

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

С.И. ВАВИЛОВ

СОБРАНИЕ
СОЧИНЕНИЙ

—

С.И. ВАВИЛОВ

СОБРАНИЕ
СОЧИНЕНИЙ

ТОМ
IV

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЯ
ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
О «ТЕПЛОМ» И «ХОЛОДНОМ» СВЕТЕ
ГЛАЗ И СОЛНЦЕ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ
И ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА · 1956

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА · 1956

КОМИССИЯ ПО ИЗДАНИЮ ТРУДОВ АКАДЕМИКА
С. И. ВАЙЛОВА:

академик А. А. Лебедев (председатель), академик А. В. Топчиев,
академик А. Н. Терехин, академик Г. С. Гандберг, член-корр.

АН СССР Б. М. Вул, член-корр. АН СССР [**Т. Н. Красин**]

В. Л. Лопатин, Н. Н. Феофанов, М. Д. Геллани (секретарь),
Н. И. Кузнецов, В. С. Вишняк

Ответственные редакторы IV тома

академик Г. С. Гандберг
и член-корр. АН СССР Б. М. Вул



С. Вайлов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ОСНОВАНИЯ
ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
1928 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В этой книге нет изложения самой теории относительности и совсем не затронут вопрос о пространстве и времени. Главная цель книги — выяснить, насколько прочны эмпирические основания теории, а следовательно и она сама. В правильности математического строения теории, неизменно анализируемого и разрабатываемого, нет оснований сомневаться. Философские споры об относительности, пространстве и времени не имеют отношения к вопросу о точности теории.

Опыты и наблюдения, излагаемые в книге, и сами по себе, независимо от теории относительности, представляют для физика исключительное значение. Дело идет о новых и очень тонких явлениях, интересных по результатам и методам, которыми они обнаружены. Только напряжение гения и искусство лучших экспериментаторов мира могло создать ту прочную экспериментальную основу, на которой теперь зиждется учение Эйнштейна. Прочитав эту книгу, читатель поймет, почему она украшена портретом А. Майкельсона.

Книга не претендует на целоту и несколько фрагментарна; разбор всех опытных данных, так или иначе связанных с теорией, потребовал бы размеров книги совсем иного порядка. Эпиграфы из Пьютона напоминают, что многие постулаты и следствия теории относительности не казались совсем неожиданными и неприемлемыми даже создателю классической физики.

Литературные ссылки, которые, возможно, понадобятся кому-нибудь из читателей, отнесены в конец книги.

Я глубоко признателен И. Е. Тамму, по указаниям которого я внес несколько очень нужных исправлений в текст.

С. Василов

Июнь 1927 г.

Книга «Экспериментальные основания теории относительности» написана С. И. Василовым в 1927 г.

Известно, что он предполагал подготовить новое издание этой книги. Несомненно, что С. И. Василов внес бы в нее многое новых дополнений, вероятно, по-иному изложил бы общие соображения и отдельные высказывания и формулировки, которые встречаются в ней.

Несмотря на то, что эта книга написана более четверти века назад, она и в ее настоящем, неизменном виде представляет выдающийся интерес и в наши дни, являясь единственным в своем роде и прекрасным изложением той, как пишет в своем предисловии С. И. Василов, «прочной экспериментальной основы, на которой теперь зиждется учение Эйнштейна». — Ред.

ВВЕДЕНИЕ

«Вывести два или три общих начала движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех телесных вещей вытекают из этих явных начал,— было бы очень важным шагом в философии, хотя бы причины этих начал и не были открыты».

И. Ньютона

Большое достоинство теории относительности — точность и ясность ее структуры. В основу положения обобщенные опытные факты, на первый взгляд противоречащие друг другу. Математическое устранение этого противоречия с необходимостью приводит к изменению физических понятий пространства и времени и к ряду следствий, доступных экспериментальному контролю. Если постулаты и следствия подтверждаются опытом, а промежуточные расчеты верны и не произвольны, уравнения теории для естествоиспытателя неоспоримы.

Главная тема теории относительности — кинематика реального мира. Математическая кинематика (сочетание учения о пространстве и времени) может быть многообразной так же, как многообразна геометрия. Но среди бесконечного множества логически возможных кинематик есть единственная реальная, или опытная, кинематика. Вопрос о ней впервые поставил Эйнштейн; он же и дал ответ, составляющий основное содержание теории относительности.

