

А.С. Эддингтон

Теория относительности

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
А11

А11 **А.С. Эддингтон**
Теория относительности / А.С. Эддингтон – М.: Книга по Требованию, 2023. – 508 с.

ISBN 978-5-458-26634-5

ISBN 978-5-458-26634-5

© Издание на русском языке, оформление
«УОУО Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

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.

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА.

Предлагаемая русскому читателю работа Эддингтона до настоящего времени осталась одним из лучших и серьезных изложений теории относительности. Написанная глубоким знатоком дела, имеющим ряд самостоятельных исследований по различным специальным вопросам релятивистской механики и обладающим к тому же большим литературным талантом, книга Эддингтона в чрезвычайно компактной и изящной форме дает весь необходимый материал для основательного овладения теорией относительности. В этом смысле она является ценнейшим пособием.

Однако, несмотря на все свои достоинства, а, может быть, именно благодаря им, книга эта требует к себе особенно вдумчивого и критического отношения. Философские воззрения ее автора, представляющие собою сочетание элементов, близких спенсеризму и агностицизму, с некоторыми мотивами прагматизма, довольно сильно отразились на трактовке некоторых вопросов, примыкающих к физическому зданию теории относительности.

В отличие от теоретиков так называемой копенгагенской школы (Бор, Гейзенберг, Йордан и др.), стоящих в общем на позициях, близких к теории «чистого описания», предложенной в свое время Махом (см. напр. В. Гейзенберг, «Физические основы квантовой теории». ГГТИ, 1932), Эддингтон, вместе с родственными ему по убеждениям Дираком (см. Дирак, «Основы квантовой механики», гл. I, ГГТИ, 1932 г.) и некоторыми американскими учеными, защищает точку зрения «сфабрикованности» человеческого сознанием основных научных понятий, имеющих целью символически выразить ритм существования какой-то неведомой человеку реальности. Наиболее развернутое изложение главнейших моментов это философское *credo* нашло себе в «оперативной точке зре-

ния», выдвинутой в книге американского физика Бриджмэна, «The logic of modern physics» *).

Стоя на подобных философских позициях, Эддингтон во многих пунктах своего изложения становится на идеалистическую платформу. Однако вдумчивый читатель сумеет критически разобраться в этих идеалистических спекуляциях английского автора и, отделив их от действительно ценного физического материала, имеющегося в книге, дать им надлежащую оценку. Это сделать будет тем более легко, что основная проблематика книги заключается отнюдь не в этих спекуляциях, а в разборе чисто положительного физического содержания теории относительности. Философские экскурсы английского автора играют роль скорее досадного привеска, своеобразного «принудительного ассортимента», являющегося выражением того методологического кризиса, который переживает сейчас западно-европейская наука.

*) Подробнее этот вопрос будет освещен в специальном сборнике по вопросам методологии современной физики.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

Трудно указать человека, который по прочтении отказался бы признать книгу Эддингтона по «Теории относительности в математическом изложении» лучшей в этой области. Действительно, из больших серьезных трудов по общей теории относительности, например, статья Паули в «Математической Энциклопедии» слишком сжата и конспективна, книга же Вейля крайне сложна и формальна и, конечно, совершенно лишена увлекательности глубоко физических страниц Эддингтона. Даже в самых смелых построениях, стоящих на грани фантазии, невозможно устоять перед подкупающим остроумием автора.

Русский перевод сделан со второго английского издания, причем были учтены все отдельные изменения, внесенные в немецкое издание и приготовленные частью для третьего английского (которое по выходе было отмечено как «перепечатка» второго издания). Переведены также все примечания переводчиков немецкого издания: Александра Островского и Гарри Шмидта, просмотренные и одобренные Эддингтоном, равно как и статья Эйнштейна, написанная для немецкого издания. Эти примечания отмечены буквой (H.)

За время, истекшее с 1925 г.—момента выхода немецкого издания, — теория относительности была чрезвычайно успешно применена к исследованию двух областей, вопрос о которых восемь лет назад едва только намечался. Во-первых, в работах ленинградского математика А. А. Фридмана, бельгийского физика Лемэтра и др. была дана теория нестационарного, в частности расширяющегося мира. После опубликования в 1929 г. замечательных наблюдений Хэббля, сделанных на Маунт Вильсоне, вопрос о расширяющейся вселенной перешел в стадию опытной проверки. Во-вторых, в квантовой теории от случайного использования

принципа относительности (формула тонкой структуры Зоммерфельда) физики перешли к общей релятивистской формулировке— уравнение Дирака 1928 г., — хотя повидимому знаменитое уравнение Дирака и не является окончательным синтезом квантовых и релятивистских законов.

