

# 获得物频谱的三种系统

钟 锡 华

(北京大学物理系)

本文明确提出实现光学傅里叶变换的两个物理条件,概括地阐述了获取物频谱的三种装置及其特点,为实际科研工作介绍了三种可供选择的相干光学信息处理系统。

在《大学物理》1989年第8期的《一个能实现严格傅里叶变换的光学系统》一文中,提出了一种用等焦距双透镜获得物频谱的装置。其实,这里等焦距的限制可以取消。只要接收面置于第一个透镜的象面,物平面置于第二个透镜(它贴近象面)的前焦面,此时接收面就是严格的频谱面,无需苛求双透镜满足等焦距条件。从总体上看,等焦距双透镜系统归属于几种系统中的一种,且是这一种中的一个特例。由此笔者联想到,有必要将已掌握的获得物频谱的三种系统展示于众,供大家评析。

理论上已经证明<sup>[1]</sup>,在傍轴条件下有三种近场装置能获得 Fraunhofer 衍射场,其接收平面均处于照明光波的象面位置,其普遍的数学表达式可以写成

$$U(x', y') \sim \exp[ikL_0(x', y')] \times \iint t(x, y) \exp\left[-ik \frac{x'x + y'y}{z}\right] dx dy. \quad (1)$$

我们注意到,积分号内的被积函数是物函数(又称衍射屏函数)与线性相因子的乘积,这正是物函数的傅里叶变换式<sup>[1]</sup>,同时又注意到,积分号外存在一个与参考光程 $L_0(x', y')$ 相联系的二次相因子系数。一旦设计了一种等光程光路,使参考光程 $L_0$ 与场点位置 $(x', y')$ 无关,就能消除掉二次相因子函数<sup>[2]</sup>。于是,(1)式就成为严格的或纯净的傅里叶变换式。概括地说,获得物频谱的近场光学系统必须同时满足两个条件。一是

象面接收,二是等光程。图1示出为此目的而设计的三种装置。

图1(a)表示平面波照明衍射屏(物结构)。衍射屏置于透镜的前焦面,后焦面接收的 Fraunhofer 衍射场即是物频谱,其中等光程条件是由衍射屏置于前焦面位置而得以满足。这是最先为人们所熟悉、应用最为广泛的一种装置。通常简言之,透镜的前后焦面是一对傅里叶变换面。

图1(b)表示发散球面波照明衍射屏。衍射屏置于前焦面,象面接收的 Fraunhofer 衍射场即是物频谱,等光程条件同样是由于衍射屏置于透镜的前焦面而被满足。

图1(c)表示会聚球面波照明衍射屏。为了消除二次相因子函数,必须添加一个透镜贴近象面(即球面波会聚中心所在平面),再调整衍射屏位置,使其处于第二个透镜的前焦面,以保证等光程。这时,象面接收的 Fraunhofer 衍射场即是物频谱。

显然,本文开头所指的那种等焦距双透镜系统,是图1(c)这种装置中的一个特例。其特殊之处有两处。一是平行光照明第一个透镜,为此需要再添加一个准直透镜,故它实际上是一个三透镜系统。须知,光学系统中多了一个透镜将带来许多其它麻烦。二是要求等焦

1) 其中,除第一种是由平行光照明外,后两种情况均为球面波(或发散或会聚)照明物屏。此时,如果是在照明点源的象面上接收衍射场,则照明球面波前函数中所含的二次相因子恰巧被次波源球面波前函数中的二次相因子所抵消,因而在积分核中仅保留有线性相因子。

