

УДК 530.1; 532; 539.1; 577.3; 593

DOI: 10.53403/9785951505309\_2022\_27\_1\_6

# Примеры применения принципов неопределенности и абсолютной определенности в задачах кинетики образования объектов

*Приводятся примеры применения принципов неопределенности и абсолютной определенности в задачах кинетики образования объектов, различных по физической природе и пространственным масштабам: от субстанций микромира до космологических структур. В рамках предложенного кинетического подхода принцип неопределенности и принцип абсолютной определенности взаимно дополняют друг друга. Оба принципа предсказывают образование объектов, которые до сих пор не являются, по меньшей мере, широко известными и подробно описанными в научной литературе.*

Э. Э. Лин

## Введение

В работах [1–6] рассматриваются принципиальные вопросы динамики квантовых систем и описания свойств объектов, различных по физической природе и пространственным масштабам: от субстанций микромира до космологических структур. Особое место в этих вопросах занимают современные исследования в области нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Кинетика образования объектов различной физической природы, проявляющих квантовые свойства как в пространственных масштабах микро- и мезомиров, так и в космических масштабах, рассмотрена в работах [7–9] с помощью понятия о волне  $\varphi(a, t)$  плотности распределения в пространстве размеров  $a$  этих объектов. При этом поставлен и частично изучен общий вопрос об областях применимости представлений о динамике квантовых систем в форматах принципов неопределенности [2–4] и абсолютной определенности [5]. В свете вытекающего из теоремы Фурье универсального соотношения  $\Delta a \Delta k \geq 1/4\pi$  для дисперсий координаты и волнового числа  $k$ , справедливого для волны любой физической природы, в случае асимптотического когерентного состояния квантовой системы, когда произведение дисперсий принимает минимальное значение, а дисперсии величин заменены самими величинами, соотношения неопределенности и абсолютной определенности связаны взаимно однозначным соответствием [8]. Показано, что вид законов роста таких объектов зависит от того, какой из принципов положен в основу рассмотрения.

С целью дальнейшего обобщения представленных в [7–9] результатов и определения предсказательных возможностей предложенного кинетического подхода в данной работе проводится сравнительный анализ примеров описания образования объектов микромира, наночастиц и ме-

зообъектов, а также астрофизических объектов и наблюдаемых космологических структур в форматах принципов неопределенности и абсолютной определенности.

### Результаты и их обсуждение

Феноменологические законы роста [7–9] размеров  $a$  объемно-упакованных объектов со временем  $t$  и выражения для их характеристических размеров в форматах соотношений неопределенности и абсолютной определенности в пространстве размеров представлены в табл. 1.

Таблица 1

Соотношения, законы роста и формулы для характеристических размеров объектов [7–9]

| Объекты                          | Принцип неопределенности ( $un$ )  | Принцип абсолютной определенности ( $ac$ )  |
|----------------------------------|--|---|
| Микромир, мезообъекты            | Соотношения<br>$\Delta a \Delta p \approx \hbar/2$<br>$\Delta t \approx \hbar/\Delta E$<br>Закон роста<br>$\langle a \rangle^{3/2} d\langle a \rangle \approx \left( \frac{a_0^3 \Delta E}{2m_0} \right)^{1/2} dt$<br>Максимальный размер<br>$a_{\max}^{un} \approx \frac{2m_0 a_0^3}{9\hbar \Delta t_{\min}}$ | Соотношения<br>$ap = \hbar/2$<br>$Et = \hbar$<br>Закон роста<br>$a^4 da = (\hbar/2\alpha\rho) dt$<br>Характерный размер<br>$a_{\text{char}}^{ac} \approx \left( \frac{3\hbar \Delta t_{\text{char}}}{2m_0} \right)^{1/2} = \hbar \left( \frac{3}{2m_0 E_{\text{char}}} \right)^{1/2}$ |
| Объекты астрофизики и космологии | Соотношения и закон роста<br>$ \Delta a   \Delta p  \cong K_c/2$<br>$ \Delta E   \Delta t  \cong K_c$<br>$\langle a \rangle^2 d\langle a \rangle = (1/\sqrt{2})(\rho_{\text{cr}}/\rho)^{1/2} a_0^2 c dt$   | Соотношения и закон роста<br>$ap \cong K_c/2$<br>$Et \cong K_c$<br>$\langle a \rangle^2 d\langle a \rangle = (1/2)(\rho_{\text{cr}}/\rho) a_0^2 c dt$   |

Примечание:  $\Delta p \sim p = m\Delta a/\Delta t$  – неопределенность импульса  $p$ ;  $m$  – масса объекта;  $\Delta E$  – ширина уровня энергии возбужденного состояния квантово-механической системы, определяемая природой объектов и режимом процесса;  $\hbar$  – приведенная постоянная Планка;  $a_0$ ,  $m_0$  – размер и масса зародыша;  $t_i$  – характерный масштаб времени элементарного (единичного) акта взаимодействия объектов;  $K_c$  – феноменологическая константа действия в космических масштабах;  $\rho$  – плотность наблюдаемого вещества во Вселенной;  $\rho_{\text{cr}}$  – критическая плотность вещества, при которой Вселенная становится замкнутой;  $c$  – скорость света.