Проф. Эддингтон весьма любезно компенсировал отсутствие изложения двух этих вопросов в старых изданиях книги, предложив, прежде всего, присоединить к русскому изданию его статью о нестационарном мире, опубликованную в 1930 г. в «Monthly Notices». Кроме того, проф. Эддингтон согласился написать специально для нашего издания изложение его взглядов на современное состояние теории. Таким образом, данная книга представляет интерес и для читателей, знакомых уже с прежними иностранными изданиями.

Русский перевод выполнен сотрудниками Ленинградского Физико-Технического института И. Ю. Нелидовым (главы I, V, VI), В. В. Солодовниковым (главы II, III и статья Эддингтона о мире Эйнштейна) и Л. Э. Гуревичем (главы IV, VII, статья Эйнштейна и большинство примечаний к немецкому изданию).

По нашей просьбе О. К. Житомирский любезно написал два примечания, разъясняющие математические выводы автора (стр. 126 и 294). При дружеском участии В. А. Амбарцумяна нами составлены затем примечания, содержащие новейшие сведения об экспериментальных астрономических подтверждениях теории относительности, а также новая таблица скоростей туманностей. Новые примечания к русскому изданию отмечены буквой (P.) Кроме того, в конце книги нами добавлен ряд ориентирующих библиографических указаний.

Мы позволим себе в заключение принести глубокую благодарность проф. Эддингтону за столь исключительное внимание к русскому изданию его книги.

Ленинград, декабрь 1933 г.

Проф. Д. Иваненко.

НОЛЛИНГЭС ИУНЕСКО АРТУР СТАНЛИ ЭДЛИНГТОН



ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА.

Первый набросок этой книги появился в 1921 г. как математическое приложение к французскому изданию моей книги «Пространство, время и тяготение» *). В течение последующих полутора лет я занимался развитием его в более систематическое и полное математическое изложение теории относительности.

Весь текст был написан вновь, последовательность рассуждений изменена во многих местах, и везде были сделаны многочисленные добавления; таким образом нынешний объем книги превосходит первоначальный более чем в три раза. Я надеюсь, что в таком расширенном виде книга будет полезна для лиц, которые хотят основательно познакомиться с данным кругом проблем, ведущих к полной перестройке теоретической физики.

Предполагается, что читатель в общих чертах знаком с менее специальным изложением теории, данным например в книге «Время, пространство и тяготение»*, хотя непосредственных ссылок на эту книгу будет не слишком много. Зато весьма желательно иметь общее представление о той революции в мышлении, которая связана с теорией относительности, прежде чем начать двигаться по пути строгих математических выводов.

В нашей первой книге мы показали, почему старые концепции в физике оказались непригодными, и наметили общие пути, по которым развивались новые идеи. Здесь же нашей задачей является математическая формулировка этого нового понимания мира и возможно более полное развитие всех его следствий.

Широкий интерес к теории относительности, существующий в настоящее время, возник после экспериментального подтверждения некоторых незначительных отклонений от законов Ньютона. Для тех, кто все еще колеблется и не решается отказаться от старой веры, эти отклонения представляют главнейший интерес;

*) Русский перевод издан в Одессе в 1923 г.

к совершенно иному определению расстояния между двумя точками.

Для того чтобы установить свойства некоторой физической величины, мы совершаем определенные практические операции и производим затем вычисления. Эти операции называются экспериментами, или наблюдениями, в зависимости от того, насколько сильно их условия зависят от нашего контроля. Определенная таким образом физическая величина есть прежде всего результат измерений и вычислений, — она будет, так сказать, *сфабрикованной* вещью, *созданной* нашими операциями. Но физик, вообще говоря не будет доволен при мысли, что полученная им величина не отделима от характера операций, которые к ней привели. Физик считает, что если бы он смог стать богом, созерцающим внешний мир, он заметил бы, что изготовленная им величина является определенной частью мировой картины. Обнаружив, что можно уложить x единичных масштабов длины вдоль линии между двумя точками, физик создает величину x и называет ее расстоянием между двумя точками, но он верит, что это расстояние x есть нечто уже существующее в общей картине мира, — нечто, что было бы воспринято высшим разумом как существующее само по себе без всякой связи с операциями над измерительными масштабами. Все же физик проводит странные и, казалось бы, нелогичные различия. Параллакс звезды находится путем хорошо известного ряда наблюдений и вычислений; длина комнаты находится при помощи операций с рулеткой. И параллакс и эта длина являются величинами, изготовленными нашими операциями, но на каком-то основании мы не предполагаем, что параллакс появится в виде отдельного элемента в истинной картине мира, как это будет в случае длины. Или еще пример. Вместо того чтобы остановить наши астрономические вычисления, когда мы получили желаемый параллакс, мы могли бы продолжать их и вычислить куб этой величины, т. е. получили бы еще одну сфабрикованную величину, «кубический параллакс». Из каких-то туманных соображений мы ожидаем, что расстояние будет явно фигурировать в истинной картине мира, параллакс же явно не появится, хотя он может быть сравнительно простым построением сведен к некоторому углу; «кубическому параллаксу» в этой картине вообще нет места. Физик объясняет это тем, что длину он *находит*, кубический же параллакс *конструирует*. Но он делает это различие только по-

тому, что им унаследована предвзятая теория мира. Мы осмелимся оспаривать такое разграничение.

