

文章编号: 0253-2239(2007)09-1668-7

强非局域介质中多个空间孤子的相互作用^{*}

任 标¹ 郭 旗¹ 兰 胜¹ 杨湘波²

(¹ 华南师范大学光子信息技术广东省高校重点实验室, 广州 510631)
(² 华南师范大学激光生命科学研究所, 广州 510631)

摘要: 研究了在强非局域情况下, 非局域非线性介质中多个(大于两个)空间孤子相互作用的特点与规律。以 Snyder-Mitchell 线性模型为理论基础并利用线性叠加原理来构建解。另外, 还采用了将孤子作为粒子处理的方法。主要考虑空间斜对称入射的三、四束光的相互作用, 从而得出多个空间孤子相互作用的规律。还得出了(1+2)维多孤子相互作用的精确解析解, 并且利用解析解画出了多孤子传输过程中的光强分布图。根据解析解发现, 多孤子能形成稳定的束缚态向前传输, 缠绕与否与初始入射方向有关; 作用过程中并无能量转移, 且相互作用与初始相位无关。将孤子作为粒子处理得到的孤子相互作用的规律与解析解得出的规律一致。

关键词: 非线性光学; 多孤子相互作用; 精确解析解; 强非局域非线性介质; 光控光

中图分类号: O437 文献标识码: A

The Interaction of Multi-Spatial Solitons in Strongly Nonlocal Media

Ren Biao¹ Guo Qi¹ Lan Sheng¹ Yang Xiangbo²

(¹ Key Laboratory of Photonic Information Technology, South China Normal University, Guangzhou 510631)
(² Institute of Laser and Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631)

Abstract: The characteristic and law of interaction of multi-spatial solitons (more than two) in strongly nonlocal nonlinear media is discussed. Based on Snyder-Mitchell's linear model, the solution is achieved by the method of linear superposition. In addition solitons have been treated as particles. The interaction of three and four beams with spatial slanting symmetrical incidence is studied, and the rule of the interaction of multi-spatial solitons is obtained. The exact analytical solution of (2+1) solitons interaction has been achieved. From the solution the light intensity contour lines in solitons propagation are drawn. Multi-spatial solitons can form stable bound states when they propagate. Their spiraling is decided by the initial directions of incidence. There is no energy transfer in the process of propagation. The interaction has nothing to do with the beam's initial phases. When the solitons are treated as particles, the same rule of their interaction is obtained.

Key words: nonlinear optics; the interaction of multi-soliton; exact analytical solution; strongly nonlocal nonlinear media; light controlled by light

1 引 言

孤子相互作用问题因其潜在的巨大的应用价值而引起人们极大的关注。1999 年 George I. Stegeman 等^[1]概括了空间光孤子及其相互作用的

普遍性和多样性。文中总结了三维孤子间相互作用及矢量孤子间相互作用的研究进展。A. W. Snyder 等^[2]指出在饱和非线性介质中两束圆形横截面的自导光束(孤子)按双螺旋轨道相互缠绕。

^{*} 国家自然科学基金(10474023, 10674050)、高等学校博士学科点专项科研基金(20060574006)和广东省自然科学基金重点项目(05005918)资助课题。

作者简介: 任 标(1976—), 男, 湖南岳阳人, 硕士, 主要从事导波光学与光通信技术方面的研究。
E-mail: renbiao7191@sohu.com

导师简介: 郭 旗(1958—), 男, 四川内江人, 博士生导师, 主要从事非线性光学基础理论研究。
E-mail: guoqi@sncu.edu.cn

收稿日期: 2006-11-17; 收到修改稿日期: 2007-03-30

Alexander V. Buryak 等^[3]指出在体非线性材料中通过诱导相干性使双孤子能量周期性交换而形成稳定的缠绕态。Mordechai Segev 小组^[4]提到两个各为一亮-暗孤子对的矢量孤子可形成束缚态,这可应用于制造光耦合器。郭旗的小组提出了基于强非局域情况下孤子相互作用的特性来构建光开关和光子逻辑门^[5]。

对于两个孤子间的相互作用研究得较多,而对多孤子间相互作用研究得较少。王涛等^[6]对光纤中两个飞秒暗孤子间的相互作用进行了数值模拟。刘颂豪等^[7]讨论了三阶色散影响下皮秒孤子间的相互作用。对于多个时域孤子的相互作用,郭旗等^[8]用数值计算的方法给出了光纤中初始等间距分布的一阶多脉冲孤子阵列的传输规律。在空间多孤子相互作用方面,江德生等^[9]研究了多个光伏空间亮孤子的相互作用,同相多个孤子相互作用时,会在整体吸引靠近过程中发生孤子的逐步融合作用,相互之间有能量耦合;多个相互反相的孤子相互作用时能保持很好的稳定性。

