



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

3

普通物理实验

光学部分

(第四版)

杨述武 赵立竹 沈国土 主编

方建兴 顾济华 编



高等教育出版社
Higher Education Press

04-33/16=3

:3

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通物理实验 3

光学部分

(第四版)

杨述武 赵立竹 沈国土 主编
方建兴 顾济华 编

高等教育出版社

内容提要

《普通物理实验》一套书共4册,分为一、力学、热学部分,二、电磁学部分,三、光学部分,四、综合及设计部分。此次是在2000年第三版基础上修订而成的。此次修订保持了原书通用性好、可读性强及注重能力的培养的特色,并基本上保持了原来的框架,同时为适应教学的发展,在内容上有一些增删和改变。

本书为这套书的第三分册,是光学实验部分,共23题,是在原书基础上重新编写的。实验题目有些修改。

本书可作为高等学校本科物理专业及相近专业普通物理实验课的教材,也可供师专使用。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理实验3,光学部分/杨述武,赵立竹,沈国
土主编.—4版.—北京:高等教育出版社,2007.12
ISBN 978-7-04-022622-5

I. 普… II. ①杨…②赵…③沈… III. ①普通物
理学—实验—高等学校—教材②光学—实验—高等
学校—教材 IV. O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第163579号

策划编辑 高建 责任编辑 张海雁 封面设计 张志奇 责任绘图 尹莉
版式设计 王艳红 责任校对 殷然 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 高等教育出版社印刷厂

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开本 787×960 1/16
印张 10.5
字数 190 000

版次 1983年4月第1版
2007年12月第4版
印次 2007年12月第1次印刷
定价 11.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 22622-00

第四版前言

本套书共四册,一、力学、热学部分,二、电磁学部分,三、光学部分,四、综合及设计部分。本册书是第三分册。

2005年11月,我们接到高等教育出版社的委托书,让我们对现用的第三版进行修订。我们商讨之后,和出版社共同认定,此次修订的原则是在保持原书基本框架的条件下,删去过时或不合适的内容,增加些新的内容,特别是增加一些有利于加强对学生素质教育的问题。据此我们对普通物理实验课的目标定为:

(1) 学习基本实验方法和操作技能,在观察、测量与分析中,加深对物理学的认识;

(2) 学习实验的物理思想,为用实验方法探索问题有一定的基本训练;

(3) 培养学生的思维能力,主要是分析问题、解决问题和提出问题的能力,增强学生的素质,以适应学生各种可能的发展方向;

在以上修订原则的指导下,本册修订的主要工作有:

(1) 删除了小型棱镜摄谱仪测定光波波长、发光强度和光通量测量等实验内容。

(2) 增加了 CCD 衍射光强分布的测定、液晶电光效应与显示原理、光源的空间相干性与时间相干性研究等实验内容。

(3) 对一些名词的说法进行了规范;

(4) 勘正了发现的错误。

这次修订工作得到了高等教育出版社的大力支持,他们协助我们拟订了修订原则;其次有关学校的领导对我们的工作也给予了很大的鼓励;我们还特别感谢物理实验教学中心的有关同志的多方帮助。此次修订工作的完成,是参与修订工作的同志共同努力的结果,但也有曾参加此书的编写而未能参加此次修订工作的同志们的心血。

修订后虽有改进,但是由于我们对问题的分析、研究不足,肯定有进一步探讨的问题,希望读者继续对本书提出批评和建议,最后感谢读者给予我们的支持。

编者

2006年冬

目 录

绪论——光学实验基础知识	1
§ 1 常用电光源简介	1
§ 2 常用光学仪器	5
§ 3 光电探测器	14
§ 4 光学实验操作与仪器使用规程	18
实验一 薄透镜焦距的测定	20
实验二 光具组基点的测定	24
实验三 分光计的调节及棱镜折射率的测定	31
实验四 用掠入射法测定透明介质的折射率	36
实验五 显微镜与望远镜	43
实验六 单色仪的定标与滤光片光谱透射率的测定	50
实验七 用双棱镜干涉测光波波长	56
实验八 牛顿环与劈尖干涉	60
实验九 用透射光栅测定光波波长	66
实验十 偏振现象的观察与分析	70
实验十一 光源色坐标的测定	81
实验十二 CCD 单缝衍射相对光强分布的测量	87
实验十三 普朗克常量的测定	92
实验十四 迈克耳孙干涉仪的调节和使用	96
实验十五 法布里 - 珀罗 (F - P) 标准具	104
实验十六 摄影技术	109
实验十七 薄膜折射率的测定	117
实验十八 硅光电池的线性响应	120
实验十九 全息照相	124
实验二十 阿贝成像原理和空间滤波	133
实验二十一 光导纤维	144
实验二十二 考察光源的时间相干性	150
实验二十三 液晶的电光效应与显示原理	154

绪论——光学实验基础知识

§ 1 常用电光源简介

光源种类很多,下面简要介绍实验室常用电光源的构造、原理及使用注意事项.

