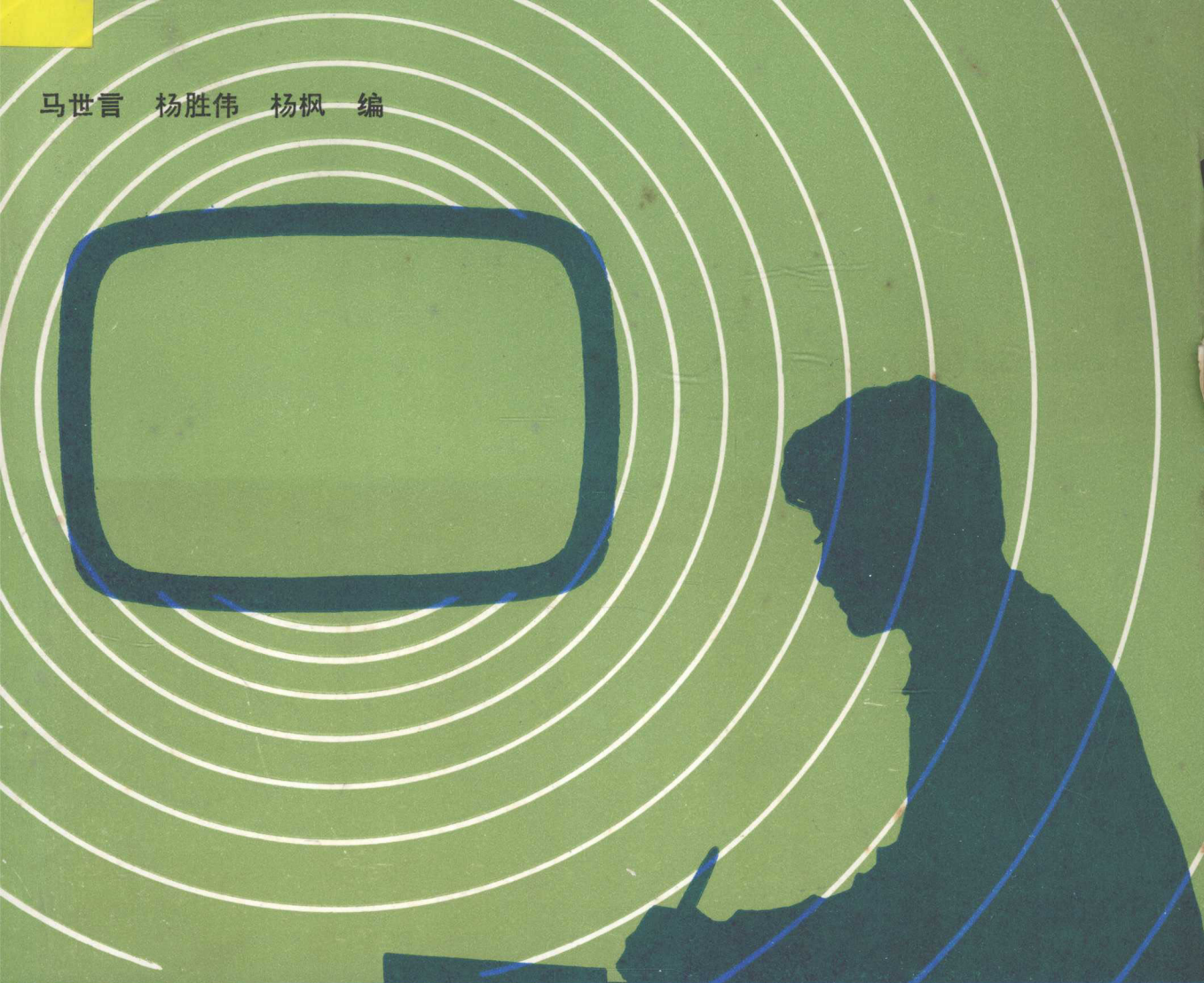


马世言 杨胜伟 杨枫 编



职大·电大·函授·夜大·自学

普通物理学辅导书

下 册

高等教育出版社

职大·电大·函授·夜大·自学

普通物理学辅导书

下 册

马世言 杨胜伟 杨枫 编

《普通物理学辅导书》是根据《职工高等工业专科学校普通物理学教学大纲》和中央广播电视大学普通物理学的教学计划编写的,全书分上、中、下三册,本书是其中的下册。下册内容为波动光学和近代物理基础,共九章。每章由“主要内容的轮廓”、“主要内容”、“解题指导”和“复习题”四部分组成。书后附有中央广播电视大学、北京市职工大学历届统考试题和两份综合练习题,并给予答案或解答。全书采用国际单位制。

本书为适应成人学习的需要,根据成人学习的特点编写而成。主要特点是:对每章的主要内容以图表形式联系起来;对主要内容采用归纳、对比的方法加以深入阐述;对习题进行分类,并指出解题方法。力求帮助读者更好地掌握基本内容和培养读者的解题能力。

本书可供职工大学、广播电视大学、函授学员以及自学者使用。也可供普通高等理工类专科学校学生以及教师参考。

责任编辑 郭玉凤

职大·电大·函授·夜大·自学

普通物理学辅导书

下 册

马世言 杨胜伟 杨枫 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京第二新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 254,000

1986年3月第1版 1986年3月第1次印刷

印数 00.001—20.160

书号 13010·01203 定价 1.95元

前 言

作为从事成人教育的教育工作者,我们深知成人教育事业的重要性,又深为学员们刻苦学习的精神所感动,为他们的学习创造更好的条件,是我们共同的愿望。

为将这美好的愿望变为现实,我们根据《职工高等工业专科学校普通物理学教学大纲》和中央广播电视大学普通物理学的教学计划的要求编写了此书。全书分上、中、下三册。上册包括力学、振动与波、气体分子运动论和热力学基础;中册的内容为电磁学;下册包括波动光学和近代物理基础。为满足读者能在1985年初使用此书的要求,本书先出版中册,再出版下册,最后出版上册。

