

К В А Н Т О В А Я

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДРЕВНИХ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

ДЕМОКРИТ: СУЩЕСТВУЕТ ПРЕДЕЛ ДЕЛЕНИЯ ЯБЛОКА — АТОМ

АРИСТОТЕЛЬ: ДЕЛИМОСТЬ ВЕЩЕСТВА БЕСКОНЕЧНА (IV в. до н.э.)

ПАРИЖ 1626 г. УЧЕНИЕ ОБ АТОМАХ ЗАПРЕЩЕНО ПОД СТРАХОМ СМЕРТИ

РАЗЛИЧНЫЕ МОДЕЛИ АТОМА

КЕЛЬВИНА 1902 г.	ТОМСОНА 1903 г.	РЕЗЕРФОРДА 1911 г.
ВИХРЕВОЙ АТОМ — МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ «КОЛЕЧКО ДИМКА»	РАВНОМЕРНО ЗАРЯЖЕННЫЙ ШАР, В КОТОРОМ ПЛАВАЮТ ЭЛЕКТРОНЫ	ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА ПЛАНЕТАРНЫЙ АТОМ

ЗАРОЖДЕНИЕ УЧЕНИЯ О КВАНТАХ

ПЛАНК: СВЕТ ИЗЛУЧАЕТСЯ ПОРЦИЯМИ ЭНЕРГИИ 1900 г.

$E = h\nu$

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ РАСКЛАДЕНА С ФРЕД С ОТВЕРСТИЕМ

ИЗЛУЧЕНИЕ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ОТ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ И НЕ ЗАВИСИТ ОТ МАТЕРИАЛА

ПОЧЕМУ ЭЛЕКТРОНЫ НЕ ПАДАЮТ НА ЯДРО?

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ПОСТУЛАТЫ БОРА (1913 г.)

ДВИГАЯСЬ ПО СТАЦИОНАРНЫМ ОРБИТАМ ЭЛЕКТРОН НЕ ИЗЛУЧАЕТ. СВЕТ ИСПУСКАЕТСЯ ТОЛЬКО ПРИ ПЕРЕХОДЕ С ОДНОЙ ОРБИТЫ НА ДРУГУЮ

4,59 ЧАСТОТЫ 6,18 6,91 7,21 $\times 10^{14}$ Гц

УРОВНИ ЭНЕРГИИ

ЭЙНШТЕЙН: СВЕТ НЕ ТОЛЬКО ИЗЛУЧАЕТСЯ, НО И РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ КВАНТАМИ 1905 г.

ФОТОЭФФЕКТ: ЭНЕРГИЯ ВЫБИТЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ЗАВИСИТ ЛИШЬ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ПАДАЮЩЕГО СВЕТА И НЕ ЗАВИСИТ ОТ ЕГО ИНТЕНСИВНОСТИ

КВАНТ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВОЛНЫ В АТОМАХ УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА 1926 г.

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U\right) \Psi = E \Psi$$

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВОЛНЫ

КВАНТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ

$n=1, l=0, m=0$ $n=2, l=0, m=0$ $n=2, l=1, m=0$ $n=2, l=1, m=1$ $n=3, l=0, m=0$ $n=3, l=1, m=0$ $n=3, l=1, m=1$ $n=3, l=2, m=0$

1s 2p_x 2p_y 2p_z 3d

КАКОВ СМЫСЛ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ Ψ ?

МАКС БОРН: ВОЛНЫ ВЕРОЯНОСТИ

ЭЛЕКТРОН — ВОЛНОВЫЙ ПАКЕТ

У КВАНТОВОЙ ЧАСТИЦЫ НЕТ ТРАЕКТОРИИ

ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА:

КВАНТ

ОДНОВРЕМЕННО ТОЧНО ИЗМЕРИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ И СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОНА НЕВОЗМОЖНО

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ В КООРДИНАТЕ

ПРОЯВЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ МИКРОЧАСТИЦ

ЩЕЛЬ 1

ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА

ЩЕЛЬ 2

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ КВАНТОВОЕ СЛОЖЕНИЕ $\Psi = a\Psi_1 + b\Psi_2$

СУПЕРПОЗИЦИЯ ПРОЛЕТОВ ЧЕРЕЗ ЩЕЛИ 1 И 2

КЛАССИЧЕСКОЕ СЛОЖЕНИЕ

ДИФРАКЦИЯ

БОР: ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕЩИ

ДАЖЕ ИДЕАЛЬНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ КВАНТОВОГО МИРА НЕ МОЖЕТ ЕГО НЕ ИЗМЕНИТЬ

М Е Х А Н И К А

(См. статью на стр. 17)

ИЗМЕРЕНИЯ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ АЛЬТЕРНАТИВ ПАРАДОКС ШРЕДИНГЕРА

ПАДАЮЩИЙ ФОТОН

ПОЛУОТРАЖАЮЩАЯ ПЛАСТИНА

КОТ ШРЕДИНГЕРА

СИНИЛЬНАЯ КИСЛОТА HCN

$\Psi = a \text{ (живой кот) } + b \text{ (мертвый кот)}$

КАКОГО КОТА УВИДИТ НАБЛЮДАТЕЛЬ — ЖИВОГО ИЛИ МЕРТВОГО?

