

Примечания

Введение

1. Wouk, *The Language God Talks*, 5.
2. Альтернативное мнение можно найти в книгах: Barrow and Tipler, *Anthropic Cosmological Principle*; Rees, *Just Six Numbers*; Davies, *The Goldilocks Enigma*; Livio, *Is God a Mathematician?*; Tegmark, *Our Mathematical Universe*; и Carroll, *The Big Picture*. С философскими аспектами анализа можно познакомиться в Simon Friederich, *Fine-Tuning*, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/fine-tuning/>.
3. Adams, *Hitchhiker's Guide*, и Gill, *Douglas Adams' Amazingly Accurate Answer*.
4. Wouk, *The Language God Talks*, 6.
5. Исторические аспекты проблемы представлены в книгах: Boyer, *The History of the Calculus*, и Grattan-Guinness, *From the Calculus*. Dunham, *The Calculus Gallery*; Edwards, *The Historical Development*; и Simmons, *Calculus Gems*, которые рассказывают историю анализа на примере некоторых наиболее красивых задач и их решений.
6. Stewart, *In Pursuit of the Unknown*; Higham et al., *The Princeton Companion*; и Goriely, *Applied Mathematics*, передают дух, широту и практическую прикладную математики.
7. Kline, *Mathematics in Western Culture*, и Newman, *The World of Mathematics*, соединяют математику с более широкой культурой. Я провел много времени в старших классах, читая эти два шедевра.
8. О математике и физике смотрите Maxwell, *On Physical Lines of Force*, и Purcell, *Electricity and Magnetism*. О понятиях и истории смотрите Kline, *Mathematics in Western Culture*, 304–21; Schaffer, *The Laird of Physics*; и Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, глава 11. Биографию

Максвелла и Фарадея смотрите в книге: Forbes and Mahon, *Faraday, Maxwell*.

9. Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, глава 8.
10. Einstein, *Physics and Reality*, 51. Этот афоризм часто передают так: «Самая непостижимая вещь во Вселенной — то, что она постижима». Другие примеры цитат Эйнштейна, подлинных или приписываемых ему, смотрите в книгах: Calaprice, *The Ultimate Quotable Einstein*, и Robinson, *Einstein Said That*.
11. Wigner, *The Unreasonable Effectiveness; Hamming, The Unreasonable Effectiveness*; и Livio, *Is God a Mathematician?* См. <https://coollib.net/b/322251/>
12. Asimov, *Asimov's Biographical Encyclopedia*, 4—5; Burkert, *Lore and Science*; Guthrie, *Pythagorean Sourcebook*; и C. Huffman, *Pythagoras*, <https://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/pythagoras/>. Martínez в книгах *Cult of Pythagoras* и *Science Secrets* развенчивает многие мифы о пифагорейцах с осторожностью и уничижительным юмором.
13. Katz, *History of Mathematics*, 48–51, и Burton, *History of Mathematics*, раздел 3.2, обсуждают пифагорейскую математику и философию.
14. Ball, *A Century Ago Einstein Sparked*, и Pais, *Subtle Is the Lord*. Оригинальная статья: Einstein, *Zur Quantentheorie der Strahlung*.

Глава 1

1. Burton, *History of Mathematics*, и Katz, *History of Mathematics*, дают полномасштабное (хотя и без подробностей) введение в историю математики от античных времен до XX столетия. На более серьезном математическом уровне тема представлена в Stillwell, *Mathematics and Its History*. В качестве масштабного гуманистического подхода подойдет книга Kline, *Mathematics in Western Culture*.
2. Смотрите раздел 4.5 в книге Burton, *History of Mathematics*; главы 2 и 3 в книге: Katz, *History of Mathematics*; главу 4 в книге Stillwell, *Mathematics and Its History*.
3. Katz, *History of Mathematics*, раздел 1.5, представляет различные подходы к измерению площади круга, сделанные в различных мировых культурах. Первое доказательство было представлено Архимедом; смотрите Dunham, *Journey Through Genius*, глава 4, и Heath, *The Works of Archimedes*, 91–93.
4. Henry Mendell, *Aristotle and Mathematics*, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/aristotle-mathematics/>.

5. Katz, *History of Mathematics*, 56, и Stillwell, *Mathematics and Its History*, 54, обсуждают аристотелевскую разницу между актуальной бесконечностью и потенциальной бесконечностью.
6. Опираясь на новые свидетельства, Martínez, *Burned Alive*, утверждает, что Бруно был сожжен за свою космологию, а не за теологию. Смотрите также A. A. Martínez, *Was Giordano Bruno Burned at the Stake for Believing in Exoplanets?*, *Scientific American* (2018), <https://blogs.scientificamerican.com/observations/was-giordano-bruno-burned-at-the-stake-for-believing-in-exoplanets/>. Также смотрите D. Knox, *Giordano Bruno*, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/bruno/>.
7. Эссе Рассела о Зеноне и бесконечности *Mathematics and the Metaphysicians*, воспроизведено в книге Newman, *The World of Mathematics*, vol. 3, 1576–90.
8. Mazur, *Zeno's Paradox*. Смотрите также Burton, *History of Mathematics*, 101–2; Katz, *History of Mathematics*, раздел 2.3.3; Stillwell, *Mathematics and Its History*, 54; John Palmer, *Zeno of Elea*, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/zeno-elea/>; и Nick Huggett, *Zeno's Paradoxes*, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/paradox-zeno/>.
9. Greene, *The Elegant Universe*, главы 4 и 5.
10. Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, глава 14.
11. Greene, *The Elegant Universe*, 127–31, объясняет, почему физики полагают, что на ультрамикроскопическом уровне планковской длины пространство распадается в квантовую пену. Философскую точку зрения смотрите в: S. Weinstein and D. Rickles, *Quantum Gravity*, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, <https://plato.stanford.edu/entries/quantum-gravity/>.

Глава 2

1. Очерки о его жизни смотрите в Netz and Noel, *The Archimedes Codex*, и C. Rorres, *Archimedes*, <https://www.math.nyu.edu/~crrorres/Archimedes/contents.html>. Научную биографию смотрите в работе M. Clagett, *Archimedes*, в книге Gillispie, *Complete Dictionary*, vol. 1, с дополнениями, сделанными Ф. Ачерби (F. Acerbi) в томе 19. Математика Архимеда имеется в выдающихся книгах Stein, *Archimedes*, и Edwards, *The Historical Development*, глава 2, также смотрите Katz, *History of Mathematics*, разделы 3.1–3.3, и Burton, *History of Mathematics*, раздел 4.5. Собрание работ Архимеда представлено в книге Heath, *The Works of Archimedes*.

2. Martínez, *Cult of Pythagoras*, глава 4, знакомит с происхождением многих легенд об Архимеде, включая рассказ об «Эврике» и трагическую историю его смерти от руки римского солдата во время осады Сиракуз в 212 году до нашей эры. Хотя вполне вероятно, что Архимед погиб во время этой осады, нет никаких оснований полагать, что его последними словами были: «Не трогай мои круги!»
3. Плутарх цитируется по переводу «Марцелла» Джона Драйдена, доступному онлайн на <http://classics.mit.edu/Plutarch/marcellu.html>. Конкретные фрагменты об Архимеде и осаде Сиракуз также доступны на сайте <https://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Siege/Plutarch.html>.
4. <http://classics.mit.edu/Plutarch/marcellu.html>.
5. Там же.
6. Рассказ об «Эврике» в том виде, в котором он был впервые изложен Витрувием, на латинском и английском языках, можно найти на сайте <https://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Crown/Vitruvius.html>. На сайте также есть детский вариант этой истории в изложении писателя Джеймса Болдуина, взятый из книги *Thirty More Famous Stories Retold* (New York: American Book Company, 1905). К сожалению, Болдуин и Витрувий представляют архимедово решение задачи о золотой короне в чрезмерно упрощенном виде. Corres предлагает более правдоподобный расчет на <https://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Crown/CrownIntro.html>, а также догадки Галилея о том, как Архимед мог решать эту задачу: <https://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Crown/bilancetta.html>.
7. <http://classics.mit.edu/Plutarch/marcellu.html>.
8. Stein, *Archimedes*, глава 11, подробно показывает, как Архимед это делал. Приготовьтесь получить некую порцию скучной арифметики.
9. Никто не знает, кто первым доказал, что квадратный корень из 2 является иррациональным числом или (что эквивалентно) диагональ квадрата несоизмерима с его стороной. Известна старая байка, что за это бросили в море пифагорейца Гиппаса. Martínez, *Cult of Pythagoras*, глава 2, прослеживает происхождение этого мифа и опровергает его. То же самое делает американский кинематографист Эррол Моррис в длинном и чрезвычайно странном эссе в *New York Times*; смотрите Errol Morris, *The Ashtray: Hippasus of Metapontum (Part 3)*, *New York Times*, March 8, 2001, <https://opinionator.blogs.nytimes.com/2011/03/08/the-ashtray-hippasus-of-metapontum-part-3/>.
10. Перевод оригинального текста Архимеда содержится в книге: Heath, *The Works of Archimedes*, 233–52. Подробности рассуждения

с треугольными осколками, которые я обошел вниманием, смотрите в книгах: Edwards, *The Historical Development*, 35–39; Stein, *Archimedes*, глава 7; Laubenbacher and Pengelley, *Mathematical Expeditions*, раздел 3.2; и Stillwell, *Mathematics and Its History*, раздел 4.4. Много обзоров на эту тему можно найти в интернете. Один из самых понятных принадлежит Марку Ридеру (Mark Reeder) и представлен на сайте на сайте <https://sites.google.com/bc.edu/mark-reeder/publications?authuser=0>. Другой, авторства Р. А. Г. Сили (R. A. G. Seely), находится по адресу <http://www.math.mcgill.ca/rags/JAC/NYB/exhaustion2.pdf>. Возможно, более простым вам покажется подход с помощью аналитической геометрии, который использует Simmons, *Calculus Gems*, раздел В.3.