Физический смысл соотношения неопределенностей «координата – импульс» заключается в том, что в течение промежутка времени  $\Delta t$  элементарного (единичного) акта взаимодействия объектов точный размер каждого из них не может быть определен до тех пор, пока это взаимодействие не завершится. Это связано с тем, что до окончания элементарного акта невозможно определить, к какому из объектов относится каждый из их взаимодействующих поверхностных элементов. В формате абсолютной определенности соотношение «координата – импульс» подразумевает, что в каждый момент времени рассматриваемый объект строго локализован в пространстве размеров.

В табл. 2 приведены примеры проявления рассматриваемых принципов при описании образования объектов в процессах приближения к равновесию [7–9]. Приведенные результаты находятся в соответствии с общеизвестными представлениями. Можно видеть, что в рамках предложенного кинетического подхода принцип неопределенности охватывает более широкий спектр процессов образования объектов, чем принцип абсолютной определенности. Вместе с тем оба принципа взаимно дополняют друг друга.

Таблица 2

Примеры проявления принципов в процессах приближения к равновесию [7–9]

| Объекты                            | Принцип неопределенности   | Принцип абсолютной определенности  |
|------------------------------------|--|--|
| Микромир                           | Образование адронных струй из кварков:<br>$pp \rightarrow \pi^0 \pi^+ \pi^+ nn$<br>g-процессы; глубоко неупругие релятивистские процессы в ядрах<br>Стабильные ядра<br>Образование сверхтяжелых ядер до $A_{\text{end}} \cong 470$ | Образование нуклонов из кварков<br><br>s-процессы<br><br>Образование гигантских ядер с $a_{\text{max}} \approx 4,8 \cdot 10^{-12}$ м |
| Углеродный нано- и мезомир         | Характерные размеры всех известных искусственных и природных алмазов: от 0,7 нм до 20 см<br>Характерные размеры белковых наночастиц, рибосом и мезообъектов (археи, клетки): от 1 нм до 7 мкм                                      | Характерный размер алмазов типа карбонадо ( $\approx 0,1$ мм)<br><br>Характерный размер инсулина ( $\approx 2$ нм)                   |
| Звезды                             | Характерные времена образования и размер нейтронных звезд: 0,17–17 с, 16 км  | Характерный размер белого карлика: $\sim 10^3$ км  |
| Шаровые скопления красных гигантов | Средний размер 200 парсек (пк)   |  |
| Сверхскопления галактик            | Средний размер 84 Мпк  | Средний размер 36 Мпк  |

Таким образом, разработанный асимптотический метод исследования кинетики образования объектов с квантовыми свойствами, соответствующий принципу интеллектуального аскетизма [3] и положению [4] об адекватности феноменологического описания физических явлений или физических объектов, обладает достаточной степенью общности для применения его в задачах физики высоких плотностей энергии и физикохимии высокоинтенсивных процессов. Ниже приводятся примеры применения принципов неопределенности и абсолютной определенности в задачах образования объектов микромира, нанопроблематики и мезоскопике, космоса.

На основе законов роста объектов в формате принципа неопределенности [7, 9] можно оценить фундаментальную массу в микромире  $m_{\text{fund}}$ , если в соответствии с представлениями [10] принять, что наименьшей пространственной единицей (фундаментальной длиной) является  $a_{\text{fund}} \approx 10^{-18}$  м и ей соответствует масштаб времени  $t_{\text{un}} = a_{\text{fund}}/c$ . В [7] приведено следующее выражение для фундаментальной массы:

$$m_{\text{fund}} = \frac{\hbar}{ca_{\text{fund}}}. \quad (1)$$

Отсюда получаем, что  $m_{\text{fund}}c^2 = \hbar c/a_{\text{fund}} = 196$  ГэВ [7]. Полученное значение приблизительно соответствует массе частицы темной материи, определенной в работе [11] на основе данных астрофизических наблюдений и равной 192 ГэВ. Отметим, что выражение (1) однозначно связано с определением комптоновской длины волны материальной частицы  $\lambda = \hbar/mc$ , а приведенное выше значение фундаментальной длины адекватно общепринятым представлениям. Вместе с тем вышеуказанная фундаментальная масса получена вне обычных подходов и стандартных моделей [2].

