

Клиффорд ПикOVER

Великая ФИЗИКА

От Большого взрыва до Квантового воскрешения
250 основных вех в истории физики



Великая
ФИЗИКА

Возможны ли путешествия
во времени?

Когда люди впервые увидели
темную сторону Луны?

Где мы живем — в реальном мире
или в моделируемой кем-то
Матрице?

Вот только три вопроса из тех, ответы на которые вы найдете в этой блестяще иллюстрированной книге, отправившись в увлекательное путешествие с Клиффордом ПикOVERом в мир физики. Вы узнаете о 250 самых важных вехах в истории этой науки, о самых важных открытиях, которые помогли понять человечеству окружающий нас мир. Тут и открытия в фундаментальной физике, и достижения инженерной мысли, и даже философские теории. Начиная с Большого взрыва и заканчивая Квантовым воскрешением, ПикOVER рассказывает читателю о темной материи, параллельных вселенных, эффекте Доплера, демоне Максвелла и кольцах Сатурна. Известные всем формулы и физические законы соседствуют на страницах книги с фактами из жизни величайших умов человечества, таких как Исаак Ньютон, Джеймс Клерк Максвелл, Мария Кюри, Альберт Эйнштейн, Ричард Фейнман и Стивен Хокинг.

Физика заставляет нас постоянно размышлять о пределах познания, устройстве Вселенной и месте человека в огромном пространстве-времени, которое мы зовем нашим домом.

Клиффорд ПикOVER

Clifford A. Pickover

The Physics BOOK

From the Big Bang to Quantum Resurrection,
250 Milestones in the History of Physics

Клиффорд ПикOVER

Великая ФИЗИКА

От Большого взрыва до Квантового воскрешения

250 основных вех в истории физики

Перевод с английского
доктора физ.-мат. наук М. А. Смондырева

3-е издание

 Москва
Лаборатория знаний

УДК 53
ББК 22.3г
ПЗ2

Публикуется с разрешения
Sterling Publishing Co., Inc., 122 Fifth Avenue, New York, NY 10011
при содействии Агентства Александра Корженевского (Россия)

ПикOVER К.

ПЗ2 Великая физика. От Большого взрыва до Квантового
воскрешения. 250 основных вех в истории физики /
К. ПикOVER ; пер. с англ. М. А. Смондырева. — 3-е изд. —
М. : Лаборатория знаний, 2021. — 544 с. : ил.

ISBN 978-5-00101-288-7

Клиффорд ПикOVER (р. 1957) — известный ученый и один
из лучших в мире популяризаторов науки. Его «Великая
физика» — собрание блестящих эссе о великих открытиях
выдающихся ученых, начиная с мыслителей прошлого, таких
как Пифагор, Максвелл, и заканчивая нашими современ-
никами — Эйнштейном, Хокингом и многими другими. Эта
великолепно иллюстрированная книга — прекрасный подарок
для всех, кто интересуется самыми главными вопросами,
веками занимавшими лучшие умы человечества: как устроен
мир, каково его прошлое и будущее и какое место в нем
занимаем мы, люди.

Для всех интересующихся физикой.

УДК 53
ББК 22.3г

16+

Научно-популярное издание

ПикOVER Клиффорд

ВЕЛИКАЯ ФИЗИКА

**ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА ДО КВАНТОВОГО ВОСКРЕШЕНИЯ
250 ОСНОВНЫХ ВЕХ В ИСТОРИИ ФИЗИКИ**

Ведущий редактор *И. В. Опимах* Редактор *И. Я. Ицхоки*

Художественное оформление: *И. Е. Марев, В. А. Прокудин* Художник *Н. А. Новак*

Технический редактор *Е. В. Денюкова* Корректор *Е. Н. Клитина*

Компьютерная верстка: *Л. В. Катуркина*

Подписано в печать 04.02.21. Формат 84×90/16.

Усл. печ. л. 47,60. Заказ № 0000/00

Издательство «Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272, e-mail: info@pilotLZ.ru, http://www.pilotLZ.ru

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами

в ООО «ИПК Парето-Принт», 170546, Тверская область,

Промышленная зона Боровлево-1, комплекс № 3А, www.pareto-print.ru

- © 2011 by Clifford A. Pickover
Originally published in 2011 in the United States
by Sterling Publishing Co. Inc., under the title
The Physics Book: From the Big Bang to Quantum
Resurrection, 250 Milestones in the History of Physics.
© Перевод на русский язык, оформление, Лаборатория
знаний, 2021

ISBN 978-5-00101-288-7

*Мы все ежедневно используем физику. Когда мы смотрим
в зеркало или надеваем очки, мы пользуемся законами оптики.
Когда заводим будильник, отслеживаем время, когда смотрим
на карту, перемещаемся в геометрическом пространстве.
Мобильные телефоны соединяют нас невидимыми
электромагнитными нитями со спутниками, вращающимися
по своим орбитам. Но физика — это не только новые
технологии... Даже кровь, циркулирующая в наших артериях,
следует законам физики — науки о нашем физическом мире.*

Джоан Бейкер. «Пятьдесят идей физики,
которые вам совершенно необходимо знать»

*Великие уравнения современной физики — неременная часть
научного знания, они могут пережить даже прекрасные
древние соборы.*

Стивен Вайнберг в книге: Грэм Фармело.
«Это должно быть красиво»



Содержание

Введение 6

13,7 млрд лет до н. э. Большой взрыв 14
3 млрд лет до н. э. Черные алмазы 16
2 млрд лет до н. э. Доисторический ядерный реактор 18
30 000 лет до н. э. Атлатль 20
20 000 лет до н. э. Бумеранг 22
3000 г. до н. э. Солнечные часы 24
2500 г. до н. э. Стропила 26
1850 г. до н. э. Арка 28
1000 г. до н. э. Компас ольмеков 30
341 г. до н. э. Арбалет 32
250 г. до н. э. Багдадская батарейка 34
250 г. до н. э. Сифон 36
250 г. до н. э. Закон Архимеда 38
250 г. до н. э. Архимедов винт 40
240 г. до н. э. Эратосфен измеряет Землю 42
230 г. до н. э. Блок 44
212 г. до н. э. «Зажигательные зеркала» Архимеда 46
125 г. до н. э. Механизм с острова Антикитера 48
50 г. Реактивный двигатель Герона 50
50 г. Шестерни 52
78 г. Огни Святого Эльма 54
1132 г. Пушка 56
1150 г. Вечный двигатель 58
1200 г. Требушет 60
1304 г. Объяснение радуги 62
1338 г. Песочные часы 64
1543 г. Гелиоцентрическая система мира 66
1596 г. *Mysterium Cosmographicum* («Тайна мира») 68
1600 г. *De Magnete* («О магните») 70
1608 г. Телескоп 72
1609 г. Законы Кеплера для движения планет 74
1610 г. Кольца Сатурна 76
1611 г. «Шестиугольная снежинка» Кеплера 78
1620 г. Трибюлюминесценция 80
1621 г. Закон преломления Снеллиуса 82
1621 г. Северное полярное сияние 84
1638 г. Ускорение падающих тел 86
1643 г. Барометр 88
1644 г. Сохранение импульса 90
1660 г. Закон упругости Гука 92

1660 г. Электростатический генератор фон Герике 94
1662 г. Газовый закон Бойля 96
1665 г. «Микрография» 98
1669 г. Трение Амонтона 100
1672 г. Размеры Солнечной системы 102
1672 г. Призма Ньютона 104
1673 г. Таутохронный спуск 106
1687 г. Ньютоновские законы движения и закон всемирного тяготения 108
1687 г. Ньютон как источник вдохновения 110
1711 г. Камертон 112
1728 г. Скорость убегания 114
1738 г. Закон Бернулли в гидродинамике 116
1744 г. Лейденская банка 118
1752 г. Воздушный змей Бена Франклина 120
1761 г. Эффект «черной капли» 122
1766 г. Закон Боде для расстояний планет от Солнца 124
1777 г. Фигуры Лихтенберга 126
1779 г. Галактика Черный Глаз 128
1783 г. Черные дыры 130
1785 г. Закон Кулона в электростатике 132
1787 г. Газовый закон Шарля 134
1796 г. Небулярная гипотеза 136
1798 г. Кавендиш взвешивает Землю 138
1800 г. Батарея 140
1801 г. Волновая природа света 142
1803 г. Газовый закон Генри 144
1807 г. Фурье-анализ 146
1808 г. Атомная теория 148
1811 г. Газовый закон Авогадро 150
1814 г. Линии Фраунгофера 152
1814 г. Демон Лапласа 154
1815 г. Оптический прибор Брюстера 156
1816 г. Стетоскоп 158
1822 г. Закон теплопроводности Фурье 160
1823 г. Парадокс Ольберса 162
1824 г. Парниковый эффект 164
1824 г. Тепловая машина Карно 166
1825 г. Закон Ампера в теории электромагнетизма 168
1826 г. Блуждающие волны 170
1827 г. Закон Ома для электрической цепи 172

1827 г. Броуновское движение 174
1829 г. Закон эффузии Грэма 176
1831 г. Закон электромагнитной индукции Фарадея 178
1834 г. Солитон 180
1835 г. Гаусс и магнитный монополь 182
1838 г. Звездный параллакс 184
1839 г. Топливный элемент 186
1840 г. Закон течения жидкости Пуазёйля 188
1840 г. Закон Джоуля для теплового действия электрического тока 190
1841 г. Годовые часы 192
1841 г. Волоконная оптика 194
1842 г. Эффект Доплера 196
1843 г. Сохранение энергии 198
1844 г. Двухтавровые балки 200
1845 г. Правила Кирхгофа для электрической цепи 202
1846 г. Открытие Нептуна 204
1850 г. Второе начало термодинамики 206
1850 г. Скользкость льда 208
1851 г. Маятник Фуко 210
1851 г. Закон Стокса для вязкой жидкости 212
1852 г. Гироскоп 214
1852 г. Флюоресценция Стокса 216
1857 г. Погодный закон Бёйса-Баллота 218
1859 г. Кинетическая теория 220
1861 г. Уравнения Максвелла 222
1864 г. Спектр электромагнитного излучения 224
1866 г. Поверхностное натяжение 226
1866 г. Динамит 228
1867 г. Демон Максвелла 230
1868 г. Открытие гелия 232
1870 г. Крученный мяч в бейсболе 234
1871 г. Рэлеевское рассеяние 236
1873 г. Радиометр Крукса 238
1875 г. Уравнение Больцмана для энтропии 240
1878 г. Лампа накаливания 242
1879 г. Плазма 244
1879 г. Эффект Холла 246
1880 г. Пьезоэлектрический эффект 248
1880 г. Военные тубы 250
1882 г. Гальванометр 252
1882 г. Зеленый луч 254
1887 г. Опыт Майкельсона–Морли 256
1889 г. Рождение килограмма 258
1889 г. Рождение метра 260
1890 г. Гравитационная градиометрия Этвёша 262

1891 г. Катушка Теслы 264
1892 г. Термос 266
1895 г. Рентгеновские лучи 268
1895 г. Закон Кюри 270
1896 г. Радиоактивность 272
1897 г. Электрон 274
1898 г. Масс-спектрометр 276
1900 г. Закон излучения абсолютно черного тела 278
1901 г. Клотоида (спираль Корню) 280
1903 г. Лампа черного света 282
1903 г. Уравнение Циолковского для ракеты 284
1904 г. Преобразования Лоренца 286
1905 г. Специальная теория относительности 288
1905 г. $E = mc^2$ 290
1905 г. Фотоэффект 292
1905 г. Ямки на мяче для гольфа 294
1905 г. Третье начало термодинамики 296
1906 г. Электровакуумные лампы 298
1908 г. Счетчик Гейгера 300
1909 г. Тормозное излучение 302
1910 г. Космические лучи 304
1911 г. Сверхпроводимость 306
1911 г. Атомное ядро 308
1911 г. Вихревая дорожка Кармана 310
1911 г. Туманная камера Вильсона 312
1912 г. Переменные звезды цефеиды и размеры Вселенной 314
1912 г. Условие Брэгга для дифракции на кристалле 316
1913 г. Атом Бора 318
1913 г. Опыт Милликена с масляными каплями 320
1915 г. Общая теория относительности 322
1919 г. Теория струн 324
1921 г. Эйнштейн как источник вдохновения 326
1922 г. Опыт Штерна–Герлаха 328
1923 г. Неоновая реклама 330
1923 г. Эффект Комптона 332
1924 г. Соотношение де Бройля 334
1925 г. Принцип запрета Паули 336
1926 г. Волновое уравнение Шрёдингера 338
1927 г. Соотношения неопределенностей Гейзенберга 340
1927 г. Принцип дополнителности 342
1927 г. Сверхзвуковой щелчок кнудом 344
1928 г. Уравнение Дирака 346
1928 г. Квантовое туннелирование 348

