

Lực quang học tác động lên vi hạt trong chùm tia laser dạng Gauss vòng

Bùi Xuân Kiên*, Đinh Văn Châu

Trường Đại học Điện lực, 235 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: kienbx@epu.edu.vn

Nhận bài: 15/4/2024; Hoàn thiện: 03/6/2024; Chấp nhận đăng: 12/6/2024; Xuất bản: 25/6/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.96.2024.131-136>

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả khảo sát số quang lực tác động lên hạt nano trong chùm tia laser có cấu trúc Gauss vòng. Chùm tia có phân bố cường độ theo hàm Gauss vòng tạo ra từ các hệ quang phi tuyến được mô tả gần đúng bằng biểu thức toán học. Trên cơ sở đó, chúng tôi tính quang lực tác động lên các vi hạt có kích thước nano với chiết suất lớn hơn và nhỏ hơn chiết suất môi trường. Phân bố quang lực trong không gian chùm tia đã được khảo sát số, phân tích và bình luận nhằm mục đích nghiên cứu động học của các vi hạt trong kim quang học.

Từ khóa: Kim quang học; Quang lực; Laser; Vi hạt.

1. MỞ ĐẦU

Kim hay bẫy quang học là những công cụ hữu hiệu trong nghiên cứu giam giữ, điều khiển tách rời và gom các hạt vi mô [1, 2]. Kim quang học sử dụng chùm tia Gauss có thể bẫy các hạt có chiết suất lớn hơn chiết suất môi trường (high index-HI), sử dụng chùm Hollow-Gauss bẫy các hạt có chiết suất nhỏ hơn chiết suất môi trường (low index-LI) [3, 4]. Cho đến nay các dạng khác nhau của kim quang học đã được nghiên cứu, phát triển nhằm mục đích nâng cao tính linh động và tính hiệu dụng. Kim quang học phi tuyến đã nghiên cứu gần đây cho khả năng điều khiển ba chiều các vi hạt [5-7], kéo căng các chuỗi ADN có chiều dài khác nhau [8] tránh được sự đứt gãy [9], nâng cao hiệu suất bẫy [10] và tăng thêm khẩu độ số cho các kính hiển vi [11]. Kim quang học phi tuyến hoạt động nhờ vào hiệu ứng Kerr [12-16]. Hiệu ứng này nhạy hơn khi thời gian gần đây các chất màu hữu cơ có độ cảm phi tuyến bậc ba cao đã được nghiên cứu và tổng hợp [17]. Ngoài sử dụng cho kim quang học, các vật liệu phi tuyến bậc cao còn được sử dụng để hạn chế chùm tia, biến điệu thời gian [18], không gian [19]. Đặc biệt bằng cách sử dụng giao thoa kế Fabry-Perot phi tuyến, một chùm tia Gauss có thể biến điệu thành chùm Hollow-Gauss hay Ring-Gauss theo không gian [20]. Nhờ đó, cơ hội chế tạo kim quang học bẫy và điều khiển các vi hạt LI đã được khám phá [21-23]. Một ưu điểm của kim quang học sử dụng chùm Hollow-Gauss là đồng thời điều khiển được cả hai loại vi hạt LI và HI. Đặc biệt là khả năng tách biệt hai loại vi hạt này và điều khiển chúng rời xa nhau [24]. Để hiểu rõ hơn về khả năng này, chúng tôi sẽ khảo sát phân bố quang lực tác động lên các vi hạt đó. Kết quả sẽ được phân tích và chỉ ra khả năng chuyển động của vi hạt trong không gian dưới tác động của chùm tia Gauss vòng.

Trong công trình này, chúng tôi đề xuất biểu thức gần đúng mô tả dạng chùm laser Gauss vòng. Dẫn ra các biểu thức quang lực tác động lên vi hạt của chùm tia này. Khảo sát phân bố quang lực tác động lên các vi hạt HI và LI nhúng trong môi trường chất lưu. Trên cơ sở kết quả thu được chúng tôi sẽ bình luận về khả năng bẫy và xu hướng chuyển động của các vi hạt trong không gian của chùm tia laser Gauss vòng.

