

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

P3-2015-75

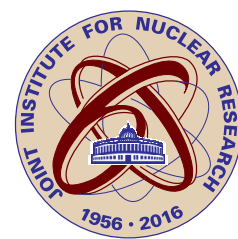
И. А. Еганова^{1,*}, В. Каллис

¹*Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН,
Новосибирск, Россия*

**E-mail: eganova@math.nsc.ru*

О МОДЕЛИРОВАНИИ НЕЙТРОНА
В КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ:
МЕТОДИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Дубна 2015



Еганова И. А., Каллис В.

P3-2015-75

О моделировании нейтрона в классической физике: методический обзор

Показано, что вопрос об элементарности нейтрона, который недавно был поднят Б. В. Васильевым в сообщении ОИЯИ P3-2014-77, требует применения всей системы логически согласованного и выверенного экспериментом знания, полученного М. Грызинским в детерминистской атомной физике, а также показана несостоятельность двух представлений, которые заявлены в этом сообщении: 1) об электроноподобной элементарной частице в структуре нейтрона, которая не имеет магнитных свойств, и 2) о планетарной модели для нейтрона с точечными элементарными частицами.

Работа выполнена в Центре прикладных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2015

Eganova I. A., Kallies W.

P3-2015-75

On Modeling of the Neutron in Classical Physics: A Methodical Review

In the given work it is shown that the question about the neutron as a non-elementary particle started recently by B. V. Vasiliev in JINR Communication P3-2014-77 demands to take into consideration the entire system of the logically relevant and based on experiments knowledge which was found by M. Gryziński in the deterministic atomic physics, and also the two interpretations declared in this communication are refuted: 1) of an electron-like elementary particle in the neutron structure that has no magnetic properties and 2) of the planetary-type model for a neutron with point objects.

The investigation has been performed at the Applied Research Centre, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2015

ВВЕДЕНИЕ

В недавно опубликованном сообщении ОИЯИ [1] автор поднимает вопрос о том, является ли нейтрон *элементарной частицей*.

Сразу заметим, что эта работа при всей ее актуальности не является пионерской, поскольку данный вопрос был достаточно глубоко рассмотрен М. Грызинским в 2002 г. в его научно-популярной книге «Дело атома» [2]. Надо отметить, что М. Грызинский обратился к этому вопросу не по некоторому отдельному случаю, а в русле исследований фундаментальных проблем ядерной физики после того, как им были успешно заложены основы детерминистской атомной физики [3–5]: открыта радиальная кинетика атомных электронов, и на ее основе создана действительно адекватная модель атома, с помощью которой была дана корректная интерпретация известных фундаментальных явлений атомной физики. Обсуждая в специальной главе книги [2] перспективы дальнейших исследований в свете полученных им результатов в детерминистской атомной физике, М. Грызинский рассмотрел ключевые моменты исследования нейтрона как *связанного состояния электрона и протона — двух гироскопов, связанных магнитными силами*.

Здесь стоит упомянуть, что представление о нейтроне как системе частиц, в которой участвуют протон и электрон, фигурирует в работах А. В. Левичева, развивающего хронометрию И. Сигала, где предлагается отождествить эксон с протоном (см., например, [6]).

К сожалению, автор [1], поднимая давно назревший вопрос, за которым скрывается система представлений классической электродинамики, и, видимо, не располагая соответствующими результатами детерминистской атомной физики, в которой классическая электродинамика расширена с учетом магнитных свойств вращающегося электрона, допустил в своих изысканиях ряд досадных методических просчетов. Тем самым заложен некорректный подход к обсуждаемому весьма актуальному для развития современной физики вопросу. Поэтому целесообразно сразу же дать методические замечания к моделированию нейтрона в работе [1].

Прежде всего, чтобы читателю было понятно, что моделирование внутренней структуры нейтрона должно идти в русле представлений об электронной динамической структуре атомного мира, которую открыла детерминистская атомная физика, в следующем разделе (п. 1) дан краткий обзор ее экспериментального фундамента и ключевых достижений. Затем в п. 2 указаны методические просчеты работы [1] в свете проведенного М. Грызинским анализа структуры нейтрона, а также представлены новые свойства нейтрона и атомных ядер, которые при этом были обнаружены. В заключении ставится вопрос о необходимости соответствующего *учебного пособия* по детерминистской атомной физике в курсе «Общая физика».

1. ОСНОВЫ И ДОСТИЖЕНИЯ ДЕТЕРМИНИСТСКОЙ АТОМНОЙ ФИЗИКИ

В фундамент детерминистской атомной физики заложена корректная, т. е. действительно адекватная физической реальности, модель атома. Она была предложена М. Грызинским на основе раскрытия характера кинетики атом-

ных электронов. Это было достигнуто с помощью предварительно разработанного им описания столкновения между двумя элементарными частицами [7–10], взаимодействующими посредством центральной силы, в лаборатор-

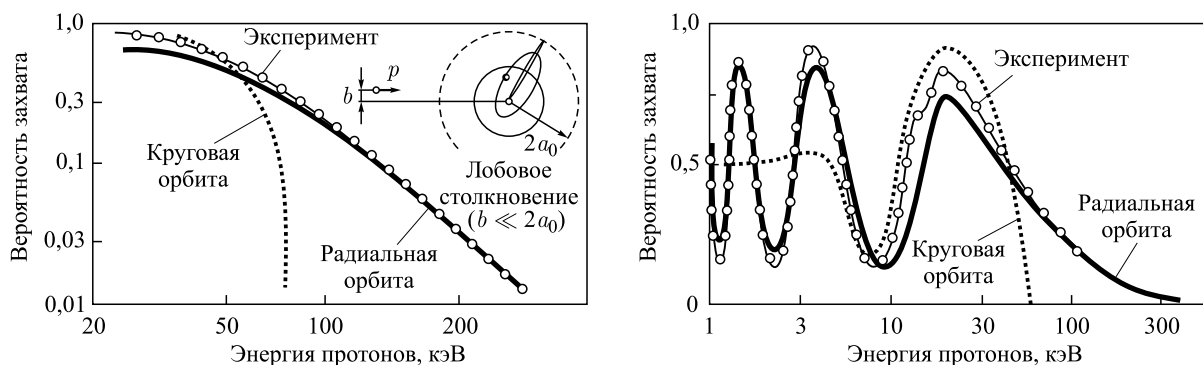


Рис. 1. Захват электрона в лобовом столкновении протонов с атомами водорода: сравнение результатов теоретических вычислений вероятности захвата для разных типов кинетики (радиальной и круговой) атомных электронов с данными эксперимента (воспроизведен рис. 1 из работы [4])

