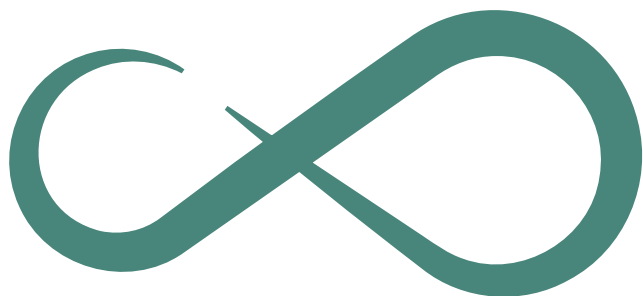


Владимир КЕССЕЛЬМАН

ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ



Издательство АСТ
Москва

УДК 54
ББК 24.12
К36

В оформлении использованы материалы фотобанка *Shutterstock*

Все права защищены.

Воспроизведение всей книги или любой ее части запрещается
без письменного разрешения издателя.

Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.

Кессельман, Владимир Самуилович.

К36 Физические теории / В. С. Кессельман — Москва: Издательство АСТ,
2027. — 160 с.: ил. (*Узнай за 1 минуту*).

ISBN 978-5-17-191171-3

Владимир Самуилович Кессельман — физик, популяризатор науки, автор книг и научных работ. На страницах этой книги он разбирает главные физические теории, объясняющие устройство Солнечной системы и планеты Земля, описывающие ядерные и квантовые взаимодействия, а также мир фундаментальных частиц. В заключительной главе вы найдете также ряд физических парадоксов, с которыми пришлось столкнуться физикам.

**УДК 54
ББК 24.12**

ISBN 978-5-17-191171-3

© В. С. Кессельман., 2027

© Оформление. ООО «Издательство АСТ», 2027

Содержание

ВСЕЛЕННАЯ

Пространство Минковского	6
Общая теория относительности	8
Черные дыры	10
Разбегание галактик	12
Большой взрыв	14
Гравитационная сингулярность	16
Замкнутая времениподобная кривая	18
Красное смещение	20
Линза Эйнштейна	22
Гравитационные волны	24
Темная материя и темная энергия	26
Экзопланеты	28
Фундаментальные взаимодействия	30
Энтропия	32

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

Гелиоцентрическая система	34
Гравитация. Закон Всемирного тяготения	36
Радиационные пояса Земли	38
Солнечный ветер	40
Астероидная опасность	42
Космические аппараты	44
Пояса Солнечной системы	46
Сколько планет в Солнечной системе	48
Космические скорости	50
Эффект Доплера	52

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Возраст Земли	54
Земные недра	56
Геоид. Неидеальная фигура Земли	58
Тектоника плит	60
Приливы и отливы	62
Почему небо голубое	64
Цунами	66
Молнии	68
Мираж	70
Глобальное потепление	72
Абсолютный ноль температуры	74
Турбулентность	76

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Радиоактивный распад	78
Искусственная радиоактивность	80
Радиоактивное датирование	82
Медленные нейтроны	84
Внутренний мир ядра	86
Деление ядер	88
Цепная реакция	90
Ядерный реактор	92
Трансурановые элементы	94
Термоядерный синтез. Солнце на Земле	96

МИКРОМИР

Позитрон	98
Ультрафиолетовая катастрофа	100
Камера Вильсона	102
Космические лучи	104

Вездесущие нейтрино	106
Стандартная модель, кварки и бозон Хиггса	108
Большой адронный коллайдер	110
Нанотехнологии	112
Графен	114
В мире Нобеля	116

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Абсолютно черное тело	118
Гармонический осциллятор	120
Планетарная модель атома	122
Спектр	124
Волновая функция и уравнение Шрёдингера	126
Кот Шрёдингера	128
Соотношение неопределенностей	130
Туннельный эффект	132
Атом Бора	134
Корпускулярно-волновой дуализм	136
Световые кванты	138
Принцип дополнительности	140
Сверхпроводимость	142

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ

Парадокс Архимеда	144
Гидростатический парадокс	146
Гравитационный парадокс	148
Парадокс Ферми	150
Фотометрический парадокс, или почему небо темное ночью	152
Парадокс близнецов	154
Парадокс убитого дедушки	156
Парадокс шеста и сарая	158

Пространство Минковского

Герман Минковский (1864—1909) — немецкий математик, разработавший геометрическую теорию чисел и геометрическую четырехмерную модель теории относительности.

Жюль Анри Пуанкаре (1854—1912) — французский математик, механик, физик, астроном.

