

УДК 537.5

Кумулятивная физика кристаллов и плазмоедов

Ф. И. Высикайло

Сформулированы основы кумулятивной 3D-кристаллодинамики положительно заряженных плазмоедов, в которых локализованный ферми-газ формирует e-мембрану и ионные решётки. Ряд явлений в таких фрактализованных плазмоедах имеет аналоги в твердых телах и металлах. Аналитически: 1) рассчитаны коэффициенты объёмного сжатия кристаллов IV группы элементов; 2) исследованы поляризационный эффект, открытый автором, и эффект Казимира. Аналитически выявлены области их относительного доминирования.

PACS: 03.65.-W; 03.65.-Ge; 05.30.Fk; 05.65.+B

Ключевые слова: кумуляция, плазмоед, синергетика, точка либрации-кумуляции, эффект Казимира, квантово-размерные поляризационные эффекты, ионные решётки.

Введение

В плазмоедах электроны имеют массу m_e во много раз меньше, чем ионы ($m_i \gg m_e$). Поэтому свободные электроны более подвижны и покидают плазмоед, заряжая его положительным зарядом. Для оставшихся в плазмоеде электронов при этом формируется общая кулоновская положительно заряженная потенциальная яма (своеобразный квантовый резонатор для локализованных в нём электронов). Поэтому в дальнейшем плазмоедами будем называть любую систему заряженных частиц, стянутых дальнедействующими кулоновскими силами (ДКС) или потенциалами. (Стягивание плазмоеда ДКС приводит к его фрактализации на ячейки, аналогичные ячейкам Вигнера-Зейтца).

Известно, что закон Кулона работает на размерах от 10^{-15} м (размеры атомных ядер) до размеров 10^{26} м (размеры видимой Вселенной). Возможно, в таком же диапазоне размеров работают законы квантовой механики. Основой квантовой механики является гипотеза Луи де Бройля, согласно которой локализованные в структурах частицы ведут себя как волны в квантовых резонаторах с длиной волны де Бройля $\lambda_e = h/p_e$, где p_e — импульс частицы ($p_e = m_e \cdot V_e$, здесь V_e — скорость частицы). Следовательно, резонансные кинетическая $\epsilon_n(\lambda_e)$ и полная $U(\lambda_e)$ энергии локализованной в квантовом резонаторе частицы однозначно определяются их длиной волны де Бройля.

С другой стороны, согласно уравнению Шредингера, резонансное значение кинетической энергии частицы $\epsilon_n(\lambda_e)$ однозначно определяет 3D-профиль вероятности нахождения частицы в области квантового резонатора, ограниченного реальными (массивными) или потенциальными («мягкими») стенками. Система частиц со спином $1/2$, локализованных в общей потенциальной кулоновской яме, подчиняется статистике Ферми-Паули и формирует ферми-газ или ферми-жидкость, в которых, согласно принципу Паули, выполняется соотношение $p_e^3 n_e^{-1} = h^3/2$. Здесь $n_e = 2/\lambda_e^3$ — концентрация локализованных в одном квантовом резонаторе двух частиц с полужелыми спинами, направленными в противоположные стороны. В любом сформированном плазмоеде давление обобщённого нерелятивистского ферми-газа $P_e = n_e m_e V_e^2 / 2 = 2^{-4/3} h^2 m_e^{-1} n_e^{5/3}$ определяется его концентрацией n_e .

В твёрдых телах и металлах различие в длинах волн де Бройля у обобщённых электронов с λ_e и тяжёлых ионов с λ_i (где $\lambda_i < \lambda_e$) приводит к формированию ионных решёток и формированию обобщённого в ячейке Вигнера-Зейтца (с условием зеркального отражения на границах ячейки) ферми-газа. При этом устанавливается приближённое равенство λ_e с λ_i и размером кристаллической решётки. Так формируется фрактальная система сопряжённых квантовых резонаторов с общим ферми-газом. На периферии структуры появляются электрические (кристаллические) поля, греющие и фокусирующие периферийные электроны, формирующие ферми-газ. Далее будет показано, что этими квантовыми свойствами и нарушением нейтральности (НН, поляризации заряженных частиц)

Высикайло Филипп Иванович, ведущий научный сотрудник.
Московский радиотехнический институт РАН.
Россия, 117519, Москва, Варшавское шоссе, 132.
E-mail: filvys@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18 мая 2015 г.

© Высикайло Ф. И., 2015

обладает любой квазистационарный плазмод, тем самым выступая метастабильным (энергетически возбуждённым) аналогом структур из конденсированных сред.

Согласно гипотезе де Бройля, если открыты какие-то эффекты с электромагнитными волнами, например, эффект Казимира, то аналогичные эффекты, со своей спецификой, следует ожидать и, например, с электронами, выступающими в виде волн. Как показано в работах [1—3], в неоднородном действующем кулоновом поле положительно заряженного плазмоида из-за квантовых свойств заряженных частиц (электронов и ионов) могут происходить удивительные явления. Так, в плазмоиде возможно НН, поляризация, самокумуляция (фокусировка) плазмоидов с поверхностным динамическим натяжением, самокумуляция объёмного заряда и др. В результате этих явлений энергия перекачивается от положительно заряженного холодного кристаллизирующегося (формируется ионная решётка) тела (уменьшается кинетическая энергия, увеличивается потенциальная энергия и увеличивается длина волны де Бройля более массивных положительно заряженных частиц, например, с массой m_i) к более легкому (с массой $m_e \ll m_i$) и более горячему вырождающемуся электронному ферми-газу, запертому кулоновским потенциалом положительно заряженного плазмоида. Все эти явления обусловлены обработкой (сжатием, ударами и т. д.) поверхности плазмоида внешними для него электронами, захваченными в кулоновскую потенциальную яму положительно заряженного плазмоида. В динамике происходит самоформирование положительно заряженной структуры, локализация в ней части электронов, из-за фокусировки (кумуляции) кулоновским потенциалом к центру плазмоида и выдавливание из плазмоида малой части электронов как наиболее подвижного газа. Как показано в [1—3], именно, локализация электронов со спином $1/2$ в положительно заряженной яме плазмоида, а также электрон-электронные столкновения локализованных электронов приводят к формированию из этих электронов ферми-газа или фермижидкости со статистикой Паули-Ферми.