ной системе отсчета¹ и фактического материала экспериментов по лобовому столкновению протонов с атомами водорода [11]. Экспериментальные данные неоспоримо свидетельствовали в пользу радиального типа кинетики атомных электронов — как видим на рис. 1, рассматриваемый процесс весьма чувствителен к форме орбиты электрона и экспериментальные точки четко ложатся на теоретическую кривую [12], столь нетривиальную в области низких энергий протона². Заключение о радиальной кинетике атомных электронов было весомо подтверждено сравнением результатов вычислений [13] энергетического спектра электронов, выведенных протонами из атомов гелия, для двух крайних форм коллективного движения двух электронов гелия, т. е. кругового и радиального, с данными эксперимента [14].

Таким образом, был наконец установлен тип кинетики атомных электронов — *радиальный*. Если движение атомных электронов известно; т. е. известны начальные условия задачи столкновения, то любой эффект столк-

новения, производимый заряженной частицей-снарядом, бомбардирующей атом, может быть легко вычислен по крайней мере численным решением ньютоновского уравнения движения для всех частиц, участвующих в столкновении. На рис. 2 приведены результаты таких вычислений [15, 16] для экспериментов по ионизации атомного водорода электронным (протонным) ударом в широком диапазоне энергий и для разных экспериментов [17, 18]. Это убедительнейшее согласие теоретических вычислений с экспериментальными данными³ является ярким доказательством корректности данного классического подхода. Эффективность и высокие возможности классической теории для интерпретации экспериментальных результатов атомных столкновений легко видеть на следующем примере.

На рис. 3 представлены результаты по рассеянию низкоэнергетических электронов на атомах аргона по данным разных экспериментов [19–21]. Установки, используемые в этих экспериментах, различались по величине апер-

¹ После работ Резерфорда стало ясно, что электроны в атоме не могут находиться в покое и формализм атомных столкновений должен принять во внимание кинетику движущихся электронов. Теоретический анализ столкновения с системой, содержащей некоторое число электронов, находящихся в непрерывном движении, является нелегкой задачей. Эта проблема была поднята Бором уже в начале 1920-х гг., но существенный шаг к формулированию более точной теории атомных столкновений был сделан только несколько лет спустя, в 1927 г., когда Томас и Вильямс, используя статистическую модель атома Хартри–Фока, успешно описали потери энергии заряженных частиц, движущихся в газовой среде. К сожалению, из-за квантовой механики, которая подвергла сомнению понятие локализованного электрона, плодотворные исследования, основанные на классической динамике, были полностью остановлены, а математический формализм, введенный Борном, стал доминировать в физике.

² Численное моделирование столкновения протона (электрона) с атомом водорода на основе ньютоновской динамики не представляет затруднений. Надо проинтегрировать три ньютоновских уравнения движения для всех трех частиц, участвующих в столкновении. Причем две из этих частиц, электрон и протон, изначально взаимосвязаны и играют роль атома-мишени, а третья частица, приходящая из бесконечности к мишени, играет роль снаряда. Чтобы задать мишень, мы должны задать значение энергии связи и углового момента связанного электрона. Поскольку энергия связи электрона в атоме водорода является непосредственно измеренной величиной, равной 13,6 эВ, и согласно данным атомной спектроскопии угловой момент атома водорода в основном состоянии равен нулю, рассматриваемая задача столкновения в целом *строго определена*.

³ Поскольку задача столкновений строго определена и алгоритм теоретических вычислений не содержит какого-либо подгоночного параметра, для того чтобы проверить предложенную теорию, достаточно сравнения с экспериментальными результатами в единственной точке, т. е. для отдельно заданной энергии бомбардирующей частицы в некотором определенном эксперименте.

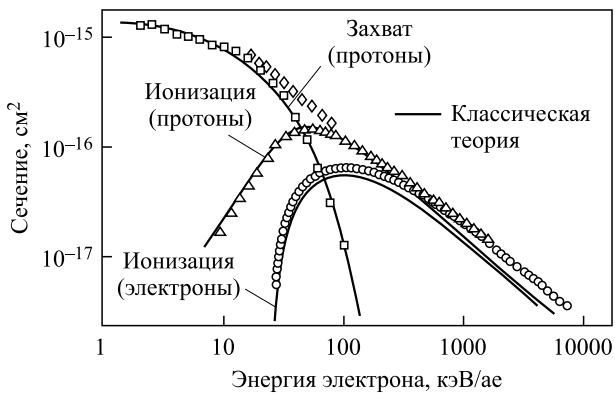


Рис. 2. Ионизация атома водорода электронным (протонным) ударом (воспроизведен рис. 2, а из работы [4])

туры детектора δ — они указаны на рисунке. Как видим, и результаты экспериментов явно зависят от величины δ . Также видим, что экспериментальные точки четко легли на теоретические кривые [4], полученные по законам классической динамики, которые в отличие от квантовой механики учитывают величину δ , — явное преимущество классического теоретического подхода, развитого М. Грызинским в атомной физике.

