

光的波动和量子性質

馬雷謝夫著

閻金鐸譯

И. М. МАЛЫЦЕВ
ВОЛНОВЫЕ И КВАНТОВЫЕ
СВОЙСТВА СВЕТА

УЧПЕДГИЗ 1957

根据俄罗斯苏维埃联邦社会主义共和国教育部教育出版社 1957 年版译出

光的波动和量子性质

(苏) 馬雷謝夫著

閻金鐸譯

*

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

上海市书刊出版业营业许可证出 090 号

上海新华印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 3 5/8 字数: 73,000

1960年3月第1版 1960年3月第1次印刷

印数: 1—17,000 本

统一书号: 7150·854

定 价: (九) 0.33 元

目 录

光的波动性质

第一章 光的干涉和衍射	1
§ 1. 光的本性	1
§ 2. 波的干涉和衍射	3
§ 3. 光波的干涉和衍射	8
§ 4. 光的衍射和干涉的实际意义	13
第二章 光的色散	17
§ 1. 可見連續光譜	17
§ 2. 紅外線和紫外綫	21
第三章 发射光譜和吸收光譜	28
§ 1. 发射光譜	28
§ 2. 吸收光譜	33
§ 3. 分光鏡的校准和光譜綫的光波波长的測定	36
§ 4. 明綫光譜的結構	38
第四章 倫琴射綫	39
§ 1. 倫琴射綫的获得	39
§ 2. 倫琴射綫的本性	44
§ 3. 电磁波的极別	46

光 的 作 用

第五章 光的量子性质49

§ 1. 光电效应49

§ 2. 光电管及其在技术中的应用53

§ 3. 光电效应现象的课堂讲述56

§ 4. 发光63

§ 5. 光压66

§ 6. 光的波动和量子过程70

第六章 小组作业(补充部分)71

§ 1. 小组作业的組織71

§ 2. 题目 1 • 热辐射的研究72

§ 3. 题目 2 • 为演示水面波用的、带有一套零件的
水槽的制作89

§ 4. 题目 3 • 照象衍射光栅的制造92

§ 5. 题目 4 • 水银-石英灯的装置95

§ 6. 题目 5 • 光电替續器的构造和利用它所做的
一些实验99

§ 7. 题目 6 • 氢原子的结构和辐射的量子性质 103

光的波动性質

第一章 光的干涉和衍射

§1. 光的本性

在中学十年級講授光学課程按照傳統总是从几何光学开始的。然而,开始講解几何光学的一些基本定律时,必須預先給学生介紹光的波动性質的一些知識。这样,一方面因为剛剛講过“电磁振荡和电磁波”这一章,就可以建立起光学現象与电磁現象的联系;另一方面可以使得学生对几何光学定律的物理本質有較深刻的理解。

講解光源时,可以对学生說明:任何光源都不是別的,而是电磁波的波源,在本質上,光波和无綫电波一样,只是光波的波长比无綫电波的波长短得很多而已。我們的眼睛是特殊的电磁波接收器,它的接收范围按波长来講是从 0.76 微米到 0.38 微米。如果波长是 0.76 微米的电磁波,射到我們的眼睛里,我們可以說是看到了紅光;如果波长是 0.38 微米,我們可以說是看到了紫光。当眼睛同时感覺到上述范围内的不同波长的电磁波时,就产生白光的印象,通常的太阳光就是这样。可見,白光是复色光,而任何一定波长的光,例如紅光($\lambda=0.76$ 微米),是单色光。

点光源发射电磁波，这种波在均匀媒质里可以看作是球面波，如图 1 所示，它在空间的传播速度是 300,000 千米/秒（真空中）。我们研究的所有波的表面，以及它的一部分，都叫

