О решении 6-й проблемы Д. Гильберта и современной точке зрения на общий принцип относительности А. Эйнштейна

В. Г. Жотиков
zhotikov@yandex.ru

Московский физико-технический институт

Семинар в ФИАН им. П.Н. Лебедева

12.10.2016

План доклада

Общие соображения и мотивации

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

О геометрии пространств с ареальной метрикой

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

Погружение 4-пространство-время в пространство наблюдателей

Заключение

Общие соображения и мотивации

Исторический аспект

Д. Гильберт(1862 - 1943): доклад «Математические проблемы» на II-м Международном Конгрессе математиков (06 - 12 августа 1900 г.)

6-я проблема Гильберта

Математическое изложение аксиом физики

Построение аксиом (принципов) физики провести по образцу аксиом геометрии. Следует попробовать сначала небольшим количеством аксиом охватить возможно более общий класс физических явлений. Затем, присоединением каждой следующей аксиомы придти к более специальным теориям. Тогда возможно возникнет принцип классификации который сможет использовать теорию групп преобразований[1].

[1] *Гильберт Д.* Избранные труды. Т.2. Анализ. Физика. Проблемы.М.: Из-во "Факториал 1998. - 608 с.

Общие соображения и мотивации

Исторический аспект

1905 г. Неизвестный в научном мире служащий патентного бюро (Берн, Швейцария) А. Эйнштейн публикует свою первую научную работу «К электродинамике движущихся тел» [2], ставшей в последствие основанием для частной или специальной теории относительности (СТО).
1915 г. Выходит работа А. Эйнштейна «К общей теории относительности» [3]. В ней делается попытка обобщить СТО на неинерциальные системы отсчета. Возникает термин «общая теория относительности» (ОТО).

29.05.1919 г. Лорд А. Эдингтон докладывает о результатах наблюдений его экспедиции полного лунного затмения в Западной Африке и Бразилии. В это же самое время в Лондоне проходит всемирный еврейский конгресс.

[2] *Enstein A.* Ann. Phys. 17, 891 (1905)
[3] *Enstein A.* Sitzusnber. Press. Acad. Wiss. 44, 778 (1915)

Общие соображения и мотивации

Общий принцип относительности А. Эйнштейна и его интерпретации

Общий принцип относительности был сформулирован А. Эйнштейном (1916 г.)[4] так:
«Законы физики должны быть так составлены, чтобы они были действительны для произвольно движущихся координатных систем.»
В этой же работе, а также в дальнейшем, это положение использовалось им и другими авторами и в такой формулировке:
«Законы природы должны быть ковариантны относительно произвольных непрерывных преобразований координат.»
Этот принцип общей ковариантности А. Эйнштейн назвал **общим принципом относительности**.

---

[4] *Enstein A.* Ann. Phys. Vol. 49, 760 (1916)

Общие соображения и мотивации

В. Л. Гинзбург [5] назвал ОТО величайшим научным достижением, созданным гением А. Эйнштейна.

Там же он сформулировал свою точку зрения на ОТО, которую он неоднократно повторял в последствие:

«Не подлежит сомнению, что общая теория относительности Эйнштейна сохранится в веках как одно из величайших достижений человеческой мысли.»

[5] *Гинзбург В.Л.* Экспериментальная проверка общей теории относительности. В сборнике «Эйнштейн и современная физика». ГИТТЛ, М.: 1956, 260 с.

Общие соображения и мотивации

В свою очередь, В. А. Фок [6] в этом же издании сообщает что «теория тяготения неправильно понята ее автором».

Более того, В. А. Фок в своей известной книге [7] (с. 244) он делает еще более радикальный вывод:

«Общий принцип относительности, как физический принцип, который имел бы место по отношению к произвольным системам отсчета невозможен».

---

[6] *Фок В. А.* Замечания к творческой автобиографии Альберта Эйнштейна. В сборнике «Эйнштейн и современная физика». ГИТТЛ, М.: 1956, 260 с.

[7] *Фок В. А.* Теория пространства, времени и тяготения. ГИФМЛ, М.: 1961. 563 с.

Общие соображения и мотивации

Цель работы – взглянуть на общий принцип относительности с «высоты геометрий, включающих риманову геометрию в качестве частного случая».

