

Л.И.Верховский

MeMyAr

**по теории относительности
и единой теории поля**



Москва, 2000

Л.И.Верховский

Мемуар

**по теории относительности
и единой теории поля**

Москва, 2000

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются преобразования Лоренца в их исходно более общем виде, то есть с множителем, описывающим изменение масштабов. Показано, что Х.Лоренц, А.Пуанкаре и А.Эйнштейн приравнивали этот масштабный множитель единице без должных оснований; раскрыт его физический смысл — он характеризует эффект Доплера. В результате снимаются парадоксы специальной теории относительности и открывается естественный путь к построению единой теории поля.

SUMMARY

Lorentz transformations in their originally more general form, i.e. with the scale factor, are considered. It is shown, that H.Lorentz, A.Poincare and A.Einstein have put this factor equal to one without proper foundations. It is elucidated the physical sence of this factor — it describes Doppler effect. As the result the paradoxes of the special theory of relativity are removed and the natural path to the construction of unitary field theory is open.

... Однако кларизм Кузмина имеет свою опасную сторону. Кажется, что такой хорошей погоды, какая случается особенно в его последних стихах, и вообще не бывает. Осип Мандельштам. О современной поэзии.

ВВЕДЕНИЕ

В классической механике при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой координаты изменяются в соответствии с преобразованием Галилея. Так, в случае движения второй («штрихованной») системы относительно первой вдоль оси X со скоростью v пересчету подлежит только эта координата: $x' = x - vt$; остальные пространственные, а также временная переменные сохраняли свои значения: $y' = y$, $z' = z$, $t' = t$.

Но в конце прошлого века поняли, что в электродинамике формулы Галилея уже не работают: уравнения Максвелла не инвариантны относительно них, из-за чего разные инерциальные наблюдатели становятся неравноправными. Поэтому пришлось отыскать другие преобразования, получившие имя Лоренца; они выглядят (опять же при движении вдоль оси X) так:

$$x' = Q(x - vt), y' = y, z' = z, t' = Q(t - vx/c^2),$$

где $Q = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, c — скорость света.

Вид преобразований определяет геометрический каркас физической теории. Галилеевым формулам и ньютоновской механике соответствовала геометрия Евклида, а лоренцевым — уже Минковского, то есть четырехмерного пространства—времени с особой метрикой (в ней временная координата входит со знаком минус). Физическую интерпретацию новых преобразований дал А.Эйнштейн, создав специальную теорию относительности (СТО).

Понятно, что если пытаться что-то менять в преобразованиях Лоренца, — а именно такова цель этой работы, — то надо быть готовым к серьезной реконструкции как самой СТО, так и основанных на ней теорий, в первую очередь, общей теории относительности (ОТО). А чтобы лучше понять суть предлагаемого новшества, полезно проследить, как шел поиск новых, лоренцевых преобразований.

ГЛАВА 1.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ: ПОТЕРЯННЫЙ МНОЖИТЕЛЬ

1.1. От Галилея к Лоренцу

В 1887 г. В.Фогт из Геттингена обнаружил, что волновое уравнение (к которому фактически сводятся уравнения Максвелла) сохраняет свой вид при таких преобразованиях:

$$x' = x - vt, \quad y' = y/Q(v), \quad z' = z/Q(v), \quad t' = t - vx/c^2.$$

Как видим, у него появился радикал $Q(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, а время ста-

ло относительным, то есть зависящим от взаимного движения двух наблюдателей (в целом его формулы отличаются от принятых ныне преобразований Лоренца на постоянный множитель $1/Q$).

Англичанин Дж.Лармор, голландец Х.Лоренц и другие физики выводили преобразования, отталкиваясь, как правило, от той или иной модели эфира — гипотетической среды, в которой распространяются электромагнитные волны. В 1898 г. Лоренц получил такие выражения:

$$x' = \eta(v)Q(v)(x - vt), \quad y' = \eta(v)y, \quad z' = \eta(v)z, \quad t' = \eta(v)Q(v)(t - vx/c^2).$$

Обратим внимание, что кроме радикала Фогта в них присутствует еще множитель $\eta(v)$, который одинаково влияет на все координаты (и пространственные, и временную), то есть он характеризует общее изменение масштабов. Лоренц указал, что этот коэффициент должен иметь вполне определенное значение, которое можно будет установить, лишь «...глубже постигнув суть явления». В 1904 г. он вернулся к этому вопросу и пришел к выводу, что $\eta(v)$ нужно приравнять единице [1].

В следующем году события развивались стремительно: 5 июня А.Пуанкаре выступил в Париже с сообщением «О динамике электрона», опубликованным в «Comptes Rendus». Он привел тот же общий, то есть содержащий коэффициент $\eta(v)$, вид преобразований, что и Лоренц, и он тоже положил $\eta(v)$ равным единице [2] (тогда же французский ученый предложил назвать эти формулы «преобразованиями Лоренца», и это утвердилось в науке).

А 30 июня в «Annalen der Physik» поступила знаменитая статья Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел» [3]. Молодой служащий патентного бюро вывел преобразования координат,

исходя уже не из требования инвариантности уравнений Максвелла, а из двух положенных им в основу своей теории постулатов: 1) все инерциальные системы равноправны; 2) скорость света постоянна, то есть не зависит от скорости движения источника света.

Эйнштейн тоже сначала получает такой же общий вид преобразований, что и Лоренц с Пуанкаре, а затем выясняет, чему должен равняться коэффициент $\eta(v)$. Во-первых, говорит он, последовательное применение прямого и обратного преобразований оставляет все без изменений, то есть $\eta(v)\eta(-v) = 1$; во-вторых, перемена знака скорости не должна влиять (изотропность пространства), поэтому $\eta(v) = \eta(-v)$. Из этих двух утверждений он сразу получает, что $\eta(v)$ тождественно равна единице.

