

文章编号:1007-2934(2020)04-0065-05

# 一种简易测量物体折射率的实验仪的设计及研究

杨靖垒,李廷荣,李春江,李陆余,向文丽\*

(楚雄师范学院 物理与电子科学学院,云南 楚雄 675000)

**摘 要:**主要运用了转换法的思想和共轴转动原理,将光线的入射角测量转换为旋转平台的旋转角度,设计并制作了一种可快速精确测量入射角度的实验仪,结合手机测距精确地测量了室温下水、玻璃砖的折射率,误差均远远小于5%,精确度极高。利用该简易实验装置测量折射率具有一定的科学可行性,有一定的现实意义和应用价值。自制实验仪操作简单、效果明显、实验理论简洁可靠、实验结果准确度高。

**关键词:**折射率;自制实验仪;折射定律

**中图分类号:** O 4-33 **文献标志码:** A **DOI:**10.14139/j.cnki.cn22-1228.2020.04.016

折射率是光学性质的一个重要参数,折射率的测量在食品、医药、化工生产、石油工业等诸多方面的应用意义较为重大。而随着人类社会日新月异的变化,折射率的测量已经逐步趋于完善,方法更是多种多样,如掠入射法测量介质的折射率、彩虹光学原理测量介质的折射率<sup>[1]</sup>,迈克尔逊干涉仪测量液体的折射率<sup>[2]</sup>,等厚干涉测量液体的折射率<sup>[3]</sup>,干涉法测量液体折射率<sup>[4]</sup>,劈尖法测不同液体和透明固体的折射率<sup>[5]</sup>等等。通常,诸如纯水等液体折射率的测量可以利用阿贝折射仪来完成,而三棱镜等透明固体折射率的测量可以利用分光计等仪器来完成<sup>[6]</sup>。但是,从现阶段实验室配备的仪器来看,虽然可精确测量物体折射率,但是实验理论性较高、可视性较差,也不利于在中学物理实验教学中展开。

此外,实验仪器购买成本、维护成本对实验开展也有一定的限制,我国著名物理教育家朱正元先生提倡“坛坛罐罐当仪器,拼拼凑凑做实验”,而近年来,祝航帆《利用简易装置测量水的折射率》<sup>[7]</sup>,龚玉梅等《一种简易测量液体折射率的新方法》<sup>[8]</sup>,刘小兰,武银根《直线插针板和折射率

尺》<sup>[9]</sup>等也针对折射率测量进行了一些简易的实验装置的探究,较之而言,其方法简易、效果明显。本文基于大学物理实验仪器分光计的启发,设计了一种简易测量折射率实验仪,利用其并辅助智能手机测距快速测量液体、规则透明固体折射率的新方法。

## 1 简易测量物体折射率的实验仪的设计与组装

测量物体的折射率的基本原理是折射定律,即入射角的正弦和折射角的正弦之比,其中最关键的因素是入射角和折射角的测量,本文利用转化法的思想和手机距离传感器,设计图如图1所示,设计了两层共轴转动系统上层平台放置待测物即为载物台,共轴的下层平台为读角度的刻度盘,如此可将光线的入射角( $i$ )测量巧妙地转换为旋转平台的旋转角度( $\Delta\theta$ ),同时将待测物底部再放置手机,利用手机测距APP即时测量入射光线和出射光线之间的距离从而得出折射角,间接测量待测物(液体、规则透明固体)的折射率,为了提高该实验仪的精确度和实验效果,本实验仪设

收稿日期:2020-04-15

基金项目:2018年度云南省大学生创新创业训练计划项目(986号)

\* 通讯联系人

计由底座调平装置、载物台及刻度盘主体、可拆卸光屏以及可调激光笔固定架,外加智能手机组成。

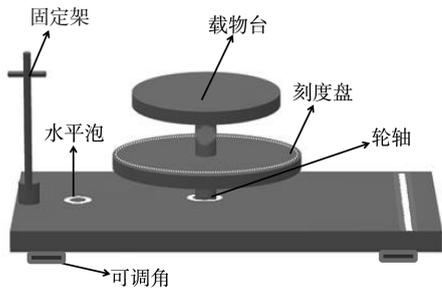


图1 实验仪器结构示意图

实物图如图2所示,该实验仪主要由五部分构成:(1)底座调平装置:由安装在底座下部的四个可调脚,及嵌入水平泡组成,通过观察水平泡中的气泡位置,调整四个脚的高度实现底座不同情况下的水平调节。(2)载物台及刻度盘主体:在底座中央嵌入轮轴,将载物台与刻度盘通过轴承连接成一个整体,再通过轴承固定在轮轴上,实现载物台与刻度盘的共轴转动,用于测量载物台转动的角度。(3)可拆卸光屏:底座一侧的固定木质插槽,可保证光屏能稳定插入插槽内,并与底板保持垂直,通过观察光屏上激光点位置的移动可验证光的折射。(4)可调激光笔固定架:由升降架和万向固定夹组成的固定架可实现激光入射高度的调节,且整个可调固定架的位置可任意移动。(5)智能手机:利用智能手机测距APP可实现入射光线和折射光线之间距离的精确测量,如图3所示。