Ферми-газ, локализованный в положительно заряженном плазмоиде, обладает дуальными свойствами из-за его фокусировки действующим кулоновским потенциалом положительных ионов [1]. Этот кулоновский потенциал действует как мягкие стенки, фокусирующие электроны, локализованные в положительно заряженном плазмоиде. Силы, противодействующие сжатию плазмоида, одновременно обеспечивают и его самообжатие в собственном электрическом поле [1—3]. Эти явления аналогичны квантовым яв-

лениям в обычном положительном молекулярном ионе водорода (рис. 1, а). Так проявляются кумулятивные свойства действующих кулоновских потенциалов в самофокусировке любых положительно заряженных плазмоидов, с размерами от атомного ядра до ядер галактик.

Оказывается, что дуальными свойствами (т. е. фокусировать и противодействовать сжатию) обладают локализованные в кулоновской яме любые электроны в любых плазмоидах с размерами от 10^{-15} м (в этом случае роль электронов играют отрицательные мезоны) до 10^{26} м. Этот подход, развиваемый в настоящей работе, опирается на работы де Бройля, Дирака, Гамова, Фаулера и Френкеля.

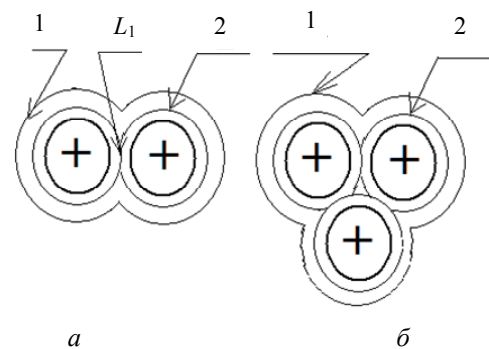


Рис. 1. Схема объединения заряженных плазмоидов: а) молекула из двух положительных ионов; б) кластер из трёх и более плазмоидов. Общая объединяющая электронная оболочка — 1, L_1 — точка кумуляции электронных потоков между двумя положительно заряженными плазмоидами [6], 2 — внутренние электронные оболочки, имеющие по одной общей точке — L_1

Автор утверждает (обобщая идеи Фаулера, 1926 г. и Френкеля, 1928 г. [4, 5]), что для любых плазмоидов (сложных систем из заряженных частиц с различными массами) эти дуальные свойства локализованного ферми-газа определяются кулоновскими силами и квантовыми свойствами заряженных частиц. Давление [1—3], характеризующее силы сцепления и соответствующие им силы сопротивления сжатию, одновременно определяется давлением обобщённого вырожденного локализованного ферми-газа $P_e = P_e(R, m_e)$. Здесь R — характерный размер элементарного резонатора для электронов, m_e — их масса.

Следовательно, элементарную ячейку любого сформировавшегося плазмоида можно представить по аналогии с твёрдым телом как обобщённую ячейку Вигнера-Зейтца с радиусом $a = (3/4\pi n_i) \approx \lambda_e$, где n_i — концентрация положительных ионов, формирующих кристаллическую ионную решётку плазмоида; λ_e — характерная длина волны де Бройля электронов, формирующих обобщённый ферми-газ плазмоида. При этом

обобщенный электронный газ, подчиняющийся статистике Паули-Ферми, не только противодействует сжатию, но и осуществляет сжатие (сцепление) частей плазмоида к его центру из-за локализации электронов кулоновским потенциалом нескомпенсированных ионов (рис. 5 в работе [1]). Этот ферми-газ ответственен за формирование ионной решетки в любом плазмоиде.

При формировании фрактализованного (с самоформирующимися квантовыми резонаторами в виде ионной решетки) плазмоида у ферми-газа кинетическая энергия электронов растёт из-за уменьшения их потенциальной энергии, а также передачи энергии от ионов. При этом уменьшается средняя длина волны де Бройля электронов λ_e , но растёт длина волны де Бройля λ_i положительных ионов, теряющих кинетическую энергию, что и приводит к частичной компенсации квантового НН, обуславливающего из-за $\lambda_e > \lambda_i$ такие квантово-механические явления поляризации [1]. Однако полного исчезновения квантовой поляризации плазмоида не происходит (рис. 1). Именно, слабое НН (из-за условия $\lambda_e > \lambda_i$) обуславливает динамические процессы поверхностного натяжения плазмоедов и, соответственно, силы противодействующие сжатию плазмоида. Эти явления аналогичны явлениям сцепления и расталкивания протонов в молекулярном ионе H_2^+ . Характерные размеры всех этих квантовых явлений определяются не радиусом Дебая, а длиной волны электронов, обжимающих положительно заряженный плазмоид, выступающий как мегаион с огромным числом положительных ионов, расталкиваемых и одновременно обжимаемых извне электронным ферми газом. При этом основная часть свободных электронов, оставшихся в кулоновской потенциальной яме, обобществляется в положительно заряженном метастабильном плазмоиде. Давление внутренних обобществленных электронов ферми-газа не позволяет плазмоиду схлопнуться, а внешние электроны, наоборот, плазмоид фокусируют (кумулируют) к его центру, обеспечивая адгезию его частей. Так происходит динамическая электронная кумуляция положительно заряженных плазмоедов. Эти синергетические дуальные квантовые процессы, существенно определяющие 3D-архитектуру кумуляции и диссипации вырожденного ферми-газа электронов в синергетическом (общем) поле положительных ионов, будут более подробно рассмотрены в этой работе для структур нано- и фемтомира, состоящих из положительных массивных ионов и обобщенных легких электронов ферми-газа.

