

Бурланков Д.Е.

Пространство и время

**Москва
Издательство Нобель Пресс**

УДК 50
ББК 22
Б91

Б91 **Бурланков Д.Е.**
Пространство и время / Бурланков Д.Е. – М.: Lennex Corp, — Подготовка
макета: Издательство Нобель Пресс, 2013. – 298 с.

ISBN 978-5-458-69429-2

Цель этой книги - показать, что пространство является физическим объектом. Оно определяется некоторым набором параметров, изменение которых с течением времени определяется динамическими уравнениями. Оно обладает плотностью энергии, в значительной степени определяющей динамику космических систем и Мира в целом.

Подробно изложен необходимый математический аппарат: основы римановой геометрии и тензорного анализа, важнейшие для динамики пространства теоремы Гильберта.

Показано, что один из краеугольных камней общей теории относительности - принцип общей ковариантности, приводящий к равенству нулю плотности энергии любой системы полей, не совместим ни с классической, ни с квантовой динамикой. В астрофизике и космологии он приводит к эфемерным "темной материи" и "темной энергии".

Изложены основы динамики пространства в глобальном времени, найдены решения ряда задач, важных для астрофизики и космологии.

Сделаны первые шаги в квантовой теории.

Для физиков.

ISBN 978-5-458-69429-2

© Издательство Нобель Пресс, 2013
© Бурланков Д.Е., 2013

Оглавление

Глава 1. Пространство и время	7
1.1. Введение	7
1.2. Евклидова геометрия	9
1.3. Время и геометрия	11
1.4. Торричеллиева пустота	12
1.5. Солнечная система	14
1.6. Динамика на Земле: Галилей и Гюйгенс	16
1.7. Единство земной и небесной механики	18
1.8. Катастрофа инерциальных систем	21
1.9. Позитивизм	22
1.10. Натуральная философия и позитивизм	24
1.11. Беркли	28
1.12. Рекурсия знаний	30
1.13. Инерциальные системы	35
1.14. “Безумные идеи”	38
1.15. Что же мы знаем о пространстве?	40
Глава 2. Риманова геометрия	43
2.1. Однозначна ли геометрия?	43
2.2. Метрика пространства	48
2.2.1. Двумерная сфера	49
2.2.2. Трехмерные пространства	51
2.3. Тензоры	53
2.4. Ковариантная производная. Связности	55
2.4.1. Операторы теории поля	56
2.4.2. Инвариантные интегралы	57
2.5. Тензор кривизны	59
2.6. Ли-вариации тензоров	61
2.7. Поля Киллинга. Движение пространств	64
2.7.1. Движения плоского пространства	65
2.7.2. Движения двумерной сферы	65
2.8. Трехмерная сфера	66

Глава 3. Динамическая геометрия	69
3.1. Геометрия и движение	69
3.2. “Материализация” инерциальной системы	72
3.3. Инвариантная производная по времени	72
3.4. Движение относительно пространства	76
3.5. Локальная неинерциальная лаборатория	78
3.6. Геодезические линии	82
3.7. Движение по двумерной сфере	85
3.8. Динамика в неинерциальной системе	86
3.9. Поля Киллинга и динамика	88
3.10. Инерциальные системы на трехмерной сфере	89
3.11. Электрическое и магнитное поля на S_3	90
Глава 4. Специальная теория относительности	92
4.1. Преобразования Лоренца	92
4.2. Геометрия Минковского	97
4.3. Относительные пространство и время	102
4.4. Движение с ускорением	104
4.5. Цилиндр Минковского	107
4.6. Релятивистская динамика	112
4.7. Программа геометрического описания гравитации .	113
Глава 5. Динамика пространства	114
5.1. Время и пространство	114
5.2. Уравнения динамики	117
5.3. Гамильтониан	118
5.4. Локальное пространство-время в ТГВ	119
5.5. Сферическая масса	121
5.6. Световые лучи	123
5.6.1. Отклонение светового луча Солнцем	127
5.6.2. Гравитационное красное смещение	128
5.7. Движение пробных тел	129
5.7.1. Вращение перигелия Меркурия	132
5.7.2. Радиальное движение	135
5.7.3. Движение под горизонтом	138
5.8. Релятивистское замедление времени	140