§ 1-1 热辐射光源

照明用白炽灯在通电时,其灯丝受热而辐射出连续光谱的可见光与红外光.灯丝温度越高,其亮度就越高,且可见光的比例提高,因此要用高熔点材料钨做灯丝.但高温下钨会升华,为了抑制钨丝的消耗,可在灯泡内充入氩气.更有效的办法是在灯泡内加入少量的碘或溴制成碘钨灯或溴钨灯(统称卤钨灯).当灯泡点亮后,从灯丝蒸发出的钨在泡壳内与卤素结合成卤化钨,卤化钨扩散到灯丝附近时又会因受更高的热而分解,钨又重新回到灯丝上.这样就延长了灯丝寿命,且可工作于更高的温度而提高发光效率,使光色更接近于日光;可用于放映、摄影.

白炽灯工作于较低温度时,灯丝偏红,此时近红外光占的成分较多,因而也用作近红外光源.实验室常用的碘钨灯与溴钨灯,如图 0-1-1 所示.

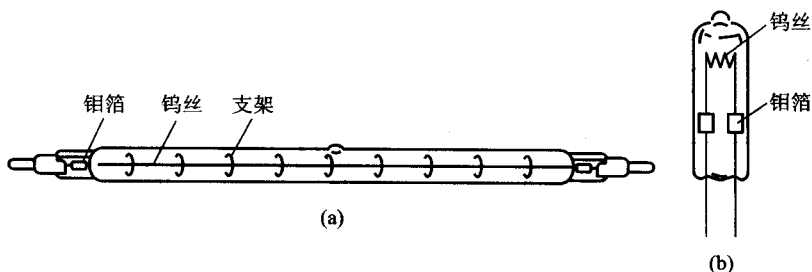


图 0-1-1

光学实验在暗室环境中进行,白炽灯工作电压有 220 V、12 V、6 V 等,因此要注意灯泡额定电压是否与电源电压一致,更要注意人身安全.另外,作强光源

的白炽灯温度非常高,点亮时可能烤坏附近的塑料,引燃纸张.刚关灯时灯具还非常烫,不要去触摸.

§ 1-2 气体放电光源

气体放电灯的基本构造及原理如图 0-1-2(a)、(b)所示. A、C 分别代表阳极、阴极,泡壳内充气. 其伏安特性(图 0-1-3)呈现三个阶段: OC 为暗放电, 当电压 U 增大时气体内少量已电离粒子受电场作用加速. 当到达点火电压 U_2 时, 这些粒子速度已足以碰撞中性原子, 激发并产生连锁碰撞, 管内带电粒子大量增加, 使电离电流上升, 进入辉光放电阶段 (FG). 在电流很大时, 电极温度升高转入热电子发射, 电流再次迅速增大形成弧光放电. 在弧光放电段 (GH), 微分电阻 $\frac{dU}{dI} < 0$, 称之为负的伏安特性, 这会造成放电不稳定, 如电路中有某种扰动, 结果会使灯管熄灭或者烧毁. 为了让灯管能稳定工作, 须在电路中串联电阻 (小功率) 或电感 (大功率) 起镇定工作电流的作用, 俗称镇流器 (中学阶段只讲了镇流器配合启动器帮助触发日光灯一项作用). 电感镇流有损耗大等缺点, 电子镇流器重量轻、功耗小, 总体效率可提高 25%.

