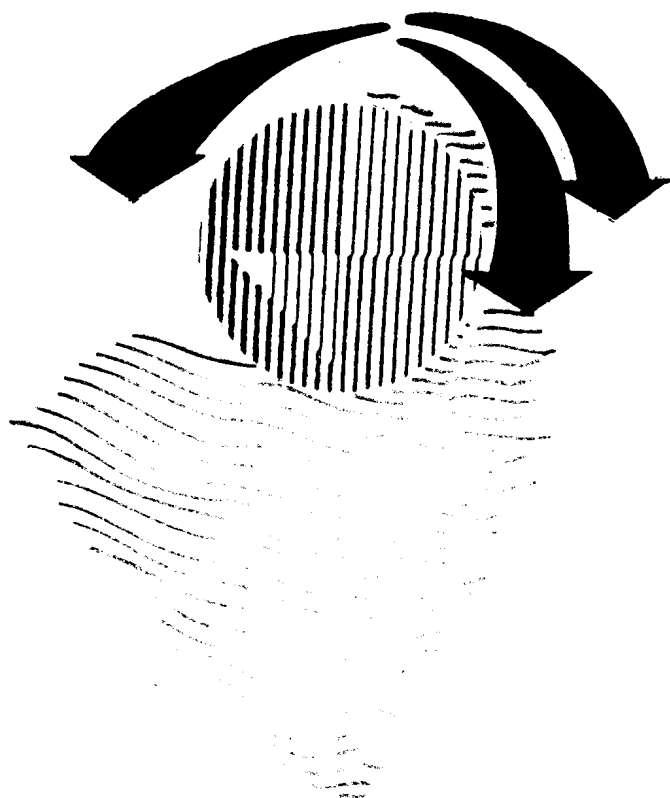


• Wu • Li • Guang • Xue •

物理光学

苗 润 才 译

• G • S • 索特 N • 寇玛 著 •



● 陕西师范大学出版社

物 理 光 学

G. S. 索特 著

N. 寇玛

苗润才 译

陕西师范大学出版社

物 理 光 学

G. S. 索特

N. 寇玛

著

苗润才

*

陕西师范大学出版社出版

(西安市陕西师大 120 信箱)

陕西省新华书店经销 各地新华书店经售

西安电子科技大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 6.875 字数 144 千

1989 年 6 月第 1 版 1989 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—1700

ISBN7-5613-0224-X

G·206 定价: 2.30 元

前 言

迄今为止还没有一本适用于 COSIP 标准的教材，本书正是为了这一目的而写的。书中讨论简明扼要，以便加深理解物理光学概念。

内容删繁就简，着重讲了物理概念、方法，文图并茂，以便说明问题，同时也易于学生掌握。另外，每章末尾给出了一定数量的例题、思考题及习题，对学生学习大有益处。

本书同时适合于教师及学生使用。若有改进意见，笔者将不胜感激并将在再版时设法采纳。

G · S. 索特

N. 寇玛

DAG 5-3/OP

目 录

第一章 干涉	(1)
1.1 牛顿光的微粒说.....	(2)
1.2 惠更斯光的波动说.....	(3)
1.3 迈克斯威尔光的电磁说.....	(7)
1.4 光的二相性.....	(9)
1.5 干涉.....	(9)
1.6 相干光源.....	(10)
1.7 水波实验.....	(11)
1.8 杨氏双狭缝实验.....	(15)
1.9 菲涅耳双棱镜实验.....	(22)
1.10 干涉条纹的移动	(27)
1.11 反射面上的位相变化	(31)
1.12 薄膜层的多次反射干涉	(33)
1.13 无反射薄膜	(39)
1.14 楔型薄膜	(41)
1.15 牛顿环	(43)
1.16 迈克尔逊干涉仪	(51)
第二章 衍射	(79)
2.1 光的直线传播.....	(82)
2.2 波带片.....	(88)
2.3 直边衍射.....	(96)
2.4 夫琅和费单缝衍射.....	(101)
2.5 夫琅和费圆孔衍射.....	(110)

