

Дьячков В.В.,
Зарипова Ю.А., Юшков А.В.

**Кластерная структура ядер
и новые пространственные
закономерности**

Авторами настоящей статьи за последние годы экспериментально обнаружен ряд новых ядерно-физических эффектов, явлений и закономерностей, результаты которых, с неизбежностью приводят к пересмотру некоторых устоявшихся взглядов и наводят на мысли о неевклидовом эллиптическом ядерном и околоядерном пространстве с геодезической в форме эллипса. Целью статьи является систематизация наших новых экспериментальных фактов в русле парадигмы новой более сложной, но и гармоничной ядерной физики, контуры которой все явственнее выступают также и из новых пластов мировой литературы. Впервые обнаружено расслоение внутри- и околоядерного пространства при увеличении R , то есть при переходе от одной ядерной оболочки к другой. В экспериментах на пучках ускорителях в угловых распределениях ядерных реакций, носящих дифракционный характер, с достаточной точностью выявляется дискретный характер ряда ядерных параметров.

Ключевые слова: мультикластерная структура атомных ядер; ядерная деформация; дифракция; энергия связи; риманова кривизна ядерного и околоядерного пространства.

Дьячков В.В.,
Зарипова Ю.А., Юшков А.В.

**Ядроның кластерлік құрылымы
және жаңа кеңістіктік
заңдылықтар**

Бұл мақаланың авторлары соңғы жылдары эксперимент жүзінде бірқатар жаңа ядролық-физикалық эффектілерді, құбылыстар мен заңдылықтарды анықтады. Бұл кейбір қалыптасып қалған көзқарастарды қайта қарауға алып келді және эллипс пішінді геодезиялық ядро айналасы кеңістігі туралы және эвклидті емес эллиптикалық ядро кеңістігі туралы ой қалыптастырды. Мақаланың мақсаты біздің жаңа эксперименталды фактілерімізді әлдеқайда күрделі, бірақ үйлесімді ядролық физикамен жүйелеу болып табылады. Мақаланың шеңбері әлімдік әдебиеттердің жаңа қабаттарынан орын алады. R -дің артуымен, яғни ядроның қабатынан екінші қабатына өткен күйдегі ядроның ішкі және айналасындағы кеңістіктің қабаттасуы алғаш анықталды. Шоғыр үдеткіші эксперименттеріндегі ядролық реакцияның дифракциялық сипаттағы бұрыштық таралуында бірнеше ядролық параметрлердің дискретті сипаттамалары жеткілікті дәлдікпен байқалады.

Түйін сөздер: атом ядросының мультикластерлік құрылымы; ядролық деформация; дифракция; байланыс энергиясы; ядро және ядро айналасы кеңістігінің риман қисығы.

Dyachkov V.V.,
Zaripova Y.A., Yushkov A.V.
**Cluster structure of nuclei and
new spatial regularities**

Authors of the present article in recent years experimentally found a number of new nuclear and physical effects, the phenomena and regularities, the results of which lead to revision of some established views and suggest an idea of non-Euclidean elliptic nuclear and nuclear-around space with geodesic in the form of an ellipse. The purpose of article is systematization of our new experimental facts in line with a paradigm of new more difficult, but also harmonious nuclear physics. For the first time layering of intra- and nuclear-around space with increasing R , that is upon transition from one nuclear layer to another, is found. In experiments on the accelerator beam in angular distributions of the nuclear reactions having diffraction character with a sufficient accuracy discrete nature of a number of nuclear parameters comes to light.

Key words: multi-cluster structure of atomic nuclei; nuclear deformation; diffraction; the binding energy; Riemann curvature of nuclear and nuclear-around space.

КЛАСТЕРНАЯ СТРУКТУРА ЯДЕР И НОВЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Введение

Со всей очевидностью ядерная физика в наши дни переживает период перехода на новый, более совершенный и адекватный, виток своего развития [1-4]. Приходится пересматривать старую парадигму и выстраивать новую, как по составу ядер, их структуре, так и по природе и механизмам, действующих внутриядерных сил. Так, протонно-нейтронное строение ядер изменяется на α -кластерное, мультикластерное и ионно-кластерное (для тяжелых и сверхтяжелых ядер). То есть старый гамильтониан $H_{\text{яд}} = H_{\text{pp}} + H_{\text{np}} + H_{\text{nn}}$, необходимо усложнить мультикластерными членами. Основное уравнение движения в ядре $\hat{H}\Psi = E\Psi$, в случае нового взгляда на пространство в микромире как неевклидово, может быть подвергнуто пересмотру и уточнению.

