Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Д. А. Славнов, Партонная версия квантовой модели с памятью и эффект Зенона, *ТМФ*, 1997, том 110, номер 2, 298–307

DOI: <https://doi.org/10.4213/tmf969>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.208.226.222

26 апреля 2023 г., 11:59:08

Д. А. Славнов*

ПАРТОННАЯ ВЕРСИЯ КВАНТОВОЙ МОДЕЛИ С ПАМЯТЬЮ И ЭФФЕКТ ЗЕНОНА

Предложена партонная версия модели с памятью для описания квантовых объектов. Предполагается, что эти объекты состоят из валентных и морских субпартонов, носителей корпускулярных и волновых свойств, соответственно. Субпартоны аналогичны, но не идентичны партонам квантовой хромодинамики. В рамках рассматриваемой модели дана интерпретация квантового эффекта Зенона. Показано, что эффект обусловлен специфическим (невалентным) взаимодействием квантовой атомной системы с классическими полями. Это взаимодействие нарушает когерентность морских субпартонов, находящихся на разных энергетических уровнях атома. Последнее может рассматриваться как физическая причина коллапса волновой функции.

Недавно для объяснения корпускулярно-волнового дуализма квантовой механики мною в работе [1] была предложена так называемая модель с памятью. Суть этой модели сводится к следующему. Квантовая частица, как всякий волновой объект, не обладает определенной координатой, импульсом и определенными численными значениями других физических наблюдаемых. В аппарате стандартной квантовой механики это отражается в том, что наблюдаемым сопоставляются не численные значения, а элементы некоммутативной алгебры (алгебры наблюдаемых). В работе [1] это трактуется как тот факт, что квантовая частица обладает значениями физических наблюдаемых в латентной форме.

Латентные значения проявляются (становятся числами) только в результате взаимодействия квантовой частицы с соответствующим измерительным прибором, т.е. в квантовой физике наблюдаемая — это потенциальная возможность квантовой частицы определенным образом воздействовать на измерительный прибор. В модели с памятью предполагается, что конкретный результат такого воздействия зависит от всей предыстории квантовой частицы, причем часть сведений об этой предыстории хранится в памяти, носителем которой является нелокальное волновое поле.

В отличие от классической волны квантовая частица воздействует на измерительный прибор как единый бесструктурный объект, а характерные волновые признаки, в частности свойство суперпозиции, имеет вероятность (точнее, амплитуда вероятности) результата такого воздействия. Поэтому в работе [1] было предположено, что каждая квантовая частица имеет точечное ядро, носитель латентных значений наблюдаемых.

Наличие точечных центров взаимодействия и вероятностный характер взаимодействия свойственны партонной модели в физике высоких энергий. Это наводит на мысль

*Московский государственный университет

о возможности подобного типа модели и в квантовой механике. Такая модель рассматривается в данной статье. В значительной мере она оказывается просто переформулировкой модели работы [1] в новых терминах. Однако при этом возникает более наглядный образ квантовой частицы, что позволяет более просто интерпретировать некоторые квантово-механические явления. Для демонстрации этого рассмотрен квантовый эффект Зенона, который представляет и самостоятельный интерес.

Квантовая частица – это некоторое поле колебаний. Примем, что существуют бесструктурные объекты, носители этих колебаний. Назовем их субпартонами. Они во многом аналогичны партонам квантовой хромодинамики, но не тождественны им. Для создания наглядного образа субпартонов обратимся к системе связанных классических осцилляторов. Их колебания образуют некоторое волновое поле. Отдельные осцилляторы (материальные точки) являются носителями этого поля. Субпартоны – аналоги таких материальных точек. Отметим, что последние локализованы в конфигурационном пространстве. Можно перейти от колебаний отдельных материальных точек к нормальным колебаниям. Носитель отдельного нормального колебания локализован не в конфигурационном пространстве, а в пространстве частот. Таким образом, бесструктурные носители волнового поля могут быть выбраны разными способами. С аналогичной ситуацией мы сталкиваемся и при рассмотрении субпартонов.

