

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование композиционных многоэлементных покрытий имеет достаточную высокую микротвердость и износостойкость, при сравнительно низких значениях коэффициентов трения. Так, микротвердость и износостойкость в разы превышает аналогичные характеристики материала подложки, а коэффициент трения как минимум снижен на 30%, что позволяет значительно увеличить срок эксплуатации деталей машин и механизмов.

#### Литература:

1. Cha S. (eds.) Energy Consumption Due to Friction in Motored Vehicles and Low-Friction Coatings to Reduce It. -Springer International Publishing Switzerland: Coating Technology for Vehicle Applications, 2015. - 248p.
2. Holmberg K., Erdemir A. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions. -VTT Technical Research Centre of Finland, 2017. -360p.
3. Urbahs A. (eds.) Evaluation of the Physical and Mechanical Characteristics of Ion-Plasma Antifriction Coatings Based on Ti-Cu. -Trans Tech Publications Ltd, Switzerland: Key Engineering Materials Submitted, 2018. -366p.

УДК 535.372; 535.341; 535.016

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМОННЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ФЕРСТЕРОВСКИЙ ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ В РАСТВОРЕ

<sup>1</sup>Ким М.С., <sup>1</sup>Ибраев Н.Х.,

<sup>1</sup>Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, Институт молекулярной нанофотоники, г. Караганда, Казахстан

[mira\\_0352@mail.ru](mailto:mira_0352@mail.ru)

В последнее время явлению межмолекулярного переноса энергии электронного возбуждения уделяется большое внимание из-за его многообещающих применений в биосенсорике [1], фотосинтезе [2] и фотовольтаике [3].

Большое количество теоретических и экспериментальных работ свидетельствует о влиянии металлических наночастиц на безызлучательный перенос энергии. В зависимости от размера, формы и расположения металлической наночастицы скорость переноса энергии может быть либо увеличена, либо уменьшена [4, 5].

В настоящей работе исследовано влияние плазмонных наночастиц (НЧ) серебра на ферстеровский перенос энергии между кумариновым и мероцианиновым красителями. В качестве донора энергии использован краситель Кумарин 120 (КН 120), в качестве акцептора – мероцианиновый краситель М1 (рис 1).



Рис 1. Структурные формулы красителей КН 120 (слева) и М1 (справа).

Перенос энергии исследован в этанольных растворах при постоянной концентрации молекул донора, равной  $10^{-5}$  моль/л. Концентрация молекул акцептора изменялась от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  моль/л, а НЧ серебра в растворах – от  $5 \cdot 10^{-14}$  до  $10^{-12}$  моль/л. НЧ Ag в этиловом спирте получены абляцией мишени серебра. Средний диаметр наночастиц определен

методом динамического рассеяния света с помощью анализатора Nanosizer 90S (Malvern) и равен 38 нм.

Спектры поглощения и флуоресценции образцов измерены на спектрометрах Cary и Eclipse (Agilent), соответственно. Времена жизни флуоресценции донора и акцептора определены с помощью TCSPC системы (Becker&Hickl).

Максимум полосы поглощения НЧ серебра приходится на 401 нм. Из рис. 2 видно, что полосы красителей и НЧ серебра перекрываются, что является необходимым условием для осуществления плазмонного эффекта.

Изучено влияние НЧ серебра на спектрально-люминесцентные свойства чистых донора и акцептора. Полученные результаты приведены в таблице 1. Для обоих красителей значительных изменений оптической плотности зарегистрировано не было (около 5%). Добавление НЧ серебра в растворы красителей приводит к незначительному увеличению интенсивности флуоресценции красителей. Максимальное ее увеличение (почти на 4%) получено при  $C_{Ag} = 10^{-13}$  моль/л как для КН 120, так и для красителя М1.