Форма радиальной зависимости однородного ядерного потенциала (в простейшем случае это прямоугольная яма, а в часто употребляемых случаях – потенциал Вудса-Саксона) начинает изменяться на сложные «зернистые», двухцентровые и многоцентровые функции. Все чаще рассматриваются модели ядра, отходящие от ферми-газовой структуры или жидко-капельной в пользу квазитвердотельных (метод К-гармоник, вариаций моделей со сверхтекучестью, квазикристаллические). При этом один из главных кристаллографических принципов, – плотные шаровые упаковки, неизбежно приводит к построению слоистой плотноупакованной ядерной материи.

И, наконец, принципы плотной упаковки слоистой ядерной материи и отсутствие излучений при движении электрических (протоны и мультикластеры) и магнитных (нейтроны) зарядов наводят на мысли об неевклидовом эллиптическом ядерном и околядерном пространстве с геодезической в форме эллипса. Такой переход естественен в связи с эйнштейновской концепцией о том, что материя сама формирует пространство и время, которые являются ее неотъемлемыми атрибутами. И это гармонизирует всю физическую картину мира, так как криволинейность пространства вокруг сильно тяготеющих масс, например, Солнца в наши дни является неопровержимым экспериментальным фактом. Авторами настоящей статьи за последние годы

экспериментально обнаружен целый ряд новых ядерно-физических эффектов, явлений и закономерностей, подробно описанных ниже, с неизбежностью проводящих к пересмотру некоторых устоявшихся взглядов.

1. Новые закономерности в угловых распределениях продуктов ядерных реакций, как прямые доказательства мультикластерного состава ядер

Из оптимальной подгонки теории к экспериментальным угловым распределениям дифференциальных сечений упругого рассеяния обнаруживаются два новых эффекта, которые видны из рисунка 1: 1) экспериментальное угловое распределение раскладывается на две дифракционных моды – первая с малым периодом осцилляций на ядре как целом; вторая

– на альфа-кластерных подструктурах (большие периоды осцилляций); 2) впервые объяснен подъем сечений выше Резерфордского для легких ядер за счет аддитивности альфа-частичной моды упругого рассеяния (рассеяние альфа-частиц на альфа-частичных кластерах) [5, 6].

Авторами был разработан прямой экспериментальный метод обнаружения подобных внутриядерных мультикластеров на основе уникальных кинематических особенностей упругого рассеяния тяжелой ускоренной частицы на легком ядре-мишени. Указанная уникальность состоит в том, что угловое распределение упруго рассеянной “тяжелой” α -частицы в л.с.к. упирается в критический угол $\theta_{крит}$: $\sin \theta_{крит} = a/A$, где a – масса налетающей (ускоренной) α -частицы; A – масса ядра-мишени, дающий своеобразную «кинематическую петлю» (клатрек).

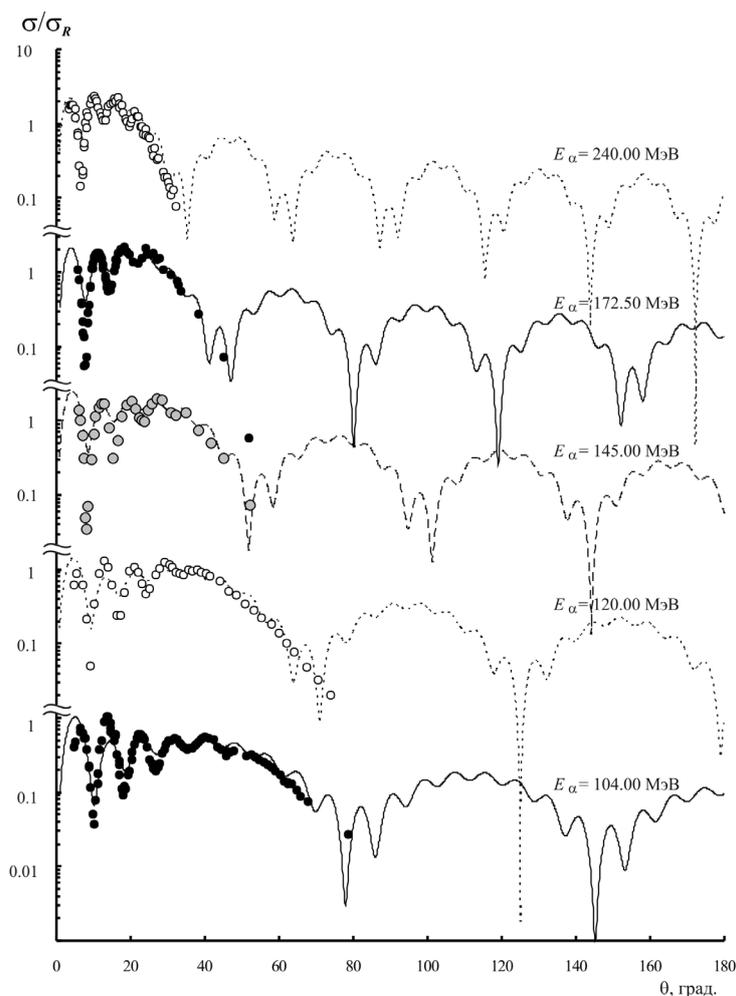


Рисунок 1 – Угловые распределения упругого дифракционного рассеяния $^{24}\text{Mg}(\alpha,\alpha)^{24}\text{Mg}$ при различных энергиях альфа-частиц

