

# ЭЛЕКТРОННОЕ ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |            |
|---|------------|
| Предисловие.....  | 8          |
| <b>Часть I. НА ПЕРЕДНЕМ КРАЮ ПОЗНАНИЯ.....</b>  | <b>11</b>  |
| <b>Глава 1. Связанные струной.....</b>  | <b>11</b>  |
| Три конфликта.....  | 12         |
| Вселенная в своем самом малом, или что мы знаем о материи.....  | 13         |
| Взаимодействия, или куда делся фотон.....   | 16         |
| Теория струн: основная идея.....  | 18         |
| Теория струн как единая теория всего.....   | 19         |
| Современное состояние теории струн.....   | 21         |
| <b>Часть II. ДИЛЕММА ПРОСТРАНСТВА, ВРЕМЕНИ И КВАНТОВ.....</b>   | <b>23</b>  |
| <b>Глава 2. Пространство, время и взгляд наблюдателя.....</b>   | <b>23</b>  |
| Интуиция и ее изъяны.....   | 24         |
| Принцип относительности.....  | 26         |
| Скорость света.....   | 28         |
| Истина и ее последствия.....  | 30         |
| Влияние на время. Часть I.....  | 30         |
| Влияние на время. Часть II.....   | 32         |
| Жизнь на бегу.....  | 35         |
| И все же: кто движется?.....  | 36         |
| Влияние движения на пространство.....   | 38         |
| Движение в пространстве-времени.....  | 38         |
| Как насчет $E = mc^2$ ?.....  | 41         |
| <b>Глава 3. Об искривлениях и волнистой ряби.....</b>   | <b>43</b>  |
| Ньютоновский взгляд на гравитацию.....  | 43         |
| Несовместимость ньютоновской теории тяготения и специальной теории относительности.....                 | 44         |
| Самая счастливая идея Эйнштейна.....  | 45         |
| Ускорение и искривление пространства и времени.....   | 48         |
| Основы общей теории относительности.....  | 52         |
| Некоторые замечания.....  | 54         |
| Разрешение противоречия.....  | 55         |
| Снова об искривлении времени.....   | 56         |
| Экспериментальное подтверждение общей теории относительности.....                                       | 57         |
| Черные дыры, Большой взрыв и расширение Вселенной.....  | 59         |
| Верна ли общая теория относительности?.....   | 62         |
| <b>Глава 4. Микроскопические странности.....</b>  | <b>64</b>  |
| Квантовая теория.....   | 65         |
| На кухне слишком жарко.....   | 66         |
| Деление на порции на рубеже веков.....  | 67         |
| Что представляют собой порции?.....   | 69         |
| Волна или частица?.....   | 72         |
| Частицы материи также являются волнами.....   | 75         |
| Волны чего?.....  | 76         |
| Точка зрения Фейнмана.....  | 78         |
| Квантовые чудеса.....   | 81         |
| <b>Глава 5. Необходимость новой теории: общая теория относительности versus квантовая механика.....</b> | <b>85</b>  |
| Суть квантовой механики.....  | 85         |
| Квантовая теория поля.....  | 87         |
| Частицы-посланники.....   | 89         |
| Калибровочная симметрия.....  | 90         |
| Общая теория относительности и квантовая механика.....  | 91         |
| <b>Часть III. КОСМИЧЕСКАЯ СИМФОНИЯ.....</b>   | <b>95</b>  |
| <b>Глава 6 Только музыка, или Суть теории суперструн.....</b>   | <b>95</b>  |
| Краткая история теории струн.....   | 96         |
| Снова атомы в духе древних греков?.....   | 99         |
| Объединение через теорию струн.....   | 100        |
| Музыка теории струн.....  | 102        |
| Три следствия жестких струн.....  | 104        |
| Гравитация и квантовая механика в теории струн.....   | 106        |
| Грубый ответ.....   | 106        |
| Ловкость рук?.....  | 109        |
| Более точный ответ.....   | 110        |
| Не только струны?.....  | 114        |
| <b>Глава 7. «Супер» в суперструнах.....</b>   | <b>115</b> |

