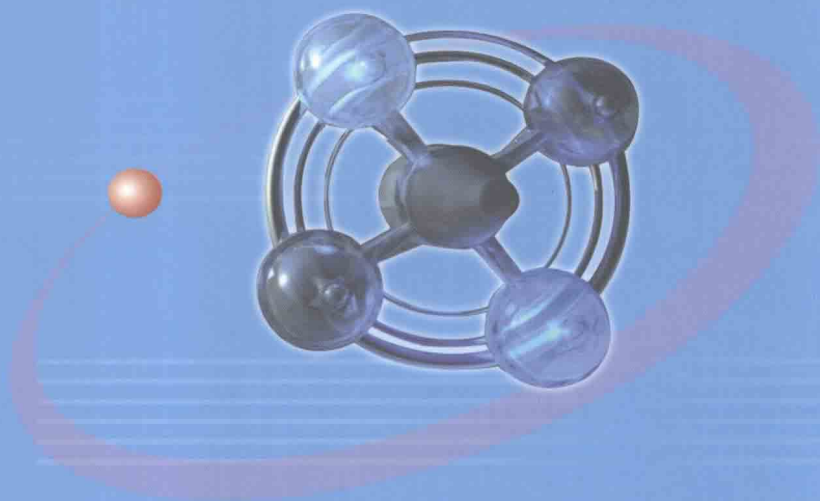


应用型本科理工类基础课程规划教材

大学物理 (下)

王秀敏 主编
涂海华 副主编



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

—— 教育部高等学校物理类专业教学指导委员会推荐教材

大学物理(下)

第2版
下册



清华大学出版社

应用型本科理工类基础课程规划教材

大学物理 (下)

王秀敏 主 编
涂海华 副主编

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书是根据精讲多练教学法的实践成果,面向应用型本科非物理专业学生编写的教学用书。总的指导思想是:多形象分析,少抽象推演;多用通俗易懂的语言描述,少用深奥晦涩的术语论证。全套共分上、下两册,建议总学时为128学时。其中,加*号及热学部分的内容,教师可根据实际教学需要进行取舍。本书整体架构清晰,内容设置具有层次性,因而也可作为其他本、专科院校进行大学物理教学或教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.下册/王秀敏主编. —北京:北京邮电大学出版社,2008.4 (2008.8重印)

ISBN 978-7-5635-1377-2

I. 大… II. 王… III. 物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第051946号

书 名: 大学物理(下)

主 编: 王秀敏

责任编辑: 周 堃

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 306千字

版 次: 2008年5月第1版 2008年8月第2次印刷

ISBN 978-7-5635-1377-2

定 价: 24.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

应用型本科理工类基础课程规划教材

编审委员会

主任

李尚志(教育部高等学校数学基础课程教学指导分委员会副主任、教授、博士生导师)

副主任 (按姓氏笔画排列)

卢玉峰(教育部高等学校数学基础课程教学指导分委员会委员)

朱传喜(教育部高等学校数学基础课程教学指导分委员会委员)

张承璐(教育部物理学类专业教学指导分委员会委员)

陈 强(教育部物理基础课程教学指导分委员会委员)

委员 (按姓氏笔画排列)

于崇智 王秀敏 白同亮 米红海

吴大江 杨水其 李平平 李连富

金宗谱 姜炳麟 涂海华 黄世益

目 录

第四篇 波动光学

第 9 章 光的干涉	3
9.1 光的相干性	3
9.1.1 普通光源的发光机制	3
9.1.2 相干光	4
9.1.3 相干光的获得方法	4
9.2 光程 光程差	5
9.2.1 光程和光程差的概念	5
9.2.2 透镜的等光程性	7
9.2.3 反射光的相位突变和附加光程差	8
9.2.4 干涉加强和减弱的条件	9
9.3 杨氏双缝干涉	11
9.3.1 杨氏双缝干涉实验	11
9.3.2 其他几种双缝干涉实验	15
9.4 薄膜干涉	17
9.4.1 薄膜干涉中光程差公式	17
9.4.2 等倾干涉	18
9.4.3 高反射膜和增透膜	19
9.5 薄膜的等厚干涉	21
9.5.1 劈尖膜干涉	21
9.5.2 牛顿环干涉	25
9.6 迈克耳逊干涉仪	27
9.6.1 仪器的基本结构	27

