



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-25

P4-97-25

Ф.А.Гареев

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЛИ ЧАСТИЦА ЭЛЕКТРОН?

1997

”Сущности не следует умножать без необходимости”
Отсекающий принцип бритвы У. Оккама

”Однако я полагаю, что простые представления не следует заменять на более сложные до тех пор, пока к этому не вынудят вполне достоверные и исчерпывающие экспериментальные доказательства.”

Алан Д. Криш, В мире науки, 10(1987) стр. 14

1 Введение

”Возникает новое представление о неразрывном единстве, отрицающее классическое понятия о том, что мир можно разложить на самостоятельные, не зависящие друг от друга части... Общепринятые классические понятия о том, что фундаментальной реальностью являются именно эти независимые ”элементарные составные части” мира и что самые разнообразные системы возникают вследствие различных соединений и взаимных расположений этих частей, превращаются в свою противоположность, что неделимое квантовое единство всей Вселенной является наиболее фундаментальной реальностью, а эти относительно независимые части — только лишь частные единичные формы внутри этого единства” (Дэвид Бом, см. [1], стр. 96).

”Любая элементарная частица — это не независимая неразложимая на части единица. В сущности, это набор отношений, связывающих частицу с внешним миром” (П. Стапп, см. [2], стр. 1310).

”Таким образом, мир предстает перед нами в качестве сложной ткани из различных событий, в которой соединения различных типов чередуются, накладываются друг на друга или сочетаются, определяя таким образом структуру целого” (В. Гейзенберг [3], стр. 107).

”Материальный объект превращается в нечто отличное от того, что мы видим перед собой в настоящий момент, это не самостоятельный объект на фоне или в окружении остальной природы, а неотъемлемая часть и сложное проявление единства всего того, что мы видим” (С. Ауробиндо [4], стр. 993).

”Вещи получают свое существование и свою природу посредством взаимозависимости и не являются ничем сами по себе” (Т. Мугти [5], стр. 138).

Совершенно очевидно, что все вышеприведенные выводы почти полностью совпадают между собой. Необходимо только отметить, что первые три высказывания принадлежат представителям современной квантовой теории, а два последних — древнейшим мудрецам Востока. И это удивительно. Обнаруженные глубокие параллели между древним восточным мистицизмом и современной физикой [6] восхищают, и думается, что все это не случайно.

Действительно, современная квантовая теория приходит к выводу о гармоничном единстве Вселенной. К приведенным выше высказываниям можно добавить слова Нильса Бора: ”изолированные материальные частицы — это абстракции, свойства которых могут быть определены и зафиксированы только при их взаимодействии с другими системами” (Н. Бор [7], стр. 57). Материя состоит из частиц, но эти частицы не похожи на ”кирпичики” мироздания в понимании Демокрита

и Ньютона или Гелл-Мана. Эти "кирпичики" сами являются сложнейшими образованиями. Механическое и безграничное повторение процесса деления вещества когда-то прекращается.

Способ представления цепочки распадов адронов и далее, в свою очередь, продуктов их распадов в [8] приводит к простой идее о структуре "элементарных" частиц: все тяжелые адроны распадаются на более легкие адроны деревоподобным образом, и конечными продуктами распадов являются электроны, фотоны, нейтрино и протоны, если это разрешается законом сохранения энергии-импульса. Действительно, распад протона и электрона никто не наблюдал.

Известен закон сохранения **барионного числа** — при любых взаимодействиях полное число барионов сохраняется. И этим законом обычно **объясняют** стабильность протона. Протон является самым легким барионом, его распад на более легкие частицы (скажем, на $\pi^0 e^+$) означал бы нарушение закона сохранения барионного числа. Поскольку этот закон выполняется во всех взаимодействиях, то его сейчас называют **универсальным законом сохранения барионного числа**. Все становится понятным, раз такой закон универсален, то и протон должен быть стабилен согласно канонам универсальности. Приведенные выше выводы списаны с классических общепринятых физическим сообществом учебников, однако мы не в состоянии принять объяснение стабильности протона таким странным способом.

Далее, электрон тоже стабилен, и мы не знаем каких-нибудь попыток объяснения этого факта. Мы верим, что расчетливая и экономная Природа на всех уровнях иерархии организации систем основывается на простых законах и принципах. Гармоничность и совершенство Природы, повторяемость неких структур удивляет и не находит объяснения. Структура протона и электрона должна быть такой же составной, как ядра, атомы, молекулы и т.д.

Проблема стабильности протона и электрона — одна из фундаментальнейших проблем современного естествознания. Решение этой проблемы даст ключ для открытия генетического кода строения материи.

В публикации [9] мы выдвинули рабочую гипотезу, что стабильность протона может быть объяснена тем, что он представляет собой совершенный идеальный сложный резонатор. В данной работе мы приведем аргументы в пользу того, что стабильность электрона имеет ту же природу, что и стабильность протона. И мы покажем, что некоторая информация о структуре электрона может быть извлечена из существующих экспериментальных данных. С этой целью мы рассмотрим с единой точки зрения : АВС- и дармштадтский эффекты и дибарионные резонансы, в попытке описать которые современная квантовая теория потерпела полное фиаско.

2 Общие соображения

Мы хорошо знаем сейчас, что свои феноменологические законы движения планет в Солнечной системе Кеплер установил в результате своих многолетних трудов по обработке астрономических наблюдений Тихо Браге. Феноменологические законы Кеплера представляют собой прекрасный пример суммарного представления огромного массива экспериментальных данных в виде очень простых эмпирических формул, которые затем были обоснованы И.Ньютоном. Этот пример демонстрирует, что наше понимание Природы проходит три фазы: 1) аккумуляция экспери-

ментальных данных; 2) открытие феноменологических законов описания накопленных данных; 3) открытие фундаментальных законов Природы. Многие вопросы, рассмотренные в настоящей работе, находятся все еще в первой фазе и в начале второй.

Известно, что теория тяготения Эйнштейна (общая теория относительности, далее — ОТО) внешне совершенно не похожа на теорию электродинамики Максвелла. В электродинамике Максвелла понятию поля отводится фундаментальная роль, в то время как в теории Эйнштейна вообще нет места какому-нибудь полю. Теория Эйнштейна построена на гипотезе, что любые тела в искривленном пространстве-времени движутся по геодезическим линиям этого пространства-времени. Это означает, что различные тела должны двигаться по одним и тем же траекториям. Другими словами, геодезические являются характерным внутренним свойством пространства-времени и не зависят от конкретного сорта тел. Для нас этот вывод является важнейшим, как будет показано ниже.

ОТО предсказывает, что в пустом пространстве должны распространяться гравитационные волны — волны кривизны. Еще раз — в пустом пространстве. По Максвеллу, электромагнитные волны распространяются в эфире. Именно этим свойством отличаются электромагнитные волны от гравитационных. Однако гравитационные волны имеют глубокое подобие с электромагнитными волнами: они имеют такую же скорость распространения c , несут энергию-импульс.

Естественно возникает вопрос, случайно ли такое сходство свойств двух разных по физической сущности волн? Может быть, есть внутренняя глубокая связь между этими двумя явлениями? Эйнштейн прилагал большие усилия для создания "единой теории", пытаясь установить геометрическую теорию электромагнетизма (современное состояние этой проблемы см. в [10]).

Кажется, что вся послэйнштейновская история развития физики безусловно подтверждает бесплодность идеи объединения физических законов и сведения физики к геометрии. Почти каждый год открываются новые частицы и новые явления, в физике открываются совершенно новые направления, и создается впечатление, что "чем дальше в лес, тем больше дров". Природа демонстрирует всю свою сложность, умело скрывая свои основные законы. Поэтому казалось вполне логичным, что мечта Эйнштейна свести богатейшее разнообразие частиц, полей и взаимодействий к геометрической картине остается все еще мечтой.

В добавление к вышесказанному обычно приводят еще несколько стандартных количественных аргументов. Из трех мировых постоянных: постоянной Планка $\hbar = 1.05 \cdot 10^{-27}$ г * см/с, скорости света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с и постоянной тяготения $G = 6.7 \cdot 10^{-8}$ см³/Гс² можно найти три фундаментальные планковские величины:

$$m_{Pl} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ г}, \quad l_{Pl} = 1.5 \cdot 10^{-33} \text{ см}, \quad t_{Pl} = 5 \cdot 10^{44} \text{ с}, \quad (1)$$

выраженные через три единицы измерения —грамм, сантиметр и секунда. Планковская масса больше массы протона в 10^{19} раз, в 10^{22} раз больше массы электрона. Отсюда делают вывод, что ОТО не имеет ничего общего с теорией элементарных частиц.

Поскольку силы кулоновского и ньютоновского взаимодействий протона и электрона имеют одинаковую зависимость от расстояния, то отношение этих сил не

зависит от расстояния

$$\xi = \frac{F_g}{F_e} = \frac{Gm_p m_e}{e^2} = \frac{6.7 * 10^{-8} * 9 * 10^{-28} * 1.6 * 10^{-24}}{(4.8 * 10^{-10})^2} \approx 4 * 10^{-40}. \quad (2)$$

Следовательно, ньютоновские силы пренебрежимо малы по сравнению с кулоновскими, так что современные спектроскопические измерения энергии атомов, ядер и элементарных частиц не в состоянии дать информацию о гравитационных поправках к энергии. Малость ξ и практическая невозможность обнаружения гравитационных поправок к энергии снова приводят к выводу, что гравитация не имеет никакого отношения к электромагнитному, сильному и слабому взаимодействию частиц.

Однако оказалось [9], что имеются связи между четырьмя взаимодействиями: для них характерно геометрическое квантование, следующее из законов сохранения энергии-импульса и углового момента.

3 "Дармштадтский эффект"

Рождение позитронов при столкновении очень тяжелых ионов в GSI исследовалось тремя независимыми группами: EPOS [11], TORI [12] и ORANGE [13]. Современное состояние экспериментов и теоретических моделей по "дармштадскому эффекту" дано в обзоре Ю.Н. Покотиловского [14]. (Литература по данной проблеме чрезвычайно богата, см. [14]). Суть "дармштадского эффекта" состоит в том, что при столкновении тяжелых ионов при энергии ниже кулоновского барьера наблюдаются узкие позитронные линии и электронно-позитронные пары в диапазоне эффективных масс $1,4 \div 1,9$ МэВ с ширинами $2 \div 40$ кэВ. Сейчас можно считать общепризнанным фактом наличие самого эффекта (однако ходят упорные слухи, что авторы дармштадтского эффекта не могут воспроизвести свои прежние результаты). Постоянство, с которым узкие линии наблюдаются в независимых экспериментах совместно с их статистической значимостью $5\sigma - 6\sigma$, не позволяет интерпретировать их как статистические флуктуации. Также можно отметить как общепризнанный вывод о том, что гипотеза двухчастичного распада на позитрон и электрон свободной элементарной или составной частицы, покоящейся в системе центра масс сталкивающихся ионов, не может быть признана адекватной физике рассматриваемого эффекта. Аналогичный эффект наблюдался также при упругом рассеянии позитронов при низких энергиях на атомных электронах [15, 16], в ядерных переходах $0^+ \rightarrow 0^+$ (см. обзор [14]), при упругом e^+e^- - рассеянии, в реакциях $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ и $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma\gamma$ [8].