Говоря о действенности и эффективности классической динамики в микромире, сразу отметим, что она позволила точно описать ударную ионизацию и возбуждение атомов и молекул, эффект Рамзауэра и силы Ван-дер-Ваальса, атомный диамагнетизм и сдвиг атомных энергетических уровней и многое другое (см. [2–5] и цитируемые там работы М. Грызинского, а также [22] и [23]).

Открытие радиальной кинетики атомных электронов указало путь к созданию действительно адекватной, *реальной (физической)* модели атома (см., например, [24]). На этом пути, принимая во внимание известные магнитные свойства электронов и протонов, прежде всего было необходимо расширить классическую электродинамику — включить в теорию эйлеровские уравнения движения, которые описывают поведение вращающихся тел. При этом оказалось, что медленными изменениями ориентации спиновой оси электрона из-за нецентрального характера магнитного взаимодействия можно в ряде случаев пренебречь и вести описание в так называемом приближении жесткого гироскопа. Детальный анализ общего случая движения электрона в квазисвободном движении к ядру (по выражению М. Грызинского — в квазисвободном падении на ядро; предложенную им модель атома он назвал моделью свободного падения:

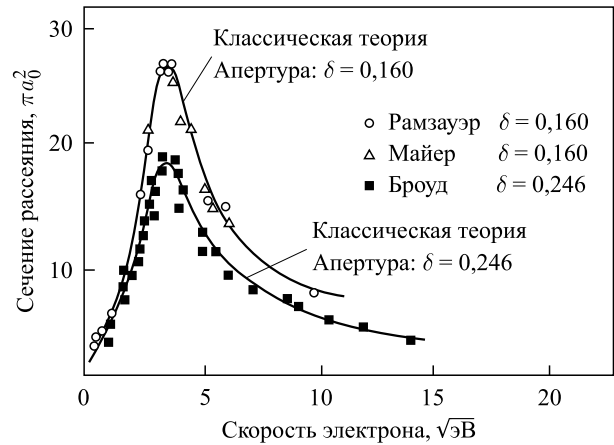


Рис. 3. Рассеяние низкоэнергетических электронов на атомах аргона (воспроизведен рис. 3, б из работы [4])

Free-Fall Atomic Model) привел к заключению, что атом — далеко не статический и не шарообразный, а звездоподобный объект с хорошо очерченной угловой геометрией, определяющейся радиальными участками орбиты атомного электрона.

На расстоянии от ядра порядка комптоновской длины волны, где активно проявляется действие спинового магнитного поля электрона, электрон, радиально приближающийся к ядру, быстро изменяет направление движения и начинает двигаться обратно на периферию атома. В атоме водорода в основном энергетическом состоянии (и во всех его возбужденных состояниях с нулевым угловым моментом) электрон движется по плоской орбите, трижды отражаясь от ядра, и радиальные участки траектории наклонены друг к другу точно под углом 120° . (Известное разделение пучка атомов водорода, проходящего через магнитное поле, есть следствие плоской геометрии атома водорода и его радиальной кинетики.)

Детерминистская атомная физика особо высветила роль спина электрона как источника симметрии в Природе. Так, например, если в окрестности данного атома имеется другой атом, то радиальные участки траектории электрона (который возвращается назад к исходной точке после двух, трех, четырех рассеяний от ядра) наклонены друг к другу под углами 90° , 109° и 120° , которые, как известно, являются фундаментальными углами стереохимии. В прекрасно иллюстрированной книге [2] даны красочные картины коллективного движения электронов в гексагональной решетке, в централизованном пространстве кубической решетки и в других случаях.

Подробный анализ коллективного движения двух электронов в кулоновском поле ядра показал, что на орбите, которая может пред-

ставлять движение электронов в атоме гелия, электроны сближаются на такое расстояние, когда уже нельзя пренебрегать спин-спиновым магнитным взаимодействием, в теорию необходимо ввести спиновый магнитный радиус электрона. При этом было показано, что глобальная форма электронной орбиты не чувствительна к значению магнитного радиуса электрона. Стоит отметить, что модель атома гелия, предложенная М. Грызинским, объяснила известные свойства гелия. Энергия связи, рассчитанная по этой модели, точно совпала с энергией фазового перехода в сверхтекучее состояние¹.

Далее была предложена стратегия исследований, нацеленная на разработку Периодической системы элементов, содержащей полную информацию о размерах и форме орбит атомных электронов, — исследование электронной структуры многоэлектронных атомов. М. Грызинский подчеркивал, что *главная задача теории — выяснить, каковы константы движения, определяющие внутренний порядок в атоме, который олицетворяет конечную стадию эволюции излучения атома*. Решение этой задачи он осуществлял *полутеоретическим путем* — исследуя результаты измерений с помощью математического формализма, развитого на основе известных законов классической физики, тех самых, которые он использовал для описания движения атомных электронов. На этом пути им было установлено, что модель свободного падения для атомной оболочки является весьма эффективным инструментом в теоретическом анализе различных атомных явлений. В частности, нашла простое разрешение старая загадка атомной физики: как электроны внешних оболочек могут экранировать электроны внутренних оболочек? На этом пути он открыл динамику молекулярной связи, а также физические механизмы многих свойств вещества и явлений в нем, связанные с движением электронов. Например, именно с электроном связано распространение акустических волн и теплопередача в твердых телах, именно электрон, быстро движущийся между соседними ядрами, обуславливает энергию нулевых колебаний решетки.

Атомная модель свободного падения ответила на давний, остававшийся открытым вопрос атомной физики и молекулярной химии: каким образом короткодействующая сила спинового магнитного поля (на атомных расстояниях ее величина на несколько порядков меньше, чем величина кулоновской силы) может контролировать формирование слоев атомных оболочек и молекулярных систем? Атомная модель свободного падения разрешила этот вопрос, показав, что спин электрона налагает определенные ограничения на угловые распределения радиально направленных сегментов орбиты электрона и таким образом контролирует глобальную форму атома [25].

