

近代物理实验

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是在清华大学“近代物理实验”系列课程教学实践的基础上编写的。内容涉及原子分子物理、激光技术、磁共振、微波、超导、真空与薄膜、超声、X光、核探测技术、半导体等领域共18个实验。本书着重阐述了每个实验的基本原理和实验方法,详细介绍了实验装置和主要实验内容与要求。书中许多章节中都特意介绍了有关实验技术当前发展和研究的现状,以进一步启发学生自主研究的兴趣。

本书适合作为高等学校理工科本科生和研究生的近代物理实验课程的教材或教学参考书,也可有关学科实验研究人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

近代物理实验/何元金,马兴坤主编.—北京:清华大学出版社,2003

ISBN 7-302-06319-2

I .近… II .①何… ②马… III .物理学 - 实验 IV .O41-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 007880 号

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

[http:// www .tup .com .cn](http://www.tup.com.cn)

责任编辑:刘 颖

印 刷 者:北京通州大中印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:403 千字

版 次:2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-06319-2/O·283

印 数:0001~5000

定 价:29.00 元

当今正处在一个科学技术迅速发展的时代,高新技术层出不穷,而物理学是技术的基础。没有 20 世纪以来以相对论和量子力学作为理论基础的近代物理学的巨大发展,就没有今天的微型计算机、激光和光通信、核能、纳米科学和技术等各种各样的高新技术。《近代物理实验》不仅使学生生动直观地观察学习在近代物理学发展中起过重要作用的著名实验,领会著名物理学家的物理思想和实验设计思想,进一步巩固理解以前学到的理论知识,而且可以掌握科学实验中一些不可缺少的现代实验技术。通过这些实验的训练,学生可了解近代物理的基本原理,学习科学实验的方法、科学仪器的使用和典型的现代实验技术,可进一步培养学生的科学作风和进行科学研究的能力。

本书的前身是张孔时和丁慎训同志主编的物理实验教程(近代物理实验部分)一书(清华大学出版社,1991)。那是一本物理思想阐述清楚,内容丰富,文字严谨的教科书,包含 34 个实验,其中绝大部分都曾在清华大学的近代物理实验教学中用过。近年来,为了适应面向 21 世纪教学改革的需要,近代物理实验课程学时和内容都有所精简;同时由于实验技术本身在飞速发展,仪器设备需要改造更新。为此,我们精选了 18 个实验作为近代物理实验课程的主要内容,并在创建国际一流大学的课程建设过程中,对这些实验中的绝大部分仪器进行了技术改造和更新,使之更能适应当前科研和教学的需要。本书就是为配合当前课程教学而编写的教科书,它更多地体现和吸收了当前科学研究的成果,使近代物理实验这门课程更加现代化。

本书是近年来清华大学近代物理实验室和近代物理实验课程建设的总结,它既集中了当前实验室工作的教师和实验技术人员的集体的智慧和力量,更是继承和包含了曾在这个实验室工作过的前辈教职工辛勤劳动的成果。对各章节的实验做出过贡献的人员名字难于一一记述,这里只列出参加最后编写工作的作者的名单。实验 1: 马兴坤; 实验 2: 徐友平、马兴坤等; 实验 3: 王文鉴、侯清润等; 实验 4: 李功平、余加莉、刘梦林、张慧云; 实验 5: 茅卫红、马兴坤、陈默轩; 实验 6: 马兴坤、刘鑫森等; 实验 7: 陈宜保、马兴坤、李功平; 实验

8: 陈宜保、王合英、刘耀忠;实验 9: 王合英、侯清润、张仲华等;实验 10: 张慧云、黄贺生、茅卫红;实验 11: 陈宏;实验 12: 陈宏、何元金;实验 13: 何元金、陈宏;实验 14: 何元金、张校、陈宏等;实验 15: 张慧云;实验 16: 张慧云、万家光等;实验 17: 陈宜保、张慧云、余加莉、丁慎训;实验 18: 王荣耀、陈默轩、刘梦林。

