Академия наук БССР
Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова

В.Н. Барыкин

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ДВИЖУЩИХСЯ СРЕД

Препринт № 21

Минск 1987

УДК 530.12:531.15

С различных позиций проанализирована выдвинутая ранее в электродинамике движущихся сред концепция отношения. Рассмотрены вопросы динамики материальной точки. Учтены особенности реального измерения параметров электромагнитного поля. Предложены эксперименты, с помощью которых можно обнаружить новые точные пространственно-временные симметрии в электродинамике и расслоенную структуру пространства-времени.

Оглавление

Введение.. 3
1. Новый подход к проблеме влияния инерциальной системы отсчета на электромагнитное поле 5
2. Динамика материальной точки с учетом отношения 12
3. К ковариантному описанию динамики материальной точки..... 15
4. Концепция опорного многообразия 17
5. Три стороны отношения в электродинамике 20
6. К физическим основам и математической модели расслоенного пространства-времени 23
7. О возможностях экспериментального обнаружения расслоенной структуры пространства-времени 31
Заключение.. 33
Литература.. 34

Никто не может заранее предсказать, какой следующий закон будет открыт.

Е.Вигнер

В в е д е н и е

В последние годы получен ряд новых теоретических результатов в электродинамике движущихся сред. Установлено, что группа Галилея является точной пространственно-временной симметрией системы двухтензорных полевых уравнений /I/. Доказано, что регулятором симметрий являются материальные уравнения, которые определяются по соответствующим выражениям для покоящейся среды с точностью до скалярной функции /2/. Определен физический смысл этой скалярной функции, названной отношением, как новой характеристики электромагнитного поля, фиксирующей особенности его взаимодействия с окружением, причем $w = 0$ соответствует отсутствию такого взаимодействия, $w = I$ - его конечному, асимптотическому значению /3/. Отношение входит явно в материальные уравнения и потому существует связь пространственно-временных симметрий и условий измерения параметров электромагнитного поля /4/. Реализовано объединение различных симметрий в локальную группу Лоренца с матричнозначными параметрами /5/. Указанные результаты находят выражение в модели расслоенного пространства-времени, позволяющей установить аналитическую связь корпускулярных и волновых свойств физических объектов /6/.

В целом можно сказать, что обеспечено продвижение в принципиальных вопросах электродинамики движущихся сред. Продолжению анализа посвящена предлагаемая работа.

Рассмотрены следующие вопросы:

1. С учетом концепции отношения проанализирована динамика материальной точки. Учтены особенности ковариантного описания взаимосвязи ускорений и сил, получены уравнения, справедливые для скоростей, превышающих скорость света в вакууме.
2. Предложен новый вариант учета особенностей реального измерения в электродинамике. Полученные уравнения решены, в частности, для газовой среды. Установлена связь отношения с показателем преломления. Рассмотрен вопрос об экспериментальном обнаружении отношения.
3. Выдвинута идея единообразного геометрического описания гравитационного и электромагнитного полей на основе присоединения к опорному многообразию соответствующих метрических тензоров и тензоров связности.
4. Предложено уравнение типа Шредингера для описания пространственно-временной структуры фотона. Показано, что его характерные размеры связаны с длиной волны излучения. Предложены ограничения на положение и движение структурных составляющих.
5. Рассмотрены элементы и общие особенности описания электромагнитных явлений в модели расслоенного пространства-времени. Предложена связь длины волны Бройля с импульсом и спином частицы. Выдвинута концепция иерархии расслоений как математического выражения важной особенности уровневости физического мира и их взаимосвязи между собой.
6. Проанализирована возможность описания электрического заряда и массы физических объектов как характеристик конфигураций сложного объекта в расслоенном пространстве-времени.
7. Выполнен вариационный анализ уравнений поля и законов сохранения в модели расслоенного пространства-времени. Даны условия проведения экспериментов, в которых указанные особенности могут быть обнаружены.

Рассмотренные вопросы в настоящее время имеют дискуссионный характер. Предлагаемые варианты решений не имеют пока экспериментального подтверждения. Однако в силу актуальности и новизны указанная публикация, как надеется автор, будет стимулировать в научной среде обсуждение сформулированных задач.

I. Новый подход к проблеме влияния инерциальной системы отсчета на электромагнитное поле

В последние годы, преимущественно в рамках квантово-механического подхода, были предприняты попытки /7-9/ объяснить различие параметров электромагнитного поля, имеющее место для инерциальных наблюдателей, взаимодействием с измерительными устройствами. И хотя эта идея представляет интерес, она не доведена ни до конструктивного уровня, ни до экспериментальных следствий.

Специальная теория относительности абстрагируется от реального процесса измерения и решает задачу сравнения результатов эксперимента без учета его воздействия на параметры явления. Система отсчета, в которой находится наблюдатель и которую образует обычно специальная совокупность приборов, моделируется системой координат с часами. Наблюдателям, например А и А', соответствуют системы координат К и К', движущиеся относительно друг друга. Различие полученных ими параметров базируется на симметрии уравнений электродинамики относительно группы Лоренца, другими словами, объясняется кинематически. Такой подход, при существенном развитии математического аппарата теории систем отсчета, сохраняется при учете гравитации /10-11/. Его корректность и полезность в рамках принятых допущений сомнений не вызывают.

Рассмотрим новую модель системы отсчета, а также учета ее воздействия на электромагнитное поле. Известный классический вариант содержится в нем как частный случай, что позволяет указать границы его применимости.

Математическую основу подхода образуют новые пространственно-временные симметрии в электродинамике сред. В работах /2,12/ показано, что тензор Гамма-Мандельштама γ^{ikmn}, связывающий между собой тензоры электромагнитного поля H^{ik} и F_{mn}, определяется по материальным уравнениям в изотропной покоящейся среде

$$\vec{D}=\varepsilon\vec{E}\ ,\ \vec{B}=\mu\vec{H}$$

неоднозначно, с точностью до скалярной функции w выражением

$$H^{ik}=0{,}5\left(\Omega^{im}\Omega^{kn}-\Omega^{in}\Omega^{km}\right)F_{mn}\ ,$$

где

$$\Omega^{im} = \frac{1}{\sqrt{\mu}}\left[g^{im} + \left(\frac{\varepsilon\mu}{w} - 1\right)u^i u^m\right].$$

Четырехскорости определены по dq. Тензор g^{im} имеет единственный канонический вид

$$g^{im} = diag(1,1,1,w). \qquad (I)$$

При w =0 тензор Ω^{im} особенности не имеет, так как $u^i \sim \sqrt{w}$. Полученная система уравнений содержит известный лоренц-инвариантный случай, соответствующий w = I, и новый, недостаточно исследованный вариант с w =0, соответствующий группе Галилея. Для других фиксированных значений w = 0 - I имеет место инвариантность уравнений Максвелла относительно пространственно-временных преобразований Игнатовского-Франка-Ротта

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2 w/c^2}},\ y' = y,\ z' = z,\ t' = \frac{t - xvw/c^2}{\sqrt{1 - v^2 w/c^2}}. \qquad (2)$$

Рассмотрим теперь физические аргументы. Определим четырехскорости

$$u^k = dx^k/dq = (\sqrt{w}/ic)\Gamma\, dx^k/dt.$$

Зададим взаимодействие поля A_k с четырехтоком $s^k = \rho_0 u^k$ ковариантным выражением $V^{(w)} = s^k A_k$. Введем релятивистский потенциал взаимодействия $V^{(r)}$, используя метрику Минковского. Получим связь

$$V^{(w)} = \sqrt{w}\,\frac{\Gamma}{\gamma}\,V^{(r)}.$$

Здесь

$$\Gamma^2 = (1 - wu^2/c^2)^{-1},\quad \gamma^2 = (1 - u^2/c^2)^{-1}.$$

Заметим, что параметр w можно рассматривать как фактор включения релятивистского взаимодействия. Действительно, согласно /I3/ лагранжиан взаимодействия электромагнитного поля со средой L_{b3} связан с теоретическим значением лоренц-инвариантной теории L_T выражением $L_{b3} = aL_T$. При a =0 взаимодействия нет, при a =I оно включилось полностью.

Поскольку систему отсчета, рассматриваемую как физический объект, следует считать для электромагнитного поля внешним условием, примем ГИПОТЕЗУ :

Инерциально движущаяся система отсчета оказывает детерминистическое воздействие на параметры электромагнитного поля, которое можно охарактеризовать посредством нормированного скалярного поля - отношения, входящего в материальные уравнения электродинамики, причем $w=0$ соответствует случаю отсутствия взаимодействия, $w=1$ - случаю, когда такое взаимодействие завершено.

