

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ ОБУЧАЮЩИХСЯ
«НАУКА, ТВОРЧЕСТВО, ДУХОВНОСТЬ»**

Направление: Физика

Тема: «Чеширский кот – сказка или квантовая физика?»

Соискатель: Задоров Кирилл Сергеевич

Научный руководитель: Зенко Анастасия Викторовна

Место выполнения работы: ГАПОУ МО «ПК «Энергия» г. Реутов

Аннотация

В данной исследовательской работе описывается такое явление, как Квантовый Чеширский кот, ставшей 10 лет назад сенсационной новостью в квантовом сообществе. Парадоксальный эффект заключается в отделении спина (вращательного момента) от частицы в момент прохождения.

С 1920 года учение о квантовой механике набирает большую популярность среди ученых-физиков. С каждым годом интерес к данному разделу науки растёт. Ученых волнует квантовая телепортация, электронные облака, загадка пространства и времени, Черные дыры и сингулярность, квантовый туннельный эффект. Поэтому новые исследования о микромире привносят возможные ответы и помогают в научных технологических разработках.

В 2024 году группа специалистов опубликовала свои исследования, которые опровергали теорию Квантового Чеширского кота. Данная тема вызывает дискуссии в научном мире, и каждая сторона пытается доказать свою правоту.

Результаты сравнительного анализа научных исследований показали, что у каждого учения есть свои достоинства и недостатки.

Эффект Чеширского Квантового кота имеет место быть, только не в том парадоксально-сенсационном виде. Потому что к самому эксперименту есть множество вопросов. Главными недостатками данной теории являются выборочность условий и последовательность экспериментов, что меняет состояние квантовой системы, тем самым подвергая сомнению полученный результат.

Наиболее яркое опровержение, представленное в январе 2024 года, показало, что Чеширский Квантовый кот имеет право на существование как пример контекстуальности, доказывая, что, изменяя измерение, мы меняем саму квантовую систему.

Самый главный аргумент в пользу квантового эффекта разделения частицы и её свойств в том, что данное учение хоть и не доказывает необычное свойство квантовых частиц, но мотивирует ученых и дальше изучать слабые измерения. Также, показанная в современных работах, контекстуальность данного явления поможет в будущем объяснить, почему измерение так легко меняет состояние квантовой системы

Квантовый кот – большое и долгое исследование группы ученых, которые не останавливаются на достигнутом. Хоть этот парадокс и не доказывает то, что хотел, но влечет за собой новые исследования и открытия, а также привлекает внимание людей к проблемам современной квантовой механики. Создание полноценного супермощного квантового компьютера не за горами, а для этого нам помогут знания, полученные при слабых измерениях.

Мир на пороге нового открытия и новых сенсаций из мира атомов.

Содержание

Введение.....	4
Глава 1. Теоретическая часть	5
1.1 Суть Чеширского Квантового кота	5
1.2 Понятия квантовой физики	6
Глава 2. Практическая часть.....	8
2.1 Теории опровержения	8
2.2 Сравнительный анализ теории Чеширского Квантового кота и опровержений.....	8
Заключение	10
Список использованных источников.....	11
Приложение 1.	12
Приложение 2	13
Приложение 3.	14
Приложение 4.	15
Приложение 5.	16

Введение

Трудно найти человека, кто бы не слышал о сказке Льюиса Кэрролла о девочке Алисе, которая путешествовала по волшебной стране. Алиса встретила много необычных обитателей Зазеркалья и одним из них был «Чеширский кот». Пушистый персонаж отличался не только мудростью, но и умением исчезать в самый неподходящий момент, оставляя лишь свою улыбку. Поэтому квантовое явление, при котором от объекта могут быть отделены его свойства назвали «Квантовым Чеширским котом» (англ. QuantumCheshireCat). Ученые из Великобритании и Израиля пришли к этому термину экспериментальным путём на примере нейтронов. Эксперимент был датирован 2014 годом и был воспроизведен в Гренобльском институте Лауэ-Ланжевена. В исследовании также приняли участие и ученые из Венского технологического университета.

