

текают ф-лы Лоренца — преобразования координат и времени при переходе от одной инерциальной системы к другой. Из преобразований Лоренца получаются осн. эффекты спец. теории относительности: существование предельной скорости, совпадающей со скоростью света  $c$  в вакууме ( $c$  — макс. скорость передачи любых взаимодействий); относительность одновременности (события, одновременные в одной инерциальной системе отсчёта, в общем случае неодновременны в другой); замедление течения времени и сокращение продольных (в направлении движения) размеров в быстро движущемся теле: все физ. процессы в теле, движущемся со скоростью  $v$  относительно нек-рой инерциальной системы отсчёта, протекают в  $1/\sqrt{1-v^2/c^2}$  раз медленнее, чем те же процессы в данной инерциальной системе, и в  $1/\sqrt{1-v^2/c^2}$  раз уменьшаются продольные размеры тела. Из равноправия всех инерциальных систем отсчёта следует, что эффекты замедления времени и сокращения размеров тел являются не абсолютными, как считал Лоренц, а относительными, зависящими от системы отсчёта.

Законы механики Ньютона перестают быть справедливыми при больших скоростях движения (т. к. они инвариантны относительно преобразований Галилея, а не Лоренца). Сразу же после создания теории относительности были найдены релятивистские ур-ния движения, обобщающие ур-ния движения механики Ньютона. Эти ур-ния пригодны для описания движения частиц со скоростями, близкими к скорости света. Исключительно важное значение для Ф. получили два следствия релятивистской механики: введение релятивистского импульса  $p = mv/\sqrt{1-v^2/c^2}$  и универсальной связи между энергией  $\mathcal{E}$  и массой  $m$  (см. *Относительности теория*).

При больших скоростях движения любая физ. теория должна удовлетворять требованиям теории относительности, т. е. быть релятивистски-инвариантной. Законы теории относительности определяют преобразования при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой не только координат и времени, но и любой физ. величины. Эта теория относится к принципам инвариантности, или симметрии (см. *Симметрия* в физике), позволяющим обнаруживать новые корреляции между событиями на основе уже найденных корреляций.

**Общая теория относительности** (теория тяготения). Из четырёх типов фундам. взаимодействий — гравитационных, эл.-магнитных, сильных и слабых — первыми были открыты гравитац. взаимодействия, или силы тяготения. На протяжении более 200 лет никаких изменений в основы теории гравитация, сформулированной Ньютоном, введено не было. Почти все следствия теории находились в полном согласии с опытом.

Во 2-м десятилетии 20 в. классич. теория тяготения была революц. образом преобразована Эйнштейном. Новая теория тяготения была создана путём логич. развития принципа относительности применительно к гравитац. взаимодействиям; она была названа общей теорией относительности. Эйнштейн по-новому интерпретировал установленный Галилеем факт равенства гравитац. и инертной масс (см. *Масса*): это равенство означает, что тяготение одинаковым образом искривляет пути всех тел. Поэтому тяготение можно рассматривать как искривление самого пространства-времени. Теория Эйнштейна вскрыла глубокую связь между геометрией пространства-времени и распределением и движением масс. Компоненты т. н. метрич. тензора, характеризующие *метрику пространства-времени*, одновременно являются потенциалами гравитац. поля, т. е. определяют состояния гравитац. поля. Эволюция состояния описывается нелинейными ур-ниями Эйнштейна для гравитац. поля. В общем виде ур-ния тяготения Эйнштейна не решены. В приближении слабых полей из них вытекает существование гравитац. волн (прямые эксперименты по их обнаружению пока не увенчались успехом).

Гравитац. силы — самые слабые из четырёх фундам. сил в природе. Они примерно в  $10^{38}$  раз слабее эл.-магнитных. В совр. теории элементарных частиц гравитац. силы не

учитываются, т. к. полагают, что они не играют заметной роли. Роль гравитац. сил становится решающей при взаимодействиях тел космич. размеров; они определяют также структуру и эволюцию Вселенной.

Теория тяготения Эйнштейна привела к новым представлениям об эволюции Вселенной. В сер. 20-х гг. А. А. Фридман нашёл нестационарное решение ур-ний гравитац. поля, соответствующее расширяющейся Вселенной. Этот вывод был подтверждён наблюдениями Э. Хаббла (Е. Hubble), открывшего закон *красного смещения* для галактик (означающий, что расстояния между любыми галактиками увеличивается с течением времени). Др. пример предсказания теории — возможность неогранич. сжатия звёзд достаточно большой массы (больше 2—3 солнечных масс) с образованием т. н. чёрных дыр. Гравитац. поле чёрной дыры настолько велико, что ни свет, ни частицы не могут покинуть её и дойти до далёкого наблюдателя. Получены эксперим. указания на существование подобных объектов.

Общая теория относительности, как и квантовая механика, — великая теория 20 в. Все предшествующие теории, включая спец. теорию относительности, обычно относят к классич. Ф. (иногда классической называют всю неквантовую Ф.).

**Квантовая механика.** Состояние микрообъекта в квантовой механике характеризуется волновой ф-цией  $\psi$ . Как показал М. Борн в 1926, волновая ф-ция имеет статистич. смысл: она представляет собой амплитуду вероятности, т. е. квадрат её модуля  $|\psi|^2$  есть плотность вероятности нахождения частицы в данном состоянии. В координатном представлении  $\psi = \psi(x, y, z, t)$ , величина  $|\psi|^2 \Delta x \Delta y \Delta z$  определяет вероятность того, что координаты частицы в момент времени  $t$  лежат внутри малого интервала  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  около точки с координатами  $x, y, z$ . Эволюция состояния с течением времени однозначно определяется с помощью *Шрёдингера уравнения*.

Волновая ф-ция даёт полную характеристику состояния. Зная  $\psi$ , можно вычислить вероятность обнаружения определ. значения любой относящейся к частице (или системе частиц) физ. величины и ср. значения всех этих физ. величин. Статистич. распределения по координатам и импульсам не являются независимыми, из чего следует, что координата и импульс частицы не могут иметь одновременно точных значений (принцип неопределённости Гейзенберга; см. *Неопределённости соотношения*). Аналогичное соотношение неопределённости имеется для энергии и времени.

В квантовой механике момент импульса, его проекция, а также энергия при движении в огранич. области пространства могут принимать лишь ряд дискретных значений. Возможные значения физ. величин являются собственными значениями *операторов*, к-рые в квантовой механике ставятся в соответствие каждой физ. величине. Физ. величина принимает определ. значение с вероятностью, равной единице, лишь в том случае, если система находится в состоянии, описываемом собственной ф-цией соответствующего оператора.

С помощью квантовой механики была построена теория атомов, объясняющая их свойства и вскрывающая физ. смысл периодич. системы элементов Менделеева. Была объяснена хим. связь, в т. ч. понята природа ковалентной хим. связи; заложены основы теории твёрдого тела, построена квантовая теория рассеяния, применимая для столкновения частиц в тех случаях, когда законы классич. механики оказываются несостоятельными.

Квантовая механика Шрёдингера — Гейзенберга является нерелятивистской. Она применима для описания движения элементарных частиц и их систем со скоростями, много меньшими скорости света, в тех случаях, когда число частиц в системе остаётся неизменным. В 1928 П. А. М. Дирак (P. A. M. Dirac) получил квантовое релятивистское ур-ние движения электрона (*Дирака уравнение*), из к-рого естественно вытекало наличие у электрона спина. На основании этого ур-ния Дирак в 1932 предсказал существование позитрона (первой античастицы), в том же