Истинный смысл принципа относительности (ПО) может быть осознан только введением в теорию новых геометрий, более общих, чем геометрия римановых пространств — математический фундамент ОТО.

К таким геометриям относятся, геометрия финслеровых пространств и ее обобщения — геометрии пространств с ареальной метрикой.

Фактически задача формулируется так: «Могут ли два совершенно произвольных наблюдателя, согласовать результаты своих наблюдений одного и того же явления Природы?».

Общие соображения и мотивации

Г. Риман (1826 – 1866), в своем известном докладе[8], высказал чрезвычайно глубокую мысль. Рассматривая метрику абстрактных геометрических пространств, он отметил, что должны существовать две и только две возможности.

Либо пространство дискретно, тогда его метрика заложена в нем самом.

Либо пространство пространство непрерывно. Тогда его метрика не может быть заключена непосредственно в нем самом и должна устанавливаться извне.

[8] *Риман Г.* О гипотезах лежащих в основаниях геометрии. Опубликовано в 1868. Сборник "Об основаниях геометрии"ГИТТЛ, М.: 1956. С. 306.

Общие соображения и мотивации

Согласно А. Эйнштейну, метрика "нашего мира" (4-мерное пространство-время), должна быть отнесена ко второму из указанных Г. Риманом типов.
Развитие квантовой физики по-новому поставило вопрос о структуре пространства и времени в микромире.

В наши дни стало очевидным, что в масштабах микромира пространство-время дискретно и определяется характерными (планковскими) величинами: l_{Pl} и t_{Pl}.

Другими словами, судя по всему, в микромире осуществляется первая из указанных Г. Риманом возможностей.
В рамках классических представлений дискретное пространство можно ассоциировать с совокупностью узлов кристаллической решетки.
Подобная структура не может не быть анизотропной.

Общие соображения и мотивации

С точки зрения, на геометрию, как теорию инвариантов той или иной группы преобразований (Ф. Клейн, 1872), пространство-время СТО рассматривается как 4-х мерное вещественное аффинное (более строго, эквиаффинное!) пространство с невырожденной метрикой сигнатуры (1, 3).

В физической литературе это пространство называется **пространством Минковского** и обозначается как M^4.

Аффинные (линейные неоднородные преобразования) пространства M^4 определяют **группу Пуанкаре**.

Подгруппа однородных преобразований группы Пуанкаре носит название **группа Лоренца**.

Сами преобразования Лоренца (их называют бусты) не образуют группу преобразований.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

$*$ **Как связать квантовую физику с геометрией?**

Кванты были ведены М. Планком (1900 г.) как наименьшие порции энергии излучателя.
М. Планк с самого начала ясно видел, что фундаментальной величиной является не квант энергии $h\nu$, а квант действия $h = 6,62 \cdot 10^{27}$ *эрг.сек*.
Он связывал это с **инвариантностью действия** относительно преобразований координат.
Количество действия изменяется дискретным образом как целое кратное величины h.
А. Зоммерфельд (1911): «Не h следует выводить из размеров атомов, а само существование атомов является функцией и следствием элементарного кванта действия» (квантовый постулат Бора-Зоммерфельда).

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

К геометрии Финслера (П. Финслер: 1918) мы приходим давая геометрическую интерпретацию принципа наименьшего действия

$$s[\gamma] = \int_{t_1}^{t_2} L(q, \dot{q})\, dt. \tag{1}$$

$L(q, \dot{q})$ – функция Лагранжа (лагранжиан) исследуемой системы; $q \equiv q^\alpha \in X^n$ — обобщенные координаты, $\dot{q} \equiv \dot{q}^\alpha$, $(\dot{q}^\alpha = \dfrac{dq^\alpha}{dt})$ – обобщенные скорости, $\alpha = 1, ..., n$.
n – количество всех степеней свободы.
Многообразие $X^n : P(q) = P(q) \in X^n$ геометры называют пространством Веблена-Уайтхеда.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Задача ставится следующим образом.
Необходимо построить геометрию, в которой каждой геометрической кривой γ выражение (1) ставит в соответствие определенное число $s = s[\gamma]$, которое можно назвать *длиной дуги* кривой γ в некотором геометрическом пространстве, X^n.
Экстремали функционала (1), т. е. траектории, описываемые уравнениями Эйлера-Лагранжа — суть *геодезические (кратчайшие)* этого пространства X^n.
Мерой измерения расстояний в этом пространстве становитсяся постоянная Планка h.
Это задача была решена П. Финслером (1894 – 1950) в его дисссертации «Uber Kurven and Flachen in allgemeinen Raumen»: Dissertation. – Gottingen, (1918).