РАЗНЫЕ ФИЗИКИ ОТВЕЧАЮТ ПО-РАЗНОМУ

Никакое квантовое явление не приходит к определенности, пока оно не наблюдается, при наблюдении же происходит редукция — выбор одного из конечных состояний.

Существует ансамбль миров, в одном мире кот остается жив, в другом погибает (многомировая интерпретация квантовой механики).

Квантовая механика описывает не единичные объекты, а статистические совокупности, в половине случаев кот погибает, а в половине остается жив.

НЕОБХОДИМ НАБЛЮДАТЕЛЬ

НЕОБХОДИМ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНСАМБЛЬ

БЕЧНО ВОСПРОИЗВОДИЩАЯ СЕБЯ ВСЕЛЕННАЯ

МАШИНА ВРЕМЕНИ — ПУТЕШЕСТВИЕ В ПРОШЛОЕ (К. ТОРН, И. НОВИКОВ, 1988 г.)

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

КВАНТОВЫЕ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОИСК ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД

ФОТО-ДЕТЕКТОР

ЛАЗЕР

СВЕТОДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

ОПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ

ЭКСПЕРИМЕНТ АСПЕКА — ДАЛИБАРА — РОЖЕ (1982 г.)

ФОТО-ДЕТЕКТОР (ФД)

АНАЛИЗАТОР (А)

ЭНЕРГОДЕЙСТВУЮЩИЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ (БП)

ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЕ

ФОТОН 1

ФОТОН 2

ПУЧОК АТОМОВ КАЛЬЦИЯ

ПЕЧКА-ИСПАРИТЕЛЬ

КРИПТОНОВЫЙ ЛАЗЕР

СЧЕТЧИК СОВПАДЕНИЙ (КОРРЕЛЯТОР)

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА ЗА ПРЕДЕЛАМИ ФИЗИКИ

КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР ФЕЙНМАНА

УПРАВЛЯЮЩИЙ АТОМ

ЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ

ИЗУЧЕНИЕ БЕССОЗНАТЕЛЬНОГО (СНОВИДЕНИЯ, ГИПНОЗ И Т. П.)

ТЕОРИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

БИОЛОГИЯ. МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОТНЫХ. РАБОТА МОЗГА

КОЛДОВСКОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ

Представьте себе, что вы посылаете из Москвы две одинаковые телеграммы. На север — скажем, в Архангельск и на юг — в Одессу. В момент получения телеграммы одессит каким-то неведомым чутьем узнает, что точно такую же депешу вот-вот получит житель Архангельска, хотя в тексте телеграммы об этом не говорится ни слова. Правда, одесситы — особый народ, многое могут разгадать, и чтобы исключить случайности, вы посылаете целую серию телеграмм — одну за другой через примерно равные промежутки времени, причем текст посланий вы изменяете случайным образом, по своей прихоти. Но каждый раз, когда приходила телеграмма, одессит точно знал содержание послания, отправленного в Архангельск. Более того, фактически он знал переданный текст еще до того, как обе телеграммы достигали своих адресатов на севере и юге. Разумеется, и северянин, как выяснилось, ничем не уступал хитроумному одесситу.

Что это — магия, телепатия, сверхсветовой телеграф? Неужели в мире существуют такие мгновенные взаимные влияния? Как оказалось, да, существуют — в квантовом мире. А наука, описывающая этот странный мир — квантовая механика, — изменила человеческую цивилизацию намного сильнее, чем любая другая, например. широко известная общая теория относительности (см. «Наука и жизнь» №№ 2 — 4, 1987 г., №№ 5, 6, 1988 г.). Именно квантовая механика стала основой современных электронных технологий — фактически сегодня она превратилась в инженерную дисциплину. И тем не менее споры о том, как интерпретировать квантовую механику никогда не прекращались со времени ее построения в 20-х годах нынешнего столетия, а в последнее время стали особенно оживленными.

