

## Рекомендуемая литература

- Abbot Edwin A. *Flatland: A Romance of Many Dimensions*. Princeton: Princeton University Press, 1991. (Рус. пер.: *Эббот Э. Флатландия*. М.: Амфора, 2001.)
- Barrow John D. *Theories of Everything*. New York: Fawcett-Columbine, 1992.
- Bronowski Jacob. *The Ascent of Man*. Boston: Little, Brown, 1973.
- Clark Ronald W. *Einstein, The Life and Times*. New York: Avon, 1984.
- Crease Robert P., and Charles C. Mann. *The Second Creation*. New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 1996.
- Davies P. C. W. *Superforce*. New York: Simon & Schuster, 1984. (Рус. пер.: *Дэвис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы. М.: Мир, 1989.)
- Davies P. C. W. and J. Brown, eds. *Superstrings: A Theory of Everything?* Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1988.
- Deutsch David. *The Fabric of Reality*. New York: Allen Lane, 1997. (Рус. пер.: *Дойч Д.* Структура реальности. Ижевск: РХД, 2001.)
- Einstein Albert. *The Meaning of Relativity*. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- Einstein Albert. *Relativity*. New York: Crown, 1961.
- Ferns Timothy. *Coming of Age in the Milky Way*. New York: Anchor, 1989.
- Ferns Timothy. *The Whole Shebang*. New York: Simon & Schuster, 1997.
- Föking Albrecht. *Albert Einstein*. New York: Viking, 1997.
- Feynman Richard. *The Character of Physical Law*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995. (Рус. пер.: *Фейнман Р.* Характер физических законов. М.: Мир, 1968.)
- Gamow George. *Mr. Tompkins in Paperback*. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1993. (См. рус. изд.: *Гамов Г.* Мистер Томпкинс в Стране Чудес, или истории о с, e и h. М.: УРСС, 2003; *Гамов Г.* Мистер Томпкинс исследует атом. М.: УРСС, 2003.)
- Gell-Mann Murray. *The Quark and the Jaguar*. New York: Freeman, 1994.
- Glashow Sheldon. *Interactions*. New York: Time-Warner Books, 1982.
- Guth Alan H. *The Inflationary Universe*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1997.
- Hawking Stephen. *A Brief History of Time*. New York: Bantam Books, 1988. (Рус. пер.: *Хокинг С.* От Большого взрыва до черных дыр. М.: Мир, 1990.)
- Hawking Stephen, and Roger Penrose. *The Nature of Space and Time*. Princeton: Princeton University Press, 1996. (Рус. пер.: *Хокинг С., Пенроуз Р.* Природа пространства и времени. Ижевск: РХД, 2000.)
- Hey Tony and Patrick Walters. *Einstein's Mirror*. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1997.
- Kaku Michio. *Beyond Einstein*. New York: Anchor, 1987.
- Kaku Michio. *Hyperspace*. New York: Oxford University Press, 1994.
- Lederman Leon, with Dick Teresi. *The God Particle*. Boston: Houghton Mifflin, 1993.
- Lindley David. *The End of Physics*. New York: Basic Books, 1993.
- Lindley David. *Where Does the Weirdness Go?* New York: Basic Books, 1996.
- Overtbe Dennis. *Lonely Hearts of the Cosmos*. New York: HarperCollins, 1991.
- Pais Abraham. *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. New York: Oxford University Press, 1982. (Рус. пер.: *Пайс А.* Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М.: Наука, Физматлит, 1989.)
- Penrose Roger. *The Emperor's New Mind*. Oxford, Eng.: Oxford University Press, 1989. (Рус. пер.: *Пенроуз Р.* Новый ум короля. М.: УРСС, 2003.)
- Rees Martin J. *Before the Beginning*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1997.
- Smolin Lee. *The Life of the Cosmos*. New York: Oxford University Press, 1997.
- Thorne Kip. *Black Holes and Time Warps*. New York: Norton, 1994.
- Weinberg Steven. *The First Three Minutes*. New York: Basic Books, 1993. (Рус. пер.: *Вайнберг С.* Первые три минуты. М.: Мир, 1981.)
- Weinberg Steven. *Dreams of a Final Theory*. New York: Pantheon, 1992. (Рус. пер.: *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории. М.: УРСС, 2004.)
- Wheeler John A. *A Journey into Gravity and Spacetime*. New York: Scientific American Library, 1990.

## Именной указатель

- Альбрехт Андреас 230  
Альфер Ральф 226  
Амальди Уго 123  
Амати Даниэле 21  
Амлер Анри-Мари 118  
Аспект Алан 82  
Аспиунуолль Поль 9, 178, 180–184, 213  
Аштекар Абхей 254
- Бардин Джеймс 218  
Батырев Виктор 179, 180, 182  
Бах Иоганн Себастьян 120  
Бекенштейн Якоб 217–220  
Белл Джон 82  
Богомольный Е. 198  
Бозе Сатендра 121  
Бойян Янош 156  
Бор Нильс 14, 66, 75, 76, 81, 96  
Борн Макс 76, 77, 79  
Бранденбергер Роберт 166, 169, 232–234  
Броновский Якоб 249  
Банкс Том 204, 244
- Вайнберг Стивен 9, 20, 88, 121–123, 228  
Вафа Кумрун 9, 10, 145, 166, 169–171, 182, 220, 222, 232–234, 246, 257, 261–263  
Вельс Герман 91  
Венециано Габриэле 9, 10, 96, 124, 234, 242, 262  
Весс Юлиус 125  
Вильсон Роберт 226  
Вильчек Франк 122  
Виттен Эдвард 10, 21, 22, 98, 114, 126, 139, 141, 143, 145–148, 152, 170, 179, 181–186, 195, 196, 199, 201–204, 208, 211, 213, 235, 240, 244, 246, 250, 255–258, 261–263
- Галилей Галилео 27  
Гамов Георгий 69, 226  
Гасперини Маурицио 234  
Гаусс Карл Фридрих 156  
Гейзенберг Вернер 8, 81–83, 85, 86, 110, 114, 267  
Гелл-Манн Мюррей 14, 19, 145  
Геннер Дорон 171  
Герц Генрих 69  
Гивенталь Александр 174  
Гисспарт Поль 144
- Глэшоу Шелдон 10, 88, 121, 144, 145, 221, 228, 257, 261  
Горювич Гари 141, 146  
Гудсмит Самюэль 118  
Грин Майкл 10, 95, 97, 98, 212, 255  
Грин Пол 173  
Гросс Дэвид 108, 122, 145, 260  
Гут Алан 230, 234  
Гойтене Христиан 72
- Дайсон Фриман 87  
Дайсон Фрэнк 58  
Даффер Майкл 9, 139, 195, 260  
Джермр Пестер 76  
Джорджи Говард 10, 121–123, 144, 145, 257  
Джулиа Бернард 201  
Дикке Роберт 226  
Диксон Ленс 170  
Димопулос Сава 256  
Дирак Поль 87, 110, 114  
Дэвиссон Чарльз 58  
Дэвиссон Клинтон 76
- Зайберг Натан 198, 211  
Зоммерфельд Арнольд 48  
Зумино Бруно 125
- Израэль Вернер 209
- Калоби Эудженнио 141, 257  
Каллап Кертин 261  
Калуца Теодор 128, 129, 131, 134–136, 138–140, 158, 160, 189, 257  
Канделас Фелипп 141, 146, 172, 173, 179, 182, 212  
Картер Брендон 209, 218  
Каш Шелдон 179  
Кеплер Иоганнес 44  
Керр Рой 209  
Киккава Кейджи 160  
Киношита Тойкиро 88  
Клебанов Игорь 262  
Клейн Оскар 129, 131, 134, 135, 138, 139, 158, 160, 254  
Клеменс Геро 212  
Конн Алан 244