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Инвариантность интеграла действия (1) относительно преобразований общего вида

$$t \to t'(t);\; q^\alpha \to q^{\alpha\prime} = q^{\alpha\prime}(q^\alpha), (Det|\frac{\partial q^{\alpha\prime}}{\partial q^\alpha}| \neq 0) \qquad (2)$$

накладывают ограничения на структуру функции Лагранжа $L(q,\dot{q})$. Она должна быть:
1) положительно однородной первой степени относительно обобщенных скоростей;
2) неотрицательной $(L(q,\dot{q}) > 0)$ для $\dot{q} \neq 0)$;
3) квадратичная форма $g_{\alpha\beta}\xi^\alpha\xi^\beta$ от переменных $\xi^\alpha \neq 0$
где $g_{\alpha\beta} = \frac{1}{2}\frac{\partial^2 L}{\partial\dot{q}^\alpha\partial\dot{q}^\beta}$ положительно определена.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Условия 1) — 3) дают классическое определение метрики Финслера. Условие однородности 1) приводит к так называемым однородным лагранжианам (П. Дирак).
Геометрическое пространство X^n с заданной в нем метрикой Финслера называется ***пространством Финслера*** и обозначается F^n.
Уравнение

$$L(q^\alpha, x^\alpha) = 1, \; x^\alpha \in T^n(P), \; P \in X^n \tag{3}$$

в каждом касательном $T^n(P)$, $P \in X^n$ описывает некоторую локальную гиперповерхность.
Ее называют ***поверхностью лагранжиана***, или ***локальной индикатрисой метрики Финслера***.
Физический смысл индикатрисы метрики.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Индикатриса (см. **ФЭ**)
(от латинского слова **indico** — указываю, определяю) указательная поверхность, вспомогательная поверхность, характеризующая зависимость каких либо свойств среды от направления.
Для построения индикатрисы из одной точки (центра) проводят радиус-векторы, длина которых пропорциональна величине, характеризующей данное свойство среды в данном направлении.
Например: **электропроводность, показатель преломления, модули упругости и т.д.**

Понятие ***локальная индикатриса*** метрики является одним из ключевых понятий в геометрической интерпретации принципа наименьшего действия.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Физический смысл понятия индикатрисы метрики

Локальная индикатриса — гиперповерхность в каждом локальном касательном $T^n(P)$, $P \in X^n$
отвечающая скорости изменения единичного действия.
Ее физическая размерность есть [энергия].

В такой постановке функция Лагранжа есть метрическая функция пространства конфигураций X^n.
Каждому лагранжиану соответствует своя локальная индикатриса, определяющая метрику в X^n.

Заданием локальной индикатрисы, т. е. поверхности скорости изменения действия обеспечивается введение всех необходимых процедур измерения физических величин.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Аналогичным образом, в сопряженном локальном касательном (т. е. кокасательном) пространстве $T^{*n}(P)$, соответствующем $T^n(P)$ $P \in X^n$ строится гиперповерхность (семейство гиперплоскостей)

$$H(q^\alpha, y_\alpha) = 1, \ y_\alpha \in T^{*n}(P), \ P \in X^n, \tag{4}$$

где H – ***гамильтониан системы***. Эту гиперповерхность называют ***локальной поверхностью гамильтониана*** или ***локальной фигуратриссой*** метрики Финслера. Вспомним в этой связи, знаменитое соотношение де-Бройля $\lambda = h/p$.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Уравнения

$$L(q^\alpha, x^\alpha) = 1,\ x^\alpha \in T^n(P),\ P \in X^n \tag{5}$$

$$H(q^\alpha, y_\alpha) = 1,\ y_\alpha \in T^{*n}(P),\ P \in X^n \tag{6}$$

определяют **контравариантную** и **ковариантную** векторные метрики в F^n.