Рассматривая физический смысл известного соотношения де Бройля

$$\lambda = h/m_e v,$$

где λ — длина волны де Бройля для электрона; m_e — масса электрона; v — скорость электрона, М. Грызинский предложил *постулат о спине* [5, 26], который *формально* может быть квалифицирован как дифференциальный эквивалент соотношения де Бройля. Согласно этому постулату свободное поступательное движение электрона сопровождается прецессией спиновой оси со скоростью прецессии ω , пропорциональной кинетической энергии электрона E_{kin} . При этом после прохождения дистанции λ спиновая ось электрона возвращается к своей исходной ориентации. Так что по своему *физическому содержанию* соотношение, постулированное Л. де Бройлем, и детерминистски сформулированный М. Грызинским закон движения для спина весьма различаются: закон трансляционной прецессии Грызинского не только раскрыл физическую суть длины волны де Бройля, но, учитывая дипольный магнитный момент электрона, материализовал его так называемое *волновое поле* — это электромагнитное поле прецессирующего магнитного диполя μ , его электрическая компонента

$$\mathbf{E}_s = -\frac{1}{c} \frac{d\boldsymbol{\mu}}{dt} \times \mathbf{r} \frac{1}{r^3}, \quad \frac{d\boldsymbol{\mu}}{dt} = \boldsymbol{\mu} \times \boldsymbol{\omega},$$

¹ В 2005 г. в интервью для «Physics World» (август 2005 г., с. 12) нобелевский лауреат Э. Дж. Легgett объяснял, “why quantum mechanics’ days may be numbered”, “that quantum mechanics may be replaced by a “macrorealistic” theory”, т. е. «почему дни квантовой механики могут быть сочтены», «что квантовая механика может быть заменена “макрореалистичной” теорией». Заметим, что Э. Дж. Легgett, известный как мировой лидер в теории физики низких температур, удостоился Нобелевской премии в 2003 г. за “pioneering contributions to the theory of superconductors and superfluids” («пионерские вклады в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей»), а электронная публикация о модели атома гелия, предложенная М. Грызинским (Институт ядерных проблем (Отвоцк-Сверк, Польша), <http://www.ipj.gov.pl/~gryzinski/helium%20atom%20html.htm>) была широко доступна в конце 1990-х – начале 2000-х гг. (теперь см. <http://www.gryzinski.com/gamkiang.html>).

где $\omega = 2E_{\text{kin}}/\hbar$; c — скорость света (см. [5, с. 25]). В макроскопических полях, т.е. в полях размером много больше, чем длина волны де Бройля, периодически изменяющееся спиновое электрическое поле не играет никакой роли. В уравнениях движения электрона спиновый колебательный член, усредненный по большому расстоянию, исчезает. Однако в микроскопических полях этот член может заметно видоизменять траекторию движения электрона, в частности при больших скоростях, при $v \rightarrow c$.

В лекциях по атомной физике [5] критически проанализирована экспериментальная основа квантово-механических представлений. В частности показано, что наблюдающееся в опытах по рассеянию частиц (в том числе фотонов) распределение рассеянных частиц, напоминающее интерференционные или дифракционные картинка, которые имеют волновую природу, являются следствием не «волновой» природы частиц, а их взаимодействия с зарядами, находящимися на рассеивающей поверхности, см. также [26]. Заметим, что В. В. Вихрев [27] вслед за М. Грызинским детально проанализировал результаты известных экспериментов К. В. Дэвиссона, который вместе с Дж. П. Томсоном в 1937 г. получил Нобелевскую премию по физике «За открытие дифракции электронов на кристаллах». Речь идет о рассеянии электронов на поликристаллической никелевой пластинке (К. В. Дэвиссон и К. Кэнсман, 1921–1923 гг.) и кристалле никеля (К. В. Дэвиссон и Л. Джермер, 1927 г.). Как известно, опыт Дэвиссона и Джермера вошел в историю физики как одно из первых и прямых экспериментальных доказательств «правильности положений квантовой механики». Однако на самом деле, как показал классический учет взаимодействия рассеивающихся электронов с электрическими зарядами,

находящимися на никелевой кристаллической поверхности, в предположении о «волновой природе» частиц нет никакой необходимости.

Можно сказать, что физиков ввело в заблуждение чисто внешнее сходство результатов по рассеянию электронов на кристаллической поверхности с дифракционными и интерференционными картинками. И они посчитали, что если распределение электронов обнаруживает сходство с условием Вульфа–Брэгга, то это *доказывает* волновую природу электронов, т.е. было сделано так называемое *аналогическое умозаключение*. Однако при употреблении аналогий нужна соответствующая осторожность. Как писал русский логик Л. В. Рутковский, «лучшее средство против погрешностей аналогического умозаключения состоит в проверке основания, на котором оно утверждается» (цит. по [28, с. 38]). К несчастью, именно это не было сделано в свое время.

Завершая подготовку базиса для обсуждения вопроса об «элементарности» нейтрона, упомянем, что детерминистская атомная физика высветила фундаментальную роль работы Н. Г. Четаева по интерпретации уравнения Шредингера как дифференциального уравнения, которое определяет устойчивые движения. Как охарактеризовал свой результат сам Н. Г. Четаев, «правило отбора устойчивых действительных движений совпадает с известными рецептами современной физики — правилами квантования» [29, с. 260]. История появления этой работы (в 1929 г.) и ее развитие представлены в статье одного из авторов [30]. Кстати, сам Э. Шредингер довольно критически относился к основам квантово-механической теории и сравнивал ее с печально известной ошибочной геоцентрической концепцией Птолемея (см. его методическую статью [31]).

2. СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ М. ГРЫЗИНСКОГО И Б. В. ВАСИЛЬЕВА

Перед сравнением обсуждаемых подходов авторы считают целесообразным напомнить одно методическое заключение А. Эйнштейна, сформулированное им в Спенсеровской лекции, посвященной методу теоретической физики:

«Pure logical thinking can give us no knowledge whatsoever of the world of

experience; all knowledge about reality begins with experience and terminates in it. Conclusions obtained by purely rational processes are, so far as Reality is concerned, entirely empty. ...Experience of course remains the sole criterion of the serviceability of mathematical construction for physics»¹ [32, с. 164, 167].

¹ Перевод: «Чисто логическое размышление не может дать нам никакого знания эмпирического мира; все знание о реальности исходит из опыта и возвращается в него. Положения, полученные чисто разумными приемами, при сравнении их с действительностью оказываются совершенно пустыми. ...Опыт, конечно, остается единственным критерием пригодности математических конструкций физики».

Принципиальная разница в подходе к одному и тому же вопросу: «Является ли нейтрон элементарной частицей?» — в книге М. Грызинского [2] и работе Б. В. Васильева [1] определяется отношением авторов к эмпирическому миру в целом, прежде всего их представлением об электронной структуре атомного мира. М. Грызинский рассматривает данный вопрос на фундаменте детерминистской атомной физики, который был сжато представлен в предыдущем разделе. Б. В. Васильев просто как бы возвращается к представлениям классической электродинамики, однако не расширяет ее в соответствии с уже известными реалиями атомного мира, не учитывает его особенностей, открытых детерминистской атомной физикой.

С точки зрения достижений детерминистской атомной физики обсуждающийся вопрос о структуре нейтрона целесообразно рассматривать в связи с ключевым вопросом о составе атомных ядер. Так, М. Грызинский исходит из бесспорных экспериментальных фактов, какими являются следующие:

- электрический заряд ядра Q представляет собой целое кратное элементарного заряда e : $Q = Ze$, где $Z = 1, 2, 3, \dots$;
- масса ядра m с точностью до десятых долей процента представляет целое кратное массы протона m_p : $m = Am_p$, где $A = 1, 2, 3, \dots$;
- массовое число A приблизительно в два раза больше, чем атомный номер Z .

Из этих данных Э. Резерфорд в свое время сделал вывод, что атомное ядро представляет собой набор протонов и электронов, причем массовое число A определяет число протонов, а разность атомного номера Z и массового числа A определяет число электронов, находящихся в данном ядре — такая модель ядра была им предложена в 1920 г. Но эта естественная идея Резерфорда о строении атомного ядра была поставлена под сомнение после открытия Дж. Чэдвигом в 1932 г. нейтрона. Несмотря на то, что нейтрон в свободном состоянии не существует (по последним данным через $(880,3 \pm 1,1)$ с он распадается на протон, электрон и антинейтрино), нейтрон считается элементарной частицей.

Дело в том, что считать нейтрон состоящим из протона и электрона препятствовал воспринимаемый тогда как непреодолимый экспериментальный факт исчезновения в нейтроне магнитного момента электрона, который почти на три порядка больше, чем магнитный момент и протона, и нейтрона. Однако этот факт как аргумент против представления нейтрона как системы *протон + электрон* теряет свою силу, если мы посмотрим на эту

систему не с точки зрения свойств отдельных частиц, а с точки зрения связанного состояния двух гироскопов, свойства которых высветила детерминистская атомная физика, — протона и электрона, связанных между собой магнитными силами. Ведь нецентральные силы, берущие свое начало в магнетизме протона и электрона, вызывают прецессию обеих частиц, и при усреднении по времени остаются только составляющие магнитного момента, параллельные оси прецессии (см. рис. 4, слева).

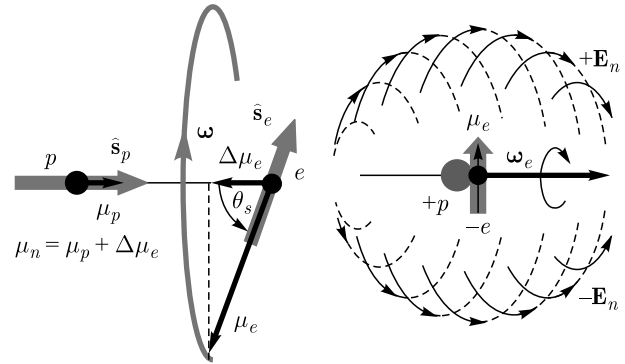


Рис. 4. Свойства нейтрона: слева — прецессия электрона (чтобы изображение прецессии электрона было наглядным, угол θ_s изображен гораздо меньшим, чем он может быть на самом деле — близким к 90° , таким он изображен справа); справа — электрическое поле нейтрона, созданное прецессией входящего в его состав электрона (воспроизведены рисунки из книги [2] со с. 137 и 138)

М. Грызинский сразу подчеркивал, что исчезновение магнитного момента электрона за счет прецессии — не единственная возможность объяснения этого удивительного экспериментального факта «отсутствия» магнитного момента электрона в нейтроне. Стремясь объяснить сей факт и вернуться к естественной идее Резерфорда о составной природе нейтрона, нужно иметь в виду, что *размеры ядра порядка электрического радиуса электрона и магнитного радиуса протона, так что понятие точечной частицы в этих рассуждениях неприменимо*. Это видно хотя бы из того, что на расстоянии порядка электрического радиуса электрона, как это вытекает из формулы, приведенной в [2, с. 137],

$$E_{\text{rot}} = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \hbar \omega \right) = \frac{\mu_p \mu_e}{r_{pe}^3} \times (\hat{s}_p \cdot \hat{s}_e - 3(\hat{s}_p \cdot \hat{r}_{pe})(\hat{s}_e \cdot \hat{r}_{pe}))$$

(здесь используются обозначения, принятые на рис. 4), кинетическая энергия вращательного движения протона и электрона того же самого порядка, что энергия β -распада.

