

711/138/17

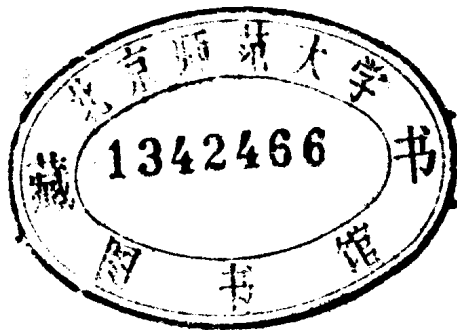
高等学校教学用书

普通物理学

第四册 波动光学与近代物理

梁绍荣 池无量 杨敬明 主编

孙荣山 胡镜寰 编



北京师范大学出版社

内 容 简 介

本书是在 1981年10月“全国综合大学及师范院校外系普通物理教学及教材讨论会”之后编写的。初稿经两次教学实践后，修改成普通物理学讲义，在此基础上，又经过反复讨论、修改，编成这套非物理专业用的“普通物理学”。全书共分四册：第一册力学，第二册热学，第三册电磁学，第四册波动光学与近代物理，共用150—180学时。

波动光学与近代物理共有七章：光的干涉，光的衍射，光的偏振，狭义相对论，光的量子性，原子的量子理论，原子核和基本粒子。每章附有适量思考题和习题，书末附有习题答案。

本书可作为高等学校非物理专业的教材或教学参考书，也可作函授、教师进修学院的教材或教学参考书。

高等学校教学用书

普 通 物 理 学

第四册 波动光学与近代物理

栗绍荣 池无量 杨敬明 主编

孙荣山 胡镜寰 编

*

北京师范大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

辽宁省实验印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张：10.375 字数：254千

1985年12月第1版 1985年12月第1次印刷

印数：1—12,000

统一书号：13243·98 定价：2.55元

前 言

本书是供非物理专业（理科）使用的《普通物理学》的第四册，全书分波动光学和近代物理两部分，共七章。课堂讲授约需40学时。

波动光学部分分三章，包括光的干涉、光的衍射和光的偏振等波动光学的基本原理、规律和研究方法，并适当编入光学的新发展和应用。近代物理部分分四章，介绍了作为近代物理两大理论基础的狭义相对论和量子理论。书中从一些重要实验出发建立起相应的理论，根据这些理论分别讨论了物体在高速运动时的规律和新的时空观，以及原子、原子核、基本粒子这些微观粒子的基本性质和变化规律。结合非物理专业课程的特点，本教材在阐明基本物理现象、物理概念和物理规律的基础上，力求深入浅出，易于掌握。

本书的波动光学部分由孙荣山编写。近代物理部分的第一章由梁绍荣编写，其余三章由胡镜寰编写（第二章的初稿由孙荣山撰写）。波动光学部分由黄婉云审阅，近代物理部分的第一章由池无量审阅，其余三章由梁绍荣审阅。全书由梁绍荣复核定稿。在成书过程中，许多同志提出了不少宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

由于我们学识水平有限，教学经验不多，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

1984年10月于北京师范大学

目 录

波 动 光 学

引 言	2
第一章 光的干涉	4
§ 1-1 杨氏双缝实验	4
§ 1-2 相干光源 其它干涉装置	11
§ 1-3 光程和光程差	17
§ 1-4 薄膜干涉	20
§ 1-5 劈尖的干涉 牛顿环	26
§ 1-6 迈克尔逊干涉仪	33
思考题	36
习 题	38
第二章 光的衍射	41
§ 2-1 光的衍射现象	41
§ 2-2 惠更斯-菲涅耳原理	43
§ 2-3 夫琅和费单缝衍射	46
§ 2-4 夫琅和费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	57
§ 2-5 衍射光栅 光栅光谱	62
§ 2-6 伦琴射线的衍射	72
§ 2-7 全息照相	75
思考题	79
习 题	81
第三章 光的偏振	84

§ 3-1	自然光和偏振光	84
§ 3-2	偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	86
§ 3-3	反射光和折射光的偏振	89
§ 3-4	双折射现象	92
§ 3-5	惠更斯原理对双折射现象的解释	96
§ 3-6	用双折射晶体做成的偏振器	99
§ 3-7	旋光现象	103
§ 3-8	椭圆偏振光和圆偏振光 波片	105
§ 3-9	偏振光的干涉 人为双折射现象	108
思考题		113
习 题		116