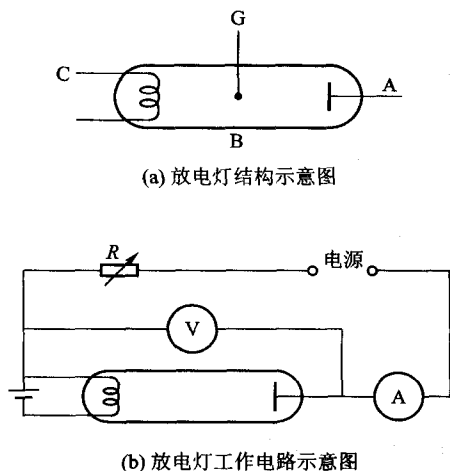


图 0-1-2

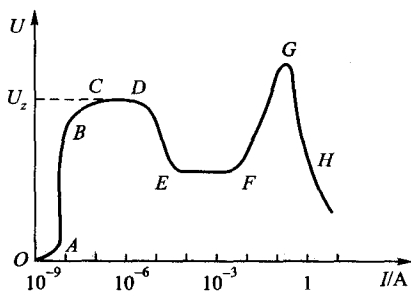


图 0-1-3

1. 辉光放电管

辉光放电管结构见图 0-1-4, 管内可充 He 或 Ne 等气体, 可用作光谱波长标准. 验电笔中的氖管、做广告的霓虹灯也都是辉光放电管.

辉光放电管内气压小于 10^3 Pa, 所通电流也仅几毫安, 但需几千伏的高电

压,实验室中常用霓虹灯变压器或感应圈作其电源。

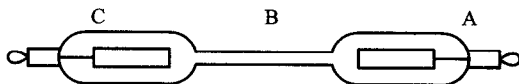


图 0-1-4

2. 汞灯

在弧光放电管内装入某种金属,金属受热后成为金属蒸气,金属原子中电子在放电时被激发,返回基态时放出光子。汞灯、钠灯均基于此工作原理。工作时汞蒸气压小于 10^5 Pa 的称为低压汞灯,如 GP2Hg 型汞灯发出的光线波长主要是 253.7 nm,因而用作紫外光源。汞蒸气压稍高一些的 GP20Hg 型汞灯发出紫、蓝、绿、黄等颜色的谱线,是常用的复式单色光源,可通过光栅或棱镜把四种颜色分开,也可用滤光片选取其中某一单色光。低压汞灯(GP20Hg 型)可见光区域谱线、相对强度如表 0-1-1 所示。照明用的日光灯是一种低压汞灯,只是在管壁内涂上荧光粉,荧光物质能吸收汞发出的紫外线转为波长较长的可见光。不同的荧光粉可发出不同的光,也可复合使用,例如市售的“节能灯”即是三基色荧光灯,显色性稍好一些。

表 0-1-1 低压汞灯(GP20Hg 型)可见光区域谱线、相对强度

颜色	紫	紫	紫	蓝紫	蓝紫	蓝紫	蓝绿
λ/nm	404.66	407.78	410.81	433.92	434.75	435.84	491.60
相对强度	1800	150	40	250	400	4000	80
颜色	绿	黄绿	黄	黄	橙	红	深红
λ/nm	546.07	567.59	576.96	579.07	607.26	623.44	690.72
相对强度	1100	160	240	280	20	30	250

汞蒸气压大于 10^6 Pa 的汞灯属高压汞灯,汞蒸气压高,被激发谱线更多,因此发光效率高,亮度也提高。GGQ50 型汞灯的构造见图 0-1-5。

汞灯接通电源后,辅助电极与相邻主电极之间距离很近(2 mm 左右),电极之间形成强电场,产生辉光放电,由此产生的大量带电粒子在两个主电极的电场作用下发生弧光放电。管内汞全部蒸发为气体后,灯管进入正常发光。从启动预热到正常工作约用 5~10 min。断电后冷却也需 5~10 min,然后再可重新点燃,因此不要随意开关汞灯。汞蒸气压超过 2.5×10^6 Pa 的汞灯称为超高压汞灯,其灯管结构、特性又有所不同,可作为高亮度光源。汞灯中紫外线很强,肉眼长久注

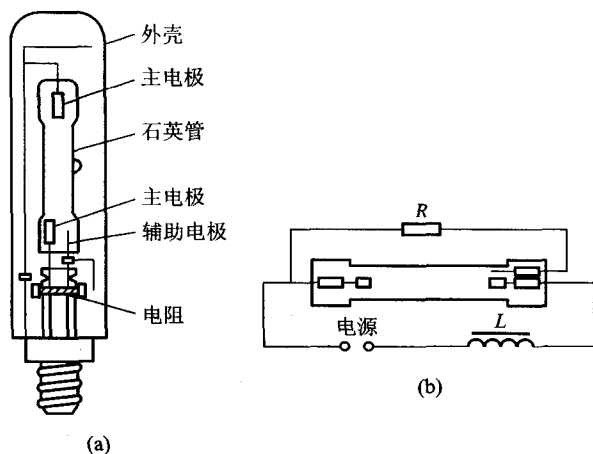


图 0-1-5

视会受损伤,应加以避免.