Таким образом, объяснив «исчезновение» в нейтроне магнитного момента электрона

без необоснованных и неестественных заключений вроде «электрона в нейтроне нет» или «в нейтроне у электрона магнитный момент отсутствует», как это постулировано в [1], где, более того, частицы рассматриваются как точечные в условиях, когда понятие точечной частицы для них неприменимо, М. Грызинский анализирует свойства, которыми должна обладать рассматриваемая им система двух гироскопов, протона и электрона, связанных магнитными силами, на фундаменте представлений детерминистской атомной физики. Так, прежде всего он подчеркивает, что *наличие прецессии в системе протон + электрон является источником электрического поля, которого отдельно ни протон, ни электрон не имеют, — электромагнитного поля вращающегося магнита* (см. рис. 4, справа). Электрическая составляющая этого поля описывается формулой

$$\mathbf{E}_n = \frac{1}{c} \left[[\boldsymbol{\mu}_e \times \boldsymbol{\omega}_e] \times \frac{\mathbf{r}}{r^3} \right],$$

где $\boldsymbol{\omega}_e = s_p \frac{\mu_p \mu_e}{r_{pe}^3} \cos \theta_e$.

Так что можно ожидать, что атомное ядро как система заряженных и намагниченных частиц, находящихся в динамическом равновесии, имеет собственное переменное электрическое поле. Действительно, резонансный характер рассеяния нейтронов на ядрах (см. ниже) подтверждает присутствие в электрическом поле ядра переменной составляющей.

Далее, в свете, естественно, сразу же возникающего вопроса: «Необходимо ли представление о ядерных силах, ведь оно было связано с представлением о нейтроне как об элементарной частице?» — в [2] обсуждается взаимодействие нейтронов с ядром. Рассматривая взаимодействие нейтрона с ядром и вообще с веществом, М. Грызинский опирается на факт трансляционной прецессии спиновой оси нейтрона (ω_n), которая связана с кинетической энергией нейтрона E_n^{kin} следующим образом (см. п. 1):

$$\omega_n = \frac{2E_n^{\text{kin}}}{\hbar}.$$

В качестве примера в [2, с. 138, рис. 5] приведена кривая сечения рассеяния нейтронов на ядрах серы. Резонансные пики на этой кривой, соответствующие определенному набору частот (и их гармоник) переменной составляющей электрического поля ядра, являются прямым подтверждением того, что ней-

трон имеет переменное электрическое поле, частота которого определяется законом трансляционной прецессии, а электрическое поле ядра имеет переменную составляющую. Автор [2] отмечает, что, основываясь на том, что переменное электрическое поле нейтрона определено законом трансляционной прецессии, можно очень просто вывести резонансную формулу Брейта–Вигнера, оставаясь в рамках классической электродинамики. Кроме того, он обращает внимание на следующие возможности:

1) имея в виду, что наблюдающиеся на упомянутом рис. 5 резонансные пики соответствуют определенному набору частот ω_j и их гармоник $k \cdot \omega_j$ переменной составляющей электрического поля ядра, по измеренным резонансным энергиям E_n^{rez} , которым соответствуют резонансные частоты ω_n^{rez} , можно по формуле $\omega_n^{\text{rez}} = k \cdot \omega_j$ определить частоты ω_j осцилляций электрического поля ядра;

2) взаимодействие, определяющееся переменным электрическим полем нейтрона и постоянным электрическим полем ядра, в расчетах по рассеянию нейтронов на ядрах можно привести к форме, имеющей вид потенциала Юкавы; то же самое имеет место в случае рассеяния заряженных частиц на переменной составляющей электрического поля ядра.

На основе представления о нейтроне как связанном состоянии двух гироскопов, протона и электрона, М. Грызинский делает вывод, что главные черты строения атомных ядер определяет спиновое магнитное поле протона. Дело в том, что одним из основных сведений о структуре атомного ядра является экспериментально установленное числовое соотношение между радиусом ядра r и его массовым числом A :

$$r = r_F A^{1/3}, \quad \text{где } r_F = (1,2-1,4) \cdot 10^{-13} \text{ см.}$$

Из этого соотношения М. Грызинский делает вывод, что, видимо, нуклоны в атомном ядре ведут себя как твердые шары с радиусом r_F , и, чтобы найти силы, обуславливающие именно такую упаковку протонов в атомном ядре, рассматривает эту проблему в рамках известных законов классической электродинамики на примере простейшего составного ядра — дейтрона. Расстояние r_d между двумя протонами дейтрона может быть определено с помощью его измеренного квадрупольного момента $Q_d = eQ$, где $Q = 2,738(4) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$. Действительно, по определению квадрупольного электрического момента ядра величина коэффициента Q , имеющего размерность площади,

равна среднему значению

$$\langle r^2(3 \cos^2 \vartheta - 1) \rangle = \left\langle r^2 \left(\frac{3}{2} \cos 2\vartheta + \frac{1}{2} \right) \right\rangle = r_d^2 \cdot \frac{1}{2},$$

где r — расстояние от начала координат до элемента заряда, а ϑ — полярный угол соответствующего радиуса-вектора (полярная ось направлена по спину ядра). Таким образом, получаем значение r_d из эксперимента:

$$r_d^{\text{exp}} = \sqrt{2Q} = 7,4 \cdot 10^{-16} \text{ м.}$$

Сразу обратим внимание на то, что величина r_d^{exp} , полученная по экспериментальным данным, указывает на несостоятельность планетарной модели для нейтрона, предложенной в [1]. Действительно, радиус нейтрона в этой модели оценивается как $9,1 \cdot 10^{-14}$ см, что, как оказывается, больше (!), чем расстояние между протоном в нейтроне и другим протоном дейтрона, которое равно $7,4 \cdot 10^{-14}$ см. Следовательно, размер нейтрона в модели [1] больше размера простейшего составного ядра, состоящего из протона и нейтрона.