9.6.2	干涉条纹	28
9.6.3	迈克耳逊干涉仪的优点及应用	29
	习题九	29
第 10 章	光的衍射	33
10.1	光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	33
10.1.1	光的衍射现象	33
10.1.2	惠更斯-菲涅耳原理	34
10.1.3	光衍射的分类	34
10.2	单缝的夫琅和费衍射	35
10.2.1	实验装置	35
10.2.2	菲涅耳半波带法	36
10.2.3	单缝衍射图样的特点	37
10.3	衍射光栅	40
10.3.1	光栅	40
10.3.2	光栅衍射图样的特点	41
10.3.3	光栅应用——光栅光谱	44
10.4	圆孔的夫琅和费衍射与光学仪器的分辨率	45
10.4.1	圆孔的夫琅和费衍射	45
10.4.2	光学仪器的分辨本领	47
	习题十	49
第 11 章	光的偏振	51
11.1	自然光和偏振光	51
11.1.1	波的偏振性	51
11.1.2	自然光	52
11.1.3	偏振光	53
11.2	起偏和检偏 马吕斯定律	54
11.2.1	偏振片的起偏	54
11.2.2	偏振片的检偏	55
11.2.3	马吕斯定律	56
11.3	反射和折射时光的偏振	58
11.3.1	反射和折射时光的偏振	58
11.3.2	布儒斯特定律	59
11.4	光的双折射现象	61

11.4.1 光的双折射现象	61
11.4.2 双折射现象的应用	63
习题十一	65

第五篇 电磁学

第 12 章 静电场	71
12.1 电荷 库仑定律	71
12.1.1 电荷	71
12.1.2 库仑定律	72
12.2 电场 电场强度	74
12.2.1 电场	74
12.2.2 电场强度	75
12.2.3 点电荷电场的场强	76
12.2.4 场强叠加原理	77
12.2.5 连续分布电荷的电场场强	78
12.3 电通量 静电场中的高斯定理	81
12.3.1 电场线	81
12.3.2 电场强度通量	82
12.3.3 静电场中的高斯定理	83
12.3.4 高斯定理的物理意义	85
12.4 高斯定理的应用	86
12.4.1 应用高斯定理求解场强适用的第一种情况	87
12.4.2 应用高斯定理求解场强适用的第二种情况	89
12.5 静电场中的环路定理 电势	91
12.5.1 静电场力的功 静电场环路定理	91
12.5.2 电势能 电势	93
12.5.3 电势的计算	94
12.6 场强与电势的关系	97
12.6.1 等势面 电场线和等势面的关系	97
12.6.2 场强和电势的关系	99
12.7 静电场中的导体	101

12.7.1	静电场中的导体	101
12.7.2	导体对静电场的影响	103
12.7.3	静电屏蔽及其应用	105
12.8	电容器及其电容	108
12.8.1	导体及电容器的电容	108
12.8.2	平板电容器的能量	111
* 12.8.3	电容器的串联和并联	113
12.9	静电场中的电介质	114
12.9.1	静电场中的电介质	114
12.9.2	电介质中的静电场	115
* 12.9.3	静电场的能量	117
	习题十二	120
第 13 章	恒定磁场	124
13.1	磁感应强度与磁场的高斯定理	124
13.1.1	磁场 磁感应强度	124
13.1.2	磁感应线 磁通量	126
13.1.3	磁场中的高斯定理	128
13.2	毕奥-萨伐尔定律	128
13.2.1	磁场叠加原理	129
13.2.2	毕奥-萨伐尔定律	129
13.2.3	毕奥-萨伐尔定律的应用	130
13.3	安培环路定理及其应用	134
13.3.1	安培环路定理	134
13.3.2	安培环路定理的应用	136
13.4	磁场对运动电荷的作用	141
13.4.1	洛仑兹力	141
13.4.2	带电粒子在匀强磁场中的运动	142
13.4.3	带电粒子在非匀强磁场中的运动	145
13.5	磁场对载流导线的作用	147
13.5.1	安培定律	147
13.5.2	磁场对载流导线的作用	148
* 13.5.3	电流单位“安培”的定义	149
13.6	磁场对载流线圈的作用 磁力的功	151
13.6.1	磁场对载流线圈的作用	151

13.6.2	磁力的功	152
* 13.7	磁介质中的磁场	155
13.7.1	磁介质及其分类	155
13.7.2	磁介质中的磁场	157
	习题十三	160
第 14 章	电磁感应	165
14.1	电磁感应的的基本定律	165
14.1.1	电磁感应现象	165
14.1.2	楞次定律	166
14.1.3	法拉第电磁感应定律	167
14.1.4	感应电流和感应电量	169
14.2	感生电动势和动生电动势	170
14.2.1	动生电动势	170
14.2.2	感生电动势	175
14.3	自感和互感	178
14.3.1	自感系数和自感电动势	178
14.3.2	互感系数和互感电动势	182
14.3.3	自感系数和互感系数之间的关系	185
14.4	磁场的能量	186
* 14.5	麦克斯韦方程组	188
14.5.1	电场中的高斯定理	188
14.5.2	磁场中的高斯定理	188
14.5.3	电场中的环路定理	189
14.5.4	磁场中的环路定理	189
14.5.5	电磁波	192
	习题十四	196

