

**А. Эйнштейн**

**Работы по теории  
относительности**

**1905-1920. Том 1. Классики  
науки**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
А11

**А. Эйнштейн**  
А11 Работы по теории относительности: 1905-1920. Том 1. Классики науки / А. Эйнштейн – М.: Книга по Требованию, 2013. – 703 с.

**ISBN 978-5-458-33319-1**

Настоящее издание представляет собой первое в мировой литературе фундаментальное собрание научных трудов Эйнштейна. В научном наследстве знаменитого ученого более 200 статей по различным вопросам физики. Подавляющее большинство их после опубликования в журналах не было собрано и издано. Между тем полная картина творчества Эйнштейна имела бы большое научное и культурное значение. Настоящим изданием Академия наук СССР выполняет значительную часть этой почетной задачи. В первом и втором томах собраны практически все работы Эйнштейна по специальной теории относительности, общей теории относительности и теории поля. Большинство их, как это уже сказано в отношении всех работ Эйнштейна, не вошло в какие-либо отдельные издания и не выходило в свет после первоначальной публикации.

**ISBN 978-5-458-33319-1**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2013

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 первозданном 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](http://www.samizday.ru/reprint)





*A. Einstein*



## ОТ РЕДАКЦИИ

Настоящее издание представляет собой первое в мировой литературе фундаментальное собрание научных трудов Эйнштейна. В научном наследстве знаменитого ученого более 200 статей по различным вопросам физики<sup>1</sup>. Подавляющее большинство их после опубликования в журналах не было собрано и издано. Между тем полная картина творчества Эйнштейна имела бы большое научное и культурное значение. Настоящим изданием Академия наук СССР выполняет значительную часть этой почетной задачи.

В первом и втором томах собраны практически все работы Эйнштейна по специальной теории относительности, общей теории относительности и единой теории поля. Большинство их, как это уже сказано в отношении всех работ Эйнштейна, не вошло в какие-либо отдельные издания и не выходило в свет после первоначальной публикации. Лишь некоторые немногочисленные принадлежащие Эйнштейну статьи и доклады по теории относительности вышли отдельными изданиями<sup>2</sup>. Многократно издавались лекции по теории относительности, прочитанные Эйнштейном в 1921 г. в Принстоне, с позднейшими дополнениями<sup>3</sup>. Издано несколько статей Эйнштейна по теории относительности вместе со статьями Лоренца, Минковского и (в русском издании) Пуанкаре<sup>4</sup>. Все эти книги охватывают лишь

---

<sup>1</sup> Библиография работ Эйнштейна имеется в сборнике: «A. Einstein. Philosopher-scientists». Ed. by P. Schilpp, Tudor Publ. Comp. N. Y., 1951 (449 названий), а также в книге: Boni. A bibliographical checklist and index to the published writings of Albert Einstein. Pageant books. Paterson, 1960 (607 названий). Эти книги служили основным пособием при составлении настоящего Собрания.

<sup>2</sup> Из них на русском языке: «Эфир и принцип относительности» (Научное книгоиздательство. Пг., 1922); О специальной и общей теории относительности (Научное книгоиздательство. Пг., 1923); Геометрия и опыт (Научное книгоиздательство. Пг., 1923).

<sup>3</sup> Четвертое издание этой книги (The Meaning of Relativity) переведено на русский язык в 1955 г. (А. Эйнштейн. Сущность теории относительности. ЦЛ, 1955).

<sup>4</sup> Принцип относительности. Г. Лоренц, А. Пуанкаре, А. Эйнштейн, Г. Минковский. Сборник работ классиков релятивизма. Л., ОНТИ, 1935.

небольшую часть основных работ Эйнштейна по специальной и общей теории относительности и, помимо дополнений к «The Meaning of relativity», не включают статей, написанных в 20—50-е годы и развивавших далее общую теорию относительности. Некоторые популярные очерки теории относительности вошли в сборники статей Эйнштейна на различные темы, выходившие в свет в 30—50-е годы <sup>5</sup>.

В первом и втором томах статьи Эйнштейна расположены в хронологическом порядке. Первую группу образуют статьи, излагающие специальную теорию; вторую группу — работы, посвященные общей теории относительности и ее выводам, в частности, релятивистской космологии. Третья группа — дальнейшее обобщение теории, поиски единой теории поля.

