

Головкина Мария Вилевна, Камалиева Айсылу Насыховна

### **ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИБРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ**

В статье исследуются спектральные характеристики диэлектрических наночастиц с металлической оболочкой. Расчет сечений рассеяния и поглощения проводится в рамках теории Ми с использованием решения Адена-Керкера. Проведенные расчеты сечения экстинкции для наночастиц из диоксида кремния с серебряной оболочкой показывают возможность изменения положения плазмонного резонанса в наночастице путем изменения ее геометрических размеров. Наибольшее влияние на спектральные характеристики оказывает изменение толщины металлической оболочки наночастицы.

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2014/5-6/12.html](http://www.gramota.net/materials/1/2014/5-6/12.html)

**Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.**

Источник

#### **Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2014. № 5-6 (84). С. 51-53. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2014/5-6/](http://www.gramota.net/materials/1/2014/5-6/)

#### **© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

УДК 535.341.08

**Физико-математические науки**

*В статье исследуются спектральные характеристики диэлектрических наночастиц с металлической оболочкой. Расчет сечений рассеяния и поглощения проводится в рамках теории Ми с использованием решения Адена-Керкера. Проведенные расчеты сечения экстинкции для наночастиц из диоксида кремния с серебряной оболочкой показывают возможность изменения положения плазмонного резонанса в наночастице путем изменения ее геометрических размеров. Наибольшее влияние на спектральные характеристики оказывает изменение толщины металлической оболочки наночастицы.*

*Ключевые слова и фразы:* наночастица; оболочка; плазмонный резонанс; сечение рассеяния; сечение поглощения; теория Ми.

**Головкина Мария Вилевна**, к. ф.-м. н.

**Камалиева Айсылу Насыховна**

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
nauka77@yandex.ru*

**ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГИБРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ<sup>©</sup>**

Оптические свойства нанокомпозитных сред являются объектом пристального внимания исследователей. Особенностью композитных сред, содержащих наночастицы с оболочкой, является возможность существенного влияния на их спектральные характеристики путем изменения геометрических размеров наночастиц [1]. Для изучения возможностей создания композитных сред очень важно исследовать электродинамические свойства, основанные на взаимодействии электромагнитной волны с отдельной наночастицей. Наличие у наночастицы оболочки из благородных металлов приводит к возбуждению поверхностных плазмонов на границе раздела с металлом [7]. Изучение сечения рассеяния и поглощения отдельной наночастицей помогает понять процессы взаимодействия электромагнитных волн с наночастицей и контролировать процессы возникновения поверхностных плазмонов [2].

В данной работе рассматриваются сферические наночастицы, содержащие диэлектрическое ядро (диоксид кремния), покрытое серебряной оболочкой. Для рассматриваемого случая исследуются сечение поглощения и сечение рассеяния наночастицы в рамках теории Ми [4]. Для получения точного решения для расчета электромагнитного поля внутри сферической частицы с оболочкой использовалось обобщенное решение Адена-Керкера [5]. Данное решение рассматривает задачу рассеяния и поглощения света в результате дифракции плоской волны на сферической оболочке. При решении такой задачи поле электромагнитной волны раскладывается по сферическим волновым функциям [3].

Рассмотрим наночастицу с оболочкой. Снаружи частица окружена однородной изотропной средой. Радиус ядра наночастицы –  $a$ , радиус оболочки –  $b$ .