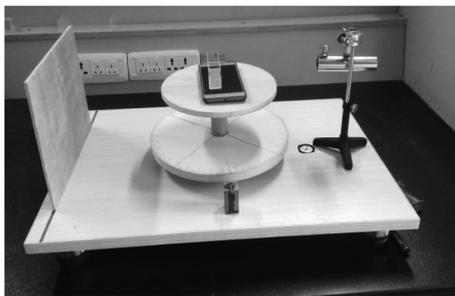


图2 实验仪器实物图

在利用自制实验仪测量物体折射率的过程中,调节仪器底部的四个可调底座使水平泡的气泡位于正中央。打开智能手机测距APP并将其置于载物台中央,在手机上放上待测物体(玻璃

砖或盛装待测液体的方形容器),调节激光笔固定架高度(激光刚好打在物体下方位置),固定光屏,通过共轴系统实现角度的测量。而在测量液体折射率时,方形容器的玻璃壁相当于平行平板,不改变光的传播方向,所以还可通过点燃檀香(或利用家用空气加湿器喷出的水雾)观察光线经过方形容器发生的变化,验证光在不同种介质中传播时会发生偏折,即光的折射现象,可形象地演示光的折射现象,如图4所示。

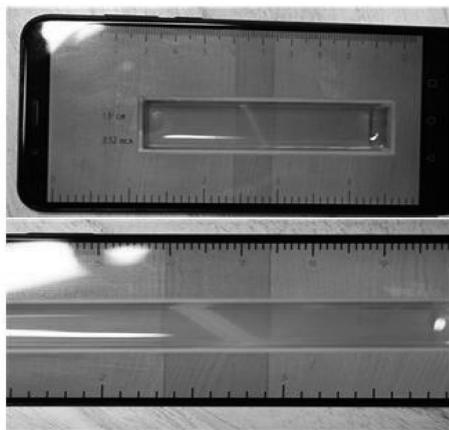


图3 智能手机测量实物图

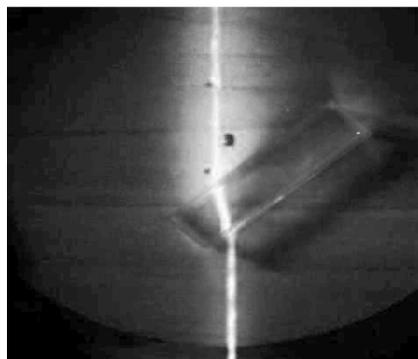


图4 光通过方形容器后发生的折射现象

## 2 实验原理

测量物体的折射率的基本原理是折射定律,即入射角的正弦和折射角的正弦之比。对于规则固体(如玻璃砖)折射率的测定,可通过在实验仪载物台放置待测物,载物台转动之前让入射光垂直照射在待测物玻璃砖上,则转动载物台之后入射光线的法线刚好与转动前的入射光平行,利用

自制实验仪共轴转动的原理,将光线的入射角( $i$ )测量转换为测量转动平台的旋转角度( $\Delta\theta$ ),如图5所示。再利用手机测距APP即时测量出入射光线和出射光线之间的距离 $d$ , $h$ 为玻璃砖的厚度,如图6所示,由几何关系计算出折射角正弦值:

$$\sin i' = \frac{d}{\sqrt{(d^2+h^2)}}$$

根据折射定律, $n_0 \sin i = n_x \sin i'$ , $n_0 = 1$ (空气的折射率),则待测物体折射率( $n_x$ ):

$$n_x = \sin i \frac{\sqrt{(d^2+h^2)}}{d}$$

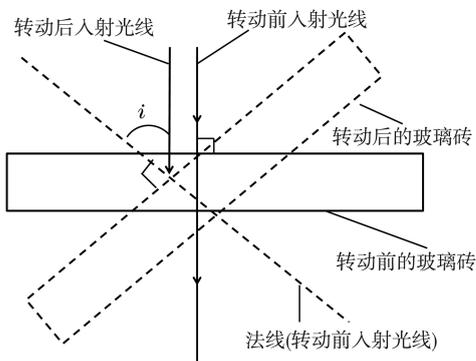


图5 入射角测量原理图

利用自制实验仪共轴转动的原理,转动平台的旋转角度 $\Delta\theta$ 即为入射角 $i$ ,则:

$$n_x = \sin \Delta\theta \frac{\sqrt{(d^2+h^2)}}{d}$$

而对于液体折射率的测定,则可用方形容器盛装待测液体,方形容器的玻璃壁相当于平行平板,不改变光的传播方向,即不会改变光线与待测液体界面的夹角<sup>[10]</sup>。如图7, $n_0 \sin i = n_x \sin \alpha = n_0 \sin \beta$ ,可直接推导出:出射角度( $\beta$ )=入射角度( $i$ )。利用此关系,当光线穿过平板玻璃时,可不考虑玻璃对光线传播方向的影响,即方形容器(方形玻璃水槽)承载待测溶液时的光路示意图(俯视图)可简化为图8所示。同样地,由上述规则固体(如玻璃砖)折射率的测定原理可推导出待测液体折射率( $n_x$ ):

$$n_x = \sin \Delta\theta \frac{\sqrt{(d^2+h^2)}}{d}$$

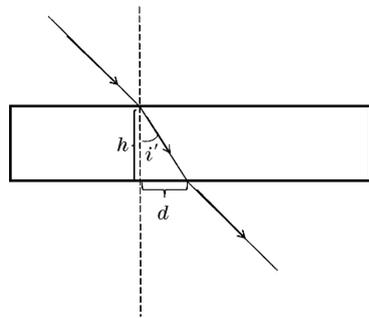


图6 折射角正弦值计算原理图

### 3 利用自制实验仪测量物体折射率

调节激光笔固定架让入射激光与物体垂直,读出此时的刻度盘读数并记录,接着转动载物台,再读出刻度盘读数并记录。此时在物体两侧可以看到两个清晰的光点(透明固体及液体无法看到清晰的光路),并用智能手机测距APP测出两点间的距离,即入射光线和出射光线之间的距离 $d$ 。最后用游标卡尺测出物体厚度 $h$ 。计算数据,将实验数据代入推论公式:

$$n_x = \sin \Delta\theta \frac{\sqrt{(d^2+h^2)}}{d}$$

求出折射率,多次测量减小误差。

#### 3.1 测量透明介质(固体)的折射率

在室温下利用实验装置测量玻璃砖的折射率,并将实验数据记录于表1中,且室温下玻璃砖的折射率为 $n' = 1.5$ <sup>[11]</sup>, $d$ 用智能手机测距APP测出,入射角 $i$ 利用转动平台的旋转角度 $\Delta\theta$ 测出,测量数据如表1所示。

表1 简易实验装置测玻璃砖的折射率实验数据

实验组数	转动前刻度盘读数/ $^{\circ}$	转动后刻度盘读数/ $^{\circ}$	距离( $d$ )/cm	折射率
第1组	202.5	240.0	1.52	1.513
第2组	202.5	256.0	2.19	1.503
第3组	208.5	240.0	1.27	1.516
第4组	208.5	235.5	1.10	1.498
第5组	196.5	223.5	1.10	1.498

上述表格中的折射率可根据公式:

$$n_x = \sin \Delta\theta \frac{\sqrt{(d^2+h^2)}}{d} \quad (n_0 = 1) \quad (\text{式中}$$

$h = 3.46$  cm)直接计算得到。则:

$$\bar{n} = \frac{(1.513+1.503+1.516+1.498+1.498)}{5}$$

$$= 1.506.$$

以理论值  $n'=1.5$  为近真值进行比较,其相对误差:

$$E = \frac{|\bar{n}-n'|}{n'} = \frac{|1.506-1.5|}{1.5} \times 100\% \approx 0.4\%$$

平均值的标准误差为:

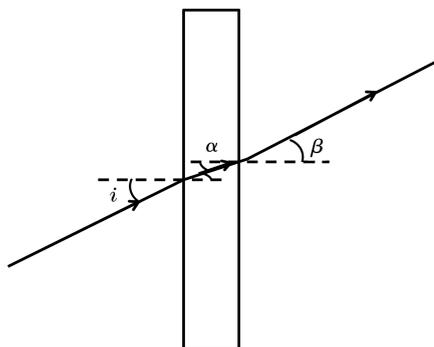


图7 平行平板不影响光线传播方向

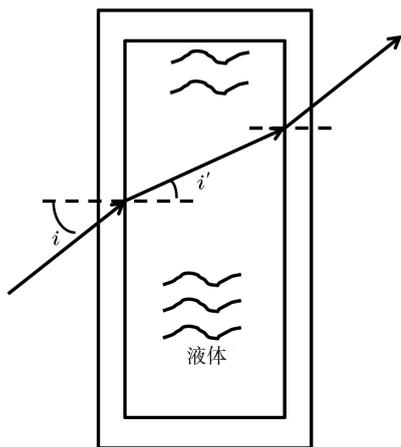


图8 方形容器光路原理图

所以,  $n = 1.506 \pm 0.005$ ,  $E = 0.4\%$ 。

### 3.2 测量液体折射率

在室温下利用自制实验仪测量水的折射率,实验数据记录于表2中。

表2 简易实验装置测水的折射率实验数据

实验组数	转动前刻度盘读数/ $^{\circ}$	转动后刻度盘读数/ $^{\circ}$	距离(d)/cm	折射率
第1组	187.0	232.0	1.25	1.334
第2组	184.0	235.0	1.44	1.330
第3组	239.0	284.0	1.25	1.334
第4组	237.0	291.0	1.53	1.331
第5组	258.0	288.0	0.81	1.331

上述表格中的折射率可根据公式:

$$n_x = \sin \Delta \theta \frac{\sqrt{(d^2 + h^2)}}{d} (n_0 = 1) \quad (\text{式中}$$

$h = 2 \text{ cm}$ ) 直接计算得到。则:

$$\bar{n} = \frac{(1.334 + 1.330 + 1.334 + 1.331 + 1.331)}{5}$$

$$= 1.332,$$

室温下水的折射率由阿贝折射仪测量  $n_e = 1.333$  作为理论参考值,其相对误差为:

$$E = \frac{|\bar{n} - n_e|}{n_e} = \frac{|1.332 - 1.333|}{1.333} \times 100\%$$

$$= 0.075\%$$

平均值的标准误差为:

$$S(\bar{n}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (n_i - \bar{n})^2}{n \times (n-1)}} = 1 \times 10^{-3}$$

所以,  $n = 1.332 \pm 0.001$ ,  $E = 0.075\%$ 。

## 4 结论

利用生活中常用的木板、轮轴、水平泡等设计了由底座调平装置、载物台及刻度盘主体、可拆卸光屏以及可调激光笔固定架,外加智能手机组成的简易测量规则透明固体以及液体折射率的实验仪,测量了室温下的玻璃砖和水的折射率,误差均远远小于5%,精确度极高,利用该简易实验仪测量折射率具有一定的科学可行性,具有一定的现实意义和应用价值,实验仪器操作简单、实验理论简洁可靠、实验结果准确度高,并且该实验仪具有形象的演示效果,可作为中学物理教具进行演示教学。

### 参考文献:

- [1] 郑经学,史鞞朝,等.测量折射率的两种方法[J].大学物理实验,2017,30(4):47-50.
- [2] 杜登熔,王洪涛,等.利用迈克尔逊干涉仪测量液体的折射率[J].大学物理实验,2019,32(1):43-45.
- [3] 陈代兵,张佳伟,李金玉.利用劈尖的等厚干涉测量液体的折射率[J].大学物理实验,2016,29(5):41-43.
- [4] 张思慧,周小岩,等.牛顿环干涉法测量液体折射率

- 的实验研究[J].大学物理实验,2016,29(4):49-50.
- [5] 程显中,唐殿皓.劈尖法测不同液体和透明固体的折射率[J].大学物理实验,2016,29(6):76-77.
- [6] 王昆林,岳开华.普通物理实验[M].西南交通大学出版社,2014(8):210-220.
- [7] 祝驭航.利用简易装置测量水的折射率[J].物理之友,2016,32(12):46-47.
- [8] 龚云梅,蔡武德,等.一种简易测量液体折射率的新方法[J].物理通报,2016(5):71-73.
- [9] 刘小兰,武银根.直线插针板和折射率尺[J].物理教学探究,2018,36(6):47-50.
- [10] 刘海山,黄江,等.方形容器的测量液体折射率和色散率[J].大学物理,2017,36(12):62-65.
- [11] 人民教育出版社等.普通高中课程标准实验教科书物理.选修3-2.北京:人民教育出版社,2007.

## Design and Research of a Simple Experimental Instrument for Measuring Object Refractive Index

YANG Jinglei, LI Tingrong, LI Chunjiang, LI Luyu, XIANG Wenli \*

(School of Physics and Electronic Science, Chuxiong Normal University, Chuxiong 675000, China)

**Abstract:** The idea of the conversion method and the principle of coaxial rotation are mainly used to convert the measurement of the incident angle of light into the rotation angle of the rotating platform. An experimental instrument which can quickly and accurately measure the incident angle is designed and made. The refractive index of room temperature water and glass block is accurately measured by combining with mobile phone ranging. The error is much less than 5%, and the accuracy is very high. It has certain scientific feasibility, practical significance and application value to measure refractive index with this simple experimental device. The self-made experimental instrument has the advantages of simple operation, obvious effect, simple and reliable experimental theory and high accuracy of experimental results.

**Key words:** refractive index; self-made experimental instrument; refraction law