

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к переводу . . . . .	5
Предисловие ко второму изданию. . . . .	7
Из предисловия к первому изданию . . . . .	8
<b>Глава 1. Основы специальной теории относительности. Исторический обзор</b>	<b>10</b>
§ 1.1. Принцип относительности в механике. Преобразования Галилея . . . . .	10
§ 1.2. Специальный принцип относительности. . . . .	12
§ 1.3. Инвариантность фазы плоской волны. . . . .	13
§ 1.4. Преобразование характеристик плоской волны. . . . .	14
§ 1.5. Эффект Доплера. . . . .	15
§ 1.6. Скорость света в вакууме . . . . .	16
§ 1.7. Скорость света в преломляющих средах. . . . .	19
§ 1.8. Эксперименты Хука и Физо. . . . .	20
§ 1.9. Электронная теория Лоренца. . . . .	22
§ 1.10. Соответствие между теорией эфира и принципом относительности для всех эффектов первого порядка. Принцип Ферма . . . . .	23
§ 1.11. Аберрация света . . . . .	25
§ 1.12. Эксперимент Майкельсона . . . . .	26
§ 1.13. Гипотеза о сокращении. . . . .	27
§ 1.14. Справедливость принципа относительности для всех физических явлений . . . . .	28
<b>Глава 2. Релятивистская кинематика . . . . .</b>	<b>29</b>
§ 2.1. Одновременность событий. . . . .	29
§ 2.2. Относительность одновременности. . . . .	30
§ 2.3. Специальные преобразования Лоренца . . . . .	32
§ 2.4. Общие преобразования Лоренца . . . . .	35
§ 2.5. Сокращение размеров движущихся тел. . . . .	38
§ 2.6. Запаздывание движущихся часов. Парадокс часов . . . . .	40
§ 2.7. Преобразование скоростей частиц. . . . .	42
§ 2.8. Последовательные преобразования Лоренца. Прецессия Томаса. . . . .	44
§ 2.9. Преобразование параметров волны в теории относительности. . . . .	46
§ 2.10. Групповая скорость в движущихся средах. . . . .	47
§ 2.11. Эффект Доплера, аберрация света и эффект увлечения в теории относительности. . . . .	49
<b>Глава 3. Релятивистская механика . . . . .</b>	<b>53</b>
§ 3.1. Масса и импульс частицы . . . . .	53
§ 3.2. Сила, работа, кинетическая энергия. . . . .	55
§ 3.3. Преобразование силы, импульса и энергии. . . . .	56
§ 3.4. Гиперболическое движение. Движение электрически заряженной частицы в постоянном магнитном поле . . . . .	58
§ 3.5. Эквивалентность массы и энергии. . . . .	60
§ 3.6. Неупругие столкновения. Масса замкнутой системы частиц. . . . .	64
§ 3.7. Экспериментальное подтверждение релятивистской механики . . . . .	66
<b>Глава 4. Четырехмерная формулировка теории относительности: тензорное исчисление . . . . .</b>	<b>71</b>
§ 4.1. Четырехмерное представление преобразований Лоренца . . . . .	71
§ 4.2. Лоренцево сокращение и замедление хода движущихся часов в четырехмерном представлении. . . . .	74
§ 4.3. Ковариантность законов природы в четырехмерной формулировке . . . . .	75
§ 4.4. Четырехмерный линейный элемент, или интервал. 4-векторы. . . . .	76