经征求有关同志的意见,并照顾到学有余力者的需要,在某些物理内容上有所扩展,望读者注意到这一点。

在编写过程中,承蒙罗纪伟、林青、顾仁林、宋丹、王辉球、李平、王允华、吴俊卿、顾萍、陈王萍等同志的大力帮助,对此表示衷心感谢。

由于我们水平有限,时间仓促,某些方面仅是初步尝试,书中不妥和错误之处在所难免,请读者批评指正。

编 者

1984年11月于北京

目 录

第五篇 波动光学	
第一章 光的干涉 2	
§ 1-1 主要内容的轮廓..... 3	
§ 1-2 基本知识..... 3	
一、光的干涉现象..... 3	
二、基本概念..... 4	
三、相干光的获得..... 9	
§ 1-3 双光干涉..... 10	
一、杨氏双缝干涉..... 10	
二、双光干涉的一般分析方法..... 16	
三、其他双光干涉简介..... 16	
四、解题指导..... 17	
§ 1-4 薄膜干涉..... 19	
一、薄膜的干涉..... 19	
二、劈尖的干涉..... 24	
三、牛顿环..... 31	
四、增透膜 增反膜..... 35	
五、迈克耳孙干涉仪..... 38	
§ 1-5 三种干涉的比较..... 39	
复习题..... 39	
第二章 光的衍射 42	
§ 2-1 主要内容的轮廓..... 42	
§ 2-2 主要内容..... 42	
一、光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理..... 42	
二、单缝衍射..... 44	
三、衍射光栅..... 53	
四、夫琅和费圆孔衍射 光学仪器 的分辨率..... 59	
五、伦琴射线的衍射 布喇格方程..... 62	
六、几种衍射现象的比较..... 63	
复习题..... 63	
第三章 光的偏振 65	
§ 3-1 主要内容的轮廓..... 65	

§ 3-2 主要内容..... 65	
一、自然光和偏振光..... 65	
二、偏振光的获得 布儒斯特定律..... 67	
三、偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律..... 72	
复习题..... 74	

第六篇 近代物理基础

第一章 狭义相对论简介 75	
§ 1-1 主要内容的轮廓..... 75	
§ 1-2 主要内容..... 76	
一、伽利略相对性原理 绝对时空观..... 76	
二、狭义相对论原理 狭义相对论时空观..... 79	
三、相对论力学简介..... 89	
§ 1-3 解题指导..... 91	
一、解题指导..... 91	
二、习题分类..... 92	
复习题..... 96	
第二章 光的量子性 97	
§ 2-1 主要内容的轮廓..... 98	
§ 2-2 主要内容..... 98	
一、黑体的热辐射..... 98	
二、普朗克量子假设..... 101	
三、光电效应..... 103	
四、爱因斯坦的光子理论..... 105	
五、康普顿效应..... 109	
六、光的波粒二象性..... 111	
§ 2-3 解题指导..... 112	
一、解题指导..... 112	
二、习题分类..... 113	
复习题..... 117	
第三章 原子结构 118	
§ 3-1 主要内容的轮廓..... 118	
§ 3-2 主要内容..... 119	
一、原子的有核模型..... 119	

二、原子光谱的规律性	120
三、玻尔的氢原子理论	121
§ 3-3 解题指导	124
复习题	126
第四章 微观粒子的描述	127
§ 4-1 主要内容的轮廓	127
§ 4-2 主要内容	128
一、德布罗意波	128
二、测不准关系	130
三、波函数 薛定谔方程	132
§ 4-3 解题指导	135
复习题	137
第五章 原子核和基本粒子简介	138
§ 5-1 主要内容的轮廓	138
§ 5-2 主要内容	138
一、原子核的组成	138
二、原子核的结合能	140
三、原子核的衰变	141
四、核反应	142
五、核裂变和核聚变	142
六、加速器简介	143
七、粒子物理简介	143

复习题	144
第六章 激光简介	145
[附录 I] 历届电大、职大统考试题	150
中央广播电视大学八〇级光学、近代 物理试题	150
中央广播电视大学八二级光学、近代 物理试题	152
中央广播电视大学八三级光学、近代 物理试题	154
北京市职工大学八二级光学、近代物 理统考试题	155
北京市职工大学八三级光学、近代物 理统考试题	156
[附录 II] 综合练习题	157
第一组 综合练习题一	157
第二组 综合练习题二	160
[附录 III] 答案	163
复习题答案	163
[附录 I] 答案或解答	165
[附录 II] 答案或解答	170

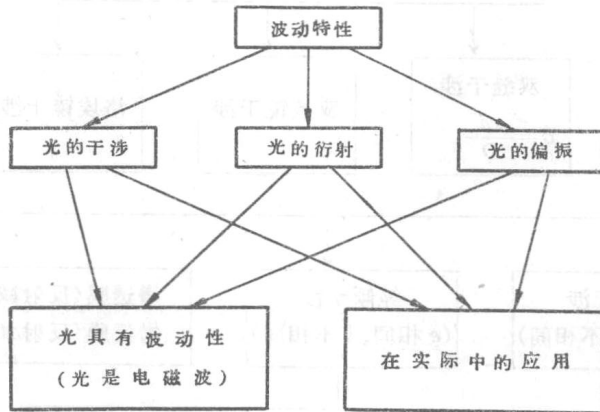
第五篇 波动光学

光学是物理学的重要组成部分之一，它的内容比较丰富，主要包括几何光学、波动光学和光的量子性。几何光学的基础知识在中学物理已学习过，光的量子性将在第六篇中讨论，本篇只讨论波动光学(也称为物理光学)。