С помощью представлений классической электродинамики расстояние между протонами дейтрона может быть вычислено чисто теоретически из условия состояния равновесия между двумя протонами дейтрона — имеется в виду равновесие сил электростатического отталкивания и магнитного притяжения. Как известно, в системе СИ величина электростатического отталкивания двух протонов, между которыми имеется расстояние r_{pp} ,

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_{pp}^2},$$

а величина магнитного притяжения этих протонов с магнитными моментами μ_p в случае параллельных спинов, ориентированных вдоль линии, соединяющей эти протоны,

$$F_m = \frac{3\mu_0}{2\pi} \frac{\mu_p^2}{r_{pp}^4}.$$

Поэтому условие равновесия $F_e = F_m$ имеет вид

$$\frac{e^2}{r_{pp}^2} = \frac{6}{c^2} \frac{\mu_p^2}{r_{pp}^4},$$

где учтено, что $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$. Отсюда

$$r_{pp} = \sqrt{6} \cdot \frac{\mu_p}{ce} = 7,2 \cdot 10^{-16} \text{ м,}$$

что соответствует значению r_d^{exp} , вычисленному выше по данным измерений квадрупольного момента Q_d дейтрона. Полученное согласие значений r_{pp} и r_d^{exp} является сильным аргументом идеи о том, что главные черты строения атомных ядер определяет спиновое магнитное поле протона.

Оставляя открытым вопрос, как далеко эти качественные рассуждения отражают реальность, М. Грызинский на основе всей совокупности достижений детерминистской атомной физики с большой уверенностью говорил в [2] о том, что возможности описания ядерных явлений на основе классической электродинамики далеко не исчерпаны, поэтому прежде чем начать учреждать разные экзотические силы, стоит еще раз хорошо разобраться в проблемах атомного ядра с позиций законов классической физики начала минувшего века. Автор [2], своими многолетними трудами заложивший фундамент детерминистской атомной физики, имел достаточные основания для скептического отношения к квантовой теории атомного ядра и формулировки в своей книге критических методических вопросов: *Новые частицы, новые силы — необходимость или выбор легкого пути? Нужны ли нам ядерные силы?*

Резюме. Нашей главной целью было обстоятельно показать, что поднятый в работе [1] весьма актуальный вопрос об элементарности нейтрона, как и остальные ключевые, гносеологические вопросы атомной и ядерной физики, требует применения *всей системы* логически согласованного и выверенного экспериментом знания, полученного в детерминистской атомной физике. В противном случае происходит фактически отгадывание (вместо исследования!) причин отдельных экспериментальных фактов, которое только плодит новые необоснованные представления.

Обратим внимание на то, что в детерминистской атомной физике, как это присуще классической физике, «модель» фигурирует как *инструмент исследования*, в ней, в отличие от «математической модели», отсутствуют так называемые подгоночные параметры. Соответственно, модель не постулируется, а создается на основе неоспоримо установленных экспериментальных фактов. Так, атомная модель свободного падения была предложена на основе установления радиальной кинетики атомных электронов: сначала был выяснен тип движения атомных электронов, потом была предложена модель атома. Сначала по экспериментальным данным выясняется, что собой представляют элементарные ча-

стицы, электрон и протон, как их следует рассматривать (т.е. чем точечное представление этих объектов отличается от реального объекта; см., например, [22]), только потом *с учетом этих свойств* используются законы классической физики для описания явлений, в которых участвуют эти частицы.

Подводя итог, сформулируем главные методические заблуждения в работе [1].

1. Использование представлений об электроноподобной элементарной частице в ней-

троне, не имеющей магнитных свойств¹, что, как было показано выше, опровергают данные экспериментов по рассеянию нейтронов на ядрах.

2. Использование для нейтрона планетарной модели² с точечными элементарными частицами на расстояниях, где понятие точечной частицы неприменимо. Неудивительно, что, как показано выше, эта модель при сравнении с экспериментальными данными сразу же выглядит неестественной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение прежде всего целесообразно заметить, что выдвижение новых идей должно основываться на фундаменте надежной, выверенной экспериментом теории, где нет эклектического смешивания классических и квантовых представлений, и служить дальнейшему развитию этой теории.

Вообще говоря, сам факт появления работы, где предлагается подход к ключевой проблеме ядерной физики, который, с одной стороны, элементарно методологически уязвим, а с другой, странно игнорирует множество давно известных достижений, имеющих прямое отношение к обсуждаемой проблеме, свидетельствует об одном весьма важном обстоятельстве — об отсутствии монолитного, фундаментального учебного пособия по детерминистской атомной физике в разделе «Общая физика».

Эта единая мощная система логически взаимосвязанного и выверенного экспериментом знания своими методами исследования и реальными физическими моделями динамической электронной архитектуры вещества крайне необходима в поисках законов возникновения, существования и развития сложных, организованных систем в физике частиц и аст-

