«Electrolux Trilobite) и продуктов горной промышленности («Радиус», «Земля-3М», «Гранч», «СУБР-1П», «СУБР-1СВМ»).

1. А. И. Уёмов Логические основы метода моделирования, М.: Мысль, 1971. — 311 с, с.48.
2. Журнал "Горная Промышленность" №4 2004, интервью М.Н. Котровского с д.т.н. А.Н. Таракановым [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/gorobor/1378-distantionno-avtomatizirovannoe-upravlenie-mashinami> (дата обращения: 16.10.19).
3. ИНЛАБ. Ультразвуковая техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://utinlab.ru/articles/ultrazvukovaya-ustanovka-dlya-obrabotki-vodoemov/> свободный (дата обращения: 15.10.2019).
4. Информационный портал. Дефектоскоп [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.okorrozii.com/defektoskop.html>, свободный (дата обращения: 17.11.2019).
5. Каналы связи и их характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://scask.ru/a_book_p_net.php?id=5 свободный (дата обращения: 07.09.2019).
6. MARINEQ. Эхолот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://seacomm.ru/dokumentacija/5169/> свободный (дата обращения: 23.11.2019).

Лин Э.Э.

**Асимптотический метод кинетики образования объектов, проявляющих
квантовые свойства**

*Российский Федеральный Ядерный Центр
(Россия, Саров)*

doi: 10.18411/lj-05-2020-17

idsp: ljjournal-05-2020-17

Аннотация

Разработан асимптотический метод кинетики образования объектов, проявляющих квантовые свойства в различных пространственных масштабах. Метод основан на расширенной трактовке принципов неопределенности и абсолютной определенности и на представлениях о росте объектов из малых зародышей. Предложенный феноменологический подход позволяет получать адекватные оценки характеристик образования субъядерных частиц и ядер, кристаллических наночастиц и мезообъектов, астрофизических и космологических объектов. Принципы неопределенности и абсолютной определенности взаимно дополняют один другого и предсказывают образование гипотетических объектов, которые до сих пор либо не обнаружены, либо не являются широко известными и описанными в научной литературе явным (подробным) образом.

Ключевые слова: кинетика образования объектов, асимптотический метод, пространственные масштабы, квантовые свойства, неопределенность, абсолютная определенность, субъядерные частицы и ядра, кристаллические наночастицы и мезообъекты, астрофизические и космологические объекты, гипотетические объекты

Abstract

Asymptotic method for kinetics of formation of objects revealing quantum properties in diverse spatial scales was developed. The method is based on expanded interpretation of uncertainty and absolute certainty principles as well as on notions about object growth from small first samples. The proposed phenomenological approach allows us to obtain adequate evaluations of formation characteristics for subnuclear particles and nuclei, crystalline nanoparticles and mesoobjects, astrophysical and cosmological objects. Uncertainty principle and absolute certainty principle mutually complement each other and predict formation of hypothetical objects that are not widely well-known or, at least, well-described in scientific literature so far.

Keywords: kinetics of formation of objects, asymptotic method, spatial scales, quantum properties, uncertainty, absolute certainty, subnuclear particles and nuclei, crystalline nanoparticles and mesoobjects, astrophysical and cosmological objects, hypothetical objects

Введение

Традиционно физическая кинетика изучает законы протекания макроскопических процессов, которые возникают при малых отклонениях системы от состояния термодинамического равновесия. Так называемая феноменологическая кинетика рассматривает законы изменения макроскопических параметров, характеризующих состояние неравновесных систем.

Вместе с тем, при исследованиях микромира, нано- и мезоструктур, астрофизических и космологических объектов возникает ряд специфических проблем, связанных с определением пространственной границы между макро- и микромирами (макрофизикой и микрофизикой), а также с определением границ однородности распределения материи в космосе [1-6]. Существенную роль играет вопрос о границах применимости принципа неопределенности и соответствующих соотношений, описывающих динамику квантовых систем. Размеры мезоскопических объектов, поведение которых одновременно подчиняется как законам квантовой физики, так и законам макроскопической физики, могут достигать значительных величин, при которых достигается нижний предел сложности макроскопического твердого тела [1]. Например, фундаментальные соображения и оценки применимости квантовых представлений показывают, что соотношение неопределенностей «координата-импульс» может выполняться для тел с размерами порядка ста нанометров [2]. В настоящее время исследованию образования, эволюции и свойств наноструктур и материалов на их основе посвящается все большее количество работ, в которых поведение наноструктурированных объектов описывается с помощью методов молекулярной динамики, а также с помощью статистических моделей, учитывающих как термодинамический, так и кинетический аспекты рассматриваемых проблем [3, 7]. К таким проблемам относятся неполнота классического описания процессов в мезомире и в кристаллических средах и необходимость формулирования новых, в том числе и феноменологических моделей, учитывающих образование квантовых систем [2, 8]; определение закономерностей роста и консолидации наноструктур; определение размерных зависимостей фазовых переходов, в частности, установление влияния мезоскопии полиморфных превращений на синергетику мартенситных структур [9, 10].

В свете сказанного принципиально важно определить общие черты динамики роста объектов как микро-, так и мезомира. Ниже будем рассматривать кинетику образования различных по физической природе компактных объектов с сильными внутренними связями и со значительно различающимися пространственными масштабами: кластеров ядерной материи, а также наноструктурированных мезоскопических структур с ковалентными и квазиковалентными связями между атомами в кристаллической решетке. Для этих объектов характерно существование чисто квантового эффекта обменного взаимодействия [11]. Так, между нуклонами происходит обмен виртуальными мезонами, в кристаллических структурах с ковалентными связями происходит обмен электронами. Наличие эффекта обменного взаимодействия позволяет рассматривать упомянутые объекты как компактные кластеры с выраженными коллективными квантовыми свойствами. В случае ядер квантовые свойства вещества связаны с сильным взаимодействием и проявляются в наличии колебательных и вращательных оболочек. В мезокристаллах происходит возбуждение квазичастиц – фононов. Ниже приводится описание полученных результатов в отмеченном направлении исследований.