Примем, что всякий квантовый объект состоит из локальных бесструктурных субпартонов. Среди субпартонов имеется конечное число валентных (ядра в статье [1]) и бесконечное число морских (волновое поле в статье [1]). Все субпартоны участвуют в колебательных движениях. Каждый валентный субпартон имеет свиту из числа морских субпартонов, колебания которых когерентны его колебаниям. Валентный субпартон со своей свитой образуют квантово-механически элементарную частицу, т.е. квантовая частица состоит из субчастиц.

Будем считать, что каждая такая субчастица несет латентные значения субнаблюдаемых, также являющихся элементами некоммутативной алгебры. Для этой алгебры возможны различные представления. В каждом фиксированном представлении имеются субнаблюдаемые, которым соответствуют элементы алгебры, кратные единичному. Этим субнаблюдаемым можно приписать численные значения и рассматривать их в качестве переменных, в пространстве которых “живут” субпартоны. В этом пространстве каждый из субпартонов локализован (бесструктурен).

При одном варианте представления субпартоны локальны в конфигурационном пространстве, при другом – в импульсном и т.д. Поэтому при разных представлениях субпартоны не идентичны, т.е. они являются не субчастицами, а квазисубчастицами. Иными словами, в качестве носителей волнового поля квантовой частицы могут выступать разные варианты субпартонов.

Корпускулярные свойства квантовых объектов можно объяснить тем, что детекторы в измерительных приборах срабатывают только в результате контактов с валентными субпартонами. В этом смысле последние являются активными субпартонами, а морские выступают в роли спектакторов.

Так как с помощью измерительных приборов проявляются (делаются явными) латентные значения наблюдаемых *квантовых частиц*, то носителями этих наблюдаемых следует считать валентные субпартоны. С другой стороны, квантовая механика описывает поведение именно квантовых частиц, поэтому естественно предположить, что источниками обычного квантового взаимодействия являются валентные субпартоны. Это

взаимодействие не затрагивает морских субпартонов. Поэтому следовало бы ожидать, что в результате него нарушится когерентность колебаний валентных и морских субпартонов. В рамках предлагаемой модели это означало бы, что валентные субпартоны лишаются своих свит и происходит полная перестройка структуры квантовых частиц.

Этого не будет происходить, если помимо валентного существует достаточно сильное взаимодействие между когерентными субпартонами. Назовем его когерентным. В статье [1] оно называлось резонансным, здесь термин “резонанс” зарезервируем для других целей. Такое взаимодействие препятствует выходу морских субпартонов из свиты валентных. Этот процесс можно представить следующим образом. Валентное взаимодействие в действительности не является мгновенным актом, а растянуто во времени. В течение этого времени когерентность валентного и свитских субпартонов уменьшается постепенно. Поэтому когерентное взаимодействие остается еще достаточно сильным. Оно согласует колебания различных субпартонов, восстанавливая их когерентность.

Такое положение может нарушиться, если часть морских субпартонов окажется отделенной от своего валентного хозяина на значительное расстояние. Именно это происходит во входящем в состав измерительного прибора анализаторе, разделяющем свиту валентного субпартона на несколько каналов, из которых только в один попадает сам валентный субпартон. Если после этого валентный субпартон испытает взаимодействие, то когерентность с ним безвалентных каналов будет разрушена, в результате чего морские субпартоны, находящиеся в этих каналах, выпадут из свиты валентного субпартона.

Происходящее в анализаторе разделение совокупности морских субпартонов на несколько каналов предполагает, что существует некоторое прямое воздействие анализатора на морские субпартоны помимо цепочки валентное взаимодействие плюс когерентное. Назовем такое прямое взаимодействие невалентным или некогерентным. Это взаимодействие валентного субпартона с морскими субпартонами, не принадлежащими его свите, или взаимодействие морских субпартонов из разных свит. Поскольку мы предположили, что обычное квантово-механическое взаимодействие сводится к валентному, то следует считать, что невалентное взаимодействие значительно слабее валентного, и им можно пренебречь при изучении взаимодействия отдельных квантовых объектов между собой.

