

# 生物光子的孤子特征及弱激光与生物分子相互作用分析

张灿邦<sup>1</sup> 许林<sup>2</sup> 戴志福<sup>1</sup> 徐楠<sup>2</sup> 周凌云<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>红河学院理学院, 云南 蒙自 661100  
<sup>2</sup>云南师范大学物电学院, 云南 昆明 650092;<sup>3</sup>昆明理工大学理学院, 云南 昆明 650093

**摘要** 存在于活的生物系统的超弱自发光子辐射, 是生物分子从高能态向低能态的跃迁所发射的光子。根据 Frhlich 理论, 活的生物系统是一个高度有序、高度相干性的开放系统, 其运动状态具有内部协同作用的集体效应, 并可看作许多同类振子的集合, 当振子因某种原因处于激发态后, 其必然会跃迁回基态, 从而发射出光子。可导出此过程遵守 Sine-Gordon 方程, 是典型的孤子方程, 说明生物光子在活的生物系统中的传播具有孤子特征, 使生物光子能成为生物系统信息的良好携带者, 可以通过对生物光子的测量而获得生物系统内的信息。由于弱激光的作用, 可将生物振子激发到激发态, 处于激发态的分子, 将跃迁到低能态, 并发出光子, 此过程有弛豫效应, 并导出相关公式。

**关键词** 生物技术; 生物光子; 孤子特征; 弱激光; 光子与生物分子互相作用

中图分类号 Q 631 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092904.1054

## Soliton Character of Biophoton and Analyses of the Effects on the Interaction of Weak Laser Photon with Biomolecule

Zhang Canbang<sup>1</sup> Xu Lin<sup>2</sup> Dai Zhifu<sup>1</sup> Xu Nan<sup>2</sup> Zhou Lingyun<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Collage of Science, Honghe University, Mengzi, Yunnan 661100, China

<sup>2</sup>Collage of Physics and Electronic Technology, Yunnan normal university, Kunming, Yunnan 650092, China

<sup>3</sup>Collage of Science, Kunming university of science and technology, Kunming, Yunan 650093, China

**Abstract** Spontaneous photon emission was produced by the transition of the living biological system from upper-state to low-lying state. According to Frhlich's theory, living biosystem is an extreme coherence's open system. The motion state possesses a collective vibration effect and the biosystem can be regarded as a set of vibrators with same character. The transmit equation of biophoton in biosystem was deduced. This is a typical Sine-Gordon equation. It showed biophoton has soliton character in the living biological system. In conclusion, biophoton can be an ideal carrier of biosystem information. Furthermore, the interaction of weak laser photon with biomolecule system is discussed in this work. It shows that weak laser irradiation can excite the biologic vibrator from excited state to lower energy state with relaxation phenomenon and photon emission.

**Key words** biotechnology; biophoton; soliton character; weak laser; interaction of photon with biomolecule

## 1 引言

生物光子辐射与生物发光、化学发光不同, 是存在于活的生物系统的超弱的、自发的光子辐射, 是生物分子系统从高能态向低能态的跃迁而发射的光子<sup>[1]</sup>。根据 Frhlich 的理论, 活的生物分子系统是一个高度有序、高度相干性的系统, 其运动状态具有内部协同作用的集体效应<sup>[2]</sup>; 并可看成是许多同类

振荡离子的集合<sup>[3]</sup>。根据这些性质, 对生物光子在活的生物系统传输特性进行解析分析, 得到生物光子具有孤子特征。活的生物系统本身的运动状态, 不少学者指出具有孤子运动特性<sup>[4~6]</sup>。这些特征及相关的孤子理论尚需更多的实验证实, 但活的生物系统具有高度的相干性、有序性及非线性的集体激发性质。这些被公认的性质使人相信活的生物分子

