

文章编号:1001-5078(2007)01-0085-02

杨氏双孔激光干涉实验的精确图像

薛梅

(北京波谱华光科技有限公司,北京 100015)

摘要:根据激光干涉产生的原理,对杨氏双孔激光干涉实验所产生的平面及空间图像进行了数学推导,得出了三维及二维干涉图像方程。同时也分析出三维干涉图像为双曲面族,以及二维干涉图像为双曲线族的图像特征。

关键词:激光;杨氏双孔干涉实验;三维图像;明暗特征

中图分类号: O436.1 **文献标识码:** A

The Precise Image of Young's Double Hole Laser Interfere Experiment

XUE Mei

(Beijing Bop Opto-electronics Technology Co., Ltd, Beijing 100015, China)

Abstract: Based on the principles of the laser interference, the paper, has made derivation on the plane and dimensional images generated during the Young's double-hole laser interference experiment and the 3D and 2D interference image equation are derived. According to the analysis, the 3D interference images are hyperboloidal beams and the 2D interference images are hyperbolic beams.

Key words: laser; Young's double-hole interference experiment; 3D image; light and shadow characteristics

1 引言

由19世纪英国物理学家托马斯·杨(Thomas Young)提出的巧妙实验——杨氏双孔干涉实验,首次成功地观察到了光的干涉现象。如果将实验中的普通光源换成激光光源,则其实验效果会更加清晰可视。

在杨氏双孔激光干涉实验中,激光可被实验仪器分为频率相同相差恒定的两个相干波源。这两个相干波源所发出的波又会在空间中发生干涉现象,在像屏上,显现出干涉的平面图像。下面就依据光干涉的原理,推导出杨氏双孔激光干涉实验所产生的三维干涉图像,以及部分二维干涉图像。

2 杨氏双孔激光干涉实验的原理分析

让激光束垂直射入双孔屏的两小孔之间,如图1所示。当激光穿过这两个离得很近小孔后随即发生衍射,在空间叠加后发生干涉,并在像屏上呈现出清晰的明暗相间的条纹。

由于双孔发出的衍射波是两组同频率同相位的球面波,故在双孔屏的光射空间会发生干涉。

于是,在图1中两屏之间的空间里,如果一点P

处于两相干的球面波同时到达波峰(或波谷)的位置,叠加后振幅达到最高,表现为干涉波的亮点;反之,当P处在一个球面波的波峰以及另一个球面波的波谷位置时,叠加后振幅为零,表现为干涉波的暗点。用数学表达则为:

$$\text{亮点: } |r_1 - r_2| = n\lambda$$

$$\text{暗点: } |r_1 - r_2| = n\lambda + \frac{1}{2}\lambda$$

其中, λ 为波长; n 为整数; r_1, r_2 分别为点P到双孔 S_1, S_2 的距离。

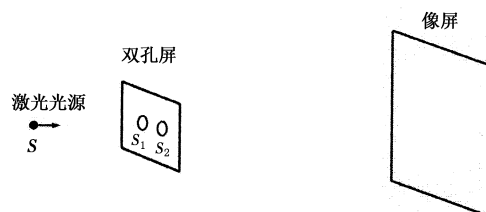


图1 杨氏双孔激光干涉实验示意图

作者简介:薛梅(1982-),女,主要从事光电技术管理工作。
E-mail: xxuemmei@hotmail.com
收稿日期:2006-11-08

3 杨氏双孔激光干涉实验三维干涉图像

3.1 求解三维干涉图像的方程式

在实物图上建立三维坐标系 $O-xyz, O'-x'y'z'$, 得到图2。设空间内存在一点 P 到双孔 S_1, S_2 的距离分别为 r_1, r_2 , 双孔间距 $|S_1S_2| = d$, 激光波长为 λ 。

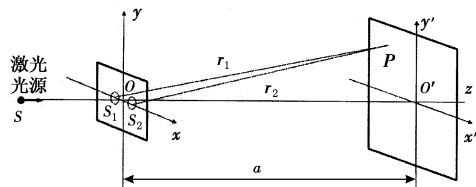


图2 建立坐标系后的三维坐标模型

设图中 P 点的坐标为 $P(x, y, z)$ 。

根据杨氏双孔干涉原理可知:

$$r_1 = \overline{PS_1} = \sqrt{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + z^2}$$

$$r_2 = \overline{PS_2} = \sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + z^2}$$

