

高等学校教材

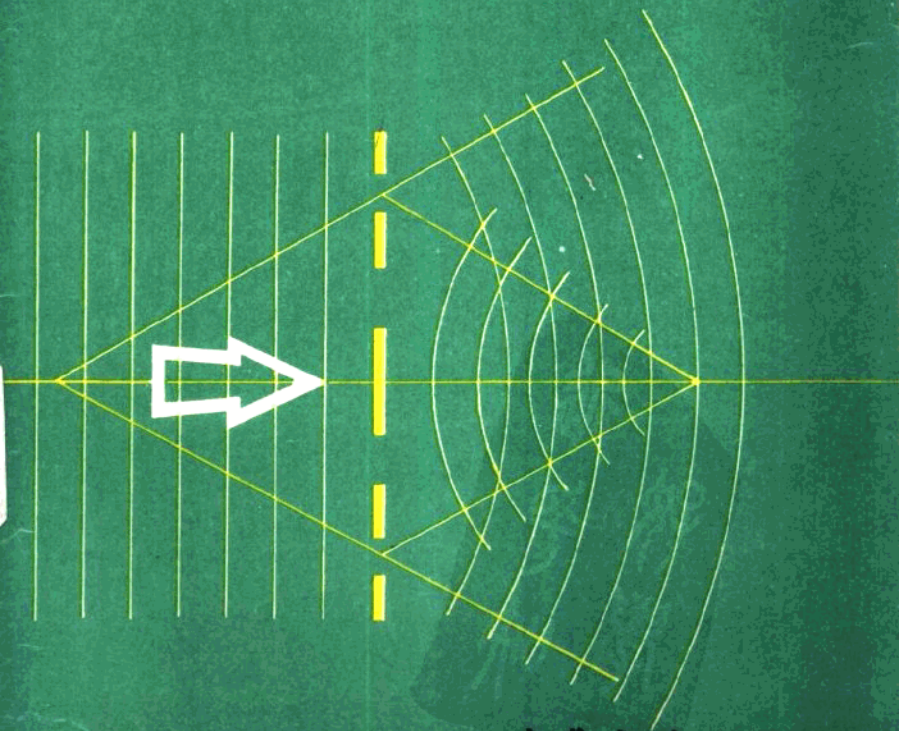


# 光学教程

【第二版】

姚启钧 原著

华东师大《光学》教材编写组 改编



高等教育出版社

高等学校教材

# 光 学 教 程

(第二版)

姚启钧 原著

华东师大《光学》教材编写组 改编

高等教育出版社

### 图书在版编目 (CIP) 数据

光学教程/姚启钧著 华东师大《光学》教材编写组改  
编。—2版。—北京：高等教育出版社，1989.10（2000重印）  
ISBN 7-04-002308-3

I. 光… II. ①姚… ②华… III. 光学-高等学校-教材  
IV. 043

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 00545 号

---

出版发行	高等教育出版社		
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	邮政编码	100009
电 话	010—64054588	传 真	010—64014048
网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>		
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	成都新华印刷厂		
开 本	850×1168 1/32	版 次	1981年6月第1版
印 张	19.125		1989年10月第2版
字 数	457 000	印 次	2000年7月第14次印刷
		定 价	18.10元

---

凡购买高等教育出版社图书，如有缺页、倒页、脱页等  
质量问题，请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

## 内 容 提 要

本书内容包括经典光学的主要原理(干涉、衍射、几何光学基础)和应用,并适当介绍了现代光学的基本原理:光的偏振,光的传播速度,光的吸收、散射和色散,光的量子性及现代光学基础。有些公式的数学推导作为附录列于各章之末。每章配有适当的例题和习题。全书讲授份量约为 72 学时。