Рассмотрим изменения, которые вносит гипотеза в проблему измерения в электродинамике. Проведем с ее учетом сравнение экспериментальных результатов. Назовем событием совокупность параметров электромагнитного поля, присоединенных к точке или области пространства-времени. Зададим систему отсчета системой координат с часами и единым для нее временем, скоростью движения. Будем считать возможным расчет значений для произвольной ситуации. Для вывода соответствующих уравнений заметим, что нормированное скалярное поле представляет собой одну из компонент "метрического" тензора $g_{00} = 1/w$. Предположим, что влияние системы отсчета на электромагнитное поле можно учесть аналогично гравитации. В соответствии с этим выделим два слагаемых:

$$g_{kn} = \hat{g}_{kn} + \tilde{g}_{kn} .$$

Посредством тензора $\hat{g}_{kn}$ будем описывать влияние системы отсчета на электромагнитное поле, посредством $\tilde{g}_{kn}$ - влияние гравитации. Полагая последнее несущественным, уделим внимание системе отсчета. Введем связность, согласованную с $\hat{g}_{kn}$:

$$\nabla_k \hat{g}_{ij} = 0 .$$

Ее ненулевые слагаемые имеют вид

$$\hat{\Gamma}^{j}_{00} = \frac{1}{2} \hat{g}^{jl} \frac{\partial \hat{g}_{00}}{\partial x^{l}} .$$

Тензор кривизны определится компонентами

$$\hat{R}^{j}_{\ 0k0} = \frac{\partial^2}{\partial x^{k2}} \left(\Gamma^{j}_{00} \right) .$$

Для тензора Риччи в случае $w \neq w(t)$ имеем

$$R_{00} = \nabla^2 g_{00} \neq 0, \quad R_{ij} = 0.$$

Полученные выражения аналогичны известным в теории скалярного потенциала гравитации Ньютона /14/. Поэтому отношение события к системе отсчета моделируется аналогично классическому гравитационному полю. В общем случае будем считать, что тензор Риччи, образованный из компонент метрики $\hat{g}_{ij}$, соответствующей системе отсчета и равный $\hat{R}_{ij}$, пропорционален некоторому тензору второго ранга $\hat{\varphi}_{ij}$, описывающему физические особенности воздействия системы отсчета на явление

$$\hat{R}_{ij} = a\hat{\varphi}_{ij}. \qquad (3)$$

Выражение (3) будем рассматривать как общее правило геометрического описания условий измерения.

Рассмотрим частный случай. Пусть $\hat{g}_{ij} = diag(1,1,1,1/w)$ - диагональная метрика, соответствующая системе отсчета, причем w не зависит от времени. Пусть тензор $\hat{\varphi}_{ij}$ имеет аналогичную структуру. Тогда

$$\Delta w - a w^2 \varphi = 0. \qquad (4)$$

Рассмотрим одномерный случай, требуя, чтобы

$$\varphi = -\frac{1}{a w^2} b^2 \exp(-bx).$$

Решение уравнения (4) при граничном условии $w|_{x=0} = 0$ имеет вид

$$w = 1 - \exp(-bx). \qquad (5)$$

Для интерпретации (5) рассмотрим случай распространения излучения в разреженной газовой среде, плотность которой линейно зависит от x. Из физических соображений следует, что при распространении излучения в вакууме $n = 1$ и $w = 0$, в плотной газовой среде $n = n_a$ и $w = 1$. Такое поведение отношения следует из (5) и было феноменологически предложено ранее в /15/. Важность этого простого результата в том, что зависимость w от показателя преломления позволяет замкнуть предложенную однопараметрическую систему уравнений электродинамики и потому до конца решить некоторые практически интересные задачи. Вероятно, тщательное проведение электродинамических экспериментов в разреженных газовых средах позволит уточнить как предложенную модель учета условий измерения, так и закономерности изменения параметров поля. В частности, представляет интерес анализ изменения частоты и волнового вектора для излучения, распространяющегося в движущейся разреженной газовой среде.

Заметим, что по физической идеологии система отсчета отличается от других внешних тел только особенностями устройства. Это обстоятельство позволяет рассматривать взаимодействие явления и системы отсчета как процесс, имеющий конечную пространственную и временную протяженность. Так, в случае точечного события можно выделить начало (x_0^i, t_0) и конец взаимодействия (x_κ^i, t_κ). Рассмотрим теперь две системы отсчета, инерциально движущиеся относительно друг друга. В процессе измерения первый наблюдатель получит совокупность параметров, различных на пути перехода события в систему отсчета. Например, пространственно-временное смещение события относительно точки А в момент времени t_1 при значении отношения w_1 будет задано дифферечциалами $\{dx^\alpha\}_{A,t_1,w_1}$. На втором этапе измерений, выполненных другим наблюдателем, смещение будет задано дифференциалами $\{dx^{\beta'}\}_{B,t_2,w_2}$. Их взаимосвязь

$$\{dx^{\beta'}\}_{B,t_2,w_2} = \hat{A}^{\beta'}_{\alpha}\{dx^\alpha\}_{A,t_1,w_1} \tag{6}$$

определится матрицей $\hat{A}$, для нахождения которой нужны дополнительные соображения. Ее выбор определяется конкретными условиями эксперимента и не имеет отношения к взаимосвязи эталонов длины и времени для различных инерциальных наблюдателей. В частности, применение преобразований Галилея для описания поведения эталонов не противоречит в принятом подходе использованию преобразований Лоренца для смещений точечного события. Одинаковость условий измерения находит выражение в предлагаемом варианте в равенстве отношений события к системам отсчета наблюдателей $w_1 = w_2$. В нерелятивистской теории имеем $w_1 - w_2 = 0$, в релятивистском случае $w_1 = w_2 = I$.

Обнаруживается аналогия матрицы преобразований для смещения события и S -матрицы квантовой механики. В формализме S -матрицы взаимодействие описывается кинематически, на основе правила трансформации $\Psi_2 = S\,\Psi_1$ начальной волновой функции Ψ_1 в конечную Ψ_2 . Вид S устанавливается из дополнительных соображений. В специальной теории относительности и электродинамике движущихся сред преобразования Лоренца используются аналогичным образом для дифференциалов смещений, полученных различными наблюдателями.

Принятая гипотеза согласуется с некоторыми особенностями,характерными для квантово-механического подхода, согласно которому "между измерениями и физическими состояниями существуют два рода соотношений : во-первых, измерение определяет состояние, в котором находится система <u>после</u> его проведения, а во-вторых, при его помощи исследуется состояние, существовавшее до измерения" /16/. Классическая теория измерения не различает начального и конечного состояний, квантово-механическая задает конечное состояние по начальному вероятностным образом /17/.Предлагаемый <u>детерминистический</u> вариант является промежуточным между классическим и квантово-механическим.

Сформулируем аксиому I детерминистической теории измерения : измерение оказывает закономерное воздействие на параметры исследуемого явления и может рассматриваться для произвольной физической системы как внешний фактор.

Рассмотрим ее следствия. Если каждое наблюдение влияет на параметры события, то проводиться они должны так, чтобы было возможно исключить их взаимное влияние и учесть особенности измерения. Кроме этого, важно корректно перенести измеренные значения из одной точки многообразия в другую. Указанные обстоятельства неизбежно ведут к выводу: для сравнения результатов измерения, выполненных различными наблюдателями, необходим специальный алгоритм.

Рассмотрим один из его вариантов, базирующийся на использовании вспомогательной метрики $\rho_{KH} = diag\,(1,1,1,1/w_1 \cdot w_2)$, полученной матричным произведением метрик вида (I) .Для декартовых систем координат, присоединенных к системам отсчета наблюдателей, потребуем инвариантности локального интервала, построенного по $P_{KИ}$. Получим преобразования (2), где $w = w_1 \cdot w_2$. Проанализируем их. Пусть измерение параметров события проведено одним наблюдателем на конечной стадии перехода события в систему отсчета, а другим - на начальной стадии перехода в его систему отсчета. Им соответствуют отношения $W_1 = I$, $W_2 = 0$. Согласно предложенному алгоритму сравнения, измеренные значения связаны преобразованиями Галилея. Пусть теперь измерения проводятся как первым, так и вторым наблюдателями на конечной стадии перехода события в соответствующие системы отсчета. Тогда $W_1 = W_2 = I$. Измеренные значения связаны преобразованиями Лоренца. В случае распространения электромагнитного поля в вакууме отсюда следует вывод о постоянстве скорости света. В развиваемом подходе ситуация выглядит иначе и потому становится возможной новая формулировка принципа постоянства скорости света в вакууме : скорости электромагнитного поля, измеренные различными наблюдателями на конечной стадии перехода события в системы отсчета, равны между собой. Аналогично анализируются изменения частоты, волнового вектора, вопросы увлечения излучения средой.