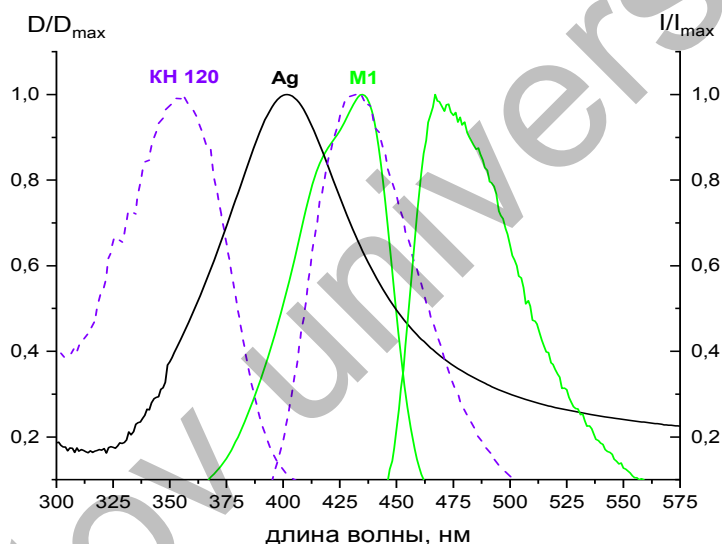


Рис 2. Нормированные спектры поглощения НЧ Ag (черная кривая), донора КН 120 (фиолетовые кривые) и акцептора М1 (зеленые кривые); флуоресценции донора и акцептора.

Таблица 1. Спектрально-люминесцентные свойства растворов красителей КН 120 и М1 при различной концентрации НЧ Ag.

Концентрация серебра, моль/л	$\lambda_{a \max}$ , нм	$\lambda_{fl \max}$ , нм	$D/D_0$	$I/I_0$	$\tau_{fl}$ , нс
КН 120					
0	348	432	1	1	3,78
$5 \cdot 10^{-14}$	348	432	1,043	1,012	3,69
$10^{-13}$	348	433	1,052	1,039	3,72
$5 \cdot 10^{-13}$	348	432	1,043	1,028	3,70
$10^{-12}$	348	433	1,043	0,979	3,70
М1					
0	435	467	1	1	0,128
$5 \cdot 10^{-14}$	435	466	1,057	1,009	0,120

$10^{-13}$	435	467	1,056	1,036	0,125
$5 \cdot 10^{-13}$	435	468	1,043	1,017	0,122
$10^{-12}$	435	465	1,043	0,982	0,123

Кинетические измерения затухания флуоресценции донора КН 120 в отсутствие и при наличии молекул акцептора подтверждают наличие процесса переноса энергии между красителями. Измеренные времена жизни флуоресценции ( $\tau_{\text{фл}}$ ), а также эффективность переноса энергии ( $E_{\text{ET}}$ ) представлены в таблице 2. Как видно из данных, эффективность переноса энергии выше при концентрации акцептора равной  $10^{-4}$  моль/л. Интеграл перекрытия для донорно-акцепторной пары равен  $1,48 \cdot 10^{-13} \text{ М}^{-1} \text{ см}^3$ .

Таблица 2. Времена жизни флуоресценции  $\tau_{\text{фл}}$  донора и донорно-акцепторных пар при различной концентрации акцептора.

Концентрация акцептора, моль/л	$E_{\text{ET}}$	$\tau_{\text{фл}}$ , нс
0	–	3,78
$10^{-4}$	0,06	3,55
$10^{-5}$	0,03	3,68
$10^{-6}$	0,02	3,72

При изучении влияния НЧ Ag на эффективность переноса энергии в исследуемой паре были получены данные, показанные в таблице 3. В данном случае концентрация молекул акцептора была равна  $10^{-4}$  моль/л.

Таблица 3. Времена жизни флуоресценции  $\tau_{\text{фл}}$  донора и донорно-акцепторных пар при различной концентрации НЧ Ag.

Концентрация НЧ Ag, моль/л	$E_{\text{ET}}$	$\tau_{\text{фл}}$ , нс
0	–	3,78
$5 \cdot 10^{-14}$	0,06	3,54
$10^{-13}$	0,08	3,48
$5 \cdot 10^{-13}$	0,06	3,54

Как видно из таблицы 3, в присутствии НЧ серебра наблюдается рост эффективности передачи энергии. По сравнению с переносом энергии без НЧ Ag, значение  $E_{\text{ET}}$  выросло на 25% при концентрации частиц  $C=10^{-13}$  моль/л.

