###### ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

###### ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

###### КЕМЕРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

###### Математический факультет

РЕФЕРАТ

"Современные проблемы квантовой механики"

студента 5 курса

Ткаченко Ивана Сергеевича

Специальность 010501 – "Прикладная математика и информатика"

Кемерово 2010

**ВВЕДЕНИЕ**

В истории развития физики было немало революций, кардинально изменявших научную парадигму и взгляды ученых на методы познания и устройство мира. Однако то, что произошло с естествознанием в первой четверти XX века, не было очередной сменой основных законов. Если раньше все в окружающем нас мире было предсказуемо, то с появлением квантовой механики он стал случайным. Мы постараемся разобраться, как же повлияла квантовая механика на дальнейшее развитие науки. Рассмотрим основные аспекты и главные проблемы квантовой механики, которые имеют место быть в настоящее время.

**ПРЕДМЕТ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

Квантовая механика - теория, устанавливающая способ описания и законы движения микрочастиц (элементарных частиц, атомов, молекул, атомных ядер) и их систем (например, кристаллов), а также связь величин, характеризующих частицы и системы, с физическими величинами, непосредственно измеряемыми в макроскопических опытах.

Законы квантовой механики составляют фундамент изучения строения вещества. Они позволили выяснить строение атомов, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов, понять строение ядер атомных, изучать свойства элементарных частиц. Поскольку свойства макроскопических тел определяются движением и взаимодействием частиц, из которых они состоят, законы квантовой механики лежат в основе понимания большинства макроскопических явлений. Квантовая механика позволила, например, объяснить температурную зависимость и вычислить величину теплоёмкости газов и твёрдых тел, определить строение и понять многие свойства твёрдых тел (металлов, диэлектриков, полупроводников). Только на основе квантовой механики удалось последовательно объяснить такие явления, как ферромагнетизм, сверхтекучесть, сверхпроводимость, понять природу таких астрофизических объектов, как белые карлики, нейтронные звёзды, выяснить механизм протекания термоядерных реакций в Солнце и звёздах. Существуют также явления, в которых законы квантовой механики непосредственно проявляются в поведении макроскопических объектов.

Ряд крупнейших технических достижений 20 в. основан по существу на специфических законах квантовой механики. Так, квантово-механические законы лежат в основе работы ядерных реакторов, обусловливают возможность осуществления в земных условиях термоядерных реакций, проявляются в ряде явлений в металлах и полупроводниках, используемых в новейшей технике, и т.д. Фундамент такой бурно развивающейся области физики, как квантовая электроника, составляет квантово-механическая теория излучения. Законы квантовой механики используются при целенаправленном поиске и создании новых материалов (особенно магнитных, полупроводниковых и сверхпроводящих). Таким образом, квантовая механика становится в значительной мере "инженерной" наукой, знание которой необходимо не только физикам-исследователям, но и инженерам.

**ИСТОРИЯ**

Квантовая теория родилась в 1901 г., когда Макс Планк предложил теоретический вывод о соотношении между температурой тела и испускаемым этим телом излучением, вывод, который долгое время ускользал от других ученых. Как и его предшественники, Планк предположил, что излучение испускают атомные осцилляторы, но при этом считал, что энергия осцилляторов (и, следовательно, испускаемого ими излучения) существует в виде небольших дискретных порций, которые Эйнштейн назвал квантами. Энергия каждого кванта пропорциональна частоте излучения. Хотя выведенная Планком формула вызвала всеобщее восхищение, принятые им допущения оставались непонятными некоторое время, так как противоречили классической физике. В 1905 г. Альберт Эйнштейн воспользовался квантовой теорией для объяснения некоторых аспектов фотоэлектрического эффекта - испускания электронов поверхностью металла, на которую падает ультрафиолетовое излучение. Попутно Эйнштейн отметил кажущийся парадокс: свет, о котором на протяжении долгого времени было известно, что он распространяется как непрерывные волны, при поглощении и излучении проявляет дискретные свойства.