§ 4.5.	4-скорость. 4-ускорение. Волновой вектор. Четырехмерная групповая скорость. . . . .	77
§ 4.6.	4-импульс и 4-сила. Основные уравнения механики точки в четырехмерной векторной форме. . . . .	80
§ 4.7.	Тензоры второго ранга. . . . .	83
§ 4.8.	Угловой момент и момент силы в четырехмерной форме. . . . .	86
§ 4.9.	Тензоры произвольного ранга. . . . .	86
§ 4.10.	Псевдотензоры . . . . .	87
§ 4.11.	Символ Леви-Чивита . . . . .	87
§ 4.12.	Дуальные тензоры. . . . .	88
§ 4.13.	Инфинитезимальные преобразования Лоренца. Преобразования без вращения. . . . .	92
§ 4.14.	Последовательные преобразования Лоренца. . . . .	93
§ 4.15.	Последовательные системы покоя при произвольном прямолинейном и равномерном вращательном движениях частицы. . . . .	95
§ 4.16.	Тензорные и псевдотензорные поля. Тензорный анализ. . . . .	97
§ 4.17.	Теорема Гаусса для четырехмерного пространства. . . . .	99
§ 4.18.	Основные уравнения механики для некогерентной материи. . . . .	101
§ 4.19.	Тензор кинетической энергии. . . . .	106
<b>Глава 5. Электродинамика в вакууме. . . . .</b>		
§ 5.1.	Фундаментальные уравнения электродинамики в вакууме. 4-плотность тока электрического заряда . . . . .	108
§ 5.2.	Ковариантность уравнений электродинамики при преобразованиях Лоренца. Тензор электромагнитного поля . . . . .	110
§ 5.3.	4-Потенциал. Калибровочные преобразования. . . . .	111
§ 5.4.	Интегральное представление 4-потенциала. . . . .	112
§ 5.5.	Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Льенара — Вихерта для точечного заряда. . . . .	113
§ 5.6.	Поле равномерно движущегося точечного заряда . . . . .	116
§ 5.7.	Электромагнитные силы, действующие на заряженную матерью. . . . .	118
§ 5.8.	Вариационный принцип в электродинамике. . . . .	119
§ 5.9.	Электромагнитный тензор энергии. . . . .	121
§ 5.10.	Полный тензор энергии. . . . .	123
<b>Глава 6. Общая теория замкнутых систем. Механика упругих сред. Теория поля. . . . .</b>		
§ 6.1.	Законы сохранения для замкнутых систем. . . . .	124
§ 6.2.	4-Импульс, 4-тензор углового момента для замкнутых островных систем. . . . .	126
§ 6.3.	Центр масс. . . . .	128
§ 6.4.	Фундаментальные уравнения механики упругих сред. . . . .	131
§ 6.5.	Тензор напряжений и тензор энергии. Трансформационные свойства . . . . .	136
§ 6.6.	Идеальная жидкость. . . . .	139
§ 6.7.	Скалярные мезонные поля. Общая теория поля. . . . .	142
<b>Глава 7. Незамкнутые системы. Электродинамика диэлектриков и парамагнетиков. Термодинамика. . . . .</b>		
§ 7.1.	Общие свойства незамкнутых систем . . . . .	145
§ 7.2.	Статические незамкнутые системы . . . . .	147
§ 7.3.	Электростатические системы. Классические модели электрона. . . . .	148
§ 7.4.	Основные уравнения электродинамики стационарной материи. . . . .	150
§ 7.5.	Уравнения Минковского для равномерно движущихся сред. . . . .	151
§ 7.6.	Материальные соотношения в четырехмерной формулировке. Граничные условия. . . . .	154
§ 7.7.	Электромагнитный тензор энергии и плотность 4-силы. . . . .	155
§ 7.8.	Скорость распространения энергии световой волны в движущейся преломляющей среде . . . . .	159
§ 7.9.	Сплошная среда с внутренней теплопроводностью. . . . .	162
§ 7.10.	Первый закон релятивистской термодинамики. Трансформационные свойства 4-импульса подведенного тепла. . . . .	167
§ 7.11.	Второй закон релятивистской термодинамики. . . . .	170
§ 7.12.	Термодинамические потенциалы однородных изотропных сред. . . . .	172
§ 7.13.	Идеальный газ. Излучение черного тела. . . . .	174
<b>Глава 8. Основы общей теории относительности. . . . .</b>		
§ 8.1.	Общий принцип относительности. . . . .	179
§ 8.2.	Принцип эквивалентности. . . . .	180
§ 8.3.	Равномерно вращающаяся система координат. Пространство и время в общей теории относительности. . . . .	182
§ 8.4.	Неевклидова геометрия. Метрический тензор. . . . .	184

