

ЗАГАДКИ И ПАРАДОКСЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В.И.МОРЕНКО

Abstract. This article is devoted to mathematical aspects of the special and general relativity theories, Lorentz transformations and curvature of space-time. Isotropy and flatness of space have been experimentally proved but the theory different determination of space-time properties. Reasons of such disagreement are hidden in mathematical tools and methods used by the theory. But they are totally depend on basic axioms – light velocity constancy and continuity of space. And without necessary explanations it is impossible to accept the point of view that there are no problems with consistency of the SRT and GRT axioms.

Как известно, специальная теория относительности основана на двух, считающихся экспериментально доказанными, фактах – конечности скорости света и ее постоянства в различных инерциальных системах отсчета (независимости скорости света от скорости его источника). Именно эти условия, по общему мнению, не позволяют использовать в механике преобразования Галилея при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. И, как следствие, за основу математических принципов описания процессов движения принимается релятивистский принцип относительности, выраженный через преобразования Лоренца. Очевидность этих преобразований кажется настолько безупречной, что не должно, казалось бы, и возникать сомнений в правомерности выводов, вытекающих из применения в физической теории принципа лоренц-инвариантности.

Действительно, в соответствии с обоими постулатами специальной теории относительности для двух инерциальных систем отсчета K и K' , можно записать:

$$c^2 = c_x^2 + c_y^2 + c_z^2$$

$$c^2 = c_{x'}^2 + c_{y'}^2 + c_{z'}^2$$

В этих уравнениях компоненты скорости света при условии прямолинейности его распространения:

$$c_{x_i} = \frac{dx_i}{dt}$$

$$c_{x'_i} = \frac{dx'_i}{dt'}$$

Отсюда:

$$\eta_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta = \eta_{\gamma\delta} dx'^\gamma dx'^\delta$$

$$\text{Здесь: } dx^\gamma = dx'^\alpha, dx^\delta = dx'^\beta, dx^0 = cdt, dx'^0 = cdt'.$$

Казалось бы, что стоит только произвести очевидные преобразования и мы получим правила перехода от одной инерционной системы координат к другой инерционной системе в виде преобразований Лоренца.

Однако не все так просто.

Преобразования Лоренца определяют соотношения координат различных систем в зависимости от скорости перемещения начал координат указанных систем относительно может быть легко определена. Но именно в данном допущении теории и кроется ее самая большая проблема.

Пусть начало координат системы K является неподвижным, а начало координат системы K' , движущейся относительно первой системы, находится на расстоянии r в некоторый момент времени $t=0$, зафиксированный по часам, находящимся в начале координат системы K . За некоторое время dt начало системы K' пройдет путь $d\mathbf{l}$ и сместится на расстояние dr . Наблюдатель, размещенный в начале системы K , по достижении периода времени dt увидит, что путь, пройденный началом системы K' , не будет равен $d\mathbf{l}$, так как информация о положении начала системы координат системы K' поступает к указанному наблюдателю с некоторым опозданием, вызванным конечностью скорости света. И наблюдатель, покоящийся в системе K , может выбрать два способа определения скорости перемещения начала координат системы K' .

Первый из этих способов заключается в том, что в каждой из точек системы K (или некоторых реперных точках) устанавливаются свои часы. Показания всех этих часов синхронизируются таким образом, что наблюдатель, находясь в начале координат системы K , видит одинаковое время на всех часах одновременно, т.е. показания часов в любой конкретной точке сдвинуты по отношению к показаниям часов в начале координат на время, необходимое для достижения фотоном, испущенным в указанной точке, начала

координат системы K . В этом случае наблюдатель, используя свои часы, определяет скорость перемещения начала координат системы K' как:

$$\mathbf{V} = d\mathbf{l} / dt$$

Данная скорость не зависит от взаимного положения начал координат систем K и K' и является универсальной и абсолютной величиной, что связано с как бы мгновенным переносом информации о перемещении начал этих координат. Единственной проблемой такого метода определения скорости является необходимость иметь в каждой точке системы координат K свои часы.

Второй способ заключается в оценке видимого наблюдателем в системе K перемещения начала координат системы K' по своим единственным часам:

$$\mathbf{V}_{\text{набл}} = \frac{d\mathbf{l}_{\text{набл}}}{dt} = \frac{d\mathbf{l} - df(\mathbf{r})}{dt} = \mathbf{V} - \frac{df(\mathbf{r})}{dt}$$

Из этого выражения следует, что наблюдаемая скорость зависит от выбора начала координат системы K (взаимного положения начал систем K и K' и направления их движения). В данном случае собственно вид функции $f(\mathbf{r})$ не является существенным для вывода преобразований инерциальных систем координат, так как наблюдаемая скорость не является универсальной величиной, необходимой для использования в глобальных преобразованиях Лоренца. Скорость же, определяемая по первому способу, безусловно, приемлема для использования в преобразованиях Лоренца, но, к сожалению, не является величиной наблюдаемой (экспериментально определяемой).

Еще одним важным аспектом анализа соответствия координат одной инерциальной системы координатам другой инерциальной системы является следующее.

Инерциальная, в понимании специальной теории относительности, система координат K' представляет собой пространство, построенной на множестве точек, неподвижных относительно центра данной системы. Прямолинейная в этой системе траектория движения фотона может быть определена наблюдателем, связанным с началом лабораторной системы координат K , как набор точек, движущихся одновременно с движением инерциальной системы K' . В этом случае, в полном соответствии с первым постулатом специальной теории относительности, скорость перемещения фотона, испущенного из начала координат системы K' , вдоль движущейся для наблюдателя из системы K прямой определяется совершенно однозначно как векторная сумма скорости движения системы K' и скорости света, испущенной неподвижным источником. Разумеется наблюдаемая (если так можно выразиться в отношении фотона) траектория движения этого фотона не может быть видима как прямая линия, так как особенности определения наблюдаемой скорости движения объектов (точек системы координат K') не позволяют через непосредственное наблюдение описать эту траекторию именно как прямую линию.

В соответствии с изложенным, теоретических оснований, подтверждающих необходимость введения второго постулата специальной теории относительности, не существует.

Не дает таких оснований и экспериментальная проверка зависимости (или отсутствия таковой) скорости света от скорости его источника. Так, в работе [100] приведено описание опыта по проверке зависимости скорости света, испускаемого движущимися и неподвижными атомами вещества, подвергаемого облучению, в процессе их перехода от возбужденного к невозбужденному состоянию. Анализируя полученные результаты, авторы пришли к выводу о независимости скорости света от скорости движения его источника.

Однако данный вывод основан на весьма неожиданном и досадном логическом недоразумении.

Действительно, авторы полагают, что интервал $\Delta\tau$ между временем τ_1 прохождения одного и того же расстояния L фотоном, испущенным движущимся атомом, и временем τ_2 для фотона, испущенного неподвижным атомом, определяется в зависимости от скорости $v_{ум} = (1,8 \div 2) \times 10^{-2} c$ движения возбужденного атома по формуле:

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 = \frac{2Lv_{ум}}{c^2}$$

Но, если следовать приведенному в данной работе описанию опыта, эта зависимость выражается в виде:

$$\Delta\tau \cong -\frac{Lv_{ум}}{c^2} = -0,26 \times 10^{-9} \text{ сек}$$

Измеренное в ходе данного эксперимента значение интервала:

$$\Delta\tau = -(0,2 \pm 0,2) \times 10^{-9} \text{ сек}$$

Таким образом, экспериментально полностью подтверждена правомерность баллистической зависимости скорости света от его источника (баллистический принцип Ритца), а, следовательно, и несостоятельность формулировки второго постулата специальной теории относительности.