Именно, электрическое поле (обусловленное НН) выступает как катализатор, содействующий перекачке кинетической энергии от слабоэнерге-

тичных массивных ионов к менее массивным электронам, имеющим большую кинетическую энергию. Действительно, в результате нагрева электронного газа в электрическом поле заряженного плазмоида, увеличивается давление периферийных электронов. Электроны, возвращающиеся в положительно заряженный плазмоид, сжимают весь плазмоид (в [1], рис. 5 и 6). При сжатии положительных ионов внешними для них электронами увеличивается потенциальная энергия ионов. В потенциальном поле положительные ионы отдают свою кинетическую энергию электронам, которые ещё более сжимают плазмоид как целое, а именно, до выравнивания давления вырождающегося электронного ферми-газа на периферии и в центре плазмоида [1—3]. В этом квантово-механическом кулоновском процессе и разгадка любых динамических поверхностных натяжений (сцепления) и противодействий сжатию в плазмоедах (рис. 1—3). Внешние электрические поля, локальное разрушение динамической электронной мембраны, обжимающей плазмоид (рис. 1) или иные воздействия на плазмоеды модифицируют плазмоеды и их свойства, которые определяются во многом 3D-архитектурой кумуляции энерго-массово-импульсных потоков (ЭМИП) и их физической 3D-фрактализацией в собственном электрическом поле, локализирующем электронный ферми-газ или ферми-жидкость [1—3].

На рис. 1, б, приведена общая схема формирования ионной кристаллической 3D-решетки в любом обобщенном ионном кристалле, обжатом вырожденными или обобществленными электронами, формирующими внешнюю электронную оболочку ионного кристалла или положительно заряженного плазмоида (с учётом $\lambda_e > \lambda_i$). Разрушение внешней электронной (e) оболочки (слой 1, на рис. 1) слабо сказывается на обжатии положительных ионов. Последняя общая электронная (e) оболочка (слой 2 на рис. 1) единственно определяет внутреннее давление в ионном кристалле [1]. При её разрушении кулоновские силы разрушают кристаллическую решётку ионного кристалла (положительные ионы разлетаются друг от друга под действием сил Кулона). Для молекул эта схема очевидна (рис. 1). Объём атомов и молекул определяются соответствующими длинами волн де Бройля электронов, локализованных и обобщенных в этих структурах.

Целью данной работы является формулировка основ кумулятивной 3D-кристаллодинамики положительно заряженных плазмоедов, в которых локализованный ферми-газ формирует ионные решетки. Предполагается, что ряд явлений в таких фрактализованных плазмоедах могут иметь аналоги в твердых телах и металлах.

Кристаллы и ионные решётки в нано- и фемтоплазмоидах

Динамическое самосжатие положительно заряженных плазмоидов, с выбрасыванием малой части электронов вовне (из-за $\lambda_e > \lambda_i$), приводит к увеличению и упорядочиванию плотности нескомпенсированного положительного заряда внутри плазмоида. В результате упорядочивания формируются кумулятивно-диссипативные структуры (КДС) с новыми (обусловленными кумулятивными процессами) степенями свободы (свойствами). Такое упорядочивание можно, как показано в [1—3], описать в рамках капельной модели, в которой плотность нескомпенсированного заряда считается равномерной по всему объёму заряженного плазмоида. Это соответствует формированию упорядоченной конденсированной среды. В [1—3] впервые рассмотрен переход в плазмоиде к конденсированному состоянию вещества, кумулирующему кинетическую энергию электронов в КДС-плазоид.

Равнораспределённая плотность объёмного положительного заряда обеспечивает перераспределение кинетической энергии ионов в потенциальную энергию кулоновского поля, формируемого избыточным объёмным зарядом положительных ионов [1] и кинетическую энергию вырождающегося локализованного в поляризованном плазмоиде электронного ферми газа. В результате такого распределения избыточного заряда внутри плазмоида происходит формирование, можно сказать, кристаллических ионных решёток (рис. 1, *a* и *б*) и накачка кинетической энергией электронного газа с увеличением его плотности $n_e(\lambda_e)$. Внешнее для положительно заряженных ионов давление обобществлённых электронов, формирующих внешнюю оболочку структурированного плазмоида (рис. 1, *a* и *б*), сжимает положительно заряженные ионы (или положительно заряженные плазмоиды меньших размеров) до формирования ионных (или плазменных) решёток. Эти решётки с вырожденными внутренними электронами и оказывают сопротивление дальнейшему сжатию внешней электронной оболочкой, сжимающей силами кулона положительно заряженные структуры в единое целое. Так, согласно [1—3] и данной работе, формируются (внешними электронами) в собственном электрическом поле ионные решётки на любом уровне иерархии, а именно, от атомных структур фемтомира до структур с размерами галактик и их систем. Квантовым динамическим поверхностным натяжением формируется и положительный молекулярный ион водорода H_2^+ (рис. 1, *a*) и любой положительно заряженный плазоид (см. рис. 2).

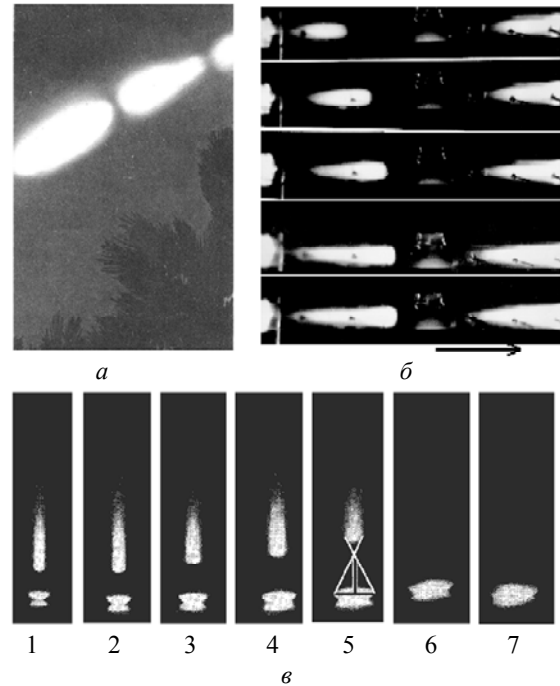


Рис. 2. Примеры формирования стратифицированных самофокусирующихся разрядов и точек кумуляции [6] в неоднородной газоразрядной плазме (см. [1—3]).

a) Четочная молния.

