

Д.А. Уилер

Предвидение Эйнштейна

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Д11

Д11 **Д.А. Уилер**
Предвидение Эйнштейна / Д.А. Уилер – М.: Книга по Требованию, 2021. –
112 с.

ISBN 978-5-458-34872-0

Книга выдающегося американского физика Д. А. Уилера посвящена элементарному изложению геометродинамики — воплощению мечты Эйнштейна «свести всю физику к геометрии». Автор начинает с элементарных понятий динамики и частной теории относительности, затем переходит к метрике и ее связи с распределением масс, а затем к топологии и «динамической геометрии», геометродинамике. Он подробно рассматривает простейшую задачу геометродинамики — гравитационный коллапс — и в заключение знакомит читателя с применением изложенных идей к проблеме структуры элементарных частиц. В приложениях собраны необходимые сведения о «арене действия» геометродинамики — суперпространстве и его свойствах. Книга представит большой интерес для физиков, астрономов, математиков, — как специалистов, так и студентов старших курсов и аспирантов.

ISBN 978-5-458-34872-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Книга выдающегося американского физика-теоретика Джона Арчибальда Уилера «Предвидение Эйнштейна» посвящена одной из фундаментальнейших проблем современного естествознания — проблеме структуры и свойств пространства, времени и материи, проблеме геометризации взаимодействий и выяснению того, каким образом природа субмикромира определяет природу вакуума, микро- и макромира.

Книга во многом эвристична. В этом и ее сила, и ее некоторая слабость. Необычность книги — в исключительной смелости мышления автора, в смелости и оригинальности изложенных в ней идей.

Эйнштейн не был полностью удовлетворен созданной им теорией (имеется в виду общая теория относительности), о чем не раз напоминает в этой книге и сам Уилер. Многочисленные попытки Эйнштейна и его последователей развить геометрические идеи общей теории относительности (ОТО) таким образом, чтобы на едином языке геометрии описывать и другие поля, кроме гравитационного, не дали достаточно убедительных результатов. Одним из наиболее оригинальных вкладов в развитие этих идей был вклад Уилера — его геометродинамика. Но геометродинамика, несмотря на явную пользу ряда ее построений, не в состоянии была дать прогноз путей существенного развития идей ОТО. И вот перед нами новая книга Уилера, где идеи геометродинамики существенно развиваются и дополняются, а также получает развитие идея применения топологии в ОТО. Прежде чем высказать, где и как методы топологии приносят несомненную пользу в развитии ОТО, выскажем нашу точку зрения по такому важному вопросу: имеет ли ОТО внутренние противоречия или нет (поскольку обычно ее внутренняя непротиворечивость просто постулируется).

Аппарат ОТО основан на римановой геометрии, т. е. на геометрии континуума определенного класса метрик $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$. Однако именно в ОТО автоматически вводятся неточечные размеры объектов — «частиц». Иными словами, «частицы» в ОТО неточечны, что противоречит самому духу континуальной римановой геометрии.

В механике Галилея (в инерциальных системах) нет ни одной мировой константы. Можно ввести нефундаментальную массу пробной частицы m^* , т. е. величину с размерностью массы. В механике Ньютона (с учетом гравитации) фигурирует константа тяготения γ . При введении массы пробной частицы из величин m^* и γ нельзя построить величину с размерностью длины. В специальной теории относительности (СТО) вводится скорость света c , но из величин m^* и c также нельзя построить какую-либо величину с размерностью длины. Все эти теории могут быть непротиворечиво описаны в рамках континуальных метрик. Ситуация резко меняется, если мы переходим к общей теории относительности. В ней содержатся уже две фундаментальные константы γ и c и нефундаментальная масса m^* . Из этих величин можно построить некоторую длину r_g — гравитационный радиус нефундаментальной массы $r_g = 2\gamma m^*/c^2$ и величину с размерностью времени $\tau = r_g/c$. При $c \rightarrow 0$ или $\gamma \rightarrow 0$, т. е. при предельных переходах к механике Ньютона или к СТО, $r_g \rightarrow 0$. Таким образом, в ОТО всегда присутствует некоторая нефундаментальная длина даже для частиц с нулевой массой покоя

$$r_g^* = 2\gamma E^*/c^4 = \kappa E^*/4\pi,$$

где $\kappa = 8\pi\gamma/c^4$, E^* — энергия «частицы».