В области нанопроблематики и мезоскопии принцип неопределенности охватывает весь спектр процессов образования объектов, описанных в [6, 12–14]. При этом рассматриваются два типа объектов: 1) кластеры, решетка которых образована атомами одного вида, колеблющимися как гармонические осцилляторы с характеристическими частотами  $\sim 10^{12} - 10^{14} \text{ с}^{-1}$  («атомные» нанокристаллы); 2) кластеры, образованные макромолекулами, проявляющими как колебательную природу внутренних движений с указанными частотами, так и вращательную изомерию с частотами  $\sim 10^{10} - 10^{11} \text{ с}^{-1}$  («молекулярные» нанокристаллы). Возникает вопрос о влиянии коллективных квантовых свойств структур на процессы их образования и роста и характеристические размеры. В качестве объектов первого типа целесообразно рассмотреть кристаллы с ковалентными углеродными связями C–C – наноалмазы, характеризующиеся выраженными фоновыми 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  $\tau = 10^{-10} - 10^{-7} \text{ с}$ .

В целом описанный в [7, 8] 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.

Одним из актуальных направлений нанонауки и нанотехнологии является создание и исследование биологических материалов, в частности исследование физических механизмов биосинтеза белка [6, 12]. В соответствии с результатами исследований общепринятая схема построения белков выглядит таким образом, что из нанопептидов 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 аперриодический кристалл с заданным биологическим кодом.

Вместе с тем в [7, 8] рассмотрена возможность другой схемы образования биологических наночастиц, в которой в результате колебательно-вращательных взаимодействий молекул аминокислот может осуществляться их объемная поликонденсация. Затравочными центрами поликонденсации могут являться молекулы нуклеиновых кислот, около которых группируются молекулы аминокислот в определенном порядке, задаваемом предпочтительным образованием в объеме системы C–N-связей как наиболее коротких и прочных по сравнению со связями C–C и C–O. В предложенном в [7, 8] подходе к рассмотрению подобного механизма синтеза белковых наночастиц принцип неопределенности допускает возможность мутаций биологических объектов на молекулярном уровне. 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 [6, 12, 14]: (1,4–1,7); (2,2–2,5);

(2,7–2,9–3,3); (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 значения 0,63; 1,1; 2,1 и 7 мкм, соответствующие лизосомам, митохондриям, эритроцитам, тромбоцитам, малым лимфоцитам. Результаты расчетов [7, 8] свидетельствуют также о том, что при «мгновенном» возбуждении биологической системы, например, при поглощении энергии излучений различной природы, в ней может 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, воспользовавшись методом, примененным в [7] для углеродных нанотрубок, получить следующие выражения для определения характерной толщины  $d$  и длины  $l$  объектов:

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

$$\langle l \rangle = \left( \frac{\hbar}{m_0} t \right)^{1/2}. \quad (3)$$

При характерном параметре  $t_i \equiv t_R = 2\pi\hbar b/k_B \sqrt{2\theta_R T}$  [15], соответствующем вращательной изомерии молекул ( $k_B$  – постоянная Больцмана,  $b$  – число кристаллообразующих связей,  $\theta_R$  – характеристическая вращательная температура связи ( $\approx 2,6$  К),  $T$  – температура окружающей среды), из формулы (2) получаем, что для зародышей – глицина (наименьшая аминокислота,  $m_0 = 1,25 \cdot 10^{-25}$  кг,  $a_0 = 0,42$  нм [12]) и триптофана (наибольшая аминокислота,  $m_0 = 3,4 \cdot 10^{-25}$  кг,  $a_0 = 0,67$  нм [12]) при  $T \cong 310$  К диаметры нановолокон равны 1,27 и 2,35 нм. Эти значения приблизительно соответствуют толщине белков коллагена ( $\sim 1$  нм [12]) и миозина (2,5 нм [16]). Если же предположить, что для формирования толщины нановолокна достаточно колебания одной «крайней» связи наиболее длинной молекулы зародыша – триптофана и  $t_i \cong 3 \cdot 10^{-14}$  с [9], то из формулы (2) получаем  $d \approx 11,6$  нм. Это приблизительно соответствует толщине сплошной нейрофибриллы человека – нейрофиламента, приблизительно равной 10 нм [17]. Расчет по формуле (3) показывает, что для образования нейрофиламента длиной около 300 нм требуется время около 100 мкс.

Таким образом, 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 возможны образование и рост подобных наночастиц и мезообъектов на фрагментах разрушенных белков и клеток как на центрах кристаллизации. Все 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 нее аминокислот из космоса, то в [7, 8] в формате принципа неопределенности показано, что из обломков аминокислот, образовавшихся при ударах метеоритов о земную по-

верхность, могут образоваться объекты 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 [7, 8] предопределяет наблюдаемое в современную эпоху ускоренное расширение Вселенной, описываемое космологической моделью де Ситтера и законом Хаббла [2]. 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  $R_{\text{light}} = 1,323 \cdot 10^{26}$  м, неплохо соответствует космическому радиусу  $R_{\text{CB}} \approx 5,89 \cdot 10^{27}$  м, определенному в [18] на основе соотношений между физическими константами. Существование множества взаимодействующих между собой вселенных не противоречит положению о существовании совокупности образов «уникального экземпляра» [18].