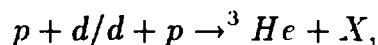
Привлекательность эффекта состоит в необычности ситуации: прекрасно известная система e^+e^- проявляет свойства, никак ранее не подозреваемые и никогда не предсказанные, да и сейчас представляющие загадку для теоретической интерпретации.

Последнее десятилетие ситуация подогревалась еще в связи с проблемой гипотетического аксиона, нейтральной ($J^\pi = 0^-$) частицы с непредсказываемой теорией массой. Проблема аксиона вызвала много безуспешных экспериментов по его обнаружению. Поэтому для объяснения дармштадтского эффекта были созданы модели, зачастую основанные на фантастических идеях. В [17] мы дали качественную

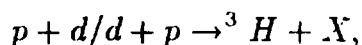
интерпретацию дармштадтского эффекта как проявления резонансных свойств в системе e^+e^- и вычислили массы $m(e^+e^-)$ масштабированием масс двухпротонных резонансов. Однако мы должны заметить, что на сегодняшний день **основные особенности дармштадского эффекта представляют серьезную проблему для интерпретации и не находят объяснения.**

Нам представляется чрезвычайно важным указать некоторые хорошо известные аналогичные случаи в разных областях физики:

ABC - "частицы", или ABC - эффект. Сообщение о наблюдении ABC - "частицы" в реакции:



при энергии падающих протонов от 624 до 743 МэВ впервые было опубликовано в [19] авторами Abashian, Booth, Crowe (название этой частицы было присвоено по первым буквам фамилий авторов). В распределении импульса 3He в лабораторной системе координат наблюдался острый пик, который в дальнейшем был интерпретирован как проявление резонансной структуры в системе двух пионов при массе 315 МэВ. Поскольку не было найдено такого же четкого эффекта в реакции



то авторы работ пришли к выводу, что изоспин ABC - "частицы" равен нулю. Литература по экспериментальному изучению ABC - эффекта довольно богата, современное состояние вопроса отражено в обзоре [20]. Отметим, что этот эффект экспериментально исследовался в различных реакциях (авторы обзора [20] отмечают 54 реакции). Согласно этому обзору не исключается возможность существования 4-х резонансно-подобных состояний $I = 0, J^{\pi} = 0^+$ с большими ширинами при энергиях 315, 455, 550 и 750 МэВ. Следует особо отметить, что (в противоположность случаю дармштадского эффекта, который вызвал большой поток теоретических работ) ABC - эффект остался фактически незамеченным, и мы не знаем ни одной попытки теоретической интерпретации этого эффекта.

Приведем еще один интересный пример. Дипионные массовые распределения, наблюдаемые при распаде Υ - мезонов, невозможно объяснить в рамках существующих теоретических моделей (см. обзор [21]). Так, при распаде $\Upsilon(3S) \rightarrow \Upsilon(2S) + \pi^+\pi^-$ наблюдается пик в распределении масс двух пионов при энергии (350 ± 10) МэВ [22], а при распаде $\Upsilon(2S) \rightarrow \Upsilon(1S) + \pi^+\pi^-$ — при энергии ≈ 310 МэВ [23]. Более того, при распаде $\Upsilon(3S) \rightarrow \Upsilon(1S) + \pi^+\pi^-$ наблюдаются два пика — при энергиях ≈ 400 и ≈ 800 МэВ [23] соответственно. И снова нет интерпретации наблюдаемых особенностей в распределении масс $\pi^+\pi^-$ -систем.

Сейчас накоплена богатая экспериментальная информация о массах $\pi\pi$ [24], компиляция доступных экспериментальных данных и результаты их теоретического анализа даны в нашей работе [9].

Другим ярким примером являются резонансы в системе двух нуклонов [24]. В существующих теоретических моделях значения инвариантных масс дибарионных резонансов систематически больше на 300 МэВ, чем экспериментальные значения.

Резюме: 1) экспериментальные значения масс для e^+e^- , $\pi\pi$ и дибарионных резонансов, полученные различными группами, совпадают между собой с точностью до экспериментальных ошибок, если измерения проводятся для свободных e^+e^- , $\pi\pi$ - и NN -взаимодействий; 2) если исследования проводятся с помощью реакций,

таких, что e^+e^- , $\pi\pi$ - и NN -системы сопровождаются третьей частицей, то очень часто результаты измерений у разных групп различаются между собой довольно значительно; 3) более того, если даже исследуются одни и те же реакции и при тех же энергиях, то и в таких случаях иногда результаты измерений разных групп не согласуются между собой.

Еще раз: **основные особенности резонансов в e^+e^- , $\pi\pi$ - и NN - системах представляют серьезнейшую проблему для интерпретации и не находят объяснения.**

В итоге сейчас сложилась такая ситуация, когда термин, скажем, "дибарионный резонанс" стал нарицательным, результаты таких исследований трудно опубликовать и экспериментальные программы по исследованию дибарионных резонансов повсеместно сворачиваются.

4 Общие соотношения

В работах [17],[30]–[33] было показано, что резонансы в волновых системах возникают в случае, когда отношение размеров r резонирующей системы ("полости", для простоты мы рассматриваем сферически-симметрическую полость) к длине соответствующей волны λ определяется выражением типа

$$r = (n + \gamma)\lambda, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (3)$$

где γ — число порядка 1 ($0 \leq \gamma \leq 1$), зависящее от граничных условий для заданной степени свободы и типа волнового уравнения для резонирующей системы.

Рассмотрим водородоподобный атом и вспомним условие квантования Бора

$$l = Pr = n\hbar, \quad (4)$$

где P — импульс электрона. Соотношение (3) можно переписать в виде

$$r = n\lambda_D, \quad (5)$$

где r — радиус боровской орбиты электрона, а λ_D — длина волны де Бройля:

$$\lambda_D = \frac{\hbar}{P}. \quad (6)$$

Итак, условия квантования Бора (4) совпадают с условиями возникновения резонансов в волновых макросистемах и представляют собой условия квантования адiabатического инварианта Эренфеста (углового момента l). Обращаем внимание на то, что условия возникновения резонансов в макросистемах (3) не содержат постоянной Планка \hbar . Соотношения (3) определяют собственные значения и тем самым собственные колебания макроскопических волновых систем. Поэтому мы вправе говорить, что "квантование" не является привилегией только микромира, а проявляется в любых системах, когда возбуждаются собственные колебания.

По-видимому, Галилей (1564 — 1642 гг.) был первым [18], кто ввел представление о резонансе, показав, что амплитуду колебаний тяжелого маятника (изохронность маятника он обнаружил, воспользовавшись биением своего сердца как эталоном

времени) можно постепенно увеличивать, если дуть на маятник в такт его движению. Другими словами, маятник резонирует под действием даже малой периодической силы, частота которой совпадает с частотой собственных колебаний маятника. Далее он применил эти представления к изучению звука.

Мы по существу знаем два способа получения музыкальных звуков: это духовые инструменты, в которых музыкальный тон создается колебаниями столба воздуха, и струнные инструменты, в которых тон создается колебаниями струны. Почему звук, испускаемый этими системами, приятней для слуха, чем простой шум?

Одно из первых сообщений о таком исследовании принадлежит Пифагору (580 — 500 гг. до н. э.). Он использовал монохорд — струну, закрепленную на одном конце и перекинутую через острие ножа, так что к ней можно было подвешивать гири, создавая необходимые натяжения. Уже тогда было известно об ощущениях, вызываемых различными комбинациями тонов; одни из таких комбинаций были приятными, другие — неприятными, диссонирующими. Пифагор доказал, что особенно гармоничные комбинации тонов создают струны с одинаковым натяжением, длины которых находятся в отношении 2 : 1; два таких тона отличаются на интервал в одну октаву. И в случае духовых инструментов отличие тонов на такой же интервал получается также при отношении длин столба 2 : 1. Существует одинаковая закономерность для разнородных музыкальных инструментов, совершенно не похожих и сконструированных из разных материалов. Этот пример мы привели с целью еще раз подчеркнуть поразительную гармоничность Природы. Так Пифагор показал, что приятные для слуха звуки связаны с простыми числами и поверил в волшебную силу простых чисел.

Сейчас даже школьник знает, что сущность музыкальных звуков заключается в их периодичности. Историки естествознания полагают, что, по-видимому, первым к такому выводу пришел Галилей, вероятно, в результате экспериментов с маятником. Понадобилось более двух тысяч лет и гений Галилея, чтобы понять природу звука!

Руководствуясь своими удивительно верными представлениями о резонансе, Галилей прикрепил ряд тонких щетинок различной длины к боковой стенке клавинофордов и увидел, что при звучании разных тонов колебались разные щетинки. Галилей заключил, что музыкальные тоны имеют свои собственные частоты колебаний. Он соорудил простую систему: взяв бокал и погрузив его почти по самый край в большой резервуар с водой, заставлял бокал издавать звук прикосновением к его краю; вокруг бокала появлялась радиальная рябь. Тон, издаваемый бокалом, был не очень стабильным и иногда менялся, становясь на октаву выше. Галилей с присущей ему исключительной наблюдательностью заметил, что, когда это происходило, рябь в воде становилась вдвое более мелкой. Он и не пытался определить число колебаний в единицу времени, заметив просто, что оно было явно слишком большим, чтобы его можно было измерить.

Галилей пошел дальше Пифагора и в определении количественной связи между физическими свойствами натянутой струны и частотой тона, который она издает. Галилей пришел к выводу, что при одном и том же натяжении струна вдвое меньшей длины издает звук на октаву выше, учетверение натяжения струны также дает повышение ее тона на октаву. Частота тона зависит от корня квадратного из "размера" струны, под которым Галилей понимал массу на единицу длины. Он

утверждал, что золотая проволока издает тон на квинту ниже, чем такая же проволока из латуни, потому что плотность золота вдвое больше плотности латуни. Он придал своим результатам большую ясность, сравнив поведение обычной струны и такой же струны, обвитой проволокой, — навитые струны еще и сегодня употребляются для получения низких тонов.