В июле Пуанкаре закончил работу (опубликованную в 1906 г.), где подробнее рассмотрел вопрос о коэффициенте $\eta(v)$. Он утверждал, что преобразования будут представлять собой математическую группу (а это совершенно необходимое требование) только в том случае, если $\eta(v) \equiv 1$.

Итак, все три отца-основателя релятивистской физики сошлись во мнении, что зависящий от скорости коэффициент η должен тождественно равняться единице, то есть из формул он фактически исчезает. В таком частном, урезанном виде преобразования Лоренца и вошли в тысячи книг и учебников; поэтому неудивительно, что теперь мало кто вспоминает об исходно более общем их виде — с масштабным множителем $\eta(v)$.

1.2. Gedankenexperiment

Читатель, наверное, уже догадался, что дальнейшие рассуждения будут как-то связаны с этим множителем. Мы неожиданно вновь встретимся с ним и поймем его возможный физический смысл, рассмотрев под новым углом зрения тот самый мысленный эксперимент, от которого отталкивался Эйнштейн при создании СТО.

Как уже сказано, Эйнштейн исходил из двух постулатов. Первый из них (о равноправии инерциальных систем) совершенно понятен, а вот второй (о постоянстве скорости света) выглядит странно — ведь он противоречит нашим интуитивным, основанным на привычной механике представлениям.

В самом деле, представим, что в двух точках, удаленных друг от друга на расстояние L , находятся неподвижные наблюдатели A и

B (рис. 1). Если в момент, когда с *A* сравнивается движущаяся со скоростью v (допустим, что в сторону *B*) ракета, на которой находится наблюдатель *N*, они оба (то есть *A* и *N*) выстрелят из одинаковых ружей в сторону *B*, то пуля от *N* прилетит к нему раньше, поскольку к скорости, которое сообщило ей ружье, добавится скорость ракеты, на которой движется *N* относительно *A*.

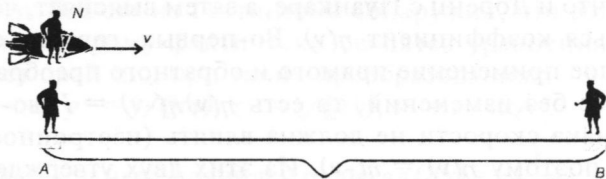


Рис. 1

Если же вместо выстрелов из ружей наблюдатели *A* и *N* производят вспышки света от одинаковых фонарей, то, в соответствии с постулатом Эйнштейна, световые сигналы от них придут к *B* одновременно. В этом и состоит принцип постоянства скорости света — движение ракеты никак на ней не отражается. В начале века это фактически был уже экспериментально установленный, хотя и парадоксальный, факт (на него указывали опыты Майкельсона—Морли). А как говорил И. Гете, «если у вас есть парадокс, сделайте его аксиомой». Именно так и поступил Эйнштейн.

Но приняв два указанных постулата, сразу приходишь к противоречию между ними. Ведь согласно второму из них лучи от *A* и *N* через время L/c должны достичь *B*. Однако за это время ракета сместится на vL/c и будет находиться в точке *P* на расстоянии $(L - vL/c)$ от *B* (рис. 2). Но тогда скорость выпущенного *N* света будет меньше эталонной (поскольку расстояние, пройденное им за время L/c меньше L). С другой стороны, наблюдатели *A* и *N* равноправны, и значит, аналогичные рассуждения приведут к выводу, что, если скорость света от *N* равна c , то скорость света от *A* будет больше ее.

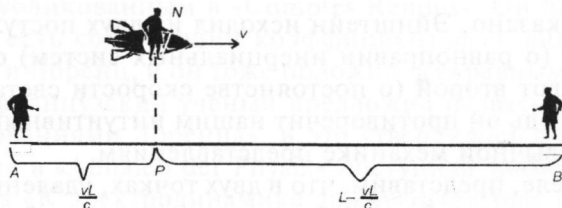


Рис. 2

Иначе говоря, для обоих наблюдателей скорости света никак не могут быть одинаковыми. Назовем это умозаключение «основным противоречием» — именно стремление его как-то разрешить привело Эйнштейна к построению СТО, а ключ к проблеме он увидел в анализе понятия одновременности.

1.3. Решающий шаг

Но этот мысленный опыт можно истолковать и по-иному. Заметим, что хотя световые импульсы от A и N придут к B одновременно, длины волн двух воспринятых им сигналов будут разными — ведь свет от N испытает фиолетовое смещение, то есть его длина волны уменьшится. Это хорошо известный эффект Доплера, на который СТО не обращает особого внимания, — она рассматривает его как внешний, не влияющий на геометрию пространства—времени. В СТО доплеровское смещение длины вол-

ны света описывает простая формула:
$$D = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$$
.

Но доплер-эффект будет одинаково (универсально) влиять на любые используемые при процедурах измерения масштабы. Особенно четко это видно, если в качестве масштабов применять не твердые линейки и абстрактные часы (как у Эйнштейна), а оптические характеристики (длину волны и период колебаний) световых сигналов. Легко представить, что если мы сближаемся с объектом, то все масштабы (по Доплеру) сжимаются, а если удаляемся от него — то растягиваются.

Поэтому логично предположить, что коэффициент D , который количественно описывает этот эффект, должен как-то фигурировать в преобразованиях координат при переходе к движущейся системе отсчета и, значит, вносить свой вклад в саму геометрию пространства—времени. А именно, делать масштабы в нем переменными.