3. 钠灯

钠灯也有高压、低压之分,其结构、原理及电路与汞灯都相似(图 0-1-6). 低压钠灯发出两条极强的黄色谱线,平均波长为 589.3 nm. 高压钠灯还会发射其他颜色的谱线,因发光效率高而广泛用于路灯. 钠灯单色性强,作为单色光源可用于干涉实验,但作为照明光其显色性不佳. 与汞灯一样,钠灯也不应轻易开关.

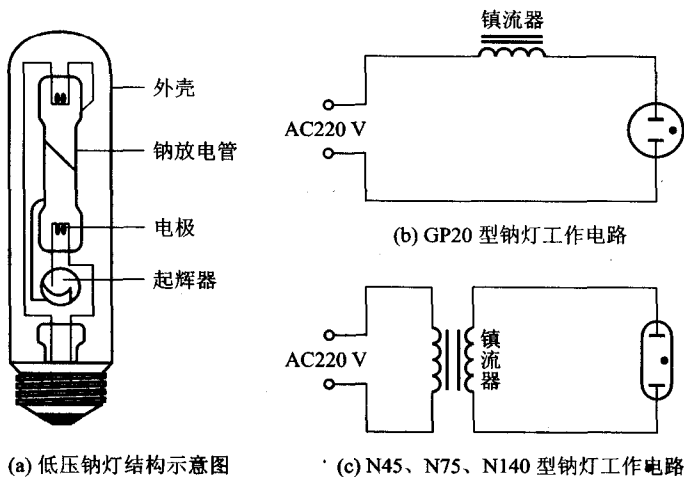


图 0-1-6

气体放电光源还有氙灯、镓灯等。

§ 1-3 激 光 器

激光器发光机理是受激辐射,此外又具有谐振腔结构,因此所发的光单色性极好(相干性好),光束发散角小(因此方向性强),实验室用激光器的功率虽然不高,但功率密度高,因此极亮.常用于定向光源及相干光源.普通物理实验中常用的是氦-氖激光器,其结构如图 0-1-7 所示.小型激光管的谐振腔反射镜就封固在装有氦、氖混合气体的放电管两端,称为内腔式.250 mm 长的 He-Ne 激光器的功率约为 2 mW,管长 1 000 mm 的 He-Ne 激光器可输出 30 mW,反射镜装在放电管之外,称为外腔式.如放电管窗口与管轴成布儒斯特角,发出的是线偏振光.

激光器点燃后要过半小时后才能达到输出稳定,因此在实验中激光器也不可轻易开关.由于激光会聚后特别亮,严禁用肉眼直接迎面观看激光,这将导致眼视网膜损伤,也绝不准把激光射入别人的眼中.

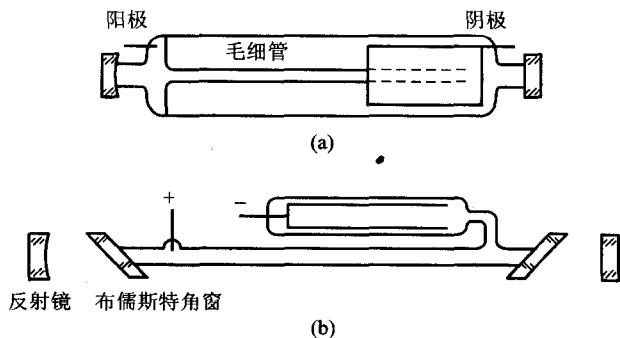


图 0-1-7

§ 2 常用光学仪器

普通物理实验中常用光学仪器有望远镜、移测显微镜、分光计、测微目镜与光具座等。

§ 2-1 光 具 座

图 0-2-1 所示是较为通用的 GP-78 型光具座示意图,导轨长 1.5 m,有多个滑块支架,其中有几个可作横向调整.安放滑块时应注意读数窗口放在导轨

上有刻度尺的一面。

在实验中常要把各种元件(包括物屏、透镜……)组合成光学系统,首先应把各元件主轴调整到一条直线上,且光束均处在傍轴状态,才能保证透镜成像公式及其他公式所需的傍轴近似,而且避免各种像差以获得优质的图像。如果严重不共轴,光束可能通不过透镜等元件的有限通光孔径,实验也就无法进行了。调整各元件主轴时要注意如下两点:

(1) 共轴. 即各元件轴线在同一条直线上,要调整各元件的中心位于一条直线,且各元件所在平面与该直线垂直。

(2) 等高. 各元件中心位于光具座正上方,高度相等,此时系统光轴与光具座平行(要从侧面与上面两种方向加以检查),这样,在光具座上读取的位置、距离才是正确的,并且在移动光学元件时其中心不会偏离系统的主轴。以图 0-2-1 的相应实验为例,系统主轴如与光具座不平行,物距、像距与读数 AB 、 BC 就不相等了。不平行情况严重时,甚至会超过各滑块上插杆的高低调整范围和可调整滑块的横向调整范围。

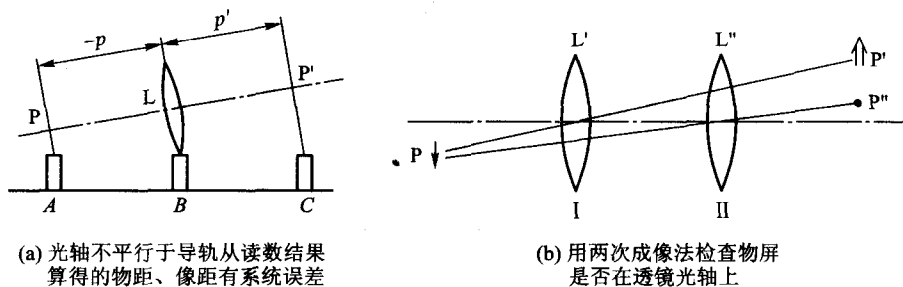


图 0-2-1

调整好各元件的共轴,是所有光学实验中调整光路时的首要任务,必须很好掌握,并且每次实验开始时都要认真调整,一般可分粗调与细调两步进行。

粗调:先把物屏、像屏、透镜等元件安装在滑块上并在光具座上尽量靠拢,用眼睛观察,调整插杆高度,使各元件中心在导轨正上方并与之平行的同一条直线上。是否平行要从两个方向检查,并使各元件所在平面均与导轨垂直。

细调:须依靠成像规律,以图 0-2-1 光路为例,使物屏与像屏距离大于四倍焦距,移动透镜时可成两次像。如已达到共轴等高要求,两次成像的中心部位会重合在像屏中央。如两次成像不重合,就说明物屏的中心偏离光轴或者光轴与导轨不平行。透镜靠近物屏时成大像 P' ,其偏离像屏中心更远,此时调整物屏位置或透镜位置,效果较明显,调节 P 或 L 的高低、左右使 P' 位于像屏中心。再把 L

推到Ⅱ位,检查小像 P'' 是否在像屏中心,如不是,可改变像屏高低去凑 P' .如此反复调整,即可达到共轴等高.

在使用激光作光源时,调光路共轴时比较方便,具体可见实验二十.除了调光路共轴,在实验中还经常调聚焦或调平行光,均应与理论知识相结合来进行操作.

§2-2 测微目镜

测微目镜可装在各种显微镜、望远镜上测量中间(实)像的大小,也可单独使用.实验室常用的MCU-15型测微目镜由目镜组、分划板、读数鼓轮等部件组合而成,其外形如图0-2-2所示,内部结构见图0-2-3.固定分划板上刻有毫米尺,格值1 mm,共8 mm,但有效测量范围为6 mm,如图0-2-4所示.鼓轮周边刻100格,每转一圈可动分划板移动1 mm,可动分划板上刻有准线(用于读毫米数)及叉丝(用于对准待测目标),因此鼓轮上每一分格相应于横向移动0.01 mm,应再估读到下一位.

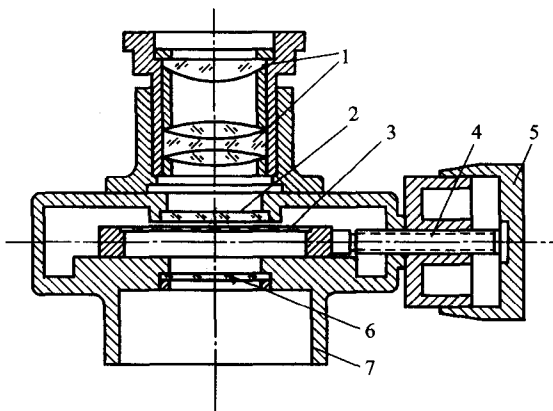


图0-2-2

- 1——无畸变型复合目镜;2——有毫米刻度的固定玻璃板(分划尺);3——刻有十字叉丝的分度板;4——传动测微螺旋;5——读数鼓轮;6——防尘玻璃;7——接头装置,
可配在各种显微镜和准直管上(或其他类似仪器上)使用