Третий том будет включать остальные научные работы Эйнштейна по физике (в частности, по теории броуновского движения, термодинамике, теории квантов света, квантовой статистике). В четвертый том войдут работы по истории, логике и психологии научного творчества (включая «Эволюцию физики»), очерки о жизни и творчестве отдельных мыслителей, воспоминания, автобиографические наброски и некоторые письма.

Несколько слов о переводе. Мы сочли возможным сделать перевод статей более современным и не стремились к сохранению стиля, характерного для времени их первой публикации. Оправданием этого служит уверенность в том, что работы Эйнштейна ни в какой мере не стали достоянием архивов и их чтение современным читателем должно быть по возможности облегчено. Это тем более оправдано, что немецкий язык Эйнштейна труден и не может быть достаточно точно передан в переводе.

Книга содержит небольшое число примечаний редактора, цель которых, во-первых, указать важнейшие библиографические данные и, во-вторых, — подчеркнуть основные этапы развития теории. Примечания по возможности краткие: даже современному физiku нелегко добавить что-нибудь к логической цели рассуждений великого автора.

Первый и второй тома были переведены группой физиков-теоретиков в составе А. Базя, Л. Пузикова и А. Сазыкина. Некоторые статьи переведены В. Голубенковым, Л. Горьковым, В. Коганом, С. Лариным, Л. Максимовым, М. Певзнером и А. Чичериним. Ряд работ удалось получить только благодаря любезному содействию А. Пайса (США), Р. М. Рындина, Кобленца (Швейцария) и Жанны Леберик (Франция), которым мы выражаем глубокую признательность.

---

<sup>5</sup> В качестве наиболее полного из них можно назвать сборник: A. E i n s t e i n. Ideas and opinions. London, Crown Publ. Inc., 1956.

## К ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ ДВИЖУЩИХСЯ ТЕЛ\*

Известно, что электродинамика Максвелла в современном ее виде приводит в применении к движущимся телам к асимметрии, которая несвойственна, по-видимому, самим явлениям. Вспомним, например, электродинамическое взаимодействие между магнитом и проводником с током. Наблюдаемое явление зависит здесь только от относительного движения проводника и магнита, в то время как, согласно обычному представлению, два случая, в которых движется либо одно, либо другое из этих тел, должны быть строго разграничены. В самом деле, если движется магнит, а проводник покоится, то вокруг магнита возникает электрическое поле, обладающее некоторым количеством энергии, которое в тех местах, где находятся части проводника, порождает ток. Если же магнит находится в покое, а движется проводник, то вокруг магнита не возникает никакого электрического поля; зато в проводнике возникает электродвижущая сила, которой самой по себе не соответствует никакая энергия, но которая — при предполагаемой тождественности относительного движения в обоих интересующих нас случаях — вызывает электрические токи той же величины и того же направления, что и электрическое поле в первом случае.

Примеры подобного рода, как и неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды», ведут к предположению, что не только в механике, но и в электродинамике никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя и даже, более того, — к предположению, что для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы, как это уже доказано для величин первого порядка. Это предположение (содержание которого в дальнейшем будет называться «принципом относительности») мы намерены превратить в предпосылку и сделать, кроме того, добавочное допущение, находящееся с первым лишь в кажущемся противоречии, а именно, что свет в пустоте всегда распространяется с определенной скоростью  $V$ , не зависящей от

\* Zur Elektrodynamik der bewegter Körper. Ann. Phys., 1905, 17, 891—921.

состояния движения излучающего тела. Эти две предпосылки достаточны для того, чтобы, положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел, построить простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся тел. Введение «светоносного эфира» окажется при этом излишним, поскольку в предлагаемой теории не вводится «абсолютно покоящееся пространство», наделенное особыми свойствами, а также ни одной точке пустого пространства, в котором протекают электромагнитные процессы, не приписывается какой-нибудь вектор скорости.

Развиваемая теория основывается, как и всякая другая электродинамика, на кинематике твердого тела, так как суждения всякой теории касаются соотношений между твердыми телами (координатными системами), часами и электромагнитными процессами. Недостаточное понимание этого обстоятельства является корнем тех трудностей, преодолеть которые приходится теперь электродинамике движущихся тел.