Следовательно, учет отношения события к системе отсчета позволяет расширить физический смысл и рамки применения пространственно-временных преобразований в электродинамике. Если не принимать во внимание детали изменения параметров поля при измерении и рассматривать лишь установившиеся конечные значения, достаточно использовать преобразования Лоренца. Конечно, это удобно, но не более, так как реальный процесс заменяется модельным, имеющим асимптотическое значение. Меняется также смысловое содержание и значение группы пространственно-временной симметрии уравнений электродинамики : она фиксирует условия взаимодействия электромагнитного поля с его окружением.

Заметим, что условие (6) легко записать в ковариантном по отношению к преобразованиям координат виде. Обозначим

$$dx^{\alpha} = dx^{j},\ j = 1 \ldots 4\ ;\ dx^{\beta'} = dx^{i},\ i = 5 \ldots 8\ .$$

Тогда (6) соответствует система дифференциальных форм

$$\omega^{i} = dx^{i} - f^{i}_{j}(x)\, dx^{j}\ .$$

Ее анализ можно провести стандартными методами /I8/.

2. Динамика материальной точки с учетом отношения

Ранее мы указывали, что симметрийные свойства полевых уравнений электродинамики определяются локальной четырехметрикой

$$g_{kn} = diag\,(1, 1, 1, a), \tag{7}$$

где $w = 1/a$ - отношение электромагнитного поля к окружающей среде. Примем во внимание, что, по известной теореме Лагранжа, таков канонический вид произвольной псевдоевклидовой метрики в координатах

$$x^1 = x,\ x^2 = y,\ x^3 = z,\ x^0 = ict. \tag{8}$$

Растяжением координат или времени невозможно "устранить" w из (7), так как при этом необходимо учитывать изменение скорости, согласующееся с (8). Аналогичное замечание справедливо для преобразований координат (2). Это обстоятельство свидетельствует о независимости w от преобразований координат. Возникает предположение рассматривать отношение как новую физическую характеристику. В этой связи проведем обобщение материальных уравнений электродинамики и динамики материальной точки.

Рассмотрим интервал ds, используя (7) и (8):

$$ds = ic\,dt\sqrt{a - v^2/c^2}. \tag{9}$$

Потребуем инвариантности действия

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{L}\,dt,$$

полагая, что

$$\mathcal{L} = -mc^2\sqrt{a - v^2/c^2} + \Phi(x). \tag{10}$$

Определим, как обычно, импульс $p_i = \partial\mathcal{L}/\partial v^i$ и энергию. Получим

$$p^i = mv^i/\sqrt{a - v^2/c^2},\quad E = mc^2 a/\sqrt{a - v^2/c^2}.$$

Уравнения движения следуют из уравнений Лагранжа-Эйлера

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial v^i}\right) - \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial x^i} = 0.$$

Их явный вид такой:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{mv^i}{\sqrt{a-v^2/c^2}}\right)+\frac{1}{2}\frac{\partial a}{\partial x^i}\frac{mc^2}{\sqrt{a-v^2/c^2}}-\frac{\partial \Phi}{\partial x^i}=0. \qquad (11)$$

Для различных фиксированных значений a закон сохранений имеет вид

$$E^2=ac^2(m^2c^2+p^2). \qquad (12)$$

Полученные выражения позволяют проанализировать математически некоторые физические гипотезы :

1. Рассмотрим случай, когда $\Phi=m\varphi$, где m - масса , φ - потенциал. Тогда, согласно (11) , ускорение объекта определяется соотношением совокупности факторов, среди которых новым является учет изменения отношения. В частности, допустима ситуация, когда изменение отношения компенсируется изменением потенциала внешних сил. В этом случае скорость объекта сохранит постоянное значение. Анализ предложенного варианта может быть использован для проведения экспериментов с учетом отношения.

2. Уравнение (11) применимо к сверхсветовым объектам. Такими являются гипотетические образования, для которых $w<1$. Согласно анализу, выполненному в предыдущем пункте, отношение меньше единицы для фотона в разреженной среде. В общем случае отношение может характеризовать то обстоятельство, насколько хорошо объект "замечает" внешнее окружение. Если его влияние мало, то $w<1$. Нейтрино различных типов, гравитон, насколько мне известно, с таких позиций не анализировались. Очевидно, что малость w гарантирует возможность движения с достаточно большой скоростью, не вступая в противоречие с принципами существующей теории и известными экспериментальными данными. На данном этапе представляется актуальным выяснить, каким является отношение гравитона к окружающей среде. Если оно существенно меньше единицы, можно ожидать , что скорость его распространения значительно превышает скорость света в вакууме. Выяснение столь важного обстоятельства может оказать влияние на развитие экспериментальных средств исследования гравитационных явлений.

3. Отметим также вытекающую из уравнения (11) возможность нечувствительности его структуры к величине массы покоя. Тогда оно может быть применено, в частности, для описания динамики фотона ,

имеющего составные части, структуру. Из предварительного физического анализа, выполненного ранее, следует, что можно говорить о "характерных размерах" конфигурации фотона, равных его длине волны. Такая картина неотделима от предположения, что структурные составляющие "не чувствуют" среды, в которой распространяются, хотя в целом объект эффективно реагирует на внешние условия. Это обстоятельство позволяет предположить, что W для внешних областей фотона мало. Тогда, с одной стороны, допускается возможность их сверхсветового движения, согласующаяся с физической интуицией, с другой стороны, малость W означает, что группой пространственно-временной симметрии уравнений динамики и структуры может быть группа Галилея. Последняя выступает в необычной, неожиданной роли : обычно она использовалась для малых скоростей движения, теперь же она необходима для описания очень больших скоростей, превышающих скорость света в вакууме.

Свяжем импульс фотона с волновой функцией Ψ, описывающей, по предположению, распределение вероятности составных частей объекта. Используем для этой цели уравнение типа Шредингера

$$i\frac{\partial\Psi}{\partial t} = -a\frac{\hbar}{p}\Delta\Psi . \qquad (13)$$

Здесь a - феноменологическая постоянная, $\hbar$ - постоянная Планка, p - импульс. Для случая постоянной энергии решение уравнения (13) имеет вид

$$\Psi = \Psi_0 \exp\left(\frac{-i}{\hbar}Et\right) .$$

Для волновой функции получим

$$\Delta\Psi + \frac{pE}{a\hbar^2}\Psi = 0 . \qquad (14)$$

Рассмотрим уравнение стационарных состояний (14), полагая, что волновая функция обращается в нуль на границе трехмерного куба с гранями l_1, l_2, l_3. Из его решения следует, что

$$p = \frac{\hbar}{2}\left(\frac{n_1^2}{l_1^2} + \frac{n_2^2}{l_2^2} + \frac{n_3^2}{l_3^2}\right)^{1/2}, \qquad (15)$$

где n_1, n_2, n_3 - фиксированные числа. Очевидно из согласования с экспериментом, что характерные размеры фотона в этом случае определяются длиной волны излучения. Для электрона получим связь

$$m = \frac{h}{c}\frac{1}{\lambda_э},$$

где $\lambda_э$ - длина волны, соответствующая энергии покоя. Применение ее к фотону позволяет рассмотреть вопросы его перехода из состояния покоя в состояние движения и обосновать независимость скорости света в вакууме от длины волны.

