

## ОТВЕТ РЕЦЕНЗЕНТУ

Текст рецензии дан курсивом. Ответы следуют за замечаниями.

### *РЕЦЕНЗИЯ*

*Проект  
БЕККЕРЕЛЬ*

*В первую очередь я хотел бы сделать замечание по поводу языка, которым написан текст. Второстепенная проблема в данном случае выходит на первый план, ибо авторская лексика чрезвычайно усложняет понимание существа дела.*

Несовершенства текста связаны в немалой степени с быстрым прогрессом данного исследования, развивающегося на стыке ядерных проблем и методов физики высоких энергий. Апробация языка происходит в процессе представления докладов, статей обзоров.

*Если в случае «когерентных ансамблей кластеров, играющих промежуточную роль в нуклеосинтезе», можно еще догадаться, что речь идет об известных ядерных резонансах,*

Нет, хотя они не теряют своей значимости в известных сценариях ядерной астрофизики. Теоретики (Рорке, Nogowitz можно найти по inspire) трактуют свои расчеты как возможность макроскопической ядерной материи при примерно трети ядерной плотности вблизи нуля ядерной температуры. Употребляются термины вроде «ядерная паста» и т. п. Прямое слияние трансжелезных ядер невозможно. А вот в условиях сверхновых при переходе в множественное состояние тяжелых ядер роль кулоновского отталкивания снижается и возможен обратный фазовый переход квантового газа легчайших ядер в квантовую жидкость (сверхтяжелое ядро в основном состоянии). Мультифрагментация ядер указывает на возможность такого перехода. Лично слышал доклад Ю.Ц. Оганесяна Научном совете по ТИ РАН с год назад. Именно в нем была описана идея возникновения гравитационной волны в таком переходе.

*то «квантово- электродинамическое взаимодействие»,*

Тяжелые ионы могут взаимодействовать ЭМ полями, которые имеют квантовую природу. Термин «подарен» С. Б. Герасимовым (ЛТФ). Даже отделение одиночного нуклона в столкновении тяжелых ионов – аналог ядерного фотоэффекта.

*«изучение ядерной структуры в конусе релятивистской фрагментации»,*

Существенные моменты кластерной структуры ядер проявляются в составе фрагментов в конусе. В случае легких ядер нами это было продемонстрировано на целом семействе.

*«кинематические характеристики, представляющие ядерно-астрофизический интерес»,*

Масштаб кинетических энергий фрагментов в системе диссоциирующего ядра характерен для ядерной астрофизики.

*а также многое другое осталось для меня загадкой.*

Был бы признателен за другие неясности.

*Предложения авторов проекта можно охарактеризовать как очень невнятные.*

Это особенность поисковых экспериментов. Основная наша цель – выявить роль нестабильных ядер, к числу которых можно отнести и СХ.

*Во-первых, в разделе «Ожидаемые результаты и их значимость» авторы сообщают, что рассчитывают получить ответ об «универсальном характере образования троек  $\alpha$ -частиц в состоянии Хойла в диссоциации ядер  $^{14}\text{N}$  и  $^{28}\text{Si}$ ». Я решительно не понимаю, что означает выражение «универсальный характер образования», на основе чего может быть сделан вывод об универсальности, а также каковы могли бы быть последствия подобного заключения.*

До сих пор состояние Хойла ассоциируется исключительно с возбуждением ядра C-12. Нами высказана гипотеза о проявлении его в других ядрах вплоть до самых тяжелых. Это и станет демонстрацией ядерно-молекулярной природы CX. (Специалистами в этой области, авторами цитируемых обзоров эти находки 2017-2019 гг. воспринимаются как интригующая идея.)

*Предположим, «универсальный характер» означает, что сечение заселения состояния велико.*

*Насколько оно должно быть велико, чтобы свидетельствовать об универсальности? С другой стороны, авторы говорят, что гипотеза о состоянии Хойла*

*См. выше. Универсальность – возникновение в диссоциации других ядер тяжелее C-12. Главное, что более тяжелые ядра могут служить «фабрикой» CX как самых узких релятивистских азтроек.*

*«как об универсальном объекте, подобном  $^8\text{Be}$ » уже получила подтверждение. Таким образом,  $^8\text{Be}$  представляет собой объект безусловной универсальности?*

В описанном выше смысле – да. Он возникает в самых разнообразных реакциях, том числе в релятивистских диссоциации.

