

实验八 光栅特性的研究

衍射光栅是利用光的衍射原理使光波发生色散的光学元件。它由大量相互平行、等宽、等距的狭缝（或刻痕）组成。以衍射光栅为色散元件组成摄谱仪或单色仪是物质光谱分析的基本仪器之一，在研究谱线结构，特征谱线的波长和强度；特别是在研究物质结构和对元素作定性与定量的分析中有极其广泛的应用。

【实验目的】

1. 进一步熟悉光学测角仪的调整和使用；
2. 测量光栅的特性参数；
3. 从测定钠灯和汞灯光谱在可见光范围内几条谱线的波长过程中，观测和研究光栅的衍射现象。

【实验原理】

1. 光栅衍射

有大量等宽间隔的平行狭缝构成的光学元件成为光栅。设光栅的总缝数为 N ，缝宽为 a ，缝间不透光部分为 b ，则缝距 $d = a + b$ ，称为光栅常数。按夫琅和费光栅衍射理论，当一束平行光垂直入射到光栅平面上时，通过不同的缝，光要发生干涉，但同时，每条缝又都要发生衍射，且 N 条缝的 N 套衍射条纹通过透镜后将完全重合。如图 1 所示，当衍射角 θ 满足光栅方程 $d \sin \theta = k \lambda$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 时，任两缝所发出的两束光都干涉相长，形成细而亮的主极大明条纹。

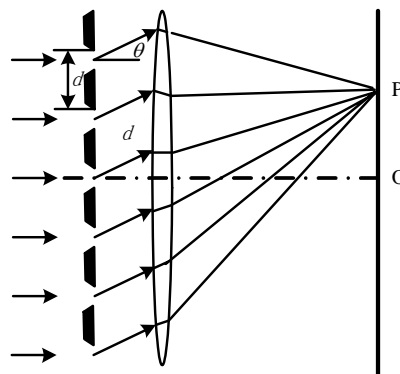


图 1 光栅衍射光路图

2. 光栅光谱

单色光经过光栅衍射后形成各级主极大的细亮线称为这种单色光的光栅衍射谱。如果用复色光照射，由光栅方程可知不同波长的同一级谱线（零级除外）的角位置是不同的，并按波长由短到长的次序自中央向外侧依次分开排列，每一干涉级次都有这样的一组谱线。在较高级次时，各级谱线可能相互重叠。光栅衍射产生的这种按波长排列的谱线称为光栅光谱。

评定光栅好坏的标志是角色散率和光栅的分辨本领。

(1) $\psi = \frac{d\varphi}{d\lambda}$ 称为光栅的角色散率，由 $d \sin \varphi = k \lambda$ 可知

$$\psi = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \varphi} \quad (1)$$

(2) 根据瑞利判据，光栅能分辨出相邻两条谱线的能力是受限制的，波长相差 $\Delta \lambda$ 的两条相邻的谱线，若其中一条谱线的最亮处恰好落在另一条谱线的最暗处，则称这两条谱线能

被分辨. 设这两条谱线的平均波长为 $\bar{\lambda}$, 则它们的波长可分别表示为 $\bar{\lambda} + \frac{\Delta\lambda}{2}$ 和 $\bar{\lambda} - \frac{\Delta\lambda}{2}$. 可以证明, 对于宽度一定的光栅, 当分辨本领按 $R = \frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda}$ 定义时, 其理论极限值 $R_m = kN = L \frac{k}{d}$, 而实测值将小于 kN , 式中 N 为参加衍射的光栅刻痕总数, L 为光栅的宽度.

显然, R 与光谱级数 k 以及在入射光束范围内的光栅宽度 L 有关. 应该指出, 光栅的分辨本领 R 是与被分辨光谱的最小波长间隔相联系的, 对于任意两条光谱线来说, 虽然受 R 的限制, 但也可以用改变光栅总宽度 L 的办法来确定分开此两条谱线所必须的最小宽度值 L_0 .