Краткий обзор полученных результатов

Сказанное выше создает предпосылку для рассмотрения кинетики образования изучаемых объектов с единой точки зрения. Будем рассматривать замкнутые стохастические системы компактных квантовых кластеров, взаимодействующих друг с другом случайным образом [12-15]. В соответствии со стандартными представлениями физической кинетики, необратимая агрегация объектов описывается с помощью понятия волны $\varphi(a, t)$ плотности распределения кластеров по размерам a , распространяющейся с течением времени t в сторону их увеличения. Поведение волнового пакета любой физической природы подчиняется вытекающему из теоремы Фурье универсальному соотношению для полуширины волнового пакета и полуширины спектральной линии $\Delta a \cdot \Delta k \geq 1/4\pi$, k – волновое число. Отсюда вытекает соотношение неопределенностей для координаты и импульса в пространстве размеров кластеров. Для квантово-механических систем, находящихся в когерентном состоянии (гармонические колебания), записанное выше произведение принимает минимальное значение, соотношение неопределенностей выполняется в виде точного равенства, а траектория процесса в фазовом пространстве является классической [16]. Это означает возможность рассмотрения сравнительно крупных объектов, размеры которых превосходят величины, соответствующие достижению нижнего предела сложности макроскопического твердого тела. Таким образом, предлагаемый феноменологический подход описывает предельную, асимптотическую стадию процесса роста кластеров.

Необходимо отметить, что предлагаемый подход ни в коей мере не может заменить собой разработанные фундаментальные методы исследований и физические модели динамики явлений микромира и мезомира (см., например, [17-22]. С другой стороны, хорошо известно, что «при взаимодействии с внешним миром физические объекты никогда не раскрывают весь свой внутренний потенциал сложности. Соответственно, неполное или даже феноменологическое описание физических явлений или физических объектов иногда лучше отвечает и сути дела, и пониманию того, что происходит» [2].

Например, при решении кинетических уравнений, как правило, вводятся подгоночные параметры, которые определяются с помощью экспериментов. При планировании же экспериментов с новыми или с мало изученными объектами возникает необходимость провести предварительные оценки конечных размерных и временных характеристик исследуемых процессов, т. е. определить зависимость между характерным размером объектов и временем их роста. В свете этого, предлагаемые качественные модели могут оказаться полезными при первом знакомстве с той или иной задачей, при проведении оценок и первичном анализе результатов экспериментов. Например, при изучении кластерной радиоактивности [23] данный метод позволяет определить спектр наиболее вероятных массовых чисел сравнительно легких нуклонных кластеров, образующихся внутри тяжелых ядер [13, 14, 24]. Метод [13-15] позволяет также оценить как среднее, так и максимальное массовые числа сверхтяжелых ядер, образующихся внутри сверхновых звезд и определить массовые числа, соответствующие «пикам» распространенности элементов в Галактике, найденным путем численных расчетов [25]. Можно получить оценки времен образования и характерного размера нейтронных звезд при сжатии сверхновых [15]. В области мезоскопии данный подход [15] справедлив и достаточно эффективен для веществ с выраженными сильными межатомными связями: углеродных наноструктур с ковалентными связями [3], а также для наноструктурированных частиц легких актиноидов с сильным сближением атомов [26]. В рамках этого подхода удастся описать имеющиеся данные по синтезу алмазов и углеродных нанотрубок, а также известные результаты по фазовой стабильности и полиморфным превращениям плутония [15].

В то же время подавляющее большинство работ по мезоскопике и нанопроблематике направлено на изучение поведения широкого спектра веществ, обладающих различными типами внутренних связей и разнообразными физико-химическими свойствами [3, 4, 10, 27, 28]. Однако, при сжатии веществ до высоких давлений расстояния между атомами значительно уменьшаются и связи становятся более сильными. В этом случае предлагаемый асимптотический метод имеет «право на жизнь». Это показано на примере определения ширины детонационной зоны в твердом взрывчатом веществе (ВВ), рассматриваемой как возбужденная квантово-механическая система, находящаяся в когерентном состоянии [29]. В качестве другого примера рассматривается «ударная» рекристаллизация алюминиевого сплава при коллективном воздействии твердых тел [15].

Одним из актуальных направлений нанонауки и нанотехнологии является создание и исследование биологических материалов, в частности, исследование физических механизмов биосинтеза белка [3, 30, 31]. В соответствии с результатами исследований общепринятая схема построения белков выглядит таким образом, что из наноцепей с пептидными C–N связями (первичные структуры) в результате скручиваний и взаимного расположения различных полипептидов в присутствии молекул нуклеиновых кислот образуется объемно-упакованная наночастица, представляющая собой аperiодический кристалл. Вместе с тем в [31] отмечена возможность того, «что приведенная схема не исчерпывает всех путей биосинтеза белков». В свете этого необходимо отметить квантовую природу биофизических процессов, благодаря которой «главные особенности физического поведения макромолекул определяются поворотной изомерией», поскольку вещество рассматривается как динамическая смесь молекул аминокислот [30]. Поскольку за время поворота порядка 10^{-10} с происходят сотни и тысячи колебаний с частотами порядка $10^{12} - 10^{13}$ 1/с [30], приводящих к образованию связей между молекулами, то в результате колебательно-вращательных взаимодействий может осуществляться объемная поликонденсация молекул аминокислот. Затравочными центрами поликонденсации могут являться молекулы нуклеиновых кислот, около которых группируются молекулы аминокислот в определенном порядке, задаваемым предпочтительным образованием в объеме системы C–N-связей, как наиболее коротких и прочных по сравнению со связями C–C и C–O. (Длина связи C–N равна $r = 0,1339$ нм, для C–C $r = 0,145$ нм, для C–O $r = 0,1426$ нм [32]). В данной работе, на основе предложенного асимптотического метода исследования кинетики образования объектов с квантовыми свойствами, рассматривается схема прямого синтеза объемных белковых наночастиц в системе, предварительно состоящей из молекул аминокислот с добавками нуклеиновых кислот. Образование белковых наночастиц без стадии формирования полипептидных наноцепей представляется возможным благодаря фоновым возбуждениям молекул во всем объеме системы.