б) Самофокусирующийся разряд в трубке в азоте в зависимости от тока разряда. Разряд возмущен пучком быстрых электронов с энергией ~ 100 кэВ, вводимых через окно в центре трубки.

в) Зависимость ширины самофокусирующегося (свободного в радиальном направлении) разряда в азоте от тока. На фото 5 приведена приближительная схема определения точки кумуляции электронов.

В [1—3] эта схема была применена для анализа формирования супраионной решётки в квантовых звёздах, молниях и иных плазмоидах. В квантовых звёздах, как известно, происходит ионизация атомов гравитационным давлением и часть электронных оболочек атомов обобществляется. В результате обобществления и квантово-механического выдавливания части холодных электронов из-за гравитационного сжатия далее включаются механизмы динамического поверхностного натяжения, возникающего уже из-за кулоновского обжатия квантовых звёзд внешними электронами для положительно заряженной ионной решётки квантовой звезды (рис. 1, *б*). Ионная решётка формируется из-за увеличения потенциальной энергии ионов и уменьшения их кинетической энергии в собственном электрическом поле нескомпенсированных зарядов положительных ионов. Для плазмы водорода параметры давления вырожденного газа, обжимающего квантовую звезду, приведены в работе [1]. Однако для квантовых звёзд из ионных решёток гелия и других элементов мы будем иметь целый ряд таблиц, соответствующих не только всей таблице Менделеева, но и всем многократно ионизованным ионам. Следовательно, в

природе может наблюдаться огромное количество типов квантовых звёзд (карликов) с различными параметрами ионных решёток и с совершенно различными свойствами.

Предложенный автором метод аналитических расчётов можно применить для грубого аналитического расчёта свойств элементарных ячеек кристаллов, например, коэффициента объёмного сжатия алмаза.

Применение квантового кумулятивно-диссипативного метода в физике конденсированных сред

С помощью квантового кумулятивно-диссипативного метода, учитывающего НН и лежащего в основе анализа поведения и структуризации заряженных или поляризованных КДС в неживой природе, автор решил ряд конкретных задач в области физики газоразрядной плазмы [1—3], физики нанокондитов [7—10] и астрофизики [1—3]. В этих работах проведены расчёты профилей и характерных размеров КДС, получены резонансные спектры таких КДС, автором открыты квантово-размерные поляризационные и квантово-размерные концентрационные эффекты [7—10]. Результаты численных и аналитических расчётов сравниваются с экспериментами в тех областях, где они имеются [7—10]. Выполнена классификация плазмоидов [1—3] в зависимости от концентрации электронов, формирующих в плазмоиде электронный ферми-газ. На базе сравнения аналитических расчётов и экспериментальных исследований [7—10] установлено, что полые структуры, например, фуллерены или нанотрубки, могут захватывать электроны с резонансной кинетической энергией, соответствующей основному тону (в акустике — половине длины волны — $\lambda_e/2$). Это соответствует кинетической энергии частицы в потенциальной кулоновской яме (квантовом резонаторе) в четыре раза большей, чем у электронов с полной длиной волны — λ_e . Автором идентифицированы экспериментально наблюдаемые спектры квантовых полых резонаторов с резонансными энергиями $E_{n-1/2} \sim (n-1/2)^{+2}$ [7—10].

На базе квантового кумулятивно-диссипативного метода проведём аналитические оценочные расчёты коэффициента всестороннего сжатия $K = -V (\partial P / \partial V)$ (или просто коэффициента сжатия [11]) метастабильного состояния углерода — алмаза. Аналитические результаты, полученные с учётом структурных ячеек с вырожденными и обобщёнными резонатором электронами в реальном кристалле, сравним с экспериментальными и численными значениями, приведенными в справочнике [12] и работе [13] для случая кристаллов IV группы элементов (алмаза, кремния и германия).

Согласно квантовому кумулятивно-диссипативному методу, в любом кристалле, в том числе и в алмазе, поверхностное натяжение или сжатие объёмного положительного заряда, ответственного за диссипацию, компенсируется динамическим обжатием электронов, формирующих внешнюю для кристалла оболочку (см. рис. 3). При этом поверхностное динамическое давление электронов для любых размеров структур сохраняется для монокристаллов, в которых плотность электронного газа сохраняется (рис. 3 и 4). Поэтому рассчитав аналитически коэффициент всестороннего сжатия для самого простого структурного элемента (рис. 4, б), полученный результат можно проверить на реальных изделиях из алмаза, т. е. сравнить с экспериментальными данными, приведенными в [12] и численными расчётами, представленными в Интернете [13]: $K = -V (\partial P / \partial V) \approx 442$ ГПа.

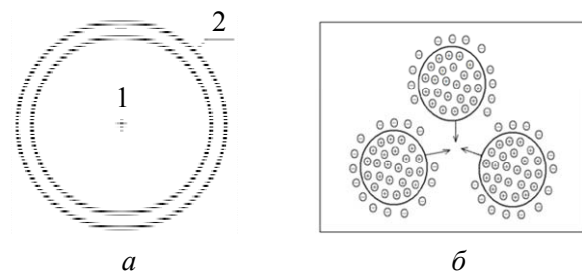


Рис. 3. а — схема сферического конденсатора, обусловленного квантово-механическим разделением зарядов электронов и протонов (или положительных ионов) в любом кристалле [1—3]. В областях наблюдается: 1 — вырожденное, положительно заряженное вещество, формирующее кристаллическую решётку; 2 — слой отрицательного заряда, электронов, не вошедших в область формирования ионной решётки. Эти электроны, из-за кулоновского притяжения к положительно заряженному плазмоиду, динамическим обжатием поверхности плазмоида формируют его (плазменного кристалла) динамическое поверхностное натяжение; б — схема формирования поверхностного натяжения во фрактализованной структуре — плазмоиде [8, 9]

