

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)

上

南开大学物理系

1980 年 10 月

第 一 版 序

《光学物理实验》一书，是一种尝试。它以从‘实验谱’的汇集到所谓‘开放型’实验室的描述，给光学及波动提供一套可选的实验，以期引导学生去独立研究或探索。其中，有的题目本来就是学生的学年论文或学位论文的结果。

这些实验是在 22 年间，William Jewell 学院中级实验室（基础水平）中发展并沿用的实验。因之，原理叙述、仪器描写、参考书目无不带着作者实验室的色彩。然而，读者会发现本书在他的实验室中，是有所裨益的。

特向使用过本书油印讲义并提出各种旨在改进和完善光学实验室技巧、技能而作注释和建议的学生们，表示感谢。应该提到的同学甚至作出了特殊贡献。这包括：LeRoy Heaton 对微波实验，Charles Don Geilker 对巴俾涅补偿器，及开槽线实验。Arther C. Cunningham 和 Leo Takahashi 对法布里—珀罗实验，Paul Todd 和 Warren Riffle 对法拉第效应，Charles Manka 和 C.B. Cunningham 对射频干涉仪，Larry Alexander 对克尔效应，Robert T. Dixon 和 John Milligan 对蒸镀金属薄膜，John W. Hutton 对椭圆仪，光学常数和太阳物理学，Carl McElwee，Daryl Shackelford 和 Scott Armstrong 对 x-射线，还有 David Loomis 和 Richard Thomas 对电子显微镜等。

谨向 Arkansas 大学 L.B. Ham，P.C. Sharrah，R.H. Hughes 及 G.T. Clayton 诸位教授在物理教学中对学

生们的鼓励和帮助，表示致谢。

同时对《美国物理学杂志》、《科学教师》、《Missouri 科学院学报》等杂志的编者，同意从他们的杂志转载有关文章表示感谢；当然更要深深感谢文章的作者与合作者：L.B. Han, Roger C. Grawford, Jenet M. whan 和 John W. Hilton 诸位。

最后谨向我在 William Jewell 学院时的同事，John L. Philpot 和 Charles Don Geilker 二位在物理教学中的合作和帮助，表示感谢。

W.A. 赫尔顿 1968. 6. 10

第 二 版 序

本书第二版仅对某些错误作了改正并增加了参考总目。谨向指出第一版中各错误之读者深表感谢。

W.A. 赫尔顿 1969. 8. 1

第 三 版 序

本书第三版，除改正错误外另增了 20 个新实验，使得总数达到 70 个，这样，具体分配就是：几何光学 19 个，干涉现象 26 个，光谱 6 个，偏振现象 9 个，波动 10 个。

衷心感谢《物理教学》、《物理教师》、《美国物理学杂志》的编者同意转载了一些文章，并深深感谢文章的作者和合作者们：J. Hitton 博士（伦敦大学 Goldsmiths 学院物理系），及 Charles Don Geilker, Don N. Page, John W.

Hilton 诸位教授。还应感谢我的 William Jewell 学院中级光学班及实验室的、28年间的学生们所作的许许多多的贡献。

最后，谨向我的妻子 Ruth，对她多年来用她的时间分担编写工作、对她的耐心、鼓励、兴趣和深切关心，表示最深忱的感谢。

W.A. 赫尔顿 1974.8.24

目 录

I. 几何光学：

G-1 望远镜的放大率和分辨率	1
G-2 棱镜的色散率和色分辨率	5
G-3 正常色散：柯西方程	9
G-4 全反射法测量折射率	11
G-5 试验厚透镜用的测节器	17
G-6 单球面折射	19
G-7 眼睛光学	22
G-8 显微镜：金相显微镜	23
G-9 太阳物理学：黑子活动	26
G-10 太阳望远镜：定日镜	28
G-11 光速	30
G-12 检验反射镜：傅科测试法	38
G-13 纹影系统	41
G-14 空气折射率	48
G-15 照相机快门速度	50
G-16 小孔光学	52
G-17 天空摄影术	54
G-18 幻视	56
G-19 瑞利折射计	58