Если $E^* \rightarrow 0$, т. е. когда поле в отсутствие энергии перестает быть гравитационным, то $r_g^* \rightarrow 0$, и теория вновь становится непротиворечивой, т. е. континуальной. Из этого можно сделать вывод, что в ОТО не может быть использован непосредственно аппарат континуальной римановой геометрии, т. е. ОТО внутренне противоречива. Построения, основанные на континуальной геометрии, приводят в результате к необходимости введения какой-то длины, а следовательно, к необходимости использования дискретной геометрии. Таким образом, сама риманова

непротиворечивая геометрия в применении к физическим проблемам гравитации приводит к противоречиям, т. е. она неприменима для решения этих проблем. Посмотрим, что будет теперь, если мы перейдем к квантовым теориям. В нерелятивистской механике Шредингера из фундаментальных констант \hbar и m^* фундаментальной длины построить нельзя. Эта теория непротиворечива — она может быть основана на геометрии континуума. Уравнение Шредингера в гравитационном поле Ньютона уже дает возможность построить нефундаментальную длину $l^* = \hbar^2/\gamma m^{*3}$ и время $t^* = \hbar^3/\gamma^2 m^{*5}$, т. е. эта теория уже несет в себе противоречие. В релятивистской квантовой теории из величин \hbar , c , m^* можно построить комптоновскую длину волны $\lambda^* = \hbar/m^*c$, соответствующую различным энергиям. Хотя эта длина и является нефундаментальной, теория тем не менее становится противоречивой.

Лишь в квантованной ОТО, еще не созданной, содержащей три фундаментальные константы \hbar , c , γ , можно ввести фундаментальную длину, которая носит название планковской длины

$$L = \sqrt{2\gamma\hbar/c^3} \sim 10^{-33} \text{ см},$$

и фундаментальную массу

$$m^* = \sqrt{\hbar c/2\gamma} \sim 2 \cdot 10^{-5} \text{ г},$$

и время

$$\tau_L = L/c \sim 10^{-43} \text{ сек.}$$

Отсюда можно сделать вывод, что только квантованная общая теория относительности — идеально непротиворечивая теория, если вообще теория может быть идеальной. Обычная же ОТО пригодна лишь для асимптотического описания гравитационных взаимодействий, причем уже на небольших относительных длинах (порядка $2 \div 3 r_g$) теория становится практически точной.

Таким образом, внутренне непротиворечивыми теориями, основанными на континуальных интервалах, являются механика Галилея — Шредингера, классическая теория тяготения, классическая СТО. Механика Шредингера в ньютоновом поле тяжести, релятивистская квантовая теория и

классическая теория тяготения Эйнштейна являются противоречивыми. И только квантовая ОТО в этом смысле непротиворечива. Она «работает» в дискретном пространстве-времени с фундаментальными длиной и временем, т. е. в пространстве с квантованным интервалом, исключаяющим любые расходимости.

Объединение же квантового принципа с классической геометродинамикой имеет принципиальное значение, однако трудности, вырастающие на пути такого объединения, поражают наше воображение особенно тогда, когда мы пытаемся сравнить то, чего нам хотелось бы в этом направлении достичь, с тем, что уже достигнуто.