2.6 夫琅和费双缝衍射	(112)
2.7 平面衍射光栅	(120)
2.8 光学仪器的分辨率	(133)
2.9 X-光衍射	(142)
第三章 偏振	(157)
3.1 偏振光	(158)
3.2 振动的描述	(160)
3.3 线栅起偏器	(162)
3.4 反射光的偏振	(163)
3.5 毕奥偏振镜	(166)
3.6 布鲁斯特定律	(167)
3.7 马吕斯定律	(168)
3.8 散射光的偏振	(169)
3.9 方解石晶体	(171)
3.10 双折射	(172)
3.11 二相色性	(174)
3.12 偏振片	(175)
3.13 惠更斯对单轴晶体中 双折射现象的解释	(176)
3.14 μ_o 及 μ_e 值的测定	(183)
3.15 尼科尔棱镜	(184)
3.16 圆偏振光及椭圆偏振光产生的原理	(188)
3.17 四分之一波片	(194)
3.18 半波片	(195)
3.19 双象棱镜	(195)
3.20 巴比涅补偿器	(198)

3.21 椭圆偏振光及圆偏振光的产生	(201)
3.22 偏振光的检测	(202)
3.23 旋光性	(204)
3.24 勒让德半阴影起偏器	(206)
3.25 双石英片	(209)

第一章 干 涉

序

物理光学是光学的一个分支，它解决的问题有：

- (1) 光本性的各种学说。
- (2) 干涉、衍射及偏振现象。
- (3) 光的产生、发射及空间传播。

为了解释光的本性，在不同的时期产生了各种学说。

光的每一种学说是否能为人们接受，其唯一判据是看它能否成功地解释光的所有熟知的基本现象。下面列举一些光的基本现象。

(1) 光是能量的一种形式。光产生热效应，影响植物生长，作用于照相干板并对所照物产生光压。

(2) 光无需传播介质。换言之，光可以在真空中传播。例如，太阳辐射的光到达地球时，在真空中经过了数百万公里的距离。

(3) 光在均匀介质中直线传播。即光的直线传播。稍后我们将证明：光的直线传播仅仅是一种近似。

(4) 光的反射，依据反射定律。

(5) 光的折射，依据折射定律。

(6) 光同时发生反射和折射。在两种介质的分界面上，光同时发生反射及折射。

- (7) 光的色散。当光通过棱镜时发生色散。
- (8) 光的干涉、衍射、偏振及双折射等现象。
- (9) 光速不变。光速不依赖光源的特性。

§ 1.1 牛顿光的微粒说

1675 年，牛顿提出了光的微粒说。微粒说实质如下：

1. 光源向各个方向辐射一种微小的、无重量以及完全弹性的颗粒。这种颗粒称之为微粒。

2. 当微粒撞击视网膜时，产生视觉。

3. 微粒在真空中以 3×10^{10} 厘米/秒的速度传播。

4. 光的颜色不同是因为微粒的大小不同。

5. 由于微粒运动速度很大以及质量为零，重力对微粒运动的直线路径并无影响，因此微粒以匀速直线运动。

6. 当微粒接近反射表面时，反射表面对微粒施加一短程排斥力。这种斥力垂直于反射表面，因而当微粒接近反射表面时，速度的垂直分量减小。在反射面上，速度的垂直分量减小为零。当微粒运动方向改变时，斥力开始对微粒的运动速度起增加作用，直至微粒恢复其原来运动速率。这便是对光的反射的解释。

7. 当微粒位于距光密介质表面很短距离 δd 处时，它开始受一吸引力的作用。这种力垂直于表面，对微粒起加速作用。结果在光密介质中，微粒弯向法线方向。当微粒在光密介质中距表面 δd 范围内，这种引力连续作用。速度的切向分量并不受影响。这便是光的折射的解释。

