

IV. НЕОБРАТИМОЕ КОМПЛЕКСНОЕ ВРЕМЯ МИКРОМИРА

На протяжении всего 20-го столетия ученые настойчиво занимались исследованием материи, и плоды их успехов мы с удовольствием теперь вкушаем. Разработка корпускулярной, квантовой теории строения материи привела к заключению, что масса дискретна «в малом». И еще одно необычное свойство материи было открыто в процессе разработки корпускулярной доктрины – возможность существования «антиматерии».

Несомненно, что самым интригующим результатом развития квантовой механики, явилось предположение о дуализме самой материи, впервые прозвучавшее в работе Поля Дирака в 1928 году, где он предсказал существование позитрона. В 1932 году Карл Андерсон обнаружил позитрон при исследовании космических лучей, а в 1937 году он же открыл заряженные мюоны – положительный мю-мезон и отрицательный анти-мю-мезон.

Сороковые годы 20-го века принесли открытие на ускорителе в Беркли положительного пи-мезона и отрицательного анти-пи-мезона, предсказанных в 1935 году Хидэки Юкавой. В 1955 году получило экспериментальное подтверждение существование антипротона, а через год был обнаружен и антинейтрон. Не заставило себя ждать и открытие легких антиядер – в 1965 году группа американских физиков наблюдала образование ядер антидейтерия, а через пять лет русские физики на протонном синхротроне синтезировали ядра антигелия-3.

В 1995 году в швейцарском ЦЕРНе научились получать антиводород в значительных количествах и в наше время термины «антивещество» и «антиматерия» уже окончательно переместились со страниц научно-фантастических романов в энциклопедии и учебники физики.

Быстрый прогресс орбитальных средств астрономических наблюдений и развитие компьютерных технологий позволили в 1990-е годы начать исследование распределения материи в видимой нами части вселенной, на расстояниях превышающих 300 Мегаларсек. Картина, открывшаяся перед астрономами, совершенно не соответствовала предположению классической космологии об однородном распределении галактик и других космических объектов на больших расстояниях.

Оказалось, что в масштабе нескольких сотен Мегаларсек вселенная представляет собой сложную сетчатую структуру, сформированную гигантскими «волоконками» и «стенами» из скоплений галактик (см. рис.2.1). Так что масса оказалась неоднородной «в большом».

К концу минувшего 20 столетия сложилось представление о трех фундаментальных, «топологических», свойствах материи:

- дискретность «в малом»,
- неоднородность «в большом» и
- способность существовать в двух формах: материи и антиматерии.

В современной метрологии эталоны базовых единиц измерения – «килограмма», «метра» и «секунды» предполагают справедливость закона гравитации Ньютона: $F = G \cdot m_1 m_2 / r^2$ со стандартизованным значением ускорения свободного падения на Земле 9.80665 м/с^2 и Принципа универсального постоянства скорости света $c = \text{const} = 299792458 \text{ м/с}$. Эти два соотношения обеспечивают возможность ввести «унитарные» системы единиц, представив размерности всех физических величин целыми степенями какой либо одной выбранной базовой единицы измерения (см. например [35, 70]). Унитарные размерности физических величин успешно применяются в современной квантовой физике и космологии.

Взаимозаменяемость базовых размерностей в унитарных физических размерностях возможна только в том случае, если все, в том числе и **топологические свойства** всех трех элементов базовой триады одинаковы. Это означает, что и пространство и время, при определенных условиях должны обнаруживать топологические свойства, присущие массе:

дискретность «в малом», неоднородность «в большом» и возможность существования антиподов – «анти-пространства» и «анти-времени».

Открытое в конце 1920-х красное смещение в спектрах далеких галактик и интерпретированное по аналогии с эффектом Доплера для излучения объектов, движущихся относительно наблюдателя, было использовано для формулировки доктрины «расширяющейся» вселенной. Но, как было показано в Главе I, феномен красного смещения может быть интерпретирован не только «кинематически». Красное смещение может рассматриваться и как свидетельство метрической неоднородности физического пространства «в большом».

В 1990-е годы русский математик Юрий Бабенко разработал теорию «анти-пространств», как пространств с неположительным числом измерений, метрика которых представима двусторонними расходящимися рядами [31, 44]. Парадоксальным свойством таких анти-пространств, в частности, является то, что объекты большей размерности некоторым образом «содержатся» в пространствах с меньшим числом измерений, а самым «ёмким» является нуль-пространство. Оказывается, что специфическая геометрия анти-пространства обнаруживает многочисленные аналогии с необычными свойствами материи в микромире.

Так в конце 20-го столетия топологические характеристики физического пространства вплотную приблизились к свойствам материи – в конце 1920-х было открыто красное смещение в спектрах далеких галактик, которое может рассматриваться как свидетельство метрической неоднородности физического пространства «в большом», а Юрий Бабенко продемонстрировал возможность существования анти-пространства.

Представляется что, подтверждая универсальность общего Принципа дуализма, **все три категории фундаментальной триады – «масса, пространство и время» имеют универсальные топологические свойства:**

- дискретность «в малом»,
- неоднородность «в большом» и
- способность существовать в двух антисимметричных формах.

В конце 1990-х годов автор этой книги на основе Общей Теории Систем разработал модель «спирального» физического времени, которое подобно материи обладает дискретностью «в малом», неоднородно «в большом» и допускает существование «анти-времени» (Таганов, 2001–2003 [31–33]). До этого в естествознании использовались только две концепции времени: привычное всем нам абсолютное, математическое время Ньютона, интервалы которого определяются действительными числами, и мнимое время, введенное Пуанкаре и Минковским для геометрической интерпретации специальной теории относительности. **Интервалы «спирального» времени микромира определяются комплексными числами, а время Ньютона и Минковского являются его предельными частными формами.**

Начавшееся в середине 20 века с материи, «расщепление» фундаментальной триады на «сущности» и «анти-сущности», неизбежно должно продолжиться. Возможно, что уже недалеко то время, когда термины «анти-пространство» и «анти-время» будут использоваться с той же уверенностью, как сегодня рассуждения об антивеществе.

4.1 Дискретность необратимого физического времени

История естествознания в 20 столетии знает много попыток обосновать целесообразность разработки концепции дискретного времени. Например, Эрнст Мах был убежден, что применяемое в физике дифференциальное исчисление является идеализацией и что, как расстояние между телами, так и промежутки времени между событиями, могут быть измерены только с ошибкой, которая не меньше «элементарных единиц длины и времени».

Вольфганг Паули во многих своих работах предполагал, что сколь угодно точное определение координат и времени в релятивистской квантовой механике невозможно, поскольку Комптон-эффект принципиально ограничивает точность измерения координат частицы.

Идея ограниченной делимости времени непосредственно следует из постулата Планка о том, что никакое действие не может быть меньше половины «кванта действия»: $\Delta\varepsilon\Delta\tau \geq h/2 = \text{const}$. Это неравенство для **ограниченных изменений энергии $\Delta\varepsilon < \infty$ может рассматриваться как утверждение о конечности минимального интервала времени $\Delta\tau > 0$.**

После создания теории информации в середине 20 столетия появилось много работ, посвященных анализу процессов измерения пространственных и временных характеристик, которые демонстрировали несовместимость самой концепции экспериментальной информации с континуальным представлением о пространстве и времени. Особое значение имели работы Леона Бриллюэна [4] и книга Хармута Хеннинга [39], в которой последовательно используются дискретные координатные системы для пространства и времени при анализе ряда физических процессов. Позиция Хеннинга сформулирована им так:

«Мы исходим из того, что пространственно-временной континуум – это математическая абстракция, которая не наблюдается на практике, а понятие пространства-времени должно быть приведено в соответствие с положениями теории информации».

Интересно, что уже Аристотель чувствовал связь восприятия времени с регистрацией какой-нибудь информации. У него можно найти такие слова [1]:

«Если не происходит изменений в нашем мысленном восприятии или же если мы их не замечаем, то нам кажется, что время остановило свой бег. Так, в басне жители Сарда спали в то время, когда герой совершал свои подвиги. Проснувшись, они связали прошлый момент с будущим, и интервал между ними стерся из-за отсутствия ощущений. Время не существует без изменения и без движения».

Несмотря на быстрое развитие теории информации довольно долго не удавалось разработать в рамках информационной теории измерений доказательство конечности минимальных интервалов пространства и времени. Это связано с тем, что ввиду универсальности представлений о пространстве и времени, при рассмотрении их возможной дискретности, нельзя исходить из анализа каких либо отдельных, частных физических процессов. Решением проблемы может быть только анализ достаточно общей математической модели причинного отношения между событиями. При этом структура такой математической модели, никак не должна быть связана с какими либо свойствами или характеристиками частных физических процессов или явлений.

Во второй половине 20 столетия было предложено две математические модели общего причинного отношения: вероятностная (Suppes 1970 [66]) и информационная (Таганов, 1975 [27–30, 67]). В этих моделях использованы соответственно вероятностное и информационное определения причинного отношения. Равноценность этих двух определений не должна вызывать удивления, так как Колмогоровым в свое время была доказана полная эквивалентность информационной и вероятностной аксиоматик при построении аппарата математической статистики.

Соотношение между вероятностной и информационной моделями причинного отношения такое же, как, например, между уравнениями для функций распределения (например,

уравнениями Больцмана или Чепмена-Энскога) и феноменологическими уравнениями в статистической физике. Преимуществом обеих моделей является возможность количественного описания причинных отношений между событиями, вне зависимости от их конкретного физического содержания, поскольку обе модели используют только вероятности наблюдаемых характеристик событий.

Достоинством информационной модели причинного отношения при обсуждении проблемы дискретности времени является **возможность интерпретировать ее как описание информационного канала связи между причиной и следствием**. Это позволяет в дальнейшем пользоваться теоремами информационной теории связи.

Для статистических множеств $\{x_{im}\}$ и $\{x_{jk}\}$ наблюдаемых характеристик событий X_i и X_j , находящихся в причинной связи, могут быть вычислены функционалы энтропии и информации $H(X_i), H(X_j), I(X_i, X_j)$. При этом не обязательно это должны быть энтропия и информация по Котельникову или по Шеннону. Могут рассматриваться и более общие определения функционалов информации и энтропии – так называемые f -энтропии и f -информации (см., например [6, 64]). Для всех форм функционалов энтропии и информации справедливо неравенство (см., например [6]):

$$0 < I(X_i, X_j) \leq \min[H(X_i), H(X_j)] \quad (4.1)$$

Применительно к событиям, находящимся в причинной связи (X_i причина X_j), это неравенство можно интерпретировать как следующие утверждения:

1. Количество информации, которое может быть воспринято следствием от причины, не может быть больше энтропии следствия.
2. Количество информации, которое может быть передано следствию причиной не может быть больше энтропии причины.

Информационная модель причинно-следственного отношения (Таганов 1975 [27–30, 67]) соответствует частному случаю неравенства (4.1):

$$0 < I(X_i, X_j) \leq H(X_i) \quad (4.2)$$

представленного в форме эквивалентного равенства:

$$I(X_i, X_j) = \Gamma_{ji} H(X_i) \quad 0 \leq \Gamma_{ji} \leq 1 \quad (4.3)$$

Соотношение (4.3) можно использовать и в безразмерной форме после деления обеих его частей на энтропию следствия $H(X_j)$:

$$I(X_i, X_j)/H(X_j) = \Gamma_{ji} \cdot H(X_i)/H(X_j) \quad (4.4)$$

Модель причинного отношения в форме (4.4) соответствует утверждению о том, что **относительная доля энтропии следствия, связанная с действием некоторой причины, пропорциональна относительной (по отношению к энтропии следствия) энтропии этой причины**.

Коэффициент Γ_{ji} в (4.3, 4.4) служит количественной мерой интенсивности парной причинной связи безотносительно к содержательной интерпретации рассматриваемых

событий. При отсутствии причинной связи и статистической независимости характеристик событий этот коэффициент равен нулю. Единичное значение этого коэффициента соответствует случаю строгой детерминации следствия причиной, понимаемой в том смысле, что качественное и количественное разнообразие характеристик следствия определяется разнообразием характеристик причины единственным образом.

Информационная модель причинного отношения, как описание информационного канала связи между причиной и следствием, показывает, что **при одной и той же статистической неопределенности следствия, информация, поступающая от причины, должна быть тем больше, чем больше собственная статистическая неопределенность причины.**

В соответствии с первой теоремой Шеннона [64], с уточнением Хинчина¹:

«Если скорость создания информации $\Delta I/\Delta\tau$ на входе канала связи с пропускной способностью K меньше этой величины, то существует такой код, при котором вероятность ошибок на приемном конце канала сколь угодно мала».

Обратная теорема Шеннона утверждает, что:

«Если скорость создания информации $\Delta I/\Delta\tau$ больше пропускной способности канала K , то никакой код не может сделать вероятность ошибки сколь угодно малой, а минимальное рассеяние информации на символ будет $(\Delta I/\Delta\tau - K) > 0$ и никакой код не может обеспечить меньшего рассеяния информации».

Прямая и обратная теоремы Шеннона применительно к информационному каналу связи между причиной и следствием ограничивают конечным пределом минимальную величину интервала времени между любыми причинно связанными событиями. Это следует из того, что условие безошибочной передачи информации, в соответствии с этими теоремами:

$$\Delta I/\Delta\tau < K \quad (4.5)$$

при всегда конечных ΔI и K , эквивалентно неравенству:

$$\Delta\tau > \Delta I/K > 0 \quad (4.6)$$

Этот предельно малый интервал времени, удовлетворяющий условию безошибочной передачи информации между причиной и следствием, а тем самым являющийся пределом безошибочного измерения моментов и интервалов физического времени, можно отождествить с **константой дискретности физического времени τ_0** :

$$\Delta\tau \geq \tau_0 > 0 \quad (4.7)$$

Обратившись к принципу постоянства скорости света: $c = const > 0$, минимальный интервал пространства Δs , с учетом соотношения (4.7), можно представить в виде:

$$\Delta s = c\Delta\tau \geq c\tau_0 > 0 \quad (4.8)$$

¹ Khinchin, A.I. *Mathematical Foundations of Information Theory*, New York: Dover, 1957. ISBN 0-486-60434-9.

Таким образом, существование конечного предела безошибочного измерения минимальных интервалов времени τ_0 , являющееся следствием теорем Шеннона, применительно к каналу связи между причиной и следствием, приводит также к существованию конечного предела безошибочного измерения расстояний $\Delta s > 0$.