本书可作为高等师范院校物理专业的教材,也可作为综合性大学、高等工科院校等有关专业的教学参考书,并可供中学物理教师及其他有关人员参考。

本书改编的具体分工为:宣桂鑫(绪论、第一、二、四、六、七章及全书统稿),赵玲玲(第三、五、八章),沈珊雄、徐志超(第九章),蒋可玉(习题并参加统稿)。

## 再版序言

本书自1981年初版以来,经过多年的教学实践并根据广大读者的意见和建议,我们对诸如光的非单色性和光源的线度对于干涉条纹的影响、扩展光源的等倾干涉、菲涅耳半波带合振幅的推导、面镜和薄透镜的成象、一般光具组放大本领的定义、放大镜放大本领的推导、光能量的传播、圆偏振光和椭圆偏振光、偏振光的干涉、旋光理论、黑体辐射、光电效应的量子解释和光的散射的处理作了改进,并增添了有关光的空间相干性和时间相干性、人眼的调节和简化眼、厚透镜的基点和基面公式、反射和透射光偏振态的电磁解释、自聚焦、米的新定义等内容,对例题和习题进行了调整和更新,改正了原书初版中的一些错误和疏漏。

谨向几年来热忱地向我们提供使用意见和建议的广大教师和读者们致以衷心的感谢。本书在修订和审阅过程中,四川大学郭永康副教授、北京师大黄婉云、唐伟国副教授和高等教育出版社的同志们对我们提供了许多宝贵意见和帮助,在此表示诚挚的感谢。书中一定还有不少缺点和不妥之处,恳请读者多多指正。

编者

一九八八年十二月

## 第一版序言

光学是普通物理学的一个重要组成部分,是研究光的本性、光的传播和光与物质相互作用的基础学科,它和原子物理、电动力学和量子力学等后继课程有密切的关系。激光的出现和发展,使光学的研究进入一个崭新的阶段,成为现代科学技术前沿阵地之一。

本书内容包括经典光学的主要原理和应用,并适当介绍了现代光学的发展。全书共九章,分五大部分:第一、第二、第五和第六章,主要讨论波动光学;第三和第四章,主要讨论几何光学;第七章讨论光的吸收、散射和色散;第八章主要讨论光的量子性。最后在第九章介绍了现代光学基础。此外,在绪论中还介绍了光学发展简史,以有助于培养学生的辩证唯物主义世界观。

本书是按照波动光学、几何光学、光的量子性和现代光学基础的次序安排的。波动光学放在最前面,是为了强调光的电磁本性,并考虑到和普通物理电磁学的衔接。这样处理,可将几何光学作为波动光学的近似和特例进行讨论,有助于从光的电磁本性来理解几何光学的内容。关于波动光学教学中所涉及的几何光学内容,可充分运用学生已具备的中学几何光学知识。使用本书时,也可以将几何光学放在最前面讲授,这时,可将光程的概念提前到几何光学中介绍,而把光学仪器的分辨本领部分放到衍射这一章中。

为了适应各校不同的需要,突出基本内容,某些章节采用小字排印并在标题上用星号(\*)标明。所有这些章节可机动使用,也可作为读者进一步学习的参考。本书各章的若干附录,介绍了某些公式的数学推导,不作为必要掌握的内容,只供教学上参考。为了启

发学生思维和巩固所学的知识,在各章末安排了一些例题和习题。

本书的原稿是华东师范大学物理系姚启钧教授于1965年根据教育部的委托,在他多年使用的讲义基础上编写而成的。不幸他在1966年惨遭迫害去世,现在只能由我们——他的学生来继续完成他未竟的工作,这也是对他最好的纪念。这次整理、改编是根据1980年6月高等学校理科物理教材编审委员会审定的高等师范院校物理专业《普通物理学(光学)教学大纲》的基本要求,并参考了近年来国内外有关资料及我校的教学实践经验,在郑一善教授指导下进行的,最后由郑一善教授校阅了全书。

整理、改编工作的分工如下:

绪论、第一、二、四、六、七章和附录等由宣桂鑫同志整理改编;第三、五和八章由赵玲玲同志整理改编;第九章由徐志超、沈珊雄同志整理改编,蒋可玉同志根据光学学习指导书,整理和核算了全书的例题和习题。宣桂鑫、蒋可玉统稿。

在1980年1月本教材的审稿会上,江苏师范学院(主审)、东北师范大学、陕西师范大学、安徽师范大学、四川大学、贵州大学、华中师范学院、华南师范学院、江西师范学院、上海师范学院和人民教育出版社等单位的同志提出了不少宝贵的修改意见。特别是在审查修改和定稿过程中,东北师大光学教研室、江苏师范学院凌德洪副教授、华东师范大学袁运开副教授、山东海洋学院于良同志和人民教育出版社邹延肃、胡南琦及其他不少同志给予了热心指导。并对我们提供了许多宝贵意见和帮助,我们在此一并表示衷心的感谢。

由于时间匆促,限于我们的水平,书中定有不少缺点、遗漏或错误,恳请广大教师和读者不吝指正。

华东师大《光学》教材编写组

一九八一年一月

# 教 学 说 明

现将各章的教学要求说明如下:

## 一、光的干涉

1. 着重阐明光的相干条件和掌握光程的概念。分析双光束干涉时,应着重分析光强分布的特征。

2. 着重阐明等倾干涉和等厚干涉的基本概念及其应用。条纹定域问题不作分析。额外程差只提形成的条件。

3. 介绍迈克耳孙干涉仪和法布里-珀罗干涉仪的原理及其应用,分析法布里-珀罗干涉仪时,应突出多光束干涉的特点。

4. 扼要介绍薄膜光学的内容。

5. 讨论时间相干性和空间相干性的概念。

6. 运用菲涅耳公式解释半波损失这部分内容是难点,作机动处理,但菲涅耳公式需要介绍。

## 二、光的衍射

1. 本章围绕惠更斯-菲涅耳原理,讲授菲涅耳积分表式的意义。

2. 着重阐明夫琅和费单缝衍射和衍射光栅。运用解析法推导夫琅和费单缝衍射光强公式。扼要介绍反射光栅。

3. 着重阐明光栅方程的导出及其意义。

4. 运用振幅矢量合成图介绍菲涅耳衍射时,圆孔、圆屏和直



边中可任选一种,但应着重介绍环状波带片。

6. 讲授夫琅和费圆孔衍射的强度公式时只提结论,着重说明第一最小值所在位置的重要性。

### 三、几何光学的基本原理

1. 阐明光线、实象、虚象和虚物等概念。
2. 由费马原理导出折射定律。
3. 着重阐明薄透镜的物象公式和任意光线的作图成象法,这些内容应配合习题课加强基本训练。
4. 几何光学的符号法则采用新笛卡儿符号法则。
5. 着重叙述基点、基面的物理意义。
6. 扼要介绍光学纤维的构造及其应用。

### 四、光学仪器的基本原理

1. 本章围绕衡量光学仪器特性的三个本领进行教学,其中着重阐明大本领和分辨本领(包括象和色分辨本领),扼要介绍聚光本领。

2. 在典型的光学仪器中,着重介绍望远镜和显微镜,并叙述数值孔径和相对孔径的意义。

3. 光度学中主要介绍光通量、亮度和照度的概念。
4. 象差概论中主要介绍球差和色差及其矫正方法。

### 五、光的偏振

1. 阐明惠更斯作图法,说明光在晶体中传播的规律。
2. 叙述布儒斯特定律和马吕定律。
3. 阐明自然光、平面偏振光、圆偏振光和椭圆偏振光的概念及其检定方法。

4. 叙述  $1/4$  波片的功用。

5. 干涉、衍射和偏振都是波动光学的主要内容，在讨论光的本性时，必须把它们联系在一起。由于通常的光学仪器大部分都与成象和摄谱有关，所以在前四章之后紧接介绍它们在光学仪器中的应用，巩固所学概念，然后再学习偏振。这样安排还考虑到偏振现象比较不易观察，涉及到各向异性的晶体等，初学者比较难于接受。在实际教学中完全可以根据具体情况加以适当调整。

