

中学物理教程

课本和手册

光学和电磁学

[美] 杰拉尔德·霍尔顿

F·詹姆士·卢瑟福 编

弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组译

中学物理教程
课本和手册

4

121155/23



光学和电磁学

[美] 杰拉尔德·霍尔顿
F·詹姆士·卢瑟福 编
弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组 译

文化教育出版社

内 容 提 要

这套《中学物理教程》(The Project Physics Course)是美国有重要影响的改革教材。全套书共分六册: 1. 运动的概念; 2. 天空中的运动; 3. 力学的成就; 4. 光学和电磁学; 5. 原子的模型; 6. 原子核。本书是根据第四册译出的, 主要讲述物理光学, 电场和磁场, 电磁感应和电磁波等知识。

这套教程的特点是突出最基本的概念和规律, 注意物理学与社会的联系和相互影响, 包括了相当丰富的物理学史资料, 重视阐明科学研究方法和思考方法, 叙述深入浅出。

本书可供中学教师和学生参考, 也可供中等文化水平的读者阅读。

*

The Project Physics Course Text and Handbook 4

Light and Electromagnetism

Gerald Holton

F. James Rutherford

Fletcher G. Watson

HOLT, RINEHART and WINSTON, Inc.

New York, Toronto

1970

中学物理教程

课本和手册 4

光 学 和 电 磁 学

[美] 杰拉尔德·霍尔顿

F·詹姆斯·卢瑟福 编

弗莱彻·G·沃森

华中师范学院物理系翻译组译

*

文化教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 7.25 字数 174,000

1980年6月第1版 1980年11月第1次印刷

印数 1—22,000

书号 7057·011 定价 0.65 元

目 录

课 本 部 分

第十三章 光

13.1	绪言	1
13.2	光的传播	3
13.3	反射和折射	7
13.4	干涉和衍射	10
13.5	颜色	13
13.6	天空为什么是蓝的	17
13.7	偏振	19
13.8	以太	22
	学习指导	23

第十四章 电场和磁场

14.1	绪言	30
14.2	磁石和琥珀的奇异性质 吉尔伯特的《磁学》	30
14.3	电荷和电力	34
14.4	力和场	43
14.5	最小电荷	51
14.6	关于电荷的早期研究	54
14.7	电流	56
14.8	电势差	58
14.9	电势差和电流	62
14.10	电势差和功率	63
14.11	电流对磁体的作用	65
14.12	电流对电流的作用	69

14.13 磁场和运动电荷	71
学习指导	76

第十五章 法拉第和电气时代

15.1 问题: 从一处向另一处传输能量	85
15.2 法拉第关于电和力线的早期工作	86
15.3 电磁感应的发现	88
15.4 利用磁场产生电: 发电机	92
15.5 电动机	97
15.6 电灯	99
15.7 交流电与直流电的竞赛 尼亚加拉水电站	102
15.8 电与社会	107
学习指导	110

第十六章 电磁辐射

16.1 绪言	115
16.2 电磁原理的麦克斯韦公式	116
16.3 电磁波的传播	122
16.4 赫兹实验	125
16.5 电磁波谱	129
16.6 现在怎样看待以太	136
学习指导	139

手 册 部 分

第十三章 光

实验	143
32 光束的折射	143
33 杨氏实验——光的波长	147
课外活动	151
薄膜干涉	151

手帕衍射光栅	151
衍射图样的拍摄	152
泊松亮斑	153
摄影活动	154
颜色	154
偏振光	156
冰块透镜的制作	158

第十四章 电场和磁场

实验	159
34. 电力 I	159
35. 电力 II —— 库仑定律	162
36. 作用于电流的力	166
37. 电流、磁体和力	174
38. 电子束管	179
课外活动	184
电场的探测	184
伏打电堆	185
11 分硬币电池	185
磁场强度的测量	186
永动机	187
使用电子束管的附加活动	189
晶体管放大器	193
在无线电电子管内部	194
是孤立的磁北极吗	196