2. LÝ THUYẾT CƠ BẢN

2.1. Hàm phân bố cường độ của chùm tia Gauss vòng (RGB)

Để đơn giản chúng ta biểu diễn gần đúng hàm phân bố cường độ RGB tạo bởi giao thoa kế phi tuyến sử dụng hai chùm tia [25] chứa hai biến tọa độ trên bán kính hướng tâm và trục chùm tia (ρ, z) như sau:

$$I(\rho, z) = I_{max} (1 + z_q^2)^{-1} [\exp(-DQ_-) + \exp(-DQ_+)] \quad (1)$$

Trong đó: $Q_{\pm} = (\rho \pm \frac{W_0}{2})^2 W_0^{-2} (1 + z_q^2)^{-1}$; $z_q = z/z_0$; I_{max} là cường độ đỉnh tại tọa độ $(\rho = \pm W_0/2, 0)$; W_0 được định nghĩa là đường kính vùng lõi tối, $z_0 = 4\pi W_0^2/\lambda$ là độ dài Rayleigh; λ là bước sóng laser, $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ là tọa độ hướng tâm, và z là tọa độ trục. D được định nghĩa là tham số độ tối, mô tả tỉ lệ giữa cường độ tại tâm chùm tia $I_{min}(0,0)$ so với cường độ đỉnh I_{max} . Với giả thiết này chúng ta có thể xác định giá trị của tham số độ tối như sau:

$$D = 4 \ln \left(\frac{2I_{max}}{I_{min}} \right) \quad (2)$$

Tham số độ tối càng lớn khi cường độ tại tâm chùm càng nhỏ. Tuy nhiên, khi tham số này lớn đến một giới hạn nào đó thì chùm laser trên sẽ trở thành Hollow-Gauss và thậm chí trở thành chùm Gauss đa vòng. Giá trị tới hạn này sẽ phụ thuộc vào chùm tia cụ thể ban đầu. Trong bài báo này chúng tôi không thảo luận chi tiết về vấn đề này, mà chỉ ứng dụng để khảo sát quang lực.

2.2. Quang lực tác động lên vi hạt

Dưới tác động của chùm tia laser, quang lực dọc tổng động lên vi hạt bao gồm lực tán xạ và lực gradient đã được tính như sau [26]:

$$F_{total,z}(\rho, z) = F_{gr,z}(\rho, z) + F_{sc}(\rho, z) = -\hat{z}\sigma\nabla_z I(\rho, z) + \hat{z}\beta I(\rho, z) \quad (3)$$

$$F_{gr,\rho}(\rho, z) = -\hat{\rho}\sigma\nabla_{\rho} I(\rho, z) \quad (4)$$

Trong đó:

$$\sigma = 2\pi n_{fl} a^3 \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right), \quad \beta = \frac{128 n_{fl} \pi^5 a^6}{3c\lambda^4} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right)^2 \quad (5)$$

σ và β tương ứng là hệ số phân cực phi tuyến và hệ số tán xạ phi tuyến, a là bán kính hạt, $m = n_p/n_{fl}$ là tỉ số chiết suất vi hạt n_p và chiết suất chất lưu n_{fl} , \hat{z} và $\hat{\rho}$ là véc tơ đơn vị trên trục hướng tâm và trục chùm tia. Sử dụng hàm phân bố (1) chúng ta tính được:

$$\nabla_{\rho} I(\rho, z) = \frac{-2DI_{max}}{1 + z_q^2} \left[\left(\rho - \frac{W_0}{2} \right) \exp(-Q_-) + \left(\rho + \frac{W_0}{2} \right) \exp(-Q_+) \right] \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \nabla_z I(\rho, z) = & -\frac{2zI_{max}}{z_0^2(1 + z_q^2)} [\exp(-Q_-) + \exp(-Q_+)] \\ & + \frac{2zDI_{max}}{z_0^2 W_0^2 (1 + z_q^2)^3} \left[\left(\rho - \frac{W_0}{2} \right)^2 \exp(-Q_-) + \left(\rho + \frac{W_0}{2} \right)^2 \exp(-Q_+) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

