

Элви Рэй Смит

**Пиксель.  
История одной точки**

*Перевод с английского  
Алексея Снигирова*

Individuum  
*Москва, 2023*

УДК 004.92

ББК 85.377

C50

Напечатано при содействии  
агентства Александра Корженевского

Смит, Элви Рэй.

C50 Пиксель. История одной точки / Элви Рэй Смит [в пер. с англ. Алексея Снигирова]. — Москва: Individuum, 2023. — 688 с.: ил.

ISBN 978-5-6048295-0-9

Пиксели окружают нас — на экранах смартфонов и компьютеров, на рекламных щитах и дисплеях электронных часов. От наивного пиксель-арта до умопомрачительных 8К-рендеров, большая часть того, что мы видим, сделана из пикселей. Мы редко о них задумываемся, а ведь пиксели таят в себе неожиданную красоту компьютерных вычислений и служат фундаментом нашей виртуальной повседневности.

Автор этой книги знаком с пикселями как никто другой. Элви Рэй Смит — один из основоположников современной анимации, соучредитель Pixar и подразделения компьютерной графики Lucasfilm. Посвятив больше 50 лет работе с цифровыми изображениями, Смит написал их исчерпывающую и увлекательную биографию, в которой находится равное место для размышлений об истории искусства, технологиях и бизнесе. «Пиксель» проведет вас от открытий Фурье на заре Французской революции, первых компьютеров, пикселей и хакеров до создания «Истории игрушек» и «Ледникового периода», роли Стива Джобса в судьбе Pixar и прогресса в VR и нейросетях.

УДК 004.92

ББК 85.377

Copyright © 2021 by Alvy Ray Smith, Massachusetts  
Institute of Technology

© А. Снигиров, перевод, 2023

© ООО «Индивидуум Принт», 2023

ISBN 978-5-6048295-0-9

# Оглавление

Начало: сигнальное событие 9

**Основы: три великие идеи 19**

1. Частоты Фурье: музыка мира 21

2. Отсчеты Котельникова: нечто из ничего 61

3. Вычисления Тьюринга: одиннадцатьдесят одиннадцать  
дизиллионов 109

**Вклады: две высокие технологии 165**

4. Заря Цифрового Света: ускорение 167

5. Фильмы и анимация: время выборки 229

**Восход и сияние Цифрового Света 315**

6. Формы грядущего 317

7. Оттенки смысла 423

8. Новое тысячелетие и Фильм 523

Финал: великая цифровая конвергенция 601

Благодарности 649

Примечания 657

Изображения 683



*Посвящается*

Элисон, моей любимой жене,  
Сэму и Джесси, моим дорогим сыновьям, и Лео, Атти,  
Джорджи, Оги и Эвелин, моим обожаемым и разруши-  
тельным внукам



## Начало: сигнальное событие

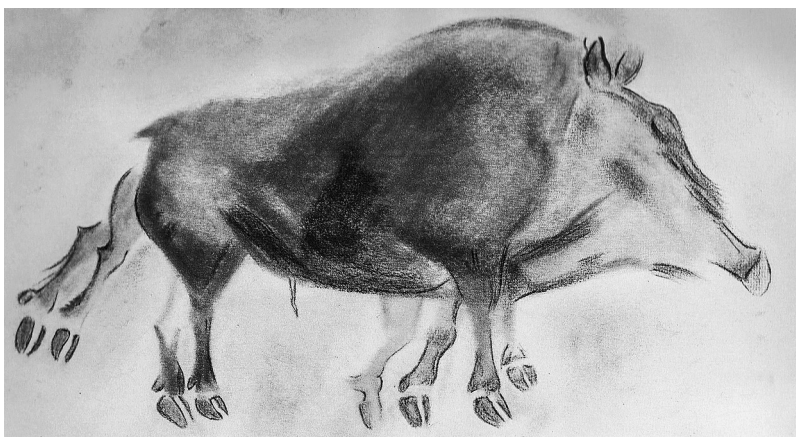


Рис. 0.1 Шагающий кабан. Альтамира, ок. 20 000 г. до н. э.

