

УДК 165.5:575.1

Проблема наблюдателя

Т.В. Аветисян¹, А.В. Фирсов², А.П. Преображенский²✉

¹Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия

²Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

В физике эффектом наблюдателя называют теорию о том, что простое наблюдение явления неизбежно изменяет его. Часто это следствие несовершенства применяемых инструментов, которые по своему принципу работы изменяют состояние измеряемой величины. Наиболее необычным для нас является проявление эффекта наблюдателя в квантовой механике, что наблюдается, например, в эксперименте с двумя щелями. Даже пассивное наблюдение за квантовыми эффектами (с целью как будто «исключения» всех возможностей, кроме одной) может фактически изменить результат измерения. В работе обсуждаются проблемы наблюдателя на примере кота Шредингера и умного коня Ганса.

Ключевые слова: проблема наблюдателя, кот Шредингера, парадокс, интерференционная картина.

The observer's problem

T.V. Avetisyan¹, A.V. Firsov², A.P. Preobrazhenskiy²✉

¹College of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

²Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

In physics, the observer effect is the theory that simply observing a phenomenon inevitably changes it. This is often a consequence of the imperfection of the tools used, which, according to their principle of operation, change the state of the measured quantity. The most unusual for us is the manifestation of the observer effect in quantum mechanics, which is observed, for example, in the experiment with two slits. Even passive observation of quantum effects (with the aim of seemingly «eliminating» all possibilities except one) can actually change the measurement result. The paper discusses the problems of the observer on the example of Schrodinger's cat and Hans's smart horse.

Keywords: the observer's problem, Schrodinger's cat, paradox, interference pattern.

В физике, когда рассматривается и анализируется эффект наблюдателя, требуется учитывать то, что при простом наблюдении явления мы приходим к тому, что в нем произойдет изменение. Во многих случаях это связано с тем, что в используемом инструментарии будет несовершенство. При этом можно столкнуться с тем, что будет происходить изменение в состоянии измеряемой величины [1, 2].

В качестве примера можно указать случай, когда проверяется давление внутри автомобильных шин. Если подсоединяется манометр, тогда будет выходить небольшое количество воздуха. Помимо этого, важно учитывать то, что для прибора характерен некоторый объём. Если требуется осуществлять наблюдение за некоторым объектом, то необходимо осуществлять облучение его световыми потоками или другими частицами.

Эффект наблюдателя наиболее ярко проявляется в квантовой механике, если рассматривается эксперимент с двумя щелями.

В таком опыте осуществляется процесс разделения первоначальной волны на две, которые являются раздельными, после этого будет происходить их объединение в одну. Реализуется формирование интерференционной картины, поскольку происходит сдвиг фаз вследствие того, что изменяются длины пути по обеим волнам.

Проведение мысленного эксперимента с котом было предложено в 1935 году австрийским физиком-теоретиком Эрвином Шредингером.

Если про существование кота Шредингера известно достаточно большому количеству людей, то про существование умного коня Ганса известно не всем.

Данный конь прославился в Германии в начале 20-го века из-за своего так называемого «интеллекта», Ганс мог складывать, умножать, отвечать на разные вопросы, отвечал конь с помощью постукивая копытом.

Для проверки настолько поразительного факта была даже собрана специальная комиссия, однако она не подтвердила факт мошенничества так как конь отвечал на все вопросы без присутствия хозяина, отвечал незнакомым людям на незнакомые вопросы верно почти в 90% процентов случаев.

В связи с чем возникает вопрос как же конь решал поставленные задачи и отвечал на незнакомые вопросы? Ответ оказался очень прост. Конь мог ответить только в тех случаях, когда видел экзаменатора, а сам экзаменатор знал ответ на поставленный вопрос. Конь, постукивая копытом, внимательно изучал поведение экзаменатора и очень тонко реагировал на его поведение. То есть, когда конь набирал правильный ответ, он видел изменения в поведении экзаменатора и прекращал постукивание, тем самым получая правильный ответ.

Очевидно, что никакого лошадиного интеллекта открыто не было, но благодаря этому феномену, в психологии появился термин – эффект умного Ганса. Этот термин характеризует людей, которые зная правильный ответ, при этом оставаясь наблюдателями, невольно подают знаки жеста, мимикой и другими способами подсказывания, которые позволяют установить правильный ответ для экзаменуемого.

Наблюдение – изучение объекта с целью получения новых ранее неизвестных сведений о нем. Другими словами можно назвать это измерением чего-либо.