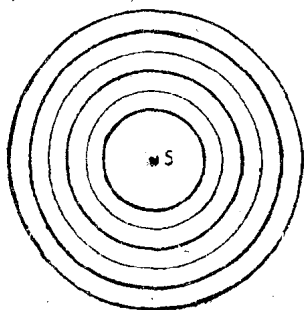


图 1

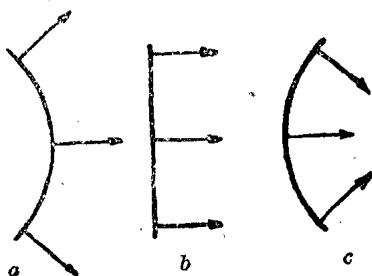


图 2

做波阵面。波阵面可以是凸面的、平面的、凹面的，如图 2 a、b、c 所示。在某一点想象地作出的与波阵面直交的垂直线，叫做光线。许多条光线形成了光束。自然界里既没有光线，也没有光束，有的是光的电磁波。光线这一概念是为了在讲解光学现象时便于讨论而引入的一个纯粹假想的概念。不用凸面的、平面的和凹面的光波，而用发散光束、平行光束和会聚光束，就觉得简单得多。用光线这一概念来研究光学基本定律的这一部分光学，叫做几何光学。根据光的波动理论研究光的定律这一部分光学，叫做波动光学。因为根据几何观念来研究光学基本定律是比较容易和方便的，并且，这些定律最初也是由科学家应用光线这一概念所发现的，所以，研究光学通常从几何光学开始。

研究光波是与振动和波的一般理论知识有联系的。对于任何波（包括光波）都有下列特有的现象：即波的反射、折射、

干涉和衍射。我們先利用几何光学的方法，研究具有实际应用的一些反射和折射现象，然后，再研究光的波动和量子性质。

我們的意見是：在十年級講解光学时，应当有引言，然后开始講解几何光学部分，接下去再講解光的波动和量子性质；本書中所叙述的内容就是这样安排的。

§ 2. 波的干涉和衍射

根据現行的中学物理教学大纲，在“振动和波·声”这一部分不講波的干涉和衍射现象，因此在光学里，在建立光波的干涉和衍射概念时，必須首先演示这些现象，用阴影法把水面波投射在幕上。在中学物理室里，应当有一具以阴影法演示水面波的专门仪器。这仪器是由一个玻璃片做底的不大的水槽和一套附件組成，附件主要部分是电磁振动器。如果没有

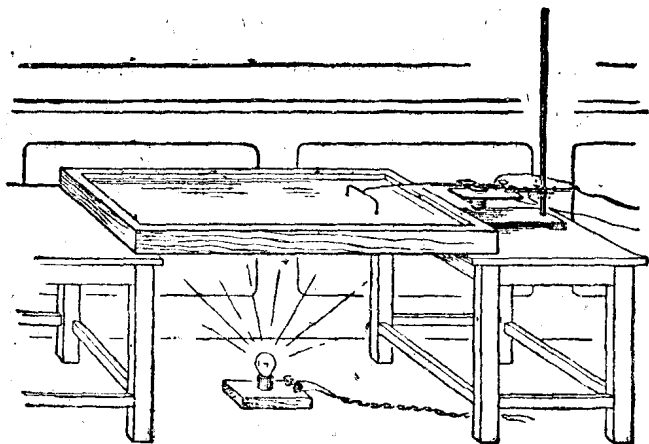


图 3

現成的水槽，可以把它安排在小組作業里叫學生制作，在本書第六章(小組作業)里將詳細地談到這個具有一套附件的自制水槽的作業。演示水面波的裝置如圖 3 所示。

水槽可以擺在演示桌前面的兩只凳子上。用电弧作點光源是比較好的。但是也可以利用汽車上用的小燈泡。在水槽里注入一層清水，厚約 10—15 毫米。在天花板上可以看到波的投影。因為振動器的振動叉的兩個尖端同時跟水接觸，所

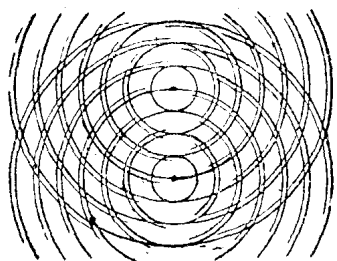


圖 4

以由振動器所產生的兩列波發生干涉。干涉這個名詞的意義，最好在開始實驗時給學生解釋。從兩個波源發出的兩列波重迭起來，並且，當迭加時，在演示幕上就形成了如圖 4 所示的干涉圖樣。

