

部分相干涡旋光束形成的相干涡旋特性研究^{*}

程 科¹⁾²⁾ 张洪润³⁾ 吕百达^{1)†}

1) 四川大学激光物理与化学研究所, 成都 610064)

2) 成都信息工程学院光电技术学院, 成都 610225)

3) 四川大学应用物理系, 成都 610065)

(2009 年 1 月 19 日收到, 2009 年 4 月 8 日收到修改稿)

推导出部分相干涡旋平顶光束的传输解析公式, 并用以研究了聚焦场和自由空间中部分相干涡旋光束形成相干涡旋的特性. 结果表明, 相干涡旋与光束阶数 N , 空间相干参数 α 和参考点位置 (x_1, y_1) 有关. 依赖于参考点的选择, 光谱相干度可能存在零值点, 也可能没有零值点. 特别是, 若选取 $x_1 = y_1 = 0$, 光谱相干度零值点处的位相可以是确定的, 因而不存在相干涡旋.

关键词: 相关奇点光学, 相干涡旋, 部分相干涡旋光束

PACC: 4225, 4225K

1. 引言

近年来, 奇点光学研究范围已从完全空间相干光扩展到部分空间相干光, 并发展成为相关奇点光学^[1-2]. 研究表明, 除特殊情况外, 对部分相干光光强一般不存在零值点, 无光强涡旋, 但部分相干光存在相干涡旋^[2-5], 亦称相关涡旋^[6-9], 即位相不确定的光谱相干度的零值点. 文献 [10, 11] 基于惠更斯-菲涅耳衍射积分分别对聚焦谢尔模型光束和高斯-谢尔模型涡旋光束在焦区的空间相关性以及纵向和横向相干长度的变化做了研究. 我们曾使用推广的德拜公式分析了高斯-谢尔模型光束聚焦场空间相干度的变化和焦平面上位相奇点湮没规律^[12]. 与光强涡旋不同的是, 相干涡旋涉及光场中横平面上二点的空间相关性, 通常需固定一个参考点 (x_1, y_1) ^[3], 或假设空间二点间存在某种关系^[6]. 值得进一步研究的两个有兴趣的问题是: 相干涡旋的特性是否与参考点的位置选择有关? 光谱相干度的零值点是否一定存在相干涡旋? 本文以部分相干平顶涡旋光束为例, 推导出部分相干平顶涡旋光束通过近轴 ABCD 光学系统的传输公式, 用以对其在聚焦场中和自由空间中形成的相干涡旋特性做了研究, 并

回答上述两个问题. 所得结果深化了对部分相干光形成的相干涡旋特性的认识.

2. ABCD 光学系统中的相干涡旋

在直角坐标系下, 涡旋光束在 $z = 0$ 处的场分布为^[7]

$$E(x, y, z = 0) = f(x, y)A(x', y') \times \exp[i \arctan(y'/x')] \exp(i\beta), \quad (1)$$

式中 $f(x, y)$ 为背景光的场分布, $A(x', y')$ 是涡旋核函数, β 是位相, m 是拓扑电荷.

部分相干光束的交叉谱密度函数为^[13]

$$W(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = E^*(x_1, y_1, z)E(x_2, y_2, z), \quad (2)$$

式中 $\bar{}$ 是系综平均, 星号 $*$ 是复共轭. 假定位相 β 的统计分布是谢尔相关的, 即^[6, 7]

$$\alpha(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) = \exp\{-[(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]/\sigma_0^2\}, \quad (3)$$

σ_0 为相关长度.

把 (1) (3) 式代入 (2) 式, 得到部分相干涡旋光束在源处的交叉谱密度函数为

$$W(x_1, y_1, x_2, y_2, z = 0)$$

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 10874125)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: baidalu0@tom.com

$$= f^*(x_1, y_1) f(x_2, y_2) A^*(x'_1, y'_1) A(x'_2, y'_2) \times \exp\{-[(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2] \sigma_0^2\} \times \exp[i m (\arctan(y'_2/x'_2) - \arctan(y'_1/x'_1))]. \quad (4)$$

设背景光是平顶光束,即^[14]

$$f(x, y) = \sum_{n=1}^N \frac{(-1)^{n-1}}{N} \binom{N}{n} \times \exp\left[-\frac{n(x^2 + y^2)}{w_0^2}\right], \quad (5)$$

式中 $\binom{N}{n}$ 为二项式系数, w_0 为束腰宽度, N 为平顶光束的阶数($N=1, 2, 3, \dots$).

涡旋核函数为^[7]

$$A(x', y') = (\sqrt{x'^2 + y'^2}/w_0)^{|m|}. \quad (6)$$

将(5)(6)式代入(4)式,并令拓扑电荷 $m = +1$,得到源处的交叉谱密度为

$$W(x_1, y_1, x_2, y_2, z=0) = \sum_{n=1}^N \frac{(-1)^{n-1}}{N} \binom{N}{n} \times \exp\left(-\frac{n(x_1^2 + y_1^2)}{w_0^2}\right) \sum_{n'=1}^N \frac{(-1)^{n'-1}}{N} \binom{N}{n'} \times \exp\left(-\frac{n'(x_2^2 + y_2^2)}{w_0^2}\right) \frac{(x_1 - iy_1)(x_2 + iy_2)}{w_0^2} \times \exp\left[-\frac{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}{\sigma_0^2}\right]. \quad (7)$$

在近轴近似下, $z=0$ 处场分布为(1)式的完全相干涡旋光束通过 $ABCD$ 光学系统的传输公式为^[15]

$$E(x, y, z) = -\frac{ik}{2\pi B} \exp(ikz) \iint E(x', y', 0) \times \exp\left\{\frac{ik}{2B} [A(x'^2 + y'^2) - 2xx' + yy' + D(x^2 + y^2)]\right\} dx' dy', \quad (8)$$

(x', y')是源平面处的横坐标.将(8)式代入(2)式,得到部分相干涡旋光束通过 $ABCD$ 光学系统后交叉谱密度的公式为

$$W(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \left(\frac{k}{2\pi B}\right)^2 \iiint W(x'_1, y'_1, x'_2, y'_2, z=0) \times \exp\left[-\frac{ikD}{2z}(x_1^2 + y_1^2 - x_2^2 - y_2^2)\right]$$

$$\times \exp\left\{-\frac{ik}{2z} [A(x_1'^2 + y_1'^2 - x_2'^2 - y_2'^2) - 2x_1x'_1 + y_1y'_1 - x_2x'_2 - y_2y'_2]\right\} \times dx'_1 dy'_1 dx'_2 dy'_2. \quad (9)$$