11. Arthur Conan Doyle, *The Sign of the Four* (London: Spencer Blackett, 1890), <https://www.gutenberg.org/files/2097/2097-h/2097-h.htm>.
12. Оригинал текста смотрите в книге: Heath, *The Works of Archimedes*, 326 и далее. Применение метода к квадратуре параболы можно найти в книгах Laubenbacher and Pengelley, *Mathematical Expeditions*, раздел 3.3, и Netz and Noel, *The Archimedes Codex*, 150–57. Применение метода к некоторым другим задачам о площадях, объемах и центрах тяжести смотрите в книгах: Stein, *Archimedes*, глава 5, и Edwards, *The Historical Development*, 68–74.
13. Цитируется по книге: Stein, *Archimedes*, 33.
14. Цитируется по книге: Netz and Noel, *The Archimedes Codex*, 66–67.
15. Heath, *The Works of Archimedes*, 17.
16. Dijksterhuis, *Archimedes*, 317.
17. Heath, *The Works of Archimedes*, 17.
18. Stein, *Archimedes*, 39–41.
19. Heath, *The Works of Archimedes*, 1.
20. Смотрите Netz and Noel, *The Archimedes Codex*; авторы с пафосом излагают историю утерянной рукописи и ее повторного обнаружения. Этому событию посвящен эпизод американского научно-популярного документального сериала *Nova*, а сопутствующий сайт содержит хронологию, интервью и интерактивные инструменты; смотрите <http://www.pbs.org/wgbh/nova/archimedes/>, а также Stein, *Archimedes*, глава 4.
21. Rorres, *Archimedes in the Twenty-First Century*.
22. О математике, которая стоит за фильмами, созданными с помощью компьютерных технологий, смотрите книгу McAdams et al., *Crashing Waves*.
23. Zorin and Schröder, *Subdivision for Modeling*, 18.

24. DreamWorks, «Why Computer Animation Looks So Darn Real», July 9, 2012, <https://mashable.com/2012/07/09/animation-history-tech/#uYHyf6hO.Zq3>.
25. Подробности создания «Шрека» ищите на сайте <http://cinema.com/articles/463/shrek-production-information.phtml>.
26. «NVIDIA Collaborates with Weta to Accelerate Visual Effects for Avatar», http://www.nvidia.com/object/wetadigital_avatar.html, и Barbara Robertson, «How Weta Digital Handled Avatar», Studio Daily, January 5, 2010, <http://www.studiodaily.com/2010/01/how-weta-digital-handled-avatar/>.
27. «NVIDIA Collaborates with Weta».
28. Burr Snider, «The Toy Story Story», Wired, December 1, 1995, <https://www.wired.com/1995/12/toy-story/>.
29. Там же.
30. Ian Failes, Geri's Game' Turns 20: Director Jan Pinkava Reflects on the Game-Changing Pixar Short, November 25, 2017, <https://www.cartoonbrew.com/cgi/geris-game-turns-20-director-jan-pinkava-reflects-game-changing-pixar-short-154646.html>. Фильм можно посмотреть на <https://www.youtube.com/watch?v=9IYRC7g2ICg>.
31. DeRose et al., Subdivision Surfaces. С особенностями компьютерной анимации можно познакомиться на уроках в Академии Хана, созданных в сотрудничестве с Pixar по адресу: <https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar/modeling-character>. Учащиеся и учителя могут также попробовать другие уроки, предлагаемые в Pixar in a Box по адресу: <https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar>. Это отличный способ увидеть, как математика используется для создания кино.
32. DreamWorks, Why Computer Animation Looks So Darn Real.
33. Deuffhard et al., Mathematics in Facial Surgery; Zachow et al., Computer-Assisted Planning; и Zachow, Computational Planning.
34. Rorres, Archimedes in the Twenty-First Century, глава 6, и <https://www.math.nyu.edu/~crrorres/Archimedes/Screw/Applications.html>.
35. Справедливости ради, у Архимеда есть одна работа, связанная с движением, хотя это некая искусственная форма движения, обусловленная математикой, а не физикой. Смотрите его труд «О спиралях», воспроизведенный в книге: Heath, The Works of Archimedes, 151–88. Здесь Архимед предвосхитил современные идеи полярной системы координат и параметрических уравнений для точки, движущейся в плоскости. В частности, он рассмотрел точку, равномерно движущуюся в радиальном направлении от начала координат, в то время как сам этот радиальный луч равномерно вращается. Ученый показал, что траектория

такой точки будет кривой, известной сегодня как спираль Архимеда. Затем, найдя сумму $1^2 + 2^2 + 3^2 + n^2$ и применив метод исчерпывания, он нашел площадь, ограниченную одним витком спирали и радиальным лучом. Смотрите книги Stein, *Archimedes*, глава 9; Edwards, *The Historical Development*, 54–62; и Katz, *History of Mathematics*, 114–15.

Глава 3

1. Galileo, *The Assayer* (1623). Фрагменты переведены в работе: Stillman Drake, *Discoveries and Opinions of Galileo* (New York: Doubleday, 1957), 237–38, <https://www.princeton.edu/~hos/h291/assayer.htm>.
2. Johannes Kepler, *The Harmony of the World*, перевод: E. J. Aiton, A. M. Duncan, and J. V. Field, *Memoirs of the American Philosophical Society* 209 (1997): 304.
3. Там же.
4. Plato, *Republic* (Hertfordshire: Wordsworth, 1997), 240.
5. Asimov, *Asimov's Biographical Encyclopedia*, 17–20.
6. Katz, *History of Mathematics*, 406.
7. Asimov, *Asimov's Biographical Encyclopedia*, 24–25, и James Evans, *Aristarchus of Samos*, *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/biography/Aristarchus-of-Samos>.
8. Evans, *Aristarchus of Samos*.
9. Katz, *History of Mathematics*, 145–57.
10. Martínez, *Burned Alive*.
11. Проект Galileo на <http://galileo.rice.edu/galileo.html> — превосходный онлайн-ресурс, посвященный жизни и работе ученого. Прекрасная биография Галилея для широкой аудитории — книга Fermi and Bernardini, *Galileo and the Scientific Revolution*, впервые опубликованная в 1961 году. Хорошим знакомством с Галилеем станет Asimov's *Biographical Encyclopedia*, 91–96, то же самое можно сказать о книге Kline, *Mathematics in Western Culture*, 182–95. О научных трудах смотрите работы Drake, *Galileo at Work*, и Michele Camerota, *Galilei, Galileo* в Gillispie, *Complete Dictionary*, 96–103.
12. <http://galileo.rice.edu/fam/marina.html>.
13. Sobel, *Galileo's Daughter*. Письма сестры Марии Челесте своему отцу можно найти по адресу: <http://galileo.rice.edu/fam/daughter.html#letters>
14. Книга есть в бесплатном доступе по адресу: <http://oll.libertyfund.org/titles/galilei-dialogues-concerning-two-new-sciences>.
15. Kline, *Mathematics in Western Culture*, 188–90.

16. Galileo, Discourses, 179, http://oll.libertyfund.org/titles/753#Galileo_0416_607.
17. Там же, 190, http://oll.libertyfund.org/titles/753#Galileo_0416_516.
18. Там же, 178, http://oll.libertyfund.org/titles/753#Galileo_0416_607.
19. Там же, 109, http://oll.libertyfund.org/titles/753#Galileo_0416_242.
20. Fermi and Bernardini, Galileo and the Scientific Revolution, 17–20, и Kline, Mathematics in Western Culture, 182.
21. Galileo, Discourses, 140, http://oll.libertyfund.org/titles/753#Galileo_0416_338.
22. Там же, 139, http://oll.libertyfund.org/titles/753#Galileo_0416_335.
23. Там же, 138, http://oll.libertyfund.org/titles/753#Galileo_0416_329.
24. Strogatz, Синх, глава 5, и Richard Newrock, What Are Josephson Junctions? How Do They Work?, Scientific American, <https://www.scientificamerican.com/article/what-are-josephson-juncti/>.
25. Sobel, Longitude.
26. Thompson, Global Positioning System, и <https://www.gps.gov>.
27. О жизни и трудах Кеплера смотрите Owen Gingerich, Johannes Kepler, в Gillispie, Complete Dictionary, vol. 7, в интернете по адресу <https://www.encyclopedia.com/people/science-and-technology/astronomy-biographies/johannes-kepler#kjen14>, с дополнениями, сделанными J. R. Voelkel в томе 22. Смотрите также Kline, Mathematics in Western Culture, 110–25; Edwards, The Historical Development, 99–103; Asimov, Asimov's Biographical Encyclopedia, 96–99; Simmons, Calculus Gems, 69–83; и Burton, History of Mathematics, 355–60.
28. Цитируется по: Gingerich, Johannes Kepler, <https://www.encyclopedia.com/people/science-and-technology/astronomy-biographies/johannes-kepler#kjen14>.
29. Там же.
30. Там же.
31. Там же.
32. Там же.
33. Кеплер в *Astronomia Nova*, цитируется по Owen Gingerich, The Book Nobody Read: Chasing the Revolutions of Nicolaus Copernicus (New York: Penguin, 2005), 48.
34. Цитируется по: Gingerich, Johannes Kepler, <https://www.encyclopedia.com/people/science-and-technology/astronomy-biographies/johannes-kepler#kjen14>.
35. Цитируется по: Martínez, Science Secrets, 34.
36. Koestler, The Sleepwalkers, 33.