*Не делай себе кумира и никакого изображения того, что на небе вверху, и что на земле внизу, и что в воде ниже земли.*

— Исход 20:4

В начале — конечно, задолго до библейского табу — было наскальное изображение. В мерцающем свете пламени казалось, что оно двигалось. Изображение на стене пещеры Альтамира в Испании — это одновременно *и* шагающий кабан, *и* камень, на котором его нацарапал древний художник, *и* использованные им уголь и охра. В течение примерно 20 тысячелетий в мире не было другого места, где удалось бы посмотреть на этого добиблейского борова. Только

в пещере Альтамира, в мерцающем свете костра, на экране кинотеатра эпохи палеолита, можно было увидеть, как двигаются его ноги и покачивается голова<sup>1</sup>.

Да что там палеолит — всего два столетия назад, в 1800 году, и картина «Бонапарт на перевале Сен-Бернар», и холст, на котором Жак-Луи Давид написал ее, и масляные краски, которые он использовал, составляли единое целое. Представьте, что вы, находясь в Европе, захотели бы поделиться с друзьями из Нью-Йорка этим восхитительным агиографическим изображением Наполеона. Еще нет ни сотовых телефонов, ни видеокамер, не изобрели даже фотографию. Единственный способ показать его там — привезти саму картину, если вы, конечно, отважитесь на такое. Эстамп, офорт или набросок могли бы познакомить жителей Нью-Йорка с этой замечательной картиной, но любая копия, хорошая или плохая, — это уже новое изображение, неспособное всецело и точно передать оригинал<sup>2</sup>.

Все это время картина и средства ее создания оставались едины. Никто даже и не задумывался о возможности разделить их. Да и чем могло бы быть изображение без носителя?

Затем, в начале XIX века, изобретение фотографии положило начало миру, в котором есть то, что мы сейчас называем «медиа», — средства передачи информации. Настала эра, когда оказалось возможным точное воспроизведение. В конце XIX века появился кинематограф, а в начале XX — телевидение. Все медиа тогда были аналоговыми, сообщения передавались пропорционально и непрерывно. Появившаяся возможность переносить изображение с одного носителя на другой намекала, что в изображении есть нечто, существующее отдельно от носителя.

Понятие «цифрового» кодирования информации — дискретного и прерывистого — практически не рассматривалось по крайней мере до 1933 года. К середине 1950-х существовало лишь несколько цифровых изображений. Немногочисленные осведомленные о них специалисты считали, что такие легкомысленные эксперименты с картинками отвлекают внимание от серьезных проектов цифровых компьютеров. Все остальные изображения в мире создавались и воспроизводились исключительно аналоговыми средствами:

маслом на холсте, типографской краской на бумаге, эмульсией на фотопленке и некоторыми другими.

На стыке тысячелетий, к 2000 году, произошло неожиданное событие — Великая цифровая конвергенция. Единый новый цифровой носитель — всемогущий бит — вытеснил почти всех аналоговых конкурентов. Бит стал универсальным носителем информации, а особая упаковка из битов — пиксель — покорила мир. Стало возможным, так сказать, отделить картину от холста. В результате большинство изображений в мире теперь существуют в цифровом виде. Аналоговые изображения практически исчезли, повсеместно вытесненные цифровыми. Возможно, лишь музеи и детские сады — те редкие места, где есть вероятность найти аналоговые изображения.

Моя книга расскажет об этом революционном событии тысячелетия, восславив Цифровой Свет — обширное царство, включающее в себя любое изображение, созданное из пикселей. Оно простирается от паркоматов до виртуальной реальности, от приборных панелей до цифрового кино и телевидения, от аппаратов МРТ до видеоигр, дисплеев мобильных телефонов и многого, многого другого — всего, что использует пиксели.

Самое удивительное в новом носителе — это его невидимость. Невидимы биты и состоящие из них пиксели. Не следует путать, как это часто бывает, пиксели, о которых я говорю, с теми маленькими светящимися областями на экране, которые называются элементами отображения. Техническая суть моей книги — объяснить, как делаются видимыми изображения, состоящие из невидимого материала, как цифровые пиксели преобразуются в аналоговые элементы отображения.