4.2 Парадоксы «атомов» времени

Проблема делимости времени с давних пор служила поводом для оживленных дискуссий естествоиспытателей и философов. Памятником этим спорам остаются известные апории ученика Парменида философа Зенона Элейского (ок. 490–ок. 430 до н. э.) «О состязании в беге между Ахиллом и черепахой» и «О невозможности полета стрелы». Оригинальных сочинений Зенона из Элеи не сохранилось, но легенды, собранные Диогеном Лаэртским (2–3 века н.э.), а также идеи Зенона в изложении Аристотеля, позволяют предполагать, что Зенон создал свои парадоксы при обсуждении «атомов времени», то есть, рассматривая модель дискретного времени.

Преодоление парадоксов Зенона Аристотель видел в утверждении о непрерывности движения. Говоря о непрерывности и бесконечной делимости движения, он, по существу, приписывал эти свойства и пространству и времени. То, что эти идеи не были общепринятыми в античной философии, свидетельствует популярность Зенона, да и сам факт существования его апорий, сохранившихся до наших дней.

Среди греческих философов было много приверженцев атомизма и общей концепции существования неделимых тел (см. многочисленные примеры в интересной книге А.Н. Вяльцева [7]):

«Из дающих учение о неделимых одни, как Левкипп и Демокрит, говорят, что существуют неделимые тела, другие, как Ксенократ, принимают неделимые линии, а Платон допускает неделимые плоскости»².

Демокрит (ок. 460–ок. 370 до н.э.) и Эпикур (342/341–271/270 до н. э.) были стойкими приверженцами атомизма и дискретности пространства и времени. Им, вероятно, и принадлежит разработка парадоксальной концепции «**изотахий**» (от греческих слов *ίσο* – «равный» и *ταχος* – «скорость»), хотя впервые этот термин встречается у Секста Эмпирика только в начале 2-го века нашей эры:

«Когда тело пробегает одно неделимое место за одно неделимое время, все движущееся окажется равной скорости, как, например, быстрейшая лошадь и черепаха»³.

Впоследствии философ-неоплатоник, представитель Афинской школы неоплатонизма Симпликий Киликийский (ок. 490–560), писал:

«Сторонники Эпикура считают, что ввиду существования неделимых интервалов, все движется с одинаковой скоростью, так как иначе неделимые, оказавшись разделенными, перестали бы быть неделимыми».

Таким образом, признание существования атомов пространства и времени, неизбежно приводит к предположению о существовании «атома скорости» и, соответственно к

² Из Схолии к трактату Аристотеля «О небе». Цит. по [7].

³ Секст Эмпирик. Пирроновы положения (3. 10). Перевод Н.В. Брюлловой-Шаскольской, СПб, 1913. Цит. по [7].

концепции «изотахии». Более того, признание существования неделимых отрезков пути и неделимых интервалов времени требует признания и неделимости элементарного движения.

Элементарное движение не может наблюдаться как непрерывная последовательность перемещений тела внутри неделимого элемента пространства. Элементарное движение не имеет ни «начала», ни «середины», ни «конца». Впервые осознавшие эту особенность дискретного пространства и времени греческие философы назвали это свойством «**кикинемы**» – «совершившегося движения» (от греческого слова *κεκνησθαί* – продвинувшееся).

Один из комментаторов Аристотеля Александр Афродисийский в конце 2 века описал представление последователей Эпикура о свойстве «кикинемы»:

«Утверждая, что и путь, и движение, и время состоят из неделимых частиц, они утверждают также, что на каждом из неделимых путей движения нет, а есть только результат движения».

Аристотель, вообще не разделявший никаких концепций атомизма, относился критически и к представлениям о неделимых движениях, которые, по его мнению, приведут к парадоксальной ситуации, когда: «движение будет состоять не из движений, а из моментальных перемещений и продвижений чего-то недвижущегося» (Аристотель. «Физика», 6.1 [1])

Средневековый философ Рамбам (Маймонид, 1135–1204) свидетельствует в своем труде «Путеводитель заблудших» о попытках рационального истолкования «изотахии» арабскими философами его времени:

«Если два тела кажутся нам движущимися с разными скоростями, то причиной этого различия является не более быстрое и более медленное движение, а то, что движение, называемое нами медленным, прерывается промежутками покоя чаще, чем движение, называемое быстрым»⁴.

Французский средневековый философ Николай Отрекурейский (ок. 1299–ок. 1369) своими новаторскими идеями заслужил чести публичного сожжения своих книг по приказу Папы Климента VI. Философ, в частности, утверждал, что материя, пространство и время состоят из неделимых атомов, точек и мгновений, а все процессы синтеза и разложения материи происходят за счет перегруппировки атомов. Разрешение парадокса движения тел с различными скоростями без нарушения «изотахии» философ видел в существовании микроскопических пауз покоя (*morulae*) в каждом движении:

«Чем больше *morulae* в движении, тем оно медленнее, а чем их меньше, тем оно быстрее; если же их нет совсем, оно будет предельно быстрым»⁵.

Анализ неделимости элементарного движения приводит к необычной идее существования в микромире универсального процесса «**реновации**». Микрочастица, появившись в «начале» неделимого элемента пространства не может появиться в его «середине», а должна сразу оказаться в его «конце». Движение, у которого может регистрироваться только «результат» движения, а не отдельные его этапы, носит характер

⁴ Maimonides M. *The Guide for the Perplexed*. NY, 1946, p. 121.

⁵ Зубов В.П. Николай из Отрекура и древнегреческие атомисты // Труды Института истории естествознания и техники АН СССР, 1956, 10; 338–383.

чередующихся «исчезновений» и «возрождений» – «реноваций». **Такой процесс реновации неотделим от свойства кикинемы во всех его формулировках.**

Процесс *реновации* особенно охотно обсуждался средневековыми арабскими и буддийскими философами. Мутакаллимы – философы мусульманской схоластики (например, Васыл Биу-Ата, Джахиз, Муаммар биу-Аббад), развивая доктрину атомарности пространства и времени, пришли к мысли, что как некогда «возникшее», мироздание не обладает вечным «пребыванием», и потому не может быть нескончаемым, а значит, имеет и конец во времени.

Мутакаллимы утверждали, что все в мире – тела, свойства, мысли, все изменяются не непрерывно, а скачками. Внезапно возникают, существуют в течение одного или нескольких «атомов» времени, и затем внезапно исчезают, с тем чтобы возродиться в другое время, в другом месте и, возможно, в обновленном виде.

Все эти парадоксальные идеи античных и средневековых философов казались окончательно забытыми к началу 20 столетия, но развитие квантовой механики заставило оценить проницательность давно почивших мудрецов. Вскоре после публикации уравнения Дирака для движения электрона Грегори Брейт показал, что **в этом уравнении единственным допустимым значением скорости электрона является скорость света**⁶.

Это следует из того, что при собственных значениях матриц Дирака $\alpha_k = \pm 1$ из операторных уравнений для компонент скорости электрона $\dot{x}_k = c\alpha_k$ получается $\dot{x}_k = \pm c$. Через год Владимир Фок и Дмитрий Иваненко доказали, что дифференцирование линеаризованного метрического расстояния всегда приводит к оператору скорости, с собственными значениями $\pm c$. Так, на этот раз не в философию, а в физику вернулась древняя проблема изотаксии⁷.

Этот внезапно оживший древний метафизический призрак естественно повлек за собой попытки физической интерпретации свойства кикинемы и процесса реновации. В 1929 году Гвидо Бек оживил расчетами⁸ старинную модель движения, прерываемого интервалами покоя, определив скорость результирующего движения формулой: $u = l/Nt$. В этой формуле N он назвал «периодом» движения, равным среднему числу «атомов» времени, затрачиваемых на прохождение одного «атома» пространства. Например, при скорости 10^{-6} см/сек, которая еще надежно регистрируется приборами, один «квант» движения приходится на 10^{18} «квантов» покоя. При этом длительность «кванта» покоя около 10^{-6} сек., что уже далеко за пределами возможностей экспериментальной регистрации для механического движения.

В 1930 году Эрвин Шредингер предложил модель «рыскания» электрона, которая при его мгновенной скорости, всегда равной скорости света, могла объяснить наблюдаемое движение электронов с различными скоростями⁹. В своей модели Шредингер использовал представление координаты электрона в форме $x = \langle x \rangle + \xi$, где $\langle x \rangle$ соответствует среднему движению, а ξ это «дрожание» (*Zitterbewegung*) электрона. Амплитуда дрожания зависит от наблюдаемой скорости электрона, и для малых скоростей оценивается формулой $\xi_{\max} = \hbar/2m_e c$, имея порядок 10^{-11} см. По мере приближения скорости электрона к скорости света амплитуда дрожания стремится к нулю.

⁶ Breit, G. An interpretation of Dirac's theory of the electron // Proc. of the Nat. Acad. of Sci., USA (1928) 14; 553–559.

⁷ Fock, V., Iwanenko, D. Über eine mögliche geometrische Deutung der relativistischen Quantentheorie // Zeitschrift für Physik (1929) 54; 798–802.

⁸ Beck, G. Die Zeitliche Quantelung der Bewegung // Zeitschrift für Physik (1929) 53; 675–682.

⁹ Schrödinger E. Über die kräftefreie Bewegung in der relativistischen Quantenmechanik // Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, math.-phys. Kl. (1930) 24; 418–428.

В последующие годы основной целью разработки квантовых моделей дискретных пространства и времени стало введение в теорию пространственных и временных координат на равных правах с другими механическими характеристиками, то есть замена координат операторами. При этом в соответствии с идеологией квантовой механики собственные значения таких операторов координат должны были представлять физически наблюдаемые характеристики микрочастиц.

Примером такого подхода может служить операторное представление координат Хартланда Снайдера, в котором использовалась квадратичная форма¹⁰:

$$-\eta_0^2 + \eta_1^2 + \eta_2^2 + \eta_3^2 + \zeta^2 = \eta^2 \quad (4.9)$$

Компоненты этой квадратичной формы рассматривались автором как аргументы операторов координат, которые вводились по образцу операторов орбитального углового момента. Определенные таким способом операторы пространственных координат имеют дискретный спектр с параметром «фундаментальной длины» l_0 :

$$x = nl_0 \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (4.10)$$

Спектр оператора временной координаты в модели Снайдера оставался непрерывным, так что им рассматривалась только модель квантованного пространства. Интересным результатом этого исследования явилось понимание того, что квантование пространства изменяет структуру соотношения неопределенностей Гейзенберга, которое принимает вид:

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar(1 + l_0^2 p^2 / \hbar^2) \quad (4.11)$$

С конца 1940-х годов продолжались попытки создать квантовую теорию пространства-времени, используя опыт, идеологию и математические приемы классической квантовой механики¹¹. Однако такой подход не оправдал надежд, и в 1960-х годах были предприняты попытки разработать специфическую теорию «ячеистого» пространства-времени¹². В последние два десятилетия вновь ожил интерес к дискретным моделям пространства-времени в связи с попытками создания единой квантовой теории поля (модели «Великого объединения») и квантовой теории гравитации.

До сих пор, однако, все разработанные варианты квантовых теорий и модели «ячеистого» пространства-времени не оправдали ожиданий своих создателей в том смысле, что не удалось добиться сколько-нибудь значительного «объяснительного» потенциала теорий и предсказать какие-либо новые физические явления или законы. Проведенная работа, тем не менее, имеет важное методологическое значение, так как позволила обнаружить некоторые неожиданные особенности теорий дискретного пространства-времени.

Во-первых, вне зависимости от вида использованного математического аппарата, все квантовые теории пространства-времени демонстрируют слияние, своего рода «сплавление» воедино, эффеkтов классической квантовой теории и предполагаемых квантовых проявлений

¹⁰ Snyder, H.S. Quantized space-time // Phys. Rev. (1947) 71; 38–41.

¹¹ Flint, H.T. The quantization of space and time. Phys. Rev. (1948) 74; 209–210. Hasbe, K. Quantum space-time // Prog. Theor. Phys. (1972) 48; 1742–1750. Hellund, E.J., Tanaka, K. Quantized space-time // Phys. Rev. (1954) 94; 192–195.

¹² Cole, E.A.B. Transition from continues to a discrete space-time scheme // Nuovo Cimento, (1970), 66 A; 645–655. Das, A. Cellular space-time and quantum field theory // Nuovo Cimento, (1960) 18; 482–504. Yukawa, H. Atomistics and the divisibility of space and time // Suppl. Prog. Theor. Phys. (1966) 37 – 38; 512–523.

дискретности пространства-времени. Эта особенность сильно затрудняет анализ теоретических разработок и экспериментальное исследование предсказываемых специфических физических эффектов дискретности пространства-времени.

Во-вторых, отказ от концепции континуального пространства-времени во всех вариантах теорий приводит к необходимости введения в математические описания, явно или неявно, каких либо вспомогательных, фиктивных, нефизических пространств, обладающих свойством непрерывности. По-видимому, невозможно построить непротиворечивую теорию дискретного пространства-времени, полностью отказавшись от формализации дуализма «дискретное – непрерывное». Вероятно, какие-то непрерывные пространства с той или иной размерностью должны присутствовать в теории в качестве своеобразного, внутреннего эталона «анти-дискретности».

Главная причина неудач в разработке теорий дискретного пространства-времени лежит глубже, нежели отдельные недостатки использованных математических аппаратов или ограничения известных технологий квантования. Все предложенные теории используют, по сути дела, формальные приемы квантования или дискретные топологии абстрактных математических множеств, представляющих пространство и время, но, не предлагая и не обсуждая никаких новых концепций **необратимости «физического» времени.**

Для того чтобы рассчитывать на успех, необходимо сначала создать новую концепцию необратимого физического времени, которая бы органично сочетала бы категории непрерывности и дискретности, одинаково существенные для отображения физической реальности. Математической основой такой концепции могла бы служить теория функций комплексного переменного, в которой непрерывность функций гармонично сочетается с дискретностью множеств их нулей и полюсов.

4.3 Время и Анти-время

Уравнение (12), основанное на системном анализе категорий пространства и времени, можно успешно использовать как для анализа свойств физического времени «в большом» и нового феномена – космологического замедления хода физического времени, так и для анализа свойств физического времени «в малом», то есть физического времени микромира.

Опыт успешного применения классической и квантовой механик, использующих модели времени Ньютона и Пуанкаре-Минковского вида (6): $\tau = at$ для описания движения в микромире на протяжении малых интервалов времени, дает повод думать, что разность $(\tau - at)$ если и не равна нулю, то, по крайней мере, должна быть достаточно малой величиной. Это и есть то дополнительное условие, которое будет использовано для вывода модели физического времени в микромире.

