

**ОТКРЫТИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ  
КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ И ИХ  
ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И  
МОДИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ  
СВОЙСТВ ТЕРМОЭЛЕКТРИКОВ**

Ф.И.Высикайло

ОАО Московский радиотехнический институт РАН  
[filvys@yandex.ru](mailto:filvys@yandex.ru)

**Аннотация.** Открыт физический способ легирования наноматериалов в результате формирования бислоев объемного заряда на поверхности физически легированных наноструктур. **Открыты квантоворазмерные поляризационные эффекты** первого и второго типов. Показано, что синергетические (общие) кулоновские дальнедействующие 3D потенциалы, возникающие при поляризационном формировании двойных слоев объемного заряда в нейтральных наноструктурах или при формировании ионных решёток, существенно модифицируют свойства нанобъектов и их регулярных систем – кристаллов. Предложена аналитическая модель **поляризационных** резонансных взаимодействий полых аллотропных форм углерода с квантовыми **заряженными** частицами с полной энергией  $E > 0$  (IQ-частицы), фокусируемыми в структуру поляризационными барьерами. Исследована неограниченная кумуляция  $\psi_{n-1/2}(r)$  – функции волн де Бройля электронов (IQ – частиц) к центру полой поляризующейся сферически или цилиндрически симметричной молекулы (фуллерена, нанотрубки и др.) и определены собственные спектры **отрицательного эндоиона** с эндоэлектроном с  $E_{n-1/2} > 0$ .

### 1. Введение

Свойства наноструктурированных материалов во многом определяются поведением в них электронов (в частности, процессами их кумуляции и диссипации в нанобъемах и на их границах) и нарушением нейтральности (НН). Далее обсуждается фундаментальная роль поляризации наноразмерных частиц в кулоновском обжати (упрочнении) наноструктурированных материалов со слоями объемного заряда. 3D структурирование композитных материалов с локальной поляризацией объёмного

заряда позволяет создать материалы с новыми прочностными характеристиками и управлять их электромагнитными свойствами [1]. Наноразмерными структурами для формирования **отрицательных эндоионов**, захвативших электроны могут служить фуллерены, нанотрубки из углерода и иные структуры (полые или обладающие большим сродством к электрону или поляризацией). Потенциалы, в том числе и поляризационные, формируют границы (зеркала), отражающие захваченные электроны к центру положительно заряженных или поляризующихся структур. При исследовании этого явления автором открыты и исследованы два квантоворазмерных эффекта: 1) квантовонаноразмерный поляризационный эффект первого типа с характерным размером  $\sim 1$  нм и 2) концентрационно-квантоворазмерный поляризационный эффект второго типа, определяемый и концентрацией физически легирующей добавки (концентрацией фуллеренов и др.) с характерными размерами от  $\sim 10$  нм до мезоразмеров  $\sim 1$  м. Для полупроводников с р-типом проводимости локализация электронов на поверхности нано-материалов может приводить к повышению макропроводимости. При стабилизации части электронов у поверхности нанообъекта могут существенно изменяться прочностные, термические и электромагнитные свойства всего материала или композита. Этим открыт и следован **физический способ легирования** нанокompозитов.

## **2. Наноразмерный квантово-поляризационный эффект первого типа**

В качестве ловушек для свободных электронов, формирующих отрицательно заряженный слой объемного заряда на поверхности упрочняемого наноматериала, можно использовать фуллерены (рис. 1), нанотрубки и иные наноструктуры. Эти наноструктуры из-за поляризации локализуют возле себя свободные электроны (благодаря внутреннему объему таких структур позволяет сбрасывать электроны во внутреннюю область полых молекул) и тем самым заряжают положительным зарядом модифицируемый материал. В [1] сформулирована модель поляризационного захвата электронов с резонансной энергией больше нуля полыми, поляризующимися этими электронами, квантовыми резонаторами. Электроны, захваченные полыми поляризующимися сферически-симметричными молекулами (например,  $C_{60}$ ), являются одномерными квантовыми метаста-

бильными IQ-точками с полной квантуемой энергией  $E_n > 0$  и с собственным энергетическим спектром, зависящим от эффективного размера квантового ящика  $R+r_{ind}$ , здесь  $R$  – размер полую молекулы,  $r_{ind}$  – характерный индукционный (поляризационный) размер для фуллерена  $\approx 0.26$  нм [1]. На рис. 2 прямыми жирными вертикальными линиями отмечены собственные энергии (с главными числами  $n = 1, 2, 3, 4$ ), рассчитанные по модели автора [1] с учетом действия сил поляризации  $C_{60}$  на стабилизацию отрицательного эндоиона фуллерена –  $C_{60}^-$ .