将(4)式代入(9)式,积分得

$$W(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \left(\frac{k}{2Bw_0}\right)^2 \sum_{n=1}^N \frac{(-1)^{n-1}}{N} \binom{N}{n} \sum_{n'=1}^N \frac{(-1)^{n'-1}}{N} \binom{N}{n'} \times P_1^{-2} P_2^{-2} \left\{ \sigma_0^{-2} + \frac{Q_1^2 + Q_2^2}{\sigma_0^2 P_2} + \frac{k}{2B} \times [Q_1(ix_1 + y_1) - Q_2(x_1 - iy_1)] \right\} \times \exp\left[-\frac{k^2(x_1^2 + y_1^2)}{4P_1 B^2} + \frac{Q_1^2 + Q_2^2}{P_2} - \frac{ikD}{2B}(x_1^2 + y_1^2 - x_2^2 - y_2^2)\right], \quad (10)$$

式中

$$P_1 = \frac{n}{w_0^2} + \frac{1}{\sigma_0^2} + \frac{ikA}{2B}, \quad P_2 = \frac{n'}{w_0^2} + \frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{ikA}{2B} - \frac{1}{P_1 \sigma_0^4}, \quad Q_1 = T_1 x_1 - T_2 x_2, \quad Q_2 = T_1 y_1 - T_2 y_2, \quad T_1 = ik/2\sigma_0^2 B P_1, \quad T_2 = ik/2B, \quad (11)$$

k 为波数,与波长 λ 关系为 $k=2\pi/\lambda$.(10)(11)式为部分相干涡旋光束通过 $ABCD$ 光学系统的交叉谱密度传输公式.

在 z 处的光谱相干度定义为^[13]

$$\mu(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \frac{W(x_1, y_1, x_2, y_2, z)}{[K(x_1, y_1, z)K(x_2, y_2, z)]^{1/2}}, \quad (12)$$

式中 $K(x_i, y_i, z) = W(x_i, y_i, x_i, y_i, z)$ ($i=1, 2$)表示 (x_i, y_i, z) 处的光强.

相干涡旋需满足^[2,3]

$$\mu(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = 0, \quad (13)$$

与参考点 (x_1, y_1) 的选取有关.此外,对部分相干平顶涡旋光束,相干涡旋也与光束阶数 N 和空间相干参数 $\alpha = \sigma_0/w_0$ 有关.特别地,如若选取参考点 $x_1 = y_1 = 0$,将(10)~(12)式代入(13)式,(13)式可写为

$$\frac{1}{B^2} \sum_{n=1}^N \frac{(-1)^{n-1}}{N} \binom{N}{n} \sum_{n'=1}^N \frac{(-1)^{n'-1}}{N} \binom{N}{n'}$$

$$\begin{aligned} &\times P_1^{-2} P_2^{-2} \left[\sigma_0^{-2} - \frac{k^2(x_2^2 + y_2^2)}{4P_2\sigma_0^2 B^2} \right] \\ &\times \exp \left[\left(\frac{ikD}{2B} - \frac{k^2}{4P_2 B^2} \right) (x_2^2 + y_2^2) \right] = 0. \quad (14) \end{aligned}$$

2.1. 聚焦透镜系统中的相干涡旋

若 $ABCD$ 光学系统为置于 $z = 0$ 面处焦距为 f ($f > 0$) 的透镜, 则 $ABCD$ 矩阵为

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - z/f & z \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

现在研究聚焦部分相干平顶涡旋光束在焦面 $z = f$ 处的相干涡旋. 若固定参考点 (x_1, y_1) , 由 (10)–(13) 和 (15) 式, 就可得出焦面 $z = f$ 处的相干涡旋. 特别地, 若选取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ (14) 式简化为

$$\begin{aligned} &\sum_{n=1}^N \frac{(-1)^{n-1}}{N} \binom{N}{n} \sum_{n'=1}^N \frac{(-1)^{n'-1}}{N} \binom{N}{n'} \\ &\times P_3^{-2} P_4^{-2} \left[\sigma_0^{-2} - \frac{k^2(x_2^2 + y_2^2)}{4P_4\sigma_0^2 f^2} \right] \\ &\times \exp \left[-\frac{k^2(x_2^2 + y_2^2)}{4P_4 f^2} \right] = 0, \quad (16) \end{aligned}$$

式中

$$P_3 = \frac{n}{w_0^2} + \frac{1}{\sigma_0^2}, \quad P_4 = \frac{n'}{w_0^2} + \frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{P_3\sigma_0^4}. \quad (17)$$

(16) 和 (17) 式表明, 当取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 光谱相干度 μ 零值点处为实数.

在以下计算中固定 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$, $w_0 = 1.6 \text{ mm}$. 图 1 给出了当取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 光束阶数 N 和空间相干参数 α 对焦面 $z = f$ 处的光谱相

干度 $|\mu|$ 的影响. 为便于比较, 定义幅度减小到最大值 0.5 时为对应的光谱相干度的有效宽度 w_μ . 由图 1(a) 可知, 随光束阶数 N 和空间相干参数 α 的增加, 光谱相干度的有效宽度 w_μ 会逐渐减小.

图 2 给出了焦面 $z = f$ 处, 参考点对光谱相干度的模 $|\mu|$ (图 2(a)) (b) 和光谱相干度 μ 的等位相图 (图 2(c)) (d) 的影响, 其中实心和空心圆分别表示拓扑电荷为 +1 和 -1. 由图 2(a) (c) 可见, 当取参考点为 $x_1 = 2\lambda$, $y_1 = -2\lambda$ 时, 光谱相干度 μ 有两个零值点, 且零值点处的位相是不确定的, 这即相干涡旋, 其位置分别为 $(0.3\lambda, -0.2\lambda)$ 和 $(4.8\lambda, -4.7\lambda)$. 图 2(b) (d) 表明, 若取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 光谱相干度 μ 的零值点为圆, 其半径为 2.3λ . 然而, 由图 2(d) 知, 此时光谱相干度的位相是确定的. 一般地, 对聚焦部分相干涡旋平顶光束, 在焦面 $z = f$ 处, 若参考点 x_1, y_1 不同时为零, 光谱相干度 μ 的零值点处的位相是不确定的, 这些零值点就是相干涡旋; 若参考点 x_1, y_1 同时为零, 光谱相干度 μ 的零值点处的位相是确定的, 即不是相干涡旋.