惠更斯最早提出光波的概念，认为光具有波动性。直到十九世纪初，于1801年杨氏用干涉原理解释了薄膜的干涉现象。十几年以后，菲涅耳以杨氏干涉原理补充了惠更斯原理，解释了光的衍射现象。后来，马吕斯等人对光的偏振现象的研究，确认了光具有横波性。这些事实充分说明光具有波动性。

麦克斯韦在十九世纪七十年代发展了光的波动说，建立了光的电磁理论。使人们逐渐认识到光波不是机械波，而是电磁波。例如光可以在没有机械弹性媒质存在的“真空”中传播。又例如，在真空中光的传播速度与电磁波的传播速度相同，均为 $c=3.00 \times 10^8$ 米/秒，此外光波和电磁波一样都具有反射、折射、偏振等性质，从而证实了光和电磁现象的统一性。

本篇主要讲述光在传播过程中所表现出来的干涉、衍射和偏振等波动现象，阐明光的波动性质、规律及其应用。其主要内容的轮廓如下图所示。



随着激光技术的飞速发展和广泛应用，掌握波动光学的基础知识是十分必要的。

本篇内容不需要很多的高等数学知识，也不会遇到较复杂的运算。但是不少读者在学习本篇内容时往往感到困难，其原因有两个方面：一是物理光学现象在日常生活中不易观察到，没有足够的感性认识为基础；二是由于遗忘或不能较好地联系几何光学知识、机械振动和机械波、电磁波等有关内容。因此，希望读者注意到这一点，并能自觉地扫除这些障碍，这对学好本篇内容是有益的。

第一章 光的干涉

光的干涉是光的基本特征之一，它是光具有波动性的有力证明，是波动光学的重点，也是学好波动光学的基础。本章主要阐明光的相干性、光程差等基本概念，着重讨论两种类型的光的干涉现象(即双缝干涉和薄膜等厚干涉)的规律和应用。

理论和大量的事实证明光是电磁波。学习中大家应承认以下几个结论：透明介质的折射率 $n=c/v$ ；光的振动矢量是电场强度矢量 \vec{E} ；可见光的波长范围为 4000 埃~7800 埃；光的强度与光振幅的平方成正比等。至于它们的由来，则不必深究。

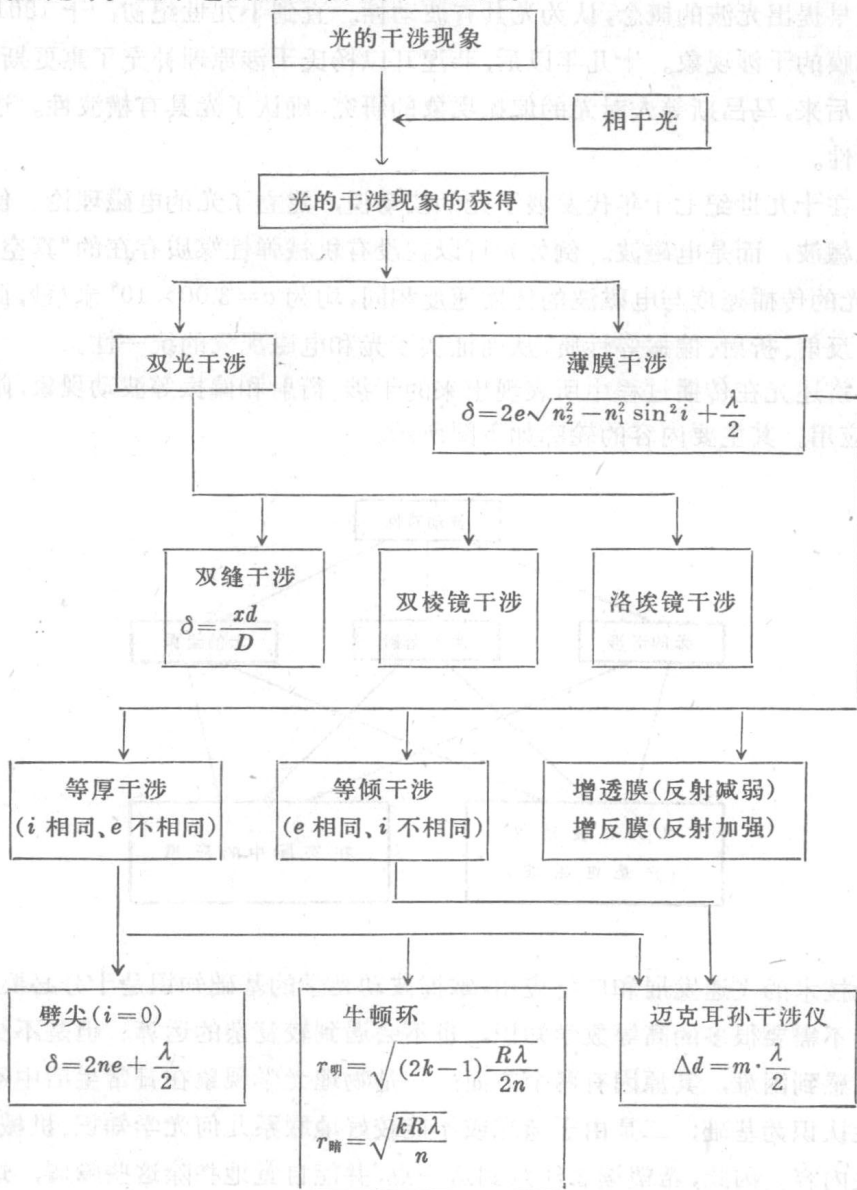


图 1-1

§1-1 主要内容的轮廓

为使读者对光的干涉现象有所认识,首先列举出一些在日常生活中能够见到的光的干涉现象,接着引出几个重要的概念,如相干光、光程、光程差、和半波损失等,进而介绍获得相干光的几种常用方法。

