

单色点光源双光束干涉可见度的理论模拟

何坤娜 张葳葳 李春燕 贾艳华 金仲辉

(中国农业大学理学院应用物理系 北京 100083)

(收稿日期:2016-06-30)

摘要:推导出了单色点光源双光束干涉可见度的一般表达式,并对单色点光源干涉图样的可见度进行了理论模拟,模拟结果有助于学生对单色光源干涉图样清晰度的理解和掌握。

关键词:可见度 光强比 两光束夹角

光的干涉现象中,干涉条纹的强弱对比程度或分辨程度常用可见度来描述,可见度 V 的定义式为

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

其中, I_{\max} 和 I_{\min} 分别为光场中光强的极大和极小值,可见度越大,条纹越清晰. 双光束干涉现象中,根据一般大学物理教材给出的光强表达式^[1~3],可见度 V 通常表示为^[4,5]

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{2\sqrt{\frac{I_1}{I_2}}}{1 + \frac{I_1}{I_2}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \quad (2)$$

式(2)中 I_1 和 I_2 分别为两束光在空间相遇时的光强. 实际上,杨氏双缝干涉实验中,单色点光源入射情况下,双光束干涉图样可见度 V 除了和两光束光强比有关,还和两光束在传播方向上相遇时的夹角有关. 本文推导出了可见度与光强比和两光束夹角间关系式,并在理论推导结果基础上进行了计算机模拟,模拟结果有助于学生对双光束干涉图样清晰度的理解和掌握。

1 单色点光源双光束干涉的可见度

如图1所示,设光强为 I_1 和 I_2 的两束光来自同一单色点光源(光源发射自然光),两光束在空间相遇时夹角为 θ . 将两束光的光矢量分别沿垂直纸面方向(s 方向)和纸面内方向分解(p 方向), A_{1s} 和 A_{1p} 分别为光束1沿 s 方向和 p 方向的振幅大小, A_{2s} 和 A_{2p} 分别为光束2沿 s 方向和 p 方向的振幅大小. 若两束光均为自然光,则 $A_{1s}^2 = A_{1p}^2 = \frac{1}{2}I_1$, $A_{2s}^2 = A_{2p}^2 =$

$\frac{1}{2}I_2$. 由图1知,两束光 s 方向光矢量振动方向相同,满足相干条件,设 $I_{s-\max}$ 为两光束 s 方向光矢量相干叠加时的最大光强, $I_{s-\min}$ 为两光束 s 方向光矢量相干叠加时的最小光强,则

$$I_{s-\max} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 + \sqrt{I_1 I_2}$$

$$I_{s-\min} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 - \sqrt{I_1 I_2}$$

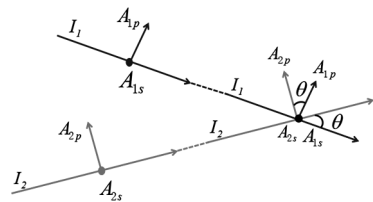


图1 同一点光源发出的双光束干涉

两光束 p 方向光矢量方向夹角为 θ , 若将 A_{2p} 分解为 $A_{2p}\cos\theta$ 和 $A_{2p}\sin\theta$. 由图1知, $A_{2p}\cos\theta$ 与 A_{1p} 光矢量振动方向相同,满足相干条件,设 $I_{p-\max}$ 为 p 方向光矢量相干叠加的最大光强, $I_{p-\min}$ 为 p 方向光矢量相干叠加时的最小光强,则

$$I_{p-\max} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 \cos^2\theta + \sqrt{I_1 I_2} \cos\theta$$

$$I_{p-\min} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 \cos^2\theta - \sqrt{I_1 I_2} \cos\theta$$

由于 $A_{2p}\sin\theta$ 方向的光矢量与 $A_{2p}\cos\theta$ 方向 (A_{1p} 方向) 的光矢量正交,不满足相干条件,所以,它作为一非相干成分将成为背景光,而背景光的平均光强

$$\bar{I} = (A_{2p}\sin\theta)^2 = \frac{1}{2}I_2 \sin^2\theta$$

由上述分析可知,满足相干条件的两光束在空

间相遇时,叠加区域光强最大值和最小值将分别为

$$I_{\max} = I_{s-\max} + I_{p-\max} + \bar{I} = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} (1 + \cos \theta)$$

$$I_{\min} = I_{s-\min} + I_{p-\min} + \bar{I} = I_1 + I_2 - \sqrt{I_1 I_2} (1 + \cos \theta)$$