Можно попытаться оценить диапазон «жестких» размеров астрофизических и космологических объектов на основе принципа абсолютной определенности. В случае взрыва сверхновых в соответствующую формулу табл. 1 для  $a_{\text{char}}^{\text{ac}}$  вместо постоянной Планка следует подставить определенную в [7, 8] феноменологическую константу действия в «мире» коллапсирующих звезд, равную  $K_G = M_{\text{Ch}}^2 G_N / c = 1,72 \cdot 10^{42}$  Дж·с ( $G_N$  – гравитационная постоянная,  $M_{\text{Ch}}$  – критическая масса Чандрасекхара, начиная с которой происходит коллапсирование звезды):

$$a_{\text{char}}^{\text{astr}} \approx K_G \left( \frac{3}{2m_0 E_{\text{min}}} \right)^{1/2}.$$

Минимальная уносимая энергия при взрывах сверхновых равна  $E_{\text{min}} = 10^{41}$  Дж [19]. В качестве массы зародыша формально примем критическую массу Чандрасекхара  $m_0 = M_{\text{Ch}} \cong 1,4 M_{\text{Sol}}$  [20]. Тогда  $a_{\text{char}}^{\text{astr}} \approx 4 \cdot 10^6$  м, что приблизительно соответствует размеру белого карлика [20]. Для определения максимально возможного космологического размера в соответствующую формулу для  $a_{\text{char}}^{\text{astr}}$  следует подставить предельное значение космологической константы действия, определенной в [7, 8] как  $K_c^{\text{lim}} = M_c^2 G_N / c$ . Здесь  $M_c = m_p N_b (\rho_r / \rho) \cong 5,5 \cdot 10^{54}$  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]. Значение  $M_c$  примем в качестве массы зародыша, тогда при  $\Delta t_{\text{char}} = \Delta t_{\text{max}} = a/c$  получаем выражение для «новой» феноменологической константы, определяющей космологический размер  $a_{\text{max}}^{\text{ac}}$  в формате принципа абсолютной определенности:

$$a_{\text{max}}^{\text{ac}} = \frac{3M_c G}{2c^2} \approx 6 \cdot 10^{27} \text{ м.}$$

Установленный пространственный диапазон  $4 \cdot 10^6 - 6 \cdot 10^{27}$  м включает в себя размеры объектов от карликовых звезд до наблюдаемой области космического пространства (световой радиус). В частности, это относится к размеру сверхскоплений галактик, оцененному в [7, 8] как 36 Мпк, что неплохо соответствует наблюдаемой величине в 30 Мпк [20].

Можно попытаться рассмотреть возможность образования «неизученных» объектов. В микромире в формате принципа неопределенности таким объектом может быть конечный нуклид с массовым числом вблизи  $A_{\text{end}} \cong 470$  [7, 8]. В табл. 2 в формате принципа абсолютной определенности рассматривается существование гигантских ядер [7, 9] размером  $a_{\text{max}} \approx 4,8 \cdot 10^{-12}$  м, если

в формуле  $a_{\text{char}}^{\text{ac}} \approx \left( \frac{3\hbar\Delta t_{\text{char}}}{2m_0} \right)^{1/2}$  в качестве зародыша рассматривать альфа-частицу с массой

$m_0 = 6,68 \cdot 10^{-27}$  кг, а характерное приращение времени взаимодействия кластера/ядра с зародышем принять равным времени жизни  $\Delta t_{\text{char}} = 10^{-15}$  с промежуточного составного ядра [21], которое продолжает увеличиваться в размерах, захватывая новые альфа-частицы. Полученная оценка размера гипотетического гигантского ядра по порядку величины 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 0,19 МэВ [21]:  $\lambda = \hbar/cm_{\nu_\mu} = 1,05 \cdot 10^{-12}$  м. Правомерно предположить, что внутри такого ядра под действием мюонного антинейтрино происходит известная реакция [21] распада протона на нейтрон и положительно заряженный мюон:  $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$ . 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 [21]. По-видимому, такие гипотетические ядра могут находиться вблизи поверхностей нейтронных звезд (в коре или в жидкой области), где расположены тяжелые ядра [20, 21].

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 табл. 3 сравниваются характеристики этих видов взаимодействия. Можно видеть, что юкавские потенциалы  $U_{\text{nuc1}} = \exp(-R/\lambda)/R$  внутри рассматриваемых ядер сравнимы по порядку величины. Это и делает возможным существование гипотетических гигантских ядер.