近代物理

引 言	120
第一章 狭义相对论	121
§ 1-1 狭义相对论的实验基础	122
§ 1-2 爱因斯坦理论	128
§ 1-3 洛仑兹变换	134
§ 1-4 速度变换公式	144
§ 1-5 相对论力学	147
X § 1-6 相对论中的“观测”与“看见”	154
习 题	158
第二章 光的量子性	161
§ 2-1 热辐射和基尔霍夫定律	161
§ 2-2 黑体辐射定律和普朗克辐射公式	165
§ 2-3 光电效应	168
§ 2-4 光子 爱因斯坦方程	172
§ 2-5 康普顿效应	175

§ 2-6	光的二象性	179
习 题		180
第三章	原子的量子理论	181
§ 3-1	原子的核型结构	181
§ 3-2	氢原子的光谱规律	184
§ 3-3	玻尔的氢原子理论	188
§ 3-4	德布罗意假设 测不准关系	200
§ 3-5	波函数 薛定格方程	208
§ 3-6	氢原子问题的量子力学处理	215
§ 3-7X	碱金属原子光谱 电子的自旋	229
§ 3-8X	多电子原子和元素周期表	239
* § 3-8X	激光	251
习 题		257
X第四章	原子核和基本粒子	260
§ 4-1	原子核的某些基本性质	260
* § 4-2	核力和核的结构模型	273
§ 4-3	原子核的放射衰变	278
§ 4-4	原子核反应的基本概念 原子能的利用	290
§ 4-5	基本粒子介绍	303
习 题		318
习题答案		320

波 动 光 学

引 言

光（这里指可见光）是能激起人们视觉的电磁波。其频率在 7.7×10^{14} 到 3.9×10^{14} 赫兹之间。

任何频率的光在真空中的传播速度都相同。通常以 c 表示，最佳实验值为

$$c = (2.997924580 \pm 0.000000012) \times 10^8 \text{ 米/秒}$$

在一般计算中可取

$$c = 3.00 \times 10^8 \text{ 米/秒}$$

于是容易求得光在真空中的波长范围是3900到7700埃。

人眼对颜色的感觉是由光的频率引起的。同一频率的光，在不同的媒质中波长不同，但人眼所感觉到的颜色是相同的，而不同频率的光，人眼所感觉到的颜色是不同的。在真空中，光的不同波长范围和人眼不同颜色感觉之间的对应关系，大致如下：

红	7700—6300埃
橙	6300—5900埃
黄	5900—5700埃
绿	5700—5000埃
蓝	5000—4600埃
靛	4600—4300埃
紫	4300—3900埃

自身能发光的物体称为光源。光源都是由大量的分子或原子组成的，所以光源发光总是光源中大量的分子或原子发光。具有一定频率的光叫单色光，光源中大量分子或原子所发的光一般具有各种不同的频率，这种由不同频率合成的光叫复色光。复色光

通过分光元件（例如三棱镜）或滤光器可以得到某种频率的单色光，但这样得到的单色光总是有一定的频率范围。激光是单色性更好的单色光，人们常用激光做单色光使用。

因光是一种电磁波，所以光在传播过程中，常表现出干涉、衍射等波动所具有的特性，近代物理指出，光不仅具有波动性，还具有粒子性，当光和物质相互作用时，常表现出光的粒子性。光具有波动性又具有粒子性，这叫做光的波粒二象性。

光学是物理学的一个分科。它主要研究光的本性，光的发射、传播和吸收的规律，光和其它物质的相互作用及其应用。

通常将光学分为几何光学和物理光学两部分，物理光学又可分为波动光学和量子光学两个分支。以光的直线传播性质及光的反射、折射定律为基础的光学称为几何光学，以光的波动性质为基础的光学称为波动光学，以光的粒子性为基础的光学称为量子光学。