收稿日期: 2008-08-26; 收到修改稿日期: 2008-10-15

基金项目: 国家自然科学基金(60748002), 云南省科技计划(2006E0091M)和红河学院校级项目(XSS06021)资助课题。

作者简介: 张灿邦(1964—), 男, 教授, 主要从事激光生物学方面的研究。E-mail: cbzhang@vip.km169.net

系统的孤子运动特征,这与生物光子的孤子特征有一定的相关性,即在 Englander 等关于 DNA 或蛋白质孤子理论的基础上,研究了弱激光与 DNA 分子相互作用机制。研究表明,弱激光确能使 DNA 或蛋白质分子发生变异。另外,由于弱激光的作用,可将活的生物分子振子激发到高能态,处于高能态的分子将跃迁到低能态,并发出光子,本文将讨论这一受激发光的弛豫效应。

## 2 生物光子的孤子特征分析

根据 Frohlich 的理论,活的生物系统是一个高度有序、高度相干的系统,其运动状态具有集体振荡效应,可将其视为是许多同类振子的集合。设生物振子的低能态为  $\epsilon_1$ ,其高能态为  $\epsilon_2$ ,当有些振子因某种原因处于高能态  $\epsilon_2$  时,其后必跃迁回  $\epsilon_1$ ,从而发出光子  $\hbar\omega = \epsilon_2 - \epsilon_1$ ,这些光子以电磁波的形式在该生物系统中传播,且必与生物振子发生相互作用,由于生物振子频率(即跃迁频率)与光子的相应电磁波频率相同,故必然产生共振吸收效应。此时振子必然以较高的跃迁几率跃迁到高能态  $\epsilon_2$ 。为简要说明此共振激发效应,做解析分析。

设光子电磁矢势为  $A$ ,则此相互作用哈密顿量为

$$H = \frac{1}{2m} \left( p - \frac{e}{c} A \right)^2 + \frac{1}{2} m \omega^2 x^2, \quad (1)$$

在偶极近似下,可将(1)式写为<sup>[7]</sup>

$$H = \frac{p^2}{2m} + \frac{ep}{2m\Omega} E_0 \sin \Omega t - \frac{1}{2} e E_0 x \cos \Omega t + \frac{1}{2} m \omega^2 x^2, \quad (2)$$

式中  $\omega_0, m$  和  $e$  分别为振子角频率、质量及电荷; $E_0$  和  $\Omega$  分别为电磁波电场分量和角频率。求解二次所相应的薛定谔方程,可得其能量一级修正为零,基态及第一激发态能量的二级修正甚小,而振子跃迁到高能态几率为

$$p_0 = \frac{1}{\hbar} \left| \int_0^t \frac{eE_0}{2} \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} \times \left( i \frac{\omega}{\Omega} \sin \Omega t' - \cos \Omega t' \right) \exp(i\omega t') dt' \right|^2, \quad (3)$$

由(3)式不难得到,当  $\omega = \Omega$  时,其跃迁几率很大,这说明生物光子与相干生物振子产生共振激发作用,而极快跃迁到高能态。其后经短暂弛豫后,又跃迁回低能态(自发或受激)而发出生物光子此过程并重复上述过程,此为一瞬态相干效应。

此过程可简单的用一单摆-弹簧模型唯象的描述。如图 1 所示,有  $n$  个完全相同的单摆,均布地系

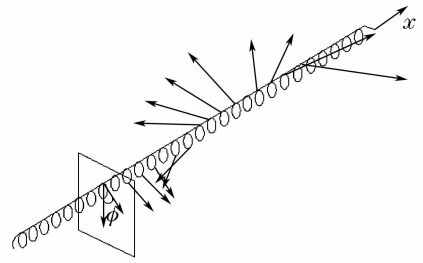


图 1 单摆-弹簧链模型

Fig. 1 Simple pendulum-spring chain model

于质地均匀的弹簧上(弹簧布置且假设弹簧不因单摆而向下弯曲),则第  $i$  个在垂直于弹簧的平面内作小角度的旋转运动,其运动方程可为

$$I \frac{d^2 \phi_i}{dt^2} = k(\phi_{i+1} - 2\phi_i + \phi_{i-1}) - F \sin \phi, \quad (4)$$

