



北航物理实验研究性报告

棱镜折射率

两种测量方法的比较

班 级：_____

第一作者：_____

第二作者：_____

2012 年 12 月 12 日

目录

摘要	3
一、 实验原理	3
1.1、最小偏向角法	3
1.2、掠入射法	4
二、 实验仪器	4
三、 实验主要步骤	5
3.1、用最小偏向角法测量棱镜折射率	5
3.2、用掠入射法测棱镜折射率	5
四、 实验数据记录与处理	5
4.1、最小偏向角法	5
4.1.1、原始数据记录	5
4.1.2、不确定度的计算	6
4.2、掠入射法	6
4.2.1、原始数据记录	6
4.2.2、不确定度的计算	7
五、 两种方法的比较	7
5.1、操作分析	7
5.2、数据分析	8
5.3、小结	8
六、 实验误差来源分析	9
6.1、仪器误差	9
6.2、操作误差	9
七、 实验方法改进	10
7.1、掠入射法测量方法的改进	10
八、 实验总结与感想	10
九、 参考文献	11
十、 原始数据证明	11

摘要

本学期我们通过学习分光仪的调整及其应用,了解了如何利用分光仪来测量三棱镜的折射率。在本文中我们将对棱镜折射率的两种测量方法(最小偏向角法和掠入射法)进行对比分析,从操作的简繁程度、测量数据的准确性和不确定度等方面比较它们的优劣,并对现有方法提出改进意见。

关键字: 棱镜折射率 掠入射法 最小偏向角法

一、实验原理

1.1、最小偏向角法

如下图 1, 当光线以入射角 i_1 入射到三棱镜的 AB 面上后相继经过棱镜两个光学面 AB 、 AC 折射后, 以 i_2 角从 AC 出射。出射光线和入射光线的夹角 δ 称为偏向角。对于给定三棱镜, 偏向角 δ 的数值随入射角 i_1 的变化而改变。当入射角 i_1 为某值时(或者 i_1 与 i_2 相等时), 偏向角 δ 将达到最小值 δ_0 , δ_0 称为最小偏向角, 由几何关系和折射定, 可

得它与棱镜的顶角 A 和折射率 n 之间有如下关系:
$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_0}{2}}{\sin \frac{A}{2}}。$$

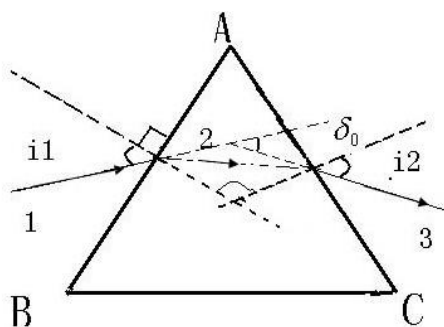


图 1 最小偏向法原理图

1.2、掠入射法

如下图 2 所示，用单色面扩展光源（钠光灯前加一块毛玻璃）照射到棱镜 AB 面上。当扩展光源出射的光线从各个方向射向 AB 面时，以 90° 入射的光线 1 的内折射角最大为 $i'_{2\max}$ ，其出射角最小为 $i'_{1\min}$ ；入射角小于 90° 的，折射角必小于 $i'_{2\max}$ ，出射角必大于 $i'_{1\min}$ ；大于 90° 的入射光线不能进入棱镜。这样，在 AC 面用望远镜观察时，将出现半明半暗的视场（如下图所示）。明暗视场的交线就是入射角为 $i_1=90^\circ$ 的光线的出射方向。