На рисунке 2 представлены такие кинематические петли в виде кинематики упругого рассеяния налетающих α -частиц с энергией $E_{\alpha}=29,0$ МэВ на матричном ядре ^{24}Mg . Видно, что кинематическая петля для $^1\text{H}(\alpha,\alpha)^1\text{H}$ упирается в $\theta_{\text{крит}}=14,5^{\circ}$; петля реакции $^4\text{He}(\alpha,\alpha)^4\text{He}$ упирается в угол 90° ; а кривая для матричного ядра $^{24}\text{Mg}(\alpha,\alpha)^{24}\text{Mg}$ нормально распространяется до угла 180° . Ясно, что именно клатреки являются прямым доказательством наличия в ядре ^{24}Mg всех искомым кластеров, так как в ядре ^{24}Mg с

однородным распределением ядерной материи никаких клатреков быть не может.

Вторым экспериментальным доказательством мультикластерной структуры ядер явилось новая найденная закономерность изменения формы, так называемых, $4n$ -ядер (массовое число которых кратно 4) от увеличения нуклонов в ядре (рисунок 3). Такие резкие изменения формы от вытянутого сфероида к сплюснутому и обратно, возможны только при альфа-кластерном строении этих ядер.

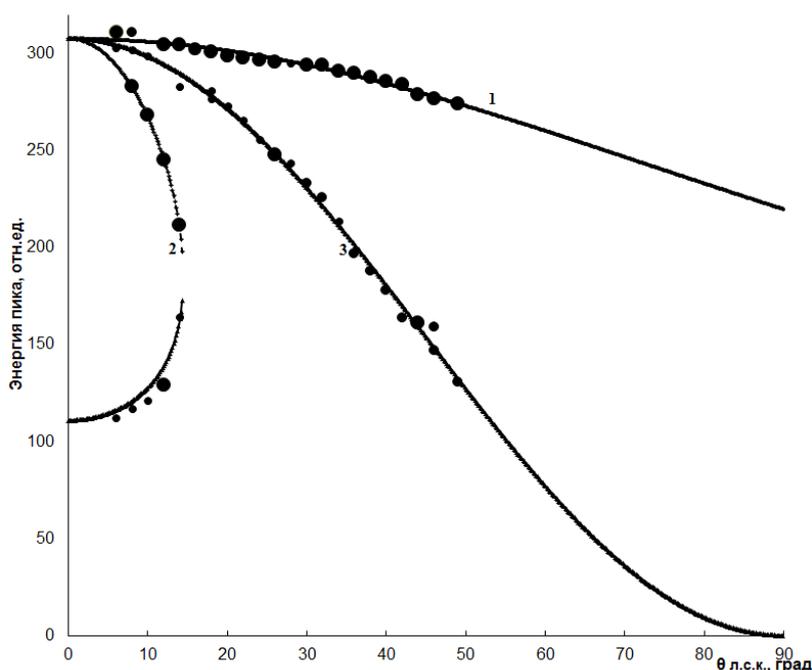


Рисунок 2 – Прямое обнаружение внутриядерных кластеров при бомбардировке ядра ^{24}Mg альфа-частицами с энергией 29 МэВ при помощи клатреков: 1 – реакции $^{24}\text{Mg}(\alpha,\alpha)^{24}\text{Mg}$ (уровень 0^+); 2 – $^1\text{H}(\alpha,\alpha)^1\text{H}$; 3 – $^4\text{He}(\alpha,\alpha)^4\text{He}$

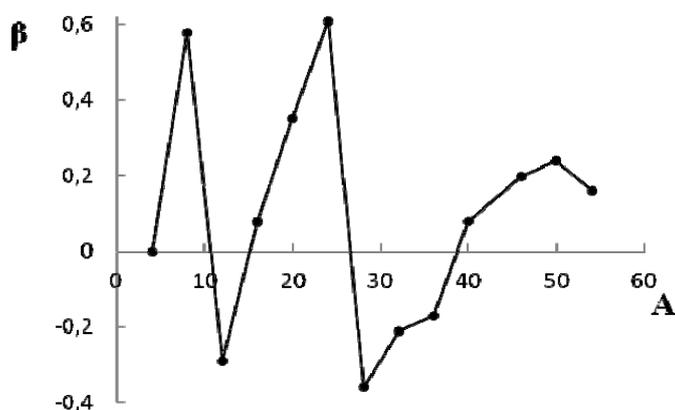


Рисунок 3 – Знакопеременная закономерность квадрупольной ядерной деформации легких ядер с массой, кратной четырем нуклонам, в зависимости от массового числа A

Являются ли альфа-частицы «кирпичиками» ядерной материи наряду с нуклонами? Для ответа на этот вопрос рассмотрим зависимость плотности ядерной материи от массового числа A (рисунок 4). Из рисунка 4 видно, что ядерная

плотность альфа-частиц (отмечена черной точкой) примерно в 9 раз превышает нормальную плотность $\rho_0 = 0,147$ Фм⁻³, таким образом, альфа-частицы действительно являются кирпичиками атомных ядер.

