗分界线(明暗分界线的形成见实验原理)成像于分划板 6 上，再经目镜 7、8 放大后为观察者所观察。

读数系统：光线由小反射镜 14 经毛玻璃 13 照明刻度盘 12，经转向棱镜 11 及物镜 10 将刻度(有两行刻度，一行是折射率，另一行是百分浓度，是测量糖溶液浓度专用的)成像于分划板 9 上，经目镜 7'、8'放大成像于观察者眼中。

阿贝折射仪的外形结构如图 2 所示。

阿贝折射仪在使用之前，需用标准玻璃块或标准液体校正仪器读数。校正方法如下：将一已知 n_D 的标准玻璃块(仪器附件， n_D 的数值标在玻璃块上)的抛光面上加一滴接触液(溴代萘)，贴在折射棱镜的弦面 AB 上，让标准玻璃块的另一抛光面接收入射光线，当读数目镜内的读数与标准玻璃块的 n_D 的值相等时，观察望远镜内明暗分界线是否在十字叉丝中间，若有偏差则用方孔调节扳手转动示值调节螺钉，使明暗分界线调整至中央(见图 11)，这时仪器读数就校正好了。

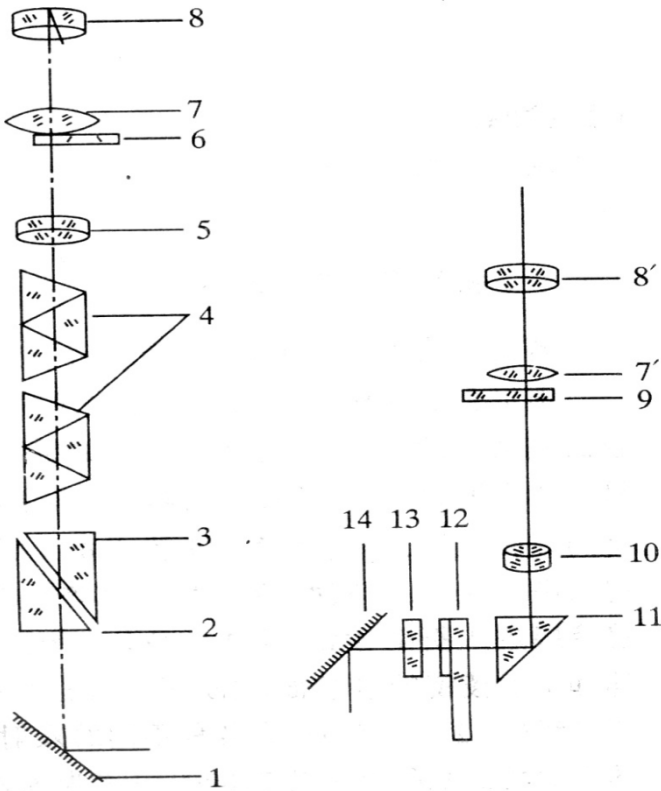


图 10

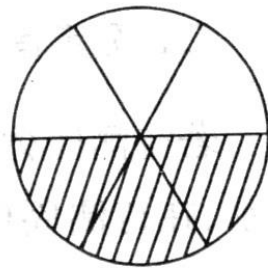


图 11