Поразительно, что Галилей сумел прийти к этим результатам чисто качественным путем, то есть без помощи какого-нибудь метода измерения частот. Он уверенно утверждал, что высота звука определяется частотой колебаний, воздействующих на ухо, и рассматривал возможные причины гармонии и диссонанса. Гармония, говорил он, существует тогда, когда частоты колебаний просто связаны между собой, и описал следующий эксперимент. Нескольким маятникам, периоды которых находятся в отношении 2 : 3 : 4, давали качаться вместе. **Движение нитей маятников образовывало картины, приятные для глаза. Если же периоды маятников не были связаны между собой простым образом, то была видна лишь беспорядочная последовательность нитей, неприятная для глаза.**

Идеи Галилея далее достаточно быстро нашли своих последователей. В 1701 г. Совер (1653 — 1716), рассматривая колебания струны, ввел понятие о стационарных состояниях или стоячих волнах, как мы их теперь называем. Места, в которых нет смещения струны, он назвал "узлами", а колебания с более короткими длинами волн — "гармониками" колебаний с самой большой длиной волны. В 1862 г. Гельмгольц (1821 — 1894) выдвинул идею, согласно которой сложное колебание можно рассматривать как составленное из основного колебания и его гармоник; в таком случае специфический характер звучания музыкального инструмента можно считать обусловленным различными пропорциями гармоник в общем звуке. По этой причине, например, тон, издаваемый флейтой, звучит по-иному, чем тот же самый тон, взятый на скрипке. Эти представления общепризнанны, однако они не дают исчерпывающего ответа на многие интересующие нас вопросы. Чем больше мы узнаем о наших органах чувств, о наших тесных связях с Природой, тем более они нам кажутся совершенно тонкими и удивительно таинственными.

Наиболее важным, что дало учение о звуке для современной физики, безусловно является понятие стоячих волн и "гармоник", которые сейчас используются для описания и анализа любых колебательных систем. Представления волновой механики позволили понять строение атома и атомного ядра. Эти же представления, как было показано в наших работах [17], позволяют проникнуть в структуру "элементарных" частиц.

Рассмотрим столкновение двух частиц a и b с образованием промежуточного нестабильного резонансного состояния R , затем распадающегося на две частицы c и d :

$$a + b \rightarrow R \rightarrow c + d. \quad (7)$$

Естественно, что инвариантная масса резонанса может быть вычислена по формуле

$$m_R = \sqrt{m_a^2 + P_{ab}^2} + \sqrt{m_b^2 + P_{ab}^2} = \sqrt{m_c^2 + P_{cd}^2} + \sqrt{m_d^2 + P_{cd}^2}, \quad (8)$$

где P_i — соответствующий импульс относительного движения частиц в системе их центра масс.

Перепишем формулу (8), используя соотношения (3) и (4),

$$m_R = \sqrt{m_c^2 + \left(\frac{n + \gamma}{r}\right)^2} + \sqrt{m_d^2 + \left(\frac{n + \gamma}{r}\right)^2}. \quad (9)$$

Очевидно, формула (9) для массы адронных резонансов совпадает с соответствующими формулами для собственных частот резонаторов, интерферометров, органических труб и т.д., то есть с формулами собственных частот систем волновой природы. Формула (9) получена на основе законов сохранения энергии-импульса и углового момента и поэтому справедлива для расчетов собственных частот систем волновой природы.

Соотношение (9) было использовано в работах [17],[30]–[33] для анализа массовых распределений адронных резонансов, начиная от легких до тяжелых. Было получено хорошее описание экспериментальных данных, при этом мы полагали $\gamma = 0$ и $1/2$, а параметр r брали равным 0.86 фм.

В описанном выше подходе вычисления масс адронных резонансов имелся **единственный свободный параметр r** , хотя и с фиксированным значением. Следует заметить, что экспериментальный спектр адронных резонансов очень богатый, и естественно, наш подход не в состоянии описать все наблюдаемые адронные состояния, поскольку он изначально претендует лишь на воспроизведение положения центров тяжести соответствующих мультиплетов. С другой стороны, этот подход предсказывал много новых резонансов, ранее не наблюдававшихся.

Эти факты, а также фактическая неостребованность описанного выше подхода физическим сообществом привели к необходимости его развития и обобщения. Такой беспараметрический феноменологический метод был предложен в работе [9], ниже кратко опишем суть этого метода.

5 Динуклонные и дипионные резонансы

Предположим теперь, следуя работе [9], что протон представляет собой идеальную "резонансную полость". Известно, что он "живет" более 10^{32} лет и в принципе может распадаться (но не распадается) по 50 каналам [8]. Для каждого из 50 возможных каналов распада протонов можно вычислить собственные асимптотические импульсы P_i , и они приведены в [9]. Далее рассмотрим двухпротонную систему как систему двух "резонирующих полостей". При этом предположим, что асимптотические импульсы относительного движения двух протонов такие же, как и для конstituентов отдельного протона. Другими словами, вычисляем массы двухпротонных резонансов по формуле $m(2p) = 2\sqrt{m_p^2 + P_i^2}$, используя значения P_i для цепочки возможных каналов распада протона из [9]. Таким же способом вычисляем массы резонансов для pn - и $\pi^+\pi^-$ -систем. Соответствующие результаты представлены ниже (детали расчетов см. в [9]). Видно, что вычисления воспроизводят экспериментальные данные с точностью в пределах экспериментальных ошибок. **В вычислениях нет ни одного свободного подгоночного параметра, и это приводит нас к выводу, что за этим беспрецедентно точным воспроизведением экспериментальных данных должна быть красивая и простая физика.**

Таблица 1. Массы pp - и $\bar{p}p$ -резонансов, экспериментальные данные заимствованы из [8, 24, 25, 26, 27]

$m(2p)_{theory}$	$m(2p)_{exp}$	$m(2p)_{theory}$	$m(2p)_{exp}$	$m(2p)_{theory}$	$m(2p)_{exp}$
1877.27	1877.5 ± 0.5	1921.24	1922	2009.13	2008 ± 3
1877.39	1877.5 ± 0.5	1922.56	1922	2009.76	2008 ± 3
1877.49	1877.5 ± 0.5	1929.88	1930 ± 2	2013.69	2017 ± 3
1878.35	1877.5 ± 0.5	1934.74	1935.5 ± 1	2016.77	2017 ± 3
1878.75	1877.5 ± 0.5	1934.77	1935.5 ± 1	2018.34	2017 ± 3
1879.52		1935.79	1935.5 ± 1	2018.94	2017 ± 3
1881.39		1940.40	1940 ± 1	2021.93	1918 ± 3
1881.73		1941.42	1940 ± 1	2024.09	
1888.35	1886 ± 1	1943.31	1945	2027.81	2030
1891.99	1892	1954.77	1955 ± 2	2032.94	2035
1898.31	1898 ± 1	1968.40	1969 ± 2	2084.00	2087 ± 3
1899.11	1898 ± 1	1975.96	1980 ± 2	2088.84	2087 ± 3
1901.79	1903 ± 2	1986.87	1989 ± 1	2089.43	2087 ± 3
1914.34	1916 ± 2	1994.02	1999 ± 2	2092.75	
1918.42	1916 ± 2	1995.45	1999 ± 2	2098.04	
1920.87	1918 ± 3	2008.51	2008 ± 3		

Таблица 2. Массы np -резонансов, экспериментальные данные взяты из [24, 27]

$m(np)_{theory}$	$m(np)_{exp}$	$m(np)_{theory}$	$m(np)_{exp}$	$m(np)_{theory}$	$m(np)_{exp}$
1878.56		1923.82		2010.34	
1878.78		1931.14	1932 ± 3	2010.97	
1879.76		1935.99	1933 ± 3	2014.89	
1880.81		1936.02	1933 ± 3	2017.97	
1882.68		1937.04	1933 ± 3	2019.54	2021 ± 2
1883.02		1941.65	1942 ± 3	2020.15	2021 ± 2
1893.64		1942.67	1942 ± 3	2023.13	2024 ± 3
1899.92		1944.56	1942 ± 3	2025.29	2024 ± 3
1900.39		1956.01	1953 ± 2	2029.01	
1903.41		1977.73	1975 ± 1	2034.13	
1915.61		1990.12		2085.15	2084 ± 2
1919.69	1919 ± 3	1995.79	1998 ± 2	2090.58	
1922.13		1997.23	1998 ± 2	2091.17	
1922.51		2009.71		2099.78	

Таблица 3. Массы возможных резонансов в системе $\pi^\pm \pi^\pm$, в скобках приведены экспериментальные данные из работ [25, 29, 28]

283.99, 285.43, 291.06, 293.61, 298.47, 310.06, 312.09(313 ± 3),
 349.82(350 ± 10 , 354), 368.96, 400.08(397, 400), 403.87, 416.28,
 470.31(470 ± 7), 486.67, 496.23, 497.67(K_S^0), 502.71, 530.04,
 547.45(η), 547.56, 567.13(569), 570.61(569), 577.03(576 ± 4), 614.51,
 656.59(652 ± 2), 678.90, 710.02, 729.79, 733.70(736), 768.50(ρ), 770.14, 771.18

781.94(ω), 789.85, 793.85, 795.38, 802.93, 808.37, 817.62(822),
830.27, 948.45, 959.03, 960.32, 967.52, 978.91($f_0(980)$).

Для извлечения музыкальных звуков трубач дует в свою трубу так, чтобы возбуждать собственные колебания трубы, и только тогда труба звучит. Простой и общий принцип волновых резонаторов: собственные колебания любого резонатора возбуждаются только при совпадении (при соизмеримости) частот и длин волн внешнего поля с соответствующими собственными частотами и длинами волн исследуемого резонатора. При этом не имеет никакого значения физическая природа волн, свойства материала, использованного для конструкции резонатора, и т. д. При столкновении двух протонов резонансы в системе двух протонов возникают тогда, когда соответствующие волны (импульсы) относительного движения двух протонов и конститuentов в протонах соизмеримы. Следовательно, резонансные явления в системе двух протонов дают прямую информацию о собственной внутренней структуре протона.

Мы специально выбрали протон как эталон идеального резонатора, поскольку его энергия известна с большой точностью и он стабилен. В отличие от связанных состояний атомов, ядер и т. д. протон может распадаться по 50 двухчастичным каналам и еще большему числу трехчастичных каналов с выделением энергии. По последнему признаку он родствен адронным резонансам, а по стабильности атомам и ядрам. Стабильность протона никем еще не объяснялась, и мы выдвигаем, как рабочую, следующую гипотезу: протон является сложной волновой системой, в которой все движения самосогласованы идеально согласно принципу резонатора.