В соответствии с изложенным, мы можем определить первый парадокс специальной теории относительности как противоречие условия абсолютного постоянства скорости света в различных системах координат (второй постулат СТО) необходимому для выполнения первого постулата СТО условию зависимости скорости света при его наблюдении внешним неподвижным, или движущимся с иной скоростью наблюдателем.

Этот парадокс является весьма существенным при описании эффекта Доплера, который возникает при определении неподвижным наблюдателем частоты света, движущимся источником. Данная задача в принципе не решалась при создании СТО, поэтому интересно проследить к каким последствиям приводит применение постулатов СТО к решению данной задачи.

В литературе используются два метода описания эффекта Доплера – геометрический и волновой.

При геометрическом подходе [см., например, 81] описание эффекта Доплера основывается на утверждении, что длина волны, испускаемой движущимся источником, определяется как отрезок, измеряемый между положением точки, соответствующей первому периоду волны, определенному от момента испускания волны, и точки соответствующей положению источника излучения в момент времени, равный периоду волны. Однако такое утверждение приводит к тому, что для сохранения процесса излучения как волнового процесса необходимо, чтобы точки волновой функции, находящиеся дальше точки, соответствующей первому периоду, сдвигались по направлению к источнику со все возрастающей и не имеющей предела скоростью. Такое условие противоречит как первому, так и второму постулатам СТО. Хотелось бы, конечно, верить, что существуют убедительные объяснения данному противоречию.

Волновой подход кажется значительно более убедительным, но так ли это?

Рассмотрим данный подход более внимательно.

В работе [86] при описании эффекта Доплера использован прием замены двух источников излучения и одного приемника на один источник и два приемника, один из которых движется, а второй неподвижен. Вроде бы стандартный математический прием, но он коренным образом меняет методологию описания самого явления, так как, заменяя две волны на одну, мы уже можем вводить понятие совпадающей фазы в точке, в то время как для двух различных волн совпадение фазы в точке является случайностью, и уж точно не обязательным фактом.

Таким образом, известные из литературы объяснения эффекта Доплера являются неубедительными, и ситуация с описанием данного эффекта была бы совсем печальной, если бы с помощью СТО не удалось найти приемлемое объяснение. И оно действительно есть.

Прежде всего необходимо отметить, что эффект Доплера проявляется в двух процессах: изменение частоты волны, отраженной от движущегося объекта, и изменение частоты волны, генерируемой движущимся объектом, по сравнению с частотой волны, генерируемой неподвижным объектом. Многочисленные эксперименты доказывают, что изменение частоты волны происходит в обоих процессах по одному и тому же закону, то есть, нет необходимости различать эти процессы.

Параметры электромагнитной волны, испускаемой неподвижным источником и принимаемой неподвижным же приемником, связаны отношением:

$$\lambda_0 \nu_0 = c$$

Параметры волны, испускаемой движущимся со скоростью \mathbf{V} источником и фиксируемой неподвижным приемником, определены выражением:

$$\lambda \nu = |\mathbf{c} + \mathbf{V}|$$

Длина волны является некоторым отрезком, особенности описания которого неподвижным наблюдателем, определены правилами специальной теории относительности, а именно сокращением длины движущегося стержня. Поскольку угол наблюдения в общем случае не совпадает с углом, под которым движется излучающий объект по отношению к наблюдателю, то для упрощения примем, что вектор \mathbf{V} направлен вдоль оси Ox системы координат, в центре которой расположен приемник (наблюдатель). В этом случае лоренцево сокращение длины волны распространяется только на проекцию указанного отрезка на ось Ox :

$$\lambda = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_y^2}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{0x}^2 + \lambda_{0y}^2}$$

$$\lambda_x = \lambda_{0x} \sqrt{1 - V^2/c^2}$$

$$\lambda_y = \lambda_{0y}$$

Поскольку мы должны учесть угол наблюдения, то:

$$\lambda_{0x} = \lambda_0 \cos(\mathbf{V}, \mathbf{c})$$

$$\lambda_{0y} = \lambda_0 \sin(\mathbf{V}, \mathbf{c})$$

Таким образом:

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2 \cos^2(\mathbf{V}, \mathbf{c})}$$

Наблюдаемая частота волны, генерируемая движущимся источником:

$$\nu = \frac{|\mathbf{c} + \mathbf{V}|}{c} \nu_0 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2 \cos^2(\mathbf{V}, \mathbf{c})}$$

Самое удивительное, что формулы для определения продольного и поперечного эффектов Доплера совпадают с приводимыми в литературе зависимостями.

Не менее впечатляющая ситуация имеет место и с объяснением эффекта Вавилова-Черенкова.

Как известно, данный эффект был обнаружен в процессе изучения свойств оптически прозрачных сред, находящихся под воздействием жесткого излучения, и проявляется в возникновении слабого свечения. Данное свечение описывается в виде конуса света, испускаемого Оже-электронами, движущимися со скоростями, превышающими скорость света в среде, и направленного по направлению движения этих электронов. Сущность классического объяснения эффекта Вавилова-Черенкова [см., например, 86] заключается в том, что излучение свободных электронов гасится по всем направлениям, кроме образующих светового конуса (с вершиной на каждом из этих электронов), вдоль которых выполняется условие равенства величины скорости света в среде проекции скорости электрона на образующую. В данном объяснении все кажется логичным, кроме того, каким образом свет может распространяться вперед по направлению движения электрона (это касается не только направления вдоль образующих конуса), так как для этого электрон должен быть оптически прозрачным. Кроме того, непонятно, каким образом жесткое излучение подпитывает электрон, следствием чего и является возникновение Вавилова-Черенкова. Ведь движущийся со сверхсветовой скоростью электрон может взаимодействовать только с теми квантами жесткого излучения, который он нагоняет. И, если третий закон Ньютона и второй постулат СТО верны одновременно, то для того, чтобы эффект Вавилова-Черенкова наблюдался, необходимо, чтобы конус света, излучаемого электроном, был направлен не по ходу движения электрона, а наоборот против этого хода. Но в этом случае классическое объяснение эффекта Вавилова-Черенкова является несостоятельным. Однако, если наблюдаемая внешним наблюдателем скорость света будет равна векторной сумме скорости света (по отношению к неподвижному источнику) и скорости этого источника по отношению к неподвижному наблюдателю, то все становится на свои места. И, если использовать приведенные [86] обозначения, то условие возникновения светового конуса излучения Черенкова должно выглядеть не в виде:

$$l_{\alpha\lambda} = \frac{\lambda}{2|v/V - \cos \alpha|}$$

а в виде:

$$l_{\alpha\lambda} = \frac{\lambda}{2 \left| \frac{|\mathbf{V} + \mathbf{c}/n|}{V} - \cos \alpha \right|}$$

В этом случае конус света по отношению к излучающему электрону будет направлен против хода движения последнего, что в совокупности с налетающими на электрон квантами жесткого излучения обеспечивает выполнение третьего закона Ньютона и существование собственно эффекта Вавилова-Черенкова.