Теперь мы оказываемся в состоянии предложить другой выход из основного противоречия. В самом деле, давайте просто примем, что — с учетом доплеровского изменения масштабов — пути, пройденные светом за один и тот же интервал времени от наблюдателей A и N , то есть длины отрезков AB и PB (рис. 2) станут уже одинаковыми. Но тут сразу возникает вопрос: как часть отрезка может равняться целому?

Конечно, в понятиях привычной евклидовой геометрии это невозможно, однако длина и длительность — это размерные величины, поэтому их численные значения зависят не только от них самих, но и от используемых при их измерении масштабов. Так как масштабы стали у нас переменными, то длины отрезков AB и PB могут в принципе выражаться одними и теми же числовыми значениями.

Значит, если мы приравняем их, то сразу узнаем, как именно должны изменяться масштабы, чтобы это требование выполнялось: $L = K(L - vL/c)$, где K — искомый коэффициент изменения масштабов; $K = c/(c - v)$, и легко заметить (школьная алгебра),

$$\text{что } \frac{c}{c - v} = \sqrt{\frac{c + v}{c - v}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = D(v)Q(v).$$

Что же получилось? Кроме хорошо знакомого радикала $Q(v)$, как чертик из табакерки, возник дополнительный множитель $D(v)$, описывающий эффект Доплера! Но ведь в выражениях, которые получали Лоренц, Пуанкаре и Эйнштейн, сначала, как мы помним, был масштабный коэффициент $\eta(v)$, и они дружно приравнивали его единице. Так, может быть, он все же не обязан быть таковым?

1.4. Возвращение утраченного множителя

Пуанкаре говорил, что $\eta(v)$ должен равняться единице, чтобы преобразования были группой. Их групповые свойства описывает закон сложения скоростей СТО: если система K_2 движется со скоростью v_1 относительно K_1 , а K_3 — со скоростью v_2 относительно K_2 , то система K_3 движется относительно K_1 со скоростью

$$v_3 = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}.$$

Проверим, нарушит ли эту зависимость доплеровский множитель. При последовательном применении двух преобразований два исходных коэффициента $\eta(v)$ просто перемножаются:

$$\eta(v_3) = \eta(v_1)\eta(v_2) = \sqrt{\frac{c+v_1}{c-v_1}} \sqrt{\frac{c+v_2}{c-v_2}} = \sqrt{\frac{c + \frac{v_1+v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}}{c - \frac{v_1+v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}}} = \eta\left(\frac{v_1+v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}\right).$$

Мы убедились, что закон сложения скоростей остался в прежнем виде. Выходит, что великий математик Пуанкаре тут ошибся. Легковесными оказываются и основанные на соображениях симметрии движений в противоположных направлениях доводы Эйнштейна — ведь приближение и удаление не равноправны с точки зрения эффекта Доплера. Поэтому его условие $\eta(v) = \eta(-v)$ надо отбросить, а тогда $\eta(v)$ уже не обязана быть единицей.

Итак, считаем $\eta(v) = D(v)$. С учетом восстановленного в правах масштабного множителя преобразования координат (назовем их «новыми преобразованиями Лоренца», а приводимые в учебниках — «старыми») запишутся так:

$$x' = \left(\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}\right)^r \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad y' = \left(\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}\right)^r y; \quad z' = \left(\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}\right)^r z; \quad t' = \left(\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}\right)^r \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}.$$

{Показатель степени r нужен, чтобы доплеровский множитель менял свое значение на обратное при переходе от приближения к удалению и наоборот: $r = \text{sgn}(x - vt)$; $r = 0$, если $x = vt$, то есть в момент пересечения наблюдателем точки, координаты которой он определяет. Именно изменение параметра r обеспечивает равенство $\eta(v) = \eta(-v)$ в том частном случае, который рассмотрел Эйнштейн [3], — когда $\eta(v)$ характеризует изменение длины стержня, ориентированного перпендикулярно направлению движения, при его движении в ту или другую сторону от наблюдателя. Ведь вместе со знаком v изменится и значение r : вначале стержень был по одну сторону от наблюдателя, а потом — по другую, то есть пересекает его. В итоге $\eta(v)$ останется неизменной.}

Физический смысл нашего нововведения прост: если объект покоится в какой-то системе отсчета, то измерения там проводятся некоторыми эталонными масштабами (масштабами покоя). Приближение к объекту приводит к доплеровскому сокращению масштабов, а удаление от него — к их растяжению (в общем виде,

когда скорость имеет произвольное направление, изменение масштабов задает формула, описывающая доплеровский эффект в зависимости от угла, под которым свет идет от движущегося источника O' к наблюдателю O . В частности, если он равен 90° , то будет так называемый поперечный эффект Доплера; в этом слу-

$$\text{чае } D = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1/Q.$$

Замечу, что на важность эффекта Доплера указывал Л.Бриллюэн [4], а на зависимость масштабов от направления движения — Е.Кэллуик [5].

1.5. Кинематика без софизмов

В СТО, то есть при старых преобразованиях Лоренца, все основные зависимости определял коэффициент $Q(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, в

который входит только квадрат скорости. Поэтому перемена знака скорости никак не сказывалась — $Q(v)$ всегда больше единицы, из-за чего длины в движущихся системах отсчета всегда сокращаются, а часы замедляются.

Теперь в преобразования входит произведение двух коэффициентов — прежнего Q и доплеровского множителя $D = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$.

При одном направлении движения (когда $v > 0$) второй коэффициент больше единицы, при другом (когда $v < 0$) — меньше. При этом новый множитель «забывает» старый, то есть, если $D > 1$, то и все произведение такое же, если $D < 1$, то и произведение тоже. Значит, эффект Доплера будет определять общую асимметрию двух противоположных направлений движения — в зависимости от него будут расти или уменьшаться длины и времена, а также другие физические характеристики. (Разумеется, такая асимметрия связана только с процедурами измерения и никоим образом не нарушает изотропность самого пространства—времени.)