Одной из проблем космологии является определение пространственных границ, соответствующих однородности и изотропности Вселенной, т.е. так называемому Космологическому принципу [4-6, 33]. Последнее означает, что из-за недостаточно большого времени действия гравитации возмущения распределения материи на ранних стадиях формирования космологических структур не влияют на среднюю величину плотности вещества в современном космосе, а «сильные неоднородности и пустоты заканчиваются на некотором большом, хотя до сих пор и неизвестном расстоянии» [33]. Другая проблема состоит в том, является ли космос бесконечным или конечным (замкнутым) и где граница замкнутого космического пространства [5, 33]?

В соответствии с представлениями [6] о крупномасштабной структуре Вселенной, как о неоднородном распределении материи, возникающем из растущих адиабатических возмущений плотности, различаются развитая нелинейная структура в масштабах менее 10 мегапарсек (Мпк) (гало галактик, группы и скопления) и более

регулярное квазилинейное распределение вещества в масштабах до сотен Мпк – сверхскопления и космологические «пустоты». Отмечается, что в современную эпоху еще продолжается неразрушенное квазихаббловское течение материи, которое уже искажено квантово-гравитационными неустойчивостями. В работе [34] предпринята попытка качественного рассмотрения упомянутых проблем. С этой целью предлагается расширенная трактовка принципа неопределенности в космических масштабах в сочетании с представлениями о росте объектов из малых зародышей. Это позволяет, в приближении сферической симметрии евклидовой геометрии, получить асимптотические зависимости характерных размеров астрофизических и космологических объектов от времени. В качестве таких объектов рассматриваются шаровые звездные скопления, сверхскопления галактик и собственно Вселенная. Постулируется существование групп взаимодействующих вселенных, рассматривается вопрос о размере космической сферы, содержащей в себе множество таких групп. Предложенный феноменологический подход, основанный на сочетании принципа неопределенности в космических масштабах и Космологического принципа, дает возможность адекватного определения границ однородности распределения материи в космосе.

Разработанный феноменологический подход основан на уравнении Фоккера-Планка [35], переписанного для пространства размеров кластеров [12, 15]. Разработана асимптотическая модель образования кластеров ядерной материи, в которой в качестве зародышей рассматриваются альфа-частицы, тритоны и дейтроны [13, 14]. Это позволило априори рассчитать массовые числа стабильных ядер (изотопов) во всем диапазоне, включая трансфермиевые элементы, а также предсказать массовое число «конечного» ядра. В «едином ключе» описаны процессы образования и роста наноалмазов в детонационной волне в твердом ВВ, ударно-индуцированной коалесценции наноалмазов, а также синтеза алмазов при умеренных температурах традиционных методов статического и динамического синтеза из различных твердых форм углерода [36]. Предложена модель образования и роста алмазных частиц при экстремально высоких температурах, достигаемых в процессах кавитации [37]. На основе асимптотического метода исследования кинетики образования объектов с квантовыми свойствами, рассматривается схема прямого образования объемных белковых наночастиц в системе, предварительно состоящей из молекул аминокислот [38]. Предложенная модель формально дает расчетные размеры биологических нанообъектов, которые оказались соответствующими характерным размерам известных белков. Кроме того, модель дает мезоскопический диапазон размеров, охватывающий характерные размеры клеток и простейших организмов (архей).

Применение принципа абсолютной определенности [39] позволило расширить представления о кинетике образования объектов, проявляющих квантовые свойства [40, 41]. Рассмотрены гипотетические объекты, которые до сих пор либо не обнаружены, либо не являются широко известными и не описаны в научной литературе явным (подробным) образом: а) гигантские ядра с предполагаемым видом внутриядерного взаимодействия, аналогичным сильному взаимодействию; б) квазикристаллические биологические наночастицы и мезообъекты, а также объекты на основе кремнийорганических соединений. Ниже приводятся некоторые примеры и уточненные результаты применения принципов неопределенности и абсолютной определенности в задачах кинетики образования объектов.

Проявления принципов неопределенности и абсолютной определенности в кинетике образования объектов

Соотношение неопределенностей «координата – импульс» в пространстве размеров объектов a записывается как:

$$\Delta a \cdot \Delta p \cong \frac{\hbar}{2}. \quad (1)$$

Здесь $\Delta p \sim p = m\Delta a/\Delta t$ – неопределенность импульса, $m = \alpha\rho a^3 \cong m_0(a/a_0)^3$ – масса объекта, α – геометрический фактор (для куба $\alpha=1$, для шара $\alpha=\pi/6$), ρ – плотность вещества объекта, m_0, a_0 – масса и размер зародыша, $\hbar$ – приведенная постоянная Планка. Неопределенность импульса по порядку величины равна самому импульсу, т. е. взаимодействие объектов либо имеет место, либо его нет. Физический смысл соотношения (1) заключается в том, что в течение промежутка времени $\Delta t = t_i$ элементарного (единичного) акта взаимодействия объектов точный размер кластера не может быть определен до тех пор, пока это взаимодействие не завершится либо захватом одного объекта другим, либо их частичным или полным разрушением, либо упругим рассеянием. Это связано с тем, что до окончания рассматриваемого элементарного акта невозможно определить, к какому из объектов относится каждый из их взаимодействующих поверхностных элементов. На основе закона сохранения массы в элементарном акте взаимодействия и соотношения (1) можно получить следующее выражение для максимального размера объектов в формате принципа неопределенности [40]:

$$a_{\max}^{un} \approx \frac{2m_0a_0^3}{9\hbar\Delta t_{\min}}. \quad (2)$$

На основе представлений [2] о динамике квантовых систем и в свете идеи [39] об абсолютной определенности можно записать следующее соотношение для координаты и импульса в пространстве размеров объектов [40]:

$$a \cdot m \frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{\hbar}{2}. \quad (3)$$