则明暗点的集合方程式为:

$$\left| r_1 - r_2 \right| = \sqrt{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + z^2} - \sqrt{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 + z^2} = k \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

将上式化为标准式后, 最终得到了杨氏双孔干涉空间图像的方程:

$$\frac{x^2}{k^2 \frac{\lambda^2}{16}} - \frac{y^2 + z^2}{\frac{d^2}{4} - k^2 \frac{\lambda^2}{16}} = 1 \quad (2)$$

3.2 三维干涉图像形状的解释

由杨氏双孔干涉空间图像的标准式可以看出, 三维干涉图像为双曲面族, 如图3所示。

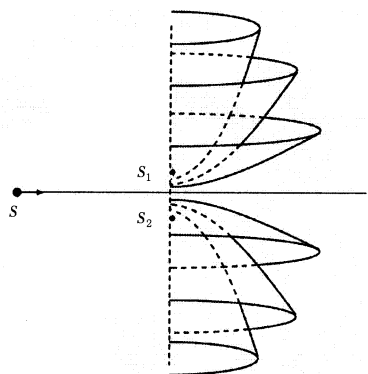


图3 杨氏双孔干涉空间图像示意图

在标准式中, 双孔间距 d 依实验器材为一定值, 激光波长 λ 在光源被选定后也为定值。原方程只有一个可变量 k , 在其取不同定值时都会产生一对双曲面, 随着 k 取一系列自然数后, 便产生了一系列的双曲面, 形成双曲面族。

由于所推导的空间图像为明暗汇总图, 因此, 中间的垂直面为亮面, 紧靠的两侧为暗面, 再往两侧为亮面, 明暗面相互交错, 以此类推。

4 二维图像的方程式及其形状

4.1 像屏上的接收图像

在杨氏双孔干涉实验中, 最为直观的实验结果为像屏上的接收图像, 据此可以得到相干光发生干涉的证据。在此, 将推导接收屏上的干涉条纹的方程式。图4阴影部分为像屏接收图像的所在位置(至未绘出实际干涉图像)。设像屏与双孔屏间距离为 a 。

令 $z = a$, 代入三维干涉图像方程式(2)并化为标准方程后, 得到:

$$\frac{x^2}{k^2 \frac{\lambda^2}{16} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{\frac{d^2}{4} - k^2 \frac{\lambda^2}{16}}\right)} - \frac{y^2}{\frac{d^2}{4} - k^2 \frac{\lambda^2}{16} + a^2} = 1 \quad (3)$$

这就是像屏上的曲线方程。从方程式的结构中可以看出其图像为双曲线族。

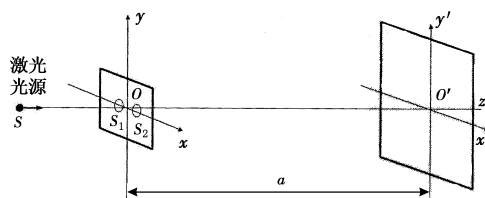


图4 像屏上接收图像区域

4.2 水平面上的干涉图像

水平面上的干涉图像是空间干涉图像的重要组成部分, 故具有实际意义的。

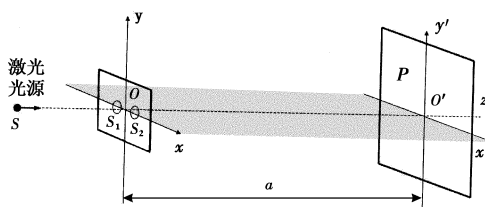


图5 水平干涉图像区域

令 $y = 0$, 代入三维干涉图像方程式并化为标准方程后, 得到:

$$\frac{x^2}{k^2 \frac{\lambda^2}{16}} - \frac{z^2}{\frac{d^2}{4} - k^2 \frac{\lambda^2}{16}} = 1 \quad (4)$$

这就是水平方向的干涉曲线方程。从方程式的结构中可以看出其图像也为双曲线族。

5 结论

依据光波衍射干涉的原理, 推导出了杨氏双孔激光干涉图像的三维方程式, 并分析出其图像为双曲面族。对于实验中像屏所接收到的图像也得出了其二维方程式, 并发现其为双曲线族。

参考文献:

- [1] 易明. 光学[M]. 北京: 高等教育出版社.
- [2] 王敬庚, 傅若男. 空间解析几何[M]. 北京: 北京师范大学出版社.
- [3] Frederick J Keller, W Edward Gettys, et al. Physics (Classical and Modern)[M]. McGraw-Hill, Inc.