Глава 6. Космическая динамика	141
6.1. Астрономическая точность	141
6.2. Векторная гравитация	144
6.3. Уравнение Эйлера в поле скоростей	146
6.4. “Темная материя”	148
6.4.1. Космические вихри	151
6.4.2. Космические энергии	153
6.4.3. Солитонное решение	154
6.5. Конформная динамика	156
6.5.1. “Темная энергия”	160
6.6. Расширение Вселенной и гравитация	163
6.6.1. Движение пробных тел	167
6.6.2. Назад по времени	171
6.6.3. Влияние на астрофизику и космологию . . .	173
6.7. Вращение	175
Глава 7. Общая теория относительности	178
7.1. Краткая история	178
7.2. Теоремы Гильберта	181
7.2.1. Доказательство теорем Гильберта	182
7.3. Решение Шварцшильда	193
7.3.1. Метрика Пэнлеве	196
7.4. Решение Фридмана	199
7.5. Решение Керра	201
7.6. Приведение к глобальному времени	201
7.6.1. Метрика Керра в глобальном времени	202
7.7. Вспышки сверхновых и вращение	204
7.8. Динамика пространства в ОТО	214
7.9. Несостоятельность общей ковариантности	221
7.9.1. Общая ковариантность и энергия	221
7.9.2. Псевдотензор энергии-импульса	224
7.9.3. Биметрический смысл псевдотензоров	227
7.9.4. Гравитационные волны	232
7.10. Сплененные мостики	233

Глава 8. Квантовая динамика	236
8.1. Квантовая теория в ОТО	238
8.2. Квантовая теория в ТГВ	239
8.3. Динамика масштаба	241
8.4. Квантовая модель Большого Взрыва	242
8.4.1. Динамика волновых пакетов	245
8.5. Квантовая теория малых возмущений	248
8.5.1. Лагранжиан второго порядка	248
8.6. Возмущения в расширяющейся Вселенной	251
8.6.1. Волны	253
8.6.2. Изменение энергии	255
8.7. Квантовая динамика слабых волн	257
8.7.1. Осциллятор с переменным масштабом	257
8.7.2. Представление псевдокватернионами	259
8.7.3. Осциллятор	261
8.7.4. “Чужой” осциллятор	262
8.7.5. Квантовая динамика волн	264
8.7.6. Подъем в экспоненту	266
8.7.7. Вблизи сингулярности	267
8.8. Заключение	269
Глава 9. Аналитические вычисления	271
9.1. Риманова геометрия	272
9.2. Работа с векторными полями	277
9.3. Вычисления в общей теории относительности	280
9.4. Теория глобального времени	283
Глава 10. Заключение	287
Список литературы	294

Глава 1

Пространство и время

1.1. Введение

Ничто так не запутано в современной физике, как вопрос о пространстве и времени. Достаточно заглянуть в Физическую энциклопедию [1, т. 4, с. 156]:

“ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ в физике определяются в общем виде как фундам. структуры координации материальных объектов и их состояний: система отношений, отображающая координацию существующих объектов (расстояния, ориентацию и т. д.) образует пространство, а система отношений, определяющая координацию сменяющих друг друга состояний или явлений (последовательность, длительность и т.д.), образуют время.”

Понятно? Если нет, то можно прочитать дальше:

“П. и в. оказались парадоксальными с точки зрения здравого смысла и конструктивными на теоретич. уровне. Напр., концепция абс. времени парадоксальна потому, что, во-первых, рассмотрение течения времени связано с представлением времени как процесса во времени, что логически неудовлетворительно; во-вторых, трудно принять утверждение о равномерности течения времени, ибо это предполагает, что существует нечто контролирующее скорость потока времен. Более того, если время рассматривается “без всякого отношения к чему-либо внешнему”, то какой может иметь смысл, что оно течет неравномерно?”