这里仅讨论波动光学，主要内容有光的干涉、光的衍射和光的偏振。对于光的粒子性在近代物理部分介绍。至于几何光学的内容，由于篇幅所限，本书就不做讨论了。

第一章 光的干涉

光的干涉现象是光的波动性的重要特征之一。本章着重讨论光的干涉的基本规律，给出几种典型的干涉装置，并介绍光的干涉现象的一些重要应用。

§ 1-1 杨氏双缝实验

从对机械波的讨论我们知道，两列波相遇发生干涉的条件是：振动频率相同、振动方向一致、位相相同或位相差恒定。若上述条件满足，则两列波合成以后，波的强度在空间不是均匀分布的，而是在某些地方表现为极大，在另一些地方表现为极小，形成一个随位相差不同而不同的一个稳定的分布，这就是波的干涉现象。光是电磁波，因此光也有干涉现象。在光波的情形里，传播的是交变电磁场，在 E 和 H 两个矢量中，通常对人眼或感光仪器起作用的主要是电矢量 E ，因此我们常用 E 矢量来表示光波中的振动矢量，称为光矢量或光振动。

杨氏 (Thomas Young) 在1801年首先用实验的方法研究了光的干涉现象。他所做的实验叫杨氏双缝干涉实验。实验装置如图1-1所示。单色平行光垂直照射到开有狭缝 S 的不透明的遮光板（称为光阑）上，后面置有另一开有两个狭缝 S_1 和 S_2 的光阑， S_1 、 S_2 到 S 的距离相等，且均与 S 平行。从 S_1 、 S_2 发出的光在空间叠加将产生干涉现象。若在 S_1 和 S_2 后放一屏幕 S_c ，在 S_c 上将出现一组稳定的明暗相间的条纹，称为干涉条纹。实验表明，

干涉条纹有如下特点：

(1) P_0 处为中央明条纹，在其两侧分布着明暗相间的条纹，所有条纹都与狭缝平行。

(2) 若改变光的波长，则条纹间距也相应改变。波长越长，条纹越疏；波长越短，条纹越密。

(3) 若用白光作实验，中央条纹是白色的。在中央条纹的两侧，因各单色光所成条纹疏密不同而形成彩色条纹重叠的现象。

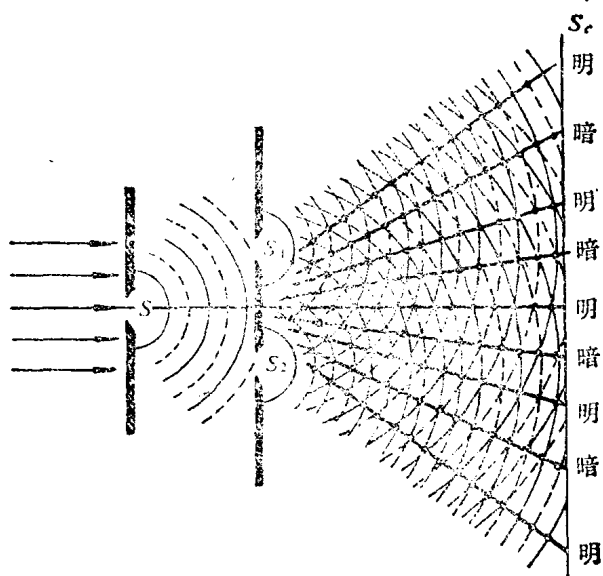


图 1-1

下面定量讨论 S_c 上干涉条纹的分布情况。如图1-2所示，设 S_1 与 S_2 相距 d ， A 为 d 的中点， S_1 、 S_2 到 S_c 的距离为 D ， P 为 S_c 上任一点， P 到 S_1 、 S_2 的距离分别为 r_1 、 r_2 ， P 到 P_0 的距离为 x ， $D \gg x$ ， $D \gg d$ ，则由几何关系可知，从 S_1 和 S_2 所发的光到达 P 点的波程差（即几何路程差）为

$$\delta = r_2 - r_1 \approx d \sin \theta \approx d \tan \theta \approx \frac{dx}{D}$$

式中的 θ 意义示于图中。

如果 $\delta = \pm k\lambda$

或 $x = \pm k \frac{D\lambda}{d}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1-1)$