Великая цифровая конвергенция пришлась на границу тысячелетий по чистой случайности, но довольно удачно. Первый цифровой фильм «История игрушек» студия Pixar выпустила в 1995 году. В 1998 году впервые передан цифровой телевизионный сигнал высокой четкости (HDTV). Цифровая видеокамера, способная по качеству съемки составить конкуренцию традиционному пленочному оборудованию, потрясла рынок в 1999-м. Цифровой диск для записи видео, получивший название DVD, дебютировал в 2000 году.

Apple представила прорывной смартфон iPhone в 2007 году. То, что раньше было книгами, фотографиями, кино и телевидением, превратилось — в мгновение ока, по меркам истории — просто в последовательности битов. Изменения произошли настолько быстро, что уже выросло молодое поколение, которое, возможно, не стеснялось с нецифровыми медиа нигде, кроме последних аналоговых оплотов — дошкольных учреждений и музеев изобразительных искусств.

Все мы теперь плывем по цифровому океану пикселей. Я ношу с собой миллиарды их и подозреваю, что вы тоже. Однако странно, что на это глобальное изменение в нашем повседневном опыте до сих пор не обращали серьезного внимания. Возможно, большинство людей еще не осознали, что Цифровой Свет — это единая унифицированная технология. И это новая идея. Прояснить ее — главная цель моей книги.

### **Основы: три великие идеи**

Всего три идеи — волновые колебания, машинные вычисления и пиксели — лежат в основе всей кажущейся сложности Цифрового Света. Каждая из них интуитивно проста, глубока и красива. Это краеугольные камни нашего современного мира, и, чтобы разобраться в них, не нужна математика. Первые три главы этой книги будут посвящены этим фундаментальным идеям и увлекательным историям о людях, которые сделали возможным их практическое применение.

Идея волновых колебаний — аналоговая. Вы, наверное, знаете, что музыка состоит из одновременных звуковых волн разной частоты (высота тона) и амплитуды (громкость). Два столетия назад французский математик Жозеф Фурье распространил это понятие на *весь* наш чувственный опыт. Все, что мы видим и слышим, — это сумма волн разной частоты и амплитуды. Всё — музыка. В этой книге я покажу вам, как увидеть музыку в изображении.

Компьютеры — идея цифровая. Машины, ускоряющие вычисления, — пример проникновения цифровых технологий в повседневную жизнь. Но сама идея вычислительных машин возникла

только в 1936 году, когда англичанин Алан Тьюринг придумал их, чтобы продемонстрировать возможность аккуратного исполнения систематических процессов. Это может показаться непонятным и скучным человеку, но достаточно взглянуть на последствия, чтобы убедиться в обратном. Компьютер стал самым гибким и универсальным инструментом человека. А потрясающая скорость, с которой он производит вычисления, — величайшее инженерное чудо всех времен. Скорость работы компьютеров невообразимо и многократно усиливает возможности нас, ничтожных людишек.

Но вся ошеломляющая, изменившая наш мир мощь компьютеров на самом деле сводится к аккуратному переключению между двумя состояниями, часто называемыми 0 и 1. Все их вычисления — это биты. Это может показаться тривиальным, но я надеюсь вдохновить вас неожиданной красотой и загадочностью компьютерных вычислений. Опять же, никакой математики нам не потребуется.

И наконец, самая важная, но наименее известная из этих трех фундаментальных идей, лежащих в основе моей книги: вы можете легко преобразовывать колебания в биты и наоборот, перемещаться между аналоговым и цифровым мирами. Сама идея восходит к 1933 году, когда советский математик Владимир Котельников сформулировал ее в том виде, в каком мы ее знаем сегодня. Ее официальное название — теорема отсчетов или теорема выборки. Вся эта книга — биография пикселя, а *пиксель* — наше название единичного отсчета, выбранной точки визуального мира. Так что эта книга — о выборке. Пиксели — это невидимые биты, которые воплощаются в видимые световые колебания. Я загорелся желанием написать эту книгу, чтобы вы осознали, какое в них скрыто волшебство, и удивились, как оно работает. Обещаю, никакой математики здесь тоже не потребуется.

