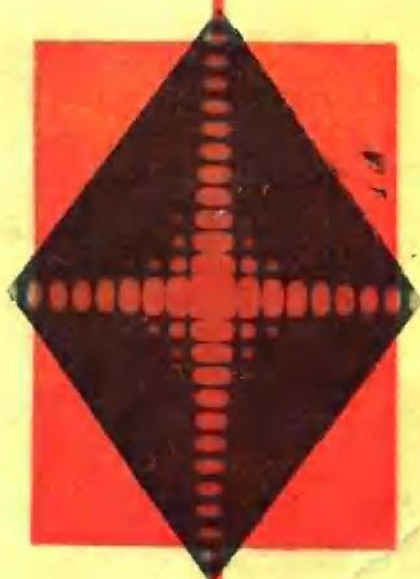


高等学校教学参考书

物理光学实验

〔法〕M.Françon 等 著

机械工业出版社



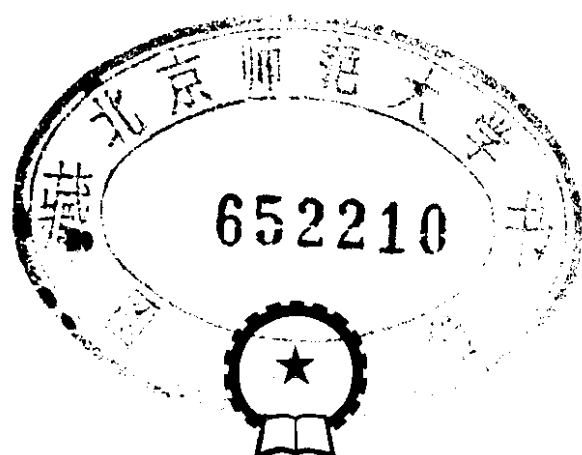
高等学校教学参考书

物理光学实验

[法]M. Françon 等 著

清华大学光学仪器教研组译

3911/138/06



机械工业出版社

物理光学实验

[法]M. Françon 等 著

清华大学光学仪器教研组译

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 8 · 字数 207 千字

1979 年 12 月北京第一版 · 1979 年 12 月北京第一次印刷

印数 0,001—9,000 · 定价 0.77 元

*

统一书号: 15033 · 4864

译 者 的 话

本书是现代法国光学家 M. Françon 等人为物理光学课堂演示实验写的。内容包括这门学科的基本现象和基本原理，也涉及现代光学应用技术的许多方面（如傅里叶变换、相衬、全息、二向色性、声光效应和发光等）的基础。对于每个实验，都简单介绍了它的原理，并具体介绍了所需仪器、元件及其装调方法。

本书可作为光学仪器专业和物理系各专业的实验教学参考书。对物理光学教师的教学准备和光学仪器、物理等专业的学生的实验技术培养，有一定的价值。对目前高等学校有关实验室的建立和更新也是有用的。

本书由清华大学光学仪器教研组根据英国 Gordan and Breach Science Publishers 1970 年出版的英文本翻译的。译文中所用名词大都采用科学出版社出版的《英汉物理学词汇》一书中的译名。对英文版中几处明显的印刷错误作了改正。何成钧同志和金国藩同志对译文作了校对。全书最后由何成钧同志审查定稿。

限于我们各方面的水平，本书的译文难免有不妥之处。我们诚恳地希望各方面的同志在使用中提出意见。

原 序

本书所陈述的实验并不是要学生做的实验而是作为物理光学教学中阐明讲授内容的课堂演示实验。其中只有少数是定量的。大部分实验是从课堂各处都能看到的，或者直接看到或者利用投影。其余只能通过单独的观察才能看到，不过利用电视摄影机和电视接收屏也能把这些实验的大部分显示给听众。

对于每个实验，我们简单地介绍了它的原理，列举了所需的仪器，给出了实验设置的简图并且指出如何进行必要的调整。在设置大部分实验时只需要不多的光学元件（透镜、棱镜、反射镜和偏振器）。

在有一些实验中，很难不用一些市场提供的设备。可是，如果读者熟悉玻璃吹制和电子线路组装，他就能设置好本书所陈述的一些实验。对于这方面的问题，我们未作详细的说明，制作物理光学实验所使用的大多数部件并不需要专门的车间。