Таким образом, первый парадокс специальной теории относительности о несовместимости первого и второго постулатов СТО разрешим корректировкой второго постулата.

Второй парадокс СТО заключается в том, что уравнения Максвелла инвариантны относительно преобразований Лоренца, хотя применение этих преобразований как истинно пространственно-временных трансформаций при размещении инерциальных систем координат на различных фотонах принципиально невозможно.

Для того, чтобы разобраться с данным парадоксом, необходимо, прежде всего, обратить внимание на то, что же собственно является объектом, описываемым системой уравнений Максвелла. Совершенно очевидно, что этот объект представляет собой обобщенную совокупность двух видов электромагнитного поля – поля, окружающего его источники (заряды и токи), и поля электромагнитного излучения, не содержащего источники последнего. И, если для первого типа полей проблем с применением преобразований Лоренца не возникает, то поля второго типа не могут подчиняться преобразованиям Лоренца. Дело в том, что для полей второго типа неприемлема модель, использующая пробный фотон для установления соотношения расстояния до выбранной точки и времени нахождения фотона в пути до нее. Можно, конечно, сделать вид, что это непринципиально и выражение инвариантного интервала сохраняется и для этого типа полей, но тогда надо определить, каким образом замерять время и скорость движения инерциальных систем координат, что сразу же вернет нас к проблеме, какова модель построения данного интервала. Таким образом, преобразования Лоренца покрывают лишь часть области применения уравнений Максвелла.

Итак, что же делать, если стоит задача построения инерциальных систем координат на фотонах?

Прежде всего, обратим внимание на то обстоятельство, что инвариантный интервал СТО, при некоторых условиях, которые будут рассмотрены далее, является *правилом синхронизации хода часов* в различных точках одной и той же системы координат. Данное правило может быть легко преобразовано в правило определения (сохранения) квадрата «фазы бегущей волны» (определение дано в кавычках, поскольку физического смысла не имеет, но является схожим по математическому определению с выражением фазы бегущей волны электромагнитного излучения). Однако, так как из определения понятия бегущей волны известно совершенное иное линейное, а не квадратичное, правило установления фазы волны, то совершенно однозначно можно утверждать, что интервал СТО в принципе не может быть использован как инструмент для построения инерциальной системы координат, базирующейся на фотоне, и нам следует опираться на линейный интервал. В этом случае можно отказаться от модели с пробным фотоном и использовать мгновенный мысленный перенос из одной точки в другую, что дает возможность отнести преобразования Галилея к средствам описания физических явлений с использованием систем координат, базирующихся на частицах с нулевой массой покоя. А если мы имеем дело с явлениями типа излучения Черенкова, то системы

координат, построенные на частицах, движущихся со сверхсветовыми скоростями, очень схожи с определением пространств де Ситтера.

Таким образом, одних лишь преобразований Лоренца явно недостаточно для всеобъемлющего описания реальных физических процессов в соответствии с принципами, определенными первым постулатом специальной теории относительности.

Но самой большой загадкой СТО является релятивистский характер импульса, определяемый глобальной зависимостью:

$$\mathbf{p} = \frac{m\mathbf{V}}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$

Считается, что данная зависимость по одним источникам является следствием СТО и возникает автоматически, если вместо координатного времени используется время собственное. По другим же источникам данная зависимость является экспериментально установленным фактом, выявленным в ходе исследований движения заряженных частиц в магнитном поле.

Рассмотрим данные обоснования релятивистской зависимости импульса.

Прежде всего, отметим, что время собственное при обсуждении положений специальной теории относительности и преобразований Лоренца задается в двух формах – интегральной и дифференциальной, практически повсеместно используемой в современной литературе. В то же время введение в теорию времени собственного не диктуется ни необходимостью соблюдения постулатов специальной теории относительности, ни условиями, требуемыми для вывода преобразований Лоренца, так как для всего этого достаточно фиксации прямолинейности траектории движения фотона. В этом случае время собственное в любой его форме должно иметь нулевое значение. Скорее всего, причиной появления интервала между событиями, а в последующем и времени собственного являлось требование обеспечения математической красоты при описании положений СТО. Но уж, коль скоро, данные термины появились в теории, то им стали придавать иное значение, чтобы распространить на время координатное свойство непрерывности, а не ограничивать его только временем нахождения в пути от начала координат до некоторой заданной точки пробного фотона, испускаемого в центре системы координат. Такой подход, конечно, может быть использован, если в теории имеется потребность в использовании моментов или временных отрезков, меньших или больших времени нахождения пробного фотона в пути до заданной точки. Однако в научной литературе отсутствуют (возможно, автору просто не удалось обнаружить) какие-либо упоминания о существовании такой потребности. Тем не менее, раз уж понятие времени собственного введено в теорию, необходимо обсудить, к каким последствиям приводит это введение.

Рассмотрим, во-первых, интегральную форму задания времени собственного (интервала между событиями). Совершенно очевидно, что использование времени

собственного позволяет установить показания часов, размещенных в разных точках пространства, таким образом, чтобы один наблюдатель *видел* на всех часах (в момент синхронизации) одни и те же показания. Но, так как этого недостаточно, чтобы вместо множества часов наблюдатель мог использовать только одни часы, необходимо, чтобы ход всех часов совпадал с ходом часов наблюдателя, которыми он измеряет время координатное (время нахождения в пути пробного фотона и время перемещения начал различных инерциальных систем координат). А вот для этого условия время собственное как функция от координат пространства и времени координатного вряд ли приемлемо. Это вытекает из того, что область определения этой функции включает как мнимые числа, в случае $t < |\mathbf{x}|$, так и действительные числа при $t \geq |\mathbf{x}|$. Кроме того, в случае линейности пространственно-временных координат ход часов, использующих время собственное, не является линейным и совпадающим с ходом часов, использующих время координатное:

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{t - \mathbf{x}d\mathbf{x}/dt}{\sqrt{t^2 - \mathbf{x}^2}}$$

Вряд ли такие часы удобны для определения скорости. Обратим также внимание на то обстоятельство, что дифференциал функции собственного времени, заданной в интегральной форме, не совпадает с определением дифференциала собственного времени, используемого в определении инвариантного интервала СТО в форме:

$$d\tau^2 = dt^2 - d\mathbf{x}^2$$

В связи тем, что мы имеем два противоречащих друг другу определения одной и той же величины, необходимо выяснить, какое из этих определений следует использовать при замене координатного времени временем собственным в релятивистской зависимости импульса. То, что интегральная форма собственного времени для этих целей не подходит, только что установлено выше, а может ли быть использована для указанных целей дифференциальная форма, попробуем сейчас разобраться.

