

# Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№ 4 • 2013 • ИЮЛЬ–АВГУСТ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

### Теоретическая и математическая физика

- Эминов П.А., Гордеева С.В. Ионизация двумерной квантовой точки полем электромагнитной волны ..... 3
- Жуковский В.Ч., Колмаков П.Б. Эффект Ааронова–Бома в трехмерной модели Гросса–Невё с компактификацией при конечной температуре ..... 8

### Физика атомного ядра и элементарных частиц

- Ишханов Б.С., Кузнецов А.А. Массовое распределение осколков фотоделения  $^{238}\text{U}$  ..... 15

### Физика конденсированного состояния вещества

- Черных С.В. Особенности проникновения магнитного поля в гранулированные сверхпроводники и возможная чувствительность магнитных датчиков на их основе ... 23

### Химическая физика, физическая кинетика и физика плазмы

- Бауров А.Ю., Шибкова Л.В., Шибков В.М., Копыл П.В., Сурконт О.С. Внешнее горение высокоскоростных многокомпонентных воздушно-углеводородных потоков в условиях низкотемпературной плазмы ..... 28

### Биофизика и медицинская физика

- Блинов В.Н., Буравцев В.Н., Макарова Т.И., Полетаев А.И. Самоорганизация системы дипольных частиц в модели Кеезома ..... 34
- Власова И.М., Кулешова А.А., Власов А.А., Салецкий А.М. Процессы молекулярной ассоциации и флуоресцентные характеристики наномаркеров семейства флуоресцеина в растворах бычьего сывороточного альбумина ..... 39
- Белоусов А.В., Осипов А.С. Моделирование облучения тонких слоев биологической ткани низкоэнергетичным фотонным излучением ..... 45

**Физика Земли, атмосферы и гидросферы**

<i>Юсупалиев У., Савенкова Н.П., Шутеев С.А., Складчиков С.А., Еленский В.Г., Маслов А.К.</i> Численное моделирование самоподдержания и усиления вихрей .....	51
<i>Мельникова О.Н., Показеев К.В., Рожновская А.А.</i> Торможение дрейфового течения на склонах ветровых волн в зоне усиления .....	55
<i>Блохина Н.С.</i> Влияние ветра на развитие термобара и течений в небольшом водоеме в период таяния ледового покрова .....	59
<i>Юшков В.П.</i> Вероятностное описание турбулентных процессов в атмосфере .....	65

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

## Ионизация двумерной квантовой точки полем электромагнитной волны

П. А. Эминов<sup>1,2,a</sup>, С. В. Гордеева<sup>1</sup><sup>1</sup>Московский государственный университет приборостроения и информатики.  
Россия, 107996, Москва, ул. Стромынка, д. 20.<sup>2</sup>Московский институт электроники и математики Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики» (МИЭМ НИУ ВШЭ).  
Россия, 101000, Москва, Б. Трехсвятительский пер., д. 3/12.E-mail: <sup>a</sup>reminov@mail.ru

Статья поступила 18.02.2013, подписана в печать 05.03.2013.

Исследован процесс ионизации двумерной квантовой точки полем линейно-поляризованной электромагнитной волны. Впервые получены аналитические выражения для скорости ионизации и парциальных вероятностей процесса в единицу времени. Изучена зависимость вероятности процесса от параметров удерживающего потенциала и параметра Келдыша. Проведено сравнение результатов работы с полученными ранее для одномерных и трехмерных наноструктур с короткодействующим потенциалом.

Ключевые слова: квантовая точка, ионизация, линейно-поляризованная волна, параметр Келдыша.  
УДК: 530.145. PACS: 33.80.Wz, 73.21.La.

## Введение

В последние годы актуально исследование квантовых эффектов в низкоразмерных наноструктурах. Переход к системам пониженной размерности приводит к новым физическим результатам, которые отличаются как качественно, так и количественно от аналогичных эффектов в трехмерном случае. В связи с этим возрастает потребность детального количественного описания свойств низкоразмерных систем во внешних электромагнитных полях.

Развитие нанотехнологий и успехи в создании мощных источников когерентного излучения стимулируют теоретические и экспериментальные исследования процесса ионизации наноструктур в интенсивных электромагнитных полях [1, 2].

Методы теоретического описания явления нелинейной ионизации связанной системы в поле интенсивной электромагнитной волны были предложены в работах [3–7]. На основе этих методов, а также подходов, развитых в [8, 9] и в монографиях [10–11], проведены многочисленные теоретические исследования фотоионизации атомов, ионов и полупроводников под действием как сильного лазерного излучения, так и в электромагнитных полях сложной конфигурации (см., например, [1, 2, 7, 12–15] и цитированную в этих работах литературу).

В настоящей работе впервые исследован процесс ионизации двумерной квантовой точки в переменном электрическом поле, удерживающий потенциал которой моделируется потенциальной ямой:

$$U(\rho) = \begin{cases} -U_0, & \rho = \sqrt{x^2 + y^2} < a, \\ 0, & \rho > a, \end{cases} \quad (1)$$

где  $a$  — радиус квантовой точки,  $U_0$  — глубина ямы. Такой вид двумерного удерживающего потенциала

используется в случае формирования квантовой точки методом травления [16, 17].

Прежде чем приступить к решению поставленной задачи, обсудим особенности явления ионизации двумерной квантовой точки в поле электромагнитной волны на качественном уровне. Здесь мы будем следовать анализу, проведенному в работе [3], где впервые рассматривалась теория многофотонной ионизации атома в переменном электрическом поле.

Пусть линейно-поляризованная электромагнитная волна распространяется в направлении оси  $Z$ , т.е. перпендикулярно к плоскости квантовой точки, а длина волны много больше радиуса а ямы. Тогда электрическое поле можно считать однородным и направленным вдоль оси  $X$ :

$$E(t) = F \cos \omega t, \quad (2)$$

где  $F$  — амплитуда напряженности,  $\omega$  — частота волны.

Энергию связи электрона в двумерной квантовой точке обозначим через  $\omega_0 = \kappa^2/2$ , а действием магнитного поля волны на нерелятивистский электрон будем пренебрегать. Если напряженность электрического поля волны удовлетворяет условию

$$Fa \ll \kappa^2 < 2U_0, \quad (3)$$

то в первом приближении можно пренебречь влиянием поля волны на движение электрона в квантовой яме ( $F \ll U_0/a$ ). Ширина потенциального барьера, оцениваемая величиной

$$r_0 = \frac{\kappa^2}{F},$$

удовлетворяет условию  $r_0 \gg a$ . В этом случае для описания процесса ионизации квантовой точки применимо квазиклассическое приближение [3]. Время туннелирования определяется временем свободного пролета