Глава 4

1. Katz, *Ideas of Calculus*; Katz, *History of Mathematics*, главы 6 и 7; и Burton, *History of Mathematics*, 238–85.
2. Katz, *Ideas of Calculus*, и J. J. O'Connor and E. F. Robertson, Abu Ali al-Hasan ibn al-Haytham, <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Al-Haytham.html>.
3. Katz, *History of Mathematics*, 369–75.
4. Там же, 375–78.
5. Alexander, *Infinitesimal*, обсуждает их споры с иезуитами по поводу бесконечно малых, которые считались опасными не только с математических, но и с религиозных позиций.
6. О его жизни смотрите Clarke, *Descartes*; Simmons, *Calculus Gems*, 84–92; и Asimov, *Asimov's Biographical Encyclopedia*, 106–8. Краткое изложение его математики и физики для широкой аудитории смотрите в книгах: Kline, *Mathematics in Western Culture*, 159–81; Edwards, *The Historical Development*; Katz, *History of Mathematics*, разделы 11.1 и 12.1; и Burton, *History of Mathematics*, раздел 8.2. Серьезный исторический анализ его трудов по математике и физике смотрите в работах: Michael S. Mahoney, *Descartes: Mathematics and Physics*, в Gillispie, *Complete Dictionary*, также онлайн в *Encyclopedia Britannica*, <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/descartes-mathematics-and-physics>.
7. René Descartes, *Les Passions de l'Âme* (1649), Цитируется по: Guicciardini, Isaac Newton, 31.
8. Henry Woodhead, *Memoirs of Christina, Queen of Sweden* (London: Hurst and Blackett, 1863), 285.
9. Оптимальное рассмотрение можно найти в книге Mahoney, *Mathematical Career*. Живо и увлекательно о Ферма (словно автор был одним из участников описываемых событий) — Simmons, *Calculus Gems*, 96—105. Если вы не читали Симмонса, обязательно прочитайте.
10. Mahoney, *Mathematical Career*, глава 4.
11. Там же, 171.
12. Я согласен с оценкой в книге Simmons, *Calculus Gems*, 98, как следует распределять заслуги в отношении аналитической геометрии: «На первый взгляд кажется, что труд Декарта выглядит аналитической геометрией, но не является ею; в то время как труд Ферма так не выглядит, но является ею». Более взвешенные взгляды смотрите в книгах: Katz, *History of Mathematics*, 432–42, and Edwards, *The Historical Development*, 95–97.
13. Guicciardini, Isaac Newton, и Katz, *History of Mathematics*, 368–69.

14. Декарт, правило 4 в «Правилах для руководства ума» (1629), как Цитируется по Katz, *History of Mathematics*, 368–69.
15. Цитируется по: Guicciardini, Isaac Newton, 77.
16. Mahoney, *Mathematical Career*, 199–201, обсуждает работу Ферма по задаче максимизации, рассмотренной в основном тексте.
17. Там же, 162–65, и Katz, *History of Mathematics*, 470–72.
18. Austin, *What Is... JPEG?*, и Higham et al., *The Princeton Companion*, 813–16.
19. Сайт Timeanddate.com предоставит вам информацию для любого интересующего вас места.
20. Доступное введение в вейвлет-анализ и многочисленные приложения смотрите в: Dana Mackenzie, *Wavelets: Seeing the Forest and the Trees*, в *Beyond Discovery: The Path from Research to Human Benefit*, проекте Национальной Академии наук: <http://www.nasonline.org/publications/beyond-discovery/wavelets.pdf>. Затем попробуйте Kaiser, *Friendly Guide*, Cipra, *Parlez-Vous Wavelets?*, или Goriely, *Applied Mathematics*, глава 6. Daubechies, *Ten Lectures* — знаковая серия лекций по вейвлетам Добеши.
21. Bradley et al., *FBI Wavelet/ Scalar Quantization*.
22. Bradley and Brislawn, *The Wavelet/Scalar Quantization*; Brislawn, *Fingerprints Go Digital*; и <https://www.nist.gov/itl/iad/image-group/wsqa-bibliography>.
23. Kwan et al., *Who Really Discovered Snell's Law?*, и Sabra, *Theories of Light*, 99–105.
24. Mahoney, *Mathematical Career*, 387–402.
25. Там же, 398.
26. Там же, 400 (мой перевод слов Ферма с французского).
27. Принцип наименьшего времени Ферма предвосхитил более общий принцип наименьшего действия. Занимательное и глубоко поучительное обсуждение этого принципа, включая его основания в квантовой механике, смотрите в: R. P. Feynman, R. B. Leighton, and M. Sands, «*The Principle of Least Action*», *Feynman Lectures on Physics*, vol. 2, глава 19 (Reading, MA: Addison-Wesley, 1964), и Feynman, *QED*.
28. Katz, *History of Mathematics*, 472–73.
29. Цитируется по: Grattan-Guinness, *From the Calculus*, 16.
30. Цитируется по: Mahoney, *Mathematical Career*, 177.
31. Simmons, *Calculus Gems*, 240–41; и Katz, *History of Mathematics*, 481–84.
32. Katz, *History of Mathematics*, 485, автор объясняет, почему, по его ощущениям, Ферма не заслуживает звания изобретателя анализа, и приводит убедительные аргументы.

Глава 5

1. Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, глава 2, и Katz, *History of Mathematics*, раздел 10.4.
2. Braun, *Differential Equations*, раздел 1.3.

Глава 6

1. Bolt, *Faster than Lightning*.
2. Jonathan Snowden, *Remembering Usain Bolt's 100m Gold in 2008*, *Bleacherreport.com* (August 19, 2016), <https://www.olympicchannel.com/en/stories/news/detail/back-to-beijing-usain-bolt-s-100m-world-record-with-an-untied-shoelace/>, и Eriksen et al., *How Fast*. Видео его потрясающего выступления смотрите на <https://www.youtube.com/watch?v=qslbf8L9nl0>
3. Snowden, *Remembering Usain Bolt's*.
4. Мой анализ основан на работе A. Oldknow, *Analysing Men's 100m Sprint Times with TI-Nspire*, <https://rcuk-portscience.wikispaces.com/file/view/Analysing+men+100m+Nspire.pdf>. Детали этих двух исследований могут слегка отличаться, поскольку мы использовали разные методы аппроксимации, но в целом наши заключения одинаковы.
5. Graubner and Nixdorf, *Biomechanical Analysis*.
6. Цитата из *Picasso Speaks, The Arts* (May 1923), взято на http://www.gallerywalk.org/PM_Picasso.html из Alfred H. Barr Jr., *Picasso: Fifty Years of His Art* (New York: Arno Press, 1980).

Глава 7

1. Биографическую информацию смотрите в книге: Gleick, *Isaac Newton*. Смотрите также Westfall, *Never at Rest*, и I. B. Cohen, *Isaac Newton* в томе 10 Gillispie, *Complete Dictionary*, с дополнениями Г. Смита (G. E. Smith) и У. Ньюмана (W. Newman) в томе 23. О математике Ньютона смотрите Whiteside, *The Mathematical Papers*, тома 1 и 2; Edwards, *The Historical Development*; Grattan-Guinness, *From the Calculus*; Riskey, *Isaac Newton*; Dunham, *Journey Through Genius*; Katz, *History of Mathematics*; Guicciardini, *Reading the Principia*; Dunham, *The Calculus Gallery*; Simmons, *Calculus Gems*; Guicciardini, *Isaac Newton*; Stillwell, *Mathematics and Its History*; и Burton, *History of Mathematics*.
2. René Descartes, *The Geometry of René Descartes: With a Facsimile of the First Edition*, перевод: David E. Smith и Marcia L. Latham (Mineola, NY: Dover, 1954), 91. В течение двадцати лет было показано, что Декарт