8. 当微粒到达界面时，若易于反射则反射，易于透射

则透射，这便是对光同时反射及折射的解释。

微粒说的一些缺陷如下：

1. 微粒说认为在光密介质中，光速比光疏介质中的速度大，这与所观察的实验结果相反。
2. 对吸引力和排斥力的产生根本没有适当的解释。
3. 不能解释干涉、衍射及偏振等现象。
4. 微粒的速度应该与光源的温度有关，但实际上光速不依赖于光源温度。

§ 1.2 惠更斯光的波动说

——惠更斯原理

1678年，荷兰科学家 C. 惠更斯提出了光的波动说。总结起来称之为惠更斯原理，现讨论如下：

1. 光源上每一点都是扰动源或波源。所以光源向其周围介质发出扰动。

2. 存在一种均匀介质，它弥漫在整个宇宙，无论是星际空间还是原子缝隙。这种假想的介质（即以太）具有完全弹性和惯性。因此它能够传播波动。

如果没有介质，则不可能有波动，而且当太阳辐射的光在星际间传播时，星际空间中并无物质存在，因此有必要设想以太的存在。

3. 由光源发出的扰动，由一个粒子转移给另一个粒子，所以产生了波动。

4. 经很短时间 t 秒后，由光源发出的扰动将到达以光源为中心，以 ct 为半径的球表面。其中 c 为均匀介质中波的

速度。在这一时刻，球表面上的以太介质粒子将被扰动，并且具有同样的振动状态。换言之，它们将是同位相的。**同位相所有这种粒子的位置称之为波前。**在这种情况下为球面波前。图 1.1 中弧 $\widehat{AB}$ 表示了球面波前的截面图。

光线——波前的法线

5. 随着时间增长，球面波前的半径 ct 越来越大。当波前的半径很大时，其中一部分可以看成是平面。这种波前称为平面波前。用图 1.1 中直线 AB 表示。平面波前的所有法线，即所有光线彼此相互平行。

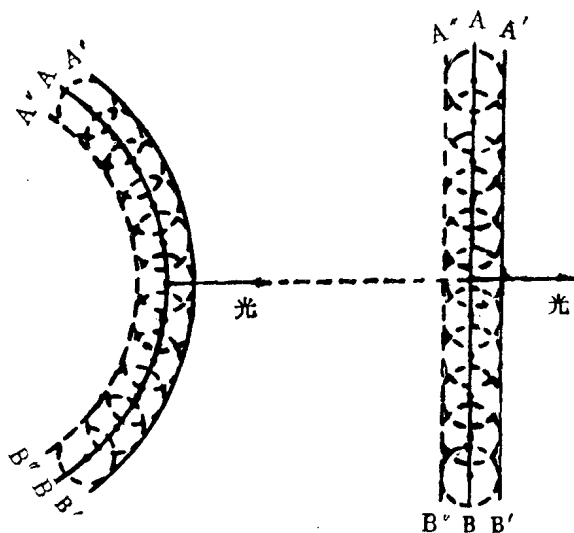


图 1.1 波前传播

6. 波前上的每一点可看成是一个新扰动的中心，即每一点象一个次级扰动源。波前上这些新的扰动称之为次级扰

动或次级波或惠更斯子波，简称子波。

现假定 $\widehat{AB}$ 上的实点代表次级波源，次级扰动将到达各个球面(图 1.1 所示)，次级波源为这些球面的各自中心。所有球面的半径相同，其值为 ct' ，其中 t' 为次级波开始产生时算起的时间，其值很小。注意，如果介质不变，次级波速不变。**介质应为各项同性的均匀介质。**