После того как я трижды на двух страницах упомянул, что *математика нам не потребуется*, вы, возможно, подумаете: *а что, если кому-то математика все же интересна?* Для них — но на самом деле для всех моих читателей — я создал сайт с комментариями, расположенный по адресу [alvyray.com/DigitalLight](http://alvyray.com/DigitalLight). Там вы найдете дополнительные сведения о людях, местах и событиях, которые сделали бы эту книгу слишком громоздкой, чтобы поместиться между физическими обложками. А еще на сайте

размещены математические уравнения, описывающие магию Цифрового Света и пикселей и подтверждающие, что все это действительно возможно<sup>3</sup>.

Распространено заблуждение, что пиксель — это просто маленький цветной квадратик. Но на самом деле пиксель — это глубокая абстрактная концепция, связывающая воедино весь наш современный медиамир. Это организующий принцип Цифрового Света.

Визуальная картина состоит из бесконечного количества цветных точек. Бесконечность по определению слишком велика, чтобы иметь с ней дело. Но как мы можем заменить непрерывную визуальную картину конечным числом дискретных битов — пикселей — и не потерять при этом бесконечное количество информации между ними? Теорема отсчетов подсказывает, как это сделать. Это секрет, который заставляет работать современный медиамир.

Теорема отсчетов, базирующаяся на преобразованиях Фурье, возникла почти одновременно с идеей компьютера в середине 1930-х. Они встретились и зачали ребенка, Цифровой Свет, предмет этой книги.

### **Вклады: две высокие технологии**

Вторая часть книги посвящена истории двух высоких технологий, сформировавших Цифровой Свет: компьютерам и кинематографу. Как и в первой части, я доступно представляю каждую технологию и расскажу историю ее создания, попутно развенчав некоторые распространенные мифы. Подлинные истории всегда более интригующие, вдохновляющие и замысловатые, чем привычные мифы.

В царстве Цифрового Света мы можем *брать* пиксели реального мира — скажем, с камеры на Международной космической станции, отслеживающей последние ураганы. Но, что еще важнее для этой книги, мы также можем сами *создавать* пиксели. Тут без компьютеров не обойтись, поэтому я так подробно рассказываю о развитии этой высокой технологии.

В процессе работы над книгой я сделал для себя немало удивительных открытий, но главным из них стал тот факт, что первые пиксели появились уже на первых компьютерах. Они родились

вместе. Таким образом, выяснив, какие компьютеры были первыми в мире, мы также узнаем, когда и где появились первые пиксели. Вот почему глава о компьютерах во второй части называется «Восход Цифрового Света: ускорение». Она проиллюстрирована первым изображением, сделанным с помощью пикселей в 1947 году. Еще я расскажу там о законе Мура, движущей концепции огромной силы:

*Все хорошее в компьютерах каждые пять лет становится лучше на порядок.*

Несмотря на кажущуюся простоту, это заявление носит революционный характер. То, что в 1965 году, когда Гордон Мур сделал свое наблюдение, равнялось 1, сейчас составляет около 100 миллиардов, а к 2025 году достигнет 1 триллиона. Это взрыв сверхновой. Закон Мура — это динамо-машина невероятной мощности, стоящая на протяжении более 50 лет за каждым витком развития компьютеров, в том числе и Цифрового Света.

Цифровое кино — тоже часть Цифрового Света — происходит от классического кинематографа. В главе под названием «Фильмы и анимация: время отсчетов» рассматривается эта доцифровая технология создания движущихся изображений. Это также помогает проиллюстрировать саму идею дискретной выборки: знакомые нам «кадры» на дрожащей киноплёнке на самом деле являются набором отсчетов.

Глаголы *брать* и *создавать* применимы и к фильмам. Классический фильм снимается камерой на реальных съемочных площадках. Классический анимационный фильм создается из рисунков нереального, несуществующего мира. Главная загадка обоих видов киноискусства — как и почему они вообще работают? Как последовательность неподвижных кадров передает одновременно движение и эмоции? Теорема отсчетов помогает по крайней мере объяснить, как устроено движение. Первые цифровые фильмы, такие как «История игрушек», — прямые наследники классических анимационных фильмов.