## 六、光的传播速度

1. 介绍一、二种经典的和近代的测量光速的方法。
2. 着重叙述群速度的概念。

## 七、光的吸收、散射和色散

定性介绍光的吸收、散射和色散的经典解释。

## 八、光的量子性

着重叙述光的量子性和主要实验证据——光电效应和康普顿效应。

## 九、现代光学基础

1. 重点叙述亚稳态能级，受激发射光激励，粒子数反转，光振荡等基本概念。

2. 在激光器的种类这一节中，简单介绍红宝石激光器，He-Ne 激光器和可调谐染料激光器。

3. 结合电极化矢量扼要介绍非线性光学及其应用。

4. 定性解释全息照相的基本原理。

5. 扼要介绍空间频率、空间滤波等傅里叶光学的几个基本概念，供深入学习时参考。

# 目 录

绪 论 .....	1
§ 0-1 光学的研究内容和方法 .....	1
§ 0-2 光学发展简史 .....	2
第一章 光的干涉 .....	12
§ 1-1 光的电磁理论 .....	12
§ 1-2 波动的独立性、叠加性和相干性 .....	14
§ 1-3 由单色波叠加所形成的干涉花样 .....	19
§ 1-4 分波面双光束干涉 .....	25
§ 1-5 干涉条纹的可见度 光波的时间相干性和空间相干性 .....	36
§ 1-6 菲涅耳公式 .....	43
§ 1-7 分振幅薄膜干涉(一)——等倾干涉 .....	48
§ 1-8 分振幅薄膜干涉(二)——等厚干涉 .....	56
§ 1-9 迈克耳孙干涉仪 .....	61
§ 1-10 法布里-珀罗干涉仪 多光束干涉 .....	64
§ 1-11 干涉现象的一些应用 牛顿圈 .....	71
附录 1-1 振动叠加的三种计算方法 .....	78
附录 1-2 简谐波的表达式 复振幅 .....	80
附录 1-3 菲涅耳公式的推导 .....	81
附录 1-4 额外程差 .....	84
附录 1-5 有关法布里-珀罗干涉仪的(1-38)式的推导 .....	87
附录 1-6 有同一位相差的多光束叠加 .....	88
习 题 .....	91
第二章 光的衍射 .....	94
§ 2-1 光的衍射现象 .....	94
§ 2-2 惠更斯-菲涅耳原理 .....	96
§ 2-3 菲涅耳半波带 .....	99
§ 2-4 菲涅耳衍射(圆孔和圆屏) .....	102

§ 2-5 菲涅耳直边衍射*	110
§ 2-6 夫琅和费单缝衍射	113
§ 2-7 夫琅和费圆孔衍射	123
§ 2-8 平面衍射光栅	127
§ 2-9 晶体对伦琴射线的衍射	140
附录 2-1 夫琅和费单缝衍射次波的叠加	145
附录 2-2 夫琅和费圆孔衍射次波的叠加	146
附录 2-3 平面光栅衍射次波的叠加	149
习 题	151
<b>第三章 几何光学的基本原理</b>	<b>154</b>
§ 3-1 光线的概念	154
§ 3-2 费马原理	155
§ 3-3 单心光束 实象和虚象	158
§ 3-4 光在平面界面上的反射和折射 光学纤维	161
§ 3-5 光在球面上的反射和折射	171
§ 3-6 光连续在几个球面界面上的折射 虚物的概念	182
§ 3-7 薄透镜	185
§ 3-8 近轴物点近轴光线成像的条件	193
§ 3-9 理想光具组的基点和基面	198
§ 3-10 理想光具组的放大率 基点和基面的性质	211
§ 3-11 一般理想光具组的作图求象法	215
附录 3-1 图 3-6 中 $P_1$ 和 $P'$ 点坐标的计算	217
附录 3-2 棱镜最小偏向角的计算	219
附录 3-3 近轴物在球面反射时物象之间光程的计算	220
附录 3-4 空气中的厚透镜物象公式的推导	220
习 题	223
<b>第四章 光学仪器的基本原理</b>	<b>229</b>
§ 4-1 人的眼睛	230
§ 4-2 助视仪器的放大本领	233
§ 4-3 目镜	236
§ 4-4 显微镜的放大本领	239
§ 4-5 望远镜的放大本领	243