- 1929 г. Закон Хаббла о расширении Вселенной **350**
- 1929 г. Циклотрон **352**
- 1931 г. Белые карлики и предел Чандрасекара **354**
- 1931 г. Лестница Иакова **356**
- 1932 г. Нейтрон **358**
- 1932 г. Антивещество **360**
- 1933 г. Темная материя **362**
- 1933 г. Нейтронные звезды **364**
- 1934 г. Излучение Черенкова **366**
- 1934 г. Сонолюминесценция **368**
- 1935 г. Парадокс Эйнштейна–Подольского–Розена **370**
- 1935 г. Кот Шрёдингера **372**
- 1937 г. Сверхтекучесть **374**
- 1938 г. Ядерный магнитный резонанс **376**
- 1942 г. Ядерная энергия **378**
- 1943 г. Дурацкая замаска **380**
- 1945 г. Пьющая птичка **382**
- 1945 г. Атомная бомба «Мальш» **384**
- 1946 г. Звездный нуклеосинтез **386**
- 1947 г. Транзистор **388**
- 1947 г. Ударная звуковая волна **390**
- 1947 г. Голограмма **392**
- 1948 г. Квантовая электродинамика **394**
- 1948 г. Тенсегрити **396**
- 1948 г. Эффект Казимира **398**
- 1949 г. Путешествие во времени **400**
- 1949 г. Радиоуглеродный метод датировки **402**
- 1950 г. Парадокс Ферми **404**
- 1954 г. Фотоэлементы **406**
- 1955 г. Падающая книжная башня **408**
- 1955 г. Наблюдение отдельного атома **410**
- 1955 г. Атомные часы **412**
- 1956 г. Параллельные миры **414**
- 1956 г. Нейтрино **416**
- 1956 г. Токамак **418**
- 1958 г. Интегральные микросхемы **420**
- 1959 г. Обратная сторона Луны **422**
- 1960 г. Сфера Дайсона **424**
- 1960 г. Лазер **426**
- 1960 г. Установившаяся скорость падения в среде **428**
- 1961 г. Антропный принцип **430**
- 1961 г. Стандартная модель **432**
- 1962 г. Электромагнитный импульс **434**
- 1963 г. Теория хаоса **436**
- 1963 г. Квазары **438**
- 1963 г. Лавовая лампа **440**
- 1964 г. Бозон Хиггса («Частица Бога») **442**
- 1964 г. Кварки **444**
- 1964 г. Нарушение *CP*-инвариантности **446**
- 1964 г. Теорема Белла **448**
- 1965 г. Супермяч **450**
- 1965 г. Реликтовое излучение **452**
- 1967 г. Гамма-всплеск **454**
- 1967 г. Жизнь как компьютерное моделирование **456**
- 1967 г. Тахионы **458**
- 1967 г. Колыбель Ньютона **460**
- 1967 г. Метаматериалы **462**
- 1969 г. Неосвещаемая комната **464**
- 1971 г. Суперсимметрия **466**
- 1980 г. Космическая инфляция **468**
- 1981 г. Квантовые компьютеры **470**
- 1982 г. Квазикристаллы **472**
- 1984 г. Теория всего **474**
- 1985 г. Фуллерены **476**
- 1987 г. Квантовое бессмертие **478**
- 1987 г. Самоорганизованная критичность **480**
- 1988 г. «Кротовая нора» как машина времени **482**
- 1990 г. Телескоп «Хаббл» **484**
- 1992 г. Гипотеза защиты хронологии **486**
- 1993 г. Квантовая телепортация **488**
- 1993 г. Стивен Хокинг в «Звездном пути» **490**
- 1995 г. Конденсат Бозе–Эйнштейна **492**
- 1998 г. Темная энергия **494**
- 1999 г. Браны Рэндалл–Сандрама **496**
- 1999 г. Наибольшая скорость смерча **498**
- 2007 г. Проект *HAARP* **500**
- 2008 г. Чернейшая чернота **502**
- 2009 г. Большой адронный коллайдер **504**
- 36 млрд лет спустя. Космологический Большой разрыв **506**
- 100 млрд лет спустя. Космическая изоляция **508**
- 100 трлн лет спустя. Увядание Вселенной **510**
- Более 100 трлн лет спустя. Квантовое воскрешение **512**
- Примечания и список дополнительной литературы* **514**
- Указатель* **535**
- Иллюстрации* **540**

Введение

Рамки физики

По мере роста островка знания увеличивается и его береговая линия, на которой мы сталкиваемся с загадками непознанного. Когда пересматриваются основные теории, знание, казавшееся нам несомненным, уступает свое место новому, а оно, это новое знание, уже касается этих загадок иначе. Порой раскрытая тайна может принизить нас или расстроить, но такова цена истины. Творческие люди – ученые, философы и поэты – благоденствуют на этой береговой линии.

Марк Ричардсон. «Ощущение чуда у скептика»

Американское физическое общество – в наши дни ведущая профессиональная организация физиков – было основано в 1899 г., когда в Колумбийском университете на Манхеттене в Нью-Йорке собрались 36 ученых, которые провозгласили своей целью развитие физики и распространение знаний в области этой науки среди соотечественников. Члены Общества убеждены, что

физика играет ключевую роль в понимании мироустройства, мира внутри и вне нас. Это самая фундаментальная и основополагающая из всех наук. Она бросает вызов нашему воображению, выдвигая такие концепции, как теория относительности или теория струн. Физика приводит к великим открытиям, меняющим нашу жизнь, и тогда появляются компьютеры и лазеры. Физика – это изучение Вселенной от самых больших галактик до мельчайших субатомных частиц. Более того, она является основой многих других наук, включая химию, океанографию, сейсмологию и астрономию.

И в самом деле, сегодня физики исследуют потрясающее разнообразие объектов и фундаментальных законов, чтобы понять свойства природы и Вселенной, устройство реального мира. Физики размышляют над многомерными пространствами, параллельными вселенными, возможностью существования путешествий в пространстве и времени. Открытия в физике часто ведут к новым технологиям. Например, прогресс в постижении электромагнетизма привел к изобретению радио, телевидения и компьютеров. Понимание законов термодинамики вылилось в изобретение автомобиля. Порой исследования физиков даже влияют на наше мировоззрение. Так, многие ученые считают, что из соотношения неопределенностей Гейзенберга следует, что физическая вселенная не существует как детерминистической объект, но является загадочным набором вероятностей.

Как станет ясно внимательному читателю этой книги, на протяжении многих веков существования физики для нее не было установлено никаких границ, а потому я включил в книгу сюжеты, затрагивающие инженерное дело, прикладную физику, астрофизику и даже несколько вполне философских тем. Несмотря на такие широкие рамки, большая часть разделов физики опирается на математические методы, помогающие ученым в их теориях, экспериментах и предсказаниях природных явлений.

Альберт Эйнштейн сказал когда-то, что самое *непостижимое* в мире – это то, что он *постижим*. В самом деле, оказалось, что мы живем во Вселенной, которая может быть описана хотя бы в некоем приближении с помощью компактных математических выражений и законов физики. Однако, выходя за пределы этих простых законов природы, физики часто погружаются в самые глубокие и наиболее ошеломляющие концепции из всех, когда-либо рассматривавшихся человечеством, – от теории относительности и квантовой механики до теории струн и сущности Большого взрыва. Квантовая механика дает нам возможность заглянуть в странный и парадоксальный мир, после чего возникают вопросы: а что такое на самом деле пространство и время, информация, причины и следствия. Однако, несмотря на загадочность следствий квантовой механики, она нашла применение в многочисленных областях науки и техники, и именно благодаря ей появились лазеры, транзисторы, микрочипы и магнитно-резонансные томографы.

Эта книга рассказывает также о тех, кто стоит за многими из великих идей физики. Физика – фундамент всей современной науки. Она веками привлекала лучшие умы человечества. Среди них – Исаак Ньютон, Джеймс Клерк Максвелл, Мария Кюри, Альберт Эйнштейн, Ричард Фейнман и Стивен Хокинг. Эти великие ученые изменили нашу точку зрения на мир.

Физика относится к наиболее трудным наукам. Физическое описание Вселенной постоянно расширяется, но наш мозг и лингвистические навыки остаются неизменными. С течением времени возникают новые области физики, новые понятия, которые совсем не легко постичь. Когда немецкий физик-теоретик Вернер Гейзенберг (1901–1976) выражал беспокойство, что человечество никогда по-настоящему не поймет, что такое атом, датский физик Нильс Бор (1885–1962) был преисполнен оптимизма. В начале 1920-х гг. он писал: «Вероятно, мы и не сумеем достичь этого, но в процессе сможем узнать, что на самом деле означает слово “понимание”».

В наше время мы используем компьютеры, помогающие проводить рассуждения, выходящие за пределы нашей интуиции. Компьютерные эксперименты приводят физиков к таким теориям и прозрениям, появление которых раньше было бы просто невозможно. Ряд известных физиков предполагает сейчас, что существуют вселенные, параллельные нашей собственной – подобно слоям лукавицы или пузырькам в молочном коктейле. В некоторых теориях параллельных вселенных мы можем их обнаружить по утечке гравитации из одной вселенной в соседнюю. Например, луч света от удаленной звезды может искривиться под действием тяготения невидимых объектов, находящихся на расстоянии всего лишь в несколько миллиметров, но в параллельной вселенной. Идея множественных вселенных, мультивселенных, не столь искусственна, как может показаться. По данным опроса 72 ведущих физиков, полученным американским исследователем Дэвидом Раубом и опубликованным в 1998 г.,

58% из них, включая Стивена Хокинга, верят в тот или иной вариант теории множественности миров.

Книга «Великая физика» охватывает как теоретические или в высшей степени практические темы, так и странные, озадачивающие сюжеты. В какой другой книге о физике вы найдете рядом статьи о предсказанной в 1964 г. субатомной частице бозоне Хиггса и о выпущенном в продажу в 1965 г. сверхпрыгучем супермяче, повальное увлечение которым прокатилось по всей Америке? Мы встретимся здесь и с законом излучения черного тела, с которого началась квантовая механика, и с таинственной темной энергией, которая когда-нибудь может разорвать галактики и привести к смерти Вселенной в ужасном Большом разрыве. Мы поразмыслим о парадоксе Ферми, касающемся жизни на других планетах, и познакомимся с найденным в Африке доисторическим ядерным реактором, который работал два миллиарда лет назад. Мы обсудим гонку за созданием самого-самого черного цвета – более чем в 100 раз темнее краски на черном автомобиле! Эта «абсолютная чернота» в один прекрасный день может быть использована для более эффективного улавливания энергии Солнца или для конструирования чрезвычайно чувствительных оптических инструментов.

Статьи в этой книге короткие – всего несколько абзацев. Такой формат позволяет читателю быстро уловить суть предмета и не утонуть в море информации. Когда люди впервые увидели обратную сторону Луны? Обратитесь к одноименной статье. В чем состоит загадка древней батарейки из Багдада или что такое черные алмазы? На следующих страницах вы прочтете об этом и о многом другом, что волнует сегодня человечество. К примеру, не является ли наша реальность всего лишь искусственной конструкцией? По мере того как мы все больше узнаем о Вселенной и моделируем на компьютерах все более сложные явления, даже серьезные ученые задаются вопросом о природе физической реальности. А вдруг весь наш мир – это некая компьютерная модель?

В нашем собственном небольшом уголке Вселенной мы уже создали компьютеры, способные моделировать с помощью программных средств и математических правил процессы, подобные поведению живых организмов. Очень вероятно, в будущем мы смоделируем и саму реальность. Но не исключено, что более развитые существа уже делают это где-то во Вселенной.

Цель и хронология

Примеры действия законов физики мы можем встретить повсюду. При написании «Великой физики» я ставил задачу предоставить широкой аудитории краткий путеводитель-справочник по важным физическим идеям и их авторам. Каждая статья достаточно коротка, и ее можно усвоить за несколько минут. Большая часть статей написана на темы, которые интересовали меня лично. Увы, не все главные вехи в истории физики попали в эту книгу – иначе она бы разрослась до слишком большого объема. Поэтому, чтобы прославить чудеса физики в сжатом формате, я был вынужден опустить множество важных жемчужин этой науки. Тем не менее мне кажется, я включил в книгу рассказы о большей части идей, имеющих историческое значение и оказавших сильное влияние на развитие физики, общества или мышления человека. Некоторые статьи более приближены к жизни, некоторые даже забавны. Включенные сюжеты охватывают широкий круг вопросов: от шкивов, динамита и лазеров до интегральных схем, бумерангов и «дурацкой замазки». По случаю я включил в книгу несколько необычных, фантастических, даже кажущихся бредовыми философских концепций или странных придумок, которые, тем не менее, имеют существенное значение. Среди них такие сюжеты, как квантовое бессмертие, антропный принцип или тахионы. Иногда какие-то сведения, приведенные в одной статье, повторяются в другой, это сделано для того, чтобы каждую из них можно было читать независимо от остальных. Редкие примеры текста, набранного полужирным шрифтом, отсылают читателя к соответствующей статье в книге. Кроме того, небольшой раздел «СМ. ТАКЖЕ» в конце каждой статьи помогает сплести из различных сюжетов сеть, связывающую их друг с другом. Это может помочь читателю легко перемещаться по книге в поисках новых открытий.

«Великая физика» отражает ограниченность моего интеллекта. Я пытаюсь изучить столько разделов физики, сколько смогу, но очень трудно чувствовать себя свободно во всех вопросах. Книга отчетливо отражает мои личные интересы, мои достоинства и недостатки, поскольку я отвечаю за выбор сюжетов включенных в нее статей и, конечно же, за все ошибки и погрешности. Книгу не предполагалось сделать всеобъемлющим трудом или научной диссертацией, это, скорее, развлекательное чтение для студентов-естественников или математиков, а также для всех, кто интересуется наукой. Я приветствую обратную связь и предложения читателей по улучшению книги, которую рассматриваю как непрерывно продолжающийся проект и любимое дело.

Книга выстроена в хронологическом порядке по возрастанию даты, сопутствующей каждой статье. Для большинства из них я брал даты открытия явления или формулировки идеи. Однако в первых трех статьях и в последних четырех даты ассоциируются с действительными (или гипотетическими) событиями – космологическими или астрономическими.

Конечно, датировка статей – вопрос выбора в тех случаях, когда вклад внесен более, чем одним человеком. Часто я использовал самую раннюю дату, когда это было уместно. Но иногда, после опроса коллег и других ученых, я

решал поставить ту дату, когда идея получила особую известность. Например, со статьей «Черные дыры» можно связать много дат, начиная с момента Большого взрыва 13,7 млрд лет назад, когда могли образовываться некоторые виды черных дыр. Сам термин «черная дыра» был придуман лишь в 1967 г. физиком-теоретиком Джоном Уилером. В конечном итоге я выбрал год, когда была впервые строго сформулирована сама идея черных дыр. Таким образом и получилась дата – 1783 год, именно тогда геолог Джон Мичелл (1724–1793) высказал идею о таком массивном объекте, что его поверхность не может покинуть даже свет. Аналогичным образом статья «Темная материя» отнесена к 1933 г., поскольку в том году швейцарский астрофизик Фриц Цвикки (1898–1974) получил первые свидетельства существования скрытой массы, таинственных неосвещающихся частиц. Год 1998 выбран для статьи «Темная энергия» не только потому, что сам термин был придуман тогда, но и из-за того, что в это же время наблюдения за некоторыми сверхновыми звездами навели на мысль об ускоренном расширении Вселенной.