强非局域非线性介质中^[10],介质的特征长度(响应宽度)比光束的束宽大得多,这种情况下 A. W. Snyder 及 D. J. Mitchell 将孤子的传输方程简化为线性的谐振子方程,从而为研究强非局域介质中的孤子的碰撞、相互作用带来很大的方便。Shen 对他们的工作给予了极高的评价^[11]。2004 年, Qi Guo 等^[12]将非局域非线性薛定谔方程在强非局域情况下做了巧妙的处理,并且给出了精确解析解,发现强非局域空间孤子与局域孤子相比有大的相移。郭旗等^[13]利用变分法得出了傍轴高斯光束在强非局域介质中的传输特性,在初始功率等于临界功率的情况下,光束以空间孤子形态传输。他们还求出了光束参量的演化解析式^[14]。另外,李华刚等^[15]讨论了椭圆高斯光束在自散焦介质中诱导聚焦问题。郭旗小组^[16]研究了(1+2)维强非局域空间孤子的相互作用,获得了不共面对称斜入射(1+2)维强非局域空间光孤子对相互作用问题的精确解析解,指出双孤子的演化能形成类似 DNA 结构的稳定缠绕。本文在他们所做的工作的基础上,研究强非局域情况下多孤子的相互作用:利用 Snyder-Mitchell 模型,并以线性叠加原理这一方法构造出空间斜对称入射的三个、四个孤子相互作用的精确解析解,概括出多个空间光孤子相互作用的特点;并将孤子看成粒子,用经典力学理论研究了其相互作用的情况,与从图像所得结论相符。

2 空间斜对称入射的多孤子相互作用的精确解析解

在文献[10]中, Snyder-Mitchell 给出了强非局域介质中光束传输所满足的非局域非线性薛定谔方程(NNLSE):

$$i \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{1}{2k} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{2} k \eta \gamma P_0 (x^2 + y^2) \varphi = 0, \quad (1)$$

其中 φ 为光场的复振幅, z 为传输轴, k 为波数, η 是材料常数($\eta > 0$ 或 $\eta < 0$ 对应于自聚焦或自散焦介质); γ 是与材料的响应函数有关的参量。(1) 式有 Gaussian 形式的单光束精确解:

$$\varphi(x, y, z) = \frac{\sqrt{P_0} \exp[i\theta(z)]}{\sqrt{\pi} a(z)} \times \exp \left[-\frac{x^2 + y^2}{2a(z)^2} + ic(z)(x^2 + y^2) \right], \quad (2)$$

其中 $a(z)$ 、 $c(z)$ 、 $\theta(z)$ 分别为光束束宽、波前曲率、复振幅相位。它们的表达式如下:

$$a(z) = a_0 \left[\cos^2(\beta z) + \frac{P_C}{P_0} \sin^2(\beta z) \right]^{1/2}, \quad (3)$$

$$c(z) = \frac{k\beta(P_C/P_0 - 1)a_0^2 \sin(2\beta z)}{4a(z)^2}, \quad (4)$$

$$\theta(z) = -\arctan \left[\sqrt{P_C/P_0} \tan(\beta z) \right], \quad (5)$$

a_0 为初始束宽, $\beta = (\gamma \eta P_0)^{1/2}$, P_0 为初始总功率。 $P_C = 1/(\gamma a_0^4 k^2 \eta)$ 为临界功率, 当总功率 $P_0 = P_C$ 时, 光束以孤子形态传输。

Snyder-Mitchell 指出, 如果 $\varphi(x, z)$ 是(1)式的解, 则 $\varphi_{\pm}(x, z) = \varphi[x \pm x_0(z), z] \exp[\mp i\mathbf{V}(z) \cdot \mathbf{x} + i\Theta(z)]$ 也是(1)式的解。其中光束中心横向坐标矢量 \mathbf{x}_0 满足谐振子方程:

$$\mathbf{x}_0(z)'' + \beta^2 \mathbf{x}_0(z) = 0, \quad (6)$$

$$\mathbf{V}(z) = k\mathbf{x}_0(z)', \quad (7)$$

$$\Theta(z) = \frac{k}{2} [\beta^2 \mathbf{x}_0(z)^2 - \mathbf{x}_0(z)'^2]. \quad (8)$$