在詳細講解形成干涉圖樣的機構以前，最好是用同樣的裝置同時演示波的衍射現象。要觀察水波的衍射，可作下列實驗。首先我們要設法得到波障面是平面的波（正確地說是類似平面波），為此，要把振動器一端的振動叉的背面轉向水面，這樣，跟水面接觸的不是振動叉的兩個尖端，而是一定長度的金屬綫，因此，當振動器在水面振動時，就發出平面波。在這一列波前進的途徑上，我們放置一個具有三個閉縫的障礙物（參閱第六章）。我們打開兩旁任一條窄縫，並使振動器開始振動。我們得到如圖 5 所示的衍射圖樣。關閉這個窄縫，並打開中間一條寬縫；同時要學生注意：衍射圖樣將發生怎樣的變化（圖 6）。關閉中間的寬縫，並打開兩旁窄的縫。我

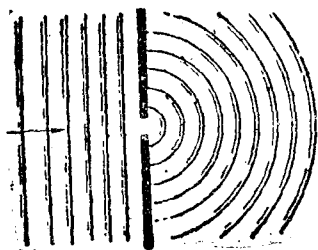


图 5

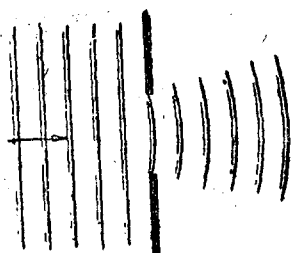


图 6

們同时观察到衍射和干涉现象(图 7)。这里可以把屏上的两个狭缝看作是兩個相干波源。

可以在解釋光波干涉和講解得到互相干涉的光波方法时做这个实验。

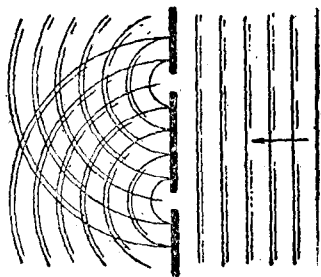
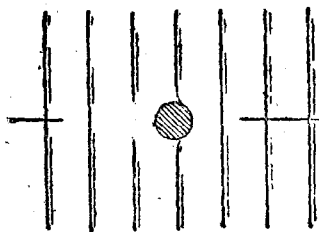


图 7

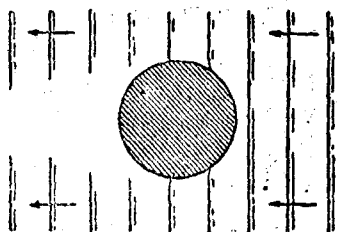
最后，我們来观察波对不同大小的物体繞行时的衍射。

在平面波前进的途徑上，先放一个直径是 10 毫米的小圆柱，

然后，拿开这圆柱，换上直径是 50 毫米的小圆柱。我們得到如图 8, a 和 b 所示的衍射图样。



a



b

图 8

这些演示实验可以使学生较深入地理解光波的干涉和衍射现象,而这些现象,在中学的条件下,通常是完全不可能演示的。在讲解光波干涉以前,最好先研究任意两列波作下列形式的干涉情况。假设波长相等和振幅分别是 A_1 、 A_2 的两列波,同周相地传播到某一点(图 9)。那么,当两列波迭加时,合成波的振幅将是 $A = A_1 + A_2$ 。如果两列波在周相相反的

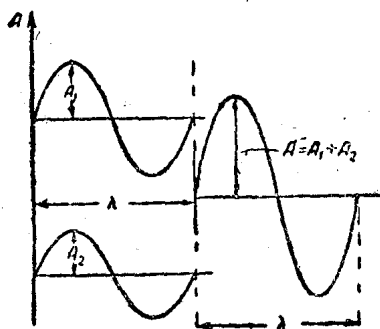


图 9

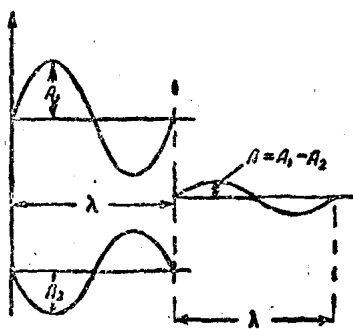


图 10

地方迭加,合成波的振幅是 $A = A_1 - A_2$,并且波的周相和振幅较大的波的周相相同(图 10)。必须注意:当两列波迭加时,合成波的波长仍等于波迭加的波的波长。

在迭加的两列波的振幅相等的情况下,当两列波在相同周相的地方迭加时,合成波的振幅是每一列被迭加的波的振幅的两倍。如果两列波在周相相反的地方迭加,则合成波的振幅等于零。

乍一看来,干涉现象似乎破坏了能量守恒定律。

已知在其他条件都相同的情况下,波的能量与振幅的平方成正比。当振幅相等的两列波迭加时,在上段前一种情况下,合成波的振幅增大了一倍,而能量增到原先的四倍。试

問:这过多的能量是从哪里得来的?

