

第二版

大学物理学 下册

University Physics

彭长德 罗灵芝 编著

中国矿业大学出版社

大学物理学

(第二版)

(下册)

尹 钊 编著
潘苏东

中国矿业大学出版社

内容提要

本套教材是为高等师范院校理科非物理类专业的学生学习物理课程而编写的。全书分上、中、下三册。上册为力学和热学;中册为电磁学;下册为光学和近代物理学。编者在为适应 21 世纪物理教学知识现代化方面作了尝试,并选编了一些与现代科学技术密切相关的阅读材料。本套教材也可作为理工科有关专业大学物理课程、中学物理教师和自学考试者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/尹 钊等编著. —2 版. —徐州:中国矿业大学出版社,2002.8
ISBN 7-81070-033-2

I. 大… II. 尹… III. 物理学-高等学校:教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 060429 号

书 名 大学物理学
编 著 彭长德 罗灵芝
责任编辑 朱明华
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
排 版 中国矿业大学印刷厂排版中心
印 刷 中国矿业大学印刷厂
经 销 新华书店
开 本 850×1168 1/32 印张 11.375 字数 294 千字
版次印次 2002 年 8 月第 2 版 2002 年 8 月第 1 次印刷
印 数 1~2050 册
总 定 价 39.80 元(共三册)
(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

目 录

第四篇 波动光学

第十五章 光的干涉	3
§ 15-1 光源 光的相干性	4
§ 15-2 分波阵面干涉	7
§ 15-3 时间相干性与空间相干性	13
§ 15-4 分振幅薄膜干涉	16
§ 15-5 迈克耳孙干涉仪	28
思考题	33
习题	34
第十六章 光的衍射	37
§ 16-1 惠更斯-菲涅耳原理	38
§ 16-2 夫琅和费单缝衍射	42
§ 16-3 光栅衍射	50
§ 16-4 夫琅和费圆孔衍射光学仪器的分辨本领	56
§ 16-5 全息照相	62
思考题	66
习题	67
第十七章 光的偏振	69
§ 17-1 自然光和偏振光	70
§ 17-2 偏振的起偏和检偏马吕斯定律	73

§ 17-3 反射和折射光的偏振布儒斯特定律	77
§ 17-4 双折射现象	81
§ 17-5 椭圆偏振光和圆偏振光	90
§ 17-6 偏振光的干涉	97
§ 17-7 旋光现象	101
阅读材料九 光信息处理	102
思考题	109
习 题	111

第五篇 近代物理

第十八章 相对论基础	115
§ 18-1 伽利略相对性原理 伽利略坐标变换式	116
§ 18-2 狭义相对论基本原理洛伦兹变换	121
§ 18-3 狭义相对论的时空观	125
§ 18-4 狭义相对论动力学基础	133
阅读材料十 广义相对论	137
思考题	141
习 题	142
第十九章 光的量子性	143
§ 19-1 热 辐 射	144
§ 19-2 绝对黑体的辐射定律	146
§ 19-3 普朗克量子假说	149
§ 19-4 光电效应	152
§ 19-5 光子 爱因斯坦方程	157
§ 19-6 康普顿效应	161
§ 19-7 光的波粒二象性	166
思考题	166

习 题.....	167
第二十章 玻尔的氢原子理论.....	168
§ 20-1 原子的核式结构模型.....	169
§ 20-2 氢原子光谱的规律.....	171
§ 20-3 玻尔的氢原子理论.....	174
§ 20-4 类氢离子.....	182
§ 20-5 氢原子的椭圆轨道.....	187
§ 20-6 夫兰克-赫兹实验.....	191
§ 20-7 玻尔理论的地位.....	194
思考题.....	196
习 题.....	196
第二十一章 量子力学基础.....	197
§ 21-1 物质的波粒二象性.....	198
§ 21-2 测不准关系.....	203
§ 21-3 波函数的统计解释.....	207
§ 21-4 薛定谔方程.....	212
§ 21-5 量子力学对氢原子的描述.....	219
思考题.....	235
习 题.....	235
第二十二章 多电子原子和元素周期律.....	237
§ 22-1 碱金属原子光谱.....	238
§ 22-2 电子的自旋 碱金属原子光谱的精细结构.....	248
§ 22-3 多电子原子体系的基本规律.....	252
§ 22-4 原子的电子壳层结构和元素周期律.....	255
阅读材料十一 激光.....	262
思考题.....	268
习 题.....	268
第二十三章 原子核.....	270

