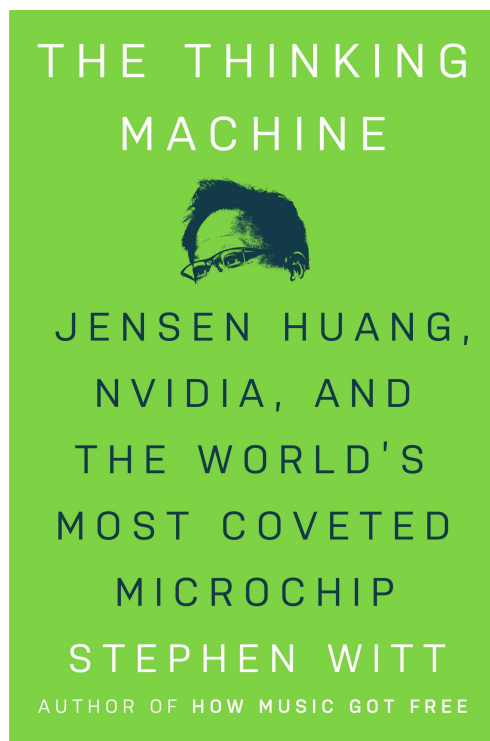


# Мыслящая машина



Практикуйтесь даже в том, что кажется невозможным.

—МаркусАврелий

## Введение

Это история о том, как нишевый поставщик игрового оборудования стал самой дорогой компанией в мире. Это история упрямого предпринимателя, который тридцать лет продвигал свое радикальное видение вычислительной техники, став при этом одним из самых богатых людей в мире. Это история революции в кремниевой промышленности и небольшой группы инженеров-бунтарей, которые бросили вызов Уолл-стрит, чтобы воплотить ее в жизнь. И это история рождения потрясающей и ужасающей новой категории искусственного интеллекта, долгосрочные последствия которой для человечества пока неизвестны.

В центре этой истории — энергичный, непредсказуемый, блестящий и необычайно преданный своему делу человек. Его зовут Дженсен Хуанг, и его тридцатидвухлетний срок пребывания на посту — самый долгий среди всех руководителей технологических компаний, входящих в индекс S&P 500. Хуанг — изобретатель-визионер, чье знание внутренних механизмов электронных схем граничит с близостью к реальности. Он

рассуждает, исходя из фундаментальных принципов, о том, на что способны микрочипы сегодня, а затем с большой уверенностью делает ставку на то, на что они способны завтра. Он не всегда побеждает, но когда побеждает, то побеждает по-крупному: его ранняя, полная ставка на искусственный интеллект стала одной из лучших инвестиций в истории Силиконовой долины. Компания Хуанга, Nvidia, сегодня стоит более 3 триллионов долларов, конкурируя по стоимости с Apple и Microsoft.

В жизни Хуан обаятелен, остроумен, самоироничен и часто противоречив. Он постоянно поддерживает полукомичный, невозмутимый тон в своих разговорах. Мы встретились в 2023 году за завтраком в закусочной Denny's, его любимой сети ресторанов. Тридцать лет назад Хуан разработал бизнес-план для Nvidia именно в этом ресторане; болтая с нашей официанткой, он заказал семь блюд, включая сэндвич Super Bird и жареный куриный стейк. «Знаете, раньше я здесь работал посудомойщиком, — сказал он ей. — Но я много работал! Прямо очень много. Поэтому мне досталась должность помощника официанта».

Хуан, родившийся на Тайване, иммигрировал в Соединенные Штаты в возрасте десяти лет. Ресторан Denny's стал для него местом, где он адаптировался — работая там подростком, он перепробовал все меню. Тем не менее, как он мне сказал, он сохраняет взгляд со стороны. «Ты всегда иммигрант, — сказал он. — А я всегда китаец». Он стал соучредителем Nvidia (произносится как ИН-видия, а не НУ-видия) в 1993 году, когда ему было тридцать, первоначально ориентируясь на зарождающийся рынок высококачественной графики для видеоигр. Его продукция пользовалась популярностью; клиенты любили собирать свои собственные ПК, иногда покупая прозрачные корпуса, чтобы продемонстрировать свое оборудование Nvidia.