由折射定律可知折射率 $n = \frac{1}{\sin i_{2\max}}$ ，即 $\sin i_{2\max} = \frac{1}{n}$ ，由几何知识可以得到：

$$i_{2\max} + i_2' = A, \text{ 即 } i_2' = A - i_{2\max}。$$

$$\text{而 } n = \frac{\sin i_{1\min}'}{\sin i_2'} = \frac{\sin i_{1\min}'}{\sin(A - i_{2\max})} = \frac{\sin i_{1\min}'}{\sin A \cos i_{2\max} - \cos A \sin i_{2\max}}$$

$$= \frac{\sin i_{1\min}'}{\sin A \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1}{n}\right)^2} - \cos A \cdot \frac{1}{n}}$$

$$\Rightarrow \sin i_{1\min}' = \sin A \cdot \sqrt{n^2 - 1} - \cos A$$

$$\Rightarrow n = \sqrt{\left(\frac{\cos A + \sin i_{1\min}'}{\sin A}\right)^2 + 1}$$

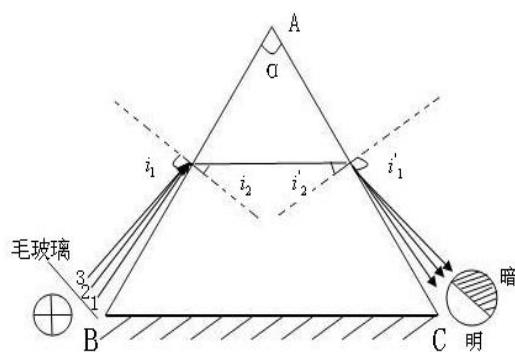


图 2 掠入射法原理图

二、实验仪器

分光仪、平面反射镜、三棱镜、钠光及电源。

三、实验主要步骤

测量折射率之前对分光仪进行调整，并对三棱镜顶角 A 大小进行测量以及不确定度的计算。具体步骤不再进行赘述。 $(AA \pm u(A) = (60.00 \pm 0.01)^\circ)$

3.1、用最小偏向角法测量棱镜折射率

旋转载物平台，是平行光沿上图 1 所示方向入射三棱镜的 AB 面，用望远镜在 AC 面观察折射光线（其中，三棱镜 AB 、 AC 面为光学面， BC 面为毛面），之后沿某方向缓慢转动平台（改变入射角），可看到谱线随平台转向一个方向移动，当移动到某个位置时突然向反方向折回，这一转折位置即该谱线的最小偏向位置。测量此位置处谱线与入射光线的夹角，此及最小偏向角 δ_0 。

3.2、用掠入射法测棱镜折射率

移开平行光管，在光源方向放置一块毛玻璃，旋转载物平台使三棱镜 AB 面近似与光源平行，如上图 2 所示；然后用望远镜在 AC 面寻找半明半暗交界线，测量该交界线与 AC 面法线之间的夹角 i_1' 。

四、实验数据记录与处理

4.1、最小偏向角法

4.1.1、原始数据记录

表 1 最小偏向角法测量数据

i	α_1	β_1	α_2	β_2	$\theta/^\circ$
1	$0^\circ 5'$	$180^\circ 4'$	$51^\circ 0'$	$231^\circ 1'$	50.93333
2	$62^\circ 1'$	$242^\circ 0'$	$112^\circ 47'$	$292^\circ 50'$	50.79167
3	$115^\circ 22'$	$295^\circ 25'$	$166^\circ 17'$	$346^\circ 21'$	50.92500
4	$168^\circ 17'$	$348^\circ 19'$	$219^\circ 9'$	$39^\circ 11'$	50.86667
5	$231^\circ 47'$	$51^\circ 48'$	$282^\circ 40'$	$102^\circ 40'$	50.87500

(1)最小偏向角的平均值：

$$\overline{\delta_{min}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \delta_{min} = 50.878^\circ$$

(2)求折射率:

$$n_1 = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{A}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{50.878 + 60}{2}}{\sin \frac{60}{2}} = 1.647045$$

(3)相对误差($n_{\text{标}} = 1.6475$):

$$E = \frac{|n_{\text{测}} - n_{\text{标}}|}{n_{\text{标}}} \times 100\% = 0.02762\%$$