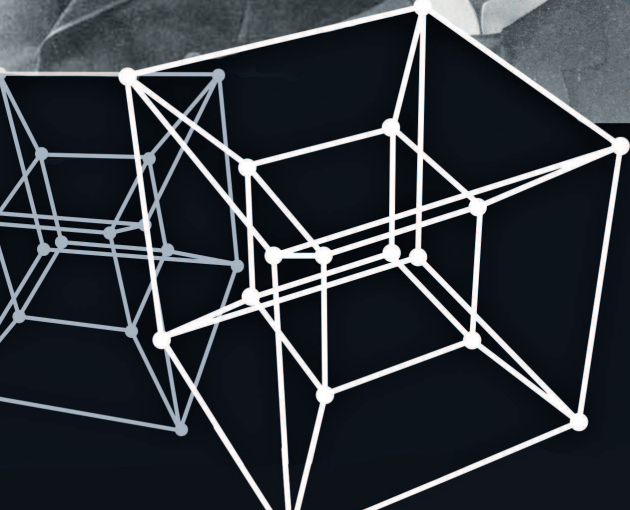
Рене Декарт указал, что каждой точке на плоскости соответствует пара чисел, а каждой точке пространства — уже тройка чисел. А в XIX веке математикам Риману, Шлефли и Гильберту пришла в голову мысль: если точка на плоскости — это пара чисел, точка в пространстве — тройка, то почему бы не сказать, что четверка чисел — это точка в некотором четырехмерном пространстве?

Для Галилея и Ньютона пространство было бесконечным и евклидовым (т. е. неискривленным), а время текло равномерно и бесконечно. Все изменения распространялись бесконечно быстро во всей Вселенной для всех наблюдателей. Теория относительности продемонстрировала невозможность определения пространственных координат тела или события независимо от временной координаты и наоборот. Минковский в 1907 г. предложил геометрическое представление кинематики теории относительности, известное как пространство Минковского. Отныне время и пространство сами по себе становятся пустой фикцией, и только их единение сохраняет шанс на реальность. Таким образом, Минковский вслед за Пуанкаре развил идею объединения трех измерений пространства и времени в одно четырехмерное и развил современный четырехмерный аппарат специальной теории относительности.

Он ввел понятие «событие» и представил его в виде точки с четырьмя координатами (три пространственные координаты — место «события», а четвертая обозначает время «события», измеренное особыми единицами). Такую точку Минковский назвал мировой точкой. Движение изображается последовательностью мировых точек — мировой линией, а совокупность всех возможных «событий», т. е. все, что происходит или может произойти во Вселенной, соответствует четырехмерному пространству-времени, которое Минковский назвал миром.

Герман Минковский
(1864–1909)

Жюль Анри Пуанкаре
(1854–1912)



искривленное
пространство-время

Общая теория относительности

Основные понятия римановой геометрии обобщают понятия евклидовой геометрии в отношении пространств с произвольным метрическим тензором g_{ij} .

Метрический тензор — совокупность величин, определяющих геометрические свойства пространства (его метрику).

Галилеева система — система координат, состояние движения которой таково, что относительно нее выполняется закон инерции.

Это физическая теория, в основе которой лежит ясный физический принцип равенства гравитационной и инертной масс. Эйнштейн показал, что равенство тяжелой и инертной масс совсем не случайный факт, а внутреннее свойство гравитационного поля.

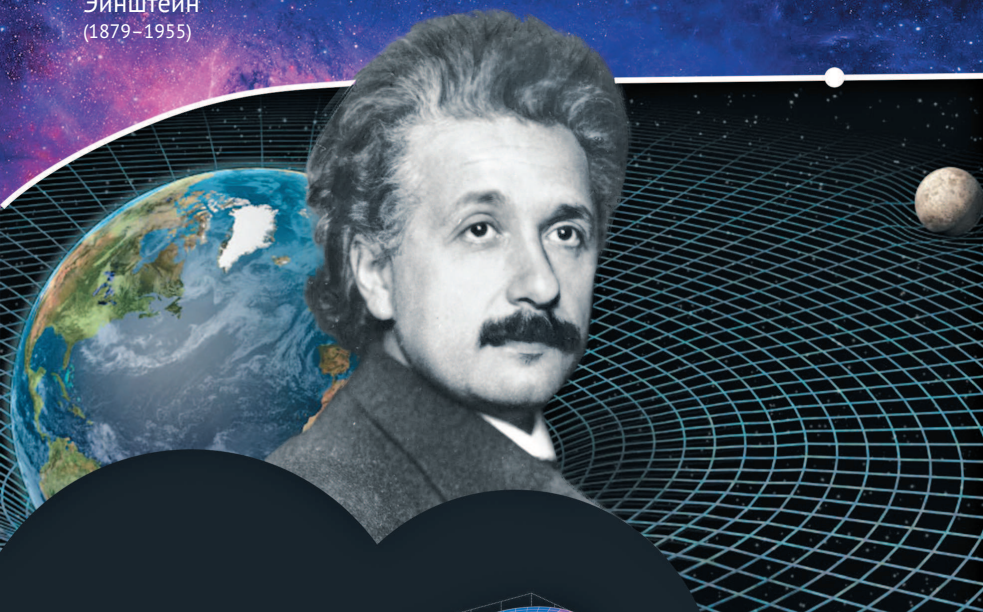
Используя мысленный эксперимент с падающим лифтом (физик внутри падающего с ускорением свободного падения лифта небоскреба выпускает из рук предмет и убеждается, что тот не падает на пол; если он сообщает предмету толчок, тот движется равномерно и прямолинейно, пока не столкнется со стенками), он продемонстрировал этот факт и сформулировал положение: «В поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо “инерциальной” системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее».

