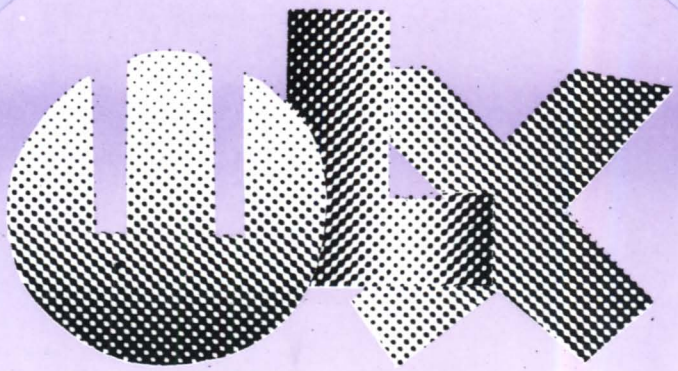
第三册

·高等学校教学用书·

大学物理学

四川大学等七所高等院校编



四川大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

高等学校教学用书

大学物理学

第三册

解放军后勤工程学院　武汉大学
四川工业学院　贵州师范大学
成都理工学院　四川三峡学院
四川大学

四川大学出版社

编者的话

《大学物理学》是高等院校理工科各类专业的一门重要基础课程。一套既能满足各类专业及高科技发展要求，符合教学大纲规定，又能使教师好用学生好学的教材，是教学改革中教材建设的一个重要课题。我们想从“横向联合”方面来探索这个课题，为此，联合了理科大学、工科大学、师范大学等多所高等院校的物理教师，在交流与综合各类院校教学经验的基础上，合作编写了这套《大学物理学》。

编写《大学物理学》的依据是委颁大学本科非物理类专业的教学大纲。编写的主要考虑是：(1)在注意与中学物理衔接的基础上，突出大学物理的教学内容。在力学部分作了结构上的改变，在讲清物理思想与物理概念的同时，增强了高等数学的应用；(2)在保持各分支学科纵向深度适当的同时，注意各学科间的横向联系与渗透的广度，特别注意在联系近代高科技应用方面“开口子”、“找接口”。书中这方面内容用带“*”号标记，供教师选择或学生阅读之用；(3)为利于教与学两个方面，书中增加了讲授例题的数量与类型。精选了习题的层次与类型，并在每部分末附有与标准化试题类似的综合练习题；(4)为配合《大学物理学》的使用，我们还编写了全部习题与综合习题的解答。

《大学物理学》分为四册，第一册内容为力学与热学；第二册内容为电磁学；第三册内容为光学与近代物理学；第四册内容为习题及综合练习题解答。

参加第三册编写的人员有：

武汉大学：刘宏清　赵有伦　徐斌富　马　莉　张少平　周武光

贵州师范大学：孙梅丽　李康云

解放军后勤工程学院：范森春　李树河

四川工业学院：张绍成　蒋　红

成都理工学院：林隆述

四川三峡学院：刘兴业

四川大学：杨自觉　黄邦俊

第三册由四川大学杨自觉修编与定稿。

我们对支持和关心本书编写和出版的所有同仁和单位表示诚挚的感谢。书中不足不妥之处，欢迎批评指正。

编　者

1995年3月于成都

目　录

第四编　波动光学

第十六章　光的干涉

§16－1　光的相干性　相干光的获得 …… (4)

§16－2　分波前两光束干涉 …… (13)

§16－3　光波场的空间相干性 …… (20)

§16－4　分振幅薄膜干涉 …… (21)

§16－5　薄膜的等倾干涉 …… (24)

§16－6　薄膜的等厚干涉条纹 …… (27)

§16－7　迈克耳孙干涉仪　光波场的时间相干性 …… (32)

习　题 …… (36)

第十七章　光的衍射

§17－1　光的衍射现象 …… (40)

§17－2　惠更斯——菲涅耳原理 …… (42)

§17－3　夫琅和费单缝衍射 …… (43)

§17－4　衍射光栅　光栅光谱 …… (53)