在上述基础上,重点讨论两种典型的光的干涉现象:第一种是双光干涉(分割波阵面的方法),以双缝干涉为例详细阐述双光干涉的图样、原理,对其他双光干涉(如菲涅耳双棱镜干涉、洛埃镜干涉)只作简单介绍;第二种是薄膜干涉(分割振幅的方法),先就薄膜干涉的一般情况进行讨论,进而以等厚干涉(劈尖、牛顿环)作为讲述重点,对等倾干涉只作一般的讨论。此外,还对迈克耳孙干涉仪、光的干涉现象在科学研究和工程技术中的应用作扼要的介绍。

本章主要内容的轮廓如图 1-1 所示。

§1-2 基本知识

一、光的干涉现象

我们知道,干涉是波动的基本特征,所谓干涉是两列相干波相遇,在叠加区域出现波的强度重新稳定的分布,在某些区域振动始终加强,而在另一些区域振动始终减弱的现象。这时我们能观察到干涉图样,例如水波的干涉,能看到明暗相间的干涉条纹。然而对于光的干涉就难以实现,即使两个光源的强度、形状、大小等完全相同,它们同时发光时,在叠加区域只能出现光强的均匀分布,而不会产生干涉现象,即看不到明暗相间的条纹(或彩色条纹)。但在日常生活中,我们只要留心观察,也还是能够见到一些光的干涉现象的。

1. 当你雨后走在马路上,如果水面上有汽油膜,在阳光的照射下,你会看到五彩缤纷的彩色花样。
2. 有时在玻璃的裂缝中,你会看到彩色条纹。有时你偶然将两块窗玻璃的碎片叠合在一起,会观察到形状不规则的彩色条纹。
3. 小孩吹肥皂泡,当肥皂泡吹大到一定程度时,你会看到肥皂泡上出现彩色的花样。
4. 有人为把眼镜擦干净,把镜片弄湿,他注意观察镜片。发现在水蒸发过程中的某一短时间内,镜片明显地变得不反射。

上述这些都是光的干涉现象。如果读者平时见到这些现象并把它和有关的物理概念、规律联系起来思考过的话,学习本章内容不仅不感到陌生,反而能激发你学习的热情。

建议读者亲自做薄膜实验。用铁丝做成一个矩形线框,再用肥皂粉冲成一杯较浓的肥皂粉溶液(用多泡肥皂粉),为使膜能维持较长的时间,可在溶液中加入适量的甘油。将线框浸入溶液,手拿线框手柄从溶液中轻轻取出线框,在线框上就形成了肥皂膜。观察分析肥皂膜在阳光的照射下,出现各种干涉条纹的情况。

1. 将线框提起,肥皂膜在重力作用下,形成劈形薄膜。能看到一组水平彩色条纹。并注意

观察条纹的移动情况。

2. 在迎着阳光的一面看到的是反射光干涉条纹,而在另一面能看到透射光干涉条纹。试比较两种干涉条纹有何不同?

3. 注意观察条纹的变化情况。由于重力作用,劈尖夹角减小,条纹的间隔有何变化?

4. 观察干涉条纹的颜色分布情况,说明条纹间隔与波长的定性关系。

5. 验证半波损失所引起的附加光程差。在膜即将破灭时(膜上端的厚度趋于零),看到膜上端为暗区域。

二、基本概念

(一) 相干光

讨论光的干涉问题时,首先要明确相干光的概念。我们知道,两列频率相同、振动方向相同、位相差保持恒定(或位相相同)的波叫相干波。这样的波源叫做相干波源。只有相干波相遇,在叠加区域才能产生干涉现象。相干光的概念与相干波的概念相似,既两束频率相同、振动方向相同、位相差保持恒定(或位相相同)的光叫相干光。这种光源叫相干光源。同样只有相干光相遇,在叠加区域才能产生光的干涉现象。

应当明确,一般光源所发出的光不是相干光,也就不会产生光的干涉现象,下面举例说明。

1. 热光源(如白炽灯、弧光灯和蜡烛等)所发出的光不是相干光。

我们知道热光源发光是由于其内的大量分子和原子受到热激发而获得能量,再以电磁波的形式把能量释放出来。每个原子或分子每一次发出的光波,只有短短的一列,持续时间约为 10^{-8} 秒,在发出一列光波以后,要经过一个短暂时间,才发出另一个波列,如图 1-2 所示。人眼感觉到的光波是大量原子或分子发光总的效果。因此得出热光源所发的光不是相干光的原因是:

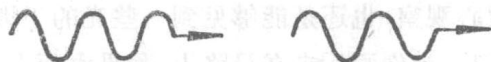


图 1-2

1) 由于构成热光源的大量原子和分子的发光是相互独立的、无规则的,因此在同一时刻,各原子或分子所发出的光的频率、振动方向和位相是各不相同的(位相差也不可能保持恒定)。

2) 因为发光是间歇的,同一原子所发出的前一个波列和后一个波列的频率即使相同,但其振动方向和位相却不一定相同。

由此可见,两个独立的热光源发出的光不是相干光,也不可能产生干涉现象,只能形成光强的均匀分布。

2. 单色光光源(如钠光灯等)所发出的光,也不是相干光。

钠光灯发出的可见光,通常叫做钠黄光,其频率是一定的(5.087×10^{14} 赫兹)。在钠光灯中,大量原子受到激发而获得能量,然后它们把获得的能量以电磁波的形式释放出来。由于原子发光的无规则性和间歇性,尽管钠原子发出光的频率相同,但同一原子先后发出两个波列的位相和振动方向都不一定相同,不同原子发出的波列的位相和振动方向也都各不相同。由此可见,两个独立的钠光灯中,两个波列的位相差不能保持恒定,而是随时间作无规则的、迅速的变化,叠加而形