第六篇 量子物理初步

第 15 章	量子物理初步	203
15.1	热辐射与普朗克量子假说	203

15.1.1	热辐射	203
15.1.2	热辐射的规律	204
15.1.3	普朗克量子假说	206
15.2	光电效应	207
15.2.1	光电效应现象及其规律	207
15.2.2	爱因斯坦光电效应方程	208
15.2.3	光的波粒二象性	210
15.3	实物粒子的波粒二象性	211
15.3.1	德布罗意公式	211
15.3.2	电子衍射实验	211
15.3.3	实物粒子的波粒二象性	212
15.3.4	不确定关系	213
	习题十五	214
	习题参考答案	216

第四篇 波动光学

光学是研究光的本性、光的传播以及光与物质相互作用等规律的学科。其内容通常分为几何光学、波动光学和量子光学3个部分。以光的直线传播为基础,研究光在透明介质中传播规律的 optics 称为几何光学;以光的波动性质为基础,研究光的传播及规律的 optics 称为波动光学;以光的粒子性为基础,研究光与物质相互作用规律的 optics 称为量子光学。本篇重点讨论波动光学的相关内容。

关于光本性的认识,人们经过了长期的探索。在17世纪,关于光的本性问题,有两派不同的学说。一派是牛顿所主张的光微粒说,认为光是从发光体发出的而且以一定的速度向空间传播的一种微粒;另一派是惠更斯所主张的光波动说,认为光是在介质中传播的一种波动。直到19世纪,托马斯·杨和菲涅耳等物理学家进一步发展了光的波动理论,并确认光是一种横波,使光的波动说在当时获得了普遍承认。19世纪后半期,麦克斯韦提出了光的电磁理论,证明光不是机械波,而是某一波段的电磁波,形成了以电磁波理论为基础的波动光学。19世纪末到20世纪初,人们又从热辐射、光电效应等一系列光与物质相互作用的新的实验事实中,认识到光还具有量子性——粒子性。认为光是由大量以光速 c 运动的微粒所组成的粒子流,这些微粒被称作“光子”。光究竟是“微粒”还是“波动”?近代科学实践证明,光是一种十分复杂的客体,关于光的本性问题,只能用它所表现的性质和规律来回答:光在某些方面的行为像“波动”,另一些方面的行为却像“粒子”,即它具有波动和粒子的双重性质,这就是所谓光的波粒二象性。

本篇共包括3章内容:第9章 光的干涉;第10章 光的衍射;第11章 光的偏振。光的干涉和衍射现象表明光具有波动性,是一定波段的电磁波;光的偏振现象说明光是横波。

第9章 光的干涉



光的干涉现象说明光具有波动性,其中比较典型的光的干涉实验有杨氏双缝干涉、薄膜干涉和牛顿环干涉等。本章首先介绍光的相干性、相干光的获得方法和光的干涉加强、减弱的条件,然后从相干光的获得方法角度介绍两种方法对应的干涉实验:杨氏双缝干涉及薄膜干涉,最后简单介绍光干涉的应用。

9.1 光的相干性

9.1.1 普通光源的发光机制

光波是一种电磁波,同样具有波动的特性,即上册我们对波的相干叠加原理所作的一般讨论同样适用于光波,同理,波动的干涉、衍射等特性也同样会在光波中发生。但是,我们也注意到这样一个问题:光在生活中无处不在,但光干涉现象在生活中并不常见。例如,两盏电灯的灯光叠加在一起,我们只感觉到亮度增加,并不会看到光强始终加强或始终减弱的地方。这是由普通光源的发光微观机制决定的。从波动光学的角度讲,我们将能够发射光波的物体叫做光源。光源有普通光源与激光光源之分,激光光源是由特定的发光物质及特殊的结构部件组成,而普通光源则随处可见,例如我们日常生活中的各种各样的灯、太阳、月亮、闪电等等。在波动光学中我们的讨论仅限于普通光源所发出的光。日常生活中我们会经常看到不同光源有不同的发光方式,如蜡烛发光是化学变化;白炽灯发光是因为温度高热致发光;闪电是电致发光等。各种发光方式之所以不同,其差别就在于激发方式的不同,但发光的微观机制却是相同的,光源发射光波的过程也就是原子或分子的能级跃迁辐射的过程。现代物理学研究表明,原子或分子的能量只能是一些分立的价值,我们把它称为能级。能量最低的状态称为基态,其他能量较高的状态叫激发态。原子