Разность $(\tau - at)$ можно использовать в качестве малого параметра, представив правую часть (12) в форме разложения по степеням этого малого параметра:

$$d\tau/dt = a_0 + a(t)(\tau - at) + a_1(t)(\tau - at)^2 + \dots \quad (4.12)$$

Ограничиваясь линейным приближением в (4.12), уравнение, определяющее модель физического времени можно представить в виде:

$$d\tau/dt = a_0 + a(t)(\tau - at) \quad (4.13)$$

При таком подходе модели Ньютона и Пуанкаре-Минковского предстают как решения уравнения (4.13) при $a(t)=0$ и при $a=1$ и $a=ic$ соответственно. Общим же решением уравнения (4.13) является функция:

$$\tau = a_0 t + \exp[\theta(t)] \quad \theta(t) = \int a(t) dt \quad (4.14)$$

С помощью вспомогательной функции

$$\theta(t) = \ln[\tau_0(t)] + i\theta_0(t)t \quad (4.15)$$

модель физического времени (4.14) можно представить в виде:

$$\tau = a_0 t + \tau_0(t) \exp[i\theta_0(t)t] \quad (4.16)$$

или в тригонометрической форме:

$$\tau = a_0 t + \tau_0(t) \{ \cos[\theta_0(t)t] + i \sin[\theta_0(t)t] \} \quad (4.17)$$

Целесообразно рассмотреть более подробно модель (4.16, 4.17) с постоянными параметрами при $a_0 = 1$:

$$\tau = t + \tau_0 \exp(i\theta_0 t) \quad \tau_0; \theta_0 = const \quad (4.18)$$

Для того, чтобы существовал закон сохранения энергии в общепринятой формулировке, необходимо обеспечить выполнение условия однородности физического времени при произвольных t_1, t_2, t_3 :

$$|\tau(t_1) - \tau(t_2)| = |\tau(t_1 + t_3) - \tau(t_2 + t_3)| \quad (4.19)$$

Это условие для модели (4.18) не может быть обеспечено для всего континуума значений t и τ , но может выполняться для счетного множества $\{t_n, \tau_n\}$, соответствующего дискретному ряду:

$$t = n\tau_0 \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.20)$$

При этом должно выполняться условие:

$$\theta_0 = 2\pi/\tau_0 \quad (4.21)$$

Это условие обеспечивает для счетного множества (4.20) обращение в единицу косинусов и в ноль синусов в тригонометрическом представлении модели (4.17).

Для счетного множества (4.20) выполняется как условие однородности физического времени (4.19), так и условие сохранения инерциальности систем отсчета. Однако, физическое время, определяемое моделью (4.18), удовлетворяя условию однородности, не

является изотропным. **Множество положительных значений физического времени служит привилегированной системой отсчета, отражая необратимость времени.**

В качестве меры асимметрии (анизотропии) физического времени можно использовать величину $A = |\tau(-t) + \tau(+t)|$. Для моделей Ньютона и Пуанкаре-Минковского $A = 0$. Для модели (4.18) степень асимметрии больше нуля:

$$A = |\tau(-t) + \tau(+t)| = 2\tau_0 > 0 \quad (4.22)$$

Изотропное пространство обладает нулевой асимметрией $A_s = x + (-x) = 0$ для всех направлений в нем. Если мы определим пространственные интервалы с помощью ньютоновского времени или времени Пуанкаре-Минковского: $x = c \cdot (+t)$ или $x = +ict$ и, соответственно: $-x = c \cdot (-t)$ или $-x = -ict$, то также получим условие нулевой асимметрии: $A_s = 0$. Но если мы начнем пользоваться физическим временем (4.18) и определим интервалы пространства так: $x = c \cdot \tau(+t)$ и $-x = c \cdot \tau(-t)$ то мы обнаружим ненулевую асимметрию пространства:

$$A_s = |c \cdot \tau(+t) + c \cdot \tau(-t)| = 2c\tau_0 > 0 \quad (4.23)$$

Таким образом, асимметричное физическое время индуцирует также и асимметрию (анизотропию) пространства.

Если вычислить модули разности физического и ньютоновского времени для различных моделей времени, то окажется:

$ \tau - t = 0$	модель Ньютона
$ \tau - t = \tau_0$	модель (4.18)
$ \tau - t = t\sqrt{2}$	модель Пуанкаре-Минковского

Таким образом, эта триада моделей исчерпывает возможности линейного преобразования модуля физического времени (при произвольном начале отсчета ньютоновского времени), для которого сохраняется инерциальность систем отсчета и существует закон сохранения энергии в общепринятой форме. Эта же триада исчерпывает и формы алгебраического представления интервалов физического времени: в модели Ньютона – вещественные, в модели Пуанкаре-Минковского – мнимые, в модели (4.18) – комплексные числа.

Принцип инерции Демокрита утверждал, что «движение, однажды возникнув, будет продолжаться бесконечно долго, если ему ничто не препятствует». Именно в такой форме со времен Галилея принцип инерции механического движения и применяется в физике. Замечательные достижения Галилея в механике часто связывают с его отказом от общепринятого в то время принципа инерции Аристотеля: «движение прекращается, если его что-нибудь не поддерживает». Однако противоречие между принципами Демокрита и Аристотеля только кажущееся. Например, бесконечное движение не противоречит принципу инерции Аристотеля, если считать, что оно поддерживается силой инерции. По существу, оба этих классических принципа инерции являются частными случаями общего принципа причинности для движения:

Существование бесконечного движения, а также все изменения движения, включая прекращение движения, все это суть следствия действия сил, являющихся причинами изменения движения.

В соответствии с этим принципом причинности, сохранение инерциальности систем отсчета при переходе от одной модели времени к другой, предполагает отсутствие возникновения каких либо дополнительных сил, способных изменить движение тел. При определении инерциальных систем отсчета обычно используется частный случай движения тел с неизменной массой при действии только силы инерции – прямолинейное, равномерное движение. Для этого движения условие сохранения инерциальности систем отсчета при переходе от ньютоновского времени к физическому времени имеет вид:

$$\text{если } dl/dt = const, \text{ то и } dl/d\tau = const$$

Исключение dl из этих соотношений приводит к следующему условию сохранения инерциальности систем отсчета для различных моделей времени:

$$d\tau/dt = \psi \quad \psi = const \tag{4.24}$$

Для модели Ньютона $\tau = t$ константа ψ в (4.24) вещественная: $\psi = 1$; для модели Пуанкаре-Минковского мнимая: $\psi = ic$, а для модели (4.18) на множестве (4.20) комплексная: $\psi = 1 \pm i2\pi$.

Для того, чтобы представить себе наглядно разницу в трактовке движения с помощью ньютоновского времени и комплексного физического времени, целесообразно рассмотреть подробнее описание прямолинейного и равномерного в комплексном времени τ движения тела с постоянной массой m и скоростью u .

Условие инвариантности 4-мерного интервала для двух тел – движущегося ($dl > 0$) и неподвижного ($dl = 0$) имеет вид:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2 = c^2 d\tau^2 \tag{4.25}$$

Это соотношение обычно используется в специальной теории относительности для определения «собственного» времени τ движущегося тела (см., например стр. 18 в [16]). Но из этого соотношения также следует:

$$u_s^2 = (ds/d\tau)^2 = c^2 \tag{4.26}$$

Это соотношение является определением «изотахии»: мгновенная скорость любого тела, определенная как производная от 4-мерного интервала по «собственному» времени тела ($u_s = ds/d\tau$) всегда равна скорости света.

Для того чтобы обнаружить у движения в физическом времени удивительное свойство «кикинемы» и связанное с ним явление «реновации», рассмотрим траекторию прямолинейно движущегося тела с постоянной массой:

$$x_\tau = u\tau \tag{4.27}$$

С помощью тригонометрического представления модели комплексного времени (4.17) и соотношения (4.20) это уравнение траектории можно представить в виде:

$$x_t = u[t + \tau_0 \cos(2\pi t/\tau_0)] + iu \sin(2\pi t/\tau_0) \quad t = n\tau_0 \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.28)$$

Необходимость использовать при описании движения только дискретные значения ньютоновского времени, соответствующие дискретному множеству (4.20), означает, что минимальный интервал физического времени между «прошлым» и «будущим» не может быть меньше τ_0 . Так что константа τ_0 представляет собой оценку продолжительности «настоящего» в модели необратимого физического времени микромира.

Анализ соотношения (4.28) показывает, что равномерное в комплексном физическом времени движение, делит все множество моментов ньютоновского времени на два подмножества. В одном из них, имеющем мощность континуума, движение тела неопределенно, так как соотношение, определяющее координаты тела, содержит мнимые величины. И только во втором, уже счетном подмножестве моментов (4.20) движение тела вполне определено, так как его координаты вещественны. Это означает, что в области комплексных значений координат, движущееся тело недоступно для регистрации, – оно то «исчезает» для наблюдателя, то вновь «возрождается», становясь доступным для наблюдений в моменты времени (4.20), когда координаты тела вещественны. Это и есть загадочное свойство «кикинемы» движения, приводящее к бесконечному процессу «реновации» движущихся тел.

Проведенный анализ показывает, что феномен движения выделяет в физическом времени континуум конечных интервалов времени с продолжительностями порядка τ_0 , то есть почти сплошное «настоящее» с конечной мерой, а моменты, которые можно приписать прошлому и будущему, составляют только счетное множество меры нуль.

Модель комплексного физического времени, в частности, позволяет наглядно разрешить давний парадокс Зенона Элейского «О невозможности полета стрелы», который не любят обсуждать физики, и от которого раздраженно отмахиваются математики.

Невозможность полета стрелы в апории Зенона доказывается следующей последовательностью умозаключений:

1. Время слагается из неделимых «настоящих», в которых стрела либо покоится, либо движется.

2. В течение неделимого «настоящего» стрела не может двигаться, поскольку если бы она двигалась, то это неделимое «настоящее» можно было бы разделить на еще меньшие части, соответствующие различным положениям стрелы.

3. Поскольку ничего, кроме множества «настоящих» во всем конечном промежутке времени нет, то это означает, что стрела не может двигаться, так как иначе нужно допустить, что «движение, – это сумма покоев».

При использовании модели комплексного физического времени парадокс Зенона разрешается доказательством ошибочности его второго умозаключения. Физическое время действительно, как и полагает Зенон, слагается из неделимых «настоящих». Но на протяжении этих настоящих стрела не может быть в состоянии покоя, так как не имеет определенного положения, поскольку выражения, определяющие ее координаты, как видно из (4.28), содержат мнимые величины. В силу логического закона «исключенного третьего», если на протяжении интервалов «настоящего» стрела не покоится, то она движется. Что же касается множества моментов, когда координаты стрелы имеют вещественные значения, и стрелу можно было бы считать покоящейся, то оно счетное, имеет меру нуль, и из всех этих моментов нельзя составить никакого конечного интервала времени.

В конце 19 века трудами Уильяма Клиффорда, Августа Мебиуса, Луи Пуансо и Мишеля Шаля в математику было введено понятие «винта», а в 1895 году Александр Петрович Котельников опубликовал в Казани книгу «Винтовое счисление и некоторые приложения его

к геометрии и механике», в которой впервые последовательно строилось «винтовое исчисление» на основе множителя Клиффорда. Достаточно подробное представление о современном винтовом исчислении можно составить по монографии¹³.

В винтовом исчислении винт рассматривается, как упорядоченная пара (\vec{r}, \vec{r}^0) коллинеарных векторов, имеющих началом одну точку. Вектор \vec{r} называют «вектором винта», \vec{r}^0 «моментом винта», а коэффициент p в равенстве $\vec{r}^0 = p\vec{r}$ «параметром» винта. В этих терминах винтового исчисления комплексное время, соответствующее модели (4.18, 4.20), определяется винтом с единичным вектором \vec{e} :

$$(\vec{e}t\theta_0, \vec{e}t/\tau_0) \quad \theta_0 = 2\pi/\tau_0 \quad p = \pm 1/2\pi \quad (4.29)$$

Дифференцирование и интегрирование по винтовому аргументу часто рассматриваются в винтовом исчислении как операции с особыми комплексными числами вида: $\vec{r} + \omega\vec{r}^0$ при $\omega^2 = 0$ (формализм Клиффорда). Параметр $m = |r|\exp(\omega p)$ называют «комплексным модулем» винта. В формализме Клиффорда винт времени, соответствующий модели (4.18, 4.20), имеет вид:

$$\vec{r} + \omega\vec{r}^0 = \vec{e}t(\theta_0 + \omega/\tau_0) \quad \theta_0 = 2\pi/\tau_0 \quad m = |t|\exp(\pm \omega/2\pi) \quad (4.30)$$

Таким образом, при использовании модели комплексного физического времени, может успешно применяться не слишком популярное, но хорошо разработанное, винтовое исчисление.

Модели времени Ньютона и Пуанкаре-Минковского, которые традиционно используются в естествознании при формулировке законов природы, имеют, по меньшей мере, следующие недостатки:

1. Обе модели, соответствуя концепции непрерывного, бесконечно делимого времени, допускают измерение сколь угодно малых интервалов времени. Представляя собой линейные, однородные преобразования математического времени Ньютона, то есть континуума вещественных чисел с размерностью времени, эти модели не позволяют говорить о «настоящем», как о конечном интервале времени.

В континуумах времени Ньютона и Пуанкаре-Минковского между любой парой моментов, которые рассматриваются как прошлое и будущее, можно ввести бесконечное множество «вложенных» пар таких же моментов с бесконечно уменьшающимися интервалами между прошлым и будущим. При этом модели континуального физического времени Ньютона и Пуанкаре-Минковского входят в противоречие, как с информационной теорией измерения, так и с квантовой физикой.

2. Физическое время в моделях Ньютона и Пуанкаре-Минковского меняет знак при замене знака математического времени на обратный, то есть соответствует представлению об обратимом времени, что противоречит всему опыту естествознания. Отсутствие в математической структуре этих моделей элементов, не допускающих обращения физического времени, заставляет искать причины наблюдаемой необратимости времени вне самой теории пространства-времени. Чаще всего причины наблюдаемой необратимости

¹³ Диментберг Ф.М. Винтовое исчисление. М., 1965.

времени связывают либо с необратимым «расширением» вселенной, либо с многочисленными необратимыми процессами, протекающими с возрастанием энтропии.