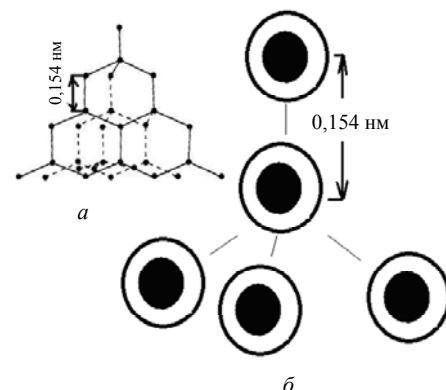


Рис. 4. Структура алмаза: а — схема кристалла (метастабильной молекулы) алмаза; б — структурный элемент кристалла алмаза, состоящий из четырёх атомов углерода, расположенных на расстоянии $R = 0,154$ нм друг от друга

Объём структурного элемента известен, если известно межатомное расстояние R и размеры (радиусы) самих атомов (r). Для случая шара $V_R = 4\pi(R+r)^3/3$, но шары не покрывают весь объём кристалла. Объём кристалла алмаза хорошо покрывается кубиками. Для случая куба $V_c = 8(R+r)^3$. Откуда $V_c/V_R \approx 1,91$.

В случае кристалла алмаза (рис. 4), в элементарном объёме V_c под действием давления вырожденных валентных нерелятивистских электронов, захваченных в общую кулоновскую потенциальную яму (по модели рис. 3), формируется ионная решётка с межъядерным расстоянием $R \approx 0,154$ нм. Объёмом положительного иона с зарядом $4e$ можно пренебречь из-за его малости по отношению к объёму структурного элемента V_c .

Проведём вначале расчёты для случая локализации обобщенных электронов в элементарном объёме V_c (плоскостная симметрия). Однородное давление вырожденного обобщённого электронного газа, локализованного объёмным зарядом ионной решётки, на всю систему положительных ионов атомов углерода, формирующих ионную кристаллическую решётку (рис. 3, и 4) по всему кристаллу равно:

$$P_e = n_e m_e V_e^2 / 2 = h^2 m_e^{-1} \lambda_e^{-5} = 4,82 \cdot 10^{-1} \lambda_e^{-5} = A / V_c^{5/3} = B / (R+r)^5 \text{ ГПа}, \quad (1)$$

где λ_e , R , r в нм. Здесь учтена особенность фермионов, что на 1 вырожденный электрон (ферми-газа) приходится фазовая ячейка с объёмом, пропорциональным $n_e^{-1} (m_e V_e)^3$, которая ограничена $h^3/2$ (принцип Паули для частиц со спином 1/2).

Согласно соотношению (1), можно провести аналитические расчёты давления ферми-газа P_e внутри элементарной ячейки и коэффициента всестороннего сжатия $K = -V (\partial P / \partial V)$. Однако для этого нужно установить фрактальную 3D-структуру локализации 8 валентных электронов в элементарном объёме V_c .

При выборе $\lambda_e = 2(R+r) = 2 \cdot 0,154$ нм (здесь полагаем $r = 0$ и обобщённый электронный ферми-газ состоит из 2 электронов, локализованных в объёме элементарной ячейки V_c), согласно (1), коэффициент всестороннего сжатия алмаза, как квантового плазмоида с ионной кристаллической решёткой равен:

$$K = -V (\partial P / \partial V) = -(5/3) P_e \approx 288 \text{ ГПа}. \quad (2)$$

Это неплохое согласие (в пределах ошибки в 28 %) достаточно грубой аналитической модели автора (288 ГПа) и экспериментальных наблюдений [12] (400 ГПа).

Согласно выражениям (1) и (2), зная межатомное расстояние в кристаллах 4-й группы элементов, можно аналитически рассчитать коэффициенты всестороннего сжатия для кремния (результат расчёта $K \approx 85,3$ ГПа, $R+r \approx 0,21$ нм) и германия ($K \approx 67,1$ ГПа, $R+r \approx 0,22$) и сравнить расчетные результаты с экспериментальными данными, приведенными в [12], а именно, 97,8 ГПа для кремния и 75—77,5 ГПа для германия.

Из этого сравнения и сопоставления результатов мы приходим к выводу, что для алмаза ферми-газ локализован в элементарной ячейке кристалла алмаза неоднородно, занимает существенно меньший объём V_R . Большая часть валентных электронов локализована в области положительно заряженного иона C^{+4} . Мы полагали, что в границах всей элементарной ячейки устанавливаются резонансные волны де Бройля электронов. На самом деле 3D-обобществление электронов в элементарной ячейке происходит более сложно через точки кумуляции L_1 (открытые автором в кулоновских потенциалах между заряженными структурами [6]), возникающие между любыми аттракторами электронных потоков.

Аналитические расчёты по формуле (2) правильно отражают зависимость коэффициентов объёмного сжатия (и, как доказывается в данной работе, сцепления) от характерных межатомных расстояний в различных решётках (алмаза, кремния и германия).

Аналогично, зная давление вырожденного ферми-газа (см. таблицу в [1]) по формулам (1) и (2) можно провести грубые аналитические расчёты коэффициента объёмного сжатия (или кулоновского сцепления частей) для любых плазмоидов, параметры которых приведены в [1]. Для этого, согласно (2), давление вырожденного ферми-газа следует умножить на 5/3 в случае нерелятивистского газа, и на — 4/3 в случае релятивистского ферми-газа или ферми-жидкости. В качестве характерного размера в [1] приведено значение длины волны де Бройля λ_e электронов, осуществляющих кумуляцию положительно заряженной структуры, формирующей ионную (или даже ядерную или протонную для случая отрицательных мезонов) решётку. Электроны с большими длинами волн де Бройля, если они имеются в плазмоиде, как и внешний (1 — первый, рис. 1, а) электрон в молекуле водорода, практически не влияют на характерные межйонные размеры, а, значит, на силы сцепления и силы, препятствующие дальнейшему сжатию обобщённого квантового плазмоида. Внешние электроны, локализованные кулоновским потенциалом плазмоида, как и в сложной молекуле, формируют «шубу» плазмоида — потенциальный барьер для положительных ионов

и внешних электронов (подобно тому, как отрицательные мезоны формируют потенциальный барьер, рассчитанный в 1928 г. Гамовым для альфа-распада атомных ядер).