Многие из более старых дат, включая годы «до н. э.», приблизительны (например, годы для статей о багдадской батарее, архимедовом винте и т. п.). Вместо того чтобы всюду перед ними ставить слово «около», я сейчас сообщаю читателю, что даты, относящиеся и к Древнему миру, и к очень далекому будущему, являются всего лишь грубыми оценками.

Читатели непременно отметят, что значительное число открытий в физике привело к появлению ряда медицинских инструментов, помогло уменьшить человеческие страдания и спасти много жизней. Популяризатор науки Джон Симмонс замечает: «Медицина обязана физике двадцатого столетия большей частью своего инструментария, позволяющего получить изображения человеческого тела. Уже через несколько недель после открытия рентгеновских лучей (в 1895 г.) они были использованы для диагностики. На несколько десятилетий позже появилась лазерная технология – практический результат развития квантовой механики. Эхография, или ультразвуковая диагностика, стала побочным результатом работ по обнаружению подводных лодок. Компьютерная томография возникла на основе компьютерных технологий. Самая важная из недавних медицинских технологий, позволяющая получать детальные трехмерные изображения внутренних органов человека, – это МРТ (магнитно-резонансная томография)».

Внимательный читатель также обратит внимание на то, что значительное число важнейших открытий было сделано в XX в. Чтобы посмотреть на даты в перспективе, рассмотрим научную революцию. Она произошла, грубо говоря, в период между 1543 и 1687 гг. В 1543 г. Николай Коперник опубликовал свою гелиоцентрическую теорию движения планет. Между 1609 и 1619 гг. Иоганн Кеплер установил законы, описывающие движение планет вокруг Солнца. В 1687 г. Исаак Ньютон сформулировал фундаментальные законы механики и закон всемирного тяготения. Вторая научная революция произошла между 1850 и 1865 гг., когда ученые ввели и отточили различные понятия, касающиеся энергии и энтропии. Расцвели такие разделы физики, как термодинамика, статистическая механика и кинетическая теория газов. В XX в. наиболее важными достижениями науки стали квантовая теория, специальная и общая теории относительности, кардинальным образом изменившие наше мировоззрение.

На страницах книги я часто цитирую знаменитых ученых или авторов, пишущих о науке. Ссылки в конце книги помогут читателям более четко идентифицировать авторов и источники.

Так как статьи в книге выстроены в хронологическом порядке, при поисках нужной темы используйте указатель. Может случиться так, что она обсуждается там, где вы не ожидали бы ее найти. Например, концепция квантовой механики столь глубока и разнообразна, что в книге нет отдельной статьи под названием «Квантовая механика». Но читатель может найти интересные и ключевые аспекты этой теории в таких статьях, как «Закон излучения абсолютно черного тела», «Волновое уравнение Шрёдингера», «Кот Шрёдингера», «Параллельные миры», «Конденсат Бозе–Эйнштейна», «Принцип запрета Паули», «Квантовая телепортация» и в некоторых других.

Кто знает, что физика предложит нам в будущем. К концу XIX в. выдающийся физик Уильям Томсон, известный также как лорд Кельвин, провозгласил конец физики. Он не мог предвидеть появление квантовой механики и теории относительности, а также тех драматических изменений, которые внесли в физику эти теории. Эрнст Резерфорд в начале 1930-х гг. сказал об атомной энергии: «Любой, кто ожидает, что превращения атомов могут стать источником энергии, несет вздор». Да, пожалуй, предсказать будущее физики, ее идей и их приложений, трудно, а может, и вообще невозможно.

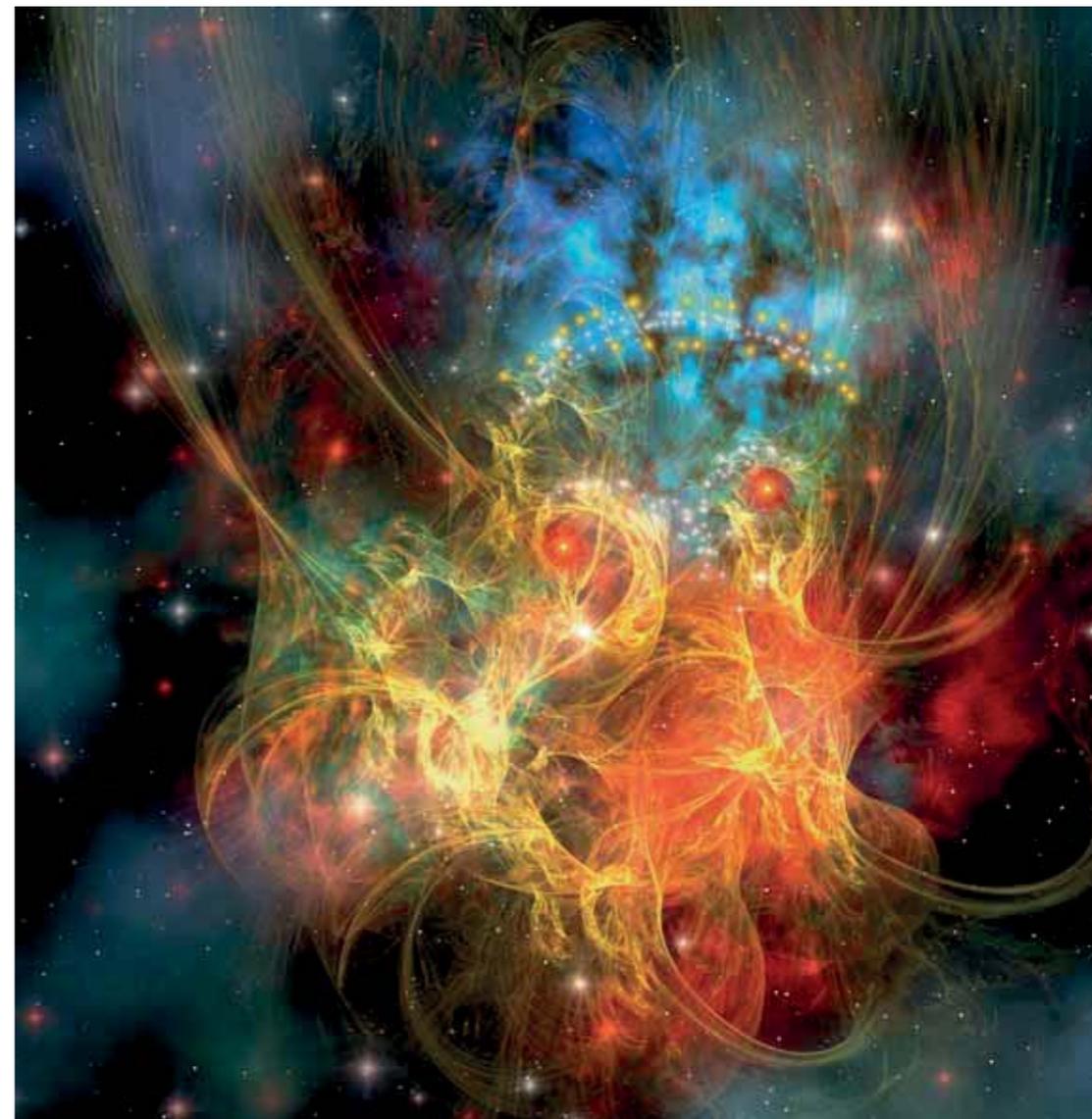
В заключение заметим, что открытия в физике обеспечивают тот фундамент, на котором строятся исследования субатомных и сверхгалактических областей, а физические теории позволяют ученым делать предсказания, касающиеся Вселенной. Это та область, где философские гипотезы могут дать стимул для научных прорывов. Открытия, описанные в этой книге, принадлежат к числу величайших достижений человечества. Для меня лично физика играет огромную роль – она поддерживает в моей душе постоянное восхищение беспредельностью мысли, жизнью нашей Вселенной и нашим местом на этом громадном пространственно-временном ландшафте, которое мы называем своим домом.

Благодарности

Я благодарю Дж. Спротт, Л. Коэна, Д. Гордона, Н. Хобсона, Т. Крачека, П. Барнса и П. Московитца за комментарии и предложения. Особо я хотел бы поблагодарить Мелани Мэдден – редактора этой книги.

Для рассказа об основных вехах и поворотных моментах в истории физики я изучил широкий спектр замечательных книг и веб-сайтов, многие из которых перечислены в разделе «Примечания и список дополнительной литературы», в том числе книги Джоан Бейкер «Пятьдесят идей физики, которые вам совершенно необходимо знать» (Joanne Baker. *50 Physics Ideas You Really Need to Know*), Джеймса Трефила «Сущность науки» (James Trefil. *The Nature of Science*) и Питера Толлака «Книга о науке» (Peter Tallack. *The Science Book*). Сетевые ресурсы – например, Википедия (en.wikipedia.org и ru.wikipedia.org) – могут стать полезной стартовой площадкой для читателей, желающих получить больше информации.

Должен также отметить, что в некоторых из моих собственных предыдущих книг – таких как «От Архимеда до Хокинга. Законы физики и великие умы, стоящие за ними» (*Archimedes to Hawking: Laws of Science and the Great Minds Behind Them*) – уже затрагивались отдельные вопросы по теме ряда статей данной книги, так что они могут служить читателям «Великой физики» источником дополнительной информации.



*Я тебе скажу, Лестат, что было Большим взрывом.
Это когда клетки Бога начали делиться.*

Энн Райс. «История Похитителя тел»

Большой взрыв

Жорж Леметр (1894–1966), Эдвин Хаббл (1889–1953),
Фред Хойл (1915–2001)

В начале 1930-х гг. бельгийский священник и физик Жорж Леметр предложил теорию, согласно которой эволюция нашей Вселенной началась с чрезвычайно плотного и горячего состояния, и пространство с тех пор непрерывно расширяется. Эта теория стала известна под названием теории Большого взрыва. Полагают, что он произошел 13,7 млрд лет тому назад, и сейчас большинство галактик все еще удаляется друг от друга. Важно понять, что галактики – не осколки взорвавшейся бомбы, расширяется само пространство. Увеличение расстояний между галактиками – процесс, подобный расхождению друг от друга точек, нарисованных на поверхности воздушного шарика, который надувают. Не имеет значения, в какой точке находится наблюдатель, фиксирующий расширение пространства. При взгляде из любой из них все остальные будут казаться удаляющимися от нее.

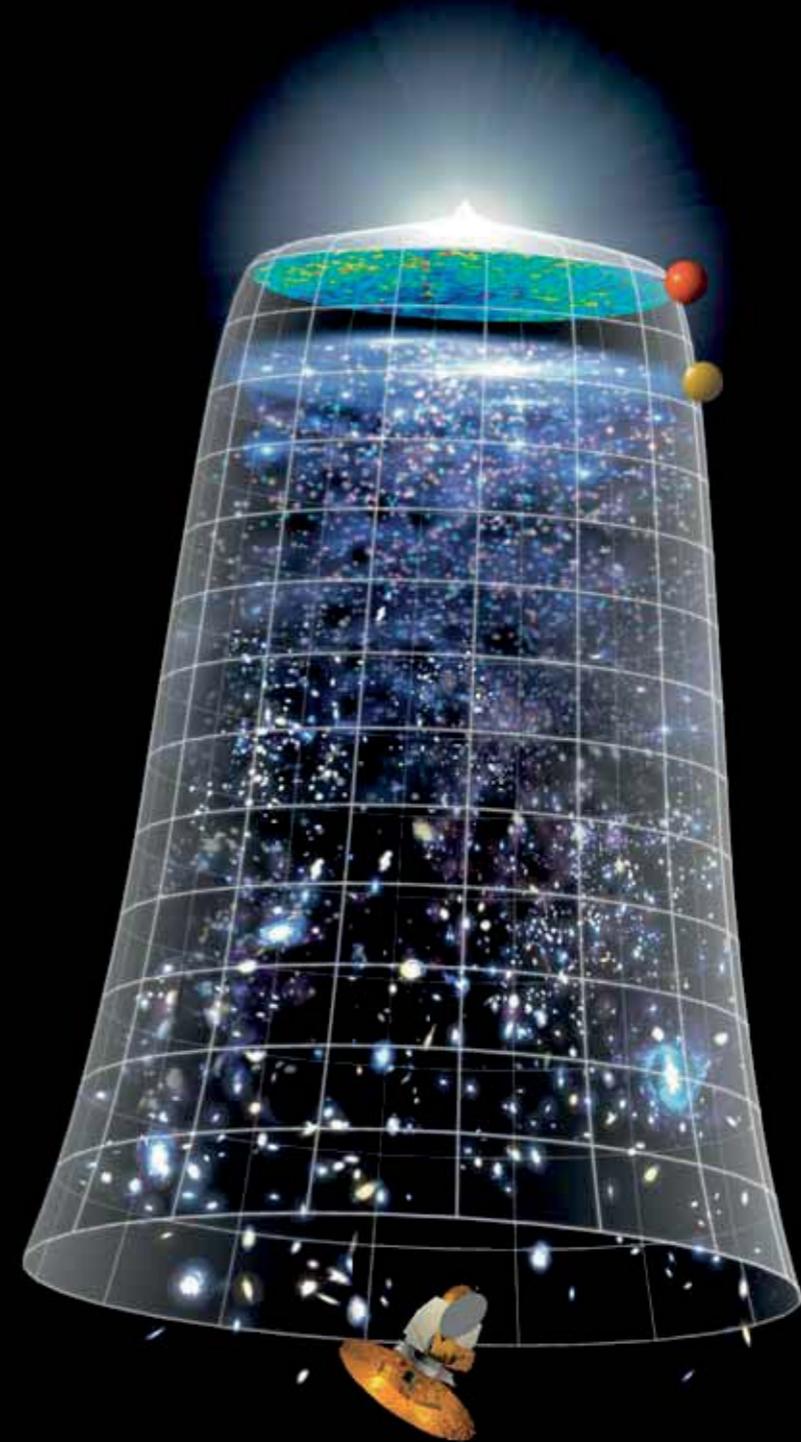
Впервые разбегание галактик было обнаружено американским астрономом Эдвином Хабблом в 1920-х гг. В 1949 г., давая интервью на радио, Фред Хойл придумал термин «Большой взрыв». Лишь примерно через 400 000 лет после Большого взрыва Вселенная достаточно остыла, чтобы стало возможным образование нейтральных атомов водорода из протонов и электронов. Ядра гелия и легких элементов, порожденные Большим взрывом в первые несколько минут существования Вселенной, стали исходным материалом для первого поколения звезд.