Примерно через восемь лет Нильс Бор распространил квантовую теорию на атом и объяснил частоты волн, испускаемых атомами, возбужденными в пламени или в электрическом разряде. Эрнест Резерфорд показал, что масса атома почти целиком сосредоточена в центральном ядре, несущем положительный электрический заряд и окруженном на сравнительно больших расстояниях электронами, несущими отрицательный заряд, вследствие чего атом в целом электрически нейтрален.

Бор предположил, что электроны могут находиться только на определенных дискретных орбитах, соответствующих различным энергетическим уровням, и что "перескок" электрона с одной орбиты на другую, с меньшей энергией, сопровождается испусканием фотона, энергия которого равна разности энергий двух орбит. Частота, по теории Планка, пропорциональна энергии фотона. Таким образом, модель атома Бора установила связь между различными линиями спектров, характерными для испускающего излучение вещества, и атомной структурой. Несмотря на первоначальный успех, модель атома Бора вскоре потребовала модификаций, чтобы избавиться от расхождений между теорией и экспериментом. Кроме того, квантовая теория на той стадии ещё не давала систематической процедуры решения многих квантовых задач. Однако стало ясно, что классическая физика неспособна объяснить тот факт, что движущийся с ускорением электрон не падает на ядро, теряя энергию при излучении эл.-м. волн.

Новая существенная особенность квантовой теории проявилась в 1924 г., когда Луи де Бройль выдвинул радикальную гипотезу о волновом характере материи: если электромагнитные волны, например свет, иногда ведут себя как частицы (что показал Эйнштейн), то частицы, например электрон при определенных обстоятельствах, могут вести себя как волны. Таким образом в микромире стёрлась граница между классическими частицами и классическими волнами. В формулировке де Бройля частота, соответствующая частице, связана с её энергией, как в случае фотона (частицы света), но предложенное де Бройлем математическое выражение было эквивалентным соотношением между длиной волны, массой частицы и её скоростью (импульсом). Существование электронных волн было экспериментально доказано в 1927 г. Клинтоном Дж. Дэвиссоном и Лестером Х. Джермером в Соединенных Штатах и Джорджем Паджетом Томсоном в Англии.

В свою очередь это открытие привело к созданию в 1933 г. Эрнстом Руской электронного микроскопа. Под впечатлением от комментариев Эйнштейна по поводу идей де Бройля Эрвин Шрёдингер предпринял попытку применить волновое описание электронов к построению последовательной квантовой теории, не связанной с неадекватной моделью атома Бора. В известном смысле он намеревался сблизить квантовую теорию с классической физикой, которая накопила немало примеров математического описания волн. Первая попытка, предпринятая им в 1925 г., закончилась неудачей. Скорости электронов в теории Шрёдингера были близки к скорости света, что требовало включения в неё специальной теории относительности Эйнштейна и учета предсказываемого ею значительного увеличения массы электрона при очень больших скоростях.

Одной из причин постигшей Шрёдингера неудачи было то, что он не учел наличия специфического свойства электрона, известного ныне под названием спина (вращение электрона вокруг собственной оси наподобие волчка, однако такое сравнение не совсем корректно), о котором в то время было мало известно. Следующую попытку Шрёдингер предпринял в 1926 г. Скорости электронов на этот раз были выбраны им настолько малыми, что необходимость в привлечении теории относительности отпадала сама собой. Вторая попытка увенчалась выводом волнового уравнения Шрёдингера, дающего математическое описание материи в терминах волновой функции. Шрёдингер назвал свою теорию волновой механикой. Решения волнового уравнения находились в согласии с экспериментальными наблюдениями и оказали глубокое влияние на последующее развитие квантовой теории. В настоящее время волновая функция лежит в основе квантовомеханического описания микросистем, подобно уравнениям Гамильтона в классической механике.

Незадолго до того Вернер Гейзенберг, Макс Борн и Паскуаль Иордан опубликовали другой вариант квантовой теории, получивший название матричной механики, которая описывала квантовые явления с помощью таблиц наблюдаемых величин. Эти таблицы представляют собой определенным образом упорядоченные математические множества, называемые матрицами, над которыми по известным правилам можно производить различные математические операции. Матричная механика также позволяла достичь согласия с наблюдаемыми экспериментальными данными, но в отличие от волновой механики не содержала никаких конкретных ссылок на пространственные координаты или время. Гейзенберг особенно настаивал на отказе от каких-либо простых наглядных представлений или моделей в пользу только таких свойств, которые могли быть определены из эксперимента, так как по его соображениям микромир имеет принципиально иное устройство, чем макромир в виду особой роли постоянной Планка, несущественной в мире больших величин.