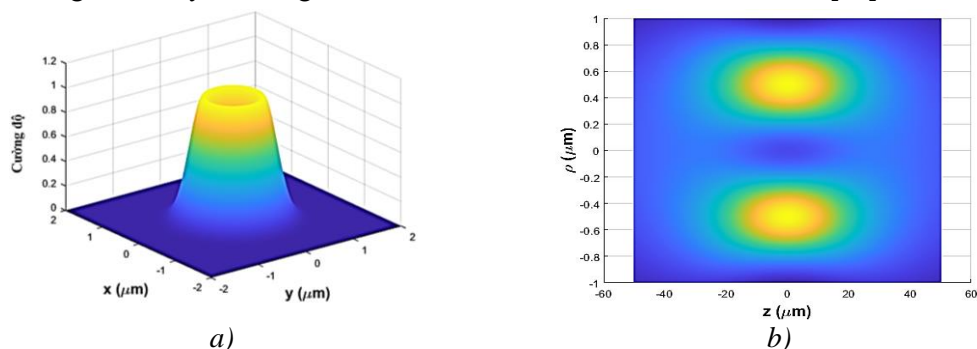
thế vào (3) và (4) chúng ta nhận được biểu thức tính quang lực, phụ thuộc vào tọa độ hướng tâm ρ và tọa độ trục z . Hơn nữa, phân bố quang lực còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như đường kính vùng lõi đen W_0 , cường độ đỉnh ban đầu I_{max} , tỉ số chiết suất, ... Tuy nhiên, trong bài báo này chúng tôi chỉ quan tâm đến ảnh hưởng của đường kính vùng lõi đen. Đường kính này sẽ ảnh hưởng đến độ dài Rayleigh và cuối cùng ảnh hưởng đến phân bố quang lực trong không gian của chùm tia Gauss vòng.

3. TÍNH TOÁN SỐ VÀ BÌNH LUẬN

3.1. Phân bố cường độ laser

Phân bố cường độ trên mặt phẳng (x, y) của chùm Gauss vòng ($z = 0$) được mô tả trong hình 1a. Ở đây, chúng tôi mô phỏng với giá trị $D = 9$, $\lambda = 0,5\mu m$ và $W_0 = 1\mu m$. Phân bố cường độ trên mặt phẳng qua trục $(\rho = W_0 \div -W_0, z = -z_0 \div z_0)$ như trên hình 1b. Như chúng ta thấy vùng lõi tối của chùm laser Gauss vòng có cường độ rất thấp, thậm chí bằng không và phân bố dạng Gauss từ trục ra biên. Trong khi đó, vùng vỏ sáng có cường độ lớn, đạt đỉnh tại tâm vỏ và phân bố Gauss về hai phía. Kết hợp kết quả từ 2 hình này chúng ta thấy vùng lõi tối của chùm tia Gauss vòng tạo

thành một khối Ellip có tâm là tối nhất và các trục đi qua toạ độ ($\rho = 0, z = 0$). Qua kết quả thu được trên hình 1 và xét theo biểu thức (2) chúng ta có thể khẳng định tốc độ biến thiên của cường độ sẽ lớn hơn khi tham số D tăng hoặc khi đường kính của vùng lõi tối giảm. Theo như kết quả đã công bố trong công trình trước đây thì hai tham số D và W_0 của chùm Gauss vòng có thể điều khiển bằng cách thay đổi công suất và bán kính chùm tia Gauss ở đầu vào [25].

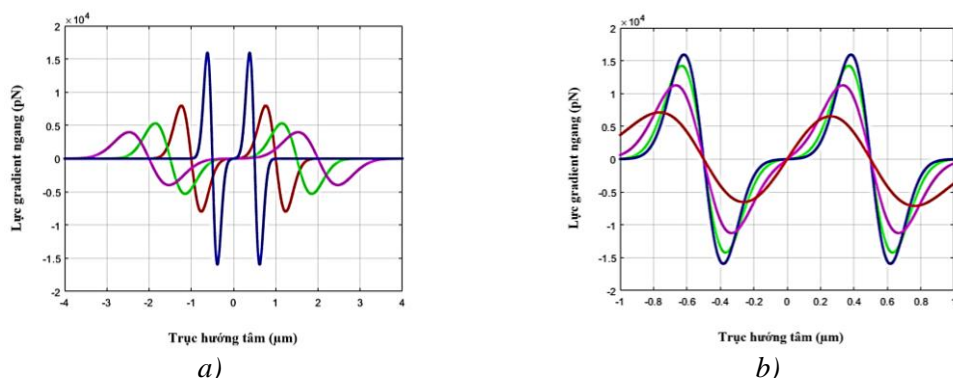


Hình 1. a) Phân bố cường độ trên mặt thắt chùm Gauss vòng; b) Phân bố trên mặt cắt qua trục.