## Восход и сияние Цифрового Света

История Цифрового Света слишком обширна, чтобы охватить ее в одной книге, поэтому нужно выбрать, на чем конкретно сосредоточиться. В этой книге я расскажу о Цифровом Свете от первых пикселей в середине XX века до первых цифровых фильмов в начале нового тысячелетия. Неудивительно, что я решил написать о конкретных технологиях, людях и событиях, знакомых мне по личному опыту. Я родился до появления компьютеров — и пикселей, — и моя карьера в основном связана с созданием первых цифровых фильмов. Пройденный мною путь поможет объяснить, как Цифровой Свет стал универсальным явлением нашей жизни, поскольку компьютерные игры и виртуальная реальность не так уж далеки от цифрового кино.

В трех главах третьей части рассказывается, что происходило с Цифровым Светом после его восхода (который описан в главе 4) и появления первых пикселей в середине XX века. Закон Мура 1965 года четко разделяет историю Цифрового Света на две эпохи: Эпоху 1, до закона Мура, и Эпоху 2 — после. Глава под названием «Образы грядущего» посвящена Эпохе 1. Две другие главы, «Оттенки смысла» и «Миллениум и кино», повествуют о масштабных изменениях, вызванных законом Мура в Эпоху 2.

Первая Эпоха была временем огромных, но ужасно медленных компьютеров. Немногие счастливицы имели доступ к этим дорогостоящим монстрам. Этот период установил Центральную Догму компьютерной графики: воображаемый мир внутри компьютера описывается с помощью трехмерной евклидовой геометрии и ньютоновой физики. За ним наблюдает виртуальная камера, создающая проекцию своей точки обзора при помощи линейной перспективы Ренессанса для отображения на экране.

События Эпохи 2 я опишу примерно до 2000 года. Ее кульминацией стало появление на границе тысячелетий трех великих цифровых киностудий: Pixar, DreamWorks и Blue Sky. Их истории тесно переплетаются.

Я не думаю, что, прочитав эту книгу, вы сможете самостоятельно создать цифровое кино, но надеюсь, что поймете, как оно делается. Это примерно как уроки музыки в школе: освоив пол-

ный курс, вы вряд ли сочините сюиту для виолончели в духе Баха, но научитесь понимать, как устроена музыка, и еще сильнее полюбите творчество Баха. Понимание, как создается современный цифровой фильм, например «История игрушек», может иметь тот же эффект.

### **Как говорить о высоких технологиях**

Исследуя историю технологий в ходе работы над этой книгой, я заметил три глобальные темы.

**Тема 1. Условия для прогресса: идея, хаос и тиран.** Для прогресса новой технологии необходимы свежая идея, разрушительный хаос, который создает потребность в идее и подстегивает ее развитие, и тиран или тирания, которые — часто неосознанно — защищают ее создателя или создателей, пока они воплощают идею.

Приведу один пример: у Жозефа Фурье возникла великолепная идея, что непрерывность — это музыка, то есть просто сумма волн разной амплитуды и разной длины. Хаос Французской революции привел его в Париж, а возвышение Наполеона обеспечило возможность заниматься наукой. Тиран Наполеон отправил Фурье в сельскую местность подальше от Парижа. В безопасном месте на протяжении долгих лет Фурье развил свою идею в волновую теорию, которая в итоге вернула его в Париж. Его идея повлияла на дальнейшее развитие науки и технологий, в том числе и Цифрового Света.

**Тема 2. «Высокие» в выражении «высокие технологии» гарантирует, что их история не сводится к примитивному нарративу.** Я неоднократно с ужасом обнаруживал, что почти всегда общепринятая история технологий полна ошибок. Дело не в отсутствии свидетельств того, как все обстояло на самом деле. Проблема, как мне кажется, заключается в нашей любви к простым историям, основанным на окончательном триумфе гениального творца после многочисленных испытаний и невзгод. Во многих университетах есть кафедры истории науки, но история технологий редко становится предметом научных исследований. В результате это направление захватывают страны, компании или частные