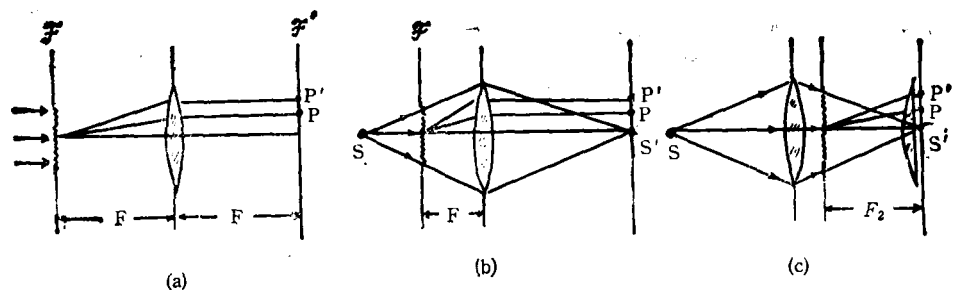


图1 获得物频谱的三种装置

距,这实无必要,且难以实现。相比之下,图1(c)所示的一般状态是一个双透镜非等焦距系统,它倒更为可取。

考虑到在实际的科研工作中,人们最先获得的是从针孔滤波器发出的高质量的球面光波,故图1(a)实际上也是一个双透镜系统。从使用镜头的数目来评价,无疑图1(b)装置最简洁,而且谱斑的线间隔不受透镜焦距的限制,它可以由象距的改变而得以调整。不过,这样一来,对这个单透镜的质量要求就更高了,既要求它对选定的一对共轭面(S面与S'面)有很好的成象质量,以保证高质量地完成分频任务,又要求它具有良好性能的焦面,以保证高质量地满足等光程条件。从这个意义上说,图1(c)将这两项任务分别由前后两个透镜来承担,故便于实现。图1(a)中,分频与等光程两项任务,虽然由一个透镜来承担,但它们对透镜的要求是一致的,只要求透镜有良好性能的一对焦面,故便于光学设计。所谓傅里叶透镜,指的就是具有如此性能的一类透镜。

对于一个用于信息处理的相干光学系统来说,它以空间滤波器为界被分为前后两部分,以实现两次光学傅里叶变换。人们可以选择图1中的一种作为系统的前一部分。由于第二次变换没有额外的照明光波,故人们自然地选中图1(a)作为系统的后一部分。于是,构成了三种可供选择的相干光学信息处理系统,如图2所示。姑且称图2(a)为 $5F$ 三透镜系统,称图2(b)为 $6F$ 双透镜系统,称图2(c)为 $6F$ 三透镜系统。图中标出的焦距均写为 $F$ ,这只

是一种示意,实际上并不要求所有透镜的焦距相等。两个变换透镜的焦距不等,仅将引起物象几何尺寸之间的缩放而已。

最后顺便提及,有文献介绍<sup>[3]</sup>用单一透镜构成一个光学信息处理系统。那里一个透镜同时承担两项任务,它对物结构既分频又成象。不过,它前后两次出现了二次相因子且不能彼此抵消,这使系统的相干传递函数不简单地等于谱面上的滤波函数。若此系统用于非相干处理,则二次相因子系数不起作用,一切又都显得简单了。

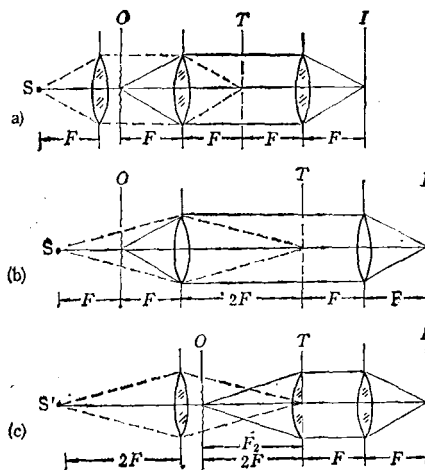


图2 可供选择的三种相干光学信息处理系统

- [1] 钟锡华,物理,11-12(1982),745.
- [2] 钟锡华,光波衍射与变换光学,高等教育出版社,(1985),136.
- [3] J.W. 顾德门著,詹达三等译,傅立叶光学导论,科学出版社,(1976),188.