第十五章 法拉第和电气时代

课外活动	198
法拉第圆盘发电机	198
跳绳发电机	199
简单的电表和电动机	200

简单的电动机-发电机演示	202
物理学的美术拼贴	203
自行车发电机	204
版画 Lapis Polaris, Magnes	204

第十六章 电磁辐射

实验	206
39 波和通信	206
A. 转盘振荡器	206
B. 共振电路	208
C. 微波的基本性质	209
D. 反射微波的干涉	210
E. 信号和微波	212
课外活动	214
微波传输系统	214
科学与艺术家——新科学邮票的故事	214
贝尔电话实验室科学配套元件	216
教学影片	217
影片 45: 电磁驻波	217
 每节问题的答案	219
学习指导问题的简明答案	224

课 本 部 分

第十三章 光

13.1 绪言

光是什么？初看起来，这似乎是一个微不足道的问题。但毕竟我们对光比对任何其它的东西都更为熟悉。我们看东西要用光。我们生活也要有光，因为没有光就没有光合作用，而光合作用是地球上大多数生命所需能量的基本来源。光是我们周围世界大部分情报的传递者，包括地球上的和宇宙遥远地方的情报。由于我们世界的大部分都靠光来显示，因而它的性能常常引起我们的注视。它传得多快？它是怎样越过真空的？颜色是什么？（学习指导 13.1）

对物理学家来说，光是能量的一种形式。他们能够用速率、波长、频率以及光束强度等数值来描述光。对物理学家也和对其他所有的人一样，光也意味着亮和暗，意味着夏日的鲜花和秋天的落叶，火红的夕阳和名家油画的美。这都是从不同的角度来鉴赏光：一是注意它的可测量的方面——这方面在物理学及技术中已有大量的成果，其次是光在自然界和艺术品中的效果对我们所引起的美感。再就是从视觉的生物物理过程来考虑光。

由于上述这些方面不易分开，因此在早期的科学史中提出的一些关于光的问题，跟我们经验的其他一些问题比较起来，更加微妙和难以捉摸。由于不能区分光和视觉，早期人们对光的本质的概念是含糊不清的。显然幼儿也弄不清这一点。当他们捉迷藏时，有的把眼睛遮起来就算躲好了；他们似乎在想，当他们看不见别人

时,别人也就看不到他们。光和视觉的联系也存在于成人的生活之中。我们常说太阳“从云中窥探”或者说星星“朝下看”。

有些希腊哲学家相信光包含有许多粒子并且沿直线高速传播,当它们进入眼睛后就刺激视觉。希腊时代以后的许多世纪,人们对光的本性很少注意,因而一直保持着光的粒子模型。但到了1500年前后,伦纳杜·达·芬奇注意到回声和光的反射之间的相似,他推测光可能具有波动性质。

关于光的本性,在17世纪科学家的意见中出现了很明显的分歧。有些人,包括牛顿在内,赞成一种大体建立在粒子流概念上的模型。其他一些人,包括惠更斯在内,则支持波动模型。不过到了19世纪末期,出现了占压倒优势的证据,表明观察到的光的特性能够用光具有波动性的假设,即波动模型来解释。在本章里,我们将注意在解释观察到的光的行为时,波动模型究竟合适到什么程度?也就是说,我们把波动模型作为一种假说,并检查支持这种假说的理由。我们必须牢记,任何科学模型、假说或理论都具有两种主要作用——解释那些已知的事实和作出能够经受实验检验的预言。我们将从这两个方面来考察波动模型。其结果是非常离奇的。对于20世纪以前已经知道的光的一切特性,波动模型都能令人信服地加以说明。但是在第18章里我们会发现,由于某些原因,我们必须采用粒子模型。然后在第20章里,我们将把两个模型结合起来,把两个似乎相反的理论结合在一起。

我们已经提过早期的见解——以后为实验所证实——光沿直线高速传播。日常照镜子,使我们确信光也能反射。光还有其它一些特性——例如,它可以折射,而且显示出干涉和衍射现象。以前,在第12章里考察波动的行为时,已经学过这些特性。如果有必要,在进一步学习光学之前最好复习一下那一章的一些基本概念。我们还要考察其它一些现象——色散、偏振和散射。截至目

前为止，我们很少甚至没有考虑这些现象。我们将要看到这些现象适合于波动模型，而且事实上，它们是这个模型强有力的实验支柱。

在讨论光的这些性质之前，在讨论这些特性如何为支持光的波动假说提供证据之前，我们首先考虑光的传播和光的两个特性——反射和折射。这两个特性，微粒(粒子)模型和波动模型都能解释。自然，课文中的讨论必须用实验来补充，而且可能的话，还要用课外活动、课外读物、影片、幻灯等等来补充。