3. Модели Ньютона и Пуанкаре-Минковского не обладают формальными возможностями определения «анти-времени», что противоречит фундаментальному методологическому принципу дуализма в естествознании. Многовековая убежденность в универсальной всеобщей двойственности заставляет отдавать предпочтение математическим моделям, структура которых допускает описание, как сущностей, так и анти-сущностей.

Замена знака математического времени на обратный в моделях Ньютона и Минковского не может рассматриваться как переход к «анти-времени», так как представляет собой изменение направления хода физического времени, которое в большинстве случаев приводит к лишению смысла изменению причинно-следственных отношений. Предполагая в этом разделе еще вернуться к обсуждению пунктов 1 и 2, имеет смысл начать с особенностей дуализма «время – анти-время», тем более, что эта двойственность имеет не только математические, но и культурно-исторические аспекты.

Естествознание унаследовало от античной философии и физики концепцию движения, разработанную на основе анализа преимущественно одномерного механического перемещения тел. При этом доминирующее представление о времени, которое неразрывно связано с концепцией описания движения, также оказалось одномерным. В европейской культурной традиции до сих пор преобладает образ времени, как непрерывного потока, неизбежно отдаляющего прошлое и неумолимо приближающего будущее.

Одномерность времени служит и характерной особенностью модели пространства-времени, которой пользуется теоретическая физика. В любой одномерной модели времени не может существовать никакого образа анти-времени. Единственным преобразованием симметрии в одномерных моделях времени является обращение, изменение знака времени, как правило, лишенное физического смысла.

Обращаясь к истории культуры неевропейских народов, удастся обнаружить исторически сложившиеся представления о времени, допускающие существование образа анти-времени без всякого искажения причинно-следственных отношений между событиями. В Индии, Китае и юго-восточной Азии при обсуждении проблемы времени, так или иначе, используются идеи, восходящие к давней эпохе формирования ведийской мифологии. В философии индуизма время часто трактуется как главный космогонический фактор, а санскритское слово, обозначающее время – «Кала», происходит от имени архаичного бога Солнца, некогда олицетворявшего переменный, циклический характер событий и времени.

Современная индуистская теология рассматривает время как ипостась или особую энергию «шакти» верховного бога Брахмы, воплощениями которого в пантеоне индуизма являются боги Шива и Вишну. Именно особенности этой энергии Брахмы и служат причиной циклического сотворения и разрушения вселенной. Когда на исходе эпохи бытия вселенной (Кальпы) Кала-агни («Огонь Времени») затухает, «время пожирает само себя», превращаясь в Маха-кала – трансцендентное, абсолютное «Время над Временем». Так начинается таинственная эпоха небытия вселенной – Праляйя.

Единственным способом постижения сущности времени в индуизме считается размышление над его эмблемой – Кала-чакрой («Колесом Времени», рис. 4.1), символом активного циклического времени, меры и причины всех изменений в мире. В центре эмблемы Кала-чакры символы всеобщего дуализма – свет и тьма, разделенные молнией, восемь спиц, – это символы восьми созвездий древнего ведийского зодиака, а три точки у основания спиц призваны напомнить о триадном принципе представления целостностей.

В отличие от европейского одномерного образа времени, индуистская эмблема времени двумерна. Вращение Кала-чакры, которое в индуизме служит символом «хода времени», может происходить как «по солнцу», так и «против солнца». Эти два направления вращения соответствуют двум знакам кинематической симметрии символа времени, то есть по

существо, образам времени и анти-времени. Конечно, если то или иное вращение уже происходит, то оно не может быть изменено на обратное, так как это было бы равносильно обращению направления хода времени.



Рис. 4.1. Кала-чакра – древняя индийская эмблема Колеса Времени

Однако потенциально существует выбор между двумя образами Кала-чакры с разными направлениями вращения и, соответственно, временем и анти-временем. При этом, как и в случае потенциально свободного выбора мастером-часовщиком того или иного направления движения стрелок на круглом циферблате часов, не ожидается никаких изменений причинно-следственных отношений между событиями. Например, в кафедральном соборе Флоренции до сих пор исправно ведут счет времени часы, построенные в 1443 году по эскизу Паоло Уччелло, стрелки которых движутся «против часовой стрелки».

При анализе свойств симметрии модели комплексного физического времени (4.18) полезно рассмотреть наглядный геометрический образ, соответствующий этой модели. Тригонометрическую форму соотношения (4.18) можно представить в виде:

$$\vec{\tau} = \tau_0 \cos \psi + \tau_0 i \sin \psi + \psi / \theta_0 \quad \psi = \theta_0 t \quad (4.31)$$

Это сумма координат точки, радиус-вектор которой соответствует уравнению:

$$\vec{\tau} = \vec{e}_1 \tau_0 \cos \psi + i \vec{e}_2 \tau_0 \sin \psi + \vec{e}_3 \psi / \theta_0 \quad (4.32)$$

Уравнение (4.32) определяет радиус-вектор точки, описывающей трехмерную спираль (или служит векторной формой представления винтовой линии), в псевдоевклидовом пространстве $\{\vec{e}_1, i\vec{e}_2, \vec{t} = \vec{e}_3 t\}$ (см., например [23]). Геометрический образ комплексного физического времени с моделью (4.32) – это спираль, которую описывает такой возрастающий радиус-вектор (рис. 4.2).

Шаг «спирали времени» при условии (4.21) определяется формулой:

$$\Delta_\tau = |2\pi / \theta_0| = \tau_0 \quad (4.33)$$

Кривизна k и кручение χ спирали (4.32) постоянны, а их отношение равно:

$$k / \chi = \tau_0 \theta_0 = \pm 2\pi \quad (4.34)$$

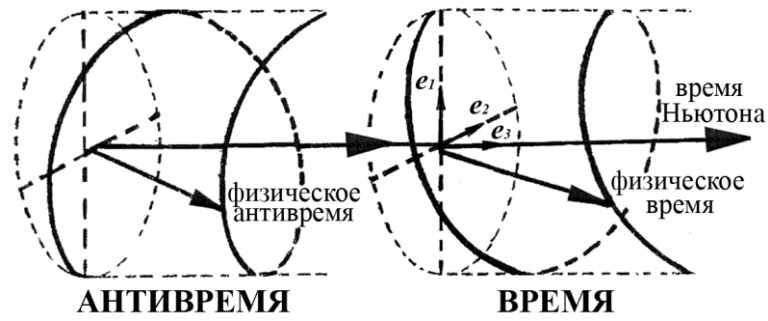


Рис. 4.2 Геометрические образы комплексного физического времени и анти-времени.

Такой анализ геометрического образа модели комплексного физического времени, приводит к заключению, что при скалярном τ_0 параметр θ_0 должен быть псевдоскаляром, поскольку кручение χ «спирали времени» это псевдоскаляр, меняющий знак при изменении знака координат оси $\vec{t} = \vec{e}_3 t$. Чтобы сделать это явным, полезно ввести в определение параметра θ_0 (4.21) единичный псевдоскаляр $s = \pm 1$, – «спиральность физического времени», определив тем самым новый псевдоскалярный параметр – «константу хода физического времени»:

$$\mathfrak{T} = s \cdot 2\pi / \tau_0 \quad s = \pm 1 \quad (4.35)$$

Внутренняя симметрия модели комплексного физического времени (4.18) допускает два различных знака спиральности $s = +1$ и $s = -1$, которые соответствуют «правой» и «левой» спиралям времени и, соответственно, комплексному и комплексно-сопряженному физическому времени:

$$\tau = t + \tau_0 \exp(+i 2\pi t / \tau_0) \quad (4.36)$$

$$\tau^* = t + \tau_0 \exp(-i 2\pi t / \tau_0) \quad (4.37)$$

Можно интерпретировать эти два соотношения, как определения соответственно «времени» и «анти-времени». Конечно, названия «время» и «анти-время» условны в той же мере, как и термины «правая» и «левая» спирали, и для того, чтобы уверенно пользоваться этими терминами, следует как-то определить знак спиральности физического времени нашего мира.

Переход к отрицательным значениям ньютоновского времени в формулах (4.36, 4.37), что соответствует попытке обратить физическое время, не приводит к комплексно-сопряженным выражениям, а к соотношению, которое не соответствует обращенному физическому времени:

$$\tau = -t + \tau_0 \exp(+i 2\pi t / \tau_0) \quad (4.38)$$

Это объясняется тем, что псевдоскаляр спиральности s , а тем самым и ход времени \mathfrak{T} (4.35) при изменении знака ньютоновского времени, т.е. при изменении ориентации оси $\vec{t} = \vec{e}_3 t$ также меняет знак и в результате знак показателя экспоненты в (4.38) не меняется.

Таким образом, необратимость комплексного физического времени является структурным свойством его модели. Попытки изменить знак физического времени, меняя знак ньютоновского времени, столь же тщетны, как и усилия, затраченные при стараниях навинтить гайку с левой резьбой на винт с правой резьбой или наоборот.

Параметр τ_0 в соответствии с формулой (4.33) определяет шаг спирали времени, то есть приращение модуля физического времени за один оборот спирали. Этот параметр наряду со спиральностью s определяет отличие модели комплексного физического времени от моделей Ньютона и Пуанкаре-Минковского. Определяя изменение физического времени, как приращение его вещественной части за полный цикл изменения его мнимой составляющей, константа τ_0 служит и естественным масштабом физического времени «в малом», устанавливая продолжительность «мгновения», «мига», из которых и складывается то «настоящее», в котором мы живем.

Псевдоскала́рь \mathfrak{T} (4.35) можно интерпретировать как параметр, определяющий величину «хода физического времени». Этот параметр, имеющий размерность $[T^{-1}]$, обратную по отношению к размерности времени, определяет своего рода универсальную «тактовую частоту» вселенной, которая воспринимается нами как ход времени. Знак параметра \mathfrak{T} совпадает со знаком спиральности s физического времени. При возрастании величины параметра τ_0 , абсолютное значение \mathfrak{T} уменьшается, что соответствует замедлению хода физического времени.

Возвращаясь к эмблеме Кала-чакры на рис. 4.1, можно заметить, что геометрический образ комплексного физического времени, отвечающий модели (4.18), соответствует ведийскому Колесу Времени, которое, вращаясь в ту или иную сторону, очень быстро навинчивается на свою ось так, что каждая точка его обода описывает в пространстве спираль. Эта аналогия дает мне повод в дальнейшем иногда для краткости называть комплексное физическое время с моделью (4.18) просто «спиральным временем».

Таким образом, если геометрический образ времени Ньютона и Пуанкаре-Минковского одномерен, а ведийская Кала-чакра двумерна, то наглядный геометрический образ спирального комплексного времени трехмерен (см. рис. 4.2).

Выдающийся русский астрофизик и астроном Николай Александрович Козырев (1908–1983) был, по-видимому, первым, кто, обратил внимание на возможность существования двух состояний симметрии времени. Николай Александрович был не только блестящим ученым и философом, но и обладал редкостным даром пророка. Мои встречи с этим необычным человеком в далекие теперь шестидесятые годы надолго определили направление моих собственных исследований в теории причинности и времени.

Рассмотренная ранее геометрическая интерпретация модели комплексного физического времени дает возможность наглядно продемонстрировать отличие развиваемой в этой книге теории спирального времени от «причинной» теории времени Козырева. В теории Козырева время, по существу, трактуется как переменное псевдовекторное поле в пространстве, причем ориентация псевдовектора времени в каждой точке пространства определяется относительным расположением в пространстве вблизи этой точки некоторых причинно-связанных событий. У Козырева, например, можно найти такие слова [14]:

«Из наших аксиом следует, что ход времени может быть определен по отношению к пространству ...направленность времени может быть определена, как направление в пространстве».

Таким образом, время по Козыреву представимо трехмерным пространственным псевдовектором, меняющим знак при замене причин на следствия или наоборот. В моей

модели спирального времени удастся создать наглядный геометрический образ физического времени, только если дополнить ось ньютоновского времени в четырехмерном пространстве-времени еще двумя виртуальными, вспомогательными координатными осями, сформировав таким способом, шестимерное псевдоевклидово пространство сигнатуры $(-1,5)$. Так что спиральное физическое время, в отличие от времени Козырева, никоим образом не может быть представлено псевдовектором в трехмерном физическом пространстве и должно рассматриваться как независимая специфическая (винтовая – см. 4.29, 4.30) координата четырехмерного пространства-времени. Кроме того, спиральное время, в отличие от времени Козырева, никак не связано с какими бы то ни было причинно обусловленными событиями.

Для того чтобы расширить представление о константе τ_0 , целесообразно вернуться к недостаткам моделей времени Ньютона и Пуанкаре-Минковского, отмеченным ранее. Еще Блаженный Августин (354–430), восхищавшийся трудами Аристотеля, не мог смириться с его концепцией непрерывного, бесконечно делимого времени. Он считал, что при таком подходе лишается всякого смысла понятие «настоящего» и остается только прошлое и будущее:

«Что же представляет собой время? Как понимать длительность или краткость времени и где они существуют? В прошлом? Но его уже нет. В будущем? Но его еще нет. Значит в настоящем... этот кратчайший, неделимый уже далее на мельчайшие части миг и составляет собственно настоящее время».

Модель спирального времени при $\tau_0 > 0$ обеспечивает не только конечность «настоящего», но и своеобразное «квантование» времени без использования каких либо методов квантовой теории. Квантование возникает в концепции спирального физического времени при введении дискретного множества моментов (4.20), как следствие необходимости обеспечить однородность физического времени для того, чтобы классическая формулировка закона сохранения энергии осталась без изменений.

Совмещение категорий непрерывности и дискретности в концепции спирального времени обеспечивается тем, что для представления физического времени используется функция комплексного переменного. При этом вещественные и мнимые части многих зависимых от времени физических характеристик оказываются аналитическими функциями, которые, являясь решениями уравнения Лапласа, представимы гармоническими функциями.

Термин «дуализм» используется современными философами во многих, часто разноречивых, контекстах. Анализ философской категории дуализма в духе обсуждения отношения полярности, понимаемого как существование двух логически равноценных, изначально различных и, в некотором смысле противоположных сущностей, представляется наиболее плодотворным. Именно обоснование принципом дуализма возможности и необходимости существования полярных «сущностей» и «анти-сущностей» служит одним из самых эффективных стимулов прогресса естествознания в наше время.