*Как это следует понимать? Утверждение, что «состояние Хойла не сводится к возбуждению  $^{12}\text{C}$ , но может возникать как 3 $\alpha$ -частичный аналог  $^8\text{Be}$ » еще более затрудняет понимание мотивов и намерений авторов. Что означает то, что одно из возбужденных состояний  $^{12}\text{C}$  не сводится к возбуждению  $^{12}\text{C}$ , а «возникает как аналог»?*

Да, долгоживущий аналог. C-12 простейшее начальное состояние для CX, как Be-9 для Be-8. CX, как и Be-8, имеет время жизни порядка значения для пи-0. В релятивистском случае, это означает распад на длине порядка 1000 атомных размеров (Be-9 – порядка одного).

*Подтверждение «универсальности» состояния Хойла, как утверждается, уже было получено на пучках  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$  и  $^{22}\text{Ne}$  в результате измерения доли событий, соответствующих этому состоянию, в полном спектре инвариантной массы 3-х  $\alpha$ -частиц. Эта доля составила от 10 до 20%. С учетом других каналов фрагментации исходного ядра она, очевидно, будет существенно меньше, но вопрос даже не в этом, а в том, какую информацию несет эта величина?*

Речь идет не столько об информации. Наша цель – доказательства. Это приоритетное наблюдение универсального ядерно-молекулярного объекта микромира. Есть предварительное указание на усиление его роли. Могут быть сюрпризы в узких ансамблях с ростом их множественности. Главное, что переменная инвариантной массы позволяет «переваривать» множественные состояния. Приближение сохранения продольного импульса на нуклон работает и для CX и на разных ядрах.

*Если речь идет об изучении кластерной структуры ядра, то связь этой величины со структурой существует только в контексте теоретических моделей, которые*

*используются для описания результатов эксперимента. Однако о том, каким образом, в рамках какой модели могут интерпретироваться полученные результаты, авторы не сообщают ничего.*

Речь идет об извлечении достаточно целостной экспериментальной картины, сложность которой за пределами современных моделей. Скрытая спиновая структура ядра проецируется на конечные кластерные состояния, возникающие диссоциации. Теоретики по кластерной физике пока нас внимательно слушают. Тем не менее, есть предсказание,  $4\alpha$ -конденсатного состояния. Вот его и попытаемся увидеть на облучение кремнием. Есть предсказание на соотношение легчайших изотопов в охватываемом диапазоне энергии (рис. 1) – будем извлекать.

*Авторы совершенно справедливо отмечают, что для исследования ядерной структуры более подходят низкие энергии, однако «пауза в применении преимуществ релятивистского подхода» в качестве «мотивации для дальнейших облучений стопок ЯЭ» выглядит крайне сомнительно.*

При низких энергиях достаточно сложностей теоретического описания реакций, регистрации низкоэнергичных их продуктов, проблемы с порогом периферических реакций. У нас кластерная физика проявляется наглядно и имеет приложения в связанных областях. Перспектива – релятивистские энергии, при которых многое упрощается. Об этом свидетельствует прогресс сотрудничества R3B (FAIR).

*В разделе «Ожидаемые результаты» ничего не говорится о поиске экзотических резонансных состояний, распадающихся на 4  $\alpha$ -частицы, тем не менее, эта задача упоминается в других разделах. Подобное состояние могло бы оказаться интересной находкой, однако для его поиска необходимо обосновать выбор реакции, в котором оно заселялось бы с приемлемым сечением.*

А вдруг их не окажется? Этот раздел служит обобщающим заключением всего текста. Наше дело практический обзорный анализ ситуации в конусе фрагментации. Будут сюрпризы – не пропустим, как и ранее. В диссоциации кремния уже наблюдается интересные события – сверхузкие струи.

*Значение такого состояния для нуклеосинтеза крайне сомнительно, даже если ширина такого состояния окажется сравнимой с ширинами  ${}^8\text{Be}$  и состояния Хойла и оно будет распадаться с испусканием  $\gamma$ -кванта, просто в силу того, что вероятность взаимодействия двух  ${}^8\text{Be}$  очень мала (равновесная концентрация  ${}^8\text{Be}$  при плотности  $10^5$  г/см<sup>3</sup> на 10 порядков ниже плотности  $\alpha$ -частиц).*

Речь не идет о паре Be-8. Конденсатные состояния могут быть очень полезны. Например, прямое слияние  $\alpha + \text{C-12}$  в O-16 запрещено. А вот через переход донного из C-12 в CX оно возможно, чем и определяется соотношение C-12/O-16 в Природе.