确实，现在是个好机会来提醒你们一个要点：本课程强调使用多种手段来学习物理。因此，这与你们可能熟悉的其它许多课程不同，那些课程主要依靠一本教科书。相反地，这个课本对于那些用实验或课堂讨论比单纯阅读能学得更好的部分，有时只作了一些启发或指出前后的联系。特别对第四册的主题光学(光的科学)以及电学和磁学部分更是这样作的。这本教科书只给一个概貌，而你们将用那种比单纯念书更有效更有趣的学习方法来加以补充。

13.2 光的传播

大量的事实证明光沿直线传播。人的视线不能绕过障碍物就是一个明显的例子。阳光照出的影子的轮廓线，就是那些巨大而遥远的光源照出清晰影子的一例。类似地，近而小的光源也能照出清晰的影子。遥远的太阳或近处的小光源都近似于点光源；正是从这样的点光源我们才能得到清晰的影子。(学习指导 13.2)

像和影子能够证明光沿直线传播。在有透镜系统的现代照相机发明之前，曾经广泛地使用过一种轻巧密封的小匣子照相，匣子的侧面中央打一个针孔。作为暗箱，这种装置在中世纪非常流行。达·芬奇很可能借助它画过草图。他在一份手稿里说“窗板上有一个小孔，孔外的物体通过小孔把像投射到房子的内壁上”，并且

附有草图说明如何用光的直线传播解释像的形成。

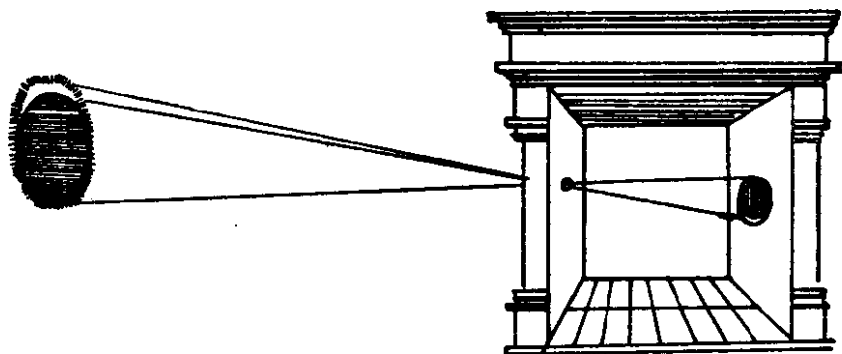


图 13-1

最早发表的观察 1544 年 1 月日蚀的暗室插图。摘自荷兰物理学家和数学家格马·弗利谢斯的书。

通常用一条直线来代表光的传播方向比较方便，而且用一条无限细的直线表示光，对于我们想象光也有帮助，但是实际上这种光线并不存在。从屏上一个适当大小的孔中穿过来的光束就跟孔一样粗细。你可能预想，如果我们把孔做得非常小，我们就会得到一束很细的光，最后就会是一条光线。但是我们得不到。当光束通过小孔时，出现了衍射效应（正如你们已经观察过的水波和声波一样，见图 13-2）。因此，一条无限细的光虽然画图时有用，但是实践上并不能产生。虽然如此，我们仍然能够用这个概念来代表

