

Е. Г. Бородина

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ И КОСМОЛОГИИ



Тонкие  
Наукоёмкие  
Технологии

$$p = mv =$$

Е. Г. БОРОДИНА

# ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКИ И КОСМОЛОГИИ

Рекомендовано федеральным государственным бюджетным учреждением  
«Федеральный институт развития образования» (ФГБУ «ФИРО»)  
в качестве учебного пособия

для использования в образовательном процессе образовательных организаций,  
реализующих программы высшего образования по направлениям подготовки  
в области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Старый Оскол  
ТНТ  
2023

**УДК 53(075)**  
**ББК 22.3я7**  
**Б833**

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор *Д. Л. Федоров*  
кандидат технических наук, доцент *В. В. Лентовский*

**Бородина Е. Г.**

**Б833**      **Элементы релятивистской механики и космологии :**  
учебное пособие / Е. Г. Бородина. — Старый Оскол : ТНТ,  
2023. — 384 с. : ил.

**ISBN 978-5-94178-807-1**

В учебном пособии рассматриваются основные идеи теории гравитации в их историческом развитии. Анализируются фундаментальные физические теории, раскрывающие закономерности СТО, ОТО и теории тяготения Ньютона. Излагаются важнейшие космологические следствия современной теории тяготения, описываются модели Вселенной, фундаментальная проблема единственности Метагалактики, внутренняя симметрия и проблема иерархии в космологии, другие важные достижения современной физики пространства-времени.

Предназначено для студентов, аспирантов, преподавателей вузов, учителей физики и астрономии. Будет полезно студентам старших курсов технических вузов для самостоятельных занятий при изучении или повторении изученного ранее материала по данной теме, а также при подготовке к зачетам по профильным спецкурсам. Представленная информация может быть полезной и студентам младших курсов при расширенном изучении классических проблем кинематики, динамики Ньютона и теории относительности. Пособие поможет в систематизации и обобщении знаний по курсу «Элементы релятивистской механики и космологии» и формированию мировоззрения с учетом современных астрофизических исследований.

**УДК 53(075)**  
**ББК 22.3я7**

**ISBN 978-5-94178-807-1**

© Бородина Е. Г., 2023  
© Оформление. ООО «ТНТ», 2023

# Оглавление

---

Введение .....	6
<b>ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМА МИРОВОГО ЭФИРА И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ .....</b>	<b>12</b>
1.1. Теория относительности: основные идеи и следствия.....	12
1.2. Проблема мирового эфира и принцип относительности....	17
1.3. Преобразования Лоренца в СТО.....	21
1.4. Вывод преобразований Лоренца по Эйнштейну.....	23
1.5. Основные следствия из преобразований Лоренца .....	25
1.6. Геометрический смысл преобразований Лоренца в четырехмерном континууме .....	29
1.7. Ньютон, принцип относительности Эйнштейна и релятивистский импульс. Основное уравнение динамики в СТО .....	33
1.8. «Реальность» относительности. Лоренцево сжатие и замедление времени .....	35
1.9. Инварианты в СТО. Взаимосвязь релятивистской энергии и импульса.....	37
1.10. Предельная скорость в природе. Соотношение между релятивистской и классической динамикой .....	43
<b>ГЛАВА 2. ТЯГОТЕНИЕ В ТЕОРИИ НЬЮТОНА .....</b>	<b>45</b>
2.1. Закон всемирного тяготения Ньютона. Принципиальные особенности классической теории тяготения .....	45
2.2. Движение тел под действием сил тяготения .....	49
2.3. Ускорение и тяготение. Принцип эквивалентности .....	55
<b>ГЛАВА 3. ТЯГОТЕНИЕ В ТЕОРИИ ЭЙНШТЕЙНА .....</b>	<b>63</b>
3.1. Релятивистская механика и теория поля .....	63
3.2. Кривизна пространства-времени в ОТО.....	66

3.3. Фундаментальные уравнения Эйнштейна .....	70
3.4. Слабые гравитационные поля и наблюдаемые эффекты. Гравитационное излучение .....	74
3.5. Тяготение и квантовая физика. Элементарные частицы и распад вакуума по механизму Хокинга .....	85
<b>ГЛАВА 4. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ .....</b>	<b>97</b>
4.1. Гравитационный радиус тела — радиус Шварцшильда. Черные мини-дыры.....	97
4.2. Массивные и сверхмассивные черные дыры .....	103
4.3. Сингулярность пространства-времени. Структура черной дыры.....	109
4.4. Гравитационное поле вращающейся черной дыры.....	112
4.5. Механизм Пенроуза .....	116
<b>ГЛАВА 5. МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ .....</b>	<b>118</b>
5.1. Статические модели мира. Стационарные Вселенные Ньютона и Эйнштейна.....	118
5.2. Уравнения Фридмана для нестатической Вселенной .....	122
5.3. Метагалактика и закон Хаббла. Гипотеза «горячей» Вселенной и важнейшие этапы ее развития.....	129
5.4. Нестатические модели Леметра и Эйнштейна—де Ситтера ...	150
<b>ГЛАВА 6. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОСМОЛОГИИ .....</b>	<b>154</b>
6.1. Особенности реликтового излучения .....	154
6.2. Формирование галактик и квазаров .....	162
6.3. Элементарные частицы и структура Вселенной.....	168
6.4. Космическая гармония по Пифагору .....	175
6.5. «Тяжелый» электрон и гармония мира по А. Саламу.....	179
6.6. «Жемчужина» физики — принцип Гейзенберга и его роль в эволюции Вселенной .....	188
<b>ГЛАВА 7. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ .....</b>	<b>196</b>
7.1. Проблемы «скрытой массы» и «темной энергии» .....	196
7.2. Топологическое многообразие и сингулярность пространства-времени .....	209
7.3. «Истинная» размерность мира .....	217

---

7.4. Размерность пространства-времени в современной физике и космологии .....	230
7.5. Фундаментальная проблема единственности Метагалактики.....	240
7.6. Внутренняя симметрия и проблема иерархии в космологии.....	246
<b>Заключение .....</b>	<b>252</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>255</b>
<b>Приложения .....</b>	<b>257</b>
<b>Трудные вопросы, задания, задачи и примеры их решения ...</b>	<b>341</b>
1. Трудные вопросы космологии.....	343
2. Трудные задания по физике, математике, астрономии ...	344
3. Трудные вопросы классической физики в простых примерах и задачах .....	348
4. Ответы на трудные вопросы классической физики в простых примерах и задачах .....	357