Релятивистская форма 4-вектора энергии-импульса выглядит следующим образом:

$$p^\alpha = m \frac{dx^\alpha}{d\tau}$$

Здесь:

$$d\tau = (dt^2 - d\mathbf{x}^2)^{-1/2} = (1 - \mathbf{v}^2)^{-1/2} dt$$

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{x}}{dt}$$

Следовательно:

$$\mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1 - v^2}}$$

Совершенно очевидно, что релятивистская зависимость импульса получена не в результате полной замены координатного времени временем собственным, так как в этом случае скорость должна быть выражена в виде $\mathbf{v} = d\mathbf{x}/d\tau$, и мы имеем дело некоторой вновь вводимой аксиомой, которая позволяет получить желаемый результат. Также совершенно очевидно, что данная аксиома вроде бы вытекает из условия совпадения хода часов, используемых для замера времени координатного, с ходом часов, измеряющих время собственное, при отсутствии пространственных перемещений. Но дело в том, что при отсутствии последних отсутствует и необходимость использования модели с пробным фотоном, то есть замера времени координатного. А в этом случае вряд ли можно использовать инвариантный интервал в дифференциальной форме при анализе преобразований координат инерциальных систем. Таким образом, кроме одного желания должны же быть хоть какие-нибудь теоретические или экспериментальные обоснования, позволяющие согласиться с необходимостью введения новой аксиомы. К огромному сожалению никаких теоретических обоснований этому в научной литературе обнаружить не удастся, и остается только уповать на существование экспериментальных фактов. Но и здесь нас ждет разочарование, поскольку, если речь идет об опытах заряженными частицами в магнитном поле, *наблюдать* релятивистскую зависимость импульса этих частиц невозможно в принципе по той причине, что в данной зависимости используется *ненаблюдаемая* абсолютная скорость.

Таким образом, как утверждение о возможности теоретического обоснования релятивистского характера импульса, так и утверждение об экспериментальном обнаружении данного феномена являются каким-то досадным недоразумением. А не совсем понятное поведение импульса, вероятнее всего, вызвано использованием при анализе результатов эксперимента именно наблюдаемой скорости, которая, в случае движения наблюдаемого объекта по окружности и получения сведений о времени и координатах наблюдаемого объекта с помощью испускаемого им излучения, будет весьма близка к выражению:

$$\mathbf{v}_{набл.} = \frac{\mathbf{v}}{\sqrt{1 - v^2}}$$

Однако это всего лишь достаточно случайное совпадение, а не устойчивая и универсальная закономерность.

Имеют ли причины возникновения критики СТО отношение к общей теории относительности?

Как оказывается, имеют самое непосредственное значение.

Весьма показательна в этом смысле аналогия с наблюдателем, находящимся в свободно падающем лифте, иллюстрирующая принцип эквивалентности, являющийся одним из базовых для общей теории относительности.

Считается, что наблюдатель в падающем лифте не может экспериментально обнаружить, падает ли его лифт, или находится в состоянии покоя, определяемом отсутствием гравитационного поля вне лифта. Такая аналогия позволяет ввести понятие локально-инерциальных систем координат, что упрощает решение задач, связанных с гравитационным взаимодействием.

В соответствии с предложенной аналогией, мы имеем дело с двумя замкнутыми системами, ограниченными непрозрачными стенками. Свободно падающая система находится под воздействием гравитационного поля, влияние которого на внутреннюю неподвижную относительно лифта систему считается отсутствующим. Если в этих условиях применить принцип сравнения интервалов с помощью пробных фотонов, то можно констатировать следующее. Для неподвижного наблюдателя фотон, испущенный внутри свободно падающей системы координат и имеющий в этой системе прямолинейную траекторию и постоянную скорость, должен воспринимать не только скорость (как линейную, так и угловую), но и ускорение центра координат свободно падающей системы, из которого испускается пробный фотон, в любой точке траектории движения указанного фотона. Только в этом случае свободно падающая система координат может восприниматься размещенным в ней наблюдателем как лабораторная. Но, учитывая, что ускорения и скорости, вызванные гравитационным взаимодействием, зависят от координат (расстояния до центра гравитационных масс), данное условие является принципиально невыполнимым.

Считается, что в данной ситуации принцип эквивалентности свободно падающей в гравитационном поле системы координат и лабораторной системы координат, не подверженной действию гравитационного поля, может быть справедлив, если мы имеем дело с точками бесконечно малой окрестности начала координат (для начал координат обеих систем указанный принцип безоговорочно справедлив). И это действительно могло бы быть так, если бы второй постулат специальной теории относительности был справедлив в его классической формулировке. А так как дело не только в бесконечно малых искажениях, вносимых в координатную сетку свободно падающей системы в связи с наличием гравитационного поля, являющегося по своей природе центральным, но и в том, что при переходе от одной точки к другой пробный фотон, испущенный в начале координат, должен менять в ходе своего движения скорость. Это вызвано тем, что искажения свободно падающей системы координат являются смещениями позиций ее точек от первоначального положения. А раз есть смещения, то они могут быть описаны их скоростью, что влечет за собой изменение относительной скорости пробного фотона. За более подробными объяснениями по данному вопросу можно обратиться к работе [81], где в §10, главы 6 изложен принцип воздействия гравитации на физические системы. Этот принцип не только может, но и должен соблюдаться при формировании правил построения локально-инерциальных систем координат. И, если этот принцип дополнить

требованиями конечности скорости света и влияния положения наблюдателя, то о локально-инерциальных системах координат можно говорить только как о пространствах, построенных на единичном множестве, т.е. содержащих одну единственную точку. Таким образом, для локально-инерциальных систем координат имеет смысл изменение только временной, а не пространственных координат. И в этом случае вряд ли можно признать удачным определение метрического тензора и аффинной связности, а также уравнения свободного падения (движения) в произвольном поле в произвольной системе координат в виде:

$$g_{\mu\nu} = \frac{\partial \xi^\alpha}{\partial x^\mu} \frac{\partial \xi^\beta}{\partial x^\nu} \eta_{\alpha\beta}$$

$$\Gamma_{\mu\nu}^\lambda = \frac{\partial x^\lambda}{\partial \xi^\alpha} \frac{\partial^2 \xi^\alpha}{\partial x^\mu \partial x^\nu}$$

$$\frac{d^2 x^\lambda}{d\tau^2} + \Gamma_{\mu\nu}^\lambda \frac{dx^\mu}{d\tau} \frac{dx^\nu}{d\tau} = 0$$

Этот факт, собственно, не является секретом для научного сообщества (см., например, §3 главы 3 и указанный выше §10 главы 6, [81]). Таким образом, так и хочется вслед за Стивеном Вейнбергом воскликнуть «что же такое локально-инерциальная система координат».

Тем не менее, если принять за аксиому возможность существования свободно падающего линейно-нормированного пространства $L(\xi^\alpha)$, в котором выполняется принцип баллистического сложения скоростей, определяемых ускорением центра системы координат, описывающих данное пространство, то у нас возникает еще одна проблема. И проблема эта заключается в необходимости принятия в качестве независимой переменной не физического времени t , а собственного времени τ . Причем данная вновь вводимая переменная должна не только входить в состав инвариантного интервала, но и обеспечивать возможность определения в этом пространстве абсолютных скоростей и ускорений по правилу определения линейных производных. Кроме того, нам необходимо обеспечить сохранение условия постоянства скорости света, испускаемого неподвижным в $L(\xi^\alpha)$ источником. И, если свести все эти условия воедино, то нам остается только найти такие часы, по которым исчисляется время нахождения пробного фотона в пути. Причем это должны быть именно часы в традиционном понимании, а не шляпа фокусника, выдающая любой желаемый результат.