测量前应先调节目镜,使叉丝与毫米尺(已由目镜放大)清晰可见;再调节待测像,使之既清晰又与叉丝无视差.让整个测微目镜绕自身光轴做转动,使待测长度方向与分划板标尺平行.为防止螺旋间隙造成的回程误差,每次测量应先退却稍许,再让鼓轮沿同一方向旋转,不得中途反向.万一旋过了头,必须退回几圈再依原方向旋转推进重新对准读数.但这很费时,应尽量避免.因此快到待测

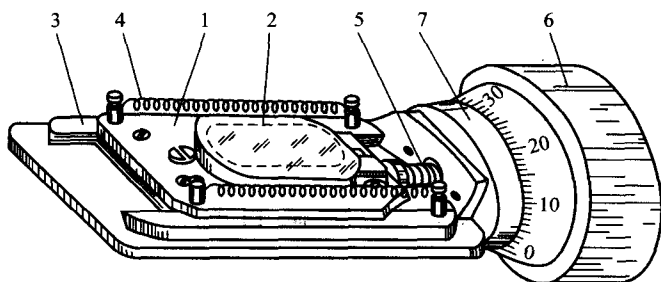


图 0-2-3

1——分划板框架;2——分划板;3——导轨;4——弹簧;
5——丝杆;6——读数鼓轮;7——传动轮

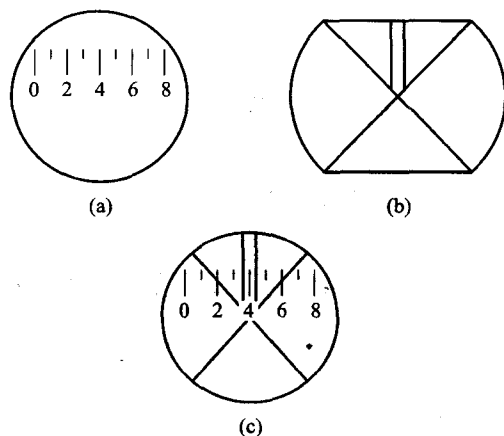


图 0-2-4

标志时宁可转得慢些,也别过头.其他凡是有螺旋读数装置的仪器,例如移测显微镜都应遵循以上的调整步骤及读数规则.

§2-3 分光计

分光计是一种常用的光学仪器,实际上就是一种精密的测角仪.在几何光学实验中,主要用来测定棱镜角、光束的偏向角等,而在物理光学实验中,加上分光元件(棱镜、光栅)即可作为分光仪器,用来观察光谱,测量光谱线的波长等.下面以学生型分光计(JJY型)为例,说明它的结构原理和调节方法.

一、分光计的结构

分光计主要由底座、自准直望远镜、准直管、载物平台和刻度圆盘等几部分组成,每部分均有特定的调节螺钉,图0-2-5为JJY型分光计的结构外形图.