рофизике, атомной и ядерной физике, молекулярной физике и химии. Однако прежде всего эти методы и модели необходимы для того проникновения в глубины свойств вещества на уровне ядер, актуальность которого ярко объяснял и к которому интенсивно призывал физиков еще полвека назад В.Ф. Вайскопф в своем итоговом выступлении на международной конференции по структуре ядра: «Физика исследует природу вещей. Ядро, наше ядро, является важной частью природы — это центр атома. Это не только маленький объект — это самая замечательная составная часть материи. Понимание явлений, происходящих в этом ядре, имеет первостепенное значение. ... Оно так мало и имеет так мало составных частей и вместе с тем проявляет невероятное разнообразие свойств. Его исследование требует всего арсенала современной экспериментальной техники, и для его понимания требуются почти все отрасли теоретической физики. Какой прекрасный предмет исследований! Он стоит того, чтобы посвятить ему всю жизнь» [33, с. 340]. Остается добавить, что эти знания жизненно необходимы и, несомненно, будут востребованы практическими приложениями и технологиями XXI в.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев Б.В.* Является ли нейтрон элементарной частицей? Сообщ. ОИЯИ РЗ-2014-77. Дубна, 2014. 6 с.
2. *Gryziński M.* Sprawa atomu. Warszawa: Homo-Sapiens, 2002. 203 s.
3. *Gryziński M.* True and False Achievements of Modern Physics. Warsaw: Homo-Sapiens, 1996. 62 p.
4. *Грызинский М.* О природе атома // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции. Вып. 2. Новосибирск: Изд-во ИМ, 2001. С. 135–160.
5. *Грызинский М.* Об атоме точно: Семь лекций по атомной физике. Новосибирск, 2004; М.: Editorial URSS, 2005. 93 с.

¹ И которые она обретает, видимо, чудесным образом, вылетая из нейтрона.

² Которая оказалась ошибочной и в атомной физике.

6. Левичев А. В. Хронометрия Сигала: становление теории, ее применение к физике частиц и взаимодействий, перспективы развития // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции. Вып. 7. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. С. 69–99.
7. Gryziński M. Classical Theory of Electronic and Ionic Inelastic Collisions // Phys. Rev. 1959. V. 115. P. 374–383.
8. Gryziński M. Two-Particle Collisions. I. General Relations for Collisions in the Laboratory System // Phys. Rev. A. 1965. V. 138. P. 305–321.
9. Gryziński M. Two-Particle Collisions. II. Coulomb Collisions in the Laboratory System of Coordinates // Phys. Rev. A. 1965. V. 138. P. 322–335.
10. Gryziński M. Classical Theory of Atomic Collisions. I. Theory of Inelastic Collisions // Phys. Rev. A. 1965. V. 138. P. 336–358.
11. Helbig H.F., Everhart E. Measurements of Resonant Electron Capture in Close H^+ -on-H Collisions // Phys. Rev. A. 1965. V. 140. P. 715–720.
12. Gryziński M., Kowalski M., Wlazło M. Electron Capture in the p^+H Head-on Collisions and Classical Dynamics // Gryziński M. True and False Achievements of Modern Physics. Warsaw: Homo-Sapiens, 1996. P. 52–59.
13. Gryziński M., Okopińska A. Ejection of Electrons by Protons from Helium for Free-Fall Atomic Model // Proc. of VIII ICPEAC, Belgrad, 1973. P. 635–636.
14. Rudd M.E., Sautter C.A., Bailey C.L. Energy and Angular Distributions of Electrons Ejected from Hydrogen and Helium by 100- to 300-keV Protons // Phys. Rev. 1966. V. 151. P. 20–27.
15. Gryziński M., Kunc J., Zgorzelski M. Three-Body Analysis of Electron–Hydrogen Atom Collisions // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 1973. V. 6. P. 2292–2302.
16. Gryziński M., Kowalski M. Alignment of Hydrogen Atoms in e^+ and e^- Ionising Collisions // Phys. Lett. A. 1995. V. 200. P. 360–364.
17. Fite W.L., Brackmann R.T. Collisions of Electrons with Hydrogen Atoms. I. Ionization // Phys. Rev. 1958. V. 112. P. 1141–1151.
18. Shah M.B., Elliott D.S., Gilbody H.B. Pulsed Crossed-Beam Study of the Ionisation of Atomic Hydrogen by Electron Impact // J. Phys. B: At. Mol. Phys. 1987. V. 20. P. 3501–3514.
19. Ramsauer C., Kollath R. Angle Dispersion in the Diffusion of Slow Electrons in Gas Molecules. II. Continuation // Ann. Phys. 1932. V. 12. P. 529–561.
20. Brode R.B. The Absorption Coefficient for Slow Electrons in Gases // Phys. Rev. 1925. V. 25. P. 636–644.
21. Mayer H.F. The Behaviour of Molecules Compared with Free Slow Electrons // Ann. Phys. 1921. Bd. 64. S. 451–480.
22. Грызинский М. О физической сущности постоянной Планка, электроны и протоне // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции. Вып. 6. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. С. 68–79.
23. Грызинский М. О природе межатомных взаимодействий и местоположении электронов проводимости // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции. Вып. 7. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. С. 100–109.
24. Grujić P., Simonović N. Insights from the Classical Atom // Physics Today. 2012. V. 65(5). P. 40–46.
25. Gryziński M. “Free-Fall” Solution of the Kepler Problem in the Presence of the Magnetic Moment // Phys. Lett. A. 1972. V. 41. P. 69–70.
26. Gryziński M. Spin-Dynamical Theory of the Wave-Corpuscular Duality // Intern. J. Theor. Phys. 1987. V. 26. P. 967–980.
27. Вихрев В. В. Описание волновых свойств частиц с помощью законов классической физики // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции. Вып. 7. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. С. 110–123.
28. Кондаков Н. И. Логический словарь-справочник. М.: Наука, 1975. 720 с.
29. Четаев Н. Г. Устойчивость движения. Работы по аналитической механике. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 536 с.
30. Еганова И. А. Комментарий к моделированию ядерных превращений в работах С. Ш. Мавродиева (S. Ch. Mavrodiev) и В. Д. Русова (V. D. Rusov) // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции. Вып. 7. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. С. 124–131.
31. Schrödinger E. Are There Quantum Jumps? // Brit. J. Phil. Sci. 1952. V. 3. P. 233–247.
32. Einstein A. On the Method of Theoretical Physics // Phil. Sci. 1934. V. 1, No. 2. P. 163–169.
33. Вайсзонф В. Ф. Итоги конференции // Строение ядра. М.: Госатомиздат, 1962. С. 330–340.