Актуальность: С 1920 года учение о квантовой механике набирает большую популярность среди ученых-физиков. С каждым годом интерес к данному разделу науки растёт. Ученых волнует квантовая телепортация, электронные облака, загадка пространства и времени, Черные дыры и сингулярность, квантовый туннельный эффект. Поэтому новые исследования о микромире приносят возможные ответы и помогают в научных технологических разработках.

Проблема: В 2024 году группа специалистов опубликовала свои исследования, которые опровергали теорию Квантового Чеширского кота. Данная тема вызывает дискуссии в научном мире, и каждая сторона пытается доказать свою правоту.

Объект исследования: Квантовый Чеширский кот.

Предмет исследования: перемещение спина независимо от частицы.

Цель: исследовать парадоксальный квантовый эффект с возможностью его практического применения.

Задачи:

1. Раскрыть основные понятия и законы квантовой механики.
2. Проанализировать статьи по проблеме самостоятельного отделения спина от частицы.
3. Сравнить противоположные научные взгляды по выделенной проблематике.
4. Сделать вывод о влиянии эффекта Чеширского кота на современное состояние квантовой физики.

Гипотеза: Квантовый Чеширский кот имеет большое значение в современных учениях о микромире и дал толчок к новым исследованиям и использованию в практических целях.

Понятия: Квантовый Чеширский кот, спин, неопределенности Гейзенберга, квантовая механика, слабые измерения, корпускулярно-волновой дуализм, контекстуальность.

Глава 1. Теоретическая часть

1.1 Суть Чеширского Квантового кота

Квантовый Чеширский кот (QCC) — это эффект, недавно представленный в рамках концепции слабых измерений. Основная особенность эффекта QCC заключается в том, что свойство квантовой частицы кажется пространственно отделенным от ее положения. Статус этого эффекта, однако, оставался неясным, поскольку утверждения об экспериментальном наблюдении QCC были оспорены резкой критикой экспериментальных, а также теоретических аспектов эффекта [3, 1].

Прежде, чем перейти к экспериментальной установке, с помощью которой пронаблюдали рассматриваемый квантовый эффект, нужно прояснить, что есть слабое измерение.

Слабое измерение – это тип квантового измерения, в результате которого наблюдатель в среднем получает очень мало информации и о системе, но также очень мало нарушает состояние. [7, 9].

Согласно теореме Буша, измерение квантовой системы неизбежно сопровождается её возмущением, и мера возмущения системы описывается силой измерения. Щадящие измерения косвенно влияют на измеряемые величины, в результате чего получаем слабую выходную точность, но все равно можем косвенно судить о полученных данных.

Идеальная установка для наблюдения квантового эффекта отделения свойств от самой частицы (Приложение 1), которую описал Якир Ааронов и его коллегами [1, 3] состояла из следующих компонентов:

1. Полуволновая пластина (HWP);
2. Фазовращатель (PS);
3. Светоделитель (BS_2);
4. Поляризационный светоделитель (PBS_2);
5. Три фотодетектора (D_1, D_2, D_3).

Экспериментальная установка ни что иное, как модифицированный интерферометр Маха-Цендера, откалиброванный таким образом, что при отсутствии HWP и PS фотон, попадающий в BS_1 слева, обязательно выйдет из BS_2 справа (Приложение 2) [1, 3].

В будущем эксперименте между предварительной и последующей выборками в левую и правую части интерферометра предполагалось вставлять различные измерительные устройства.

Проанализировав статью, приходим к тому, что исследователей интересовало состояние фотона в двух состояниях до и постселекции.

Перейдем непосредственно к эксперименту, в котором использовались нейтроны с длиной волны 1,92 ангстрема. Для того, чтобы произвести слабые измерения, использовали нейтронный интерферометр. Пластина из монокристаллического кристалла кремния использовалась как зеркала, отражающие и преломляющие нейтроны своими кристаллическими плоскостями (Приложение 3) [8, б/с].