Итак, мы приходим к выводу, что хотя протон и стабилен, однако он имеет чрезвычайно богатую структуру. Далее мы будем употреблять термин: планетарно- волновая структура. Из проведенного выше анализа видно, что протон не элементарная частица и не состоит из простых "кирпичиков". Появившаяся в прошлые века привычка объяснять строение сложных структур путем разбивки их на все более мелкие составные части настолько сильно укоренилась в мышлении современных физиков, что поиск элементарных "кирпичиков" материи все еще безуспешно продолжается. Протон — сложная волновая система, все движения подсистем соизмеримы согласно законам волновой механики, что приводит к самосогласованию составных частей материи друг с другом и с полной системой независимо от вида взаимодействия между этими частями. Более того, составные части (кластеры) материи подобны друг другу и всей системе. Действительно, адроны распадаются по цепочке деревоподобным образом на все более легкие адроны. При этом распады подобны, как ветки дерева подобны между собой и подобны самому дереву в целом.

На основе изложенных выше представлений в работе [9] были вычислены инвариантные массы резонансов для $\pi\pi^-$ и π^+p - систем и снова была получена очень хорошая точность воспроизведения экспериментальных данных. В этой работе приводятся аргументы в пользу того, что адронные резонансы (к примеру, $\rho(770)$ - и $f_0(400 - 1200)$ -мезоны и Δ -изобара) с большими ширинами на самом деле являются целой совокупностью узких резонансов.

Систематический анализ продуктов распада адронных резонансов показывает, что соответствующие движения составных частей не существуют сами по себе,

независимо. Движения составных частей материи в одном адроне самосогласованы с движениями соответствующих частей в другом адроне. Каждый адрон сам по себе играет триединую роль: имеет сложную структуру, входит в состав другого адрона и участвует в обмене между компонентами вещества, поддерживая целостность структуры. Таким образом устанавливается гармоническое единство движений всех адронов. Ни один адрон не может быть более фундаментальным, чем все остальные. Наши выводы не зависят от вида взаимодействий и основаны на принципах соизмеримости и самоподобия, следующих из закона сохранения энергии-импульса и углового момента. Самосогласование движений в подсистемах одного адрона с соответствующими подсистемами другого адрона и движений самих адронов, а также участие этих подсистем и самих адронов в обмене приводят к иерархии движений и к самоорганизации материи на квантовом уровне.

Описанная выше процедура вычисления масс резонансов "элементарных" частиц была построена [9] по аналогии с эмпирической процедурой Кирхгофа для анализа сложных электрических цепей, составленных из простых блоков с известными характеристиками. Очевидно, что при этом вычисляются только основные гармоники резонансов. Действительно, в своих расчетах мы учли все возможные каналы распада протона и нейтрона, перечисленные в [8]. Однако могут быть другие неизвестные каналы распада протона и нейтрона, а также высшие гармоники движений кластеров, которые имеются в более тяжелых адронах и соизмеримы с импульсами P_i относительного движения кластеров в p и n . С другой стороны, вспомним, что в кристаллической решетке волновой вектор \vec{k} определяется с точностью до преобразования (см. [34], стр. 580)

$$\vec{k}' = \vec{k} + 2\pi \sum_{i=1}^3 n_i \vec{b}_i,$$

где n_i — целые числа, а \vec{b}_i — основные векторы обратной решетки. Вообще говоря, соизмеримость волновых векторов наблюдается во всех сложных структурах в живой и неживой Природе, составленных из повторяющихся простых блоков и "кирпичиков". Частично эти вопросы мы рассматривали в [9], в дальнейшем мы планируем вернуться к ним. Здесь же отметим, что соизмеримость импульсов (волновых чисел), скоростей и секториальных скоростей является неотъемлемой характеристикой упорядоченных структур в микро- и макросистемах, независимо от вида взаимодействия, ответственного за стабильность таких структур. Особо подчеркнем, что такая соизмеримость возникает как следствие геометрического квантования, что, в свою очередь, есть простая перезапись универсальных законов сохранения энергии-импульса и углового момента. Другим следствием соизмеримости является самоподобие и повторяемость различных структур в упорядоченных системах. Поэтому принципы соизмеримости и самоподобия мы склонны считать универсальными принципами строения Природы.

6 Интерпретация дармштадтского эффекта как резонанса e^+e^- -системы

Интенсивные исследования "дармштадтского" эффекта начались немедленно после обнаружения [35] узких позитронных пиков при рассеянии тяжелых ионов. Узкие резонансы в суммарном позитрон-электронном спектре наблюдались группой ORANGE[36] для систем $U+Ta$ с энергией пиков $E_{e^+} + E_{e^-} = (634 \pm 5), (803 \pm 6)$ кэВ, $U+Pb$ с энергией пиков $E_{e^+} + E_{e^-} = (575 \pm 6), (787 \pm 8)$ кэВ и $U+U$ с энергией $E_{e^+} + E_{e^-} = (555 \pm 8), (630 \pm 8), (815 \pm 8)$ кэВ. Группа EPOS[37] наблюдала пики при энергиях 620, 750 и 810 кэВ. Для резонанса с энергией 634 кэВ, наблюдаемого при столкновении $U+Ta$, были проведены измерения угловых корреляций лептонов. Результаты этих измерений противоречат предположению о распаде нейтральной свободной частицы с нулевым спином (гипотетического аксиона). Некоторые e^+e^- -пики свидетельствуют о разлете частиц на 180° , что обычно интерпретируется как соответствие сценарию распада свободной частицы, движущейся со скоростью центра масс сталкивающихся ионов. В работе[36] сделан вывод о том, что электрон-позитронная пара не может излучаться из движущегося отдельного ядра и что она излучается в окрестности третьего тяжелого положительно заряженного партнера, движущегося с малой трансверсальной скоростью ($|v_{\pm}| < 0.02c$). Наконец, имеются указания на то, что сечение процесса, как функция энергии налетающих ионов, имеет резонансный характер.

Итак, предположим, как в работе [17], что сущность дармштадтского эффекта есть проявление резонансов в e^+e^- -системе. Далее, электрон тоже стабилен, он "живет" более 10^{23} лет, и мы не знаем каких-нибудь попыток объяснения этого факта. Мы не знаем внутреннюю структуру электрона. Как в случае pp -резонансов, примем следующую рабочую гипотезу: резонансы в e^+e^- -системе отражают внутреннюю структуру электрона и позитрона. Другими словами, мы считаем электрон и позитрон сложными и идеальными резонаторами. При соизмеримости внутренних собственных частот этих резонаторов с частотами в e^+e^- -системе должны возникать резонансы при столкновении позитрона с электроном.

Но как найти эти частоты. В работе [9] мы показали, что наблюдается соизмеримость скоростей продуктов распада адронов. Согласно [8], протон имеет в цепочке распадов 50 возможных двухчастичных каналов распада. Скорости распадных частиц в каждом звене соизмеримы с соответствующими скоростями вылетающих частиц в другом блоке распада, причем такая соизмеримость скоростей наблюдается для любых продуктов распада различных частиц, независимо от вида взаимодействия между распадными частицами. Если электрон и позитрон имеют сложную структуру, то она должна быть подобна структуре протона и адронов.

Рассмотрим следующий пример:

$$\pi^\pm \Rightarrow \mu^\pm \nu_\mu. \quad (10)$$

Для этого распада вычислим асимптотический импульс $P_{\mu\nu}$ относительного движения μ^\pm и ν_μ и далее скорость μ -мезона:

$$v_\mu = \frac{P_{\mu\nu}}{\sqrt{m_\mu^2 + P_{\mu\nu}^2}}. \quad (11)$$

Далее предположим, что $v_\mu = v_{e^\pm}$, то есть что v_μ и v_{e^\pm} соизмеримы, причем их отношение равно единице. Таким образом мы вычислили скорость относительного движения электрона и позитрона, следовательно, можем найти асимптотический импульс P_{e^\pm} относительного движения e^+ и e^- согласно формулам

$$v_\mu = v_{e^\pm} = \frac{P_{e^+e^-}}{\sqrt{m_{e^\pm}^2 + P_{e^+e^-}^2}}, \quad (12)$$

$$P_{e^+e^-} = \frac{m_{e^\pm} v_\mu}{\sqrt{1 - v_\mu^2}}. \quad (13)$$

Тогда масса e^+e^- - резонанса равна

$$m_{e^+e^-} = 2\sqrt{m_{e^\pm}^2 + P_{e^\pm}^2}. \quad (14)$$

В результате получаем $m_{e^+e^-} = 1.061847$ МэВ. Экспериментальное значение [38], полученное при измерении энергий коррелированных пар гамма-квантов в столкновении тяжелых ионов равно (1062 ± 1) кэВ (ширина — меньше 2.5 кэВ). Такое же значение получено [39] в реакции $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$.

В ранних экспериментах по поиску резонансов в e^+e^- -системе основное внимание было сосредоточено на двух диапазонах вблизи суммарных значений энергии гамма-квантов: 1.8 МэВ, где наиболее убедительные данные GSI говорят о 180° корреляции электрон-позитронных пар при столкновении тяжелых ионов, и 1.062 МэВ, где группа LBL обнаружила $\gamma\gamma$ -пик при столкновении ядер урана и тория [38].