在后一种情况下,合成波的振幅等于零。可以推断:能量消失了,因为没有让它转变为其他形式的能。

当统一地讨论两种干涉情况时,似乎与能量守恒定律的矛盾就消除了。应当研究发生干涉而使波加强和减弱的所有波域。能量只是在波域内重新分布,能量并没有产生,也没有消失。

应用图9和10,很容易理解:如果两列互相发生干涉的波最初具有同周相,那末当一列波对另一列波移动 $\frac{\lambda}{2}$ 距离时,就使两列波的周相相反,这样,就发生了波的削弱。一列波对另一列波移动 $2\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ 距离,重新

引起周相相同,因而发生波的加强。我们来看图11,这图表示向定点M传播的两个相干波源 s_1 和 s_2 (水中振动器的振动叉)。因为两列波是从波源 s_1 和 s_2 以同周相发出的,所以当

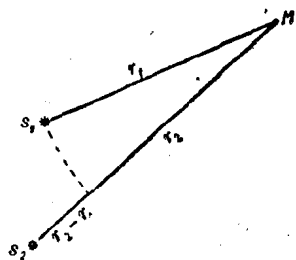


图 11

两列波到达点M时,由于从波源 s_1 和 s_2 到达所研究的点的距离 r_1 和 r_2 不等,因而可以发生周相移动。如果波程差(距离 $r_2 - r_1$)等于半波长的奇数倍 $\frac{\lambda}{2}, 3\left(\frac{\lambda}{2}\right), 5\left(\frac{\lambda}{2}\right), \dots, (2n-1)\frac{\lambda}{2}$, 则两列波在点M的周相相反,从而发生波的削弱。如果波程差 $r_2 - r_1$ 等于 $2\left(\frac{\lambda}{2}\right), 4\left(\frac{\lambda}{2}\right), \dots, 2n\left(\frac{\lambda}{2}\right)$, 则两列波在点M

的周相相同,从而发生波的加强。

解釋完所观察到的水面波的干涉和衍射以后,可以进而研究光波的干涉和衍射现象。

§ 3. 光波的干涉和衍射

在自然界里,光波的干涉现象与伴随它而产生的衍射现象具有密切的联系,因此,在物理课上讲解光波的干涉和衍射时,必须指出这两种现象的联系。上面讲解的关于光的干涉和衍射,会使学生特别容易地理解这些复杂现象和由这些现象所产生的结果。

用小屏上的两个狭缝作为发生干涉光波的两个波源演示光波干涉现象很是方便。看过水波的衍射实验以后,对这种获得互相发生干涉的光波的方法,学生理解起来比课本里通常所描述的非涅耳双镜实验要容易得多,而且未必任何学校都可能有非涅耳双镜的装置。光波的衍射现象也可以直接用眼睛通过在黑纸作的小屏上用小刀所刻制的狭缝看到。利用小屏上的两个狭缝作为发生干涉光波的光源,可以很容易解释使单色光照射狭缝时在幕上出现明暗相间条纹的现象。

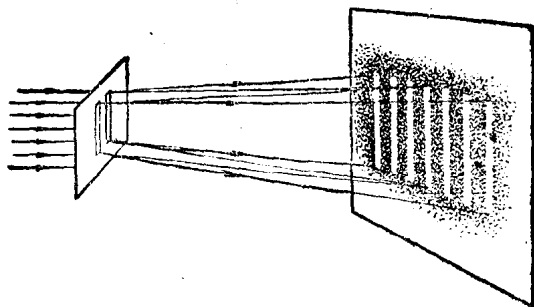


图 12

图 12 是由两个发生干涉光波的光源获得干涉条纹装置的示意图,这两个光源是受单色光照射的小屏上的两个狭缝。从上往下看这个装置,如图 13 所示,可以看出:波程差等于