При таком наборе взаимно противоречивых аксиом любая теория была бы обречена на провал, но в том то и преимущество общей теории относительности, что вовсе не эти аксиомы являются определяющими для ОТО. В принципе она основана на двух предположениях: искривлении плоского пространства, отождествляемого с локально-инерциальной системой координат, в присутствии гравитационных масс и свободы выбора лабораторной системы координат в любой точке гравитационного поля.

Последнее связано с тем, что невесомость физического объекта в отсутствие гравитационных тел может быть признана эквивалентной невесомости свободно падающего в гравитационном поле объекта, фиксируемой в центре его масс. Оба этих предположения может быть и не слишком удачным образом описаны математически, но поскольку результаты их использования удовлетворительно описывают реальные физические явления, то научное сообщество предпочитает мириться с недостатками математического обоснования указанных предположений, а не оспаривать их по такому считающемуся несущественным поводу. Конечно, можно отказаться от идеи использования свободно падающей системы координат в пользу плоского пространства, лишенного гравитационного поля, и, хотя при этом возникают свои проблемы (например, проблема имбединга), но тогда хоть сохранится аппарат общей теории относительности. Скорее всего именно данное соображение и помогает отгонять критические мысли о несовершенстве идей, послуживших основанием для создания этой теории.

Обратим внимание, что оба вышеуказанных предположения являются независимыми друг от друга, в научных исследованиях одновременно совместно в общем-то не применяются, и поэтому могут быть проанализированы порознь.

В настоящее время наиболее признанным определением сущности искривленного пространства является выражение инвариантного интервала в виде:

$$d\tau^2 = dt^2 - a^2(t)d\mathbf{x}^2$$

Данное выражение трактуется как изменение свойств (мер длины) пространства в присутствии гравитационных масс при сохранении скорости света.

Но если внимательно рассмотреть уравнение инвариантного интервала ОТО, можно найти два способа его объяснения – математический и физический. Первый основан на геометрических методах решения физических задач и полностью реализован в аппарате общей теории относительности и полевых теориях. А вот второй способ, основанный на возможности изменения скорости света в присутствии гравитационных масс, по непонятным причинам полностью исключен из рассмотрения в физических теориях. Однако именно второй способ имеет четкое физическое обоснование, поскольку в оптике широко известно явление преломления света, вызванное уменьшением скорости распространения электромагнитных волн в физической среде; а присутствие в выражении интервала члена $a^2(t)$ может трактоваться и как наличие в природе масштабного фактора и как наличие у вакуума показателя преломления, величина которого в присутствии гравитационных масс отлична от величины этого параметра в отсутствии указанных масс.

Для того, чтобы сделать правильный выбор, какая из трактовок является удовлетворительной, необходимо разобраться, что является причиной искривления пространства – физическое явление или результат математического описания гравитационного взаимодействия.

Для этого необходимо, прежде всего, понять, о каком именно пространстве идет речь – о математическом (мысленная сущность), или о физическом (реальная сущность) гравитационном поле. То, что в уравнении поля Эйнштейна объединены физические и геометрические величины, еще не свидетельствует о физической природе искривления пространства, так как физические члены этого уравнения относятся не к собственно пространству, а к включенным в него источникам гравитационного поля. И корректным, с позиции сохранения непрерывности системы координат, на которой базируется формулировка геометрических членов уравнения поля, является условие отсутствия размеров у источников поля – стандартная модель элементарных частиц. Отметим, что данное условие является обязательным для *любого физического поля* при его математическом описании известными на настоящий момент методами геометрического построения координатного пространства.

Если же источник поля имеет размеры, то начало связанной с ним системы координат оказывается внутри отличной от собственно поля физической сущности, то есть иного пространства. В этом случае возникает проблема *исключения* из рассмотрения внутреннего пространства и его замены на внешнее. В общей теории относительности данная проблема проявляется при возникновении в решениях уравнения поля параметра MG/c^2 , указывающего на существование некоторого размера (радиуса), *внутри* которого уравнения общей теории относительности вряд ли возможно применить. То есть сама же теория вступает в противоречие с принятыми при ее создании аксиомами о непрерывности геометрического пространства и стандартной модели элементарных частиц. Наиболее наглядно данное обстоятельство представлено в гармонической и изотропной метриках решения Шварцшильда.

Эти метрики показывают, что для того, чтобы хоть как-то обеспечить соответствие математической модели гравитационного поля физической реальности при условии сохранения непрерывности координатной системы, можно через понятие метрического тензора ввести представление об «искривлении» пространства в присутствии гравитационных масс как способ отображения пространства с «дырками» на непрерывное пространство. Но в этом случае искривленное пространство уже не является физической сущностью, а представляет некую адекватную математическую модель гравитационного поля.

Таким образом, эффект искривления возникает уже на этапе математического описания гравитационного взаимодействия и, в принципе, не требует дополнительного физического обоснования, так как является следствием принятых аксиом, а не свойств реальной физической сущности.

В то же время существуют такие физические явления, которые, казалось бы, подтверждают существование реального искривления пространства – аномальное смещение периодов орбит небесных тел в гравитационном поле и смещение позиций небесных тел при их наблюдении вблизи Солнца. И с таким выводом можно было бы

безоговорочно согласиться, если бы не существовало иных, чем искривление пространства, объяснений указанных явлений.

Однако такие объяснения существуют и мы можем рассмотреть их на примере аномального смещения перигелия Меркурия и смещения траектории движения фотона вблизи солнечного диска.

Указанные явления можно рассматривать как следствие существования некоторого характерного для любого физического объекта, обладающего массой, размера r_Λ , внутри которого гравитационное поле действует по иным законам, чем вне его. Этот размер, в принципе, можно считать равным радиусу сферы, плотно заполненной только веществом физического объекта без полевой фазы материи. В этом случае при решении физических задач мы имеем различные положения нуля системы координат. Для стандартной модели ноль базируется в центре масс физического объекта, а для системы координат, базирующейся только на полевой компоненте материи, этот ноль располагается на поверхности сферы с радиусом r_Λ , который можно определить как радиус вырождения гравитационного поля и вычет в плоском пространстве. То есть мы имеем дело с «плавающим нулем». Такое свойство позволяет ограничить область действия известных законов гравитации с помощью параметра «показателя преломления (сгущения) вакуума»:

$$n(r) = \frac{r}{r - r_\Lambda}$$

Здесь r – расстояние, измеряемое от центра координат стандартной модели, то есть истинно пространственное расстояние.

Для случая вращения Меркурия вокруг Солнца можно заметить, что мгновенные угловые скорости различны в стандартной и полевой системах координат, а их соотношение определяется зависимостью:

$$\frac{d\varphi'}{dt} = n(r) \frac{d\varphi}{dt}$$

Здесь знаком штрих обозначен угол поворота в полевой системе координат.

Используя свойства эллипса легко найти выражение:

$$n(r) = \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{a(1 - \varepsilon^2) - r_\Lambda(1 + \varepsilon \cos \varphi)}$$

Здесь a и εa – параметры эллипса.