Если кинематическое изменение влияет на гравитацию в системе отсчета, то ясно, что между гравитацией и кинематикой существует тесная связь. А поскольку кинематика — это геометрия, к которой добавлена еще одна, четвертая переменная — время, то Эйнштейн интерпретирует явления гравитации как геометрию пространства-времени. Отсюда вытекает, что согласно общей теории относительности, наш мир не является евклидовым и его геометрические свойства определяются распределением масс и их скоростями.

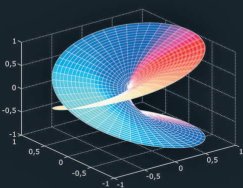
Эйнштейн понял, что присутствие массивного тела приводит к тому, что структура пространства вокруг этого тела искривляется. Полезная и часто используемая аналогия состоит в том, что структура пространства деформируется в присутствии массивных тел, таких как наше Солнце, подобно резиновой пленке, на которую положили шар для боулинга.

При разработке общей теории относительности Эйнштейн использовал четырехмерную риманову геометрию.

Альберт
Эйнштейн
(1879–1955)



$$\mathcal{G}_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



функция двух
переменных

Черные дыры

Радиус Шварцшильда — критический радиус, при котором массивное тело под влиянием своего собственного притяжения становится черной дырой.

Для Солнца радиус Шварцшильда составляет 3 км, то есть чтобы превратить его в черную дыру, нужно уплотнить массу Солнца до размера небольшого городка. Земля в таком случае имела бы размер небольшого шарика: гора Эверест и железное ядро планеты уместились бы в вашей ладони.

Немецкому астроному Карлу Шварцшильду удалось получить полную и точную картину того, как искривляются пространство и время в окрестности идеально сферической звезды. Решение Шварцшильда касалось так называемых черных дыр (это название они получили позже).

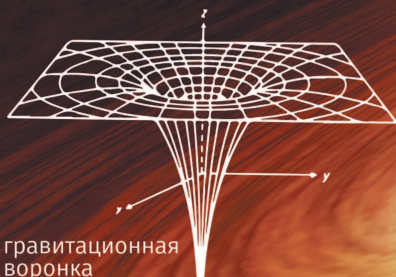
Черная дыра искривляет структуру окружающего пространства-времени настолько сильно, что любой объект, пересекающий ее «горизонт событий», — газ, звезда, свет и т. п. — будет двигаться только внутрь черной дыры. Материя начинает падать внутрь черной дыры и после прохождения горизонта событий уже не сможет ускользнуть из ее гравитационной ловушки.

Черные дыры имеют много весьма экстравагантных свойств, которыми не обладают другие звезды, даже очень экзотические, такие как нейтронные.

Многочисленные результаты астрономических наблюдений дают серьезные основания полагать, что черные дыры — это не просто игры разума физиков-теоретиков, а реальные объекты, существующие по крайней мере в ядрах галактик.

Меж тем черные дыры могут сигнализировать о своем существовании. Несмотря на то, что черная дыра удерживает всякое излучение внутри себя, ученые-астрофизики способны их обнаружить благодаря ярким вспышкам, которые возникают в окрестностях дыры, когда она «пожирает» галактические газы или звезду, которая неосторожно к ней приблизилась. Если звезда подойдет слишком близко к черной дыре, она будет «растянута» приливными гравитационными силами, а затем буквально разорвана. Большая часть вещества звезды сможет «убежать», образуя вокруг дыры вращающийся диск, а рентгеновское излучение испускается веществом диска за счет разогревания газа при падении в черную дыру. Так что косвенным образом черную дыру можно обнаружить.

Карл
Шварцшильд
(1873–1916)



гравитационная
воронка

схема гамма-выброса
радиации



Разбегание галактик

Галактики — крупные группировки звезд, пыли, газа, удерживаемых вместе гравитацией. Они могут сильно различаться размерами и формой.