图 3 给出了 $\Delta z = z - f = 2 \mu\text{m}$ 处, 参考点对光谱相干度的模 $|\mu|$ (图 3(a)) (b) 和光谱相干度 μ 的等位相图 (图 3(c)) (d) 的影响. 由图 3(a) (c) 可以看到, 当取参考点为 $x_1 = \lambda$, $y_1 = -3\lambda$ 时, 存在两个相干涡旋, 其位置分别为 $A(0.3\lambda, -0.3\lambda)$ 和 $B(1.2\lambda, -7.2\lambda)$. 由图 3(b) (d) 还可看到, 若参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 虽然光谱相干度 μ 存在圆形暗环, 但该暗环处的 $|\mu|$ 却不为零. 这说明当取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 在焦面外不存在光谱相干度的零值点.

图 4 给出了在焦面处, 当取 $x_1 = \lambda$, $y_1 = -4\lambda$ 时, 光束阶数 N 对光谱相干度的模 $|\mu|$ (图 4(a)),

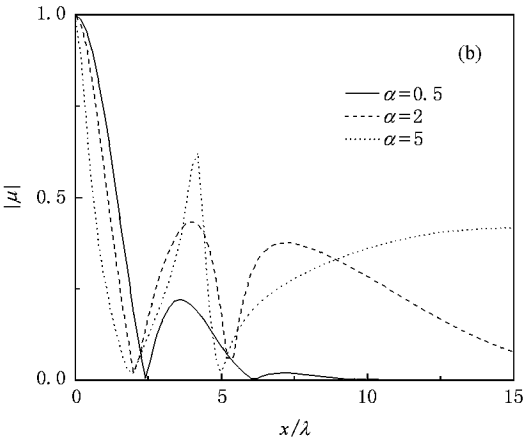
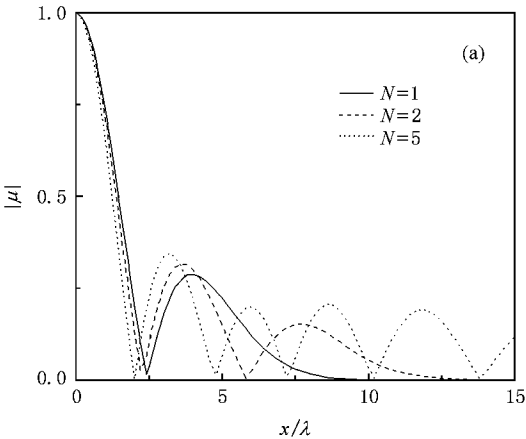


图 1 光束阶数 N 和空间相干参数 α 对焦面处的光谱相干度 $|\mu|$ 的影响 (a) $\alpha = 1$ (b) $N = 2$

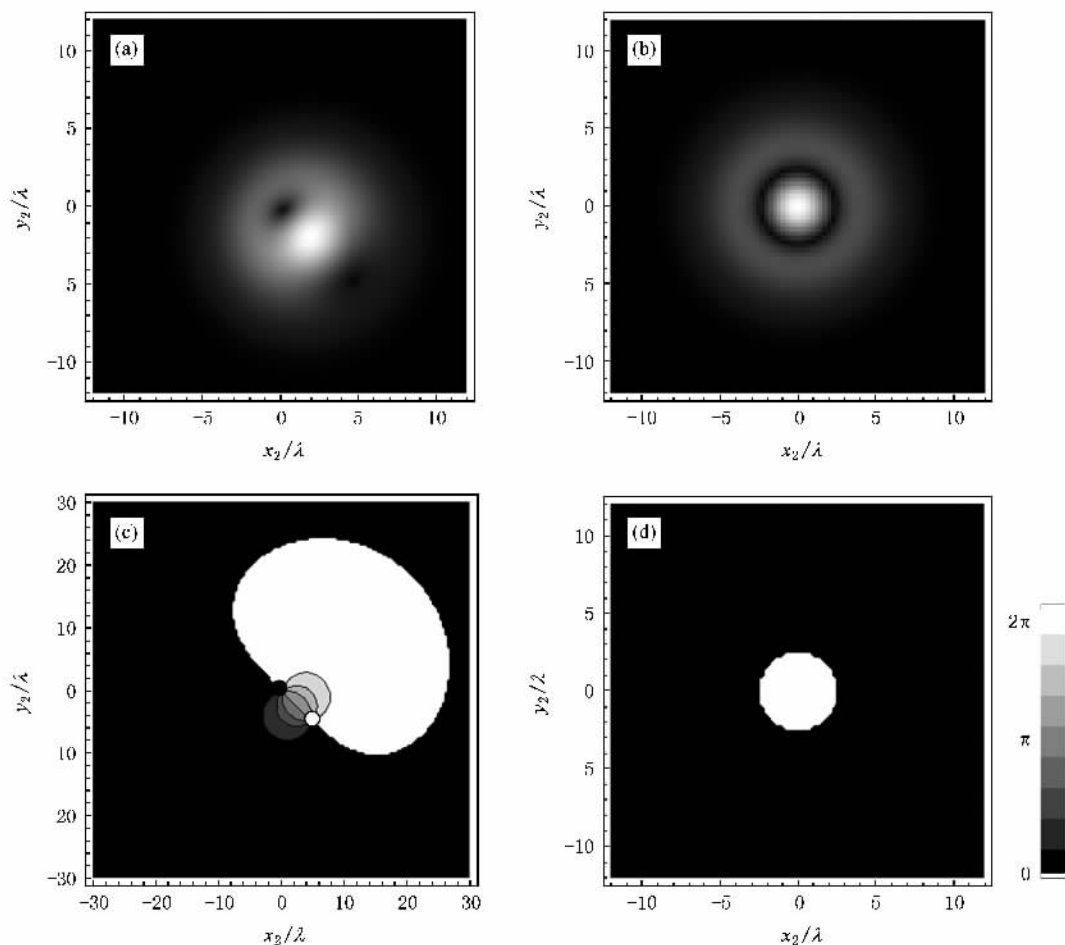


图2 焦面 $z=f$ 处,参考点对光谱相干度的模 $|\mu|$ ((a))((b))和光谱相干度 μ 的等位相图((c))((d))的影响($f=10\text{ mm}$, $\alpha=1$, $N=1$) ((a))((c)) $x_1=2\lambda$, $y_1=-2\lambda$ ((b))((d)) $x_1=y_1=0$

(b))和光谱相干度 μ 的等位相图(图4(c))((d))的影响.从图4(a)–(d)可知, $N=1$ 时,存在两个相干涡旋,其位置分别为 $(0.5\lambda, -0.5\lambda)$ 和 $(4.8\lambda, -20\lambda)$.当 $N=2$ 时,存在四个相干涡旋,其位置分别为 $(-1.5\lambda, 5.5\lambda)$ ($-0.7\lambda, 2.3\lambda$) ($0.2\lambda, -\lambda$) 和 $(-1.2\lambda, -5.2\lambda)$.