若入射光束不是垂直入射至光栅平面 (图 2), 则光栅的衍射光谱的分布规律将有所变化. 理论指出: 当入射角为 i 时, 光栅方程变为

$$d (\sin\varphi \pm \sin i) = k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad (2)$$

式 (2) 中, $+$ 号表示衍射光与入射光在法线同侧, $-$ 号则表示衍射光与入射光位于法线异侧.

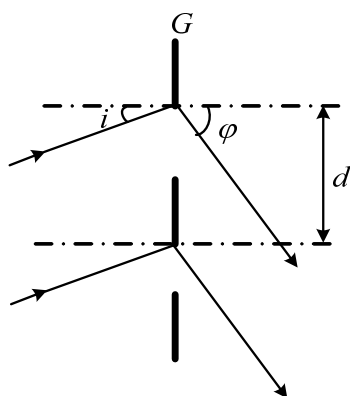


图 2 斜入射时光栅的衍射

【实验仪器】

光学测角仪, 不同光栅常数的全息光栅, 自准反射平玻片, 照明小灯, 汞灯, 钠灯, 激光器等.

【实验内容】

1. 根据实验室提供的光学测角仪, 阅读仪器说明书, 拟订调整仪器的程序和确定实验的具体任务;

2. 测出所给全息衍射光栅的四个主要性能参数: 光栅常数 d 、角色散率 ψ 、在特定缝宽下的分辨本领 R ;

3. 利用所给光栅测出钠灯的钠双线 (即 D_1 、 D_2 线)、He-Ne 激光器的激光波长和汞灯的谱线波长值, 要求测量结果的精确度 $E_\lambda \leq 0.1\%$;

4. 确定光栅所能观察到的各光谱线的最高衍射级数，记录不同的衍射级上各光谱线排列的顺序，测量各条光谱线的角宽度；
5. 将光栅光谱与棱镜光谱作一比较。

【注意事项】

1. 实验前应复习光学测角仪、钠光灯、汞灯、全息光栅等有关知识，严格按光学仪器使用维护规则操作。
2. 实验过程中，各仪器、光源、元件的相对位置不要随意挪动，以免影响其他组实验或变更实验条件。

【思考题】

1. 试比较光栅光谱与棱镜光谱各自的特点。
2. 试根据实验时同一级正、负衍射光谱的对称性，判断光栅放置的位置；并利用这种现象将光栅调至正确的工作位；当同一级正负衍射角不等时，试估算入射光束不垂直的程度（入射角的大小）。
3. 当实验光栅的 N 减小时（利用黑纸卡片），观察并分析说明衍射光谱变化的特点和规律。试用实验测出刚能分辨钠双线（ D_1 和 D_2 ）所需的最小光栅宽度 L_D ， L_D 的实验值理论预期值是否一致？
4. 试设想出一种能检测出发光二极管出射光波长范围的实验方法。
5. 利用给定光栅（ d 一定）观察 He-Ne 激光、钠光或汞灯光谱中任一条谱线，估算所能观测到的最高衍射级次。
6. 同一块光栅对不同波长的光，其最高衍射级数是否相同？不同波长的谱线宽度是否一致？同一波长不同衍射级数的光谱宽度是否相同？为什么？

【参考资料】

- [1] 林抒，龚镇雄．普通物理实验．人民教育出版社，1982
- [2] 母国光．光学．人民教育出版社，1979
- [3] 威廉·H·卫斯特发尔．物理实验．上海科学技术出版社，1964
- [4] M. 弗朗松．衍射——光学中的相干性．科学出版社，1982
- [5] A. M. 波蒂斯、H. D. 杨，《大学物理实验》，科学出版社，1982
- [6] F. J. Buehcc，物理实验导论（下册），人民教育出版社，1985
- [7] 何乃宽．光学仪器分辨率三种判据的比较．大学物理 1988. No. 8
- [8] 刘慎秋，郭大浩．平面透射光栅入射角为零的调节方法．物理实验．Vol.6 No.5