Маркус Чаун, автор книги «Волшебная печь», предполагает, что вскоре после Большого взрыва газовые облака начали сгущаться, и Вселенная засияла как рождественская елка. Эти звезды жили и умерли до того, как родилась наша галактика. Астрофизик Стивен Хокинг подсчитал, что если бы темп расширения Вселенной через одну секунду после Большого взрыва был меньше всего на десять квинтиллионных частей (10^{-17}), то Вселенная сжалась бы и никакая разумная жизнь в ней не смогла бы появиться.

СМ. ТАКЖЕ Парадокс Ольберса (1823), Закон Хаббла о расширении Вселенной (1929), Нарушение *CP*-инвариантности (1964), Реликтовое излучение (1965), Космическая инфляция (1980), Телескоп «Хаббл» (1990), Космологический Большой разрыв (36 млрд лет спустя).

Согласно древнему финскому мифу о сотворении мира, небо и Земля образовались из разбитого птичьего яйца. На следующей странице – художественное изображение эволюции Вселенной после Большого взрыва (верхняя точка). Ось времени направлена вниз. Сначала Вселенная претерпевает короткий период быстрого раздувания (до момента, отмеченного красной точкой). Появление первых звезд, случившееся примерно через 400 млн лет, отмечено желтой точкой.



Призма Ньютона

Исаак Ньютон (1642–1727)

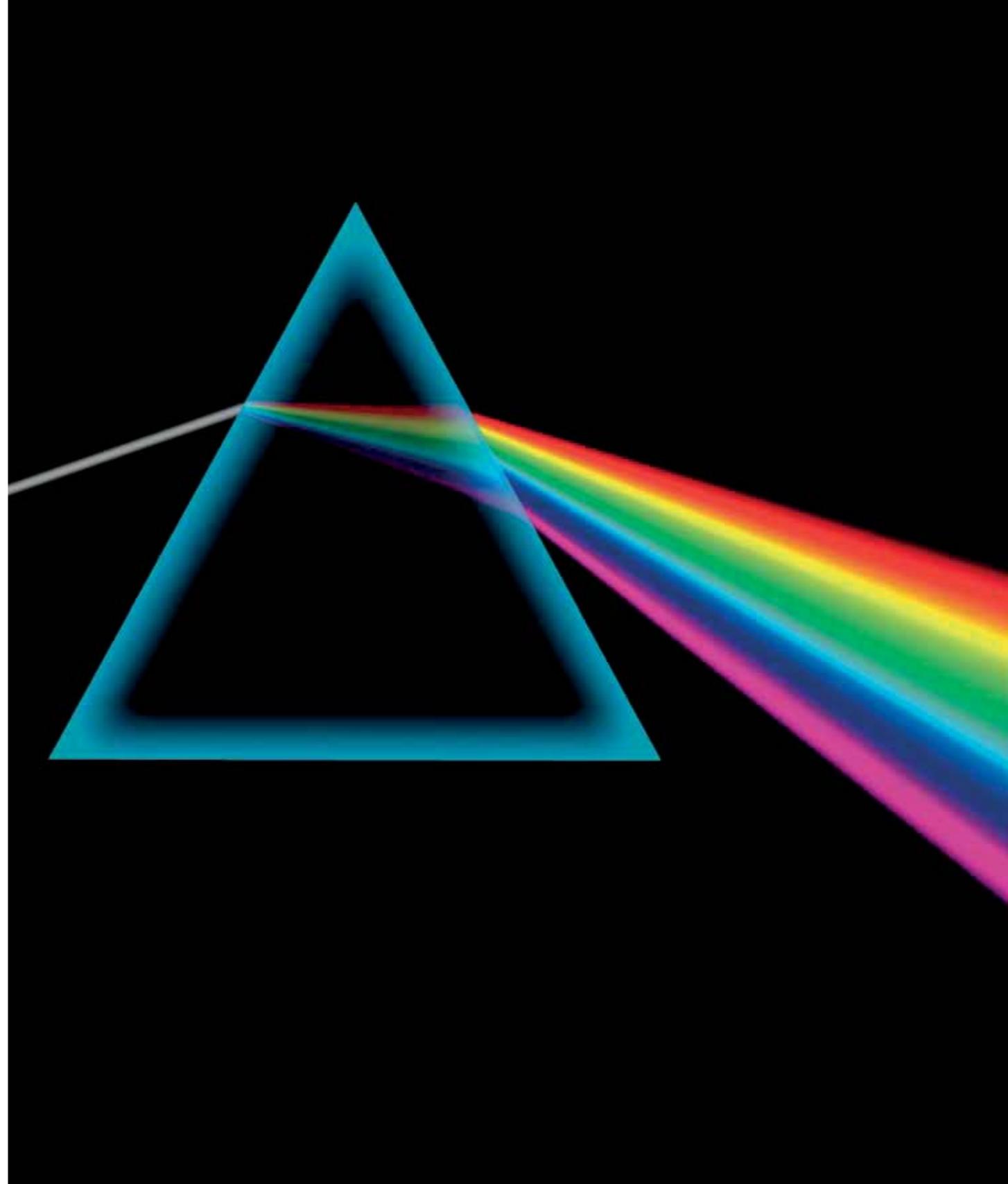
«Наше современное понимание света и цвета начинается с Исаака Ньютона, с его экспериментов, результаты которых он опубликовал в 1672 г., – пишет педагог Майкл Дума. – Ньютон был первым, кто объяснил радугу: с помощью призмы он разложил солнечный свет на составляющие цвета – красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый».

Когда Ньютон в конце 1660-х гг. проводил свои знаменитые оптические опыты, многие современники думали, что цвета – это смесь света и темноты и что свет окрашивается призмой. Несмотря на господствующие взгляды, Ньютон убедился, что «белый» свет не является единым целым, как считал Аристотель, а представляет собой смесь многих лучей, соответствующих различным цветам. Роберт Гук критиковал исследования Ньютона свойств света, что страшно раздражало сэра Исаака. Его гнев был абсолютно несоизмерим комментариям Гука. В конечном итоге Ньютон решился на публикацию своего монументального труда «Оптика» только после смерти Гука, последовавшей в 1703 г. Таким образом, Ньютон оставил последнее слово за собой и смог избежать возможных возражений коллеги. Ньютоновская «Оптика» вышла в свет в 1704 г. В ней Ньютон продолжил обсуждение природы цвета и дифракции света.

В своих экспериментах Ньютон использовал треугольную стеклянную призму. Свет входит в призму с одной стороны и разлагается в ней на разные цвета, поскольку угол преломления в стекле зависит от длины волны, т. е. от цвета луча. Работа призмы основана на том, что свет меняет свою скорость, когда входит из воздуха в стекло. Разделив цвета, Ньютон использовал вторую призму, чтобы собрать их снова в белый свет. Этот опыт показал, что не призма придает цвет лучам света, как верили многие. Ньютон также пропустил через вторую призму только луч красного цвета, полученный из первой призмы. И цвет луча не изменился. Это было еще одним доказательством, что призма не порождает цвет, а просто разделяет цвета, присутствующие в первоначальном световом пучке.

СМ. ТАКЖЕ Объяснение радуги (1304), Закон преломления Снеллиуса (1621), Оптический прибор Брюстера (1815), Спектр электромагнитного излучения (1864), Метаматериалы (1967).

Ньютон использовал призмы для демонстрации того, что белый свет не есть единое целое, как считал Аристотель, а состоит из смеси многих различных лучей, соответствующих разным цветам.



Эффект «черной капли»

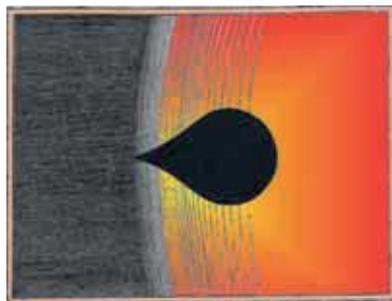
Торберн Олаф Бергман (1735–1784), Джеймс Кук (1728–1779)

Альберт Эйнштейн однажды сказал, что самое непостижимое в этом мире — это то, что он постижим. Действительно, мы живем в мире, который может быть описан компактными математическими выражениями и физическими законами. Даже самые странные астрофизические явления в конце концов находят научное объяснение, хотя порой на это требуется немало лет.

Таинственный эффект «черной капли» — оптическое явление, возникающее при наблюдении с Земли прохождения Венеры по солнечному диску: когда Венера «касается» внутреннего края солнечного диска, там появляется черная «слезинка». Суженная, вытянутая часть «слезинки» напоминает толстую пуповину или темный мост. В прошлом он мешал астрономам точно определить время прохождения Венеры по солнечному диску.

Первое подробное описание «черной капли» дал в 1761 г. шведский химик и минеролог Торберн Олаф Бергман, говоривший о «лигатуре», соединившей силуэт Венеры с темным краем Солнца. В последующие годы о подобных фактах сообщали многие ученые. Например, британский мореплаватель Джеймс Кук также наблюдал эффект «черной капли» во время прохождения Венеры по диску Солнца в 1769 г.

И сегодня физики продолжают размышлять о причинах возникновения «черной капли». Астрономы Джей М. Пасахоф, Глен Шнайдер и Леон Голуб предположили, что это «комбинация инструментальных эффектов и процессов, происходящих в атмосферах Земли, Венеры и Солнца». Во время прохождения Венеры по диску Солнца в 2004 г. одни наблюдатели видели «черную каплю», другие — нет. Журналист Дэвид Шига пишет: «Итак, эффект “черной капли” остался в XXI в. столь же загадочным, каким он был в XIX в. Споры о том, из чего состоит “настоящая” черная капля, очевидно, продолжатся... До следующего прохождения наблюдателям предстоит сравнить свои записи и выяснить, можно ли точно установить условия появления “черной капли”».



СМ. ТАКЖЕ Кольца Сатурна (1610), Размеры Солнечной системы (1672), Открытие Нептуна (1846), Зеленый луч (1882).

СЛЕВА: британский мореплаватель Джеймс Кук наблюдал эффект «черной капли» во время прохождения Венеры в 1769 г. Этот эффект изображен на рисунке австралийского астронома Генри Чемберлена Расселла (1836–1907). (Расселл наблюдал прохождение Венеры в 1874 г. — Прим. пер.) СПРАВА: эффект «черной капли» во время прохождения Венеры по диску Солнца в 2004 г.

Закон Боде для расстояний планет от Солнца

Иоганн Элерт Боде (1747–1826), Иоганн Даниэль Тициус (1729–1796)

Закон Боде, известный также как закон Тициуса–Боде, выглядит как псевдонаучная нумерология и потому особо интересен. Он интригует как физиков, так и непрофессионалов уже два с половиной столетия. Этот закон описывает среднее расстояние планет от Солнца. Рассмотрим простую числовую последовательность 0; 3; 6; 12; 24; ..., в которой каждое следующее число в два раза больше предыдущего. Добавим далее к каждому числу 4 и результат разделим на 10. Получаем тогда последовательность 0,4; 0,7; 1,0; 1,6; 2,8; 5,2; 10,0; 19,6; 38,8; 77,2; ... Замечательно, что в этой последовательности перечислены средние расстояния от Солнца почти всех планет, выраженные в астрономических единицах (а. е.). Астрономическая единица – это среднее расстояние от Земли до Солнца, равное приблизительно 92 960 000 миль (149 604 970 км). Например, Меркурий находится от Солнца на расстоянии примерно 0,4 а. е., а Плутон – на расстоянии около 39 а. е.