Законы новой релятивистской кинематики получаются непосредственно из формул преобразований. Приведу некоторые из них.

1. Движущиеся часы ускоряются или замедляются (с точки зрения неподвижного наблюдателя) в зависимости от направления движения. Ход движущихся часов теперь определяет формула $T' = T(1 + v/c)$, где T' — промежуток времени по движущимся часам в системе отсчета, где они покоятся. Пресловутого «парадокса близнецов» (любимая тема фантастов) уже не будет — к моменту встречи они оба состарятся одинаково.

Представить это можно так. Допустим, от нас удаляется ракета и с нее идет телепередача. В нашей покоящейся системе отсчета все, что мы видим на экране телевизора, происходит в замедленном темпе, поэтому для нас часы на ракете отстают. Но когда ракета поворачивает обратно, все нам кажется уже ускоренным, и к моменту прилета показания обоих часов сравниваются.

2. Аналогично и стержень, ориентированный вдоль направления движения, удлиняется или сокращается в зависимости от знака скорости: $l = l'(1 - v/c)$, где l' — длина стержня в системе отсчета, где он покоится.

3. В СТО геометрия быстро вращающегося диска получается неевклидовой — вдоль радиусов изменения длин нет, а по касательным направлениям есть сжатие в Q раз, то есть обычная зависимость длины от окружности от радиуса становится неверной. Теперь, учитывая поперечный эффект Доплера (D в этом случае равен $1/Q$, и произведение двух наших коэффициентов даст единицу), изменения длин по касательным не будет. Поэтому геометрия диска останется евклидовой, что согласуется с принципом относительности вращательного движения. (Ведь иначе этот эффект позволял бы выявить вращение единственного во Вселенной тела — такое его движение стало бы абсолютным.)

Законы динамики теперь тоже изменятся. Например, в формулу, выражающую зависимость массы от скорости, добавится доплеровский множитель, то есть будет уже не $m' = Qm$, а

$m' = DQm = \frac{cm}{c-v}$. Значит, масса будет расти или уменьшаться в зависимости от знака v .

1.6. Масштабы в природе

В СТО геометрическая величина s , называемая четырехмерным интервалом ($s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$), оказывалась равной во всех инерциальных системах отсчета (инвариант). Теперь же интер-

вал будет растягиваться или сжиматься в η раз (вместе с масштабами длины и времени; инвариантно лишь условие $s = 0$. Кстати, обсуждая теорию Г.Вейля, Эйнштейн писал, что следовало бы попытаться именно так изменить теорию относительности [6]).

Но ведь все инерциальные системы равноправны, поэтому мы сразу приходим к очень важному выводу о масштабной инвариантности, или скейлинге в физическом мире. Это означает, что изменение пространственно-временных масштабов автоматически влечет за собой такую согласованную подстройку значений масс и других физических величин, что никаких экспериментально выявляемых нарушений в законах природы не происходит. Другими словами, никаких фиксированных масштабов в окружающей реальности нет (такую возможность обсуждал еще в XVIII веке хорватский мыслитель Р.Бошкович).

В нашем столетии этот вопрос привлек к себе пристальное внимание. Дело в том, что с математической точки зрения старые преобразования Лоренца (когда $s = const$) описывают линейное ортогональное преобразование (их задают 10 параметров). Но в 1910 г. англичане Г.Бейтман и Э.Каннингхем обнаружили [7], что уравнения Максвелла инвариантны относительно более широких, так называемых конформных преобразований, которые включают растяжения и сжатия интервала (это преобразования подобия, задаваемые 11 параметрами), а также «инверсию», когда интервал изменяется от s к $1/s$ (оно характеризуется уже 15 параметрами).

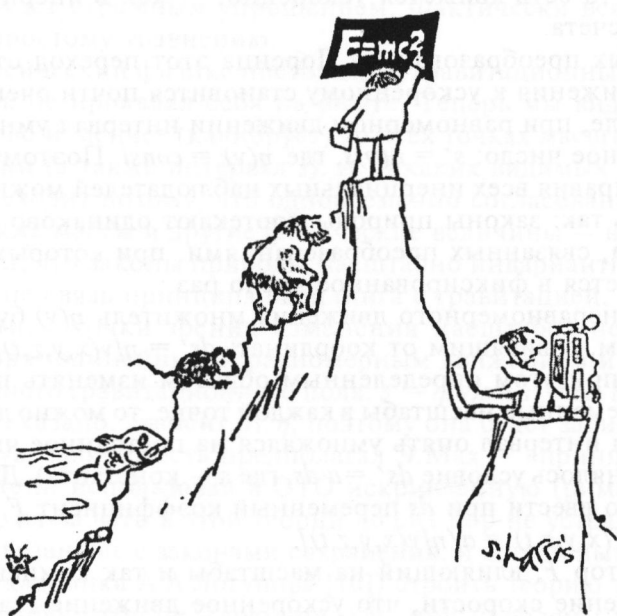
Казалось бы, в основе всей физики должна лежать максимально широкая, то есть конформная симметрия, и было много попыток осуществить эту идею, но они так и не увенчались успехом. Как писал в 70-е годы наш историк физики В.П.Визгин [7], «...разнообразные, порой загадочные связи конформной симметрии с физикой продолжают волновать воображение теоретиков до настоящего времени».