在此,我们谨对所有对本书做出过贡献的同志表示衷心的感谢。同时,我们诚恳欢迎读者对本书不足之处予以指正。

2002 年 11 月

目 录

实验 1	用电荷耦合器件(CCD)测量氦灯光谱	1
1.1	引言	1
1.2	实验目的	2
1.3	实验装置和实验原理	2
1.4	实验内容	4
1.5	实验注意事项	4
1.6	思考题	4
附录 1.1	自准直平面光栅光谱仪	5
附录 1.2	电荷耦合器件简介	9
实验 2	塞曼效应	15
2.1	引言	15
2.2	实验目的	15
2.3	实验原理	16
2.4	实验装置和实验方法	18
2.5	实验内容和要求	21
2.6	实验注意事项	22
2.7	思考题	22
实验 3	光泵磁共振实验	23
3.1	引言	23
3.2	实验目的	24
3.3	实验原理	24
3.4	实验装置	28
3.5	实验任务和步骤	30
附录 3.1	原子钟	33

实验 4	通过共振线的吸收测量激发态的寿命	36
4.1	引言	36
4.2	实验目的	36
4.3	实验原理	37
4.4	实验装置	41
4.5	实验步骤	42
4.6	实验内容	42
4.7	思考题	42
附录 4.1	激发态寿命和吸收线强度的关系	43
附录 4.2	吸收系数的自然展宽和多普勒展宽	46
附录 4.3	系数 A_{α}	48
实验 5	激光干涉测速实验	49
5.1	引言	49
5.2	实验目的	49
5.3	实验原理	49
5.4	实验装置简介	50
5.5	实验内容与操作	53
附录 5.1	激光干涉在激光干涉微振动测量中的应用	55
实验 6	傅里叶变换全息存储	56
6.1	引言	56
6.2	实验原理	57
6.3	实验光路	61
6.4	实验内容和注意事项	62
6.5	思考题	62
附录 6.1	傅里叶变换	64
附录 6.2	平面波场的复振幅分布的空间频率表示	65
附录 6.3	全息图的最小光斑尺寸	66
附录 6.4	全息防伪和包装装潢技术简介	67
实验 7	真空的获得和测量	71
7.1	引言	71
7.2	实验目的	71
7.3	实验装置和原理	72

7.4	实验设备	77
7.5	实验内容	78
7.6	注意事项	79
7.7	思考题	80
附录 7.1	常用真空获取与测量设备的工作原理与使用	81
附录 7.2	真空科学在 21 世纪的发展	87
实验 8	四极滤质器和残余气体分析	89
8.1	引言	89
8.2	实验目的	89
8.3	实验原理	90
8.4	实验装置	95
8.5	实验内容	97
8.6	实验注意事项	98
8.7	思考题	98
实验 9	真空镀膜	99
9.1	引言	99
9.2	实验目的	99
9.3	实验原理	99
9.4	实验装置	106
9.5	实验任务和内容	108
9.6	设计性实验：磁性多层膜的制备	109
附录 9.1	真空镀膜实验操作步骤	112
附录 9.2	其他真空镀膜方法简介	115
实验 10	高温超导材料临界参数的测定	119
10.1	引言	119
10.2	实验目的	119
10.3	实验原理	119
10.4	实验方法	124
10.5	实验装置	127
10.6	实验内容	129
10.7	安全注意事项	129
10.8	思考题	129

附录 10.1	实用高温超导体的磁悬浮演示实验	131
附录 10.2	超导带材的应用	136
实验 11	多晶 X 射线衍射实验	138
11.1	引言	138
11.2	实验目的	138
11.3	实验原理	138
11.4	实验设备	149
11.5	X 射线衍射仪操作规程	155
11.6	X 射线防护	155
11.7	X 射线衍射仪操作步骤	156
11.8	实验内容	157
实验 12	γ 能谱的测量	158
12.1	引言	158
12.2	实验目的	159
12.3	实验原理	159
12.4	实验设备	163
12.5	实验内容和要求	169
12.6	放射源的安全操作与防护	170
12.7	思考与讨论	170
实验 13	正电子湮没寿命谱测量	171
13.1	引言	171
13.2	实验原理	173
13.3	实验装置	178
13.4	实验方法	181
13.5	实验任务	183
13.6	实验注意事项	184
实验 14	穆斯堡尔效应	185
14.1	引言	185
14.2	实验原理	185
14.3	穆斯堡尔谱分析	188
14.4	实验装置	193