Таблица 3

Характеристики взаимодействий между нуклонами внутри ядер

| Ядра                                | «Обычные» [21]        | Гигантские [7, 9]         |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Вид взаимодействия                  | Сильное               | Предполагаемое            |
| Переносчики                         | Пионы                 | Мюонные антинейтрино      |
| Масса покоя, МэВ                    | 139,57                | 0,19                      |
| Комптоновская длина волны, м        | $1,46 \cdot 10^{-15}$ | $1,05 \cdot 10^{-12}$     |
| Радиус ядра $R$ , м                 | $\sim 10^{-14}$       | $2,4 \cdot 10^{-12}$      |
| Юкавский потенциал, $\text{м}^{-1}$ | $\sim 10^{11}$        | $\approx 4 \cdot 10^{10}$ |

Следует отметить, что размер ядер, определенный в работах [7, 9], соответствует полуширине  $\sigma$  нормального распределения [22], в то время как в данной работе этот размер соответствует  $3\sigma$ .

В формате принципа абсолютной определенности из выражения  $a_{\text{char}}^{\text{ac}} \approx \left( \frac{3\hbar\Delta t_{\text{char}}}{2m_0} \right)^{1/2}$  получаем, что размер адрона, образующегося из легких  $u$ - и  $d$ -кварков в состоянии конфайнмента, когда их масса покоя равна 330 МэВ [21] ( $0,58 \cdot 10^{-27}$  кг), при  $\Delta t_{\text{char}} = 10^{-23}$  с (масштаб времени сильного взаимодействия) равен  $a_{\text{hadr}} \approx 1,64$  Фм. Полученное значение находится в хорошем соответствии с зарядовым диаметром протона 1,72 Фм [21]. Таким образом, исходя из массовой характеристики условно точечной частицы (кварка), можно получить пространственную характеристику нуклона. Этот результат дополняет представления работы [23] о роли определенности в физике элементарных частиц. Если теперь в качестве зародышей рассматривать «полученный» нуклон с массой покоя  $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг, то при характерном «ядерном» приращении времени  $\Delta t_{\text{char}} = 10^{-21}$  с размер ядра равен  $a_{\text{nuc1}} \approx 9,7$  Фм. По формуле для радиуса сферического ядра  $R = r_0 A^{1/3}$  при  $r_0 \approx 1,25$  Фм (характерный параметр сильного взаимодействия, принятый в [7]) получаем  $A_{\text{nuc1}} = 58$ . Это значение приблизительно соответствует интервалу массовых чисел вблизи «железного пика» распространенности элементов во Вселенной [21].

Если же в качестве зародышей рассматривать токовые  $u$ - и  $d$ -кварки с массой покоя 3 МэВ ( $m_0 = 0,53 \cdot 10^{-29}$  кг [21]), которые захватываются большим кластером сплошной кварк-ядерной среды, связанной сильным взаимодействием, то при  $\Delta t_{\text{char}} = 10^{-23}$  с размер сферического ядра равен  $a_{\text{nuc1}} \approx 17,15$  Фм. Этот размер соответствует массовому числу  $A_{\text{nuc1}} = 323$ . В [7, 8] в формате принципа неопределенности получено, что среднее массовое число сверхтяжелых ядер при нуклеосинтезе в звездах приблизительно равно  $\langle A_{\text{superheavy}} \rangle \approx 330$ . Таким образом, в рассмотренном примере принципы неопределенности и абсолютной определенности дают почти одинаковые результаты. Следует отметить, что эти результаты соответствуют положению работы [24] о возможности образования ядер с  $A > 300$  в нейтронных звездах.

В совокупности достигнутые соответствия свидетельствуют в пользу правомерности применяемого подхода в вопросах физики элементарных частиц и ядерной материи, в том числе и при попытках предсказания образования вышеупомянутых гигантских ядер с внутриядерным взаимодействием, аналогичным сильному взаимодействию в обычных ядрах.

В нанопроблематике и мезоскопике можно выделить следующие актуальные проблемы: 1) определение спектра размеров наночастиц и максимальных размеров зерен, образующихся в ударных волнах (УВ) в тяжелых металлах; 2) определение возможности образования белковых наночастиц в условиях сравнительно низких температур (например, в глубоководной среде); 3) поиск новых, неизвестных или малоизвестных биологических наночастиц и мезообъектов; 4) рассмотрение взаимодействия биологических сред с изотопами.

1. В [7] получена следующая формула для относительной плотности распределения объектов по размерам:

$$P \approx \xi^{-3/4} \cos \frac{2\sqrt{2}}{5} \frac{\lambda}{\beta^{1/2}} \left[ (\xi)^{5/2} - 1 \right].$$

Здесь пространственный множитель функции  $\varphi$  нормирован на «амплитуду» для зародыша. В случае нанометричных объектов во избежание чрезмерных подробностей непринципиального характера в этой формуле целесообразно не брать модуль косинуса, а рассматривать только положительную часть осциллирующего множителя. На рис. 1 приведена относительная плотность распределения наночастиц тория по размерам в УВ внутри ториевого образца при температуре  $T = 2000$  К. Максимально возможный размер зерен тория при указанной температуре равен  $a_{\max} \approx 2600$  нм.