- ошибался в отношении невозможности найти точную длину дуг кривых; смотрите Katz, *History of Mathematics*, 496–98.
3. Я осовременнил здесь устаревший слог Ньютона для облегчения чтения. Письмо 193 от Ньютона Коллинзу от 8 ноября 1676 года, в книге: Turnbull, *Correspondence of Isaac Newton*, 179. Опущенный материал касается технических подробностей о классе триномиальных уравнений, к которым относится его заявление. Смотрите *A Manuscript by Newton on Quadratures*, рукопись 192, там же, 178.
 4. Письмо 193 от Ньютона Коллинзу от 8 ноября 1676 года, там же, 180. Я снова упростил стиль изложения Ньютона.
 5. Katz, *History of Mathematics*, 498–503, показывает, что Джеймс Грегори и Исаак Барроу связывали задачу определения площади с задачей о касательных и тем самым предвосхищали основную теорему, но заключает, что «никто из этих людей в 1670 году не мог соединить такие методы в реальный вычислительный инструмент для решения задач». Во врезке на странице 521 автор приводит убедительные аргументы, что Ньютон и Лейбниц (в отличие от «Ферма, Барроу и кого бы то ни было еще») заслуживают похвалы за изобретение анализа.
 6. Katz, *History of Mathematics*, раздел 8.4.
 7. Вы можете познакомиться в интернете с тетрадью, в которой Ньютон писал в колледже. Адрес страницы, приведенной в основном тексте: <http://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-04000/260>.
 8. Мой рассказ о ранних годах жизни Ньютона основан на книге: Gleick, *Isaac Newton*.
 9. Whiteside, *The Mathematical Papers*, том 1, 96–142, и Katz, *History of Mathematics*, раздел 12.5. Эдвардс дает увлекательный обзор трудов Валлиса по интерполяции и бесконечным произведениям и показывает, как из попыток обобщить эти результаты появилась работа Ньютона о бесконечных рядах; смотрите Edwards, *The Historical Development*, глава 7. Мы знаем, когда Ньютон сделал эти открытия, потому что он датировал их в записи на странице 14v своей тетради (<https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-04000/32>). Ньютон писал: «В году 1664 незадолго перед Рождеством я... позаимствовал работы Валлиса и впоследствии сделал эти Примечания... зимой 1664–1665 годов. В то время я нашел метод бесконечных рядов. А летом 1665 года, изгнанный из Кембриджа чумой, я вычислил площадь гиперболы... тем же самым методом».
 10. Edwards, *The Historical Development*, 178–87, и Katz, *History of Mathematics*, 506–59, показывают этапы размышлений Ньютона, когда он получал свои результаты для степенных рядов.

11. Письмо 188 от Ньютона Ольденбургу от 24 октября 1676 года, в книге: Turnbull, *Correspondence of Isaac Newton*, 133.
12. Katz, *Ideas of Calculus*; Katz, *History of Mathematics*, 494–96.
13. Эта строка появляется в знаменитом первом письме (*epistola prior*) — ответе Ньютона на первый запрос Лейбница, отправленном через Генри Ольденбурга в качестве посредника; смотрите письмо 165 от Ньютона Ольденбургу от 13 июня 1676 года, в книге: Turnbull, *Correspondence of Isaac Newton*, 39.
14. Черновик письма Ньютона Пьеру де Майзо, написанный в 1718 году, когда Ньютон пытался доказать свой приоритет в изобретении анализа перед Лейбницем; доступен в интернете по адресу: <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-03968/1349> в собрании библиотеки Кембриджского университета. Полная цитата захватывает дух: «В начале года 1665 я нашел метод аппроксимирующих рядов и правило для разложения любой степени любого бинорма в такой ряд. В том же году в мае я установил метод касательных Грегори и Слюза, в ноябре у меня был прямой метод флюксий; в следующем году в январе — теория цветов; в следующем мае я пришел к обратному методу флюксий. В том же самом году я начал думать о тяготении, простирающемся до орбиты Луны, и (узнав, как оценить силу, с которой шар, вращающийся внутри сферы, давит на поверхность сферы) из правила Кеплера о времени обращения планет, находящемся в отношении полуторной степени (три к двум) к их расстояниям от центров их орбит, я вывел, что силы, которые удерживают планеты на их орбитах, должны быть обратно пропорциональны квадратам расстояний от центров, вокруг которых они обращаются: таким образом сравнил силу, необходимую для удержания Луны на ее орбите, с силой тяжести на поверхности Земли, и обнаружил, что они весьма хорошо соответствуют. Все это было в два чумных года — 1665 и 1666. В те дни я был в расцвете сил юности и думал о математике и философии больше, чем когда-либо впоследствии».
15. Цитируется по: Whiteside, *The Mathematical Principles*, отсылка к его ссылке 2.
16. Alexander, *Infinitesimal*, излагает историю яростных сражений Гоббса с Валлисом, которые были настолько же политическими, насколько математическими. Глава 7 говорит о Гоббсе как человеке, мнящем себя геометром.
17. Цитируется по: Stillwell, *Mathematics and Its History*, 164.
18. Там же.
19. Цитируется по: Guicciardini, *Isaac Newton*, 343.
20. Там же.

Глава 8

1. Письмо от Исаака Барроу к Джону Коллинзу от 20 августа 1669 года, Цитируется по: Gleick, Isaac Newton, 68.
2. Письмо 158 от Лейбница к Ольденбургу от 2 мая 1676 года, в книге: Turnbull, Correspondence of Isaac Newton, 4. Больше о переписке между Ньютоном и Лейбницем можно найти в работе: Maskinnon, Newton's Teaser. Guicciardini, Isaac Newton, 354–61, дает особенно четкий и полезный анализ игры в математические кошки-мышки в письмах между Ньютоном и Лейбницем. Оригиналы писем есть в Turnbull, Correspondence of Isaac Newton; в частности смотрите письма 158 (первоначальная просьба Лейбница, отправленная Ньютону через Ольденбурга), 165 (первое письмо Ньютона, *epistola prior*; краткое и отпугивающее), 172 (просьба Лейбница о разъяснениях), 188 (второе письмо Ньютона, *epistola posterior*; которое написано вежливее и яснее, но предназначено для демонстрации того, кто тут хозяин) и 209 (Лейбниц отвечает ударом на удар, хотя и вежливо, и дает понять, что тоже владеет анализом).
3. Одна из самых известных колкостей в *epistola prior*; письме 165 от Ньютона Ольденбургу от 13 июня 1676 года. Смотрите Turnbull, Correspondence of Isaac Newton, 39.
4. Письма 188 от Ньютона Ольденбургу от 24 октября 1676 года, там же, 130.
5. Там же.
6. Там же.
7. Там же. Шифрование скрывает знание Ньютоном основной теоремы и центральных проблем анализа: «задано уравнение с любым количеством флюэнт, найти флюксии, и наоборот». Смотрите также стр. 153, прим. 25.
8. Письмо от Лейбница маркизу Лопиталю, 1694, фрагменты в Child, Early Mathematical Manuscripts. Также Цитируется по книге: Edwards, The Historical Development, 244.
9. Mates, Philosophy of Leibniz, 32.
10. Там же.
11. О жизни Лейбница смотрите работы Hofmann, Leibniz in Paris; Asimov, Asimov's Biographical Encyclopedia; и Mates, Philosophy of Leibniz. О философии Лейбница смотрите Mates, Philosophy of Leibniz. О математике Лейбница смотрите Child, Early Mathematical Manuscripts; Edwards, The Historical Development; Grattan-Guinness, From the Calculus; Dunham, Journey Through Genius; Katz, History of Mathematics;

- Guicciardini, *Reading the Principia*; Dunham, *The Calculus Gallery*; Simmons, *Calculus Gems*; Guicciardini, *Isaac Newton*; Stillwell, *Mathematics and Its History*; и Burton, *History of Mathematics*.
12. Особенно хороша работа Edwards, *The Historical Development*, глава 9. Смотрите также Katz, *History of Mathematics*, раздел 12.6, и Grattan-Guinness, *From the Calculus*, глава 2.
 13. Например, он писал: «Мы должны прикладывать усилия, чтобы уберечь чистую математику от метафизических споров. Мы достигнем этого, если перестанем беспокоиться, реальны ли бесконечно большие и бесконечно малые в величинах, в числах или в линиях, а будем использовать бесконечно большие и бесконечно малые как подходящие выражения для сокращения рассуждений». Цитируется по: Guicciardini, *Reading the Principia*, 160.
 14. Лейбниц в письме де Боссу* в 1706 году. Цитируется по: Guicciardini, *Reading the Principia*, 159.
 15. Цитируется там же, 166.
 16. Edwards, *The Historical Development*, 259.
 17. Цитируется там же.
 18. Там же, 236–38. На самом деле Лейбница интересовала сумма величин, обратных треугольным числам, которая вдвое больше суммы, рассмотренной в тексте книги. Смотрите также Grattan-Guinness, *From the Calculus*, 60–62.
 19. Из письма Эренфриду Вальтеру фон Чирнхаусу** в 1679 году. Цитируется по Guicciardini, *Reading the Principia*, 145.
 20. Статистику для ВИЧ и СПИД смотрите на сайте <https://ourworldindata.org/hiv-aids/>. Историю вируса и попыток с ним бороться смотрите на сайте <https://www.avert.org/professionals/history-hiv-aids/overview>.
 21. The Stages of HIV Infection, AIDSinfo, <https://aidsinfo.nih.gov/understanding-hiv-aids/fact-sheets/19/46/the-stages-of-hiv-infection>.
 22. Ho et al., *Rapid Turnover*; Perelson et al., *HIV-1 Dynamics*; Perelson, *Modelling Viral and Immune System*; и Murray, *Mathematical Biology 1*.
 23. Результаты вероятностных расчетов впервые появились в работе: Perelson et al., *Dynamics of HIV-1*.
 24. Gorman, Dr. David Ho.
 25. Американское математическое общество, премия Макса Дельбрюка 2017 года в биологической физике, <https://www.aps>.