## І. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### § 1. Определение одновременности

Пусть имеется координатная система, в которой справедливы уравнения механики Ньютона. Для отличия от вводимых позже координатных систем и для уточнения терминологии назовем эту координатную систему «покоящейся системой».

Если некоторая материальная точка находится в покое относительно этой координатной системы, то ее положение относительно последней может быть определено методами евклидовой геометрии с помощью твердых масштабов и выражено в декартовых координатах.

Желая описать *движение* какой-нибудь материальной точки, мы задаем значения ее координат как функций времени. При этом следует иметь в виду, что подобное математическое описание имеет физический смысл только тогда, когда предварительно выяснено, что подразумевается здесь под «временем». Мы должны обратить внимание на то, что все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об *одновременных событиях*. Если я, например, говорю: «Этот поезд прибывает сюда в 7 часов»,—то это означает примерно следующее: «Указание маленькой стрелки моих часов на 7 часов и прибытие поезда суть одновременные события»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Здесь не будет обсуждаться неточность, содержащаяся в понятии одновременности двух событий, происходящих (приблизительно) в одном и том же месте, которая должна быть преодолена также с помощью некоторой абстракции.

Может показаться, что все трудности, касающиеся определения «времени», могут быть преодолены тем, что вместо слова «время» я напишу «положение маленькой стрелки моих часов». Такое определение, действительно, достаточно в случае, когда речь идет о том, чтобы определить время лишь для того самого места, в котором как раз находятся часы; однако это определение уже недостаточно, как только речь будет идти о том, чтобы связать друг с другом во времени ряды событий, протекающих в различных местах, или, что сводится к тому же, установить время для тех событий, которые происходят в местах, удаленных от часов.

Желая определить время событий, мы могли бы, конечно, удовлетвориться тем, что заставили бы некоторого наблюдателя, находящегося с часами в начале координат, сопоставлять соответствующее положение стрелки часов с каждым световым сигналом, идущим к нему через пустоту и дающим знать о регистрируемом событии. Такое сопоставление связано, однако, с тем неудобством, известным нам из опыта, что оно не будет независимым от местонахождения наблюдателя, снабженного часами. Мы придем к гораздо более практическому определению путем следующих рассуждений.

Если в точке  $A$  пространства помещены часы, то наблюдатель, находящийся в  $A$ , может устанавливать время событий в непосредственной близости от  $A$  путем наблюдения одновременных с этими событиями положений стрелок часов. Если в другой точке  $B$  пространства также имеются часы (мы добавим: «точно такие же часы, как в точке  $A$ »), то в непосредственной близости от  $B$  тоже возможна временная оценка событий находящимся в  $B$  наблюдателем. Однако невозможно без дальнейших предположений сравнивать во времени какое-либо событие в  $A$  с событием в  $B$ ; мы определили пока только « $A$ -время» и « $B$ -время», но не общее для  $A$  и  $B$  «время». Последнее можно установить, *вводя определение*, что «время», необходимое для прохождения света из  $A$  в  $B$ , равно «времени», требуемому для прохождения света из  $B$  в  $A$ . Пусть в момент  $t_A$  по « $A$ -времени» луч света выходит из  $A$  в  $B$ , отражается в момент  $t_B$  по « $B$ -времени» от  $B$  к  $A$  и возвращается назад в  $A$  в момент  $t'_A$  по « $A$ -времени». Часы в  $A$  и  $B$  будут идти, согласно определению, синхронно, если

$$t_B - t_A = t'_A - t_B.$$

Мы сделаем допущение, что это определение синхронности можно дать непротиворечивым образом и притом для сколь угодно многих точек и что, таким образом, справедливы следующие утверждения:

1) если часы в  $B$  идут синхронно с часами в  $A$ , то часы в  $A$  идут синхронно с часами в  $B$ ;

2) если часы в  $A$  идут синхронно как с часами в  $B$ , так и с часами в  $C$ , то часы в  $B$  и  $C$  также идут синхронно относительно друг друга.

