

# 基于分光计平台的若干光学实验原理讨论\*

江海燕 李国祥 宋逢泉

(合肥工业大学电子科学与应用物理学院 安徽 合肥 230601)

(收稿日期:2018-07-07)

**摘要:**分光计是一种精密的光学实验仪器,利用分光计可开展内容丰富的光学实验.分光计调节及实验不仅是大学物理实验的重点内容,也是中学各级物理实验竞赛常考题型.本文基于分光计实验平台,对相关实验原理展开分析讨论,为学生学习、竞赛及各种创新创业活动提供有益的参考.

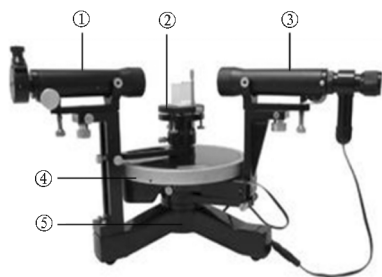
**关键词:**分光计 实验原理 物理量测量

## 1 引言

分光计,又称为测角仪,是一种既启迪思维又训练动手能力的光学实验仪器.基于分光计实验平台,根据几何光学或波动光学相关原理,可开展内容为丰富的光学实验.通过直接测量各种光线的出射角,可间接测得多种重要的物理参数,如三棱镜折射率、色散关系、反射起偏角、光栅常数、单色光波长、液体声速等物理量<sup>[1~3]</sup>.本文梳理了可在分光计平台上开展的光学实验原理,为大学生学习、参加各种实验竞赛及从事创新创业活动提供有益的参考.

## 2 分光计构造及调整

分光计由底座、望远镜、平行光管、载物台、刻度盘、照明系统及相关锁止机构等构成,其结构如图1所示.



①望远镜;②载物台;③平行光管;④刻度盘;⑤底座

图1 分光计示意图

在开展实验前,必须对分光计进行相关调节,以保证实验严谨科学及数据准确.分光计调整遵循先粗调后细调的“两步法”原则,即通过目测粗调望远镜主光轴、平行光管水平轴分别与分光计中心轴大致垂直,然后借助双面镜采用“上下各半逐次逼近调节法”调至严格垂直.具体调节方法及要求为:首先,调整目镜焦距,能清晰地看到分划板;调节望远镜俯仰螺钉使得望远镜主光轴与实验台面大致平行,借助三角尺调节载物台下3颗螺钉在同一高度,使得载物台面与分光计中心轴大致垂直,要求从望远镜目镜中能看到绿十字反射像;然后,采用上下各半调节法,将目镜中绿十字像调到与分划板最上端的十字重合,再将载物台旋转 $180^\circ$ ,将双面镜的另一面对准望远镜物镜,按照同样的方法,调节绿十字与分划板最上端的十字重合.再经过若干次逐次逼近微调,则可调节好分光计,为后续实验做好准备.

为保证实验精度,要严格遵守相关要求:(1)测量时,要保证绿十字与分划板最上端的十字重合;(2)读数时,为消除仪器偏心差,双游标盘数据都要记录,下文中所描述的角度均为消除偏心差后的数据;(3)处理数据时,要遵循误差理论及有效数字法则.

## 3 实验原理及讨论

利用调节好的分光计,可开展多组几何光学或

\* 教育部高等学校教育研究项目,项目编号:DWJZW201707hd;安徽省教育厅高等学校质量工程项目,项目编号:2017jyxm0814

作者简介:江海燕(1975-),女,博士,从事大学物理教学及聚变堆结构材料与传热工质相容性研究.

波动光学实验<sup>[4,5]</sup>. 由于几何光学的出射光线往往偏转角比较大, 需要借助望远镜的定轴转动配合游标盘开展相关大角度测量; 波动光学实验中要测量的衍射角一般比较小, 可利用测微目镜把小角度测量转化为微小长度的测量, 从而完成相关实验. 测微目镜是一种专门用来测量微小长度的目镜, 将调焦目镜从望远镜的镜筒取下, 原位置装上测微目镜, 微调焦距使叉丝及主尺从目镜中看起来最清晰. 让被测对象严格成像在叉丝双线处, 读取主尺及鼓轮副尺读数即可测出被测对象的位置, 然后利用逐差法处理数据, 获得相关实验结果.