В рамках квантовой механики кумуляция объёмного заряда (или толщина «кожи») сформированного метастабильного плазмоида происходит не на радиусе Дебая, как до сих пор принято в классической физике плазмы, а на характерной длине волны де Бройля обобщённых плазмоидом электронов, ответственных за формирование в положительно заряженном плазмоиде ионной кристаллической решётки (электронная оболочка — 2, рис. 1, а). Ионы при кулоновском обжати теряют кинетическую энергию в своём поле, а электроны в их поле кинетическую энергию приобретают. Из-за такого перераспределения кинетических энергий длины волн электронов и тяжёлых ионов становятся близкими, и в итоге в плазмоиде устанавливается квазинейтральность. При этом абсолютной нейтральности в плазмоиде (в рамках квантовой механики), состоящем из различных по массе частиц, в принципе быть не может. В любом плазмоиде формируется электронная e -мембрана с толщиной порядка длины волны де Бройля электрона ферми-газа, осуществляющего эффективное сжатие всего плазмоида. Длина и ширина этой e -мембраны совпадает с характерными размерами плазмоида, сформированного в единое фрактализованное целое (рис. 1). Именно, поляризация положительно заряженного плазмоида, формирование ионной решётки и стягивающей ионы e -мембраны обеспечивают структурную квазинейтральность стабильного или метастабильного плазмоида. В рамках классической квантовой механики (Луи де Бройля), все структуры (плазмоиды), которые формируются частицами с противоположными зарядами и разными массами всегда поляризуются и самофокусируются кулоновскими силами e -мембраной, обусловленными НН. При этом для кумуляции заряженных квантовых частиц (уменьшения λ_e) в плазмоид необходимо подводить кинетическую энергию к ферми-газу, а не отводить её, как в случае обычного ньютоновского газа, состоящего из нейтральных шариков — атомов.

Плазма в установившемся плазмоиде всегда неравновесная. Внутренняя кинетическая энергия обобщенного ферми газа всего плазмоида определяет характерный размер ионной решётки плазмоида, длину волн электронов λ_e , обжимающих положительно заряженный плазмоид, концентрацию электронов, формирующих ферми-газ, степень поляризации плазмоида ($\alpha_{i1} = (n_i - n_e)/n_i$ от 0 до 1/2 в атомных ядрах и чёрных дырах) и другие геометрические и временные характеристики [1—3].

При этом для релятивистских плазмоидов (с $E_e > 0,5$ МэВ [1]) коэффициент всестороннего объёмного сжатия определяется как $K = -4/3 P_e$.

Сравнение эффектов Высикайло и Казимира

Один из коллег Казимира, а именно, Тео Овербек (Theo Overbeek), обнаружил, что теория, используемая для объяснения Ван-дер-Ваальсовых сил, развитая Фрицом Лондоном (Fritz London, 1932 г.), не может адекватно объяснить данные его экспериментов. Работая вместе с Дирком Полдером (Dirk Polder), Казимир открыл, что взаимодействие между двумя нейтральными сближающимися молекулами может быть описано, если принять во внимание флуктуации вакуума и генерацию электромагнитного излучения — света (рис. 5, а). Он спросил себя, что будет, если бы вместо двух молекул были бы два зеркала, повернутые отражающими сторонами друг к другу (рис. 5). Между зеркалами (рис. 5, а) невозможна генерация электромагнитного излучения с длинами волн, больше d . Но она возможна вне этих зеркал. Давление этих электромагнитных волн на зеркала извне и приводит к известному эффекту Казимира (рис. 5, а). Считается, что этот вопрос и привел Казимира к знаменитому предсказанию о притягивающей силе, существующей между зеркальными пластинами (рис. 5, а).

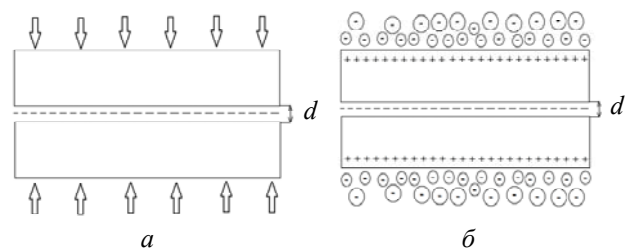


Рис. 5. Схема эффектов: а — Казимира, стрелками показаны силы сжимающие пластины; б — нано- и фемто-размерного квантового эффекта, обуславливающего притяжение металлических пластин. «+» — ионы кристаллической решётки, «-» — свободные вырожденные электроны с большими длинами волн де Бройля, квантовомеханически выдавленные из пространства между полимеризованными пластинами. Выдавленные из зазора электроны своим давлением, обусловленным их кинетической энергией, сжимают пластины с давлением $P = F/S$

В эффекте Казимира (рис. 5, а) зависимость давления сжимающего пластины из металла от размера зазора между ними обратно пропорциональна d^4 , т.е. имеем соотношение:

$$P_C = -hc\pi/(480d^4) \approx 1,31 \cdot 10^9 \text{ [Па]}/d^4 \text{ [нм]}. \quad (3)$$

Согласно соотношению (3), $P_C = -2,1 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}^2$ при $d = 0,5$ мкм. Для применения соотношения (3) к оценке возможного давления на пластины на её

характерные размеры (L, Z, d ; рис. 5, а) следует наложить условие $L, Z \gg d$. Это условие определяется длиной волны электромагнитного излучения, способного оказывать заметное давление на пластины, т. е. всем каскадом физических процессов, вызывающих динамическое притяжение пластин.

