# 第四章 3 光的干涉

## 问题？

肥皂膜看起来常常是彩色的，雨后公路积水上面漂浮的油膜，也经常显现出彩色条纹。



这些彩色条纹或图样是怎样形成的？

我们知道：如果两列机械波的频率相同、相位差恒定、振动方向相同，就会发生干涉。光是一种电磁波，那么光也应该会发生干涉现象。怎样才能观察到光的干涉现象呢？

## 光的双缝干涉

### 演示

**光的双缝干涉**

在暗室中用氦氖激光器发出的红色激光照射金属挡板上的两条平行的狭缝（图 4.3-1甲），在后面的屏上观察光的干涉情况（图 4.3-1 乙）。

图 4.3-1 用氦氖激光器做双缝干涉实验

甲 实验装置（屏在挡板右侧，没有画出）

乙 屏的照片

反射镜

金属

挡板

激光源

如何解释这个现象呢？如图 4.3-2，让一束单色光投射到一个有两条狭缝 S1 和 S2 的挡板上，狭缝 S1 和 S2 相距很近。狭缝就成了两个波源，它们的频率、相位和振动方向总是相同的。这两个波源发出的光在挡板后面的空间互相叠加，发生干涉现象：来自两个光源的光在一些位置相互加强，在另一些位置相互削弱，因此在挡板后面的屏上得到明暗相间的条纹。

图 4.3-2 双缝干涉的示意图

S1

S2

屏

双缝

单色光

明暗相间的条纹

具体地说，如图 4.3-3，狭缝 S1 和 S2 相当于两个频率、相位和振动方向都相同的波源，它们到屏上 P0 点的距离相同。由于 S1 和 S2 发出的两列波到达 P0 点的路程一样，所以这两列波的波峰或波谷同时到达 P0 点，也就是相位仍然相同。在这点，两列波叠加后相互加强，因此这里出现亮条纹。

图 4.3-3 双缝干涉的原理图

S1

S2

P2

单色光

P1

P0

屏

挡板

再考察 P0 点上方的另外一点 P1，它距 S2 比距 S1 远一些，两列波到达 P1 点的路程不相同，两列波的波峰或波谷不一定同时到达 P1 。如果路程差正好是半个波长 *λ*，那么，当一列波的波峰到达P1 时，另一列波正好在这里出现波谷。这时两列波叠加的结果是互相抵消，于是这里出现暗条纹。

对于更远一些的 P2 点 ，来自两个狭缝的光波的路程差更大。如果路程差正好等于波长*λ*，那么，两列光波的波峰或波谷会同时到达这点，它们相互加强，这里也出现亮条纹。距离屏的中心越远，路程差越大。每当路程差等于 *λ*，2*λ*，3*λ*，… 时，也就是每当路程差等于 *λ*，*λ*，*λ*，…时，两列光波得到加强，屏上出现亮条纹；每当路程差等于 *λ*，*λ*，*λ*，… 时，两列光波相互削弱，屏上出现暗条纹。

综合以上分析，可以说，当两个光源与屏上某点的距离之差等于半波长的偶数倍时（即恰好等于波长的整数倍时），两列光波在这点相互加强，这里出现亮条纹；当两个光源与屏上某点的距离之差等于半波长的奇数倍时，两列光波在这点相互削弱，这里出现暗条纹。

“两个光源与屏上某点的距离之差等于半波长的偶数倍”，包括了“距离之差为 0”这种情况。这时在 P0 点出现亮条纹。

光的干涉实验最早是英国物理学家托马斯·杨在 1801 年成功完成的。托马斯·杨的时代没有激光。他用日光照亮一条狭缝，通过这条狭缝的光再通过双缝，发生干涉。这就是历史上著名的杨氏双缝干涉实验，它有力地证明了光是一种波。

## 干涉条纹和光的波长之间的关系

### 思考与讨论

光的双缝干涉条纹特征，如条纹间距、宽度等，能反映出光的波长、频率等信息吗？

如图 4.3-4，波长为 *λ* 的单色光照射到双缝上。两缝中心之间的距离为 *d* ，两缝 S1、S2 的连线的中垂线与屏的交点为 P0，双缝到屏的距离 OP0 = *l*。