Теорема взаимности:

Локальная поверхность гамильтониана Π_H (***локальная фигуратриса***) есть взаимно полярная поверхность для поверхности лагранжиана Π_L (***локальная индикатриса***) и обратно.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Геометризация интеграла действия (1) становится особенно наглядной, если от выражений для локальной индикатрисы (5) и (6)
перейти к эквивалентной параметрической форме:

$$x^{\alpha} = \ell^{\alpha}(q^{\alpha}, \Theta^{i}) = 1, \; i = 1, 2, ..., n-1, \tag{7}$$

$$y_{\alpha} = \ell_{\alpha}(q^{\alpha}, \Theta^{i}) = 1, \; i = 1, 2, ..., n-1. \tag{8}$$

Здесь Θ^i – параметры, определяющие положение точки или касательной гиперплоскости на указанной поверхности. $\Theta^i \in X^{n-1}$.
Состояние частицы описывается координатами положения точки на локальной индикатрисе. В свою очередь, параметры Θ^i несут важный физический смысл.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Согласно В. Вагнеру [9] пространство Финслера F^n удобно рассматривать как расслоенное пространство. Базой его является пространство конфигураций X^n, слоями — касательные пространства T^n с заданными в в каждом из них локальными индикатрисами X^{n-1}.
Приходим к расслоенному пространству $X^{n-1}(X^n)$.

Физический смысл пространства $X^{n-1}(X^n)$: геометрическая модель пространства произвольных наблюдателей для действия, описываемого обыкновенным интегралом (1).

[9] Вагнер В. *Геометрия Финслера как теория поля локальных поверхностей.* Труды семинара по векторному и тензорному анализу. Вып. VII (1949). С. 65.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Геометрия риманова пространства V^n представляет собой частный случай геометрии финслерова пространства F^n.

Она сводится к теории поля локальных центральных гиперповерхностей второго порядка (когда в каждом локальном касательном $E^n(P)$, $P \supset X^n$ индикатриса общего вида вырождается в поверхность 2-го порядка).

Это приводит к серьезным далеко и идущим следствиям, так как, математическим фундаментом "классической" ОТО является 4-мерное риманово пространство V^4.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Пример.

Метрическая функция «свободной» релятивистской частицы без заряда и спина в СТО (пространство Минковского M^4); $n = 4$; $q^\alpha \equiv x^\alpha, \alpha = 0, 1, ..., 3$; $X^4 \equiv E^4$

$$L(x, \dot{x}) = m\sqrt{\dot{x}^2}. \tag{9}$$

Индикатриса метрики — 3-мерный гиперболоид (3-псевдосфера) с центром в каждой точке E^4

$$x^\alpha = \ell^\alpha(\Theta^i), i = 1, 2, 3 \tag{10}$$

лежит на световом конусе с вершиной в каждом локальном E^4 Уравнения (9),(10) задают нам **метрику Минковского.**

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

<u>**Другими словами**</u> герметизируя действие для «свободной» релятивистской частицы (без заряда и спина!) приходим к пространству Минковского M^4.

Пусть теперь на систему наложены p связей

$$\Phi_p(q, \dot{q}) = 0, \ (p = m + 1, ..., n). \tag{11}$$

Приходим к задаче Лагранжа в вариационном исчислении,

и соответственно к к одному их обобщений геометрии Финслера.
Приходим к новому геометрическому X^n, обладающему метрикой Лагранжа.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

Индикатриса метрики вариационной задачи Лагранжа становится r-мерной локальной поверхностью $X^r(P)$, где $r = 1, ..., n-1$.
Приходим к понятию **метрика Лагранжа**.
Геометрически задача сводится к теории поля локальных поверхностей

$$\ell^\alpha = \ell^\alpha(q^\beta, \Theta^i), \ (\alpha, \beta = 1, ..., n; i = 1, ..., r). \qquad (12)$$

В частном случае пространства X^n с метрикой Лагранжа если имеет место $r = n-1$, возвращаемся в пространство Финслера F^n.

Геометрическая интерпретация принципа наименьшего действия

* Приходим к новой, геометрически инвариантной форме уравнений движения.