Однако невалентное взаимодействие может оказаться существенным при контакте квантового объекта с классическим. Дело в том, что последний содержит огромное количество валентных субпартонов. В силу локальности валентный субпартон квантового объекта существенным образом контактирует с ограниченным числом валентных субпартонов классического объекта. С другой стороны, морские субпартоны квантового объекта занимают большой объем и поэтому находятся в непосредственном контакте с очень большим количеством валентных субпартонов классического объекта. Это может компенсировать слабость взаимодействия с отдельным валентным субпартоном.

По предположению измерительный прибор реагирует только на валентный субпартон. Однако конкретная реакция (показание прибора) зависит не только от (латентных) значений наблюдаемых, которые несут эти субпартоны, но и от всей предыстории квантового объекта и измерительного прибора. От предыстории квантового объекта зависит структура свит валентных субпартонов, поэтому можно предположить, что эти свиты являются хранилищами исторической памяти, причем возможны разные уровни памяти: одночастичный, двухчастичный и т.д. Дело в том, что если кванто-

вый объект содержит несколько валентных субпартонов (состоит из нескольких квантово-механически элементарных частиц), то помимо индивидуальных колебаний этих субпартонов возможны коллективные. Соответственно в объединении свит возможны колебания, когерентные как индивидуальным, так и коллективным. Колебания первого типа реализуют одночастичную память, второго типа – коллективную.

Таким образом, в структуре моря зашифрована информация об истории квантового объекта. Однако не вся эта информация может быть переведена в явную форму, так как проявление производится с помощью измерительных приборов, которые воздействуют на квантовый объект, трансформируя структуру входящих в его состав свит (структуру волнового поля). При этом часть не выявленной на первом этапе измерения информации искажается и становится недоступной для нас на последующих этапах.

Иными словами, существует максимальная неискажаемая информация об истории квантового объекта, которая может быть выявлена с помощью измерений, проводимых над этим объектом. Назовем ее максимально одновременно выявляемой информацией (МОВИ), имея в виду ее связь с квантово-механическим понятием “совокупность значений одновременно измеримых наблюдаемых”. Хотя, строго говоря, одновременность получения информации не является обязательной. Важно, чтобы выявленная информация соответствовала без искажений той, которая хранилась в структуре свит до начала измерений.

Таким образом, мы всегда обладаем неполной информацией об истории квантового объекта, поэтому о его дальнейшем поведении можем делать только вероятностные предсказания.

Структура свит определяется двумя факторами: предысторией квантового объекта и тем, какой вариант субпартонов (какое представление алгебры субнаблюдаемых) мы выбрали в качестве носителей волнового поля квантового объекта. Будем считать, что каждому варианту субпартонов соответствует свой вариант МОВИ для квантового объекта с определенной историей. С другой стороны, одной и той же МОВИ могут обладать квантовые объекты с разными историями. Чтобы установить связь со стандартной квантовой механикой, введем понятие “идеальный чистый ансамбль”. Положим, что он состоит из *всех* однотипных квантовых объектов с разными историями, но с одной и той же МОВИ, хранящейся в их памяти. Будем считать, что такой ансамбль может быть охарактеризован квантово-механической волновой функцией. Заметим, что в работе [1] предполагалось, что волновая функция описывает структуру волнового поля квантового объекта. В данной статье это предположение уточняется в том плане, что волновая функция связывается не с полной структурой волнового поля отдельного квантового объекта, а с общей частью таких структур для всех членов идеального чистого ансамбля.

Идеальный чистый ансамбль, конечно, физически не реализуем. Чтобы обойти эту трудность, примем гипотезу, что любая случайная достаточно большая выборка из идеального чистого ансамбля является его хорошей в статистическом смысле аппроксимацией и может быть отождествлена с квантово-механическим чистым ансамблем и охарактеризована той же волновой функцией.

В предлагаемой модели предыстория квантового объекта выступает в роли источника явных значений наблюдаемых. Здесь у нее много сходства с так называемой PIV-моделью (“premeasurement initial values” for all observables). Эта модель подробно обсуждается в обзоре [2]. Но в отличие от нее предлагаемый подход не является разновиднос-

тью модели со скрытыми параметрами.