由(7)式可得光束中心横向坐标矢量 $\mathbf{x}_0(z)$ 为

$$\mathbf{x}_0(z) = \mathbf{x}_0(0) \cos(\beta z) + \frac{\mathbf{x}_0(0)'}{\beta} \sin(\beta z), \quad (9)$$

由于(1)式是线性微分方程, 所以可以利用线性叠加原理构造三光束相互作用的解为

$$\Psi(x, y, z) = A[\varphi_1(x, y, z) + \varphi_2(x, y, z) + \varphi_3(x, y, z)], \quad (10)$$

其中 A 为归一化系数, 使得三束光总功率为 P_0 , 式中的 $\varphi_1(x, y, z)$ 、 $\varphi_2(x, y, z)$ 、 $\varphi_3(x, y, z)$ 分别是三束光的光场振幅, 它们各自均为(1)式的解, 为

$$\varphi_{1,2,3} = \frac{\sqrt{P_0} \exp[i\theta(z)]}{\sqrt{\pi a(z)}} \exp \left\{ -\frac{(x - x_{01,02,03})^2 + (y - y_{01,02,03})^2}{2a(z)^2} + ic(z)[(x - x_{01,02,03})^2 + (y - y_{01,02,03})^2] \right\} \times \exp[i(V_{x1,2,3}x + V_{y1,2,3}y) + i\theta_{1,2,3}]. \quad (11)$$

三束光均匀分布于一圆周上,斜对称入射强非局域介质. 它们初始束宽一样,均为 a_0 , 而且它们功率一样,总功率为 P_0 . 三光束的光束中心初始坐标分别为 $[x_{01}(0), y_{01}(0)]$, $[x_{02}(0), y_{02}(0)]$, $[x_{03}(0), y_{03}(0)]$. 若圆周半径为 m , 则 $x_{01}(0) = m, y_{01}(0) = 0; x_{02}(0) = -m/2, y_{02}(0) = \sqrt{3}m/2; x_{03}(0) = -m/2, y_{03}(0) = -\sqrt{3}m/2$. 斜对称入射是指三束光的入射方向斜对称,具体地说是三束光的波矢斜对称,如图 1(a)所示. 如果令 $s_{11} = \dot{x}_{01}(0), s_{12} = \dot{y}_{01}(0); s_{21} = \dot{x}_{02}(0), s_{22} = \dot{y}_{02}(0); s_{31} = \dot{x}_{03}(0), s_{32} = \dot{y}_{03}(0)$. 量 s 等于各束光的光束中心的横向坐标对 z 的导数在 $z=0$ 处的值,表示各束光的入射方向. 为了满足斜对称入射的条件,这些参量取值如下: $s_{11} = 0, s_{12} = 2\beta a_0; s_{21} = -\sqrt{3}\beta a_0, s_{22} = -\beta a_0, s_{31} = \sqrt{3}\beta a_0; s_{32} = -\beta a_0$. 由这些初始条件,从(6)式~(8)式可以解得

$$x_{01,02,03}(z) = x_{01,02,03}(0) \cos(\beta z) + \frac{s_{11,21,31}}{\beta} \sin(\beta z), \quad (12)$$

$$y_{01,02,03}(z) = y_{01,02,03}(0) \cos(\beta z) + \frac{s_{12,22,23}}{\beta} \sin(\beta z), \quad (13)$$

$$V_{x1,x2,x3}(z) = -x_{01,02,03}(0)k\beta \sin(\beta z) + ks_{11,21,31} \cos(\beta z), \quad (14)$$

$$V_{y1,y2,y3}(z) = -y_{01,02,03}(0)k\beta \sin(\beta z) + ks_{12,22,23} \cos(\beta z), \quad (15)$$

$$\Theta(z)_{1,2,3} = \frac{k}{4} \left\{ \beta [x_{01,02,03}(0)^2 + y_{01,02,03}(0)^2] - \frac{s_{11,21,31}^2 + s_{12,22,23}^2}{\beta} \right\} \sin(2\beta z) - \frac{k}{2} [x_{01,02,03}(0)s_{11,21,31} + y_{01,02,03}(0)s_{12,22,23}] \cos(2\beta z), \quad (16)$$

