# 96．如何认识分波前干涉装置及光场的空间相干性？

双缝干涉装置属于分波前干涉装置，“分波前”指的是把一个点光源发射的球面波在某一波前上分出两列波，再叠加而发生干涉的现象。但真实的光源并不是点光源，而是有一定大小的扩展光源，而空间相干范围与光源的大小有关，即相干范围的孔径角与光源宽度成反比，这就是光场的空间相干性。

杨氏双缝干涉实验是人类历史上第一个在实验室中观察到光的干涉现象的实验，意义重大，也是中学物理教学光学部分的重点内容，还特别安排了用双缝干涉测光的波长的实验，该实验使用的仪器是双缝干涉仪，如图 1 所示。这里学生可能会问到的问题包括：为什么双缝前面要有一个单缝？双缝的间隔为什么要小？小到多少算小？等等。

光源

滤光片

单缝

双缝

遮光筒

屏

图 1 双缝干涉仪

## 一、分波前干涉装置

杨氏的实验最早用的是单孔和双孔，后来才改用单缝和双缝。这类干涉装置称为分波前干涉装置。

### （1）什么是波前？

在同一振源的波场中，扰动同时到达的各点具有相同的相位，这些点的轨迹是一个曲面，称为波面。例如，点光源发射的光波，其波面是球面，称为球面波；呈一条狭缝的光源称为线光源，它发射的光波的波面是圆柱面，称为柱面波；在离振源很远的地方，波面趋于平面，称为平面波；等等。

波前，从字面上理解，就是最前面的波面，但对于连续的波，没有最前，因此任何一个波面都可以称为波前。

### （2）双孔干涉或双缝干涉装置为什么称为分波前干涉装置？

双孔前面要放一个单孔，从单孔射出的光波可以认为是点光源发射的球面波，双孔就位于球面波的一个波前上，它们相当于从同一个波前上分出来的两个次波源，满足相干条件，叠加后就可以观察到干涉现象了。

单缝与双缝也是如此：光源通过单缝，可以认为是一个线光源，它发射的光波是柱面波，后面的双缝位于柱面波的一个波前上，两个次波源发出的光波是相干的，叠加后可以产生稳定的干涉现象。用单缝与双缝代替单孔与双孔，增加了光场的亮度，干涉条纹显得更明显。

分波前干涉装置还有很多，例如，如图 2 所示的双棱镜，它的分光器件是一个顶角接近于平角的双棱镜，点光源 S 发出的球面波经过棱镜的折射，分成两束，它们近似为虚像 S1ʹ 和 S2ʹ 发出的球面波，在二者叠加的区域内可以观察到干涉条纹。

S1ʹ

S2ʹ

能观察到干涉

现象的区域

S

棱镜

图 2 双棱镜

如图 3 所示的装置称为洛埃镜，它只使用了一面普通的平面镜，点光源 S 发出的球面波一部分直接传播，另一部分经乎面镜反射，这部分反射光相当于是由 S 的虚像 Sʹ 发出的，在两部分光叠加的区域内同样可以观察到干涉条纹。

Sʹ

平面镜

图 3 洛埃镜

S

能观察到干涉

现象的区域

## 二、光场的空间相干性

如果分波前干涉装置使用的光源是真正的点光源，那么其波前就是真正的球面，在波前上任意两点作为次波源，都满足相干条件。但真正的点光源并不存在，实际的光源都不是一个点发光，我们把它称为扩展光源。如图 4（a）所示为宽度为 *d* 的扩展光源，其中 A、B 分别为它最边缘的两个发光点，S1 和 S2 是分光用的双孔。如果只有 A 点发射的光波照射到 S1 和 S2 两孔，S1 和 S2 射出的次波是相干的，同样如果只有 B 点发射的光波照射到 S1 和 S2 两孔，S1 和 S2 射出的次波也是相干的。但 A 点和 B 点发射的光波不能保证相位差恒定这个相干条件，因此当 A 点和 B 点发射的光波同时照射双孔 S1 和 S2 时，作为次波源的 S1 和 S2 射出的光波是部分相干的，即它们射出的光波中含有相干成分，也含有不相干成分。以上是假设只有 A、B 两个发光点的情况，而实际上一个扩展光源有无穷多个发光点，次波源射出的光波更是既有相干成分又有不相干成分了。描述相干程度的物理量是相干条纹的反衬度，反衬度的定义是

*γ* =

式中 *I*M 表示干涉场中光强的极大值，而 *I*m 表示干涉场中光强的极小值。不难看出，0 ≤ *γ* ≤ 1。*γ* 为 1 表示全相干，这时 *I*m = 0，表示次波源所发的光波中完全没有不相干的成分。而 *γ* 为 0 则表示完全不相干，这时 *I*M = *I*m，表示次波源所发的光波中完全没有相干的成分，根本看不到干涉条纹。显然，扩展光源的宽度 *d* 越大，相干成分越少而不相干成分越多，所得到的干涉条纹的反衬度也就越低。

S1

图 4 光场的空间相干性

（a）扩展光源照射双孔部分发生干涉

（b）扩展光源的干涉孔径角

S2

A

B

*d*

*d*

S1

S2

A

B

Δ*θ*0

在图 4（b）中我们引入相干孔径角的概念：以扩展光源的中心为顶点，向光的传播方向引出一个圆锥形区域，其孔径角为 Δ*θ*0，如果 Δ*θ*0 以内的区域为相干区域，Δ*θ*0 以外的区域为不相干区域，则 Δ*θ*0 称为干涉孔径角。

扩展光源的宽度 *d* 与干涉孔径角 Δ*θ*0 间是反比的关系，即

Δ*θ*0 ≈

式中 *λ* 为光波的波长，*d* 为扩展光源的宽度。这个式子一般被称为光场空间相干性的反比公式。

作为次波源的 S1 和 S2，只要在 Δ*θ*0 区域内，就可以观察到干涉条纹；反之，如果位于这个区域以外，则看不到干涉条纹。以图 4（b）为例，如果保持其他条件不变，只是把双孔屏慢慢向左边移动，即双孔逐渐向相干区域的边缘靠近，看到的相干反衬度逐渐降低，最后由于 S1 和 S2 移出了相干区域，完全看不到相干条纹了。反之，如果把双孔屏慢慢向右边移动，由于 S1 和 S2 始终在相干区域内，因此总可以看到相干条纹，并且相干反衬度逐渐变大，但亮度却逐渐减弱，当亮度减弱到一定程度，也看不到干涉条纹了。

## 三、用激光作光源可以不用前面的单孔（或单缝）

对前面的内容做个小结：当使用自然光作光源时，在双孔前面加单孔，是为了获得接近点光源的效果，或者说是为了使得扩展光源的宽度减小，从而增大相干孔径角，这样就可以使双孔距离前面的单孔较近的情况下，仍然在相干区域内，并且使得干涉条纹的反衬度和亮度都比较好。

但激光的发明使得光的干涉实验变得容易了，这是由于激光具有方向性好、亮度高的特点。所谓方向性好，就是激光器射出的光束近似于平行光，即发散角度很小，用它作为光源，可以从较远处直接照射分光用的双孔，从而保证双孔位于相干区域的靠中心位置，从而得到的干涉条纹有很高的反衬度。同时，由于激光的亮度很高，因此看到的干涉条纹亮度也很高。