Шрёдингер показал, что волновая механика и матричная механика математически эквивалентны. Известные ныне под общим названием квантовой механики, эти две теории дали долгожданную общую основу описания квантовых явлений. Многие физики отдавали предпочтение волновой механике, поскольку её математический аппарат был им более знаком, а её понятия казались более "физическими"; операции же над матрицами - более громоздкими.

Вскоре после того, как Гейзенберг и Шрёдингер разработали квантовую механику, Поль Дирак предложил более общую теорию, в которой элементы специальной теории относительности Эйнштейна сочетались с волновым уравнением. Уравнение Дирака применимо к частицам, движущимся с произвольными скоростями. Спин и магнитные свойства электрона следовали из теории Дирака без каких бы то ни было дополнительных предположений. Кроме того, теория Дирака предсказывала существование античастиц, таких, как позитрон и антипротон, - двойников частиц с противоположными по знаку электрическими зарядами.

**КВАНТОВЫЕ ПОРЦИИ**

Одной из первых проблем, для решения которой понадобилось введение кванта энергии, было рассмотрение сосуществования частиц и полей и построение теории теплового излучения. Это излучение можно почувствовать не только под ярким летним солнцем, но и поднеся руку к обычной лампочке или горячему утюгу. Однако попытки объяснить такие обыденные явления в рамках классической теории оказались несостоятельными.

В 1900 году Джон Рэлей и Джеймс Джинс, используя классическую теорию, рассмотрели нагретое тело, в котором электромагнитное поле (волны) находилось в тепловом равновесии с частицами. Оказалось, что в этом случае поле забирает у частиц всю их энергию. Тем самым классическая теория приводила к бессмысленному результату: нагретое тело, непрерывно теряя энергию из-за излучения волн, должно охладиться до абсолютного нуля. Этот физически абсурдный результат получил название "ультрафиолетовой катастрофы". В действительности ничего подобного, естественно, не происходит. Наблюдения показали, что на высоких частотах энергия излучения не возрастает бесконечно, а убывает до нуля. Максимальное излучение при фиксированной температуре приходится на определенную частоту или цвет. Примерами этого могут служить красный цвет раскаленной кочерги (температура около 1 000 К) или желто-белый цвет Солнца (около 6 000 К).

Частный, казалось бы, вопрос об излучении электромагнитных волн нагретыми телами приобрел принципиальное значение. Классическая теория приводила к результатам, резко противоречащим опыту. В 1900 году, чтобы добиться согласования теории с опытом, Максу Планку пришлось отступить от классического подхода лишь в одном пункте. Он использовал гипотезу, согласно которой излучение электромагнитного поля может происходить только отдельными порциями - квантами. Принятая Планком гипотеза противоречила классической физике, однако построенная им теория теплового излучения превосходно согласовывалась с экспериментом.

**ЭФФЕКТ КОМПТОНА**

Вещество может не только излучать, но и поглощать электромагнитные волны. Процесс поглощения, исходя из классических представлений, также оказался не совсем понятным. В начале прошлого века уже умели изготавливать электровакуумные лампы и знали, что при освещении катода светом такой лампы происходит испускание электронов. Это явление назвали внешним фотоэффектом. Все попытки описать его на основе классической теории, в которой свет рассматривался как электромагнитная волна, оказались безрезультатными. Не удавалось объяснить основное свойство фотоэффекта - тот факт, что энергия вылетающих электронов определяется только частотой падающего света и не зависит от его интенсивности.

В 1905 году, через 5 лет после опубликования работы Макса Планка, для объяснения фотоэффекта была применена гипотеза квантов. Из того, что свет, как показал Планк, излучается порциями (квантами), еще не следует дискретная (порционная) структура самого света. Альберт Эйнштейн предположил, что дискретность (разделенность на порции) излучения должна проявляться не только при излучении, но и при поглощении и распространении электромагнитных волн.