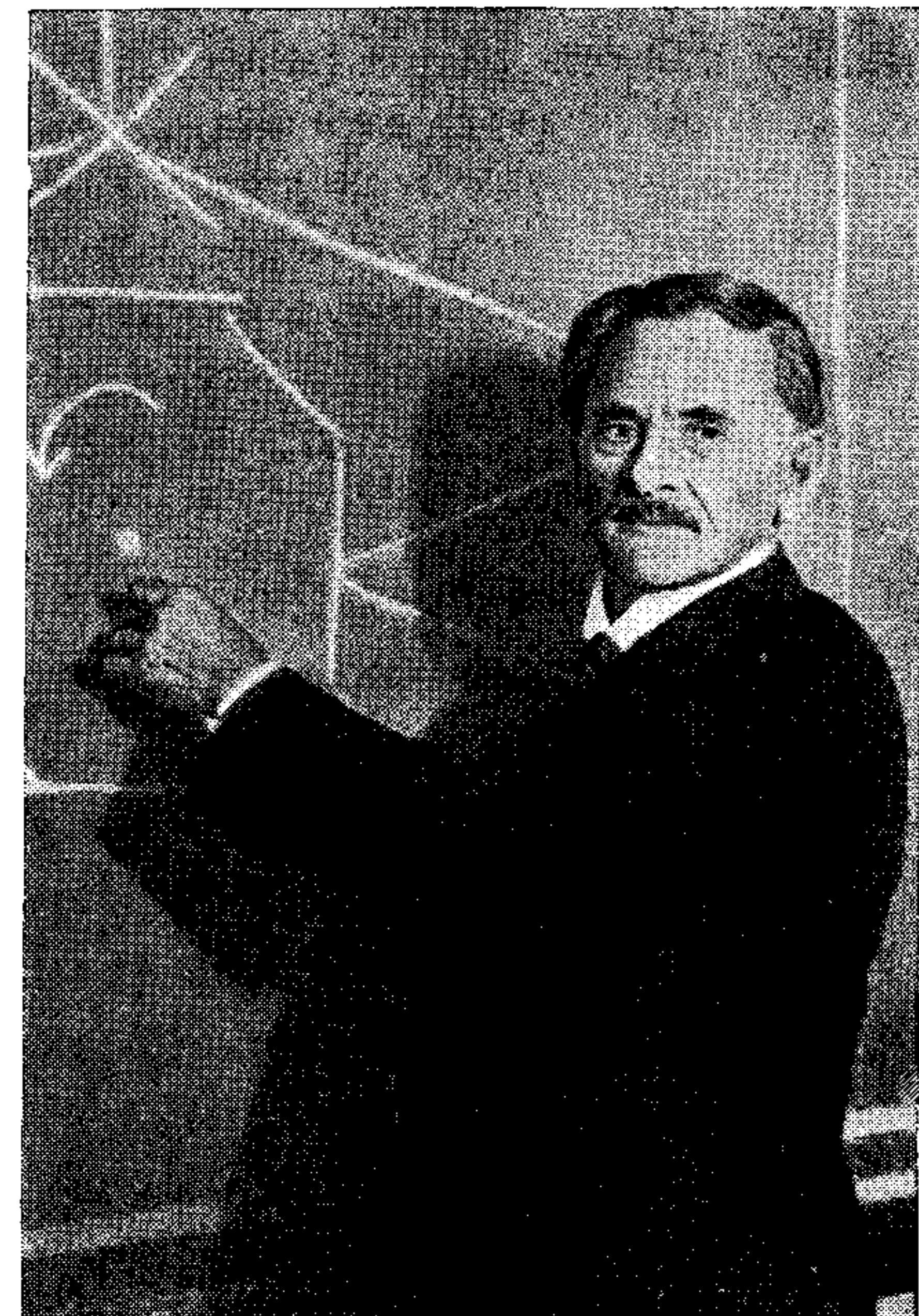
До теории Эйнштейна существовало два воззрения, или гипотезы, о природе «пустоты», разделяющей атомы в газе и звезды в мироздании. Эта пустота, «вместилище» мировых процессов, должна быть, как всякое «вместилище», физической реальностью. В мире Демокрита Эпикура материальные атомы носятся в евклидовом пустом пространстве, наложеннном простейшими геометрическими свойствами. Это пространство — воображаемая, никаким способом не ощущимая система координат — абсолютное пространство Ньютона. В такой чисто механической картине мира классическая, простейшая кинематика вполне совпадает с реальной, и относительность поступательного движения здесь никогда не подвергалась сомнению. Можно утверждать абсолютность пространства и

времени по философским соображениям, но физически нет способа отличить покой от движения в изолированной механической точке.