Полученные результаты могут служить основой для увеличения фоточувствительности солнечных ячеек в видимой области спектра, а также для создания материалов с заданными свойствами, датчиков и преобразователей световой энергии.

#### Литература:

1. Dennis A. M., Rhee W. J., Sotto D., Dublin S. N. Quantum dot–fluorescent protein fret probes for sensing intracellular pH – ACS Nano, 2012. – 2917p.
2. Pullerits T. R. J. Photosynthetic light–harvesting: Reconciling dynamics and structure of purple bacterial LH2 reveals function of photosynthetic unit – Phys. Chem. B, 1999. – 2327p.
3. Scully S. R., McGehee M. D. J. Effects of optical interference and energy transfer on exciton diffusion length measurements in organic semiconductors – Appl. Phys, 2006, 034907p.
4. Hua X.M., Gersten J.I., Nitzan A. Theory of energy transfer between molecules near solid state particles. – J. Chem. Phys., 1985. – 3650p.

5. Zhao L., Ming T., Shao L., Chen H., Wang J. Plasmon-controlled Förster resonance energy transfer. – J. Phys. Chem, 2012. – 8287p.

УДК-537.312.62

## НЕЙТРОНДЫҚ ЖҰЛДЫЗДЫҢ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ӨРІСІН ЖСТ-ҒЫ СИПАТТАМАСЫ.

<sup>1</sup>Исақұл Н.Ж., <sup>2</sup>Эркинова Ш.Н

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы. Қазақстан

e-mail: [issakul.n@mail.ru](mailto:issakul.n@mail.ru), [shakhnoz.erkinova@mail.ru](mailto:shakhnoz.erkinova@mail.ru)

Соңғы жылдары айналмалы релятивистік жұлдыздар теориялық тұрғыдан да, тәжірибеден де кеңінен зерттелуде, өйткені олар өте жоғары тығыздықтағы заттың күйін теңдеуі туралы ақпарат береді және гравитациялық толқындардың перспективті көздері болып саналады. Ал, егерде гравитациялық толқындар туралы анықтай алсақ, онда релятивистік жұлдыздар туралы жаңа ақпарат аламыз. Сонымен қатар, ЖСТ релятивистік жұлдыздар туралы нақты(дәл) мәлімет алуға көмектесетін физика бөлімі болып табылады. Айналмалы релятивистік жұлдыздардың көлемдік қасиеттері ядролық тығыздықтан асатын тығыздық үшін ұсынылған күй теңдеулерін шектеледі. Олардың гравитациялық өрістеріндегі өсіп келе жатқан заттар жоғары жиілікті тербелістерге ұшырайды, жалпы релятивистік эсерлер үшін сезімтал құрылғы бола алады. Мысалы, миллисекундты пульсарлардың айналу кезеңіндегі уақытша өзгерістер жұлдыздардың ішіндегі маңызды физикалық процестер немесе космологиялық маңыздылығы туралы бай ақпарат беруі мүмкін[4]. Енді релятивистік жұлдыздар қозғалысы және сипаттамалық параметрлерін анықтайтын боламыз. Ол үшін Фоктың бірінші жуықтау метрикасы мен квадрупольді параметрі бар Шварцшильд шешімінің қарапайым жалпылануы болып табылатын q-метрикасын аламыз. Сәкесінше, Фоктың бірінші жуықтау метрикасы айналым бар жағдай үшін

$$ds^2 = \left( c^2 - 2U + \frac{2U^2}{c^2} \right) dt^2 - \left( 1 + \frac{2U}{c^2} \right) (dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2) + \frac{8}{c^2} (U_1 dx_1 + U_2 dx_2 + U_3 dx_3) dt \quad (1)$$

Фоктың бірінші жуықтау метрикасының айналым жоқ жағдайы үшін

$$ds^2 = \left( c^2 - 2U + \frac{2U^2}{c^2} \right) dt^2 - \left( 1 + \frac{2U}{c^2} \right) (dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2) \quad (2)$$

Айырмашылық тек диагональдан өзгеше мүшесі арқылы анықталады. Айналым жоқ кездегі Фоктың бірінші жуықтау метрикасын қатарға жіктесеп, Лагранж функциясын жазсақ [1,2]