$I$  为摆的转动惯量, $k$  为扭转系数, $F$  为重力提供的恢复力,可视作常数。摆间距设为  $\Delta x$ ,在(4)式两边乘以  $\frac{1}{\Delta x^2}$  可得

$$\frac{1}{\Delta x} \left( \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta x} - \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{\Delta x} \right) - \frac{(I/\Delta x)}{K \Delta x} \frac{d^2 \phi_i}{dt^2} = \frac{(F/\Delta x)}{K \Delta x} \sin \phi, \quad (5)$$

$N \rightarrow \infty, \Delta x \rightarrow 0$  的极限情况下,(5)式有限差分取连续性近似,可近似为  $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$ ,并按  $(K/F)^{1/2} \Delta x$  和  $(I/F)^{1/2}$  的比例,分别取新的位置  $x$  和时间  $t$ ,可得 Sine-Gordon 方程,  $\Phi_{xx} - \Phi_{tt} = \sin \Phi$ ,为典型的孤子方程,使人们能对生物光子在活的生物系统传播的孤子特征有粗略的认识。

为简化计,可将活的集体振荡生物系统视为一些具有相同电偶极的二能级相同粒子之集合。此二能级粒子系统,在光场作用下薛定谔方程为  $\hat{H}\psi = i\hbar\dot{\psi}$ ,其中  $\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}_1, \hat{H}_0$  为无光场作用时粒子的哈密顿算符, $\hat{H}_1$  在电偶极近似下为  $\hat{H}_1 = -\mu \cdot E$ ,其中  $\mu$  为粒子的电偶极距。由于入射光子能量与粒子相邻二能级之差相等,故认为此带电粒子系统为二能级系统,则其波函数可表示为  $\psi = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix}$ ,相应的密

度矩阵为  $\rho = \begin{bmatrix} c_1 c_1^* & c_1 c_2^* \\ -c_2 c_1^* & c_2 c_2^* \end{bmatrix}$ 。并利用泡利矩阵  $\sigma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \sigma_2 = \begin{bmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{bmatrix}, \sigma_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$  及  $\sigma_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ,则哈氏算符为

$$H_0 = \frac{1}{2}(\epsilon_1 + \epsilon_2)I + \frac{1}{2}(\epsilon_1 - \epsilon_2)\sigma_3, \quad (6)$$

$$H' = -(\mu \cdot E)\sigma_1 + (\mu \cdot E)\sigma_2, \quad (7)$$

由哈密顿矩阵方程  $\dot{\rho} = -i\hbar^{-1}[H, \rho]$ , (6) 和 (7) 式, 得

$$\dot{\rho}_{11} = -[i\hbar^{-1}(-\mu_{12}E\rho_{21}) + C \cdot c], \quad (8)$$

$$\dot{\rho}_{12} = -i\hbar^{-1}[(\epsilon_1 - \epsilon_2)\rho_{12} + \mu_{12}\rho_{22} - \mu_{12}\rho_{11}], \quad (9)$$

并取代换  $\rho_{12} = \bar{\rho}_{12}e^{i(\Omega t - Kx)}$ ,  $\rho_{21} = \bar{\rho}_{21}e^{-i(\Omega t - Kx)}$ , 因  $\mu \cdot E = -\mu_2 E \cos(\Omega t - Kx)$ , 并令

$$u = \bar{\rho}_{12} + \bar{\rho}_{21}, \quad v = i(\bar{\rho}_{21} - \bar{\rho}_{12}), \quad (10)$$

$$w = \rho_{22} - \rho_{11},$$

在偶极近似下, 并忽略弛豫效应可得,  $u_t = v(\Omega - \omega)$

,  $U_t = -u(\Omega - \omega) - \left(\frac{k^2}{\Omega}\right)EW$ ,  $w_t = vE\Omega$ 。另外, 在考虑慢变及在共振情况下, 即:  $\Omega = \omega$ ,  $|E_t| \ll |\Omega E|$ ,

$|E_x| \ll |KE|$ , 则麦克斯韦方程  $E_{xx} - \frac{n^2}{c^2}E_u = \frac{4\pi}{c^2}\mu_u$