§ 8.5.	Геодезические линии. . . . .	186
§ 8.6.	Непосредственное измерение метрики. Геометрия $n$ -мерного пространства. . . . .	188
§ 8.7.	Общие ускоренные системы отсчета. Наиболее общие допустимые преобразования координат. . . . .	189
§ 8.8.	Пространственные измерения и измерения времени в произвольной системе отсчета. Экспериментальное определение коэффициентов $g_{ik}$	192
§ 8.9.	Пространственная геометрия во вращающейся системе отсчета. . . . .	195
§ 8.10.	Мировые линии свободных частиц и световых лучей. . . . .	197
§ 8.11.	Динамические гравитационные потенциалы. . . . .	199
§ 8.12.	Скорость хода движущихся стандартных часов в гравитационном поле. . . . .	200
§ 8.13.	Преобразование координат в фиксированной системе отсчета . . . . .	201
§ 8.14.	Другие простые примеры ускоренных систем отсчета . . . . .	203
§ 8.15.	Жесткие системы отсчета с произвольно движущимся началом. . . . .	205
§ 8.16.	Жесткие системы отсчета, движущиеся в направлении оси $X$ . . . . .	206
§ 8.17.	Парадокс часов. . . . .	208
<b>Глава 9. Неустранимые гравитационные поля. Тензорное исчисление в римановом пространстве общего типа . . . . .</b>		<b>213</b>
§ 9.1.	Четырехмерная формулировка общего принципа относительности и принципа эквивалентности. . . . .	213
§ 9.2.	Контравариантные и ковариантные компоненты 4-вектора . . . . .	214
§ 9.3.	Тензорная алгебра. . . . .	217
§ 9.4.	Псевдотензоры. Дуальные тензоры. . . . .	219
§ 9.5.	Геодезические линии. Формулы Кристоффеля . . . . .	222
§ 9.6.	Локальные псевдодекартовы координаты и локальные инерциальные системы. . . . .	223
§ 9.7.	Параллельный перенос векторов . . . . .	229
§ 9.8.	Абсолютная производная. Перенос Ферми—Уолкера. . . . .	231
§ 9.9.	Локальные жесткие невращающиеся системы отсчета с произвольно движущимся началом. Прецессия Фоккера . . . . .	233
§ 9.10.	Тензорный анализ. Ковариантное дифференцирование. . . . .	238
§ 9.11.	Ковариантное дифференцирование тензорных плотностей. . . . .	241
§ 9.12.	Интегральные теоремы. . . . .	243
§ 9.13.	Тензор кривизны. . . . .	244
§ 9.14.	Свертки тензора кривизны. . . . .	246
§ 9.15.	Специальные системы координат в конечной области пространства—времени. . . . .	246
§ 9.16.	Калибровочно-инвариантные величины. Стандартные 4-тензоры. . . . .	251
<b>Глава 10. Влияние гравитационных полей на физические явления. . . . .</b>		<b>263</b>
§ 10.1.	Фундаментальные уравнения механики точки. . . . .	263
§ 10.2.	Физическая интерпретация уравнений механики точки. Стандартные уравнения движения. Стандартная одновременность. . . . .	265
§ 10.3.	Координатная форма уравнений движения. . . . .	271
§ 10.4.	Лагранжева и гамильтонова формы уравнений движения. . . . .	275
§ 10.5.	Распространение световых сигналов. Принцип Ферма . . . . .	279
§ 10.6.	Распространение световых волн. Фотоны. . . . .	283
§ 10.7.	Доплеровский и эйнштейновский сдвиги спектральных линий . . . . .	287
§ 10.8.	Механика сплошных сред. . . . .	292
§ 10.9.	Уравнения электромагнитного поля. . . . .	298
§ 10.10.	Электромагнитные силы и тензор энергии. . . . .	300
<b>Глава 11. Основные законы гравитации в общей теории относительности. . . . .</b>		<b>303</b>
§ 11.1.	Уравнения гравитационного поля и законы механики. . . . .	303
§ 11.2.	Линейное приближение слабого поля. . . . .	306
§ 11.3.	Простейшие случаи применения линейных уравнений слабого поля . . . . .	309
§ 11.4.	Эквивалентные системы координат. Сферическая симметрия. . . . .	312
§ 11.5.	Статические системы со сферической симметрией. . . . .	313
§ 11.6.	Внешнее решение Шварцшильда. . . . .	314
§ 11.7.	Внутреннее решение Шварцшильда для идеальной жидкости. . . . .	317
§ 11.8.	Вариационный принцип для гравитационного поля. . . . .	321
§ 11.9.	Комплекс энергии—импульса и законы сохранения энергии и импульса для изолированных систем . . . . .	324
§ 11.10.	Суперпотенциал. Полные энергия и импульс изолированной системы. . . . .	328
§ 11.11.	Неизолированные островные системы. Гравитационное излучение. . . . .	331
§ 11.12.	Другие формы комплекса энергии—импульса. . . . .	338
§ 11.13.	Угловой момент изолированных систем. . . . .	342

<b>Глава 12. Экспериментальная проверка общей теории относительности. Космологические проблемы.</b>	346
§ 12.1. Эйнштейновское, или гравитационное, смещение спектральных линий.	346
§ 12.2. Смещение перигелия Меркурия.	351
§ 12.3. Гравитационное отклонение света.	354
§ 12.4. Дальнейшие проверки общей теории относительности.	356
§ 12.5. Космологические модели.	361
§ 12.6. Вселенная Эйнштейна.	362
§ 12.7. Вселенная де Ситтера.	366
§ 12.8. Нестатические модели однородной изотропной Вселенной.	370
§ 12.9. Модели Вселенной, совместимые с ОТО. Вселенная Фридмана.	374
§ 12.10. Соотношения между наблюдаемыми астрономическими величинами.	377
<b>Приложение</b>	380
1. Теорема Гаусса.	380
2. Преобразование 4-плотности тока.	381
3. Плоские волны в однородной изотропной среде.	382
4. Символы Кристоффеля в терминах $\gamma_{\mu\nu}$ , $\gamma_\mu$ , $\chi$ и их производных.	382
5. Условия для плоского пространства.	383
6. Производные от функции $\mathcal{L}$ через $g_{,k}^{lm}$ и $g^{lm}$ и выражения для суперпотенциала.	384
<b>Список литературы.</b>	387
<b>Дополнительный список литературы (составлен научным редактором перевода)</b>	392

**Кристиан Мёллер**

**ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Редактор *Г. П. Паршина*

Художественный редактор *А. Т. Кирьянов*

Технический редактор *И. Н. Подшеблякин*

Корректор *Е. Д. Рагулина*

Сдано в набор 8/X 1974 г. Подписано к печат и 18/IV 1975 г. Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
 Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 35. Уч.-изд. л. 31,88. Тираж 11000 экз.  
 Зак. изд. 72110. Зак. тип. 1174. Цена 3 р. 54 к.  
 Атомиздат 103031 Москва, К-31, ул. Жданова, 5

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете  
 Совета Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли  
 Москва, И-41. Б. Переяславская ул., дом 46