4.1.2、不确定度的计算

$$\text{求 A 类不确定度: } u_a(\delta_{min}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\delta_{min} - \overline{\delta_{min}})^2}{5 \cdot 4}} = 0.02536^\circ$$

$$\text{求 B 类不确定度: } u_b(\delta_{min}) = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = 0.0096225^\circ$$

$$\therefore u(\delta_{min}) = \sqrt{(u_a(\delta_{min}))^2 + (u_b(\delta_{min}))^2} = 0.0271242$$

$$u(A) = 0.010964$$

$$\therefore u(n_1) = \sqrt{\left(\frac{\partial n_1}{\partial \delta_{min}}\right)^2 u^2(\delta_{min}) + \left(\frac{\partial n_1}{\partial A}\right)^2 u^2(A)}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\cos \frac{\delta + A}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}}\right)^2 u^2(\delta) + \left(\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2 \sin^2 \frac{A}{2}}\right)^2 u^2(A)}$$

$$= 0.018$$

$$\therefore \text{最终结果表示为: } n_1 \pm u(n_1) = 1.65 \pm 0.02$$

4.2、掠入射法

4.2.1、原始数据记录

表 2 掠入射法测量数据

i	α_1	β_1	α_2	β_2	$i/^\circ$
1	70°55′	250°57′	31°33′	211°33′	39.38333
2	121°57′	302°0′	82°37′	262°38′	39.35000
3	181°14′	1°17′	141°52′	321°56′	39.35833
4	238°30′	58°32′	199°7′	19°10′	39.37500
5	326°52′	146°53′	287°30′	107°30′	39.37500

(1)临界出射角的平均值:

$$\overline{i_{min}} = \frac{\sum_{i=1}^5 i_{min}}{5} = 39.368332$$

(2)求折射率:

$$n_2 = \sqrt{\left(\frac{\cos A + \sin i_{min}}{\sin A}\right)^2 + 1} = 1.647885$$

(3)相对误差($n_{\text{标}} = 1.6475$):

$$E = \frac{|n_{\text{测}} - n_{\text{标}}|}{n_{\text{标}}} \times 100\% = 0.02337\%$$

4.2.2、不确定度的计算

$$\text{求 A 类不确定度: } u_a(i_{min}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (i_{min} - \overline{i_{min}})^2}{5 \cdot 4}} = 6.12372 \times 10^{-3} \circ$$

$$\text{求 B 类不确定度: } u_b(i_{min}) = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = 0.0096225^\circ$$

$$\therefore u(i_{min}) = \sqrt{(u_a(i_{min}))^2 + (u_b(i_{min}))^2} = 0.01141$$

$$\therefore u(n_2) = \sqrt{\left(\frac{\partial n_2}{\partial i_{min}}\right)^2 u^2(i_{min}) + \left(\frac{\partial n_2}{\partial A}\right)^2 u^2(A)} = 0.0095759$$

$$\therefore \text{最终结果表示为: } n_2 \pm u(n_2) = 1.65 \pm 0.01$$

五、两种方法的比较

5.1、操作分析^[3]

(1) 最小偏向角法

最小偏向角法的测量原理与理论依据很完善,但操作是动态过程,即在转动棱镜时出射光线的位置在变动。只有当入射光线停止沿原来方向移动,继而反方向移动的某一时刻对应的位置才是最小偏向角的位置。在操作时很难精确把握到这一位置,因此会引起人为操作误差,增加测量误差因素。并且,手感因人而异,误差差异也会很大。另外,平行入射光束的宽度与垂直度也会影响测量误差。

(2) 掠入射法

掠入射法测量原理在理论上也毫无瑕疵,但操作时存在假象,即当光源在图 3 中位置附近时,在 AC 面某一角度用望远镜观察,看到的是中间为一亮带的明暗交替视场,且明暗场间有清

