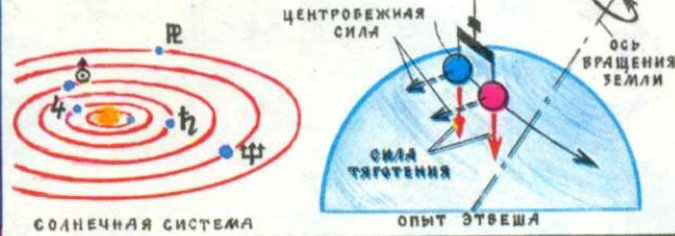


ЧЕТЫРЕ СИЛЫ В ПРИРОДЕ: ТЯГОТЕНИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ, СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, СИЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

### I ГРАВИТАЦИЯ



### II ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

<p>1 ЭЛЕКТРИЧЕСТВО</p> <p>УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА</p> $\partial^\mu F_{\mu\nu} = j_\nu$ <p>МАГНЕТИЗМ</p>	<p>2 ИЗЛУЧЕНИЕ ЗАРЯДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН</p> <p>ЗАРЯД</p> <p>ЛИНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ</p>	<p>3 ДИАГРАММЫ ФЕЙНМАНА</p> <p>ЭЛЕКТРОН</p> <p>ФОТОН</p> <p>ЭЛЕКТРОН</p>
<p>4 ЭЛЕКТРОМОТОР</p> <p>ЭЛЕКТРОТОК</p>	<p>5 ЛАЗЕР</p> <p>КОГЕРЕНТНЫЙ СВЕТ</p> <p>АКТИВНАЯ СРЕДА</p> <p>ГЛУХОЕ ЗЕРКАЛО</p> <p>ПОЛУПРОЗРАЧНОЕ ЗЕРКАЛО</p>	<p>6 РАДИОТЕЛЕСКОП</p>

ЭЛЕКТРОСЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ  
С. ВАЙНБЕРГ, А. САЛМ (1967г.)  
ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ (1980г.)

### III СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

А ПРОТОН

Б ЭЛЕКТРОН  $e^-$

НЕЙТРОН

ПРОТОН

АНТИНЕЙТРИНО

$\lambda \sim 10^{-15}$  СМ

ЦЕНТР СВЕТА

### IV СИЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

ПРОТОН

НЕЙТРОН

ПИОНЫ

$10^{-13}$  СМ

$$V = \frac{\alpha}{r} e^{-\frac{r}{\lambda}}$$

ПОТЕНЦИАЛ ЮКАВЫ

### ПЯТАЯ СИЛА?

ВАКУУМ

БАРИОНЫ

$$V_{(r)} = G_0 \frac{m_1 m_2}{r} \left( 1 + \alpha e^{-\frac{r}{\lambda}} \right)$$

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СИЛЫ В ПРИРОДЕ

Мы знаем, что все тела при соприкосновении действуют друг на друга. Количественное описание такого взаимодействия тел, по существу, и составляет содержание ньютоновой механики. Но можно ли толкнуть, не прикасаясь? Механика Ньютона отвечала на этот вопрос утвердительно. Например, перемещение Земли должно мгновенно изменять ее влияние на Луну; при этом пустое пространство между телами не принимает участия в их взаимодействии. На основе этого взгляда — представления о «дальнодействии» — Ньютон построил свою теорию тяготения. Сегодня нам известно, что предположение о мгновенной передаче силового влияния, вообще говоря, неверно и не противоречит наблюдениям лишь при малых скоростях взаимодействующих тел (по сравнению со скоростью света). И только потому, что небесные тела движутся со сравнительно небольшими скоростями, теория тяготения Ньютона оказалась столь успешной и универсальной при объяснении картины мира в астрономических масштабах — на расстояниях порядка размеров Солнечной системы.

Однако Вселенная, которую мы наблюдаем сегодня с помощью новейших методов, сильно отличается от того небесного механизма, который строго регулировался ньютоновой гравитацией. Разбушевавшийся метагалактический океан, населенный такими «чудовищами», как, например, пульсары и черные дыры, мало похож на размеренное движение подобного небесного механизма. Соответственно и нарисовать картину Вселенной с помощью ньютоновой модели становится невозможным. Понимание того, как именно гравитация управляет миром (1), достигается с помощью релятивистской космологии, основанной на общей теории относительности (см. «Наука жизнь», №№ 2—4, 1987 г.).

В то время, когда Эйнштейн начинал строить эту знаменитую теорию, окружающий нас мир был, как казалось физикам, полон различных сил: химических, электромагнитных, капиллярных, упругих, сил сцепления и других. Были также известны два силовых поля — гравитационное (I) и электромагнитное (II). Эти поля во многих отношениях напоминали друг друга и все же оставались очень разными, в частности, подчинялись разным математическим законам. Уравнения Максвелла (II, I), которыми описывается электромагнитное поле, совершенно не учитывают присутствия гравитации, и это обстоятельство в течение долгих лет изумляло Эйнштейна. Почему для двух важнейших полей должны существовать два разных набора уравнений? Не может ли природа быть устроена так, что электромагнитное и гравитационное поля — просто различные проявления одного и того же объединенного поля, подобно тому, как электромагнитное поле Фарадея—Максвелла объединило два природных явления казавшихся совершенно независимыми, — электричество и магнетизм? Единая теория всех сил и полей стала мечтой Эйнштейна сразу же после завершения им общей теории относительности.