В конце 1990-х годов, стремясь улучшить рендеринг игр серии *Quake*, Nvidia внесла незначительное изменение в архитектуру своих процессоров, позволив им решать более одной задачи одновременно. Этот подход, известный как «параллельные вычисления», был радикальным риском. «Успех параллельных вычислений был равен нулю процентов до нашего появления», — сказал Хуан, перечисляя список забытых стартапов. «Буквально нулю. Все, кто пытался превратить это в бизнес, потерпели неудачу». Хуан игнорировал этот печальный результат, более десяти лет следуя своему нетрадиционному видению, открыто бросая вызов Уолл-стрит. Он искал клиентов не только среди геймеров, но и среди тех, кому требовалась большая вычислительная мощность — синоптиков, рентгенологов, специалистов по глубоководной разведке нефти и тому подобное. В это время акции Nvidia упали, и ему пришлось отбиваться от корпоративных рейдеров, чтобы сохранить свою работу.

Хуан продолжал эту ставку, теряя на ней деньги годами, пока в 2012 году группа диссидентских ученых из Торонто не приобрела две потребительские видеокарты для обучения экзотического вида искусственного интеллекта, называемого нейронной сетью. В то время нейронные сети, которые имитируют структуру Биологические модели мозга были давно устарели, и большинство исследователей считали их бесполезными игрушками. Но когда Хуан увидел, как быстро нейронные сети обучаются на его платформе параллельных вычислений, он поставил на кон всю свою компанию, полагаясь на этот

неожиданный симбиоз. Теперь Хуану нужны были две перспективные технологии — две технологии, которые в прошлом всегда проваливали проверку рынка.

Когда эта смелая корпоративная сделка удалась, стоимость Nvidia выросла в несколько сотен раз. За последнее десятилетие компания прошла путь от продажи игровых аксессуаров за 200 долларов до поставки многомиллионного суперкомпьютерного оборудования, способного занять целый этаж здания. Работая с такими пионерами, как OpenAI, Nvidia за последние десять лет ускорила разработку приложений глубокого обучения более чем в тысячу раз. Все основные приложения искусственного интеллекта — Midjourney, ChatGPT, Copilot, все они — были разработаны на машинах Nvidia. Именно этот беспрецедентный рост вычислительной мощности сделал возможным современный бум ИИ.

Обладая почти монополией на аппаратное обеспечение, Хуан, пожалуй, является самым влиятельным человеком в сфере искусственного интеллекта. Безусловно, он заработал на этом больше денег, чем кто-либо другой. В духе тех, кто быстро разбогател, он больше всего напоминает первого миллионера Калифорнии, Сэмюэля Брэннана, знаменитого продавца оборудования для геологоразведки, жившего в Сан-Франциско в 1849 году. Только вместо лопат Хуан продает чипы для обучения ИИ стоимостью 30 000 долларов, содержащие сто миллиардов транзисторов. Время ожидания для покупки его новейшего оборудования в настоящее время составляет более года, а на китайском черном рынке его чипы продаются вдвое дороже.

Хуан мыслит не как бизнесмен. Он мыслит как инженер, разбивая сложные концепции на простые принципы, а затем эффективно используя эти принципы. «Я делаю все возможное, чтобы не разориться», — сказал он за завтраком. «Я делаю все возможное, чтобы не потерпеть неудачу». Хуан считает, что с появлением ИИ базовая архитектура цифровых вычислений, мало изменившаяся с момента ее внедрения IBM в начале 1960-х годов, переосмысливается. «Глубокое обучение — это не алгоритм», — сказал он. «Глубокое обучение — это метод. Это новый способ разработки программного обеспечения».

Это новое программное обеспечение обладает невероятными возможностями. Оно может говорить как человек. Написать эссе для колледжа, решить сложную математическую задачу, поставить экспертный медицинский диагноз и вести подкаст. Это зависит от вычислительной мощности и, кажется, никогда не достигает предела возможностей. Вечером перед завтраком я посмотрел видео, в котором робот, работающий с новым типом программного обеспечения, смотрел на свои руки с явным узнаванием, а затем сортировал коллекцию цветных блоков. Видео вызвало у меня мурашки по коже; казалось, что мой вид скоро устареет. Хуан, обкатывая пальцами блинчик вокруг сосиски, отмахнулся от моих опасений. «Я знаю, как это работает, так что тут ничего страшного нет», — сказал он. «Это ничем не отличается от работы микроволновок». Я стал настаивать — автономный робот, безусловно, представляет риски, которых нет у микроволновой печи. Он ответил, что никогда не беспокоился об этой технологии, ни разу. «Она всего лишь обрабатывает данные», — сказал он. «Есть так много других вещей, о которых стоит беспокоиться».