Принципиальным отличием данной формы уравнений движения от лагранжевой и гамильтоновой форм состоит в том, что ее уравнения описывают движения в относительно полного ансамбля произвольных наблюдателей в том числе неинерциальных.

Создании геометрической теории объединения всех фундаментальных взаимодействий, в том числе создание математически безупречной теории квантовой гравитации, диктуют необходимость введения в физику, геометрии более общей чем финслерова.

О геометрии пространств с ареальной метрикой

К геометрии пространств с ареальной метрикой приходим давая геометрическую интерпретацию вариационного принципа для случая кратных интегралов.

В физике это соответствует принципу наименьшего действия в теории поля.

Приходим к еще одной, более общей геометрии (В. Вагнер: 1946, Г. Жотиков: 1968, Н. Кабанов: 1970). Она включает в себя геометрию Финслера в качестве частного случая.

Подробное изложением сути дела см. в монографии[10].

По классификации Г. Римана имеем дело с геометрическими пространствами второго типа.

---

[10] *Жотиков В. Г.* Геометрия вариационного исчисления и ее приложение к теоретической физике. 2002, 414 с.

О геометрии пространств с ареальной метрикой

Задача отыскания экстремума m-кратного интеграла

$$S = \int \cdots \int_m L(\psi^\alpha, \psi^\alpha_a) du^1 ... du^m \quad (a, b = 1, ..., m) \qquad (13)$$

как функции ориентированной m-мерной поверхности

$$\psi^\alpha = \psi^\alpha(u^a) \qquad (14)$$

с закрепленной или подвижной границей.

Значение интеграла (13) при $\psi^\alpha_a = \dfrac{\partial \psi^\alpha}{\partial u^a}$ называют площадью поверхности (14).

Здесь $1 \leq m \leq n - 1$.

О геометрии пространств с ареальной метрикой

Введем определение геометрического пространства с ареальной метрикой.

Определение *Пространством с m-мерной ареальной метрикой называется X^n, в котором задан интеграл (13), инвариантный относительно допустимой параметризации поверхностей (14).*

Геометрию пространств с ареальной метрикой построил В. Вагнер (1946)[11].

В физике чаще всего ограничиваются случаем $m = 4$ (интегрирование ведется по 4-пространству-времени).

[11] *Вагнер В.* Геометрия пространства с ареальной метрикой и ее приложение к вариационному исчислению. Матем. сборник. Том 19 (61), 1946. С. 341 – 404.)

О геометрии пространств с ареальной метрикой

Геометризация всех основных задач вариационного исчисления (а, фактически, всей физики), сводится к изучению расслоенного пространства $X^r(X^n)$.

X^n — база расслоенного пространства (пространство физических степеней свободы),
X^r — слой (пространство локальных систем отсчета).
Оба пространства — дифференцируемые многообразия.

При $1 \leq r \leq n-1$ приходим к пространству с метрикой Лагранжа.

При $r = n-1$, приходим к финслерову пространству F^n.

При $1 \leq r \leq m(n-m)$ приходим к пространству с ареальной метрикой.

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

Принцип калибровочной инвариантности, наряду с вариационным принципом, является одним из краеугольных принципов современной физики.
Термины «калибровочная симметрия» и «калибровочные преобразования» введены **Г. Вейлем** (H. Weyl: 1918):
«***Законы природы инвариантны относительно калибровочных преобразований.***»
Позже (1929 г.), Г. Вейль сформулировал свою идею так:
«Уравнения не меняются, если одновременно заменить

$$A_\mu \to A_\mu + \frac{1}{e}\frac{d\lambda}{dx^\mu}, \ \psi \to \psi e^{i\lambda}, \tag{15}$$

где λ – произвольная функция точки 4-мерного мира,
A_μ – 4-вектор потенциал ЭМ-поля, e – заряд электрона,
а ψ – его волновая функция.

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

На самом же деле, первоначальная идея Г. Вейля[12] состояла в том, что преобразования

$$A_\mu \to A_\mu + \frac{1}{e}\frac{d\lambda}{dx^\mu}$$

должны обуславливать (индуцировать) преобразования пространственно-временных степеней свободы.

Однако, после критики А. Эйнштейна, Г. Вейль вынужден был отказаться от такой попытки, тогда как формулировка (15) вошла во все современные учебники по теории поля.