Понимание того, что кажущаяся простота наблюдения и исследования свойств «сущностей» отнюдь не исключает возможности существования и «анти-сущностей», было свойственно естествознанию с самого начала его становления. Задолго до эпохи Просвещения появились первые памфлеты и утопии, гадавшие о жизни «антимиров» и «антиподов», придуманных Леонардо да Винчи. Однако до математических моделей и экспериментального исследования «анти-сущностей» было еще далеко.

Метафизика дуализма не сводится только к обоснованию идеи возможности возникновения «сущностей» и «анти-сущностей». Важнее наличие глубокой внутренней связи между идеями дуализма и дискретности. Например, возникновение и взаимопревращения частиц и античастиц, существование которых обосновано идеей

дуализма, может быть адекватно описано только квантовой теорией, воплощающей идею дискретности материи и действия. А дуализм квантовых статистик Бозе и Ферми определяется дискретностью состояний частиц с двумя различными значениями спинов.

Формально различие между сущностями и анти-сущностями может быть описано некоторым набором параметров с противоположными знаками. Преобразование знаков этих параметров не может быть проведено в большинстве случаев непрерывно и является принципиально дискретной операцией. Важным аспектом метафизической связи идей дуализма и дискретности является то, что принцип дуализм обеспечивает только возможность выбора между двумя альтернативами, но сам выбор между этими альтернативами это принципиально **дискретная** операция.

Со времени признания специальной теории относительности и начала развития идеологии релятивизма физикам не дают покоя два, вероятно, взаимосвязанных вопроса:

1. Почему скорость движения в природе ограничена именно скоростью света?

2. Почему даже в космических лучах из глубин вселенной наши приборы никогда не регистрируют частицы с энергиями более 10^{21} эВ. Что ограничивает энергию микрочастиц?

Для того чтобы попытаться ответить на эти вопросы необходимо, прежде всего, оценить значение абсолютного предела делимости физического времени $\tau_0 > 0$. Это трудная проблема, поскольку все экспериментально измеряемые в наши дни интервалы времени, по-видимому, на много порядков превосходят этот предел. В 12 веке эту проблему бесстрашно пытался решить Маймонид, разделив час на 60 минут и повторив такое деление 10 раз, он получил длительность «атома времени» равную $6 \cdot 10^{-15}$ секунды.

Результаты экспериментального определения геометрических характеристик стабильных элементарных частиц в наше время, вероятно, еще далеки от теоретического предела измерения малых расстояний. В 1960-е годы проводились измерения диаметра нейтрона по неупругому рассеянию ускоренных до сотен МэВ электронов, которые привели к оценке $1,6 \cdot 10^{-15}$ м. с ошибкой не менее 20%. В эти же годы диаметр протона, как размер облака виртуальных пи-мезонов, был определен с помощью дифракции пи-мезонов высоких энергий как $1,4 \cdot 10^{-15}$ м. с такой же оценкой ошибки. В наше время оценка радиуса протона с ошибкой менее 1 % , полученная прецизионной спектроскопией водорода, составляет – CODATA-2010: $(0.8775 \pm 0.0051) \cdot 10^{-15}$ м.

Сообщалось, что недавно в связи с поиском кварков, были разработаны методы экспериментальной оценки геометрических характеристик частиц порядка 10^{-16} м. Таким образом, если разделить этот достигнутый предел экспериментальных измерений на скорость света, то можно получить одну из оценок верхней границы величины τ_0 : 10^{-24} сек.

Для того чтобы получить теоретическую оценку предела делимости физического времени следует обратиться к идеям Джорджа Стоуни и Макса Планка, впервые применивших фундаментальные константы для оценок «природных» масштабов пространства, времени и массы, называя их «естественными» единицами.

Для того чтобы вывести свои «естественные» единицы из системы фундаментальных констант $\{e, G, c\}$, Стоуни приравнял силу тяготения и силу Кулона: $Gm^2/r^2 = e^2/r^2$, получив из этого равенства первую «естественную» единицу массы: $m_s = e/\sqrt{G}$. Далее, применяя теорию размерностей, он получил последовательно: $m_s c^2 = e/l_s$ и $t_s = l_s/c$. Таким образом, система «естественных» единиц Стоуни имеет вид:

$$t_s = (Ge^2/c^6)^{1/2} = 4.605 \cdot 10^{-45} \text{ с} \quad (4.39)$$

$$l_s = (Ge^2/c^4)^{1/2} = 1.380 \cdot 10^{-34} \text{ см} \quad (4.40)$$

$$m_s = (e^2/G)^{1/2} = 1.859 \cdot 10^{-6} \text{ г} \quad (4.41)$$

При выводе своих «естественных» единиц из системы фундаментальных констант $\{h, G, c\}$ Макс Планк также сначала вывел единицу массы $m_{pl} = \sqrt{hc/G}$ и далее из теории размерностей получил: $l_{pl} = h/m_{pl}c$ и $t_{pl} = h/m_{pl}c^2$, так что система «естественных» единиц Планка имеет вид:

$$t_{pl} = (Gh/c^5)^{1/2} = 1.135 \cdot 10^{-43} \text{ с} \quad (4.42)$$

$$l_{pl} = (Gh/c^3)^{1/2} = 4.051 \cdot 10^{-33} \text{ см} \quad (4.43)$$

$$m_{pl} = (hc/G)^{1/2} = 5.456 \cdot 10^{-5} \text{ г} \quad (4.44)$$

Эти две близкие по значениям системы базовых единиц имеют общий недостаток – они используют константу скорости света. Использование этой константы вводит априорное соотношение для значений интервалов пространства и времени, которое должно ограничиваться величиной скорости света. Все ограничения, связанные с конечностью величины скорости света, должны в идеале появляться как следствия теории или модели, и априорное использование в теории константы скорости света снижает общность таких исследований.

Можно получить еще одну триаду «естественных» единиц, не используя константу скорости света, исходя из системы фундаментальных констант $\{e, G, h\}$. Для этого достаточно заменить в формулах либо системы Стоуни, либо Планка, константу скорости света на отношение e^2/h , которое имеет размерность скорости:

$$t_0 = (Gh^6/e^{10})^{1/2} = 2.940 \cdot 10^{-36} \text{ с} \quad (4.45)$$

$$l_0 = (Gh^4/e^6)^{1/2} = 1.023 \cdot 10^{-28} \text{ см} \quad (4.46)$$

$$m_0 = (e^2/G)^{1/2} = 1.859 \cdot 10^{-6} \text{ г} \quad (4.47)$$

Применив эту новую систему «естественных» единиц мы можем принять следующие оценки основных параметров модели спирального времени микромира:

$$\tau_0 = (Gh^6/e^{10})^{1/2} = 2.940 \cdot 10^{-36} \text{ с} \quad (4.48)$$

$$\mathfrak{T} = s \cdot 2\pi/\tau_0 = \pm 2.137 \cdot 10^{36} \text{ с}^{-1} \quad (4.49)$$

Из-за ограниченности величины минимального интервала физического времени параметром τ_0 , в моделях, использующих концепцию комплексного спирального времени, оказываются ограниченными – минимальное значение периодов $\delta\tau$ и максимальная величина частоты ω , ассоциированных с микрочастицами колебаний:

$$\delta\tau \geq \tau_0 \quad \omega \leq 1/\tau_0 \quad (4.50)$$

Если использовать формулу Планка, ограничивающую величину действия в микромире $\varepsilon \cdot \delta\tau \geq h/2$, формулу для энергии квантовой частицы $\varepsilon = h\omega = h/\delta\tau$ и формулу $\varepsilon = mc^2$, то с помощью (4.48) можно получить **неравенства, ограничивающие значения энергий квантовых процессов и масс микрочастиц:**

$$\varepsilon \leq h/2\tau_0 = 1/2 \cdot (e^{10}/Gh^4)^{1/2} = 7.034 \cdot 10^{20} \text{ эВ} \quad (4.51)$$

$$m \leq h/c^2\tau_0 = (e^{10}/Gc^4h^4)^{1/2} = 2.508 \cdot 10^{-12} \text{ г} \quad (4.52)$$

В квантовой механике сохраняется пропорциональность кинетической энергии микрочастицы квадрату групповой скорости u ассоциированного с ней волнового пакета: $\varepsilon = mu^2/2$. При этом из соотношения (4.51) следует неравенство: $\varepsilon = mu^2/2 \leq h/2\tau_0$. Если подставить в это неравенство соотношение для массы (4.52), то оно превратится в неравенство, ограничивающее скорость движения микрочастицы скоростью света:

$$u^2 \leq c^2 \quad (4.53)$$

Таким образом, ограничение максимальной энергии микрочастиц (4.51) и релятивистское ограничение максимальной скорости частиц именно скоростью света (4.53) являются следствиями существования конечного предела делимости физического времени $\tau_0 > 0$.

В квантовой физике накопилось множество экспериментальных свидетельств ограничения скоростей движения микрочастиц скоростью света. Что же касается ограничения энергий микрочастиц (4.51), то оно также подтверждается исследованиями космических лучей, энергии которых на много порядков могут превосходить энергии частиц, достигнутые на действующих в наше время ускорителях, хотя все же энергии большинства космических частиц находятся в диапазоне от 10^7 эВ до 10^{10} эВ.

В 1966 году Георгий Зацепин, Вадим Кузьмин и Кеннет Грайзен предположили, что должен существовать верхний предел энергий частиц космических лучей, обусловленный их взаимодействием с фотонами микроволнового космического фона¹⁴. Авторы рассчитали, что частицы с энергией выше $6 \cdot 10^{19}$ эВ должны взаимодействовать с фотонами, рождая пионы до тех пор, пока их энергия не станет меньше этого энергетического порога. Средняя дистанция для достижения такого предела оценивается как 50 Мпк, а поскольку ближе этого расстояния никаких источников космических лучей таких высоких энергий нет, то частицы с энергиями, превышающими этот предел наблюдаться не должны.

Но в 1991 году в США на исследовательской установке с площадью детектора в 1000 квадратных километров¹⁵ была зарегистрирована космическая частица с энергией более 10^{20} эВ. С тех пор в разных странах было зарегистрировано¹⁶ не менее 15 космических частиц с энергиями, порядка 10^{20} эВ (см. также [47]).

Проведенные исследования показали, что частицы с энергиями больше 10^{18} эВ могут регистрироваться детектором с площадью в один квадратный километр не чаще одного раза в неделю. Что же касается частиц с энергиями более 10^{20} эВ, то такой детектор будет их регистрировать только один раз в столетие. Соотношение (4.51) как раз и устанавливает

¹⁴ Zatsepin, G.T., Kuz'min, V.A. Upper Limit of the Spectrum of Cosmic Rays // Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters (1966) 4; 78–80.

¹⁵ Linsley, John. Evidence for a Primary Cosmic-Ray Particle with Energy 10^{20} eV // Physical Review Letters (1963) 10; 146. Greisen, K. End to the Cosmic-Ray Spectrum? // Physical Review Letters (1966) 16 (17); 748–750.

¹⁶ The Pierre Auger Collaboration. Correlation of the Highest-Energy Cosmic Rays with Nearby Extragalactic Objects // Science (2007) 318 (5852); 938–943.

предел энергий микрочастиц, количественно совпадающий с этими недавними наблюдениями частиц ультра-высоких энергий в космических лучах.

4.4 Новые соотношения неопределенностей в физике субъядерного мира

Статистическая физика, начав свое развитие в первом десятилетии 20 столетия с вероятностного обоснования термодинамики, в середине столетия уже стала неотъемлемой частью квантовой физики. Во второй половине столетия методология статистической физики стала успешно применяться в биологии, экологии, социологии и даже в лингвистике.

С точки зрения Общей Теории Систем эффективность методов статистической физики определяется применением теории вероятностей и математической статистики для исследования объектов одной природы, объединенных в «статистические ансамбли» (системы), которые допускают описание достоверно установленными статистическими функциями. Статистическая физика субъядерного мира также может оказаться результативной, поскольку исследование взаимопревращений микрочастиц показало существование двух типов статистических ансамблей объектов одной природы (рис 4.3):

1. Массивные элементарные частицы и частицы-резонансы
2. Безмассовые фотоны, например, гамма-фотоны, излучаемые при распаде радиоактивных изотопов.

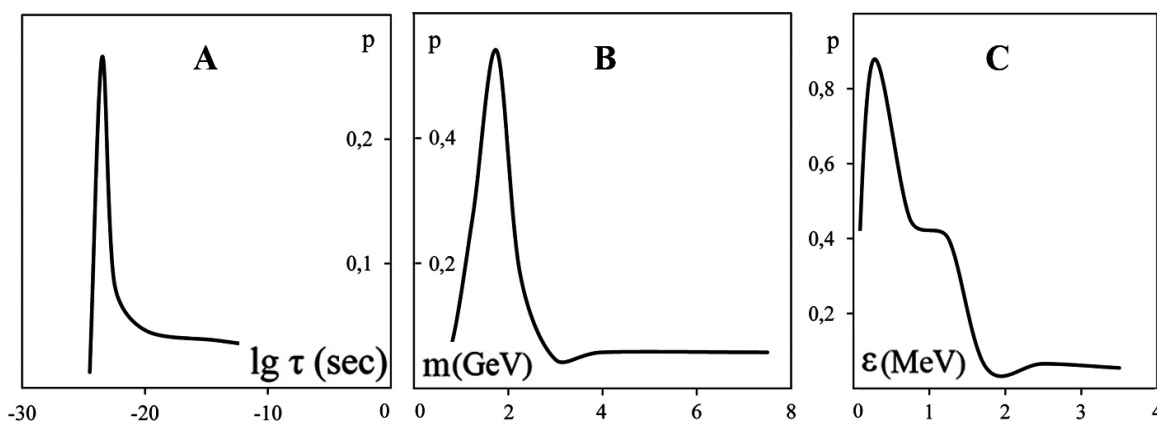


Рис. 4.3 Плотности вероятности для ансамблей субъядерных частиц. А. Времена жизни микрочастиц. В. Массы микрочастиц. С. Энергии гамма-фотонов при распаде радиоактивных изотопов.

В физике микромира известно более 300 субъядерных частиц, но все важнейшие характеристики удалось определить пока только для 120 частиц. Так называемая «Стандартная модель» (СМ) чаще всего применяется для классификации и описания взаимопревращений субъядерных частиц (см. например [12]). Стандартная модель учитывает три из четырех фундаментальных взаимодействий (исключая гравитационное) при описании процессов в микромире и предполагает, что «истинными» элементарными частицами являются только кварки, лептоны и калибровочные бозоны (*gauge bosons*), поскольку отсутствуют свидетельства о наличии у этих частиц какой либо внутренней структуры из более простых элементов.