Сегодня есть надежда, что эта мечта постепенно воплотится в действительность. Список фундаментальных сил и полей непрерывно изменялся, начиная с работ Нильса Бора, по существу, объединивших химическое и физическое взаимодействия. В 20-х годах нашего столетия стало окончательно ясно, что большинство сил, с которыми физики и химики сталкивались в лабораторных опытах, имеют электромагнитное происхождение. Электромагнетизм весьма многогранен: на вкладке показаны

различные его проявления — от электромотора (II, 4) до лазера (II, 5) и радиотелескопа (I, 6). Свет, обладающий совершенно исключительным значением для выживания человека и других биологических видов, тоже имеет электромагнитную природу — он связан с излучением электромагнитных волн. На вкладке (II, 2) показан процесс классического электромагнитного излучения, испускаемого заряженной частицей. При ускорении заряда силовые линии сопровождающего его поля изламываются, не успевая перестроиться вслед за изменением скорости частицы, и отрываются от нее. В квантовой теории электромагнитного поля такие процессы, как излучение и рассеяние заряженных частиц друг на друга, связаны с обменом так называемыми виртуальными фотонами (от латинского «virtue» — возможность) и описываются наглядными диаграммами, изобретенными выдающимся американским теоретиком Ричардом Фейнманом (II, 3).

Квантовая электродинамика оказалась настолько успешной и давала такое хорошее совпадение вычислений с опытом, что стала моделью для ядерных взаимодействий—слабого (III) и сильного (IV). Слабое взаимодействие впервые было замечено в 20-х годах. Оказалось, что атомы, излучавшие бета-частицы — быстрые электроны, непонятным образом теряли энергию. Тогда швейцарский теоретик Вольфганг Паули предположил, что существует невидимая частица, которая уносит недостающую энергию. Спустя год Энрико Ферми назвал частицу-невидимку «нейтрино». Обнаружить ее оказалось непросто: она была найдена лишь в 1956 году. Самая важная реакция с участием нейтрино — распад нейтрона, как свободного, так и заключенного внутри ядра (III). Свободный нейтрон распадается на электрон, протон и антинейтрино приблизительно за 12 минут. Этот процесс называют бета-распадом, и он происходит с участием недавно обнаруженного (в 1983 году) W-бозона, ставшего символом удачи объединенной теории электромагнитного и слабого взаимодействий.

Если радиус действия сил тяготения и электромагнитных сил практически бесконечен, то для слабого взаимодействия он настолько мал, что до сих пор точно не измерен. Его ожидаемая величина (порядка  $10^{-15}$  см) на два порядка меньше радиуса ядра. Поэтому, например, слабое взаимодействие между ядрами двух соседних атомов (а они не могут сблизиться на расстояние, меньшее  $10^{-8}$  см) совершенно ничтожно. Но, несмотря на это, слабое взаимодействие играет важную роль в природе. Если бы, скажем, удалось «выключить» слабое взаимодействие, то погасло бы Солнце, да и многие другие звезды, так как стала бы невозможной последовательность термоядерных реакций с участием углерода, азота, водорода и фтора в качестве катализаторов, которая приводит к образованию гелия из водорода (цикл Бете).

Другое ядерное взаимодействие — сильное— связывает между собой нуклоны в ядре (IV). Существующая сегодня теория сильного взаимодействия, так же, как и слабого, построена по образцу квантовой электродинамики. Теория эта носит название квантовой хромодинамики, и приставка «хромо» означает, что силы действуют между не электрическими, а цветовыми зарядами. Однако сам механизм передачи сильного взаимодействия такой же, как и при передаче электромагнетизма: взаимодействие между двумя заряженными частицами совершается с помощью обмена некоторой третьей частицей. Правда, при сильном взаимодействии облако виртуальных частиц плотно сконцентрировано вблизи взаимодействующих нуклонов, и зависимость внутриядерных сил от расстояния определяется потенциалом Юкавы (по имени японского теоретика, впервые предложившего обменный механизм).

Именно сильное взаимодействие ответственно за различные ядерные процессы, при которых освобождается огромное количество энергии.

Таким образом, нашу Вселенную формируют силы всего четырех типов. Масштаб явлений, определяемых каждой фундаментальной силой, зависит от радиуса ее действия. Тяготение проявляется главным образом в астрономическом и космологическом масштабах, электромагнитные силы — в так называемом макром мире, то есть в мире человеческой деятельности, от размеров Земли до расстояний порядка атомных. Короткодействующие ядерные силы, как бы велики и важны они ни были, совершенно не участвуют в явлениях на таких масштабах.

А вот на расстояниях настолько ничтожных, что атомное ядро по сравнению с ними — все равно, что Галактика по сравнению с обычными человеческими размерами, в игру снова вступает тяготение. На таких расстояниях (порядка  $10^{-33}$  см) сама геометрия нашего мира никогда не остается в покое — она непрерывно флуктуирует, «дышит». Но геометрия мира, его пространственно-временная кривизна — это и есть гравитация. Поэтому у известного американского физика Шелдона Глешоу четыре фундаментальные силы, которые формируют всю нашу Вселенную, ассоциируются со змеей, кусающей себя за хвост.

Но в самом начале 1986 года группа американских физиков высказала предположение о существовании еще одной силы, пятой, которая ничуть не менее фундаментальна, чем традиционный квартет. Новая сила, если бы она в самом деле существовала, приводила бы к удивительным явлениям: например, благодаря ей яблоко в безвоздушном пространстве, где «выключено» сопротивление среды, падало бы на землю быстрее, чем чугунная гиря. Кроме того, если в природе есть такая сила, то, строго говоря, не справедливы ни закон всемирного тяготения Ньютона, ни эйнштейновский принцип эквивалентности, который лежит в основе общей теории относительности (см. «Наука и жизнь» №№ 2—4, 1987). Насколько серьезны аргументы в пользу существования пятой силы, мы расскажем в одном из ближайших номеров журнала.

*С. ПАНКРАТОВ.*  
*«Наука и жизнь», № 05 1987 г.*