Случаются отступления от закона Хаббла. Галактика в созвездии Андромеды приближается к нам со скоростью 120 км/с. Значит, через миллиарды лет галактики Туманность Андромеды и Млечный Путь достигнут друг друга и начнется процесс их слияния: они изменят форму, спиральные рукава разорвутся под действием гравитации, изменятся траектории движения звезд.

В 1925–1930 гг. Эдвин Хаббл (1889–1953) и Милтон Хьюмсон (1891–1972) при исследовании галактик установили, что свет, испускаемый ими, смещен в красную область спектра тем больше, чем дальше они от нас. С учетом эффекта Доплера это послужило основанием для заключения о том, что галактики разбегаются от нас со скоростями, пропорциональными расстоянию до них. В основополагающей статье Хаббла скорость разбегания галактик описывалась формулой $v = Hr$, где v — лучевая скорость галактики, r — расстояние до нее, а H — коэффициент пропорциональности, называемый сегодня постоянной Хаббла.

После эпохального открытия Хаббла стало ясно, что Вселенная расширяется. Оказалось, что в какой бы части неба ни вести наблюдения, все далекие галактики удаляются от нас, и чем они дальше — тем быстрее. Правда, то, что мы наблюдаем — это глобальная иллюзия. Не галактики движутся, а само пространство «распухает». Удачный пример, иллюстрирующий расширение Вселенной, предложил Артур Эддингтон (1882–1944). Он уподобил Вселенную поверхности надуваемого резинового шарика, а все галактики — точкам на его поверхности. Возникающая при расширении шарика картина ясно показывает, почему дальние галактики удаляются быстрее, чем ближние. Например, если радиус шара увеличивается вдвое каждый час, то и расстояние между двумя галактиками на шаре будет каждый час удваиваться. То есть они будут выглядеть удаляющимися одна от другой со скоростью дюйм в час. Но если начальное расстояние между ними было вдвое больше, то час спустя между ними будет расстояние вдвое больше, то есть скорость их взаимного удаления будет вдвое больше. Разбегание галактик говорит об уменьшении средней плотности вещества во Вселенной с течением времени. Это означает, что Вселенная как целое расширяется.

Эдвин
Пауэлл
Хаббл
(1889–1953)



Большой взрыв

Автором термина «Большой взрыв» был астроном и космолог Фред Хойл, противник версии о взрывном расширении Вселенной. После насмешливого упоминания в тематической лекции занятый термин подхватила общественность.

Эйнштейн, узнавший о теории Леметра, произнес следующее: «Ваши вычисления правильны, но ваши познания в физике никуда не годятся». В 1933 г. Эйнштейн сдался, публично указав, что обоснование теории Большого взрыва — одно из наиболее убедительных, что ему доводилось слышать.

После эпохального открытия Хаббла стало ясно, что Вселенная расширяется. Одновременно подтверждаются выводы российского математика А. Фридмана о нестационарности окружающего мира. Фридман применил уравнения Эйнштейна (без так называемой космологической постоянной λ) ко всей Вселенной и получил нестационарные (то есть зависящие от времени) решения. Два года спустя после публикации работ А. Фридмана, в 1927 г., бельгийский профессор астрофизики (и католический священник) Жорж Леметр выдвинул очень похожую идею. Если продолжить историю мира назад, в прошлое, то Вселенная будет становиться все меньше и меньше, пока не наступит событие, приводящее к ее творению — тому, что сегодня мы называем Большим взрывом. Величина этого временного отрезка превышает 13 миллиардов лет, и этот возраст является характерным временем расширения Вселенной. Из уравнений Фридмана — Леметра следует вывод, что Вселенная расширяется экспоненциально.

Впоследствии советским и американским физиком-теоретиком Г.Г. Гамовым была обоснована теория горячей Вселенной, именуемая в наши дни теорией Большого взрыва. А вместе с этой теорией появилась и гипотеза об изотропном реликтовом (то есть возникшем еще в период начала формирования Вселенной, от лат. *relictum* — «остаток») излучении с температурой в несколько градусов Кельвина. Обнаружение такого излучения, «эха творения», имело бы важное значение для подтверждения идеи Гамова о Большом взрыве, и в 1965 г. Арно Пензиас и Роберт Вудро Вильсон такое излучение обнаружили. Его температура была близка к предсказанной — около 3,5 К. Теория Большого взрыва позволила объяснить ряд проблем, стоявших перед космологией. Но она же поставила и ряд новых вопросов. В частности, что было до Большого взрыва? Надо отметить, что теория Большого взрыва — всего лишь гипотеза, хотя и подкрепленная фактами.

Георгий Гамов
(1904–1968)

Жорж Леметр
(1894–1966)

Александр Фридман
(1888–1925)



Развитие Вселенной с момента Большого взрыва