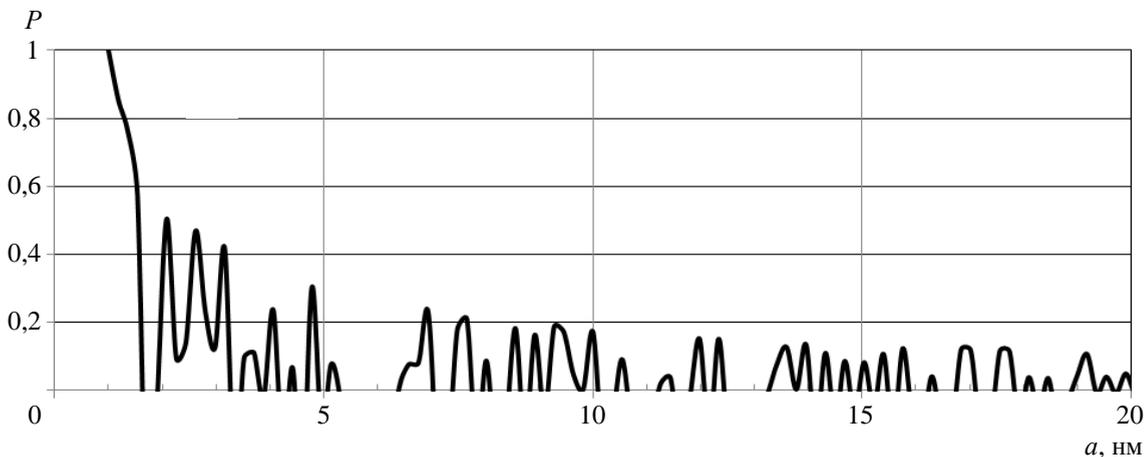


Рис. 1. Расчетный спектр [7] наночастиц тория в УВ,  $T = 2000$  К; шаг расчетов  $\approx 0,2$  нм (атомный радиус)

2. Формулы [7] для расчета средних размеров наночастиц в дебаевском приближении переписываются следующим образом:

– малый поток зародышей

$$\langle a \rangle \approx \left( \frac{75k_B\theta_D}{8\pi\rho} \right)^{1/5} t^{2/5}, \quad (4)$$

– большой поток зародышей

$$\langle a \rangle \approx \left( \frac{27k_B\theta_D a_0}{2 \cdot 6^{1/3} \pi^{5/3} \rho} \right)^{1/6} t^{1/3}. \quad (5)$$

Было принято, что дебаевский параметр  $\theta_D$  приблизительно соответствует осредненной характеристической температуре колебаний растяжения связей С–С, С–О, С–N около 1500 К [15]. Из формулы (5) получаем, что за время вращательных движений двух соседних молекул триптофана  $t = 2bt_r \approx 4 \cdot 10^{-11}$  с ( $b = 16$ ,  $t_r = 1,4 \cdot 10^{-12}$  с) могут «вырасти» белковые наночастицы размером около 1,7 нм. Найденный размер приблизительно соответствует глобулярному белку – миоглобину (1,5 нм [6]), который содержится в мышцах китов в значительном количестве. В режиме малого потока зародышей из формулы (4) получаем, что в аминокислотной среде с плотностью  $\sim 10^3$  кг/м<sup>3</sup> за то же время могут вырасти наночастицы размером около 2,5 нм. Если же рассматривать рост белковых наночастиц за время «медленных» конформационных движений  $10^{-7}$  с [6], то из формулы (5) получаем, что в режиме большого потока зародышей из молекул триптофана средний размер наночастиц равен около 23 нм. Из формулы (4) получаем, что в режиме малого потока за-

родышей в аминокислотной среде с плотностью  $\sim 10^3$  кг/м<sup>3</sup> могут вырасти белковые наночастицы со средним размером около 60 нм. Вычисленные величины перекрывают весь известный диапазон размеров белковых наночастиц [6, 12, 14].

3. В формате принципа абсолютной определенности из уравнения табл. 1  $a^4 da = (\hbar/2\alpha\rho) dt$  при средней плотности аминокислот  $\rho = 1,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> [12] 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) могут вырасти мезообъекты размерами от  $\approx 30$  мкм до  $\approx 140$  мкм. Это могут быть кристаллические скелеты микроорганизмов (бактерий), сохранившихся в труднодоступных местах (ледники, пещеры, потухшие вулканы, глубоководье и т. п.).

Бликие размеры могут иметь кремнийорганические мезообъекты с  $\rho = 0,93 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, основу которых составляет силоксановый скелет – цепь чередующихся атомов Si и O [25]. Элементарный участок такой полимерной цепи каучука состоит из двух соседних атомов Si и присоединенных к ним атомов C, H, O (рис. 2). Замещение некоторых атомов H атомами N, P, S, Fe и т. д. приводит к аналогии с биологическими полипептидными наноцепями [12]. Такая аналогия расширяет круг вопросов изучения жизни как наномасштабного феномена [14].

