

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНОГО АНАПОЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ОПТОМЕХАНИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ НАНОЧАСТИЦ В ПОЛЕ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

✉ С. Р. Розенталь, Д. А. Кислов

Московский физико-технический институт, Москва, Россия

✉ rozentel.sr@phystech.edu

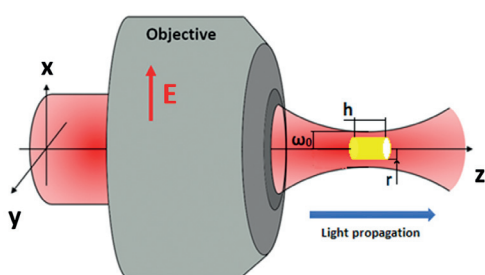


Рис. 1. Схема моделируемой системы: кремниевая наночастица в перетяжке сфокусированного гауссова пучка

В настоящее время большой интерес в нанофотонике представляют **гибридные анапольные состояния (ГАС)** [1], которые характеризуются падением на несколько порядков рассеянного частицей поля. Условием возникновения таких состояний является падение сечения рассеяния от 2 и более основных мультипольных моментов частицы, достигаемое за счет деструктивной интерференции дальнего поля от базовых мультиполей и тороидальных поправок к ним [2]. В данной работе было исследовано ГАС в кремниевом наноцилиндре, помещенном в перетяжку линейно-поляризованного гауссова пучка (рис. 1).

На первом этапе была применена методика мультипольной декомпозиции поляризационных токов, позволяющая вычислить полное сечение рассеяния частицы [3]:

$$\sigma_{sca} = \frac{k^4}{6\pi\epsilon_0 |E_{inc}|^2} \left[\sum_{\alpha} \left(|p_{\alpha}|^2 + \left| \frac{m_{\alpha}}{c} \right|^2 \right) + \frac{1}{120} \sum_{\alpha, \beta} \left(|k Q_{\alpha\beta}^e|^2 + \left| k \frac{Q_{\alpha\beta}^m}{c} \right|^2 \right) + \frac{1}{315} \sum_{\alpha, \beta, \gamma} \left(|k^2 O_{\alpha\beta\gamma}^e|^2 + \left| k^2 \frac{O_{\alpha\beta\gamma}^m}{c} \right|^2 \right) \right],$$

где E_{inc} — напряженность падающего поля, k — волновое число, p и m — электрический магнитный дипольные моменты, Q^e , Q^m — квадрупольные, O^e , O^m — октупольные. На рис. 2 представлены графики зависимости полного сечения рассеяния и его мультипольных компонент от радиуса и высоты наночастицы.

Получены параметры ГАС в системе: $\lambda = 1064$ нм, $R = 188$ нм, $H = 538$ нм. Как видно на втором графике на рис. 2, при таких размерах частицы сразу 4 мультипольных момента дают минимальный вклад в сечение рассеяния.

На наночастицу, помещенную в электромагнитное поле излучения, действуют оптические силы, которые зависят от сечения рассеяния [4]. Целью работы являлось сравнение оптических сил, действующих на анапольные и неананпольные частицы. По результатам исследования были выбраны 4 значения радиусов (170, 180, 188 (ГАС) и 210 нм), для каждого из которых построена карта зависимости вектора суммарной поперечной силы от смещения частицы в плоскости XY (рис. 3).

При радиусе 210 нм наблюдается классическая картина, соответствующая захвату частицы в центре перетяжки. При 180 нм — несимметричное выталкивание из центра, а при 170 нм — неустойчивое равновесие типа «седло». Интерес представляет карта сил в гибри-

ном анапольном состоянии, имеющая 2 точки захвата на оси x и 2 точки выталкивания на оси y . Такая картина является уникальной особенностью ГАС и обусловлена вкладом в рассеяние мультиполей высших порядков.