Как уже отмечалось, результат измерений зависит от предыстории наблюдаемого квантового объекта и измерительного прибора, которые участвуют в конкретном измерительном процессе. Конечно, формально можно считать скрытым параметром предысторию объединенной (квантовый объект плюс измерительный прибор) системы. Однако такой параметр малосодержателен, поскольку для каждой объединенной системы он принимает свое значение (аналогичен порядковому номеру в журнале записи результатов эксперимента). Более того, если наблюдаемые не являются одновременно измеримыми, то их значения проявляются в разных, несовместимых друг с другом измерениях. Поэтому не существует ансамбля однотипных объединенных систем, которые отличались бы друг от друга только своими предысториями. С другой стороны, определенная информация в памяти квантового объекта вполне может рассматриваться в качестве “скрытого параметра”, но она дает только вероятностные предсказания о явных значениях наблюдаемых. Существование такого “скрытого параметра” не противоречит стандартной квантовой механике.

Динамику квантового объекта наглядно можно представить следующим образом. Валентное взаимодействие составляет регулярную часть взаимодействия квантовых объектов. Благодаря ему (латентные) значения квантовых наблюдаемых эволюционируют детерминантным образом. Эволюция управляется уравнениями Гайзенберга. Когерентное взаимодействие играет двоякую роль. С одной стороны, оно согласует эволюцию свиты с эволюцией валентного субпартона, вследствие чего квантово-механическая волновая функция также эволюционирует детерминантным образом, подчиняясь уравнениям Шредингера. С другой стороны, в точках, где движение валентного субпартона неустойчиво, когерентное взаимодействие играет роль случайного воздействия, которое направляет движение по тому или иному каналу. В частности, такая ситуация реализуется в анализаторе, входящем в состав измерительного прибора.

Таким образом, в уравнениях стандартной квантовой механики валентное взаимодействие учитывается непосредственно, а когерентное – косвенно, как источник случайных воздействий, обуславливающих стохастический характер квантовых процессов. Эти взаимодействия по классификации фон Неймана [3] следует отнести ко второму роду. Невалентные взаимодействия в квантовых уравнениях никак не учитываются, а проявляются только в контактах квантовых объектов с классическими. В частности, они являются причиной нарушения когерентности между валентными субпартонами и частью морских субпартонов из их свит, что приводит к резкой перестройке последних. Если мы считаем, что квантово-механические волновые функции связаны со структурой этих свит, то такая перестройка внешне проявляется в виде редукции (коллапса) волновой функции. Это означает, что невалентное взаимодействие является взаимодействием первого рода по классификации фон Неймана. Более подробно явление редукции, сопровождающее процесс измерения, описано в статье [1]. Там в рамках модели с памятью дано объяснение парадокса Эйнштейна–Подольского–Розена (ЭПР) и неравенства Белла. Некоторые дополнительные разъяснения, касающиеся парадокса ЭПР и учитывающие концепцию МОВИ, приведены в работе [4]. Сейчас мы рассмотрим еще один квантово-механический парадоксальный феномен – эффект Зенона.

Квантовый эффект Зенона заключается в том, что в результате часто повторяющегося наблюдения над квантовой системой для нее уменьшается вероятность перехода из начального состояния в конечное при наличии некоторого взаимодействия, обуслови-

вающего этот переход. Возможность эффекта была предсказана давно [5] (более подробную библиографию см. в [6]). Свое название и дополнительную разработку эффект получил в работе [7].

Стандартное объяснение эффекта основывается на двух фактах. Первый – редукция (коллапс) волновой функции состояния в результате измерения. Второй – квадратичная зависимость от времени вероятности перехода при малых временах. Благодаря редукции после каждого измерения время для квантовой системы эффективно начинается с нуля, что при неэкспоненциальной зависимости вероятности перехода приводит к уменьшению последней.

С точки зрения классической физики эффект выглядит в достаточной мере фантастическим. Тем не менее несколько лет назад он получил экспериментальное подтверждение. Имеется в виду эксперимент Итано–Хейзена–Боллингера–Вайнленда (ИХБВ) [8], хотя в ряде работ [9, 10] были высказаны сомнения относительно правильности интерпретации результатов эксперимента.