在入射端面上 $z=0$ 处三束光的初始振幅为

$$\varphi_1(x, y, 0) = \frac{\sqrt{P_0}}{\sqrt{\pi a_0}} \exp \left[-\frac{(x - m)^2 + y^2}{2a_0^2} + 2ik\beta a_0 y \right], \quad (17)$$

$$\varphi_2(x, y, 0) = \frac{\sqrt{P_0}}{\sqrt{\pi a_0}} \exp \left[-\frac{(x + m/2)^2 + (y - \sqrt{3}m/2)^2}{2a_0^2} - ik\beta a_0 (\sqrt{3}x + y) \right], \quad (18)$$

$$\varphi_3(x, y, 0) = \frac{\sqrt{P_0}}{\sqrt{\pi a_0}} \exp \left[-\frac{(x + m/2)^2 + (y + \sqrt{3}m/2)^2}{2a_0^2} + ik\beta a_0 (\sqrt{3}x - y) \right], \quad (19)$$

则在入射端面上总的初始振幅由这三个振幅叠加而成,按线性叠加得

$$\Psi(x, y, 0) = A[\varphi_1(x, y, 0) + \varphi_2(x, y, 0) + \varphi_3(x, y, 0)]. \quad (20)$$

由于初始功率为 P_0 , 则有

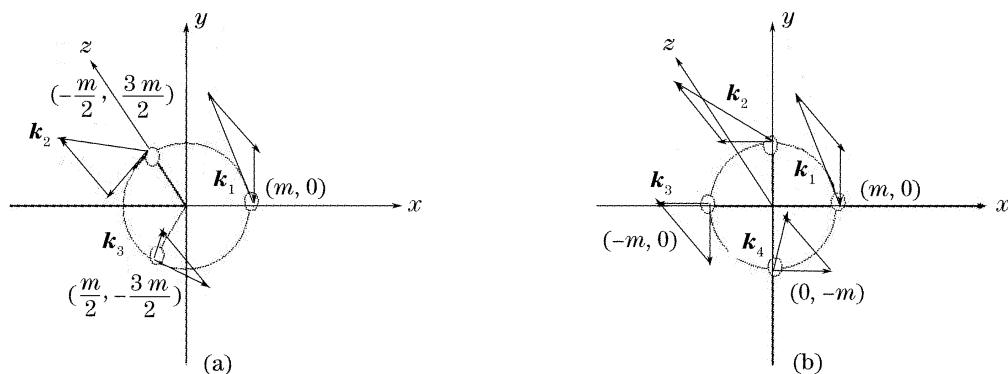


图 1 空间斜对称入射三、四束光相互作用初始条件图。(a)三束光,(b)四束光

$$\int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} |\Psi(x, y, 0)|^2 dx dy = P_0. \quad (21)$$

可以求得归一化系数为 $A = [3 + 6\exp(-3m^2/4a_0^2)\cos(\sqrt{3}m/a_0)]^{-1/2}$ 。当三束光的总功率 $P_0 = P_C$ 时, 三束光均以孤子形态传输^[10]。它们的束宽都不变, 为 a_0 。对于孤子来说, 曲率 $c(z) = 0$ 。(11) 式的一般解可转化为下面的孤子解:

$$\varphi_{s1,2,3} = \frac{\sqrt{P_C} \exp[i\phi]}{\sqrt{\pi a_0}} \exp\left[-\frac{(x-x_{01,02,03})^2 + (y-y_{01,02,03})^2}{2a_0^2}\right] \exp[iV_{x1,x2,x3}x + V_{y1,y2,y3}y + i\Theta_{1,2,3}(z)]. \quad (22)$$

(12)~(16)式及(22)式描述了空间斜对称入射三孤子的相互作用过程, 为相互作用的精确解析解。

用与上面一样的方法来求空间斜对称入射的四孤子相互作用的精确解析解。假如四束光的初始入射位置及波矢方向如图 1(b)所示, 这四束光均匀分布于同一圆周上, 初始束宽均为 a_0 , 各束光功率一样, 总功率为 P_0 , 当以孤子形态传输时, $P_0 = P_C$ 。若圆周半径为 m , 则四光束的光束中心初始坐标分别为 $x_{01}(0) = m, y_{01}(0) = 0; x_{02}(0) = 0, y_{02}(0) = -m; x_{03}(0) = -m, y_{03}(0) = 0; x_{04}(0) = 0, y_{04}(0) = -m$ 。同样, 四束光保持斜对称入射, 引入表示入射方向的参量: $s_{11} = \dot{x}_{01}(0), s_{12} = \dot{y}_{01}(0); s_{21} = \dot{x}_{02}(0), s_{22} = \dot{y}_{02}(0); s_{31} = \dot{x}_{03}(0), s_{32} = \dot{y}_{03}(0); s_{41} = \dot{x}_{04}(0), s_{42} = \dot{y}_{04}(0)$ 。这些参量取值为: $s_{11} = 0, s_{12} = \beta a_0; s_{21} = -\beta a_0; s_{22} = 0; s_{31} = 0, s_{32} = -\beta a_0; s_{41} = \beta a_0, s_{42} = 0$ 。由这些初始条件, 从(6)式~(8)式可以解得形式和(12)式~(16)式一样的解, 只是多了表示第四束光的解, 这里就不再列出。