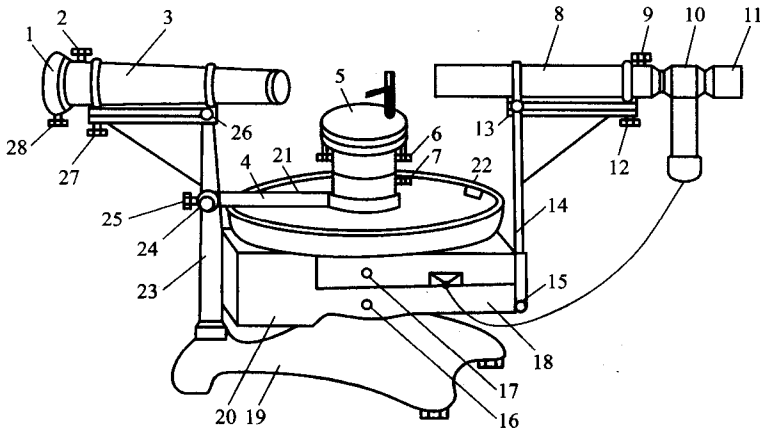


图0-2-5

- 1——狭缝装置;2——狭缝装置锁紧螺丝;3——准直管;4——制动架(二);5——载物台;
 6——载物台调平螺丝;7——载物台锁紧螺丝;8——望远镜;9——望远镜锁紧螺丝;
 10——阿贝式自准直目镜;11——目镜视度调节手轮;12——望远镜光轴高低调节螺丝;
 13——望远镜光轴水平调节螺丝;14——支臂;15——望远镜微调螺丝;16——望远镜
 止动螺丝;17——转轴与度盘止动螺丝;18——制动架(一);19——底座;20——转座;
 21——度盘;22——游标盘;23——立柱;24——游标盘微调螺丝;25——游标盘止动螺丝;
 26——准直管光轴水平调节螺丝;27——准直管光轴高低调节螺丝;28——狭缝宽度调节手轮

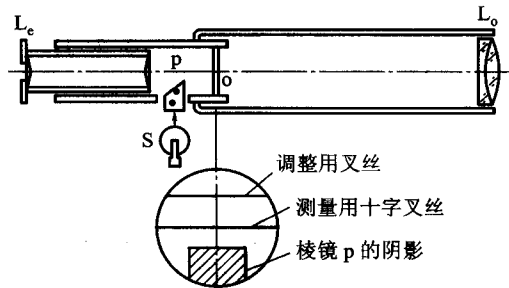
1. 分光计的底座要求平稳而坚实.在底座的中央固定着中心轴,刻度盘和游标内盘套在中心轴上,可以绕中心轴旋转.

2. 准直管固定在底座的立柱上,它是用来产生平行光的.准直管的一端装有消色差物镜,另一端为装有狭缝的套管,狭缝的宽度可在 $0.02 \sim 2 \text{ mm}$ 范围内改变.

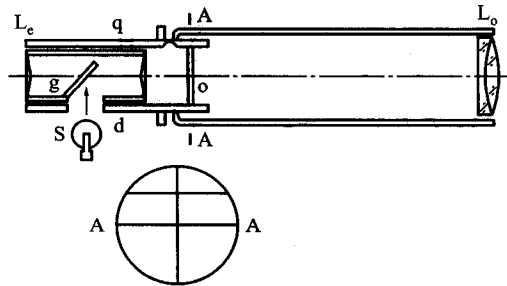
3. 自准直望远镜安装在支臂上,支臂与转座固定在一起,套在主刻度盘上,它是用来观察目标和确定光线进行方向的.物镜 L_o 和一般望远镜一样为消色差物镜,但目镜 L_e 的结构有些不同,常用的阿贝式目镜[其结构和目镜视场如图0-2-6(a)所示]和高斯目镜[其结构和目镜视场如图0-2-6(b)所示].

4. 分光计上控制望远镜和刻度盘转动的有三套机构,正确运用它们对于测量很重要,它们是:

- (1) 望远镜止动和微动控制机构,图0-2-5中的16、15;



(a) 阿贝目镜式望远镜



(b) 高斯目镜式望远镜

图 0-2-6

(2) 分光计游标止动和微动控制机构, 图 0-2-5 中的 25、24.

(3) 望远镜和刻度盘的离合控制机构, 图 0-2-5 中的 17.

转动望远镜或移动游标位置时, 都要先松开相应的止动用螺钉; 微调望远镜及游标位置时要先拧紧止动螺钉.

要改变度盘和望远镜的相对位置时, 应先松开它们间的离合控制螺钉, 调整后再拧紧. 一般是将度盘的 0° 线置于望远镜下, 可以减少在测角度时, 0° 线通过游标引起的计算上的不方便.

5. 载物平台是一个用以放置棱镜、光栅等光学元件的圆形平台, 套在游标内盘上, 可以绕通过平台中心的铅直轴转动和升降. 当平台和游标盘(刻度内盘)一起转动时, 控制其转动的方式与望远镜一样, 也是粗调和微调两种; 平台下有三个调节螺钉, 可以改变平台台面与铅直轴的倾斜度.