Подстановка в предыдущее выражение и его интегрирование дают:

$$\varphi' = \frac{2}{\sqrt{\left[1 - \frac{r_{\Lambda}}{a(1-\varepsilon^2)}\right]^2 - \frac{\varepsilon^2 r_{\Lambda}^2}{a^2(1-\varepsilon^2)}}} \operatorname{arctg} \left\{ \sqrt{\frac{[a(1-\varepsilon^2) - r_{\Lambda}]^2 + \varepsilon^2 r_{\Lambda}^2}{[a(1-\varepsilon^2) - r_{\Lambda}]^2 - \varepsilon^2 r_{\Lambda}^2}} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right\}$$

За один оборот вокруг Солнца угол между прямыми, проходящими через ноли стандартной и полевой систем координат соответственно и точку перигелия Меркурия, составит:

$$\Delta\varphi \approx \frac{2\pi r_{\Lambda}}{a(1-\varepsilon^2)}$$

Это выражение с учетом результата, полученного в ходе астрономических наблюдений за Меркурием, позволяет определить радиус вырождения в виде:

$$r_{\Lambda} = 3MG/c^2$$

Отклонение луча света вблизи гравитационных масс можно объяснить движением фотона в среде с переменным показателем преломления:

$$n(r)\sin\varphi = (n + dn)\sin(\varphi + d\varphi)$$

Тогда отклонение луча света вблизи солнечного диска будет равно:

$$\Delta\varphi \approx \frac{2r_{\Lambda}}{R_{\oplus}} = \frac{6M_{\oplus}G}{R_{\oplus}} = 2,63''$$

$$c = 1$$

Полученное выражение в полтора раза превышает предсказание общей теории относительности, но очень хорошо согласуется с наибольшим измеренным углом отклонения луча света ($2,73'' \pm 0,31''$).

Очевидно практически полное совпадение полученных результатов с опытными данными и близкое к результатам, предсказанным общей теорией относительности.

Однако интерпретация гравитационного взаимодействия с помощью физического вакуума имеет весьма существенный недостаток, заключающийся в том, что эффективный радиус дырки в вакууме определяется в виде $r_{\Lambda} = 3MG$. Именно численный коэффициент в данном выражении является проблемным, поскольку непонятны причины, по которым вся масса Солнца не может быть сосредоточена в дырке, не содержащей вакуумной компоненты и имеющей величину $r_{\Lambda\oplus} = M_{\oplus}G$. Является ли данная величина характерной только для Солнца, или ее выражение универсально для любой гравитационной массы – это могут показать только экспериментальные исследования.

В то же время модель физического вакуума позволяет объяснить самую большую загадку общей теории относительности – загадку конечности Вселенной и ее непрекращающегося расширения, подтверждением которых считается красное

космологическое смещение. Причем этот процесс описывается путем использования понятий единицы собственного объема, изменяющейся в зависимости от изменения размера Вселенной, и единицы координатного объема, остающейся неизменной в сопутствующей системе координат (см., например, §§ 2 и 3 главы 14, [81]). Введение этих понятий необходимо для обоснования утверждения, что «типичные галактики имеют постоянные координаты» и, следовательно, можно разделить переменные в уравнении:

$$d\tau^2 = dt^2 - R^2(t) \frac{dr^2}{1 - kr^2} = 0$$

Данное уравнение описывает движение фронта электромагнитной волны, и, если переменные разделяются, то мы получаем выражение для параметра красного смещения в виде:

$$z = \frac{R(t_0)}{R(t_1)} - 1$$

То есть в ограниченном расширяющемся пространстве действительно наблюдается красное космологическое смещение.

Однако, не все так просто, поскольку в соответствии со свойствами сопутствующей системы координат (§9 главы 6, [81]) невозможно обеспечить полную независимость геометрических координат от времени. Тем самым отнесение причин возникновения красного смещения только на зависимость масштабного фактора $R(t)$ от времени, представляется весьма искусственным. Но ничего иного общая теория относительности не предлагает.

Если же мы используем понятие показателя преломления вакуума, как характеристику гравитационного взаимодействия, то можно найти и иное объяснение красного космологического смещения.

Пусть λ_0, ν_0, c_0 – параметры волны, испускаемой отдаленным источником в момент испускания. Если при прохождении волны до наблюдателя эти параметры меняются, то можно записать выражения:

$$\lambda_0 \nu_0 = c_0$$

$$c_0 = c/n_0$$

$$n_0 = \frac{R_0}{R_0 - r_{\Lambda 0}}$$

Последнее выражение является ожидаемым показателем преломления вакуума, определенным через расстояние R от источника до наблюдателя и радиус вырождения вакуума, рассчитанный по массе источника излучения:

$$r_{\Lambda 0} = 3M_0 G$$

Но если источник достаточно удален, то можно предположить, что на излучении оказывает влияние не только масса излучающего источника, но и вся масса материи, включенной в сферу радиусом R – расстоянием от испущенного фотона до центра этой массы в любой выбранный момент времени, что соответствует принципу Маха. Тогда:

$$\lambda \nu = c/n$$

$$n = \frac{R}{R - \sum r_{\Lambda i}}$$

$$\sum r_{\Lambda i} = r_{\Lambda}$$

Поскольку нет причин для изменения длины волны и ее частоты в различной степени при изменении скорости света, то:

$$\lambda_0 \sim \sqrt{c/n_0}$$

$$\lambda \sim \sqrt{c/n}$$

Следовательно:

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = \sqrt{\frac{1 - r_{\Lambda 0}/R_0}{1 - r_{\Lambda}/R}}$$

Как относиться к последнему выражению?

Во-первых, влияние окружающих масс на движущийся фотон никак не может быть отнесено к следствиям эффекта Доплера. А, во-вторых, это влияние не тождественно гравитационному красному смещению, действие которого зависит от изменения потенциалов гравитационного поля. Это следует из того, что при прохождении через область действия гравитационного поля одной массы в область действия другой массы эффект гравитационного смещения от первой массы исчезает (нивелируется, так как в начале и конце пути через поле первой массы гравитационные потенциалы равны).

Скорее всего указанное выражение определяет эффект, подобный эффекту разлета галактик за счет расширения пространства.

Действительно, если бы мы имели однородное распределение вещества в пространстве, то свет должен был бы проходить одно и то же расстояние с меньшей скоростью, чем в пустом вакууме. Это можно выразить как увеличение длины пути фотона с постоянной скоростью в пустом пространстве при сравнении с заполненным веществом вакууме. Таким образом, «расширение» пространства может быть всего лишь действием принципа Маха для стационарной и бесконечной Вселенной.

С помощью данного метода можно оценить и границы видимости излучающих объектов в пространстве, радиус видимости которых при однородном распределении вещества определяется следующим образом:

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda} \cong \frac{1}{\sqrt{1 - r_\Lambda / R}}$$

$$r_\Lambda = 3MG$$

$$M = \frac{4\pi}{3} \rho_{crit} R^3$$

Отсюда:

$$R_\infty = \frac{1}{2} (\pi \rho_{crit} G)^{-1}$$

Обратим внимание, что классическое выражение для космологического смещения в пространстве с однородной плотностью распределения вещества определено выражением:

$$z = \left(1 - \frac{2MG}{R}\right)^{-\frac{1}{2}} - 1$$

Это дает нам значение предельного радиуса видимости:

$$R_\infty = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} (\pi \rho_{crit} G)^{-1}$$

Таким образом, реликтовое излучение вполне убедительно может быть объяснено не только в рамках теории большого взрыва, но перекрытием (экранированием) внешнего излучения, вызванным эффектом Ольбертса.