成的干涉图样也随着变化,因此不能呈现稳定的干涉图样,只能得到一个平均结果,看到的是光强的均匀分布。可见两个独立的单色光源所发出的光也不是相干光。

综上所述,读者应明确:

1. 两个独立的光源不能产生相干光,因而不能产生干涉现象。即使利用同一光源上的两个不同部分,也不能产生相干光。

2. 相干光源发出的光波必须有恒定的相位差,这是光波能否产生干涉的关键,也是光的干涉难以实现的原因。因此,相干光源必须通过特殊的分光装置来获得。

(二) 光程 光程差

在讨论光的干涉时,常遇到光在不同媒质中传播,为此引入两个重要概念——光程和光程差。

1. 光程

设媒质的折射率为 n ,光波在该媒质中从 a 点传到 b 点,传过的几何路程为 l ,如图1-3所示,我们称光波在某一媒质中通过的几何路程与该媒质的折射率 n 的乘积叫做光程,即

$$\text{光程} = nl$$

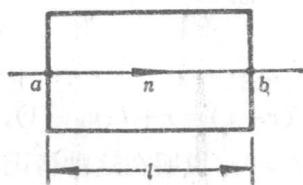


图 1-3

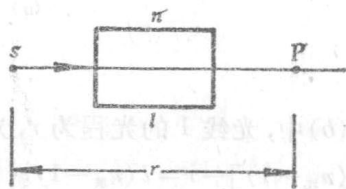


图 1-4

[思考题 1] 点光源 s 置于空气中, s 到 P 点的距离为 r ,问:

- 1) 光源 s 所发出的光传到 P 点的光程为多大?
- 2) 若在 s 与 P 点之间置一折射率为 $n(n>1)$ 、长度为 l 的媒质,如图1-4所示,此时光由 s 传到 P 点的几何路程和光程各为多大?

[答] 1) 因为空气的折射率 $n_0=1$,所以根据光程的定义可得

$$\text{光程} = n_0 r = r$$

2) 光波通过的几何路程与媒质无关,因此光波从 s 传到 P 点的几何路程,只决定于从 s 到 P 点的距离,即几何路程为 r 。

当在 s 与 P 点之间放有其他媒质时,光波从 s 传到 P 点通过了两种媒质,根据光程的定义可得

$$\begin{aligned} \text{光程} &= nl + n_0(r-l) = nl + (r-l) \\ &= r + l(n-1) \end{aligned}$$

通过上面的分析,应当明确:

- 1) 光程和几何路程是不同的两个概念,几何路程是光传播过程中所通过路径的长度,而光

程不仅取决于几何路程,还取决于媒质的折射率。一般说来,光程大于光传过的几何路程,只有当媒质的折射率 $n=1$ (真空或空气) 时,光程才等于几何路程。

2) 引入光程概念以后,就可以把单色光在不同媒质中的传播折算成在真空中的传播,这样,在讨论光的干涉时,显得方便多了。

2. 光程差

两列光波的光程之差叫做光程差。下面举例说明光程差概念。

[思考题 2] 有两个点光源发出的两条光线 1 和 2 在 P 点相遇,若两光源到 P 点的距离均为 r ,如图 1-5(a)、(b) 所示,试问图中 1、2 两光线间是否存在光程差?为什么?

[答] 在图 5-1(a) 中,光线 2 的光程为 r ,光线 1 的光程为 $n_{\text{水}}r$,因为 $n_{\text{水}} > 1$,所以光程差 $\delta = n_{\text{水}}r - r = r(n_{\text{水}} - 1) \neq 0$,即存在光程差。

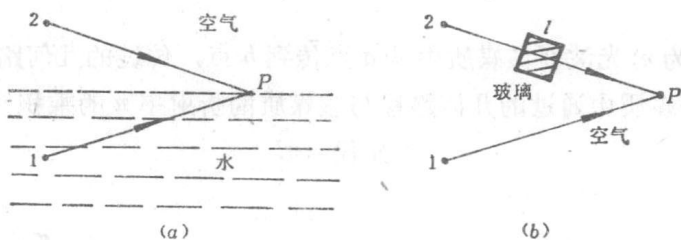


图 1-5

在图(b)中,光线 1 的光程为 r ,光线 2 的光程为 $n_{\text{玻}}l + (r-l) = r + l(n_{\text{玻}} - 1)$,它们的光程差 $\delta = [r + l(n_{\text{玻}} - 1)] - r = l(n_{\text{玻}} - 1)$ 。因为 $n_{\text{玻}} > 1$ 时,所以 $\delta > 0$,说明在这种情况下也存在光程差。

光程差与位相差之间可以相互换算。设单色光在真空中的波长为 λ ,位相差为 $\Delta\varphi$,光程差为 δ ,则光程差与位相差的换算关系为:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$$

上式改写为:

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta\varphi$$

再根据波的合成知识,可得光干涉的加强、减弱的条件为:

1) 当 $\Delta\varphi = \pm 2k\pi$ 时,即

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} (\pm 2k\pi) = \pm k\lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

干涉加强(最强)。

2) 当 $\Delta\varphi = \pm (2k+1)\pi$ 时,即

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} [\pm (2k+1)\pi] = \pm (2k+1) \frac{\lambda}{2}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

干涉减弱(最弱)。

综上所述,应当明确:

1) 两相干光通过不同的媒质后,在空间某点相遇时产生的干涉现象,与两束光的光程差有关,与两束光的几何路程差无关。

2) 光的干涉情况(加强或减弱),完全由光程差决定,上面导出的光干涉的加强、减弱条件,对我们将要讨论的几种光的干涉都适用,因此光程差是分析光的干涉的基础。

3) 上式中波长 λ ,应为单色光在真空中的波长。

[思考题 3] 由同一点光源发出的两束光 a 和 b 。光束 a 在折射率为 n 的媒质中,通过了距离为 x 而到达空间某点 P ; 光束 b 在真空中,通过了距离为 nx 后也到达 P 点。问这两束光,在 P 点叠加后将出现亮点还是暗点?为什么?