Коневич Максим 174  
 Коудмен Сидни 10, 118  
 Коуэн Клайд 14  
 Креммер Юджин 201  
 Кроммелин Эндрю 58  
 Куинн Хелен 121–123

Лаплас Пьер-Симон, де 221, 261  
 Лейбниц Готфрид 242, 243, 246  
 Лерхе Вольфганг 170  
 Ли Джун 174  
 Лиан Бонг 174  
 Ликкен Джозеф 255, 256  
 Линде Андрей 230, 237  
 Линкер Моника 172  
 Лину Кефенг 174  
 Лобачевский Николай 156  
 Лоренц Хендрик 115, 252  
 Льюиси Фердинандо 125  
 Льюис Пильберт 71  
 Люткен Энди 178

Максвелл Джеймс Клерк 12, 23, 135, 245, 268  
 Малласена Хуан 262  
 Мандула Джеффри 118  
 Манин Юрий 174  
 Мах Эрнст 243  
 Менде Пол 108  
 Миллс Роберт 91  
 Минковский Герман 40, 51, 252, 260  
 Моррисон Дэвид 9, 179–184, 212–216

Намбу Йохиро 96  
 Наппи Кьяра 181  
 Невье Андре 125  
 Нильсен Хольгер 96  
 Нусинов Шмуль 146  
 Ньювенхейзен Питер, ван 201  
 Ньютон Исаак 12, 43–45, 53, 54, 57, 72, 143, 242, 243, 245

Олив Дэвид 125  
 Осса Ксения, де ла 173

Паркс Линда 173  
 Паули Вольфганг 14, 87, 110  
 Пензиас Арно 226  
 Пенроуз Роджер 176, 209, 254  
 Пиблз Джим 226  
 Пифагор 250  
 Планк Макс 23, 64, 66–69, 71, 75, 253, 261  
 Плессер Ронен 9, 170–173, 178–180, 214

Политцер Дэвид 122  
 Польчински Джо 199, 206, 258  
 Поляков Александр 255, 262  
 Прайс Ричард 209  
 Прасал Маножд 198  
 Прескилл Джон 222

Раби Исидор Исаак 14, 15, 120  
 Райнес Фредерик 14  
 Рамон Пьер 10, 125  
 Резерфорд Эрнст 14, 139  
 Рейд Майлс 212  
 Римап Георг Бернхард 61, 155, 156  
 Роан Ши-Шир 180  
 Робертсон Говард 224  
 Робинсон Дэвид 209  
 Росс Грэм 171, 178

Салам Аблус 88, 121, 228  
 Сасскинд Леонард 96, 204, 220, 244, 262  
 Сен Ашок 195, 220  
 Смолин Ли 239, 262  
 Соммерфилд Чарльз 198  
 Стейнхард Пол 230  
 Строминджер Эндрю 9, 10, 141, 146, 147, 206, 211–216, 220, 222, 261

Таунсенд Пол 139, 195, 200, 207, 260  
 Тиан Ганг 174, 177, 178  
 Томонага Син-Итиро 87  
 Томсон Дж. Дж. 14  
 Торн Кип 222

Уилер Джон 10, 55, 59, 93, 209, 217, 252  
 Уленбек Джордж 118  
 Уокер Артур 224  
 Уорнер Николас 170, 182

Фарадей Майкл 23  
 Фейнман Ричард 65, 72, 75, 78–80, 87, 110, 144, 253, 255, 260  
 Ферми Энрико 121  
 Феррара Серджио 201  
 Фишлер Вилли 204, 244  
 Фридман Александр 61, 224  
 Фридман Дэниел 201  
 Фридман Роберт 212  
 Фюрстенберг Герман 123

Хаббл Эдвин 61, 157, 224, 238  
 Халл Крис 139, 195, 200

Харви Джеффри 170, 259  
 Харл Джеймс 237  
 Херман Роберт 226  
 Хокинг Стивен 78, 85, 209, 217–222, 237, 253, 261  
 Хофава Петр 202  
 Хофт Герард 'т 262  
 Христовулу Деметриос 209  
 Хюбш Тристан 212

Челвик Джеймс 14

Шварц Джон 10, 95, 97, 98, 103, 105, 119, 125, 150, 195, 255, 258  
 Шварцшильд Карл 59, 61, 223  
 Швингер Юлиан 87  
 Шенкер Стивен 204, 244  
 Шерк Джоэль 97, 103, 105, 119, 125, 201  
 Шиммригк Рольф 172

Шредингер Эрвин 76, 78, 79, 87, 254  
 Штремме Штейн Арилд 173, 174

Эббот Эдвин 132, 134, 257  
 Эддингтон Артур 58, 59, 115  
 Эйлер Леонард 96  
 Эйнштейн Альберт 8, 9, 11–13, 19, 22–25, 27–31, 40, 41, 43, 45–59, 61, 62, 65, 66, 69–71, 74, 75, 78, 82, 115, 117, 127, 129, 132, 134, 135, 143, 152, 153, 155, 156, 159, 169, 171, 180, 181, 186, 187, 224, 241, 246, 247, 249, 250, 252, 253, 257, 266, 268  
 Эллингсруд Гейр 173, 174