Несмотря на успешное описание Стандартной моделью множества сложных процессов в микромире, эта теория не рассматривается как завершенная фундаментальная теория микромира. В частности, потому что эта теория не учитывает гравитационного взаимодействия и, более того, не совместима с общей теорией относительности.

Определяющую роль в СМ играют кварки, которые никогда не наблюдались экспериментально и, вероятно, не могут существовать как индивидуальные частицы. Характеристики кварков определены только на основании анализа взаимопревращений сложных микрочастиц, состоящих из нескольких кварков. О неполноте СМ свидетельствуют также трудности, с которыми сталкивается эта теория при описании лептонов и, в частности, неспособность теории объяснить ненулевые массы нейтрино. Ненаблюдаемость кварков в сочетании со слишком большим количеством эмпирических параметров (более 20!) дают повод рассматривать СМ только как эскиз будущей теории элементарных частиц.

Несмотря на все недостатки и незавершенность СМ ее терминология чаще всего используется при обсуждении процессов и закономерностей микромира. Все известное нам «население» субатомного мира СМ делит на две группы: относительно стабильные и часто наблюдаемые микрочастицы, которые обычно и называют «элементарными частицами», и множество редких коротко-живущих частиц-резонансов, которые в этой книге называются просто «резонансами».

Элементарные частицы в свою очередь принято делить на два класса: лептоны и адроны. К лептонам относят частицы, не обладающие сильным взаимодействием, и участвующие только в слабом, электромагнитном и гравитационном взаимодействиях. Лептонами (l) являются: электрон, мюон (μ), тяжелый лептон (τ), электронное, мюонное и τ -нейтрино, а также соответствующие им античастицы (\bar{l}).

Адроны это частицы, рассматриваемые как сложные кварковые структуры, участвующие в сильных взаимодействиях, которые делятся на две группы: барионы (b) и мезоны (m). Барионы, предположительно состоящие из трех и более кварков, имеют единичный барионный заряд $B = +1$, а их античастицы $B = -1$. Самыми распространенными барионами являются протоны и нейтроны, из которых состоят атомные ядра.

Мезоны и анти-мезоны состоят из пар «кварк-антикварк», а их барионный заряд равен нулю: $B = 0$. Кроме того, класс мезонов содержит особую группу «истинно нейтральных мезонов» (m_0), которые не имеют античастиц, например, мезоны π^0 и η . Среди лептонов и барионов таких «истинно нейтральных» частиц нет.

Большинство микрочастиц, обычно относимых к «элементарным», имеют малое время жизни и быстро распадаются, превращаясь в другие «элементарные» частицы. При этом нельзя считать, что продукты их распада более «элементарны», нежели сами распадающиеся частицы. К элементарным частицам (в дальнейшем часто просто «частицам») принято относить в основном микрочастицы стабильные по отношению к распадам по сильному взаимодействию (см., например стр. 974–980, табл. 36.4 в [37]). В наше время хорошо исследованы 20 частиц, в число которых входят лептоны, мезоны и барионы с различными значениями странности. Для странных мезонов $K^0, \bar{K}^0, K_S^0, K_L^0$ пока определены не все их характеристики, и поэтому они в дальнейшем не рассматриваются. Массы частиц сосредоточены в основном в диапазоне от 100 до 2300 МэВ. Калибровочные бозоны W^\pm и Z , обнаруженные в 1983 году в экспериментах на протон-антипротонном коллайдере ЦЕРНа, имеют наибольшие массы среди известных частиц и резонансов – 80,8 и 92,9 ГэВ.

Обширное семейство резонансов ведет свою историю от первого резонанса, открытого в начале 1950-х годов в лаборатории Энрико Ферми при исследовании процесса взаимодействия пи-плюс-мезонов с протонами на циклотроне в Чикаго. Большинство резонансов было открыто в 1960-е годы на протонных ускорителях. Регистрация резонансов является достаточно редким событием, но, тем не менее, уже почти сотня резонансов достаточно хорошо изучена. Многочисленность резонансов это отражение сложного строения мезонов и барионов, обеспечивающего возможность относительно длительного существования разнообразных возбужденных состояний их кварковых структур. Однако эти

возбужденные состояния крайне неустойчивы относительно быстрых переходов в другие состояния за счет сильного взаимодействия.

Характерной чертой резонансов является их чрезвычайно короткая жизнь, редко превышающая 10^{-21} секунды. Двигаясь с субсветовыми скоростями, резонансы успевают пройти за свою короткую жизнь не намного более 10^{-13} метра, то есть расстояние порядка сотен диаметров протона. Такие расстояния находятся вне пределов разрешающей способности самых лучших приборов для регистрации треков микрочастиц. Поэтому характеристики резонансов определяются косвенными методами.

Резонансы регистрируются как максимумы на колоколообразных («брейт-вигнеровских») зависимостях полных эффективных сечений рассеяния σ от энергии ε :

$$\sigma(\varepsilon) = \sigma_0(\Gamma/2)^2 / [(\varepsilon_0 - \varepsilon)^2 + (\Gamma/2)^2] \quad (4.54)$$

Энергия ε_0 , соответствующая максимуму сечения рассеяния $\sigma = \sigma_0$, считается энергетическим эквивалентом массы резонанса $\varepsilon_0 = mc^2$.

Время жизни частиц и резонансов может быть достоверно определено анализом треков в фотоэмульсиях и регистрирующих камерах только до значений порядка 10^{-20} секунды. Времена жизни, меньшие этого предела, оценивают, используя ширину Γ резонансной кривой (4.54) на половине ее высоты, из соотношения неопределенностей:

$$\langle \tau \rangle = h/2\Gamma \quad (4.55)$$

Резонансы рассматриваются в настоящее время как различные возбужденные состояния кварковых структур. Так, например, открытые в 1974 году резонансы с массами 3–4 Гэв, получившие название J/ψ -частиц, трактуются, как различные уровни возбуждения «чармония». В свою очередь чармоний интерпретируется, как структура из очарованного кварка c и его антикварка \bar{c} . Открытые в 1977 году тяжелые резонансы с массами порядка 10 Гэв, получившие название «ипсилон-частиц», интерпретируются, как уровни возбуждения «ипсилония» – структуры из прелестного кварка b и его антикварка \bar{b} .

Все хорошо изученные резонансы делят на две группы:

1. Мезонные резонансы (барионное число – ноль), распадающиеся на мезоны. Массы большинства мезонных резонансов от 0.7 до 2 Гэв.

2. Барионные резонансы (барионное число – единица), распадающиеся на мезоны и один барион. Массы большинства барионных резонансов обычно находятся в диапазоне от 1.2 до 4 Гэв.

Статистика микрочастиц, обсуждаемая в этой книге, помимо упомянутых 20 элементарных частиц включает 45 мезонных и 48 барионных резонансов, для которых известны все их основные характеристики (стр. 981–992; табл. 36.5 и 36.6 в [37], см. также¹⁷). Помимо средних значений масс и времен жизни частиц и резонансов опубликованы также оценки среднеквадратичных ошибок определения этих характеристик. В дальнейшем на графиках используются следующие обозначения: треугольники – частицы, квадраты – мезонные резонансы, ромбы – барионные резонансы, круги – фотоны.

Анализ особенностей конструкций приборов и методов исследования, для которых они используются, часто помогает понять многое относительно сущности и физических

¹⁷ Reviews of particle properties // Rev. Mod. Phys. (1984) 56, N. 2, Pt. II, P. 2–304.

механизмов изучаемых процессов и явлений. Обзор разработанных методов и опубликованных результатов измерения малых интервалов времени порядка $10^{-25} \div 10^{-21}$ секунды приводит к заключению, что по мере уменьшения измеряемых интервалов, не только быстро возрастают относительные и абсолютные ошибки измерений, но и сама воспроизводимость измерений начинает утрачиваться по мере приближения к интервалам порядка 10^{-25} секунды.

Каждое измерение интервала времени можно рассматривать, как попытку оценить величину модуля физического времени с помощью некоторого прибора («часов»), воспроизводящего с той или иной степенью точности равномерную последовательность интервалов ньютоновского времени. Все реальные приборы подвержены флуктуациям, например, тепловым и квантовым, и точность воспроизведения ими эталонных интервалов времени ограничена. Поэтому последовательность эталонных интервалов времени, которая генерируется реальным прибором, всегда представляет собой случайный процесс.

Для того чтобы этот случайный процесс мог быть использован для измерения интервалов времени без нарушения принципа причинности, должна быть обеспечена определенная свобода выбора начала отсчета времени. Чтобы понятия «прошлое» и «будущее» ($\tau_i < \tau_m$) сохранялись при любом введении начала отсчета времени $\tau_s \geq \tau_0 > 0$ и любых $\tau_m \geq \tau_i \geq \tau_0 > 0$ случайный процесс должен удовлетворять следующему соотношению:

$$P[(\tau_i - \tau_s) < \tau_m \mid \tau_i \geq \tau_s] = P[\tau_i < \tau_m] \quad (4.56)$$

Случайные процессы, для которых справедливо соотношение (4.56) для условной и безусловной вероятностей P , обладают свойством отсутствия последствия и относятся к классу Марковских случайных процессов [6]. Интервалы Марковских случайных последовательностей статистически независимы и распределены по показательному закону, в котором вариация (отношение среднеквадратичного отклонения $\Delta\tau$ к среднему значению τ) случайных величин определяется соотношением:

$$\Delta\tau / \langle \tau \rangle = const \quad (4.57)$$

В дальнейшем Δ обозначает среднее квадратичное отклонение (корень квадратный из дисперсии среднего значения) соответствующей физической характеристики, которое в квантовой физике часто называют «неопределенностью». Кроме того, в дальнейшем угловые скобки, обозначающие средние значения характеристик, будут опускаться.

Что касается сумм m независимых случайных интервалов времени, распределенных по показательному закону, то их распределение описывается формулой Эрланга m -го порядка (см., например [6]), которая определяет следующее соотношение для вариации:

$$\Delta\tau / \tau \propto 1 / \sqrt{m} \quad (4.58)$$

Здесь и далее знак \propto обозначает пропорциональность с точностью до постоянного размерного коэффициента.

Таким образом, статистические свойства процедур измерения времени, основанных на использовании генераторов Марковских случайных последовательностей эталонных интервалов, зависят от масштаба измеряемого промежутка времени. Если процедура измерения состоит в сравнении длительности измеряемого промежутка с отдельным малым эталонным интервалом той или иной длительности, то статистические характеристики измерений определяются соотношением (4.57). Если процедура измерения использует

суммирование многих эталонных интервалов, то вариация результатов измерений будет соответствовать формуле (4.58).

Методология экспериментального естествознания предполагает отождествление специфических ответных реакций и особенностей поведения приборов с объективными характеристиками тех феноменов, для изучения которых эти приборы создаются. Следуя этой традиции, можно предположить, что двойственность статистических характеристик общих процедур измерения времени отражает некоторые объективные свойства физического времени. То, что изменение статистических характеристик измерения промежутков времени возникает при введении суммирования эталонных интервалов, позволяет связать эту особенность процесса измерения с проблемой допустимых преобразований физического времени «в малом».

Можно рассмотреть два вида преобразований интервалов времени δ_i : «масштабное» с коэффициентом m и «аддитивное»:

$$\delta_m = m\delta_i \quad \text{при} \quad \delta_i \leq \tau_* \quad (4.59)$$

$$\delta_m = \sum_{(m)} \delta_i \quad \text{при} \quad \delta_i > \tau_* \quad (4.60)$$

Можно показать (см., например [6, 32, 33]), что вне зависимости от характера статистического распределения интервалов δ_i , для преобразований (4.59, 4.60) справедливы следующие соотношения, определяющие вариации:

$$\Delta\tau/\tau \propto \text{const} \quad \text{при} \quad \tau_0 < \tau \leq \tau_* \quad (4.61)$$

$$\Delta\tau/\tau \propto 1/\sqrt{\tau} \quad \text{при} \quad \tau > \tau_* \quad (4.62)$$

Сравнение формул (4.61, 4.62) с соотношениями (4.57, 4.58) показывает, что статистические свойства рассмотренных преобразований физического времени соответствуют вероятностным характеристикам процессов измерения времени с помощью Марковских последовательностей эталонных интервалов.

Физический смысл параметров τ_0 и τ_* в (4.59–4.62) это предельные значения минимальных интервалов физического времени, соответственно в эпохи «упругости» и «аддитивности» физического времени. Предположение об ограниченной аддитивности физического времени может быть сформулировано так:

Интервалы физического времени аддитивны, то есть могут быть представлены как суммы меньших интервалов, только в том случае, если величина этих меньших интервалов не превышает некоторый предел $\tau_* > 0$. Интервалы меньше этого предела не аддитивны, в том смысле, что не могут быть представлены суммами каких либо меньших интервалов, а изменение их величины осуществимо только масштабным преобразованием.

Предположение о пределе аддитивности физического времени соответствует гипотезе о своеобразной «упругости» малых интервалов физического времени. Существование конечного «предела аддитивности» физического времени только на первый взгляд кажется необычным. Материя (по крайней мере, в конденсированном состоянии) обладает таким же свойством. Длина почти любого образца твердого вещества может быть несколько увеличена растяжением, пока не будет достигнут предел упругости вещества. На этой стадии образец испытывает масштабное преобразование. После исчерпания упругих свойств образца

дальнейшее увеличение его длины возможно только за счет присоединения к нему других образцов. Это стадия аддитивного преобразования материи.

Таким же свойством обладают и жидкости, например, вода. Вода может существовать в форме почти сферических капель в достаточно большом диапазоне размеров – от мельчайших, невидимых капелек осеннего тумана до дробной оседаемости весенней капли. Однако величина сил поверхностного натяжения ограничивает максимальный размер капель, и дальнейшее увеличение водных масс осуществляется уже не масштабным преобразованием сферических капель, а их суммированием, слиянием в потоки. Можно сказать, что «предел аддитивности воды» примерно совпадает с размером слез.

Для сравнения формул (4.61, 4.62) с экспериментальными данными можно воспользоваться результатами исследования микрочастиц, накопленными за последние шестьдесят лет. Рисунок 4.4 демонстрирует выразительное разделение всей рассматриваемой статистики (113 частиц и резонансов) на две группы, в соответствии с гипотезой о существовании предела аддитивности физического времени.