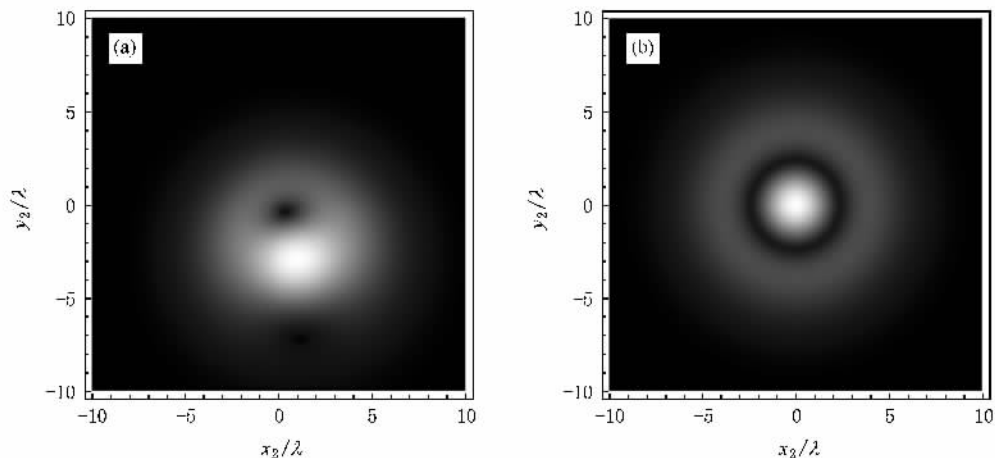


图5给出了在焦面处,当取 $x_1 = \lambda, y_1 = -4\lambda$ 时,空间相干参数 α 对光强 S (图5(a))((b))光谱相干度的模 $|\mu|$ (图5(c))((d))和光谱相干度 μ 的等位相图(图5(e))((f))的影响.从图5(a)–(b)可看到,随着 α 的减小,光强暗核会消失.从图5(c)–(f)可知, $\alpha=0.8$ 时,相干涡旋位置分别为 $(-0.3\lambda, 1.3\lambda)$ 和

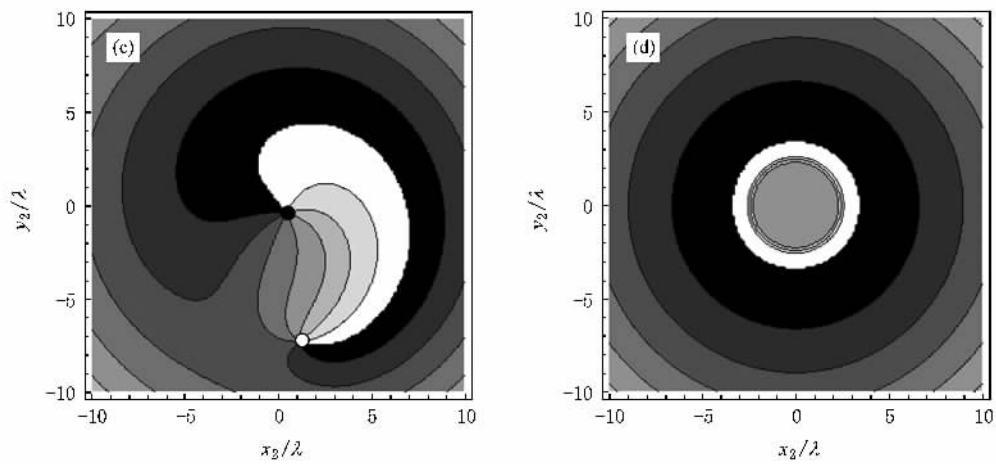


图 3 焦面外 $z-f=2\text{ }\mu\text{m}$ 参考点对光谱相干度的模 $|\mu|$ ((a)(b)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 ((c)(d)) 的影响 ($f=10\text{ mm}$, $\alpha=1$, $N=1$) (a)(c) $x_1=\lambda$, $y_1=-3\lambda$ (b)(d) $x_1=y_1=0$