Теория пространства и времени XX века — общая теория относительности (ОТО), — исходя из формальных математических принципов, увела рассмотрение вопроса от физической реальности и завела проблемы, связанные с пространством и временем как в космической динамике, так и в квантовой теории гравитации, в тупик. Объявленная “самой совершенной теорией” всех времен и народов, общая теория относительности, базирующаяся на исключительно плодотворной идее — римановой (псевдоримановой) геометрии пространства-времени, будучи математически самосогласованной, объяснившей и предсказавшей ряд тонких явлений, в то же время содержит существенный порок: *принцип общей ковариантности*, принятый в процессе создания теории как несомненный, естественный принцип, при более глубоком рассмотрении оказался тупиковым.

Один из главных тупиков ОТО — это проблема квантовой теории гравитации. Однако есть и астрофизические тупики, выход из которых в рамках ОТО находят лишь средневековым способом: введением мифических “темной материи” и “темной энергии”.

Очевидным признаком тупикового состояния ОТО является и концентрация ее деятельности не в решении каких-то физических проблем, а в обсуждении вопросов “падения в черные дыры”, “параллельных миров”, обсуждения возможности попасть в прошлое.

Мы попытаемся вернуть обсуждение проблемы на уровень физики, более внимательно изучив “физический объект” — пространство, трехмерное пространство.

Пространство, в котором мы живем, — обычное трехмерное пространство, — является физическим объектом, определяемым некоторым набором параметров, изменение которых с течением времени описывается динамическими уравнениями. Оно обладает плотностью энергии, в значительной степени определяющей динамику космических систем и Мира в целом.

Люди долго не понимали, что их окружает воздух: ведь он невидим. Однако наличие воздуха можно выявить простым экспериментом — помахать веером. Но большая часть Мира состоит из безвоздушного пространства. Пространства... Что это такое?

Мы и окружающие нас предметы находимся в пространстве, пространство находится внутри нас, или, точнее, – и наши внутренности и внутренности окружающих нас предметов также находятся в пространстве. Вся наша жизнь с течением *времени* протекает в *пространстве*.

Однако понять, что же это такое – пространство – не так-то просто, потому что само по себе оно вроде бы не обладает никакими свойствами. За исключением одного – протяженности. Основное, что определяет пространство, это размеры, расстояния.

1.2. Евклидова геометрия

Пространство является носителем евклидовой геометрии.

Я беру пластмассовый школьный прямоугольный треугольник. Замеряю линейкой длины его катетов: $c_1 = 15$ и $c_2 = 20$ сантиметров. Какова длина гипотенузы g ? Я вычисляю по *теореме Пифагора*

$$g^2 = c_1^2 + c_2^2 = 225 + 400 = 625; \quad g = 25. \quad (1.1)$$

Замеряю гипотенузу: 25 сантиметров! Как и было рассчитано. Соотношения длин в треугольнике подчиняются теореме Пифагора – одной из главных теорем *геометрии Евклида*. Треугольник лежит на плоском столе, на котором длины отрезков прямых и углы между этими отрезками подчиняются геометрии Евклида.

Я поднимаю треугольник со стола и опять замеряю расстояние между теми точками, которые раньше соединяла гипотенуза. Ну конечно, результат тот же – 25 сантиметров. Что же сейчас обеспечивает выполнение теоремы Пифагора? Воздух, в котором находится треугольник?

Так как наши предыдущие эксперименты были *мысленные*, то и далее мы не затруднимся с замерами в резервуаре, из которого откачивается воздух. И вряд ли кто будет сомневаться, что хотя вакуум будет расти, длина между вершинами меняться не будет, сохраняя зависимость, определяемую евклидовой геометрией. Что же является носителем геометрии Евклида в вакууме?

Пространство. Все тела располагаются и перемещаются в пространстве. Пространство является трехмерным многообразием точек, которые можно соединять отрезками прямых, между которыми можно определять углы, и все эти элементы пространства подчиняются евклидовой геометрии.

Качественные понятия евклидовой геометрии люди использовали с древнейших времен: прямая линия, угол, прямой угол, плоскость. Потребности землеустройства привели к количественным наблюдениям. Например, так называемый “египетский треугольник” со сторонами 3, 4, 5 с древности использовался для построения прямого угла.