§ 23-1	原子核的基本性质	271
§ 23-2	核力的性质	285
§ 23-3	原子核的放射性衰变	289
§ 23-4	原子核反应	297
§ 23-5	原子核的裂变和聚变 原子能的利用	303
思考题		314
习 题		314
第二十四章	基本粒子	316
§ 24-1	基本粒子的性质和分类	317
§ 24-2	基本粒子的四种相互作用	324
§ 24-3	描述基本粒子的各种量子数	328
§ 24-4	对称性与守恒定律	335
§ 24-5	强子的分类和夸克模型	343
思考题		349
习 题		349
习题答案		351
附录一	常用物理基本常数表	354
附录二	希腊字母	355
附录三	元素周期表	357

第四篇 波动光学

光学的研究内容十分广泛,包括光的发射、传播和接收规律,光和物质的相互作用,光的本性以及光的应用。

光学是物理学中历史最悠久的学科。早在春秋战国时期,墨翟及其弟子所著《墨经》是开始对光学知识的最早记录。从墨翟开始的两千多年,光学经历了漫长而又缓慢的发展过程,直到 17 世纪下半叶,牛顿和惠更斯把光的研究引向进一步发展的道路。牛顿根据光的直线传播,提出光的本性的微粒说,认为光是从光源物体发射出来且直线飞行的微粒流。同时代的惠更斯则倡导光的波动说,认为光是一种机械波,靠所谓“以太”这种弹性媒质来传播。由于牛顿的崇高威望,当时多数物理学家采纳了光的微粒说,直到 19 世纪初,光的波动说才进入它的辉煌时期。

1801 年,英国物理学家杨氏研究光的干涉现象,用光波的叠加来解释干涉,并用干涉的方法第一次测量了光波波长。波动说真正获得物理学界的公认是菲涅耳提出的惠更斯-菲涅耳原理,这建立了波动说的数学论证。

19 世纪 60 年代,麦克斯韦建立了光的电磁理论,随后赫兹于 1888 年用实验证明了光是一种电磁波。但麦克斯韦仍然认为光传播需要以太,人们曾设计许多实验,来寻找以太,但结果都没有成功。1905 年,爱因斯坦提出了光子理论,成功地解释了光电效应,这一时期的许多实验证明了光的量子性。这样一来,光的粒子性又得到确认。

人们通过大量实验认识到,光不是单纯的波动,但光的干涉、

衍射等现象必须用波动来解释；光也不是单纯的粒子，但热辐射、光电效应等现象都必须用微粒说来解释。所以，光具有波粒二象性，即光同时具有波动性和粒子性，在某些现象中主要表现为波动，而在另一些现象中又主要表现为粒子。波动性和粒子性是同时存在的一对矛盾的两个方面，这就是光的本性。

自 1960 年第一台激光器问世以来，光学开始了一个崭新的发展时期，成为现代物理学和现代科学技术前沿的重要组成部分，同时发挥着日益重要的作用。

光学一般分为几何光学、物理光学和现代光学三大部分，而物理光学又可分波动光学和量子光学。本篇只讨论波动光学，主要研究光的干涉、衍射和偏振等基本波动现象。

第十五章 光的干涉

§ 15-1 光源 光的相干性

§ 15-2 分波阵面干涉

§ 15-3 时间相干性与空间相干性

§ 15-4 分振幅薄膜干涉

§ 15-5 迈克耳孙干涉仪

大自然是一有机会就要说谎的。

——G. R. 达尔文

在两束或多束光的叠加区域内呈现稳定的强弱分布现象,称为**光的干涉现象**,光的干涉现象证实了光的波动性。本章主要内容是根据光的干涉现象和实验事实来揭露光的波动性,初步明确光波是电磁波不是机械波,并介绍干涉现象和几种重要的应用。