Схематически эксперимент ИХБВ выглядел следующим образом. Бралась трехуровневая атомная система (реально ионы $^9\text{Be}^+$) с энергиями уровней $E_1 < E_2 < E_3$, для которой спонтанный переход $3 \rightarrow 1$ разрешен, а переход $3 \rightarrow 2$ запрещен. Эта система подвергалась (относительно) длительному в течение времени T радиочастотному облучению с частотой ω_{12} ($\hbar\omega_{12} = E_2 - E_1$).

Простой расчет показывает, что если система первоначально находилась в основном состоянии ($\psi = \psi_1$), то через время t она будет в состоянии

$$\psi = \psi_1 \cos \Omega_2 t + \psi_2 \sin \Omega_2 t, \quad (1)$$

где $2\Omega_2$ – так называемая частота Раби, которая зависит от амплитуды облучающего поля, ψ_1 и ψ_2 – волновые функции уровней 1 и 2, соответственно.

Для того чтобы определить, на каком уровне находится электрон в атоме в данный момент времени, система дополнительно облучалась короткими (продолжительностью τ) лазерными импульсами с частотой фотонов ω_{13} ($\hbar\omega_{13} = E_3 - E_1$). Если электрон находился на уровне 1, то под действием импульса он перебрасывался на уровень 3, после чего спонтанно спускался на уровень 1 с испусканием фотона, который фиксировался детектором. Если же электрон находился на уровне 2, то ничего не происходило. Импульсное облучение в работе [8] трактовалось как процесс квантового измерения.

Если импульсное облучение проводилось один раз в конце временного интервала T , то полученный результат соответствовал формуле (1). Если же импульсное облучение проводилось n раз на протяжении интервала времени T с периодом $\Delta t \simeq T/n$ ($\tau \ll \Delta t$), то вероятность обнаружить электрон на втором уровне уменьшалась примерно в n раз. Этот факт интерпретировался как наблюдение квантового эффекта Зенона. Однако в работе [8] упомянут один факт, который ряду специалистов показался странным [11], а некоторым [9, 10] даже дал основание утверждать, что в эксперименте ИХБВ эффект Зенона наблюден не был. Дело в том, что после каждого промежуточного лазерного импульса реально наблюдалось фотонов от спонтанного перехода $3 \rightarrow 1$ на два порядка меньше, чем по оценке авторов эксперимента потенциально могло бы происходить. Только после последнего импульса, когда радиочастотное облучение было уже выключено, фотоны от перехода $3 \rightarrow 1$ наблюдались в полном объеме.

Конечно, можно сослаться на то, что авторы эксперимента не ставили специальной задачи по обнаружению промежуточных фотонов. Однако это выглядит странным, так

как было бы весомым аргументом в пользу основной идеи авторов о наблюдении коллапса волновой функции.

Дадим теперь свою интерпретацию эксперимента ИХБВ. Рассмотрение проведем в энергетическом представлении. Это значит, что в качестве областей локализации рассматриваются уровни 1, 2, 3, которым соответствуют волновые функции ψ_1, ψ_2, ψ_3 . Пусть в момент $t = 0$ квантовая трехуровневая система находилась в основном состоянии ($\psi(t = 0) = \psi_1$), т.е. все субпартоны локализованы на уровне 1. При $t > 0$ включается радиочастотное излучение, которое создает поток фотонов (классический объект) с частотой ω_{12} .

Фотоны резонансным образом будут взаимодействовать как с валентными, так и с морскими субпартонами, не разрушая их когерентность, т.е. поток фотонов действует как анализатор. Благодаря невалентному взаимодействию фотонов с морскими субпартонами последние распределятся между уровнями 1 и 2. В результате по истечении времени $\Delta t \simeq T/n \ll T$ согласно формуле (1) структура свиты будет описываться волновой функцией

$$\psi(\Delta t) \simeq \sqrt{1 - (\Omega_2 \Delta t)^2} \psi_1 + (\Omega_2 \Delta t) \psi_2.$$

За счет когерентного взаимодействия валентного субпартона со своей свитой он с вероятностью

$$P_2(\Delta t) \simeq (\Omega_2 \Delta t)^2 \quad (2)$$

окажется на втором уровне, а с вероятностью

$$P_1(\Delta t) \simeq 1 - (\Omega_2 \Delta t)^2 \quad (3)$$

– на первом. Причем все субпартоны будут когерентны друг другу.