Сечения рассеяния и поглощения такой наночастицы с оболочкой рассчитываются по формулам [5]:

$$\sigma_{abs} = \frac{\pi}{2\kappa_h^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ (2n+1) \left( 2 - |2a_n - 1|^2 - |2b_n - 1|^2 \right) \right], \quad (1)$$

$$\sigma_{scat} = \frac{2\pi}{\kappa_h^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ (2n+1) \left( |a_n|^2 - |b_n|^2 \right) \right], \quad (2)$$

$$\sigma_{ext} = \frac{2\pi}{\kappa_h^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \operatorname{Re} \{ a_n + b_n \}. \quad (3)$$

Коэффициенты Адена-Керкера  $a_n$  и  $b_n$  рассчитываются по следующим формулам [6]:

$$a_n = \frac{\tilde{m}_2 \psi'_n(y) \alpha_n - \psi_n(y) \tilde{\alpha}_n}{\tilde{m}_2 \xi'_n(y) \alpha_n - \xi_n(y) \tilde{\alpha}_n}, \quad (4)$$

$$b_n = \frac{\psi'_n(y) \beta_n - \tilde{m}_2 \psi_n(y) \tilde{\beta}_n}{\xi'_n(y) \beta_n - \tilde{m}_2 \xi_n(y) \tilde{\beta}_n}, \quad (5)$$

где:

$$\alpha_n = \psi_n(m_2 y) - A_n \chi_n(m_2 y),$$

$$\beta_n = \psi_n(m_2 y) - B_n \chi_n(m_2 y),$$

$$\tilde{\alpha}_n = \psi'_n(m_2 y) - A_n \chi'_n(m_2 y),$$

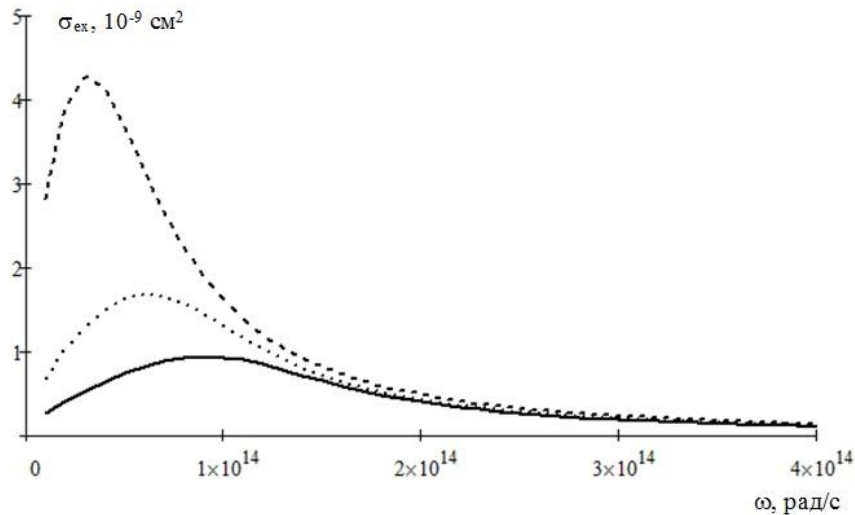
$$\tilde{\beta}_n = \psi'_n(m_2 y) - B_n \chi'_n(m_2 y),$$

$$A_n = \frac{\tilde{m}_2 \psi_n(m_2 x) \psi_n'(m_1 x) - \tilde{m}_1 \psi_n'(m_2 x) \psi_n(m_1 x)}{\tilde{m}_2 \chi_n(m_2 x) \psi_n'(m_1 x) - \tilde{m}_1 \chi_n'(m_2 x) \psi_n(m_1 x)},$$

$$B_n = \frac{\tilde{m}_2 \psi_n'(m_2 x) \psi_n(m_1 x) - \tilde{m}_1 \psi_n(m_2 x) \psi_n'(m_1 x)}{\tilde{m}_2 \chi_n'(m_2 x) \psi_n(m_1 x) - \tilde{m}_1 \chi_n(m_2 x) \psi_n'(m_1 x)}.$$