§ 15-1 光源 光的相干性

一、光是电磁波

在电磁波谱的讨论中,我们知道光是电磁波,可见光是波长在 $4000\text{ \AA} \sim 7600\text{ \AA}$ 之间的电磁波。电磁波是横波,由两个互相垂直的振动矢量即电场强度 E 和磁场强度 H 来表征,而 E 和 H 都与电磁波的传播方向相垂直。在光波中,产生感光作用与生理作用的是电场强度 E ,因此我们将 E 称为**光矢量**, E 的振动称为**光振动**。

二、光源

发射光波的物体称为**光源**。太阳、电灯、日光灯等都是常见的光源。不同材料的物体在不同激发方式下的发光过程可以很不相同,但却有着一个共同点,即都是物质发光的基本单元(原子、分子等),从具有较高能量的激发态到较低能量激发态跃迁过程中释放能量的一种形式。

常见的发光过程有以下几类:

1. 热辐射——任何热物体都辐射电磁波,在温度较低时,热物体主要辐射红外线,温度高的热物体可以发射可见光、紫外线等。太阳,白炽灯都属于热辐射发光光源。

2. 电致发光——电能直接转换为光能的现象称为电致发光。闪电、霓虹灯以及半导体 PN 结的发光过程都是电致发光过程。

3. 光致发光——用光激发引起的发光现象称光致发光。光致

发光的典型例子就是日光灯,它是通过灯管内气体放电产生的紫外线激发管壁上的荧光粉而发射可见光,这种发光过程叫做荧光。

4. 化学发光——由于化学反应而发光的过程称为化学发光。例如,燃烧过程就是化学发光,萤火虫的发光是特殊类型的化学发光过程,称为生物发光。

三、光的相干性

在机械波中,两列波相遇产生干涉现象的条件是,振动频率相同,振动方向相同,位相差恒定。两列振动方向相同的同频率的简谐波一定是相干的。但是,用两个独立的同频率的单色光源却不能得到光的干涉图案。下面我们作简单的说明。

设两个同频率单色光在空间某一点的光矢量 E_1 和 E_2 的数值分别为

$$E_1 = E_{10} \cos(\omega t - \phi_1), \quad E_2 = E_{20} \cos(\omega t - \phi_2)$$

迭加后分成的光矢量 $E = E_1 + E_2$ 。如果两光矢量是同方向的,合成光矢量的数值为

$$E = E_0 \cos(\omega t - \phi)$$

$$\text{式中 } E_0 = \sqrt{E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20} \cos(\phi_1 - \phi_2)}$$

$$\phi = \arctan \frac{E_{10} \sin \phi_1 + E_{20} \sin \phi_2}{E_{10} \cos \phi_1 + E_{20} \cos \phi_2}$$

在观察的时间间隔 t 内,平均光强 I 是正比于 $\overline{E_0^2}$ 的,即

$$\begin{aligned} I \propto \overline{E_0^2} &= \frac{1}{t} \int_0^t E_0^2 dt \\ &= \frac{1}{t} \int_0^t [E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20} \cos(\phi_1 - \phi_2)] dt \\ &= E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20} \frac{1}{t} \int_0^t \cos(\phi_1 - \phi_2) dt \end{aligned}$$

由于分子或原子发光的不规则性和间歇性,因而上两光波间的相位差 $\phi_1 - \phi_2$ 瞬息万变,在所观察的 t 时间内经历 0 到 2π 间的一

切数值,从而

$$\int_0^t \cos(\phi_1 - \phi_2) dt = 0$$

因此

$$\overline{E_0^2} = E_{10}^2 + E_{20}^2$$

或

$$I = I_1 + I_2$$

两束光重合后的光强 I 等于两束光分别照射时的光强 I_1 和 I_2 之和。此时两束光是不相干的。

当两束光有恒定的相位差时,其合成后的光强为

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_1 - \phi_2)$$

由于两束光存在着相位差 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$, 合成后的光强一般不是简单地相加, 它的数值随着两光束到达屏幕上的相位差的改变而不同。即屏幕上各点的强度重新分布了, 有些地方加强 ($I > I_1 + I_2$), 有些地方减弱。这两束光在迭加的区域出现稳定的强弱分布的现象, 就是光的干涉, 这两束光是相干的。