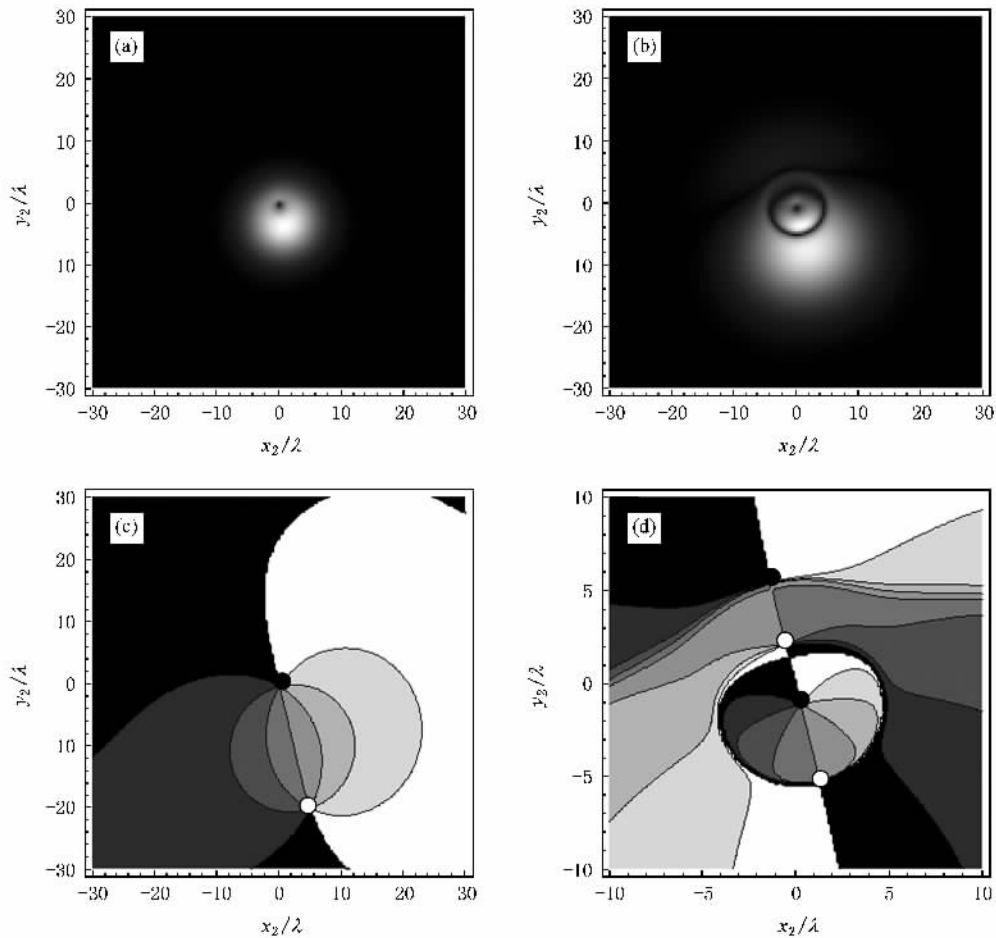


图 4 焦面处, 光束阶数 N 对光谱相干度的模 $|\mu|$ ((a)(b)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 ((c)(d)) 的影响 ($\alpha=2$) (a)(c) $N=1$ (b)(d) $N=2$

(1.9λ , -7.7λ). 当 $\alpha=2$ 时, 相干涡旋位置分别为 (0 , -0.4λ) 和 (5λ , -20λ). 若 α 继续增加, 在相干

极限 $\alpha\rightarrow\infty$ 下, 相干涡旋会演化成光强涡旋, 此时光强涡旋的位置与参考点选择无关^[2].

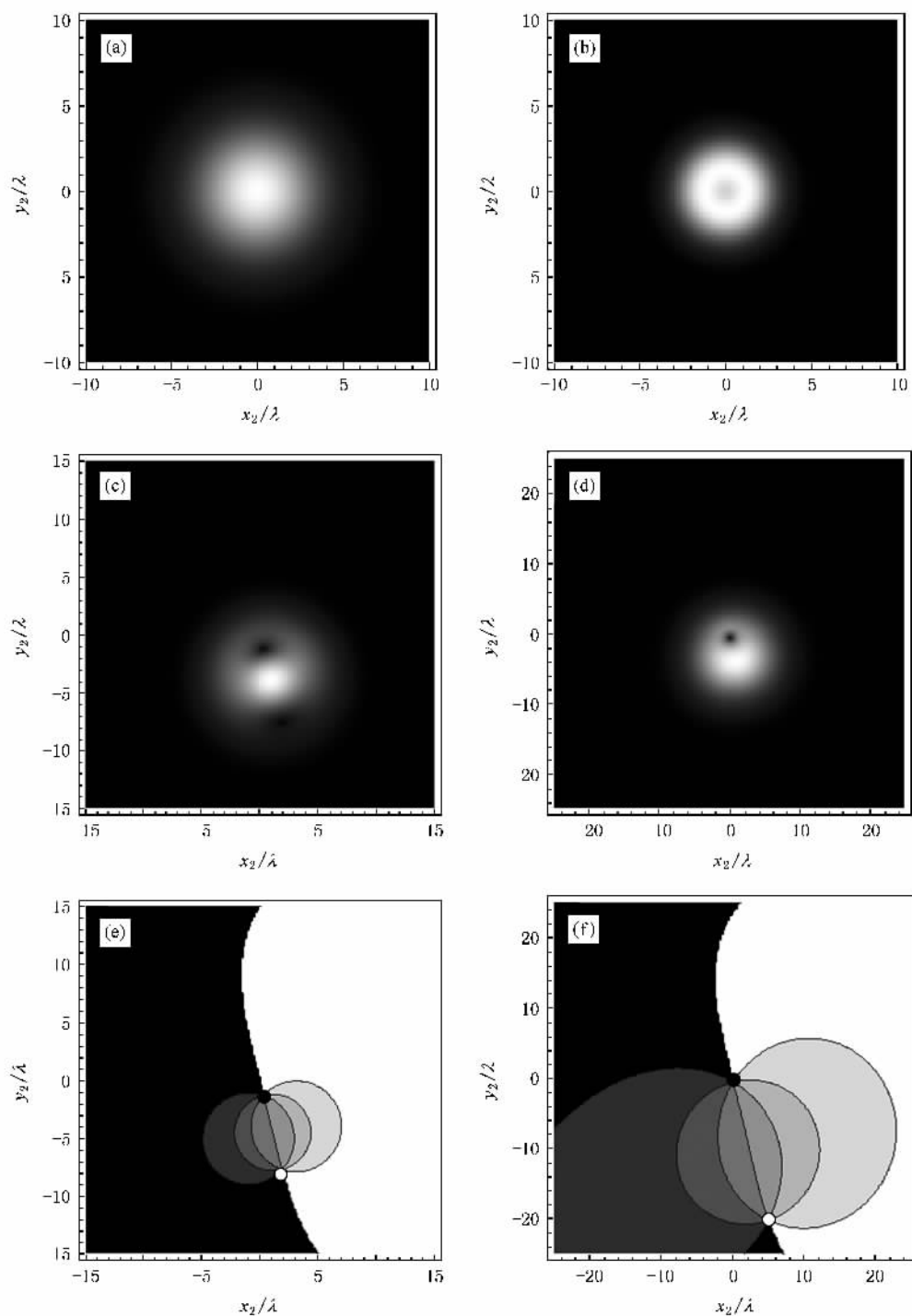


图5 焦面处 相干参数 α 对光强 I ((a)) ((b))、光谱相干度的模 $|\mu|$ ((c)) ((d)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 ((e)), ((f)) 的影响 ($N=1$) ((a)) ((c)) ((e)) $\alpha=0.8$ ((b)) ((d)) ((f)) $\alpha=2$

2.2. 自由空间中的相干涡旋

在自由空间中 $ABCD$ 矩阵为

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{18}$$

若取参考点为 $x_1 = y_1 = 0$ (14 式) 的解为

$$\sum_{n=1}^N \frac{(-1)^{n-1}}{N} \binom{N}{n} \sum_{n'=1}^N \frac{(-1)^{n'-1}}{N} \binom{N}{n'} \times P_1^{-2} P_2^{-2} \left[\sigma_0^{-2} - \frac{k^2(x_2^2 + y_2^2)}{4P_4\sigma_0^2 z^2} \right]$$