Пусть в момент времени Δt дополнительно посылается короткий лазерный импульс фотонов с частотой ω_{13} и продолжительностью τ . Этот импульс также можно считать классическим объектом. На протяжении отрезка времени τ на квантовую систему будут действовать два потока фотонов с частотами ω_{12} и ω_{13} . Мы несколько упростим рассуждения, считая, что эти потоки действуют не одновременно, а поочередно, каждый с периодом $\Delta \tau = \tau/N$, и рассмотрим случай больших N .

Будем считать, что сначала включается поток фотонов с частотой ω_{13} . Эти фотоны находятся в резонансе с переходом между уровнями 1 и 3. Поэтому с ними будут существенным образом взаимодействовать субпартоны, населяющие эти уровни. За счет невалентного взаимодействия морские субпартоны уровня 1 частично переключаются на уровень 3. В результате состояние ψ_1 перейдет в состояние

$$\psi_{13} = \sqrt{1 - (\Omega_3 \Delta \tau)^2} \psi_1 + (\Omega_3 \Delta \tau) \psi_3. \quad (4)$$

Здесь $2\Omega_3$ – частота Раби для данного потока фотонов.

С другой стороны, с субпартонами, находящимися на уровне 2, поток фотонов взаимодействует пренебрежимо слабо. В результате субпартоны уровней 1 и 3 окажутся когерентными между собой и некогерентными субпартонам уровня 2. Таким образом, ослабление когерентного взаимодействия между субпартонами может вызываться не только их пространственным разделением, но и другими причинами, в частности “энергетическим разделением”.

Проследим теперь за судьбой валентного субпартона. Если первоначально он находился на уровне 1, то окажется либо на уровне 1, либо на уровне 3. Благодаря когерентному взаимодействию вероятность этих вариантов определяется волновой функцией ψ_{13} . В обоих случаях он будет когерентен морским субпартонам, находящимся на уровнях 1 и 3. Именно они составят его свиту. Так как когерентность валентного субпартона с морскими субпартонами уровня 2 разрушена, то последние выйдут из его свиты и будут утеряны для памяти. Если валентный субпартон первоначально находился на уровне 2, то он на нем и останется. При этом в его свите окажутся только морские субпартоны уровня 2, а субпартоны уровней 1 и 3 из нее выйдут.

Учитывая формулы (2) и (3), мы получим, что к концу интервала $\Delta\tau$ состояние квантового объекта будет описываться матрицей плотности

$$P_1(\Delta t)|\psi_{13}\rangle\langle\psi_{13}| + P_2(\Delta t)|\psi_2\rangle\langle\psi_2|. \quad (5)$$

Теперь пусть на следующий интервал $\Delta\tau$ включается поток с частотой фотонов ω_{12} . Рассуждения, аналогичные только что приведенным, показывают, что к концу этого интервала состояние квантового объекта будет описываться матрицей плотности

$$P_1(\Delta t)[(1 - (\Omega_3\Delta\tau)^2)|\psi_{12}\rangle\langle\psi_{12}| + (\Omega_3\Delta\tau)^2|\psi_3\rangle\langle\psi_3|] + P_2(\Delta t)|\psi_{21}\rangle\langle\psi_{21}|,$$

где ψ_{12} и ψ_{21} определяются формулой (4) с соответствующим изменением индексов и заменой Ω_3 на Ω_2 . Везде удерживаются члены, дающие первую поправку по $\Delta\tau$.