Эффект наблюдателя имеет место не только в квантовой физике, но и в самой обычной повседневности, например, измерение давления в шинах: невозможно отсоединить манометр так, чтобы не стравить часть воздуха [3, 4]; контактное измерение температуры: если термометр будет достаточно холодный, то часть энергии будет потрачена на согревание самого термометра; измерение силы тока с помощью амперметра: очевидно, что сопротивление самого амперметра очень мало, но не равно нулю и оно также будет влиять на корректность измерения. Примеров влияния наблюдателя в повседневной жизни огромное количество, но все это объяснимо простыми правилами и простыми принципами.

На квантовом же уровне все становится гораздо интереснее.

Здесь нельзя забыть про знаменитый мысленный эксперимент – кот Шредингера. Суть этого эксперимента заключается в том, что кот сидит в некотором контейнере, обычно в коробке с прибором, который может его отравить насмерть. Сам прибор работает от распада одного атома урана, процесс которого абсолютно случаен, и никто не знает когда он произойдет и произойдет ли вообще.

Следовательно, пока коробка закрыта, для нас, как для наблюдателей, кот одновременно находится в двух состояниях, то есть он мертв и жив одновременно. С точки зрения нашего мира и восприятия, казалось бы, невозможно нахождение кота в двух состояниях, однако на микроуровне в поведении частиц такое состояние является абсолютно нормальным и называется квантовой суперпозицией, то есть частицы могут находиться в двух местах одновременно, вращаться против и по часовой стрелке одновременно, находиться в нескольких взаимоисключающих состояниях.

И, казалось бы, здесь все просто, однако есть одно но. Увидеть суперпозицию невозможно, потому что как только мы начинаем наблюдать за этой суперпозицией, она разрушается, и частица принимает строго конкретное состояние.

Состояние кота в тот момент, когда мы поднимаем крышку коробки: он становится либо живым, либо мертвым, причем мгновенно и случайно. Это и есть влияние наблюдателя, мы не просто слегка искажаем измерение как это было с температурой или силой тока, мы кардинально меняем показания, изменяем поведение частиц, их характеристики и дальнейшую судьбу.

Может показаться, что сам акт наблюдения не такой и уж безобидный, так как это некое воздействие на наблюдаемый объект. Например, чтобы узнать, где находится электрон, от него должен отразиться фотон, тем самым детектор «дотрагивается» до элементарных частиц для того, чтобы получить информацию, тем самым искажая оригинальное поведение изучаемой частицы.

Если рассматривать социальную психологию [5, 6], то в ней одним из самых первых проявлений эффекта наблюдателя можно считать эксперимент на фабрике Western Electric в США. Ученые во главе с психологом Джорджем Элтоном Мэйо проводили изменения в условиях труда внутри фабрики, стремясь к тому, чтобы определить, какие именно из них будут оказывать наибольшее влияние на характеристики производительности. Реализация эксперимента осуществлялась в течение нескольких этапов.

В тех случаях, если условия труда были тяжелыми и непривычными, происходило сохранение рабочими фабрики производительности, работа даже могла быть более эффективной. Ученые считали, что на то, как будут вести себя рабочие, положительным образом оказало влияние присутствие наблюдателей, и рабочие понимали, что принимали участие в весьма важном эксперименте.

Но парадокс заключается в другом. Вспомним небезызвестный двухщелевой эксперимент. Электроны, отправленные неким излучателем, пролетая через две прорези, образуют интерференционную картину на экране позади, и возникает не две полосы, а множество полос, как при смешении. Это вполне объяснимо волновыми свойствами электрона и происходит, если мы не трогаем прорези.

Но стоит нам поставить у одной прорези прибор, который будет регистрировать прохождение через нее электрона, картина меняется кардинально. Интерференция исчезает и остается только две полосы. Казалось бы, все логично меняется из-за нашего измерения, но мы воздействуем только наполовину частиц, которые пролетают в одну прорезь, электроны, которые пролетали через вторую щель без детектора никакому воздействию, не подвергались, но при этом они также перестают давать интерференционную картину.

Обычно объяснение эффекта наблюдателя, строится на трех базовых принципах: волновая функция, квантовая запутанность, декогеренция.

Волновая функция – это некое уравнение, которое полностью описывает поведение объекта или частицы, а также описывает суперпозицию, все варианты возможных состояний. Наши наблюдения скачком меняют эту функцию, так как из множества вариантов у нас остается один случайный, в котором мы обнаруживаем частицу. Также часто этот процесс называют коллапсом волновой функции. Именно к этой части у большинства физиков много вопросов: куда исчезают остальные варианты, почему это происходит быстрее скорости света и так далее [7, 8].

Решением некоторых из этих вопросов стало понятие «Квантовая запутанность».