3. К ковариантному описанию динамики материальной точки

Проведем "вывод" уравнений динамики материальной точки, используя ковариантное правило изменения векторного поля в многообразии с заданной метрикой g_{kn} и связностью Γ^i_{jk} :

$$D\xi^i = d\xi^i + \xi^k \Gamma^i_{kp}\, dx^p . \qquad (16)$$

Из требования тензорности производной

$$D\xi^i = x^i_{i'} D\xi^{i'}$$

следует закон изменения связности

$$\Gamma^{i'}_{j'k'} = x^{i'}_i \left(x^i_{j'k'} + x^j_{j'} x^k_{k'} \Gamma^i_{jk} \right)$$

и выражение для ковариантной производной

$$\nabla_k \xi^i = \partial_k \xi^i + \xi^p \Gamma^i_{pk} .$$

Зададим два четырехвектора, полагая, что их сумма определит правило взаимосвязи искомых величин. Пусть

$$\xi^i - b\varphi^i = \Pi^i .$$

Потребуем

$$\frac{D}{ds}\left(\xi^i - b\varphi^i\right) = 0 . \qquad (16а)$$

Величину ds будем рассматривать как нормирующий множитель

$$ds^2 = g_{kn}\, dx^k dx^n .$$

Для $\xi^i = dx^i/ds$ в сочетании с (16) и (16 а) получим искомое соотношение между дифференциалами физических величин

$$\frac{d^2x^i}{ds^2}+\Gamma^i_{kp}\frac{dx^k}{ds}\frac{dx^p}{ds}=b\left(\frac{d\varphi^i}{ds}+\varphi^k\Gamma^i_{kp}\frac{dx^p}{ds}\right). \qquad (17)$$

При $b=1/m$ имеем обобщенные ковариантные уравнения динамики материальной точки. Проанализируем некоторые возможности .

1. Вариант ньютоновской динамики в многообразии получаем при выборе следующих выражений:

$$ds=dt\ ,\ \Gamma^i_{kp}=0\ ,\ d\varphi^i/ds=f^i.$$

2. Лоренц-инвариантные уравнения динамики электрона получаются в пространстве Минковского, если

$$ds=c\,dt\sqrt{1-v^2/c^2}\ ,\ \Gamma^i_{kp}=0\ ,\ \frac{d\varphi^i}{ds}=g^{ip}F_{pr}u^r,$$

где g^{ip} - метрика Минковского, F_{pr} - тензор электромагнитного поля.

3. Случаю свободного движения $\varphi^i=0$ соответствуют уравнения геодезической риманова многообразия.

Преимущество проведенного рассмотрения заключается в том, что уравнения (17) получены без обращения к вариационному формализму и потому допускают простое обобщение на случай других многообразий, как это сделано, в частности, в работе /6/.

Обратим внимание на тот факт, что используемые уравнения имеют два типа слагаемых, связанных со структурой многообразия: метрику и связность. Если рассматривать связность как физическую характеристику процессов взаимодействия, то для нее нужно иметь систему дополнительных уравнений. С математической точки зрения такая возможность обеспечивается конструированием структуры многообразия. Рассмотрим кратко эти вопросы. Заметим, что на многообразии можно ввести совокупность дифференциальных форм вида

$$\omega^i=\nabla_k\xi^i dx^k. \qquad (18)$$

Введем аналогично

$$\omega^i_j=\nabla_k b^i_j dx^k.$$

С другой стороны , указанные 1-формы определяют смещение точки на параметризованной кривой выражениями

$$d\vec{M} = \omega^i \vec{l}_i \ , \ d\vec{l}_i = \omega^j_i \vec{l}_j \ . \tag{19}$$

Уравнения структуры многообразия

$$\tilde{d}\omega^i = \omega^m \wedge \omega^i_m + K^i_{jm}\, \omega^j \wedge \omega^m , \tag{20a}$$

$$\tilde{d}\omega^i_j = \omega^l_i \wedge \omega^j_l + R^j_{ilm}\, \omega^m \wedge \omega^l , \tag{20б}$$

если его характеристики связаны с физическими полями и характеристиками объектов, через уравнения геодезической определят поведение исследуемого явления. Задача геометризации заключается в том, чтобы каждому физическому полю поставить в соответствие свою метрику и связность, а также указать правила их суперпозиции.

4. Концепция опорного многообразия

Описание физических явлений традиционно проводится в пространственно-временном многообразии, структура которого задается математической моделью, адекватно отражающей опытные данные. До Эйнштейна такую роль играло ньютоновское пространство $R_3 \times T$ представляющее собой расслоенное многообразие с одномерной базой и трехмерными слоями с евклидовой метрикой. Позднее в связи с развитием электродинамики движущихся сред в физике утвердилось плоское многообразие Минковского, имеющее в галилеевских координатах (8) евклидову четырехмерную метрику. Две указанные модели являются абсолютными в том смысле, что их параметры не зависят от состояния и движения материи. Это своеобразный "помост", на котором разыгрывается произвольный физический сценарий.

Два основных допущения лежат в основе принятого выбора: во-первых, убеждение, что пространство и время являются формой существования произвольных физических объектов, общим, неотделимым от них качеством, во-вторых, классическая модель измерения, позволяющая получать информацию о мире без воздействия на параметры и ход событий.

Удобство выбора плоского многообразия, помимо простоты, заключается еще и в том, что на его основе легко изучать законы сохранения , так как пространство допускает существование глобально определенных векторов Киллинга. Стремление иметь хорошо сформулированные законы сохранения является, например, движущей силой развития релятивистской теории гравитации /19/.

Назовем пространственно-временное многообразие, характеристики которого не зависят от структуры и движения материи и физических полей, опорным . Им может, в частности, быть $R_3 \times T$ или многообразие Минковского. В обоих случаях,как нетрудно проверить, им соответствует метрика канонического вида (I) . Будем обозначать ее величинами с плоской чертой $\bar{g}_{kn}$. Использование других координат вводит в опорном многообразии связность, не являющуюся тензором, которую обозначим $\bar{\Gamma}^i_{jk}$. Известно, что тензор кривизны этой связности имеет тождественно равные нулю компоненты.

Учитывая отмеченные в предыдущем пункте особенности геометрического представления физических факторов, а также возможность ковариантного учета условий измерения в электродинамике, рассмотренную ниже, будем совместно рассматривать три группы физических факторов, дополнив метрику $\bar{g}_{kn}$ и связность $\bar{\Gamma}^i_{jk}$ опорного многообразия "метрическими" тензорами и тензорами связности, индуцированными соответсвенно системой отсчета $\hat{g}_{kn}$, $\hat{\Gamma}^i_{jk}$ и гравитационным полем $\tilde{g}_{kn}$, $\tilde{\Gamma}^i_{jk}$. Тогда имеем выражения

$$g_{kn} = \bar{g}_{kn} + \hat{g}_{kn} + \tilde{g}_{kn} , \qquad (21)$$

$$\Gamma^i_{jk} = \bar{\Gamma}^i_{jk} + \hat{\Gamma}^i_{jk} + \tilde{\Gamma}^i_{jk} . \qquad (22)$$

Очевидно изменение той функциональной нагрузки, которую несет на себе в этом случае интервал

$$ds^2 = (\bar{g}_{kn} + \hat{g}_{kn} + \tilde{g}_{kn})dx^k dx^n . \qquad (23)$$

Его следует, по-видимому, рассматривать как нормировку физических величин, позволяющую в едином виде представить обнаруженные закономерности. Такое упрощение, как известно, достигается в случае некоторых простых типов течений жидкости и в других ситуациях. В приведенной форме оно удобно и для решения общих вопросов .

Иногда такая нормировка может оказаться неудобной или ненужной .

Изменение компонентов физических величин, задаваемое правилом ковариантного дифференцирования на основе связности (22) включает на равноправных началах указанные три физических фактора. Математически это корректно, так как известно, что связность определяется в многообразии с точностью до тензора. С другой стороны, в силу тензорного характера g_{kn} и Γ^{i}_{jk} и гравитационное поле, и система отсчета задаются ковариантным способом и дают в общем случае не равную нулю кривизну и кручение. Это легко видеть , задав ковариантные производные по различным направлениям в конструируемом многообразии и рассмотрев соответствующие циклы. Так,

$$Du^{i}=\nabla_{k}u^{i}dx^{k}\ ,\quad \tilde{D}u^{i}=\nabla_{k}u^{i}\tilde{d}x^{k}\ .$$

Тензор кривизны определится из условия

$$(\nabla_{k}\nabla_{m}-\nabla_{m}\nabla_{k})\,u^{i}=R^{i}_{km\rho}u^{\rho}\ . \qquad (24)$$

Слагаемые (24) содержат произведения и частные производные тензорных и нетензорных величин. Их можно сгруппировать. Обозначим

$$\bar{\Gamma}^{\rho}_{li}\hat{\Gamma}^{q}_{k\rho}-\bar{\Gamma}^{\rho}_{ki}\hat{\Gamma}^{q}_{l\rho}=\bar{\Gamma}\hat{\Gamma}\ . \qquad (25)$$

Тогда полное выражение для тензора кривизны представится суммой четырех тензоров:

$$R^{q}_{kil}=\bar{R}^{q}_{kil}+\hat{R}^{q}_{kil}+\tilde{R}^{q}_{kil}+P^{q}_{kil}\ .$$

Здесь

$$R^{q}_{kil}=-\frac{\partial\Gamma^{q}_{ki}}{\partial x^{l}}+\Gamma^{\rho}_{li}\Gamma^{q}_{k\rho}+\frac{\partial\Gamma^{q}_{li}}{\partial x^{k}}-\Gamma^{\rho}_{ki}\Gamma^{q}_{l\rho}\ , \qquad (26)$$

$$P^{q}_{kil}=\bar{\Gamma}\hat{\Gamma}+\hat{\Gamma}\bar{\Gamma}+\bar{\Gamma}\tilde{\Gamma}+\tilde{\Gamma}\bar{\Gamma}+\hat{\Gamma}\tilde{\Gamma}+\tilde{\Gamma}\hat{\Gamma}\ . \qquad (27)$$

В конкретной ситуации каждый из указанных тензоров будет вносить свой вклад в изменение физических величин. Оно определится спецификой ситуации, а также соотношениями с полями материи.