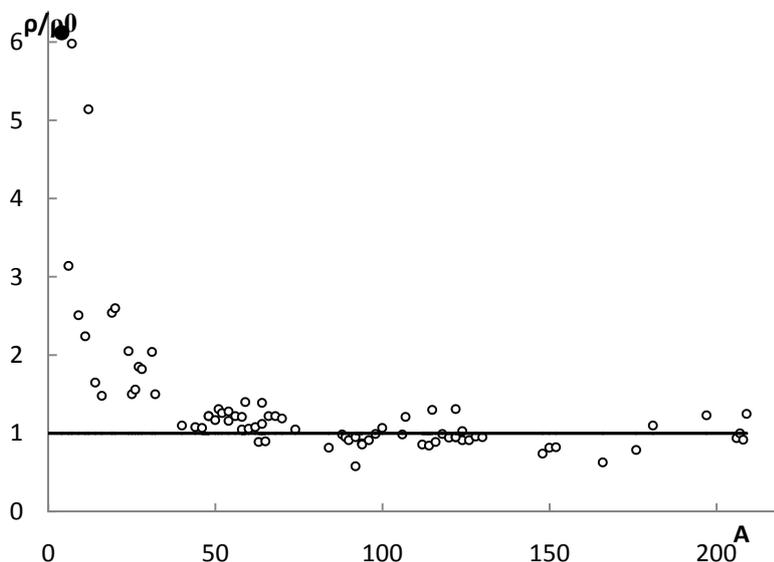


Рисунок 4 – Функции ρ/ρ_0 как доказательство, что ρ и α супертвердые [1-2]

2. Поверхность $\beta(Z,N)$ ядерных деформаций как закономерность, вскрывающая природу радиоактивности и конечности периодической таблицы химических элементов

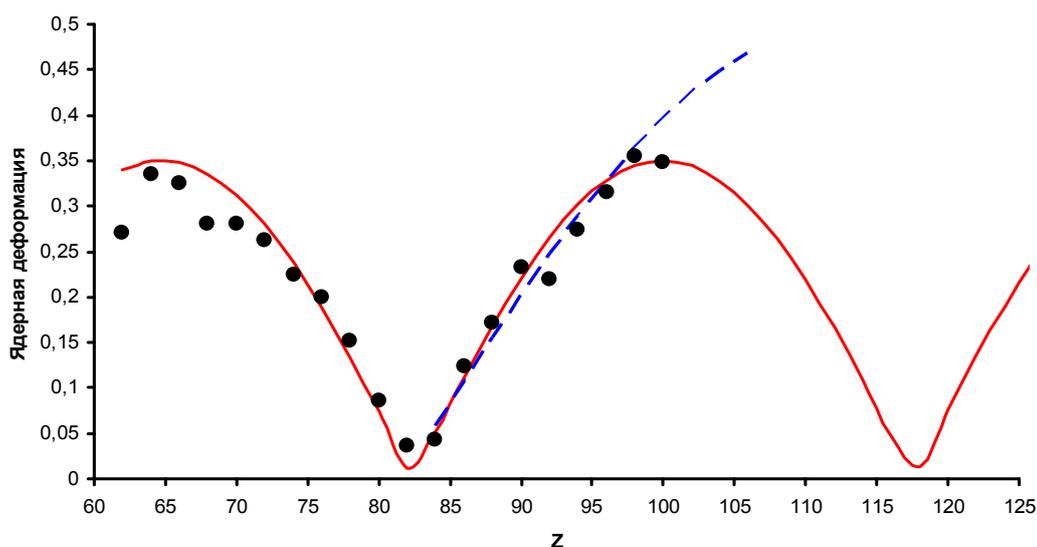
Подтверждается ли, отмеченная выше, осциллирующая закономерность смены знаков ядерной деформации по всему массиву существующих ядер? На рисунке 5 этот факт подтверждается, например, для тяжелых и сверхтяжелых ядер (сплошная линия). Но в отличие от рисунка 3 такая осциллирующая закономерность связана с не альфа-кластерным строением, а с существованием ядерных оболочек с магическими Z и N . На рисунке 5, исходя из наполняемости ядерных оболочек нуклонами, может образоваться «остров стабильности» [7] (сплошная кривая). Рисунок 5 интересен также с точки зрения понимания конечности периодической таблицы химических элементов из-за катастрофического развития несферичности тяжелых ядер (пунктирная линия).