弧 $\widehat{A'B'}$ 及直线 $A'B'$ 为新波前，它们是子波球面的包络线，称之为次级波前。次级波前上所有点以同位相振动。

7. 惠更斯排除了回波波前 $A''B''$ 的可能性。但他并不能对此做适当解释。只有经过很长时间后在斯托克定律的基础上才对这一问题作了解释。

根据斯托克定律，各点的强度与 $(1 + \cos\theta)$ 成正比，其中 θ 为“波的法线”与“波传播方向”之间的夹角。

对回波而言： $\because \theta = \pi$ 弧度

$$\therefore 1 + \cos\theta = 1 + \cos\pi = 0$$

所以没有回波波前。

前行波其光强最强。随着 θ 的增加其强度减小。在回波方向上，强度为零。

白光的传播

白光是由不同波长、不同频率的波组成。自由空间中(即真空中)，所有波以相同的速度传播。实用起见，我们可以假定空气中白光所有成份的波都以相同的速度传播，因此所有各分波波前完全相同并形成一一个波前。这种波前在没有遇到障碍或折射介质前象一个波前一样连续传播。在折射介质中，各分波以不同的速度传播。这将导致白光的色散。现在我们来

考虑这种色散效应对波前的影响。

代表红色的波其传播速度最大，而相应紫色波的传播速度最小。介于这两色之间的波其传播速度也介于这两速度之间。因此我们得出结论：原来一个波前被分成多个波前，这些分离的波前将以不同的速度传播。

光波是横波

惠更斯认为光波是纵波，即以太介质粒子沿平行于光波传播的方向振动。他能成功地解释反射、折射、干涉及衍射现象，又能解释象石英、方解石这样的单轴晶体中所观察到的双折射现象。但是，惠更斯不能解释光的直线传播，也不能解释他本人曾发现的光偏振现象。

稍后，菲涅耳及杨氏认为光波是一种横波，即以太粒子沿垂直于波传播方向振动。因此他们可以成功地解释光的直线传播及偏振。

惠更斯以太概念的扬弃

经菲涅耳修正后，波动说开始稳固起来。但是，以太介质的概念对人们完全接受波动说仍然有很大的困难。

下面是一些反对以太概念的主要观点：

(1) 如果以太具有弹性和惯性，那么它应当传递纵波和横波，各自的波速为：

$$c_l = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\eta}{\rho}} \quad \text{及} \quad c_t = \sqrt{\frac{\eta}{\rho}}$$

其中 k 、 η 、 ρ 分别为以太介质的体积弹性模量、刚度及

密度。 C_l , C_t 分别为纵波波速和横波波速。

依照惠更斯学说, 以太只传递纵波而不传递横波。如果 $\eta = 0$ 这种设想可能。但按照菲涅耳修正, 以太只传递横波。

如果 $k + \frac{4}{3}\eta = 0$ 或 $k = -\frac{4}{3}\eta$ 即 $C_l = 0$ 这也可能。但 k 不可能为负值。

(2) 在不同的物质介质中, 光传播速度不同。这意味着不同物质介质中以太的性质不同。显然这是荒谬的。

(3) 如果以太具有有限的刚度, 那么行星的运动将受以太的反作用力而永远被延迟。但事实并非如此。

(4) 根本没有实验证实以太存在。

由于这样那样的反对意见, 惠更斯以太概念被扬弃了。

以太概念被扬弃后, J. C. 迈克斯威尔预言光是电磁波。他认为介质是电磁以太, 具有介电常数和磁导率的性质。

§ 1.3 迈克斯威尔光的电磁说

1873 年, J. C. 迈克斯威尔提出了光的电磁说。他认为光波是电磁波。支持这种观点的第一个有力证据是: 实验上证明了电荷振动时所产生的“扰动”速度与光速相同。

电磁说的主要原理如下:

1. 扰动是由波列组成。

2. 电波伴着磁波; 磁波伴着电波。

3. 当电磁波在真空中传播时, 其速度为 3×10^{10} 厘米/秒。通常用 C 表示。

4. 光波是横波，即振动垂直于波列传播方向。
5. 在真空中任一点上，电位移 $\vec{E}$ 与磁位移 $\vec{H}$ 互相垂直。
6. 电场与磁场通常同位相。
7. 电位移 $\vec{E}$ 与磁位移 $\vec{H}$ 的大小与方向随距离以正弦(或余弦)函数变化。
8. 当波在真空中扩散时，其振幅连续减小。
9. 波运载能量，任一点的能流率(功率)正比于电波振幅的平方。
10. 当两扰动迭加时，满足迭加原理，即在某一瞬间，任一点上的合位移为两分位移的矢量和。
11. 最为重要的是：光亦满足所有这些规律。光是电磁波家族中一个正规成员。

光波不同于无线电波仅在于其波长较短，或者频率较高。

电磁说及光学效应

根据电磁说，光由横波组成，其振幅为电矢量和磁矢量。原理上讲，电波和磁波如同同一块钱币的两个不同侧面一样。但我们应该最终确定两种位移中究竟哪一个用于解释光学效应。

由于下述因素而采用电矢量来解释光学效应。

1. 维纳实验中观察到：在被观察的光学效应中，电矢量产生的作用比磁矢量大，而且在照相过程中，电矢量作用大。
2. 在讨论光对电子作用时，电场所施加的力大于磁场所施加的力。
3. 另外也证明，电矢量引起视觉。

§ 1.4 光的二相性

对于光的特性，目前已被接受的观点是光具有二相性。

在许多方面，光的行为象波列；而在另一些方面，光却象是由一群微粒（即光子）组成一样。

当讨论较多数目的光子时，即强视光时，波动说较为适用。

当讨论数目较小的高能光子时，粒子性较为适应。

波动性和粒子性都给出了许多有用的模型。但在一定情况下，任一种都具有致命的错误。因此，二者互相补偿，即光具有二相性。

§ 1.5 干 涉

用波动、即能量以波的形式传播可以解释干涉现象。在合幅度为零或最小的点上出现相消干涉；在合幅度加倍或最大的地方则出现相长干涉。因此干涉现象可定义为：双束或多束光叠加时所得到的能量分布的变化。

单一光源，其能量在周围空间中均匀分布。当两列或多列波通过相同空间区域时，每一列波都保持自己的特性，如同另一列波不存在一样。例如，两光束相交时，在它们相交区域外，其中的某一束对另外一束并无任何影响。所以其中某一束光所产生的效应完全独立于另一束光产生的效应。

在两束光同时相交的区域内，它们互相干涉。任一点上的合振幅为各分波位移按确定的位相迭加，即根据迭加原理。

迭加原理叙述为：任一时刻、任一点上的合位移等于各

分波独立存在时这一时刻、这一点上位移的矢量和。

此处所用的“位移”是一般化的术语，如果考虑液体表面的水波，则位移意即表面高出或低于水平面的实际位移。如果是指电磁波，位移则意味着这点上电场（或磁场）强度的幅度。

§ 1.6 相干光源

如果两个很窄的光源满足下述条件，则它们是相干的。

- (1) 同波长(或同频率)；
- (2) 同振幅；
- (3) 具有确定的位相。

如果没有相干光源，则根本观察不到干涉图样。

两个独立的相似光源或同一光源的不同部分不能作为相干光源。这一点可以在原子理论的基础上得到解释。

光源是由大量的原子组成。按照原子理论，原子是由原子核和核外电子组成。电子在核外确定的轨道上运动。激发时，电子跳到不稳定的较高轨道上。电子在 10^{-8} 秒的时间内由较高轨道回到内层轨道，同时辐射光脉冲。同一光源的不同原子或不同光源的原子光脉冲辐射是随机的，所以任意两光脉冲之间根本没有确定的位相关系。因此两独立的类似光源或同一光源的不同部分都不能作为相干光源。

一个实际光源与它的理想象可以做为相干光源。另外一个光源的两个理想象也可以做为相干光源。

总有一天能通过调谐两微波发射器使其频率严格相等以致于在很长的时间内位相具有确定的关系，从而获得两束相