则根据位相差和波程差的关系式

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda} \rightarrow$$

位相差

可求得二光在 P 点的位相差为

$$\Delta\phi = \pm 2k\pi$$

P 点因二光波干涉相互加强而成为亮点，在 S_0 上通过 P 点出现

一明条纹。相应于 $k=0$ 的称为零级明条纹（或中央明条纹）。

相应于 $k=1$ 的称为第一级明条纹。依此类推。

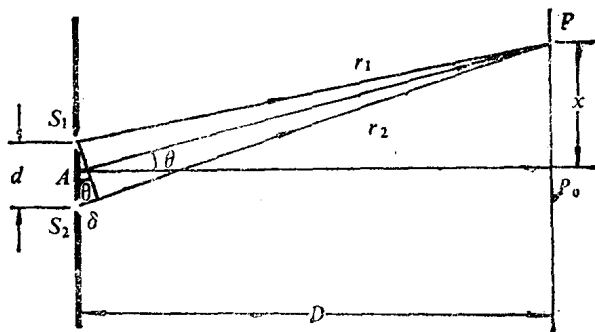


图 1-2

如果 $\delta = \pm (2k+1) \frac{\lambda}{2}$

或 $x = \pm (2k+1) \frac{D\lambda}{2d}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1-2)$

可求得二光在 P 点的位相差为

$$\Delta\phi = \pm(2k+1)\pi$$

P 点因二光波干涉相互消弱而成为暗点，在 S_0 上通过 P 点出现一暗条纹。同样， k 为几就称相应的条纹为第几级暗条纹。显然零级明条纹有一条，而零级暗条纹有两条。

式(1-1)和式(1-2)分别表示各级明纹中心和各级暗条纹中心所在的位置到中心点 P_0 的距离。两相邻明条纹中心之间的距离（或两相邻暗条纹中心之间的距离） Δx 叫条纹间距。由式

(1-1)或式(1-2)所求出的 Δx 是相同的。按式(1-1)，对于第 k 级明条纹和第 $(k+1)$ 级明条纹有

$$x_k = k \frac{D\lambda}{d}$$

和

$$x_{k+1} = (k+1) \frac{D\lambda}{d}$$

由上面两式等号两边相减，可以得到

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D\lambda}{d} \quad (1-3)$$

由式(1-2)同样可导出式(1-3)。

式(1-1)、(1-2)和(1-3)是研究杨氏实验所得出的三个基本公式。前面从实验中所得到的干涉条纹的几个特点，都可用这三个基本公式加以说明。由式(1-3)可知，条纹间距 Δx 与条纹级数 k 无关，即干涉条纹是等距的。若已知 D 、 d ，又测得 Δx ，就可由式(1-3)求出所用光的波长；若已知 D 、 d 和波长 λ 就可求出 Δx 。若改变光的波长，而保持实验的其它条件都不变，由式(1-3)可以知道 Δx 随 λ 的增大而增大。由于不同波长的光干涉条纹的间距 Δx 不同，所以，当用白光时，所产生的干涉图样，在零级条纹两侧将出现几条彩色条纹，彩色条纹的颜

色由内向外的排列是从紫到红。当波程差 δ 较大时，若满足关系

$$\delta = k_1 \lambda_1 = k_2 \lambda_2 \quad (1-4)$$

则 λ_1 的第 k_1 级条纹和 λ_2 的第 k_2 级条纹发生在同一位置，这种现象就是条纹的重叠。在屏幕 S_0 上距 P_0 点越远，波程差 δ 越大，则不同波长不同级数的条纹重叠的机会就越多。

例如，当 $\delta = 20000$ 埃时，有

$$\delta = 4 \times 5000 \text{ 埃} = 3 \times 6667 \text{ 埃}$$

这表明在可见光范围内，5000埃的第四级条纹和6667埃的第三级条纹发生重叠；而当 $\delta = 40000$ 埃时，有

$$\delta = 9 \times 4444 \text{ 埃} = 8 \times 5000 \text{ 埃} = 7 \times 5714 \text{ 埃} = 6 \times 6667 \text{ 埃}$$