从上面的讨论看出, 两束光产生干涉的条件(即相干条件)有:

①频率相同; ②相位差恒定; ③光矢量振动方向平行。

由于分子或原子发光的间歇性, 同时大量分子或原子发光的独立性, 它们的频率、振动方向和相位不可能保持恒定, 所以来自两个独立光源的光波不能满足相干的条件, 即使利用同一光源上两个不同的部分, 也不可能得到相干光波。然后, 我们可利用某些方法(如反射、折射等)将光源发出的每一列光都分成两束或多束, 使它们经过不同路程后再在空间相遇。因为这两束或多束光是从同一波列分出来的, 它们的频率、振动方向、初相位等尽管瞬息万变, 但相互间却时时保持相同, 使它们在相遇点有恒定的相位差, 因而满足了相干条件, 在相遇区域产生干涉现象。这种来自同一光源的两束相干光, 相当于来自两个位相差恒定的光源, 这一对光源称为相干光源。

要将一列光波分离成两束或多束光, 基本的方法有两种: 分波

阵面法是从点光源(或线光源)发出的球面波(或柱面波)的同一波阵面上,通过隔截、反射或折射取出两部分或几部分波面当作新的光源;分振幅法是利用光的反射、折射将入射光的振幅分成两部分或几部分。

§ 15-2 分波阵面干涉

分波阵面法产生的干涉有杨氏双缝干涉、菲涅耳双面镜干涉、洛埃镜干涉、光栅干涉等,下面我们分别来讨论。

一、杨氏双缝实验

杨氏(T. Young, 1773—1829)在 1801 年用分波阵面法获得了光的干涉,这是最早获得光的干涉的典型实验,也是光的波动理论得以成立的决定性实验。实验装置如图 15-1 所示,在单色平行光前放一狭缝 S , S 前又放有与 S 平行而且等距离的两条平行狭缝 S_1 和 S_2 。两条缝间的距离很小,这时 S_1 和 S_2 正好是从 S 发出柱面波的同一波面上的两部分,所以 S_1 和 S_2 可以看作一对同位相的相干光源。从双缝 S_1 和 S_2 发出的光就是从同一波阵面发出的两束相干光,将在空间迭加,产生干涉现象。如果在 S_1 和 S_2 前放置一屏幕 E , 屏幕上将出现一系列稳定的明暗相间的条纹,称为干涉条纹。这些条纹都与狭缝平行,条纹间的距离彼此相等。

二、菲涅耳双面镜实验

菲涅耳(A. J. Fresnel, 1788—1827)双面镜为一对紧靠在一起夹角 ϵ 很小的平面反射镜 M_1 和 M_2 , 如图 15-2。从线光源 S 发出的柱面波经反射镜分割为两束相干光波,把接收屏 E 置于两光束的叠加区,则可观察到干涉条纹。

