

光学物理实验

W.A. 赫尔顿 [美]

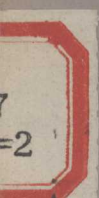
李允中 姚世亨 黄成龙 译
李淑星 刘福来

(初稿)

下

南开大学物理系

1980 年 10 月



后 记

《光学物理实验》一书，是根据美国密苏里州William Jewell学院，W.A. Hitton教授所著“Experiments in Optical Physics”(1974)第三版翻译的。开始是在我们重建实验室过程中，为了学习国外先进水平，由李淑星（译G1-10, G15、16）

姚世亨（译G11-14, G17-19, 15-8, 及序）

刘福来（译P1-9）

李允中（译其余）

四同志分别译出，最后由黄成龙整理。

在与兄弟院校的交流中，很多同志关心到本书，希望我们能够整理成册，以补当前国内实验教材之缺。原书是作者积28年从事物理实验教学之经验，精心写成的专著，而我们水平不高，实际经验更少，翻译该书自是力不胜任，难免畸变该书完美形象。但受多方热情鼓励、支持，我们终于以现在的交流参考教材的形式印出，仅作引玉之砖、代朱红土。且限于条件和时间，也只能如此简陋粗糙。至于谬误和错架之处，料定繁多，敬望批评指正，以断讹传。

考虑到该书中，有十数个实验，只列举了大量文献，这在使用上，不免有不便之处，我们尽力作了一些查找，附译了几篇文献。本想查找得全一些，只是有的文献目前国内查找不到，所以难能如愿，留待今后臻补完善。

本书在翻拍工作之中得到刘家恕、曹慧丽同志大力支持，作了大量工作；还有南开大学讲义科、印刷厂诸多同志的辛苦努力，特致以衷心感谢！

译 者

1980.9. 南开四

实 验 S-1

原子光谱研究

I. 目的：

研究和辨认12个或更多的光源之原子光谱。

II. 仪器：

Bausch-Lomb 常偏光谱仪。及下列诸光源：水银(Hg)灯、钠(Na)灯、氢(H)灯、镉(Cd)灯、氖(Ne)灯、铷(Rb)灯、钾(K)灯、铯(Cs)灯、锌(Zn)灯、铊(Tl)灯、氩(Ar)灯和氮(N)灯等。

III. 参考书

1. Handbook of Physics and Chemistry,
Section on Emission Spectra

2. F. A. Jenkins & H. E. White, Fundamentals of Optics, 3rd Ed PM22-44

3. G. S. Monk. Light Principles & Experiments, 1937. P. 443

IV. 步骤：

使用 Bausch-Lomb 常偏光谱仪。记录以上诸光谱光源之最显著谱线之波长。并与手册上各谱线的颜色及波长位置数值作比较。

本实验使用仪器之实物照片如实验 S-2 图1。

把实验所得各光源之波长数依框表作整理记录：

光源	观察值 $\lambda(\text{\AA})$	标准值 $\lambda(\text{\AA})$	颜色	光源	观察值 $\lambda(\text{\AA})$	标准值 $\lambda(\text{\AA})$	颜色
水银 (Hg)		6234	红	钠		5896	黄1
		5790	黄	Na		5890	黄2
		5770	..	氦 (He)		7065	红
		5461	绿			6678	..
		4358	兰			5875	黄
		4078	紫			5015	绿
		4047	紫			4922	兰G
		6563	红G			4713	兰
		4861	兰F			4471	兰
		4340	兰G'	铯 (Cs)			
		4101	紫				
镉 (Cd)		6438.5	红(*)				
		5086	绿				
		4800	兰	锌 (Zn)			
氖 (Ne)		4678	..				
		5882	黄	氩 Ar			
		5852	..				
		5820	..				
		5764	..	铊 Tl			
		5400	绿				
铷 (Rb)				铍 (Be)			
钾 (K)							

上表的 * 永久线

最后，完成下去。

λ 埃 (Å)	厘米 (cm)	米 (m)	微米 (μ)	毫微米 (m μ)	频率 ν	波数 $\bar{\nu}$
1000						
6000						
10000						
30000						
100000						