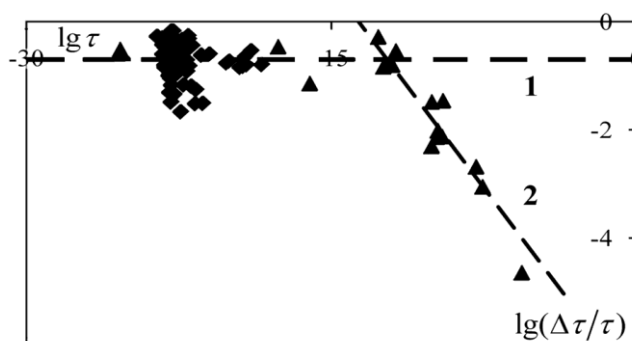


Рис. 4.4. Две группы микрочастиц (треугольники это элементарные частицы; ромбы это резонансы), разделенные пределом аддитивности физического времени порядка 10^{-12} с. Пунктирные линии: 1. (4.61) 2. (4.62).

Экспериментальная оценка величины предела аддитивности – порядка 10^{-12} сек (рассчитанное значение – $6.6 \cdot 10^{-13}$ сек). Экспериментальные точки группируются вблизи двух прямых (пунктирные прямые на рис. 4.4 с коэффициентами, рассчитанными методом наименьших квадратов).

То, что интервалы физического времени заметной длительности могут быть представлены, как суммы различного числа интервалов меньшей длительности, не вызывает сомнений. Однако неизвестно сколь долго это свойство сохраняется при уменьшении интервалов времени. Проблема оценки величины порога или «предела аддитивности» физического времени τ_* может рассматриваться как одна из задач экспериментального исследования свойств физического времени в микромире.

Особенностью методологии квантовой физики является возможность описания только результатов взаимодействия квантовых объектов с макроскопическими приборами, а не свободных, независимых квантовых объектов. Поэтому в квантовой физике среднеквадратичным отклонениям физических характеристик при измерениях придается не меньшее значение, нежели самим средним значениям этих характеристик. При этом функциональные зависимости для среднеквадратичных отклонений физических характеристик часто приобретают статус законов природы. Примером такого закона служит соотношение неопределенностей Гейзенберга для импульса и сопряженной координаты в квантовой механике:

$$\Delta p_x \Delta x \geq h/2 \quad (4.63)$$

Еще одну форму соотношения неопределенностей предложили Л.И. Мандельштам и И.Е. Тамм в своей проницательной работе¹⁸, продемонстрировав один из способов формулировки универсальных соотношений между неопределенностями физических характеристик:

$$\Delta \varepsilon \Delta \tau \geq h/2 \quad (4.64)$$

В дополнение к соотношениям неопределенностей (4.63, 4.64) для субъядерного мира важную роль играет соотношение, определяющее относительные неопределенности $\Delta \tau/\tau$ и $\Delta \varepsilon/\varepsilon$. Такое соотношение можно получить из анализа Принципа наименьшего действия: $dS/d\tau = d(\varepsilon \cdot \tau)/d\tau = 0$. После дифференцирования из этого соотношения следует: $d\varepsilon \cdot \tau + \varepsilon \cdot d\tau = 0$. Это соотношение после замены дифференциалов на неопределенности: $d\varepsilon \sim \pm \Delta \varepsilon$; $d\tau \sim \pm \Delta \tau$ можно представить в форме неравенства: $\Delta \varepsilon/\Delta \tau \geq \text{const} \cdot \varepsilon/\tau$. Для $\varepsilon = mc^2$ это неравенство имеет вид: $\Delta m/\Delta \tau \geq \text{const} \cdot m/\tau$.

Для определения безразмерной константы в полученном соотношении следует принять во внимание, во-первых, то, что она должна определяться постоянной Планка, которая входит в соотношение неопределенностей (4.64), и скоростью света, которая определяет энергетический эквивалент массы. Во-вторых, константа не должна зависеть от массы какой либо конкретной частицы. Единственной безразмерной константой, удовлетворяющей всем этим условиям является постоянная тонкой структуры: $\alpha = e^2/\hbar c = 7.297 \cdot 10^{-3}$. Поэтому новое соотношение неопределенностей имеет вид:

$$\Delta m/\Delta \tau \geq \alpha \cdot m/\tau \quad \text{или} \quad \Delta m/m \geq \alpha \cdot \Delta \tau/\tau \quad \alpha = e^2/\hbar c = 7.297 \cdot 10^{-3} \quad (4.65)$$

Рисунок 4.5 демонстрирует удовлетворительное соответствие соотношения (4.65) в «минимальной» форме (то есть при знаке равенства) результатам исследования характеристик 20 частиц и 93 резонансов.

Возможно, что причиной отклонения характеристик резонансов от соотношения (4.65) в «минимальной» форме является то, что времена жизни и массы резонансов определяются из одного и того же соотношения (4.54), что приводит к неявной дополнительной корреляции этих характеристик.

Появление в статистической физике субъядерного мира постоянной тонкой структуры, которая была введена в 1916 году Арнольдом Зоммерфельдом в качестве параметра в релятивистских поправках при описании спектральных линий моделью атома Бора, может сначала показаться странным. Первой интерпретацией этой константы было отношение скорости электрона на первой орбите Бора к скорости света. Однако дальнейшее развитие квантовой физики показало, что область применения этой константы значительно шире – в квантовой электродинамике постоянная тонкой структуры имеет значение константы взаимодействия между электрическими зарядами и фотонами, а также является естественным параметром в эффективных методах теории возмущений. В квантовой теории поля постоянная тонкой структуры служит «бегущей константой связи», интерпретируемой формализмом ренормализационной группы, а также играет роль важнейшего «внешнего параметра» Стандартной модели физики элементарных частиц.

¹⁸ Мандельштам Л.И., Тамм И.Е. // Изв. АН СССР. Сер. физ. (1945) 9; 122–128.

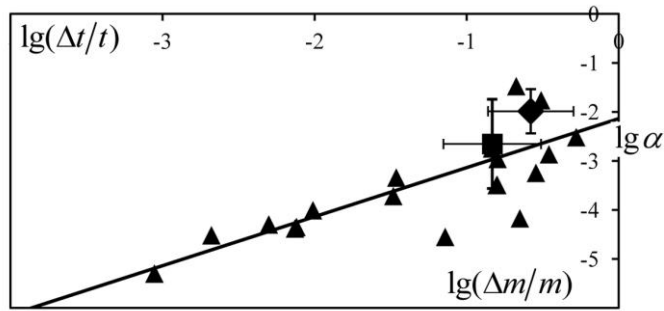


Рис 4.5. Сравнение соотношения (4.65; сплошная прямая линия: $\lg(\Delta m/m) = \lg(\Delta\tau/\tau) + \lg \alpha$) с результатами исследования характеристик частиц и резонансов. На рисунке треугольные маркеры отмечают характеристики элементарных частиц; квадратный маркер отмечает средние характеристики мезонных резонансов, а ромб – средние характеристики барионных резонансов.

Для интерпретации соотношений (4.65) можно использовать фрактальную геометрию. Рассмотрим фрактальную размерность Хаусдорфа D , которая обычно вводится соотношением между плотностью массы и характерным размером: $\rho_m \propto r^{-(3-D)}$ (см., например, [18]). Это соотношение эквивалентно пропорциональности: $m \propto r^D$, которая может быть представлена в форме: $\ln m = D \ln r + X$. Дифференцирование этого соотношения дает: $d(\ln m) = D \cdot d(\ln r)$ и соответственно $dm/m = D \cdot dr/r$. Из этого соотношения, применив релятивистское равенство $r = c\tau$ и заменяя дифференциалы на неопределенности, мы получим: $\Delta m/m = D_{m\tau} \cdot \Delta\tau/\tau$, которое совпадает с (4.65). **Таким образом, постоянная тонкой структуры определяет фрактальную размерность фазового пространства $\{m, \tau\}$ в микромире: $D_{m\tau} = \alpha$.**

В статистической физике субъядерного мира можно применять методологию термодинамики, поскольку общие термодинамические соотношения не зависят от того, какой механикой описывается состояния элементов рассматриваемого ансамбля – классической или квантовой (см., например [15]).

Термодинамическое соотношение, связывающее работу r , свободную энергию f , энергию ε , температуру T и энтропию s в конечно-разностной форме имеет вид:

$$\Delta\varepsilon = \Delta f + T\Delta s \quad (4.66)$$

Если использовать безразмерную энтропию, то температура в энергетических единицах определяет среднюю энергию процесса $T = \varepsilon$. Умножая обе части соотношения (4.66) на основное неравенство концепции дискретного времени $\Delta\tau \geq \tau_0 > 0$, ограничивающее длительность интервала физического времени, можно получить соотношение:

$$\Delta\varepsilon\Delta\tau \geq \tau_0\Delta f + \tau_0\Delta s \cdot \varepsilon \quad (4.67)$$

Для того, чтобы преобразовать это соотношение, можно использовать следствие постулата Планка: минимальное действие, связанное с изменением свободной энергии на протяжении минимально возможного интервала времени τ_0 , не может быть меньше половины кванта действия: $\tau_0\Delta f \geq h/2$. С учетом этого соотношения неравенство (4.67) принимает вид:

$$\Delta \varepsilon \Delta \tau \geq h/2 + \tau_0 \Delta s \cdot \varepsilon \quad (4.68)$$

Неравенство (4.68) можно преобразовать, приняв во внимание, что в квантовой механике для движения пакета волн, с групповой скоростью u остается справедливым классическое соотношение между энергией и импульсом: $\Delta \varepsilon = u \Delta p$. Используя это соотношение и определяя интервал времени как $\Delta \tau = \Delta x/u$, можно преобразовать неравенство (4.68) к виду:

$$\Delta p_x \Delta x \geq h/2 + \tau_0 \Delta s \cdot \varepsilon \quad (4.69)$$

Если считать, что средняя энергия в (4.68) это энергетический эквивалент массы частицы: $\varepsilon = mc^2$, и приняв во внимание, что для микрочастиц $\tau_0 \Delta s \cdot mc^2 \gg h/2$, формулу (4.68) можно преобразовать к виду:

$$\Delta m/m \geq (\tau_0 \Delta s) / \Delta \tau \quad (4.70)$$

Рис. 4.6-А демонстрирует хорошее совпадение данных исследования характеристик частиц и резонансов с неравенством (4.70) в «минимальной» форме при следующих значениях $\tau_0 \Delta s$:

Пунктирная прямая 1. $\Delta m/\langle m \rangle = 1.75 \cdot 10^{-25} / \Delta \tau$

Пунктирная прямая 2. $\Delta m/\langle m \rangle = 1.5 \cdot 10^{-16} / \Delta \tau$

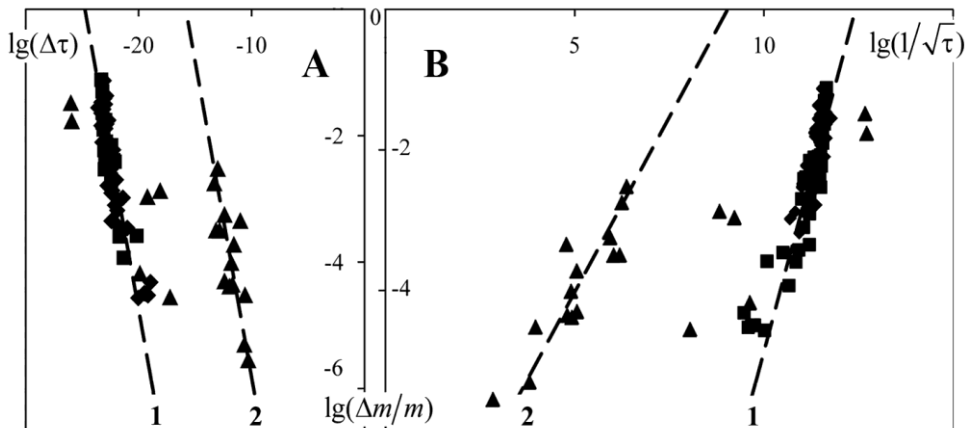


Рис. 4.6 Сравнение соотношений (4.70–4.72) с данными исследования характеристик частиц и резонансов: А. (4.70) – пунктирные прямые 1 и 2; В. (4.71) – пунктирная прямая 1; (4.72) – пунктирная прямая 2.

Раскрывая в формуле (4.70) (при знаке равенства) значение $\Delta \tau$ в соответствии с (4.61, 4.62), можно получить соотношения, определяющие вариации масс частиц в зависимости от их времени жизни τ :

$$\Delta m/m \propto 1/\tau \quad \text{при } \tau \leq \tau_* \quad (4.71)$$

$$\Delta m/m \propto 1/\sqrt{\tau} \quad \text{при } \tau > \tau_* \quad (4.72)$$

Рисунок 4.6-В демонстрирует хорошее совпадение экспериментальных данных с формулами (4.71, 4.72) при следующих значениях коэффициентов пропорциональности:

Пунктирная прямая 1. $\Delta m/m = 10^{-25}/\tau$ при $\tau \leq 10^{-12}$ с.

Пунктирная прямая 2. $\Delta m/m = 10^{-9}/\sqrt{\tau}$ при $\tau > 10^{-12}$ с.

Для сравнения соотношения (4.68) с экспериментальными данными можно использовать статистику измерения энергий гамма-фотонов, образующихся при распаде радиоактивных изотопов (стр. 1045–1046; табл. 37.2 в [37] см. также¹⁹). Эти экспериментальные данные помимо значений энергии фотонов ε и среднеквадратичных ошибок измерения их энергии $\Delta\varepsilon$, содержат значения периодов полураспада изотопов τ_d .

Для гамма-фотонов $(\tau_0\Delta s) \cdot \varepsilon \gg h/2$ и, кроме того, можно предположить, как это принято в ядерной физике, что неопределенности времен жизни $\Delta\tau$ возбужденных состояний ядер, порождающих излучение, пропорциональны периодам полураспада соответствующих изотопов: $\Delta\tau = k\tau_d$. При этих условиях соотношение (4.68) можно представить в виде:

$$\tau_d \cdot \Delta\varepsilon \geq (\tau_0\Delta s/k) \cdot \varepsilon \quad (4.73)$$

На рис. 4.7 прямая: $\tau_d\Delta\varepsilon = 95.34\varepsilon$, соответствующая формуле (4.73) при τ_d (сек), ε (МэВ) и $\tau_0\Delta s/k = 95.34$ с/МэВ, демонстрирует удовлетворительное совпадение теории с результатами экспериментального исследования гамма-фотонов (127 измерений) с энергиями от 0.02 до 3.5 МэВ, образующихся при распаде радиоактивных изотопов с периодами полураспада от 15 часов до 1.3 лет.