对于向我们提出建议和批评的读者，我们在此预致感谢之意。

M. Françon K. Krauzman J. P. Mathieu M. May

目 录

第一章	连续光谱和线光谱光源	1
1.1	光源	1
1.2	光学滤光器	4
1.3	光谱的投影	5
1.4	牛顿实验	8
第二章	具有非定域条纹的干涉现象	10
2.1	引言	10
2.2	杨氏条纹	12
2.3	菲涅耳镜	14
第三章	具有定域条纹的干涉现象	16
3.1	平行平板的等倾圆条纹	16
3.2	薄膜的条纹	18
3.3	空气楔	21
3.4	牛顿环	22
3.5	薄片所产生的沟槽光谱	22
第四章	迈克尔逊干涉仪	25
4.1	仪器的原理和调整	25
4.2	用迈克尔逊干涉仪观察空气薄膜的等倾条纹	27
4.3	用迈克尔逊干涉仪观察空气楔条纹	28
4.4	拍的观察	32
第五章	时间相干性和空间相干性	34
5.1	定义	34
5.2	显示等厚条纹的对比度变化是光程差和光源单色性的函数的 实验(时间相干性)	36
5.3	对迈克尔逊干涉仪的远视场上的圆条纹重作同样的实验(时 间相干性)	36
5.4	等厚条纹和杨氏条纹的可见度变化是单色光源的尺寸的函数 (空间相干性)	37
5.5	傅里叶光谱学	38

V

第六章	半反射平板所产生的多光束干涉	41
6.1	在透射光中观察到的现象的原理	41
6.2	演示锐环的实验：法布里-珀罗干涉仪	42
6.3	用反射率相当低的反射镜进行的实验	43
6.4	氮-氦激光器的使用	44
6.5	等厚条纹	45
6.6	叠加条纹	46
第七章	干涉度量学的应用	48
7.1	热膨胀的测量	48
7.2	减反射膜	50
7.3	增反射膜	51
7.4	透射干涉滤光器	52
7.5	反射干涉滤光器	54
7.6	红外区使用的滤光器	55
7.7	李普曼摄影法	56
7.8	自然界中发现的反射滤光片	57
第八章	在有限距离的衍射（菲涅耳衍射）	58
8.1	在屏的边缘处的衍射	58
8.2	细丝的衍射	60
8.3	圆孔衍射	60
8.4	全息照相	61
第九章	在无限远处的衍射（夫琅和费衍射）	64
9.1	单缝衍射	64
9.2	圆孔衍射	67
9.3	许多不透明小圆屏的衍射	70
9.4	有限数目的等间距狭缝的衍射	71
9.5	光栅	73
9.6	在白光中的一个交叉刻线屏	75
9.7	相衬及暗场方法	77
9.8	在相干照明中空间频率的滤波： <u>阿贝实验</u>	80
9.9	超声波所引起的光的衍射	83
9.10	光的漫射	85
第十章	反射、折射、色散	91
10.1	反射面的概念	91
10.2	反射率和折射率	92

10.3	吸收介质的反射	93
10.4	比较垂直入射和掠射时空气-玻璃和空气-金属的反射	95
10.5	全反射和折射极限	97
10.6	光导管	99
10.7	折射的色散	100
第十一章 反射引起的偏振		108
11.1	引言	108
11.2	马吕斯定律	108
11.3	布儒斯特角	110
11.4	空气-水的反射引起的偏振	114
11.5	通过玻璃平板的折射所引起的振动方位的旋转	115
11.6	折射引起的偏振	117
第十二章 双折射引起的偏振		119
12.1	双折射晶体产生的双折射现象	119
12.2	寻常光和非常光是在互相垂直方向上的线偏振光	122
12.3	具有平行平面的双折射片所产生的双折射	124
12.4	双折射棱镜	125
12.5	双折射片的中立线	127
第十三章 基于双折射的起偏器		131
13.1	引言	131
13.2	产生横向分离的双折射棱镜	131
13.3	产生角分离的双折射棱镜	132
13.4	全内反射起偏器	133
13.5	特殊的双折射片	135
13.6	菲涅耳平行六面体	137
13.7	圆偏振器	138
第十四章 偏振光的干涉		140
14.1	色偏振	140
14.2	位于两个交叉的和平行的偏振器间的一双折射片所产生的 两种色彩的叠加	142
14.3	巴俾涅补偿器, 毕奥碗	145
14.4	双折射片所产生的沟槽光谱	147
14.5	在会聚光中的晶片	149
14.6	偏光干涉仪	151
第十五章 偏振振动的研究		156