这表明在可见光范围内，有四种不同波长不同级数的条纹发生重叠。当波程差足够大时，则因不同波长不同级数的条纹发生严重的重叠，将得到均匀的强度分布，干涉条纹就消失了。

如果波程差 δ 不满足式(1-1)也不满足式(1-2)，则 P 点介于最明和最暗之间。

上面所述“明”、“暗”，应决定于在观察时间 τ 内能流密度的平均值 $\bar{S}$ 。由电磁波的理论可知

$$S \propto E^2$$

E_0 为光振动的振幅。在波动光学中，习惯上把平均能流密度 $\bar{S}$ 称为光强度，简称光强，并常用 I 表示。由于波动光学中最关心的是光波所到达各处光强度的相对值，所以可直接把观察点的光强度和该点光振动振幅的平方写成等式，即

$$I = E^2 \quad (1-5)$$

下面推导两列光相干时合成光强的一般表示式。

在图1-2中，设入射光的圆频率为 ω ， S_1 和 S_2 所发出的光在 P 点引起的光振动的量值可分别表示为

$$E_1 = E_{10} \cos(\omega t - \phi_1)$$

$$E_2 = E_{20} \cos(\omega t - \phi_2)$$

合成光振动的量值为

$$\begin{aligned} E &= E_1 + E_2 \\ &= E_0 \cos(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

式中

$$\begin{aligned} E_0 &= \sqrt{E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\phi_1 - \phi_2)} \\ \phi &= \tan^{-1} \frac{E_{10}\sin\phi_1 + E_{20}\sin\phi_2}{E_{10}\cos\phi_1 + E_{20}\cos\phi_2} \end{aligned}$$

对于所考察的P点，位相差

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = 2\pi \frac{\delta}{\lambda}$$

与时间无关，所以P点的合成光强为

$$\begin{aligned} I &= E^2 \\ &= E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\Delta\phi) \end{aligned}$$

式中 E_{10}^2 和 E_{20}^2 分别为两束光单独存在时的光强 I_1 和 I_2 ，所以

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\phi) \quad (1-6)$$

合成后的光强不是简单的相加，它的数值随二光束在屏幕上各点位相差（或波程差）的不同而不同，有些地方加强，有些地方减弱。

若 $I_1 = I_2 = I_0$ ，则合成后的光强为

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{\Delta\phi}{2} \quad (1-6')$$

当式(1-1)成立时，位相差

$$\Delta\phi = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \dots$$

在这些位置光强最大，此时有

$$I = 4I_0$$

当式(1-2)成立时，位相差

$$\Delta\phi = \pm\pi, \pm 3\pi, \dots$$

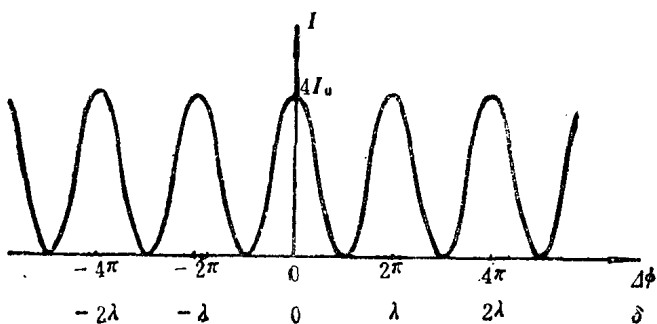


图 1-3

在这些位置光强最小，此时有

$$I = 0$$

将式 (1-6') 所表示的光强 I 随位相差 $\Delta\phi$ (或波程差 δ) 变化的关系画成曲线，如图1-3所示。

杨氏干涉实验的成功，为光的波动理论确立了实验基础，因此，这一实验在光学的发展中是有重大意义的。杨氏实验还为精确地测定光的波长提供了科学的方法，杨氏根据他的实验在历史上第一次测定了光的波长。

例题 1 如果双缝相距 0.2mm ，双缝到屏幕的距离为 1m ，测得第三级明条纹与中央明条纹中心位置之间的距离为 9mm ，求所用光的波长。

解：设 λ 为所求的波长，由式 (1-1) 可知

$$\lambda = \frac{x d}{k D} = \frac{9 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-3}}{3 \times 1} = 6 \times 10^{-7} \text{ (m)}$$

即所求波长为 $6000\text{\AA}$ 。

例题 2 上题中，实验装置不变，若所用光的波长为 $4000\text{\AA}$ ，求条纹间距。