Развитие физических представлений о пространстве и времени шло от принципа относительности Галилея и абсолютных пространства и времени Ньютона к принципу относительности Эйнштейна и пространству-времени Минковского и далее к принципу общей ковариантности Эйнштейна и искривленному пространству-времени общей теории относительности (ОТО). Однако опирающиеся на эти принципы теории пространства-времени не в состоянии были сделать сколько-нибудь глубоких предсказаний о свойствах материи на микроскопическом уровне. Правда, за одним исключением: ОТО объяснила чисто «физическое» гравитационное взаимодействие геометрически — как свойство искривленного пространства-времени. Именно этот результат вдохновил Эйнштейна на поиски путей геометрического описания не только всех остальных физических взаимодействий, но и их источников и носителей — элементарных частиц. Однако вскоре оказалось, что в ОТО не существует регулярных решений ни для нейтрального, ни для заряженного точечного источника. Перед Эйнштейном возникла задача так переформулировать ОТО, чтобы получить регулярные решения для точечных источников и написать корректные уравнения их движения. Более тридцати лет работы над этой программой самого Эйнштейна, а также его учеников и последователей не привели к успеху.

С другой стороны, микроскопическая теория вещества и поля — квантовая теория, достигшая замечательной точности в интерпретации и предсказании экспериментальных результатов, опирается далеко не на самые общие пред-

ставления о пространстве и времени. Так, в основу нерелятивистской квантовой механики положены представления о пространстве и времени Ньютона, в основу релятивистской квантовой теории поля (еще не разработанной до конца) положены представления о пространственно-временном многообразии Минковского, а квантовой теории, в основу которой были бы положены представления о пространстве-времени как о римановом многообразии, вообще говоря, не существует. В имеющихся вариантах квантования гравитации используются те же формальные приемы квантования, что и в случае линейных полей в плоском пространстве-времени. В квантовой теории гравитации (когда она будет создана) гравитационное взаимодействие будет интерпретировано в терминах гравитонов, а на сами гравитоны распространятся те же трудности, которые имеют место в теории других элементарных частиц.

Итак, имеются два пути для разработки теории известных в настоящее время четырех элементарных взаимодействий (сильных, электромагнитных, слабых, гравитационных):

а) строить формальную квантовую теорию в римановом многообразии хорошо зарекомендовавшими себя методами;

б) искать такое классическое, неквантованное обобщение теории риманова пространства, естественными следствиями которого были выводы квантовой теории.

Именно по второму пути шел Эйнштейн, по этому же пути долгое время шел и Уилер. Им была создана классическая геометродинамика, включающая в себя построенные из одной пустой геометрии эквиваленты массы, заряда и электромагнитного поля. Но классическая геометродинамика, так же как и единые теории поля Эйнштейна, оказалась несостоятельной, и прежде всего потому, что в ней не содержалось ничего, что послужило бы моделью квантовых чисел элементарных частиц: спина, барионного, лептонного и других зарядов, странности и т. д. Второй причиной неприменимости классической геометродинамики для описания элементарных частиц явилось отсутствие в ней фундаментальной длины, которая естественным образом определяла бы масштабы геометродинамических моделей массы, заряда и поля.

В предлагаемой вниманию читателей книге обсуждается третий, принципиально новый путь поиска фундаментальной теории пространства, времени и материи. Этот путь — теория суперпространства, или квантоводинамическая топология.

Перечислим основные проблемы, анализ которых в рамках существующих теорий приводит к идее суперпространства. Клейн, Арновитт, Дезер и Мизнер исследовали проблему нейтральной и заряженной точечной частицы в лагранжевой и гамильтоновой формулировке ОТО и нашли, что в обоих случаях существуют характерные длины: гравитационный радиус для нейтральной частицы и планковская длина — для заряженной частицы. На расстояниях, сравнимых с этими длинами, топология пространства стремится к неевклидовой. С самой частицей связываются две системы отсчета, причем размеры частиц в каждой из них различны. Некоторые выводы о характере топологии на малых расстояниях можно сделать и из анализа последних стадий гравитационного коллапса. Более того, к выводу о возможной неевклидовой топологии можно прийти, анализируя общую структуру ОТО. Как мы говорили, в ОТО нет фундаментальной длины, но характерная длина — гравитационный радиус, имеющий определенное значение для определенных масс, — существует. Следовательно, ОТО, выраженная в локальных терминах тензора кривизны, будет точно описывать локальные свойства пространства-времени лишь в предельном случае отсутствия материи либо в случае источников с малой плотностью. Вблизи же концентрированных источников, размеры которых сравнимы с их гравитационным радиусом, ОТО будет иметь лишь приближенный характер. Предложенная нами ранее планкеонная модель элементарной частицы в неквантовом приближении может рассматриваться как один из вариантов учета возможного неевклидового характера топологии на малых расстояниях.

