

к системе, равномерно и прямолинейно движущейся относительно первой со скоростью v . В процессе развития этой теории Эйнштейн пришёл к формулировке *Лоренца преобразований*:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Была выяснена необоснованность двух фундам. положений о П. и в. в классич. механике: промежутки времени между двумя событиями и расстояние между двумя точками твёрдого тела не зависят от состояния движения системы отсчёта. Поскольку скорость света одинакова во всех системах отсчёта, то от этих положений приходится отказаться и сформировать новые представления о П. и в. Если преобразования Галилея классич. механики основывались на допущении существования операциональных сигналов, распространяющихся с бесконечной скоростью, то в теории относительности операциональные световые сигналы обладают конечной макс. скоростью c и этому соответствует новый *закон сложения скоростей*, в к-ром в явной форме запечатлена специфика предельно быстрого сигнала. Ответственно сокращение длины и замедление времени носят не динамич. характер [как это представляли Х. Лоренц (H. Lorentz) и Дж. Фицджеральд (G. Fitzgerald) при объяснении отрицат. результата *Майкельсона опыта*] и не являются следствием специфики субъективного наблюдения, а выступают элементами новой релятивистской концепции П. и в.

Абс. пространство, единое время для разл. систем отсчёта, абс. скорость и т. д. потерпели фиаско (даже от эфира отказались), были выдвинуты их аналоги, что, собственно, и определило назв. теории Эйнштейна — «теория относительности». Но новизна пространственно-временных представлений этой теории не исчерпывалась выявлением относительности длины и временного промежутка, — не менее важным было выяснение равноправности пространства и времени (они равноправно входят в преобразования Лоренца), а в дальнейшем — и инвариантности пространственно-временного *интервала*. Г. Минковский (H. Minkowski) вскрыл органич. взаимосвязь П. и в., к-рые оказались компонентами единого четырёхмерного континуума (см. *Минковского пространство-время*). Критерий объединения относит. свойств П. и в. в абс. четырёхмерное многообразие характеризуется инвариантностью четырёхмерного интервала (ds): $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$. Соответственно Минковский вновь переносит акцент с относительности на абсолютность («постулат абс. мира»). В свете этого положения становится ясным несостоятельность часто встречающегося утверждения, что при переходе от классич. физики к частной теории относительности произошла смена субстанциальной (абсолютной) концепции П. и в. на реляционную. В действительности имел место иной процесс: на теоретич. уровне произошла смена абс. пространства и абс. времени Ньютона на столь же абсолютное четырёхмерное пространственно-временное многообразие Минковского (это субстанциальная концепция), а на эмпирич. уровне на смену относит. пространству и относит. времени механики Ньютона пришли реляционное П. и в. Эйнштейна (реляционная модификация атрибутивной концепции), основанные на совершенно иной эл.-магн. операциональности.

Частная теория относительности была лишь первым шагом, ибо новый принцип относительности был приложен лишь к инерциальным системам отсчёта. След. шагом была попытка Эйнштейна распространить этот принцип на системы равноускоренные и вообще на весь круг неинерциальных систем отсчёта — так родилась общая теория относительности. По Нютону, неинерциальные системы отсчёта движутся ускоренно относительно абс. пространства. Ряд критиков концепции абс.

пространства [напр., Э. Мах (E. Mach)] предложили рассматривать такое ускоренное движение по отношению к горизонту удалённых звёзд. Тем самым наблюдаемые массы звёзд становились источником инерции. Эйнштейн дал иное толкование этому представлению, исходя из принципа эквивалентности, согласно к-рому неинерциальные системы локально неотличимы от поля тяготения. Тогда если инерция обусловлена массами Вселенной, а поле сил инерции эквивалентно гравитац. полю, проявляющемуся в геометрии пространства-времени, то, следовательно, массы определяют и саму геометрию. В этом положении чётко обозначился существенный сдвиг в трактовке проблемы ускоренного движения: принцип Маха об относительности инерции трансформирован Эйнштейном в принцип относительности геометрии пространства-времени. Принцип эквивалентности носит локальный характер, но он помог Эйнштейну сформулировать осн. физ. принципы, на к-рых базируется новая теория: гипотезы о геометрич. природе гравитации, о взаимосвязи геометрии пространства-времени и материи. Кроме этого, Эйнштейн выдвинул ряд матем. гипотез, без к-рых невозможно было бы вывести гравитац. ур-ния: пространство-время четырёхмерно, его структура определяется симметричным метрич. тензором, ур-ния должны быть инвариантны относительно группы преобразований координат. В новой теории пространство-время Минковского обобщается в метрику искривлённого пространства-

времени Римана: $ds^2 = \sum_{\mu\nu} g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$, где ds^2 — квадрат

расстояния между точками x^μ, x^ν ; dx^μ и dx^ν — дифференциалы координат этих точек, а $g_{\mu\nu}$ — нек-рые ф-ции координат, составляющие фундам. метрич. тензор, и определяют геометрию пространства-времени. Принципиальная новизна подхода Эйнштейна к пространству-времени заключается в том, что ф-ции $g_{\mu\nu}$ являются не только компонентами фундам. метрич. тензора, ответственного за геометрию пространства-времени, но одновременно и потенциалами гравитац. поля в осн. ур-нии общей теории относительности: $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = - (8\pi G/c^2) T_{\mu\nu}$, где $R_{\mu\nu}$ — тензор кривизны, R — скалярная кривизна, $g_{\mu\nu}$ — метрич. тензор, $T_{\mu\nu}$ — тензор энергии-импульса, G — гравитационная постоянная. В этом ур-нии выявлена связь материи с геометрией пространства-времени.

Общая теория относительности получила блестящее эмпирич. подтверждение и послужила основой последующего развития физики и космологии на базе дальнейшего обобщения представлений о П. и в., выяснения их сложной структуры. Во-первых, сама операция геометризаций тяготения породила целое направление в физике, связанное с геометризованными едиными теориями поля. Осн. идея: если искривление пространства-времени описывает гравитацию, то введение более обобщённого риманова пространства с повышенной размерностью, с кручением, с взаимосвязанностью и т. д. даст возможность для описания иных полей (т. н. градиентно-инвариантная теория Вейля, пятимерная *Калуцы — Клейна теория* и др.). В 20—30-е гг. обобщения пространства Римана затрагивали в основном метрич. свойства пространства-времени, однако в дальнейшем речь пошла уже о пересмотре топологии [геометродинамика Дж. Уилера (J. Wheeler)], а в 70—80-е гг. физики пришли к выводу, что *калибровочные поля* глубоко связаны с геометрич. концепцией *связности* на расслоённых пространствах (см. *Расслоение*) — на этом пути достигнуты впечатляющие успехи, напр. в единой теории эл.-магн. и слабого взаимодействий — теории *электрослабых взаимодействий* Вайнберга — Глэшоу — Салама (S. Weinberg, Sh. L. Glashaw, A. Salam), к-рая построена в русле обобщения квантовой теории поля.

Общая теория относительности является основой совр. релятивистской космологии. Непосредственное применение общей теории относительности ко Вселен-