Trong công trình này, chúng tôi quan tâm đến quang lực tác động lên các vi hạt điện môi, do đó chùm Gauss vòng có đường kính vùng lõi tối ngắn và tham số độ sâu lớn hơn sẽ được ưu tiên trước hết để khảo sát.

3.2. Quang lực

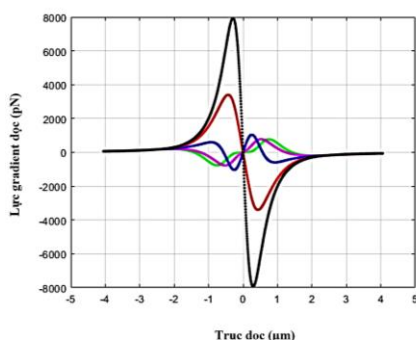
Trước tiên chúng tôi sẽ khảo sát quang lực của chùm Gauss vòng tác động lên vi hạt HI. Giả sử các tham số đầu vào của chùm Gauss vòng là $I_{max} = 1 \times 10^8 W/cm^2$, $W_0 = 1 \div 5 \mu m$, $D = 9$, $\lambda = 0,5 \mu m$; vi hạt HI: $a = 50 nm$, $n_p = 1,57$; và chất lưu $n_{fl} = 1,33$. Phân bố một chiều của quang lực gradient ngang được khảo sát số và mô tả trên hình 2.



Hình 2. a) Phân bố một chiều của quang lực gradient ngang tác động lên vi hạt HI trên mặt thắt chùm tia ($z = 0$) khi chùm Gauss vòng có đường kính vùng lõi tối $W_0 = 1 \mu m$ (xanh nước biển), $2 \mu m$ (đỏ), $3 \mu m$ (xanh lá) và $4 \mu m$ (hồng); b) Phân bố một chiều của quang lực gradient ngang tác động lên vi hạt HI nằm trên tiết diện ngang tại các toạ độ trục khác nhau $z = 0$ (xanh nước biển), $z = \pm z_0/2$ (xanh lá), $z = \pm z_0$ (hồng), $z = \pm 2z_0$ (đỏ) khi chùm Gauss vòng có đường kính vùng lõi tối $W_0 = 1 \mu m$.

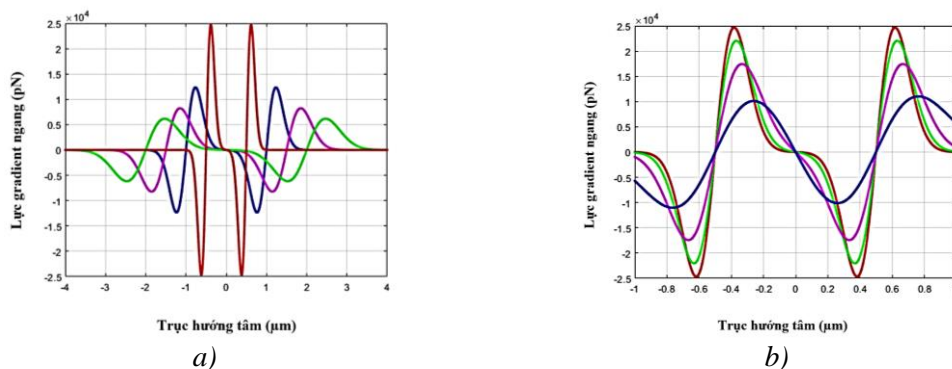
Từ kết quả trên hình 2a chúng ta nhận thấy một điều hiển nhiên là khi đường kính vùng lõi tối, W_0 càng lớn thì tâm bấy các vi hạt HI càng xa trục chính của chùm tia ($\rho = 0$). Quy luật phân bố của quang lực gradient ngang không thay đổi. Từ hình 2b, chúng ta thấy rằng các vi hạt HI luôn luôn được quang lực gradient ngang kéo vào trục vùng vô sáng có toạ độ hướng tâm ($\rho = \pm W_0/2$). Như vậy, khi đường kính vùng lõi tối lớn và vi hạt nằm càng xa mặt thắt chùm tia thì quang lực tác động lên nó càng nhỏ.