С позиции последнего утверждения, интересно рассмотреть и ограниченность стабильных ядер в сторону, как дефицита, так и избытка нейтронов в изотопических рядах (рисунок 6).

И в данном случае мы видим катастрофическое развитие несферичности, являющаяся первичной причиной радиоактивности, то есть развала таких экзотических ядер. Этому развалу (радиоактивности), скорее всего, фундаментальной причиной служит конечный радиус действия ядерных сил (в отличие от дальнодействующих кулоновских сил).

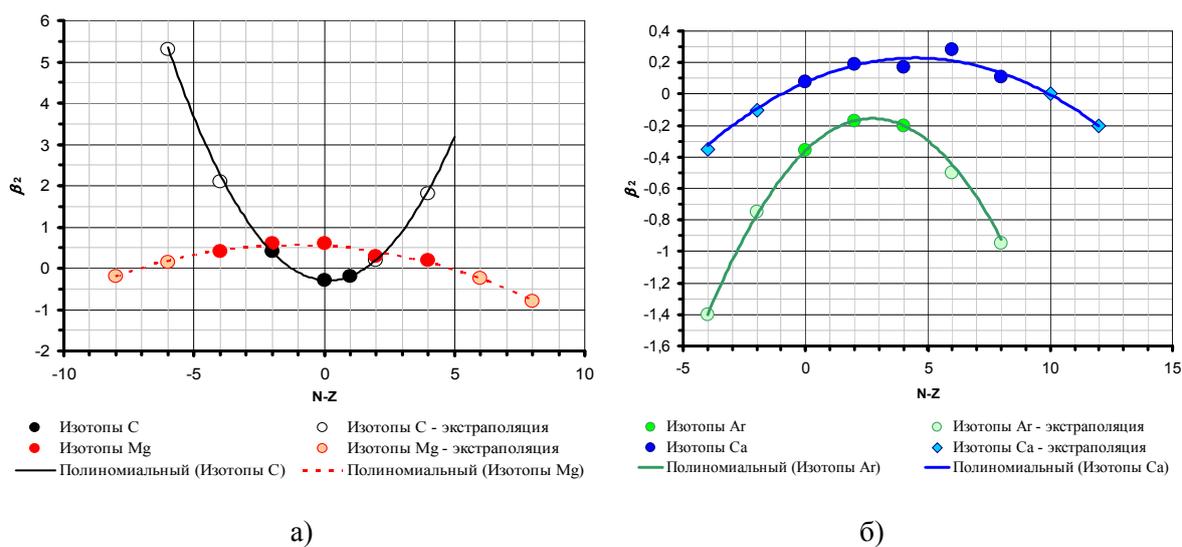
3. Кривизна и расслоение ядерного пространства, вытекающие из экспериментов по фраунгоферовской и френелевской ядерной дифракции

Ряд экспериментов по дифракционному ядерному рассеянию привел авторов к неожиданно и достаточно фундаментальному выводу о римановой кривизне и слоистости ядерного и околоядерного пространства. На рисунке 7 дана связь магнитных моментов ядер в зависимости от их зарядовых (R_z) и массовых радиусов (R_n), а на рисунке 8 магнитные моменты представлены в зависимости от заполнения протонных и нейтронных оболочек, где по оси абсцисс номера оболочек соответствуют их порядковому положению в энергетическом пространстве ($1 - 1s_{1/2}$; $2 - 1p_{3/2}$; $3 - 1p_{1/2}$; $4 - 1d_{5/2}$; $5 - 2s_{1/2}$; $6 - 1d_{3/2}$; $7 - 1f_{7/2}$ и т.д.).



Точки – эксперимент; сплошная линия – осциллирующая экстраполяция; пунктир – линейная экстраполяция в область сверхтяжелых ядер.

Рисунок 5 – Ядерная деформация для четно-четных ядер тяжелых ядер



а) – ядер для изотопов углерода и магния; б) – изотопов аргона и кальция.

Рисунок 6 – Экстраполяция систематизированных экспериментальных данных по ядерной деформации в сторону экзотических нейтронодефицитных и нейтроноизбыточных

В обоих случаях, как Z пространство, так и N пространство явственно распадается на слои. В совокупности с замкнутыми орбитами движения нейтронов, протонов и кластеров автоматически приводит к неизбежному выводу неевклидовости ядерного и околоядерного пространства. Таким образом, реальной метрикой пространства является риманова метрика с геодезической

в форме эллипса. Об этом же говорят известные факты отсутствия излучения из ядер, находящихся в равновесном состоянии, несмотря на то, что нуклоны и кластеры движутся по криволинейным траекториям. Для сравнения укажем, что в случае макроскопической криволинейности траектории электронов в синхротронах возникает мощное рентгеновское синхротронное излучений.