Юнг Томас 72, 74

Ямасаки Масами 160  
 Янг Чень-Нин 91, 257  
 Яу Шин-Тун 141, 174, 177, 178

## Предметный указатель

- Алгебраическая геометрия 172  
 амплитуда волн см. волны, гребни и впадины  
 — волны 66, 67, 77, 101  
 — электромагнитных волн 66  
 антикварки 151  
 антиматерия в сравнении с материей 15, 111  
 антиструны в сравнении со струнами 233, 192  
 античастицы 15, 86, 111, 119, 122, 255  
 антропный принцип 238, 239  
 астрономы 45, 61, 152, 157, 167, 219, 225, 226  
 атомы 11, 13, 14, 19, 96, 99
- Бета-функция Эйлера** 96  
 Большое сжатие 158, 160, 168  
 — и теория струн 158, 168  
 Большой адронный коллайдер 150, 151  
 Большой взрыв 11, 12, 14, 20, 41, 62, 63, 85, 88, 106, 108, 116, 139, 152, 157, 169, 186, 209, 221, 224–227, 229–231, 234, 239  
 — в стандартной космологической модели 229, 231  
 — в струнной космологии 169  
 — и критическая плотность Вселенной 157  
 — как извержение пространства-времени 62  
 браны 189, 206, 207, 211, 214, 220  
 — как защитные экраны 214  
 —, масса 215  
 —, намотанные конфигурации 215
- Великое объединение** 121  
 —, расстояние и характерная сила взаимодействий 122  
 вероятностные волны 78–80, 83  
 вероятность 77  
 — в квантовой механике 77, 78, 84, 138, 221  
 — и волновая природа вещества см. вероятностные волны  
 —, измерение 78  
 вино (частицы) 120  
 влияние движения на время жизни мюона 35  
 — на продолжительность жизни человека 35, 36  
 — на различие точек зрения наблюдателей 36, 40  
 волновые функции см. вероятностные волны  
 волны, гребни и впадины 76, 81
- звуковые 73  
 — на воде 72–74, 79  
 — световые см. электромагнитные волны  
 — частиц материи 72, 75  
 —, частота 66, 68, 69  
 — электронов см. вероятностные волны  
 время и искривление времени см. общая теория относительности; искривление пространства-времени  
 — и черные дыры 57, 60  
 —, измеренное с помощью световых часов 33  
 — как измерение 40, 41, 127  
 Вселенная 11, 12  
 —, временная шкала эволюции 231  
 —, двумерная см. вселенная Садового шланга  
 —, измерения 13, 127  
 — и мульти-вселенная 238, 239  
 —, критическая плотность 157  
 —, микроскопические свойства см. масштабы в квантовой механике; масштабы в теории струн  
 —, пределы познания 247, 248  
 —, происхождение 62, 224  
 —, размер 157, 167  
 —, расширение и сжатие см. Большой взрыв; Большое сжатие  
 —, рождение из точки 62  
 —, симметрия сильного взаимодействия 90  
 —, стабильность 116  
 —, червоточины и «U-образная» вселенная 176  
 вселенная Садового шланга 132–134, 138, 158–162, 164, 238, 258  
 — — — и квантовая геометрия 160  
 — — — и теория Калуцы—Клейна 129, 158  
 — — — и точечные частицы 159
- Галактики** 11, 12, 18, 26, 43, 61, 62, 85, 146, 157, 225, 238  
 —, образование 18, 225  
 гетеротические E-струны (гетеротические E<sub>8</sub> × E<sub>8</sub> струны) 126, 187, 202, 205, 206, 260  
 — O-струны (гетеротические O(32) струны) 126, 200, 202, 204, 205, 260  
 гипотеза Диксона—Лерхе—Ваффа—Уорнера 170, 171  
 глюино 120
- глюоны 16, 89  
 — как частицы, передающие сильное взаимодействие 90  
 —, спин 119  
 —, суперпартнеры 120  
 голографический принцип 262  
 горизонт событий 59, 60, 176, 217, 218, 239, 261  
 — — — и гравитационное взаимодействие 60, 218  
 — и закон увеличения площади 218  
 гравитационное взаимодействие 16, 17, 55, 95  
 — в ньютоновской гравитации см. универсальная ньютоновская теория гравитации  
 — в ОТО 91, 241, 242  
 — в принципе эквивалентности 241  
 — в сравнении с электромагнитным 17  
 — в теории Калуцы—Клейна 135  
 — и горизонт событий 176  
 — и критическая плотность 157  
 — и масса 16, 17  
 — и образование/коллапс звезд 18, 220  
 — и пространства Калаби—Яу 235  
 — и теория струн 97, 100, 119, 149, 228  
 —, квантовая теория поля 90, 92, 106, 119  
 — Луны и Солнца 191  
 — на космических станциях 49  
 —, характерная сила 121  
 — черных дыр 209  
 — поле 109, 176, 243  
 гравитоны 16, 17, 90, 243  
 — и резонансные моды струны 114  
 — как частицы, передающие гравитационное взаимодействие 90, 113  
 —, спин 119, 143, 148  
 Гринвичская обсерватория 58
- Движение в отсутствие сил** см. равномерное движение  
 — в ньютоновской теории гравитации 47, 48, 236  
 —, влияние на ход часов 32–35  
 — и принцип относительности см. также ускоренное движение, равномерное движение 25–27  
 — с переменной скоростью см. ускоренное движение  
 двойные звезды 12, 29  
 дейтерий 225, 226  
 детерминизм и черные дыры 221, 222  
 — классический в сравнении с квантовым 221  
 длина волны 66, 67, 101  
 — частиц материи 76, 108  
 длительность 30  
 дуальность 188, 195, 197, 199, 204, 231, 245
- и зеркальная симметрия 196  
 — и квантовая геометрия 205  
 — и константа связи струны 197, 205, 206  
 — и суперсимметрия 197, 246  
 — сильной/слабой связи 199
- Евклидова геометрия** 51  
 единая теория поля Эйнштейна 8, 187
- Закон термодинамики, второй** 217  
 законы движения Ньютона 12, 24, 221, 243  
 замедление времени 26  
 заряды взаимодействий 17, 89, 90  
 — и резонансные моды струн 140  
 — черных дыр 209  
 звезды 11, 18, 43, 58  
 —, видимое и истинное положение 58  
 —, коллапс 18, 220  
 —, образование 238, 239  
 звуковые волны 73  
 Земля 43, 45, 52, 117, 190  
 — и гравитационное воздействие Солнца 53, 55, 56, 191  
 зеркальная симметрия 169, 172–174, 178, 179, 184, 196, 257  
 — и дуальность 196  
 — и зеркальные многообразия см. зеркальные многообразия  
 — и флор-перестройка 178, 179, 181  
 —, физические и математические свойства 172, 178, 181  
 зеркальные многообразия 172, 178, 180–182  
 —, сравнение методов их построения в математике и в физике 179  
 зино 120
- Измерения в Линляндии** 133, 158, 233  
 — в СТО 40, 127  
 — в супергравитации 201  
 — в теории Калуцы—Клейна 128–132, 135  
 — в теории струн 13, 137–142, 146–149, 159, 160, 189, 201, 203, 206, 231, 232, 242, 244  
 — и инфлюидный переход 212  
 — и флор-перестройка 186  
 — различных видов см. свернутые измерения; различные измерения  
 — протонное измерение  
 импульс 76, 86  
 Институт перспективных исследований 179, 180, 198  
 интерференционная картина 74, 76, 79, 80  
 инфляционная космология 230, 232, 234  
 инфракрасное излучение 70