14 5	实验任务和数据处理	195
14 6	思考题	196
实验 15	超声实验	198
15 1	引言	198
15 2	实验目的	198
15 3	实验原理	199
15 4	实验装置	205
15 5	实验内容	206
15 6	思考题	206
附录 15.1	压电晶片的参数	208
附录 15.2	一些材料的声速和密度	210
附录 15.3	功率超声的应用	211
附录 15.4	超声在医学中的应用	213
实验 16	微波实验	215
16 1	引言	215
16 2	实验目的	216
16 3	微波基本知识	216
16 4	常用微波元件及设备简介	218
实验 16.1	微波基本测量系统的使用及驻波比的测量	221
实验 16.2	用谐振腔微扰法测量微波介质特性	226
实验 16.3	电子自旋共振	229
实验 16.4	铁磁共振	233
附录 16.1	波导中电磁波传播的物理描述	237
附录 16.2	微波固态源	239
附录 16.3	气象卫星遥感	241
实验 17	锁相放大器的原理及应用——P-N 结杂质浓度分布的测量	243
17 1	引言	243
17 2	实验目的	244
17 3	实验原理	244
17 4	实验仪器	253
17 5	实验任务和步骤	255
17 6	思考题	258

实验 18	斯特恩-革拉赫实验	260
18 1	引言	260
18 2	实验目的	260
18 3	实验原理	260
18 4	实验装置	262
18 5	实验操作及注意事项	265
18 6	实验任务	265
附录 18 .1	原子的速度分布与相应的偏移分布	266
附表	基本物理常数 1986 年推荐值	268

1.1 引言

利用物质辐射的特征光谱分析物质的化学成分和研究物质的结构是光谱分析的基本内容。在历史上,科学家们应用光谱分析先后发现了铷、铯、铟、镓等元素以及一些稀土元素和稀有气体。在现代,在科学技术和一些生产领域,特别是在地质、冶金、核工业、化工和环保等领域,光谱分析仍然有着广泛的应用。

光谱仪器是光谱分析中必不可少的仪器,它的基本功能是测定物质的光谱组成,包括谱线波长、强度等。光谱仪的种类很多,根据分解光谱的工作原理,大致可分为四大类:棱镜光谱仪、光栅光谱仪、干涉光谱仪和新型光谱仪。棱镜光谱仪是最早使用的光谱仪。随着光谱刻画技术和复制技术的提高,以及光栅分光与棱镜分光相比具有色散均匀、分辨高、能量集中、光谱范围宽等优点,光栅光谱仪的使用越来越普遍。干涉光谱仪(如法布里-珀罗干涉光谱仪)属于高分辨率光谱仪,其分辨率可达到 5×10^7 。棱镜光谱仪和光栅光谱仪的分辨率一般为 10^5 量级。采用光波调制技术制成的新型光谱仪(如傅里叶变换光谱仪等)可同时兼顾光强与分辨率,适应高分辨率、高灵敏度、高检测信噪比的要求。

CCD 是电荷耦合器件(charge coupled devices)的简称,是由美国贝尔实验室的 W. S. Boyle 和 G. E. Smith 于 1970 年提出来的新型半导体器件。CCD 像感器具有尺寸小、重量轻、功耗小、线性好、噪声低、动态范围大、光谱响应范围宽、寿命长、实时传输和自扫描等一系列优点。30 多年来,CCD 的研究和应用得到了惊人的发展,已成为跨专业、跨行业的一种光电产品,是现代光电技术中最活跃、最富有成果的器件。它的用量以每年 20% 的速度递增,是未来 10 年可能增益 100 倍的高技术产品。

CCD 首先在光学成像领域迅速获得应用和发展,在许多场合,CCD 摄像机已取代传统的电子束扫描摄像管摄像机。在电视监视、工厂电视、广播电视、电影、可视电话、住宅可视安全防范、扫描仪、传真机、车载摄像机、数码相机、医用内窥镜和机器人视觉传感器等方面的市场不断扩大。在天体观测领域,CCD 集照相底片的广视场(一次可同时观测很多颗星像)和光电倍增管的高精度于一身,迅速取代了传统的照相底片,成为装配在天文望远镜上的探测器。由 CCD、光学成像系统和微机数据采集处理系统组成的光电测量系统具有对图像信息快速采样、存储、传输和数据处理等功能,在尺寸测量、定位检测、位