Для нахождения новых фактов расслоения ядерного пространства нами выполнены эксперименты по измерению угловых распределений в прямых (d,p)-реакциях, в которых угловые распределения различаются по угловым моментам. На основе дифракционной теории при анализе экспериментальных сечений (d,p)-реакций на некоторых легких и средних ядрах можно определить радиус эффективного взаимодействия дейтронов с ядром R_d . Проведенный анализ угловых распределений устанавливает некоторые эмпирические зависимости в поведении радиусов взаимодействия дейтронов и их связи с различными характеристиками реакции срыва, такими, например, как орбитальный момент захватываемого нейтрона l_n .

На рисунке 9 показана зависимость радиусов R_d от величины $A^{1/3}$ для различных значений l_n . Видно заметное превышение (примерно на 1 ферми) радиусов срыва R_d , соответствующих $l_n = 1$ и 2, по сравнению с их значениями для $l_n = 0$ (а также между $l_n = 1$ и $l_n = 2$).

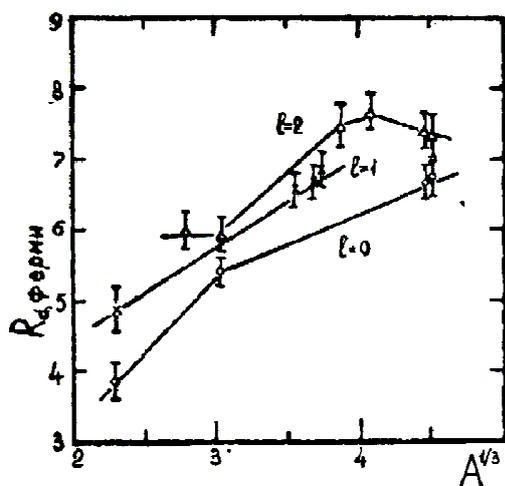


Рисунок 9 – Зависимость радиусов R_d от величины $A^{1/3}$ для различных значений l_n

4. Планеторно-симплектический закон структур в микромире и экспоненциальный закон энергии связи микрочастиц

В обрисованную выше новую картину ядерных свойств с неизбежностью должны впи-

сываться и другие структуры микромира. С указанных позиций нами рассмотрены две характеристики: 1) топология структур микромира; 2) энергия связи этих структур. Имеются ввиду такие структуры как молекулы, атомы, ядра, нуклоны и другие элементарные частицы.

Обменная часть сильных сил, реализуемая с помощью мезонов, занимает значительную долю в полном взаимодействии, как ядер, так и элементарных частиц. Идеи обменных сил впервые зародились в квантовой химии, где были проверены экспериментально, а затем перенесены в ядерную, а позже и в элементарно-частичную физику.

Механизм обмена между адронами с помощью тяжелых частиц в общем случае нарушает закон сохранения энергии. Но в квантовом микромире процессы с нарушением закона сохранения энергии принципиально возможны, благодаря «запрету», налагаемому соотношением неопределенностей Гейзенберга $\Delta E \Delta t \geq \hbar$. За время сильного взаимодействия $\Delta t \approx 10^{-23}$ с, в течение которого и происходит обмен частицами, «допускается» неопределенность в знании энергии ΔE , то есть на эту величину «можно виртуально нарушать» закон сохранения энергии.

Ядерные силы Юкавы должны были осуществлять взаимодействие между нуклонами с помощью частицы с массой 200-300 m_e . Такими частицами явились пионы π^+ , π^- , π^0 . Подставляя в соотношение неопределенностей величину $\Delta E = mc^2$ и $\Delta t = r_{NN}/c$, где r_{NN} – расстояние между адронами, c – скорость света (скорость обменных частиц), получим выражение для массы обменной частицы $M = \hbar / r_{NN} c$. Обменные виртуальные реакции между нуклонами идут как с неизменным изоспином, так и с его изменением: $p \rightarrow \pi^0 + p$; $p \rightarrow \pi^+ + n$; $n \rightarrow \pi^0 + n$; $n \rightarrow \pi^- + p$.

Реальный одиночный нуклон имеет плотный *кern*, который окружен облаком из нескольких пионов. Оценим их число в пионном облаке. Для этого вычислим *полную энергию связи всех пионов в нуклоне*. С этой целью, поскольку масса керна нуклона еще не измерена, построим зависимость энергий связи нескольких близких структур материи в зависимости от их размеров (таблица 1) и экстраполируем в область размеров нуклона и его керна (рисунок 1) [8].