Под напором экспериментальных фактов ученые были вынуждены ввести представление о свете как о потоке частиц. Однако еще в начале ХIХ века Томас Юнг экспериментально доказал волновую природу света, а в конце XIX века Джеймс Максвелл теоретически обосновал, что свет представляет собой волны, то есть колебания электромагнитного поля. Каким же образом свет может быть одновременно и частицами, и волнами? Ведь и частица, и волна представляются совершенно не похожими друг на друга. Тем не менее одни экспериментальные факты явно указывают на то, что свет - это поток частиц, а другие на то, что свет - это волны. Возникло логическое противоречие: для объяснения одних явлений свет необходимо было описывать как волны, а для объяснения других - как частицы.

Таким образом, выяснилось, что представления о "частице" и "волне" лишь в какой-то степени отражают реальность. Открытие двойственности (дуализма) свойств света в период формирования новой физики имело огромное значение. Именно попытки объяснить этот дуализм и породили современную квантовую теорию.

Окончательное доказательство существования квантов света было получено в 1922 году американским физиком Артуром Комптоном. Его эксперимент показал, что рассеяние света свободными электронами происходит по законам упругого столкновения двух частиц - фотона и электрона. Теперь это явление называется эффектом Комптона.

**НЕУСТОЙЧИВЫЙ АТОМ**

Про то, что существуют минимальные, далее неделимые, частицы материи, говорили еще древние греки. К концу XIX века уже почти никто из ученых не сомневался в реальности атомов, но было непонятно, как они устроены и из чего состоят. Существовало много разных гипотез, но только в 1911 году, после опытов английского физика Эрнеста Резерфорда по обстрелу атомов золота а-частицами, родилась планетарная модель атома. Согласно этой модели в центре атома, подобно маленькому солнцу, располагалось ядро. Вокруг ядра, сходно планетам, обращались электроны, удерживаемые электромагнитными силами. Планетарная модель позволила объяснить результаты опытов, но оставался непонятным факт существования атома. Согласно классической теории электрон, вращающийся в атоме, должен излучать электромагнитные волны. Излучение сопровождается потерей энергии. Теряя энергию, электрон должен в конце концов упасть на ядро, а атом - прекратить свое существование.

Выход из этого "тупика" был предложен в 1913 году датским физиком Нильсом Бором. В своей модели Бор рассматривал электроны как классические частицы, движущиеся вокруг маленького массивного ядра под влиянием электрического поля. Однако вопреки законам классической физики Бор предположил существование в атоме стационарных (не меняющихся во времени) состояний, каждому из которых соответствует определенная энергия. В стационарных состояниях электрон не излучает. Излучение и поглощение света происходят лишь в том случае, когда атом переходит из одного состояния в другое.

**ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ БРОЙЛЯ**

Сначала только свету приписывалось такое странное свойство - быть одновременно и волной, и частицей. Вещество же рассматривалось как система обычных точечных частиц. В 1923 году Луи де Бройль выдвинул гипотезу об универсальности дуализма волна-частица. Согласно этому предположению не только фотоны, но и электроны, а также любые другие частицы обладают волновыми свойствами. И это касается как микроскопически малых атомов и молекул, так и любых других окружающих нас макроскопических объектов.

Основным признаком волн является их способность интерферировать, то есть складываться и вычитаться. Другими словами, если вещество обладает волновыми свойствами, то для него должны наблюдаться явления дифракции (огибание волнами встречающихся на пути препятствий) и интерференции (сложения и вычитания волн).

Прямое экспериментальное доказательство того, что электроны могут дифрагировать и интерферировать, было получено в 1927 году в опытах Клинтона Дэвиссона и Лестера Джемера, а также, независимо от них, в экспериментах Джорджа Томсона. В настоящее время экспериментаторы наблюдают интерференцию и других частиц, вплоть до молекул. Так, в 2003 году в Институте экспериментальной физики Венского университета была впервые обнаружена квантовая интерференция органических молекул биологического происхождения C4444H3 0N4, содержащих 44 атома углерода, 30 атомов водорода и 4 атома азота. В связи с этими экспериментами возникает вопрос: возможна ли квантовая интерференция живых существ?