移测量、振动测量和光谱测量等量测领域的应用越来越广泛。

随着 CCD 应用的不断扩展和应用技术的深化,促进了 CCD 本身的发展,使 CCD 像传感器的综合性能在不断提高。现在 CCD 像传感器向高感光元(也称像素)数,多制式方向发展。像面尺寸在减少,但其像素数在增加,由早期的 512(H)×492(V)向 795(H)×596(V)发展,甚至出现超过百万像素的 CCD 传感器,为提高水平方向和垂直方向的分辨能力,已从通常的隔行扫描向逐行扫描发展。CCD 摄像机正朝着高速、低光强、小体积、轻重量、低功率、数字化、智能控制等方向发展。CCD 摄像机目前能达到的动态范围为 1:500,采用两倍频图像采集和处理技术,可实现 1:10000 的动态范围。国际信息高速公路的实施,将使电脑摄像机和网络摄像机的应用更加普遍。家用 CCD 摄像机将会普及到千家万户。

1 2 实 验 目 的

- 1. 了解平面光栅光谱仪的结构并掌握其使用。
- 2. 了解电荷耦合器件的构造,工作原理和应用。
- 3. 熟悉光谱测量的原理和方法。

1 3 实验装置和实验原理

图 1.1 是实验装置框图。光源发出的光经聚光镜成像在光谱仪的入射狭缝上,经光栅光谱仪分光后的衍射光成像在 CCD 的感光面上。CCD 器件将感光元上的光信息转换成与光强成比例的信号电荷。在时钟脉冲的驱动下,信号电荷依次转移,并最终输出。CCD 输出端的视频信号中每一个离散电压信号的大小对应着 CCD 感光区的相应感光元所接收的光强的强弱,而信号输出的时序对应 CCD 感光元的位置的顺序。也就是说,CCD 依靠自扫描方式完成信息从空间域到时间域的变换。CCD 输出的视频信号(模拟信号)经图像卡(由 A/D 转换器、数据存储器、地址发生器、同步控制器及微机接口电路组成)数字化处理后的数字电压信号存储在图像卡中的数据存储器中。微机对图像卡的输出数据实时采集,并对光谱数据进行处理。

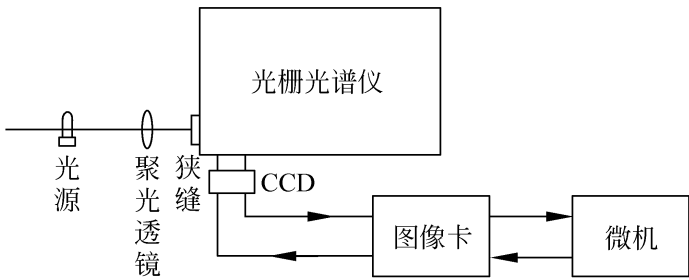


图 1.1 实验装置框图

CCD 器件为积分型器件,其输出信号的大小既和其感光面上的照度有关,也和两次取样的时间间隔有关。两次取样的时间间隔称为光积分时间。若以 I 代表 CCD 输出电流信号, E 代表感光面上的照度, t 代表两次取样的时间间隔,则在正常工作范围内有

$$I = KEt = KQ, \tag{1.1}$$

式中： K 为比例常数， $Q = Et$ ， Q 称为曝光量，单位为 $\text{lx} \cdot \text{s}$ 。

在光谱测量中，将 CCD 的每一个感光元称为一“道”。根据光栅衍射的特点，在衍射角变化不很大的情况下，衍射角与波长差不多成线性关系。CCD 的每个感光元尺寸一样而且均匀配置，因此我们可以认为，在 CCD 感光面上，波长 λ 与道数 m 有线性关系

$$\lambda = a + bm. \tag{1.2}$$

用标准波长(本实验由氪灯和汞灯提供标准波长)对(1.2)式进行定标，定出 a 和 b 值后，由微机中读出的被测波长所在道数，就可以计算出被测波长的值。

本实验的数据采集、定标和测量可以由微机完成。具体操作见实验室操作说明。

图 1.2 为显示在微机屏幕上的 CCD 采集到的氪灯的部分光谱。图中横轴分度为像素数，纵轴分度为光强量化值。工具栏中的光积分时间按钮共有 16 档可供选用，档次越大，光积分时间越长。工具栏中的采集按钮有两个，靠近问号按钮的为一次采集按钮，紧靠一次采集按钮的为连续采集按钮。选了连续采集按钮，则 CCD 采集系统就连续不断地进行采集，微机屏幕上的显示就连续不断地变更。选中工具栏中的数字按钮，则可显示光谱的数据。