可以列出在入射端面上 $z=0$ 处四束光的初始振幅:

$$\varphi_1(x, y, 0) = \frac{\sqrt{P_0}}{\sqrt{\pi a_0}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2 + y^2}{2a_0^2} + ik\beta a_0 y\right], \quad (23)$$

$$\varphi_2(x, y, 0) = \frac{\sqrt{P_0}}{\sqrt{\pi a_0}} \exp\left[-\frac{x^2 + (y-m)^2}{2a_0^2} - ik\beta a_0 x\right], \quad (24)$$

$$\varphi_3(x, y, 0) = \frac{\sqrt{P_0}}{\sqrt{\pi a_0}} \exp\left[-\frac{(x+m)^2 + y^2}{2a_0^2} - ik\beta a_0 y\right], \quad (25)$$

$$\varphi_4(x, y, 0) = \frac{\sqrt{P_0}}{\sqrt{\pi a_0}} \exp\left[-\frac{x^2 + (y+m)^2}{2a_0^2} + ik\beta a_0 x\right], \quad (26)$$

根据线性叠加, 在入射端面 $z=0$ 处, 初始振幅为

$$\Psi(x, y, 0) = A[\varphi_1(x, y, 0) + \varphi_2(x, y, 0) + \varphi_3(x, y, 0) + \varphi_4(x, y, 0)]. \quad (27)$$

经过计算可求得系数 A 为 $\{2 + 2\exp[(-m^2 - a_0^2)/a_0^2] + 4\exp[(-m^2 - a_0^2)/2a_0^2]\cos(m/a_0)\}^{-1/2}$ 。将四束光的初始条件代入(12)式~(16)式的表达式中计算出的量代入(11)式中, 可得到空间斜入射四束光相互作用的解析解。如果初始功率 $P_0 = P_C$, 则这四束光均以孤子形态传输, 束宽均为 $a_0, \theta(z) = -\beta_s z = -z/(ka_0)^2$, 曲率 $c(z) = 0$, 可以得到空间斜入射四孤子相互作用的解:

$$\varphi_{s1,2,3,4} = \frac{\sqrt{P_C} \exp[i\phi]}{\sqrt{\pi a_0}} \exp\left[-\frac{(x-x_{01,02,03,04})^2 + (y-y_{01,02,03,04})^2}{2a_0^2}\right] \times \exp[i(V_{x1,x2,x3,x4}x + V_{y1,y2,y3,y4}y) + i\Theta_{1,2,3,4}(z)], \quad (28)$$

在(28)式中, $\phi = \theta(z) = -z/(ka_0)^2$ 。

3 空间多孤子相互作用的规律

3.1 相互作用与中心间距及初始相位无关

文献[16]中得出在强非局域情况下, 斜对称入射的两个孤子能形成稳定的缠绕态。进一步的工作显示, 在强非局域情况下, 斜对称入射的三、四个孤子相互作用时均能形成稳定的缠绕结构, 在向前传输的过程中相互缠绕。这种作用形式与孤子间的初始距离大小无关, 如图 2 所示。应当指出的是, 如果光束是垂直对称入

射就不会形成缠绕结构,缠绕与否是由初始条件决定的。

由孤子相互作用的精确解析式可以画出在传输过程中任意截面上的光强分布图,如图 3 所示。从图 3 可看出,斜对称入射的多孤子相互作用时,其相互作用与它们的初始相位无关。