Рассмотрим диапазон около 1.062 МэВ. Наш подход предсказывает следующие значения масс резонансов в e^+e^- -системе:

$$\begin{aligned} p &\Rightarrow e^+\rho^0, & m(\text{theory}) &= 1.042424, & m(\text{exp}) &= 1.043[38], \\ \Sigma^+ &\Rightarrow p\pi^0, & m(\text{theory}) &= 1.042527, & m(\text{exp}) &= 1.043[38], & m(\text{theory}) &= 1.758530, \\ \Sigma^+ &\Rightarrow n\pi^+, & m(\text{theory}) &= 1.041625, & m(\text{exp}) &= 1.043[38], \\ & & m(\text{theory}) &= 1.697059, & m(\text{exp}) &= 1.7[8] \\ \Sigma^- &\Rightarrow n\pi^-, & m(\text{theory}) &= 1.043353, & m(\text{exp}) &= 1.043[38], \\ & & m(\text{theory}) &= 1.744492, & m(\text{exp}) &= 1.742[14] \\ \phi &\Rightarrow \omega\gamma, & m(\text{theory}) &= 1.063063, & m(\text{exp}) &= 1.062[38], \\ \Xi^0 &\Rightarrow p\pi^-, & m(\text{theory}) &= 1.072682, & m(\text{exp}) &= 1.077[41], \\ \Xi^0 &\Rightarrow p\pi^-, & m(\text{theory}) &= 1.073967, & m(\text{exp}) &= 1.077[41], \\ \rho &\Rightarrow \eta\gamma, & m(\text{theory}) &= 1.081347, & m(\text{exp}) &= 1.077[41]. \end{aligned} \quad (15)$$

Как видно из (15), в диапазоне около 1.062 МэВ должно наблюдаться много резонансов, на самом деле их должно быть гораздо больше (см. рис. 1 и обсуждение ниже). Как говорилось выше, был найден [38] узкий резонанс ($m = (1.062 \pm 1)$ МэВ, ширина $\Gamma \leq 2.5$ кэВ) в спектре суммарного энерговыделения для пар детекторов, регистрирующих пары гамма-квантов, излучаемых в противоположные стороны из объекта, движущегося со скоростью центра масс (U+Th). Это наблюдение

вызвало энтузиазм среди исследователей проблемы узких позитрон-электронных резонансов в столкновениях тяжелых ионов. Действительно, если учесть фазовый объем, то нейтральная частица, имеющая несколько возбужденных состояний, легче распадается на позитрон-электронную пару с более высокого энергетического уровня на более низкий уровень. Однако у порога этот канал сильно подавлен, и поэтому основным каналом распада должен быть вылет пары гамма-квантов. Резонанс в e^+e^- -системе при энергии 1.062 МэВ должен влиять на время жизни парапозитрония. Известен эксперимент [40] по измерению времени жизни парапозитрония, в котором наблюдается большое (10σ) расхождение эксперимента с расчетом, включающим радиационные поправки до порядка $\alpha^2 \ln(1/\alpha)$. Добавим, что имеется заметное расхождение (5σ) в сечении образования позитрон-электронных пар гамма-квантами с энергией 1.077 МэВ между экспериментом [41] и расчетом в рамках квантовой электродинамики [42].

Оба эти расхождения между экспериментом и расчетом в рамках квантовой электродинамики не имеют на сегодняшний день объяснения (уникальный случай бессилия для квантовой теории), поэтому включение в рассмотрение резонансных состояний в e^+e^- -системе кажется естественным [14]. Для случая расхождения в сечении образования пар около порога между экспериментом и теорией включение дополнительного источника распада на пару могло бы объяснить наблюдаемое расхождение. Однако расчетный вклад в сечение образования пар за счет резонанса в e^+e^- -системе растет с энергией гамма-квантов [43]. Имеется хорошее согласие эксперимента с теорией для сечения образования пар при энергиях гамма-квантов больше 1.2 МэВ. Для разрешения этого противоречия нужно предположить, что вклад в сечение за счет резонанса каким-то образом подавляется при относительно больших переданных частице импульсах $\Delta P > 0.5$ МэВ/с. Такое подавление возможно, если резонансное состояние имеет размеры ($10^{-11} - 10^{-10}$ см). Были предложены различные модели, в которых априори допускалась возможность существования элементарных частиц (скажем, фермионов f^\pm и т. д.) размером ($10^{-11} - 10^{-10}$ см), а также модели с точечными частицами. Поскольку такие модели не в состоянии описать свойства наблюдаемых резонансов, а тем более предсказать их, то мы не станем их описывать и отсылаем заинтересованного читателя к обзору [14].

Позднее [44] авторы работы [38] нашли, как им показалось, адекватную интерпретацию обнаруженным ими пикам при энергиях 1.043 и 1.062 МэВ. Они пришли к заключению, что эти пики, обнаруженные при столкновении ядер урана и тория, обусловлены каскадными переходами из высокоспиновых состояний ядра ^{238}U . Пик при энергии 1.043 МэВ определяется совпадением переходов $32^+ \rightarrow 30^+$ и $28^+ \rightarrow 26^+$, а пик при энергии 1.062 МэВ определяется каскадом $32^+ \rightarrow 30^+$ в совпадении с $30^+ \rightarrow 28^+$. Наблюдаемые пики — очень узкие, благодаря взаимной компенсации доплеровских сдвигов энергии квантов, вылетающих в противоположные стороны из движущегося ядра. С этими выводами авторов работы [44] мы согласны, за исключением одного дополнения: скажем к примеру, что резонанс с энергией 1.062 МэВ также наблюдался [39] в реакции $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$. А это означает, что в работе [44] при столкновении ядер урана и тория наблюдалось тройное совпадение (или тройной резонанс): каскад $32^+ \rightarrow 30^+$ в совпадении с $30^+ \rightarrow 28^+$ и в совпадении с $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$. Естественно, эта гипотеза может быть проверена

экспериментально.

Резюме: обсужденные выше пики при энергиях 1.043, 1.062 и 1.077 МэВ соответствуют массам резонансов в e^+e^- -системе, причем размеры этих резонансов равны $1.9 \cdot 10^{-10}$, $1.4 \cdot 10^{-10}$ и $1.2 \cdot 10^{-10}$ см, соответственно.

Ниже мы приведем некоторые результаты вычислений масс e^+e^- -резонансов, а также экспериментальные данные в скобках (заметим, что экспериментальная ширина e^+ - пиков ≈ 40 кэВ и e^+e^- -пиков до 10 кэВ), заимствованные из [14, 45], значения масс приведены в МэВ. Реперные значения P были взяты из возможных распадов протона, а также из бинарных каналов распада ϕ , Λ , Σ , Ξ и Ω . Видно, что спектр вычисленных значений масс e^+e^- -резонансов чрезвычайно богатый, и может создаться впечатление, что такой спектр не имеет никакой закономерности и может описать любые экспериментальные данные. Однако первое — неверно, а второе — верно.

1.022059, 1.022656, 1.023079, 1.023329, 1.023987, 1.024258, 1.026876, 1.026955,
 1.027854, 1.028237, 1.029244, 1.029476, 1.029904, 1.031245, 1.034513, 1.035822
 1.037118, 1.039020, 1.040147, 1.041625, 1.042424, 1.042527, 1.043353(1.043),
 1.046295, 1.046712, 1.047178, 1.050357, 1.050508, 1.050869, 1.051180, 1.052787,
 1.055182, 1.055182, 1.057687, 1.058150, 1.061847(1.062), 1.063063,
 1.072682(1.069), 1.073967(1.077), 1.081347, 1.087635, 1.101556, 1.111588(1.135)
 1.162844, 1.173950, 1.222222(1.223), 1.225956, 1.234439, 1.240059, 1.259730,
 1.290081, 1.442571, 1.443718, 1.446588(1.455), 1.478648, 1.551127(1.575),
 1.681155(1.662, 1.68), 1.697059(1.7, 1.702), 1.733685(1.726, 1.730, 1.738),
 1.744492(1.742), 1.758530(1.770), 1.816823(1.8, 1.812, 1.82), 1.822097(1.827, 1.83),
 1.859311(1.831, 1.832, 1.837), 1.884107, 2.004346, 2.380932, 2.406907, 2.417122
 2.420794, 2.445545, 2.496952, 2.515392, 2.647650, 2.813663, 2.819671, 2.862870,
 2.903205, 2.906467, 2.909418, 2.999168, 3.048507, 3.050526, 3.318685, 3.440942
 3.511252, 3.580615, 3.625658, 3.716721, 3.732316, 3.781722, 3.926994, 4.501432,
 4.595340, 4.930220. (16)

Чтобы показать это, проведем систематический анализ, привлекая для этой цели все существующие достаточно точные экспериментальные данные по адронным резонансам ($\Delta E \leq 1$ МэВ). Представим плотность распределения масс e^+e^- -резонансов как сумму нормированных распределений Брейта-Вигнера (здесь используется простейшая версия метода силовых функций, детали см. в монографии [46]):

$$\frac{dN}{dm} = \frac{1}{2\pi} \sum_i \frac{\Delta m}{(m - m_i)^2 + \Delta m^2/4}, \quad (17)$$

где m_i — массы e^+e^- -резонансов, вычисленные согласно изложенной выше процедуре, а $\Delta m=1$ кэВ — параметр усреднения. На рис. 1 представлена плотность

распределения масс e^+e^- -резонансов как функция m . Видна достаточно четкая регулярно осциллирующая оболочечная структура плотности резонансных состояний, однако не удалось установить период таких осцилляций.

Следует особо подчеркнуть, что в некоторых интервалах наблюдается очень большая плотность резонансных состояний, а в других — минимальная. Очевидно, что практически такой разброс плотности должен быть еще больше: 1) мы не смогли учесть вклад всех адронных резонансов; 2) вычисления распределения масс e^+e^- -резонансов проводились согласно формуле (14). Это означает, что и позитрон, и электрон при образовании резонанса имеют одинаковые импульсы $P_{e\pm}$. Ясно, такая ситуация осуществляется, если резонансы в e^+e^- -системе образуются при свободном столкновении позитронов и электронов. Если же резонансы в e^+e^- -системе наблюдаются в сопровождении третьей частицы (скажем, как в случае дармштадтского эффекта, при столкновении двух тяжелых ионов), то массы резонансов должны вычисляться по формуле

