

Эрвин Шрёдингер: волновое уравнение, кот-парадокс и рождение квантовой механики

Дата публикации: 06.06.2026

Эрвин Шрёдингер занимает особое место в истории науки. Его имя известно даже людям, далёким от физики, благодаря знаменитому мысленному эксперименту с котом, однако реальное значение его работ намного глубже. Именно Шрёдингер создал волновую механику — одну из фундаментальных формулировок квантовой теории, вывел уравнение, ставшее основой современной атомной, молекулярной и твердотельной физики, а также внес огромный вклад в философское осмысление природы материи и жизни. Многие технологии XXI века, от полупроводников до квантовых компьютеров, так или иначе опираются на математический аппарат, созданный австрийским ученым почти сто лет назад.

К началу 1920-х годов физика переживала серьезный кризис. Классические представления Ньютона и Максвелла великолепно описывали движение планет, распространение света и работу электрических устройств, однако сталкивались с непреодолимыми трудностями при попытке объяснить процессы внутри атомов. Уже существовала модель атома Нильса Бора, которая успешно описывала спектр водорода, но ее правила выглядели искусственными. Квантовые скачки между орбитами вводились как специальные постулаты, не вытекающие из более глубоких принципов. Физикам было ясно, что за этими явлениями должна скрываться новая теория.

Шрёдингер родился в Вене в 1887 году и получил блестящее образование в области физики и математики. После Первой мировой войны он работал в различных университетах Европы, а в 1921 году занял кафедру теоретической физики в Цюрихском университете. Именно здесь начался самый плодотворный период его научной карьеры.

На Шрёдингера сильное влияние оказали идеи Луи де Бройля, который в 1924 году предположил, что частицы вещества обладают волновыми свойствами. Если свет может вести себя как поток частиц, то почему электроны не могут проявлять свойства волн? Эта идея казалась настолько необычной, что многие физики воспринимали ее скорее как математическую аналогию, чем как описание реальности. Однако Шрёдингер увидел в ней ключ к решению проблемы атомной структуры.

Важную роль сыграла и более старая идея, уходящая корнями в работы ирландского математика и физика Уильяма Роуэна Гамильтона. Еще в XIX веке

Гамильтон заметил удивительное сходство между законами геометрической оптики и законами механики. Световые лучи и траектории частиц подчинялись похожим математическим принципам. Эта оптико-механическая аналогия была тесно связана с принципом наименьшего действия — одним из фундаментальных принципов физики, согласно которому природа выбирает путь, для которого определенная величина, называемая действием, принимает экстремальное значение.

Шрёдингер задумался над вопросом: если классическая механика является аналогом геометрической оптики, то не существует ли более глубокая волновая теория материи, подобно тому как волновая оптика лежит в основе геометрической? Именно эта идея привела его к созданию новой физики.

Особенно важным стал рождественский отпуск 1925 года, который ученый провел в швейцарском горном курорте Ароза. Вдали от университетской рутины он сосредоточился на проблеме математического описания волн материи. Именно в этот период были сделаны основные расчеты, которые вскоре изменили физику навсегда.

Уже в начале 1926 года Шрёдингер опубликовал серию работ под общим названием «Квантование как проблема собственных значений». Эти статьи стали рождением волновой механики. В них было представлено знаменитое уравнение Шрёдингера, описывающее эволюцию квантовых систем.

С математической точки зрения уравнение определяет поведение особой функции ψ , которую сегодня называют волновой функцией. Первоначально сам Шрёдингер надеялся, что эта функция представляет собой реальную физическую волну, подобную электромагнитной волне. Однако вскоре стало ясно, что ситуация гораздо сложнее.

Решающую интерпретацию предложил Макс Борн. Он показал, что физический смысл имеет не сама волновая функция, а квадрат ее модуля. Эта величина определяет плотность вероятности обнаружения частицы в определенной точке пространства. Иными словами, квантовая механика описывает не точные траектории, а вероятности различных исходов наблюдения.

Такое понимание стало революцией в науке. В классической физике частица всегда находится в конкретном месте и движется по определенной траектории. В квантовом мире электрон описывается волновой функцией, которая содержит информацию обо всех возможных состояниях одновременно.

Одним из важнейших достижений уравнения Шрёдингера стало объяснение квантования без введения специальных правил. В модели Бора разрешенные орбиты приходилось постулировать. В новой теории квантование возникало

естественным образом благодаря граничным условиям. Подобно тому как струна музыкального инструмента может колебаться только на определенных частотах, электронная волна в атоме может существовать лишь в определенных устойчивых состояниях.