Суть эксперимента состоит в том, что на всем пути нейтрона встречаются катушки с магнитным полем ST_1, ST_2 и SRs , которые слабо влияют на спин частицы. Для определения одного из путей движения нейтрона устанавливаются полупрозрачные для частицы пластины ABS , что является первым экспериментом. Коэффициент пропускания пластины равен 0,79. Для второго

эксперимента, а именно измерения самого спина используют фазовую пластину (PS) и дополнительное магнитное поле внутри интерферометра, которое поворачивает спин на 20° . На выходе нейтрон поджидают два детектора: проверочный (H-Det), который нужен для контроля за интенсивностью нейтронного потока и сигнальный (O-Det), используемый для постселекции.

В ходе эксперимента слева подаются нейтроны, они проходят по двум путям внутри кремниевого интерферометра и анализируются двумя детекторами справа.

Результатом первого эксперимента является присутствие нейтрона только в левом плече, что является следствием слабого блокирования, производимого пластинкой. Во втором эксперименте спин идёт только по нижнему плечу из-за его поворота в магнитном поле. Поэтому выходит, что частица идёт по верхнему плечу, спин по нижнему, что регистрируется детекторами.

1.2 Понятия квантовой физики

Теперь, когда раскрыт эксперимент, его теоретическая идеальная установка, а также реальное измерение, необходимо обратиться к самой квантовой механике и её понятиям и законам.

Вскоре после 1920 года миру классической физики была представлена новая наука – «квантовая физика». Квантовая механика способна объяснить такое странное учение как корпускулярно-волновой дуализм, который утверждает, что свет может вести себя как частичка (корпускула) и как электромагнитная волна.

Эйнштейн со своим новым видением пространства и времени изменил привычную для всех картину трехмерного мира.

Доселе классические применяемые законы движения частиц оказались неверны. Механические законы «инерции» и силы, законы Ньютона – все они оказались непригодными в мире атомов. Было обнаружено, что поведение мельчайших телец ничем не напоминает поведения обычных больших тел [10, 46].

Квантовая механика утверждает, что частица не может двигаться со строго определенной скоростью в точно указанном месте, что противоречит классической механике.

Согласно принципу Гейзенберга, нельзя знать одновременно и быстроту движения частицы и точно определить мест, где она окажется. Этот факт объясняет почему электрон не падает на ядро, а также почему атомы кристалла продолжают слабо колебаться при охлаждении до абсолютного нуля. Полная остановка атомов дало бы нам знание о их скорости и месте, что противоречит принципу неопределенности.

В просторах микромира есть такой интересный факт, который говорит нам, что частица может одновременно находиться в разных местах. Такое странное утверждение можно объяснить на примере интерференции электрона, пролетающего одновременно сквозь две щели и образующего на экране интерференционную картину.

Электрон, который идет одновременно по двум разным путям, — это один из примеров суперпозиции состояний. По законам квантовой механики, если электрон может находиться в состоянии A или в состоянии B, то он может также существовать и в состоянии $A + B$, то есть и там, и там одновременно. Эти состояния A и B могут быть двумя путями в интерферометре, или двумя поляризациями фотона, или их скоррелированными комбинациями (в таком случае эти величины называются квантово-запутанными), или еще чем-то [8, б/с].

Принцип суперпозиции может объяснить ещё один кот, уже не Чеширский, а Шредингера. К счастью, этот эксперимент мысленный, а не реальный. Его суть в том, что в коробке находятся:

1. Кот;
2. Радиоактивный атом,
3. Детектор,
4. Колба с ядом;
5. Молоточек.

Есть два равнозначных исхода опыта:

1. Радиоактивный атом имеет шанс распасться за час;
2. Радиоактивный атом имеет шанс остаться стабильным.

Первый грустный исход приведет к гибели кота, второй – нет. В случае, если атом распадётся, сработает детектор, молоточек разобьет колбу с ядом, и кот погибнет. во втором ничего этого не произойдет, и зверь останется жив. Этот, весьма, странный опыт приводит нас к следующим умозаключениям – что, при закрытой коробке мы не знаем об исходе ситуации и возможны оба варианта, то есть кот и жив, и мертв одновременно.