或分子受外界刺激从基态跃迁到某一激发态,但激发态不稳定,因而原子或分子会自发地回到低激发态或基态,这一过程叫原子或分子的跃迁。当原子或分子从高激发态向低激发态或基态跃迁时,两能级间的能量差额则以光波列的形式向外释放。一个原子或分子一次只能发出一列长度有限、频率和振动方向一定的光波,这一列光波也称为光波列。同一原子或分子在不同时刻所发出的光波,其频率、振动方向和初相位都可以不同。另外,由于原子或分子的发光是自发的,因而不同原子或分子在同一时刻发出的光,其频率、振动方向和初相位也不同,而且原子或分子跃迁过程持续的时间非常短,大约为 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ s,具有瞬时性和间歇性的特点。综上所述,光源中大量原子发出的光波,其频率、振动方向和初相位都是杂乱无章的,不满足相干条件,因此日常生活中的光源所发出的光相叠加时看不到光的干涉现象。

9.1.2 相干光

从普通光源的发光机制中可以知道,普通光源发光之所以不会产生光的干涉现象,是由于其发出的光不满足相干的条件,那么,光的相干条件是什么呢?在上册中,我们讨论机械波干涉问题时已经知道,机械波要发生相干叠加必须满足频率相同、振动方向相同和相位差恒定这3个条件。满足这3个条件的波源,我们称其为相干波源,两列波称为相干波。光是一种电磁波,因而要想产生光的干涉现象,两光同样也要满足以上3个条件。满足相干条件的光源称为相干光源,能产生干涉现象的两束光称为相干光,不满足相干条件的光称为非相干光。相干光在空间相遇时所产生的明暗相间的光强分布现象称为光的干涉现象。

9.1.3 相干光的获得方法

由普通光源的发光机制可知,任何两个独立的普通光源都不能构成相干光源,不仅如此,即使同一光源上不同部分发出的光也不满足相干条件。只有来自同一波列的光才是相干光,这就是说获得相干光只能用人为的方法,把同一波列的光分成两列光波,让它们沿不同的路径传播,再在空间相遇而叠加。这样分割出来的两列光波,具有相同的频率、相同的振动方向和恒定的相位差,满足相干光的条件。分割光波以获得相干光的常用方法有分波阵面法和分振幅法,如图9-1所示。

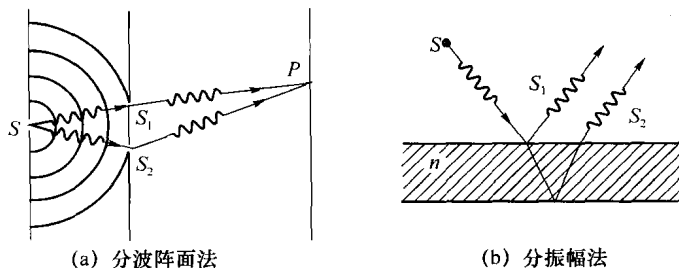


图 9-1 相干光的两种获得方法

1. 分波阵面法

从点(线)光源 S 发出的波面上取出 S_1 、 S_2 两部分作为新的光源,如图 9-1(a)所示。 S_1 、 S_2 在同一波面上,因而具有相同的频率、振动方向和初相位,满足相干条件。新的相干光源 S_1 、 S_2 取自同一波阵面,因而这种获得相干光的方法称为分波阵面法。通过这种方法获得相干光的典型实验有杨氏(T. Young)双缝实验、菲涅耳(A. T. Fresnel)双镜实验和劳埃德(H. Lloyd)镜实验等。

2. 分振幅法

利用光的反射和折射,将同一列光波分成两列或多列,如图 9-1(b)所示。这样,光的各子波列具有相同的频率、振动方向和恒定的相位差,因而满足相干条件。相干波 S_1 、 S_2 的强度都是原光源 S 强度的一部分,由于波的强度正比于振幅的平方,因此可以认为这种方法是把原来光波的振幅进行分割而产生新的相干波,所以,这种获得相干光的方法称为分振幅法。通过这种方法获得相干光的典型实验有薄膜干涉实验。