Есть еще один момент, который может подтвердить или опровергнуть модель вакуума с дырками – это гравитационное смещение частоты излучения. Дело в том, что излучение в гравитационном поле подвержено действию взаимно противоположных эффектов – изменению гравитационного потенциала и изменению показателя сгущения вакуума (чем не действие пары сил притяжения-отталкивания!).

Что же касается второго основополагающего предположения, на котором базируется общая теория относительности, а именно принципа независимости выбора лабораторной системы координат, то это предположение скорее дань специальной теории относительности, чем необходимость. Действительно, трудно себе представить ситуацию, в которой две различные свободно падающие системы координат необходимо сравнивать в условиях различных ускорений, вызванных действием одного единственного гравитационного поля. А если речь идет о том, что в одном и том же гравитационном поле одна свободно падающая система на момент ее определения имеет нулевую начальную скорость, в то время как другая система – некоторую (неизвестно каким

образом появившуюся) ненулевую скорость, то для введения этого принципа вовсе нет необходимости, так как можно обойтись первым постулатом специальной теории относительности. А все недоразумения, связанные с принципом эквивалентности, могут быть объяснены конечностью скорости света и методами измерения временных отрезков.

Таким образом, вопрос о происхождении Вселенной то ли в результате инфляционных процессов, то ли столкновения бран, может быть дополнен также и предположением об ограничении наблюдаемости в непрерывном и бесконечном пространстве, что не требует привлечения теории большого взрыва. Безусловно, в этом случае необходимо осознавать, что мы меняем сложную проблему о том, что было до большого взрыва, на не менее сложную проблему – каким образом звездам и галактикам удается существовать бесконечно долго. Но на вопрос: «Кто от кого убегает, и убегает ли вообще?», хотя бы из любопытства, найти ответ все же необходимо.

Список литературы

1. Aders E., Lee B.W., Gauge Theories, Phys. Rep., 9C, 1 (1973)
2. Aharonov Y., Casher A., Suskind L., Phys. Rev., D5, 988 (1972)
3. Aitchison I.J.R., Relativistic Quantum Mechanics Macmillan, London, 1972
4. Altarelli G., Partons in Quantum Mechanics? Phys. Rep., 81C, 1 (1982)
5. Arnison G. et al., Intermediate vector boson properties at the CERN super proton synchrotron collider, Geneva, CERN, 1985
6. Bernstein J., Spontaneous Symmetry Breaking, Gauge Theories and All That, Rev. Mod. Phys., 46, 7, (1974)
7. Bilenky S.M., Hosen J., Glashow-Weinberg-Salam Theory of Electro-Weak Interactions and the Neutral Currents, Phys. Rep., 90C, 73 (1982)
8. Bogush A.A., Fedorov F.I., Universal matrix form of first-order relativistic wave equations and generalized Kronecker symbols, Minsk, 1980
9. Bogush A.A., Fedorov F.I., Finite Lorentz transformations in quantum field theory, Rep. Math. Phys., 1977, Vol.11, 1
10. J.R.Bond et al., The Sunyaev-Zel'dovich Effect in CMB-Calibrated Theories Applied to the Cosmic Background Imager Anisotropy Power at $l > 2000$, Astrophysical Journal, 626:12-30, 2005, June 10
11. Carruthers P., Introduction to Unitary Symmetries, Wiley-Interscience, N.Y., 1966
12. Catrol Sean, University of Chicago, Astrophysical Journal, 01.09.00
13. Close F.E., An Introduction to Quarks and Partons, Academic press, London, 1979
14. Cook N., Exotic propulsion, Jane's Defense Weekly, 24.07.02
15. Cook N., Anti-gravity propulsion comes out of closet, Jane's Defense Weekly, 31.07.02
16. Dokshitzer Y.L., Dyakonov D.I., Trojan S.I., Yard Processes in Quantum Chromodynamics, Phys. Rev., 58C, 269, (1980)

17. Dolgov A.D., Zeldovich Y.B., *Cosmology and Elementary Particles*, *Rev. Mod. Phys.*, 53, 1 (1981)
18. Ellis J., *Grand Unified Theories in Cosmology*, *Phys. Trans. R.S., London*, A307, 21 (1982)
19. Ellis J., Gaillard M.K., Girardi G., Sorba P., *Physics of Intermediate Vector Bosons*, *Ann. Rev. Nucl. Particle Sci.*, 32, 443 (1982)
20. Ellis J., Sachrajda C.T., *Quarks and Leptons*, NATO Advanced Study Series, Series B, Physics, V.61, Plenum Press, N.Y., 1979
21. Faddeev L.D., Popov V.N., *Phys. Lett.*, 1967, V.25B, p.30
22. Feynman R.P., *The Theory of Fundamental Processes*, Benjamin, N.Y., 1962
23. Feynman R.P., *Quantum Electrodynamics*, Benjamin, N.Y., 1962
24. Feynman R.P., *The Feynman Lectures on Physics*, Addison Wesley, Reading, Mass., 1963
25. Feynman R.P., *Photon-Hadron Interactions*, Benjamin, N.Y., 1972
26. Feynmann R.P., In: *Weak and Electromagnetic Interactions at High Energies*, Les Houches Sessions, 29, North-Holland, Amsterdam, 1977
27. Field R.D., In: *Quantum Flavordynamics, Quantum Chromodynamics and Unified Theories*, NATO Advanced Study Series, Series B, Physics, V.54, Plenum Press, N.Y., 1979
28. Fradkin E.S., Tyutin I.V., *Renormalizable theory of massive vector particles*, *Riv. Nuovo Cimento*, 1974, V.4, 1
29. Fritzsch H., Minkowski P., *Flavordynamics of Quarks and Leptons*, *Phys. Rep.*, 73C, 67 (1981)
30. Georgi H., Glashow S.L., *Unity of all elementary-particle forces*, *Phy. Rev. Lett.*, 1974, V.32, 8
31. Georgi H., *Lie Algebras in Particle Physics*, Benjamin-Cummings, Reading, Mass., 1982
32. Gilman F.J., *Photoproduction and Electropeoduction*, *Phys. Rep.*, 4C, 95 (1972)
33. Glashow S.L., *Partial symmtries of weak interactions*, *Nucl/ Phys.*, 1961, V.22, 3
34. Glashow S.L., Illiopous I., Maiani L., *Weak interactions with lepton-hadron symmetry*, *Phys. Rev., Series D*, 1970, V.2, 7
35. Goldstein H., *Classical Mechanics*, Addison Wesley, Reading, Mass., 1977
36. Goldstone I., *Field theories with "superconductor" solutions*, *Nuovo Cimento*, 1961, V.19, 1
37. Green M.B., *Surv. High Energy Physics*, 3, 127, (1983)
38. Green M.B., Gross D., eds., *Unified String Theories*, Word Scientific, Singapore, 1986
39. Green M.B., Schwarz J.H., Witten E., *Superstring Theory*, V.1,2, Cambridge University Press, Cambridge, 1986
40. Greene B., *The Elegant Universe. Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for Ultimate Theory*, Vintage Books, A Division of Random House, Inc., N.Y., 1999
41. Halsen Francis, Martin Alan D., *Quarks and Leptons. An Introductory Course in Modern Particle Physics*, 1983