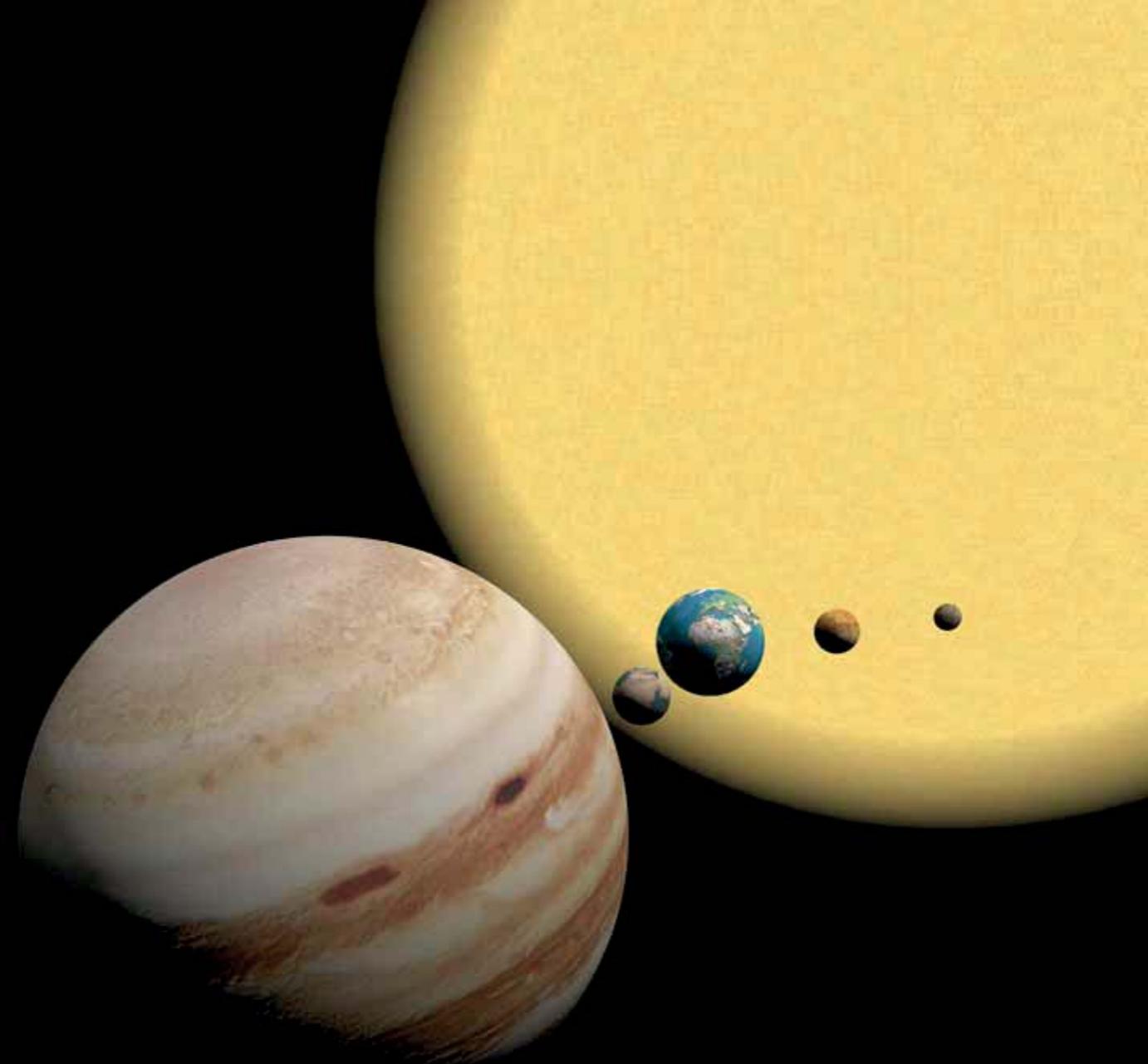
Этот закон был открыт в 1766 г. немецким астрономом из Виттенберга Иоганном Тициусом и опубликован шестью годами позже Иоганном Боде. Соотношения между радиусами планетных орбит еще в начале XVIII в. рассматривал шотландский математик Дэвид Грегори. В то время закон Боде давал удивительно точные оценки средних расстояний от Солнца для известных тогда планет – Меркурия (0,39), Венеры (0,72), Земли (1,0), Марса (1,52), Юпитера (5,2) и Сатурна (9,55). Средний радиус орбиты Урана, открытого в 1781 г., равен 19,2, что тоже согласуется с законом Боде.

Современные ученые питают большие сомнения по поводу закона Боде, который, очевидно, не является таким же универсально применимым, как другие законы, описанные в этой книге. Действительно, указанное соотношение может оказаться чисто эмпирическим и случайным. (В таком случае правильнее было бы говорить не о «законе», а о «правиле Боде». – *Прим. пер.*)

Явление «орбитальных резонансов», возникающее, когда вращающиеся по своим орбитам тела взаимодействуют друг с другом посредством гравитационного поля, может привести к образованию вокруг Солнца областей, свободных от стабильных орбит, и тем самым – к закономерностям в расстояниях между планетами. Орбитальный резонанс может случиться, когда периоды вращения двух тел на орбитах относятся как небольшие целые числа, т. е. когда тела регулярно и систематически влияют друг на друга через гравитационное взаимодействие.

СМ. ТАКЖЕ *Mysterium Cosmographicum* («Тайна мира») (1596), Размеры Солнечной системы (1672), Открытие Нептуна (1846).

Согласно закону Боде, среднее расстояние Юпитера от Солнца равно 5,2 а. е., реально же измеренное значение – 5,203 а. е.



Газовый закон Шарля

Жак Александр Сезар Шарль (1746–1823),
Жозеф Луи Гей-Люссак (1778–1850)

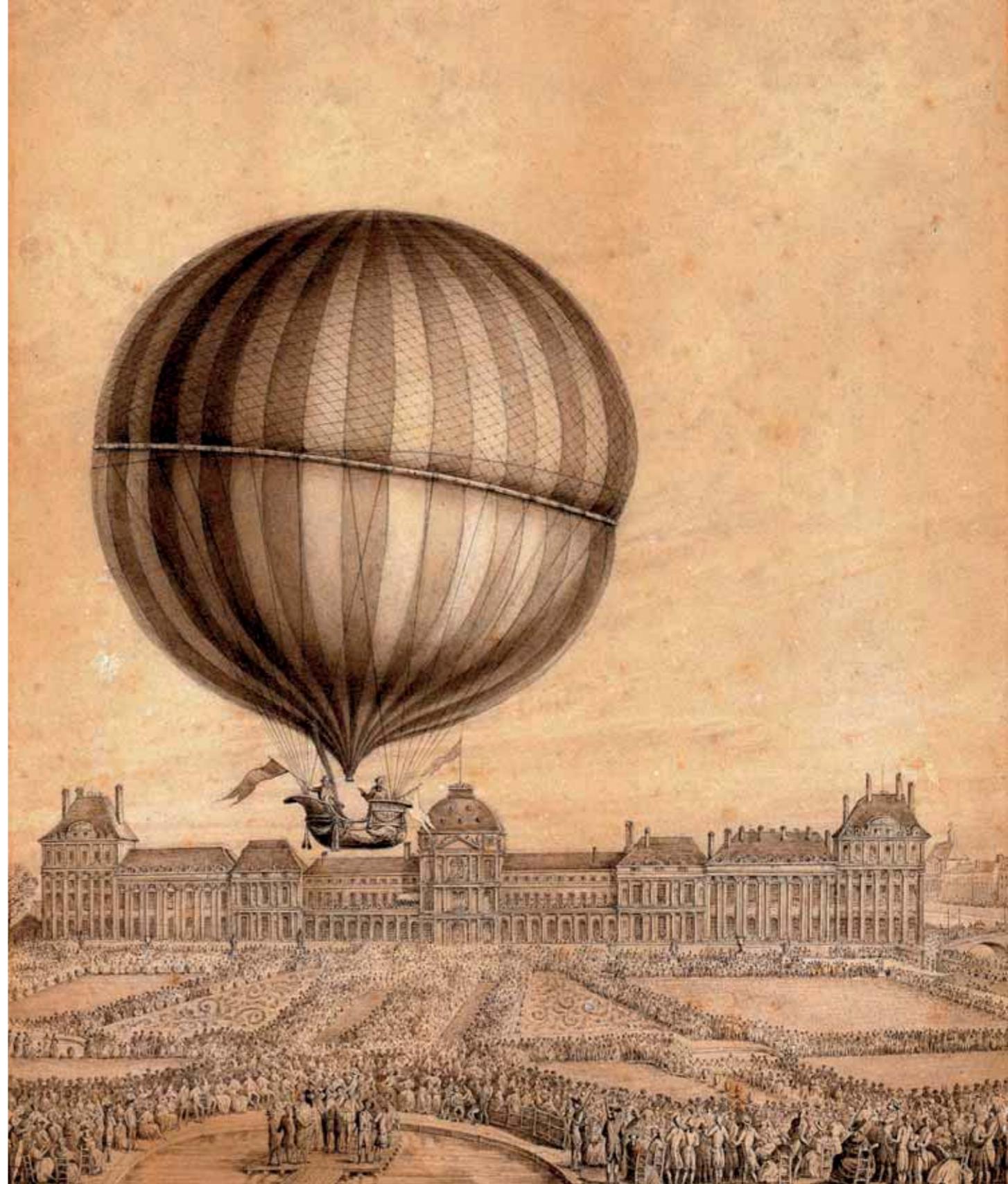
«Наше дело – проколоть надутые воздухом пузыри и обнаружить зерна истины», – писала англичанка Вирджиния Вульф в очерке «Мысли о мире во время воздушного налета». А француз Жак Шарль знал, как заставить воспарить «пузыри», чтобы найти истину. Газовый закон, названный его именем, утверждает, что объем, занимаемый фиксированным количеством газа, меняется пропорционально его абсолютной температуре (т. е. температуре, выраженной в кельвинах). Этот закон можно записать формулой $V = aT$, где V – объем при постоянном давлении, T – абсолютная температура и a – некоторая постоянная величина. Физик Жозеф Гей-Люссак первым опубликовал этот закон в 1802 г., сославшись на неопубликованную работу Жака Шарля примерно 1787 г.

При повышении температуры газа его молекулы начинают двигаться быстрее и ударяют в стенки содержащего их сосуда с большей силой. Это увеличивает объем газа, если объем сосуда может увеличиваться. Для более конкретного примера рассмотрим нагревание воздуха в аэростате. По мере повышения температуры скорость молекул газа внутри оболочки увеличивается. В свою очередь, это увеличивает темп бомбардировки молекулами внутренней поверхности оболочки. Объем газа увеличивается, его плотность падает. Охлаждение газа внутри аэростата приводит к обратному эффекту: давление внутри падает и оболочка сжимается.

Своим современникам Шарль был известен более всего различными деяниями и изобретениями, имеющими отношение к воздухоплаванию и другим прикладным наукам. В 1783 г. состоялось его первое путешествие на воздушном шаре, за которым следили тысячи восторженных людей. Аэростат поднялся на высоту 914 м и приземлился в поле в пригороде Парижа, где был разрушен испуганными крестьянами. Местные жители сочли аэростат каким-то злым духом или чудовищем, якобы издававшим стоны и вздохи и будто бы даже испускавшим ядовитый запах.

СМ. ТАКЖЕ Газовый закон Бойля (1662), Газовый закон Генри (1803), Газовый закон Авогадро (1811), Кинетическая теория (1859).

Первый полет Жака Шарля со вторым пилотом Николя-Луи Робером в 1783 г. Воздухоплаватели машут зрителям флагом. На заднем плане – Версальский дворец. Гравюра, вероятно, выполнена Антуаном Франсуа Сержан-Марсо (ок. 1783).



Волновая природа света

Христиан Гюйгенс (1629–1695), Исаак Ньютон (1642–1727),
Томас Юнг (1773–1829)

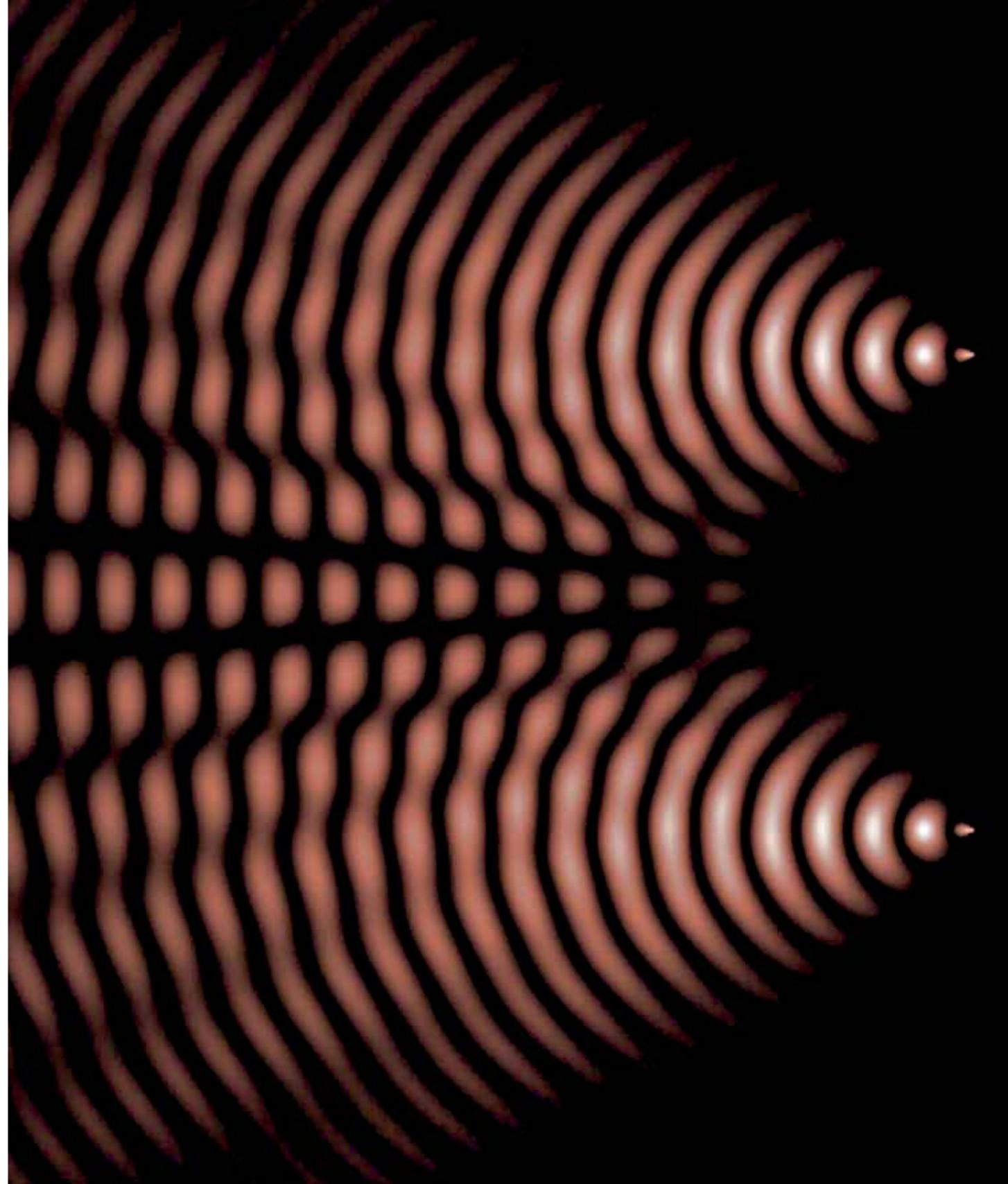
«Что такое свет?» – вопрос, занимавший ученых столетиями. В 1675 г. великий англичанин Исаак Ньютон предположил, что свет – это поток мельчайших частиц. Его научный соперник, голландский физик Христиан Гюйгенс считал, что свет – это волны. Тогда победила теория Ньютона, во многом из-за его высокого научного авторитета. Около 1800 г. английский исследователь Томас Юнг, работавший также над расшифровкой Розеттского камня, начал серию экспериментов, которые поддержали волновую теорию. В современном варианте эксперимента Юнга лазер освещает две параллельные прорези в непрозрачной ширме. Изображение, получающееся при прохождении света через две щели, наблюдается на экране на некотором отдалении от щелей. Юнг привел геометрические аргументы для доказательства того, что наблюдаемая картина чередования светлых и темных полос, т. е. усиление и ослабление света, может быть объяснена наложением (суперпозицией) волн, выходящих из двух щелей. Если бросить в озеро два камня и наблюдать за набегающими друг на друга волнами, то можно увидеть, как иногда они гасят друг друга, а иногда усиливают, образуя волну большей высоты. Интерференция света аналогична этому явлению.