Khác với phân bố quang lực gradient ngang, phân bố quang lực gradient dọc không tuân thủ theo một quy luật nhất định. Như trên hình 3, chúng ta thấy, chỉ những vi hạt HI nằm gần trục vùng vỏ sáng, tức là $\rho \cong \pm W_0/2$ mới được kéo về tâm bẫy ($z = 0$) được biểu diễn ở đường cong phân bố quang lực gradient dọc màu đen và màu đỏ. Còn các vi hạt HI nằm quá xa trục vùng vỏ sáng hay gần trục vùng lõi tối sẽ bị đẩy ra xa tâm bẫy biểu diễn ở đường cong phân bố quang lực gradient dọc màu hồng và xanh lá cây. Đối với các vi hạt HI nằm ở vị trí trung gian (không quá gần và cũng không quá xa trục vùng vỏ sáng) thì sẽ bị kéo về tâm bẫy hay đẩy ra xa tâm bẫy còn phụ thuộc vào khoảng cách từ vi hạt đến tâm bẫy, chẳng hạn như đường cong phân bố quang lực gradient dọc màu xanh nước biển. Nói một cách tổng quát, các vi hạt HI nằm trong không gian của chùm Gauss vòng có thể bẫy được hay không bẫy được còn phụ thuộc vào vị trí ban đầu của nó. Đây là điều hoàn toàn khác so với các vi hạt HI nằm trong chùm tia laser thuần túy Gauss. Tiếp tục, chúng ta sẽ đi khảo sát đối với các vi hạt LI để xác định điều kiện bẫy được vi hạt.



Hình 3. Quang lực gradient dọc tác động lên vi hạt HI nằm tại các vị trí khác (ρ, z) $\rho = 0$ (xanh lá), $\rho = W_0/8$ (hồng), $W_0/4$ (xanh nước biển), $3W_0/8$ (đỏ) và $W_0/2$ (đen).

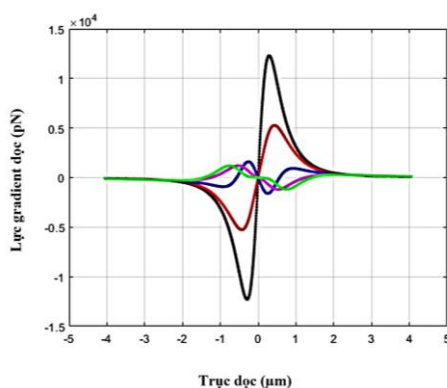
Trên hình 4 là quang lực gradient ngang tác động lên vi hạt LI có chiết suất $n_p = 1.27$. Từ hình 4a chúng ta thấy chỉ các vi hạt nằm trong vùng có tọa độ hướng tâm $-W_0/2 \leq \rho \leq W_0/2$ sẽ được kéo vào tâm bẫy, còn lại sẽ bị đẩy xa tâm bẫy. Quy luật này vẫn thỏa mãn với các vi hạt LI nằm trên các tiết diện ngang tại các vị trí khác nhau trên trục chùm tia (hình 4b). Ở trên các tiết diện ngang càng xa mặt thắt chùm tia thì quang lực càng giảm. Điều này hoàn toàn đúng vì càng xa mặt thắt cường độ laser càng giảm.



Hình 4. Phân bố một chiều quang lực gradient ngang tác động lên vi hạt LI. a) trên mặt thắt chùm Gauss vòng tại $z = 0$ khi chùm tia có đường kính vùng lõi tối khác nhau $W_0 = 1 \mu\text{m}$ (đỏ), $2 \mu\text{m}$ (xanh nước biển), $3 \mu\text{m}$ (xanh lá) và $4 \mu\text{m}$ (hồng); b) Trên mặt cắt ngang tại các tọa độ trục khác nhau $z = 0$ (đỏ), $z = \pm z_0/2$ (xanh lá), $z = \pm z_0$ (hồng), $z = \pm 2z_0$ (xanh nước biển) khi đường kính vùng lõi tối $W_0 = 1 \mu\text{m}$.

Tương tự như các vi hạt HI, ta nhận thấy các vi hạt LI gần trục chùm tia sẽ được kéo vào tâm bẫy, các vi hạt nằm xa trục sẽ bị đẩy ra ngoài, còn các vi hạt nằm trong vùng trung gian có thể bị đẩy ra

khỏi tâm bẫy hoặc kéo vào tâm bẫy tùy theo vị trí ban đầu cụ thể của vi hạt. Đáng chú ý các đường cong phân bố quang lực trên hình 5 ngược so với hình 3. Do đó, các vi hạt HI sẽ có chuyển động theo chiều ngược lại so với các vi hạt LI nếu cùng nằm một vị trí. Như vậy chúng ta có thể rút ra rằng sử dụng RGB cho kim quang học thì các vi hạt LI hay HI sẽ được bẫy nếu chúng nằm trong một không gian giới hạn nhất định. Tính chất này hoàn toàn khác với trường hợp khi chúng ta sử dụng chùm Gauss hay Hollow - Gauss cho kim quang học để bẫy các vi hạt HI hay LI tương ứng.