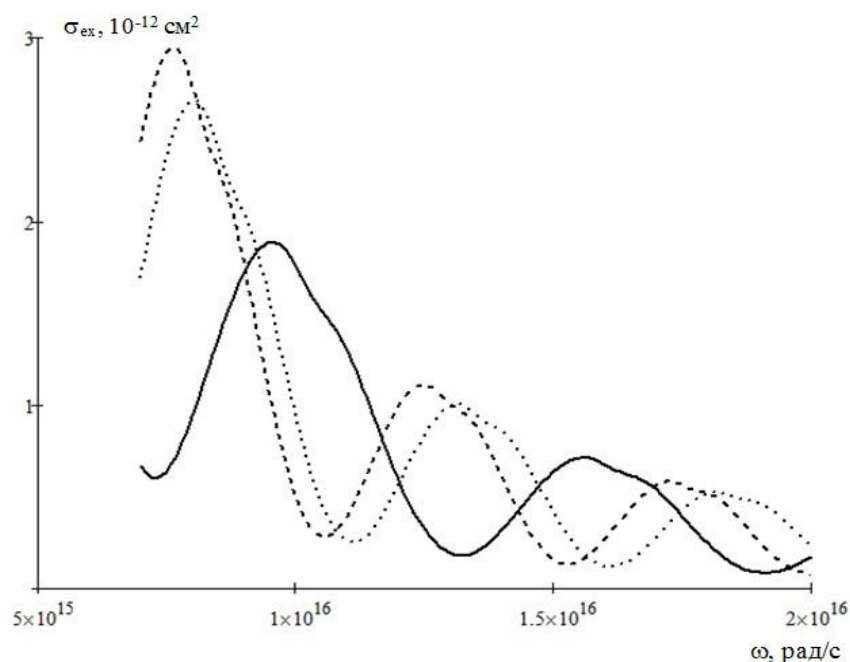
Здесь  $x=ka$  и  $y=kb$  – размерные параметры, относящиеся к ядру и оболочке наночастицы,  $k$  – волновое число падающей волны,  $\psi(x)$  – функция Бесселя-Риккати,  $\chi(x)$  – функция Неймана-Риккати.

Результаты расчетов сечения экстинкции для наночастицы с ядром из диоксида кремния и оболочкой из серебра представлены на Рисунках 1 и 2. Диэлектрическая проницаемость серебра рассчитывалась в рамках модели Друде [6; 8]. На Рисунке 1 представлены результаты расчета сечения экстинкции для инфракрасного диапазона для частиц с одинаковым радиусом ядра и различной толщиной оболочки. Из рисунка видно, что увеличение толщины оболочки приводит к смещению резонансной частоты в сторону меньших частот.



**Рис. 1.** График зависимости сечения экстинкции наночастицы с оболочкой от частоты. Радиус сердцевины  $a=10$  нм. Сплошная линия: радиус оболочки  $b=15$  нм, точечная линия:  $b=22$  нм, пунктирная кривая:  $b=44$  нм

На Рисунке 2 показаны результаты расчетов сечений экстинкции наночастиц с серебряной оболочкой для более высоких частот (оптический диапазон). На рисунке хорошо видно существенное изменение положения максимума сечения экстинкции при увеличении толщины оболочки. Это означает, что исследуемые наночастицы можно использовать как сенсоры, резонансная частота которых зависит от размеров оболочки.



**Рис. 2.** График зависимости сечения экстинкции наночастицы с оболочкой от частоты. Радиус сердцевины  $a=100$  нм. Сплошная линия: радиус оболочки  $b=160$  нм, точечная линия:  $b=190$  нм, пунктирная кривая:  $b=200$  нм

### Заклучение

Таким образом, в работе исследована частотная зависимость сечения экстинкции для сферических диэлектрических наночастиц с металлической оболочкой. В результате проведенных расчетов показано, что положение максимума плазмонного резонанса существенным образом зависит от радиусов ядра и оболочки наночастицы. Продемонстрировано, что большое влияние на спектральные характеристики оказывает изменение толщины металлической оболочки. Полученные в работе результаты могут быть использованы для создания на основе наночастиц с оболочкой биологических сенсоров, обладающих резонансом на любой заранее заданной частоте.