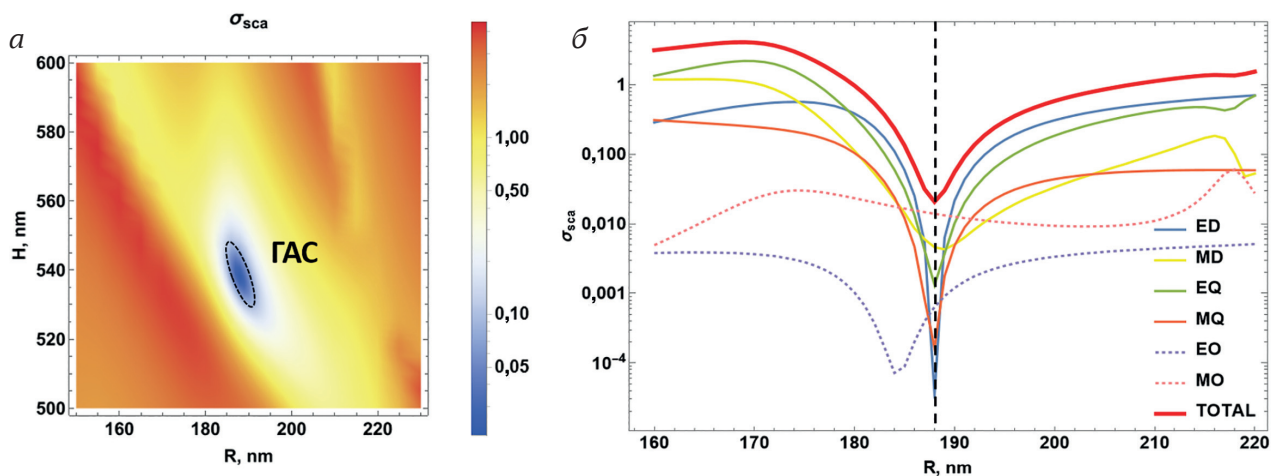
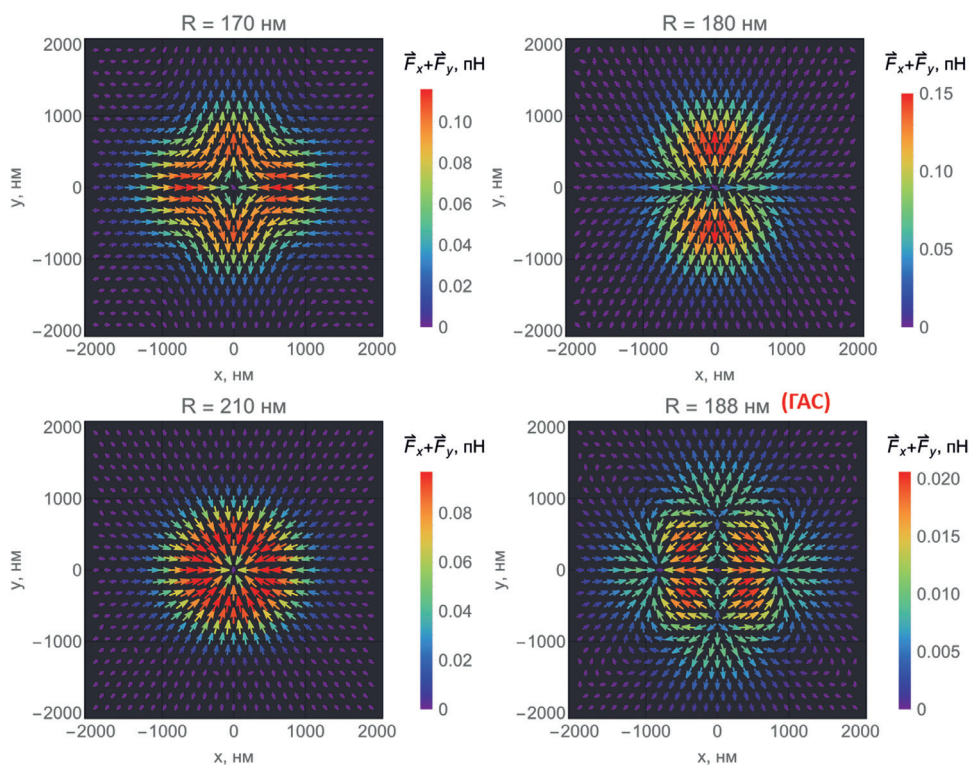


Рис. 2. Карта зависимости полного сечения рассеяния от высоты и радиуса частицы (а), зависимость мультипольных компонент рассеяния от радиуса частицы (б). Пунктиром помечена область ГАС

Рис. 3. Карты зависимости суммарного вектора поперечной силы от координат x и y наночастицы с высотой 538 нм при различных ее радиусах: 170, 180, 210 и 188 нм (соответствует ГАС)



Литература

1. Canós Valero A. et al. Theory, Observation, and Ultrafast Response of the Hybrid Anapole Regime in Light Scattering // Laser Photonics Rev. 2021. Vol. 15. P. 1–14.
2. Ospanova A. K., Basharin A. et al. Generalized hybrid anapole modes in all-dielectric ellipsoid particles // Opt. Mater. Express. 2021. Vol. 11. P. 23.
3. Alaei R., Rockstuhl C., Fernandez-Corbaton I. An electromagnetic multipole expansion beyond the long-wavelength approximation // Opt. Commun. 2018. Vol. 407. P. 17–21.
4. Li H. et al. Optical pulling forces and their applications // Adv. Opt. Photonics. 2020. Vol. 12. P. 288.