§ 4-6	光阑 光瞳 .....	248
§ 4-7	光能量的传播 .....	255
§ 4-8	物镜的聚光本领 .....	264
§ 4-9	幻灯机的聚光和成象* .....	270
§ 4-10	单色象差概述 .....	273
§ 4-11	正弦定理和正弦条件* .....	282
§ 4-12	近轴物近轴光线成象的色差 .....	285
§ 4-13	助视仪器的分辨本领 .....	289
§ 4-14	分光仪器的分辨本领 .....	296
	习 题 .....	302
<b>第五章</b>	<b>光的偏振 .....</b>	<b>305</b>
§ 5-1	自然光与偏振光 .....	305
§ 5-2	平面偏振光与部分偏振光 .....	308
§ 5-3	光通过单轴晶体时的双折射现象 .....	318
§ 5-4	光在晶体中的波面 .....	323
§ 5-5	光在晶体中的传播方向 .....	326
§ 5-6	偏振元件 .....	330
§ 5-7	椭圆偏振光和圆偏振光 .....	336
§ 5-8	偏振态的实验检定 .....	342
§ 5-9	偏振光的干涉 .....	345
§ 5-10	光弹性效应和电光效应* .....	352
§ 5-11	平面偏振光沿晶体光轴传播时振动面的旋转* .....	357
§ 5-12	偏振态的矩阵表述* 琼斯矢量和琼斯矩阵* .....	364
附录 5-1	从渥氏棱镜出射的两束平面偏振光夹角公 式(5-15)的推导 .....	373
	习 题 .....	373
<b>第六章</b>	<b>光的传播速度 .....</b>	<b>377</b>
§ 6-1	测定光速的天文学方法* .....	377
§ 6-2	测定光速的实验室方法 .....	379
§ 6-3	光源的运动对光速的影响* .....	390
§ 6-4	光的相速度和群速度 .....	394
	习 题 .....	402

<b>第七章 光的吸收、散射和色散</b> .....	404
§ 7-1 电偶极辐射对反射和折射现象的解释 .....	404
§ 7-2 光的吸收 .....	408
§ 7-3 光的散射 .....	411
§ 7-4 光的色散 .....	421
§ 7-5 色散的经典理论* .....	429
习 题 .....	433
<b>第八章 光的量子性</b> .....	435
§ 8-1 热辐射 基尔霍夫定律 .....	435
§ 8-2 黑体的经典辐射定律 .....	438
§ 8-3 普朗克辐射公式 能量子 .....	445
§ 8-4 光电效应 .....	449
§ 8-5 爱因斯坦的量子解释 .....	453
§ 8-6 康普顿效应 .....	460
§ 8-7 光压* .....	466
§ 8-8 德布罗意波* .....	467
§ 8-9 波粒二象性 .....	473
附录 8-1 从普朗克公式推导斯忒藩-玻尔兹曼定律 .....	475
附录 8-2 从普朗克公式推导维恩位移定律 .....	476
习 题 .....	477
<b>第九章 现代光学基础</b> .....	478
§ 9-1 原子发光的机理 .....	478
§ 9-2 光与原子相互作用 .....	482
§ 9-3 粒子数反转 .....	487
§ 9-4 光振荡 .....	494
§ 9-5 激光的单色性 .....	501
§ 9-6 激光的相干性 .....	510
§ 9-7 激光器的种类* .....	516
§ 9-8 非线性光学* .....	525
§ 9-9 全息照相 .....	534
§ 9-10 傅里叶光学的几个基本概念* .....	544