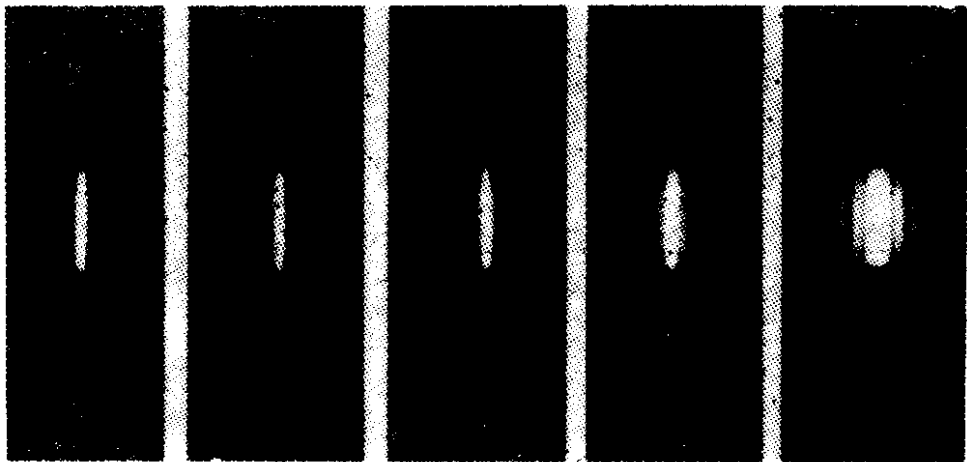


图 13-2

一种产生光“线”的企图。在拍摄上面这些照片时，用了一束平行的红光，穿过逐步变窄的狭缝后直射到底片上。（当然，缝越窄，穿过光越少，这由较长的曝光时间来补偿。）从左到右狭缝的宽度是 1.5 毫米、0.7 毫米、0.4 毫米、0.2 毫米和 0.1 毫米。

平行波列的传播方向。(学习指导 13.3)

假定光是沿直线传播的,我们能够说出它走得有多快吗?伽利略在他的《两种新科学的对话》(发表于 1638 年)一书中讨论了这个问题。他指出,日常经验可能使我们得出结论,光的传播是瞬时的。但是这些经验经过更仔细的分析,实际上只能说明光比声传播得快得多。例如,“当我们在很远的地方看放炮时,炮的闪光不费时间就到达我们的眼里,但炮声则只有在一个明显的时间间隔之后才到达耳朵。”除非我们有了某种精确的方法测量所费的时间,我们怎么能确实地知道光的运动是否“不费时间”呢?

当时伽利略描述了一个测量光速的实验,即两个人在相隔很远的山上用灯火发出闪光。(这个实验在学习指导 13.4 中加以分析)他得出的结论是光的速率很可能是有限的而不是无限的,但他未能估计出一个确定的数值来。(学习指导 13.4)

丹麦天文学家奥利·罗默首先成功地用实验事实证明了光具有有限的速率。当仔细地观察木星的卫星时,出现了一个没有得到解释的现象,即由木星的遮掩造成的卫星食的时间间隔不规则。1676 年 9 月罗默向巴黎的科学院宣布,预期在 11 月 9 号上午 5 点 25 分 45 秒发生的木星卫星食将推迟 10 分钟。1676 年 11 月 9 号巴黎皇家天文台的天文学家,虽然怀疑罗默的神秘的预言,但仍然对卫星食作了仔细的观测,并报导说,正如罗默所预言的,食确实出现得晚了。

后来,罗默告诉了科学院的那些困惑不解的天文学家,他的预计的理论基础。他解释说,原来所预期的食是以木星靠近地球时的观察结果为基础的。食之所以推迟,简单地说,就是由于光从木星到达地球要花费时间,而这时间的长短要看木星和地球在它们各自的轨道上所处的位置。事实上,他估计光跨过地球绕太阳的轨道,要花费 22 分钟。

此后不久，荷兰物理学家克里斯蒂安·惠更斯用罗默的数据第一次计算了光速。他把罗默关于光跨过地球轨道需要 22 分钟这一数值跟他自己对地球轨道直径的估算（在第二册中讲过，17 世纪第一次估算出这个距离是天文学进展的一个成果）结合了起来。惠更斯所得的数值，用现代的单位表示约为 2×10^8 米/秒。这个数值约为现在公认值的三分之二（见下文）。惠更斯数值的误差主要是由于罗默过长地估计了所需的时间——现在我们知道，光跨过地球轨道只需要 16 分钟。

自 17 世纪以来，曾经用过许多方法测量光速。由于光速很高，因此必须用很长的距离或者很短的时间，或者两者兼用。早期的测量方法是以天文距离为依据的。19 世纪用转动的开孔轮盘和镜子使得测量短的时间间隔成为可能，于是就可以用几英里的距离。由于 20 世纪电子器件的发展，能够测量更短的时间间隔，结果光速的数值成为最精确的物理常数之一。但是由于光速的数值在现代物理理论中的重要性，现在物理学家仍在继续改进他们的测量方法。