实 验 S-2

稜镜的色散

I. 目的：

在三个不同的可见光谱区域检测稜镜的色散。以 $\text{\AA}/\text{mm}$ 表示之。

II. 仪器：

Bausch-Lomb 型 常偏光谱仪 Gaerfner 研究型光谱仪附照相暗盒。Eastman 光谱干板及其数据表。水银灯和钠光灯。

III. 原理和步骤：

稜镜之色散可用 $\text{\AA}/\text{mm}$ 表示，即两条谱线之波长差与在光谱干板上测得该两线之距离的比值。实验中波长差 $\Delta\lambda$ 以 $\text{\AA}$ 表示。距离 ΔX 以 mm 表示，所以得色散为 $\text{\AA}/\text{mm}$ 表示。

先将照相暗盒 装到光谱仪上。然后在全黑条件下将 Eastman 光谱干板：103-A-F；或 103A-J，装到暗匣中。

至少拍水银光谱、钠光谱各三次。参考说明书介绍。选择合适的曝光时间和狭缝宽度。

在全黑条件下显定影。晾干后在测距显微镜下测量钠光谱 $5890\text{\AA}$ 和 $5893\text{\AA}$ 间之距离。水银光谱 $5770\text{\AA}$ 和 $5790\text{\AA}$ 间、 $4047\text{\AA}$ 和 $4078\text{\AA}$ 间的距离。

计算这些线对上的色散：

$$D_{5893} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta X} = \frac{6\text{\AA}}{\text{--- mm}} = \text{---} \text{\AA}/\text{mm}$$

$$D_{5780} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta X} = \frac{20\text{\AA}}{\text{--- mm}} = \text{---} \text{\AA}/\text{mm}$$

$$D_{4062} = \frac{\Delta\lambda}{\Delta x} = \frac{31\text{\AA}}{\text{--- mm}} = \text{--- } \text{\AA}/\text{mm}$$

若时间允许，用氖灯曝光，找出两条红线（约6500Å）并测定其色散。对所用的稜镜，从红到兰其色散有何变化？在凹面光栅光谱仪中，色散是否为常数？（参看实验S-3）

实 验 S-3

凹面光栅光谱仪

I、目的：

熟悉凹面光栅光谱仪的使用。拍摄水银、钠和氢光谱，并测定底片上每条谱线之波长。

II、仪器：

Conco 光栅光谱仪。水银、钠和氢光源。照相底片。照明装置和测定谱线间距的胶带尺。

III、参考：

1. Instruction Book for Use of 87102
Conco Grating Spectrograph L-128c

2. F. A. Tenkins & H. E. White. Fundament
als of Optics, 3rd Ed. 1957 PP347-50

IV、步骤：

在暗盒中装上底片，自然是在全黑条件下。调节光栅和狭缝。使在暗盒处得到明细的水银谱线。可用一特别的可滑动目镜观察谱线聚焦情况。然后将装底片的暗盒安到光谱仪上光栅之曲率半径处。

对水银光谱在一张底片上作六次曝光。建议取 1、2、4、8、16 和 32 秒之曝光时间。必须确保除水银光源之外，不得有其他光源通过光谱仪曝光。

从光谱仪上取下暗盒。在暗室里显定影。显影时间 5-10 分。用水冲洗一分钟。定影 10 分后再冲洗 15 分钟。再挂起来凉干。

定出最佳曝光时间后，在暗盒中另装入一张底片。拍两次水

银光谱。另再拍两次钠光谱和两次氢光谱。注意氢光谱需曝光数分钟。

底片显定晾干后，放到照明装置与胶带尺上测出各谱线到水银 $5461\text{\AA}$ 的水平距离。底片上每毫米对应波长变化 $16\text{\AA}$ 。将你得到的各谱线波长值与手册上的数值作比较。

用其他光源如碳弧等可得其他光谱。要在紫外波段工作，须用一石英透镜。Cenco No 87123 扇板和狭缝可用于测定光谱线相对强度。转盘对数式地减弱光强且在底片上得到光谱线的长度正比于光强。