В СТО интервал был постоянен. У нас же он стал переменным ($s' = \eta s$), значит фактически мы уже перешли к группе подобия, когда интервал может сжиматься и растягиваться. Кроме того, приближение со скоростью v дает изменение интервала в $\eta(v)$ раз, а удаление с такой же скоростью — в $1/\eta(v)$ раз. Видимо, инверсия связана с изменением знака скорости (или времени).

(Преобразование инверсии играет важную роль и в биологии — описывает процесс формообразования, например цветов [8]. Любопытно, что различные виды инверсий занимали Л.Кэрролл-

ла — изменения направления времени, пространственные отражения, выворачивания наизнанку. Так, у короля было два гонца — «один, чтобы бежал туда, а другой — чтобы бежал оттуда». Прямо как две наши системы отсчета, связанные преобразованием инверсии.)

Судя по всему, при новых преобразованиях Лоренца реализуется именно 15-параметрическая конформная группа. На этих представлениях de Spatio et Tempore и должна основываться физика.



ГЛАВА 2. ТЯГОТЕНИЕ И ДРУГИЕ СИЛЫ

2.1. Геометрия и гравитация

После создания СТО Эйнштейну потребовалось десять лет, чтобы построить общую теорию относительности (ОТО), охватывающую также неинерциальные системы отсчета. Путеводной звездой служила для него аналогия между гравитацией и ускоренным движением: в покоящемся лифте все физические процессы протекают так же, как и в летящей с соответствующим постоянным ускорением ракете, а в лифте, который свободно падает в поле тяготения, то есть движется ускоренно, — как в инерциальной системе отсчета.

При новых преобразованиях Лоренца этот переход от равномерного движения к ускоренному становится почти очевидным. В самом деле, при равномерном движении интервал умножается на постоянное число: $s' = \eta(v)s$, где $\eta(v) = \text{const}$. Поэтому принцип равноправия всех инерциальных наблюдателей можно сформулировать так: законы природы протекают одинаково в системах отсчета, связанных преобразованиями, при которых интервал изменяется в фиксированное число раз.

В случае неравномерного движения множитель $\eta(v)$ будет уже переменным, зависящим от координат: $ds' = \eta[v(x,y,z,t)]ds$. Однако если при этом определенным образом изменять пространственно-временные масштабы в каждой точке, то можно добиться того, чтобы интервал опять умножался на постоянное число (то есть выполнялось условие $ds' = a \cdot ds$, где a — константа). Для этого надо просто ввести при ds переменный коэффициент F , причем положить $F(x,y,z,t) = a/\eta[v(x,y,z,t)]$.

Этот фактор F , влияющий на масштабы и так компенсирующий изменение скорости, что ускоренное движение становится неотличимым от инерциального, естественно считать гравитационным потенциалом. Значит, мы уже выяснили геометрический смысл гравитации.

2.2. Уравнение тяготения

Величина F будет скалярной, и вслед за Пуанкаре, М.Абрагамом, Г.Нордстремом и другими учеными начала XX века [9] можно предположить, что она удовлетворяет уравнению, которое представляет собой естественное расширение уравнения Пуас-

сона ($\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 4\pi\rho$, где ρ — плотность), выразившего

закон тяготения Ньютона, — уравнению Даламбера:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 4\pi\rho.$$

Тут просто добавилась четвертая координата — время, из-за чего уравнение стало инвариантно относительно преобразований Лоренца (в их старом и новом виде). Такой переход от математически очень сложной тензорной ОТО к скалярной теории гравитации будет огромным упрощением. Фактически вся ОТО свелась к простому уравнению.

В классической физике постоянный гравитационный потенциал никак не проявлял себя на опыте. Теперь мы видим, что он одинаково изменяет (калибрует) во всех точках масштабы длины и времени (а также интервал s). А никаких видимых изменений не происходит потому, что одновременно согласованно изменяются также массы и другие физические величины — ведь мы уже говорили, что законы природы масштабно инвариантны. Значит, стала ясна связь принципа скейлинга с гравитацией.

(Кстати, с точки зрения изменения масштабов нет разницы между прямолинейным и равномерным движением и введением постоянного гравитационного поля: $s' = \eta(v)s$ и $s' = Fs$. Масса тела, как уже сказано, зависит от η , поэтому она будет зависеть и от F . Подобную зависимость предполагал Э.Мах — «принцип Маха».)

Эйнштейн использовал в ОТО искривленную (риманову) геометрию, из-за чего в этой теории до сих пор не устранены трудности, связанные с законами сохранения, и есть попытки (в частности, академика А.А.Логонова [10]) строить теорию тяготения в плоском пространстве—времени, где этой проблемы нет. Мы же получили, что потенциал $F(x, y, z, t)$ служит коэффициентом, показывающим изменение масштабов в каждой точке, то есть он определяет так называемый «конформный фактор». В результате возникает известное «конформно-плоское» пространство, в котором законы сохранения выполняются так же хорошо, как и в плоском.

2.3. Три кита, на которых стоит ОТО

Как пишут в учебниках, экспериментальные подтверждения ОТО сводятся к трем основным предсказанным ею эффектам: ис-

кривлению лучей света в поле тяготения, смещению перигелия Меркурия и гравитационному сдвигу спектральных линий. Что о них можно сказать теперь?

Свет идет по самым коротким путям, а в пространстве с переменным масштабом длины прямая линия, вообще говоря, уже не будет кратчайшей линией (геодезической), соединяющей две точки, — примерно так же, как в прозрачном материале с переменным коэффициентом преломления. Ведь вблизи тяготеющей массы, скажем, планеты, масштаб длины (метр) будет меньше, чем вдали от нее, а длина (число метров, укладываемое в определенном отрезке), соответственно, больше. Поэтому световому лучу выгоднее держаться подалеже от планеты и он будет искривляться, что и наблюдают.