|   |            |
|---|------------|
| Характер физических законов .....   | 116        |
| Спин.....   | 118        |
| Суперсимметрия и суперпартнеры .....                                      | 119        |
| Доводы в пользу суперсимметрии — до появления теории струн.....           | 120        |
| Суперсимметрия в теории струн .....                                       | 124        |
| Суперпроблема изобилия.....   | 125        |
| <b>Глава 8. Измерений больше, чем видит глаз .....</b>                    | <b>127</b> |
| Иллюзия привычного .....  | 127        |
| Идея Калуцы и уточнение Клейна .....                                      | 128        |
| Взад и вперед по Садовому шлангу .....                                    | 132        |
| Объединение в высших измерениях .....                                     | 134        |
| Современное состояние теории Калуцы—Клейна .....                          | 136        |
| Дополнительные измерения и теория струн .....                             | 137        |
| Некоторые вопросы .....   | 139        |
| Физические следствия дополнительных измерений.....                        | 140        |
| Как выглядят свернутые измерения? .....                                   | 141        |
| <b>Глава 9. Дымящееся ружье: экспериментальные свидетельства.....</b>     | <b>143</b> |
| Перекрестный огонь критики .....  | 144        |
| Дорога к эксперименту .....   | 146        |
| Перебирая возможности .....   | 148        |
| Суперчастицы .....  | 150        |
| Частицы с дробным электрическим зарядом .....                             | 151        |
| Некоторые более отдаленные перспективы .....                              | 152        |
| Оценка ситуации.....  | 153        |
| <b>Часть IV. ТЕОРИЯ СТРУН И СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ ....</b>       | <b>155</b> |
| <b>Глава 10. Квантовая геометрия .....</b>                                | <b>155</b> |
| Суть римановой геометрии.....   | 156        |
| Космологическая сцена.....  | 157        |
| Существенно новая черта .....   | 158        |
| Физические свойства намотанных струн.....                                 | 159        |
| Спектр состояний струны *).....   | 160        |
| Спор двух профессоров.....  | 164        |
| Три вопроса.....  | 165        |
| Два взаимосвязанных понятия расстояния в теории струн.....                | 166        |
| Минимальный размер .....  | 167        |
| Насколько общий этот вывод? .....   | 169        |
| Зеркальная симметрия.....   | 169        |
| Физика и математика зеркальной симметрии .....                            | 172        |
| <b>Глава 11. Разрывающая ткань пространства .....</b>                     | <b>175</b> |
| Волнующая возможность.....  | 177        |
| Зеркальная перспектива .....  | 178        |
| Медленный прогресс .....  | 179        |
| Рождение стратегии.....   | 180        |
| Поздние вечера в последней обители Эйнштейна .....                        | 181        |
| О шести банках пива и работе по выходным .....                            | 183        |
| Момент истины.....  | 183        |
| Подход Виттена .....  | 184        |
| Следствия .....   | 185        |
| <b>Глава 12. За рамками струн: в поисках М-теории .....</b>               | <b>187</b> |
| Краткое изложение результатов второй революции в теории суперструн.....   | 188        |
| Приближенный метод .....  | 190        |
| Классический пример теории возмущений .....                               | 190        |
| Использование теории возмущений в теории струн .....                      | 191        |
| Приближает ли к ответу приближение? .....                                 | 193        |
| Уравнения теории струн .....  | 194        |
| Дуальность .....  | 195        |
| Мощь симметрии.....   | 197        |
| Дуальность в теории струн .....   | 199        |
| Предварительные итоги .....   | 200        |
| Супергравитация .....   | 201        |
| Проблески М-теории.....   | 202        |
| М-теория и паутина взаимосвязей .....                                     | 204        |
| Общая панорама .....  | 205        |
| Сюрприз в М-теории: демократия в протяжении .....                         | 206        |
| Помогает ли это в неразрешенных вопросах теории струн?.....               | 207        |
| <b>Глава 13. Черные дыры с точки зрения теории струн и М-теории .....</b> | <b>209</b> |
| Черные дыры и элементарные частицы.....                                   | 209        |
| Позволяет ли теория струн продвигаться вперед?.....                       | 210        |
| Убежденно разрывающая ткань пространства .....                            | 211        |
| Шквал электронной почты.....  | 213        |

|  |            |
|--|------------|
| Снова о черных дырах и элементарных частицах .....                                 | 214        |
| «Таяние» черных дыр .....  | 215        |
| Энтропия черной дыры .....   | 216        |
| Насколько черно черное? .....  | 218        |
| Ваш выход, теория струн! .....   | 220        |
| Нераскрытые тайны черных дыр .....   | 221        |
| <b>Глава 14. Размышления о космологии.....</b>                                     | <b>224</b> |
| Стандартная космологическая модель .....   | 224        |
| Проверка модели Большого взрыва .....  | 225        |
| От планковских времен до сотых долей секунды после Большого взрыва .....           | 227        |
| Космологическая загадка .....  | 228        |
| Инфляция .....   | 230        |
| Космология и теория суперструн .....   | 231        |
| В начале был комок планковских размеров .....                                      | 232        |
| Почему три? .....  | 232        |
| Космология и вид пространств Калаби—Яу .....                                       | 233        |
| До начала? .....   | 234        |
| М-теория и слияние всех сил природы .....  | 235        |
| Рассуждения о космологии и окончательная теория .....                              | 236        |
| <b>Часть V. ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ В XXI ВЕКЕ .....</b>                                     | <b>240</b> |
| <b>Глава 15. Перспективы .....</b>   | <b>240</b> |
| Что является фундаментальным принципом теории струн? .....                         | 241        |
| Что есть пространство и время на самом деле, и можем ли мы без них обойтись? ..... | 242        |
| Приведет ли теория струн к переформулировке квантовой механики? .....              | 245        |
| Можно ли теорию струн проверить экспериментально? .....                            | 246        |
| Существуют ли пределы познания? .....  | 247        |
| Достичь звезд .....  | 248        |
| <b>Примечания .....</b>  | <b>250</b> |
| <b>Словарь научных терминов .....</b>  | <b>264</b> |
| <b>Рекомендуемая литература .....</b>  | <b>270</b> |
| <b>Именной указатель .....</b>   | <b>271</b> |
| <b>Предметный указатель .....</b>  | <b>274</b> |
| <b>Оглавление .....</b>  | <b>284</b> |
| <b>ЭЛЕКТРОННОЕ ОГЛАВЛЕНИЕ .....</b>  | <b>290</b> |