Если мы проведем такой же эксперимент с пучком электронов вместо света, то получим похожую интерференционную картинку. Это удивительный результат, потому что если бы электроны вели себя как частицы, то на экране появились бы два ярких пятнышка – изображения двух щелей.

Теперь мы знаем, что поведение света и субатомных частиц весьма загадочно. Когда электроны посылаются на щели по одному, то возникающая интерференционная картина аналогична той, что получается при прохождении волны через обе щели. Такое поведение свойственно всем субатомным частицам, не только фотонам (частицам света) и электронам, и наводит на мысль, что свойства света и других субатомных частиц являются каким-то таинственным сочетанием свойств и частицы, и волны. Это одно из следствий квантовой механики, которая совершила в физике настоящую революцию.

СМ. ТАКЖЕ Уравнения Максвелла (1861), Спектр электромагнитного излучения (1864), Электрон (1897), Фотоэффект (1905), Условие Брэгга для дифракции на кристалле (1912), Соотношение де Бройля (1924), Волновое уравнение Шрёдингера (1926), Принцип дополнительности (1927).

Моделирование интерференции волн от двух точечных источников. Юнг показал, что суперпозиция световых волн от двух щелей объясняет наблюдаемую картинку чередующихся светлых и темных полос, которые соответствуют усилению и ослаблению волн, взаимно влияющих друг на друга.



1842 г.

Эффект Доплера

Кристиан Андреас Доплер (1803–1853),
Христофор Хенрик Дидерик Бёйс-Баллот (1817–1890)



«Когда полицейский берет автомобиль на прицел своей радарной или лазерной “пушки”, – пишет журналист Чарльз Зайф, – он на самом деле измеряет, насколько движение автомобиля сжимает отраженное излучение (благодаря эффекту Доплера). Измеряя это сплющивание, он может вычислить, как быстро движется автомобиль, и вручить водителю штрафную квитанцию на 250 долларов. Разве наука не чудо?»

Эффект Доплера, названный в честь австрийского физика Кристиана Доплера, заключается в изменении частоты волны, когда ее источник движется относительно наблюдателя. Например, если движущий автомобиль издает гудок, то при приближении машины к нам тон гудка повышается, в самый момент проезда машины мимо нас он совпадает с истинным, а при ее удалении – понижается.

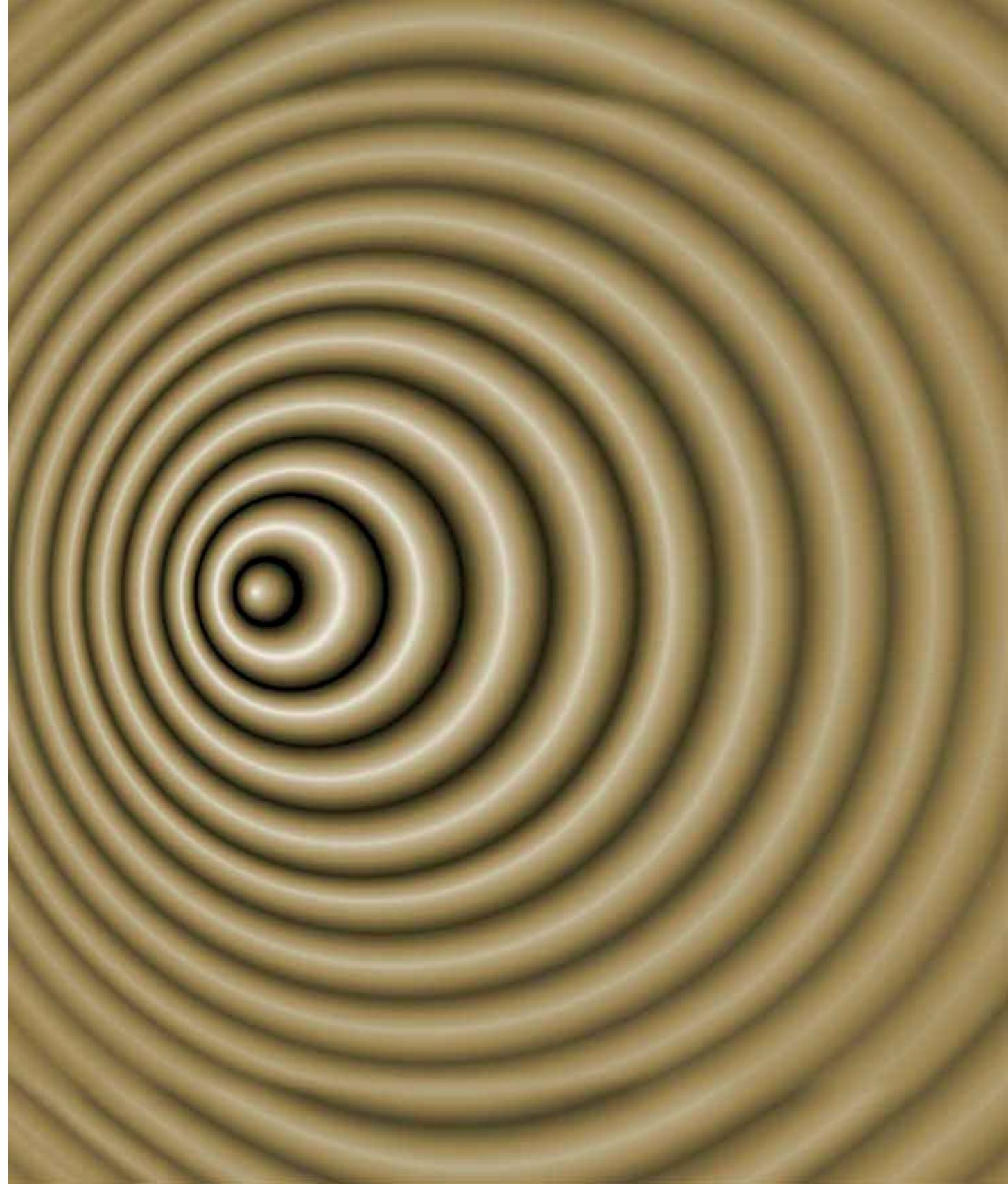
И хотя мы часто упоминаем эффект Доплера, говоря о звуке, он проявляется при распространении любых волн, включая свет.

В 1845 г. голландский метеоролог и химик Х. Х. Д. Бёйс-Баллот выполнил один из первых экспериментов по подтверждению правильности идеи Доплера для звуковых волн. В этом эксперименте трубачи, ехавшие в поезде, играли определенную ноту, которую слушали другие музыканты, располагавшиеся рядом с полотном железной дороги. Используя наблюдателей с «абсолютным слухом», Бёйс-Баллот доказал таким образом существование эффекта Доплера, а затем записал его в виде математической формулы.

Для многих галактик скорости их удаления от нас могут быть определены по красному смещению – наблюдаемому увеличению длины волны (или уменьшению частоты) электромагнитного излучения, принимаемого наблюдателем на Земле, по сравнению с излучением неподвижного источника. Такое красное смещение возникает из-за того, что галактики удаляются от нашей собственной Галактики с огромной скоростью из-за расширения пространства. Этот сдвиг длины волны света из-за относительного движения излучателя и приемника – еще один пример проявления эффекта Доплера.

СМ. ТАКЖЕ Парадокс Ольберса (1823), Закон Хаббла о расширении Вселенной (1929), Квезары (1963), Наибольшая скорость смерча (1999).

СЛЕВА: портрет Кристиана Доплера на фронтисписе его трактата «Uber das farbige Licht der Doppelsterne» («Об окраске света двойных звезд»). СПРАВА: представим себе источник звука или света, испускающий сферические волны. Когда источник движется справа налево, для наблюдателя слева волны как бы сжимаются. Излучение приближающегося источника испытывает синее смещение (длины волн становятся короче).



Открытие Нептуна

Джон Куч Адамс (1819–1892), Урбен Жан Жозеф Леверье (1811–1877),
Иоганн Готфрид Галле (1812–1910)

«Проследить – точно! – движение планеты – задача невероятной сложности, – пишет астроном Джеймс Кейлер. – Для двух тел у нас есть великолепно простой набор правил. Но уже всего лишь для трех взаимно притягивающихся тел таких правил не существует, и это доказано математически... А потому открытие Нептуна – поистине триумф математического метода (называемого теорией возмущений) и всей ньютоновской механики».

Нептун – единственная планета нашей Солнечной системы, чье существование и положение были математически предсказаны до того, как ее удалось увидеть. Астрономы заметили, что Уран, открытый в 1781 г., проявляет определенные нерегулярности в своем орбитальном движении вокруг Солнца. Ученые размышляли о причинах: быть может, законы Ньютона неприменимы на таких больших расстояниях или же на движение Урана влияет какой-то большой невидимый объект? Француз Урбен Леверье и англичанин Джон Адамс примерно в одно время вычислили положение новой планеты на небосводе. В 1846 г. Леверье, опираясь на свои вычисления, сказал немецкому астроному Иоганну Галле, куда направить телескоп. И уже через полчаса Галле обнаружил Нептун, чье положение всего на один градус отличалось от предсказанного. Это было яркое подтверждение ньютоновского закона всемирного тяготения. Галле писал Леверье 25 сентября: «Месье, планета, положение которой Вы указали, *действительно существует*», на что Леверье ответил: «Благодарю за готовность, с какой Вы отнеслись к моим указаниям. Стало быть, благодаря Вам, мы определенно *обладает новым миром*».

Британские ученые принялись доказывать, что первооткрыватель Нептуна – Адамс, а не Леверье. Разгорелась дискуссия. Любопытно, что за столетия до Леверье и Адамса астрономы не раз видели на небосводе Нептун, но они полагали, что это не планета, а звезда.

Невооруженным глазом Нептун не увидишь. Он делает оборот вокруг Солнца за 164,7 года и славится самыми быстрыми ветрами среди всех других планет нашей Солнечной системы.

СМ. ТАКЖЕ Телескоп (1608), Размеры Солнечной системы (1672), Ньютоновские законы движения и закон всемирного тяготения (1687), Закон Боденя для расстояний планет от Солнца (1766), Телескоп «Хаббл» (1990).

Восьмая планета Солнечной системы Нептун со своим спутником Протеем. Известны 13 спутников Нептуна. Экваториальный радиус этой планеты примерно в четыре раза больше радиуса Земли.



Специальная теория относительности

Альберт Эйнштейн (1879–1955)

Специальная теория относительности (СТО) по праву стоит в ряду величайших интеллектуальных триумфов человечества. Альберту Эйнштейну было всего 26 лет, когда он положил в основу СТО один из ее ключевых принципов – экспериментально установленный факт, что скорость света в вакууме не зависит от движения источника света и одинакова для всех наблюдателей, независимо от того, как они движутся. Это не похоже на ситуацию со скоростью звука, которая меняется для наблюдателя, движущегося относительно источника звука. Свойство постоянства скорости света привело Эйнштейна к выводу об *относительности одновременности*: два события, случившиеся в один момент времени для наблюдателя в лабораторной системе отсчета, происходят неодновременно с точки зрения наблюдателя, движущегося относительно первого.

Поскольку течение времени зависит от скорости путешественника, никакие универсальные часы, помещенные в центр Вселенной, по которым каждый сумел бы сверить точное время, невозможны. Вся ваша жизнь покажется одним мгновением для инопланетянина, улетевшего с Земли со скоростью, близкой к световой, и вернувшегося через час, чтобы обнаружить, что вы мертвы уже многие столетия. (Само употребление слова «относительность» частично связано с тем, что представляющийся наблюдателю мир зависит от его относительного движения – в этом смысле наши представления о мире «относительны».)

Хотя странные следствия СТО поняты уже более ста лет назад, студенты все еще воспринимают их с чувством недоумения и благоговейного страха. Тем не менее СТО, по всей видимости, точно описывает природу – от крошечных субатомных частиц до галактик.

Чтобы лучше понять другой аспект СТО, представьте, что вы летите на самолете с постоянной относительно земли скоростью. Итак, вы находитесь в движущейся системе отсчета. Принцип относительности гласит, что, если не глядеть в иллюминатор, нельзя сказать, насколько быстро вы движетесь. Коль скоро вы не видите движущийся за окном пейзаж, вы смело можете утверждать, что находитесь в самолете, стоящем на поле аэродрома, т. е. в системе отсчета, неподвижной относительно земли.

СМ. ТАКЖЕ Опыт Майкельсона–Морли (1887), Преобразования Лоренца (1904), $E = mc^2$ (1905), Общая теория относительности (1915), Эйнштейн как источник вдохновения (1921), Уравнение Дирака (1928), Путешествие во времени (1949), Тахионы (1967).

Универсальные часы, помещенные в центр Вселенной, по которым каждый сумел бы сверить точное время, к сожалению, невозможны. Вся ваша жизнь покажется одним кратким мигом для инопланетянина, путешествующего со скоростью, близкой к скорости света.



Эйнштейн как источник вдохновения

Альберт Эйнштейн (1879–1955)

Лауреат Нобелевской премии Альберт Эйнштейн признан одним из величайших физиков всех времен и народов и самым крупным ученым XX в. Он создал **специальную и общую теории относительности**, которые революционизировали наши представления о пространстве и времени. Он внес также важный вклад в квантовую механику, статистическую физику и космологию.