不久前，最精确的测量表明，光在真空里的速率为每秒 299,792,456.2 米。估计它的误差值约为每秒 1 米或 0.000001%。通常光速用符号 c 表示。在许多情况下，用它的近似值 $c = 3 \times 10^8$ 米/秒也就够了。（学习指导 13.5, 13.6）

问题 1 用逐渐减小狭缝宽度的方法能否使穿过狭缝的一束光不断地变窄？

问题 2 罗默根据什么理由想到木星的某个卫星食会比预期的时间晚一些才能观察到？

问题 3 罗默工作的最重要成果是什么？

13.3 反射和折射

在一种媒质(如空气)中传播的光线,当它碰到另一种媒质(如玻璃)的界面时会发生什么现象呢?这个问题的答案要看我们是采用光的粒子理论还是波动理论。因此这就给我们提供了一个检验哪种理论更好一些的机会。

我们已经在第12章中从波的观点讨论过反射和折射,因此只需要回忆一下在那里已得到的结果。

1. 沿垂直于波峰线所画的一条线可以作为射线;射线的方向代表平行波列传播的方向。

2. 在反射过程中,入射角(θ_i)等于反射角(θ_r)。

3. 当波进入另一种媒质时,它的折射牵涉到波长和波速的改变。特别是当波速减小时波长也减小,而且射线向着靠近界面的垂线方向折射。当光线从空气进入玻璃时,观察到了折射线靠向这条垂线。(学习指导 13.7~13.12)

粒子模型如何呢?要检验这种模型,我们必须首先考虑玻璃表面的性质。虽然看起来它是平滑的,但实际上是有皱纹的。用高倍率显微镜就可以看出它有无数的起伏。(见图 13-5)如果光粒子碰到这样的皱纹表面,它们就会向各个方向散射,而不会象上图那样产生反射和折射。因此牛顿辩解说,事实上“存在着物体表面的均匀扩散层,光线受它的作用而不直接与物体接触”。显然这种作用是一种排斥光粒子的力(参看图 13-6a)。用一种类似的,但不是排斥而是吸引光粒子的力,就可以解释折射。当光粒子趋近另一媒质的边界时,它首先要克服排斥力,如果它能克服排斥力,才会遇到媒质中的吸引力而把它拉入媒质中去。由于吸引力是一



图 13-3

来自左上方的两条细束光,射到一块玻璃砖上,你能够解释所发生的效应吗?