Нынешний всплеск интереса к интерпретации квантовой механики возник после того, как молодой французский оптик Ален Аспек вместе со своими сотрудниками задумал и осуществил физический эксперимент, аналогией которого и служит пример с телеграммами, посланными из Москвы на север и на юг. Только роль телеграмм в эксперименте Аспека играли разлетающиеся в противоположные стороны фотоны, роль текста — их внутренние состояния (поляризации), а роль одессита и жителя Архангельска — фотодетекторы, помещенные позади поляризационных анализаторов, считывающих квантовое состояние фотона (содержание телеграммы). В результате опыта оказалось, что хотя оба фотона были разделены очень большим расстоянием и никак не могли бы обмениваться информацией, каждый из них каким-то образом «узнавал» о том, что происходит с другим фотоном. На первый взгляд такое сверхсветовое взаимодействие противоречит теории относительности и возвращает нас в дорелятивистскую эпоху к ньютоновой идее мгновенного дальнего действия. Энтузиасты сверхъестественного тут же ухватились за квантовую «нелокальность», трактуя ее как «научное» доказательство возможности экстрасенсорного восприятия: на международных конгрессах по парапсихологии, или, как ее стали называть, психотронике, около трети докладов посвящено спекуляциям на тему квантовой механики. Но дело здесь вовсе не в телепатии — просто квантовые явления несовместимы ни с представлениями классической физики, ни с нашей обыденной интуицией. Может быть, вообще самое удивительное в современной физике то, что она нуждается в механике двух типов, классической и квантовой, причем переход от одной к другой совсем не так прост, как это обычно декларируется в учебниках. Эйнштейн, и примеру, считал, что квантовая механика по меньшей мере неполна, что она «не может служить удовлетворительным исходным пунктом для дальнейшего развития».

Впрочем, именно благодаря этой неудовлетворенности Эйнштейна и появилась в физике квантовая «нелокальность» (парадокс Эйнштейна — Подольского — Розена), опытная проверка которой стимулировала серию классических экспериментов, в том числе эксперимент Аспека. Здесь мы сталкиваемся еще с одним глубоким следом, оставленным Эйнштейном в современной физике.

Кстати, именно Эйнштейну, по-видимому, принадлежит термин «квант». Он был первым, кто применил казавшуюся невероятной гипотезу Планка об «элементах энергии» для объяснения опытных фактов — законов фотоэффекта. 14 декабря 1900 года профессор Макс Планк сделал доклад о спектре излучения абсолютно черного тела, фактически просто нагретой сферы с небольшой дыркой. Чтобы объяснить спектр такого излучения, Планку пришлось предположить, что энергия излучается порциями, пропорциональными частоте света, испускаемого телом. Коэффициент пропорциональности, который входит абсолютно во все квантово-механические соотношения, с тех пор стали называть постоянной Планка. 14 декабря 1900 года нередко называют днем рождения новой науки — учения о квантах.

На страницах цветной вкладки показаны основные этапы развития современной квантовой механики, точнее, ее нерелятивистской части. Здесь вы увидите, как эволюционировали представления об атоме, о том, как ведет себя микрочастица, в частности электрон, и почему она не движется вдоль классической траектории, а распространяется подобно волне в некоторой не вполне определенной области пространства. Особую роль в квантовой теории играет проблема измерений — фактически квантовую механику можно условно разбить на две части: описание поведения микрообъектов и теорию измерений. В квантовой механике в отличие от классической результаты эксперимента описываются как вероятности различных исходов (пример с «котом Шредингера»). Относительно измерений в квантовой механике существует несколько точек зрения, одна из них — довольно экстравагантная, однако все более популярная в последнее время — приводит к представлению о множестве миров. Согласно этой конструкции наш мир существует в бесконечном количестве почти одинаковых версий, и при любом измерении наблюдатель как бы размножается — одна его копия переходит в мир с одним исходом эксперимента, другая отправляется в другой мир, с иным исходом. Физики надеются, что в квантовой теории гравитации и космологии гипотеза многих миров окажется очень полезной. Примеры этому уже есть: в частности недавно построенная известными теоретиками И. Д. Новиковым (СССР) и К. Торном (США) теория космологической «машины времени», позволяющей отправиться в прошлое (и встретить там, скажем, свою бабушку в молодом возрасте), допускает интерпретацию в контексте многомирового представления квантовой механики.

В наступающем году мы надеемся более подробно познакомить читателей «Науки и жизни» с концепцией «ансамбля миров», с «машиной времени», с квантовой теорией измерений (в частности таких, которые минимально изменяют состояние исследуемого объекта), а также с распространением идей квантовой механики — как выразился Эйнштейн, «настоящего колдовского исчисления» — далеко за пределы физики.

С. ПАНКРАТОВ
«Наука и жизнь», №12 1988 г.