# 97．如何认识分振幅干涉装置及光场的时间相干性？

薄膜干涉装置属于分振幅干涉装置，所谓“分振幅”，实际是“分能量”，由于波动的能量与振幅的二次方成正比，因此称为“分振幅”。薄膜必须薄，这是光场的时间相干性决定的。

薄膜干涉是常见的光的干涉现象，图 1 中示意性地画出一条由点光源 S 射向液膜表面 O 的光线 SO，一部分（图 1 中的光线1）反射回大气中传播，另一部分折射进液体中，它在液膜的后表面 O1 点有部分反射回来，并从液膜的前表面 Oʹ 点折射再次回到大气中（图 1 中的光线 2），这两部分光线的叠加，即是薄膜干涉。

液膜

图 1 薄膜干涉

O1

O

Oʹ

S

1

2

## 一、分振幅干涉装置

薄膜干涉属于分振幅干涉。如图 1 所示的经液膜反射回来的 1、2 两条光线（实际是两细束光波）也是从点光源 S 所发的光波中分出来的，但它与双缝干涉不同，它不是从光波波前的不同点取子波，而是在同一空间点（图中的 O 点）把光波分成两部分。我们知道沿波的传播方向有能量的传输，现在的分法是把传输的能量分开，而波动的能量是与振幅的二次方成正比的，因此可以说在 O 点处把光的振幅分开，这就是称为**分振幅**干涉的原因。（当然，图 1 中的 1、2 两条光线传输的能量并不是光线 SO 传输的全部能量，因为还有从 O1 点向大气折射以及以 Oʹ 点反射回到液膜中传播的部分。）

## 二、光场的时间相干性

现在的问题是：薄膜干涉为什么要强调“薄”？多薄才算薄呢？

这实际上是光场的时间相干性问题，从微观上说，物质的发光过程是原子的能级跃迁过程，每一个原子的能级跃迁过程历时都非常短，而图 1 中的光线 1 和 2 虽然都是同一束光波分出来的，但光线 2 比光线 1 的光程要长一些，即它要在液膜内部多传播一段时间，如果这段时间过长，等到它与光线 1 会合时，光线 1 已经是另一个原子跃迁而发出的光波，这两束光波已经变成不相干的了。

设原子发光的持续时间为 *τ*0，则这段时间内光波在真空中传播的长度 *L*0 = *cτ*0（*c* 为光波的传播速度），如果光波在折射率为 *n* 的介质中传播，则 *L*0 = *τ*0。我们把 *L*0 称为相干长度，在空间沿光波传播方向上分出的距离小于 *L*0 的两列光波是相干的，而大于 *L*0 的两列光波是不相干的；*τ*0 称为相干时间，沿光波传播方向上分出的时间小于 *τ*0 的两列光波是相干的，而大于 *τ*0 的两列光波是不相干的。这就是光场的时间相干性。

在图 2 中我们示意性地把点光源 S 发光过程中所发出的一个波列画成一段振荡的曲线，它的长度为 *L*0 = *cτ*0，图 2（a）是它的始端刚到达液膜 O 点的时刻，此后光波在 O 点分成两部分，一部分反射回大气中传播，为光线 1，另一部分进入液膜中，并有部分从后表面反射回来，在 Oʹ 点返回到大气中，为光线 2，图 2（b）是光线 2 的始端刚与光线 1 会合的时刻。由于光线 2 比光线 1 多传播了一段路程，因此交会时光线 2 的始端比光线 1 的始端晚一段时间。但液膜很薄，这段时间比 *τ*0 要短，当光线 2 的波列始端与光线 1 交会而发生干涉时，一定是部分相干，反映在干涉条纹上，其反衬度小于 1。

液膜

（a）波列始端到达 O 点

O1

O

*L*0

液膜

图 2 两列波叠加部分干涉

O1

O

（b）两列波开始叠加

不相干段

相干段

Oʹ

2

1

S

S

不难看出，要想提高相干反衬度，方法有两个：一是减小液膜的厚度，缩短不相干的时间段；二是设法加长波列 *L*0 的长度。

光的颜色是由光波的频率决定的，所谓单色光，是指单一频率的光波，但实际中的光波不可能是真正的单一频率的单色光，而只能是频率宽度很窄的光波。频率宽度 Δ*ν* 指的该光波中最大频率 *ν*M 与最小频率 *ν*m 之差，即 Δ*ν* = *ν*M − *ν*m。波列长度 *L*0 与频率宽度 Δ*ν* 成反比，即频率宽度 Δ*ν* 越小，越接近真正的单色光，波列长度 *L*0 就越长，时间相干性也越好。反之，频率宽度 Δ*ν* 越大，即越远离真正意义的单色光，波列长度 *L*0 就越短，时间相干性也越差。激光的单色性很好，因此它的波列长度较长，时间相干性也好。具体地有如下的时间相干反比关系

*τ*0·Δ*ν* ≈ 1

## 三、光场的相干性小结

（1）光场的空间相干性来源于扩展光源不同部分发光的独立性，表现在光场的横方向上（波前），对分波前干涉装置的影响很大；时间相干性来源于光源发光过程在时间上的断续性，表现在光场的纵方向上（波线），对分振幅干涉装置的影响很大。

（2）空间相干性一般用相干区域的孔径角 Δ*θ*0 来描述，它与光源宽度 *d* 的关系由空间相干性反比公式 *d*·Δ*θ*0 ≈ *λ* 决定；时间相干性一般用相干时间 *τ*0（或相干长度 *L*0）来描述，它与光源的频率宽度 Δ*ν* 的关系由时间相干性反比公式 *τ*0·Δ*ν* ≈ 1 决定。

（3）空间相干区域与时间上的相干时间，都只是一个大概的范围，即不是说只要超过相干区域或相干时间，就完全不相干，而在相干区域或相干时间内就完全相干，现实的实验中观察到的都是部分相干，衡量相干程度的物理量是相干条纹的反衬度 γ，实际观察到的干涉条纹的 γ 总小于 1 而大于 0。