* Бартоломеус де Босс — иезуитский теолог и философ. *Прим. пер.*

** Немецкий философ и математик. *Прим. пер.*

org/programs/honors/prizes/prizerecipient.cfm?first_nm=Alan&last_nm=Perelson&year=2017.

26. Multidisciplinary Team Aids Understanding of Hepatitis C Virus and Possible Cure, Los Alamos National Laboratory, March 2013, <http://www.lanl.gov/discover/publications/connections/2013-03/understanding-hep-c.php>. Введение в математическое моделирование гепатита С смотрите в работе: Perelson and Guedj, *Modelling Hepatitis C*.

Глава 9

1. О многих направлениях, отпочковавшихся от анализа с 1700-х до нашего времени, смотрите Kline, *Mathematics in Western Culture*; Boyer, *The History of the Calculus*; Edwards, *The Historical Development*; Grattan-Guinness, *From the Calculus*; Katz, *History of Mathematics*; Dunham, *The Calculus Gallery*; Stewart, *In Pursuit of the Unknown*; Higham et al., *The Princeton Companion*; и Goriely, *Applied Mathematics*.
2. Peterson, *Newton's Clock*; Guicciardini, *Reading the Principia*; Stewart, *In Pursuit of the Unknown*; и Stewart, *Calculating the Cosmos*.
3. Kline, *Mathematics in Western Culture*, 234–86, о значительном влиянии, которое труды Ньютона оказали на ход западной философии, религии, эстетики и литературы, а также на науку и математику. Смотрите также W. Bristow, *Enlightenment*, <https://plato.stanford.edu/entries/enlightenment/>.
4. D. Brewster, *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton*, том 2 (Edinburgh: Thomas Constable, 1855), 158.
5. Об удивительной истории этого яблока смотрите Gleick, *Isaac Newton*, 55–57, и примечание 18 на стр. 207. Смотрите также Martínez, *Science Secrets*, глава 3.
6. Черновик письма Ньютона Пьеру де Майзо, написанный в 1718 году; доступен в интернете по адресу: <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-ADD-03968/1349> в собрании Библиотеки Кембриджского университета.
7. Asimov, *Asimov's Biographical Encyclopedia*, 138, дает одну из версий этой известной истории.
8. Katz, *History of Mathematics*, 516–19, описывает геометрические аргументы Ньютона. Guicciardini, *Reading the Principia*, обсуждает, как современники Ньютона реагировали на «Начала» и в чем состояла их критика (некоторые их возражения звучали убедительно). Современный вывод законов Кеплера из закона обратных квадратов дается в книге: Simmons, *Calculus Gems*, 326–35.

9. Jones, John Couch Adams, и Sheehan and Thurber, John Couch Adams's Asperger Syndrome.
10. Shetterly, Hidden Figures, обеспечил Кэтрин Джонсон то признание, которое она давно заслуживала. Больше о ее жизни читайте на сайте <https://www.nasa.gov/content/katherine-johnson-biography>. О ее вкладе в развитие математики смотрите Skopinski and Johnson, Determination of Azimuth Angle. Также смотрите <https://www.worldcat.org/title/determination-of-azimuth-angle-at-burnout-for-placing-a-satellite-over-a-selected-earth-position/oclc/52200446> и <https://ima.org.uk/5580/hidden-figures-impact-mathematics/>.
11. Sarah Lewin, «NASA Facility Dedicated to Mathematician Katherine Johnson», Space.com, May 5, 2016, <https://www.space.com/32805-katherine-johnson-langley-building-dedication.html>.
12. Цитируется по: Kline, Mathematics in Western Culture, 282. Источник описания вечеринки — дневник хозяина, художника Бенджамина Хейдона, фрагменты в: Ainger, Charles Lamb, 84–86.
13. Cohen, Science and the Founding Fathers, убедительно обосновывает влияние Ньютона на Джефферсона и «эхо Ньютона» в Декларации независимости; также смотрите The Declaration of Independence, [http://math.virginia.edu/history/Jefferson/jeff_r\(4\).htm](http://math.virginia.edu/history/Jefferson/jeff_r(4).htm). Больше о Джефферсоне и математике ищите в лекции Джона Фовела: John Fauvel, When I Was Young, Mathematics Was the Passion of My Life': Mathematics and Passion in the Life of Thomas Jefferson по адресу: http://math.virginia.edu/history/Jefferson/jeff_r.htm.
14. Письмо Томаса Джефферсона Джону Адамсу от 21 января 1812 года найдете по адресу: <https://founders.archives.gov/documents/Jefferson/03-04-02-0334>.
15. Cohen, Science and the Founding Fathers, 101. Смотрите также Moldboard Plow, Thomas Jefferson Encyclopedia, <https://www.monticello.org/site/plantation-and-slavery/moldboard-plow>, и Dig Deeper — Agricultural Innovations, <https://www.monticello.org/site/jefferson/dig-deeper-agricultural-innovations>.
16. Письмо Томаса Джефферсона сэру Джону Синклеру от 23 марта 1798 года, <https://founders.archives.gov/documents/Jefferson/01-30-02-0135>.
17. Hall and Hall, Unpublished Scientific Papers, 281.
18. Об обыкновенных дифференциальных уравнениях и их применении смотрите Simmons, Differential Equations. Также смотрите Braun, Differential Equations; Strogatz, Nonlinear Dynamics; Higham et al., The Princeton Companion; и Goriely, Applied Mathematics.

19. Об уравнениях в частных производных и их применении смотрите Farlow, *Partial Differential Equations*, и Haberman, *Applied Partial Differential Equations*. Смотрите также Higham et al., *The Princeton Companion*, and Goriely, *Applied Mathematics*.
20. Norris and Wagner, Boeing 787, и <http://www.boeing.com/commercial/787/by-design/#/featured>.
21. Jason Paur, Why ‘Flutter’ Is a 4-Letter Word for Pilots, *Wired* (March 25, 2010), <https://www.wired.com/category/gamelif/?p=21063>.
22. Szpiro, *Pricing the Future*, и Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, глава 17.
23. Ermentrout and Terman, *Mathematical Foundations*, и Rinzel, *Discussion*.
24. Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, глава 13, и Ferreira, *Perfect Theory*. Смотрите также Greene, *The Elegant Universe*, and Isaacson, *Einstein*.
25. Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, глава 14.

Глава 10

1. Körner, *Fourier Analysis*, and Kline, *Mathematics in Western Culture*, глава 19. О его жизни и трудах смотрите Dirk J. Struik, *Joseph Fourier*, *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/biography/Joseph-Baron-Fourier>. Смотрите также Grattan-Guinness, *From the Calculus*; Stewart, *In Pursuit of the Unknown*; Higham et al., *The Princeton Companion*; и Goriely, *Applied Mathematics*.
2. Математическая составляющая уравнения теплопроводности Фурье обсуждается в книгах: Farlow, *Partial Differential Equations*, Katz, *History of Mathematics*, и Haberman, *Applied Partial Differential Equations*.
3. О математике колеблющихся струн, рядах Фурье и волновом уравнении смотрите Farlow, *Partial Differential Equations*; Katz, *History of Mathematics*; Haberman, *Applied Partial Differential Equations*; Stillwell, *Mathematics and Its History*; Burton, *History of Mathematics*; Stewart, *In Pursuit of the Unknown*; и Higham et al., *The Princeton Companion*.
4. Оригинальные изображения воспроизведены на сайтах <https://publicdomainreview.org/collections/chladni-figures-1787/> и <http://www.sites.hps.cam.ac.uk/whipple/explore/acoustics/ernstchladni/chladniplates/>. Современную демонстрацию смотрите на видео Стива Моулда (Steve Mould) под названием *Random Couscous Snaps into Beautiful Patterns*, https://www.youtube.com/watch?v=CR_XL192wXw&feature=youtu.be и видео от Physics Girl под названием *Singing Plates — Standing Waves on Chladni Plates*, <https://www.youtube.com/watch?v=wYoxOJDrZzw>.

5. Ее теория фигур Хладни обсуждается в книге: Bucciarelli and Dworsky, Sophie Germain. Биографию смотрите на сайтах: <https://www.agnesscott.edu/lriddle/women/germain.htm>, <http://www.pbs.org/wgbh/nova/physics/sophie-germain.html>.
6. Цитируется по: Newman, *The World of Mathematics*, том 1, 333.
7. Весьма доступное объяснение того, как работает микроволновая печь, а также демонстрация предложенного мною эксперимента, содержатся в ролике *How a Microwave Oven Works*, <https://www.youtube.com/watch?v=kp33Zpr00Ck>. Чтобы измерить скорость света с помощью микроволновки, вы можете также использовать шоколадку, как показано здесь: <https://www.youtube.com/watch?v=GH5W6xEeY5U>. О предыстории микроволновых печей и сладкой липкой массе, оказавшейся в кармане Перси Спенсера, смотрите Matt Blitz, *The Amazing True Story of How the Microwave Was Invented by Accident*, *Popular Mechanics* (February 23, 2016), <https://www.popularmechanics.com/technology/gadgets/a19567/how-the-microwave-was-invented-by-accident/>.
8. Kevles, *Naked to the Bone*, 145–72; Goriely, *Applied Mathematics*, 85–89; и https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/. Первая статья, в которой решается проблема восстановления с помощью анализа и рядов Фурье: Cormack, *Representation of a Function*.
9. Подробнее о компьютерной томографии с помощью анализа, рядов Фурье и интегральных уравнений: Cormack, *Representation of a Function*. Нобелевская лекция автора доступна в сети по адресу: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/cormack-lecture.pdf.
10. Историю Годфри Хаунсфилда, группы Beatles и изобретения томографа смотрите в работе: Goodman, *The Beatles*, и https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/perspectives.html.
11. Цитата появляется на странице 563 его Нобелевской лекции: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/cormack/facts/>.