Таблица 1 – Энергии связи различных структур материи на базисе протона

Номер структуры	Вид структуры материи	Геометрический фактор	Характерный радиус структуры, см	Энергия связи, эВ
1	Молекула водорода	Симплектический	$1,32 \cdot 10^{-8}$	4,75
2	Атом водорода	Планетарный	$0,46 \cdot 10^{-8}$	13,6
3	Ядро (дейтрон)	Симплектический	$1,76 \cdot 10^{-13}$	$2,23 \cdot 10^6$
4	Протон	Планетарный	$0,8 \cdot 10^{-13}$	$5,57 \cdot 10^6$
5	Партон (экстраполяция)	Симплектический	$\sim 10^{-15}$	$3,5 \cdot 10^{12}$
6	Новая элементарная частица «квасисолнце»	Планетарный	$\sim 10^{-40}$	$1,9 \cdot 10^{38}$
7	Новая элементарная частица «квазигалактика»	Симплектический	$\sim 4,5 \cdot 10^{-50}$	$1,7 \cdot 10^{49}$
8	Новая элементарная частица «квази-метегалактика»	Планетарный	$\sim 10^{-59}$	$3,3 \cdot 10^{60}$

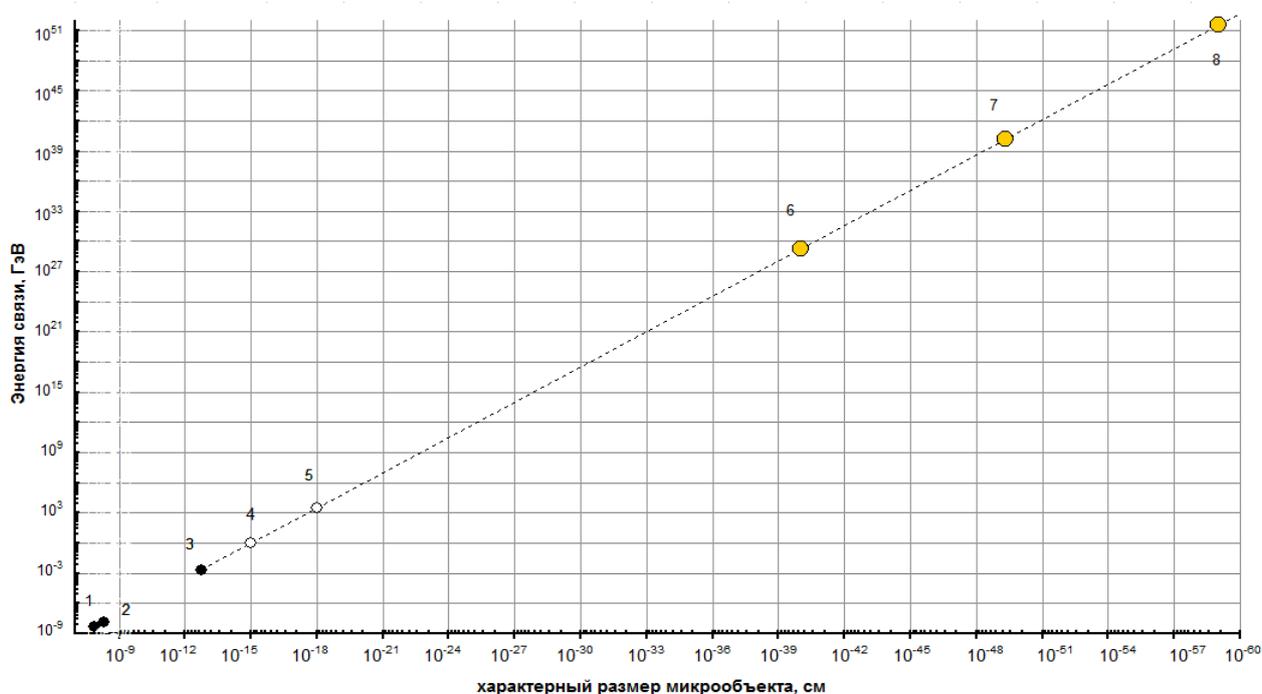


Рисунок 10 – Закон изменения полной энергии связи от характерных размеров структур микромира. Точки эксперимент, сплошная линия – теория (1)

На рисунке 1 дана такая зависимость с достоверностью соответствия теории (сплошная линия) и эксперимента (точки) в диапазоне известных структур материи для систематического ряда водорода: «молекула-атом-ядро-нуклон-кern-...» равной 0,9998. Из рисунка 1 и таблицы 1 видно, что полная энергия связи пионов с kernом нуклона составляет величину 5,57 МэВ (при размере нуклона $r_N=0,8 \cdot 10^{-13}$ см). А,

следовательно, в предположении, что масса нуклона делится между массой kernа и суммарной массой пионов поровну, число пионов равно 3.