Куда это приведёт, никто не знает; многие технологи сейчас опасаются, что возможности ИИ представляют прямую угрозу выживанию человечества. (Среди этих «пессимистов» —

учёные из Торонто, которые первыми внедрили ИИ на платформе Хуанга.) Хуанг отвергает такой пессимизм. Для него ИИ — это чистая сила прогресса, и он заявил, что он стимулирует новую промышленную революцию. Он не допускает особых разногласий по этому вопросу, и его сила личности может быть пугающей. («Общение с Дженсеном — это как засунуть палец в электрическую розетку», — сказал один из его руководителей.) Сотрудники Хуанга боготворят его — я думаю, они бы последовали за ним из окна небоскрёба, если бы он увидел там рыночную возможность.

В мае 2023 года сотни лидеров отрасли поддержали заявление, в котором риск неконтролируемого развития ИИ сравнивался с риском ядерной войны. Хуан его не подписал. Некоторые экономисты отмечают, что промышленная революция привела к относительному сокращению численности лошадей в мире, и задаются вопросом, не может ли ИИ сделать то же самое с людьми. «У лошадей ограниченные возможности для карьерного роста», — сказал Хуан. «Например, лошади не умеют печатать». Пока он доедал, я выразил опасения, что в скором времени я загружу свои заметки из нашего разговора в интеллектуальную систему, а затем буду наблюдать, как она создаст структурированную, превосходную прозу. Хуан не исключил этой возможности, но заверил меня, что у меня есть... За несколько лет до моего момента, подобного моменту Джона Генри, он сказал: «Сначала это коснется писателей-прозаиков». Затем он дал официантке тысячу долларов чаевых и встал от своих многочисленных тарелок с недоеденной едой.

Хуан оказался для меня неуловимым человеком, в некотором смысле самым сложным из всех, о ком мне приходилось писать репортажи. Он ненавидит говорить о себе и однажды в ответ на один из моих вопросов физически убежал. До того, как я заказал эту книгу, я написал очерк о Хуане для журнала *The New Yorker*. Хуан сказал мне, что не читал его и не собирается этого делать. Когда я сообщил ему, что пишу его биографию, он ответил: «Надеюсь, я умру до того, как она выйдет».

Тем не менее, Хуан предоставил мне доступ к большому количеству людей для написания этой книги. Я поговорил почти с двумястами людьми, включая его сотрудников, соучредителей, конкурентов и нескольких его старых друзей. Любимый и даже несколько чудаковатый семьянин, каким я его увидел в этих интервью, мало походил на бескомпромиссного мясоеда, который обеспечил успех Nvidia, но именно эти привязанности подпитывают амбиции Хуана: он откровенно говорил со мной о своей неуверенности, о страхе подвести своих сотрудников, о страхе опозорить фамилию семьи. Некоторые руководители говорят о прибыли как о «подсчете очков», но не Хуан; для него деньги — это лишь временная страховка от какой-то будущей катастрофы. Было что-то трогательное в том, как говорил человек, состояние которого оценивается в сто миллиардов долларов.

Но если Хуан движим тревогой, то его также мотивирует очарование соблазнительной силой, которую открывала его технология. Он не ставил перед собой цель стать пионером в области ИИ, даже когда обратил свое внимание на параллельные вычисления, но как только они появились, Хуан решил продвинуть свою максималистскую программу развития машинного интеллекта как можно дальше и быстрее. Даже самые оптимистичные

визионеры в этой области призывают к *определенной* осторожности; предполагаемая миссия OpenAI, например, состоит в предотвращении катастрофы. Хуан, почти единственный, кто верит, что ИИ может привести только к добру, и именно эта вера мотивирует его работать по двенадцать-четырнадцать часов в день, семь дней в неделю, даже после трех десятилетий работы в качестве генерального директора.

Конечно, Хуан в любом случае будет много работать. Это в его характере. Если есть тема его жизни – это усиление; он снова и снова, с всё большим успехом, воплощал в жизнь одни и те же простые принципы: усердие, мужество и мастерство в основах. Я был удивлён, узнав, как много черт того человека, которым он стал позже, присутствовало в ребёнке-иммигранте, прибывшем в Соединённые Штаты в 1973 году без сопровождения родителей в среду, настолько неблагоприятную для процветания, что кажется чудом, что он выжил. Чтобы полностью понять Хуана, мы начнём не с ресторана Denny's и не с гигантских соборов технологий, которые он позже построил, а с этой крошечной сельской школы.