Глава 11

1. Fuller, *The Writhing Number*. Смотрите также Pohl, *DNA and Differential Geometry*.
2. Bates and Maxwell, *DNA Topology*, и Wasserman and Cozzarelli, *Biochemical Topology*.
3. Ernst and Sumners, *Calculus for Rational Tangles*.
4. Liu, *DNA Topoisomerase Poisons*.

5. Kline, Mathematics in Western Culture; C. Hoefler, Causal Determinism, <https://plato.stanford.edu/entries/determinism-causal/>.
6. Laplace, Philosophical Essay on Probabilities, 4.
7. Cooke, Mathematics of Sonya Kovalevskaya, и Goriely, Applied Mathematics, 54–57. Ее часто называют другими именами, мне привычнее Соня Ковалевская. В сети ее биографию можно найти на сайтах: Becky Wilson, Sofia Kovalevskaya, Biographies of Women Mathematicians, <https://www.agnesscott.edu/lriddle/women/kova.htm>.
8. Wisdom et al., «Chaotic Rotation».
9. Diacu and Holmes, Celestial Encounters.
10. Gleick, Chaos; Stewart, Does God Play Dice?; и Strogatz, Nonlinear Dynamics.
11. Lighthill, The Recently Recognized Failur».
12. Sussman and Wisdom, Chaotic Evolution.
13. Gleick, Chaos; Stewart, Does God Play Dice?; Strogatz, Nonlinear Dynamics; и Diacu and Holmes, Celestial Encounters.
14. McMurrin and Tattersall, Mathematical Collaboration, и L. Jardine, Mary, Queen of Maths, BBC News Magazine, <https://www.bbc.com/news/magazine-21713163>. Биографию смотрите по адресу: <http://www.ams.org/notices/199902/mem-cartwright>.
15. Цитируется по: L. Jardine, Mary, Queen of Maths.
16. Dyson, Review of Nature's Numbers.
17. Ermentrout and Terman, Mathematical Foundations; Rinzel, Discussion; и Edelman-Keshet, Mathematical Models.
18. Введение в математическое моделирование эпидемий, сердечных ритмов, рака и опухолей мозга смотрите в книге: Edelman-Keshet, Mathematical Models; Murray, Mathematical Biology 1; и Murray, Mathematical Biology 2.
19. Mitchell, Complexity.
20. Предысторию AlphaZero и компьютерных шахмат ищите на сайте <https://www.technologyreview.com/s/609736/alpha-zeros-alien-chess-shows-the-power-and-the-peculiarity-of-ai/>. Оригинал препринта, описывающий AlphaZero, находится по адресу: <https://arxiv.org/abs/1712.01815>. Видео анализа партий между AlphaZero и Stockfish смотрите на <https://www.youtube.com/watch?v=Ud8F-cNsa-k> и <https://www.youtube.com/watch?v=6z1o48Sgrck>.
21. Davies, Whither Mathematics?, <https://www.ams.org/notices/200511/comm-davies.pdf>.
22. Hoffman, The Man Who Loved Only Numbers.

Заклучение

1. Feynman, QED, и Farmelo, *The Strangest Man*.
2. Peskin and Schroeder, *Introduction to Quantum Field Theory*, 196–98. Базовые сведения смотрите на сайте <http://scienceblogs.com/principles/2011/05/05/the-most-precisely-tested-theo/>.
3. О жизни и трудах Дирака смотрите Farmelo, *The Strangest Man*. Статья 1928 года, которая вводит уравнение Дирака: Dirac, *The Quantum Theory*.
4. Dirac, *Quantised Singularities*.
5. Там же, 71.
6. Kevles, *Naked to the Bone*, 201–27, и Higham et al., *The Princeton Companion*, 816–23. О позитронах в ПЭТ смотрите Farmelo, *The Strangest Man*, и Rich, *Brief History*.
7. Isaacson, Einstein, и Pais, *Subtle Is the Lord*.
8. Ferreira, *Perfect Theory*, и Greene, *The Elegant Universe*.
9. Больше информации о GPS и релятивистском замедлении времени вы найдете в книге Stewart, *In Pursuit of the Unknown*, и на сайте <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit5/gps.html>.
10. Levin, *Black Hole Blues* — это лиричное повествование о поиске гравитационных волн. Больше информации смотрите на сайтах <https://brilliant.org/wiki/gravitational-waves/> и https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2017/press.html. О роли анализа, компьютеров и численных методов в этом открытии смотрите R. A. Eisenstein, *Numerical Relativity and the Discovery of Gravitational Waves*, <https://arxiv.org/pdf/1804.07415.pdf>.

Библиография

- Adams, Douglas. *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*. London: Pan Books, 1979.
- Ainger, Alfred. *Charles Lamb*. New York: Harper and Brothers, 1882.
- Alexander, Amir. *Infinitesimal: How a Dangerous Mathematical Theory Shaped the Modern World*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2014.
- Asimov, Isaac. *Asimov's Biographical Encyclopedia of Science and Technology*. Rev. ed. New York: Doubleday, 1972.
- Austin, David. «What Is... JPEG?,» *Notices of the American Mathematical Society* 55, no. 2 (2008): 226–29. <http://www.ams.org/notices/200802/tx080200226p.pdf>.
- Ball, Philip. «A Century Ago Einstein Sparked the Notion of the Laser» *Physics World* (August 31, 2017). <https://physicsworld.com/a/a-century-ago-einstein-sparked-the-notion-of-the-laser/>.
- Barrow, John D., and Frank J. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. New York: Oxford University Press, 1986.
- Bates, Andrew D., and Anthony Maxwell. *DNA Topology*. New York: Oxford University Press, 2005.
- Bolt, Usain. *Faster than Lightning: My Autobiography*. New York: Harper-Sport, 2013.
- Boyer, Carl B. *The History of the Calculus and Its Conceptual Development*. Mineola, NY: Dover, 1959.
- Bradley, Jonathan N., and Christopher M. Brislawn. «The Wavelet/Scalar Quantization Compression Standard for Digital Fingerprint Images.» *IEEE International Symposium on Circuits and Systems* 3 (1994): 205–8.
- Bradley, Jonathan N., Christopher M. Brislawn, and Thomas Hopper. «FBI Wavelet/Scalar Quantization Standard for Gray-Scale Fingerprint Image Compression.» *Proc. SPIE 1961, Visual Information Processing II* (27 August 1993). DOI: 10.1117/12.150973; <https://doi.org/10.1117/12.150973>; http://helmut.knaust.info/class/201330_NREUP/spie93_Fingerprint.pdf.

- Braun, Martin. *Differential Equations and Their Applications*. 3rd ed. New York: Springer, 1983.
- Brislaw, Christopher M. «Fingerprints Go Digital.» *Notices of the American Mathematical Society* 42, no. 11 (1995): 1278–83.
- Bucciarelli, Louis L., and Nancy Dworsky. *Sophie Germain: An Essay in the History of Elasticity*. Dordrecht, Netherlands: D. Reidel, 1980.
- Burkert, Walter. *Lore and Science in Ancient Pythagoreanism*. Translated by E. L. Minar Jr. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1972.
- Burton, David M. *The History of Mathematics*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- Calaprice, Alice. *The Ultimate Quotable Einstein*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2011.
- Carroll, Sean. *The Big Picture: On the Origins of Life, Meaning, and the Universe Itself*. New York: Dutton, 2016.
- Child, J. M. *The Early Mathematical Manuscripts of Leibniz*. Chicago: Open Court, 1920.
- Cipra, Barry. «Parlez-Vous Wavelets?» *What’s Happening in the Mathematical Sciences* 2 (1994): 23–26.
- Clarke, Desmond. *Descartes: A Biography*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- Cohen, I. Bernard. *Science and the Founding Fathers: Science in the Political Thought of Thomas Jefferson, Benjamin Franklin, John Adams, and James Madison*. New York: W. W. Norton, 1995.
- Cooke, Roger. *The Mathematics of Sonya Kovalevskaya*. New York: Springer, 1984.
- Cormack, Allan M. «Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications.» *Journal of Applied Physics* 34, no. 9 (1963): 2722–27.
- Daubechies, Ingrid C. *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- Davies, Brian. «Whither Mathematics?» *Notices of the American Mathematical Society* 52, no. 11 (2005): 1350–56.
- Davies, Paul. *The Goldilocks Enigma: Why Is the Universe Just Right for Life?* London: Allen Lane, 2006.
- DeRose, Tony, Michael Kass, and Tien Truong. «Subdivision Surfaces in Character Animation.» *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* (1998): 85–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/280814.280826>; <https://graphics.pixar.com/library/Geri/paper.pdf>.

