

# 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 ДИМЯ“	РАВНОМЕРНО ЗАРЯЖЕННЫЙ ШАР, В КОТОРОМ ПЛАВАЮТ ЭЛЕКТРОНЫ	ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА ПЛАНЕТАРНЫЙ АТОМ

## ЗА РОЖДЕНИЕ УЧЕНИЯ О КВАНТАХ

ПЛАНК: СВЕТ ИЗЛУЧАЕТСЯ ПОРЦИЯМИ ЭНЕРГИИ 1900 г.

$E = h\nu$

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

ПОЧЕМУ ЭЛЕКТРОНЫ НЕ ПАДАЮТ НА ЯДРО?

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

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВОЛНЫ В АТОМАХ УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА 1926 г.

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

КВАНТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОНА В АТОМЕ

1s, 2p<sub>x</sub>, 2p<sub>y</sub>, 2p<sub>z</sub>, 3d

**КАКОВ СМЫСЛ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ  $\Psi$ ?**

МАКС БОРН: ВОЛНЫ ВЕРОЯТНОСТИ

ЭЛЕКТРОН — ВОЛНОВЫЙ ПАКЕТ

У КВАНТОВОЙ ЧАСТИЦЫ НЕТ ТРАЕКТОРИИ

ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА:

КВАНТ ОДНОВРЕМЕННО ТОЧНО ИЗМЕРИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ И СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОНА НЕВОЗМОЖНО

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ В КООРДИНАТЕ

ДАЖЕ ИДЕАЛЬНЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ КВАНТОВОГО МИРА НЕ МОЖЕТ ЕГО НЕ ИЗМЕНИТЬ

ПРОЯВЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ МИКРОЧАСТИЦ

ЩЕЛЬ 1, ЩЕЛЬ 2

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

СУПЕРПОЗИЦИЯ ПРОЛЕТОВ ЧЕРЕЗ ЩЕЛИ 1 И 2

КЛАССИЧЕСКОЕ СЛОЖЕНИЕ

ДИФРАКЦИЯ

БОР: ЭЛЕКТРОН — НЕ ВЕЩЬ

КРИСТАЛЛ

# 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

$\Psi = a \text{жив} + b \text{мертв}$

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

„КОРИДОР“

КВАНТОВЫЕ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОИСК ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД

ФОТО-ДЕТЕКТОР

ЛАЗЕР

СВЕТОДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

ОПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ

ЭКСПЕРИМЕНТ АСПЕКА — ДАЛИБАР — РОЖЕ (1982 г.)

ФОТО-ДЕТЕКТОР (ФД)

АНАЛИЗАТОР (А)

СЧЕТЧИК СОВПАДЕНИЙ (КОРРЕЛЯТОР)

ЭНЕРГОДЕЙСТВУЮЩИЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ (БП)

ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЕ

ФОТОН 1

ФОТОН 2

ПЕЧКА-ИСПАРИТЕЛЬ

ПУЧОК АТОМОВ КАЛЬЦИЯ

КРИПТОНОВЫЙ ЛАЗЕР

## 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.*