Если распространить такой механический принцип относительности поступательного движения на действительный мир, мы получим объяснение в некотором смысле половины того, что постулирует первая часть теории Эйнштейна, частная теория относительности. Автоматически становится понятным нулевой результат опытов Майкельсона, Троутона и Нобля и прочих (ср. гл. I и II)¹. Однако неизбежное следствие механического принципа относительности — зависимость скорости света от движения источника; скорости того и другого должны складываться, иначе опыт Майкельсона дал бы положительный результат и обнаружилось бы абсолютное движение. Между тем факт независимости скорости света от движения источника — один из наиболее точно установленных результатов физических и астрономических наблюдений. Если бы движения светил складывались со скоростью света, законы вращения двойных удаленных звезд казались бы земному наблюдателю совершенно необычайными; в действительности там выполняются те же законы Кеплера, что и в солнечной системе [1]. Попытка Ля Розы реабилитировать на основании астрономических данных гипотезу о сложении скорости света со скоростью звезды, сделанная в последнее время, оказалась ошибочной [2].

Иначе говоря, механический принцип относительности поступательного движения к действительному миру не применим. У реальной пустоты свойства отличны от евклидова пустого геометрического пространства.

В другом взрении на природу в мире вовсе не существует геометрической пустоты. По Декарту, протяженность — синоним материи. «Пустота» заполнена некоторой субстанцией с механическими свойствами, эфиром. Уверенность в существовании эфира окрепла с тех пор, как обнаружились электрические, магнитные, гравитационные и молекулярные при-



А. Майкельсон

света со скоростью звезды, сделанная в последнее время, оказалась ошибочной [2].

тяжения или отталкивания между телами и исчезли всякие сомнения в волновой природе света. Представить себе механический образ притяжений и отталкиваний без посредства промежуточной среды невозможно, а говорить о волнах в геометрической пустоте — это, по словам Эдсера, то же, что рассказывать о росте народонаселения на необитаемом острове. Ученик Ньютона Клерк писал Лейбницу: «Притяжение одного тела другим без промежуточной среды было бы не только чудом, но и противоречием, ибо пришлось бы предполагать, что нечто действует там, где его нет». Во второй половине прошлого века эфир стал для физика такую же достоверностью, как атом для нашего времени, с тем отличием, правда, что у атома хорошо известны его свойства, а относительно эфира несомненным было только его назначение: эфир должен быть ареной гравитационных, электромагнитных и оптических явлений.

Построить модель эфира, отвечающую всем этим требованиям, не удалось. По своему смыслу гипотеза эфира непосредственно объясняет фундаментальный факт независимости скорости света от движения источника. Объяснение — чисто гидродинамическое, такое же, как для распространения волн на воде и звука в воздухе. Но одновременно гипотеза эфира (по крайней мере в ее наиболее разработанных вариантах) противоречит принципу относительности в реальном мире, не согласуясь с рядом опытов в движущихся системах (ср. гл. II и III), дающих нулевой результат.

Итак, механическая картина атомов в геометрической пустоте требует, в согласии с опытом, относительности поступательных движений, но противоречит факту независимости скорости света от движения источника. Наоборот, гипотеза эфира противоречит первому, но согласуется со вторым.

Узел разрубил Эйнштейн, не делая никаких новых гипотез о свойствах пустоты, но следуя безупречному методу принципов Ньютона. Опыт утверждает относительность поступательного движения для любых явлений природы, это — первая экспериментальная аксиома, *принцип относительности*. Опыт обнаруживает независимость скорости света от движения источника, это — вторая аксиома, *принцип постоянства скорости света*¹. Если принципы верны, они не могут быть противоречивыми. Противоречие можно устранить добавлением какой-нибудь гипотезы. Например, опыт Майкельсона и зависимость скорости света от движения источника примиряются представлением о вполне увлекаемом эфире или утверждением неподвижности земли в пространстве! Но эти гипотезы противоречат огромному числу

¹ Для этого достаточно рассматривать свет как поток материальных корпускул, скорость которых складывается со скоростью излучающего их источника.