§ 9-11 阿贝成象原理	552
§ 9-12 阿贝-波特实验和空间滤波	559
附录 9-1 傅里叶变换	560
附录 9-2 单色光波复振幅的展开	561
习 题	562
<b>参考资料</b>	<b>564</b>
主要参考书目	564
附表	565
一、基本物理常数表	564
二、常用波长表(夫琅和费线)	566
三、常用晶体及光学玻璃的折射率表	567
四、液体折射率表(对 5893Å)	567
五、晶体的折射率 $n_o$ 和 $n_e$ 表(对 5893Å)	568
六、常用激光器波长表	568
习题答案	569
汉英词汇索引	573
照相图	584
1. 杨氏双缝干涉花样 (§ 1-4)	
2. 迈克耳孙干涉仪 (§ 1-9)	
3. 迈克耳孙干涉仪的干涉花样 (§ 1-9)	
4. 法布里-珀罗标准具的干涉花样 (§ 1-10)	
5. 空气薄膜厚度不同形成的环状干涉花样 (§ 1-11)	
6. 菲涅耳圆孔衍射花样 (§ 2-4)	
7. 菲涅耳直边衍射花样 (§ 2-5)	
8. 夫琅和费单缝衍射花样(普通光源) (§ 2-6)	
9. 夫琅和费单缝衍射花样(He-Ne 激光光源) (§ 2-6)	
10. 夫琅和费圆孔衍射花样 (§ 2-7)	
(a) 普通光源	
(b) He-Ne 激光光源	
11. 会聚光通过晶体时的干涉花样 (§ 5-9)	
(a) 尼科耳正交	
(b) 尼科耳平行	
12. 在不同压强下钠蒸汽的反常色散 (§ 7-4)	

13. 电子射线通过金箔时的衍射花样 (§ 8-9)
14. 激光的各种横向模式 (§ 9-6)
15. 可调谐染料激光器的实验装置 (§ 9-7)
16. 全息照相实验装置 (§ 9-9)
17. 由网格形成的频谱 (§ 9-12)
  - (a) 网格
  - (b) 频谱
18. 水平狭缝滤波器形成的象 (§ 9-12)
  - (a) 频谱
  - (b) 象
19. 网格的象及其对比度反转 (§ 9-12)
  - (a) 网格的象
  - (b) 对比度反转的网格象



# 绪 论

## § 0-1 光学的研究内容和方法

光学的研究内容十分广泛,它包括光的发射、传播和接收等规律,光和其它物质的相互作用(如光的吸收、散射和色散,光的机械作用和光的热、电、化学和生理效应等),光的本性问题以及光在生产和社会生活中的应用。光学既是物理学中最古老的一门基础学科,又是当前科学领域中最活跃的前沿阵地之一,具有强大的生命力和不可估量的发展前途。在讨论中我们可以把它分成几何光学、波动光学、量子光学和现代光学四大部分。学好光学,既能为物理系学生进一步学习原子物理、相对论、量子力学等课程准备必要的前提条件,又有助于我们进一步探讨微观和宏观世界的联系与规律,并把这些规律用于祖国的社会主义现代化建设中去。

光学的发展过程,是人类认识客观世界的历史长河中一个重要的组成部分。是不断揭露矛盾和克服矛盾、从不完全和不确切的认识逐步走向较完善和较确切认识的过程。它的不少规律和理论是直接来自生产实践中总结出来的,也有相当多的发现来自长期的系统的科学实验,因此,生产实践和科学实验是推动光学发展的强大动力,为光学发展提供了丰富的源泉。

光学的发展为生产技术提供了许多精密、快速、生动的实验手段和重要的理论依据;而生产技术的发展,又反过来不断向光学提出许多要求解决的新课题,并为进一步深入研究光学准备了物质条件。因此,同其它自然科学一样,光学与生产实践的关系生动地