42. Higgs P.W., Broken symmetries, massless particles and gauge fields, Phys. Lett., Series B, 1964, V.12, 2
43. Kac V., Infinite Dimensional Lie Algebras, Birkhauser, Boston, 1983
44. Kaku M., Introduction to Superstrings, Springer-Verlag, N.Y., 1988
45. Kim J.E., Langacker P., Levine M., Williams H.H., A Theoretical and Experimental Review of Neutral Currents, Rev. Mod. Phys., 53, 211 (1981)
46. Kobayashi M., Maskawa T., CP-violation in the renormalizable theory of weak interactions, Progr. Theor. Phys., 1973, V.49, 2
47. Langacker P., Grand Unified Theories and Proton Decay, Phys. Rep., 72c, 185 (1981)
48. Lautrup B., In: Weak and Electromagnetic Interactions at High Energies, NATO Advanced Study Series, Series B, Physics, V.13a, Plenum Press, N.Y., 1975
49. Leader E., Predazzi E., Gauge Theories and the New Physics, Cambridge University Press, Cambridge, 1982
50. Llewellyn Smith C.H., In; Phenomenology of Particles at High Energy, Academic Press, N.Y., 1974
51. Moody R.V.J., Algebra, 10, 211 (1968)
52. Mulvey J.H., The Nature of Matter, Clarendon, Oxford, 1981
53. Nambu Y., Lectures at the Copenhagen Summer Symposium, 1970
54. Okubo S., Tosa Y., Duffin-Kemmer formulation of gauge theories, Phys. Rev., 1979, V.D20, 2
55. Peccei R.D., Status of the standard model, Hamburg, DESY, 1985
56. Politzer H.D., Quantum Chromodynamics, Phys. Rep., 14C, 129, (1974)
57. Polyakov A.M., Phys. Lett., 103B, 207, 211 (1981)
58. Popov V.N., Quantum vortices in the relativistic Goldstone model, Proc. of XII Winter school of theoretical physics in Karpacz, p.397-403
59. Review of particle properties, Particle data group, Geneva, CERN, 1984, Phys. Lett., 1986, V.170B, p.1-350
60. Reya E., Perturbative Quantum Chromodynamics, Phys. Rep., 69C, 195 (1981)
61. Rose M.E., Elementary Theory of Angular Momentum, Wiley, N.Y., 1957
62. Salam A., Elementary particles theory, Stockholm, W.Swartholm Almquist and Weascell, 1968
63. Schwarz J.H., ed., Superstrings, V.1,2, World Scientific, Singapore, 1985
64. Söding P., Wolf G., Experimental Evidence of QCD, Ann. Rev. Nucl. Particle Sci., 31, 231 (1981)
65. Steigman G., Cosmology Confronts Particle Physics, Ann. Rev. Nucl. Particle Sci., 29, 313 (1979)
66. Steinberg J., Neutrino Interactions, Proc. Of the 1976 School of Physics, CERN Rep. 76-20, CERN, Geneva, 1976
67. 'tHooft G., Renormalization Lagrangians for massive Yang-Mills fields, Nucl. Phys. Series B, 1971, V. 35, 1
68. Vilenkin A., Cosmic strings and domain walls, Phys. Rep., 121, 1985

69. Weinberg S., Gravitation and Cosmology, Principles and Applications of the General Theory of Relativity, Mass., 1971
70. Weinberg S., Recent Progress in the Gauge Theories of the Weak, Electromagnetic and Strong Interactions, Rev. Mod. Phys., 46, 255 (1974)
71. Weinberg S., The First Three Minutes, A. Deutsch and Fontana, London, 1977
72. Wiik B.H., Wolf G., Electron-Positron Interactions, Springer Tracts in Mod. Phys., 86, Springer-Verlag, Berlin, 1979
73. Wilczek F., Quantum Chromodynamics, The Modern Theory of the Strong Interaction, Ann. Rev. Nucl. Particle Sci., 32, 177 (1982)
74. Wu T.T., Jang C.N., Phys. Rev., D12, 3845 (1975)
75. Wybourne B.G., Classical Groups for Physicists, Wiley, N.Y., 1974
76. А.И.Ахиезер, Ю.Л.Докшицер, В.А.Хозе, Глюоны, УФН, 1980, т.132
77. В.А.Ацюковский, Критический анализ основ теории относительности, 1996
78. Дж.Бернштейн, Спонтанное нарушение симметрии, сб. Квантовая теория калибровочных полей, 1977
79. Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков, Квантованные поля, 1980
80. Ф.Ф.Богуш, Введение в калибровочную полевую теорию электрослабых взаимодействий, 2003
81. С.Вейнберг, Гравитация и космология, 2000
82. Дж.Вебер, Дж.Уиллер, Реальность цилиндрических волн Эйнштейна-Лоренца, сб. Новейшие проблемы гравитации, 1961
83. ВюГюВеретенников, В.А.Синицын, Теоретическая механика и дополнения к общим разделам, 1996
84. Е.Вигнер, Теория групп и ее приложения к квантовомеханической теории атомных спектров, 2000
85. В.И.Денисов, А.А.Логунов, Существует ли в общей теории относительности гравитационное излучение?, 1980
86. А.А.Детлаф, М.Б.Яворский, Курс физики, 2000
87. А.Д.Долгов, Я.Б.Зельдович, Космология и элементарные частицы, УФН, 1980, т.130
88. В.И.Елисеев, Введение в методы теории функций пространственного комплексного переменного, 1990
89. В.А.Ильин, В.А.Садовничий, Бл.Х.Сендов, Математический анализ, Учебник в 2 частях, 2004
90. Э.Картан, Геометрия групп Ли и симметричные пространства, 1949
91. Ф.Клоуз, Кварки и партоны: введение в теорию, 1982
92. Н.П.Коноплева, В.Н.Попов. Калибровочные поля, 2000
93. А.Лихнерович, Теория связностей в целом и группы голономии, 1960
94. В.И.Моренко, Общая теория относительности и корпускулярно-волновой дуализм материи, 2004
95. А.З.Петров, Новые методы в общей теории относительности, 1966
96. А.М.Поляков, Калибровочные поля и струны, 1994
97. Ю.Б.Румер, Исследование по 5-оптике, 1956

98. В.А.Рубаков, Классические калибровочные поля, 1999
99. В.А.Садовничий, Теория операторов, 2001
100. Г.М.Страховский, А.В.Успенский, Экспериментальная проверка теории относительности, УФН, т.86, вып.3, 1965, июль
101. А.Д.Суханов, Фундаментальный курс физики. Квантовая физика, 1999
102. Дж.Уиллер, Гравитация, нейтрино и Вселенная, 1962
103. Л.Д.Фаддеев, Гамильтонова форма теории тяготения, Тезисы 5-й Международной конференции по гравитации и теории относительности, 1968
104. Р.Фейнман, Теория фундаментальных процессов, 1978
105. В.А.Фок, Применение идей Лобачевского в физике, 1950
106. Ф.Хелзен, А.Мартин, Кварки и лептоны, 2000
107. А.К.Шевелев, Структура ядер, элементарных частиц, вакуума, 2003
108. Э.Шредингер, Пространственно-временная структура Вселенной, 2000
109. И.М.Яглом, Комплексные числа и их применение в геометрии, 2004