После выдвижения де Бройлем гипотезы об универсальности дуализма волна-частица и экспериментального подтверждения наличия у частиц вещества волновых свойств возникли новые принципиальные проблемы. Стало необходимым совместить волновую природу частиц с привычными представлениями о размещении (локализации) частиц в пространстве.

**Соотношение неопределённостей Гейзенберга**

Принцип неопределённости Гейзенберга - в квантовой физике так называют закон, который устанавливает ограничение на точность (почти)одновременного измерения переменных состояния, например, положения и импульса частицы. Кроме того, он точно определяет меру неопределённости, давая нижний (ненулевой) предел для произведения дисперсий измерений.

Рассмотрим, например, серию следующих экспериментов: путём применения оператора, частица приводится в определённое чистое состояние, после чего выполняются два последовательных измерения. Первое определяет положение частицы, а второе, сразу после этого, её импульс. Предположим также, что процесс измерения (применения оператора) таков, что в каждом испытании первое измерение даёт то же самое значение, или по крайней мере набор значений с очень маленькой дисперсией dp около значения p. Тогда второе измерение даст распределение значений, дисперсия которого dq будет обратно пропорциональна dp.

В терминах квантовой механики, процедура применения оператора привела частицу в смешанное состояние с определённой координатой. Любое измерение импульса частицы обязательно приведёт к дисперсии значений при повторных измерениях. Кроме того, если после измерения импульса мы измерим координату, то тоже получим дисперсию значений.

В более общем смысле, соотношение неопределённости возникает между любыми переменными состояния, определяемыми некоммутирующими операторами. Это - один из краеугольных камней квантовой механики, который был открыт Вернером Гейзенбергом в 1927 г.

**КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ**

Корпускулярно-волновой дуализм - это теория о том, что любое вещество (электромагнитное излучение, физическое тело, атом и т.п.) представляется на микроуровне одновременно и как мельчайшие частицы (корпускулы), и как волны. В частности, свет - это и корпускулы (фотоны), и электромагнитные волны.

Французский ученый Луи де Бройль (1892-1987) осознавая существующую в природе симметрию и развивая представления о двойственной корпускулярно-волновой природе света, выдвинул в 1923 г. гипотезу об универсальности корпускулярно-волнового дуализма. Он утверждал, что не только фотоны, но и электроны и любые другие частицы материи наряду с корпускулярными обладают также волновыми свойствами. Согласно де Бролю, с каждым микрообъектом связываются, с одной стороны, корпускулярные характеристики - энергия E и импульс p, а с другой стороны - волновые характеристики - частота и длина волны.

Так как дифракционная картина исследовалась для потока электронов, то необходимо было доказать, что волновые свойства присущи каждому электрону в отдельности. Это удалось экспериментально подтвердить в 1948 г. советскому физику В. А. Фабриканту. Он показал, что даже в случае столь слабого электронного пучка, когда каждый электрон проходит через прибор независимо от других, возникающая при длительной экспозиции дифракционная картина не отличается от дифракционных картин, получаемых при короткой экспозиции для потоков электронов в десятки миллионов раз более интенсивных.

Современная трактовка корпускулярно-волнового дуализма может быть выражена словами физика В. А. Фока (1898-1974): "Можно сказать, что для атомного объекта существует потенциальная возможность проявлять себя, в зависимости от внешних условий, либо как волна, либо как частица, либо промежуточным образом. Именно в этой потенциальной возможности различных проявлений свойств, присущих микрообъекту, и состоит дуализм волна - частица. Всякое иное, более буквальное, понимание этого дуализма в виде какой-нибудь модели неправильно".

**КОМБИНАЦИИ С КОТОМ**

Одной из основ квантовой механики является так называемый принцип суперпозиции (наложения). Согласно этому принципу если есть несколько состояний, отвечающих различным волновым функциям, то существуют состояния, описываемые линейными комбинациями этих функций.