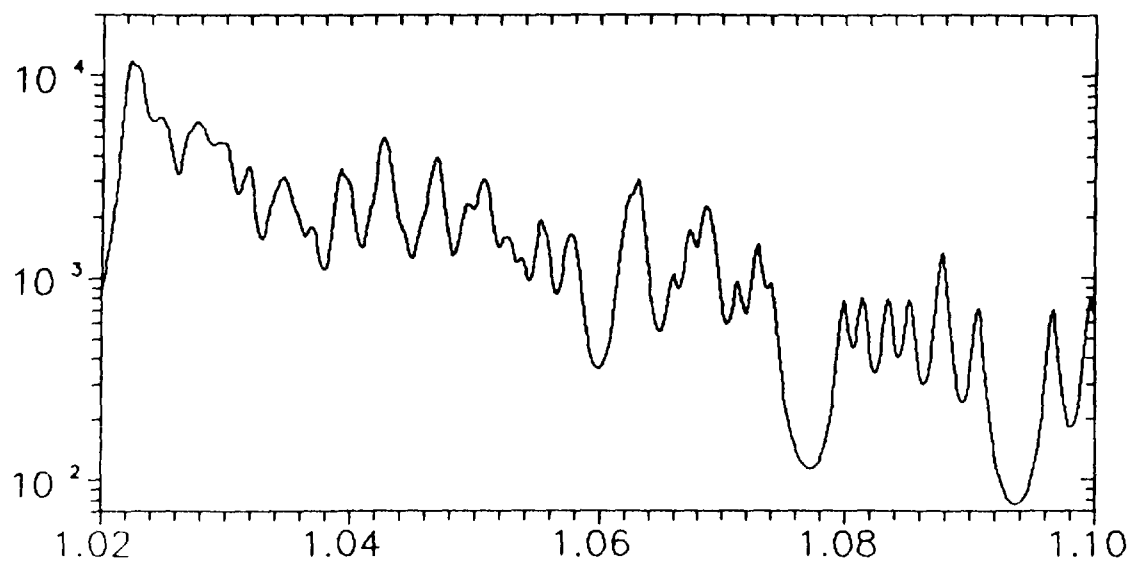
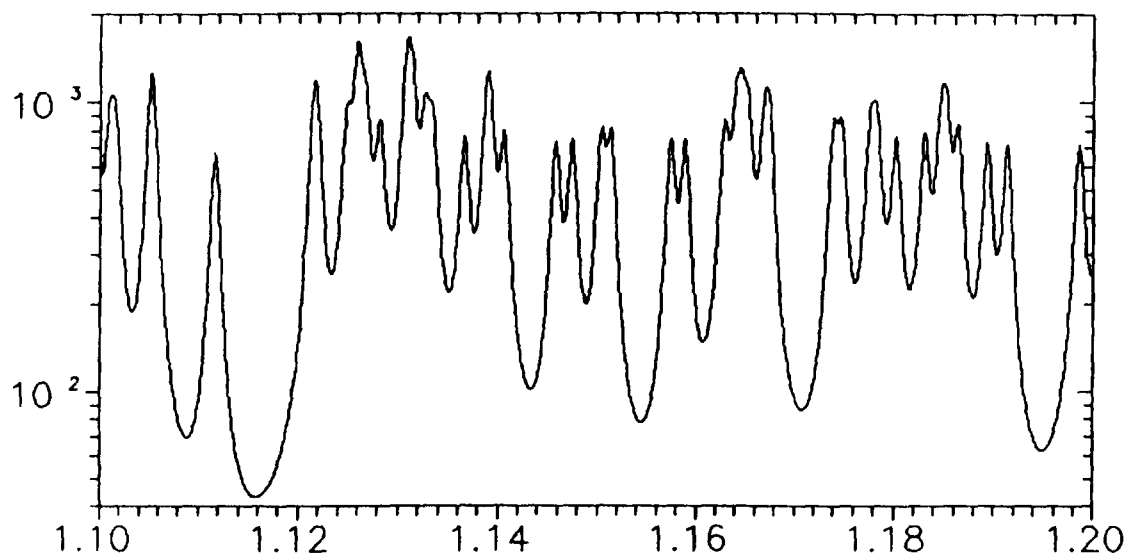
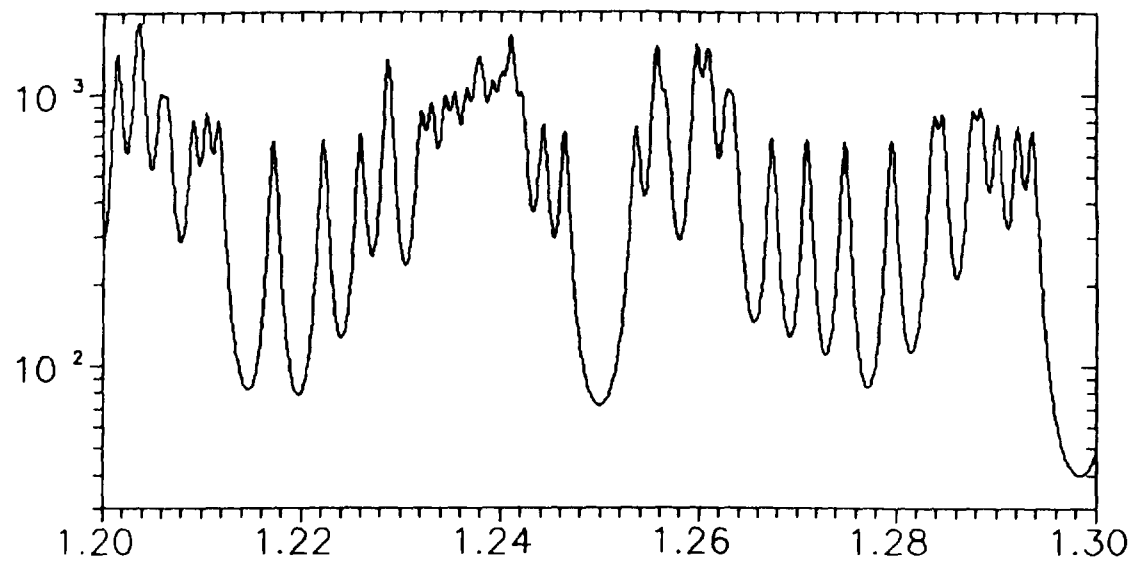
$$m_{e^+e^-} = \sqrt{m_{e^+}^2 + P_{e^+}^2} + \sqrt{m_{e^-}^2 + P_{e^-}^2}, \quad (14a)$$

что в одних местах сильнее обогащает плотность спектра резонансов, а в других меньше.

Этим последним фактом объясняется кажущаяся противоречивость и драматизм в экспериментальных исследованиях резонансов в дипионных, дибарионных и e^+e^- -системах в сопровождении третьей частицы. Периодичность в образовании резонансов в таких системах может привести к тому, что в каком-то определенном интервале может быть много резонансных состояний с разными спинами и т. д. и в зависимости от конкретных условий исследуемых реакций будут наблюдаться разные резонансные состояния. Например, даже изменение размеров детекторов может изменить результат, если некоторые длины дебройлевских волн излучаемых частиц будут соизмеримы с соответствующими геометрическими размерами измерительных приборов. Это не мистицизм. Так и должно быть. Это и есть проявление истинной волновой (геометрической) природы резонансов. Нас не удивляет или мы уже не задумываемся: тон, издаваемый флейтой, звучит по-иному, чем тот же самый тон, взятый на скрипке или на барабане или на крыше дома. Специфический характер звучания музыкальных инструментов обусловлен различными пропорциями гармоник в звуке. В электрическом органе клавиши выбирают частоту основного осциллятора, а педали контролируют относительную пропорцию различных гармоник. Орган можно заставить звучать с помощью этих регуляторов как скрипку, или как флейту, или как барабан по желанию музыканта.

Таким образом, сложность воспроизводимости результатов измерений масс резонансов в дибарионных, дипионных и e^+e^- -системах различными экспериментальными группами или даже одной группой имеет глубокую физическую природу: в принципе этих резонансов в природе очень много и они взаимосвязаны друг с другом так, что малейшие изменения условий эксперимента могут приводить к кардинально новым результатам.

И здесь возникает необходимость дать определение физической сущности "элементарная частица". Такого определения никто еще не дал, и мы завершаем этот параграф высказыванием Нильса Бора: "изолированные материальные частицы — это абстракции, свойства которых могут быть определены и зафиксиро-



$m(e^+e^-)$ (МэВ)

Рис. 1 (а)

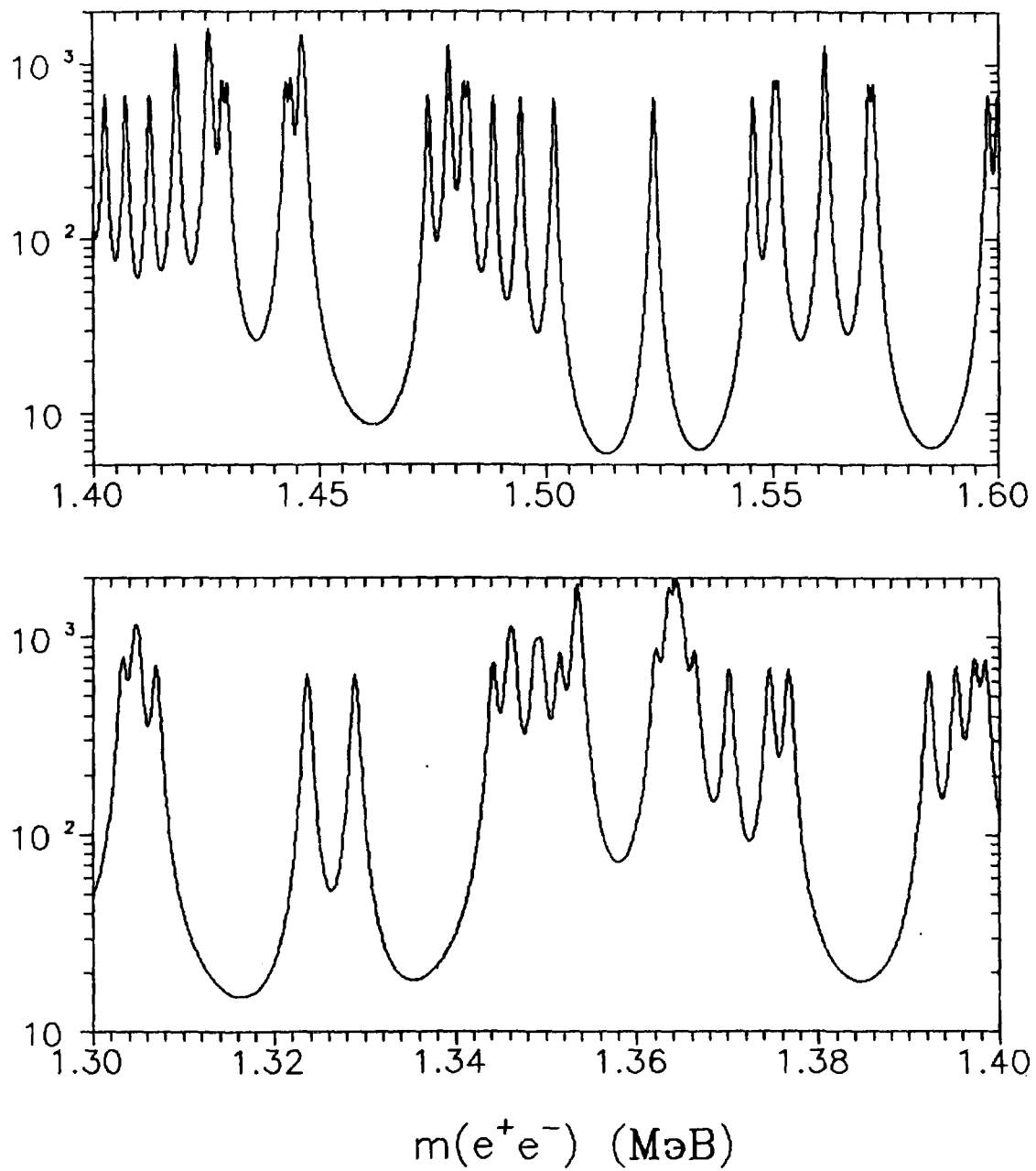
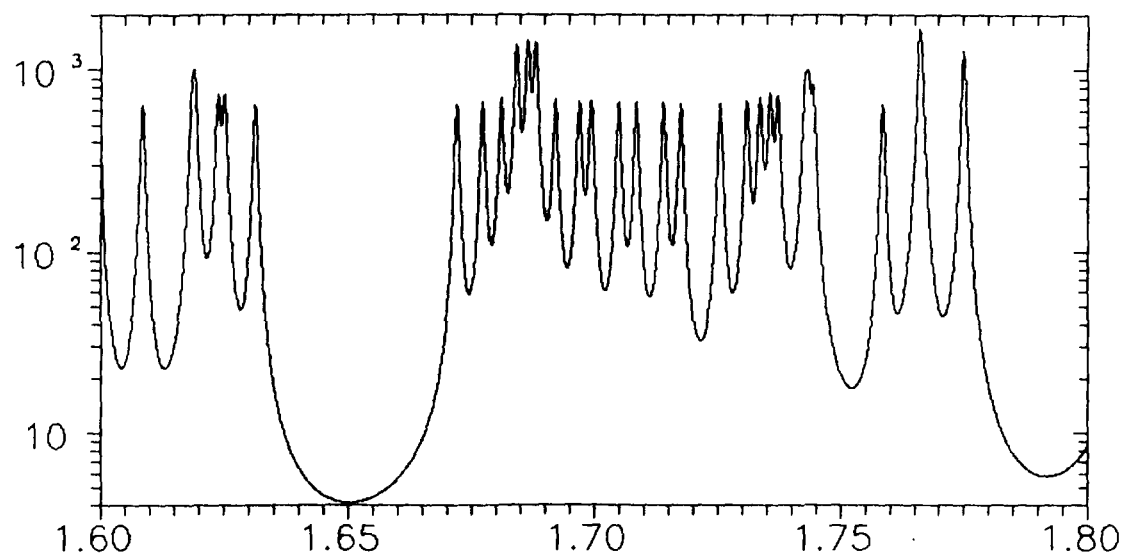
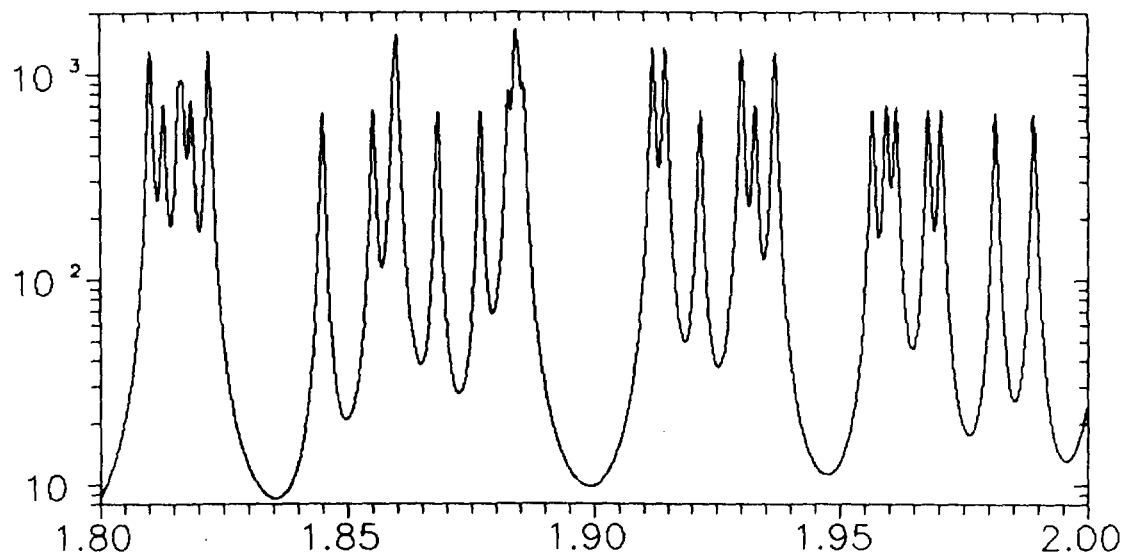