- искривление пространства-времени, аналогия с искривлением резиновой пленки и шара для бублика 53, 54
- в ОТО 48, 51, 52, 55, 56
  - и Большой взрыв 59
  - и масса 54, 59
  - и нейтронные звезды 57
  - и черные дыры 59
  - , риманова геометрия и анализ искривления 175
  - , траектории света звезд как доказательство искривления 58
  - траекторий движения света и солнечные затмения 58
- Калибровочная симметрия** 90, 91, 118, 148, 241, 254
- калибровочные бозоны слабого взаимодействия 16, 89, 102
  - — — как частицы, передающие слабое взаимодействие 119
  - — —, спин 119
  - — —, суперпартнеры 120
  - квазары 61, 225
  - квантовая геометрия 156, 168, 169
  - , взаимная замена топологических и колебательных чисел 162, 163
  - и дуальность 205
  - и зеркальная симметрия 172
  - , минимальный размер 156, 159, 167
  - квантовая механика 11, 12, 64, 65
  - , альтернативная фейнмановская формулировка 81
  - в сравнении с классической физикой 82, 118
  - , вероятности 77, 78, 84, 138, 221
  - , ее развитие и теория струн 153
  - и Вселенная 12, 13, 78, 85, 136, 245
  - и ОТО 11–13, 19, 63, 85, 105, 106, 125, 136, 137, 153, 209, 216
  - и теория Калуцы—Клейна 131
  - , масштабы 11, 65, 114
  - , математический формализм 221, 246
  - , смысл 80
  - , теория струн и новая формулировка квантовой механики 65, 247
  - , точность и барьер на пути ее увеличения 185
  - квантовая пена 92, 93, 109
  - квантовая теория поля *см. также* квантовая хромодинамика, квантовая электродинамика, квантовая теория электрослабых взаимодействий 87, 88, 110, 111, 125, 145, 201
  - — — гравитационного взаимодействия 88, 90, 91
  - — — и СТО 87
  - — — точечных частиц 201, 227
  - — — и взаимодействие частиц 110, 111, 113
  - — — электрослабых взаимодействий 88
  - квантовая хромодинамика 88
  - квантовая электродинамика, фотоны в КЭД 88
  - , электроны в КЭД 88
  - квантовое размазывание 106, 108
  - туннелирование 83
  - кванты 71, 85
  - кварки 11, 12, 14, 15, 90, 104, 120, 151, 220, 247
  - и сильное взаимодействие 16, 18, 90
  - , названия 14
  - , открытия 14
  - , суперпартнеры 120
  - , типы 14
  - , киральность 257
  - классическая физика в сравнении с квантовой механикой *см. также* теория электромагнетизма Максвелла; законы движения Ньютона; универсальная теория гравитации Ньютона 87, 118, 223, 245
  - и теория возмущений 190
  - когерентные состояния струн 243
  - колебательное число 162
  - конифолдный переход *см. также* флоп-перестройка 214
  - в пространстве Калаби—Яу 212–216, 233
  - и измерения 212
  - и сфера 210, 212
  - константа связи струны 193
  - — —, величина 199
  - — —, значения 193, 194, 199, 202, 203, 206, 207, 235, 260
  - — — и состояния БПС 199
  - «конструктивный» подход к черным дырам 220
  - конференция «Струны» 196, 202
  - корпускулярно-волновой дуализм 75, 87
  - и материя 75–76
  - и свет 75
  - космические лучи 14
  - космологическая постоянная 61, 152, 253
  - , значение 153
  - и Эйнштейн 61, 152
  - космология 139, 224
  - и пространства Калаби—Яу 233, 234
  - и теория струн 231, 234, 235, 237
  - , стандартная космологическая модель 224, 227–230

- , теория всего и рассуждения о космологии 236
  - кривизна пространства-времени *см. пространство-время, искривление*
  - Легкие моды струны 167, 168
  - Линияция 132–134, 158, 233, 262
  - лоренцево сокращение 50
  - Луна 43–45, 54, 117, 191, 252
  - , гравитационное воздействие полей Земли и Солнца на нее 191, 252
  - при солнечных затмениях 58
- М**-теория *см. также* теория струн 189, 202, 204–206, 208, 235, 239, 244–248, 260, 262
- , взаимосвязи в М-теории 204
  - , задачи на будущее 189
  - и антропный принцип 238
  - и Виттен 204
  - и дуальность 205, 206, 208, 246
  - и мульти-вселенная 238
  - и объединение фундаментальных взаимодействий 235
  - и супергравитация 205
  - , название 189, 204
  - , протяженные объекты 206, 212
  - , становление 237
  - магнетизм 23, 118, 135
  - масса 41
  - бран 215
  - звезд 57, 59, 60, 191
  - и гравитационное взаимодействие 16, 17, 44
  - и искривления пространства-времени и времени 54, 59
  - и корпускулярно-волновой дуализм 75
  - и натяжение струны 106
  - и резонансные моды струн 101, 140, 141
  - и энергия 41, 42, 101, 159
  - намотанных струн 159
  - суперпартнеров 247
  - частиц в пространствах Калаби—Яу 147, 172, 184, 186, 236
  - черных дыр 210
  - элементарных частиц 15, 98, 102, 141, 143, 186, 250
  - масштабы в квантовой механике 11, 65, 109, 114
  - в ОТО 91
  - в теории струн 99, 100, 108, 109, 146, 158, 166, 215, 244
  - , значения 11–14, 44
  - в сравнении с антиматерией 15, 111
  - , волны 75
  - , состав 12, 15, 99
- микроволны 226
  - мировая поверхность 112
  - как экран при разрывах пространства 185, 211
  - Млечный путь 62, 157, 238
  - модель атомов 14
  - мульти-вселенная 137, 238
  - и антропный принцип 239
  - и симметрия 237
  - и «теория всего» 238
  - , образование 239
  - моонное нейтрино 15
  - мооны 14
  - , движение и оценка времени жизни 35
- Намотанные струны** 151, 159, 164, 232
- в сравнении с ненамотанными 159
  - и геометрические свойства сверхтонких измерений 159
  - и расширение измерений 232
  - , массы 159
  - , энергия 159, 160, 162, 166
  - нарушение симметрии 88
  - и ранняя Вселенная 227, 232
  - научные теории, стандартная схема построения 245
  - , эстетические критерии 115
  - нейтрино 14, 102, 152
  - , суперпартнеры 120
  - нейтронные звезды 57, 153
  - нейтроны 14, 16, 18, 44, 90, 220, 225
  - некоммутативная геометрия 244
  - ненамотанные струны в сравнении с намотанными 159, 166
  - низкая энтропия в сравнении с высокой 217
  - нюль-браны 244
  - Ньютоно к корпускулярной природе света 74
- Общая теория относительности** 11, 43, 45, 48, 52, 54–59, 61, 62, 85, 91, 115, 153, 175, 223, 241
- и гравитационное взаимодействие 52
  - и квантовая теория 8, 11–13, 19, 63, 65, 78, 85, 91–94, 105, 106, 108, 110, 114, 125, 126, 136, 137, 153, 209, 216
  - и ньютоновская теория гравитации 45, 55
  - и принцип эквивалентности *см. принцип эквивалентности*
  - и расширение/сжатие Вселенной 157, 160, 224, 226, 230, 232
  - и теория Калуцы—Клейна 135
  - , искривление пространства в ОТО 48, 51–54, 56, 59

— — —, масштабы 91—93  
 — — —, математические основы 61, 155  
 — — —, приложения 157  
 — — —, экспериментальная проверка 57, 58  
 — — —, эстетические критерии 115  
 обычные колебания струн 105, 160, 164  
 однородные колебания струн 160, 162, 164  
 окончательная теория, см. теория всего  
 окружность 211—213  
 —, измерение длины на плоских и искривленных поверхностях 49, 50  
 — и конифолдный переход 212  
 орбифолды 170, 171