Дальше всю процедуру с включением потоков с частотами ω_{13} и ω_{12} надо повторить. После N таких шагов мы придем к тому, что к концу интервала τ состояние квантовой системы будет описываться матрицей плотности

$$\begin{aligned} P_1(\Delta t)\{&|\psi_{12}\rangle\langle\psi_{12}| + N[(\Omega_3\Delta\tau)^2|\psi_3\rangle\langle\psi_3| + (\Omega_2\Delta\tau)^2|\psi_2\rangle\langle\psi_2| - \\ &- ((\Omega_3\Delta\tau)^2 + (\Omega_2\Delta\tau)^2)|\psi_1\rangle\langle\psi_1|]\} + \\ &+ P_2(\Delta t)\{|\psi_{21}\rangle\langle\psi_{21}| + N(\Omega_2\Delta\tau)^2[|\psi_1\rangle\langle\psi_1| - |\psi_2\rangle\langle\psi_2|]\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Воспользовавшись для состояний ψ_{12} и ψ_{21} аналогами формулы (4) и удерживая в формуле (6) слагаемые до порядка N^{-1} , преобразуем ее к виду

$$P_1(\Delta t)\{|\psi_1\rangle\langle\psi_1| + N^{-1}(\Omega_3\tau)^2(|\psi_3\rangle\langle\psi_3| - |\psi_1\rangle\langle\psi_1|)\} + P_2(\Delta t)|\psi_2\rangle\langle\psi_2|. \quad (7)$$

При N , стремящемся к бесконечности, формула (7) переходит в

$$P_1(\Delta t)|\psi_1\rangle\langle\psi_1| + P_2(\Delta t)|\psi_2\rangle\langle\psi_2|. \quad (8)$$

Это означает, что к концу первого включения “измеряющего” импульса (потока фотонов с частотой ω_{13}) возникнет следующая ситуация: с вероятностью $P_1(\Delta t)$ валентный субпартон находится на уровне 1, а субпартоны свиты (носители памяти) описываются волновой функцией ψ_1 , с вероятностью $P_2(\Delta t)$ валентный субпартон находится на уровне 2, а субпартоны свиты описываются волновой функцией ψ_2 .

Вероятность попадания валентного субпартона на уровень 3 оказывается равной нулю, и по каналу спонтанного перехода $3 \rightarrow 1$ излучаться нечему.

На следующий временной интервал Δt остается включенным только радиочастотное излучение с частотой ω_{12} , после чего на время τ дополнительно включается лазерный импульс с частотой ω_{13} . К концу этого цикла состояние квантового объекта будет описываться матрицей плотности

$$[P_1^2(\Delta t) + P_2^2(\Delta t)]|\psi_1\rangle\langle\psi_1| + 2P_1(\Delta t)P_2(\Delta t)|\psi_2\rangle\langle\psi_2|. \quad (9)$$

Если удерживать только члены до порядка $(\Delta t)^2$, то формула (9) перейдет в

$$[1 - 2P_2(\Delta t)]|\psi_1\rangle\langle\psi_1| + 2P_2(\Delta t)|\psi_2\rangle\langle\psi_2|.$$

После n таких шагов мы получим матрицу плотности

$$\begin{aligned} [1 - nP_2(\Delta t)]|\psi_1\rangle\langle\psi_1| + nP_2(\Delta t)|\psi_2\rangle\langle\psi_2| = \\ = [1 - n^{-1}(\Omega_2 T)^2]|\psi_1\rangle\langle\psi_1| + n^{-1}(\Omega_2 T)^2|\psi_2\rangle\langle\psi_2|. \end{aligned} \quad (10)$$

Это означает, что с вероятностью $1 - n^{-1}(\Omega_2 T)^2$ валентный субпарто́н будет на уровне 1, а с вероятностью $n^{-1}(\Omega_2 T)^2$ — на уровне 2.

Если после этого радиочастотное излучение отключить и включить лазерный импульс с частотой ω_{13} , то валентные субпартоны с уровня 1 будут постепенно перегоняться на уровень 3, а в результате их спонтанного перехода на уровень 1 испустятся вторичные фотоны с частотой ω_{13} . Из формулы (10) видно, что отклонение от единицы вероятности испускания таких фотонов $\sim n^{-1}$. Именно этот факт наблюдался в эксперименте ИХБВ.