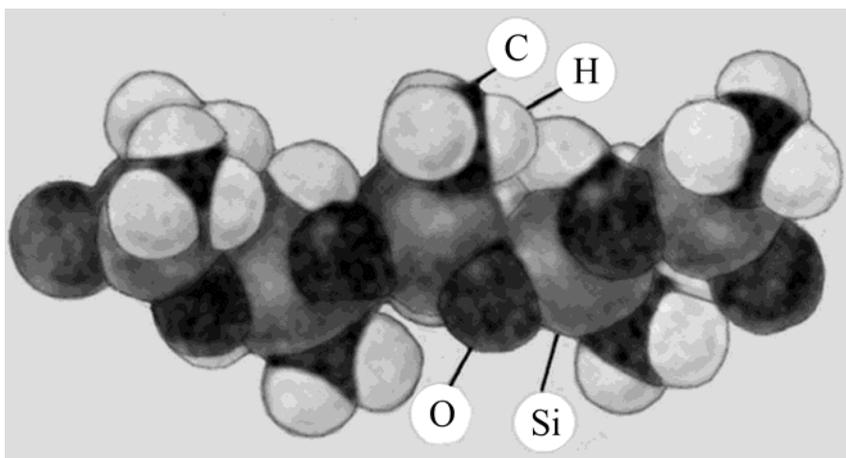


Рис. 2. Структурная модель участка цепи полиметилсилоксанового каучука [25]

На основе данных об атомных радиусах и длинах межатомных связей [26] можно оценить размер зародыша каучукового полимера как  $a_0 \cong 0,4$  нм. Исходя из упомянутого значения средней плотности кремнийорганических соединений, определим массу наименьшего зародыша сферической формы  $m_0 \cong (\pi/6)\rho a_0^3 \cong 3,09 \cdot 10^{-26}$  кг. Тогда в формате принципа неопределенности по соответствующей формуле табл. 1 можно оценить характерный размер глобулярного кремнийорганического нанокристалла:

$$a_{\max}^{\text{un}} \approx \frac{2m_0 a_0^3}{9\hbar \Delta t_{\min}} \cong 60 \text{ нм},$$

где  $\Delta t_{\min} = 2/\omega_e c = 7 \cdot 10^{-14}$  с ( $\omega_e \cong 10^5$  м<sup>-1</sup> [26]). Этот размер по масштабу величины соответствует размерам биологических аналогов – рибосом [12]. Если же, по аналогии с трансляционной сим-

метрией кристаллов, в качестве размера зародыша принять величину  $a_{\text{trans}} = 2a_0 \cong 0,8$  нм, то оцениваемый характерный размер увеличивается в  $2^6 = 64$  раза:

$$a_{\text{max}}^{\text{un}} \approx \frac{2m_0 a_{\text{trans}}^3}{9\hbar\Delta t_{\text{min}}} \cong 3,84 \text{ мкм.}$$

Этот размер по масштабу величины соответствует размерам биологических мезообъектов [12] и простейших микроорганизмов – архей [27]. Рассчитанные размеры могут заметно увеличиться, если произвести замещение части атомов водорода значительно более тяжелыми атомами, содержащимися в обычных биологических организмах. Вопрос о существовании таких гипотетических биологических структур, содержащих кремний, остается открытым.

4. Можно попытаться качественно объяснить протекание медленных ядерных реакций [28] в биологических системах с примесными изотопами, если воспользоваться «обратной» аналогией со спин-решеточным взаимодействием в металлах [29]. В рассматриваемых системах колебательно-вращательные и конформационные движения [6] квазикристаллических решеток биологических объектов с характерными временами  $10^{-14}$ – $10^{-7}$  с могут вызывать соответствующие движения ядерных спинов изотопов, возбуждения внутриядерной среды и перестройку ее структуры. В соответствии с модельными представлениями [7] внутри ядер в процессах приближения к равновесию из зародышей – альфа-частиц, тритонов и дейтронов происходит образование кластеров с наиболее вероятными массовыми числами  $A_n$ . При флуктуационном подбарьерном слиянии двух ядер исходных изотопов с массовыми числами  $A_i$  образуется промежуточное составное ядро с  $A_{\text{comp}} = 2A_i$ . В случае тяжелых изотопов ( $A_i > 100$ ) в образовавшемся промежуточном составном ядре по механизму [7] большого потока зародышей при энергии первого вращательного уровня 100 кэВ образуются продукты со средними массовыми числами  $\langle A_r \rangle \approx 100$  и  $\langle A_{\text{heavy}} \rangle = 2A_i - \langle A_r \rangle \approx 2A_i - 100 > A_i$ . Это и означает протекание синтеза тяжелых изотопов по мере роста объектов биологической среды. Рассмотренная задача представляет собой пример поведения сложных систем, в которых осуществляется взаимное влияние процессов, протекающих в масштабах микромира и мезоскопии.