До сих пор неизвестно, возможна ли генерация электромагнитных волн с тремя узлами и двумя пучностями, что соответствует полной длине волны (2π). По этой причине эффект Казимира, если он вообще имеет место быть как генерация электромагнитного излучения вакуумом, требует дальнейших подробных теоретических и экспериментальных исследований. Видимо, эффект Казимира не существен на размерах между атомами в кристаллических решётках. Возможно, что соотношения (1) и (2) можно применять для аналитических расчётов давлений в кристаллических решётках и без учёта эффекта Казимира.

Далее детализируем это предположение в рамках общей теории плазмоидов, сформулированной в [1—3]. При сближении двух плазмоидов, согласно гипотезе де Бройля, частицы ведут себя как волны на характерных размерах их длин волн. Значит, эффекты, аналогичные эффекту Казимира, должны возникать и для электронов как квантовых сущностей (рис. 5, б). При размерах щели d меньше длин волн де Бройля, электроны, формирующие внешнюю оболочку плазмоида (рис. 1), будут из щели квантово-механически выдавливаться (перемещаться) на внешнюю сторону зеркал или плазмоидов (рис. 5, б).

Давление вытесненного электронного ферми-газа, сжимающее плоские пластины по схеме (рис. 5, а), оценим по формуле:

$$P = F/S = \rho V_e^2 / 2 = n_e m_e V_e^2 / 2.$$

Поскольку на один вырожденный электрон (на электрон ферми-газа) с длиной волны де Бройля λ_e и импульсом p_e приходится фазовая ячейка с объёмом, пропорциональным $(\lambda_e p_e)^3$, мы имеем оценку этого объема в виде выражения:

$$V_e \approx 2^{-1/2} h \lambda_e^{-1} m_e^{-1},$$

а, следовательно, давление ферми-газа на пластины равно:

$$P_V = F/S = 2^{-2/3} h^2 \lambda_e^{-5} m_e^{-1} = 3,1 \cdot 10^8 \text{ [Па]} / d^5 \text{ [в нм]}. \quad (4)$$

Из зазора между пластинами квантово-механически выдавливаются все электроны с длиной волны де Бройля λ_e , большей d . Эти электроны и обжимают пластины своим давлением P_V извне (рис. 5, б).

В случае обычных металлов кинетические энергии электронов не превышают нескольких

электрон-вольт. Поэтому зависимость давления, сжимающего металлические пластины, от размера зазора между ними обратно пропорциональна d^{-5} , т. е. несколько круче, чем в эффекте Казимира [14, 15], где давление зависит от d^{-4} .

Для релятивистских электронов соотношение (4) модифицируется в выражение:

$$P_V = 2hc/d^4 \approx 4,0 \cdot 10^{11} \text{ [Па]} / d^4 \text{ [нм]}. \quad (5)$$

Из выражений (3) и (5) видно, что силы Казимира P_C становятся ничтожно малыми по сравнению с силами вырожденного релятивистского электронного газа, сжимающего обобщённую им структуру. Но для этого электроны в структуре должны стать релятивистскими. Квантовые силы P_V , согласно (4) и (5), превосходят силы Казимира P_C на размерах менее $2 \cdot 10^{-10}$ м, т. е. до того, как ферми-газ станет релятивистским. Однако на характерных размерах порядка 10^{-9} м соотношение сил Казимира и сил динамического поверхностного натяжения, детализированного автором, остаётся открытым и требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Если учесть возможность формирования обжимающего слоя электронов с половиной длины волны (основной тон) [7—10], то это приведёт к увеличению коэффициента в формуле (4) — для давления нерелятивистского ферми-газа — в $2^5 = 32$ раза и в $2^4 = 16$ раз в (5) для релятивистского ферми-газа. Это означает, что эффект Казимира для нанометровых структур ничтожен по сравнению с поляризационным эффектом, предложенным и исследованным автором в данной работе, всюду для металлических пластин.

Обсуждение выводов

Кумулятивная квантовая механика полых нанометровых структур, предложенная в [1—3, 7—10], позволяет детализировать ряд квантово-размерных эффектов во фрактализующихся плазмоидах (с формирующимися ионными решётками). В данной работе показано, что дальнедействующие кулоновские потенциалы как «мягкие» стенки возвращают локализованные в положительном заряде плазмоиды электроны и, тем самым, содействуют самообжатию и фрактализации плазмоидов (т. е. формированию в них ионных решёток). Обжатие плазмоидов давлением периферийных электронов ферми-газа приводит к генерации как сил сцепления, так и сил, противодействующих дальнейшему сжатию любых плазмоидов.

Свойства вещества, формирующего кумулятивно-диссипативные структуры, свойства их границ и свойства абсолютного вакуума сложно от-

делить друг от друга, если, вообще, возможно. Так, в теории в эффекте Казимира допускается генерация электромагнитного излучения в абсолютном вакууме. При этом полагается, что электромагнитный квант имеет две пучности и три узла и эта структура с размером d оказывает давление на пластинки. По интерференционным картинам квант света имеет цуг более 4500 узлов и может достигать длин до 3 км. Встаёт вопрос — что подставлять в качестве d в формулу (3). При этом никаких оценок, как могут влиять сами сближающиеся реальные поляризованные квантовые объекты друг на друга, в научной литературе не приводится. *Для повышения чувствительности телескопов их радиусы делают до 6 м. Может быть, это соответствует характерному поперечному размеру кванта электромагнитного излучения?*

Нами впервые проведены сравнения двух аналогичных квантово-размерных эффектов Казимира и квантово-размерного поляризационного эффекта, открытого автором [1—3, 7—10]. Отличие эффектов заключается в том, что в первом случае привлекается электромагнитное излучение вакуума, а в предлагаемом эффекте учитывается давление реальных электронов, формирующих ферми-газ вокруг металлических пластин или поляризующихся молекул, а также их квантовых (волновых) свойств при наноразмерных зазорах между плазмоидами или квантовыми поляризованными структурами. Мы уже достоверно знаем, что электромагнитные волны излучают электроны, в том числе из атомов. Установить в прямых экспериментах, что вакуум генерирует электромагнитное излучение, очень трудно. В нанометровом диапазоне, по модели Казимира, силы сжатия пластин электромагнитным излучением не намного превосходят силы кулоновского обжатия электронами по модели, предложенной автором в данной работе. При учёте давления вырожденных электронов с полуволновой длиной волны де Бройля (основной тон) уже основным на нанометровых размерах становится эффект, исследованный автором в данной работе.