### 3.1 掠射法测量三棱镜折射率

掠射法是测量透明液体或固体折射率的基本方法. 用单色扩展光源斜入射到顶角为  $A$  的透明三棱镜的  $AB$  面, 如图 2 所示. 以入射角  $i$  入射的光线经三棱镜  $AB$  面、 $AC$  面两次折射后, 从  $AC$  面以折射角  $\phi$  射出, 根据折射定律

$$\begin{cases} n_0 \sin i = n \sin \gamma \\ n \sin \gamma' = n_0 \sin \phi \end{cases}$$

式中  $n_0$  和  $n$  分别是空气和三棱镜的折射率. 由几何关系  $\gamma + \gamma' = A$  且  $n_0 = 1$ , 可得

$$n = \frac{1}{\sin A} \sqrt{\sin^2 i \sin^2 A + (\sin i \cos A + \sin \phi)^2}$$

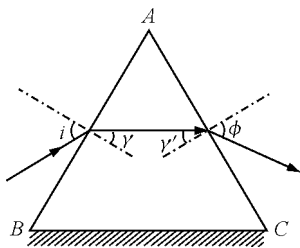


图2 掠射法示意图

由图可知,  $0 < i < 90^\circ$  的入射光线均可进入三棱镜并沿  $AC$  面出射, 对于  $i > 90^\circ$  的入射光线则无法进入三棱镜, 因此以  $i = 90^\circ$  为分界线, 在  $AC$  面形成明暗场, 且与此对应的出射角最小, 称为极限角  $\phi$ . 实验中望远镜对准  $AC$  面移动, 找到并记录明暗分界线的位置  $\theta_1$ , 然后利用自准直法测量  $AC$  面法线位置  $\theta_2$ , 则极限角  $\phi = |\theta_1 - \theta_2|$ . 在极限角情况下, 三棱镜折射率可简化为

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

### 3.2 最小偏向角法测量三棱镜折射率

采用钠灯或汞灯作为光源, 经平行光管狭缝后入射到三棱镜  $AB$  面上, 并且在三棱镜的  $AB$  和  $AC$  界面上发生折射, 出射光线相对于入射光线发生偏折的角度称为偏向角. 偏向角的大小随入射角变化, 当入射光线与出射光线相对棱镜对称, 即入射角与出射角相等时, 偏向角有一个最小值, 称为最小偏向角  $\delta_{\min}$ , 如图 3 所示.

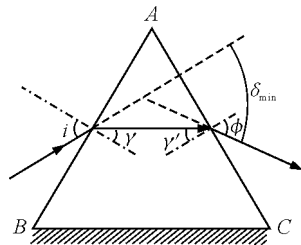


图3 最小偏向角

根据折射定律和几何关系, 可求得三棱镜折射率与顶角和最小偏向角的关系为

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

相对于极限角, 最小偏向角调节及测量稍显复杂. 实验中认准某一条谱线, 使谱线向入射光方向靠拢, 即减小偏向角, 并转动望远镜始终跟踪该谱线, 直至该谱线在视野中运动方向发生逆转, 记录该转折点的位置  $\theta_1$ , 然后取下三棱镜直接记录入射光的位置  $\theta_2$ , 则  $\delta_{\min} = |\theta_1 - \theta_2|$  为该谱线的最小偏向角.