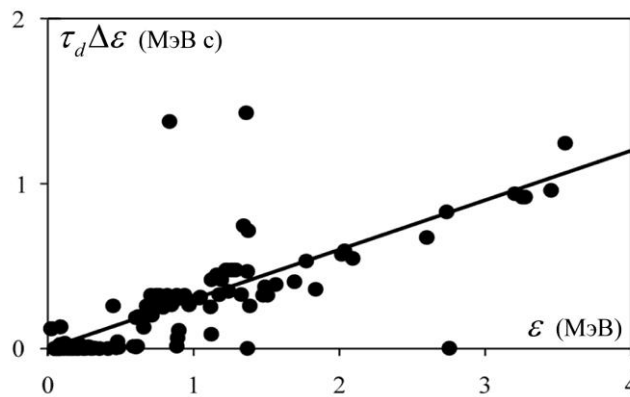


Рис. 4.7. Сравнение соотношения (4.73; сплошная прямая) с данными исследования гамма-фотонов, образующихся при распаде радиоактивных изотопов.

Соотношения неопределенностей (4.65) и (4.68) относятся к метрическим характеристикам фазовых пространств $\{m, \tau\}$ и $\{\varepsilon, \tau\}$. Можно показать, однако, что в квантовой физике микромира могут существовать и топологические соотношения неопределенностей.

Топологическое соотношение неопределенностей можно получить, рассмотрев структурированное пространство, состоящее из множества соприкасающихся жестких

¹⁹ *Table of Isotopes*. 7th ed. Ed. by C.M. Lederer and V.S. Shirley N.Y.: John Wiley and Sons Inc., 1978. Seelmann-Eggebert W. et al. *Nuklidkarte*. 5 Auflage, München: Gerbass und Sohn Verlag, 1981.

элементарных кубических ячеек со стороной $a_0 = const$. Физическим образом такого пространства является идеальный кристалл с кубическими элементарными ячейками.

Диагональ жесткой кубической ячейки в N -мерном пространстве определяется соотношением: $d = a_0 \sqrt{N}$, в котором для физического пространства: $N = 3$. Применив релятивистское соотношение $d = c\Delta\tau$, мы можем получить для элементарной ячейки: $\Delta\tau = a_0/c \cdot \sqrt{N}$. Определив далее величину $\Delta\tau$ из соотношения (4.64), мы получим следующее топологическое соотношение неопределенностей:

$$\Delta\varepsilon \cdot \sqrt{N} \geq hc/2a_0 \quad (4.74)$$

В это соотношение входит топологическая характеристика физического пространства – его размерность N , которая оказывается зависящей от неопределенности энергии квантового процесса. Значение правой части соотношения (4.74) для кристаллов с кубическими решетками со сторонами порядка 0.5 нм оказывается умеренным – порядка 1.25 кэВ, что позволит надеяться на то, что эффекты неопределенности размерности физического пространства могут изучаться экспериментально.

При дискретных, квантованных значениях $\Delta\varepsilon$ соотношение (4.74) может рассматриваться как модель физического процесса топологического расслоения пространства (*fibration, fiber bundle*)²⁰. Соотношение (4.74), в частности, показывает, что при экспериментах с малыми неопределенностями энергий интерпретация геометрических структур должна проводиться с учетом того, что их свойства симметрии могут и не соответствовать строго 3-мерному вмещающему пространству.

4.5 Зеркальная асимметрия микромира

Зеркальная симметрия в микромире определяется с помощью понятия «пространственной четности» (см., например [12, 40]). Пространственная четность микрочастиц это квантовое число $P = \pm 1$, которое характеризует поведение волновой функции частицы или системы частиц при пространственном зеркальном отражении. При инверсии координат скаляр и псевдовектор знаков не меняют и поэтому считают, что они имеют положительную четность ($P = +1$). Псевдоскаляр и вектор при инверсии координат меняют знак и, тем самым, имеют отрицательную четность ($P = -1$).

Поведение волновой функции частицы $\psi(\vec{r})$ в системе отсчета, связанной с частицей, определяется ее «внутренней четностью»:

$$\psi(\vec{r}) \rightarrow P\psi(-\vec{r}) \quad (4.75)$$

Частицы со спином $J = 0$ и внутренней четностью $P = +1$ ($J^P = 0^+$) иногда называют «скалярными», с $J^P = 0^-$ «псевдоскалярными», с $J^P = 1^-$ «векторными», а с $J^P = 1^+$ «псевдовекторными».

Четность системы из двух частиц определяется внутренними четностями этих частиц и «орбитальной четностью» $(-1)^L$ их относительного движения в системе координат, связанной с центром инерции этой пары частиц:

²⁰ Хьюзмоллер, Д. Расслоенные пространства. М.: Мир, 1970. Husemöller, D. Fibre Bundles. Springer Verlag, 1994 ISBN 0-387-94087-1

$$P_{12} = P_1 P_2 (-1)^L \quad (4.76)$$

Действуя по индукции с помощью соотношений (4.75, 4.76) можно найти четность системы из любого количества частиц.

Закон сохранения четности для микрочастиц был сформулирован в 1925 году Вольфгангом Паули и утверждал, что общая четность системы частиц одинакова как до, так и после их взаимодействия. Можно также сказать, что в соответствии с этим законом отраженный в зеркале физический процесс субъядерного мира должен быть таким же, как если бы зеркала не было, и мы наблюдали бы действительный, а не «за-зеркальный» процесс. Закон сохранения четности хорошо соответствовал интуитивному предположению о том, что природа не отдает предпочтение правому над левым, или наоборот.

Проблема сохранения зеркальной симметрии всегда привлекала особое внимание физиков еще и потому, что сохранение внутренней четности в превращениях микрочастиц считалось индикатором изотропии и однородности физического пространства в микромире. А эти фундаментальные свойства пространства составляют основу всей квантовой физики и гарантируют незыблемость важнейших законов сохранения.

Однако в конце 1940-х годов в космических лучах были открыты странные K -мезоны, которые довольно быстро распадались за счет слабого взаимодействия то на три пи-мезона, сохраняя первоначальную отрицательную четность K -мезона, то на два пи-мезона с суммарной положительной четностью, ярко демонстрируя вопиющее нарушение казавшегося дотоле незыблемым закона сохранения внутренней четности микрочастиц. Это удивительное поведение K -мезонов физики назвали не менее необычно «загадкой тау-тэта».

В середине 1950-х два американских физика Цзун Дао Ли (*Tsung Dao Lee*) и Чжен Нинг Янг (*Chen Ning Yang*) выдвинули простое предположение, что в процессах распада, обусловленных, подобно распаду K -мезонов, только слабым взаимодействием, внутренняя четность микрочастиц действительно не сохраняется. Несколько остроумных экспериментов подтвердили их предположение и, более того, оказалось, что слабое взаимодействие имеет весьма выраженную тенденцию нарушать баланс внутренней четности систем микрочастиц. Труды Ли и Янга были вознаграждены в 1957 году Нобелевской премией по физике.

Отсутствие сохранения пространственной четности при слабых взаимодействиях подорвало доверие к гипотезе о зеркальной симметрии пространства, и внутренняя четность стала считаться «слабым» квантовым числом. Как полагали многие физики, идея зеркальной симметрии микромира была бы, по крайней мере, частично сохранена даже при нарушении пространственной четности, если бы в процессах превращения частиц сохранялась бы «комбинированная CP -четность».

CP -преобразование это сочетание уже упоминавшегося зеркального отражения P и «зарядового сопряжения» C , то есть замены частиц на античастицы. На протяжении семи лет казалось, что утраченное доверие к зеркальной симметрии субатомного мира удалось отчасти восстановить. Однако в 1964 году Джеймс Кронин и Вал Фитч обнаружили распад долгоживущего K_L^0 -мезона с отрицательным значением CP -четности на два пи-мезона – систему с положительной CP -четностью. Более 15 лет физика не могла придти в себя после очередного «зеркального» разочарования, но в 1980 году Джеймс Кронин и Вал Фитч все же были удостоены Нобелевской премии по физике за свое открытие.

Следует отметить, что нарушение закона сохранения CP -четности может иметь непосредственное отношение к происхождению и особенностям структуры вселенной. Одной из до сих пор не решенных космологических проблем является загадка отсутствия каких либо следов античастиц и антивещества во вселенной. Все «горячие» модели рождения вселенной предсказывают возникновение равных количеств частиц и античастиц. Но в этом случае каскадные процессы аннигиляции частиц и античастиц вскоре привели бы

к образованию безбрежного океана излучения, без каких либо следов материи во вселенной. Одним из возможных объяснений отсутствия антивещества во вселенной являются так называемые «условия Сахарова», в которых ключевую роль играет нарушение сохранения CP - четности на ранней стадии рождения вселенной.

Руины гипотезы о зеркальной симметрии микромира, украшенные двумя Нобелевскими премиями, несомненно, заслуживают продолжения их изучения. Для того чтобы в столь многих процессах превращений микрочастиц нарушалось сохранение зеркальной симметрии в микромире должен существовать некий еще не обнаруженный глобальный зеркально асимметричный фактор.

Зеркально асимметричный объект и, в частности, микрочастица с определенным значением пространственной четности всегда является результатом какого либо динамического процесса, в котором уже можно обнаружить те или иные нарушения динамической симметрии. Необратимое физическое время является глобальным асимметричным фактором, во-первых, из-за асимметрии «стрелы времени», направленной из прошлого в будущее, и, во-вторых, из-за спиральности, которая характеризуется только одним типом симметрии в нашем мире. Поэтому **некоторые природные процессы, развивающиеся в асимметричном необратимом физическом времени, а также материальные объекты, которые формируются при их участии, могут обнаруживать зеркальную асимметрию.**

В 2002 году автору этой книги пришла в голову мысль оценить степень зеркальной асимметрии всего открытого к настоящему времени множества элементарных частиц и резонансов, подобно тому, как мы оцениваем асимметрию встречаемости левшей и правшей в населении Земли. **Анализ характеристик почти полутора сотен микрочастиц с известным значением внутренней четности показал, что с достоверностью не менее 95 % зеркальная асимметрия этого множества отрицательна, причем частиц с отрицательным значением внутренней четности примерно на 10 % больше чем частиц с положительной внутренней четностью** (Таганов, 2003 [32, 33]).

Впоследствии оказалось, что анализ статистических свойств микрочастиц позволяет доказать **общую отрицательную зеркальную асимметрию всего множества элементарных частиц** почти как теорему (Таганов, 2010 [73]). При этом определяющую роль играет анализ внутренней четности частиц в основном состоянии, то есть с нулевым орбитальным моментом ($L=0$ в 4.76). Резонансы же, являясь продуктами орбитальных и радиальных возбуждений кварковых структур микрочастиц, могут иметь отличные от исходной микрочастицы спины и внутреннюю четность.

Рассмотрим формирование значений внутренней четности у всех классов элементарных частиц в их основных состояниях.

I. Лептоны (l) и барионы (b) имеют полуцелый спин, подчиняясь статистике Ферми, и, являясь фермионами, имеют положительную внутреннюю четность $P(f) = +1$. Их античастицы \bar{l} и \bar{b} в силу условия $P(f) \cdot P(\bar{f}) = -1$, наоборот, имеют отрицательную внутреннюю четность $P(\bar{f}) = -1$. Поскольку все лептоны и барионы имеют соответствующие античастицы, то суммарная внутренняя четность этих классов частиц равна нулю:

$$l - \bar{l} + b - \bar{b} = 0 \quad (4.77)$$

В это и дальнейшие соотношения количества частиц различных классов входят со знаком, соответствующим их внутренней четности.

II. Мезоны (m) не имеют барионного заряда и обладают нулевым или целочисленным спином, то есть по статистическим свойствам являются бозонами. При анализе внутренней

четности мезонов используют их кварковую модель, в соответствии с которой мезоны представляют собой структуры из пар «кварк-антикварк». Кварки имеют спин $1/2$, являясь фермионами, и поэтому четность пары «кварк-антикварк» отрицательна. Если кварковая структура мезона находится в возбужденном состоянии, то четность такого мезона определяется соотношением: $P = (-1)^{L+1}$, где L это суммарный орбитальный момент возбужденных кварковых структур. Таким образом, **четность мезонов и анти-мезонов (\bar{m}) в основном невозбужденном состоянии их кварковых структур при $L=0$ всегда отрицательна.**

Кроме того, в состав класса мезонов входит особая группа «истинно нейтральных мезонов» (m_0) также с отрицательными внутренними четностями, которые не имеют античастиц, и поэтому суммарная внутренняя четность всего класса мезонов отрицательная:

$$-m - \bar{m} - m_0 < 0 \quad (4.78)$$

Из соотношений (4.77, 4.78) видно, что в микромире существует избыток частиц с отрицательной четностью, определяемый количеством мезонов и их античастиц (4.78). Степень зеркальной асимметрии A всего множества $N = R + L$ микрочастиц определяется отклонением от паритета частиц с отрицательной (левых L) и положительной (правых R) внутренними четностями:

$$A = (R - L)/(R + L) = (N - 2L)/N \quad \sigma_A \sim 1/\sqrt{N} \quad (4.79)$$

В силу соотношений (4.77, 4.78) эта формула приводит к неравенству:

$$A = [N - 2(m + \bar{m} + m_0) - 2(\bar{l} + \bar{b})]/N = -(2m + m_0)/N < 0 \quad (4.80)$$

$$\text{или } A = (1 - 2N_m/N) \pm N^{-1/2} \quad (4.81)$$

где N_m количество мезонов и анти-мезонов, а N это общее количество изученных микрочастиц.

Таким образом, микромир обладает сохраняющейся общей отрицательной зеркальной асимметрией внутренней пространственной четности частиц в их основных состояниях, которая определяется количеством мезонов и анти-мезонов с отрицательной внутренней четностью.

Важно, что отрицательная зеркальная асимметрия микромира сохранится вне зависимости от того, сколько новых частиц еще будет открыто, поскольку паритет четностей лептонов и барионов (4.77) будет всегда сохраняться, а открытие новых мезонов будет только увеличивать общую отрицательную зеркальную асимметрию микромира.

Возможно, что рассмотренное в этой главе хорошее совпадение экспериментальных данных с теоретическими зависимостями и не может рассматриваться как окончательный, решающий аргумент в пользу истинности концепции комплексного спирального времени микромира, но помогает с оптимизмом относиться к перспективам развития этой концепции.

КОНЕЦ РАЗДЕЛА