Пары виртуальных струн 192, 193, 245  
 первичный нуклеосинтез 225, 226  
 переходы с изменением топологии см. конифолдный переход; флоп-перестройка  
 петли струн 18, 19, 99, 101, 104, 192, 249, 259  
 Планк и разрешение парадокса бесконечной энергии 66, 67  
 планковская длина 93—96, 99, 100, 104, 108, 122, 132, 146, 152, 160, 164, 166—168, 200, 232, 244, 249, 254  
 — масса 104, 106, 151, 210  
 — энергия 70, 104—106, 163  
 планковское время см. также инфляционная космология; стандартная космологическая модель; струнная космология 225, 227  
 — натяжение 103, 104  
 плоское пространство 52, 56, 91  
 позитроны 15, 86, 111, 198  
 —, взаимодействие с электронами 111  
 постое Большого взрыва 225—230, 233  
 постоянная Планка  $h$  64, 69, 76, 84, 93, 253, 254  
 принцип относительности 26, 28, 34  
 — эквивалентности 48, 117, 241, 242, 252  
 — и симметрия 117, 241  
 проблема горизонта 228  
 — и инфляция 230  
 продолжительность жизни и влияние движения на ход времени 35  
 пространства (многообразия) Калаби—Яу 141, 142, 146, 147, 170  
 — и гравитационное взаимодействие 235  
 — и дробные электрические заряды 151  
 — и зеркальная симметрия 172, 261  
 — и космология 233, 234  
 — и массы частиц 147, 184, 186  
 — и орбифолды 171  
 — и частицы-переносчики 148  
 —, семейства частиц и отверстия в многообразиях 147, 170

пространственно-временные туннели 176  
 пространство (многообразия) Калаби—Яу и конифолдный переход 212—216, 233  
 — (многообразия) Калаби—Яу и флоп-перестройка 177, 181, 210  
 —, гладкость структуры 175  
 — плоское 52, 56, 91  
 —, структура см. пространство-время  
 пространство-время 46, 51, 52  
 —, Большой взрыв и извержение пространства-времени 62  
 — в ОТО см. общая теория относительности, искривление пространства-времени  
 — в СТО 12  
 —, искривление 48, 51, 56, 59  
 —, природа 117, 223  
 —, теория струн и природа пространства-времени 12, 13, 96, 127, 156, 243, 244, 246  
 протоны 14, 16, 18, 19, 44, 90, 104—106, 152, 167, 210, 220, 225, 257  
 протяженное измерение 129—131, 134, 165, 237, 260  
 — в М-теории 206, 207, 212  
 —, разрыв пространства-времени 186, 212

Равномерное движение 27, 28  
 — в специальной теории относительности 24, 27, 28  
 — и световые часы 33  
 радиоактивный распад 16, 35, 90  
 разрыв пространства-времени 175, 176, 179, 181, 184  
 —, браны как защитный экран при разрыве 211, 214  
 — в наше время 186  
 — в протяженных измерениях 186, 212  
 — в теории точечных частиц и в теории струн 184  
 — и конифолдный переход 186, 212, 215, 233  
 — и пространственно-временные туннели 175, 176  
 — и флоп-перестройка 177, 214  
 — и черные дыры 176  
 —, мировая поверхность струны как защитный экран при разрывах 185, 211  
 расстояние 30  
 — в теории струн 166  
 революция в теории суперструн, вторая 99, 114, 139, 188, 189, 195, 197, 203, 204, 211, 220, 231, 235  
 — —, первая 98, 195  
 редукционизм и теория струн 20  
 резонансные моды звуковых волн 101  
 — и темная материя 152

— струн 19, 100—103, 106, 140, 141, 151  
 реликтовое космическое излучение 225  
 — — —, температура 152, 228  
 релятивистская квантовая теория поля см. квантовая теория поля  
 рентгеновские лучи 70  
 риманова геометрия 155, 156  
 — —, анализ искажения расстояний 175  
 — и исследования в космологии 157  
 — и теория струн 155, 157, 158

Свернутые измерения 129, 131, 134—137, 139—142, 147—149, 185, 213, 232  
 — —, геометрический вид 141, 148, 151  
 — и время см. также пространство Калаби—Яу 140  
 — и резонансные моды струны 141  
 — и супергравитация 201  
 — и частицы с дробным зарядом 151  
 —, размер 131, 141, 256  
 сверхпроводящий суперколлайдер 146  
 свет и черные дыры см. также электромагнитные волны 59, 60, 176, 218, 219  
 —, состав 72  
 —, цвет 70, 71  
 световой год 165  
 световые волны см. электромагнитные волны  
 — часы 33—35, 71, 250  
 —, разность показаний движущихся и неподвижных световых часов 34, 250  
 —, «тики» 33  
 семейства элементарных частиц 15, 89, 119, 143, 146, 147, 149  
 сильное взаимодействие 16, 17, 96, 97, 121, 237  
 — и кварки 16, 18, 90  
 — и теория струн 96, 97  
 — и электромагнитное взаимодействие 16, 121

симметрии природы и законы физики 115, 117, 241  
 симметрия см. также суперсимметрия 115, 117, 197  
 — зеркальная 169, 172—174, 178, 179, 184, 196, 257, 259  
 — и мульти-вселенная 237  
 — и принцип эквивалентности 117, 241  
 — калибровочная 90, 91, 118, 148, 241, 254  
 — относительно вращений 119, 227  
 — сильного взаимодействия 90  
 сингулярности 176, 223  
 — и теория струн 223  
 синтез 22  
 системы тройных звезд 191

скварки 120  
 скорость 24  
 — звука 44  
 — и эффекты СТО 25, 26, 32, 57  
 — света 13, 23, 229, 250  
 — в формуле  $E = mc^2$  41  
 — и гравитационные возмущения 13, 44  
 — и законы Ньютона 24  
 — и СТО 24, 28  
 — и теория электромагнетизма Максвелла 12, 24  
 — —, постоянство 29—32, 34, 35, 38, 43  
 слабое взаимодействие 16, 17, 19, 250  
 — — в ранней Вселенной 227—228  
 —, частицы-переносчики 89—90  
 sneйтрони 120  
 солнечные затмения 45, 58  
 Солнце 14, 43—45, 52  
 —, гравитационное воздействие 16, 53, 56, 191  
 соотношение неопределенностей 81, 83—87, 91, 93, 104, 108, 161, 166, 219, 221  
 — и измерения нал частицами 81—83, 86, 108  
 состояния БПС, вид 206  
 — и дуальность струн 199  
 — и суперсимметрия 198, 206  
 — и экстремальные черные дыры 220  
 специальная теория относительности 12, 13, 24, 25, 28, 35—37, 39  
 — — в квантовой теории поля 87  
 — — и скорость света 28, 38, 43—45  
 — —, измерения 40, 127  
 — —, кажущиеся противоречия СТО интуитивным представлениям 24, 36  
 — —, пространство-время 12, 13, 51, 56, 57, 243  
 — —, равномерно движущиеся наблюдатели 28, 48, 117  
 — —, сравнение с универсальной теорией гравитации Ньютона 13, 24, 44, 55  
 спин 118  
 — бозонов 119  
 — фермионов 121, 124  
 — частиц-переносчиков взаимодействия 119, 120, 148  
 — черных дыр 209  
 — элементарных частиц 119  
 спутник COBE 226  
 стандартная космологическая модель 224  
 — и проблема горизонта 230  
 — и реликтовое излучение 228  
 — и теория струн 98, 103, 224, 231, 232  
 — —, нарушение симметрии 227  
 — —, первичный нуклеосинтез 225, 226