[12] Weyl H. *Gravitation end Electricity.* Sitzungsber. Press. Akad. Berlin (1918) 465.

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

Геометрическую интерпретацию калибровочным преобразованиям дал **В. Вагнер** (V. Wagner: 1908 – 1981) в 1945 году. Будем рассматривать калибровочные преобразования:

$$L \to L' + \frac{df(q,t)}{dt}, \tag{16}$$

$f(q,t)$ – произвольная функция от обобщенных координат и времени.

Преобразования (16) приводят к новым симметриям Природы. Эти симметрии представляют собой, так называемые, динамические симметрии.

В вариационном исчислении преобразования (16) носят название **преобразования Каратеодори**.

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

По определению обобщенного импульса: $p_\alpha = \dfrac{\partial L}{\partial \dot{q}}$

$$'p_\alpha = p_\alpha - \pi_\alpha, \tag{17}$$

$$'x^\alpha = \frac{x^\alpha}{1 - \pi_\beta x^\beta}, \tag{18}$$

где $\pi_\alpha = \partial_\alpha f(q)$ – градиент скалярной функции $f(q)$.
В случае F^4 имеем наглядную интерпретацию:
$p = (E, \mathbf{p})$ – 4-вектор импульсного пространства P_4,
$x = (t, \mathbf{x})$ – 4-вектор координатного пространства X^4.
Преобразования в импульсном пространстве индуцируют преобразования в координатном пространстве.
И обратно: преобразования в координатном пространстве индуцируют преобразования в импульсном пространстве.

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

Согласно В. Вагнеру [13], геометрическая интерпретация калибровочных преобразований приводит к одной из подгрупп группы проективных преобразований. Она называется группой гомологических преобразований. Термины ***гомология*** и ***гомологические преобразования*** введены **Ж. Понселе** (J. Poncelet: 1822). В современной физической терминологии это локальные анизотропные дилатации.
Преобразованиях Каратеодори (17), (18) реализуют соображения А. Д. Сахарова о метрической упругости физического вакуума [14].

[13] В. *Вагнер В.В.* Гомологическое преобразование метрики Финслера. ДАН СССР, Том 46, № 7. 1945. С. 287 – 290.
[14] *Сахаров А.Д.* Письма в ЖЭТФ **20** 189 –191 (1974).

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

Гомология (греч. homologia) — соответствие.
В проективной геометрии на плоскости – автоморфизм проективной плоскости P^2 при котором одна прямая (ось гомологии) и точно одна точка (центр гомологии) переходят в себя.
Проективная плоскость P^2 – замкнутая односторонняя поверхность наподобие листа Мебиуса.
Группа гомологий и группа центрально-аффинных преобразований вместе образуют группу центрально-проективных преобразований.

Проективная дифференциальная геометрия находит в физике важное применение.
Она обеспечивает геометрическую интерпретацию принципа калибровочной инвариантности.

Геометрическая интерпретация принципа калибровочной инвариантности

В пространствах с ареальной метрикой имеются некоторые особенности. Здесь имеем дело с гомологическими преобразованиями координат в локальных пространствах M_m^n

$$'x^{\langle\alpha_1\dots\alpha_m\rangle} = \frac{\varepsilon x^{\langle\alpha_1\dots\alpha_m\rangle}}{1-\pi_{\langle\beta_1\dots\beta_m\rangle}(\psi^\lambda)x^{\langle\beta_1\dots\beta_m\rangle}} \; (\varepsilon=\pm 1) \qquad (19)$$

В роли параметров выступают компоненты ковариантного m-вектора $\pi_{\langle\alpha_1\dots\alpha_m\rangle}$ в M_m^n,

$$\pi_{\langle\alpha_1\dots\alpha_m\rangle}\, x^{\langle\alpha_1\dots\alpha_m\rangle} = 1, \qquad (20)$$

образующего градиентное поле.

Погружение 4-пространства-времени в пространство наблюдателей

Физический смысл расслоенного пространства $X^r(X^n)$?
Объект связности в расслоенном пространстве $X^r(X^n)$

$$\Gamma^i = \Gamma^i(q^\alpha, \Theta^i), \tag{21}$$

определяет отображения локальных r-поверхностей $X^r(P)$ (индикатрис) вдоль произвольных линий базисного X^n.