[答] a 、 b 两束光,可认为是相干光。根据光程的定义可知, a 光束的光程为 nx , b 光束的光程也为 nx ,所以 a 、 b 两束光传至 P 点的光程差 $\delta = nx - nx = 0$ 。再由 $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$ 可知, a 、 b 两光束在 P 点的位相差 $\Delta\varphi = 0$,即 a 、 b 两光束在 P 点是同位相的,因此 P 点为加强点,即为亮点。

[思考题 4] 如图 1-6 所示,平行光束经透镜会聚于焦点 F ,问 a 、 c 两光线间是否存在光程差?

[答] 实验表明,平行光束会聚在焦点处时,此点为亮点,即为加强点。因此 a 、 c 两光线传至 F 点时,不存在光程差。这一现象我们可以这样来理解,虽然光 $aa'F$ 比光 $cc'F$ 的几何路程长,但光 $cc'F$ 在透镜中,经过的路程比光 $aa'F$ 的长,而透镜的折射率大于周围空气的折射率,因此折算成光程,光线 $aa'F$ 的光程与光线 $cc'F$ 的光程相等,即 a 、 c 两束光的光程差为零。

由此可见,在观察光的干涉现象时,使用透镜不会引起附加的光程差。

3. 相干长度

我们要获得光的干涉,除了要使两列光波满足相干条件外,还必须保证两列光波的光程差不能太大。我们称尚能观察到干涉现象的最大光程差,叫做相干长度。

为什么光的干涉对相干长度有一定的要求呢?我们知道,要产生光的干涉现象,两列光波必须是从同一波列中分离出来的。因为在叠加区域的某一点观察时,若光程差太大,一束光的波列已经通过,而另一束光的波列还未到达,两相应波列之间没有重叠,所以不能产生干涉现象。只要两列光波的光程差小于相干长度,就能保证两列光波的波列重叠,也就可能产生干涉现象。

理论和实验可以证明,光源的单色性越好,则相干长度就越大。激光的单色性很好,因此激光是目前最好的相干光。

[思考题 5] 小孩吹肥皂泡,只有当肥皂泡吹大到一定程度时,才能观察到干涉现象,为什么?

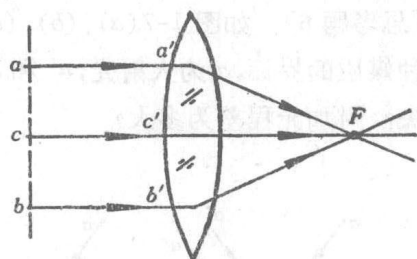


图 1-6

[答] 因为两列光波的光程差与肥皂泡薄膜的厚度有关,肥皂泡越小,薄膜的厚度越大,所以两列光波的光程差也就越大。当肥皂泡小到一定程度,即薄膜的厚度大到一定程度时,两列光波的光程差大于相干长度,两相应的波列不能重叠,因此观察不到光的干涉现象。另一方面,薄膜的厚度越大,干涉条纹越密,从而使干涉条纹分辨不清。

(三) 半波损失

光波在两种媒质的分界面处,将产生反射和折射现象。当光波从光密媒质反射回到光疏媒质时,在界面处产生位相突变 π 的现象(相当于附加或损失了半个波长的光程),叫做半波损失。

在分析光的干涉现象时,由于半波损失而引起的错误主要来自两个方面:

- 1) 在计算光程差时,只注意到根据光程的定义去求光程差,而疏忽了在界面处,由于半波损失而引起的附加光程差,因此在总光程差中未计入半波损失所引起的附加光程差。
- 2) 在计算总光程差时,虽然考虑到半波损失,但由于不能正确地确定是否存在半波损失,而导至总光程差的计算错误。

为了避免上述错误,现就常见的情况举例说明。

[思考题 6] 如图 1-7(a)、(b)、(c)、(d)所示, n_1, n_2 为两种均匀媒质的折射率, $n_2 > n_1$, 1、2 为两种媒质的界面, a 为入射光, a' 和 a'' 为反射光或透射光。试问在这四种情况中,是否存在半波损失? 附加光程差为多大?