Поэтому Суперпозиция характерна для частиц до процесса измерения. Объект находится во всех возможных состояниях, пока его не измерят. Выходит, что наблюдатель буквально влияет на состояние системы, "выбирая" одно из возможных состояний. В квантовом мире суперпозиция работает, в макромире с крупными объектами вроде кота она не проявляется.

И осталось понятие, которое упоминается в нашем эксперименте, которое является улыбкой Чеширского кота, живущая сама по себе – это спин.

Спин (обозначение s), в квантовой механике - собственный угловой момент, присущий некоторым элементарным частицам, атомам и ядрам. Спин может рассматриваться как вращение частицы вокруг своей оси. Спин является одним из квантовых чисел, посредством которых характеризуется частица[9, б/с].

Как уже было отмечено ранее, посредством электромагнитного воздействия могут распознаваться различные состояния частицы. Внешнее магнитное поле взаимодействует с тремя, пока еще не различимыми частицами, которые классифицируются на различные энергетические состояния в соответствии с их электрическими зарядами (Приложение 4).

Обозначения: А - три частицы выглядят одинаково при отсутствии внешнего магнитного поля; В - положительно заряженная частица допускает только одно энергетическое состояние вследствие взаимодействия ее заряда с внешним магнитным полем; С - нейтральная частица; D - отрицательно заряженная частица.

Глава 2. Практическая часть

2.1 Теории опровержения

Как и у любой научной теории, у нашего эксперимента с Чеширским котиком – нейтроном и его спином-улыбкой есть как сторонники, так и ярая оппозиция. Рассмотрим доводы несогласных с возможностью разделения частицы с её свойствами.

Как только, в 2013 году Якир Ааронов со своими оппонентами поведал научному миру о парадоксальном явлении, которое можно пронаблюдать с помощью слабых измерений, в сообществе квантовых физиков посыпались опровержения данной сенсации.

В основе критики лежит основополагающая идея о том, что требование отделения свойства от частицы абсурдно. Однако критика не всегда была тщательно сформулирована. В большинстве работ не проводилось четкого различия между первоначальным теоретическим предложением и нейтронной экспериментальной реализацией[1, 16].

В работах У. Стаки приводится аргумент, который критикует работу адептов слабых измерений, обнаруженные интенсивности при слабом значении спина равны все еще показывает влияние магнитного поля. Можно согласиться с выводом по интенсивностям. Но в данном опровержении не учитываются проводимые слабые измерения оставляющие системы нетронутыми после выбранных интенсивностей[6, б/с].

У Д. П. Атертона вместе с коллегами проведен оптический эксперимент с использованием интерферометра Маха-Цендера. Ученые с помощью установки, имитирующей нейтронный интерферометр, берут за основу поляризацию лучей и сравнивая интенсивности, полученные на одном из выходных портов, с поглотителем или без него или с поляризационной вращающейся пластиной, установленной на плечах I или II. Классические лучи в оптическом эксперименте не могут показать ценности квантовых наблюдений, потому что проходят через оба рукава[2, б/с].

И самое главное опровержение последовало в январе 2024 года от ученых университета Хиросимы, одним из которых был Джонте Р. Хэнс. в опубликованном исследовании, говорилось, что эти эксперименты на самом деле не демонстрируют расщепление частиц по их свойствам, а вместо этого демонстрируют другую нелогичную особенность квантовой механики — контекстуальность.

«Большинство людей знают, что квантовая механика — странная наука, но выявление причин этой странности до сих пор является активной областью исследований. Она постепенно формализуется в понятие, называемое контекстуальностью, — квантовые системы меняются в зависимости от того, какие измерения вы проводите» [5, б/с].

Если обратиться к параграфу 1.2 данной работы, то сказанное Джонте Хэнсом, можно объяснить тем, что частица в разных измерениях будет давать разные значения и при последовательном значении её состояние не сохраняется. а будет изменено.

