

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый небольшой курс основ общей теории относительности (ОТО) возник на материале лекций, читаемых студентам 4-го курса МИФИ, специализирующимся по теоретической физике. В основу первого издания пособия (А.В. Берков, Е.Д. Жижин, И.Ю. Кобзарев. Теория тяготения Эйнштейна и ее экспериментальные следствия. М.: МИФИ, 1981) легли записи лекций И.Ю. Кобзарева, читавшего этот курс до 1982 г. и их обработка. Это пособие давно стало библиографической редкостью.

Последующий опыт чтения лекций показал, что ни в общую концепцию курса, ни в отбор материала не требуется вносить никаких принципиальных изменений. В то же время разделы курса, посвященные космологии, требуют некоторого расширения, особенно в том, что касается связи с физикой элементарных частиц. Настоящее издание состоит из двух частей: в первой изложены основные принципы ОТО и классические предсказания ОТО для наблюдаемых эффектов, во второй – приложения ОТО к астрофизике и космологии.

Цель курса лекций и данного пособия заключается в том, чтобы дать такое изложение основ ОТО, которое можно было бы изучить, не совершая подвига. Для этого пришлось ограничиться только той, устоявшейся, частью теории, где прямая конфронтация с наблюдениями уже отделила важное от несущественного. Мы отказались от попытки в какой бы то ни было степени отразить многообразную деятельность теоретиков и математиков, занимающихся в настоящее время вопросами, так или иначе связанными с ОТО. Замысел иной: изложить основные идеи и методы теории и довести расчеты и рассуждения до прямого сопоставления с опытом так, чтобы проработавший весь материал читатель мог узнать, как и в какой степени ОТО описывает наблюдаемые явления.

При изложении материала мы не стремились к оригинальности в тех случаях, когда известные нам выводы нас удовлетворяли. Так, обоснование уравнений поля взято из работы Эйнштейна [1, т. 11, с. 60–61], ему же принадлежит вывод формулы для угла отклонения луча света (т. 1, с. 172). Вывод выражения для интервала в метрике Шварцшильда взят из книги Вейля [3], изложение геометрии Римана также во многом обязано этой книге. Иногда трудно указать источники, так как многие выводы и рассуждения давно стали общественной собственностью. Выбор метрики и другие соглашения об обозначениях следуют книге Ландау и Лифшица [7].

Список литературы не претендует на то, чтобы быть избранной библиографией наиболее интересных книг и работ по ОТО, — это всего лишь те книги и статьи, которые были использованы при чтении лекций и написании пособия, с небольшими дополнениями, относящимися либо к последним достижениям, либо предназначенными для расширения круга интересов. Все упоминающиеся в пособии данные наблюдений содержатся в книге Уилла [13]. Классические работы, упомянутые в разд. 1.1 указаны явно или упоминаются в трудах Эйнштейна [1] и книгах Паули [4], Синга [6] и Мизнера, Торна и Уилера [8]. Хорошее изложение ранней истории ОТО имеется в книге Визгина [2]. В сборнике статей [10], изданном к 100-летию со дня рождения Эйнштейна, содержатся переводы наиболее фундаментальных работ по ОТО за 60 лет, прошедших с момента создания теории.

Авторы очень признательны Б.В. Медведеву, внимательно прочитавшему рукопись первого издания пособия, за многочисленные критические замечания, которые мы в меру сил и понимания постарались учесть. Мы благодарны В.П. Визгину за обсуждение истории ОТО, Л.Б. Окуню за ряд полезных замечаний, а также Е.Д. Жижину за любезно предоставленное право воспользоваться его записями лекций И.Ю. Кобзарева. С особым чувством вспоминались при подготовке этого издания глубокие замечания Я.Б. Зельдовича, сделанные им по поводу первого издания пособия.

## 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОТО

### 1.1. Исторический обзор

Работа Эйнштейна 1905 года, в которой была сформулирована частная теория относительности (частная ТО), с идейной стороны завершила развитие классической электродинамики. Стало ясно, что уравнения Максвелла-Лоренца описывают новый тип физической системы — классическое электромагнитное поле в пустом пространстве, взаимодействующее с заряженными частицами, причем кинематика такой системы есть кинематика частной ТО. Построение адекватной математической формулировки, использующей четырехмерное инвариантное действие и приводимой сейчас в учебниках, было начато независимо от Эйнштейна работами А. Пуанкаре в 1905 г. и вскоре завершено в трудах Планка, Минковского и др.

Задолго до того, как начала развиваться теория электромагнитных взаимодействий, Ньютон построил небесную механику (1687 г.), основанную на представлении о дальнедействии тяготения. Как до, так и после Ньютона (в том числе, и им самим) делались попытки построить механическую модель тяготения, в которой не использовалось бы дальнедействие. Построив