Проблема Меркурия. Еще в середине прошлого века У.Леверье выявил аномалию в движении этой планеты — точка ее перигелия медленно смещается (всего на 43 дуговых секунды в столетие; для более удаленных от Солнца планет подобный эффект еще меньше). Объяснить его на основе классической механики не удавалось, поэтому астрономы стали пытаться как-то модифицировать ньютоновский закон всемирного тяготения. Например, чтобы сила зависела не только от расстояния, но и от скорости взаимного движения Солнца и планеты.

В 1898 г. учитель одной из немецких гимназий П.Гербер [11], исходя из не вполне ясных историкам науки соображений, но учитывая конечность скорости распространения поля тяготения (считая ее равной скорости света), предложил такое выражение

$$\text{для гравитационного потенциала: } U = \frac{m}{r \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr}{dt} \right)^2}.$$

Из него он получил формулу, выражающую смещение перигелия Меркурия и давшую числовое значение, в точности совпадающее с фактическим. Когда позднее Эйнштейн вывел из ОТО свою формулу, она оказалась такой же, как у Гербера.

Из новых преобразований Лоренца, как уже сказано, следуют зависимости массы от скорости (в направлении действия

силы) $m' = \frac{cm}{c-v}$ и расстояния от скорости $r' = \frac{c-v}{c} r$. Подставляя

их в формулу Ньютона для гравитационного потенциала $U = \frac{m}{r}$,

убеждаемся, что выражение Гербера правильно: $U = \frac{m}{r \left(1 - \frac{v}{c}\right)^2}$, где

$v = \frac{dr}{dt}$. Таким образом, проблема Меркурия сразу решается на основе новых преобразований Лоренца.

А вот на третьем «ките» — гравитационном сдвиге спектральных линий — предсказания ОТО и наши выводы как будто расходятся.

2.4. Краснеют ли фотоны?

По Эйнштейну, свет, приходящий к нам от звезды, испытывает красное смещение — фотоны как бы теряют часть своей энергии, преодолевая силу притяжения (если свет идет в обратную сторону, то, соответственно, будет фиолетовое смещение). И такое изменение длины волны света должно быть в принципе наблюдаемо для излучения Солнца (и других звезд), хотя из-за хаотического движения его атомов эффект обнаружить трудно.

В 60-е годы американец Р. Паунд с сотрудниками экспериментально проверяли это предсказание ОТО в земных условиях. Они пускали луч света вдоль башни высотой 22,5 м и использовали эффект Мессбауэра для фиксации сдвига длины волны. Но относительное изменение этой величины в данном случае должно быть чрезвычайно малым — порядка 10^{-16} . Тем не менее авторы работы утверждали, что им удалось наблюдать именно такой сдвиг [12].

При новом истолковании тяготения этого эффекта вроде бы быть не должно. Ведь гравитационный потенциал, как мы установили, калибрует масштабы, то есть определяет длину волны и период колебаний света в каждой точке. Поэтому одинаковые атомы, расположенные в местах с разными значениями потенциала (например водородные атомы на Солнце и на Земле), будут излучать свет с разной длиной волны (на Солнце с меньшей, на Земле с большей).

А когда испущенный на Солнце свет достигнет нашей планеты, его длина волны сравнивается с той, что излучает атом водорода на Земле — в соответствии с местным значением гравитационного потенциала. Значит, заметить смещение длины волны света земному наблюдателю никаким способом не удастся.

На что влияет гравитационный потенциал? На все: на масштабы длины и времени, массы, заряды, но влияет так, что никаких видимых изменений законов природы не происходит. Поэтому и для гипотетического наблюдателя на Солнце, и для человека на Земле длина волны и период колебаний света, излучаемого атомами одного типа, и там и тут будут казаться одинаковыми.

Можно сказать, что в области более высокого потенциала все процессы ускоряются (низкого — замедляются), но такие эффекты в принципе невозможно заметить. Любые часы, отправленные из одной области в другую, по возвращении будут показывать то же время, что и те, что оставались на месте — никакого парадокса часов (или близнецов) не будет и в этом случае.

Еще один мысленный опыт. Пусть от нас удаляется космический корабль, который инерциально летит в области с нулевым гравитационным потенциалом. Источник света на корабле излучает свет с некоторой длиной волны, а мы принимаем его с большей длиной волны (эффект Доплера). Затем корабль входит в область притяжения массивного тела (планеты) и начинает ускоряться (падать в поле тяготения). Что мы будем при этом наблюдать? Никаких изменений: длина волны света должна увеличиваться по Доплеру, но и уменьшаться, так как источник света движется в сторону роста гравитационного потенциала — два эффекта компенсируют друг друга.

А что касается опытов Паунда с коллегами, то они широко не перепроверялись, поэтому можно допустить, что их результаты ошибочны.

2.5. Симметрии и поля

Последние 30 лет своей жизни Эйнштейн посвятил поискам единой теории поля, а в наше время такая задача стала центральной в теоретической физике. В 70-е годы удалось объединить электромагнитное и слабое взаимодействия (теория Вайнберга—Салама), а теперь пытаются присоединить к ним и сильное.

Ключ к решению этой грандиозной проблемы видят в принципе «калибровочной инвариантности» (а сами физические поля

называют калибровочными, или компенсирующими). Суть в том, что наличие того или иного поля позволяет перейти от слабой, глобальной симметрии (когда некоторый параметр одинаково изменяется во всем пространстве) к более сильной, локальной (когда его изменение зависит от точки). Иначе говоря, введение поля расширяет симметрию уравнений, описывающих законы природы.