Физический смысл этого соотношения заключается в том, что в каждый момент времени рассматриваемый объект строго локализован в пространстве размеров. Решая дифференциальное соотношение (3) при нулевом начальном условии, получаем для объектов с плотностью вещества ρ следующий закон роста:

$$a = \left(\frac{5\hbar t}{2\alpha\rho} \right)^{1/5}. \quad (4)$$

Данная формула описывает кинетику процессов, протекающих в сплошной среде из той или иной субстанции. На основе закона сохранения массы в элементарном акте взаимодействия и соотношения (3) можно получить следующее (исправленное по сравнению с [40, 41]) выражение для максимального размера объектов:

$$a_{\max}^{ac} \approx \left(\frac{3\hbar t_i^{\max}}{2m_0} \right)^{1/2} = \hbar \left(\frac{3}{2m_0 E_{\min}} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Здесь учтено, что $t = \hbar/E$. На основе законов роста объектов в формате принципа неопределенности [40] можно оценить величину фундаментальной массы в микромире m_{fund} , если в соответствии с представлениями [42], принять, что наименьшей пространственной единицей (фундаментальной длиной) является величина $a_{fund} \approx 10^{-18}$ м, и что этой величине соответствует масштаб времени $t_{un} = a_{fund}/c$. В [40] приведено следующее выражение для фундаментальной массы:

$$m_{fund} = \frac{\hbar}{ca_{fund}}. \quad (6)$$

Отсюда получаем, что $m_{fund}c^2 = \hbar c/a_{fund} = 196$ ГэВ. Полученная величина приблизительно соответствует величине массы частицы темной материи, определенной в работе [43] на основе данных астрофизических наблюдений и равной 192 ГэВ.

Отметим, что выражение (6) однозначно связано с определением комптоновской длины волны материальной частицы $\lambda = h/mc$, а приведенная выше величина фундаментальной длины адекватна общепринятым представлениям. Вместе с тем, вышеуказанная величина фундаментальной массы получена вне обычных подходов и стандартных моделей [2]. Можно отметить также, что полученная величина m_{fund} приблизительно соответствует верхней границе теоретических значений массы бозона Хиггса 170 ГэВ [44].

Из выражения (5) в случае зародышей – u- и d- кварков в состоянии конфайнмента, когда их масса равна 330 МэВ [45], а $t_i^{max} = 10^{-23}$ с – масштаб времени сильного взаимодействия, получаем, что характерный размер (диаметр) адрона приблизительно равен $a_{hadr}^{max} \approx 1,64 \times 10^{-15}$ м. Отсюда характерный радиус адрона равен $r_{hadr}^{max} \approx 0,82 \times 10^{-15}$ м. Эта величина неплохо соответствует известной величине зарядового радиуса протона $r_{pr} \approx 0,86 \times 10^{-15}$ м [45]. Физический смысл данного результата заключается в том, что исходя из массы «точечного» зародыша (кварка) мы получаем пространственную характеристику адрона.

Приведенные примеры дополняют представления [46] о проявлении неопределенности и определенности в мире элементарных частиц.

В области нано- и мезоскопии принцип неопределенности охватывает весь спектр процессов образования объектов, описанных в [3, 4, 47-49]. При этом рассматриваются два типа объектов: 1) кластеры, решетка которых образована атомами одного вида, колеблющимися как гармонические осцилляторы с характеристическими частотами $\sim 10^{12} - 10^{14}$ 1/с («атомные» нанокристаллы); 2) кластеры, образованные макромолекулами, проявляющими как колебательную природу внутренних движений с указанными частотами, так и вращательную изомерию с частотами $\sim 10^{10} - 10^{11}$ 1/с («молекулярные» нанокристаллы). Возникает вопрос о влиянии коллективных квантовых свойств структур на процессы их образования и роста и на величины их характеристических размеров. В качестве объектов первого типа целесообразно рассмотреть кристаллы с ковалентными углеродными связями C–C – наноалмазы, характеризующиеся выраженными фононными эффектами, связанными с обменным взаимодействием атомов. В качестве объектов второго типа целесообразно рассмотреть белковые частицы, состоящие из молекул аминокислот, поскольку последние характеризуются сильными связями типа C–C, C–N и C–O, дающими высокочастотную колебательную составляющую внутренних движений, а также вращательной изомерией и низкочастотной компонентой спин-решеточной релаксации, создающей конформационные движения с характерными временами $\tau = 10^{-10} - 10^{-7}$ с.

В целом, описанный в [38, 40] механизм образования макроскопических частиц алмаза из наноалмазов охватывает все имеющиеся данные о размерах, касающиеся как искусственных алмазов, получаемых при статическом и динамическом синтезе, так и естественных (природных) алмазов.

В [40] рассмотрена возможность образования биологических наночастиц в результате колебательно-вращательных взаимодействий молекул аминокислот, когда может осуществляться их объемная поликонденсация. Исходя из характерных размеров и масс зародышей – молекул аминокислот глицина, аланина, валина и триптофана определены следующие окрестности наиболее вероятных размеров и «магические» размеры, соответствующие белкам [3, 4, 49]: (1,4–1,7); (2,2–2,5); (2,7–2,9–3); (4–4,6–4,7); (5–5,5–5,6); (6–6,7–7); (8–8,5); 9; 10; 11; 12; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23 нм. Расчеты максимальных размеров мезообъектов из перечисленных выше зародышей дали величины 0,63; 1,1; 2,1 и 7 мкм, соответствующие лизосомам, митохондриям, эритроцитам, тромбоцитам, малым лимфоцитам. Полученные расчетные результаты свидетельствуют также о том, что при «мгновенном» возбуждении биологической

системы, например, при поглощении энергии излучений различной природы, в ней могут происходить значительное увеличение размеров наночастиц и мезообъектов и образование липопротеинов низкой плотности и лейкоцитов. Данное обстоятельство не противоречит известным медицинским фактам образования мутаций, опухолей, а также развития атеросклероза и лейкоза под действием проникающих в организм излучений.