Естественно-научное представление о пространстве возникает еще в древней Греции. Крупный первичный вклад в развитие геометрии сделал Пифагор Самосский, уже упоминавшийся в связи с его знаменитой теоремой. Пифагору первому приписывается введение в математику *доказательств*. О Пифагоре известно очень мало достоверного, а факты его жизни перекрыты множеством легенд. Время его жизни известно очень приблизительно: одни исследователи датируют его жизнь 570 - 496 годами до нашей эры, другие 596-500 гг до н.э. Эти разбросы говорят, в основном, о том, что о жизни Пифагора мы знаем по большей части не факты, а легенды (начало которым кладут все-таки некоторые факты).

Одна из легенд гласит о том, что когда он был совсем молодым, очень увлекался музыкой, которая в Древней Греции полагалась божественным даром. Юношой, в возрасте около 17-и лет, обучаясь игре на каком-то струнном музыкальном инструменте, он услышал поучение опытного музыканта о том, что для повышения высоты звука на октаву нужно пережать струну где-то посередине. Пифагор взял и замерил – точно посередине!

Его охватило волнение. А квинта (в нашей терминологии)? Замерил: две третьих! Квarta: три четверти! Гармония определяется отношениями целых чисел! Музыка божественна: боги управляют миром через числа! “Все из числа!” – это основной тезис философии Пифагора. Именно после этого музыкального открытия Пифагор начал все измерять и, в частности, домерился до своей

теоремы.

Наиболее поучительным в этой легенде является то, что математические соотношения между длиной струны и гармоническими звуками были открыты задолго до того, как была понята физическая природа звука, записаны уравнения динамики колеблющейся струны и найдены их решения (Д. Бернулли, Л. Эйлер, Ж. Д'Аламбер, XVIII век). Найденные Пифагором соотношения имеют под собой *динамического материального носителя* в виде колеблющейся струны. Путь от *феноменологических*, чисто математических соотношений до их выражения через динамику материального носителя занял более 2000 лет.

Впоследствии и метод доказательств Пифагора, и его теорема легли в основу геометрии Евклида (~325 – ~ 265 до н.э.)



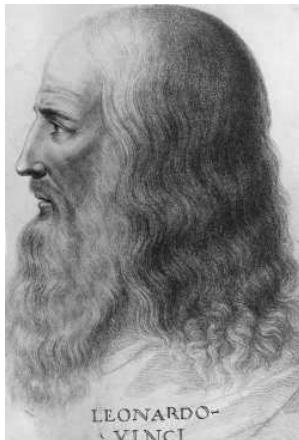
Возникновение евклидовой геометрии приводит к представлению о том, что евклидовы свойства пространства являются его неотъемлемыми атрибутами. Исключительное совершенство и изящество евклидовой геометрии создают впечатление, что для евклидовости пространства не нужно какое-либо материальное обеспечение.

Пространство евклидово потому что евклидова геометрия совершенна. Так же как движение светил по круговым орбитам или по составленным из окружностей эпициклам объяснялось тем, что окружность – самая совершенная кривая. Не нужно никакой ньютоновой динамики.

1.3. Время и геометрия

Геометрические свойства времени изучал Леонардо да Винчи (1452–1519) [2, с. 82]:

“Хотя время и причисляют к измеримым величинам, однако оно, будучи незримым и бестелесным, не целиком подпадает власти геометрии, которая делит видимые и телесные вещи на фигуры и тела бесконечного разнообразия. Время совпадает только с первыми началами геометрии, т. е. с точкой и линией: точка во времени должна быть приравнена к мгновению, а линия имеет сходство с длительностью известного количества времени. И подобно тому, как точки - начало и конец линии, так мгновения -



граница и начало каждого промежутка времени.

И если линия делима до бесконечности, то промежуток времени не чужд такого деления.

И если части, на которые разделена линия, соизмеримы друг с другом, то и части времени будут друг с другом соизмеримы.”

С современной точки зрения Леонардо описал время как одномерное евклидово пространство.

1.4. Торричеллиева пустота

Знаменитый опыт Эвангелиста Торричелли (1608-1647), поставленный в 1643 году, заставил многих вдумчивых исследователей снова вернуться к проблеме объективности, реальности пространства.

В запаянной с одного конца стеклянной трубке длиной около метра, заполненной ртутью, после ее опускания в сосуд со ртутью, ртуть опускалась до уровня около 75 см, но что оставалось над ней? Пустота. Ничто, или некоторая реальность?