§17－5　光学仪器的分辨率 …… (59)

§17－6　X射线的衍射　布喇格公式 …… (63)

§17－7　全息摄影原理 …… (66)

习　题 …… (68)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第十八章　光的偏振
§18－1　光波的偏振状态 …… (70)
§18－2　起偏和检偏　马吕斯定律 …… (73)
§18－3　反射和折射时光的偏振 …… (77)
§18－4　双折射现象 …… (80)
§18－5　椭圆偏振光和圆偏振光　波片 …… (87)
§18－6　偏振光的干涉 …… (92)
*§18－7　人为双折射 …… (94)
*§18－8　旋光现象 …… (97)
习　题 …… (99)

第五编　近代物理学

第十九章　狭义相对论
§19－1　经典力学的相对性　伽利略变换 …… (106)
§19－2　迈克耳孙—莫雷实验　狭义相对论的基本假设 ……
…… (111)
§19－3　洛伦兹变换 …… (116)
§19－4　狭义相对论的时空观和运动学 …… (119)
§19－5　相对论动力学的重要结果 …… (131)
*§19－6　广义相对论 …… (140)
习　题 …… (145)
第二十章　光的量子性
§20－1　热辐射　基尔霍夫定律 …… (147)
§20－2　绝对黑体的辐射定律 …… (150)
§20－3　黑体辐射经典公式　普朗克量子假说 …… (154)
§20－4　光电效应 …… (158)
§20－5　康普顿效应 …… (165)
§20－6　光的波粒二象性 …… (171)
习　题 …… (174)

第二十一章　玻尔氢原子理论
§21－1　原子的有核模型 …… (177)
§21－2　氢原子光谱的规律 …… (180)
§21－3　玻尔理论 …… (183)
§21－4　夫兰克——赫芝实验 …… (192)
§21－5　玻尔理论的历史意义 …… (193)
习　题 …… (195)
第二十二章　量子力学基础
§22－1　量子力学的实验基础 …… (198)
§22－2　测不准关系 …… (204)
§22－3　波函数 …… (207)
§22－4　薛定谔方程 …… (212)
§22－5　量子力学对氢原子的描述 …… (225)
习　题 …… (240)
第二十三章　多电子原子
§23－1　多电子原子的能量和电子壳层 …… (243)
§23－2　碱金属原子能级和光谱 …… (248)
§23－3　粒子的全同性　泡里不相容原理 …… (251)
§23－4　元素的周期律 …… (257)
§23－5　内层电子跃迁　俄歇效应 …… (265)
习　题 …… (268)
第二十四章　原子核
§24－1　原子核的结构和基本性质 …… (270)
§24－2　核衰变 …… (278)
§24－3　核反应 …… (281)
习　题 …… (285)
第二十五章　基本粒子

§25－1 基本粒子的分类 …… (287)
§25－2 基本粒子的相互作用 …… (290)
§25－3 基本粒子的各种量子数 …… (294)
§25－4 守恒定律和对称性 …… (300)
*§25－5 超多重态理论 …… (305)
*§25－6 基本粒子的结构 …… (310)
*§25－7 规范理论 …… (311)
习 题 …… (314)
第二十六章 固体的能带理论 超导体
§26－1 电子的共有化 …… (317)
§26－2 导体、半导体和绝缘体的能带 …… (320)
§26－3 半导体简介 …… (324)
§26－4 P－n 结 …… (328)
§26－5 超导电性及其应用 …… (332)
§26－6 超导电性的理论简介 …… (335)
习 题 …… (338)
第四编综合练习题…… (340)
第五编综合练习题…… (348)
习题及综合练习题参考答案…… (357)

第四编　波动光学

光学是物理学中最早研究的一门学科。其研究内容十分广泛，包括光的发射、传播和接收规律，光和物质的相互作用（如光的吸收、散射和色散等），光的本性以及光在生产和社会生活中的应用。