Теорема (Г. Жотиков: 1968)

Связность Γ^i в расслоенном пространстве $X^r(X^n)$ определяется инвариантным образом через фундаментальную систему геометрических объектов r-поверхности G^b_{ia}, G^q_{ip}, g^p_{ib}, g^a_{ip} и скалярную плотность w веса -1.

Погружение 4-пространства-времени в пространство наблюдателей

Расслоенное пространство $X^r(X^n)$ будем называть глобальным пространством наблюдателей.

Если всюду вдоль его базы X^n связность $\Gamma^i \equiv 0$, такое расслоенное пространство становится плоским.

Физически это означает, что мы приходим к ансамблю инерциальных наблюдателей на всем пространстве X^n. Если не всюду вдоль пространства X^n связность $\Gamma^i \equiv 0$,

приходим к ситуации, когда некоторая часть наблюдателей окажется инерциальными, а какая-то их часть – не инерциальными наблюдателями (там, где $\Gamma^i \neq 0$).

Погружение 4-пространства-времени в пространство наблюдателей

Кратко о некоторых экспериментах

НАСА и двигатель Алькубьерре (Alcubierre's *Warp Drive*[15].

Космический корабль помещенный внутрь пузыря не испытывает никаких нагрузок, хотя по его границам действуют чудовищные приливные силы, способные разорвать любой материальный объект.

[15] Alcubierre M. The warp drive: hyper-fast travel within general relativity. *Class. Quant. Grav.*, v. 11-5, 73 – 77.

Погружение 4-пространства-времени в пространство наблюдателей

Переходим к заключению.

Отвечая на вопрос :

«Каким образом различные наблюдатели могут наблюдать окружающий нас Мир,
и как их наблюдения и эксперименты могут быть согласованы друг с другом?»

Приходим к положительному решению.

Заключение

В геометрии Финслера и ее обобщениях принцип относительности (ПО) выполняется автоматически.

1. Общий принцип относительности $\Longrightarrow$(ОТО):
«Все законы природы независимы от выбора (совершенно произвольного) систем отсчета в которых они наблюдаются».

2. Специальный принцип относительности $\Longrightarrow$ (СТО)
«Все физические процессы в инерциальных системах отсчета (ИСО) протекают одинаково»
+ 2-й постулат (постоянство скорости света).

В геометриях Финслера и ее обобщениях 2-й постулат СТО становится избыточным.

Приходим к новой (не кинематической!) точке зрения на релятивистские эффекты.

Заключение

Геометрия не есть пассивная арена, на которой разворачиваются физические явления и процессы.

Она сама определяет их и определяется ими.

Как сказал И. Кеплер,

«ubi materia — ubi geometria»
(«где материя — там геометрия»)

Иными словами,
геометрия и физика составляют единое целое.

А. Эйнштейн:
«Физика — есть геометрия + опыт».
Смысл этой фразы становится теперь понятным.

Заключение

«.... У меня складывается убеждение, что только самые веские соображения могут побудить, если не заставить, расстаться с представлениями, впитанными с молоком матери и разделяемыми подавляющим большинством и придти к признанию чего-то иного, принятого весьма немногими и поносимого всеми «школами», — того, что действительно кажется грандиозным парадоксом».

Галилео Галилей.
Диалог о двух главнейших
системах мира. День второй.

Заключение

Наставление Будды. «Некоторые молодые люди пришли к Будде за советом: мастера различных философских школ проповедуют очень много различных доктрин.
Они не знают, во что же им верить.
Будда ответил: "Не верьте ничему на основании веры в традиции, даже при том, что они почитались многими поколениями людей и во многих местах. Не верьте во что-то только потому, что многие люди говорят об этом. Не принимайте на веру слова мудрецов прошлого.
Не верьте тому, что вы сами вообразили, убеждая себя самого в том, что это Бог вдохновляет вас. Не верьте только на основании авторитета ваших мастеров или священников. Верьте только тому, что вы сами проверили и нашли разумным и ведите себя соответственно»> [16].

[16] *Тайные учения Тибета* / Пер. с англ. А. В. Степановой, М.: "Эксмо 2013, 640 с.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!