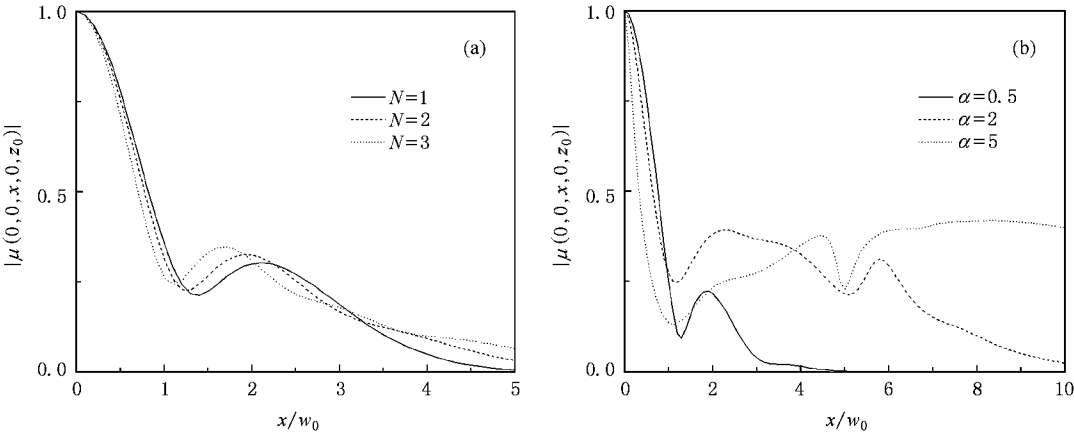


图 6 自由空间中, 光束阶数 N 和空间相干参数 α 对光谱相干度 $|\mu|$ 的影响 (a) $\alpha = 1$ (b) $N = 2$

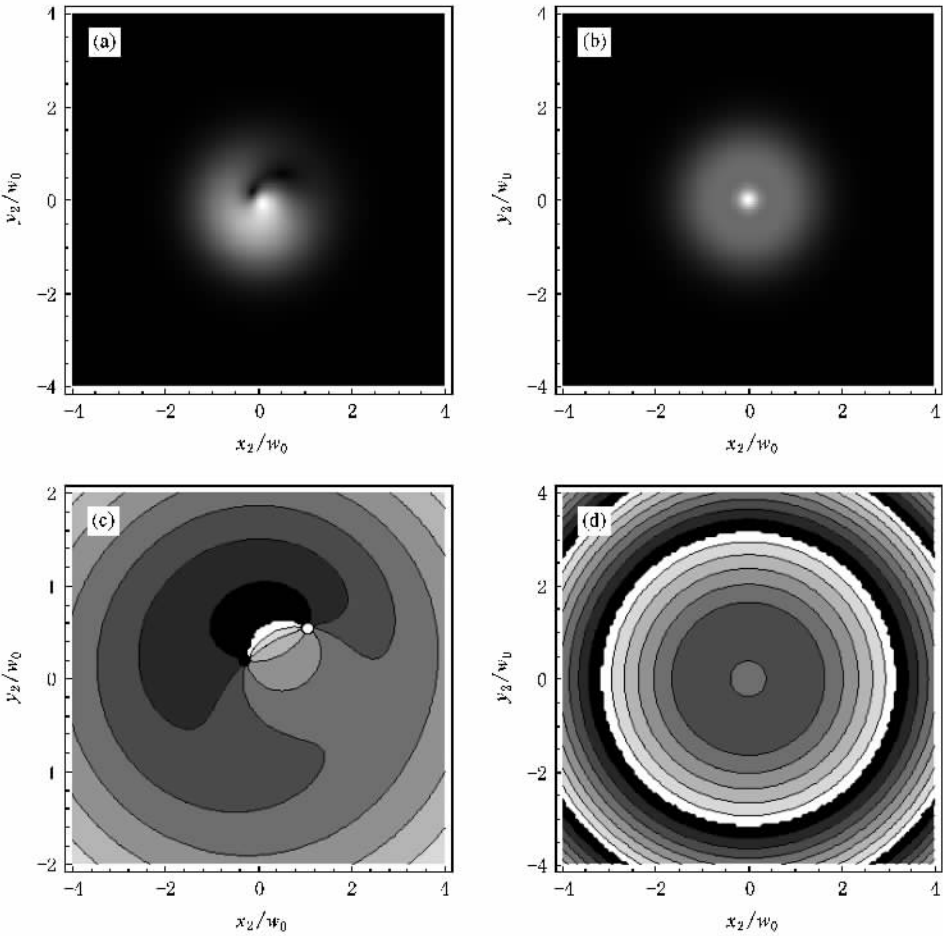


图 7 自由空间中, 参考点对光谱相干度的模 $|\mu|$ ((a)(b)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 ((c)(d)) 的影响 ($\alpha = 1, N = 2, z = 0.2z_0$) (a)(c) $x_1 = 0.1w_0, y_1 = -0.1w_0$ (b)(d) $x_1 = y_1 = 0$

$$\times \exp\left[-\frac{k^2(x_2^2 + y_2^2)}{4P_4 z^2}\right] = 0, \quad (19)$$

P_1, P_2 由(11)式决定.

图6给出了当取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 光束阶数 N 和空间相干参数 α 对 $z = z_0$ ($z_0 = \pi w_0^2/\lambda$ 为瑞利长度) 处的光谱相干度 $|\mu|$ 的影响. 由图6知, 随光束阶数 N 和空间相干参数 α 的增加, 光谱相干度的有效宽度 w_μ 会逐渐减小.

图7给出了自由空间 $z = 0.2z_0$ 处, 参考点对光谱相干度的模 $|\mu|$ (图7(a)(b)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 (图7(c)(d)) 的影响. 由图7(a)(c) 可以看出, 当参考点 $x_1 = 0.1w_0, y_1 = -0.1w_0$ 时, 存在两个相干涡旋, 其位置分别为 $(0.5w_0, 0.6w_0)$ 和 $(-0.1w_0, 0.2w_0)$. 由图7(b)(d) 可看到, 若取参考点为 $x_1 = y_1 = 0$, 不存在光谱相干度的零值点, 也不存在相干涡旋.