V. Cenco 凹面光栅光谱仪原理：¹

狭缝 A、光栅 B 和底片盒 C 其相对位置如图 2 所示。它们装置在所谓凹面光栅的罗兰圆上。罗兰圆的直径等于光栅的曲率半径。下述方程给出谱线位置和光谱级次：

$$m\lambda = d(\sin i \pm \sin \theta) \quad (1)$$

其中 m 是光谱级次， λ 波长， d 光栅常数， i 入射角， θ 为波长 λ 之衍射波波前方向。 i 和 θ 都由光栅光轴量起。见图 2 所示。

该光谱仪设计在 $4000\text{\AA}$ 范围的一级光谱。中心波长约 $4800\text{\AA}$ 。光栅绕其垂轴转动。在两个方向上都可扩展光谱范围。图 2 中的 i 角。可将下列数值代入 (1) 式计算得到： $m=1$ ， $\theta=0$ 。
 $\lambda = 4800 \times 10^{-8} \text{cm}$ ， $d = 2.54 / 15160 = 1.675 \times 10^{-4} \text{cm}$ 。
 (光栅每英寸，即 2.54cm 有 15160 条线。) 这样：

1. 见 Cenco 光栅光谱仪使用说明，中央科学公司，芝加哥

$$4800 \times 10^{-8} = 1.675 \times 10^{-4} \cdot (\sin i) \quad (2)$$

$$\therefore i = 16^{\circ}39'$$

把 i 看作常数微分 (1) 式, 得色散 $D = \frac{d\theta}{d\lambda}$:

$$\frac{d\lambda}{d\theta} = \frac{d}{d\theta} \left\{ \frac{d}{m} (\sin i \pm \sin \theta) \right\} = \frac{d}{m} \cos \theta$$

$$\therefore D = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \theta} = \frac{1}{1.675 \times 10^{-4} \cos \theta} = \frac{10^4}{1.675} \quad (3)$$

其中取 $\cos \theta = 1$ 。因光谱仪 θ 之最大变化范围是 6° 。

$\cos 6^{\circ} \approx 0.9945$, 色散近于常数, 约在 $2800\text{\AA} \sim 6800\text{\AA}$ 。

范围内不变。在底片盒中心 ($4800\text{\AA}$) 外正是上述值。

由图 3 可知 $d\theta = \frac{dx}{106}$ 。这样可将色散写作:

$$D = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{dx}{d\lambda} \frac{1}{106} = \frac{10^4}{1.675} \quad (4)$$

因习惯上用 $\text{\AA}/\text{mm}$ 表示光谱仪的色散。由 (4) 式就可得到:

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda}{dx} &= \frac{1.675}{(106)10^4} = 0.01575 \times 10^{-4} \text{cm/cm} = \\ &= 157.5 \text{\AA}/\text{cm} = 15.75 \text{\AA}/\text{mm} = 16 \text{\AA}/\text{mm} \quad (5) \end{aligned}$$

即约 $400\text{\AA}/\text{吋}$ 。

光学仪器之分辨极限定义为 $\Delta\lambda/\lambda$ 。分辨本领是其倒数。即

$$R = \lambda/\Delta\lambda \quad (6)$$

其中 $\Delta\lambda$ 是刚能分辨的波长差。这表示 λ_1 和 λ_2 两波长之衍射其

中一级的极大值恰在另一条级小处, $\lambda_2 - \lambda_1 = \Delta\lambda$ 。

$$\text{取 } \Delta\lambda/\Delta\theta = d\lambda/d\theta, \quad \text{则 } \Delta\lambda = \frac{d\lambda}{d\theta} \Delta\theta \quad (7)$$

依图(4)可有:

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{\alpha} \quad (8)$$

其中 α 是光栅之有效孔径。由图4, $\alpha = S \cos\theta$, 且

$$\Delta\theta = \lambda/\alpha = \lambda/S \cos\theta \quad (9)$$

将(3)式、(9)式代入(7)式, 便得到

$$\Delta\lambda = \frac{d\lambda}{d\theta} \Delta\theta = \frac{d \cos\theta}{m} \frac{\lambda}{S \cos\theta} = \frac{d\lambda}{mS} \quad (10)$$

再将(10)式代入(6), 于是

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\lambda}{d\lambda/mS} = \frac{mS}{d} = mN \quad (11)$$

其中 m 光谱级次, $N = \frac{S}{d}$ 光栅刻线总数。因之, 光栅之分辨本领正比其刻线总数。

实 验 S-4

可见和红外 的吸收光谱

I. 目的：

研究可见和红外 ($4000\text{\AA} \sim 30000\text{\AA}$) 范围内几种滤光片之吸收光谱。

II. 仪器：

Barnes 工程公司之 ES100 型教学光谱仪。附 12V 钨丝灯。两只 $f/4$ 凹球面反射镜。硫化铅接收器。电动光切割器。7500线/吋 (300 线/mm) 光栅。闪耀波长是 $10000\text{\AA}$ (1μ)。光栅扫描机构。十种滤光片包括氧化铍、红外透射 (IRT)、红外吸收 (IRA)、锑等。12V 电池。电位计。X-t 或 X-Y 记录器。

III. 参考书

1. W. A. Hilton & J. M. Whan. Using the Barnes ES-100 Educational Spectrometer Am J. Phys. Vol 35. PP542-43. 1967 (见附录)

2. Instruction Manual for Educational Spectrometer, Model ES-100 Barnes Engineering Co, Stamford Conn (L3390)

3. W. L. Wolf. Handbook of Military Infrared Technology. 1965 Office of Naval Research (555, Vol 1 Phys)

IV. 步骤：

按图 1 装置仪器。须用一个 13.5V 电池和一个电位器使硫化铅接收器的输出电压与条带记录器相匹配。检查光谱仪操作程序。

调节扫描机构使从 $4000\text{\AA}$ 扫描到 $30000\text{\AA}$ ($0.4\mu-3.0\mu$) 约四分钟 图1所示是一台 Varian F-50X-Y 型记录器, 它可将几种扫描画于同一纸带上。

学生在阅读了参考文献并熟悉了光谱仪操作之后, 就可着手各种滤光片之吸收的研究。

首先扫描12V钨丝灯的光谱, 从0到 $30000\text{\AA}$, 使记录笔回复到初始位置, 在钨丝灯光路中插入钕化钕滤光片进行扫描, 然后用实验室里的其他滤光片重复扫描。若用的是Wratten滤光片, 则可将所得曲线与 Eastman Wratten 滤光片手册上的标准曲线作比较。Welch科学公司也提供了3616S和3661T色玻璃滤光片的吸收和透过曲线。

本实验现已成为开放型实验, 学生可考虑使用该仪器作任何实验。在其仪器说明书上列出了16个实验。

Hilton-Whan文章给出之Wien位移定律学生也许有兴趣。本仪器可作个人研究之基本装置。

附录：录自《美国物理学杂志》35卷，7期

542-43 1967, 6

Barnes ES-100型教学光谱仪之使用

Wallace A. Hilton & Janet

M. Whan

William Jewell学院, Missouri 特区

(1966, 7, 18收到, 1966, 12, 1收到修订稿)

Kaylor在评介Barnes ES-100型教学光谱仪时已指出。该仪器包括4种滤光片，并有一个12V白炽灯光源（汽车用）。

为研究4种滤光片之吸收，硫化铅接收器之输出接到50mV/mm条带记录器之输入上，把光栅接上扫描机构，并在0.1-3.0 μ 波长范围扫描。

四只滤光片；红外吸收玻璃（IRA）、红外透射玻璃（IRT）、铍玻璃和锗。依次插入光源前并扫描光谱。每次扫描时间是250秒。透过滤光片光强与无滤光片光强比较见图1和图2。