$$r_2 - r_1 = (a + b) \sin \varphi,$$

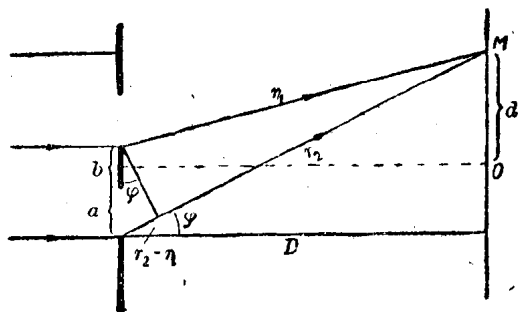


图 13

式中 $a + b$ 是这个装置的常数,它是狭缝的宽度 a 加上两个狭缝之间的距离 b 。把幕上明条纹的波程差

$$r_2 - r_1 = 2n\left(\frac{\lambda}{2}\right)$$

代入上式,则得

$$n\lambda = (a + b) \sin \varphi$$

或

$$\lambda = \frac{a + b}{n} \sin \varphi,$$

式中 n 表示一个整数,这就是明条纹的级次。级次是从中间最明显的明条纹(称之为零级明条纹)算起的。由于角 φ 很小, $\sin \varphi$ 可以写成

$$\sin \varphi = \frac{d}{D},$$

就是从零級明条紋的中点到第 n 級明条紋中点的距离跟从狭縫到幕的距离的比。把上述的 $\sin \varphi$ 值代入公式 $\lambda = \frac{a+b}{n}$

$\sin \varphi$, 得

$$\lambda = \frac{a+b}{n} \times \frac{d}{D}。$$

常数 $a+b$ 是已知的, 例如它可以用带有目鏡标尺的显微镜測量, 再量出距离 D 和到第 n 級的距离 d 以后, 就可以求出在实验装置中照射狭縫的单色光的波长。但是, 由于从光源经过两个狭縫到达幕上的光的能量很少, 所以在这种情况下, 我們在幕上看不到干涉图样。如果我們在小屏上不作两个狭縫而作許多平行的狭縫, 就得到衍射光柵。

衍射光柵有許多条狭縫, 在 1 厘米宽度以內往往有几千条之多。衍射光柵是用一块玻璃制成的, 利用专门的仪器, 用金鋼石在玻璃上刻出很多条細的平行綫。在金鋼石刻出細綫的地方, 光綫不能通过玻璃。在玻璃上两条細綫之間間隔相当于黑紙作的屏上的狭縫。衍射光柵的常数 $a+b$ 叫做衍射光柵常数, 这一常数通常是在商店买到光柵时所附带的說明書里就說明了。用上述方法在玻璃上制成的光柵是很貴的, 因此在目前用得較多的是以照象的方法制成的光柵, 例如用电影胶片所制成的光柵。关于这种衍射光柵的做法, 将在本書第六章中詳細描述。利用衍射光柵, 可以获得衍射光譜, 并能确定单色光的波长。

根据公式 $\lambda = \frac{a+b}{n} \cdot \frac{d}{D}$, 得出: 当其他条件都相同时,

量值 d (即从零級明条紋的中点到第 n 級明条紋中点的距离)

正比于单色光的波长。紅光的量值 d 比紫光的大一倍，因为紅光的波长比紫光的波长大一倍（紅光的波长是 0.76 微米，紫光的是 0.38 微米）。当以白光照射衍射光栅时，我們看到的不是象以单色光照射时所观察到的第 n 級明条紋，而是較寬的第 n 級彩色带，称为衍射光譜。明条紋是从紫色开始，經過光譜的所有顏色，終止于光譜的紅光区域，后面又接着下一級衍射光譜的紫色区域。在教具商店买到的衍射光栅中，光栅常数一般不超过 0.02。这意味着：在 1 毫米寬度上刻有 50 条細綫，或在 1 厘米寬度上刻有 500 条細綫。这种衍射光栅，可以十分清楚地观察到第三級衍射光譜。的确，用照象方法在胶片上制成的这些光栅中，很多是不很适用的，在第二級以上，它只能給出暗弱的光譜。