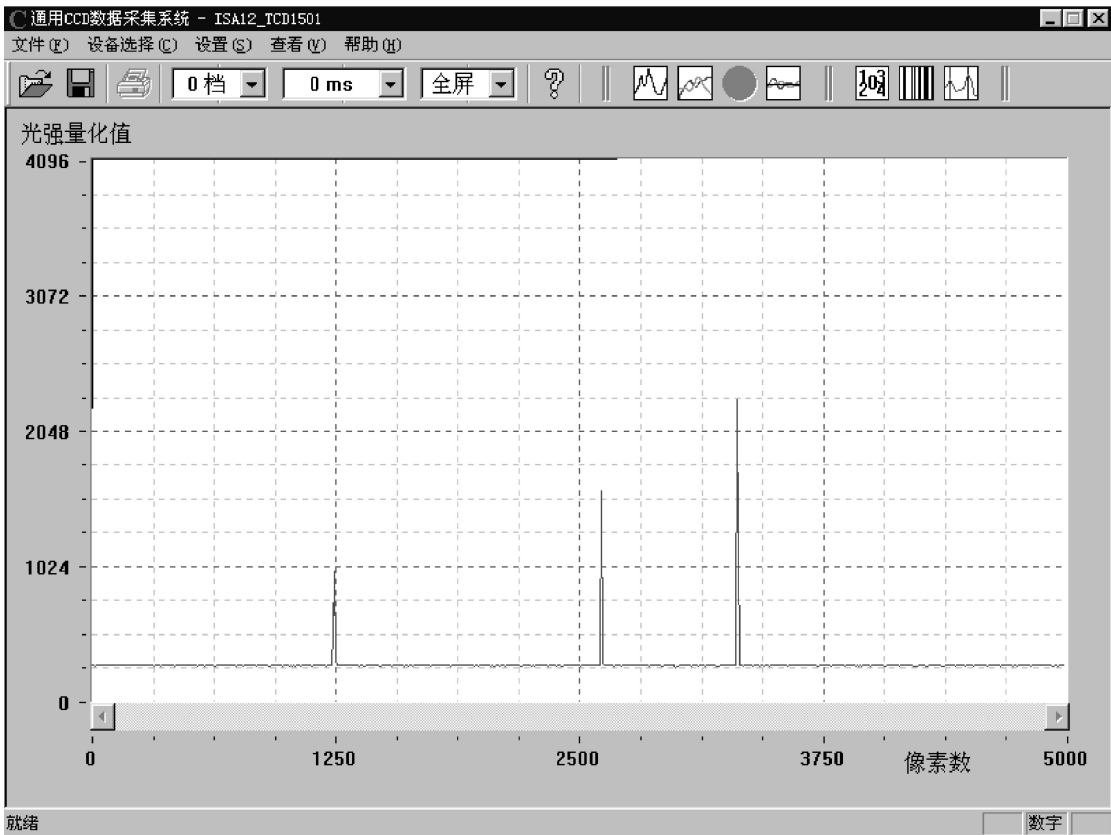


图 1.2 CCD 采集到的氪灯的部分光谱图

本实验中使用的 WDG500 型平面光栅光谱仪的主要技术参数如下：

- 波长范围：2000～8000

平面反射光栅：1200 线/mm

波长重复性：1

波长准确度：±0.5
- 凹面反射镜焦距：500mm

闪耀波长：5700

分辨率：1

本实验中使用的 TCD1501 D CCD 主要性能指标如下：

- 感光元数：5000 像元
- 感光元尺寸：7μm×7μm，相邻感光元中心距 7μm

灵敏度: $13\text{V/lx}\cdot\text{s}$ (典型值) 动态范围: 3000

平面光栅光谱仪和 CCD 的结构和工作原理见附录 1.1 和 1.2。

1.4 实验内容

1. 利用氖灯和汞灯的已知的光谱波长作为标准波长测量氦灯的可见光范围内的光谱波长值,并画出氦灯光谱图。

定标和测量可以由微机完成。为了深刻理解测量原理,要求实验者根据微机提供的已知波长对应的道数,手工定出 $\lambda = a + bm$ 中的 a 和 b 值,并测量氦灯的一条谱线。