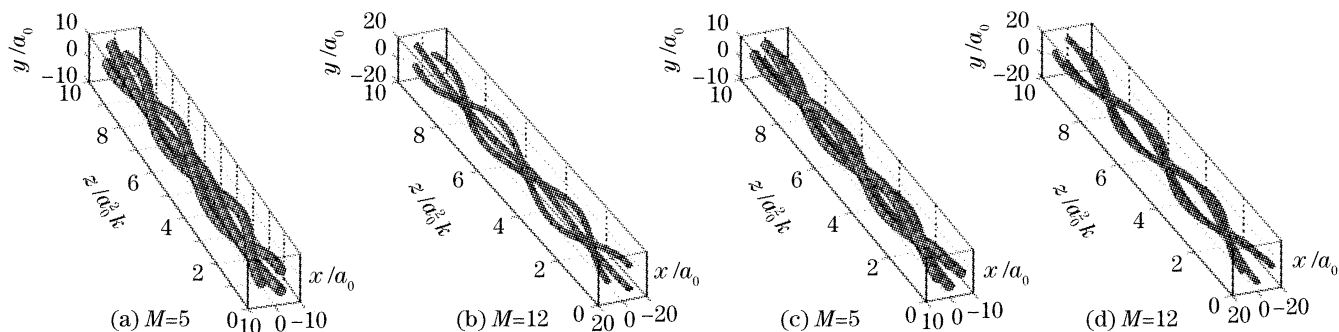


图 2 空间斜对称入射三、四个孤子相互作用传输图

Fig. 2 Illustration of the propagation of the interaction between three and four solitons with spatial oblique symmetrical incidence

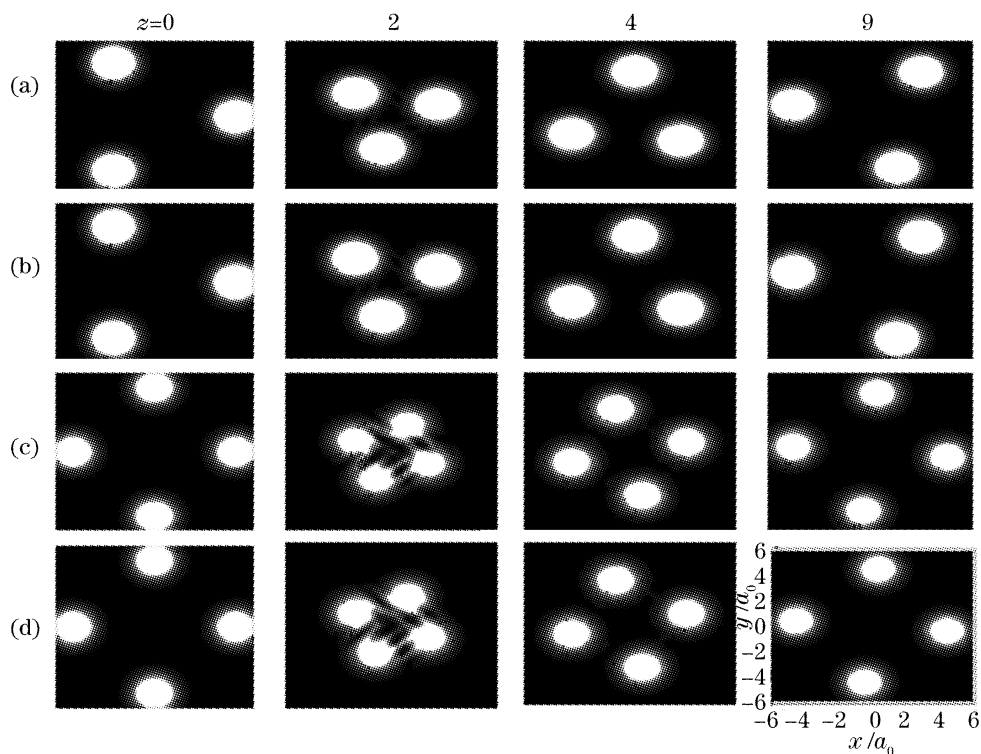


图 3 空间斜对称入射三、四个孤子相互作用光强分布图

Fig. 3 Illustration of the intensity distribution of the interaction between three and four solitons with spatial oblique symmetrical incidence

3.2 孤子相互作用过程中无能量转移

Snyder-Mitchell 指出,多束光在强非局域介质中传输时,如果其总功率 P_0 等于临界功率 P_c ,则各束光均以孤子形态传输^[10]。从图 2 可看出,斜对称入射的三、四孤子相互作用过程中各自保持孤子形态,没有能量的转移,这种性质在通信中有潜在的应用价值。在强非局域介质中,多个孤子所占据的空间尺度比介质的响应函数的特征宽度要小得多,因此可以认为,多个孤子在介质中形成波导,能量被束缚在其中。这与多个同相孤子相互作用时孤子间有能量的耦合不同。

3.3 孤子中心在横截面上投影的轨迹

从(12)式和(13)式可以得出孤子中心在横截面上投影的轨迹(以第一束光为例):

$$x_{01}(z)^2 [s_{12}^2 + \beta^2 y_{01}(0)^2] - 2x_{01}(z)y_{01} [s_{11}s_{12} + \beta^2 x_{01}(0)y_{01}(0)] + [s_{11}^2 + \beta^2 x_{01}(0)^2]y_{01}(z)^2 = [s_{12}x_{01}(0) - s_{11}y_{01}(0)]^2, \quad (29)$$