Это особенно четко видно на примере того, как мы ввели гравитацию. Если при равномерном движении было глобальное преобразование масштабов во всем пространстве Минковского ($s' = \eta s$), то при неравномерном оно будет уже локальным: $ds' = \eta(x, y, z, t) ds$. Именно появление гравитационного поля позволяет так скомпенсировать изменение скорости, что ускоренное движение становится свободным падением. Поэтому такое поле обеспечивает равноправие равномерного и ускоренного движений.

Но ведь кроме тяготения в природе есть и другие поля, о существовании некоторых из них Эйнштейн даже не знал. Нельзя ли аналогично «вызвать из небытия» и их? (Тут мы как бы берем на себя функции Создателя Вселенной — решаем, какие поля в ней должны быть.) Теперь, когда интервал перестал быть постоянным (как это было в СТО — там нечего было компенсировать), это вроде бы становится возможным.

В самом деле, гравитация, как скалярное поле, оказалось компенсирующим при переходе от глобального масштабного преобразования к локальному. Однако есть математически более общие преобразования — аффинные, проективные (такую последовательность геометрий рассмотрел Ф.Клейн в своей «Эрлангенской программе» [13, 14]). Было бы красиво, если бы иерархия полей соответствовала этой иерархии геометрий.

Значит, по аналогии можно потребовать инвариантности законов природы относительно локальных аффинных преобразований координат, то есть независимых изменений масштабов по каждой координате в отдельности. Тогда для компенсации таких изменений придется ввести уже не скалярное, а векторное поле (из четырех компонентов), которое естественно считать четырехмерным электромагнитным потенциалом.

2.6. Математическая интермедия

Мы пришли к тому, что и гравитационное, и электромагнитное (электрослабое) поле вызывают изменения масштабов в каж-

дой точке пространства-времени, но первое из них характеризуется скалярной функцией, а второе — четырьмя такими функциями, причем такой 4-вектор уже нельзя считать градиентом скалярной функции (скалярное поле сводится к векторному, но не наоборот). Это связано с негладкостью, особыми точками электромагнитного поля (как мы знаем, электромагнетизм тесно связан с топологическими фактами типа того, что «сферического ежа нельзя причесать без проборов или хохолков»).

Такую геометрическую интерпретацию электромагнитного поля фактически предложил еще в 1918 г. Г. Вейль [15]. Но его теорию не приняли, так как изменение интервала при проходе по замкнутому контуру из-за наличия особых точек могло стать неинтегрируемым и возникала неоднозначность. Однако в квантовой механике, как показал Э. Шредингер для простейших случаев, например, для квантовых условий Бора, суммарное изменение фазы волны оказывается равным целому числу волн, то есть не наблюдается [16].

Видимо, это является общим принципом, иначе говоря, в квантовой механике противоречие снимается, причем сами волновые свойства материи будто бы специально для того и предназначены, чтобы неинтегрируемость не приводила к неоднозначности [17]. В результате все оказывается логически увязанным в общую картину.

Становится ясным геометрический смысл очень важного принципа калибровочной инвариантности электромагнитного поля, который гласит, что к его векторному потенциалу можно прибавлять градиент любой скалярной функции, и на напряженности поля, которая только и проявляет себя на опыте, это никак не скажется. Очевидно, что такая произвольная функция есть гравитационный потенциал, то есть электромагнетизм как бы не замечает гравитацию — ведь там функции гладкие.

Теперь пора вспомнить и о последнем из известных физических взаимодействий — сильном, внутриядерном. Как ввести его? Действуя по аналогии, можно потребовать инвариантности условия $s' = const \cdot s$ относительно еще более общих — локальных проективных преобразований координат. Тогда для их компенсации потребуются ввести уже восьмикомпонентное поле, которое, видимо, можно отождествить с тем, что фигурирует в современной теории сильного взаимодействия (квантовой хромодинамике).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многие ученые чувствовали, что с теорией относительности не все в порядке, — вряд ли какие другие физические концепции вызвали столь ожесточенные споры на протяжении многих десятилетий (один лишь парадокс близнецов породил горы книг). Но если приемлемой альтернативы найти не удастся, то спорные взгляды постепенно превращаются в догму. Ведь, как заметил известный методолог науки Т.Кун, «отказ от какой-либо парадигмы без замены ее другой означает отказ от науки вообще» [18].

Так случилось и с теорией Эйнштейна. Например редколлегия журнала «Оптика и спектроскопия» в 1991 г. (№ 4, с.555) объявила, что больше не рассматривает статей с критикой основ СТО — вроде как проектов вечного двигателя (это решение редколлегии было одобрено Общим собранием Отделения общей физики и астрономии АН СССР 13 марта 1991 г.). И все же подобные работы со странной настойчивостью появляются (что касается автора этих строк, то в конце 80-х годов он разослал свои соображения в несколько ведущих физических институтов и не получил ни одного положительного отзыва).

Конечно, теория относительности имеет уже почти столетнюю историю, она проверялась в различных экспериментах, на ее основе проектируют ускорители частиц, то есть она уже имеет статус инженерной науки. Но ведь и неправильная теория может во многих случаях давать верные результаты. С другой стороны, в современной физике есть огромные трудности, связанные, прежде всего, с расходимостями в квантовой теории поля, соединяющей релятивизм и квантовую механику. Их научились искусственно преодолевать (метод перенормировки), но по мнению П.Дирака и многих других теоретиков расходимости указывают на то, что основные уравнения неверны.

Можно полагать, что возвращение к общему виду преобразований Лоренца (с доплеровским коэффициентом) снимет эти трудности — ведь зависимости будут уже иными. Вообще, оно затронет и даже преобразит всю фундаментальную физику — от теории элементарных частиц до космологии. Есть надежда, что тут откроется путь к «прекрасной ясности» (такой идеал «кларизма» провозгласил поэт, писатель и композитор Серебряного века Михаил Кузмин), утерянной в ходе квантово-релятивистской революции.