2. 在 $6400 \sim 6800$ 范围内,取氖灯的 5 条谱线的道数 m ,作 $\lambda-m$ 拟合,记录 $\lambda = a + bm$ 的 a, b 值和 $\lambda-m$ 的相关系数,说明 λ 与 m 的线性关系。

3. 测量 WDG500 型平面光栅光谱仪的倒数线色散率(定义见附录 1.1)。

本实验要求实验者根据实验内容拟定具体的实验方案,包括光谱仪的外光学系统的共轴如何调至最佳,如何尽快找到谱线等。

1.5 实验注意事项

(1) 汞灯中的紫外线会灼伤眼睛,因此眼睛不要直视汞灯。

(2) 汞灯起辉电压 1500V ,不要用手或身体部位接触裸体电极,以免电击。

(3) 避免氦灯或氖灯倒下,以免灯管破碎。

1.6 思考题

1. 光谱仪的入射狭缝的缝宽对光谱线的强弱和谱线线宽有何影响?

2. 求 WDG500 型平面光栅单色仪的闪耀角。

3. WDG500 型平面光栅光谱仪的倒数线色散率为 $16 / \text{mm}$,如果 CCD 的所有感光元都有效,估算 TCD1501D CCD 一次曝光(一屏)能测量的波长范围。

参考文献

[1] 王以铭编著.电荷耦合器件原理与应用.北京:科学出版社,1987 年

[2] 王庆有编著.CCD 应用技术.天津:天津大学出版社,2000 年

[3] 李廷钧编.发射光谱分析.北京:原子能出版社,1983 年

附录 1.1 自准直平面光栅光谱仪

一、自准直平面光栅光谱仪的光学系统

平面光栅光谱仪中采用的光栅都为反射式平面光栅。本实验使用的是自准直平面光栅光谱仪,其光学系统如图 1.3 所示。

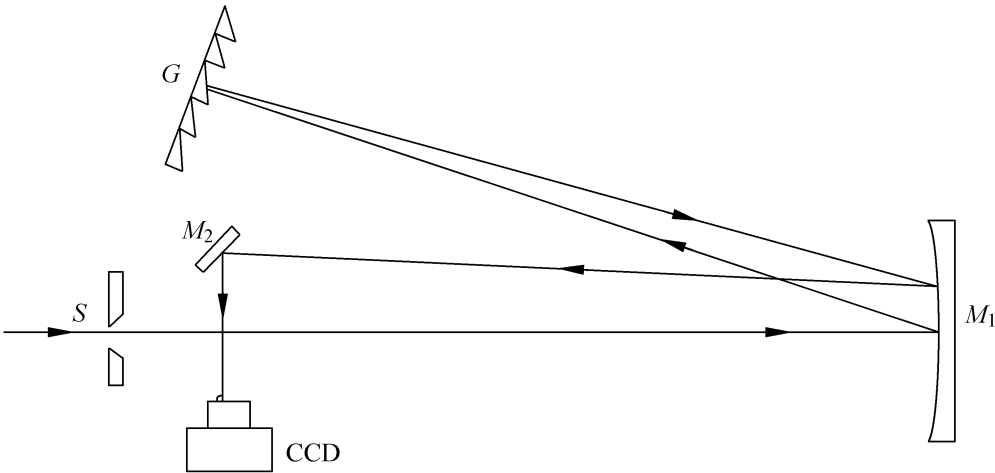


图 1.3 自准直平面光栅光谱仪光学系统

1 . 凹面反射镜

凹面反射镜 M_1 作为物镜,起准直和聚焦作用。入射缝 S 位于它的焦平面上,入射缝发出的光经凹面反射镜后成为平行光照射到光栅上,经光栅分光后,不同波长的单色光沿接近入射方向返回到 M_1 ,并经 M_1 聚焦到 CCD 的感光面上。

反射镜作为物镜,不但不会产生色差、可适用于紫外到远红外的整个光谱范围,还可简化机械结构,因而在现代光谱仪中被广泛使用。

2 . 平面反射光栅

按光学反射面的形状,有平面反射光栅和凹面光栅之分。凹面光栅是将刻痕刻画在凹球面上的光栅。平面反射光栅是在高精度平面上刻画出具有一定形状刻痕的反射光栅,如图 1.5 所示。