По-видимому, kern нуклона окружен, действительно, облаком из трех пионов (трех сортов пионов), что дает ему возможность реализовать все четыре, указанных выше, реакции. Указанная закономерность рисунка 1 описана нами формулой

$$E = \frac{\hbar c}{r_0} \alpha^{b-1} \left(\frac{r}{r_0}\right)^a, (\text{МэВ}), \quad (1)$$

где $a = -1,1702$, $b = -2,1552$.

В физике элементарных частиц давно существует загадка [1]: какие функции выполняют три «электрона»: легкий электрон e^- (это настоящий электрон, выполняющий функцию построения атомов химических элементов); среднетяжелый «электрон» μ^- (заряд равен заряду e^- , но масса примерно в 200 раз больше); тяжелый «электрон» τ^- (заряд равен заряду e^- , но масса примерно в 2000 раз больше). Следуя планетарно-симплектическому закону (таблица 1), можно предположить [1], что функции среднетяжелого «электрона» μ^- – участвовать в планетарном построении нуклона (рисунок 10). По-видимому, функции и тяжелого «электрона» τ^- та же, то есть участие в построении планетарной структуры еще не открытой элементарной частицы.

Заключение

В заключении уместно сделать некоторые выводы: 1) нет сомнений, что физика микромира стоит на пороге рождения новой ядерной физики с новым бесконечно сложным объектом – ядром и новым римановым ядерным пространством; 2) необходимо построение новых ядерных моделей на принципах плотных шаровых упаковок и соответствующих симметрий ядерной структуры; 3) остро необходимо конструирование новых совершенных ядерных ускорителей в диапазоне от кулоновского барьера (около 15-20 МэВ) до порога рождения мезонов (около 150-200 МэВ), позволяющих «спектроскопические» измерения продуктов ядерных реакций с множеством корреляционных экспериментальных схем и одновременной регистрации всего многообразия вторичных частиц ядерных реакций.

Литература

- 1 Жусупов М.А., Юшков А.В. Физика элементарных частиц. Том II. – Алматы: 2006.— 488 с.
- 2 Жусупов М.А., Юшков А.В. Физика атомных ядер. Том 3. – 2006. – Парус, Алматы. – 455 с.
- 3 Дьячков В.В., Юшков А.В. Термины и определения в ядерной физике // Учебное пособие раздела ядерной физики общего курса физики.– Palmarium Academic Publishing LAP LAMBERT, Germany, 2012.– 86 с.
- 4 Дьячков В.В. Справочник атомных ядер-NDBR С. Справочник ядерных параметров и свойств атомных ядер, ядерный калькулятор // Алматы, 2013. – 52 с.
- 5 Гриднев К.А., Дьячков В.В., Юшков А.В. Определение статвеса волновых функций мультикластеров в легких ядрах в рамках параметризованного фазового анализа // Известия РАН. Серия физическая. – 2014. – Том 78, № 7. – С. 857-859
- 6 Гриднев К.А., Дьячков В.В., Юшков А.В. Явление дифракционного подъема сечений в передней полусфере углов как эффект ядерной и кластерной интерференции // Известия РАН. Серия физическая. – 2015. – Том 79, №7. – С. 950-951.
- 7 Оганесян Ю.Ц. Острова стабильности // В мире науки. – 2005. – № 3. – С. 66-77.
- 8 Дьячков В.В., Юшков А.В. Системно-структурный закон микромира // Изв. НАН РК, сер. физ.-мат.– Алматы, 2013.– 2(288).– С. 130-133.

References

- 1 Zhusupov M.A., Yushkov A.V. Fizika elementarnykh chastic. Tom II. Almaty: 2006. 488 s. (in russ).
- 2 Zhusupov M.A., Yushkov A.V. Fizika atomnykh yader. Tom 3. 2006. – Parus, Almaty. 455 s. (in russ).
- 3 Dyachkov V.V., Yushkov A.V. Terminy i opredeleniya v yadernoj fizike // Uchebnoe posobie razdela yadernoj fiziki obshhego kursa fiziki.– Palmarium Academic Publishing LAP LAMBERT, Germany, 2012. 86 s. (in russ).
- 4 Dyachkov V.V. Spravochnik atomnykh yader-NDBR С. Spravochnik yadernykh parametrov i svoystv atomnykh yader, yadernyy kalkulyator // Almaty, 2013. 52 s. (in russ).
- 5 Gridnev K.A., Dyachkov V.V., Yushkov A.V. // Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya. 78(7). (2014). 857-859. (in russ).
- 6 Gridnev K.A., Dyachkov V.V., Yushkov A.V. // Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya. 79(7). (2015). 950-951. (in russ).
- 7 Oganesyanyan Yu.C. Ostrova stabilnosti // V mire nauki. 3. (2005). 66-77. (in russ).
- 8 Dyachkov V.V., Yushkov A.V. // Izv. NAN RK, ser. fiz.-mat. 2(288). (2013). 130-133. (in russ).