如果学校物理实验室里有衍射光栅，那么，用很大的幕获得衍射光譜并測定光波（例如，紅光）的波长是一个很重要的实验，并且学生对它必然很感兴趣。这个实验简单而且

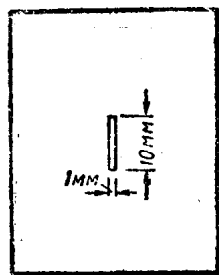


图 14

不占很多的时间。首先象放映幻灯片那样地安装好幻灯。把一块刻有狭縫的厚紙板（如图 14）插在放幻灯片的幻灯框里。狭縫的象聚焦在幕上，并且把衍射光栅移到幻灯物鏡前面的光带中，如图 15 所示。仅需要注意的是：从幻灯发出通过狭縫而射在衍射光栅以外的白光，不要直接射到幕上。这样，必須把光栅固定在一块刻有小孔的胶合板或厚紙板上，如图 15 所示。

在幕上得到衍射光譜以后，我們用下列方法来測定 D 和

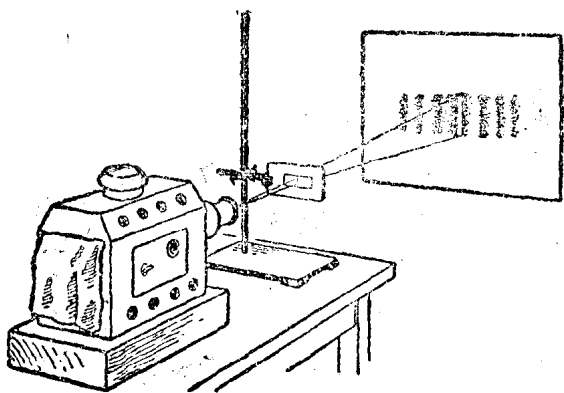


图 15

第二級光譜的距离 d 。用卷尺測量从衍射光柵到幕的距离。其次，測量从零級明条紋的一側第二級光譜（如果观察得很清楚的話）的紅光区域的边到零級明条紋另一側第二級光譜紅光区域的边的距离。显然，得到的量值等于 $2d$ 。应用这种方法可以减少測量的相对誤差。通常可以从光柵的檢驗証（买到光柵时，所附带的說明書）里查到衍射光柵常数。把所有的数据代入公式：

$$\lambda = \frac{a+b}{n} \times \frac{d}{D},$$

就可以算出紅光的波长。

在上述实验里，我們通常得到下列的实验結果。光柵常数等于 0.02，从光柵到屏的距离 $D=4$ 米，当 $n=2$ 时，量值 $d=28$ 厘米。紅光的波长等于

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{a+b}{n} \times \frac{d}{D} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 28}{2 \times 4 \times 10^{-2}} \\ &= 7 \times 10^{-3} \\ &= 0.70 \text{ 微米。} \end{aligned}$$

解釋衍射光柵所發生的光波的衍射和干涉現象，可以使學生容易理解在一些白光光源（有大霧時的街燈；空氣中有大量固體微粒飛揚時的月亮和太陽）的周圍所形成彩色光圈（暈）的原因。同樣原因，當通過細麻紗手帕觀看電燈光時，我們可看到以互相垂直的光綫交叉著的彩色光圈。

如果交叉地疊放兩個衍射光柵，就是使一個光柵的刻綫垂直於另一個光柵的刻綫，透過這兩個光柵來觀看電燈光，就會看到跟通過麻紗手帕所看到的完全一樣的圖樣。細紡織品中縱橫交錯的綫，形成了兩個交叉疊放的衍射光柵，這也象在空氣中懸浮的固體和液體的微粒一樣。接下去，我們從實際應用上來研究光的衍射和干涉現象。

§ 4. 光的衍射和干涉的實際意義

利用衍射光柵求得衍射光譜和測定光波的波長，是衍射和干涉在實際應用中的一個例子。制作多種光學儀器或精確地加工各種金屬表面時（例如，研磨金屬制品），也都要應用干涉和衍射現象。

大家知道，我們所以能看到我們周圍的一切物體，是由于光波從物體的反射。從物體反射過來的光波，射到我們的眼睛時，就刺激視網膜的神經纖維，從而，在知覺上引起了对可見物質的特性和性質的了解。但是，光波只能從比射在它上面的光波的波長長得多的物體上反射。如果物體小於光波的波長，波就不能從物體反射，而繞過物體，這正如图 16 a 和 b 所示。在图 16 中，图 a 表示光波從大於波長的物體上反射；图 b 表示光波從小於波長的物體的繞行。