В случае сплошных белковых нановолокон (линейная наноструктура) можно получить следующие выражения для определения характерных величин толщины d и длины l объектов [40]:

$$d = a_0 \left(\frac{2m_0 a_0^2}{\hbar t_i} \right)^{1/4}, \quad (7)$$

$$\langle l \rangle = \left(\frac{\hbar}{m_0} t \right)^{1/2}. \quad (8)$$

При характерном параметре $t_i \equiv t_R = 2\pi\hbar b / k_B \sqrt{2\theta_R T}$ [50], соответствующем вращательной изомерии молекул (k_B – постоянная Больцмана, b – число кристаллообразующих связей, θ_R – характеристическая вращательная температура связи ($\approx 2,6$ К), T – температура окружающей среды) получаем из формулы (7), что для зародышей – глицина (наименьшая аминокислота $m_0 = 1,25 \cdot 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,42$ нм [3]) и триптофана (наибольшая аминокислота $m_0 = 3,4 \cdot 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,67$ нм [3]) при $T \approx 310$ К диаметры нановолокон равны 1,27 и 2,35 нм. Эти величины приблизительно соответствуют толщинам белков коллагена (~ 1 нм [3]) и миозина (2,5 нм [51]). Если же предположить, что для формирования толщины нановолокна достаточно колебания одной «крайней» связи наиболее длинной молекулы зародыша – триптофана и $t_i \approx 3 \times 10^{-14}$ с [41], то из формулы (7) получаем $d \approx 11,6$ нм. Это приблизительно соответствует толщине сплошной нейрофибриллы человека – нейрофиламента, приблизительно равной 10 нм [52]. Расчет по формуле (8) показывает, что для образования нейрофиламента длиной около 300 нм требуется время около 100 мкс.

Таким образом, полученные результаты, вытекающие из соотношения неопределенности «координата–импульс» в пространстве размеров объектов, указывают на возможность случайного образования в системе молекул аминокислот квазикристаллических наночастиц и мезообъектов, соответствующих по размерам жизненно важным белкам и клеткам. Эти «неправильные» (мутационные) объекты могут вырастать на тех или иных центрах кристаллизации без образования полипептидных связей, т.е. без формирования «правильного» биологического кода. При этом возможно образование и рост подобных наночастиц и мезообъектов на фрагментах разрушенных белков и клеток как на центрах кристаллизации. Всё это находится в соответствии с общеизвестными представлениями о мутациях биологических структур на молекулярном уровне.

Что касается общеизвестных представлений о возможности происхождения жизни на Земле после занесения на неё аминокислот из космоса, то в [38, 40] в формате принципа неопределенности показано, что из обломков аминокислот, образовавшихся при ударах метеоритов о земную поверхность, могут образоваться объекты с размерами от 30–45 нм (рибосомы, внутри которых происходит биосинтез белков) до 0,4 мкм (простейшие организмы – наноархеоты).

Применительно к процессам космического масштаба отметим, что принцип неопределенности [34] предопределяет наблюдаемое в современную эпоху ускоренное расширение Вселенной, описываемое космологической моделью де Ситтера и законом Хаббла [5]. При этом оцененный радиус космической сферы $R_c \approx 4,5 \cdot 10^{27}$ м, включающей в себя множество независимых друг от друга групп вселенных, которые

взаимодействуют между собой внутри каждой группы в пределах «световой» сферы с радиусом $R_{light} \cong 1,323 \cdot 10^{26}$ м, неплохо соответствует космическому радиусу $R_{CB} \cong 5,89 \cdot 10^{27}$ м, определённого в [53] на основе соотношений между физическими константами. Существование множества взаимодействующих между собой вселенных не противоречит положению о существовании совокупности образов «уникального экземпляра» [53].

Можно попытаться оценить диапазон размеров астрофизических и космологических объектов на основе принципа абсолютной определенности. В случае взрыва сверхновых вместо постоянной Планка следует использовать определенную в [15, 40] феноменологическую константу действия в «мире» коллапсирующих звезд, равную $K_G = M_{Ch}^2 G_N / c = 1,72 \cdot 10^{42}$ Дж $\times$ с (G_N – гравитационная постоянная, M_{Ch} – критическая масса Чандрасекхара, начиная с которой происходит коллапсирование звезды). Формула (5) для максимального размера переписывается следующим образом (исправлено по отношению к [40, 41]):

$$a_{\max}^{astr} = K_G \left(\frac{3}{2m_0 E_{\min}} \right)^{1/2}. \quad (9)$$

Минимальная величина уносимой энергии при взрывах сверхновых равна $E_{\min} = 10^{41}$ Дж [54]. В качестве массы зародыша формально примем критическую массу Чандрасекхара $m_0 = M_{Ch} \cong 1,4 M_{Sol}$ [55]. Тогда из формулы (9) получаем, что $a_{\max}^{astr} \cong 4 \times 10^6$ м, что по порядку величины соответствует характерным размерам белых карликов [55].

Для определения максимально возможного космологического размера в соответствующую формулу $a_{\max}^{ac} = (3K_c t_i^{\max} / 2m_0)^{1/2}$ следует подставить предельную величину космологической константы действия, определенной в [34] как $K_c^{\lim} = M_c^2 G_N / c$. Здесь $M_c = m_p N_b (\rho_c / \rho) \cong 5,5 \cdot 10^{54}$ кг – космическая масса, определяемая как произведение барионной массы на отношение критической плотности к плотности барионов, m_p – масса протона, $N_b \approx 10^{80}$ – число барионов во Вселенной [2]. Величину M_c примем в качестве массы зародыша. Тогда при $\Delta t_{\max} = a/c$ получаем следующую формулу для «новой» феноменологической константы, определяющей величину максимального космологического размера $a_{\max}^c$ в формате принципа абсолютной определенности (исправлено по отношению к [40, 41]):

$$a_{\max}^c = \frac{3M_c G_N}{2c^2} \cong 6 \times 10^{27} \text{ м}. \quad (10)$$

Эта величина по порядку величины соответствует диаметру космической сферы 9×10^{27} м, определенному в [34] в формате принципа неопределенности. Отметим, что данные объекты не рассматриваются космологическими стандартными моделями [5, 6].