Идею теории суперпространства легко понять из сравнения ее с квантовым вариантом нашей планкеонной теории элементарных частиц и вакуума, которую можно представить следующим образом. Непрерывное распределение материи с некоторой плотностью существует в любой точке пространства-времени. Вследствие очень сильного

гравитационного взаимодействия эта материя в определенный момент собственного времени образует топологически отделенные друг от друга замкнутые объекты типа замкнутых моделей Вселенной размерами $L \approx 10^{-33}$ см и плотностью 10^{95} г/см³ или более сложной топологии (с n ручками). В следующий момент собственного времени происходит полное размыкание этих объектов, и вся дальнейшая эволюция образования нового объекта с новой топологией подчиняется квантоводинамическому закону. Этот объект был назван нами планкеоном. Усредненная по времени наблюдаемая энергия, заключенная во всем пространстве-времени, есть энергетические флуктуации вакуума. Область вакуума с повышенным возбуждением есть элементарная частица*.

Сравним теперь изложенные представления с основными постулатами теории суперпространства. Элементом суперпространства является пустая 3-геометрия ⁽³⁾G, оснащенная n ручками. Топологическая замкнутость ее не объясняется искривлением пространства-времени материей, а постулируется. Причина искривления, по мнению Уилера, кроется в еще более глубоком уровне строения природы, который может быть назван «уровнем предгеометрии». Усложненная топология каждого элемента суперпространства должна объяснить спин элементарных частиц. Эволюция всего суперпространства подчиняется квантовому принципу. Области с повышенным возбуждением есть элементарные частицы.

Как видим, различие между теорией суперпространства и квантовопланкеонной теорией заключается только в понимании природы единичного элемента. На наш взгляд, планкеонная теория выглядит более естественной, так как в ней отсутствует крайне геометризованная концепция и сохранен дуализм материи и пространства-времени.

Ни та, ни другая теории еще совершенно не разработаны. Книга Уилера представляет собой лишь предварительный набросок будущей теории. Однако уже на этой стадии, исходя из энергетических возможностей вакуума и элементарных частиц как объектов с неевклидовой топо-

* См., например, сб. статей «Проблемы теории гравитации и элементарных частиц», Атомиздат, вып. 1, 1966; вып. 2, 1969.

логией, можно попытаться сделать фундаментальные предсказания для физики высоких энергий и, в частности, по-видимому, понять природу крупномасштабных нестационарных процессов во Вселенной (взрывов квазаров и ядер галактики).

Будем надеяться, что изложенная в этой книге программа завоюет себе сторонников и вдохновит их на реализацию идей Джона Арчибальда Уилера, на развитие основного направления теоретической физики — теории субмикромра.

1 августа 1969 г.

*Проф. К. П. Станюкович
В. Г. Лапчинский*

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ

4 ноября 1915 г. Эйнштейн представил Прусской Академии наук в Берлине свою знаменитую работу «К общей теории относительности». 50 лет спустя Немецкая Академия наук (Западный Берлин) организовала в память об этом трехдневную конференцию, в ходе которой состоялись и юбилейные торжества. Я имел честь произнести речь об Эйнштейне и о его теории. За три года, прошедших со времени конференции, мы получили ряд новых и важных результатов, значительно расширивших наше понимание теории. Мы пришли к выводу, что динамика эйнштейновской теории перерастает в теорию суперпространства, структура и свойства которого приобретают теперь первостепенное значение. Вследствие этого я значительно изменил и расширил ту часть моего доклада на конференции, которая содержала квантовую геометродинамику, чтобы, начиная с § 12, систематизировать наши знания о суперпространстве. Отдельные части содержащегося здесь материала в том или ином виде уже были опубликованы раньше.

Принстон, лето 1968 г.

Д. А. Уилер