Квантовую запутанность можно охарактеризовать следующим образом: предположим у нас есть две частицы, если они описаны одной формулой (что очень важно):

$$|\Psi_{12}\rangle = |\uparrow\downarrow\rangle, \quad (1)$$

то после разрушения суперпозиции, скажем, одна частица будет вращаться по часовой стрелке другая обязательно против. Одна частица будет лететь влево, а другая обязательно – вправо и так далее.

Такие запутанности очень часто возникают при наблюдениях, запутывается какая-то частица детектора, а с ней и весь прибор. Например, в случае с котом в коробке в суперпозиции находится только ядро, оно распалось и не распалось одновременно. Остальные части находятся во вполне конкретном состоянии, но потом распавшееся ядро запутывается со сработавшим прибором, а нераспавшееся – с несработавшим прибором, далее по аналогии запутывается ампула с ядом потом сам кот. В итоге мы имеем два состояния: в одном кот мертв, в другом – жив. И, казалось бы, здесь все просто, однако какое-то время запутанные состояния могут находиться в суперпозиции.

В эту систему можно добавить человека (наблюдателем), и пока человек никак не взаимодействовал с коробкой, их волновые функции независимы, но стоит открыть коробку, наблюдатель запутывается с каждым из двух возможных состояний. Человек тоже переходит в суперпозицию, наблюдая два состояния одновременно, можно сказать, что появляются две версии наблюдателя, каждый из которых видит два разных состояния кота.

Тут возникает понятие параллельных миров. Каждая из двух версий становится реальной и начинает существовать независимо друг от друга, при этом в каждой из версий волновая функция никаким образом не менялась, к ней просто добавилось еще два состояния объекта, как и раньше [9].

Получается, что происходят всевозможные события, а мы как наблюдатели оказываемся случайно в одном из них, остальные мы не можем увидеть и как-либо взаимодействовать с ними, для этого существует специальный термин – многомировая интерпретация квантовой механики. Так как для каждой частицы волновая функция продолжает ветвиться, описывая всевозможные ее состояния. Это порождает бесконечное количество миров.

Тут возникает вполне справедливый вопрос – где все эти миры? Почему мы с ними не можем взаимодействовать, почему мы не видим свою вторую копию из альтернативной реальности, и почему эти миры не соединяются обратно?

Декогеренция – это процесс потери квантовых свойств у частицы при ее взаимодействии с окружающей средой. Давайте рассмотрим это на примере: если в двухщелевом эксперименте пускать электроны по одному, а после просуммировать все результаты, мы получим также интерференционную картину, что означает, что каждый электрон летит и в правую, и в левую прорезь одновременно, после чего соединяется в один. По этой причине интерференция исчезает, если у одной прорези поставить детектор.

Так как измерение детектором происходит в 100 процентах случаев, то это кардинально меняет поведение частицы.

Одна версия электрона сильно запутывается с детектором и это сильно ее меняет, в связи с чем, она не может соединиться с другой. Две части волновой функции электрона не синхронизируются, оказываются изолированными друг от друга и больше не интерферируют.

Этот процесс плавный. Если произошло небольшое количество взаимодействий частицы, а суперпозиция только начала разрушаться, мы еще можем все распутать и восстановить исходное состояние. Но когда частицы запутываются с огромным количеством других частиц: молекулы среды, наблюдатель, детектор и так далее, отдельные частицы становятся настолько разными, что восстановить уже ничего не получится, так как частицы перестают влиять друг на друга, и суперпозиция разрушается окончательно.

Само измерение необратимо из-за хаотичности движения миллиардов молекул, из-за их огромного количества и природы движения невозможно вернуться назад и распутать состояние – восстановить суперпозицию, что в свою очередь является вторым законом термодинамики.

Однако, остается один вопрос, почему мы видим срабатывание детектора в половине случаев, не должен ли раздвоенный электрон пролетать мимо детектора всегда?

Здесь происходит то же самое что и с котом. Две версии электрона существуют в разных реальностях, а мы не видим всей картины по причине того, что также существуют две версии: одна версия видит, как детектор сработал, а другая соответственно, как он не сработал.

С каждым срабатыванием этого детектора наша Вселенная расщепляется, а мы случайно оказываемся в одной из ветвей, в связи с чем и наблюдаем срабатывание детектора в половине случаев, но можно быть уверенным, что срабатывание происходит всегда.