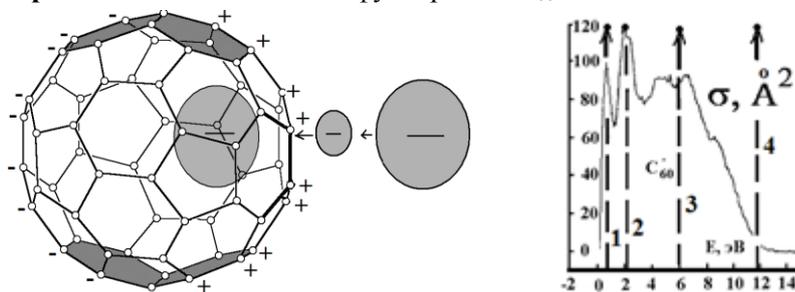


Рис. 1. Схема наноразмерного квантово-поляризационного эффекта первого типа [1] при поляризационном резонансном захвате электрона в полую молекулу фуллерена.

Рис. 2. Экспериментально измеренные резонансные сечения захвата электрона  $C_{60}$ , с энергией больше нуля, в зависимости от его энергии [2] и аналитически вычисленные автором резонансные энергии (стрелки с точками) [1].

### 3. Второй квантово-размерный поляризационно-концентрационный эффект. Квантовые пары наномира

Фуллерены, нанотрубки, клатраты, онионы представляют собой особый класс наноструктур, обладающих четко выраженным свойством формирования "ловушек" для других нанообъектов – отдельных атомов, молекул или подобных, вложенных друг в друга (матрешечных) структур, например для эндофуллеренов (фуллерены с заключенным внутри атомом или молекулой). Такие же свойства «ловушек» проявляют полые наноструктуры и по отношению к свободным электронам с резонансной энергией (рис. 1-2). Эти свойства, возникающие из-за захвата свободных электронов, можно применять в практике следующим образом. Фрактальная структуризация заряда в физически легированном наноструктурированном материале

обусловлена захватом свободных электронов ловушками – квантовыми резонаторами, представлена на рис. 3-4. Такая 3D структуризация объёмного заряда в пространстве модифицирует не только прочностные, но и электромагнитные свойства наноструктурированных материалов. На рис. 3 и рис. 4 «+» – положительно заряженный нанокристалл; «-» – квантовый резонатор, захвативший электроны нанокристалла и тем физически легирующий нанокристалл.

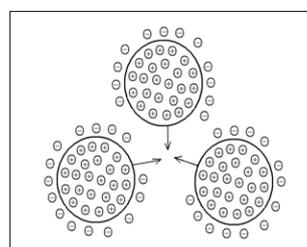
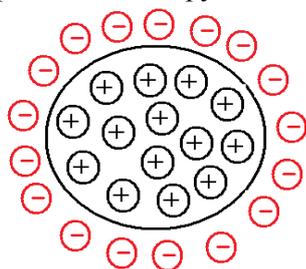
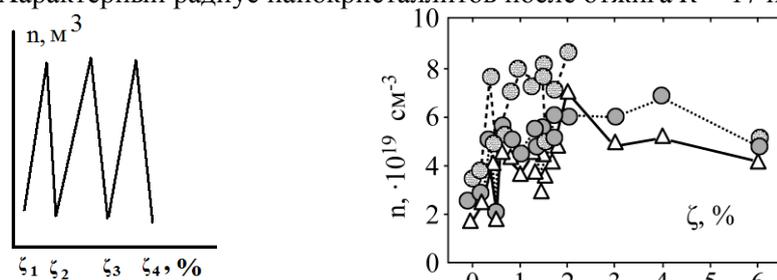


Рис. 3. Модификация свойств композитных материалов слоями объёмного заряда, формируемого ловушками для электронов. Схема физического принципа легирования основного структурного элемента наноструктурного материала.

Рис. 4. Компонировка физически легированных наноструктур в наноструктурированном материале, обжимаемом кулоновскими силами. Стрелками показаны силы кулоновского обжатия материала.