图 4.3-4 导出相邻亮条纹距离的表达式

单色光

P1

*x*

*l*

M

*d*

*θ*

P0

S1

S2

*r*1

*r*2

O

我们考察屏上与 P0 的距离为 *x* 的一点 P1 ，两缝与 P1 的距离分别为 P1S1 = *r*1 、P1S2 = *r*2 。

在线段 P1S2 上作 P1M = P1S1 ，于是，S2M = *r*2 － *r*1 。由于两缝之间的距离 *d* 远远小于缝到屏的距离 *l*，所以，能够认为 △S1S2M 是直角三角形。根据三角函数的关系有

*r*2 － *r*1 = *d*sin*θ*

另一方面

*x* = *l*tan*θ* ≈ *l*sin*θ*

消去 sin*θ*，有

*r*2 － *r*1 = *d*

当角 *θ* 很小时，用弧度表示的 *θ* 与它的正弦 sin*θ*、正切 tan*θ*，三者近似相等。

根据上一节的分析，当两列波的路程差为波长的整数倍，即 *d* = *nλ* （*n* = 0，±1，±2 …）时出现亮条纹，也就是说，亮条纹中心的位置为

*x* = *n* *λ*

相邻两个亮条纹或暗条纹的中心间距是

∆*x* = *λ* （1）

根据这个关系式可以测出波长。

### 思考与讨论

不同颜色的单色光产生的干涉条纹会有什么不同？请你作出猜想，并在下节的实验中验证。

根据（1）式可知，条纹之间的距离与光波的波长成正比，因此能够断定，不同颜色的光，波长不同。实验中确实发现，各种颜色的单色光都会发生干涉，但条纹之间的距离不一样。用黄光做这个实验，条纹之间的距离比用红光时小；用蓝光时更小。

## 薄膜干涉

### 做一做

**用肥皂膜做薄膜干涉实验**

在酒精灯的灯芯上撒一些食盐，灯焰就能发出明亮的黄光。把铁丝圈在肥皂水中蘸一下，让它挂上一层薄薄的液膜。把这层液膜当作一个平面镜，用它观察灯焰的像（图4.3-5）。这个像与直接看到的灯焰有什么不同？

图 4.3-5 灯焰在肥皂膜上所成的像

灯焰的像和“问题”中提到的现象，都是液膜前后两个面反射的光共同形成的。来自两个面的反射光相互叠加，发生干涉，也称薄膜干涉。如图 4.3-6，通常而言，不同位置的液膜，厚度不同，因此在膜上不同的位置，来自前后两个面的反射光（即图中的实线和虚线波形代表的两列光）的路程差不同。在某些位置，这两列波叠加后相互加强，出现了亮条纹；在另一些位置，叠加后相互削弱，出现了暗条纹。

图 4.3-6 薄膜前后两个面的反射光

明

暗

明

肥皂液膜

如果用另一种颜色的光做这个实验，由于光的波长不同，导致从肥皂膜的前后两面反射的光将在别的位置相互加强，所以，从肥皂膜上看到的亮条纹的位置也会不同。薄膜上不同颜色的光的条纹的明暗位置不同，相互交错，所以，看上去会有彩色条纹。

薄膜干涉在技术上有很多应用。例如，可以在光学元件的表面镀一层特定厚度的薄膜，增加光的透射或者反射，还可以利用薄膜干涉的原理对镜面或其他精密的光学平面的平滑度进行检测。

## 科学漫步

**光的本性**

光到底是什么？这个问题早就引起了人们的注意，不过在很长的时期内人们对它的认识却进展得很慢。

到 17 世纪时，科学界已经形成了两种学说。一种是光的微粒说，认为光是从光源发出的一种物质微粒，在均匀的介质中以一定的速度传播，牛顿支持微粒说。另一种是光的波动说，是惠更斯首先提出的，认为光是在空间传播的某种波。 微粒说和波动说都能解释一些光现象，但又不能解释当时观察到的全部光现象。