### 3.3 分光计测反射光的偏振特性

一束自然光以布儒斯特角即起偏角从折射率小的介质向折射率大的透明介质入射时, 反射光是完全偏振光, 且偏振方向垂直于入射面. 如图 4 所示, 将一偏振片装在望远镜的物镜上, 从光源发出的自然光经三棱镜表面反射后变成部分偏振光进入望远镜, 缓慢转动偏振片, 则视场中反射光强出现周期性的变化. 当视场中光线最弱时, 固定偏振片, 表明偏振片的偏振化方向与入射面平行. 继续缓慢转动载物台, 望远镜保持跟踪反射线, 当视场中完全黑暗时, 此时的反射光为完全偏振光. 固定载物台, 取下偏振片, 记录反射线的位置  $\theta_1$ , 取下三棱镜, 让望远镜对准光源, 记录入射线的位置  $\theta_2$ , 则起偏角

$$i = \frac{180^\circ - (\theta_1 - \theta_2)}{2}$$

经多次测量后,可求得三棱镜的折射率

$$n = \tan \bar{i}$$

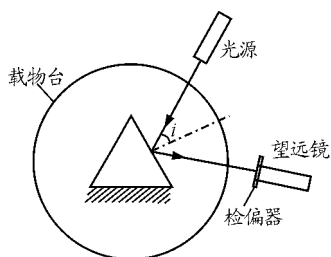


图4 测量布儒斯特角示意图

### 3.4 单缝衍射测量单色光波长

分光计是一台集成的小型单缝衍射仪.调节并固定分光计平行光管和望远镜主光轴在同一直线上,激光或单色光通过平行光管后以平行光入射狭缝,衍射光经望远镜成像系统会聚在分划板上,呈现明暗相间的单缝衍射条纹,光路图如图5所示.

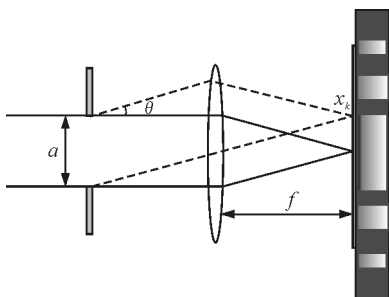


图5 单缝夫琅费衍射

当衍射角比较小时,有

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{x_k}{f}$$

$x_k$  为第  $k$  级暗条纹中心到中央明纹中心的距离,  $f$  为望远镜物镜焦距.

由单缝衍射暗纹条件

$$a \sin \theta = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

其中  $a$  为单缝宽度,  $\theta$  为衍射角.

待测波长可表示为

$$\lambda = \frac{ax_k}{kf}$$

狭缝宽度  $a$  和第  $k$  级暗纹中心到中央明纹中心的距离可借助测微目镜测出,为减小误差,需要确定并测量  $\pm k$  级暗纹中心位置,两者距离取半则为第  $k$  级暗纹间距.

### 3.5 单色光测定光栅常数

光栅是一种根据单缝衍射和多缝干涉原理采用光刻技术制成的重要分光元件,常被用来精确测定光波波长并进行光谱分析.衡量一片光栅品质优劣的重要物理量是光栅常数,利用分光计可以进行精确测定.取钠光灯或汞灯作为光源,谱线波长均为已知,沿平行光管出射的平行光经过光栅衍射后,在分划板上呈现沿中心对称的衍射条纹,如图5所示.

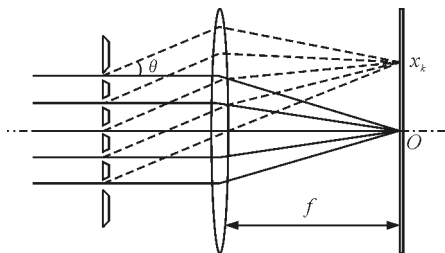


图5 光栅衍射

在衍射角比较小时,同样有

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{x_k}{f}$$

根据光栅方程

$$(a+b) \sin \theta = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

光栅常数

$$d = a + b = \frac{k\lambda x_k}{f} \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

利用测微目镜测出各级光谱位置,利用逐差法处理数据即可求得光栅常数.