Рассмотрим умозрительный эксперимент с так называемым "котом Шредингера", проясняющий принцип суперпозиции. Кота помещают в коробку. В ней, кроме кота, находится капсула с ядовитым газом (или бомба), которая может взорваться с 50-процентной вероятностью благодаря радиоактивному распаду атома плутония или случайно залетевшему кванту света. Через некоторое время коробка открывается и выясняется, жив кот или нет. До тех пор пока коробка не открыта (не произведено измерение), кот пребывает в суперпозиции двух состояний: "живой" и "мертвый". Описывая с помощью волновых функций всю систему (коробку), включая кота, Эрвин Шредингер в 1935 году пришел к парадоксальному выводу. Состоял он в том, что наряду с состояниями, отвечающими живому или мертвому коту, согласно квантовой механике, существует и суперпозиция этих состояний. Другими словами, должно существовать состояние, когда кот "ни жив, ни мертв" (или жив и мертв одновременно). Применительно к окружающим нас объектам такая ситуация выглядит странновато. Однако для элементарных частиц нахождение одновременно в двух, казалось бы, взаимоисключающих состояниях совершенно естественно.

Недавно группа Джонатана Фридмана из Нью-Йоркского университета получила одно из доказательств того, что законам квантовой теории подвластны не только элементарные частицы, но и макроскопические объекты. Ученые показали, что примерно так же, как кот Шредингера, может вести себя электрический ток в сверхпроводящем кольце. Исследователи добились такого состояния сверхпроводящего кольца, при котором ток по нему тек одновременно и по часовой, и против часовой стрелки.

Одним из важнейших понятий квантовой теории поля является представление о вакууме. Физический вакуум не пустое место. Если полю, находящемуся в вакуумном состоянии, сообщить достаточную энергию, то происходит его возбуждение и рождение частиц - квантов этого поля.

**СВЕРХТЕКУЧЕСТЬ**

Сверхтекучесть - термодинамическая фаза квантовой жидкости, при котором она протекает через узкие щели и капилляры без трения. До недавнего времени сверхтекучесть была известна только у жидкого гелия, однако в последние годы сверхтекучесть была обнаружена и в других системах: в разреженных атомных бозе-конденсатах, твёрдом гелии. Сверхтекучесть объясняется следующим образом. Поскольку атомы гелия являются бозонами, квантовая механика допускает нахождение в одном состоянии произвольного числа частиц. Вблизи абсолютного нуля температур, все атомы гелия оказываются в наинизшем энергетическом состоянии. Поскольку энергия состояний дискретна, то атом не может получить любую энергию, а только такую, которая равна энергетическому зазору между соседними уровнями энергии. Но при низкой температуре энергия столкновений может оказаться меньше этой величины, в результате чего рассеяния энергии попросту не будет происходить. Жидкость будет течь без трения.

В рамках двухжидкостной модели, гелий-II представляет собой смесь двух взаимопроникающих жидкостей: сверхтекучей и нормальной компонент. Сверхтекучая компонента представляет собой собственно жидкий гелий, находящийся в квантово-коррелированном состоянии, аналогичным состоянию бозе-конденсата (однако, в отличие от конденсата разреженных паров атомов, гелий находится в режиме сильной связи). Эта компонента движется без трения, обладает нулевой температурой и не участвует в переносе энергии в форме теплоты. Нормальная компонента представляет собой газ квазичастиц двух типов: фононов и ротонов, т. е. элементарных возбуждений квантовокоррелированной жидкости; она движется с трением и участвует в переносе энергии.

При нулевой температуре в гелии отсутствует свободная энергия, которую можно было бы потратить на рождение квазичастиц, и поэтому гелий находится полностью в сверхтекучем состоянии. При повышении температуры плотность газа квазичастиц (прежде всего, фононов) растёт, и доля сверхтекучей компоненты падает. Вблизи температуры лямбда-точки концентрация квазичастиц становится столь велика, что они образуют уже не газ, а жидкость квазичастиц, и наконец при превышении температуры лямбда-точки макроскопическая квантовая когерентность теряется, и сверхтекучая компонента пропадает вовсе. Относительная доля нормальной компоненты показана на Рис.1.

При протекании гелия сквозь щели с малой скоростью, сверхтекучая компонента, по определению, обтекает все препятствия без потери импульса, т. е. без трения. Трение могло бы возникнуть, если бы какой-либо выступ щели порождал бы квазичастицы, уносящие в разные стороны импульс жидкости. Однако такое явление при малых скоростях течения энергетически невыгодно, и только при превышении критической скорости течения начинают генерироваться ротоны.