S_1 和 S_2 分别为 S 经反射镜 M_1 和 M_2 所成的虚像,如杨氏干

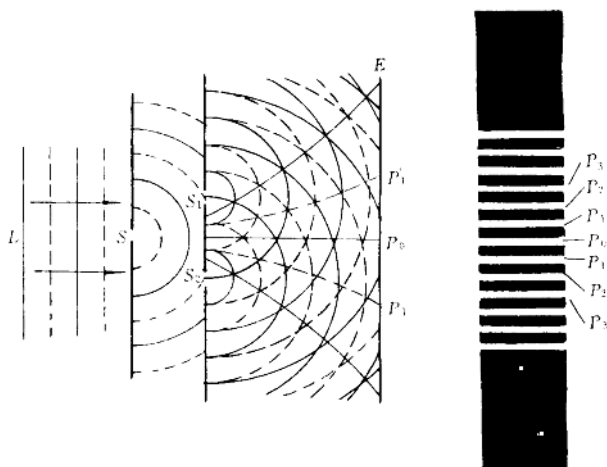


图 15-1 双缝干涉实验简图

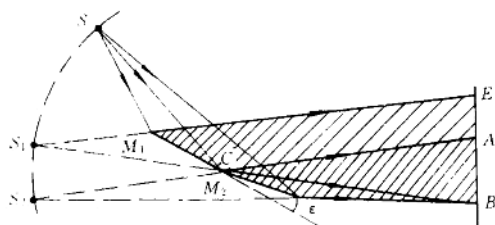


图 15-2 菲涅耳双面镜

涉中的双缝,可作为两个相干光源(虚光源)。

三、洛埃镜实验

洛埃(H. L. Lloyd, 1800—1881)提出了一种更简单的观察干涉现象的装置,如图 15-3 所示。 S_1 是一狭缝光源,一部分光线直接射

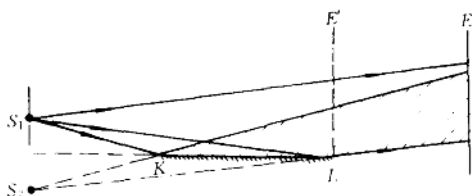


图 15-3 洛埃镜实验

到屏幕 E 上,另一部分几乎与镜面平行地(入射角接近于 90°)射向平面镜 KL ,然后反射到屏幕上。 S_2 是 S_1 在镜中的虚像, S_2 和 S_1 构成一对相干光源。图中有阴影的部分是相干光在空间重叠的区域。

在洛埃镜实验中,如果将屏幕移近到与洛埃镜相接触,即图 15-3 中 E' 的位置,这时到达接触处的两光束的波程差为零,但实验结果在接触处并不出现明条纹,而是一暗条纹。这一实验事实证实了电磁波理论中光从光疏介质(折射率小的介质)到光密介质(折射率大的介质)界面反射时,有位相 π 的突变,即有半波损失。

四、干涉明暗条纹的条件

现在我们对屏幕上干涉条纹的位置作定量的分析。在图 15-4 中,设有相干光源 S_1 与 S_2 之间的距离为 d ,其中点为 M ,到屏幕 E 的距离为 D ,且 $D \gg d$ 。在屏幕上任取一点 P , P 距 S_1 与 S_2 的距离分别为 r_1 和 r_2 。从 S_1 与 S_2 所发出的光到达 P 点处的波程差(我们称之为光程差)是:

$$\delta = r_2 - r_1 \approx d \sin \theta$$

此时 θ 是 PM 和 M 处中垂线之间的夹角。

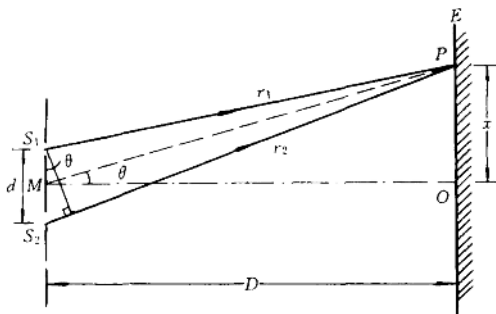


图 15-4 双缝干涉条纹

如果满足

$$d \sin \theta = \pm k\lambda, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (15-1)$$

P 为一亮点。 S_1 与 S_2 是两平行狭缝, 相应地, S_1S_2 到达 P 点且平行于狭缝的直线上各点的光程差满足上述条件, 因而在屏幕上 P 点出现一明条纹。对应于 $k=0$ 的称为零级明条纹, 或中央明条纹。相应于 $k=1, k=2, \dots$ 称为第一级, 第二级……明条纹。

如果满足

$$d \sin \theta = \pm (2k-1) \frac{\lambda}{2} \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (15-2)$$

P 点为一暗点, 相应于 $k=1, k=2, \dots$, 称为第一级, 第二级……暗条纹。

如果两光束到达 P 点的光程差对上述两条件均不满足, 则 P 点光强介于最明与最暗之间。

下面具体计算各明暗条纹中心所在的位置。在图 15-4 中, 设 P 点到屏幕上对称中心 O 点的距离为 x , 由于 θ 很小, $\sin \theta \approx \tan$