## Мост

Примерно в конце 1973 года десятилетний Дженсен Хуан встал с постели в своей комнате в общежитии и отправился в опасное путешествие в школу. Хуан, родившийся на Тайване и выросший в Таиланде, недавно приехал в сельскую местность Кентукки. Его путь вел вниз по склону холма к пойме, расположенной среди лесистых холмов, и через шаткий пешеходный мостик, подвешенный на веревках и лишенный многих досок, сквозь который можно было видеть ледяные и бурлящие воды реки внизу.

Хуан, способный и добросовестный ребенок, пропустил год и учился в шестом классе. Он был невысокого роста даже для своего возраста и часто оказывался самым маленьким мальчиком в классе. Он плохо говорил по-английски и был единственным учеником азиатской внешности. Его одноклассниками в начальной школе Онейда были дети фермеров, выращивающих табак, и шахтеров. Почти все они были белыми, и многие жили в нищете. У некоторых в домах не было водопровода.

Хуан приехал со своим старшим братом Джеффом в середине учебного года, в то время как их родители оставались в Таиланде. Они жили в баптистском институте Онейда, расположенном неподалеку, но Дженсен был слишком мал для обучения в ОВИ и был отправлен в начальную школу Онейда. В свой первый день директор обнял мальчика и поприветствовал весь класс. Новый ученик, приехавший из другой части мира, но при этом чрезвычайно умный, сразу же стал объектом издевательств. «Он был идеальной мишенью», — сказал Бен Бейс, одноклассник Хуана.

До приезда Хуана жертвой был Бэйс. Как и Хуан, Бэйс был невысокого роста и, как и Хуан, хорошо учился. Задиры ценили эти качества, запирая его в школьных шкафчиках, иногда на несколько часов. После приезда Хуана их внимание сместилось и приобрело расовый оттенок — у многих одноклассников Хуана из Кентукки были родственники, воевавшие во Вьетнаме. «Тогда китайцев называли «китацами», — сказал мне Хуан

пятьдесят лет спустя в стерильной конференц-комнате во время нашей первой беседы. На его лице не было никаких эмоций. — Нас так называли каждый день».

Задиры притесняли Хуана как в классе, так и вне его, при каждой возможности. Они толкали его в коридорах и гонялись за ним на игровой площадке. Мост был их любимым местом. Хуану приходилось переходить его в одиночку, что было опасно даже в самых благоприятных условиях. Иногда, когда Хуан оказывался посередине, задиры вылезали из укрытий по обе стороны реки, хватали веревки и начинали раскачиваться, пытаясь сбросить его в реку. «Как ни странно, это никак на него не влияло», — сказал Бейс. «На самом деле, казалось, что ему было весело».

Бейс и Хуан быстро подружились. Несмотря на языковой барьер, Хуан преуспевал в учебе, обогнав Бейса и став лучшим учеником. Он был талантливым художником и обладал безупречным почерком, хотя писал только заглавными буквами. Он также научил Бейса драться. Все, что местные мальчишки знали о китайской культуре, они почерпнули из фильмов Брюса Ли. Хуан сначала блефовал, говоря одноклассникам, что он эксперт по боевым искусствам. Это быстро опровергалось на школьном дворе, но то, чего Хуану не хватало в технике, он компенсировал решимостью. Когда ему бросали вызов, он всегда давал отпор, иногда даже повалив на землю более крупных парней. По воспоминаниям Бейса, Хуана ни разу не удалось прижать к земле. («Я помню это не так», — сказал Хуан, смеясь.) Тем не менее, Хуан вдохновил Бейса тоже дать отпор, и через некоторое время издевательства прекратились.

Семья Бейса была в крайней нищете. У него было пятеро братьев и сестер, а его отец, проповедник, работал странствующим священником. Он жил в ветхом доме с выгребными ямами на заднем дворе, в укромном месте, у входа в небольшую, укромную долину, известную как «лощина». Ничто в его жизни не подготовило его к встрече с кем-либо вроде Хуанга, и он мог лишь гадать о том, как обстоятельства привели этого одаренного, беспризорного ребенка в глухие Аппалачи округа Клей, штат Кентукки, одного из беднейших округов страны.