VI

15.1 线性振动的分析	156
15.2 取向已知的椭圆振动的分析	159
15.3 一般的振动的分析	160
第十六章 人工双折射	162
16.1 原理	162
16.2 玻璃的均匀压缩	162
16.3 橡胶片的拉伸	163
16.4 不均匀的压缩和拉伸	164
16.5 回火的玻璃	164
16.6 液体的流动	165
16.7 磁性双折射	166
16.8 电性双折射	169
第十七章 旋光偏振	172
17.1 原理	172
17.2 垂直于光轴切割的石英片的旋光性	173
17.3 糖溶液的旋光性	174
17.4 两次穿过垂直于光轴切割的石英片	176
17.5 圆双折射	177
17.6 垂直于光轴切割的石英片的沟槽光谱	179
17.7 磁致旋光性	180
第十八章 二向色性	183
18.1 线性二向色性	183
18.2 圆二向色性	184
18.3 合成线性二向色性	187
第十九章 电磁辐射的性质	188
19.1 可见辐射	188
19.2 紫外辐射	191
19.3 红外辐射	193
19.4 超赫兹辐射	194
第二十章 热辐射	206
20.1 黑体和灰体的辐射	206
20.2 基尔霍夫定律	209
第二十一章 原子和分子的辐射之吸收与发射	215
21.1 光电效应	215
21.2 普朗克常数的测量	217

21.3	电离电位	219
21.4	夫兰克和赫兹实验	220
21.5	塞曼效应	222
21.6	光化学作用	225
21.7	光导电性	226
第二十二章 发光		227
22.1	电致发光	227
22.2	化学发光	228
22.3	阴极射线引致发光	228
22.4	光致发光	229
22.5	光学共振和蒸气的荧光	229
22.6	溶液的荧光	232
22.7	固体的发光	233
22.8	发光的持续时间和强度	234
附录		236
A	使用的有机化合物的分子式	236
B	使用的晶体和化合物的制备	237
C	晶体的切割	240

第一章 连续光谱和线光谱光源

1.1 光源

1.1.1 碳弧

适用于光学实验的那些类型的碳弧具有一直径为 0.5cm 的竖直碳棒和一直径为 0.7cm 的水平碳棒 (图 1.1)。水平碳棒要和一直流电源的阳极相联, 它的焰口 C 就用作 H 方向的光源。它象一个温度为 3500°C 的黑体那样辐射〔出光能〕, 因而它的发射光谱是连续的。它的亮度大于 10^8nt 。

使两个碳棒互相接触然后马上把它们分开到相距 1 cm 左右, 碳弧就开始发光。在水平方向上, 必须注意不要让负碳棒把焰口 C 遮蔽了。

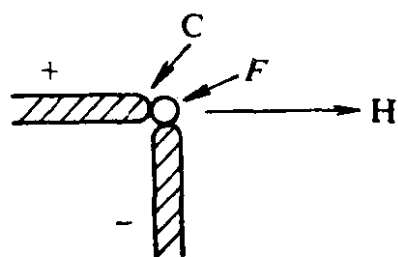


图 1.1

加到碳弧上的电压约为 45 V, 电流在正常情况下为 4 到 5 A, 为了提高光强, 可在短时间内增加电流。碳弧有一斜率为负值的特性曲线 $V = f(I)$ 。因之, 为了得稳定的弧光, 必须加上 110 或 220 V 的电压, 同时串联一个最大电阻为 $20\ \Omega$ (110 V) 或 $50\ \Omega$ (220 V) 的变阻器。

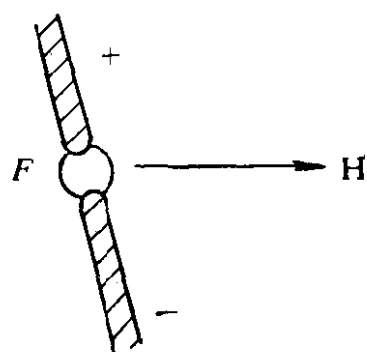


图 1.2

当我们要研究从碳弧的焰 F 发出的辐射时, 就要在垂直于图 1.1 平面的方向去观察, 或使用具有两个竖直碳棒的碳弧 (图 1.2)。在这种情形, 可用交流电使碳弧发光。

1.1.2 金属电极间的电弧

1. 用两根直径约为 0.4cm 的铁棒代替图 1.2 中的两根碳棒，通上 $2.5 \sim 3\text{A}$ 的电流，就能得到发射线光谱的火焰，这个光谱由从可见光区域和一直延续到 0.2μ 的紫外区域中的许多条谱线组成。列于各种表格^(*)中的这些谱线被用作波长测量的副标准。