¹ Этот принцип правильнее было бы назвать началом независимости скорости от движения источника. В поле тяготения, по общей теории относительности, величина скорости света изменяется, но независимость от движения источника остается [3].

других фактов. Эйнштейн указал математические условия примиримости обоих принципов, не связанные ни с каким произвольным предположением. Эти условия требуют изменения физических понятий пространства и времени. Дело идет именно о физических величинах, т. е. доступных измерению. Отсюда вытекает ряд следствий, из коих многие сами по себе в точной или приближенной форме давно были известны и объяснялись специальными представлениями (опыт Физо с «увлечением света» движущейся средой, эффект Допплера и пр.). В теории Эйнштейна эти следствия являются просто теоремами, вытекающими из названных аксиом.

Формальное учение Эйнштейна неоспоримо, если точны его аксиомы и следствия. Демокритово пустое евклидово пространство и непостижимый эфир заменились сложным, но физически доступным пространством — временем Эйнштейна.

Частная теория относительности осталась бы математической игрой и случайностью, если бы ее не удалось распространить на случай каких угодно ускоренных движений реального мира. По Ньютону, ускоренное движение абсолютно, ибо оно сопровождается проявлением инерционных сил, которые мы обнаруживаем независимо от наличия или отсутствия другого тела. Мах впервые указал на ошибочность заключения Ньютона. Все движения происходят в реальном мире, где в пространстве разбросаны звезды и туманности. Мы никогда не можем утверждать с полной достоверностью, что инерционные силы (например, центробежная сила при вращении) обусловлены абсолютным движением тела, а не присутствием космических масс с особыми силами тяготения. В этом смысле ускоренное движение столь же относительно, как и неускоренное. Относительность такого рода осуществима, однако лишь при условии полной эквивалентности инертной и тяготеющей массы. Если бы оказалось, что, хотя бы в одном случае, отношение инертной массы к тяготеющей менялось в зависимости от химического состава и физического состояния тела, мы отличили бы действие тяготения от проявления инерционной силы, и общий принцип относительности был бы опровергнут.

Таким образом, в основу общей теории, помимо принципов относительности и независимости скорости света от движения источника, положен еще принцип эквивалентности поля тяготения и ускоренного движения относительно инерционной системы координат. Пределы экспериментальной достоверности последнего принципа излагаются в гл. V. Заметим, что сочетание первого и второго из названных принципов в общей теории уже не соответствует постоянству скорости света — в поле тяготения скорость света должна изменяться.

На основе этих аксиом Эйнштейн создал широкое математическое обобщение общей теории, которое едва ли однозначно. Стойкость и сим-

метрия математических формул играет здесь большую роль,— говоря словами Пуанкаре, здесь формулы иногда мудрее самого математика. Поэтому экспериментальная проверка следствий общей теории имеет основное значение. В частной теории ее прочность вполне гарантирована уже точностью постулатов. В дальнейшем (гл. VI, VII, VIII) довольно подробно рассмотрены три следствия общей теории, доступные опытному контролю. Все следствия можно считать подтвержденными, хотя и требуется дальнейшее исследование для точного установления количественной стороны фактов.

Структура теории относительности, как ясно из предыдущего, такова же, как теории тяготения Ньютона, теории электромагнитного поля и термодинамики. В начале теории стоят обобщенные факты-аксиомы, самая теория — ряд следствий этих аксиом, в конце — снова факты, старые или новые. Теории такого типа, если они экспериментально подтверждены, могут быть вечными. Дальнейшее экспериментальное исследование может расширить теорию включением новых аксиом (так случилось с термодинамикой) или обобщить прежние аксиомы (переменная масса в механике Ньютона). Теория Эйнштейна еще не закончена, остается невыясненной роль электромагнитного поля, природа электрона, некоторые космологические выводы, связь с квантовыми явлениями и пр., но ядро теории стоит на очень прочном экспериментальном фундаменте. Такие теории растут, совершенствуются, но не погибают.