

光栅实验

胡湔崴 核 21 2022011139

摘要

光栅是一种分光用的常用光学元件，它不仅用于光谱学，还广泛用于计量、光通信、信息处理等方面。分光计是一种用于观察分光现象的光学仪器。本实验利用分光计观察光栅的分光现象，测定光栅常数及光波波长，验证光栅的分光公式，对光栅特性有初步了解。

1. 实验仪器

(1) 分光计：

分光计主要由平行光管、望远镜、度盘和平台构成。度盘采用游标结构，由刻度盘(主度盘) 和游标盘组成。

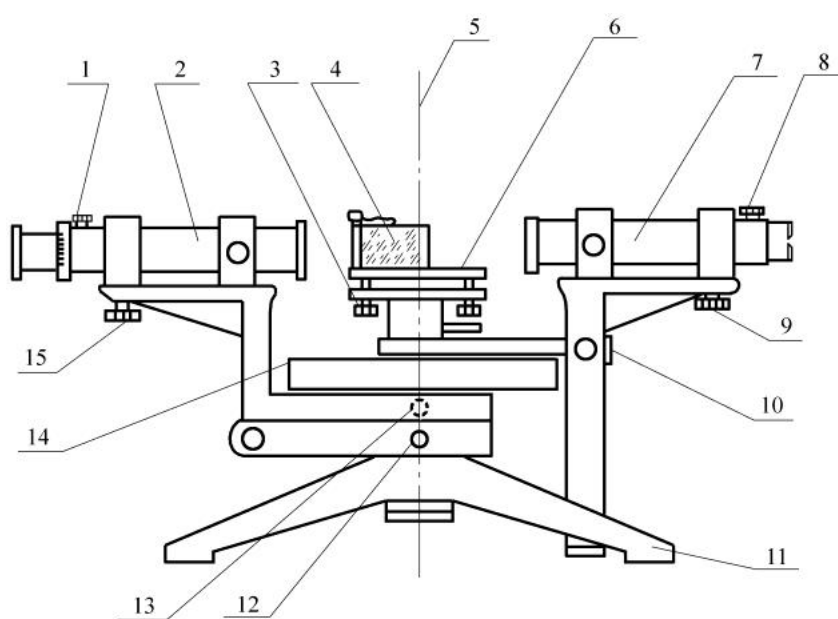


图 1 分光计结构示意图

1. 望远镜调焦旋钮
2. 望远镜
3. 小平台的调水平螺钉
4. 实验元件
5. 分光计主轴
6. 小平台
7. 平行光管
8. 平行光管调焦旋钮
9. 平行光管俯仰角调节螺钉
10. 游标盘止动螺钉
11. 底座
12. 望远镜止动螺钉
13. 望远镜和刻度盘联动螺钉
14. 刻度盘与游标盘
15. 望远镜俯仰角调节螺钉

其中，平行光管将外界自然光转化为平行光出射到小平台上方，经过平台上光学仪器后，光线经过望远镜成像在分划板上，并经过目镜成像。

(2) 光栅

光栅是在空间上有周期性的一种光学元件，其两狭缝间距为 d ，存在光栅分光公式：

$$d (\sin \varphi + \sin i) = k \lambda \quad (1)$$

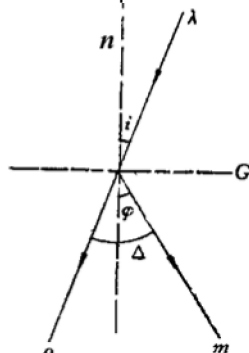


图 2 光栅分光偏向角示意图

2、实验内容

(1) 调节分光计。

调节分光计最终目的是方便操作者看清成像,并且使测量尽可能的精准。为了看清成像,需要调节目镜焦距,望远镜焦距,平行光管焦距。为了使测量精准,则仪器整体需要满足:望远镜光轴垂直于分光计主轴,平行光管光轴垂直于分光计主轴,光栅平面与平行光管的光轴垂直,光栅刻线(缝)与分光计主轴平行。因此,调节应按照以下步骤;

1) 调节望远镜适合于观察平行光

首先,调节目镜,使能看清叉线(不同人视力不同,调节情况也不同)。之后,在小平台上放置平面反射镜,调节望远镜焦距使能看清绿十字像,这是利用自准直法使望远镜能将平行光成像在分划板上。