В плане развития представленных результатов можно попытаться рассмотреть возможность образования объектов, которые до сих пор либо не обнаружены, либо не являются широко известными и не описаны в научной литературе явным (подробным) образом.

В микромире в формате принципа неопределенности таким объектом может быть конечный нуклид с массовым числом вблизи $A_{end} \cong 470$ [13]. В формате принципа абсолютной определенности из выражения (5) получаем, что в случае зародышей – альфа-частиц и при $\Delta t_{\max} = 10^{-15}$ с (время жизни промежуточного составного ядра [45]) максимальный размер ядра приблизительно равен $a_{\max}^{ac} \approx 4,8 \times 10^{-12}$ м. Полученная оценка размера гипотетического гигантского ядра более, чем в тысячу раз превышает пространственный масштаб $\sim 10^{-15}$ м сильного взаимодействия между нуклонами в обычных ядрах. Из-за кулоновского отталкивания протонов ядерные силы не в

состоянии удерживать компактно столь большую систему, состоящую из протонов и нейтронов, связанных только сильным взаимодействием. Отметим, что рассчитанный размер ядра по порядку величины соответствует комптоновской длине волны мюонного нейтрино/антинейтрино с массой покоя $m_{\nu_\mu} = 0,19$ МэВ [45]: $\lambda = \hbar/cm_{\nu_\mu} = 1,05 \times 10^{-12}$ м. Правоммерно предположить, что внутри такого ядра под действием мюонного антинейтрино происходит известная реакция [45] распада протона на нейтрон и положительно заряженный мюон:

Такая реакция предопределяет образование «нейтронных» ядер в областях вещества, богатых мюонными антинейтрино. Последние являются частицами, «склеивающими» гигантские ядра изнутри аналогично тому, как это делают пионы в «обычных» ядрах [45]. По-видимому, такие гипотетические ядра могут находиться вблизи поверхностей нейтронных звезд (в коре или в жидкой области), где расположены тяжелые ядра [45, 55].

Упомянутая аналогия мюонных антинейтрино с пионами, осуществляющими сильное взаимодействие между нуклонами в ядрах [21], позволяет поставить вопрос о том, не являются ли мюонные антинейтрино переносчиками некоего вида взаимодействия между нуклонами внутри гигантских ядер, аналогичного сильному взаимодействию? В таблице проведено сравнение характеристик этих двух видов взаимодействия. Можно видеть, что юкавские потенциалы внутри рассматриваемых ядер сравнимы по порядку величины. Это и делает возможным существование гипотетических гигантских ядер.

Таблица характеристик взаимодействий между нуклонами внутри ядер (исправлено по отношению к [40, 41])

Ядра	«Обычные»	Гигантские
Вид взаимодействия	Сильное	Предполагаемое
Переносчики	Пионы	Мюонные антинейтрино
Масса покоя m_r , МэВ	139,57	0,19
Комптоновская длина волны λ , м $\lambda = \hbar/m_r c$	$1,46 \times 10^{-15}$	$1,05 \times 10^{-12}$
Радиус ядра R , м	$\sim 10^{-14}$	$2,4 \times 10^{-12}$
Юкавский множитель, 1/м $U_{nuc} \sim \frac{e^{-R/\lambda}}{R}$	$\sim 10^{11}$	$\approx 4 \times 10^{10}$

В нанопроблематике и мезоскопике можно выделить проблему поиска новых, неизвестных или мало известных биологических наночастиц и мезообъектов. В формате принципа абсолютной определенности из уравнения (4) при средней плотности аминокислот $\rho = 1,3 \times 10^3$ кг/м³ [3] получаем, что за времена от одного миллиона лет (условный промежуток времени после удара о земную поверхность крупного космического тела, принесшего на себе аминокислоты) до приблизительно 5 миллиардов лет (возраст Земли [56]) могут вырасти мезообъекты с размерами от ≈ 30 мкм до ≈ 140 мкм. Это могут быть кристаллические скелеты микроорганизмов (бактерий), образовавшихся в труднодоступных местах (ледники, пещеры, потухшие вулканы, глубоководье и т.п.).

Ближние размеры могут иметь кремнийорганические мезообъекты с $\rho = 0,93 \times 10^3$ кг/м³, основу которых составляет силоксановый скелет – цепь

чередующихся атомов Si и O [57]. Элементарный участок такой полимерной цепи каучука состоит из двух соседних атомов Si и присоединенных к ним атомов C, H, O. Замещение некоторых атомов H атомами N, P, S, Fe и т.д. приводит к аналогии с биологическими полипептидными наноцепями [3]. Такая аналогия расширяет круг вопросов изучения жизни как наномасштабного феномена [49].

На основе данных об атомном радиусах и длинах межатомных связей [32] можно оценить размер зародыша каучукового полимера как $a_0 \cong 0,4$ нм. Исходя из упомянутой величины средней плотности кремнийорганических соединений определим массу наименьшего зародыша сферической формы как $m_0 \cong (\pi/6)\rho a_0^3 \cong 3,09 \times 10^{-26}$ кг. Тогда в формате принципа неопределенности по формуле (2) получаем, что характерный размер глобулярного кремнийорганического нанокристалла равен 60 нм [40]. Этот размер по масштабу величины соответствует размерам биологических аналогов – рибосом [3]. Если же, по аналогии с трансляционной симметрией кристаллов, в качестве размера зародыша принять величину $a_{trans} = 2a_0 \cong 0,8$ нм, то оцениваемый характерный размер составляет около 4 мкм [40]. Этот размер по масштабу величины соответствует размерам биологических мезообъектов [3] и простейших микроорганизмов – архей [58]. Рассчитанные размеры могут заметно увеличиться, если произвести замещение части атомов H значительно более тяжелыми атомами, содержащимися в обычных биологических организмах. Вопрос о существовании таких гипотетических структур, содержащих кремний, остается открытым и может быть прояснен в результате поисков этих структур в местах произрастания каучуковых деревьев.