光学的发展经历了一个漫长而又缓慢的过程，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性质，提出了关于光的本性的微粒说，认为光是从光源物体发射出来且直线飞行的微粒流。和牛顿同时代的惠更斯则倡导光的波动说，认为光是在假设的介质——"以太"中传播的弹性波，机械"以太"则是一种充满整个宇宙空间的弹性介质。当时多数科学家采纳了光的微粒说。1801年，杨氏[Young，Thomas 1773.6——1829.5 英国物理学家]研究了光的干涉现象，用光波的彼此叠加来解释这种现象，还用干涉的方法第一次测量了相应于可见光的光波波长。波动说获得科学界的公认，是在菲涅耳[Fresnel，Augustin－Jean，1788.5—1827.7 法国物理学家]发表了关于他在1815年到1821年所做工作的回忆录之后。在这个回忆录中，菲涅耳根据自己的实验研究和当时别的学者已经得到的资料，用杨氏干涉原理补充了惠更斯原理，形成惠更斯——菲涅耳原

理，建立了波动说的数学论证。应用光的弹性波理论既能说明光的直线传播，又能解释光的干涉和衍射现象等等，光的波动说得以确立。

到19世纪70年代，麦克斯韦(Maxwell)用光的电磁理论代替光的机械波理论，认为光是电磁波。这个理论在1888年被赫芝(Hertz)的实验所证实，光的电磁理论获得普遍的公认。在认识光的本性方面，光的电磁理论较之弹性波理论向前迈进了一大步；然而，在这一理论中，"以太"的假设依然保持，只是用电磁"以太"代替了机械"以太"。

19世纪末到20世纪初，光学的研究深入到光的发生、光和物质相互作用的微观机构中，光的电磁理论遇到了困难，它不能解释黑体辐射、光电效应等问题。1900年，普朗克(Planck Max 1858·4～1947·10 德国物理学家，量子力学开创者和奠基人)从物质分子结构理论中借用了不连续性的概念，提出了辐射的量子论，成功地解释了黑体辐射问题。后来，爱因斯坦[Einstein Albert 1879·3—1955·4 美籍德国人，20世纪伟大的科学家]发展了普朗克量子论，提出光子理论。光子理论不仅圆满地解释了光电效应，并为后来的许多实验所证实。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，但光电效应等现象却必须用粒子性来解释。所以，光具有波粒二象性，即同时具有波动性和粒子性。在某些现象中光主要表现为波动，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，光学开始了一个新的

发展时期，成为现代物理学和现代科学技术前沿阵地的重要组成部分，并且在人类生产和生活中发挥着日益重要的作用。

光学一般分为几何光学和物理光学两大部分。物理光学又可分为波动光学和量子光学。本编只讨论波动光学，包括光的干涉、衍射和偏振等基本波动现象。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第十六章　光的干涉

在两束光或多束光的叠加区域内光强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。

本章首先介绍光的相干性，相干光的获得，光程，光程差及半波损失等描述干涉的基本概念。着重讨论两光束干涉的规律及其应用，最后简介迈克耳逊干涉仪。

§16－1　光的相干性　相干光的获得

一、光矢量　光波场

在电磁波谱的讨论中，我们已知：光是电磁波。可见光是波长在4000～7600 Å狭窄范围内的电磁波。电磁波是横波，电场强度E和磁场强度H都与传播方向垂直。

实验发现，引起视觉和感光作用等光学效应的，主要是电场强度矢量E，因此在光学中我们将E称为光矢量，E的振动称为光振动。有光波存在的区域称为光波场。在光波场中振动的物理量就是光矢量，所以光波是矢量波。但在讨论光的干涉、衍射等问题时，可以预先规定统一方向，这样就可把光矢量作为标量来处理，以简化问题。

描写光波场时空分布的函数称为波函数，记为$E(P、t)$，P代表场点。例如，真空中沿x方向传播的平面谐波的波函数可写为

$$E(x、t) = E_0\cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}x) \qquad (16-1)$$

式中ω为谐波的圆频率；λ为谐波的波长。上式表明，单色平面光波场是在时间和空间上都无限延伸的周期性波场，其波函数$E(x、t)$的特点是：(1)振幅E_0是常数；(2)初位相$\varphi(x)=\frac{2\pi}{\lambda}x$是坐标的线性函数。