Теперь достаточно легко описать кота в коробке. Как только атом распадается, Вселенная расслаивается, через какое-то время ампула и кот запутываются с атомом и переходят в суперпозицию двух состояний. При этом наблюдатель остается одинаковым в обеих реальностях, если не заглянет в коробку. Если наблюдатель заглянет в коробку, то он тоже запутывается с разными состояниями и, соответственно, тоже становится разным, в каждой реальности по одному экземпляру объекта. Однако этих реальностей может быть бесчисленное множество, каждая описывается своей частью волновой функции. После запутывания гигантского количества вариантов эти части перестают взаимодействовать и вообще пересекаться, и склеиваться обратно [10, 11].

Очень часто это называют параллельными вселенными, однако это не так, Вселенная одна, просто она, скажем, похожа на слоеный торт, в слои которого вложено множество альтернативных реальностей.

Согласно мировой интерпретации, наша Вселенная описывается одной огромной волновой функцией, которая описывает состояние буквально всего: частиц, людей, котов и так далее. В ней отсутствуют наблюдатели, нет коллапсов, единственное что происходит это планомерная эволюция глобальной волновой функции в соответствии с уравнением Шредингера:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\varphi(t)\rangle = H|\varphi(t)\rangle. \quad (2)$$

Процесс запутывания и декогеренции огромного числа частиц порождает в ней все новые и новые ветви, а по второму закону термодинамики они не могут склеиться обратно.

А то, что мы наблюдаем – коллапс, это принципиальная невозможность видеть огромное множество всех вариантов. Мы всегда оказываемся только на одной из ветвей в глобальной функции и видим только часть невероятно огромной мультивселенной.

Вывод. Примерно так и может быть устроена Вселенная, однако это всего лишь интерпретация и в реальности все скорее всего намного сложнее. Многомировая интерпретация – это, пожалуй, одна из лучших теорий о том, как все устроено. Естественно, существуют и другие интерпретации квантовой механики, вполне возможно, что с развитием науки и технологий, например, лет через 100 это объяснение будет совсем другим, возможно противоположным. Вероятно, что это даже к лучшему, ведь новая физика откроет нам куда более новые возможности, о которых сейчас мы только лишь мечтаем и относим некоторые эффекты, феномены и явления к разделу «Научная фантастика».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кот Шредингера: суть простыми словами [Электронный ресурс] – URL: <https://4brain.ru/blog/кот-шредингера-суть-простыми-словами/> (дата обращения: 06.01.2024).
2. Эффект Умного Ганса: история коня, который умел считать [Электронный ресурс] – URL: <https://dzen.ru/a/XklU6LtKbTaLjX2m> (дата обращения: 06.01.2024).
3. Карл Саган. Мир, полный демонов / Саган Карл. – М.: Альпина нон-фикшн, 2014. – 537 с.
4. Половников К. «Роль наблюдателя в квантовой механике» [Электронный ресурс] – Опубликовано: 06.05.2018. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=83ryfRWzGIw>.
5. Клименко Ю.А. Анализ некоторых методов управления энергетическими системами / Ю.А. Клименко, А.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2021. – Т. 15. – № 1 (36). – С. 100-102.
6. Фрид А.И. Обеспечение целостности телеметрической информации о состоянии сложного технического объекта / А.И. Фрид, А.М. Вульфин, М.Б. Гузаиров, В.В. Берхольц // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 1.
7. Гвоздев В.Е. Поддержка управления функциональной безопасностью аппаратно-программных комплексов на основе системных архетипов / В.Е. Гвоздев, О.Я. Бежаева, М.Б. Гузаиров, В.И. Васильев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 2.
8. Гвоздев В.Е. Анализ влияния качества управления проектом на состояние функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов на основе системного архетипа «предел роста» / В.Е. Гвоздев, М.Б. Гузаиров, О.Я. Бежаева // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9. – № 3.
9. Брекоткина Е.С. Информационная поддержка управления уязвимостью сложных распределенных систем на основе обработки пространственной информации / Е.С. Брекоткина, М.Б. Гузаиров, С.В. Павлов, А.С. Павлов, О.И. Христуло // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 2.
10. Гвоздев В.Е. Обеспечение функциональной безопасности аппаратно-программных комплексов в условиях неопределенности среды использования / В.Е. Гвоздев, М.Б. Гузаиров, О.Я. Бежаева, А.С. Давлиева, Р.Р. Галимов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 3.
11. Львович Я.Е. Оптимизация проектирования многоаспектной цифровой среды системы однородных объектов на основе процедур декомпозиции и агрегации / Я.Е. Львович, А.В. Питолин, С.О. Сорокин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – Т. 7. – № 2.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель, Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: vtatyana_avetisyan@mail.ru

Фирсов Александр Викторович, студент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: firsovaalex@yandex.ru

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: app@vvt.ru