II. 干涉现象

I-1 杨氏双狭缝实验	63
-------------------	----

I-2 罗意镜.....	65
I-3 菲涅耳双棱镜.....	67
I-4 菲涅耳反射镜.....	70
I-5 迈克尔逊干涉仪：条纹调节和微小距离测量.....	72
I-6 迈克尔逊干涉仪：两光谱线波长差测量.....	74
I-7 迈克尔逊干涉仪：折射率.....	77
I-8 迈克尔逊干涉仪的条纹可见度.....	79
I-9 傅里叶转换光谱学.....	82
I-10 法布里—珀罗标准器.....	89
I-11 塞曼效应.....	96
I-12 气体之折射率.....	99
I-13 牛顿环和薄膜厚度.....	106
I-14 测量激光束的波长.....	109
I-15 气体激光器实验.....	111
I-16 全息照相.....	113
I-17 波带片.....	117
I-18 射电干涉术：卫星径迹和太阳物理学.....	118
I-19 单缝衍射.....	128
I-20 单缝和多缝衍射之照相.....	130
I-21 偏振光干涉.....	131
I-22 干涉法检验光学件.....	138
I-23 多光束干涉.....	139
I-24 阿嗽戈白斑.....	140
I-25 肥皂膜干涉条纹演示.....	142
I-26 薄油膜干涉演示.....	143

III、光谱.....	
S-1 原子光谱研究.....	144
S-2 棱镜的色散.....	147
S-3 凹面光栅光谱仪.....	149
S-4 可见和红外区的吸收光谱.....	153
S-5 紫外和可见光吸收光谱.....	156
S-6 鹰座 三米凹面光栅光谱仪.....	159
IV、偏振现象.....	
P-1 波片和椭圆偏振计.....	161
P-2 椭圆偏振光分析：巴俾涅补偿器.....	166
P-3 偏振光的反射.....	173
P-4 金属的光学常数：椭圆仪.....	176
P-5 椭圆仪测量蒸镀薄膜厚度.....	181
P-6 法拉第效应.....	189
P-7 旋光物质的旋光偏振.....	199
P-8 天空的偏振度.....	204
P-9 BIOT 偏振光镜.....	207
V、波动.....	
W-1 声发生器.....	210
W-2 电磁波：微波光学.....	216
W-3 生理声学：听觉和传导耗损.....	218
W-4 声共振器.....	224
W-5 声波：声阻和吸收系数.....	229
W-6 电磁波：驻波比和声阻抗.....	239
W-7 激光束之多普勒效应.....	244

W-8 电子显微镜	245
W-9 x-射线衍射	246
W-10 用激光束制造衍射光栅	247
VI、参考书目总表 (略)	

实验 (G-1)

望远镜的放大率和分辨率

I. 目的:

测定望远镜的角放大率或放大率; 测定望远镜的分辨率, 并测定矩形孔的分辨率。

II. 设备:

小型望远镜, 光具座, 物象屏, 前表面反射镜, 测微目镜, 可调狭缝, 附 $5461\text{\AA}$ 滤色片的汞弧灯, 线屏, 及标准分度板。

III. 参考书

1. Central Scientific Company. Selective Experiments in physics. No. 71990-L 426 (中心科学公司, 供选物理实验)。

2. F.A. Jenkins & H.E. White. Fundamentals of Optics. 3rd Ed pp178-83. pp. 304-05. (詹金斯和怀特, 光学原理)。

IV. 原理和步骤:

1. 望远镜的分辨率是:

$$M = \frac{f_o}{f_e} \quad (1)$$

f_o — 物镜焦距, f_e — 目镜焦距。为得到物镜焦距 f_o , 可将设备安排如图 1。物象屏, 物镜, 及前表面反射镜, 分别放置于光具座上。当调节透镜使被反射镜反射回来的象清楚呈现在焦点处之屏上时, 透镜到屏的距离即是物镜之焦距 f_o 。