Эта модель, во-первых, хорошо объясняет разнообразные термомеханические, светомеханические и т. п. явления, наблюдающиеся в гелии-II, в во-вторых прочно базируется на квантовой механике.

**СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ**

Свойство сверхпроводимости проявляется у некоторых материалов как резкое падение удельного сопротивления вплоть до нуля при температуре ниже определённого значения. Ныне известно свыше 500 чистых элементов и сплавов, обнаруживающих свойство сверхпроводимости. Температурный интервал перехода в сверхпроводящее состояние для чистых образцов не превышает тысячных долей градуса, и поэтому имеет смысл определённое значение Тс - температура перехода в сверхпроводящее состояние. Ширина интервала перехода зависит от неоднородности металла, в первую очередь - от наличия примесей и внутренних напряжений. Известные ныне температуры Тс изменяются в пределах от 0.0005 K (Mg) до 23,2 К (Nb3Ge, в плёнке) и 39 К у диборида магния (MgB2). По состоянию на октябрь 2007, наивысшая температура, при которой наблюдалась сверхпроводимость Tc=138К (-135 °C) для керамического материала состоящего из таллия, ртути, меди, бария, кальция, стронция, и кислорода. Изотопический эффект у сверхпроводников заключается в том, что температуры Тс обратно пропорциональны квадратным корням из атомных масс изотопов одного и того же сверхпроводящего металла.

**КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ЗЕНОНА**

Квантовый эффект Зенона (Квантовый парадокс Зенона) - метрологический парадокс квантовой механики, заключающийся в том, что время распада метастабильного квантового состояния некоторой системы с дискретным энергетическим спектром прямо зависит от частоты событий измерения её состояния. В предельном случае, нестабильная частица в условиях непрерывного наблюдения за ней никогда не может распасться.

Впервые предсказан в 1958 году советским физиком Леонидом Халфиным[1], в 1978 году американские физики Байдьянат Мизра и Джордж Сударшан описали эффект, назвав его именем древнегреческого мыслителя Зенона Элейского. Квантовый эффект Зенона для вероятности переходов между атомными уровнями был экспериментально обнаружен американскими учёными в конце 1989 года. Название эффекта восходит к апории греческого философа Зенона о полёте стрелы.

**Эффект запутывания и ЭПР-парадокс**

В процессе становления квантовой картины мира большую роль сыграли не только реальные данные, но и умозрительные эксперименты. Согласно предложенному в 1935 году Эйнштейном, Подольским и Розеном опыту, проводя наблюдения за одной из двух взаимодействовавших частиц, экспериментатор мгновенно изменяет параметры другой, уже далеко отлетевшей частицы. Получается, что квантовая система в процессе разделения сохраняет некую связь (эффект запутывания). Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена, или ЭПР, связан с принципиальной "квантовой нелокальностью".

Окончательное разрешение этого "парадокса" произошло только в 1964 году, когда Джон Белл рассмотрел пару запутанных квантовых частиц, бывших в контакте, а затем удалившихся друг от друга так, что их взаимовлияние стало невозможно. Он показал, что эти частицы проявляют себя столь взаимосогласованно, что это явление не может быть объяснено с точки зрения классической теории. Эксперименты с фотонами и другими частицами многократно показали наличие этой согласованности, тем самым подтвердив правильность квантовой механики и нелокальность пси-функции для системы из нескольких частиц.

**ТЕЛЕПОРТАЦИЯ**

Одним из важных выводов квантовой теории является теорема о неосуществимости копировании неизвестного квантового состояния. Согласно этой теореме невозможно, получив полную информацию о неизвестном квантовом объекте, создать второй, точно такой же, объект, не разрушив первый. Это утверждение, которое строго доказывается в квантовой механике, можно назвать парадоксом квантовых близнецов. Запрещая создание двойников, квантовая механика не запрещает создание точной копии с одновременным уничтожением оригинала - то есть телепортацию.