Его структура, по определению, дополняется геометризацией полей и условий измерения. Поэтому следует признать, что опорное многообразие фиксирует самое общее, что имеют все физические явления: существование. Пространство-время, рассматриваемое как физический объект, не зависит от полей, ему соответствует отношение $w = 0$. Ньютоновская модель $R^3 \times T$ в этом случае адекватно описывает условия существования. Приведенные соображения не исключают возможности теоретического описания различных опорных пространств, равно как и способов геометризации физических величин.

5. Три стороны отношения в электродинамике

Согласно сделанному нами основному предположению, отношение является новой характеристикой, с помощью которой дополнительно к известным описывается взаимодействие электромагнитного поля с его окружением. Если поле задается точечным событием, отношение локально. У него есть несколько сторон.

Первая сторона определяет условия, в которых распространяется поле. Согласно проведенному анализу /I - 6/, симметрийные свойства уравнений существенно зависят от структуры материальных уравнений, которые задают связь полей и индукций. Кроме характеристик движения среды и показателя преломления в них входит отношение, величина которого связана с отклонением показателя преломления от единицы. Если $n = 1$, то $w = 0$, при $n = n_a$ имеем $w = 1$. Такое поведение обеспечивает связь

$$w = 1 - \exp\left[-p(n-1)\right], \tag{28}$$

где p - эмпирический коэффициент.

Выражение (28) пока не проверено экспериментально. Оно позволяет по значению показателя преломления определить отношение. Заметим, что скорость электромагнитного поля для фиксированного значения w определяется выражением

$$\vec{v}_{rp} = \frac{c}{n}\frac{\vec{K}}{K} + \left(1 - \frac{w}{n^2}\right)\vec{u}. \tag{29}$$

При $w = 0$ имеет место полная зависимость скорости поля от $\vec{u}$, при $w = 1$ в газовой среде увлечения нет, в других средах имеет место согласующееся с опытом частичное увлечение. Указанное замечание позволяет установить связь скорости $\vec{u}$, входящей в материальные уравнения, со скоростью источника, скоростью движения среды и отношением

$$\vec{u} = (1-w)\vec{u}_{ист.} + w\vec{u}_{ср}. \tag{30}$$

Из (30) следует, что в вакууме $w=0$ и скорость $\vec{u}$ равна скорости движения источника поля. При $w=1$ скорость $\vec{u}$ равна скорости движения среды.

Установленная связь отношения с показателем преломления газовой среды, а также соотношение, связывающее скорость среды и скорость движения источника в единый комплекс, замыкают уравнения, описывающие распространение электромагнитного поля. На этой основе получает динамическую интерпретацию эффект Доплера и аберрация электромагнитного поля. Рассмотрим распространение излучения из вакуума в атмосферу Земли, учитывая концепцию отношения и используя выведенные материальные уравнения и соотношения (29) и (30). Пусть реализованы условия, при которых изменение отношения происходит медленно и справедливо приближение геометрической оптики. Пусть частота и волновой вектор на начальной стадии задаются величинами $\vec{k}_0$, ω_0. Пусть система координат К имеет скорость, совпадающую со скоростью Земли. Тогда изменение частоты и компонент волнового вектора следует из требования локальной инвариантности фазы и задается правилом

$$k_x = \Gamma(k_{0x} + \omega_0 v w/c^2), \quad \omega = \Gamma(\omega_0 + k_{0x} v). \tag{31}$$

В асимптотике, при $w=1$, мы получим известные релятивистские выражения. Они описывают конечную стадию динамического процесса перестройки параметров излучения. Промежуточные стадии могут быть установлены экспериментально по специальной методике.

Вторая сторона отношения обнаруживается при анализе вопросов о методике и правилах измерения параметров электромагнитного поля и сравнения результатов между собой. Как показано в пункте 1 работы, отношение события к системам отсчета может быть различным и не сводится к вопросам взаимодействия с окружающей средой, хотя и подразумевает это. Так, отношение к физической среде является инвариантной характеристикой, не зависимой от наблюдателей самих по себе, равно как и от преобразований координат, их связывающих. С другой стороны, система отсчета выступает как самостоятельный фактор влияния на поле и потому их совокупность будет задаваться различными величинами. Так, если измерение проводится одним наблюдателем, то отношение к этой системе отсчета может меняться от 0 до I, а отсчитанные значения относятся к конкретному их фиксированному значению. В другой системе отсчета, которая никак с явлением не взаимодействует, не влияет на него, отношение строго равно нулю. После выполнения измерений здесь тоже будет получена совокупность отсчетных значений. Сравнение результатов измерений предполагает проведение выборки из этих совокупностей, а также неотделимо от некоторого алгоритма. Конечно, измерения проводятся в различных внешних условиях и потому имеет место связь внешних для поля параметров и характеристик непосредственно системы отсчета.

Третья сторона отношения выявлена нами при анализе уравнений динамики материальных объектов (I7). Из них с достаточной ясностью следует, что возможность сверхсветовых движений обеспечивается значением ω. Если физический объект рассматривается как целое, как аналог материальной точки, то он в полной мере характеризуется двумя указанными сторонами отношения. Если мы желаем рассматривать структурные составляющие, то возможна ситуация, когда части объекта имеют иное отношение как к внешним условиям, так и к измерительным устройствам, чем объект в целом. При малом отношении частей к внешнему миру они имеют возможность двигаться со сверхсветовыми скоростями, в то время как объект в целом будет иметь меньшие значения скорости. На этой основе мы приходим к следующей особенности : симметрийные свойства уравнений, описывающих поведение структурных частей физического объекта, могут отличаться от соответствующих свойств объекта как материальной точки или плоской волны.

Введем трехмерное пространство отношений, обозначив их составляющие ω_ξ, ω_η, ω_ζ. Здесь ω_ξ - отношение события к внешней среде, ω_η - отношение к системе отсчета, ω_ζ - отношение к внешним условиям структурных частей физического объекта.

6. К физическим основам и математической модели расслоенного пространства-времени

Успехи теоретической физики последних лет существенно опираются на представления о высокой размерности пространства-времени. При этом "лишние переменные" так или иначе связаны с внутренними симметриями, которые при переходе к экспериментальным результатам тем или другим способом устраняются из теории. Обычно в качестве пространства-времени используется прямая сумма двух пространств $M \otimes S$, где M - пространство Минковского, S - компактное однородное пространство. Расчетные функции раскладываются в ряд Фурье, в котором "лишние переменные" образуют многомерный тор с микроскопическими характерными размерами. При осреднении по пространству с большими характерными размерами происходит естественное выделение 4-мерных теорий. Интегралы по внутренним переменным, например в теории Калуца-Клейна, позволяют связать величину физического заряда с объемом внутреннего пространства.

Во всех случаях речь идет о той или иной форме модели расслоенного пространства-времени. Ее математическую основу образует концепция расслоенного многообразия, в настоящее время достаточно хорошо разработанная /20/. Физическая привлекательность подхода обеспечивается в первую очередь тем обстоятельством, что калибровочные поля являются связностями расслоенного многообразия /21/. Указанное обстоятельство позволило существенным образом продвинуться в построении единой теории электромагнитного и слабого взаимодействия /22/, объединить в один супермультиплет бозоны и фермионы /23/, унифицировать теорию взаимодействия физических объектов /24/. Однако во всех без исключения случаях физически содержательным считается 4-мерное пространство-время, в качестве которого чаще всего используется многообразие Минковского.