最具实际意义的光波场为定态光波场。定态光波场特征是：(1)波场中各点作同频率的简谐振动；(2)波场中各点振动的振幅不随时间变化，在空间形成一个稳定的振幅分布。定态光波场的波函数可写为

$$E(P,t) = E_0(P)\cdot\cos[\omega t - \varphi(P)] \qquad (16-2)$$

上式中$E_0(P)$表示光矢量振幅的空间分布，而$\varphi(P)$表示位相的空间分布，二者都与时间t无关。

二、光程　半波损失

介绍“光程”、“光程差”、“半波损失”等基本概念。

我们知道，光的频率由光源决定，与传波媒质无关，而光的波长则要随传波媒质不同而变化。频率单一的光，称为单色光。如果频率为ν的单色光，在真空中传播速度为c，其波长为λ，则它在折射率为n的媒质中传播时，速度变为$u=c/n$，而波长则为

$$\lambda_n = \frac{u}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n}$$

因为$n>1$，所以同一频率的光在介质中的波长要比真空中的波长短。

光传播一个波长λ_n的路程时，其位相变化2π，因而传播几何路程r的位相变化为

$$\Delta\varphi=\frac{2\pi}{\lambda_n}\cdot r=\frac{2\pi}{\lambda}\cdot nr \qquad (16-3)$$

上式表明，光在介质n中传播路程r所产生的位相变化，等价于光在真空中传播路程nr的位相变化。我们把介质的折射率与光的几何路程的乘积nr，称为光程。它相当于在相同时间内光在真空中所传播的路程。引入光程这一概念，可以把光在不同介质中传播的情况，都统一转换成在真空中的传播，而不再考虑波长的改变，且可同时正确地表达出光传播所产生的位相变化。

两光束光程的差值，称为光程差（用符号Δ表示）。例如，图16－1表示单色光源S_1与S_2发出的二束光在与S_1、S_2等距离的P点相遇，其中一束光通过空气（折射率近似为1），而另一束光还要走一段折射率为n，厚度为t的媒质。虽然这两束光几何路程都是r，但光程不同，光线S_1P的光程就是几何路程r，而光线S_2P的光程却是$(r-t)+nt$。两者的光程差$\Delta=[(r-t)+nt]-r=(n-1)t$，对应的位相差为

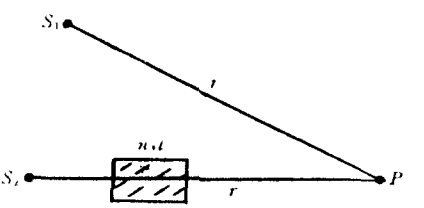


图16－1

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n-1)\cdot t$$

不仅光的传播会引起位相变化，光在媒质分界面上反射时，也可能发生位相变化，典型的例子为“半波损失”现象。光从折射率小的光疏媒质向折射率大的光密媒质表面入射时，在反射处反射光的位相有大小为π的突变。位相变化π相当于光程差为半个波长，所以通常把位相突变π的现象称为“半波损失”。

引入光程概念后，在介质内沿x方向传播的平面谐波的波函数可以推广(16－1)式而得，即可表示为

$$E(x,t) = E_0 \cdot \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda}nx) \qquad (16-4)$$

式中λ仍为平面谐波在真空中的波长，ω为谐波的圆频率。

三、光波场的叠加　相干条件

当两列波在同一空间的传播时，空间各点均同时参与每列波在该点引起的振动。故两光波相遇叠加的问题，可归结为相遇空间内各点电磁振动的叠加问题。如图16－2所示，我们假设S_1和S_2为两个单色光源，发生频率相同、振动方向相同的两列光波，t时刻在任意相遇点P处引起的光振动分别为