Аналитические расчеты, по модели автора [1], хорошо описывают качественные и количественные квантовые (волновые) зависимости концентраций заряженных частиц в физически легированных наноструктурированных термоэлектриках (рис. 5-6) от концентрации физически легирующей примеси. Рис. 1-6 в деталях иллюстрируют проявление в макропараметрах нанокompозита, открытого автором, квантово-размерного поляризационно-концентрационного эффекта второго типа, обусловленного поляризационным захватом электронов поляризующимися полыми молекулами. При этом волновые профили сдвигаются с изменением характерного радиуса нанокристаллитов, формируя с относительной концентрацией ловушек **квантово-размерную пару**, меняющую параметры наноструктурированного композита в мезомире [1]. На рис. 6 представлены результаты экспериментальных измерений

резонансных профилей концентрации электронов при изменении относительной концентрации ловушек при легировании фуллеренами  $C_{60}$  нанокристаллов полупроводников (термоэлектриков) [3] при различных температурах (от 295 до 77 К). Характерный радиус нанокристаллитов после отжига  $R = 17$  нм.



На рис. 5 и рис. 6 представлены аналитически [1] и экспериментально [3] полученные зависимости концентрации электронов наноструктурированного молекулами фуллерена термоэлектрика.

Предложенная автором модель, восходящая к модели Г.А. Гамова, позволяет проводить верификацию экспериментальных результатов, полученных ранее [2], и уточнять масштабную поправку на поляризационное – интерференционное взаимодействие ( $\zeta_{RN} = R+r_{ind}/R$ ), см. [1]. Кинетическая энергия электрона выступает в качестве энергии активации пульсирующего резонансного поляризационного процесса интерференции в молекуле  $C_{60}$  или  $C_{70}$  с захватом налетающего электрона – «солитона», формируемого поляризационным барьером (кулоновским «зеркалом» или потенциальным барьером [1]).

Сравнение с имеющимися в литературе экспериментами [2, 3 и см. ссылки в [1]] доказало, что гипотеза де Бройля и предложенная автором кумулятивная квантовая механика (ККМ) [1] хорошо работают в наном мире для описания квантовых резонаторов для волн де Бройля электронов и квантово-размерных поляризационных эффектов, открытых автором, двух типов, обусловленных поляризационными захватами электронов полыми сферически- и цилиндрически-симметричными поляризующимися молекулами фуллеренов и нанотрубок. Полученные результаты можно применить для описания поляризационных процессов между электронами с резонансной энергией активации и любыми

сложными поляризуемыми молекулами или фрактальными системами атомов. Большой интерес представляют эксперименты в скрещенных пучках электронов и фуллеренов с двумя и более (до 6) электронными пучками с тремя резонансными энергиями. Эти эксперименты прояснили бы суть поверхностного натяжения, обусловленного кулоновскими силами и силами поляризации, и многое другое в области кумулятивной квантовой механики от фемто- до макромира [1].

В данной работе в очередной раз доказана возможность самофокусировки (кумуляции) материи, обусловленной не силами гравитации, а электрическими силами, которые в  $4 \cdot 10^{42}$  раз сильнее гравитационных для электрона (и в  $v/c$  раз – магнитных). На такую мощную кулоновскую кумуляцию энергомассовоимпульсных потоков не рассчитывал Е.И. Забабахин, один из архитекторов и создателей самой мощной бомбы. Проведенное исследование подытожу утверждением из [1]: «Кулоновская самофокусировка есть, и её не может не быть на всех масштабах самоорганизации материи, на которых существуют кулоновские силы». Кулоновская кумуляция, или самофокусировка объемного заряда, есть, как показал в экспериментах Резерфорд, в фемтомире, есть в мезомире, она есть и в наномире [1]. Кулоновская кумуляция, или самофокусировка объемного заряда, есть, несомненно, и в макромире (звезд, галактик и всей Вселенной), но это отдельная задача, касающаяся проблем астрофизики: солнечного ветра, защиты от астероидов, разбегания галактик и др.

*Работа проводилась при финансовой поддержке грантами  
РФФИ № 13-07–0027; 14-07-00277.*

### Литература

1. Высикайло Ф.И. Поляризация аллотропных полых форм углерода и её применение в конструировании нанокompозитов. *Нанотехника*. 2011, (1), 19–36.
2. Jaffke T., Illenbergen E., Lezius M., Matejcek S., Smith D., Mark T.D. Formation of  $C_{60}^-$  and  $C_{70}^-$  by Free Electron Capture. Activation Energy and Effect of the Internal Energy on Lifetime. *Chem. Phys. Lett.* 1994, **226**, 213–218.
3. Blank V., Vysikaylo Ph. et al.  $C_{60}$ -doping of Nanostructured Bi-Sb-Te Thermoelectrics. *Phys. Status Solidi A*. 2011, 208, 2783–2789.