9.2 光程 光程差

9.2.1 光程和光程差的概念

在讨论机械波的相干叠加时,研究两波叠加区域中某一点振动是加强还是减弱,关键是计算两波传到该处引起振动的相位差。与此相同,讨论两相干光波叠加区域中某点的光振动是加强还是减弱,我们仍需从相位差入手。根据前面的知识 $\Delta\varphi = \varphi_{20} - \varphi_{10} - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda}$ 可知,相位差与两相干光源的初相位之差、光波的波长和在介质中通过的几何路程之差有关。由光的相关知识可知,光在不同介质中传播时波长不同,为了方便计算光在不同介质中传播时的相位差,人们引入了光程的概念。

如图 9-2 所示,两列初相位相同($\varphi_{10} = \varphi_{20}$)的单色相干光波从 S_1 和 S_2 发出,分别在两种不同的介质中传播并汇聚于 P 点。在 P 点,两光波的相位差为

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{r_2}{\lambda_2} - 2\pi \frac{r_1}{\lambda_1} \quad (9-1)$$

式中 λ_1 、 λ_2 为光在两种介质中的波长。由波动学可知,频率为 γ 的单色光在不同介质中传播时,其频率 γ 不变,都为波源的频率,而光速为 $u = \frac{c}{n}$, n 为传播光的介质的折射率,则光在这种介质中传播的波长

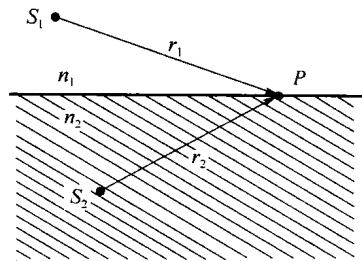


图 9-2 用光程差计算相位差

$$\lambda_n = uT = \frac{u}{\gamma} = \frac{c/n}{\gamma} = \frac{1}{n} \frac{c}{\gamma}$$

式中 c/γ 为光在真空中传播时的波长 λ , 代入上式, 可得光在介质中的波长与在真空中的波长之间的关系为 $\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$, 则光在折射率分别为 n_1 和 n_2 的两种介质中的波长分别为

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{n_1} \quad \lambda_2 = \frac{\lambda}{n_2}$$

代入式(9-1), 得

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{n_2 r_2}{\lambda} - 2\pi \frac{n_1 r_1}{\lambda} = 2\pi \frac{n_2 r_2 - n_1 r_1}{\lambda} \quad (9-2)$$

由式(9-2)可知, 当光源初相位相同时, 相位差 $\Delta\varphi$ 与真空中光的波长 λ 、光在介质中经过的几何路程 r 与介质的折射率 n 的乘积 nr 有关。我们定义: 光在介质中所走过的几何路程 r 与介质折射率 n 的乘积为光程, 用 L 表示, 则光程为

$$L = nr \quad (9-3)$$

关于光程的含义, 可以从另一方面加以理解: 光在介质中传播的距离 r_2 所引起的相位变化与光在真空中传播 $n_2 r_2$ 所引起的相位变化相同。简单说明如下:

在介质中, 根据 $\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{r_2}{\lambda_2}$ 有, 光传播 r_2 距离产生的相位差为 $\Delta\varphi = \frac{2\pi r_2}{\lambda_2}$;

在真空中, 根据 $\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{n_2 r_2}{\lambda}$ 有, 光传播 $n_2 r_2$ 距离产生的相位差为 $\Delta\varphi = \frac{2\pi n_2 r_2}{\lambda} = \frac{2\pi r_2}{\lambda_2}$ 。

比较此二式结果可知, 光程的含义确实如上所述。

引入光程概念之后, 式(9-2)中的 $(n_2 r_2 - n_1 r_1)$ 为两光束传播到 P 点的光程之差, 称为光程差, 用 δ 表示即

$$\delta = L_2 - L_1 = n_2 r_2 - n_1 r_1 \quad (9-4)$$

光程差与相位差之间的关系为

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda} \quad (9-5)$$

式中, λ 为光在真空中传播的波长。由此可见, 引入光程的概念, 就可以把光在不同介质中传播的复杂情形, 折合成光在真空中传播的等效情形, 不论什么介质, 都可以用光在真空中的波长来计算两相干光在传播过程中的相位差。

例题 9-1 实验装置如图 9-3 所示, S_1 、 S_2 为两个相干光源, 与 O 点相距均为 r 。若在 S_1 处放置一厚度为 d 、折射率为 n 的云母片, 则此时两相干光到达 O 点的光程差为多少? 并判断加云母片后光程差为零的点向上移动还是向下移动。

解 设实验装置处于空气中, 其折射率为 1。在 S_1 处放置云母片后由 S_1 发出的光