2.2 Сравнительный анализ теории Чеширского Квантового кота и опровержений

Для того, чтобы можно было сделать выводы по изученному парадоксальному квантовому явлению, на основе данных параграфов 1.1 и 2.1, сделан сравнительный анализ полученной информации (Приложение 5.).

В качестве критериев выбраны следующие позиции для колонок:

1. Название работы;
2. Автор;
3. Год;
4. Идея;
5. Минусы.

Результаты сравнительного анализа показали, что у каждого учения есть свои достоинства и недостатки.

Эффект Чеширского Квантового кота имеет место быть, только не в том парадоксально-сенсационном виде. Потому что к самому эксперименту есть множество вопросов. Главными недостатками данной теории являются выборочность условий и последовательность экспериментов, что меняет состояние квантовой системы, тем самым подвергая сомнению полученный результат.

Наиболее яркое опровержение, представленное в январе 2024 года, показало, что Чеширский Квантовый кот имеет право на существование как пример контекстуальности, доказывая, что, изменяя измерение, мы меняем саму квантовую систему.

Самый главный аргумент в пользу квантового эффекта разделения частицы и её свойств в том, что данное учение хоть и не доказывает необычное свойство квантовых частиц, но мотивирует ученых и дальше изучать слабые измерения. Также, показанная в современных работах, контекстуальность данного явления поможет в будущем объяснить почему измерение так легко меняет состояние квантовой системы.

Заключение

Познакомившись с таким необычным явлением, как Чеширский квантовый кот, который существует на грани сказки и квантовой механики, рассмотрел процесс измерений обитателей микромира.

До сих пор исследованный лишь на малую долю процентов, квантовый мир, волнует умы как ученых, так и простых обывателей. Он кажется нереальным, а все учения о нем выдумкой. Но он есть и живет по своим законам.

Для достижения поставленной цели, а именно, исследования парадоксального квантового эффекта с возможностью его практического применения, я не только ознакомился с проблематикой отделения спина от частицы, но и углубил свои знания в области квантовой механики.

Квантовый кот – большое и долгое исследование группы ученых, которые не останавливаются на достигнутом. Хоть этот парадокс и не доказывает то, что хотел, но влечет за собой новые исследования и открытия, а также привлекает внимание людей к проблемам современной квантовой механики. Создание полноценного супермощного квантового компьютера не за горами. а для этого нам помогут знания, полученные при слабых измерениях.

Мир на пороге нового открытия и новых сенсаций из мира атомов.

Список использованных источников

1. Aharonov Y. Quantum Cheshire Cats / S. Popescu, D. Rohrlich, P. Skrzypczyk; - New Journal in Physics. - 15 – 2013 – 3 с. - статья находится в открытом доступе
2. Atherton D. P. Opt. Lett / G. Ranjit, A. A. Geraci, J. D. Weinstein. – 40. – 2015 – 6/с.
3. Duprey Q. The Quantum Cheshire Cat effect: Theoretical basis and observational implications / S. Kanjilal, U. Sinha, D. Home, A. Matzkin; - Annals of Physics. – 2017 – 1, 16 сс. - статья находится в открытом доступе
4. Hiroshima-university. Quantum Cheshire cat study finds particles can't separate from their properties after all / Phys.org - 2003 – 2024 – URL: <https://phys.org/news/2024-01-quantum-cheshire-cat-particles-properties.html> (дата обращения: 12.11.2024 г.)
5. Jonte R H. Contextuality, coherences, and quantum Cheshire cats / J. Ming, H. F Hofmann. - New J. Phys – 25 – 2023 – 6/с - статья находится в открытом доступе
6. Stuckey W. Int. J. Quantum Found / M. Silberstein, T. McDevitt. - 2, 17. – 2016 – 6/с
7. Todd A Brun. A simple model of quantum trajectories - Am. J. Phys - 70 (7)– 2002 – 9с - статья находится в открытом доступе
8. Иванов И. Эксперименты по наблюдению «квантового Чеширского Кота» не столь парадоксальны, как кажется на первый взгляд - «Элементы» - официальный сайт - 2005–2024 - URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/432299/Eksperimenty_po_nablyudeniyu_kvantovogo_Chesirskogo_Kota_ne_stol_paradoksalny_kak_kazhetsya_na_pervyy_vzglyad?ysclid=m3hn7nd9lk552270565 (дата обращения: 12.11.2024 г.)
9. Научно-технический энциклопедический словарь. Академик – официальный сайт - 2000-2024 - URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ntes/4495/СПИН> (дата обращения: 12.11.2024 г.)
10. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Лейтон, М. Сэндс; - М: Издательство «Мир». – 1976. – 46 с.