我们知道,光栅常数为 d 的透射光栅的光栅方程为

$$d(\sin\theta + \sin \varphi) = k\lambda, \tag{1.3}$$

透射光栅衍射光的强度分布为

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \cdot \frac{\sin^2 Nv}{\sin^2 v}, \tag{1.4}$$

$$u = \pi a(\sin\theta + \sin \varphi) / \lambda,$$

$$v = \pi d(\sin\theta + \sin \varphi) / \lambda.$$

(1.3)式和(1.4)式中, I_0 为单缝衍射的零级光谱的光强, k 为衍射级次, N 为缝(刻线)总数, d 为光栅常数, a 为缝宽; θ 为入射角,永远取正值; φ 为衍射角,当 φ 与入射角 θ 在光栅法线 n 同侧时为正值,异侧时为负值; $\sin^2 u / u^2$ 为单缝衍射因子,主最大在 $u = 0$ 处, $\sin^2 Nv / \sin^2 v$ 为干涉因子。

对于图 1.4 所示的“理想”平面反射光栅,(1.3)式和(1.4)式仍然适用。(1.4)式的光强分布表明,无用的零级衍射像强度最大(80%以上),而有用的衍射光很弱。1888 年罗兰认识到控制刻痕的形状可以改变衍射光的相对光强分布,使光强集中在某一级光谱上。如图 1.5 所示,现代刻画的平面反射光栅的刻槽断面成三角槽形,槽面是光滑平面,起“狭缝”作用。沿槽面的镜反射方向特别明亮,称为闪耀方向,因而这种光栅称为闪耀光栅或定向光栅。槽面与光栅平面所成的角或者槽面法线与光栅法线之间的夹角,称为闪耀角。

闪耀光栅的衍射光的强度分布中的 u 为

$$u = \pi a(\sin\theta' + \sin\theta)/\lambda, \quad (1.5)$$

式中: θ 和 θ' 分别为相对于槽面法线的入射角和衍射角。规定 θ 取正值,衍射角 θ' 以及闪耀角 β 若与入射角 θ 在槽面法线同侧时取正值,反之取负值。(1.5)式表明,此时 $u=0$ 的条件为 $\theta' = -\theta$,就是说对于闪耀光栅来说,衍射包迹主最大的方向(也就是闪耀方向)移到了 $\theta' = -\theta$ 处。在闪耀方向的波长称为闪耀波长。