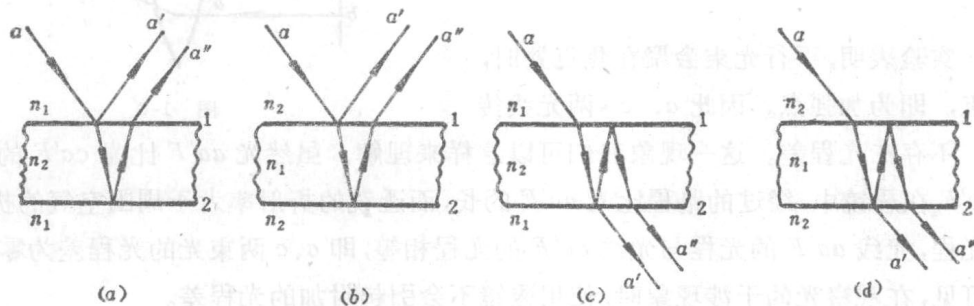


图 1-7

[答] 因为 $n_2 > n_1$, 所以折射率为 n_2 的媒质相对于折射率为 n_1 的媒质为光密媒质, 而折射率为 n_1 的媒质相对于折射率为 n_2 的媒质为光疏媒质。

对于图(a)所示的情况,在界面 1 处,反射光 a' 是从光密媒质反射回到光疏媒质,产生半波损失,由此引起的附加光程为 $\frac{\lambda}{2}$ 。在界面 2 处,反射光 a'' 是从光疏媒质反射到光密媒质,不产生半波损失。可见, a', a'' 两列光波由于半波损失而引起的附加光程差为 $\frac{\lambda}{2}$ 。

在图(b)所示的情况中,同理分析可知,反射光 a' 在界面 1 处,不产生半波损失,反射光 a'' 在界面 2 处,产生半波损失。因此, a', a'' 两光波由于半波损失而引起的附加光程差仍为 $\frac{\lambda}{2}$ 。

在图(c)中,光波 a' 是透射光,不产生半波损失,光波 a'' 在界面 1 和 2 处反射时,均不产生半波损失。因此, a' 、 a'' 两列光波没有因半波损失而引起的附加光程差。

在图(d)中,同理分析可知,光波 a'' 在界面 1 和 2 处反射时,均产生半波损失,因此, a' 、 a'' 两列光波没有附加光程差。

最后,应明确:

1) 通过上述分析可见,产生半波损失需要满足两个条件:一是反射光;二是光波必须从光密媒质反射回到光疏媒质。

透射光不产生半波损失;虽是反射光,若光波从光疏媒质反射回到光密媒质时,也不产生半波损失。

2) 若两列光波在界面处反射时,都存在半波损失,附加光程差为 $\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} = \lambda$, 根据波动的周期性可知,则附加光程差可不必考虑。

三、相干光的获得

通过前面的讨论可知,要获得相干光,必须设法使两列光波来自同一点光源,也就是把一点光源发出的光设法分为两束。或把从一光源的同一点发出的,每一列光波分成两个分波列,由于这两个分波列是从同一光波中分离出来的,显然这两个分波列满足相干条件。并且在不同时刻,从同一光波中分离出来的每对分波列都满足相干条件,从而获得相干光。

分离光波的方法有两种:一种方法是分割光波的波阵面;另一种方法是分割光波的强度,即分割光波的振幅。如图 1-8(a)、(b)所示。

图 1-8(a)为分割光波波阵面的示意图。单色平行光照射到 A 上的狭缝 s , 根据惠更斯原理,狭缝 s 上各点可以看作子光源,发出波阵面为圆柱形的光波。只要 B 上的狭缝 s_1 、 s_2 与狭缝 s 满

足一定的条件,则可使 s_1 、 s_2 处在同一波阵面上(或处在位相差恒定的两个波阵面上)。这时 s_1 、 s_2 又可看作是两个新的光源,因为 s_1 和 s_2 上发出的光是由 s 上同一点发出的光波分离出来的,并处在同一波阵面上(或处在位相差恒定的两个波阵面上),因此它们必然满足相干条件,即由 s_1 、 s_2 发出的两列光波的频率相同、振动方向相同、位相相同(或位相差恒定),则 s_1 、 s_2 就相当于一对相干光源,它们所发出的两束圆柱形光波即为相干光。由于 s_1 、 s_2 上发出的两相干光,是从同一波阵面上(或位相差恒定的两波阵面上)分离出来的,因此称这种获得相干光的方法,叫做分割波阵面的方法。

在图(b)中,一光波 a 照射在一透明薄膜上,在界面 1 处产生反射,将有一部分光反射回去

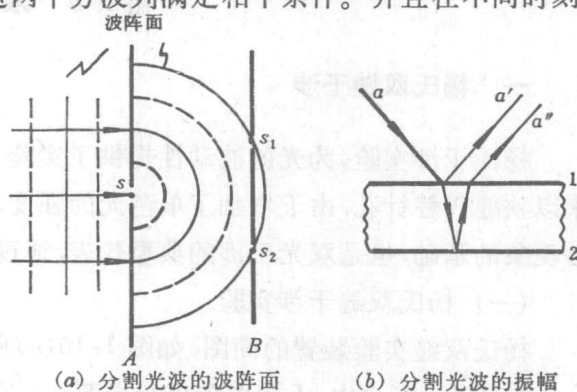


图 1-8

(反射光波 a')，大部分光经折射进入薄膜，在界面 2 处产生第二次反射，透射光的一部分将返回薄膜，并折射出去(折射光波 a'')。光波 a' 和 a'' 是从同一入射光波 a 中分离出来的，它们必然满足频率相同、振动方向相同的条件。由于入射光 a 在分离前位相相同，分离后，光波 a' 和 a'' 通过不同的传播路径，它们必然存在恒定的光程差，相应存在恒定的位相差，因此 a' 和 a'' 两光波是相干光。由于光波 a' 和 a'' 的强度都只占入射光强度的一部分，又因为光的强度与光振幅的平方成正比，所以我们称这种分离光的强度的方法，叫做分割振幅的方法。