«Современная физика столь удалилась от повседневного опыта, – пишет Томас Левенсон, автор книги “Эйнштейн в Берлине”, – что вряд ли кто-нибудь из нас сегодня смог бы оценить достижения, сравнимые с эйнштейновскими... Когда Эйнштейн впервые приехал в Нью-Йорк в 1921 г., тысячи людей выстроились вдоль улиц, по которым проезжал кортеж... Попробуйте представить такую же реакцию на появление какого-нибудь нынешнего теоретика. Это просто невозможно. Со времен Эйнштейна эмоциональная связь между осмыслением реальности физиками и воображением публики значительно ослабла».

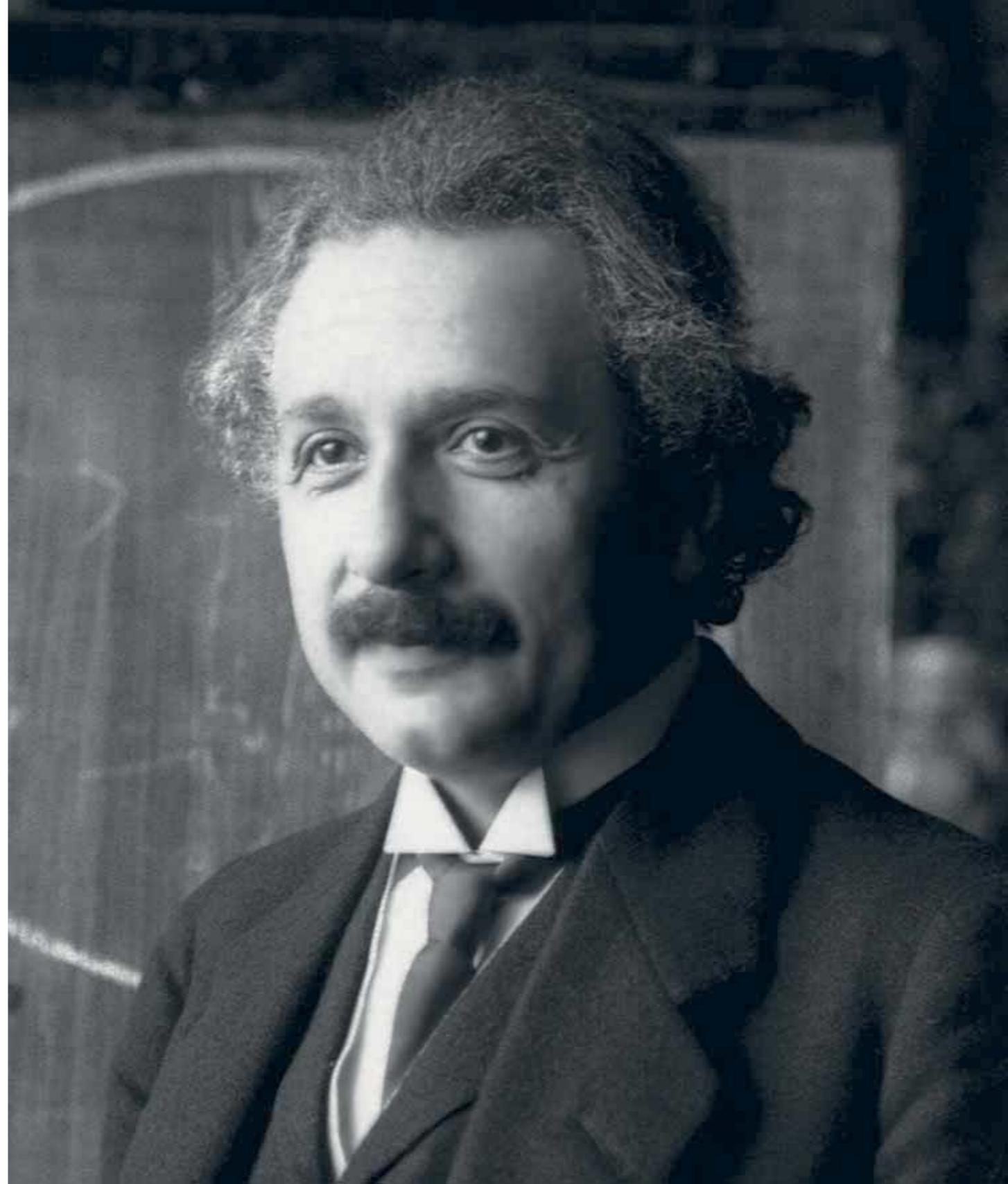
По мнению многих ученых, с которыми я консультировался, никогда уже не появится другой человек, сравнимый с Эйнштейном. Левенсон считает «маловероятным, что [наука] породит другого Эйнштейна – в смысле столь же общепризнанного символа гениальности. Невероятная сложность создаваемых [сейчас] теорий приводит к тому, что знания почти всех специалистов ограничены и касаются лишь отдельных частей проблемы». В отличие от современных ученых Эйнштейн мало нуждался или не нуждался вовсе в соавторах. Его работа по специальной теории относительности не содержит упоминаний других ученых или ссылок на предшествующие работы.

Бран Феррен, сопредседатель и главный дизайнер компании *Applied Minds*, подтверждает, что «представления об Эйнштейне важнее самого Эйнштейна». Он был не только величайшим физиком современности – он стал «вдохновляющим образцом для подражания, его жизнь и работы повлияли на жизнь многих других крупных мыслителей. Их суммарный общественный вклад вместе с вкладом тех, кого они вдохновили в свою очередь, намного превосходит достижения самого Эйнштейна».

Эйнштейн запустил неостановимую «интеллектуальную цепную реакцию», лавину оригинальных идей, мемов, которые будут вечно будить мысль в последующих поколениях.

СМ. ТАКЖЕ Ньютон как источник вдохновения (1687), Броуновское движение (1827), Специальная теория относительности (1905), Фотоэффект (1905), Общая теория относительности (1915), Стивен Хокинг в «Звездном пути» (1993).

42-летний Альберт Эйнштейн на лекции в Вене.



Кот Шрёдингера

Эрвин Рудольф Йозеф Александр Шрёдингер (1887–1961)

Кот Шрёдингера напоминает мне привидение или, быть может, ужасающего зомби – существо, которое одновременно и живо, и мертво. В 1935 г. австрийский физик Эрвин Шрёдингер опубликовал статью о замечательном парадоксе, из которого вытекали столь поразительные следствия, что он беспокоит и озадачивает ученых и сегодня.

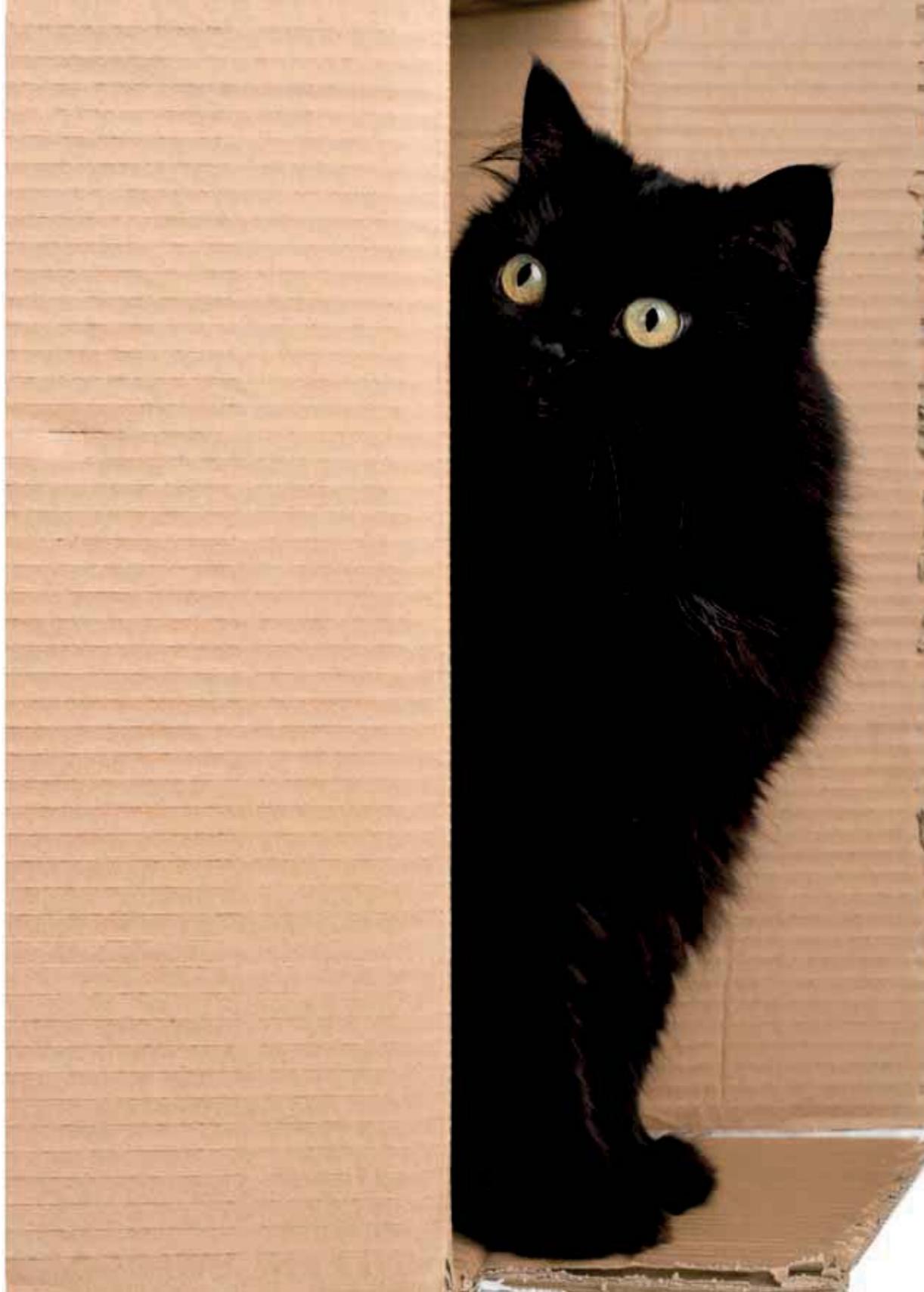
Шрёдингеру не нравилась предложенная незадолго до того *копенгагенская интерпретация*, согласно которой квантовая система (например, электрон) существует как облако вероятности, пока над ним не произведено наблюдение. Это означало, по-видимому, что бессмысленно спрашивать в расчете на точный ответ, что делают атомы и частицы, когда за ними никто не наблюдает. То есть действительность в некотором смысле создается наблюдателем. До акта наблюдения для системы доступны все возможности. Что это означает в нашей повседневной жизни? Представим себе живого кота, помещенного в коробку, где лежат источник **радиоактивности**, **счетчик Гейгера** и закрытая стеклянная колба со смертельным ядом. При радиоактивном распаде ядра счетчик Гейгера регистрирует это событие и запускает механизм, освобождающий молоток, который разбивает колбу, и распространившийся яд убивает кота.

Предположим, квантовая теория предсказывает, что с вероятностью 50% за час произойдет один распад. Стало быть, через час равновероятно найти кота живым или мертвым. Вся изюминка копенгагенской интерпретации состоит в том, что кота можно считать и живым, и мертвым, он пребывает в смеси этих двух состояний или, как говорят, в их суперпозиции. Некоторые теоретики считают, что, когда мы открываем коробку, сам акт наблюдения за состоянием кота приводит к редукции (коллапсу) этой суперпозиции, и кот будет обнаружен живым **или** мертвым.

Шрёдингер говорил, что его мысленный эксперимент демонстрирует несостоятельность копенгагенской интерпретации, и Альберт Эйнштейн с ним согласился. Вокруг этого несчастного кота возникло много вопросов. Кого или что считать истинным наблюдателем – счетчик Гейгера или муху? Может ли кот наблюдать сам за собой и таким образом редуцировать собственное состояние? Что на самом деле сообщает нам этот эксперимент о природе реальности?

СМ. ТАКЖЕ Радиоактивность (1896), Счетчик Гейгера (1908), Принцип дополнительности (1927), Квантовое туннелирование (1928), Парадокс Эйнштейна–Подольского–Розена (1935), Параллельные миры (1956), Теорема Белла (1964), Квантовое бессмертие (1987).

Когда коробку открывают, сам акт наблюдения может редуцировать суперпозицию, и кот Шрёдингера обнаруживается либо живым, либо мертвым. На этой фотографии кот, по счастью, вполне жив.