- стандартная модель физики частиц 89, 95, 136, 245  
 — и суперсимметрия 120  
 —, недостатки 100  
 —, сравнение с теорией струн 95, 100  
 —, элементарные частицы см. точечные частицы
- странные кварки 14
- струнная космология 231, 234  
 — в сравнении со стандартной космологической моделью 231  
 — и начальные условия 236  
 — и «теория всего» 237  
 —, измерения 232  
 —, сценарий эволюции до Большого взрыва 232, 234
- струны в сравнении с антиструнами 233  
 —, аппроксимация точечными частицами 201  
 —, взаимодействие 96, 100, 111, 112, 114, 191, 192, 194  
 — и суперпартнеры 150, 151  
 —, когерентное состояние 243  
 —, колебательное движение 159–161  
 —, масса браны и масса струны 207  
 —, мировая поверхность 112, 211  
 —, намотанные см. намотанные струны  
 —, натяжение 103  
 —, ненамотанные 159, 166, 168, 232  
 —, петли 19, 99, 101, 104, 192, 259  
 —, размер 96, 99, 146, 152, 156, 158, 258  
 —, размерность 147, 194, 206, 207  
 —, резонансные моды 19, 100–103, 106, 140, 141, 151  
 —, состав 99  
 —, чувствительность измерений с помощью струн 107, 166
- суммирование по траекториям 81
- супергравитация 137, 201, 204, 205  
 — в высших размерностях 257  
 —, размерность 257
- суперпартнеры и суперсимметрия 119, 123, 247  
 —, их масса 151, 247
- суперсимметричная теория струн см. теория суперструн
- суперсимметричные квантовые теории поля 125, 201
- суперсимметрия 119  
 —, доводы в пользу 120, 121, 124, 125  
 — и дуальность 197, 246  
 — и резонансные моды 125  
 — и стандартная модель 120  
 — и супергравитация в высших размерностях 137, 202  
 — и суперпартнеры 119, 120, 123, 150, 247  
 — и характерные силы взаимодействия 123  
 —, надежды на подтверждение 247  
 —, экспериментальные указания 124, 150  
 сфера 210, 212  
 — в дополнительных измерениях 136  
 — двумерная 177, 210–212, 214  
 — нульмерная 212, 213  
 — одномерная см. окрестность  
 — трехмерная 210, 211, 213, 215  
 электрон 120
- Тау-нейтрино 15
- тау-частицы 15
- таххионы 124
- темная материя 157
- температура реликтового космического излучения 152, 228  
 — черных дыр 218
- теорема Коулмена—Манделы 118, 119
- теория бозонных струн 124
- теория возмущений 148, 190, 191, 193  
 — в классической физике 190  
 — в космологии 231  
 — в теории струн 190, 191, 193–195, 235  
 —, ее неприменимость 190
- «теория всего» 19  
 — и космологические гипотезы 237  
 — и отклонения от неизбежного 187  
 —, теория струн как «теория всего» 19, 103, 126, 237
- теория Калуцы—Клейна 129, 131, 132, 136  
 — и вселенная Салового шланга 158  
 — и квантовая механика 131  
 — и объединение ОТО с теорией электромагнетизма 135, 189  
 — и Эйнштейн 129
- теория струн см. также М-теория; струнная космология; теория суперструн 12  
 —, будущее 240  
 — в сравнении со стандартной космологической моделью 232  
 — в сравнении со стандартной моделью 98, 103, 149, 152  
 —, вероятности 138  
 —, дуальность 195, 197, 199, 200  
 —, сильная/слабая связи 200  
 — и Большое сжатие 168  
 — и гравитационное взаимодействие 97, 100, 101, 119, 149, 228, 256  
 — и космология см. струнная космология  
 — и музыка 102

- и новая формулировка квантовой механики 65, 246  
 — и переходы с изменением топологии 186, 196  
 — и природа пространства-времени 96, 156, 243, 244, 246  
 — и развитие квантовой механики 95, 97, 144, 145  
 — и сильное взаимодействие 96, 97  
 — и сингулярности 223  
 — и теория возмущений 148, 190, 191, 194, 195, 199, 204, 235  
 — и частицы взаимодействий 18, 97, 99, 101, 119, 146  
 — и черные дыры 21, 209, 210, 215, 216, 220, 222  
 —, измерение расстояний 166, 167, 169  
 —, история открытия 96  
 — как объединение ОТО и квантовой теории 96, 100, 125, 176, 216, 244, 254  
 — как «теория всего» 19, 103, 189  
 —, критика 144, 145  
 —, математический формализм см. также квантовая геометрия 148, 189, 193, 245  
 —, мнения экспериментаторов и теоретиков 140, 145, 220  
 —, петли струн см. струны  
 —, понятия расстояний 157, 160, 166, 169  
 —, размерности 147, 194, 206, 207  
 —, современное состояние 21  
 —, сплин 119, 124, 150  
 —, суперсимметрия см. теория суперструн; суперсимметрия  
 — типа I 126, 187, 199–202, 205, 260  
 — IIА 126, 187, 201–204, 206, 259  
 — IIВ 126, 187, 200, 202, 204, 259, 260  
 —, уравнения 188, 194, 195, 210  
 —, шкала 99, 100, 108, 109, 146, 158, 165, 166, 215, 244  
 —, экспериментальные свидетельства 143, 144, 146, 246  
 —, элементарные частицы 18, 19, 95–97, 99, 101–105, 108, 119, 125, 143, 146, 147, 158, 170, 184, 186  
 теория суперструн см. также М-теория; теория струн 8, 12, 94, 95, 126  
 —, варианты 126, 187  
 —, рождение 125
- теория хаоса 20
- теория электромагнетизма Максвелла 12, 135, 189  
 — и теория Калуцы—Клейна 135, 189
- топологическая мода 159, 164, 204  
 — энергия струн 160, 161
- топологическое число 162
- тор 137, 147, 148  
 — и конifoldный переход 212, 213  
 — как пространство (многообразие) Калаби—Яу 213
- точечные частицы см. также элементарные частицы 19, 95, 96, 99, 108–111, 119  
 —, аппроксимация струн 201  
 —, размерность 160, 233  
 —, суперпартнеры 120  
 —, чувствительность измерений с их помощью 107  
 —, электрический заряд 151
- точки в римановой геометрии см. также точечные частицы 156
- тяжелые моды струны 106, 167, 168
- Ультрафиолетовые лучи 70
- универсальная теория гравитации Ньютона 13, 43  
 — в сравнении со СТО 12, 44  
 — и ОТО 243  
 — и предсказания движения тел 44  
 — и природа гравитации 44  
 — и притяжение 44
- уравнение Клейна—Гордона 221, 254  
 — Шредингера 78, 87, 221
- уран 16, 41
- ускоренное движение 37  
 — в общей теории относительности 46
- ускорители частиц 35, 99, 100, 106, 107, 124, 146, 150, 239, 250, 255, 256  
 — и частицы-зонды 107
- Фазовые переходы в ранней Вселенной 228  
 — черных дыр 216
- физика, детерминизм 221  
 —, построение теории 245  
 —, противоречия, породившие перевороты в физике 12  
 —, различия в подходах к решению задач в физике и в математике 180  
 —, успехи 88
- Флэтландия 134, 138
- флуп-перестройки 177–180, 182–184, 212, 214  
 — в теории струн и Виттен 179, 183–185  
 — и зеркальная симметрия см. также конifoldный переход 178, 179, 181
- фотоны 120  
 фотон 16, 29, 33, 41, 71, 74, 75, 86, 89, 102, 107, 167, 225  
 — в квантовой электродинамике 88  
 — в ранней Вселенной 225