- Deuffhard, Peter, Martin Weiser, and Stefan Zachow. «Mathematics in Facial Surgery.» *Notices of the American Mathematical Society* 53, no. 9 (2006): 1012–16.
- Diacu, Florin, and Philip Holmes. *Celestial Encounters: The Origins of Chaos and Stability*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996.
- Dijksterhuis, Eduard J. *Archimedes*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1987.
- Dirac, Paul A. M. «Quantised Singularities in the Electromagnetic Field.» *Proceedings of the Royal Society of London A* 133 (1931): 60–72. DOI: 10.1098/rspa.1931.0130.
- . «The Quantum Theory of the Electron.» *Proceedings of the Royal Society of London A* 117 (1928): 610–24. DOI: 10.1098/rspa.1928.0023.
- Drake, Stillman. *Galileo at Work: His Scientific Biography*. Chicago: University of Chicago Press, 1978.
- Dunham, William. *The Calculus Gallery: Masterpieces from Newton to Lebesgue*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2005.
- . *Journey Through Genius*. New York: John Wiley and Sons, 1990.
- Dyson, Freeman J. «Review of Nature’s Numbers by Ian Stewart.» *American Mathematical Monthly* 103, no. 7 (August/September 1996): 610–12. DOI: 10.2307/2974684.
- Edelstein-Keshet, Leah. *Mathematical Models in Biology*. 8th ed. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2005.
- Edwards, C. H., Jr. *The Historical Development of the Calculus*. New York: Springer, 1979.
- Einstein, Albert. «Physics and Reality.» *Journal of the Franklin Institute* 221, no. 3 (1936): 349–82.
- . «Zur Quantentheorie der Strahlung (On the Quantum Theory of Radiation).» *Physikalische Zeitschrift* 18 (1917): 121–28. English translation at <http://web.ihep.su/dbserv/compas/src/einstein17/eng.pdf>.
- Eriksen, H. K., J. R. Kristiansen, Ø. Langangen, and I. K. Wehus. «How Fast Could Usain Bolt Have Run? A Dynamical Study.» *American Journal of Physics* 77, no. 3 (2009): 224–28.
- Ermentrout, G. Bard, and David H. Terman. *Mathematical Foundations of Neuroscience*. New York: Springer, 2010.
- Ernst, Claus, and DeWitt Sumners. «A Calculus for Rational Tangles: Applications to DNA Recombination.» *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 108, no. 3 (1990): 489–515.
- Farlow, Stanley J. *Partial Differential Equations for Scientists and Engineers*. Mineola, NY: Dover, 1993.

- Farmelo, Graham. *The Strangest Man: The Hidden Life of Paul Dirac, Mystic of the Atom*. New York: Basic Books, 2009.
- Fermi, Laura, and Gilberto Bernardini. *Galileo and the Scientific Revolution*. Mineola, NY: Dover, 2003.
- Ferreira, Pedro G. *The Perfect Theory*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2014.
- Feynman, Richard P. *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1986.
- Forbes, Nancy, and Basil Mahon. *Faraday, Maxwell, and the Electromagnetic Field: How Two Men Revolutionized Physics*. New York: Prometheus Books, 2014.
- Fuller, F. Brock. «The Writhing Number of a Space Curve.» *Proceedings of the National Academy of Sciences* 68, no. 4 (1971): 815–19.
- Galilei, Galileo. *Discourses and Mathematical Demonstrations Concerning Two New Sciences (1638)*. Translated from the Italian and Latin into English by Henry Crew and Alfonso de Salvio, with an introduction by Antonio Favaro. New York: Macmillan, 1914. <http://oll.libertyfund.org/titles/753>.
- Gill, Peter. *42: Douglas Adams' Amazingly Accurate Answer to Life, the Universe and Everything*. London: Beautiful Books, 2011.
- Gillispie, Charles C., ed. *Complete Dictionary of Scientific Biography*. 26 vols. New York: Charles Scribner's Sons, 2008. Available electronically through the Gale Virtual Reference Library.
- Gleick, James. *Chaos: Making a New Science*. New York: Viking, 1987.
- . *Isaac Newton*. New York: Pantheon, 2003.
- Goodman, Lawrence R. «The Beatles, the Nobel Prize, and CT Scanning of the Chest.» *Thoracic Surgery Clinics* 20, no. 1 (2010): 1–7. [https://www.thoracic.theclinics.com/article/S1547-4127\(09\)00090-5/fulltext](https://www.thoracic.theclinics.com/article/S1547-4127(09)00090-5/fulltext). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2009.12.001>.
- Goriely, Alain. *Applied Mathematics: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2018.
- Gorman, Christine. «Dr. David Ho: The Disease Detective.» *Time* (December 30, 1996). <http://content.time.com/time/magazine/article/0,9171,135255,00.html>.
- Grattan-Guinness, Ivor, ed. *From the Calculus to Set Theory, 1630–1910: An Introductory History*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1980.
- Graubner, Rolf, and Eberhard Nixdorf. «Biomechanical Analysis of the Sprint and Hurdles Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics.» *New Studies in Athletics* 26, nos. 1/2 (2011): 19–53.

- Greene, Brian. *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions and the Quest for the Ultimate Theory*. New York: W. W. Norton, 1999.
- Guicciardini, Niccolò. *Isaac Newton on Mathematical Certainty and Method*. Cambridge, MA: MIT Press, 2009.
- . *Reading the Principia: The Debate on Newton's Mathematical Methods for Natural Philosophy from 1687 to 1736*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- Guthrie, Kenneth S. *The Pythagorean Sourcebook and Library*. Grand Rapids, MI: Phanes Press, 1987.
- Haberman, Richard. *Applied Partial Differential Equations*. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
- Hall, A. Rupert, and Marie Boas Hall, eds. *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1962.
- Hamming, Richard W. «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics.» *American Mathematical Monthly* 87, no. 2 (1980): 81–90. <https://www.dartmouth.edu/~matc/MathDrama/reading/Hamming.html>.
- Heath, Thomas L., ed. *The Works of Archimedes*. Mineola, NY: Dover, 2002.
- Higham, Nicholas J., Mark R. Dennis, Paul Glendinning, Paul A. Martin, Fadil Santosa, and Jared Tanner, eds. *The Princeton Companion to Applied Mathematics*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2015.
- Ho, David D., Avidan U. Neumann, Alan S. Perelson, Wen Chen, John M. Leonard, and Martin Markowitz. «Rapid Turnover of Plasma Virions and CD4 Lymphocytes in HIV-1 Infection.» *Nature* 373, no. 6510 (1995): 123–26.
- Hoffman, Paul. *The Man Who Loved Only Numbers: The Story of Paul Erdős and the Search for Mathematical Truth*. New York: Hachette, 1998.
- Hofmann, Joseph E. *Leibniz in Paris 1672–1676: His Growth to Mathematical Maturity*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- Isaacson, Walter. *Einstein: His Life and Universe*. New York: Simon and Schuster, 2007.
- Isacoff, Stuart. *Temperament: How Music Became a Battleground for the Great Minds of Western Civilization*. New York: Knopf, 2001.
- Jones, H. S. *John Couch Adams and the Discovery of Neptune*. Cambridge: Cambridge University Press, 1947.
- Kaiser, Gerald. *A Friendly Guide to Wavelets*. Boston: Birkhäuser, 1994.
- Katz, Victor J. *A History of Mathematics: An Introduction*. 2nd ed. Boston: Addison Wesley Longman, 1998.
- . «Ideas of Calculus in Islam and India.» *Mathematics Magazine* 68, no. 3 (1995): 163–74.

- Kevles, Bettyann H. *Naked to the Bone: Medical Imaging in the Twentieth Century*. Rutgers, NJ: Rutgers University Press, 1997.
- Kline, Morris. *Mathematics in Western Culture*. London: Oxford University Press, 1953.
- Koestler, Arthur. *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*. New York: Penguin, 1990.
- Körner, Thomas W. *Fourier Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- Kwan, Alistair, John Dudley, and Eric Lantz. «Who Really Discovered Snell's Law?» *Physics World* 15, no. 4 (2002): 64.
- Laplace, Pierre Simon. *A Philosophical Essay on Probabilities*. Translated by Frederick Wilson Truscott and Frederick Lincoln Emory. New York: John Wiley and Sons, 1902.
- Laubenbacher, Reinhard, and David Pengelley. *Mathematical Expeditions: Chronicles by the Explorers*. New York: Springer, 1999.
- Levin, Janna. *Black Hole Blues and Other Songs from Outer Space*. New York: Knopf, 2016.
- Lighthill, James. «The Recently Recognized Failure of Predictability in Newtonian Dynamics.» *Proceedings of the Royal Society of London A* 407, no. 1832 (1986): 35–50.
- Liu, Leroy F. «DNA Topoisomerase Poisons as Antitumor Drugs.» *Annual Review of Biochemistry* 58, no. 1 (1989): 351–75.
- Livio, Mario. *Is God a Mathematician?* New York: Simon and Schuster, 2009.
- Mackinnon, Nick. «Newton's Teaser.» *Mathematical Gazette* 76, no. 475 (1992): 2–27.
- Mahoney, Michael S. *The Mathematical Career of Pierre de Fermat 1601–1665*. 2nd ed. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.
- Martínez, Alberto A. *Burned Alive: Giordano Bruno, Galileo and the Inquisition*. London: Reaktion Books, 2018.
- . *The Cult of Pythagoras: Math and Myths*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2012.
- . *Science Secrets: The Truth About Darwin's Finches, Einstein's Wife, and Other Myths*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2011.
- Mates, Benson. *The Philosophy of Leibniz: Metaphysics and Language*. Oxford: Oxford University Press, 1986.
- Maxwell, James Clerk. «On Physical Lines of Force. Part III. The Theory of Molecular Vortices Applied to Statical Electricity.» *Philosophical Magazine* (April/May 1861): 12–24.
- Mazur, Joseph. *Zeno's Paradox: Unraveling the Ancient Mystery Behind the Science of Space and Time*. New York: Plume, 2008.