2. 铜棒间的电弧也给出多谱线的光谱。

3. 在充满惰性气体灯泡中的钨电极间的电弧提供一个尺寸很小的光源（点源灯）。其电极之一是球形的，其亮度约为 10^7nt 。

1.1.3 白 炽 灯

1. 其钨丝处于惰性气体中的灯是大家熟知的。它们的亮度约为 10^7nt 。螺旋状的灯丝对于实验常常是不适用的。然而可能得到螺旋的轴线为一直线的灯丝。

2. 钨带的灯泡具有较好的几何形状。这种灯泡通过变压器和供电线相接，在 6 到 10V 电压和 10 到 20A 电流的条件下工作。

3. 直接接到电源上的石英外壳钨丝灯管亮度很低，产生波长直到 1.3μ 的辐射。这些灯管在近红外区使用是很适合的。

1.1.4 气 体 放 电

1. 含有钠蒸气的灯产生的光的单色性对许多种用途来说是足够的（谱线 $D_1: \lambda_1 = 5896\text{\AA}$ 。谱线 $D_2: \lambda_2 = 5890\text{\AA}$ ）。钠在常温下是固体，它的蒸气压强很低。钠灯中含有氩气，它使放电现象能发生于两个电极之间，同时产生略带粉红色的光。当由于放电而使温度升高时，金属蒸发，钠的黄光开始出现。几分钟之后，它就是唯一的可见光。

2. 含有其它金属（K, Rb, Cs, Zn, Cd, Hg）的灯以类似的方式工作。

所有上述的灯，通过和灯一起供应的特制的自耦变压器，工

* Fabry与Buisson图谱，Vatican图谱。

作于 110 V 或 220 V 的电压下。在达到稳定状态后，端电压约为 20 V，电流约为 1 A。

3. 水银蒸气压达到 10atm 的水银灯，具有石英外壳，在可见区域和近紫外区域产生很强的辐射。主要谱线有：

$\lambda (\text{\AA})$ 3032 3130 3655 4047 4358 5461 5780

管中不含有任何稀有气体。其中一个电极 E (图 1.3) 是冷的，另一电极 E' 靠近封在灯泡内的辅助电极 e 。辅助电极 e 与一个 20000Ω 的电阻 R 串联，灯泡接在一特定的电感 S 的两端，而在 110 V 或 220 V 的电压下工作。当灯泡和电源接通后， E' 和 e 之间发生放电现象从而激励灯泡。然后，由于 R 的阻值很大，电流就从 E 和 E' 之间通过。几分钟之后，亮度达到约 10^7 nt 的数值。

4. 这些灯可具有阻遏紫外线的玻璃外壳。

5. 另一方面，它们也可具有对可见光是不透明的而对紫外线是透明的玻璃外壳。

6. 压强高达 200atm 的水银灯，必须用循环水冷却。这种水银灯的亮度可达 10^9 nt ，它们的光谱几乎是连续的。

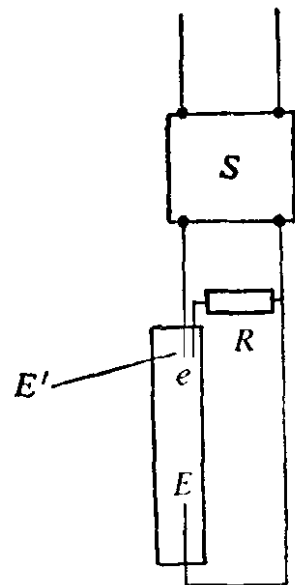


图 1.3

在低压 (约为 10^{-3} atm) 气体的环境下，高压 (几千至几万伏) 放电产生两种次要的光源。

7. 氢管 [盖斯勒 (Geissler) 管] 的辐射具有巴尔末 (Balmer) 系谱线。

8. 具有石英外壳或特殊玻璃外壳的汞灯，在这种条件下，可见光谱的辐射很少，而主要是共振线 ($\lambda = 2537 \text{ \AA}$) 的辐射。

1.1.5 激 光

市场上有各种类型的产生一束平行相干的单色辐射 $\lambda = 6328$

Å 的 He-Ne 激光器。随类型的不同而有 5 到 50mW 的光通量。其中功率最小的类型也能满足本书中所描述的实验的要求。

在通常的实验中，有时需要用一显微物镜放大激光光束。从物镜出来的光束由于入射光被物镜上的尘埃或激光本身的衍射，在均匀性方面存在缺陷。有时，这个缺陷非常显著，从而使对现象的观察变得困难。为了消除这些和主光线成较大角度的寄生衍射，可以在物镜象方焦点上放置一个大约 25 μ 的圆孔光阑，这个光阑只让激光的衍射斑通过。由于激光光束的横截面小于物镜的入瞳，因此人们在象方焦点上观察到的是激光的衍射图样而不是物镜的衍射图样。