将它们代入公式(1),则

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} =$$

$$\frac{\sqrt{\frac{I_1}{I_2}} (1 + \cos \theta)}{1 + \frac{I_1}{I_2}} = \frac{\sqrt{I_1 I_2} (1 + \cos \theta)}{I_1 + I_2} \quad (3)$$

对比公式(2)和(3)可知,公式(2)其实是公式(3)的一个特例,是式(3)中 $\theta=0$ 时的可见度。

2 单色光源双光束干涉图样可见度的理论模拟

图2(a)给出了不同夹角时(夹角分别为 $0, 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 90^\circ$),条纹的可见度 V 与两光束光强比 $\frac{I_1}{I_2}$ 之间的关系.由图2(a)可知: θ 取不同值时,均是光强比为1时,可见度 V 最大;对不同 θ 值,当光强比 $\frac{I_1}{I_2} > 1$ 或 $\frac{I_1}{I_2} < 1$ 时,可见度都急剧变小,且光强比 $\frac{I_1}{I_2} < 1$ 比光强比 $\frac{I_1}{I_2} > 1$ 时减小趋势更明显; θ 在 $0 \sim 15^\circ$ 度之间时,可见度随光强比变化曲线基本重合;夹角大于 15° 以后, θ 不同,可见度随光强变化关系的差异性变明显,且随着夹角的增加,可见度最大值逐渐减小,夹角为 90° 时,最大可见度只有0.5。

图2(b)给出了不同光强比下,条纹的可见度与两光束传播方向夹角之间的关系.由图2可知:同一光强比下,当夹角在 $0 \sim 90^\circ$ 之间变化时,随着夹角增大,可见度逐渐减小;对 $0 \sim 90^\circ$ 之间的任意角度,

不同光强比下,可见度不同;不同光强比下,光强比 $\frac{I_1}{I_2} \geq 1$ 时,均是 $\theta=0$ 时,干涉条纹的可见度最大,且随着夹角的增加,干涉条纹的可见度最大值逐渐减小。

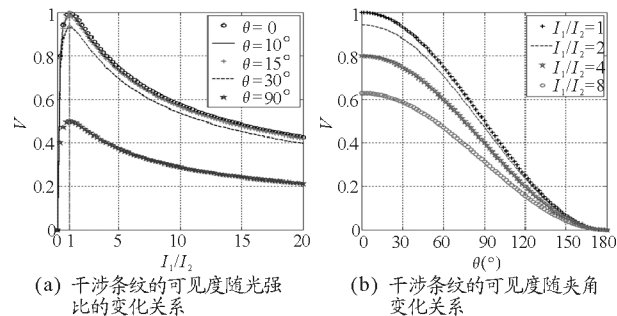


图2

综合图2中的模拟结果可知,双光束干涉中,理想单色光入射情况下,为了确保尽量大的可见度,应保证两光束光强相等且两光束之间的夹角尽量小.单色点光源杨氏双缝干涉实验中,通常要求两狭缝关于光源对称且狭缝与观察屏之间距离 D 远远小于两狭缝之间距离 d ,就是为了满足上述两个要求,即达到 $I_1 \approx I_2$ 和 $\theta \rightarrow 0$ 。

参考文献

- 1 张三慧. 大学物理学·波动与光学(第2版). 北京:清华大学出版社,2000. 123
- 2 马文蔚,周雨青,解希顺. 物理学教程(第2版). 北京:高等教育出版社,2006. 180 ~ 182
- 3 金仲辉,柴丽娜. 大学基础物理学(第3版). 北京:科学出版社,2010. 261 ~ 262
- 4 程守洙,江之永. 普通物理学(第5版). 北京:高等教育出版社,1998. 205
- 5 姚启钧. 光学教程(第5版). 北京:高等教育出版社,2015. 26

Theoretical Simulation on Double Beam Interference Visibility of Monochromatic Point Source

He Kunna Zhang Weiwei Li chunyan Jia Yanhua Jin Zhonghui

(College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract: This paper firstly derived a general expression of the visibility of double-beam interference with monochromatic point light, then carried on theoretical simulation with the general expression. The simulation results can help students to understand and master the visibility of double-beam interference with monochromatic point light.

Key words: visibility; intensity ratio; angle between two beams of light