6. 望远镜和载物平台的相对方位可由刻度盘上的读数确定. 主刻度盘上有 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的圆刻度, 分度值为 0.5° . 为了提高角度测量精密度, 在内盘上相隔 180° 处设有两个游标 $V_{左}$ 和 $V_{右}$, 游标上有 30 个分格, 它和主刻度盘上 29 个分

格相当,因此分度值为 $1'$ 。读数方法参照游标原理,如图0-2-7所示读数应为 $167^{\circ}11'$ 。记录测量数据时,必须同时读取两个游标的读数(为了消除度盘的刻度中心和仪器转动轴之间的偏心差)。安置游标位置要考虑具体实验情况,主要注意读数方便,且尽可能在测量中刻度盘 0° 线不通过游标。

记录与计算角度时,左、右游标分别进行,注意防止混淆算错角度。

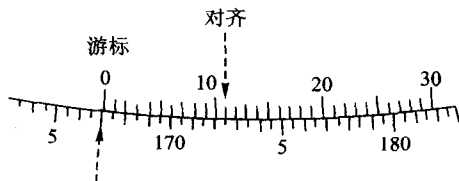


图0-2-7

二、分光计的调节

1. 调节要求

分光计是在平行光中观察有关现象和测量角度,因此要求:

(1) 分光计的光学系统要适应平行光(望远镜能接收平行光和准直管发出平行光)。

(2) 从度盘上读出的角度要符合观测现象中的实际角度。

用分光计进行观测时,其观测系统基本上由下述三个平面构成(图0-2-8):

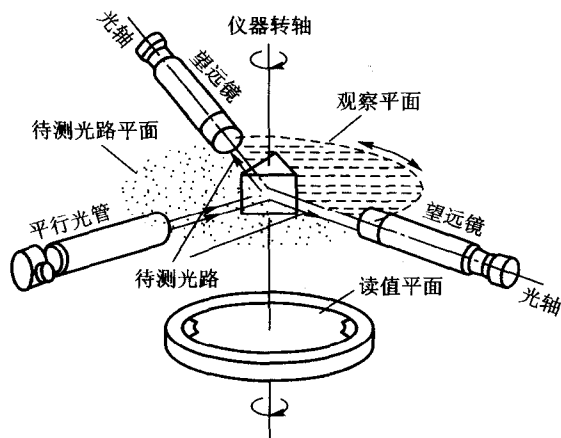


图0-2-8

① 读值平面:这是读取数据的平面,由刻度盘和游标内盘绕中心转轴旋转时形成的。对每一具体的分光计,读值平面都是固定的,且和中心主轴垂直。

② 观察平面:由望远镜光轴绕仪器中心转轴旋转时所形成的.只有当望远镜与转轴垂直时,观察面才是一个平面,否则,将形成一个以望远镜光轴为母线的圆锥面.

③ 待测光路平面:由准直管的光线和经过待测光学元件(棱镜、光栅等)作用后,所反射、折射和衍射的光线所共同确定的.调节载物平台下方的三个调节螺钉,可以将待测光路平面调节到所需方位.

按调节要求,应将此三个平面调节成相互平行,否则,测得角度将与实际角度有些差异,即引入系统误差.

2. 调节方法(以下说明均按阿贝目镜进行,如果使用高斯目镜也可参考,因为原理相同)

(1) 粗调

① 旋转目镜手轮(即调节目镜与叉丝之间的距离),看清测量用十字叉丝[图 0-2-9(a)].

② 用望远镜观察尽量远处的物体,前后调节目镜镜筒(即调节物镜与叉丝之间的距离),使远处的物体的像和目镜中的十字叉丝同时清楚.

③ 将载物台平面和望远镜轴尽量调成水平(目测).

在分光计调节中,粗调很重要,如果粗调不认真,可能给细调造成困难.

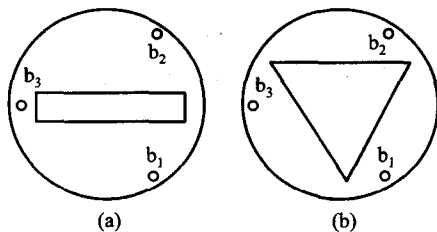


图 0-2-9

(2) 细调

将分光计附件——平面反射镜如图 0-2-9 所示放在载物平台上(注意放置方位,如图放置则主要由一个螺钉控制一个反射面的倾斜)

① 应用自准直原理调望远镜适合平行光.

点亮“小十字叉丝”照明用电灯.

将望远镜垂直对准平面镜的一个反射面,如果从望远镜中看不到绿色“小十字叉丝”的反射像,就要慢慢左右转动载物平台去找(粗调认真,均不难找到反射像),如果仍然找不到反射像时,就要稍许调一下图 0-2-9 中的控制该反射面的螺钉 b_1 ,再慢慢左右转动平台去找.

看到绿色“小十字叉丝”的反射像[图 0-2-10(a)]后,再前后微调目镜镜