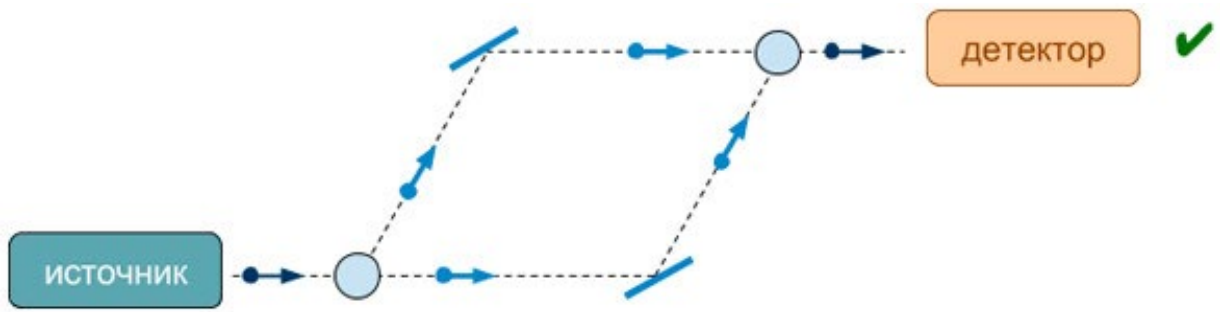


Рисунок 1. Схема движения частицы в интерферометре

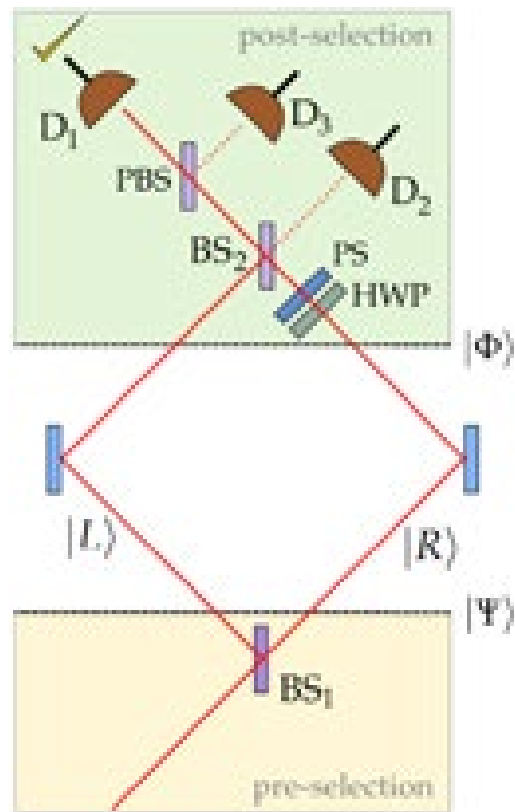


Рисунок 2. Схематическое изображение установки

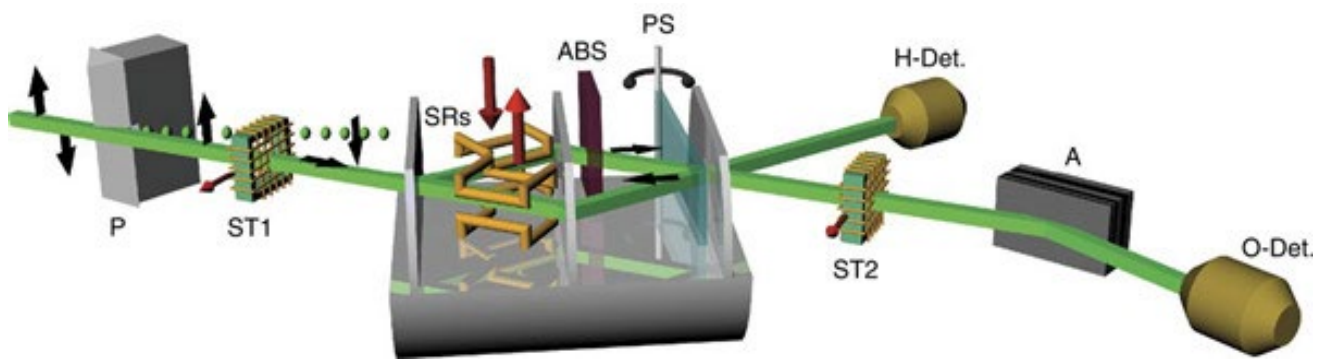


Рисунок 3. Общая схема реальной экспериментальной установки

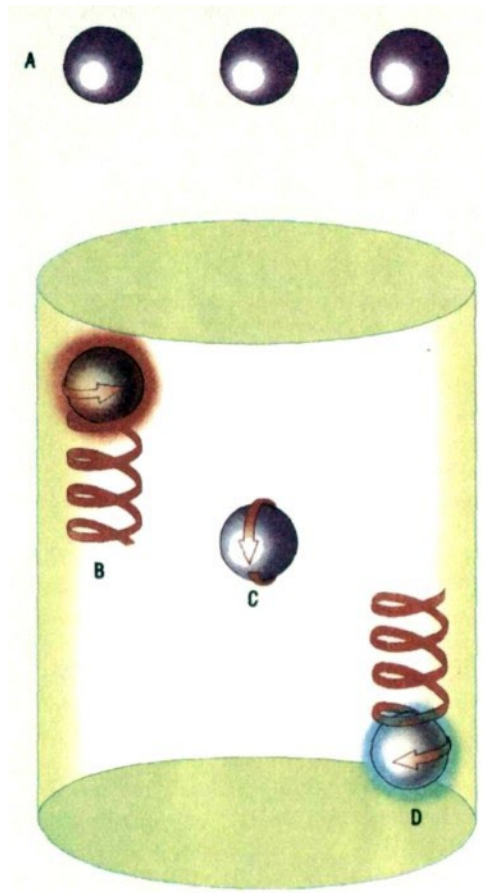


Рисунок 4. Три состояния частиц в зависимости от их заряда

Таблица 1. Сравнительный анализ квантовых теорий

Название работы	Автор	Год	Идея	Минусы
«Quantum Cheshire Cats»	Я. Ааронов и др.	2013 (теоретическое обоснование), 2014 (эксперимент)	Частица, проходя, через интерферометр расходится по разным путям со своим спином (вращательным свойством)	Разделение нейтрона с его спином проводится в два эксперимента. Изменяя условия измерения, меняется и состояние частицы, которая не может быть одной и той же с одинаковыми свойствами, согласно квантовой механике
Quantum Found	У. Стаки	2016	обнаруженные интенсивности при слабом значении спина равны все еще показывает влияние магнитного поля	не учитываются проводимые слабые измерения оставляющие системы нетронутыми после выбранных интенсивностей
Opt. Lett	Д. Атертон и др	2015	с помощью установки, имитирующей нейтронный интерферометр, берется за основу поляризация лучей и сравниваются интенсивности	Классические лучи в оптическом эксперименте не могут показать ценности квантовых наблюдений, потому что проходят через оба рукава
«Contextuality, coherences, and quantum	Д. Р. Хэнс и др.	2024 г.	эксперименты Ааронова, на самом деле, не	не отрицают пользы эксперимента

Cheshire cats»			демонстрируют расщепление частиц по их свойствам, а вместо этого демонстрируют другую нелогичную особенность квантовой механики — контекстуальность	Ааронова
----------------	--	--	---	----------