图8给出了自由空间中, 当取 $x_1 = 0.1w_0, y_1 =$

$-0.1w_0$ 时, 光束阶数 N 对光谱相干度的模 $|\mu|$ (图8(a)(b)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 (图8(c)(d)) 的影响. 从图8(a)–(d) 可知, 随光束阶数 N 的增加, 相干涡旋个数会增加. 例如 $N = 1$ 时, 两个相干涡旋的位置分别为 $(-0.2w_0, 0.2w_0)$ 和 $(0.6w_0, 0.5w_0)$. 当 $N = 3$ 时, 四个相干涡旋的位置分别为 $(-0.2w_0, 0.3w_0), (0.4w_0, 0.6w_0), (-4.5w_0, -0.9w_0)$ 和 $(0.9w_0, 4.6w_0)$.

图9给出了自由空间中, 当取 $x_1 = 0.1w_0, y_1 = -0.1w_0$ 时, 空间相干参数 α 对光强 S (图9(a), (b))、光谱相干度的模 $|\mu|$ (图9(c)(d)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 (图9(e)(f)) 的影响. 从图9(a)(b) 可以看到, 当 $\alpha = 5$ 时, 光强中心存在不等于零的暗核, 但随着相干参数 α 的减小, 光强暗核会逐渐消失. 从图9(c)–(f) 可知, 随空间相干参数 α 的增加, 相干涡旋个数会减少. 例如 $\alpha = 0.5$ 时, 有两个相干涡旋, 其位置分别为 $(-0.1w_0, 0.2w_0)$ 和

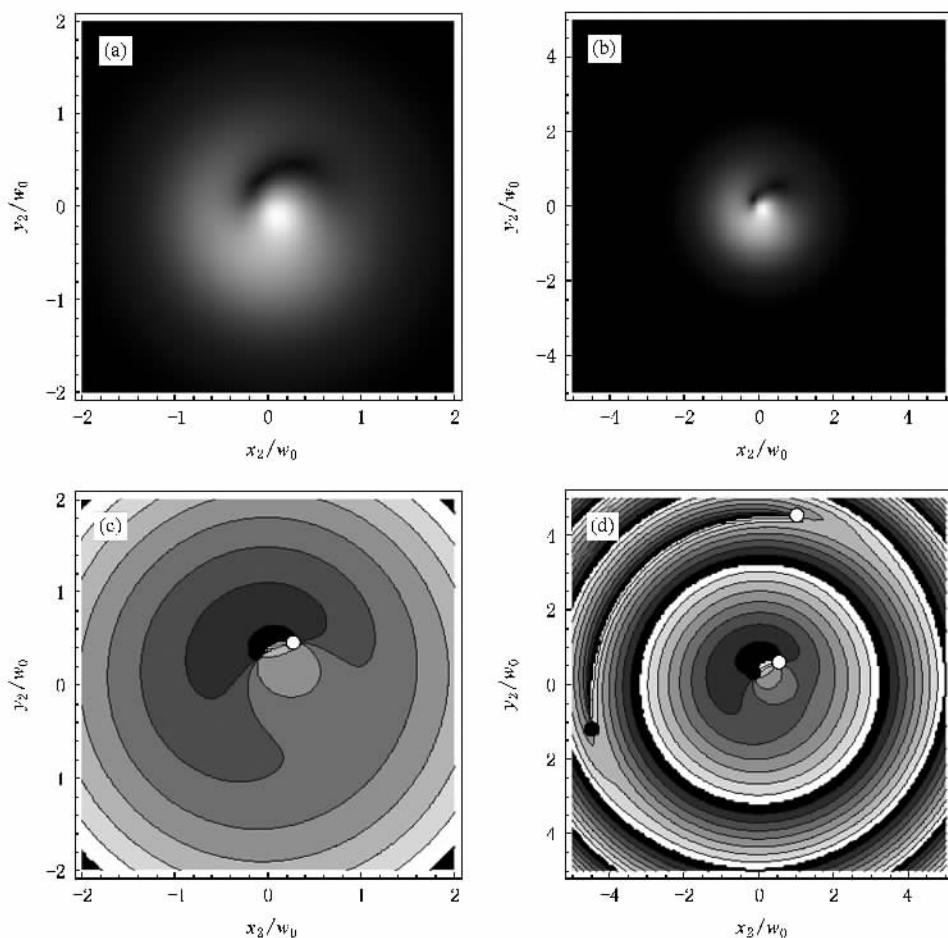


图8 自由空间中, 光束阶数 N 对光谱相干度的模 $|\mu|$ ((a)(b)) 和光谱相干度 μ 的等位相图 ((c)(d)) 的影响 ($z = 0.2z_0, \alpha = 1$) (a)(c) $N = 1$ (b)(d) $N = 3$

$(1.4w_0, w_0)$. 当 $\alpha = 5$ 时, 仅有一个相干涡旋, 其位置为 $(-0.05w_0, 0.05w_0)$. 类似地, 在相干极限 $\alpha \rightarrow$

∞ 下, 相干涡旋也会演化为光强涡旋.