Особенно впечатляющим оказался результат для атома водорода. Решение уравнения Шрёдингера точно воспроизводило энергетические уровни, ранее найденные Бором эмпирическим путем. При этом никаких дополнительных постулатов уже не требовалось. Квантовые уровни возникали автоматически как математическое следствие волновой природы электрона.

В рамках новой теории появились понятия стационарных и нестационарных состояний. Стационарные состояния соответствуют фиксированным энергиям и сохраняют свою форму во времени. Именно они определяют структуру атомов. Нестационарные состояния представляют собой суперпозиции нескольких стационарных состояний и могут изменяться по мере эволюции системы.

Практически одновременно с волновой механикой Вернер Гейзенберг создал другую формулировку квантовой теории — матричную механику. Сначала казалось, что это две совершенно разные теории. Однако вскоре сам Шрёдингер доказал их математическую эквивалентность. Оказалось, что обе формулировки описывают одну и ту же физическую реальность, используя разные математические языки.

За создание новой квантовой механики Шрёдингер в 1933 году получил Нобелевскую премию по физике. Он разделил награду с Полем Дираком — еще одним выдающимся создателем квантовой теории.

Несмотря на успехи новой физики, Шрёдингер так и не смог полностью принять философские выводы копенгагенской интерпретации, которую развивали Нильс Бор и Вернер Гейзенберг. Согласно этой точке зрения, до момента измерения квантовая система не обладает определенными свойствами. Реальность описывается суперпозицией возможных состояний, а измерение приводит к выбору одного из них.

Именно критикуя такую картину мира, в 1935 году Шрёдингер предложил свой самый знаменитый мысленный эксперимент — кот Шрёдингера. В закрытый ящик помещается кот, радиоактивный атом, счетчик Гейгера и механизм с ядом. Если атом распадается, яд высвобождается и кот погибает. Если распада нет, кот остается жив.

Поскольку квантовая механика описывает атом как суперпозицию состояний «распался» и «не распался», возникает парадоксальный вывод: до открытия ящика вся система находится в суперпозиции состояний «живой кот» и

«мертвый кот». Шрёдингер вовсе не считал это реальным описанием мира. Напротив, он хотел продемонстрировать абсурдность переноса квантовых принципов на макроскопические объекты.

Парадокс кота стал одной из самых известных философских проблем науки. Он поднимает вопросы о природе измерения, роли наблюдателя и границе между квантовым и классическим мирами. Споры вокруг этих вопросов продолжаются до сих пор.

Еще одним важным вкладом Шрёдингера стало введение термина *verschränkung*, который обычно переводят как «запутанность». Сегодня квантовая запутанность считается одним из центральных понятий современной физики и лежит в основе квантовой криптографии, квантовой связи и квантовых вычислений.

Интересы ученого далеко выходили за пределы физики. Он серьезно занимался философией, интересовался восточной мыслью, вопросами сознания и природы жизни. В 1944 году вышла его книга «Что такое жизнь?», в которой он попытался применить идеи физики к биологии. Именно эта работа вдохновила многих будущих исследователей молекулярной генетики. Среди них были Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик, впоследствии открывшие структуру ДНК.

Личная жизнь Шрёдингера также была весьма необычной для своего времени. Он придерживался крайне свободных взглядов на отношения и в разные периоды жизни поддерживал сложные романтические связи. Известно, что некоторое время он фактически жил одновременно с двумя женщинами, что вызывало немало обсуждений среди коллег и знакомых.

Эрвин Шрёдингер умер в 1961 году, но его наследие продолжает определять развитие науки. Уравнение Шрёдингера остается центральным инструментом квантовой механики. Оно используется для расчета свойств атомов, молекул, лазеров, сверхпроводников и полупроводниковых устройств. Концепция запутанности лежит в основе зарождающейся квантовой индустрии. Парадокс кота по-прежнему служит отправной точкой для дискуссий о природе реальности. А его философские размышления о жизни продолжают вдохновлять ученых самых разных специальностей.

Немногие физики сумели изменить науку сразу в нескольких направлениях. Шрёдингер не только создал математический аппарат новой физики, но и заставил человечество по-новому взглянуть на саму природу материи, вероятности и наблюдения. Именно поэтому его имя остается одним из символов научной революции XX века.