При переходе от формулы (6) к формуле (7) рассматривался предел $N \rightarrow \infty$, что соответствует пределу $\Delta\tau \rightarrow 0$. Именно в этом случае излучение фотонов за счет перехода $3 \rightarrow 1$ оказывается полностью подавленным. Однако, строго говоря, полагать $\Delta\tau = 0$ нельзя, так как при получении формулы (5) предполагалось, что за время $\Delta\tau$ успевают нарушиться когерентность субпартонов, находящихся на уровне 2, с одной стороны, и на уровнях 1 и 3, с другой. В действительности для разрушения когерентности требуется отличное от нуля время, поэтому было бы более последовательно считать $\tau \gg \Delta\tau > 0$.

Тогда, как видно из формулы (7), в момент времени Δt с вероятностью, пропорциональной $\Delta\tau$, валентный субпарто́н может оказаться на уровне 3. В результате этого после первого и последующих промежуточных включений лазерного импульса излучение фотонов от перехода $3 \rightarrow 1$ происходить будет, но оно окажется сильно подавленным. Видимо, именно это наблюдалось в эксперименте ИХБВ.

Таким образом, можно констатировать, что все результаты эксперимента ИХБВ в рамках модели с памятью находят естественное объяснение. При этом существенным оказывается не факт измерения, а то, что в результате воздействия классических полей на квантовый объект нарушается когерентность между носителем корпускулярных свойств этого объекта (валентным субпартоном) и частью волнового поля (носителя памяти). Нужно подчеркнуть, что в разрушении этой когерентности принимает участие не только “измеряющий” лазерный импульс, но и “приготавливающий” поток фотонов, создаваемый радиочастотным излучением.

В заключение следует особо отметить, что данная статья ни в коей мере не является попыткой создания какой-то новой теории, альтернативной квантовой механике. Фактически здесь лишь предлагается некоторая физическая модель реализации постулата квантовой механики о коллапсе волновой функции.

Список литературы

- [1] Д. А. Славнов. ТМФ. 1996. Т. 106. № 2. С. 264–272.
- [2] D. Hone, M. A. B. Whitaker. Phys. Rep. 1992. V. 210. P. 223–317.
- [3] И. фон Нейман. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964.
- [4] Д. А. Славнов. Вестник МГУ. Сер.3. Физика. Астрономия. 1996. Т. 37. № 4. С. 30–35.
- [5] Л. А. Халфин. ДАН СССР. 1957. Т. 115. С. 277.
- [6] Л. А. Халфин. УФН. 1990. Т. 160. Вып. 10. С. 185–188.
- [7] B. Misra, E. C. G. Sudarshan. J. Math. Phys. 1977. V. 18. P. 756.
- [8] W. H. Itano, D. J. Heinzen, J. J. Bollinger, D. J. Wineland. Phys. Rev. A. 1990. V. 41. P. 2295–2300.
- [9] L. E. Ballentine. Phys. Rev. A. 1991. V. 43. P. 5156–5167.
- [10] T. Petrosky, S. Tasaki, I. Prigogin. Phys. Lett. A. 1990. V. 151. P. 109–113.
- [11] M. Namiki, S. Pascazio. Phys. Rep. 1993. V. 232. P. 301–393.

Поступила в редакцию 19.II.1996 г.,
после доработки 3.X.1996 г.

D. A. Slavnov

**PARTON VERSION OF THE QUANTUM
MODEL WITH MEMORY AND ZENO EFFECT**

Parton version of the model with memory for description quantum objects is suggested. It is proposed that the quantum objects consist of valent and sea subpartons, bearers of the corpuscular and wave properties, respectively. The subpartons are similar but not identical to partons of quantum chromodynamics. Interpretation of the quantum Zeno effect is presented in framework of the model. It is shown that specific (nonvalent) interaction between quantum atom system and the classical fields causes the effect. This interaction destroys coherence of sea subpartons which localize on different energy levels in the atom. It is possible to consider as physical cause of wave-function collapse.