

# Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№ 1 • 2013 • ЯНВАРЬ–ФЕВРАЛЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

### Теоретическая и математическая физика

- Комаров В.В., Попова А.М., Стурейко И.О., Шмидт Л., Юнглас Х. Кулоновский взрыв нанокластеров, скользящих вдоль органических поверхностей ..... 3
- Зубюк А.В. Классификация изображений в нечеткой морфологии: алгоритм эмпирического построения решающего правила ..... 3
- Свешников К.А., Толоконников А.В. Квантово-механический конфайнмент с условием Робина ..... 14
- Иноземцева Н.Г., Масленников И.И., Садовников Б.И. Автокорреляционные функции в обобщенной модели Больцмана–Энскога ..... 22

### Физика атомного ядра и элементарных частиц

- Ишханов Б.С., Кузнецов А.А. Фоторасщепление  $^{238}\text{U}$  в области энергий гигантского дипольного резонанса ..... 27

### Оптика и спектроскопия. Лазерная физика

- Голубко Н.В., Рогинская Ю.Е., Озимова А.Е., Годовский Д.Ю., Паращук Д.Ю. Фотоэлектрохимические солнечные элементы с полимерным связующим на основе диоксида титана ..... 33

### Физика конденсированного состояния вещества

- Коробова Ю.Г., Бажанов Д.И., Хвостов В.В., Гусева М.Б. Влияние примеси водорода на атомную и электронную структуру кристаллической модификации карбина ..... 37
- Гаврилова Н.Д., Лотонов А.М., Давыдова А.А. Проблема линейной диэлектрической дисперсии в кристаллах и полимерах ..... 45
- Жуковский В.Ч., Кривчик В.Д., Грунин А.Б., Семенов М.Б., Зайцев Р.В. Влияние внешнего электрического поля на оптические свойства квантовой молекулы с резонансным  $D^{(-)}$ -состоянием ..... 52
- Ле Н.Т., Соколов С.А., Константинова Е.А., Кашкаров П.К. Влияние освещения на свойства парамагнитных центров в нанокристаллах  $\text{TiO}_2$ , легированных азотом ..... 60

## Химическая физика, физическая кинетика и физика плазмы

<i>Глотова Е.А., Тихонов Н.А., Хамизов Р.Х., Крачак А.Н.</i> Математическое моделирование сорбционного процесса «удерживания кислоты» из раствора .....	64
---	----

## Биофизика и медицинская физика

<i>Белоусов А.В., Осипов А.С.</i> Определение энергетической зависимости коэффициента калибровки $k_{Q,Q_0}$ наперстковой ионизационной камеры методом компьютерного моделирования .....	69
--	----

## Астрономия, астрофизика и космология

<i>Медведева А.А.</i> Эллиптическое движение звезд в тесных двойных системах с консервативным обменом масс .....	74
<i>Кислов Р.А., Малова Х.В., Васько И.Ю.</i> Модель магнитодиска Юпитера .....	79

## Краткие сообщения

### Физика атомного ядра и элементарных частиц

<i>Белышев С.С., Стопани К.А.</i> Автоматизация измерений и обработки результатов в экспериментах по методике наведенной активности .....	84
---	----

### Физика конденсированного состояния вещества

<i>Смелова Е.М., Клавсюк А.Л., Цысарь К.М., Салецкий А.М.</i> Исследование механических и электронных свойств Ag–Au и Co–Au наноконтактов методом первопринципной молекулярной динамики .....	88
---	----

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

**Кулоновский взрыв нанокластеров, скользящих  
вдоль органических поверхностей**В. В. Комаров<sup>1,a</sup>, А. М. Попова<sup>1,a</sup>, И. О. Стурейко<sup>1</sup>, Л. Шмидт<sup>2</sup>, Х. Юнгклас<sup>2,b</sup><sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелевича Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.<sup>2</sup> Филиппс-университет, химический факультет. D-06421, Марбург, Германия.E-mail: <sup>a</sup>porovakomarov@mail.ru, <sup>b</sup>jungclas.staff@uni-marburg.de

Статья поступила 10.02.2012, подписана в печать 15.10.2012.