在选取的初始条件下, (29) 式表示一个椭圆的方程。可见孤子中心的轨迹是一个椭圆, 从而可以证实孤子在传输过程中是相互缠绕的。同样从这个式子可看出, 如果光是垂直入射的, $s_{11} = 0, s_{12} = 0$, (29) 式变成一个直线的方程, 则说明孤子不再有螺旋缠绕的结构。

4 将孤子作为粒子处理得到空间多孤子相互作用的特点

在文献[17]中, D. J. Mitchell 等将光束当成有质量的粒子来看待, 并且指出任何稳定的光束都可以这样处理。这种方法既可以处理二维的问题, 也可以处理三维的问题。他们用这种方法自洽地描述了光束的相互作用问题, 将光束看成是有质量、能量的粒子。

本文按照这样的思想, 用经典力学的有关物理量来分析强非局域多孤子相互作用问题, 将斜对称入射的孤子看成粒子, 由于这些斜对称入射的孤子的束宽、功率相同, 可以将它们的等效质量看成都一样, 均为 m_0 。它们入射时分布均匀, 可以将斜对称入射的三、四个孤子看成质点组, 其等效质心的横向坐标为

$$X = \frac{m_0 x_{01}(z) + m_0 x_{02}(z) + m_0 x_{03}(z)}{3m_0} = 0, \quad (30)$$

$$Y = \frac{m_0 y_{01}(z) + m_0 y_{02}(z) + m_0 y_{03}(z)}{3m_0} = 0. \quad (31)$$

可见三孤子在传输过程中, 其等效质心横向坐标确定, 可见质心在横向没有运动, 或者说多孤子中心在横向不偏移。可将各孤子中心到此点的距离 l 对坐标 z 求导数, 即可得到各孤子中心绕质心的“角速度”(l 随 z 变化的快慢):

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = -\frac{\beta \sin(2z\beta)(m^2 - 4a_0^2)}{2\sqrt{m^2 \cos(z\beta)^2 + 4\sin(z\beta)^2 a_0^2}}, \quad (32)$$

从而可以看出三孤子在传输过程中围绕质心作等角速度旋转, 即各孤子在传输过程中等角速度地绕某质心旋转。从各孤子中心的坐标对坐标 z 求导可求出它们的速度, 从而可以求出动量和:

$$\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 + \mathbf{P}_3 = m_0 \mathbf{v}_1 + m_0 \mathbf{v}_2 + m_0 \mathbf{v}_3 = 0. \quad (33)$$

可以发现“质点组”在质心系里传输过程中动量守恒, 总等于零。

在上面的过程中, 将孤子当成粒子, 用力学中的质心、动量、角速度等物理量来分析多孤子的相互作用, 得出的结论与图像中的情况一样, 说明精确解析

解与经典力学理论是相符的。以上得出的斜对称入射的多孤子相互作用的这种简单的规律, 可以应用于阵列波导, 也可以用于光通信中。可以控制多光束, 从而在出射端面上区分每束光。

5 结 论

本文以 Snyder-Mitchell 线性模型为基础, 根据线性叠加原理构建了空间斜对称入射三、四孤子相互作用的精确解析解, 并由解析解得出了孤子传输图及横截面上的光强分布图。多孤子在传输过程中形成稳定的相互缠绕结构(垂直对称入射无缠绕), 这种结构与孤子间距离及初始相位无关, 并用将孤子看作粒子的方法处理了这个问题得到了相同的结论, 也说明了孤子具有波粒二象性。用相同的方法可以处理更多数目孤子相互作用的问题。多孤子相互作用的规律, 可以应用于光控光及阵列波导中。