Hình 5. Phân bố quang lực gradient dọc theo trục song song với trục chùm tia tác động lên các vi hạt LI tại các toạ độ hướng tâm khác nhau $\rho = 0$ (xanh lá), $\rho = W_0/8$ (hồng), $W_0/4$ (xanh nước biển), $3W_0/8$ (đỏ) and $W_0/2$ (đen).

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất biểu thức toán học gần đúng mô tả phân bố cường độ trong không gian ba chiều của chùm tia Gauss vòng. Từ đó, chúng tôi đã tính phân bố quang lực tác động lên các vi hạt HI hoặc LI. Kết quả nhận được khẳng định rằng dưới tác động của lực quang học, hai loại hạt HI và LI sẽ được bẫy vào tâm bẫy là khác nhau. Tuy nhiên, trong quá trình bẫy các vi hạt này bị tác động đồng thời của các quang lực dọc và quang lực ngang nên chúng sẽ không chuyển động thẳng hướng về tâm bẫy mà có những thời điểm chúng chuyển động xa tâm trước khi được kéo vào tâm. Đây là một điểm khác biệt với trường hợp bẫy vi hạt HI bằng chùm Gauss hoặc bẫy vi hạt LI bằng chùm Hollow-Gauss. Kết quả khảo sát này sẽ giúp chúng ta điều cần lưu ý khi khảo sát quá trình động học của vi hạt trong kim quang học. Vấn đề này chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu cụ thể trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A. Ashkin, J.M. Dziedzic, J.E. Bjorkholm, S. Chu, "Observation of a Single-beam Gradient Force Optical Trap for Dielectric Particles," *Opt. Lett.* 11, pp. 288-290 (1986).
- [2]. Volpe, G., "Simulation of Brownian particle in an optical trap". *Am. J. Phys.* 81, 224-230, (2013).
- [3]. C. Deufel, and M.D.Wang, "Detection of forces and displacements along the axial direction in an optical trap," *Biophys.J.* 90, pp.657-667, (2006).
- [4]. MacDonald, M.P., Peterson, I., Sibbett, W., Dholakia, K., "Trapping and manipulation of low-index particles in a two-dimensional interferometric optical trap", *Opt. Lett.* 26, 863-865, (2002)
- [5]. T.T. Perkin, "Optical trap for single molecule biophysics: a primer," *Leser & Photon Rev.* 3, pp. 203-220, (2009).
- [6]. Thái Dinh, T., Doan Quoc, K., Bui Xuan, K., Ho Quang, Q., "3D controlling the bead linking to DNA molecule in a single-beam nonlinear optical tweezers", *Opt. Quant Electron.*48, 561, (2016).
- [7]. H. Q. Quy, T. D. Thanh, D. Q. Tuan, and N. M. Thang, "Nonlinear optical tweezers for longitudinal control of dielectric particles," *Opt. Commun.*421,94-98, (2018).
- [8]. N. M. Thang, H. Q. Quy, T. D. Thanh, D. Q. Tuan, D. T. Viet, and D. Q. Khoa, "3Dcontrol stretched length of lambda-phase WLC DNA molecule by nonlinear optical tweezers," *Opt. Quantum Electron.* 52, 51, (2020).