Рубеж веков — подходящий момент для критического пересмотра основ и признания ошибок. Если это произойдет, то с понедельника, 1 января 2001 года физики смогут начать новую жизнь.

28 марта 2000?

ЛВин

ЛИТЕРАТУРА

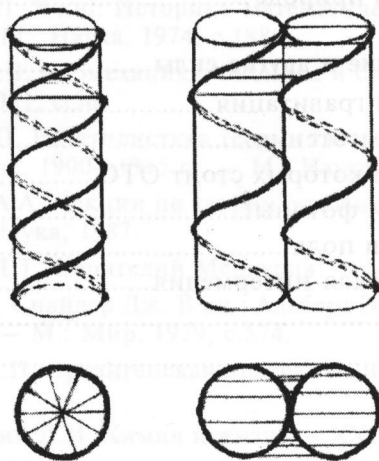
1. Лоренц Х. В кн.: Принцип относительности. — М.: Атомиздат, 1973.
2. Пуанкаре А. Там же.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т.1. — М.: Наука, 1965, с.7.
4. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности. — М.: Мир, 1972.
5. Cullwick E.G. Electromagnetism and relativity. — L., 1957.
6. Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т.2. — М.: Наука, 1966, с.105.
7. Визгин В.П. В кн.: Историко-математические исследования, вып. XIX. — М.: Наука, 1974, с.188.
8. Петухов С.В. Биомеханика, бионика и симметрия. — М.: Наука, 1981, с.30.
9. Визгин В.П. Релятивистская теория тяготения: истоки и формирование, 1900—1915 гг. — М.: Наука, 1981.
10. Логунов А.А. Лекции по теории относительности и гравитации. — М.: Наука, 1987.
11. Роузвер Н.Т. Перигелий Меркурия. — М.: Мир, 1985, с.168.
12. Паунд Р., Снайдер Дж. В кн.: Альберт Эйнштейн и теория гравитации. — М.: Мир, 1979, с.574.
13. Визгин В.П. Эрлангенская программа и физика. — М.: Наука, 1975.
14. Верховский Л.И. Химия и жизнь — XXI век, 1999, № 1, с.22.
15. Визгин В.П. Единые теории поля в первой трети XX века. — М.: Наука, 1985, с.73.
16. Там же, с.248.
17. Верховский Л.И. Химия и жизнь — XXI век, 1999, № 4, с.17.
18. Кун Т. Структура научных революций. — М.: Прогресс, 1977.

Содержание

Введение	3
Глава 1. Специальная теория относительности: потерянный множитель.....	4
1.1. От Галилея к Лоренцу.....	4
1.2. Gedankenexperiment.....	5
1.3. Решающий шаг.....	7
1.4. Возвращение утраченного множителя.....	8
1.5. Кинематика без софизмов.....	10
1.6. Масштабы в природе.....	11
Глава 2. Тяготение и другие силы.....	14
2.1. Геометрия и гравитация.....	14
2.2. Уравнение тяготения.....	14
2.3. Три кита, на которых стоит ОТО.....	15
2.4. Краснеют ли фотоны?.....	17
2.5. Симметрии и поля.....	18
2.6. Математическая интермедия.....	19
Заключение	21
Литература.....	22

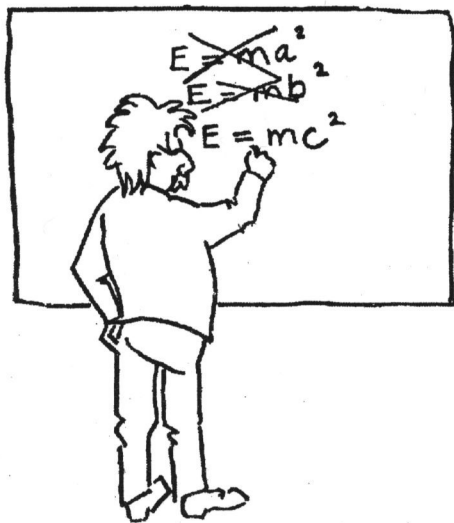
КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Верховский Лев Иосифович в 1972 г. окончил факультет прикладной математики Московского института электронного машиностроения, с 1992 г. работает в редакции журнала «Химия и жизнь» (с 1997 г. — «Химия и жизнь — XXI век»), где ведет постоянную рубрику «Новости науки». Автор более 20 статей в этом журнале, в том числе, о теории биологической эволюции (1984, № 2), о космологии и антропном принципе (1988, № 12), о мышлении и искусственном интеллекте (1989, № 7), о Туринской плащанице (1991, № 12), о динамическом хаосе и фракталах (1992, № 8; 1994, № 4), о проблеме информации (1995, № 3), о геометризации физики (1999, № 1, 4), о новой модели молекулы ДНК (1999, № 9).



Строение молекулы ДНК.

Схематично изображены двойная спираль Уотсона—Крика и лента-спираль Верховского (вид сбоку и сверху)



Научно-популярный журнал
«Химия и жизнь — XXI век»

Подписные индексы:
в каталоге «Роспечать» — 72231 и 72232,
в каталоге ФСПС — 88763 и 88764.

Адрес редакции: 107005, Москва, Лефортовский пер., 8.
Телефон для справок: 267-54-18.
E-mail: chelife@glas.apc.org

Ищите нас в Интернет по адресам:
<http://www.chem.msu.su:8081/rus/journals/chemlife/welcome.html>;
<http://www.aha.ru/~hj/>;
<http://www.informnauka.ru>