变为

$$E_x + \frac{n}{c}E_t = -2\pi\omega Nv, \quad (11)$$

且在共振的情况下  $\Omega = \omega$ , 则(11)式变为

$$u_t = -\left(\frac{k^2}{\omega}\right)EW, \quad W_t = vE\omega, \quad (12)$$

如果引入  $c' = \frac{c}{n}$ ,  $n$  为折射率,

$$\Phi = K \int_{-\infty}^{t'} E(x, t') dt', \text{ 则}$$

$$W(x, t) = W_0 \cos \Phi(x, t),$$

$$W_0 = -\frac{1}{2}\hbar\omega,$$

$$v(x, t) = P \sin \Phi(x, t), \quad (13)$$

利用边界条件, 当  $t \rightarrow -\infty$  时,  $W(x, -\infty) = -\frac{1}{2}\hbar\omega$ , 此时即二能级系统全部处于低能级  $\epsilon_1$ 。则

联立方程(13)可变为

$$\Phi_{xt} - \Phi_u = \sin \Phi, \quad (14)$$

作变换  $x_1 = (5x+1)/2$ ,  $t_1 = (3x-t)/2$ , 则(12)式可变为典型的 Sine-Gordon 方程

$$\Phi_{x_1 x_2} - \Phi_{t_1 t_2} = \sin \Phi, \quad (15)$$

Sine-Gordon 方程为典型的孤子方程, 证明生物光子在活的生物分子系统中的传播具有孤子特征, 而这种孤子特征说明生物光子在传播过程中其基本性质不发生变化, 这就通过对生物光子的探测, 而了解活的生物系统中的一些基本信息。

### 3 激光与生物系统相互作用及相关的发光效应分析

活的生物分子系统本身是一个高度有序、高度

相干的非线性开放系统, 其运动状态具有孤子特征, 这一性质自然与生物光子的孤子特征密切相关。事实上, Englander 等早在 20 世纪 80 年代提出 DNA 和蛋白质的孤子理论, 虽然这些理论尚需较多的实验证实, 但活的生物系统的高度有序等性质, 使人有足够理由相信, DNA 和蛋白质孤子理论的正确性。讨论激光与生物分子相互作用而产生的发光效应, 可看出由于激光的作用而使原生物系统发生了变化, 这个变化引起的发光效应所产生的光子必然与原生物光子有差异, 这个差异能对激光的生物作用机制有所认识。

曾在 DNA 孤子理论的基础上提出了激光与 DNA 分子相互作用的运动方程为<sup>[8,9]</sup>

$$\varphi_{22} - \frac{1}{\nu_0^2}\varphi_u = \left(\frac{1}{g^2} + A \cos \omega t\right) \sin \varphi + \alpha \varphi_t, \quad (16)$$

$$\varphi_{22} - \frac{1}{\theta_0^2}\varphi_u = \left(\frac{1}{g^2}\right) \sin \varphi + B \cos \omega t + \alpha \varphi_t, \quad (17)$$

式中  $\varphi$  为 DNA 分子系统构象参量,  $g^2$  为碱基对局域的相互作用相关的量(对确定的 DNA 分子系统而言为常量),  $\nu_0^2$  为一与 DNA 链堆积能及碱基对间距等相关的量,  $\alpha$  为激光作用下 DNA 系统运动时所受之阻尼的阻尼系数, 可近似为一常量, (16) 式为参数激励的运动方程, (17) 式为强迫作用的运动方程。

用 Melnikov 方法对方程进行求解可得到:

$(A\delta/\nu_0) > (4/\pi\Omega^2) \sin nh \left(\frac{\pi\Omega}{2}\right)$  时, 其中  $(\Omega = \pi(g/\nu_0))$  原 DNA 分子高度有序的孤子状态将可能

变为无序的混沌状态, 次无序状态下不可能发射生物光子, 为了进一步弄清激光与生物分子系统相互作用的效果, 曾对(16), (17)式做数值分析。为做数值分析, 曾将(16), (17)式合并为

$$\varphi_{xx} - \frac{1}{\nu_0^2}\varphi_u = \left(\frac{1}{g^2} + A \cos \omega t\right) \sin \varphi + B \cos \omega t - \alpha t, \quad (18)$$