Покажем, что соединение воедино новых пространственно-временных симметрий в электродинамике движущихся сред, концепции опорного многообразия, особенностей корпускулярно-волнового дуализма позволяет синтезировать и физически обосновать модель расслоенного пространства-времени, внутренние переменные которой играют столь же важную роль, как и внешние. При этом обнаруживается дополнительность свойств пространства-времени, характерная для подхода Ньютона и Эйнштейна. Абсолютность дополняется относительностью и только их соединение дает полную картину явления.

Рассмотрим особенности новых пространственно-временных симметрий в электродинамике. С одной стороны, нам известно, что система двухтензорных уравнений допускает в качестве точной симметрии группу Лоренца, однако она допускает и группу Галилея. Каждая из них дает свои следствия о структуре пространства и времени, а также о соотношении измеренных в эксперименте значений величин. Модель, базирующаяся на группе Лоренца, дает расчетные значения, которые хорошо согласуются с экспериментом, однако, как следует из предложенной теории измерений, она имеет лишь асимптотическое значение. Модель, базирующаяся на группе Галилея, пока не подтверждена прямыми измерениями, но не вступает в противоречие с известными данными, если корректно учесть ряд особенностей проведения опытов. Указанные варианты вступают в противоречие с классическим принципом относительности, если попытаться провести объединение различных симметрий. Для иллюстрации этого дадим следующую формулировку принципа: "Законы, по которым изменяется состояние физических систем, не зависят (инвариантны) относительно преобразований, сохраняющих структуру пространственно-временного многообразия, в котором рассматривается явление". Если мы желаем использовать в качестве точной симметрии группу Галилея, нам необходимо пространство Ньютона, если группу Лоренца, то требуется пространство Минковского. Другого пути классический принцип относительности не дает. В частности, это послужило для А.Эйнштейна отправной точкой при построении теории гравитации, так как требование инвариантности относительно произвольных невырожденных координатных преобразований согласуется с использованием в качестве пространства-времени риманова многообразия.

С другой стороны, как показано в / 5 / , ниоткуда не следует, что пространственно-временные симметрии уравнений с необходимостью диктуются симметрией опорного многообразия. Так, уравнения электродинамики движущихся сред для двухтензорного поля можно вывести, используя формализм дифференциальных форм, без обращения к метрическим особенностям многообразия, в котором рассматриваются явления. Поскольку принцип относительности в классическом ва -

рианте отталкивается от метрической структуры пространства, мы обнаруживаем дополнительную степень свободы при анализе физических явлений: метрические симметрии могут быть различными. Для электродинамики движущихся сред ситуация в настоящее время выяснена и состоит в следующем : симметрийные свойства опорного многообразия задаются метрическим тензором, который задается априори, а симметрия уравнений поля регулируется тензором второго ранга, конкретный вид которого установлен для однородной изотропной среды выражением $\mathcal{R}^{im}$. Поэтому без противоречий с экспериментальными данными можно прийти к обобщению принципа относительности: "Законы, по которым изменяется состояние физических систем , инвариантны относительно преобразований, присоединенных к тому многообразию, в котором рассматривается явление". Нетрудно видеть, что здесь реализован переход от четырехмерного пространства-времени к многообразию расслоенному, так как предполагается, что над каждой точкой пространства-времени, имеющего 4 измерения, имеется групповое пространство и соответствующий элемент выбранной группы Если группе поставлено в соответствие пространство его изометрий, ситуацию можно видоизменить. При этом мы приходим к возможности , которая представляется принципиально новой.

Примем гипотезу:"Пространство-время есть расслоенное многообразие - РПВ, база и слой в котором являются 4-мерными пространственно-временными многообразиями".

Очевидно, что на данной основе синтез различных пространственно-временных симметрий в электродинамике оказывается не только возможным, но и содержательным. Действительно, в РПВ произвольный физический объект характеризуется видимыми, внешними параметрами, а также невидимыми, внутренними. Если отнести их соответственно к базе и слою РПВ, то в случае материальной точки ее поведение будет описываться уравнениями геодезической. Представляет интерес тот факт, что в рамках РПВ находит естественное выражение синтез корпускулярных и волновых свойств физического объекта. Не вдаваясь в детали анализа, частично выполненного в / 6 /, заметим,что для горизонтальной геодезической имеет место инвариантная связь дифференциалов смещений в базе dx^k и в слое dy^α:

$$\theta^\alpha = dy^\alpha + \Gamma^\alpha_k dx^k = 0. \tag{32}$$

Если связать равномерное и прямолинейное движение в базе с дифференциалами координат dx^k, а слоевому перемещению поставить в соответствие угловую скорость и соответствующую частоту ω, то соотношение (32) аналогично взаимосвязи импульса и длины волны, установленной Бройлем. Конечно, в рассматриваемом случае частота и скорость относятся к разным подпространствам, причем инвариантный характер (32) имеет только относительно слоевых преобразований, однако это обстоятельство следует рассматривать, скорее, как достоинство подхода, а не его недостаток. В модели РПВ корпускулярно-волновой дуализм есть просто проявление того физического факта, что состояние и поведение материи определяется четырехмерной моделью пространства-времени не в полной мере. То определение РПВ, которое принято нами, допускает возможность различного соединения в единый комплекс нескольких четырехмерных многообразий. Его конкретизация может быть проведена лишь на основе анализа следствий из теории, рассматриваемой в РПВ.

Физические величины должны задаваться тензорами РПВ, а дифференциальные законы - посредством инвариантных операторов. Поскольку расслоенное многообразие локально всегда может быть разбито на прямую сумму горизонтального и вертикального подпространств, то для векторного поля имеем слагаемые

$$\{\xi^k, \xi^\alpha\}.$$

Инвариантный дифференциал любого тензорного поля определится через формы /25/

$$\omega^i_j = \Gamma^i_{jk}\, dx^k + C^i_{j\alpha}\,\theta^\alpha,$$

$$\omega^\alpha_\beta = \Gamma^\alpha_{\beta k}\, dx^k + C^\alpha_{\beta\gamma}\,\theta^\gamma. \qquad (33)$$

Объекты связности преобразуются по правилам

$$\Gamma^{i'}_{j'k'} = x^{i'}_i \left(x^i_{j'k'} + x^j_{j'} x^k_{k'} \Gamma^i_{jk}\right),$$

$$C^{i'}_{j'\alpha'} = x^{i'}_i x^j_{j'} y^\alpha_{\alpha'} C^i_{j\alpha},$$

$$C^{\alpha'}_{\beta'\gamma'} = y^{\alpha'}_{\alpha}\left(y^{\alpha}_{\beta'\gamma'} + y^{\beta}_{\beta'} y^{\gamma}_{\gamma'} C^{\alpha}_{\beta\gamma}\right),$$

$$\Gamma^{\alpha'}_{\beta'k'} = y^{\alpha'}_{\alpha} y^{\alpha}_{\beta'k'} + y^{\alpha'}_{\alpha} y^{\beta}_{\beta'} x^{k}_{k'} \Gamma^{\alpha}_{\beta k} +$$

$$+ y^{\alpha'}_{\alpha} y^{\alpha}_{\beta'\gamma'} x^{k}_{k'} \left(y^{\gamma'}_{k} - y^{\gamma'}_{\gamma} \Gamma^{\gamma}_{k}\right).$$

Базис дуального касательного пространства θ^{α} задается выражением (32) , в котором величины Γ^{α}_{k} преобразуются по закону

$$\Gamma^{\alpha'}_{k'} = x^{k}_{k'}\left(-y^{\alpha'}_{k} + y^{\alpha'}_{\alpha} \Gamma^{\alpha}_{k}\right).$$

Классический принцип относительности, применяемый в расслоенном пространстве-времени, базируется по меньшей мере на двух группах симметрии 4-мерного пространства-времени : одна из них относится к базе, другая - к слою. В частном случае роль базового играет ньютоновское пространство-время, а роль слоевого - пространство Минковского. В таком варианте мы имеем синтез абсолютных и относительных свойств как механических характеристик физических объектов, так и перемещения их точек.

В расслоенном пространстве-времени физическое время двумерно, так как характеризуется временем, заданным в базе, и временем, заданным в слое. В частном случае они могут быть связаны друг с другом, в общем - представляют собой независимые характеристики. Это обстоятельство может оказаться полезным при построении динамики .