Расстояние, параллакс и кубический параллакс имеют одинаковое потенциальное существование даже тогда, когда на самом деле мы не производили операции измерения — *если* мы сдвинемся в сторону, мы сможем измерить угловое отклонение; *если* мы отложим в ряд наши измерительные масштабы, мы сможем сосчитать их число. Любая из трех перечисленных величин указывает нам на некоторую связь или соотношение, существующее во внешнем мире, — соотношение, не созданное нашими операциями. Но, повидимому, нет оснований заключить, что это мировое соотношение больше *походит* на расстояние, чем на параллакс или на кубический параллакс. В самом деле, всякое понятие «сходства» между физическими величинами и соотношениями во внешнем мире, лежащими в их основе, представляется непригодным. Если длина AB равна удвоенной длине CD , то параллакс B , наблюдаемый из A , равен половине параллакса D из C . Без сомнения, существует некоторое соотношение в мире, которое будет различным для AB и для CD , но у нас нет никаких оснований считать, что это мировое соотношение для AB будет представлено лучше удвоенным соотношением для CD , чем его половиной.

Связь изготовленных нами искусственно физических величин с соотношениями, существующими в мире, может быть выражена так: физические величины являются *числовыми мерами* этих мировых соотношений. Числовые меры могут быть приписаны по произвольному принципу, как условный шифр, при одном единственном условии, чтобы всегда одна и та же числовая мера соответствовала одному и тому же мировому соотношению и обратно, чтобы различные соотношения выражались различными мерами. Таким образом, две или больше физические величины могут служить мерами одного и того же соотношения, *но в разных системах наших шифров*; например: длина и параллакс, масса и энергия, звездная величина и яркость и т. д. Постоянные формулы, связывающие эти пары физических величин, дают связь между соответствующими шифрами. Но, допуская, что физические величины могут служить числовой мерой *мировых соотношений*, существующих независимо от наших измерений, мы не изменяем их *характера* как *искусственно* изготовленных величин. Одни и те же измерения, конечно, дадут один и тот же результат, если мировые

соотношения одинаковы, и разные результаты, если эти соотношения будут различны. (Различия в мировых соотношениях, не влияющие на результаты опытов и наблюдений, *ipso facto* (тем самым), исключаются из области физического знания). Объем выросшего кристалла может служить числовой мерой температуры маточного раствора; но тем не менее последняя является искусственной величиной, и мы не можем заключить, что истинная природа объема — калорическая.

Изучение физических величин, хотя они и представляют собой результаты наших собственных операций (действительно произведенных или только возможных), все же может нам дать некоторое знание мировых соотношений, так как одна и та же операция дает нам разные результаты для различных мировых соотношений. Это косвенное знание как будто и является всем, чего мы когда-либо сможем достигнуть, и мы можем представить себе какое-либо «мировое соотношение» только благодаря его влиянию на наши операции. Всякая иная попытка описания мировых соотношений сводится или к математической символике, или к лишенной смысла болтовне. Для того чтобы охватить данное мировое соотношение настолько полно, насколько только возможно, мы должны обладать символом, который включал бы в себе влияние этого мирового соотношения на результаты всех возможных операций. Другими словами, мы должны рассматривать его числовые меры во всевозможных системах мер, «шифрах» — конечно, не смешивая последние друг с другом. Может показаться невозможным осуществить столь обширную программу, но мы увидим, что математический аппарат тензорного исчисления представляет мировые соотношения и оперирует с ними именно таким путем. Тензор выражает собой одновременно всю группу числовых мер, связанных с данными мировым соотношением, причем даются правила для отличия различных мер в отдельных шифрах. Поэтому не следует рассматривать несколько сложный тензорный анализ как печальную необходимость, которую следовало бы заменить, если возможно, другим более простым аналитическим методом. То знание соотношений во внешнем мире, которое мы получаем посредством наблюдений и эксперимента, является как раз таким, что оно может быть выражено только тензором, а не иначе. Совершенно так же, как и в арифметике, мы можем иметь дело с миллиардом объектов, не стремясь представить наглядно все