Заключение

В работе дана формулировка основ кумулятивной 3D-кристаллодинамики положительно заряженных плазмоидов, в которых локализованный ферми-газ формирует ионные решётки. Показано, что ряд явлений в таких фрактализованных плаз-

моидах могут иметь аналоги в твердых телах и металлах.

По предложенной автором квантовой кумулятивно-диссипативной модели плазмоидов обосновано формирование ферми-газом e -мембраны, стягивающей плазмоид, и аналитически исследованы следующие вопросы:

1) в рамках плоскостной симметрии рассчитаны коэффициенты объёмного сжатия кристаллов IV группы элементов, при этом полученные результаты хорошо согласуются с численными и экспериментальными данными;

2) исследованы эффект Казимира для случая электромагнитного излучения и аналогичный, открытый автором, поляризационный эффект для электронов, формирующих ферми газ; выявлены области относительного доминирования этих эффектов.

Работа поддержана грантами РФФИ № 13-07-0027; 14-07-00277 и 14-02-00517.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Vysikaylo Ph. I.* // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2012. V. 48. No. 1. P. 11.
2. *Vysikaylo Ph. I.* // Surf. Eng. Applied Electrochem. 2012. V. 48. No. 3. P. 212.
3. *Vysikaylo Ph. I.* // Surf. Eng. Applied Electrochem. 2013. V. 49. No. 3. P. 222.
4. Яковлев Д. Г. // УФН. 1994. Т. 164. № 6. С. 653.
5. Френкель Я. И. Применение теории электронного газа Паули-Ферми к вопросу о силах сцепления. Собрание избранных трудов том 2. Научные статьи. — Москва-Ленинград: Издательство Академии наук СССР, 1958. С. 109—122.
6. *Vysikaylo Ph. I.* // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2011, V. 47. No. 2. P. 139.
7. Высокыйло Ф. И. // Инженерная физика. 2013. № 3. С. 15.
8. *Vysikaylo Ph. I.* // Surf Eng Applied Electrochem. 2012. V. 48. No. 4. P. 293.
9. *Vysikaylo Ph. I.* // Surf Eng Applied. Electrochem. 2012. V. 48. No. 5. P. 395.
10. Blank V., *Vysikaylo Ph., et al.* // Phys. Status Solidi. A. 2011. V. 208. P. 105.
11. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости. — М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. .
12. Францевич И. Н., Воронов Ф. Ф., Бакута С. А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. Справочник. — Киев. Наукова думка. 1982..
13. Cohen M. L. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. P. 7988.
14. Casimir H. B. G., Polder D. // Phys. Rev. 1948. V. 73. P. 360.
15. Casimir H. B. G. // Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. 1948. V. 51. P. 793.

Cumulative physics of crystals and plasmoids

Ph. I. Vysikaylo

Moscow Radiotechnical Institute of Russian Academy of Sciences
132 Varshavskoe shosse, Moscow, 117519, Russia
E-mail: filvys@yandex.ru

Received May 18, 2015

The author has formulated the principles of 3D cumulative crystal dynamics of the positively charged plasmoids, in which the Fermi gas forms ion lattice. A number of the phenomena in such plasmoids have the analogues in solids and metals. The author analytically: 1) calculated the volumetric compression ratios of the crystals of IV Group elements; 2) studied the polarization effect discovered by the author, and the Casimir effect. The author analytically identified the areas of their relative dominance.

PACS: 03.65.-W; 03.65.-Ge; 05.30.Fk; 05.65.+B

Keywords: cumulation, plasmoid, synergetic, cumulative point, the Casimir effect, polarization quantum-size effects, ionic lattice.

REFERENCES

1. Ph. I. Vysikaylo, Surface Engineering and Applied Electrochemistry **48**, 11 (2012).
2. Ph. I. Vysikaylo, Surf. Eng. Applied Electrochem. **48**, 212 (2012).
3. Ph. I. Vysikaylo, Surf. Eng. Applied Electrochem. **49**, 222 (2012).
4. D. G. Yakovlev, Phys. Usp. **164**, 653 (1994).
5. Ya. I. Frenkel, *Selected Scientific Articles. Vol. 2.* (AN SSSR, M.-L., 1958) [in Russian].
6. Ph. I. Vysikaylo, Surface Engineering and Applied Electrochemistry **47**, 139 (2011).
7. Ph. I. Vysikaylo, Inzhenern. Fizika,, No. 3, 15 (2013).
8. Ph. I. Vysikaylo, Surf Eng Applied Electrochem. **48**, 293 (2012).
9. Ph. I. Vysikaylo, Surf Eng Applied. Electrochem. **48**, 395 (2012).
10. V. Blank and Vysikaylo, et al., Phys. Status Solidi. A. **208**, 105 (2011).
11. L. D. Landau and E. M. Lifshits, *Theoretical Physics. Vol. VII.* (Fizmatlit, Moscow, 2007) [in Russian].
12. I. N. Frantsevich, F. F. Voronov, and S. A. Bakuta, *Elastic Constants and Modulus of Elasticity of Metals and Non-metals, Handbook*, (Naukova Dumka, Kiev, 1982) [in Russian].
13. M. L. Cohen, Phys. Rev. B. **32**, 7988 (1985).
14. H. B. G. Casimir and D. Polder, Phys. Rev. **73**, 360 (1948).
15. H. B. G. Casimir, Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. **51**, 793 (1948).