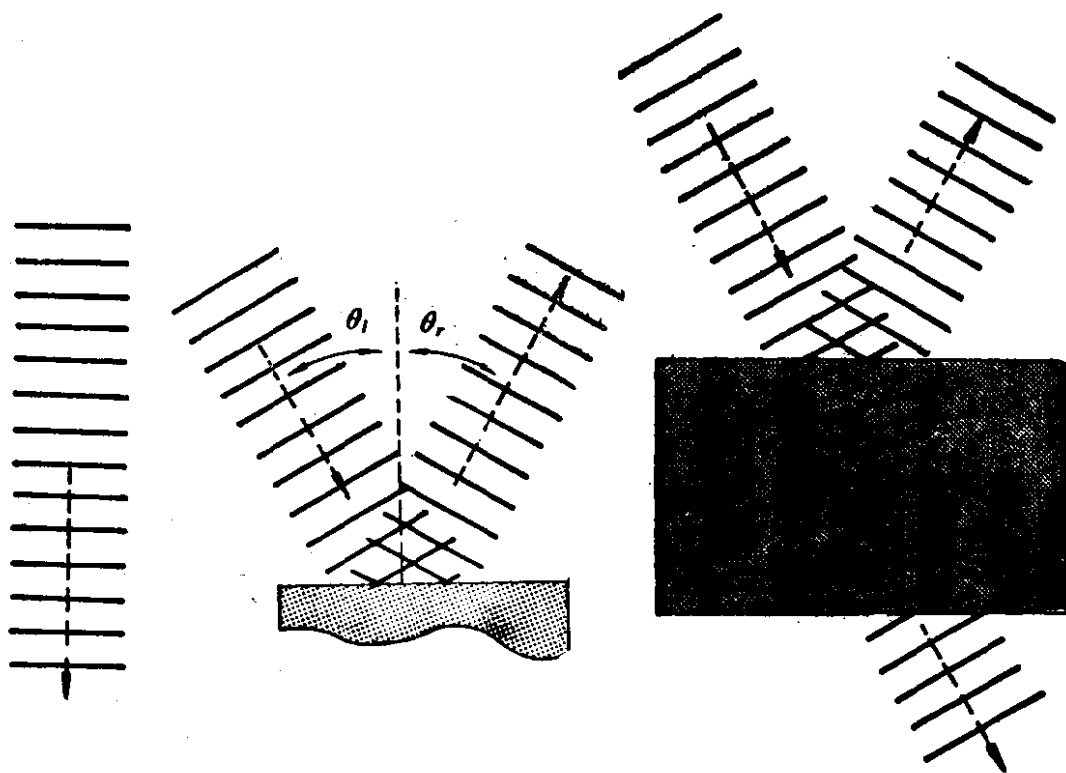


图 13-4

入射线、反射线和折射线都在跟表面垂直的同一个平面内。

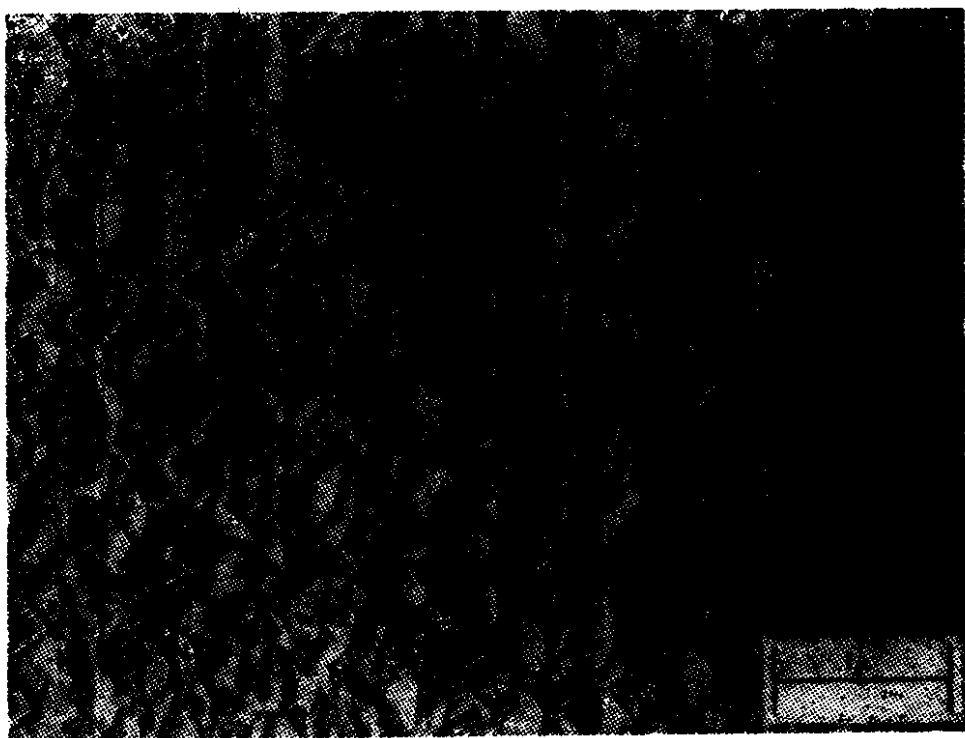


图 13-5

电子显微镜下显示的 3 微米厚的铝膜镜面。放大率约为 26,000 (μ 代表微米, $1\mu = 10^{-6}$ 米)。

个矢量，它具有沿光线原来运动方向的成分，光粒子的速率会增加。因此如果光的运行与界面成倾角，那么当它进入媒质后，它的方向就会朝着靠近界面垂线的方向改变。（参看图 13-6b）