要求得望远镜目镜的焦距 f_e ，则仪器排列如图 2，点光源照明毫米分度板，望远镜之目镜放置在分度板前并经一套管连接于测微目镜。

测量时，同时移动望远镜目镜与测微目镜，直到毫米分度板成象在测微目镜之焦点上。测量毫米分度板之放大像 (m_m)。计算毫米分度板之放大率 m_1 。然后拉长套管 (移动望远镜目镜) 一段距离 $s = 3 \text{ cm}$ ，并仔细成象和再次测量新放大像。计算放大率 m_2 。望远镜目镜的焦距 f_e 可由下式计算

$$f_e = \frac{s}{m_2 - m_1} \quad (2)$$

2. 公式 (2) 的导出如下：望远镜的放大率在式 (1) 中已定义为 $M = \frac{f_o}{f_e}$ 。当用望远镜放大毫米分度板时如图 2 所示，垂轴放大率。

$$m_1 = \frac{h_i}{h_o} = \frac{s}{s_1} \quad (3)$$

其中 h_i 是象高， h_o 是物高， s'_1 是象距， s_1 是物距。这还可以写作：

$$s_1 = \frac{s'_1}{m_1} \quad (4)$$

如果象距改变量是：

$$s = s'_2 - s'_1 \quad (5)$$

这里 s'_2 是个新象距，而对应之新物距 s_2 和新放大率 m_2 将有：

$$m_2 = \frac{s'_2}{s_2} \quad (6)$$

$$\text{或 } s_2 = \frac{s'_2}{m_2} \quad (7)$$

因为。

$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} \quad \text{即} \quad \frac{1}{f_0} = \frac{s'_1 + s_1}{s_1 s'_1} \quad (8)$$

现将式(4)中之 s_1 代入式(8)并解出 s'_1 。得方程：

$$s'_1 = f_0 (m_1 + 1) \quad (9)$$

同样 对 s_2 式(8)变为：

$$f_0 = \frac{s_2 s'_2}{s'_2 + s_2} \quad (10)$$

再把式(7)之 s_2 代入式(10)我们得到下列方程。解出 s'_2 是：

$$s'_2 = f_0 (m_2 + 1) \quad (11)$$

最后把式(11)和(9)代入(5)。就得到我们要求的计算望远镜目镜之焦距方程(2)。

3、望远镜之分辨率由下式给出。

$$R_t = \frac{1.22\lambda}{2r} \quad (12)$$

其中 λ 是所用光之波长， $2r$ 是望远镜物镜的孔径¹⁾。可用一个千分卡尺测量望远镜物镜之直径 $2r$ 。测量时依图3所示。放置望远镜在光具座一端。在距望远镜约25-100cm左右再放一个线屏。屏

被汞弧灯之 $5461\text{\AA}$ ⁰ 光照亮。再靠望远镜物镜前放一个可调狭缝。
逐渐减小缝宽。使线屏之竖直线像刚能分开。这就是分辨力之极限。
测量并记录下面诸量：

缝 宽： $a =$ _____

缝屏间距离： $D =$ _____

线屏竖线距： $d =$ _____

另外。矩形孔之分辨率依下式给出。

$$\boxed{R_r = \frac{d}{D} = \frac{\lambda}{a}} \quad 2) \quad (13)$$

其中 d 、 D 、 λ 和意义如上。完成下列记算：

$$R_r = \frac{d}{D} = \quad ; \quad R_r = \frac{\lambda}{a} = \quad ; \quad R_t = \frac{1.22\lambda}{2r}$$

你的 R_r 和 R_t 值相同吗？为什么？解释之。

1) 原句是： r 是望远镜物镜之半径。易误。故改译。——译者。

2)

实 验 G-2

棱镜的色散率和色分辨率

I. 目的:

测定棱镜的色散率和色分辨率。

II. 仪器:

GaeXtner L-111 型分光计。二、三只棱镜。Na 光源和 H 光源。可变狭缝。

III. 参考:

[1] Central Scientific Co. Selective Experiments in physics. No 71990 L-526 and L536。

[2] F.A. Jenkins & H.E. White. Fundamental of Optics. 3rd Ed 1957 pp.11 301-02, 464-68。

IV. 原理和步骤:

色散率的定义是:

$$d = \frac{1}{\nu} = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} \quad 1) \quad (1)$$

其中, n_F - 棱镜对 H 光源 $4861 \overset{\circ}{\text{\AA}}$ 兰线之折射率, n_C - 棱镜对 H 光源 $6563 \overset{\circ}{\text{\AA}}$ 红线之折射率, 而 n_D - 棱镜对 Na 光源 $5893 \overset{\circ}{\text{\AA}}$