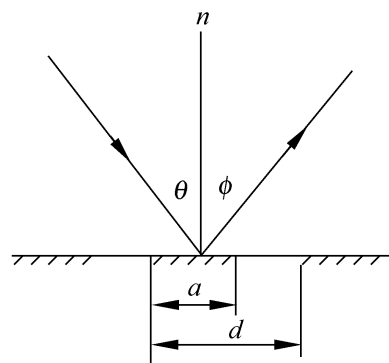


图 1.4 “理想”平面反射光栅

我们知道,光栅光谱中不同谱级的光谱会互相交错、重

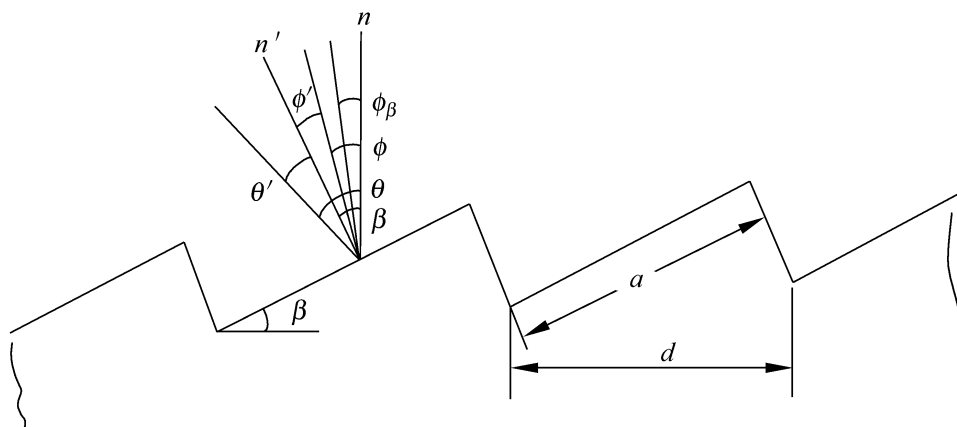


图 1.5 平面反射光栅断面

叠。因此在闪耀方向上,波长为 λ 的一级谱线和波长为 λ_k 的 k 级谱线都会出现。如果 k 级谱线出现在闪耀方向,则称相应的波长为 k 级闪耀波长。一般在光栅规格中给出的闪耀波长是一级闪耀波长,记为 λ_b 。闪耀波长 λ_b 与闪耀角 β 的关系为

$$\lambda_b = 2d \sin\beta \cos \frac{\theta - \beta}{2}, \quad (1.6)$$

式中: β 为闪耀方向与光栅法线之间的夹角。

对于自准直系统有

$$\lambda_b = 2d \sin\beta \quad (1.7)$$

比较(1.6)式和(1.7)式后可知,当入射光线与闪耀方向的衍射光线的夹角 $\theta - \beta$ 不太大时,一级闪耀波长接近自准式一级闪耀波长值。

应该指出,在同一块光栅上,波长在 λ_b 附近的光的衍射强度也是比较高的,离 λ_b 越远则强度越低,而且短于 λ_b 的降低得较快,长于 λ_b 的降低得较慢。

二、光谱仪的主要性能

光谱仪的主要光学性能有：工作光谱范围、色散率、分辨率和聚光本领等。

1. 工作光谱范围

光谱仪能获得的光谱的波长范围,称为该光谱仪的工作光谱范围。光谱仪的工作光谱范围主要决定于光学元件的光谱透过率或反射率以及所采用的探测系统的光谱灵敏度界限。

光栅光谱仪的工作光谱范围较宽,改变光栅的参数和光栅表面的光谱反射率,可以扩展到整个光学光谱范围。

2. 色散率

光谱仪的色散率是指光谱仪分开不同波长的能力。常用角色散率和线色散率来表示。

角色散率：不同波长的光彼此分开的角距离随波长的变化率。若不同波长的光的波长差为 $\Delta\lambda$, 经光谱仪色散后所分开的角度为 $\Delta\phi$, 则光谱仪的角色散率 D 为

$$D = \frac{d}{d\lambda} = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta}{\Delta\lambda}, \quad (1.8)$$

角色散率的单位是 rad/mm 。角色散率也就是将偏向角或衍射角对波长求导数。光栅光谱仪的角色散率,实际上就是光栅的角色散率。其大小主要取决于光栅常数,光栅常数越小,角色散越大。

线色散率：不同波长的光在光谱仪成像系统的焦平面上彼此分开的距离随波长的变化率。若不同波长的光的波长差为 $\Delta\lambda$, 在成像系统的焦平面上被分开的距离为 Δl , 则光谱仪的线色散率 D_l 为

$$D_l = \frac{dl}{d\lambda} = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta\lambda}, \quad (1.9)$$

线色散率的单位为 mm/nm 或 mm/ 。如果实际成像面与成像系统的光轴垂直,则光谱仪的线色散率和角色散率有如下关系：

$$D_l = fD, \quad (1.10)$$

式中： f 为成像物镜焦距。

在实际中,常用线色散的倒数(也称倒数线色散率)来表征光谱仪的色散能力。其单位常用 nm/mm 或 $/\text{mm}$ 来表示。

$$\text{倒数线色散率} = \frac{1}{D_l} = \frac{d\lambda}{dl}. \quad (1.11)$$

3. 分辨率

光谱仪器的色散率表征了不同波长的谱线被分开的大小,但不能表示靠得很近的两条光谱线能否被分辨。靠得很近的两条光谱线能否被分辨,不仅决定于光谱仪的色散率,也与光谱线强度的分布轮廓有关,还与接收系统有关。光谱线的强度分布轮廓是一个复杂的函数,它不仅与光谱线的理论宽度(这儿指自然宽度、碰撞展宽、多普勒展宽等)有关,还与光谱仪的狭缝宽度、仪器的色散系统、入射狭缝的照明情况以及光学系统的像差等诸多因素有关。