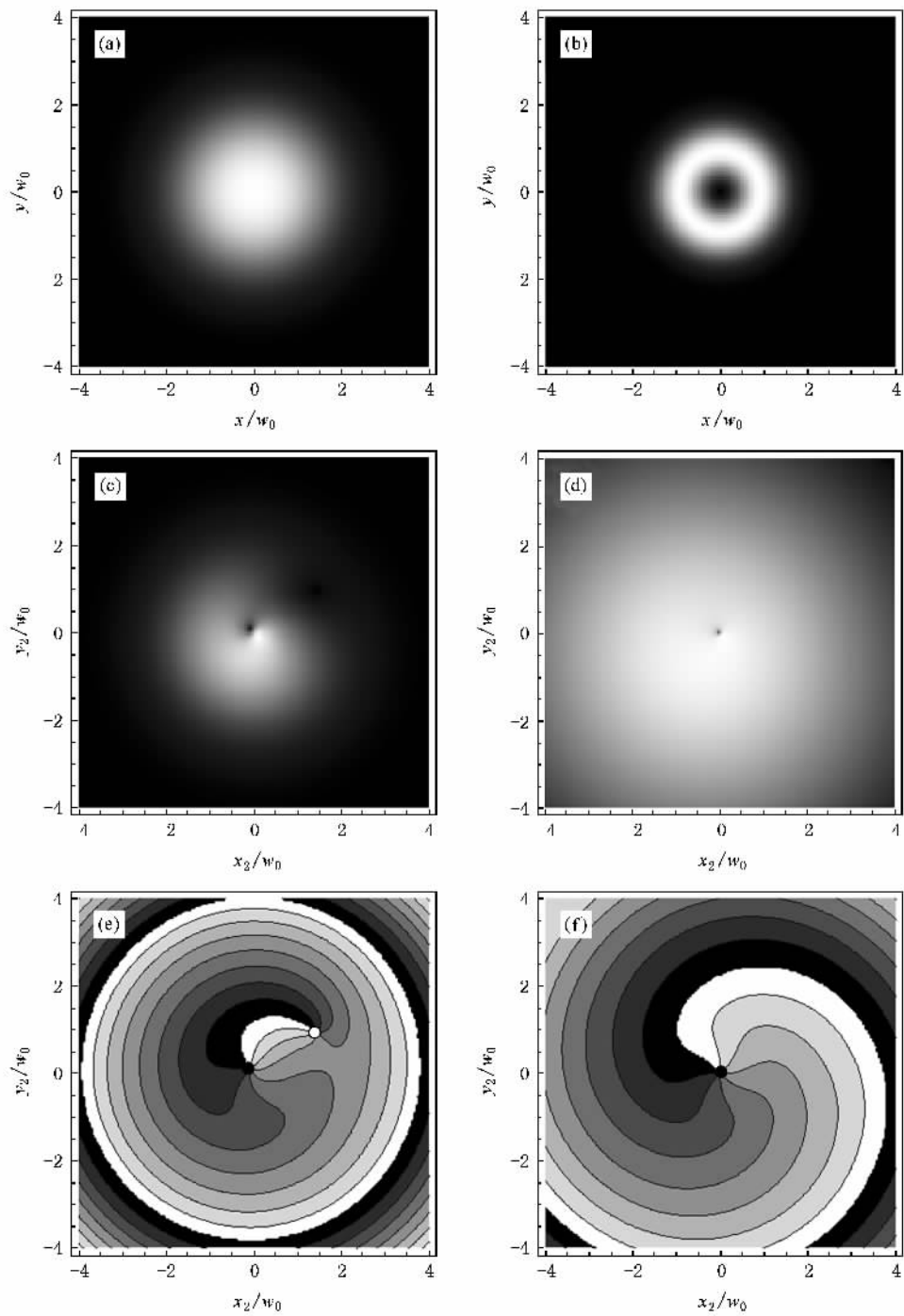


图9 自由空间中,空间相干参数 α 对光强 I (a)(b)、光谱相干度的模 $|\mu|$ (c)(d)和光谱相干度 μ 的等位相图 (e)(f)的影响 ($z = 0.2z_0, N = 3$) (a)(c)(e) $\alpha = 0.5$ (b)(d)(f) $\alpha = 5$

3. 结 论

本文对部分相干平顶涡旋光束形成相干涡旋的

特性做了详细研究. 分析了参考点 (x_1, y_1) 位置选择, 光束阶数 N 和空间相干参数 α 对聚焦透镜和自由空间中相干涡旋的影响. 研究表明, 随着光束阶数 N 和空间相干参数 α 的增加, 光谱相干度的有效长

度会减小. 在聚焦透镜光学系统中, 取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 在焦面处的光谱相干度 μ 零值点处的位相是确定的, 不存在相干涡旋. 而在焦面外, 不存在光谱相干度 μ 的零值点, 也不存在相干涡旋. 在自由空间中, 取参考点 $x_1 = y_1 = 0$ 时, 不存在相干涡旋. 若取参考点 x_1, y_1 不同时为零, 在上述两个光学

系统中, 均存在相干涡旋. 因此, 本文研究结果回答了引言中提出的两个问题: 相干涡旋与参考点 (x_1, y_1) 的位置有关. 依赖于参考点的选择, 光谱相干度可能存在零值点, 也可能没有零值点. 并且, 光谱相干度的零值点处的位相可以是确定的, 因而光谱相干度为零只是存在相干涡旋的必要而非充分条件.

- [1] Polyanskii P V 2004 *Proc. of SPIE* **31** 5477
- [2] Gbur G ,Visser T D ,Wolf E 2004 *J. Opt. A : Pure Appl. Opt.* **6** S239
- [3] Gbur G ,Visser T D 2003 *Opt. Commun.* **222** 117
- [4] Gbur G ,Visser T D 2006 *Opt. Commun.* **259** 428
- [5] Liu P S ,Lü B D 2007 *Chin. Phys.* **16** 411
- [6] Palacios D M ,Maleev I D ,Marathay A S ,Swartzlander G A Jr 2004 *Phys. Rev. Lett.* **92** 143905
- [7] Maleev I D ,Palacios D M ,Marathay A S ,Swartzlander G A Jr 2004 *J. Opt. Soc. Am. B* **21** 1895
- [8] Cheng K ,Lü B D 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 250 (in Chinese)
[程 科、吕百达 2009 物理学报 **58** 250]
- [9] Maleev I D ,Swartzlander G A Jr 2008 *J. Opt. Soc. Am. B* **25** 915
- [10] Fischer D G ,Visser T D 2004 *J. Opt. Soc. Am. A* **21** 2097
- [11] Rao L Z ,Pu J X 2007 *J. Opt. Soc. Am. A* **24** 2242
- [12] Liu P S ,Pan L Z ,Lü B D 2008 *Chin. Phys. B* **17** 1752
- [13] Mandel L ,Wolf E 1995 *Optical Coherence and Quantum Optics* (Cambridge : Cambridge University Press)
- [14] Li Y 2002 *Opt. Lett.* **27** 1007
- [15] Collins S A 1970 *J. Opt. Soc. Am.* **60** 1168

Coherence vortex properties of partially coherent vortex beams^{*}

Cheng Ke^{1,2)} Zhang Hong-Run³⁾ Lü Bai-Da¹⁾

1) *Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu 610064, China*

2) *College of Optoelectronic Technology, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China*

3) *Department of Applied Physics, Sichuan University, Chengdu 610065, China*

(Received 19 January 2009 ; revised manuscript received 8 April 2009)

Abstract

The analytical expression for the propagation of partially coherent flat-topped vortex beams through a paraxial optical ABCD system is derived and used to study the coherence vortex properties of partially coherent vortex beams in the focal region and free space. It is shown that the coherence vortex depends on the beam order N , spatial coherence parameter α and position (x_1, y_1) of the reference point. Depending on the choice of the reference point, the zero point of the spectral degree of coherence may be present or absent. In particular, if $x_1 = y_1 = 0$ is chosen, the phase at the zero point of the spectral degree of coherence may be determinate, thus the coherence vortex does not exist.

Keywords : correlation singular optics, coherence vortex, partially coherent flat-topped vortex beam

PACC : 4225, 4225K

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10874125).

[†] Corresponding author. E-mail : baidalu0@tom.com