晰的分界线;当光源由图中位置向 AB 面法线方向移动时,望远镜视场中的两条明暗场分界线亦均发生相应移动,并且视场的中间亮带逐渐变宽;而当光源由图中位置向 BC 边延长线方向移动时,望远镜视场中的明暗交替视场亮区逐渐变窄,两分界线亦均向同一方向移动,但其中一条移动到一定位置后不再变动。原因是实验时所采用的扩展光源是在带罩的钠光灯出射窗口上加一毛玻璃片而形成的,射进棱镜的入射角度 i_1 具有一定的范围($i_{1min} < i_1 < 90^\circ$),因此在 AC 出射面可看到入射角满足 $i_{1min} < i_1 < 90^\circ$ 的入射光线产生的各种方向的出射光形成一个亮区; $i_1 > 90^\circ$ 的入射光线被毛面 BC 面挡住不能进入棱镜而在出射面形成暗区; $i_1 < i_{1min}$ 的区域由于没有光线进入棱镜,在出射面相应的区域形成暗区。结果望远镜中出现的视场如图 3 所示,为一亮柱,存在着两条明暗分界线。这一假象存在,会影响判断,导致测量错误。

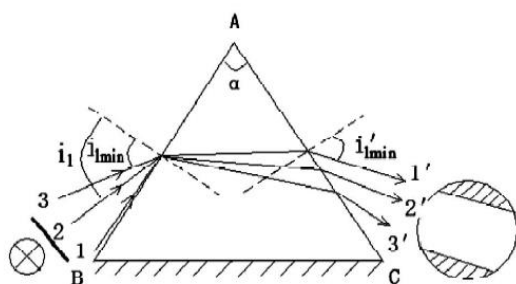


图 3

5.2、数据分析

表 3 是上述两种测量方法在测量值、不确定度以及测量相对于标准折射率的误差等方面的对比。从数据上来看,掠入射法测量得到的三棱镜折射率不仅具有较低的不确定度,同时数值上更接近于标准折射率。

表 3 两种测量方法的结果比较

	折射率测量值	折射率不确定度	相对误差
最小偏向角法	1.647045	0.01800	0.02762%
掠入射法	1.647885	0.00958	0.02337%

5.3、实验小结

通过实验比较,我们发现使用最小偏向角法和掠入射法测量三棱镜的折射率,二者各有优缺点。最小偏向角法操作比较繁杂,掠入射法则较为简单一些;另外,在运用最小偏向角法观察现象时,想要确定一个较精准的位置并不容易;相对而言,使用掠入射法时产生的明暗交界线则更容易被准确地观察到。同时,通过数据分析可以看出,掠入射法测得的折射率的不确定度及相对误差都比最小偏向角法测得的结果要小。综合以上两点来看,掠入射法较最小偏向角法而言更加优秀一些。

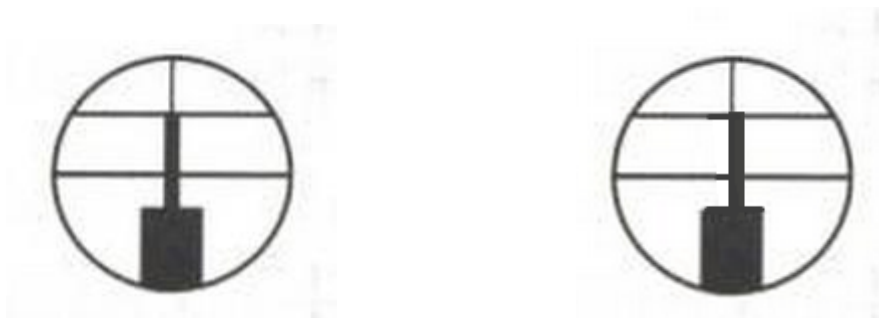
六、实验误差来源分析

6.1、仪器误差

1、狭缝宽度引起的误差

在测量过程中，为了能看清狭缝像及纵丝，狭缝宽度不能过窄。这样，在测量数据时不能确保纵丝与狭缝中线重合，从而造成误差。

如下图左是正确的，右边是不正确的。



若是在用最小偏向角测量时，测量入射光方向时用右图所示不正确即狭缝中线与纵丝不重合的图像来读数，则每次读该位置时的角度时，都偏小 $20'$ 。

故测量的最小偏向角为：

$$\overline{\delta_{min}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \delta_{min} = 50.545^\circ ,$$