Что касается в принципе ненаблюдаемых объектов космологии, то космическая сфера [7, 8] с  $a_c \cong 9 \cdot 10^{27}$  м и рассчитанный выше максимальный космологический объект с  $a_{\text{max}}^{\text{ac}} \approx 6 \cdot 10^{27}$  м не рассматриваются космологическими стандартными моделями [2].

## Заключение

В рамках предложенного кинетического похода принцип неопределенности и принцип абсолютной определенности взаимно дополняют друг друга и дают адекватное описание процессов приближения к равновесию в пространственных масштабах микромира и мезоскопии, а также космоса. Оба принципа предсказывают образование объектов, которые до сих пор не являются, по меньшей мере, широко известными и подробно описанными в научной литературе.

## *Список литературы*

1. Shen, Zhi-Yuan. A new version of unified field theory – stochastic quantum space theory on particle physics and cosmology // *J. of Modern Phys.* 2013. Vol. 4, N 12. P. 1213–1380.
2. Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель. – М. – Ижевск, 2007.
3. Кемпфер Ф. Основные положения квантовой механики. – М.: КомКнига, 2007.
4. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация // *Успехи физических наук.* 1994. Т. 164, № 5. С. 449–530.
5. Auffray J.-P. Quantum meteorites: an extemporaneous description of the system of the world // *J. of Modern Phys.* 2015. Vol. 6, N 8. P. 878–889.
6. Суздальев И. П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006.
7. Лин Э. Э. Асимптотическая кинетика образования объектов с квантовыми свойствами : монография. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2019.
8. Lin E. E. Kinetics of formation of objects revealing quantum properties. – Wuhan: Scientific Research Publishing, Inc., 2016.
9. Lin E. E. Revealing the uncertainty and absolute certainty principles in the kinetics of objects formation // *World J. of Mechanics.* 2018. Vol. 8, N 4. P. 82–93.
10. Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными? // *Успехи физических наук.* 1999. Т. 169, № 4. С. 419–441.
11. Mattson L. On dark matter identification // *World J. of Mechanics.* 2017. Vol. 7, N 4. P. 133–141.
12. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнология. – М.: Техносфера, 2007.
13. Shenderova O. A., Zhinov V. V., Brunner D. W. Carbon nanostructures // *Critical Rev. in Solid State and Material Sci.* 2002. Vol. 27, N 3. P. 227–356.
14. Mann S. Life as a nanoscale phenomenon // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2008. Vol. 47. P. 5306–5320.
15. Цянь Сюэ-сень. Физическая механика. – М.: Наука, 1965.
16. Миозин // *БСЭ.* – М.: Советская энциклопедия, 1974. Т. 16. С. 901–902.
17. Нейрофибриллы // *БСЭ.* – М.: Советская энциклопедия, 1974. Т. 17. С. 1244.
18. Bartini R. O. Relations between physical constants // *Progress in Physics.* 2005. Vol. 3. P. 34–40.
19. Утробин В. П. Сверхновые звезды // *Физическая энциклопедия.* Т. 4. / Под ред. А. М. Прохорова. – М.: Большая российская энциклопедия, 1994. С. 433–435.
20. Любарский Ю. Э., Сюняев Р. А. Астрономия и астрофизика // *Физические величины : справочник* / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 1197–1230.

21. Ишханов Б. С., Капитонов И. М., Юдин Н. П. Частицы и атомные ядра. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007.
22. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1973. С. 576.
23. Perl M. L. Certainty and uncertainty in the practice of science: electrons, muons, and taons. SLA1-PUB-8010-Rev, January 1999.
24. Панов И. В., Тилеманн Ф.-К. Проблема деления и  $\gamma$ -процесс: конкуренция между вынужденным и запаздывающим делением // Письма в Астрономический журнал. 2004. Т. 30, № 9. С. 711–720.
25. Аснович Э. З., Петрашко А. И. Кремнийорганические соединения // Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1962. Т. 2. С. 513–517.
26. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983.
27. Noel K. Bergey's manual of systematic bacteriology. – Springer, 2005. P. 21–26.
28. Высоцкий В. И., Корнилова А. А. Ядерные реакции и трансмутации изотопов в биологических системах // Журнал формирующихся направлений науки. 2018. Вып. 17–18. С. 34–42.
29. Потапков Н. А. Спин-решеточное взаимодействие // Физический энциклопедический словарь / Под ред. Б. А. Введенского, Б. М. Вула. – М.: Советская энциклопедия, 1966. Т. 5. С. 49.

## **Examples of Uncertainty and Absolute Certainty Principles Application in Problems for Kinetics of Objects Formation**

E. E. Lin

*The examples are presented for application of uncertainty and absolute certainty principles in tasks of formation kinetics of objects differed in physical nature and in space scales: from microcosm substances to cosmological structures. In frames of the proposed kinetic approach the uncertainty principle and absolute certainty principle complete one to another mutually. Both principles predict formation of objects that so far are not widely known or, at least, well described in scientific literature.*