*В отношении тяжелых ядер авторы предполагают «отобразить и документировать несколько десятков событий множественной диссоциации,.. установить распределение по зарядовой топологии легчайших фрагментов,.. восстановить распределение нейтронов по поперечному импульсу». На мой взгляд, необходимость такого «документирования» обоснована недостаточно. Авторы говорят исключительно о том, что они намереваются измерить, но ни разу не упоминают, какова цель этих экспериментов. О чем должна сообщить нам «зарядовая топология легчайших фрагментов», измеренная с весьма скромной (несколько десятков событий) статистикой?*

Цель – экспериментальное изучение. Планируется установить соотношение легчайших

изотопов. Возможно, это ключ к обоснованию изучения разреженной ядерной материи в конусе релятивистской диссоциации. Возможно, что в удастся идентифицировать СХ, а может быть и.... Статистика может быть названа и рекордной, поскольку другие методики не вовсе обеспечивают наблюдений в релятивистском конусе.

*Можно ли говорить об «уникальной детальности» представления «структуры диссоциации», регистрируя только легкие продукты фрагментации тяжелых ядер?*

Регистрируются, конечно, все. Однако наш интерес сосредоточен на событиях периферической диссоциации с максимальной множественностью. Для их поиска применяется ускоренный метод просмотра по полосам.

*Что послужит критерием подтверждения или опровержения «гипотезы о возможности исследования разреженной ядерной материи в диссоциации тяжелых ядер»?*

Для начала реконструкция релятивистских распадов Ве-8, затем СХ (они же разреженные), возможны и более сложные конфигурации. Далее изотопический анализ, далее распределения по поперечному импульсу нейтронов.

*Каким образом авторы намереваются установить связь углов эмиссии нейтронов с их пространственным распределением на периферии тяжелых ядер?*

В приближении сохранения первичного импульса предполагается получить распределение по поперечному Ферми-импульсу. Дальше дело за ядерными теоретиками. Будут данные – найдем заинтересованных аналитиков.

*Измерения распределений по поперечному импульсу нейтронов и кластеров в определенных случаях представляют интерес, однако подобных экспериментов было сделано немало и хотелось бы понимать, какие именно аспекты ядерной структуры каких именно ядер интересуют авторов.*

Надеемся, что проявятся эффект нейтронной «шубы» в особенно узком распределении по поперечному импульсу. Не захотелось перегружать текст важной применением для проверки представлений о фрагментации при интерпретации данных на калориметрах нулевого угла.

*В заключение я вынужден отметить, что физическое обоснование предлагаемой программы выглядит не слишком убедительно, а в качестве демонстрации «устойчивого интереса к теме» стоило бы привести не число загрузок обзора [2], а количество ссылок на него.*

Почти нет. (Интересно количество ссылок на Анри Беккереля...). Тем не менее, спрос на наши знания большой. Никто не способен работать всерьез в релятивистском конусе кроме нас. Эмульсия – поисковая методика. Мы осваиваем новые возможности для ядерной физики, собираемся расширить качественным образом область наблюдаемых явлений. На основе обзорных измерений можно предложить ядерные задачи для электронных экспериментов.

*Безусловным преимуществом обсуждаемой методики является простота ее применения.*

Это как для зрителя простота высшего пилотажа, фигурного катания..... Наглядно – не значит просто. В мире - никто кроме нас.... И это не случайно проявляется в загрузках.

*Обработка полученной информации при этом настолько трудоемка, что, насколько я понял, за годы измерений накоплен очень большой объем необработанных данных.*

Измеряли, не обрабатывая?! Да, для планирования поиска у нас есть данные, но нам

нужен выход на сечения  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  неупругого..

*Если я не ошибаюсь и это действительно так, то прежде чем продолжать наращивать этот объем, возможно, было бы разумно потратить время на анализ уже имеющихся данных с целью поиска интересных событий.*

Ранний анализ делался поиском событий без выборки в обзорных целях (кроме С-12 и О-16). Например, в статистике 4600 взаимодействий Неон-22 всего 5 5а. На 50 комбинаторика была бы впечатляющей. Нас интересует левый край спектра по инвариантной массе. Сейчас необходим ускоренный поиск поперек направления пучка с целью поиска узких струй. Они обнаруживаются уверенно. Решаемая проблема. Именно в них делается детальные измерения. Так, на облучении Ве-9 был выполнен анализ 500 релятивистских 2а пар.

Много информации можно найти на страницах

<http://becquerel.jinr.ru/>

<http://becquerel.jinr.ru/text/indexin.html>

<http://becquerel.jinr.ru/thesisreferate/thesisreferate.html>

<http://becquerel.jinr.ru/text/reprints.html>

<http://becquerel.jinr.ru/text/preprints.html>

<http://becquerel.jinr.ru/movies/movies.html>

Материалы по проекту представлены в обзорном докладе П. И. Зарубина на недавнем совещании

<https://indico.ectstar.eu/event/52/contributions/>

С благодарностью за внимательное прочтение и замечания, П. Зарубин.