Описанные выше результаты дополняют общеизвестные представления об асимптотике процессов образования и роста объектов, различных по физико-химической природе и пространственным масштабам.

Заключение

Разработан асимптотический метод кинетики образования объектов, проявляющих квантовые свойства в различных пространственных масштабах. Метод основан на расширенной трактовке принципов неопределенности и абсолютной определенности и на представлениях о росте объектов из малых зародышей.

Предложенный феноменологический подход позволяет получать адекватные оценки характеристик образования субъядерных частиц и ядер, кристаллических наночастиц и мезообъектов, астрофизических и космологических объектов.

Принципы неопределенности и абсолютной определенности взаимно дополняют один другого при исследовании кинетики образования объектов и позволяют рассмотреть возможность образования гипотетических объектов, которые до сих пор либо не обнаружены, либо не являются широко известными и описанными в научной литературе явным (подробным) образом.

1. Фон Оппен Г. Объекты и их окружение // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 6. С. 661-670.
2. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация // Успехи физических наук. 1994. Т. 164. № 5. С. 449-530.
3. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнология. - Москва: Техносфера, 2007. 376 с.
4. Суздальев И.П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. - М.: КомКнига, 2006. 592 с.
5. Р. Пенроуз. Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. Москва – Ижевск, 2007.
6. В.Н. Лукаш, Е.В. Михеева, А.М. Малиновский. Образование крупномасштабной структуры Вселенной // Успехи физических наук. 2011. Т. 181. № 10. С. 1017-1040.
7. Псахье С.Г., Зольников К.П., Дмитриев А.И., Руденский Г.Е., Железняков А.В., Меньшикова Т.В. Влияние кристаллической ориентации на поведение незамкнутых наноструктур. Моделирование методом молекулярной динамики // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11. № 6. С. 21-24.
8. Слядников Е.Е. Двухуровневая квантовая система в деформированном кристалле // Физическая мезомеханика. 2003. Т. 6. № 3. С. 23-28.

9. Малыгин Г.А. Размытые мартенситные переходы и пластичность кристаллов с эффектом памяти формы // Успехи физических наук. 2001. Т. 171. № 2. С. 187-212.
10. Малыгин Г.А. Наноразмерные эффекты при мартенситных превращениях в сплавах с памятью формы // Физика твердого тела. 2008. Т. 50. Вып. 8. С. 1480-1485.
11. Киржниц Д.А., Герштейн С.С. Обменное взаимодействие / Физическая энциклопедия Т. 3. М.: «Большая Российская энциклопедия», 1992. С. 371-372.
12. Лин Э.Э. Качественные диффузионные модели взрывного образования кластеров с квантовыми свойствами // В сборнике «Фракталы в прикладной физике» / Под общей ред. А.Е. Дубинова. ВНИИЭФ, Арзамас-16, 1995. С. 20-46.
13. Лин Э.Э. Расчеты массовых чисел кластеров-нуклидов на основе асимптотической модели // Известия РАН. Серия физическая. 2012. Т. 76. № 12. С. 982-985.
14. Lin E.E. Cluster Model of Formation of Subnuclear and Subatomic Objects // Journal of Modern Physics. 2014. Vol. 5. No. 2. Pp. 107-111.
15. Lin E.E. Asymptotic Models for Studying Kinetics of Formation of Compact Objects with Strong Internal Bonds // World Journal of Mechanics. 2014. Vol. 4. No. 6. Pp. 170-196.
16. Манько В.И. Когерентное состояние // Физическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1990. Т. 2. С. 392-394.
17. Наждаков Е.Г. Модели динамических симметрий ядра // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 1990. Т. 21. Вып. 2. С. 467-536.
18. Wagner P. and Zhong Y.M. Cluster formation in disordered systems and nuclear fragmentation // Nuclear Physics A. 1995. V. A592. No. 3. Pp. 385-412.
19. Кляцкин В.И. Динамика стохастических систем: Курс лекций. – М.: Физматлит, 2003. 240 с.
20. Hellen E.K. and Alava M.J. Persistence in cluster-cluster aggregation // Phys. Rev. E. 2002. Volume 66. Pp. 026120-1 – 026120-9.
21. Bording J.K. and Taft J. Molecular-dynamics simulation of growth of nanocrystals in an amorphous matrix // Phys. Rev. B. 2000. Volume 62. Number 12. Pp. 8098-8103.
22. Смирнов Б.М. Кластеры и фазовые переходы // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. № 4. С. 369-373.
23. Замятин Ю.С., Михеев В.Л., Третьякова С.П., Фурман В.И., Кадменский С.Г., Чувильский Ю.М. Кластерная радиоактивность – достижения и перспективы. Эксперимент и теория // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 1990. Т. 21. Вып. 2. С. 537-594.
24. Лин Э.Э. Асимптотическая модель образования кластеров ядерной материи // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Научно-исследовательское издание. – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2013. Вып. 18. С. 30-37.
25. Панов И. В., Тилеманн Ф.-К. Проблема деления и г-процесс: конкуренция между вынужденным и запаздывающим делением // Письма в астрономический журнал. 2004. Т. 30. № 9. С. 711-720.
26. Хеккер З. С. Плутоний – от атомов к микроструктуре // В книге «Плутоний. Фундаментальные проблемы» / Пер. с англ. под ред. Б.А. Надыкто и Л.Ф. Тимофеевой. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2003 г. Т. 2. С. 292-337. (Hecker S.S. in Challenges in Plutonium Science // Los Alamos Science. 2000. No. 26. P. 290).
27. Уильямс Л., Адамс У. Нанотехнологии без тайн. М.: Эксмо, 2009. 368 с.
28. Альтман Ю. Военные нанотехнологии. М.: Техносфера, 2008. 421 с.
29. Лин Э.Э. Определение ширины детонационной зоны на основе принципа неопределенности // Письма в журнал технической физики. 2011. Том 37. Вып. 10. С. 9-12.
30. Волькенштейн М. В.. Молекулярная биофизика. М.: «Наука», 1975. 616 с.
31. Збарский И.Б. Биосинтез белков // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1970. Т. 3. С. 322.
32. Краткий справочник физико-химических величин. / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. 232 с.
33. П. Теерикорпи и др. Эволюция Вселенной и происхождение жизни. Эксмо, Москва, 2010. 624 с.
34. Lin E.E. On Boundaries of Cosmos // World Journal of Mechanics. 2015. Vol. 5. No. 1. Pp. 1-6.
35. Дмитриев В.П. Стохастическая механика. М.: Высшая школа, 1990. 35с.
36. Лин Э.Э. О кластерном механизме образования алмазов из различных твердых форм углерода // ФТТ. 2000. Т. 42. В. 10. С. 1893-1898.
37. Лин Э.Э. О кластерном механизме синтеза алмаза в экстремальных условиях кавитации // Письма в журнал технической физики. 2011. Т. 37. Вып. 13. С. 9-13.
38. Lin E. E. Kinetics of Formation of Objects Revealing Quantum Properties. Scientific Research Publishing, Inc., 2016.
39. Auffray J.-P. Quantum Meteorites: An Extemporaneous Description of the System of the World // Journal of Modern Physics. 2015. Vol. 6. No. 8. Pp. 878-889.
40. Лин Э.Э. Асимптотическая кинетика образования объектов с квантовыми свойствами. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2019.