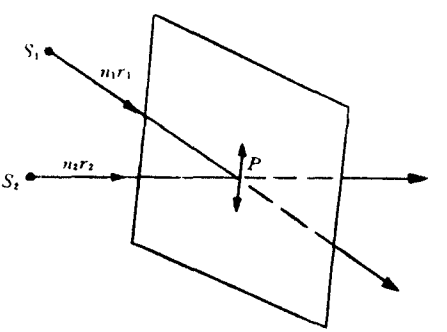


图16－2

$$E_1 = E_{10} \cdot \cos(\omega t + \alpha_1 - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_1 r_1)$$

$$= E_{10} \cdot \cos(\omega t + \varphi_1) \qquad (16-5)$$

$$E_2 = E_{20} \cdot \cos(\omega t + \alpha_2 - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_2 r_2)$$

$$= E_{20} \cdot \cos(\omega t + \varphi_2) \qquad (16-6)$$

式中α_1和α_2为光源的初相位，E_{10}和E_{20}为分振动振幅，φ_1和φ_2则是两光波在P点所产生振动的初位相。显然，P处光振动的合矢量为

$$E(P,t) = E_1(P,t) + E_2(P,t)$$

叠加后P处的光强应由合振动的振幅平方决定，有

$$I \sim E_0^2 = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

在波动光学中，重要的是光强的相对分布，为此常令比例系数为1，即常认定$I = E_0^2$。考虑到实际观察到的光强是在较长时间τ($\tau \gg$光波周期T)内的平均效果，即有

$$I = \overline{E_0^2}$$

$$= \frac{1}{\tau}\int_0^\tau [E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_1 - \varphi_2)]\mathrm{d}t$$

$$= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\,\frac{1}{\tau}\int_0^\tau \cos(\varphi_1 - \varphi_2)\mathrm{d}t$$

$$(16-7)$$

式中I_1、I_2是单色光源S_1、S_2单独存在时在P点产生的光强，称为分光强，它们是不随时间变化的定值。第三项$2\sqrt{I_1 I_2}\,\frac{1}{\tau}\int_0^\tau \cos(\varphi_1 - \varphi_2)\mathrm{d}t$称为干涉项，其值由$P$处两分振动的位相差$\delta = \varphi_1 - \varphi_2$决定。干涉项对$P$点光强影响很大，讨

论如下：

(1)若在观察时间τ内，δ随时间变化极为迅速，且是杂乱无章的，可以取零到2π的任何值。则易推知，由于δ多次重复地取0～2π范围内的任意值，并且取每个值的机会均等，在$\tau \gg T$时间间隔内，式(16－7)干涉项中余弦取正值的机会和取负值的机会相等。即有$\int_0^\tau \cos\delta \mathrm{d}t = 0$，因而$P$点处的光强为

$$I = I_1 + I_2 \qquad (16-8)$$

表明两光波叠加所产生的总强度等于各分强度之和，干涉项不起作用。这样的叠加是非相干叠加，参与叠加的光称为非相干光，其光源相应地称为非相干光源。

(2)若在观察时间τ内δ是恒定的：显然式(16－7)中被积的余弦函数可以从积分号中提出，就有：

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\delta \qquad (16-9)$$

由于$\delta = (\alpha_1 - \alpha_2) + \frac{2\pi}{\lambda}(n_2 r_2 - n_1 r_1)$随光程差$\Delta = n_2 r_2 - n_1 r_1$变化，其值只随观察点而异。于是在某些位置上，$\cos\delta > 0$，$I > I_1 + I_2$，这些点的振动状态始终加强；在某些位置上，$\cos\delta < 0$，$I < I_1 + I_2$，这些点的振动状态始终减弱。因而在空间形成稳定分布的明暗相间的条纹，我们称这种特殊的叠加现象为干涉现象。干涉项时间平均值不为零的叠加，称为相干叠加。即相干叠加所形成的光强在相遇空间内稳定的不均匀分布现象，称为干涉现象。参与相干叠加的光为相干光，其光源称为相干光源。相干叠加所形成的干涉场是定态光波场。

在多数实际情况下，相干光源同位相($\alpha_1 = \alpha_2$)，叠加点P

需要全本请访问 www.ertongbook.com