### 3.6 光栅测定氢灯谱线并开展光谱分析

实验原理及测量过程同3.5节.以氢灯作为光源,根据玻尔理论,氢原子光谱表达式为

$$\nu = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$(n=1, 2, 3, \dots; m=n+1, n+2, n+3, \dots)$$

式中  $R_H$  为氢原子的里德伯常量.当电子从第三级以上的能级向第二级跃迁时,释放的光子波长位于可见光区,称为巴尔末系,其光谱规律为

$$\nu = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (m=3, 4, 5, \dots)$$

利用分光计和光栅常数已知的光栅,测出氢原子巴尔末系最强的3条谱线(红蓝紫)的衍射角(分别对应  $m=3, 4, 5$ ),根据光栅方程求出各级谱线的波长,进而可求得氢原子的里德伯常量.此外,通过测定某元素的谱线波长,与特征谱线比对,经光谱分

# 细究 21051 轨道打点式小车的打点原理

黎明 汪永根

(余姚市梦麟中学 浙江 宁波 315400)

(收稿日期:2018-07-26)

**摘要:**从一条由学生实验做出的别样的纸带出发,通过假设并应用理论推理,以及对比实验验证的科学研究方法对纸带进行了研究,最终得到了正确的结论,并且通过结论优化了 21051 轨道打点式小车的实验方案.

**关键词:**21051 轨道式打点小车 点迹 火花放电

## 1 学生实验 出现疑问

2018年,笔者所在的学校引入了一些新的实验装置,其中就有 21051 轨道式打点小车,该仪器的结构如图 1 所示,因此,在上“探究加速度与力、质量的关系”这节实验课时,笔者就启用了这套实验仪器.

在上课过程中,由于一个小组的不规范操作,在验证摩擦力是否平衡好时,打出了一条别样的纸带.如图 2 所示,点迹稀稀拉拉,漏点严重,并且点迹颜色也比较淡.课后,笔者对学生得到的这条别样的纸带很是好奇,并进行了深入的研究.(注:笔者之后研究的点迹都是小车做匀速直线运动时打出的.)

析可确定未知元素成分及含量.

## 3.7 超声光栅测液体中声速

超声波是一种疏密相间的纵波,在液体中的传播速度  $v = \lambda f$ , 式中  $v$  为声速,  $\lambda$  为超声波在液体中的波长,  $f$  为超声波频率.

超声波在液体中传播时遇到反射板或槽壁反射,入射波与反射波叠加,如果条件满足就会形成稳定的驻波.波腹处始终处于拉伸状态,拉伸作用使得液体的折射率减小;波节处始终处于压缩状态,压缩作用使得液体的折射率增大.折射率周期性的变化,类似于透射光栅的透光部分和不透光部分,这种由超声波在液体中传播产生的光栅作用称为超声光栅,且驻波的波长相当于光栅常数,如图 6 所示.

测定某级条纹的位置求出该衍射角  $\theta$ , 由光栅方程  $(a+b)\sin\theta = k\lambda$  求出超声光栅常数,具体测量方法类似于光学光栅.然后由表达式  $a+b = \lambda$  和  $v = \lambda f$ , 可求出超声波在未知液体中的声速.

## 4 总结

分光计设计精巧,操作灵活多变,根据几何光学或波动光学原理,可设计开展多组光学实验,是各类物理实验竞赛重点题型之一.本文梳理了基于分光计平台开展的多个光学实验,通过精确测定各种光线的出射角,可间接测得多种重要的物理量,从而达到举一反三,触类旁通的学习目的.

## 参考文献

- 1 赵青生,马书炳.大学物理实验.合肥:安徽大学出版社,1999
- 2 吕斯骅.全国中学生物理竞赛实验指导书.北京:北京大学出版社,2006
- 3 程守洙,江之永.普通物理学.北京:高等教育出版社,2009
- 4 赵永潜,张亚萍,许广建,等.基于分光计的光栅光谱特性研究.大学物理实验,2016,29(4):29~32
- 5 杨杰,李爱侠,汪洪.用分光计观测氢原子光谱的教学研究.实验室科学,2015,18(6):22~25

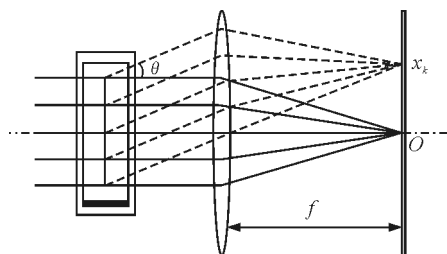


图 6 超声衍射示意图

如果采用钠黄光作为入射光,波长为已知,通过