2) 调节望远镜光轴垂直于分光计主轴

为了使望远镜光轴平行于分光计主轴,利用反射镜,当绿十字满足几何光学反射的条件时,则调节完成。同时调节望远镜俯仰和平台旋钮,以各半法调节,使反射镜旋转 180 度前后绿十字都成像在上叉线上。此时,望远镜与分光计主轴垂直。

3) 调节平行光管使产生平行光

望远镜已经调节完成,此时,只需调节平行光管使能看清狭缝的像即可。

4) 调节平行光管光轴垂直于分光计主轴

望远镜已经垂直于分光计主轴,因此,只需调节平行光管光轴平行于望远镜光轴即可。调节平行光管俯仰,使狭缝的像平分于分划板中间叉线即可。

5) 使光栅平面与平行光管的光轴垂直

同样利用反射法,调节小平台旋钮,使能在望远镜中观察到反射的绿十字成像在上叉线上,旋转 180 度前后均满足,则光栅平面垂直于平行光管光轴。

6) 调节光栅刻线(缝)与分光计主轴平行

光栅刻线影响衍射级次的偏移,在调节时,将所有衍射级的高度调节至同一即可。

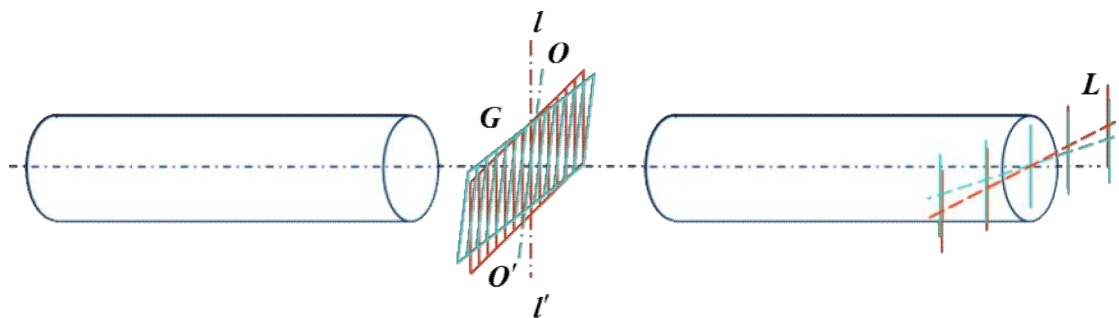


图 3 光栅刻痕不平行于分光计主轴时的衍射光谱

(2) 在光线垂直入射的情形下,即 $i = 0$ 时,测定光栅常数和光波波长。

为了满足垂直入射条件,应先调节反射绿十字与平行光管像重合,并选取合适的级次 m 。

经过观察, $m=3$ 合适。测定 $\lambda=546.1\text{nm}$ 绿线的 φ_m 的值,此时,为了消除偏心差,应当左右游标同时读数并求平均值,用于计算 φ_m 。同时,为了减小误差,通过 ± 3 级求差计算 2φ 。由 (1) 式计算,并用不确定度分析,计算光栅常数 d 如下

$$d=3336.02\text{nm}$$

$$u_d=0.86\text{nm}$$

给出最终表达式:

$$d=(3336.02\pm 0.86)\text{nm}$$

同上述方法,测定黄光 579.1nm (约定真值) 的 φ_m , 由 (1) 式计算,并用不确定度分析,计算光波长 λ 如下

$$\lambda=579.6\text{nm}$$

$$u_{\lambda}=0.2\text{nm}$$

给出最终表达式:

$$\lambda=(579.6\pm0.2)\text{nm}$$

计算与约定真值的相对偏差:

$$E=0.09\%$$

(3) 在 $i=15$ 度时, 测定汞灯光谱中波长较长(579.1nm)的黄线的波长。

根据图 2, 需要测定光栅法线的角位置, 入射光线的角位置, 以及衍射级次的角位置。入射角度需要手动调节至 $i=15$ 度。根据 (1) 式, 可以得出光的波长。这里需要注意的是在不同位置上衍射级次 m 的正负性需要判定。得到的光波长结果如下:

$$\lambda=579.05\text{nm}$$

与相对真值比较:

$$E=0.008\%$$

(4) 用最小偏向角法测定波长较长(579.1nm)的黄线的波长

当处于最小偏向角时, 满足条件 $i=\varphi$, 因此, 对于最小偏向角, 存在公式:

$$2d\sin\frac{\delta}{2}=m\lambda \quad (2)$$

根据 (2) 式, 同样可以测量两个方向的不同偏向角, 缩小实验误差。此时, 两角度差为 2δ , 利用 (2) 式, 求得波长为:

$$\lambda=578.58\text{nm}$$

与相对真值比较:

$$E=0.09\%$$

3、分析讨论

(1) 如何快速调平分光计。

在调节分光计的过程中, 最大的问题是观察不到绿十字像, 因此, 我认为可以再粗调后, 优先调节望远镜俯仰, 使能看见绿十字后, 再进行各半法调节。这时, 调节的难度会大大降低。

(2) 偏心差消除

因为分光计主轴和旋转轴不一定重合, 因此, 分光计存在偏心差, 但是, 利用几何关系我们可以得出, 两个相差 180 度的游标取平均值得到的就是真正的转角值, 因此, 在分光计的读数中, 左右游标必须同时读数并记录, 并求平均计算。

原始数据

2. 左 右 $m=3$

$\phi_{\text{入射}}$ $261^{\circ}59'$ $81^{\circ}52'$

$\phi_{\text{绿}-3}$ $291^{\circ}20'$ $111^{\circ}18'$

$\phi_{\text{绿}+3}$ $232^{\circ}32'$ $52^{\circ}27'$

$$d = \frac{m\lambda}{\sin\left(\frac{\phi_{\text{绿}-3\text{左}} + \phi_{\text{绿}-3\text{右}} - \phi_{\text{绿}+3\text{左}} - \phi_{\text{绿}+3\text{右}}}{4}\right)} = \cancel{333.6\text{nm}} \quad 333.02\text{nm}$$

$$\sigma \frac{dd}{d} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln d}{\partial \lambda} \sigma_{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln d}{\partial \phi} \sigma_{\phi}\right)^2 \times 4}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} \cot^2 \phi_m \cdot \sigma_{\phi}^2}$$

$$\sigma_d = 0.86\text{nm}$$

左 右 $m=3$

$\phi_{\text{黄}-3}$ $293^{\circ}24'$ $113^{\circ}16'$

$\phi_{\text{黄}+3}$ $230^{\circ}33'$ $50^{\circ}28'$

$$\lambda = \frac{1}{m} d \sin\left(\frac{\phi_{\text{黄}-3\text{左}} + \phi_{\text{黄}-3\text{右}} - \phi_{\text{黄}+3\text{左}} - \phi_{\text{黄}+3\text{右}}}{4}\right) = 579.6\text{nm}$$

$$\sigma_{\frac{d}{\lambda}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{1}{4} \cot^2 \phi_m \sigma_{\phi}^2\right)}$$

$$\sigma_{\lambda} = 0.2\text{nm}$$

$$E = \frac{|\lambda_{\text{真}} - \lambda|}{\lambda_{\text{真}}} = 0.09\%$$

3. $i=15^{\circ}$

$\phi_{\text{法线}}$ $246^{\circ}58'$ $66^{\circ}52'$

$\phi_{\text{入射}}$ $261^{\circ}59'$ $81^{\circ}52'$

$\phi_{\text{黄}+3}$ $231^{\circ}46'$ $51^{\circ}42'$

$$\lambda = \frac{d}{m} (\sin \psi + \sin i) = 579.05\text{nm}$$

4.

$\phi_{\text{黄}+3\text{右则}}$ $231^{\circ}46'$ $51^{\circ}41'$

$\phi_{\text{黄}+3\text{左则}}$ $292^{\circ}5'$ $111^{\circ}59'$

$$\lambda = \frac{1}{m} \cdot 2d \sin\left(\frac{\phi_{\text{黄}+3\text{左则}} + \phi_{\text{黄}+3\text{右则}} - \phi_{\text{黄}+3\text{左则}} - \phi_{\text{黄}+3\text{右则}}}{8}\right)$$

$$\lambda = 578.58\text{nm}$$

$$E = \frac{|\lambda_{\text{真}} - \lambda|}{\lambda_{\text{真}}} = 0.09\%$$

刘宇轩
5.9