• • •

Хуан, средний из трех братьев, родился в Тайбэе, Тайвань, в феврале 1963 года. Его отец был инженером-химиком, а мать преподавала в начальной школе. Родители Хуана были родом из города Тайнань, расположенного на юго-западном побережье. Они свободно говорили на тайваньском диалекте хоккиен, но большую часть жизни прожили под иностранным правлением. Тайвань был японской колонией до 1945 года; в 1949 году китайский генерал Чан Кайши, потеряв материк в пользу Мао, бежал на Тайвань со своей армией, и вскоре на острове было введено военное положение.

Когда Хуану было пять лет, его отец, Шинг Тай, устроился на работу на нефтеперерабатывающий завод в Таиланде и перевёз семью в Бангкок. Воспоминания Хуана о Юго-Восточной Азии довольно смутные. Он помнил, как облил водой из-под зажигалок бассейн в семейном доме и поджёг его. Он помнил ручную обезьянку, принадлежавшую другу. В конце 1960-х годов отец Хуана посетил Манхэттен по пути на обучение в компанию *Carriger*, гиганта в сфере кондиционирования воздуха, которая менял

офисную жизнь благодаря точному климат-контролю. Он был поражён Нью-Йорком и вернулся с твёрдым намерением перевезти семью в Соединённые Штаты.

В рамках подготовки к переезду мать Хуана, Чай Шиу, начала учить мальчиков английскому языку. Сама она не говорила по-английски, но это было лишь небольшим препятствием. Опираясь на свой опыт школьной учительницы, каждый вечер она заставляла сыновей запоминать десять новых слов, случайно выбранных из словаря, а на следующий день тренировала их в повторении этих слов. Примерно через год она записала троих мальчиков в международную академию, и Хуан начал получать формальное образование на английском языке, продолжая при этом общаться с родителями на тайваньском.

Планы семьи по переезду ускорились в 1973 году, когда Таиланд был охвачен политическими волнениями. В октябре того года полмиллиона протестующих вышли на улицы Бангкока, требуя роспуска военной диктатуры в стране. Правительство ответило силой, и Хуан вспоминал, как видел танки, катившиеся по улицам. Опасаясь дальнейших беспорядков, отец Дженсена отправил его и Джеффа в Такому, штат Вашингтон, жить к дяде. Родители Дженсена и его младший брат остались. Дядя решил, что мальчикам место в школе-интернате, и стал искать учреждение, готовое принять двух тайваньских детей без присмотра, десяти и двенадцати лет, живущих за тысячи километров от родителей. Он выбрал баптистский институт Онейда в Кентукки, возможно, приняв его за престижную подготовительную школу для поступления в колледж.

На самом деле, ОВІ представляла собой исправительную академию для несовершеннолетних, расположенную в городке с населением в триста человек. Институт был основан в 1899 году Джеймсом Андерсоном Бернсом, баптистским проповедником, стремившимся положить конец смертельной и затянувшейся семейной вражде. (Идея создания школы пришла к Бернсу после того, как его ударили по голове винтовкой и оставили умирать в канаве.) К 1970-м годам, несмотря на то, что в ОВІ обучалось несколько иностранных студентов, она была известна в основном как учреждение, предоставляющее последний шанс.

По прибытии братья обнаружили, что территория кампуса усеяна окурками. «Все студенты курили, и, кажется, я был единственным мальчиком в школе без карманного ножа», — сказал Хуан. Десятилетнему Дженсену дали соседа по комнате, семнадцатилетнего парня; в первую же ночь старший поднял рубашку, чтобы показать Дженсену многочисленные места, где его ударили ножом во время недавней драки. Сосед Хуана был неграмотным; в обмен на обучение чтению, по словам Хуана, «он научил меня делать жим лежа. В итоге я делал по сто отжиманий каждый вечер перед сном». Хуан придерживался ежедневной программы отжиманий до конца своей жизни.

Братья Хуан англизировали свои имена, чтобы соответствовать общепринятым нормам. Джен-Чье стал «Джеффом», а Джен-Хсун — «Дженсеном». (Их младший брат, Джен-Че, позже стал «Джимом».) Джефф и Дженсен поддерживали связь со своими родителями. В Таиланде они отправляли аудиокассеты международной почтой. С каждой кассетой они сначала слушали сообщение родителей, а затем записывали поверх него своё собственное.