Так как произвольное физическое поле будет иметь в модели РПВ компоненты горизонтальные и вертикальные, задача их анализа сводится к исследованию динамики таких взаимосвязанных характеристик. Заметим, что учет расслоенной структуры пространства-времени обнаруживается при анализе законов сохранения в 4-мерном многообразии. Действительно, рассмотрим лагранжиан системы в РПВ $\mathcal{L}(x, y)$ и потребуем инвариантности действия

$$S = \int L(x,y)\sqrt{-g(x,y)}\, d^4x\, d^4y .$$

Имеем

$$\mathcal{L}(x,y)=\mathcal{L}\left(\Psi(x,y);\Psi_{,\mu}(x,y);\Psi_{,n}(x,y)\right),$$

$$\delta\mathcal{L}=\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Psi}\delta\Psi+\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Psi_{,\mu}}\delta\Psi_{,\mu}+\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Psi_{,n}}\delta\Psi_{,n}.$$

Уравнения поля получают добавки, связанные с внутренними переменными, так как

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Psi}-\partial_\mu\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Psi_{,\mu}}\right)-\partial_n\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\Psi_{,n}}\right)=0. \qquad (34)$$

Изменится и выражение для тензора энергии-импульса

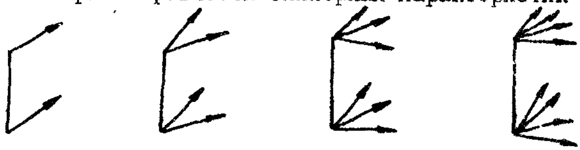
$$T_{\mu\nu}=\mathcal{L}\delta_{\mu\nu}-\frac{\partial\Psi}{\partial x^{n}}\cdot\partial\mathcal{L}\Big/\partial\left(\frac{\partial\Psi}{\partial x^{n}}\right). \qquad (35)$$

Анализ законов сохранения, а также уравнений движения в четырехмерном пространстве-времени, проводимый без учета добавок, следующих из (34) и (35), неизбежно приведет к их нарушению. С другой стороны, везде, где такие нарушения уже известны, мы вправе ожидать там "проявлений" расслоенности пространства-времени. Так, например, виртуальные частицы квантовой электродинамики могут при более тщательном анализе дать информацию о внутренней, скрытой структуре реальных физических объектов. Представляет интерес также анализ нарушения законов сохранения при рассмотрении гравитации в римановом многообразии.

Вероятно, существует связь спина и характерного внутреннего движения в расслоенном многообразии. Такую связь мы обнаруживаем, если представим себе, что спинорное поле имеет определенное количество компонент в базе и в слое. В зависимости от того, какие существуют связи и преобразования между ними, мы имеем ту или другую конфигурацию и структуру. Представим спиноры РПВ в виде структур, схематически изображаемых стрелами, отнесенными к базе и к слою. Одному измерению соответствует одна стрела, двум - две, а в качестве инвариантной характеристики структуры выберем отношение количества (суммарного) размерностей спинорного пространства к размерности опорного многообразия. Тогда получим следующие варианты:

$$S=\frac{1}{2},1,\frac{3}{2},2\ldots\ .$$

Им соответствует следующее распределение структур, полученное в предположении равноправности спинорных характеристик в базе и в слое:



Если размерность спинорного пространства не может превышать размерность опорного многообразия, то максимальное значение спина не превышает двух. Очевидно, что в рассматриваемом случае глубинное "назначение" спина состоит в фиксации топологических свойств РПВ.

В том случае, когда базовая и спинорная структуры неравноправны, физические объекты могут взаимно дополнять друг друга: объект, имеющий богатую базовую структуру, будет в некотором отношении дополнительным к объекту, имеющему богатую слоевую структуру. Представим их следующим образом:

Тип А  Тип Б 

Волнистая линия разделяет условно их базовые свойства от слоевых. Очевидно, что объединение указанных структур, если оно возможно, приведет к изменению симметрийных свойств, притом присущие им ранее качества будут утрачены тем сильнее, чем эффективнее рассматриваемый союз.

С примером указанного неравноправия мы сталкиваемся при анализе биологических систем. Объекты, например мужчины и женщины, имеют различную степень развития физиологической и эмоциональной сфер. Если отнести их к базовым и слоевым характеристикам, то получим тип А либо тип Б.

Представляет интерес также задача описания положительного и отрицательного зарядов по мере различия их базовых и слоевых свойств. Тогда тип А или тип Б инвариантно характеризуют топологическую структуру единого заряда в расслоенном пространстве-времени.

Важной чертой РПВ является возможность выбора в качестве базы опорного многообразия и связанное с ней единообразное выражение 4-мерных, видимых пространственно-временных характеристик. Все физические объекты имеют размеры, конфигурацию, время жизни, но они отображают только часть реального мира. Не представляют исключения из правила фотоны и электроны. В современной физике они не имеют структуры, отсутствует более или менее удовлетворительная теория, описывающая их как сложные составные образования. Понятно, что для их построения нужна была прежде всего уверенность, что проводимая работа имеет смысл. Теперь такое обоснование имеется. Поскольку, в согласии с экспериментальными фактами прежде всего электродинамики движущихся сред, в качестве базы расслоенного пространства-времени можно использовать ньютоновское многообразие $R^3 \times T$, а также обоснование корректности концепции сверхсветовых скоростей, ближайшие исследования позволят разработать реалистичные модели фотона и электрона. Они продвинут вперед квантовую электродинамику и подтвердят принципиальные вопросы теории пространственно-временных структур.

Заметим, что расслоенное многообразие допускает иерархию точек и уровней. Такие модели могут использоваться в физической теории, в которой поставлена задача полного описания явлений данного уровня. Последний определяется содержанием понятия точки многообразия. Рассмотрим последовательность уровней: -I, 0 , I . Их обозначения соответствуют точкам натурального ряда, причем исследуемому уровню поставлен в соответствие индекс нуль. Каждое многообразие является точкой своего предыдущего и расслоено на пространства последующего уровня. Тогда физические характеристики будут в общем случае , для уровня 0 , зависеть как от его координат, так и от координат и параметров предыдущего и последующего уровней . Наибольший интерес представляет случай, когда представленная иерархическая цепочка уровней замыкается. Тогда бесконечно большое в определенном диалектическом смысле эквивалентно бесконечно малому и только в этом случае можно надеяться на полноту пространственно-временного описания мира. Структура физического объекта, скорее всего, в основном определяется ближайшими уровнями, хотя не исключены и другие возможности.

7. О возможностях экспериментального обнаружения расслоенной структуры пространства-времени.

Рассмотрим постановку экспериментов, из которых можно было бы установить наличие новых точных пространственно-временных симметрий в электродинамике, в частности, относительно группы Галилея и связанной с этим обстоятельством расслоенности состояния и механического движения физических объектов. Как следует из приведенного выше анализа, спектр экспериментального поиска может быть достаточно широким. Ограничимся поэтому ситуациями, в которых на опыте можно получить принципиально новые результаты.

а) Зависимость скорости света в вакууме от скорости движения источника

Согласно двухтензорному описанию поля, имеется совокупность однопараметрических пространственно-временных симметрий уравнений электродинамики. Скорость распространения излучения зависит от показателя преломления, характеристик движения среды, а также от отношения w :

$$\vec{v}_{\varphi} = \frac{c}{n}\frac{\vec{K}}{K} + \left(1-\frac{w}{n^2}\right)\left[\vec{u}_{ист}(1-w)+\vec{u}_{\varphi}\cdot w\right], \qquad (36а)$$

где

$$w = 1 - \exp\left[-P(n-1)\right]. \qquad (36б)$$

Для ее определения нужно учесть особенности выражений(36) , а также условия измерения. В случае распространения излучения в вакууме, согласно основной гипотезе, имеем $w=0$, $n=1$. Тогда

$$\vec{v}_{\varphi} = c\frac{\vec{K}}{K} + \vec{u}_{ист}\,. \qquad (37)$$

Соотношение (37) получено в предположении отсутствия влияния измерительного устройства на излучение, что соответствует условиям косвенного измерения. Оно может быть выполнено имеющимися экспериментальными средствами.

Пусть в вакууме, на расстоянии L друг от друга, расположены два устройства, содержащие соответственно источники и детекторы электромагнитного излучения. Пусть один источник излучения представляет собой импульсный пучок релятивистских электронов, а второй - стандартный покоящийся импульсный источник электромагнитного поля. Тогда регистрация излучения детекторами второго устройства (при отсутствии среды между ними) позволит обнаружить запаздывание времени прихода электромагнитного поля, испущенного релятивистским пучком и покоящимся излучателем.

Пусть $v - 0{,}8\,c$, $L = 300$ км. Тогда время запаздывания сравнимо с временем пролета контрольного расстояния пучком электронов. Эта величина значительна и потому возможна эффективная проверка (37).