1.2 光学滤光器

光学滤光器被用来透射连续光谱中已知宽度的光谱带或用来分离出线光谱中的某些辐射。它们或者以某些化学材料所显示的选择性吸收为基础(参看第二十章)，或者以相长干涉现象为基础(参看 6.1.1)。

1.2.1 吸收滤光器

市场上有各种玻璃的或明胶的带色滤光器，它们具有下列用途：

- 吸收紫外线并透过可见光（无色玻璃）；
- 透过紫外线并吸收可见光〔伍德（Wood）玻璃，黑玻璃〕；
- 吸收红外线并透过可见光（淡蓝玻璃）；
- 透过红外线并吸收可见光（黑玻璃）；
- 使白光衰减而不让它有颜色的中性玻璃，它具有不同程度的普遍吸收（灰玻璃）；
- 各种红玻璃，接收碳弧发出的光，透过的光具有足够的单色性能满足大部分关于干涉和衍射的实验的需要。

除了固体的吸收滤光器外，可以使用具有平行平面的吸收皿中的各种溶液。下面给出能分离出水银的各种不同谱线的一些玻

璃滤光器和化学溶液的商业名称。

透射辐射 单位 Å	肖 特 (Schott)	沃 莱 顿 (Wratten)	水 溶 液
3650	UG1	18 A	0.0075 g 若丹明 B 溶于 100cm ³ 亚硝酸 钠的饱和溶液(分别盛于两个吸收皿中)
4358	CG7	50	
5461	BG20 + CG11	77	重铬酸钾和饱和的硝酸钽(分别盛于两 个吸收皿中)
5780	OG2	22	四溴荧光素或浓重铬酸钾

1.2.2 干涉滤光器

这些滤光器是以法布里-珀罗干涉仪的原理为基础的(参看 7.5.1)。它们是通过在介质板上镀金属反射膜和多层介质膜而制成的。分离水银灯可见谱线的滤光器、抗热滤光器、半反射镜和冷反射镜在市场上都是可以买到的。

1.3 光谱的投影

1.3.1 原 理

当我们想得到某种光辐射的光谱时,可以利用棱镜或光栅的色散作用。光谱投影的一个简单方法是使所要分析的光以可能的最大强度去照射一狭缝 F , 并通过后面放有色散元件的聚光系统