Рис. 1 (б)



$m(e^+e^-)$ (МэВ)

Рис. 1 (в)

Рис. 1. Плотность распределения масс e^+e^- -резонансов.

ваны только при их взаимодействии с другими системами” (Н. Бор [7], стр. 57), которое мы приводили в начале нашей статьи.

7 Периодическая таблица элементов

Д.И. Менделеева

С древнейших времен ученые пытались свести законы Природы к совокупности нескольких законов взаимодействия и превращений небольшого числа набора “элементарных кирпичиков” (прекрасное освещение этого вопроса дано в монографии [47]). Все многообразие живой и неживой Природы определяется расположением этих кирпичиков в определенных пропорциях. Джону Дальтону выпала честь построения количественной модели, из которой выросли современные представления об атомной природе вещества. Джон Дальтон в 1808 г. предложил количественную теорию — закон множественных отношений. Если два элемента могут образовывать несколько соединений, то отношение весов одного элемента, вступивших в соединение с данным весовым количеством второго элемента, **выражается отношением простых чисел**. Так в науку об атоме впервые проникла количественная теория, позволившая предсказывать явления природы таким образом, что эти предсказания могли быть проверены экспериментально.

Вторым поворотным пунктом в науке об атоме можно считать 1869 г., когда Д.И. Менделеев впервые сообщил о периодической таблице элементов. В то время не были известны ни электроны, ни протоны, ни ядра. Д.И. Менделеев расположил химические элементы в порядке возрастания значений их атомной массы [48]. При этом он проявил глубокую научную проницательность, оставив пустые места в таблице для неизвестных в его время элементов, придав большее значение периодичности химических свойств, что блестяще подтвердилось позже. Во время открытия периодического закона было известно 63 элемента. Менделеев предсказал существование еще более 10 элементов, для некоторых из этих элементов были предсказаны даже их основные химические и физические свойства. С этого момента начинается целенаправленное и систематическое изучение свойств элементов в рамках периодического закона Менделеева. Периодическая система элементов Менделеева явилась гениальным обобщением всей суммы химических знаний. Открытый Менделеевым периодический закон является важнейшим законом Природы. Он составляет основу не только химии, но и всей современной атомной и ядерной физики (а также смежных областей, например, металлических кластеров [17]).

Как теперь известно, открытая Менделеевым периодичность в химических свойствах элементов, с точки зрения квантовой теории, означает повторяемость в структуре внешних электронных оболочек. Начало каждой новой оболочки заполняется электроном в s -состоянии. Все атомы с одним электроном сверх заполненных оболочек имеют близкие химические свойства и относятся к щелочным металлам: Li_3 , Na_{11} , K_{19} , Rb_{37} , Cs_{55} , Fr_{87} , при этом внешние электроны заполняют состояния $2s$, $3s$, $4s$, $5s$, $6s$ и $7s$, соответственно.

Следуя [49], рассмотрим приближенно некоторые важные для наших целей свойства щелочных металлов. Ядро атома вместе с электронами на внутренних орбитах

образует так называемый атомный остов, заряд которого равен $Z_{eff} = Z - N$, где Z — заряд атомного ядра, а N — число электронов на внутренних орбитах. Для щелочных металлов $N = Z - 1$, и поэтому заряд "атомного остова" для них равен единице. Тогда в основу исследования щелочных металлов мы можем положить соответствующие выражения для допустимых значений импульсов и скоростей внешних электронов, полученные для атома водорода [9]:

$$P_n = \frac{m_e e^2}{n\hbar}, \quad v_n = \frac{P_n}{m_e} = \frac{e^2}{n\hbar},$$

откуда

$$\frac{P_{n_1}}{P_{n_2}} \equiv \frac{\lambda_{n_2}}{\lambda_{n_1}} \equiv \frac{v_{n_1}}{v_{n_2}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Следовательно, для внешних электронов щелочных металлов отношения средних импульсов, скоростей и соответствующих длин дебройлевских волн соизмеримы. Естественно, что учет релятивистских и спин-орбитальных поправок не изменит приведенного выше вывода. Как известно, эти поправки малы.

Соответствующий анализ для других атомов требует проведения численных расчетов. Поэтому здесь мы ограничимся утверждением, что средние движения внешних электронов в водородоподобных атомах соизмеримы так же, как соизмеримы средние движения планет и их спутников в Солнечной системе, продуктов распада адронов и т. д.

8 Заключение

Нам кажется, что богатый экспериментальный материал по дибарионным, дипионным и e^+e^- - резонансам, особенно узким у порога их рождения, является принципиально новым (отсутствие систематики, хаотичность и бессилие современной квантовой теории в интерпретации этого материала) по сравнению со многими данными ядерной физики и не может быть пока понят без привлечения представлений о природе самих барионов, пионов и электронов. Нам представляется и мы привели достаточно четкие аргументы в пользу того, что природа указанных выше узких резонансов имеет единую основу: эти резонансы есть прямое проявление сложной внутренней структуры самих барионов, пионов и электронов — на что никто не обращал внимания! Общепринятое ошибочное мнение (скептическое отношение общественности к экспериментальным данным и к проявлению резонансных структур) основано на том факте, что эти резонансы образуются при столкновении частиц низких энергий, обусловленных взаимодействием на больших расстояниях и, следовательно, не несут информацию о внутренней структуре сталкивающихся частиц. Отсюда стандартный вывод: информация о внутренней структуре "элементарных" частиц может быть извлечена только при высоких энергиях столкновения частиц, при этом чем выше энергия столкновения, тем глубже можно проникнуть в внутреннее строение материи.

Наш вывод: узкие дибарионные, дипионные, e^+e^- - и т. д. резонансы обусловлены сложной структурой барионов, пионов, электронов и т. д. Представленный материал в настоящей работе, а также в [17] демонстрирует, как нам кажется, адекватность такого утверждения физике процесса. Мы показали,

что наш беспараметрический подход воспроизводит центроиды экспериментальных значений масс обсуждаемых выше резонансов. Точность наших вычислений зависит от точности используемых в расчетах реперных экспериментальных данных. Часто наши расчеты дают большую точность для околопороговых резонансов по сравнению с существующими данными, если реперные стартовые данные имеют хорошую точность.

Мы начали свои исследования под влиянием следующей философской концепции: разнообразные явления Природы обусловлены простыми законами, едиными для макро- и микросистем. Содержанием всех законов Природы является их самосогласованность и последовательность, вездесущность и универсальность. Законы сохранения энергии-импульса и углового момента являются универсальными законами Природы, связанными с геометрией четырехмерного пространства-времени: однородность времени-пространства приводит к закону сохранения энергии-импульса, а из изотропии трехмерного пространства вытекает закон сохранения полного момента количества движения. Если это так, то и геометрическое квантование микро- и макросистем должно быть универсальным, поскольку оно есть простое объединение этих законов. Однако такое объединение универсальных законов в виде геометрического квантования позволило нам сформулировать принцип резонатора и принцип соизмеримости движений в микросистемах в полной аналогии с соответствующими принципами, справедливыми в макросистемах волновой природы. Другими словами, принцип соответствия между микро- и макросистемами, установленный еще на заре развития квантовой теории, дает возможность проникнуть во внутреннюю структуру микромира. К примеру, правила Кирхгофа для вычисления характеристик сложных электромагнитных резонаторов, составленных из простых резонаторов с известными свойствами, послужили нам отправной точкой для установления аналогичных феноменологических правил вычисления масс адронных резонансов. При этом в обоих случаях нет необходимости знать и решать соответствующие динамические уравнения движения, вводить какие-либо параметры или модели.