41. Лин Э.Э. Примеры применения принципов неопределенности и абсолютной определенности в задачах кинетики образования объектов // Проблемы и вопросы современной науки. № 2(3). Часть 2. С. 39-48. НИЦ МОАН, 2019.
42. Гинзбург В.Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными ? // Успехи физических наук. 1999. Т. 169. № 4. С. 419-441.
43. Matson, L. On Dark Matter Identification // World Journal of Mechanics. 2017. Vol. 7. Number 1. Pp. 133-141.
44. Elsayed A., Khalil S. and Moretti S., "Higgs Mass Corrections in the SUSY B-L Model with Inverse Seesaw," Physics Letters B, Vol. 715, No. 1-3, 2012, pp. 208-213.
45. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра – М.: Изд-во ЛКИ, 2007.
46. Perl M.L. Certainty and Uncertainty in the Practice of Science: Electrons, Muons, and Taus. SLAC-PUB-8010-REV, 1999.
47. Уильямс Л., Адамс У. Нанотехнологии без тайн. Путеводитель. М.: Эксмо, 2009.
48. Shenderova, O.A., Zhinov, V.V. and Brunner, D.W. Carbon Nanostructures. Critical Reviews in Solid State and Material Sciences. 2002. 27(3), 227-356.
49. Mann, S. () Life as a Nanoscale Phenomenon. Angew. Chem. Int. Ed. 2008. 47, 5306-5320.
50. Цянь Сюэ-сень. Физическая механика. М.: Наука, 1965.
51. Шпикитер В. О. Миозин // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1974. Т. 16. С. 901-902.
52. Костюк П. Г. Нейрофибриллы // БСЭ. М.: «Советская энциклопедия», 1974. Т. 17. С. 1244.
53. Бартини Р.О. Некоторые соотношения между физическими константами // ДАН СССР. 1965. Т. 163. №4. С. 861-864. [Bartini, R.O. Relations between Physical Constants/ / Progress in Physics. 2005. Vol. 3. Pp. 34-40.]
54. Утробин В.П. Сверхновые звезды // Физическая энциклопедия. Том 4. / Под ред. А.М. Прохорова, М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. С. 433-435.
55. Ю.Э. Любарский, Р.А. Сюняев. Астрономия и астрофизика // Физические величины. Справочник. Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 1197-1229.
56. Козенко А.В. Земля // Физическая энциклопедия. Т. 2. / Под ред. А.М. Прохорова. "Большая Российская Энциклопедия", М. (1990). С. 78.
57. Аснович Э. З., Петрашко А. И. Кремнийорганические соединения // Физический энциклопедический словарь. М. 1962. Том второй. С. 513-517.
58. Krieg Noel Bergey's Manual of Systematic Bacteriology – US: Springer, 2005. P. 21-6.

Тукмаков Д.А.

Численное моделирование отражения ударной волны в аэрозоле с однородной и многофракционной дисперсной компонентой

*Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской Академии наук
(Россия, Казань)*

doi: 10.18411/lj-05-2020-18

idsp: ljjournal-05-2020-18

Аннотация

В работе представлена математическая модель динамики гетерогенной среды аэрозоля. Описаны математические модели динамики аэрозоля с однофракционной дисперсной фазой и дисперсной фазой состоящей из множества фракций. Математическая модель динамики неоднородной среды представляет собой краевую задачу Коши для нелинейной системы уравнений в частных производных. С помощью математических моделей исследовалось отражение ударной волны в аэрозоле.

Ключевые слова: численное моделирование, полидисперсные аэрозоли, краевая задача Коши, конечно-разностная схема, отражение ударных волн

Abstract

A mathematical model of the dynamics of a heterogeneous aerosol medium is presented. Mathematical models of aerosol dynamics with a single-fraction dispersed phase and a dispersed phase consisting of many fractions are described. The mathematical model of the dynamics of an inhomogeneous medium is a Cauchy boundary value problem for a