折射率为：

$$n_1 = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{50.545 + 60}{2}}{\sin \frac{60}{2}} = 1.643741$$

相对误差：

$$E = \frac{|n_{测} - n_{标}|}{n_{标}} \times 100\% = 0.2281\%$$

可见，若狭缝中线与纵丝不重合，造成的误差是很大的。

2、望远镜与度盘在转动时存在微小滑动，导致测量数据不准确。

6.2、操作误差

最小偏向角法：当入射光线停止沿原来方向移动，继而反方向移动的某一时刻对应的位置才是最小偏向角的位置。在操作时很难精确把握到这一位置，因此会引起人为操作误差，增加测量误差因素。

掠入射法：一个是上述操作分析中提到的造成假象带来的误差，另外就是明暗分界线与纵丝不完全重合，其造成的误差与狭缝中线与纵丝不重合造成的误差类似。这里不再重复定量分析。

七、实验方法改进

7.1、掠入射法测量方法的改进^[3]

用掠入射法测量棱镜折射率时存在实验假象,但我们可以通过改进实验方法,消除假象,提高实验精确度。将两块三棱镜如图4所示对齐紧贴在一起后放置在分光计的载物台上,使帖缝线AB对准钠光灯罩的出射窗口。在AC面某一角度用望远镜观察到:右边为分界线非常清晰的明暗场;左边为由亮逐渐变暗无明显界线的视场,如图4所示。其中右边那条明暗视场清晰的交线就是入射角为 $i_1=90^\circ$ 的光线的出射方向。即使光源不完全正对缝线AB,只要有光线沿AB缝线入射,那条明暗视场的交线位置是不会随光源的移动而动,只是清晰度有所降低。

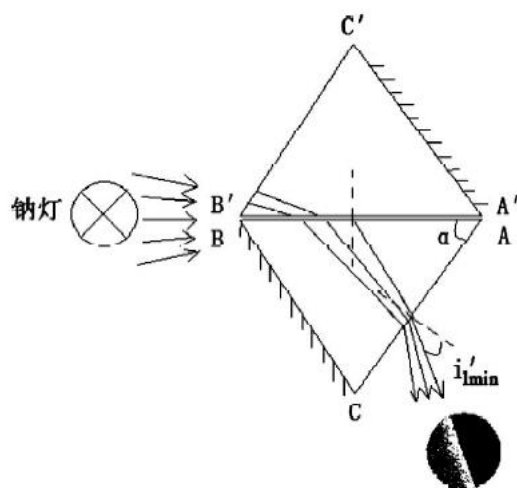


图 4

八、实验总结与感想

通过本次物理实验的研究性学习,一方面,我们对分光仪的操作更加熟练;另一方面,我们对分光仪的应用之棱镜折射率的测量有了更深入的了解。这次的研究性实验不止停留在实验课本上,而是对实验书上的内容提出了我们的一个看法与比较研究。此外,这次实验还要求对实验提出改进的地方,提高了我们的综合分析能力,让我们学会从不同的角度思考问题;对误差的定量分析,培养了我们严谨的学风,从而能对实验结果有更深入的分析。

在实验中我们也遇到了一些困难,比如实验现象不出来或是现象不清晰等,但是通过认真讨论与用心分析,这些问题和不足最后都被一一克服。伴随这问题的解决,我们的动手操作能力和实验分析能力也都有所提升。

九、参考文献

- [1] 李朝荣,徐平,唐芳,王慕冰. 基础物理实验(修订版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 176-187.
- [2] 周凯宁,肖宁,陈棋,钟杰,李登峰. 3种测量三棱镜折射率方法的对比[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(4).
- [3] 单永明,牛连平. 棱镜折射率测量方法的比较及改进[J]. 科技资讯, 2010, (4).

十、原始数据证明