### Список литературы

1. **Гузатов Д. В., Ораевский А. А., Ораевский А. Н.** Плазмонный резонанс в эллипсоидальных наночастицах с оболочкой // Квантовая электроника. 2003. Т. 33. № 9. С. 817-822.
2. **Arnold M., Blaber M., Ford M.** Local Plasmon Resonances of Metal-in-Metal Core-Shells // Optics Express. 2014. Vol. 22. № 3. P. 3186-3198.
3. **Arruda T. J., Pinheiro F. A., Martinez A. S.** Electromagnetic Energy within Coated Spheres Containing Dispersive Metamaterials // Journal of Optics. 2012. Vol. 14. № 6. P. 065101-065134.
4. **Bohren C. F., Huffman D. R.** Absorption and Scattering of Light by Small Particles. New York: Wiley, 1998. 560 p.
5. **Gordon J. A., Ziolkowski R. W.** The Design and Simulated Performance of a Coated Nano-Particle Laser // Optics Express. 2007. Vol. 15. № 5. P. 2622-2653.
6. **Kachan S. M., Ponyavina A. N.** Resonance Absorption Spectra of Composites Containing Metal-Coated Nanoparticles // Journal of Molecular Structure. 2001. Vol. 563-564. № 1-3. P. 267-272.
7. **King N. S., Li Y., Ayala-Orozco C., Brannan T., Nordlander P., Halas N. J.** Angle- and Spectral-Dependent Light Scattering from Plasmonic Nanocups // ACS Nano. 2011. Vol. 5. № 9. P. 7254-7262.
8. **Quirantes A., Delgado A. V.** The Scattering of Light by a Suspension of Coated Spherical Particles: Effects of Polydispersity on Cross Sections // Journal of Physics D: Applied Physics. 1997. Vol. 30. № 15. P. 2123-2131.

### ELECTRODYNAMIC PARAMETERS OF HYBRID NANOPARTICLES

**Golovkina Mariya Vilevna**, Ph. D. in Physical-Mathematical Sciences

**Kamalieva Aisyly Nasykhovna**

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics  
nauka77@yandex.ru*

The article investigates the spectral characteristics of dielectric nanoparticles with metal shell. The calculation of scattering and absorption cross-sections is carried out within Mie theory framework with the use of Aden-Kerker solution. The conducted calculations of extinction cross-section for nanoparticles of silicon dioxide with silver shell indicate the possibility of changing plasmon resonance position in nanoparticle through changing its geometrical dimensions. Change in the thickness of nanoparticle metal shell has the greatest influence on spectral characteristics.

*Key words and phrases:* nanoparticle; shell; plasmon resonance; scattering cross-section; absorption cross-section; Mie theory.

УДК 535.341.08

**Физико-математические науки**

*В работе исследованы спектральные характеристики наноконструктивной структуры, содержащей включения сферической формы с металлической оболочкой. Рассмотрена возможность управления положением плазмонного резонанса путем изменения радиуса ядра и толщины оболочки наночастицы. Изучены свойства наночастиц, работающих в режиме усиления. Проведено сравнение с электродинамическими параметрами сферических частиц с нанооболочкой, работающих в режиме спазера. Полученные результаты могут использоваться для создания ультрабыстрых переключателей и процессоров.*

*Ключевые слова и фразы:* наночастица с оболочкой; плазмонный резонанс; усиление; спазер; наноконструктивная структура.

**Головкина Мария Вилевна**, к. ф.-м. н.

**Обухович Татьяна Евгеньевна**

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
nauka77@yandex.ru*

### УСИЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ В КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУРАХ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ<sup>©</sup>

В настоящее время прогресс, достигнутый в технологии изготовления наноструктур, позволяет создавать наноконструктивные структуры с включениями сложной формы, состоящими из ядра и нескольких слоев оболочек. Комбинация различных материалов для изготовления сложных наночастиц, изменение толщины