Падающая книжная башня

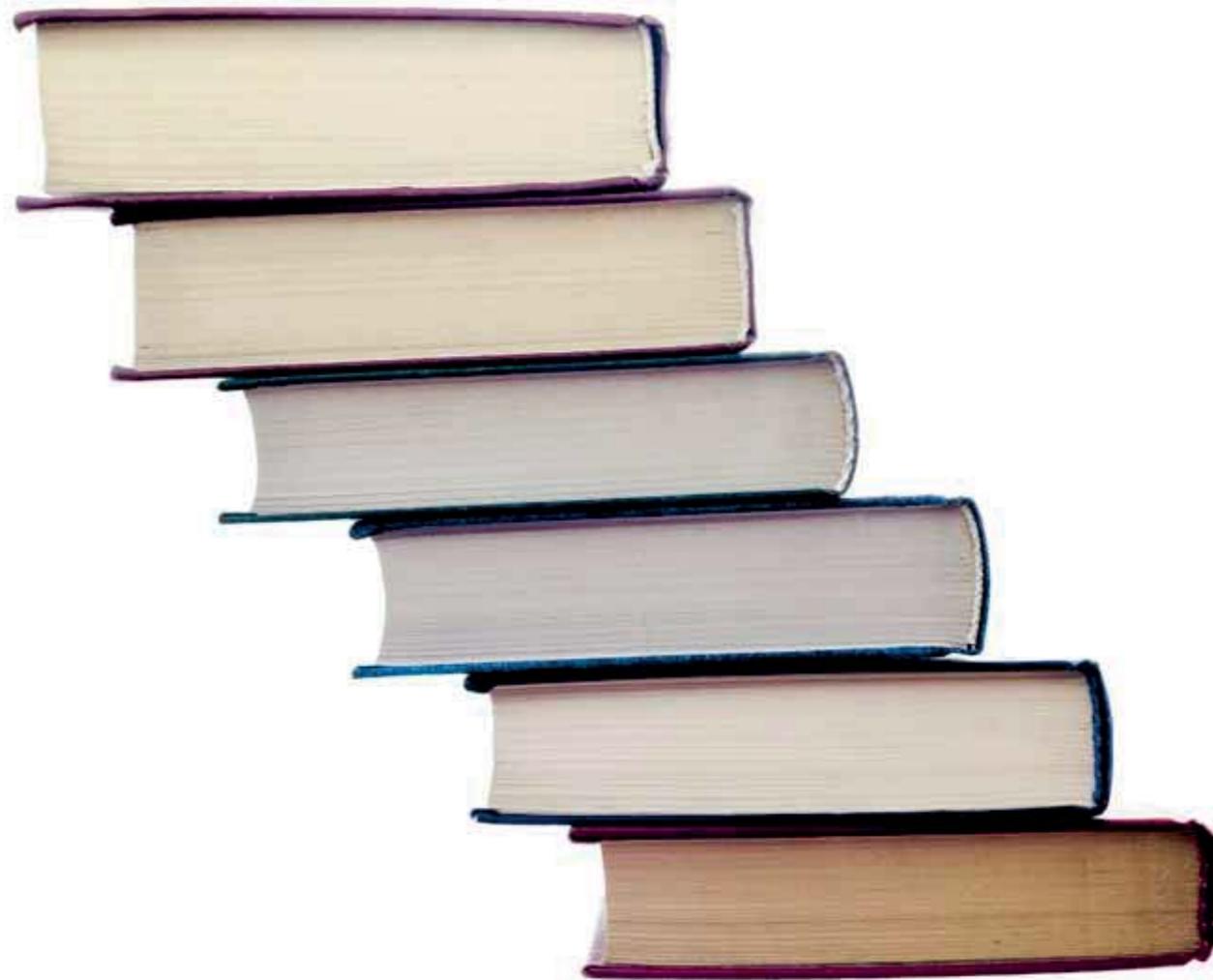
Мартин Гарднер (1914–2010)

Однажды, идя по библиотеке, вы замечаете стопку книг, выходящую за край стола. Вы спрашиваете себя, можно ли расположить книги в стопке так, чтобы верхняя вылезла далеко в комнату (скажем, на пару метров), а нижняя по-прежнему оставалась на столе? Или такой штабель книг упадет под собственным весом? Для простоты предполагается, что книги совершенно одинаковы и что на каждом «этаже» стопки разрешено иметь не более одной книги. Или, иными словами, каждая книга лежит лишь на одной другой книге.

Эта задача забавляла физиков по крайней мере с начала XIX в.; под названием *Падающей книжной башни* она появилась в 1955 г. в *American Journal of Physics*. Особое внимание уделил ей Мартин Гарднер, обсуждавший ее в 1964 г. в журнале *Scientific American*.

Стопка из n книг не упадет, пока ее центр масс все еще находится над столом. Более точно, центр масс всех книг, находящихся над произвольной книгой B , должен лежать на вертикальной линии, «прокальвающей» книгу B . Любопытно, что нет никаких ограничений на то, сколь далеко стопка может выдвинуться за край стола. Мартин Гарднер называет этот произвольно большой выступ парадоксом бесконечного смещения. Для выступа длиной всего в три книги нужно, чтобы стопка содержала 227 книг! Для навеса в 10 книг потребуется уже 272 400 600 книг. Ну а чтобы вытянуться на длину 50 книг (не)падающая башня должна быть построена из $1,5 \cdot 10^{44}$ книг. Получена и общая формула: имея в стопке n книг, можно построить выступ длиной $0,5 \times (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/n)$ книг. Этот гармонический ряд расходится очень медленно и, таким образом, скромное увеличение длины навеса потребует значительного увеличения числа книг в стопке. Дополнительные захватывающие исследования этой задачи были проведены после отмены ограничения, чтобы на каждом «этаже башни» содержалась только одна книга.

СМ. ТАКЖЕ Стропила (2500 до н. э.), Арка (1850 до н. э.), Тенсегрити (1948).



Можно ли расположить большое количество книг в стопке так, чтобы верхняя выходила далеко в комнату, а нижняя покоилась на столе? Или такая стопка упадет под собственным весом?

Фуллерены

Ричард Бакминстер (Баки) Фуллер (1895–1983),
 Роберт Флорид Кёрл-мл. (р. 1933),
 Харольд (Гарри) Уолтер Крото (р. 1939),
 Ричард Эррет Смолли (1943–2005)

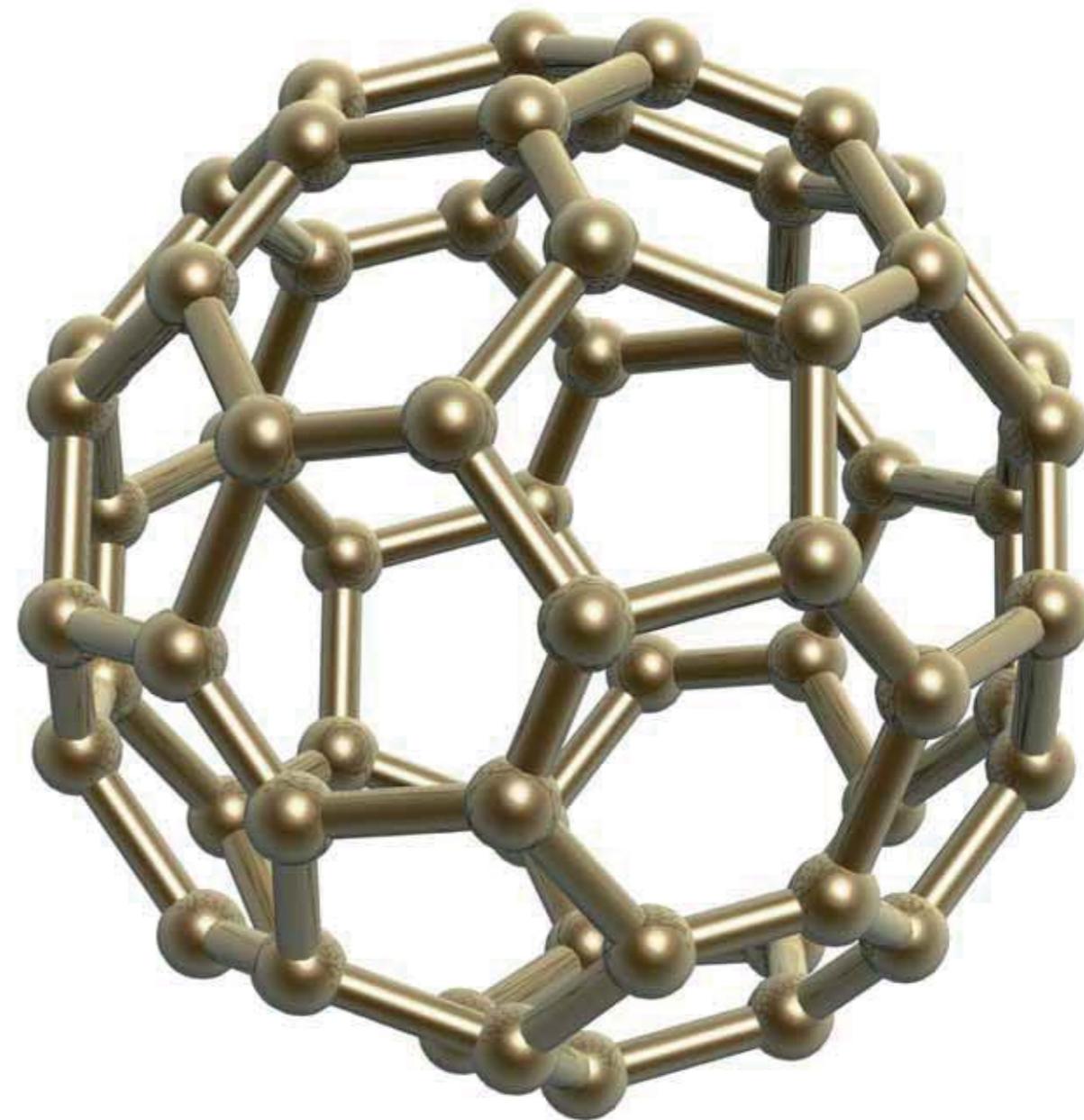
Каждый раз, думая о фуллеренах, я шутливо представляю себе команду микроскопических футболистов, играющих этими углеродными молекулами в форме мяча и забивающих голы на научных полях. Бакминстерфуллерены (или бакиболлы, или C_{60} для краткости), состоящие из 60 атомов углерода, были открыты в 1985 г. химиками Робертом Кёрлом, Харольдом Крото и Ричардом Смолли. Каждый атом углерода сидит в углу одного пятиугольника и двух шестиугольников. Фуллерены назвали в честь инженера и изобретателя Бакминстера (Баки) Фуллера, который построил сетчатые конструкции вроде геодезического купола, вспомнившегося открывателям C_{60} . Впоследствии бакиболлы обнаружили буквально всюду – от свечной сажи до метеоритов. Исследователи научились внедрять отдельные атомы в структуру C_{60} , словно птиц в клетки. Так как C_{60} охотно принимают и отдают электроны, они непременно найдут применение в батареях и электронных устройствах. Первые цилиндрические углеродные нанотрубки были изготовлены в 1991 г. Они довольно прочны и в будущем могут стать электропроводниками молекулярных размеров.

Кажется, что бакиболлы всегда находятся в центре внимания. Фармакологи пытаются использовать C_{60} и их производные для направленного транспорта лекарств и борьбы с подавлением вируса иммунодефицита человека (ВИЧ). Фуллерены представляют теоретический интерес с точки зрения своих квантовомеханических и сверхпроводящих свойств. В 2009 г. химик Юнфен Дженг с коллегами открыли удобные способы промышленного производства «баки-проводаки», соединяя бакиболлы подобно нитке жемчуга. Согласно журналу *Technology Review*, «фуллереновая проволока будет востребована в самых разных областях – в биологии, электрических, магнитных и оптических системах... Вероятно, они могут быть чрезвычайно эффективными поглотителями света из-за большой поверхности молекул и способности проводить электроны, выбитые из них фотонами. Они, возможно, будут использоваться и в электронике, соединяя молекулярные печатные платы».

В 2009 г. ученые создали новый материал с высокой проводимостью. Его кристаллическая решетка состоит из отрицательно заряженных фуллеренов, между которыми движутся положительно заряженные ионы лития. Ученые продолжают эксперименты с этой и сходными структурами – а вдруг они когда-нибудь станут «суперионными» материалами для батарей будущего...

СМ. ТАКЖЕ Батарея (1800), Соотношение де Бройля (1924), Транзистор (1947).

Бакминстерфуллерен (или бакиболл, или C_{60} для краткости) состоит из 60 атомов углерода. Каждый углеродный атом сидит в углу одного пятиугольника и двух шестиугольников.





КЛИФФОРД ПИКОВЕР (р. 1957) учился и получил PhD на факультете молекулярной биофизики и биохимии Йельского университета. Он — автор более семидесяти патентов и более сорока книг, переведенных на двенадцать языков мира. Темы их самые разнообразные — от естествознания и математики до научной фантастики, вопросов религии, искусства и истории. ПикOVER сотрудничает с несколькими научными и научно-популярными журналами. Его исследования всегда привлекают широкое внимание средств массовой информации начиная с CNN, WIRED и кончая The New York Times, а у его сайта www.pickover.com миллионы посетителей.

250 важнейших вех в истории физики, включая:

Большой взрыв (13,7 млрд лет до н. э.) • Солнечные часы (3000 до н. э.) • Багдадская батарейка (250 до н. э.) • Блок (230 до н. э.) • Огни Святого Эльма (78) • Северное полярное сияние (1621) • Барометр (1643) • Ньютоновские законы движения и гравитации (1687) • Воздушный змей Франклина (1752) • Черные дыры (1783) • Парадокс Ольберса (1823) • Закон Ома (1827) • Волоконная оптика (1841) • Уравнения Максвелла (1861) • Лампа накаливания (1878) • Плазма (1879) • Рентгеновские лучи (1895) • Ракета Циолковского (1903) • Эйнштейн. Специальная теория относительности (1905) • Общая теория относительности (1915) • Сверхпроводимость (1911) • Уравнения Шрёдингера (1926) • Нейтрон (1932) • Атомная бомба (1945) • Транзистор (1947) • Радиоуглеродный метод датировки (1949) • Параллельные вселенные (1956) • Темная сторона Луны (1959) • Квазары (1963) • Реликтовое излучение (1965) • Квантовые компьютеры (1981) • Фуллерены (1985) • Телескоп «Хаббл» (1990) • Темная энергия (1998) • Большой адронный коллайдер (2009) • Космологический Большой разрыв (36 млрд лет спустя) • Квантовое воскрешение (спустя более 100 трлн лет) • И многое-многое другое

«Великая физика» — увлекательное путешествие в историю физики, в мир великих открытий, начиная с гениальных прозрений древних мыслителей и заканчивая теориями современных космологов о прошлом и будущем нашей Вселенной. Поразительные истории, блестяще рассказанные ПикOVERом и к тому же прекрасно иллюстрированные, говорят о мощи человеческого интеллекта, способного проникнуть в самые сокровенные тайны природы. Эта великолепная книга — настоящий сад научных наслаждений!

Поль Халперн, автор книг «Коллайдер» и «Что наука сделала для нас?»

ПикOVER рассказывает о таинственных мирах, стоящих за известной нам реальностью.

The New York Times

Клиффорд ПикOVER — сегодня один из самых глубоких и оригинальных мыслителей в мире.

Journal of Recreational Mathematics

Книга ПикOVERа несомненно расширит кругозор любого человека.

Артур С. Кларк

Бакки Фуллер — гениален, Артур С. Кларк — тоже, но Клиф ПикOVER превосходит их обоих.

WIRED