- в световых часах 33, 34
  - в соотношении неопределенностей 81, 86
  - в фотоэффекте 71
  - как кванты света 29, 71, 72, 74, 81, 88
  - как пучки квантов 72
  - как частицы, передающие электромагнитное взаимодействие 113, 119
  - , спин 119
  - , суперпартнеры 120
  - фотоэффект 69, 70, 75
  - и корпускулярные свойства света 71
  - , скорость выбитых электронов 70
  - , энергия фотона 71
  - фундаментальные взаимодействия 17, 18
    - в ранней Вселенной 227
    - и великое объединение 121
    - и накладываемые симметрии 90
    - , общие свойства 17
    - , объединение и М-теория 235
    - , различия в характерной силе 17
    - , расстояния и характерная сила 122
    - , суперсимметрия и наблюдаемые силы фундаментальных взаимодействий 123
    - , частицы см. частицы взаимодействий
- ЦЕРН** 96, 123, 170
- Частицы взаимодействий см. также частицы, передающие взаимодействия** 15–19, 97, 101, 109, 116
- в стандартной модели 89
  - и теория струн 18, 97, 99, 101, 146
  - , спин 119, 120
  - , передающие взаимодействия см. также частицы взаимодействий 15, 90, 103, 113, 119, 120, 236, 256
  - частицы-зонды 107, 108
  - частота волновых колебаний 68
    - и энергия 68, 69, 71
  - часы световые см. световые часы
  - черные дыры 11, 57, 59–61, 85, 153, 176
    - , горизонт событий черных дыр см. горизонт событий
    - и браны 215, 220, 222
    - и детерминизм 221, 222
    - и образование новых вселенных 239
    - и разрыв пространства-времени 176
    - и теория струн 21, 210, 215, 216, 220, 222, 223
    - и элементарные частицы 209, 210, 214–216
    - , излучение 60, 218, 219, 222, 261
    - как машины времени 60
    - , масса 60, 61, 209, 210, 215, 219, 222

- , название 59
- , образование черных дыр 220
- , потеря информации и черные дыры 222
- , свидетельство существования горизонта событий 60
- , сила гравитации черных дыр 57, 59, 218
- , температура 218, 219
- , фазовые переходы черных дыр 216
- , экстремальные 220, 261
- , энтропия см. энтропия Бекенштейна—Хокинга; энтропия черной дыры
- чувствительность измерений с помощью струн 108, 166
  - с помощью точечных частиц 107
  - с помощью частиц и квантово-механической длина волны 108

### Эйнштейн о вероятности в физике 78

- об экспериментальном подтверждении ОТО 115
- эксперименты с двумя щелями 72, 75, 76, 79, 80
  - и волны на воде 72
  - , интерференционная картина 75, 79, 80
  - , подход Фейнмана 79, 80
  - , свет как волны 75
  - , свет как частицы 72
  - , электроны 79
- экстремальные черные дыры 220, 261
- электрический заряд 15, 17, 90, 118, 122, 151
  - и пространства Калаби—Яу 151
  - точечных частиц 151
- электромагнитное взаимодействие 16–18, 87, 247
  - в ранней Вселенной 227
  - в сравнении с гравитационным 17
  - в теории Калуцы—Клейна 135
  - и квантовая электродинамика 87, 122
  - и сильное взаимодействие 121
  - и электрический заряд 16, 90
  - , сила 121
  - , частицы-переносчики см. фотоны
  - электромагнитное поле 23, 89, 243
  - электромагнитные волны 66, 67
    - , свет как электромагнитные волны 23, 24, 66, 69, 71, 88
    - , состав 71
    - , энергия 66, 68, 70, 71
  - электронное нейтрино см. нейтрино
  - электроны 11, 14, 15, 17, 19, 35, 44, 69–71
    - в соотношении неопределенностей 81, 86
    - в фотоэффекте 70
    - в эксперименте с двумя щелями 79
    - , взаимодействие с позитронами 111

- и квантовая электродинамика 88
- , спин 118
- электрослабое взаимодействие 88
- элементарные частицы 14, 86, 118
  - в сильных взаимодействиях 16
  - в стандартной модели см. точечные частицы
  - взаимодействий см. частицы взаимодействий
  - , заряды см. заряды взаимодействий
  - и античастицы 15
  - и квантовая электродинамика 88
  - и соотношение неопределенностей 81, 83
  - и теория струн 19, 96, 97, 101–103, 105, 141, 147
  - и черные дыры 209, 210, 214–216
  - , массы 15, 98, 101, 102, 141, 143, 186, 250
  - , «материал» 102
  - , передающие взаимодействие 101
  - , свет как элементарные частицы 71
  - , семейства 15, 89, 143, 146, 147, 149
  - , спин 119, 209
  - , суперпартнеры см. суперпартнеры
  - энергия 41
    - и масса 41, 42, 101, 104
    - и резонансные моды струн 101, 104, 147
    - и частота волн 68, 69, 71
  - фотонов в фотоэффекте 71
  - электромагнитных волн 71

- энтропия 217
  - Бекенштейна—Хокинга 21, 217, 220
  - , второй закон термодинамики и энтропия 217, 218
  - , подтверждение в теории струн 220
  - , ранние работы 217
  - низкая в сравнении с высокой 217
  - черной дыры см. также энтропия Бекенштейна—Хокинга 216–220