Таким образом, пользуясь некоторыми (мысленными) физическими экспериментами, мы установили, что нужно понимать под синхронно идущими, находящимися в различных местах покоящимися часами, и благодаря этому, очевидно, достигли определения понятий: «одновременность» и «время». «Время» события — это одновременное с событием показание покоящихся часов, которые находятся в месте события и которые идут синхронно с некоторыми определенными покоящимися часами, причем с одними и теми же часами при всех определениях времени.

Согласно опыту, мы положим также, что величина

$$\frac{2\overline{AB}}{t'_A - t_A} = V$$

есть универсальная константа (скорость света в пустоте).

Существенным является то, что мы определили время с помощью покоящихся часов в покоящейся системе; будем называть это время, принадлежащее к покоящейся системе, «временем покоящейся системы».

## § 2. Об относительности длин и промежутков времени

Дальнейшие соображения опираются на принцип относительности и на принцип постоянства скорости света. Мы формулируем оба принципа следующим образом.

1. Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся.

2. Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью  $V$ , независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом.

При этом

$$\text{Скорость} = \frac{\text{Путь луча света}}{\text{Промежуток времени}},$$

причем «промежуток времени» следует понимать в смысле определения в § 1.

Пусть нам дан покоящийся твердый стержень, и пусть длина его, измеренная также покоящимся масштабом, есть  $l$ . Теперь представим себе, что стержню, ось которого направлена по оси  $X$  покоящейся координатной системы, сообщается равномерное и параллельное оси  $X$  поступательное движение (со скоростью  $v$ ) в сторону возрастающих значений  $x$ . Поставим

### 3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper: von A. Einstein.

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

теперь вопрос о длине *движущегося* стержня, которую мы полагаем определенной с помощью следующих двух операций:

а) наблюдатель движется вместе с указанным масштабом и с измеряемым стержнем и измеряет длину стержня непосредственно путем прикладывания масштаба так же, как если бы измеряемый стержень, наблюдатель и масштаб находились в покое;

б) наблюдатель устанавливает с помощью расставленных в покоящейся системе синхронных, в смысле § 1, покоящихся часов, в каких точках покоящейся системы находятся начало и конец измеряемого стержня в определенный момент времени  $t$ . Расстояние между этими двумя точками, измеренное использованным выше, но уже покоящимся масштабом, есть длина, которую можно обозначить как «длину стержня».

Согласно принципу относительности, длина, определяемая операцией «а», которую мы будем называть «длиной стержня в движущейся системе», должна равняться длине  $l$  покоящегося стержня.

Длину, устанавливаемую операцией «б», которую мы будем называть «длиной (движущегося) стержня в покоящейся системе», мы определим, основываясь на наших двух принципах, и найдем, что она отлична от  $l$ .

В обычно применяемой кинематике принимается без оговорок, что длины, определенные посредством двух упомянутых операций, равны друг другу, или, иными словами, что движущееся твердое тело в момент времени  $t$  в геометрическом отношении вполне может быть заменено *тем же* телом, когда оно *покоится* в определенном положении.

Представим себе, что к обоим концам стержня ( $A$  и  $B$ ) прикреплены часы, которые синхронны с часами покоящейся системы, т. е. показания их соответствуют «времени покоящейся системы» в тех местах, в которых эти часы как раз находятся; следовательно, эти часы «синхронны в покоящейся системе».

Представим себе далее, что у каждого часов находится движущийся с ними наблюдатель и что эти наблюдатели применяют к обоим часам установленный в § 1 критерий синхронности хода двух часов. Пусть в момент времени  $t_A$  из  $A$  выходит луч света, отражается в  $B$  в момент времени  $t_B$  и возвращается назад в  $A$  в момент времени  $t'_A$ . Принимая во внимание принцип постоянства скорости света, находим

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{V - v} \quad \text{и} \quad t'_A - t_B = \frac{r_{AB}}{V + v},$$

где  $r_{AB}$  — длина движущегося стержня, измеренная в покоящейся системе. Итак, наблюдатели, движущиеся вместе со стержнем, найдут, что

<sup>2</sup> Здесь «время» означает «время покоящейся системы» и вместе с тем «положение стрелки движущихся часов, которые находятся в том месте, о котором идет речь».