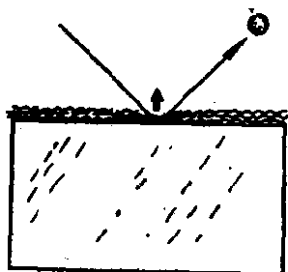


图 13-6a

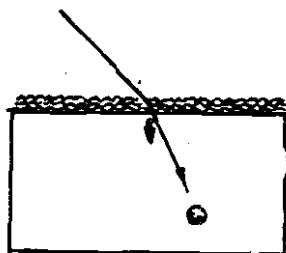


图 13-6b

因此根据粒子模型，对于反射和折射我们可作如下的表述：

1. 光线代表粒子运动的方向。
2. 在反射中，入射角等于反射角。把动量守恒定律（第 9 章）应用于粒子和媒质的相互排斥力就可以导出这种预计。

3. 粒子进入另一媒质时的折射，涉及粒子速率的改变。特别是，当吸引力起作用时，速率增加，并且射线折入媒质。（学习指导 13.13）

比较粒子模型和波动模型的特征（如上所述），我们发现，唯一的差别就在于折射线的预计速率。当我们观察到光线进入另一媒质并折向垂线时——例如，光从空气进入水中的情形——，粒子模型预计光在第二种媒质中有较大的速率，而波动模型则预计具有较小的速率。

你们可能会认为人们很容易设计出一个实验来决定哪一种预计是正确的，因为所要做的只不过是测量光在水中的速率并把它和光在空气中的速率作个比较而已。然而在 17 世纪末 18 世纪初，惠更斯赞成波动模型，牛顿赞成粒子模型的时候，这种实验还不能做。记得当时测量光速唯一可能的方法是天文方法。直到 19 世纪中叶，斐索和傅科才测出了光在水中的速率。结果是与波动模型所预计的相符：光在水中的速率比它在空气中的速率要小。

具有讽刺意义的是，等到这些实验做出来时，大多数物理学家，由于其它一些原因(见下文)早就接受了波动模型。那时广泛地认为 1850 年傅科-斐索实验是在牛顿粒子模型的棺木上钉下的最后一颗钉子。

问题 4 什么事实决定性地说明牛顿的光的粒子模型不能解释折射的各个方面？

问题 5 如果光具有波动性，那么它从空气进入水中时速率、波长和频率将产生什么变化？

13.4 干涉和衍射

从牛顿时代一直到 19 世纪初，大多数的物理学家由于牛顿的威望都支持了光的粒子理论。然而到了 19 世纪初托马斯·杨又使波动理论得以复兴。杨氏在 1802 年和 1804 年所作的实验中，发现光显示出干涉现象。在第 12.6 节中我们联系水波讨论过干涉图样(图 13-7)，这种图样是难于用光的粒子理论来解释的。对于杨氏著名的“双缝实验”，不要空讲，一定要在实验室里做一做。

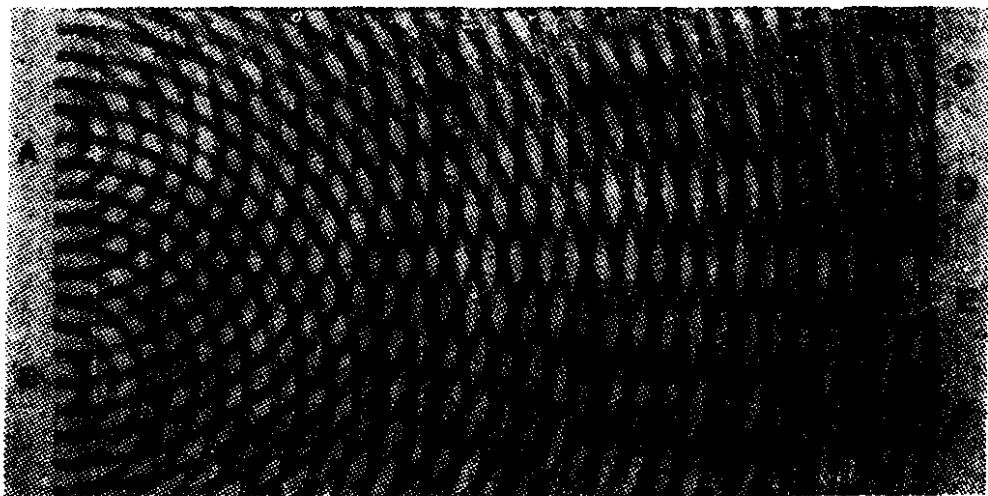


图 13-7

托马斯·杨表示重叠光产生干涉效应的原始画图。从书的右边朝着图看去效果最好。