- [9]. Q Ho Quang et. al., “*Optimization of nonlinear optical tweezers suitable to stretch DNA molecules without broken state*”, *Optical and Quantum Electronics* 52, 1-10, (2020).
- [10]. Ho Quang Quy, Doan Quoc Tuan, Thai Doan Thanh, Nguyen Manh Thang, “*Enhance of optical trapping efficiency by nonlinear optical tweezers*”. *Optics Communications* 427,341-347, (2018).
- [11]. QH Quang, TT Doan, TD Quoc, VD Thanh, KB Xuan, LL Nguyen, “*Nonlinear microscope objective using thin layer of organic dye for optical tweezers*”, *The European Physical Journal D* 74, 1-6Opt. Quantum Electron, (2020).
- [12]. Gu, M., Bao, H., Gan, X., Stokes, N., Wu, J., “*Tweezing and manipulating micro- and nanoparticles by optical nonlinear endoscopy*”, *Light: Science & Applications* 3, e126; doi:10.1038/lsa.2014.7 (2014).
- [13]. Anita Devi and Arijit K. De, “*Theoretical investigation on nonlinear optical effects in laser trapping of dielectric nanoparticles with ultrafast pulsed excitation*”, *Optics Express*, Vol. 24, Issue 19, pp. 21485-21496, (2016).
- [14]. Ho, Q. Q., Hoang, V. N., “*Influence of the Kerr effect on the optical force acting on the dielectric particle*”, *J. Phys. Scien. And Appl.*, Vol. 2, pp.414-419, (2012).
- [15]. Anita Devi and Arijit K. De, “*Theoretical investigation on nonlinear optical effects in laser trapping of dielectric nanoparticles with ultrafast pulsed excitation*”, *Optics Express*, Vol. 24, Issue 19, pp. 21485-21496, (2016)
- [16]. Jiang, Y., Narushima, T. and Okamoto, H., “*Nonlinear optical effects in trapping nanoparticles with femtosecond pulses*”, *Nature Physics*, VOL 6, pp. 1005-1009, (2010)
- [17]. Nguyen, T.L. et al, “*The numerical methods for analyzing the Z-scan data*”, *J. Nonlinear Optic. Phys. Mat.* 23, 1450020 (2014). doi:10.1007/978-1-4614-6031-2_2, pp. 9-20, © Springer Science, Business Media New York, (2013)
- [18]. HQ Quy, N Van Hoa, NTT Tam, “*Pulse reshaping by the two-port nonlinear fiber Mach-Zehnder interferometer*”, *Communications in Physics* 21 (1), 83-83.
- [19]. QH Quang, LM Van, TT Doan, KB Xuan, TN Manh, QH Dinh, “*Optical bistability of partial reflection-coated thin film of oil red O*”, *Applied Optics* 59 (19), 5664-5669, (2020).
- [20]. N.M. Thang, H.Q. Quy, “*Creation of Hollow-Gaussian Beam for Optical Trap by Dual-beam Nonlinear Fabry-perot Interferometer*”, *Communications in Physics* 31 (3), 335-342, (2021).
- [21]. Zhirong Liu, Xun Wang and Kelin Hang, “*Enhancement of trapping efficiency by utilizing a hollow sinh-Gaussian beam*”, *Scientific Reports* 9, Article number: 10187, (2019).
- [22]. Sun, Q. et al. “*Hollow sinh-Gaussian beams and their paraxial properties*”. *Opt. Express* 20, 9682–9691, (2012).
- [23]. Zou, D. et al. “*Propagation properties of hollow sinh-Gaussian beams in quadratic-index medium*”. *Opt. Commun.* 401, 54–58, (2017).
- [24]. Thai Dinh Trung, Bui Xuan Kien, Nguyen Thanh Tung, Ho Quang Quy, “*Dynamics of polystyrene beads linking to DNA molecules under single optical tweezers: A numerical study using full normalized Langevin equation*”, *J. of Nonlinear Optical Physics & Materials* 25, No. 4, 1650054, (2016).
- [25]. Quy Ho Quang, Thanh Thai Doan, Kien Bui Xuan, Luu Mai Van, Quang Ho Dinh, Thang Nguyen Manh, “*Spatial modulation of Gaussian beam by dual-beam nonlinear Fabry-Perot interferometer*”, *Optik* 241, 167248, (2021).
- [26]. T.T. Ashkin, “*Acceleration and Trapping of Particles by Radiation Pressure*”, *Phys. Rev. Lett.* 24, pp.156-159, (1970).

ABSTRACT

Optical forces acting on microparticles in a ring Gauss laser beam

This article presents the results of a numerical investigation of the optical force acting on nanoparticles in a laser beam with a ring Gauss structure. Beams with intensity distribution according to the ring Gauss function created from nonlinear optical systems are approximately described by mathematical expressions. On that basis, we calculate the optical force acting on microparticles (nanoscale) with refractive indices larger and smaller than the environmental refractive index. The optical force distribution in beam space has been numerically investigated, analyzed and commented for the purpose of studying the dynamics of microparticles in optical tweezers.

Keywords: Optical tweezer; Optical force; Laser; Microparticles.