**Ядерные силы см. сильное взаимодействие; слабое взаимодействие**  
ядра атомов 69

1-браны см. струны, 207

2-браны 207, 211

3-браны 189, 206, 211

— в намагниотной конфигурации 214

b-кварки 14

c-кварк 14

d-кварки 14, 15

$E = mc^2$  41, 75, 86, 87, 104, 159, 207, 254

p-браны 207

t-кварки 14, 105

u-кварки 14, 15, 19, 198, 237

W-бозон см. также калибровочные бозоны слабого взаимодействия 89, 120

Z-бозон 89, 120

## Оглавление

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

Грубый ответ	106	Спектр состояний струны	160
Ловкость рук?	109	Спор двух профессоров	164
Более точный ответ	110	Три вопроса	165
Не только струны?	114	Два взаимосвязанных понятия расстояния в теории струн	166
<b>Глава 7</b>		Минимальный размер	167
<b>«Супер» в суперструнах</b>	115	Насколько общий этот вывод?	169
Характер физических законов	116	Зеркальная симметрия	169
Спин	118	Физика и математика зеркальной симметрии	172
Суперсимметрия и суперпартнеры	119	<b>Глава 11</b>	
Доводы в пользу суперсимметрии — до появления теории струн	120	<b>Разрывая ткань пространства</b>	175
Суперсимметрия в теории струн	124	Волнующая возможность	177
Суперпроблема изобилия	125	Зеркальная перспектива	178
<b>Глава 8</b>		Медленный прогресс	179
<b>Измерений больше, чем видит глаз</b>	127	Рождение стратегии	180
Иллюзия привычного	127	Поздние вечера в последней обители Эйнштейна	181
Идея Калуцы и уточнение Клейна	128	О шести банках пива и работе по выходным	183
Взд и вперед по Саловому шангу	132	Современное состояние теории	183
Объединение в высших измерениях	134	Калуца — Клейна	136
Современное состояние теории	136	Дополнительные измерения и теория струн	137
Некоторые вопросы	139	Физические следствия дополнительных измерений	140
Как выглядят свернутые измерения?	141	Как выглядят свернутые измерения?	141
<b>Глава 9</b>		<b>Глава 12</b>	
<b>Дымящееся ружье: экспериментальные свидетельства</b>	143	<b>За рамками струн: в поисках М-теории</b>	187
Перекрестный огонь критики	144	Краткое изложение результатов второй революции в теории суперструн	188
Дорога к эксперименту	146	Приближенный метод	190
Перебирая возможности	148	Классический пример теории возмущений	190
Суперчастицы	150	Использование теории возмущений в теории струн	191
Частицы с дробным электрическим зарядом	151	Приближает ли к ответу приближение?	193
Некоторые более отдаленные перспективы	152	Уравнения теории струн	194
Оценка ситуации	153	Двуальность	195
<b>Часть IV</b>		Мощь симметрии	197
<b>Теория струн и структура пространства-времени</b>	155	Двуальность в теории струн	199
<b>Глава 10</b>		Предварительные итоги	200
<b>Квантовая геометрия</b>	155	Супергравитация	201
Суть римановой геометрии	156	Проблемки М-теории	202
Космологическая сцена	157	М-теория и паутина взаимосвязей	204
Существенно новая черта	158	Общая панорама	205
Физические свойства намотанных струн	159	Сюрприз в М-теории: демократия в протяжении	206
		Помогает ли это в неразрешенных вопросах теории струн?	207
		<b>Глава 13</b>	
		<b>Черные дыры с точки зрения теории струн и М-теории</b>	209
		Черные дыры и элементарные частицы	209
		Позволяет ли теория струн продвигаться вперед?	210



Убежденно разрывая 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</b>	
<b>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
M-теория и слияние всех сил природы . . . . .	235
Рассуждения о космологии и окончательная теория . . . . .	236

**Часть V****Единая теория в XXI веке . . . . . 240****Глава 15****Перспективы . . . . . 240**

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

**Примечания . . . . . 250****Словарь научных терминов . . . . . 264****Рекомендуемая литература . . . . . 270****Именной указатель . . . . . 271****Предметный указатель . . . . . 274****Издательство УРСС**

специализируется на выпуске учебной и научной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской Академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений.

**Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!**

Основываясь на широком и плодотворном сотрудничестве с Российским фондом фундаментальных исследований и Российским гуманитарным научным фондом, мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

- Рубаков В. А.* Классические калибровочные поля.  
*Арнольд В. И.* Математические методы классической механики.  
*Дубровин Б. А., Новиков С. П., Фоменко А. Т.* Современная геометрия. Т. 1–3.  
*Ефремов Ю. И.* Вглубь Вселенной. Звезды, галактики и мироздание.  
*Сажин М. В.* Современная космология в популярном изложении.  
*Чернин А. Д.* Звезды и физика.  
*Розенталь И. Л., Архангельская И. В.* Геометрия, динамика, Вселенная.  
*Левшан Е. П.* Физика Вселенной: экскурс в проблему.  
*Кинг А. Р.* Введение в классическую звездную динамику.  
*Хлопов М. Ю.* Космомикрофизика.  
*Хлопов М. Ю.* Основы космомикрофизики.  
*Гамов Г.* Мистер Томпкинс в Стране Чудес, или истории о  $s$ ,  $G$  и  $h$ .  
*Гамов Г.* Мистер Томпкинс исследует атом.  
*Эддингтон А.* Пространство, время и тяготение.  
*Горбачевич А. К.* Квантовая механика в общей теории относительности.  
*Сауцуневич И. С.* Экспериментальные корни специальной теории относительности.  
*Иваненко Д. Л., Сардапанашвили Г. А.* Гравитация.  
*Гейзенберг В.* Часть и целое (беседы вокруг атомной физики).  
*Гейзенберг В.* Философские проблемы атомной физики.  
*Рейхенбах Г.* Философия пространства и времени.  
*Рейхенбах Г.* Направление времени.  
*Уитроу Дж.* Естественная философия времени.  
*Карпан Р.* Философские основания физики. Введение в философию науки.  
*Бунге М.* Философия физики.  
*Грюнбаум А.* Философские проблемы пространства и времени.  
**Серия «Синергетика: от прошлого к будущему»**  
*Трубецков Д. И.* Введение в синергетику.  
*Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б.* Современные проблемы нелинейной динамики.  
*Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г.* Синергетика и прогнозы будущего.  
*Баранцев Р. Г.* Синергетика в современном естествознании.  
*Чернавский Д. С.* Синергетика и информативная (динамическая теория информации).  
*Пригожин И., Стенгерс И.* Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени.  
*Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой.  
*Пригожин И., Никалис Г.* Познание сложного. Введение.  
*Пригожин И., Генсдорф П.* Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации.

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:  
 тел./факс (095) 135–44–23, 135–42–46  
 или электронной почтой URSS@URSS.ru  
 Полный каталог изданий представлен  
 в Интернет-магазине: <http://URSS.ru>

**Издательство УРСС**

Научная и учебная  
литература

## Брайан Грин

окончил Гарвардский университет.  
Диссертацию защитил в Оксфорде.

В 1990 г. начал работать на физическом факультете Корнельского университета.

С 1996 г. профессор физики и математики в Колумбийском университете.

Грин читал лекции в более чем двадцати странах, выступая как перед специалистами, так и перед широкой аудиторией.

Его имя широко известно за ряд фундаментальных открытий в теории суперструн.



## Элегантная ВСЕЛЕННАЯ

Редкостно сочетая научное осмысление и изложение столь же элегантно, как и объяснения, даваемые теорией, Брайан Грин срывает завесу таинства с теории струн, чтобы представить миру Вселенную, состоящую из 11 измерений, в которой ткань пространства рвется и самовосстанавливается, а вся материя от наименьших кварков до самых гигантских суперновых порождена вибрациями микроскопически малых петель энергии.

Грин использует разнообразные примеры — от аттракционов в парке до муравьев на садовом шланге, — чтобы проиллюстрировать прекрасную, однако причудливую реальность, открываемую современной физикой. Великолепная по таланту, беспрецедентная по способности и просвещать, и увлекать, *Элегантная Вселенная* — пример научного изложения, восхитительное путешествие по современной физике, которая как никогда ранее приближает нас к пониманию того, как устроена Вселенная.



1303 ID 3478



НАУЧНАЯ **УРСС**  
И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Тел./факс: 7 (095) 135-44-23, 135-42-46  
Каталог изданий в Internet: <http://URSS.ru>  
E-mail: [URSS@URSS.ru](mailto:URSS@URSS.ru)