到了 19 世纪初，人们在实验中观察到了光的干涉和衍射现象，这是波动的特征，不能用微粒说解释，因而证明了波动说的正确性。19 世纪 60 年代，麦克斯韦预言了电磁波的存在，并认为光也是一种电磁波。此后，赫兹在实验中证实了这种假说，至此，光的波动理论取得了巨大的成功。

但是，19 世纪末又发现了新的现象——光电效应，这种现象用波动说无法解释。爱因斯坦于20 世纪初提出了光子说，认为光具有粒子性，从而解释了光电效应。不过，这里说的光子已经不同于过去说的“微粒”了。

现在人们认识到，光既具有波动性，又具有粒子性。

## 练习与应用

本节共 4 道习题。第 1 题是通过光的干涉现象认识光的本性；第 2 题考查在光的干涉现象中如何判断亮条纹和暗条纹的位置，还从光的干涉引申到了声波的干涉；第 3 题是对光波的双缝干涉的计算，判断看到的是亮条纹还是暗条纹；第 4 题定量分析影响薄膜干涉条纹间距的相关因素。

1．光的干涉现象对认识光的本性有什么意义？

**参考解答**：干涉是波的特性，光的干涉现象说明光是一种波。

2．两列光干涉时，光屏上的亮条纹和暗条纹到两个光源的距离与波长有什么关系？

声的干涉也遵循类似的规律。设想在空旷的地方相隔一定位置的两个振动完全一样的声源，发出的声波波长是 0.6 m，观察者 A 离两声源的距离分别是 4.5 m 和 5.4 m，观察者 B 离两声源的距离分别是 4.3 m 和 5.5 m。这两个观察者听到声音的大小有什么区别？

**参考解答**：亮条纹到两光源的距离差为半波长的偶数倍，暗条纹到两光源的距离差为半波长的奇数倍。

对于观察者 A 所在位置，两声源的距离差 Δ*x*1 = 5.4 m − 4.5 m = 0.9 m，是半波长的 3 倍，故 A 位于振动减弱点；对于观察者 B 所在位置，两声源的距离差 Δ*x*2 = 5.5 m − 4.3 m = 1.2 m，是半波长的 4 倍，故 B 位于振动加强点。所以，观察者 A 听到的声音比观察者 B 要弱。

3．在双缝干涉实验中，光屏上某点 P 到双缝 S1 和 S2 的路程差为 7.5×10−7 m，如果用频率 6.0×1014 Hz 的黄光照射双缝，试通过计算分析 P 点出现的是亮条纹还是暗条纹。

**参考解答**：暗条纹

提示：根据波速的公式得光的波长 *λ* = = m = 5.0×10−7 m，路程差与半波长之 = = 3。路程差为半波长的奇数倍，故为暗条纹。

4．劈尖干涉是一种薄膜干涉，如图 4.3-7 所示。将一块平板玻璃放置在另一平板玻璃之上，在一端夹入两张纸片，从而在两玻璃表面之间形成一个劈形空气薄膜，当光从上方入射后，从上往下看到的干涉条纹有如下特点：

图 4.3-7

（1）任意一条明条纹或暗条纹所在位置下面的薄膜厚度相等；

（2）任意相邻明条纹或暗条纹所对应的薄膜厚度差恒定。

现若在如图所示装置中抽去一张纸片，则当光入射到劈形空气薄膜后，从上往下可以观察到干涉条纹发生了怎样的变化？

**参考解答**：条纹变疏

提示：光线在空气膜的上、下表面处反射，并发生干涉，从而形成干涉条纹。设空气膜顶角为 *θ*，Δ*l* 为两相邻亮条纹的间距，如图所示。两处光的路程差分别为 *δ*1 = 2*d*1，*δ*2 = 2*d*2。因为 *δ*2 – *δ*1 = *λ*．所以 *d*2 – *d*1 = 。由几何关系可得 = tan*θ*，即 Δ*l* = 。当抽去一张纸片时，*θ* 减小，Δ*l* 增大，即条纹变疏。