(18)式即为强迫作用与参数激励均存在的情况下的方程。

通过对(18)式的数值分析可得到<sup>[8]</sup>, 激光不但可使生物系统由高度有序的相干状态发生变化而进入到无序的混沌状态, 其构象也随之变化。而且当作用到生物系统上是较强激光的时候, 还可使生物系统遭到破坏, 即为所谓致死效应。这与进入混沌状态的生物系统不同, 进入到混沌状态的生物系统还可能通过一些渠道而变为新的活的生物系统, 如对 DNA 系统而言就是变为一具有新的遗传信息的 DNA 物质, 即为激光育种效应的机制。当然全新的

DNA 分子系统所发出的生物光子与原 DNA 分子所发出的生物光子有区别。而被强激光作用致死的系统就根本不能发射生物光子,现在将进一步分析各种情况下的发光现象。

弱激光作用,将使原来的生物分子系统的高度有序的相干状态发生变化,相干的集体振荡消失,而生物系统的各链键各自的相干集体振荡消失,此时激光将与各单独的链键发生相互作用,由于原构象发生变化,故其链键也将作非线性振动,故激光的作用将会发生“主共振”、“亚共振”等现象,故可能发射几个不同频率的荧光光子。当激光作用使生物系统瓦解时,就要产生所谓的激光光解碎片发光,则可能发射出红外光范围的光子,还可能发射出紫外或可见光范围的光子。

从粒子在高能态经一定的弛豫时间  $\tau$  将跃迁回低能态而发出光子,即为弛豫效应。事实上,在高能态的粒子不可能马上就跃迁回低能态而发射光子,而这个弛豫时间  $\tau$ ,根据测不准原理( $\Delta t \Delta E \geq \hbar$ ) $\tau$  不小于  $\hbar/\Delta\epsilon$ , $\Delta\epsilon$  为相邻二能级之差。但对弛豫时间较准确的估算是非常复杂的问题,需根据具体的问题进行分析后确定。

### 参 考 文 献

1 F. A. Popp. Recent Advances in Biophoton Research and Its

- Application [M]. Singapore: World Scientific, 1992. 46~47
- 2 H. Fröhlich. Long range coherence in biological system [J]. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 1980, **53**(2):85~152
- 3 L. Y. Zhou, Lin Xu, C. B. Zhang *et al.*. Mechanism of the genetic mutagenesis effects of far infrared ray laser [J]. *Optoelectronics Letters*, 2005, **1**(2):158~160
- 4 S. W. Englander. Nature of the open state in long polynucleotide double helices; possibility of soliton excitation [J]. *Proc Natl. Acad. Sci. USA*, 1980, **77**:7222
- 5 Ding Haifeng, Huang Meizhen, Tong Yaxing *et al.*. Research on opto-thermal response of human skin irradiating by CW and pulsed laser based on FEM simulation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(10): 1983  
丁海峰,黄梅珍,童雅星等. 激光辐照下皮肤组织光热响应有限元分析[J]. *光学学报*, 2008, **28**(10): 1983
- 6 Ma Songhua, Fang Jianping. The nonpropagating light soliton and propagating light soliton for the simultaneous Schrödinger equation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(6): 1090  
马宋华,方建平. 联立薛定谔方程的不传播光孤子和传播光孤子[J]. *光学学报*, 2007, **27**(6): 1090
- 7 Zhou Lingyun. Resonance exciting actions of laser act on biomolecule [J]. *Chinese J. Atomic and Molecular Physics*, 1995, **12**(3):310  
周凌云. 激光对生物分子的共振激发作用[J]. *原子与分子物理学报*, 1995, **12**(3):310
- 8 L. Y. Zhou, C. B. Zhang, Y. Y. Zhou *et al.*. Analysis on nonlinear behavior of laser-DNA molecule interaction [C]. *SPIE*, 2003, **5255**:120~126
- 9 Zhou Lingyun, Wang Ruili, Wu Guangmin *et al.*. Nonlinear Physics Theory and Its Application [M]. Beijing: Publishing Company of Science, 2000  
周凌云,王瑞丽,吴光敏等. 非线性物理理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000