参 考 文 献

- 1 G. I. Stegeman, M. Segev. Optical spatial solitons and their interactions: universality and diversity[J]. *Science*, 1999, **286**(5444): 1518~1523
- 2 L. Poladian, A. W. Snyder, D. J. Mitchell. Spiralling spatial solitons[J]. *Opt. Commun.*, 1991, **85**: 59~62
- 3 A. V. Buryak, Y. S. Kivshar, M. F. Shih *et al.*. Induced coherence and stable soliton spiraling[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1999, **82**(1): 81~84
- 4 E. A. Ostrovskaya, Y. S. Kivshar, Zhigang Chen *et al.*. Interaction between vector solitons and solitonic gluons[J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(5): 327~329
- 5 Guo Qi, Zhang Xiaping, Hu Wei *et al.*. Photonic switching and logic gating with strongly nonlocal spatial optical solitons[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, **55**(4): 1832~1839 (in Chinese)
郭 旗, 张霞萍, 胡 巍 等. 基于强非局域空间光孤子特性的光子开关和光子逻辑门[J]. *物理学报*, 2006, **55**(4): 1832~1839
- 6 Wang Tao, Tian Huiping, Li Zhonghao *et al.*. Numerical research of interactions between femtosecond dark solitons[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(6): 680~683 (in Chinese)
王 涛, 田慧平, 李仲豪 等. 飞秒暗孤子间相互作用的数值研究[J]. *光学学报*, 2003, **23**(6): 680~683
- 7 Cao Wenhua, Liu Songhao, Guo Qi. Soliton interaction in dispersion-shifted fibers[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(6): 739~745 (in Chinese)
曹文华, 刘颂豪, 郭 旗. 三阶色散影响下皮秒孤子间的相互作用[J]. *光学学报*, 1999, **19**(6): 739~745
- 8 Qi Guo, Guosheng Zhou, Weigan Lin. Mutual interaction of the first-order soliton multipulse series in optical fibers[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 1989, **2**(11): 383~385
- 9 Jiang Desheng, She Weilong. Coherent collisions of multi photovoltaic bright spatial solitons[J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, **54**(5): 2090~2095 (in Chinese)
江德生, 余卫龙. 多个光伏空间亮孤子相互作用研究[J]. *物理学报*, 2005, **54**(5): 2090~2095
- 10 A. W. Snyder, D. J. Mitchell. Accessible solitons[J]. *Science*, 1997, **276**(5318): 1538~1541
- 11 Y. R. Shen. Solitons made simple [J]. *Science*, 1997, **276**(5318): 1520

- 12 Qi Guo, Boren Luo, Fahuai Yi *et al.*. Large phase shift of nonlocal optical spatial solitons[J]. *Phys. Rev. E*, 2004, **69**(1): 016602-1~016602-8
- 13 Wang Xinghua, Guo Qi, Xie Yiqun. Propagation properties the paraxial Gaussian beam in strongly nonlocal media [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(6): 848~854 (in Chinese)
王形华,郭 旗,谢逸群. 傍轴高斯光束在强非局域介质中的传输特性[J]. *光学学报*, 2005, **25**(6): 848~854
- 14 Wang Xinghua, Guo Qi, Xie Yiqun. Analysis of Gaussian beam parameters evolution law in strongly nonlocal media[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(8): 1059~1062 (in Chinese)
王形华,郭 旗,谢逸群. 强非局域介质中高斯光束参量演化规律的分析[J]. *中国激光*, 2005, **32**(8): 1059~1062
- 15 Li Huagang, Guo Qi. Induced focusing of Gaussian elliptic beam in self defocusing media[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(4): 520~524 (in Chinese)
李华刚,郭 旗. 椭圆高斯光束在自散焦介质中的诱导聚焦[J]. *光学学报*, 2005, **25**(4): 520~524
- 16 Xu Chaobin, Guo Qi. (1+2)D interaction of strong nonlocal optical spatial solitons[J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, **54**(11): 5194~5200 (in Chinese)
许超彬,郭 旗. (1+2)维强非局域空间光孤子的相互作用[J]. *物理学报*, 2005, **54**(11): 5194~5200
- 17 D. J. Mitchell, A. W. Snyder, L. Poladian. Interacting self-guided beams viewed as particles: Lorentz force derivation[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1996, **77**(2): 271~273

征 订 启 事

第八届全国激光加工学术论文集——《中国激光》2007年增刊,已于2007年3月出版。论文集较全面地反映了近年来我国激光加工技术研究、应用和产业化的最新成果,包括激光连接(焊接、钎焊),激光去除(切割、打孔、清洗、抛光等),激光强化(合金化、熔覆、沉积等),激光制备新材料,激光快速成形与激光快速制造,激光复合加工技术,激光微纳米技术,激光加工新技术与新应用,激光加工过程检测与控制,新型激光器件与光加工系统等领域,作者来自于国内近40个大专院校、科研机构和企业。是广大激光加工领域工作者的非常有价值的参考资料。

论文集约400页,定价100元,进口雅光纸精印,光盘版定价80元,欢迎读者订阅。

联系人:高先生 电 话:021-69918253