Следует особо подчеркнуть, что выполнение законов сохранения энергии-импульса и момента количества движения обеспечивается макроскопической структурой пространства-времени на больших расстояниях от изучаемых частиц, где взаимодействие между ними равно нулю. Учет квантовых свойств не меняет законов сохранения энергии-импульса. Что же касается момента количества движения, то здесь квантовые закономерности проявляются в следующих формах: во-первых, момент "квантуется" в микро- и макросистемах [9] (второй закон Кеплера), и во-вторых, частица может иметь собственный момент — спин.

Мы исходим из принципов самоподобия, соизмеримости и соответствия, которые достаточно подробно обсуждались в наших работах [9, 17]. И мы убеждены в том, что и электрон, и позитрон имеют сложную структуру — планетарно-волновую, подобную структуре протона и нейтрона, атома и т. д. Выяснение структуры e^\pm , протона, нейтрона и т. д. — фундаментальная проблема современного естествознания. И для решения этой проблемы нет необходимости строительства новых дорогих установок, для этого достаточно повышения точности существующих экспериментальных установок низких и промежуточных энергий.

Для установления собственных частот резонаторов обычно используется воздействие внешнего поля, и если частоты внешнего поля близки к собственным частотам исследуемого резонатора, то возникают соответствующие резонансные явления. Поэтому мы предлагаем естественный способ определения собственных частот "элементарных частиц" при помощи столкновения различных и одинаковых частиц друг с другом; при совпадении частот их относительного движения с собственными частотами возникнут резонансы.

В современной квантовой теории редко используются понятия скорости и секториальной скорости, в квантовой теории гораздо удобнее оперировать понятиями импульса и углового момента, эти величины в принципе одни и те же с точностью до массы в нерелятивистском пределе. Известно, что второй закон Кеплера устанавливает постоянство секториальных скоростей, в то время массы планет были известны с худшей точностью по сравнению с секториальными скоростями планет. Для установления соизмеримостей секториальных скоростей продуктов распада адронных резонансов оказался более адекватным физике процесса именно аналог второго закона Кеплера совместно с условиями квантования Бора [9]. Обнаружение соизмеримости скоростей и подобия структур "элементарных" частиц является основным элементом описываемого подхода. Единым фундаментом рассматриваемого подхода служат представления о стоячих волнах и их удивительные свойства: средние значения углового момента и энергии-импульса стоячей волны равны нулю. Именно этими свойствами стоячих волн обусловлены стабильность многих систем, а также времена жизни нестабильных.

В этой работе мы представили единое беспараметрическое и безмодельное воспроизведение экспериментального распределения масс резонансов для e^+e^- , $\pi\pi$ - и pp -систем. Представляется, что за этим беспрецедентно точным воспроизведением экспериментальных данных должна быть адекватно простая и красивая физика. Мы предлагаем единый теоретический сценарий для интерпретаций наблюдаемых резонансов в живой и неживой Природе, обусловленных разными взаимодействиями (гравитационными, слабыми, электромагнитными и сильными). Основа этого единого сценария — геометрическое квантование \Leftrightarrow законы сохранения энергии-импульса и углового момента.

Многие таинственные явления Природы могут быть поняты на основе принципа резонатора, например, природа шаровой молнии [50], ураганы, вихри и т. д. Неужели гармоничность и единство Природы простираются так далеко, что шаровая молния является макроскопическим аналогом микроскопической элементарной частицы? Однако не удивляет же нас тот факт, что атом водорода является в среднем масштабированным аналогом Солнечной системы [9]. Удивительная и необъяснимая целесообразность (например, совершенная эффективность функционирования, способность исправления нарушений, самоорганизация, фантастически точная селективность отбора и каналирования необходимой информации с минимальной потерей энергии т. д.) организации наблюдаемых структур живой и неживой Природы должна и может быть понята на микроуровне. Представляется, что стоячие волны, принцип резонатора и резонансное туннелирование, играющие фундаментальную роль в микромире, ответственны, хотя бы частично, за совершенство окружающей нас Природы, включая нас самих.

Наконец, автор хотел бы отметить, что многие из предложенных в статье идей родились под влиянием работ А.М. Балдина [51].

Автор искренне благодарен М. Барабанову и Г. Казаче за проведенные вычисления и за многочисленные обсуждения, В. Ужинскому, Ф. Пенькову, В. Дубовику за полезные обсуждения и за доброжелательную критику.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ No 96-02-17216.

Литература

- [1] Bohm D and Hiley B. //Foundations of Physics, V.5(1975)93.
- [2] Stapp H.P. //Phys. Rev. D3(1971)1303.
- [3] Heisenberg W. //Physics and Philosophy. New York: Harper Torchbooks, 1958.
- [4] Aurobindo S. //The Synthesis of Yoga. Pondicherry, India: Aurobindo ashram Press, 1957.
- [5] Murti T.R.V. //The Central Philosophy of Buddhism. London Allen and Unwin. 1955.
- [6] Фритъоф Капра //ДАО физики. ОРИС, Санкт-Петербург, 1994.
- [7] Bohr N. //Atomic Physics and Human Knowledge. New York: John and Sons, 1958.
- [8] Phys. Rev. D54, PART 1, 1996.
- [9] Гареев Ф.А., Сообщение ОИЯИ P2-96-456, Дубна, 1996.
- [10] Гинзбург В.И. // О физике и астрофизике. М.: Наука, 1992.
- [11] Schweppe S. et al., //Phys. Rev. Lett. V.51(1983)2261.
- [12] Kankeleit E. et al.,//Nucl. Instr. and Meth. A234(1985)81.
- [13] Clemente M. et al.,//Phys. Lett. B137(1984)41.
- [14] Покотилковский Ю.Н. – ЭЧАЯ 1993, т.24, с.5.
- [15] Bargholtz Chr. et al. — J. Phys., G13(1987)265; Phys. Rev., C40(1990)1188; Erb K.A. et. al. — Phys. Lett., B181(1986)52.
- [16] Sakai M. et al. — In: Proc. on Nuclear Physics in Our Times, Sanibel Island, FL. November 17-21, 1992.
- [17] Гареев Ф.А., Казача Г.С., Ратис Ю.Л., ЭЧАЯ Т.27(1996)97.
- [18] Lipson H.//The Great Experiments in Physics, Oliver and Boyd Edinburg, 1968.
- [19] Abashian A., Booth N.E., Crowe K.M.,// Phys. Rev. Lett. V.5(1960)258.

- [20] Codino A., Plouin F.//Preprint LNS/Ph/94-06, 1994.
- [21] Besson D., Skwarniski T.//Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. V.43(1993)333.
- [22] Brock I.C. et al.,//Phys. Rev. B138(1964)812.
- [23] Wu Q.W. et al. // Phys. Lett., B301(1993)307.
- [24] Yu.A.Troyan et al., Proc. of the Xth Intern. Seminar on High Energy Physics Problems, 24-29 September 1990, Dubna, USSR, World Scientific, Singapore, 1991, p.149.
- [25] Троян Ю.А. //ЭЧАЯ Т.24(1993)683; Troyan Yu.A. et al.,
- [26] Tatischeff B. et al., //In: Proc. of the Xth Intern. Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 1990, p.177.
- [27] Комаров Е.Н. //In: Proc. of the Xth Intern. Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 1994, p.321.
- [28] Troyan Yu.A. et al., //In: Abstracts of the Xth Intern. Seminar on High Energy Physics Problems, Dubna, 2-7 September 1996, p.79.
- [29] Codino A., Plouin F.//Preprint LNS/Ph/94-06, 1994.
- [30] Гареев Ф.А., Ратис Ю.Л. //Известия РАН, сер. физ. Т.60(1996)121.
- [31] Gareev F.A., Kazacha G.S., Ratis Yu.L., Stokovsky E.A., Airapetyan R.G. //Turkish Journal of Physics 20(1996)465.
- [32] Ратис Ю.Л., Гареев Ф.А. // ЯФ Т.59(1996)1005.
- [33] Gareev F.A., Kazacha G.S. and Ratis Yu.L. //Chinese Journal of Physics, V.34, No.3-II(1996)1008.
- [34] Давыдов А.С.//Квантовая механика. М.: Из-во физ.-мат. лит-ы, 1963.
- [35] Bokemeyer H. et al.//GSI Scientific Report 81-2, 1981, p.127; Berderman E. et al.//GSI Scientific Report 81-2, 1981, p.128.
- [36] Koinig I. et al. — Z. Phys., A346(1993)153.
- [37] Salabura P. et al. — Phys. Lett., B245(1990)153.
- [38] Danzmann K. et al. — Phys. Rev. Lett., V.59(1987)1885; V.62(1987)2353.
- [39] Minowa M. et al.,//Phys. Rev. Lett. V.62(1989)1091.
- [40] Westbrook C.I. et al.,//Phys. Rev. Lett. V.58(1987)1328.
- [41] Avignone F.T. et al.,//Phys. Rev. A32(1985)2622.
- [42] Tseng H.K., Pratt R.,//Phys. Rev. A24(1981)1127.

- [43] Reinhard J., Muller B., Greiner W.//GSI Annual Rep., 1987, p.196.
- [44] Danzmann K. et al.//Phys. Rev. Lett. V.62(1989)2353.
- [45] Skalskey M., Kolata J.J.// Phys. Rev. Lett. V.68(1992)456.
- [46] Бор О., Моттelson Б.//Структура атомного ядра. М.: Мир, 1971.
- [47] Пономарев Л.И.//Под знаком кванта. М.: Наука, 1989.
- [48] Менделеев Д.И.//Периодический закон. М.: ГИЗ, 1926.
- [49] Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М.//Квантовая механика. М.: Гос. учебно-педагогическое из-во, 1962.
- [50] Капица П.Л. //ДАН СССР, Т.101(1955)245.
- [51] Baldin A.M.//Nucl. Phys. A447(1985)203; Препринт ОИЯИ Р2-94-463, Дубна, 1994; Preprint JINR E2-96-296, Dubna, 1996.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 января 1997 года.