另一实验是研究带空气调节汽车用窗玻璃之红外吸收。图3是一片7.5mm厚平板玻璃之透射曲线。一片6.5mm汽车色玻璃和一片Edmund科学公司7.0mm热吸收玻璃之透射曲线。

改变12V变压器输入电压，观察当电压增加时极大值移向短波可验证Wien位移定律。如图4所示。

0. 国家科学基金会学年研究和独立研究参与者1965-66

1. H. M. Kaylor Am J. Phys 34 74-75

(1966)

实 验 s-5

紫外和可见光吸收光谱

I. 目的：

研究各种滤光片在紫外、可见和近红外区 $2000\text{\AA} \sim 10000\text{\AA}$ 对光之吸收。

II. 仪器：

0.25m Jarrell-Ash Ebert型单色仪。J-A 钨丝灯光源和汞灯。931 A 光电倍增管和罩。通用无线电公司1230静电计。0-1000V D.C. 电源。Bausch-Lomb Vom-5型记录器。一组玻璃滤色片。

III. 参考

1. Wratten Light Filters, Eastman Kodak Co Rochester, N. Y (535. Eas Phys)
2. Candler, C. Practical Spectroscopy, 1949. PP63-75 126-38 (535. 84. C21 Phys)
3. Clark, G. L. Encyclopedia of Spectroscopy 1960 PP1-19 (535. 84. E86 Phys)
4. Jarrell-Ash, Instruction Manual for 0.25 meter Monochromator (L4020)
5. J. J. Arlotto & J. N. Fox. Am. J. Phys Vol 36. PP451-53 (May 1968)

IV. 步骤：

在开任何开关和接线前。务先由实验须知了解仪器并自行检查实验步骤。以知道起动电源、电表和条带记录器之使用。

按图1装置仪器

切实弄清本实验所用每件仪器之作用和操作。下述操作过程可供参考：调节单色仪于 $2000\text{\AA}$ ，马达以 $1000\text{\AA}/\text{分}$ 之速度扫描。记录器以 $1\text{吋}/\text{分}$ 速度扫描。记录纸每吋对应波长 $1000\text{\AA}$ 之改变。仪器标准条件如下：GR1103A 调节 E 接地。欧姆乘数 $= 10^8$ 。电压 $= 10\text{V}$ 。电源先置于 0。在静电计开始在 10mA 挡。开动单色仪马达及记录器。当单色仪由 $200\text{\AA}$ 扫到 $8000\text{\AA}$ 时观察记录图形。若静电计或记录器超过刻度可减小电源电压。作必要调节使对钨丝灯扫描保持在 $2000\text{\AA} - 8000\text{\AA}$ 范围。

再在钨丝灯与单色仪入射狭缝间插入滤光片。并从 $2000\text{\AA} - 8000\text{\AA}$ 扫描。注意千万别扫描到 $10000\text{\AA}$ 以上免得损坏单色仪。用实验室内所有之 10-20 片滤光片重复实验。

将五种滤光片之钨丝灯吸收曲线先画于一纸。后再用五种滤光片重复扫描另一纸。

在实验报告中叙述吸收光谱之某些应用。

图2是扫描图形的一示例。图3是装置之实物照片。

本实验装置亦可用作开放实验。学生在阅读了参考书或其他馆有关书后。可着手安排一个创造性实验并可发展为个人研究项目。

若实验中用热电堆作接收器。下述 No 4847 960AW Eppley 型热电堆之各数据是有用的。

型号：Gaertner。窗： 1mm 石英。器件：铜——康铜。空气室。电阻： 6.6Ω 。光开口： 3mm 。

在大气压下接收标准灯辐射。热电堆产生电动势数据：

强度 (瓦 / cm^2)	电动势 (μV)
-------------------------	-----------------------

42.1×10^{-6}	0.892
-----------------------	-------

62.2×10^{-6}	1.32
-----------------------	------

87.0×10^{-6}	1.83
-----------------------	------

平均后可得热电堆产生电动势为： $0.021 \mu\text{V} / \mu\text{W} / \text{cm}^2$ 。

30 May 1980 app