1) 参考 [2] P. 11。

黄线之折射率。 ν 是色散率之倒数，并且就大多数光学玻璃而言，取值在 30-60 之间。

分光仪、光源和棱镜表示如图 1，本实验需准备两块以上的棱镜，起码一块是牌玻璃棱镜和一块火石玻璃棱镜。

首先测出棱镜折射角，再测出三条光线各自的最小偏向角。然后依下公式计算每条光线的折射率。

$$n = \frac{\sin 0.5(A+D)}{\sin 0.5A} \quad (2)$$

这里 A 是棱镜折射角， D 最小偏向角。最后计算色散率 d 值及其倒数 ν 值。并以 x 轴表波长和 y 轴表折射率，在坐标纸上绘出 $n-\lambda$ 曲线。可依下表记录和整理数据：

棱 镜	折射角	光线	最小偏向角	折射率	色散率 d	ν
1 (火石)		F		n_F		
		C		n_C		
		D		n_D		
2 (冕牌)		F		n_F		
		C		n_C		
		D		n_D		

棱镜的色分辨率定义为：

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = B \frac{dn}{d\lambda} \quad 2) \quad (3)$$

λ — 波长 ($5780\text{\AA}$)， $\Delta\lambda$ 是刚能被棱镜分开的波长差， B 是通过棱镜光束之两边沿光程差 (如果光束充满棱镜， B 就是棱镜之底边边长，见图2。)， n 是折射率。

在 Gaertner L-111 分光仪入射狭缝处放一个 H_g 弧灯。然后在望远镜物镜前插入一个可调狭缝如图2。调准望远镜在 $5770\text{\AA}$ 和 $5790\text{\AA}$ 两条黄线的最小偏向角。用其平均值 $= 5780\text{\AA}$ 使两黄线聚焦且在最小偏向角位置。缩小可变狭缝的宽度直至两线刚被分开。可认为这就是分辨力的极限。此时用一个测距显微镜测出狭缝宽度，分辨率就可由下方程求得。

$$\frac{l}{R} = \frac{a}{A} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad 3) \quad (4)$$

其中 a — 最小缝宽， A — 望远镜物镜之孔径。对 H_g 光源， $\lambda = 5780\text{\AA}$ 和 $\Delta\lambda = 20\text{\AA}$ ；对 Na 光源， $\lambda = 5893\text{\AA}$ ， $\Delta\lambda = 6\text{\AA}$ 。

最后测定 B ，它是通过棱镜光束两边激光线之程差，然后由方程 (3)， $R = B \, dn/d\lambda$ 解得：

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{R}{B} \quad (5)$$

2) 见参考 [2] pp801. 译者。

3) 原书误为 $R = \frac{a}{A} \cdot \frac{\Delta\lambda'}{\lambda}$ (同) 改之。——译者。

你的 $\frac{dn}{d\lambda}$ 值与标准值比较怎样? (见参考[2]第465页)。

依下表记录处理数据。

棱 镜	光源	$\lambda (\text{\AA})$	$\Delta\lambda (\text{\AA})$	a	A	R	B	$dn/d\lambda$
1 (火石)	H _g	5780	20					
	Na	5893	6					
2 (冕牌)	H _g	5780	20					
	Na	5893	6					

实 验 G-3

正常色散 柯西方程

I. 目的:

用柯西方程计算校镜的色散。

II. 仪器设备:

由实验G-2 择取数据。削尖铅笔和台式计算机。

III. 参考书:

F.A. Jenkins & H.E. White, Fundamentals of optics, 3rd Ed. 1957. pp 464-69.

IV. 原理和步骤:

1936 年, 柯西第一次尝试成功以下经验公式描写校镜的色散曲线。即

$$n = A' + B' / \lambda^2 + c' / \lambda^4 \quad (1)$$

其中, A' , B' , C' 都是常数, n 折射率, λ 波长。

将实验 G2 中得到的 n_F , n_C , n_D , λ_F , λ_C , λ_D 诸值代入方程 (1) 得到 $n-\lambda$ 的三组值。

$$n_F = A' + \frac{B'}{\lambda_F^2} + \frac{c'}{\lambda_F^4}$$

$$n_C = A' + \frac{B'}{\lambda_C^2} + \frac{c'}{\lambda_C^4}$$

$$n_D = A' + \frac{B'}{\lambda_D^2} + \frac{c'}{\lambda_D^4}$$