Слово "телепортация" совсем недавно перешло из фантастики в науку. Обычно полагают, что переместить какой-то объект или даже человека - значит переместить все частицы, из которых он состоит. Но поскольку элементарные частицы неотличимы друг от друга, их можно не перемещать, а "собрать" телепортируемый объект из новых частиц на основе полученной информации. Следовательно, телепортация объекта есть считывание квантового состояния частиц и воссоздание этого состояния на удаленном расстоянии. Правда, согласно квантовой механике, как только будет считана вся нужная информация, объект исчезнет и снова появится на свет только после квантовой сборки.

Современному научному значению слова "телепортация" соответствует следующая процедура: объект дезинтегрируется (разрушается его квантовое состояние) в одном месте, а в другом месте возникает его совершенная копия. Причем объект или его полное описание в ходе телепортации никогда не находится между этими двумя местами. Обратите внимание, что "дезинтеграция" квантового состояния является необходимым условием согласно теореме о запрете на клонирование.

В силу принципа неопределенности, чем больше получено информации о некоем объекте, тем больше искажений вносится в этот объект - и так до тех пор, пока исходное состояние не будет разрушено полностью. И даже полностью разрушив исследуемый объект, мы все равно не получим полной картины его исходного квантового состояния. Это звучит как возражение против телепортации: если для создания точной копии из объекта невозможно извлечь достаточно информации, то точная копия не может быть создана. Однако шестеро ученых из группы Чарлза Беннета, нашли возможность обойти это затруднение, используя знаменитый ЭПР-эффект.

**ПРАКТИКА ТЕЛЕПОРТАЦИИ**

Вопрос о квантовой телепортации впервые был поставлен в 1993 году группой Чарлза Беннета, которая, используя запутанные состояния, показала, что при присоединении третьей частицы к одной из запутанных частиц можно передавать ее свойства другой удаленной частице. Экспериментальная реализация ЭПР-канала была осуществлена в работах двух групп исследователей - австрийской, из Университета в Инсбруке, возглавляемой Антоном Цойлингером, и итальянской, из Университета в Риме под руководством Франческо Де Мартини. Опыты группы Цойлингера и де Мартини доказали выполнимость принципов ЭПР на практике при передаче по оптическим кабелям состояний поляризации между двумя фотонами посредством третьего на расстоянии до 10 км.

Достигнув успехов в телепортации фотонов, экспериментаторы уже планируют работы с другими частицами - электронами, атомами и даже ионами. Это позволит передавать квантовое состояние от короткоживущей частицы к более долгоживущей. Таким способом можно будет создавать запоминающие устройства, где информация, принесенная фотонами, хранилась бы на ионах, изолированных от окружающей среды. Телепортация может обеспечить надежную передачу и хранение данных на фоне мощных помех, когда все другие способы оказываются неэффективными. Возможно, в будущем сети квантовой телепортации получат такое же распространение, как современные телекоммуникационные сети.

Квантовая механика описывает элементарные частицы, движущиеся со скоростями, много меньшими скорости света. Квантовая теория поля описывает процессы с участием частиц, движущихся со скоростями, близкими к скорости света. И то, и другое в совокупности составляет квантовую теорию, описывающую движение, взаимодействие, рождение и уничтожение элементарных частиц.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Несмотря на совершенно новый взгляд на многие природные явления, квантовую механику никак нельзя расценивать как полное опровержение классической физики. Последняя может рассматриваться как предельный случай квантовой механики или как первое и очень грубое приближение к ней. Как подчеркивал Поль Дирак, соответствие между квантовой и классической теориями состоит не только в их предельном согласии. Соответствие заключается прежде всего в том, что математические операции двух теорий во многих случаях подчиняются одним и тем же законам и описываются одной математической структурой. Отличия заключаются лишь в представлении (реализации) этих структур конкретными математическими объектами.

Сегодня физики твердо верят в то, что наш мир един и познаваем. Все разнообразие природных явлений просто обязано описываться в рамках некоего единого универсального подхода. Другое дело, что человек пока еще не до конца сумел понять глубинную сущность законов природы и пределы познаваемости мира.

Однако большинство физиков убеждены в том, что, если идти по пути, указанном квантовой механикой и квантовой теорией поля, будет открыт тот самый свод законов и правил, который и правит нашим удивительно красивым миром.