- McAdams, Aleka, Stanley Osher, and Joseph Teran. «Crashing Waves, Awesome Explosions, Turbulent Smoke, and Beyond: Applied Mathematics and Scientific Computing in the Visual Effects Industry.» *Notices of the American Mathematical Society* 57, no. 5 (2010): 614–23. <https://www.ams.org/notices/201005/rtx100500614p.pdf>.
- McMurrin, Shawnee L., and James J. Tattersall. «The Mathematical Collaboration of M. L. Cartwright and J. E. Littlewood.» *American Mathematical Monthly* 103, no. 10 (December 1996): 833–45. DOI: 10.2307/2974608.
- Mitchell, Melanie. *Complexity: A Guided Tour*. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- Murray, James D. *Mathematical Biology 1*. 3rd ed. New York: Springer, 2007.
- . *Mathematical Biology 2*. 3rd ed. New York: Springer, 2011.
- Netz, Reviel, and William Noel. *The Archimedes Codex: How a Medieval Prayer Book Is Revealing the True Genius of Antiquity’s Greatest Scientist*. Boston: Da Capo Press, 2007.
- Newman, James R. *The World of Mathematics*. 4 vols. New York: Simon and Schuster, 1956.
- Norris, Guy, and Mark Wagner. *Boeing 787 Dreamliner*. Minneapolis: Zenith Press, 2009.
- Pais, A. *Subtle Is the Lord*. Oxford: Oxford University Press, 1982.
- Perelson, Alan S. «Modelling Viral and Immune System Dynamics.» *Nature Reviews Immunology* 2, no. 1 (2002): 28–36.
- Perelson, Alan S., Paulina Essunger, and David D. Ho. «Dynamics of HIV-1 and CD4+ Lymphocytes in Vivo.» *AIDS* 11, supplement A (1997): S17—S24.
- Perelson, Alan S., and Jeremie Guedj. «Modelling Hepatitis C Therapy — Predicting Effects of Treatment.» *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology* 12, no. 8 (2015): 437–45.
- Perelson, Alan S., Avidan U. Neumann, Martin Markowitz, John M. Leonard, and David D. Ho. «HIV-1 Dynamics in Vivo: Virion Clearance Rate, Infected Cell Life-Span, and Viral Generation Time.» *Science* 271, no. 5255 (1996): 1582–86.
- Peskin, Michael E., and Daniel V. Schroeder. *An Introduction to Quantum Field Theory*. Boulder, CO: Westview Press, 1995.
- Peterson, Ivars. *Newton’s Clock: Chaos in the Solar System*. New York: W. H. Freeman, 1993.
- Pohl, William F. «DNA and Differential Geometry.» *Mathematical Intelligencer* 3, no. 1 (1980): 20–27.
- Purcell, Edward M. *Electricity and Magnetism*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

- Rees, Martin. *Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape the Universe*. New York: Basic Books, 2001.
- Rich, Dayton A. «A Brief History of Positron Emission Tomography.» *Journal of Nuclear Medicine Technology* 25 (1997): 4–11. <http://tech.snmjournals.org/content/25/1/4.full.pdf>.
- Rickey, V. Frederick. «Isaac Newton: Man, Myth, and Mathematics.» *College Mathematics Journal* 18, no. 5 (1987): 362–89.
- Rinzel, John. «Discussion: Electrical Excitability of Cells, Theory and Experiment: Review of the Hodgkin-Huxley Foundation and an Update.» *Bulletin of Mathematical Biology* 52, nos. 1/2 (1990): 5–23.
- Robinson, Andrew. «Einstein Said That — Didn't He?» *Nature* 557 (2018): 30. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05004-4>.
- Rorres, Chris, ed. *Archimedes in the Twenty-First Century*. Boston: Birkhäuser, 2017.
- Sabra, A. I. *Theories of Light: From Descartes to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
- Schaffer, Simon. «The Laird of Physics.» *Nature* 471 (2011): 289–91.
- Schrödinger, Erwin. *Science and Humanism*. Cambridge: Cambridge University Press, 1951.
- Sheehan, William, and Steven Thurber. «John Couch Adams's Asperger Syndrome and the British Non-Discovery of Neptune.» *Notes and Records* 61, no. 3 (2007): 285–99. <http://rsnr.royalsocietypublishing.org/content/61/3/285>. DOI: 10.1098/rsnr.2007.0187.
- Shetterly, Margot Lee. *Hidden Figures: The American Dream and the Untold Story of the Black Women Mathematicians Who Helped Win the Space Race*. New York: William Morrow, 2016.
- Simmons, George F. *Calculus Gems: Brief Lives and Memorable Mathematics*. Washington, DC: Mathematical Association of America, 2007.
- . *Differential Equations with Applications and Historical Notes*. 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2016.
- Skopinski, Ted H., and Katherine G. Johnson. «Determination of Azimuth Angle at Burnout for Placing a Satellite Over a Selected Earth Position.» *NASA Technical Report, NASA-TN-D-233, L-289* (1960). <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19980227091.pdf>.
- Sobel, Dava. *Galileo's Daughter: A Historical Memoir of Science, Faith, and Love*. New York: Walker, 1999.
- . *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*. New York: Walker, 1995.
- Stein, Sherman. *Archimedes: What Did He Do Besides Cry Eureka?* Washington, DC: Mathematical Association of America, 1999.

- Stewart, Ian. *Calculating the Cosmos*. New York: Basic Books, 2016.
- . *Does God Play Dice?: The New Mathematics of Chaos*. Oxford: Blackwell, 1990.
- . *In Pursuit of the Unknown: Seventeen Equations That Changed the World*. New York: Basic Books, 2012.
- Stillwell, John. *Mathematics and Its History*. 3rd ed. New York: Springer, 2010.
- Strogatz, Steven. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.
- . *Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order*. New York: Hyperion, 2003.
- Sussman, Gerald Jay, and Jack Wisdom. «Chaotic Evolution of the Solar System.» *Science* 257, no. 5066 (1992): 56–62.
- Szpiro, George G. *Pricing the Future: Finance, Physics, and the Three-Hundred-Year Journey to the Black-Scholes Equation*. New York: Basic Books, 2011.
- Tegmark, Max. *Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality*. New York: Knopf, 2014.
- Thompson, Richard B. «Global Positioning System: The Mathematics of GPS Receivers.» *Mathematics Magazine* 71, no. 4 (1998): 260–69. https://www.maa.org/sites/default/files/pdf/cms_upload/Thompson07734.pdf.
- Turnbull, Herbert W., ed. *The Correspondence of Isaac Newton, Volume 2, 1676–1687*. Cambridge: Cambridge University Press, 1960.
- Wardhaugh, Benjamin. «Musical Logarithms in the Seventeenth Century: Descartes, Mercator, Newton.» *Historia Mathematica* 35 (2008): 19–36.
- Wasserman, Steven A., and Nicholas R. Cozzarelli. «Biochemical Topology: Applications to DNA Recombination and Replication.» *Science* 232, no. 4753 (1986): 951–60.
- Westfall, Richard S. *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
- Whiteside, Derek T., ed. *The Mathematical Papers of Isaac Newton, Volume 1*. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.
- . *The Mathematical Papers of Isaac Newton, Volume 2*. Cambridge: Cambridge University Press, 1968.
- Whiteside, Derek T. «The Mathematical Principles Underlying Newton’s *Principia Mathematica*.» *Journal for the History of Astronomy* 1, no. 2 (1970): 116–38. <https://doi.org/10.1177/002182867000100203>.
- Wigner, Eugene P. «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences.» *Communications on Pure and Applied Mathematics*

- 13 (1960): 1–14. <https://www.dartmouth.edu/~matc/MathDrama/reading/Wigner.html>.
- Wisdom, Jack, Stanton J. Peale, and François Mignard. «The Chaotic Rotation of Hyperion.» *Icarus* 58, no. 2 (1984): 137–52.
- Wouk, Herman. *The Language God Talks: On Science and Religion*. Boston: Little, Brown, 2010.
- Zachow, Stefan. «Computational Planning in Facial Surgery.» *Facial Plastic Surgery* 31 (2015): 446–62.
- Zachow, Stefan, Hans-Christian Hege, and Peter Deuffhard. «Computer-Assisted Planning in Cranio-Maxillofacial Surgery.» *Journal of Computing and Information Technology* 14, no. 1 (2006): 53–64.
- Zorin, Denis, and Peter Schröder. «Subdivision for Modeling and Animation.» *SIGGRAPH 2000 Course Notes*, chapter 2 (2000). <http://multires.caltech.edu/pubs/sig00notes.pdf>.