Предложена модель процесса множественной кулоновской диссоциации (кулоновского взрыва) нанокластера скользящего на атомном расстоянии вдоль органической пленки со скоростью меньшей скорости Бора. Рассматриваются нанокластеры, состоящие из одинаковых атомов, и пленки, молекулы которых содержат подструктуры периодически расположенных двухатомных валентных связей (например,  $C_nH_{2n}$ ), имеющих значительный дипольный момент. Такие структуры способны служить антеннами для ИК-излучения. Показано, что процесс диссоциации скользящего нанокластера происходит под действием пикосекундного импульса фотонов высокой интенсивности ( $10^{14}$ – $10^{16}$  Вт/см<sup>2</sup>), излучаемого ИК-антеннами пленки в результате релаксации накопленных в антенне коллективных колебательных возбуждений (эксимолей). Эти эксимолы резонансно возбуждаются в ИК-антеннах пленки в результате действия периодического кулоновского поля, возникающего во время скольжения нанокластера со скоростью ниже скорости Бора относительно молекул пленки. В рамках предложенной модели проведен анализ результатов экспериментов по распаду ионов  $C_{60}^+$  при их скольжении вдоль органической пленки, содержащей молекулы с ИК-антеннами.

**Ключевые слова:** взрывы нанокластеров, скользящих вдоль органических пленок.

УДК: 539.19+539.2. PACS: 34.10+x, 36.40.–с.

**Введение**

В ряде экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в последние годы, был обнаружен процесс кулоновской диссоциации нанокластеров, содержащих тождественные атомы, и фуллеренов при их облучении пикосекундными импульсами ИК-лазеров высокой интенсивности  $10^{13}$ – $10^{16}$  Вт/см<sup>2</sup> [1, 2]. Было показано, что в момент облучения происходит множественный выброс электронов из атомов нанокластера и кулоновское расталкивание образовавшихся в них положительных ионов, ведущее к пикосекундной диссоциации (кулоновскому взрыву) нанокластера.

Как было предсказано в работе [3] и установлено экспериментально [4–6], механизм множественной ионизации атомов нанокластеров в этом процессе зависит от интенсивности ИК-лазерного импульса в указанном выше диапазоне. В работе [4] для анализа кулоновского взрыва было предложено характеризовать множественную ионизацию атомов нанокластера параметром Келдыша  $\gamma$  [3]

$$\gamma = (I_{\text{ion}}/2\Phi)^{1/2}. \quad (1)$$

Здесь  $I_{\text{ion}}$  — потенциал ионизации атомов нанобъекта и  $\Phi$  — средняя кинетическая энергия электронов в поле лазерного излучения.

При  $\gamma > 1$ , когда энергия фотона больше  $I_{\text{ion}}$ , множественная ионизация атомов нанокластера рассматривалась как результат одновременного когерентного поглощения фотонов лазерного излучения.

При  $\gamma \leq 1$ , при энергии фотона меньше  $I_{\text{ion}}$ , множественная ионизация атомов нанокластера в поле излучения лазера рассматривалась как туннельный процесс. Вероятность ионизации нанокластера в этом случае на порядок превышает вероятность ионизации при когерентном множественном поглощении фотонов [1, 2]. Для процесса туннельной ионизации была получена функция, определяющая величину пороговой интенсивности  $I_{\text{thr}}(Z)$  лазерного излучения, при которой возникает несколько ионов атомов нанокластера, имеющих определенное значение положительного заряда  $Z$ :

$$I_{\text{thr}}(Z) = cI_{\text{ion}}(Z)^4/128\pi e^6 Z^2. \quad (2)$$

Здесь  $I_{\text{ion}}(Z)$  — потенциал ионизации, равный энергии отрыва электрона;  $c$  — скорость света,  $e$  — заряд электрона.

Туннельный процесс множественной ионизации нанокластеров в поле лазерного излучения высокой интенсивности был экспериментально изучен в работах [4–6]. В этих работах было продемонстрировано удовлетворительное согласие расчетных значений  $I_{\text{thr}}(Z)$  с результатами эксперимента с выходом ионов с положительным зарядом вплоть до  $Z = 6$ .

В настоящей работе проводится анализ пикосекундного процесса многократной ионизации и последующей кулоновской диссоциации молекулярных нанокластеров в момент их скольжения со скоростью ниже скорости Бора относительно органической пленки. Предполагается, что молекулы пленки содержат под-