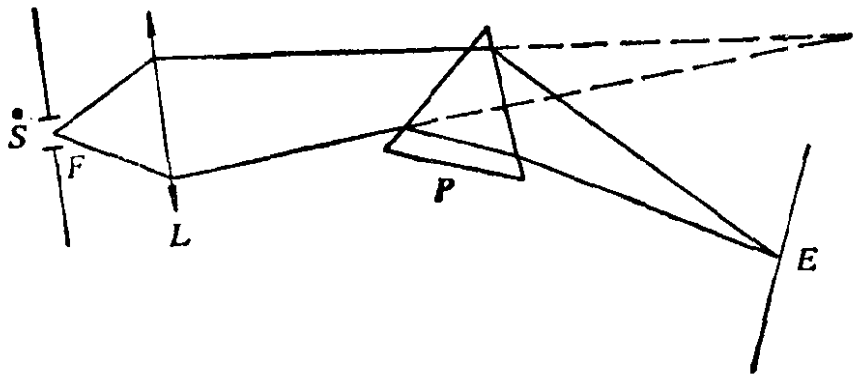


图 1.4

形成狭缝的象。

在图 1.4 中，聚光系统是透镜 L ，色散元件是棱镜 P 。

在图 1.5 中，聚光系统是一个凹球面反射镜 M ，色散元件是一块反射光栅 R 。在这个布置中，光不穿过光学元件，因此避免了吸收。

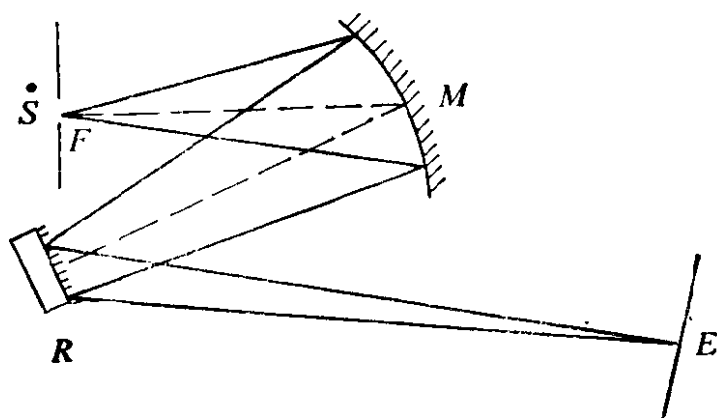


图 1.5

显然，我们可以把棱镜和反射镜结合起来或光栅和透镜结合起来，在后面这种情况下要使用透射光栅。

1.3.2 实验的设置

这取决于被研究的光谱范围。

a) 装置

S ：碳弧，用于可见光区、红外区和近紫外区的连续光谱。
 A_3 型的水银蒸气灯用于可见光区和紫外区的线光谱。

F ：尺寸可调的狭缝。

P ： 60° 玻璃棱镜（冕牌玻璃或火石玻璃）用于可见光区和红外区。石英棱镜用于紫外区。岩盐棱镜则更适用于红外区。

在可见光区，采用直视棱镜通常是方便的（图 1.6），它由两块冕牌玻璃棱镜 C 和一块火石玻璃棱镜 F 这样地组成，使中间的黄光保持不受偏离的方向。

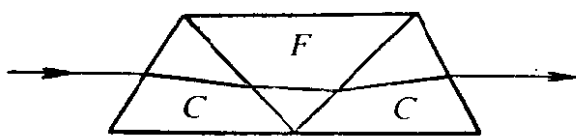


图 1.6

布洛萨 (Broca) 棱镜（图 1.7）相当于一个 60° 棱镜 ($ABH + CAD$) 和一个全反射棱镜 BHC 的组合。它能使任何所需要的辐射偏转 90° 。用加糖的阿拉伯胶把玻璃板胶合起来做成一个容器而在其中充满二硫化碳——就成为一个这样的棱镜。二硫化碳

是一种色散很大的在近红外区透明而在紫外区不透明的液体*。

L : 玻璃透镜适用于可见光区和红外区, 石英透镜适用于紫外区。焦距为 30cm。

M : 曲率半径为 60cm 的凹面反射镜。

R : 光栅。

E : 适用于可见光的白色屏幕。检测紫外线用荧光屏 (参看 22.6); 检测红外线可使用同检流计相联接的热电堆。

b) 调整

S 和 F 间的距离: 对于可见光区和红外区, 放在 S 和 F 间的玻璃聚光镜把 S 的象形成于 F 。

对于紫外区, F 要放在尽可能靠近 S 的位置。

F 到 L 或者到 M 的距离: 调整 L 或 M 使 F 的象形成于几米外的屏幕上。

F 的调节: 调节 F 的高度使光束不超出 P 或 M 的高度。用反复实验的方式调节它的宽度, 以便对于光谱的强度和纯度都能照顾到。

P 的调节: 棱镜放在最小偏差位置不是必要的, 因为色散随出射角的增大而增加 (但太大会出现象散现象)。

M 的调节: 旋转光栅, 使第一级光谱以最大的强度出现在屏幕上。

E 的调节: 使屏与平行于 F 的轴线倾斜而使整个光谱都清楚地聚焦于屏幕上。

就紫外区和红外区的研究说来, 光谱的一半 (高度的一半) 应该投在白色屏幕上, 而另一半投在特殊的屏幕上。

假如使用热电堆, 将一刻在锡箔上宽度为 1 到 2 mm 的狭缝放在热电堆的入射面上, 使这个狭缝沿着在图 1.4 和图 1.5 上的

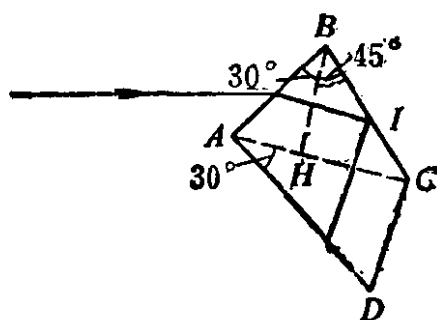


图 1.7

* 二硫化碳是非常易燃的。肉桂酸乙酯[†]是较为安全但也较贵的代替物 (用“匕首”注出的化学试剂见附录 A)。