根据上述两种方法的原理，我们可以得到光的干涉的各种情况，如图 1-9 所示

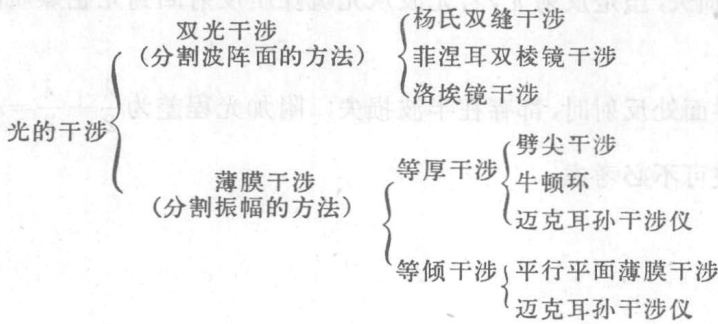


图 1-9

§1-3 双光干涉

一、杨氏双缝干涉

杨氏干涉实验，为光的波动性提供了实验基础，最先杨氏干涉实验是以针孔作为子波源，后来以狭缝代替针孔，由于增加了单色光的强度，使干涉图样更清楚。杨氏双缝干涉是讨论光的干涉现象的基础，也是双光干涉的典型代表，通过对它的讨论，将学会分析双光干涉的一般方法。

(一) 杨氏双缝干涉实验

杨氏双缝实验装置的简图，如图 1-10(a) 所示。

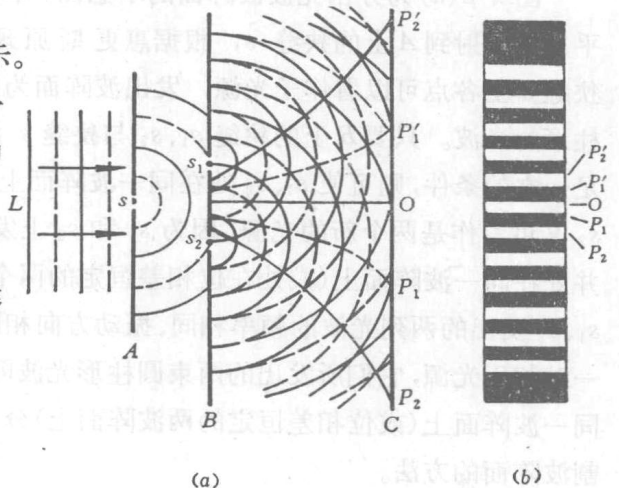
在图 1-10(a) 中， L 为单色平行光源， s 为一狭缝， s_1, s_2 为放置在 s 前与 s 平行且等距离的两条平行狭缝， C 为在 s_1, s_2 前放置的一屏幕。

设单色光的波长为 λ ， A 与 B 间的距离为 l ，理论和实验证明，只要狭缝 s 的宽度 r 与两狭缝 s_1 和 s_2 间的距离 d 满足：

$$r < \frac{l}{d} \lambda$$

就会产生干涉现象，在屏幕 C 上看到干涉图样。

可见，在双缝干涉装置中，要产生干涉现象， r 和



(a)

(b)

图 1-10

d 不是任意给定的。

杨氏双缝干涉现象,表现为在屏幕 C 上看到一组稳定的、明暗相间的条纹,叫做干涉条纹,如图 1-10(b) 所示。

(二) 干涉原理

1. 干涉条纹的定性解释

我们知道,光是电磁波,光振动是电场强度矢量(\vec{E})和磁场强度矢量(\vec{H})的振动。由于产生视觉的主要因素是 \vec{E} 的作用,所以我们将 \vec{E} 叫做光矢量。光波的叠加是指 \vec{E} 的叠加,振幅是最大电场强度的绝对值。

在杨氏双缝实验中,所观察到的光的干涉现象(稳定的、明暗相间的条纹),是利用两个平行的狭缝 s_1 和 s_2 ,将从狭缝 s 发出的单色光分为两束相干光,这两束光的振动(\vec{E} 的振动)在屏幕 C 上叠加而成的。由于光的强度与光振动的振幅的平方成正比,所以两束光振动叠加后合振幅最大的地方,光的强度最大,出现明条纹;合振幅最小的地方,光的强度最小,几乎完全黑暗,出现暗条纹。

显然,合振幅的大小与两束光到达相遇点的位相差有关,或与光程差有关。

2. 明暗纹条件

为定量地确定明、暗纹的条件,设两双缝 s_1 和 s_2 之间的距离为 d , s_1 和 s_2 到屏幕 C 的垂直距离为 D ,如图 1-11 所示。在屏幕 C 上任取一点 P , P 与 s_1 和 s_2 的距离分别为 r_1 和 r_2 。

从 s_1 和 s_2 发出的两相干光,均在空气中传播到达 P 点。因为空气的折射率近似为 1,所以这两束光的光程差等于其几何路程差,即为:

$$\delta = r_2 - r_1$$

设 N_1 和 N_2 分别为 s_1 和 s_2 在屏幕 C 上的投影点, O 为 N_1 和 N_2 的中点,并设 $OP = x$,则从直角三角形 s_1N_1P 和 s_2N_2P 可得

$$r_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

$$r_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

两式相减得

$$r_2^2 - r_1^2 = (r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = \delta(r_2 + r_1) = 2xd$$

实际上,由于 $D \gg d$,所以 $r_2 + r_1 \approx 2D$,则有

$$\delta = \frac{xd}{D}$$

如果光程差 δ 等于入射光的波长 λ 的整数倍时, P 点为一亮点。由于 s_1 和 s_2 为缝光源,因此 P 点处为明条纹。则产生明条纹的条件为:

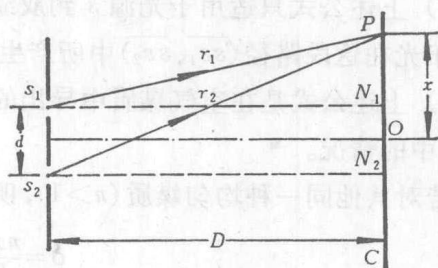


图 1-11