б) Опыт Физо в разреженной газовой среде

Предлагается провести анализ увлечения оптического излучения разреженной газовой средой на основе интерферометрической схемы, в которой один луч идет по скорости среды, а другой - в противоположном направлении. Так как схема содержит, наряду с движущейся средой, неподвижные окна и призмы, полагаем $\vec{U}_{цо}= 0$. Тогда

$$\vec{V}_{гр} = \frac{c}{n}\frac{\vec{K}}{K} + \left(1 - \frac{w}{n^2}\right) w\Gamma \vec{U}_{ср} \,. \qquad (38)$$

Значение показателя преломления следует находить из опытных данных, а отношение $w\Gamma$ - согласно (36а). Поскольку показатель преломления газовой среды в диапазоне оптических длин волн отличается от единицы на величину порядка 10^{-3}, то определить увлечение излучения средой достаточно сложно. Оптимальным, с точки зрения эффекта увлечения, является значение $w\Gamma$, обеспечивающее максимальную величину $\vec{V}_{гр}$. Согласно (38), таким является значение $w\Gamma = 0{,}5$. Ему соответствует показатель преломления

$$n \simeq 1 + 0{,}69 / P \,. \qquad (39)$$

Используя высокочувствительную интерферометрическую схему и проводя разрежение газовой среды, движущейся с постоянной скоростью, можно обнаружить зависимость (38).

в) Связь длины волны Бройля со спином частицы

Согласно соотношению Бройля, длина волны, неразрывно связанная с движущимся объектом, зависит только от величины его импульса

$$\lambda = \hbar / P \,. \qquad (40)$$

Из проведенных выше рассуждений следует, что указанные слагаемые движения механического объекта (его корпускулярные и волновые характеристики) имеют прямое отношение к тому факту, что пространство-время расслоенно. С другой стороны, внутреннее, слоевое движение каким-то образом связано со спином S. Нетрудно видеть, что выражение (40) может быть преобразовано с учетом спина частицы. Используем следующую связь:

$$\lambda = s\hbar V_{гр} / E_{кин} \,. \qquad (41)$$

Здесь S - спин, $v_{гр}$- групповая скорость объекта, $E_к$- кинетическая энергия объекта.

Для электрона $S=1/2$, $E_к=mv^2/2$, для фотона $S=1$, $E_к=\hbar\omega_0, v_{гр}=c$. В обоих случаях согласование формул очевидно. Дифракционные опыты для частиц со спином 3/2 либо 2 могут дать различие, которое будет подтверждать или опровергать концепцию расслоенности пространства-времени.

г) Представляют интерес также эксперименты, в которых проводится , в соответствии с развитой электродинамической теорией, исследование динамики изменения волнового вектора и частоты излучения при прохождении его через движущуюся среду или при взаимодействии с детектором. Характерные времена и расстояния для этих процессов в оптическом диапазоне длин волн малы, но зато достаточно велики для радиоволн. Развитие экспериментальной техники позволит в ближайшем будущем провести такие опыты.

Заключение

Центральную роль в идеологии и математическом выражении рассмотренных аспектов электродинамики движущихся сред играет концепция отношения. Без нее невозможен корректный анализ ни пространственно-временных симметрий, ни условий измерения, ни рассмотрение вопроса о механической модели фотонов и электронов. В силу предполагаемой общности отношение выступает как новая буква физического алфавита, роль и значение которой еще до конца пока не раскрыты . Полученные данные согласуются с экспериментом и стимулируют проведение новых оригинальных опытов. Думается, что мы находимся у истоков прорыва в новое качество электродинамики движущихся сред. Если в начале века задача состояла в том, чтобы доказать молекулярную структуру вещества, а позднее - детально описать и практически использовать полученную информацию, теперь задача состоит в том, чтобы разобрать на составные части элементарные кирпичики электромагнетизма - фотон и электрон. Такая возможность появилась в связи с обнаруженной расслоенностью пространства-времени и теми богатыми возможностями, которые она дает в руки как теоретиков , так и экспериментаторов.

Литература

1. Барыкин В.Н. К вопросу о галилеевски инвариантной формулировке электродинамики // Изв.АН БССР.Сер.физ.-мат.наук. -1982.- №4. -С.110-114.
2. Барыкин В.Н. К электродинамике инерциально движущихся сред. -Минск,1982.-56с. - (Препринт/ИТМО АН БССР,№1) .
3. Барыкин В.Н. Новые пространственно-временные симметрии в электродинамике сред // Изв.вузов.Физика. -1986.- № 10. - С.26-30.
4. Барыкин В.Н. Связь пространственно-временных симметрий и условий измерения в электродинамике. -Минск,1985. -44с.- (Препринт ИТМО АН БССР,№4) .
5. Барыкин В.Н. Пространственно-временные симметрии в электродинамике изотропных инерциально движущихся сред // Теоретико-групповые методы в физике. -М.: Наука,1986. -С.461-466.
6. Барыкин В.Н. К электродинамике в расслоенном пространстве-времени. -Минск,1986. -44с. - (Препринт/ИТМО АН БССР,№2) .
7. **Schlegel R. An Interaction Interpr tation of Special Relativity. Part I // Found. Phys. - 1973. - V.3, N 2. - P. 169.**
8. **Buonomano V. A new Interpretation of the Special Theory of Relativity // Int. J. Theor. Phys. - 1975. - V. 13, N 4 . - P. 213 - 226.**
9. Фейнберг Е.Л. Можно ли рассматривать релятивистское изменение масштабов длины и времени как результат действия сил // Эйншт. сб. 1975-1976. -М.:Наука.1978. -С.43-77.
10. Иваницкая О.С. Обобщенные преобразования Лоренца и их применение. - Минск: Наука и техника, 1972. - С. 262.
11. Владимиров Ю.С. Теория систем отсчета в гравитации. - М.:Наука,1982. -270с.
12. Барыкин В.Н.,Толкачев Е.А., Томильчик Л.М. О симметрийных аспектах выбора материальных уравнений в макроскопической электродинамике движущихся сред // Изв.АН БССР.Сер.физ.-мат. наук. -1982. - № 2. - С. 96-98.
13. Боголюбов Н.Н.,Ширков Д.В. Введение в теорию квантованных полей.- М.:Наука,1976. -480с.
14. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. - М.:Наука,1955. -504с.
15. Барыкин В.Н. Особенности распространения излучения в разре -

женных газовых потоках // Тепло- и массоперенос-86. - Минск, 1986. - С. 62-64. - (Сб. науч. тр./ИТМО АН БССР).
16. Ландау Л.Д., Пайерлс Р. Распространение принципа неопределенности на квантовую теорию // Собр. соч. - М.: Наука, 1969. - Т. I. -С.56-70.
17. Холево А.С. Вероятностные и статистические аспекты квантовой теории. - М.: Наука, 1980. -320с.
18. Шутц Б. Геометрические методы математической физики. - М.: Мир, 1984. -304с.
19. Логунов А.А. Релятивистская теория гравитации и новые представления о пространстве и времени // ТМФ.-1987.-№1.-С.3-23.
20. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. -М.: Наука, 1979. -760 с.
21. Утияма Р. К чему пришла физика.-М.:Знание, 1986. -222с.
22. Тейлор Дж. Калибровочная теория слабых взаимодействий. - М.: Мир, 1978. -230с.
23. Березин Ф.А. Введение в алгебру и анализ с антикоммутирующими переменными. - М.:МГУ, 1983. -208с.
24. Ахиезер А.И., Пелетминский С.В. Поля и фундаментальные взаимодействия. - М.: Наука, 1986. -260с.
25. Близникас В.И. К теории кривизны пространства опорных элементов // Лит.мат.сборник. - 1965. -Т.5,№1. -С.9-22.

Виктор Николаевич Барыкин

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ
ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ ДВИЖУЩИХСЯ СРЕД

Препринт № 21

Редактор В.И. Царькова. Худ.редактор С.И. Сауляк.
Техн.редактор В.Д. Перепелкина. Корректор З.В. Шейбак.

Подписано в печать 04.09.87. АТ 15794.
Формат 60x84 1/16. Бумага типогр. № 2. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 2,25. Усл. кр.-отт. 2,25. Уч.-изд.л.2,3.
Тираж 150 экз. Заказ 295.
Бесплатно.

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова АН БССР.
220728 Минск, ГСП, П.Бровки,15

Отпечатано на ротапринте Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова АН БССР. 220728,Минск, ГСП, П.Бровки,15