Дженсен вспоминал лишь редкие моменты тоски по дому. Для него всё это было похоже на грандиозное приключение.

Летом от студентов ОВІ ожидалось, что они будут зарабатывать себе на жизнь физическим трудом. Джеффа отправили на табачную ферму; Дженсену оставили чистить туалеты в общежитии. «Это не было наказанием, — сказал Хуанг. — Это была просто моя работа». Еще одной обязанностью Хуанга была коса на территории школы. Бейс вспоминает, как проезжал мимо него по дороге в церковь. «Мы проезжали мимо поля, и он просто бегал кругами, в бейсбольной майке, срезая сорняки», — сказал он.

К концу года обучения в начальной школе Онейда Хуан практически покориł всю школу. Он был лучшим учеником в классе, за что на школьном собрании ему вручили серебряный доллар. Он противостоял расистам и оскорблениям, в том числе, по крайней мере, в одном случае, учителю. После последнего школьного звонка Хуан брал инициативу в свои руки, бежав впереди своих одноклассников в заросли гикори и дуба. За ним, дружелюбно, гнались «буйные мальчишки» округа Клей, под ногами которых была мягкая аппалачская грязь.

• • •

Летом 1974 года Хуан жил в общежитии. Каждую неделю он с нетерпением ждал возможности посмотреть *воскресный вечерний фильм на канале ABC* вместе с другими оставшимися студентами. С приближением осени он ел свежие яблоки с дерева за окном. Он начал учиться в седьмом классе в ОВІ, в то время как Бейс продолжал обучение в государственной школе. Хуан, полагаясь на своего закаленного в боях соседа по комнате, без особых проблем адаптировался. Год спустя отец Хуана устроился на работу в Соединенных Штатах, и братья покинули Кентукки, чтобы воссоединиться со своей семьей в Орегоне. Бейс и Хуан не виделись сорок четыре года.

Тем временем Бейс стал администратором дома престарелых. Хуан стал одним из самых богатых людей в мире. Бейс не удивился; он сказал мне, что еще в детстве верил, что Хуану суждено великое будущее. Они воссоединились в 2019 году, когда Хуан вернулся в ОВІ, чтобы пожертвовать школе здание. «Он никогда меня не забывал», — сказал Бейс.

Для многих детей два года, проведенные в Кентукки, стали бы травматичными. В десять лет Хуан был отправлен за восемь тысяч миль от родителей в чужую страну, где он едва говорил на местном языке. Над ним издевались, изолировали, заставляли делить комнату с человеком, занимавшимся ножевым боем, и поручали чистить туалет. Что же говорило о нем то, что он преуспевал в такой обстановке? «В те времена не было психолога, к которому можно было бы обратиться за помощью, — сказал Хуан. — Тогда нужно было просто закалиться и двигаться дальше».

Время, возможно, смягчило воспоминания Хуана об ОВІ. Когда он передал здание в дар в 2019 году, он с теплотой вспоминал (теперь уже несуществующий) пешеходный мост, по которому он каждый день ходил в школу; он умолчал о том, что другие ученики пытались сбросить его с него. Когда я спросил его о выполнении школьных обязанностей, он сказал, что они научили его ценить трудолюбие. «Конечно, если бы вы спросили меня тогда, я,



вероятно, дал бы другой ответ», — сказал он. В 2020 году Хуана попросили выступить с дистанционной речью на церемонии вручения дипломов ученикам OBI. В своей речи он сказал, что время, проведенное в школе, было одним из лучших событий в его жизни.

• • •

В 1976 году Хуан поступил в среднюю школу Алоха в пригороде Портленда, штат Орегон. Он одевался в джинсы и велюр, а его прическа напоминала мотоциклетный шлем. Он продолжал преуспевать в учебе, и его английский быстро улучшался. Алоха была гостеприимным местом, и вскоре он сформировал сплоченную группу с несколькими своими товарищами-ботаниками. «Нас было трое или четверо, и мы все состояли в одних и тех же клубах: математический клуб, научный клуб, компьютерный клуб», — сказал Хуан. «Знаете, популярные ребята! У меня не было девушки».

Компьютерный клуб представлял особый интерес. В 1977 году школа приобрела Apple II, один из первых персональных компьютеров массового производства. Хуан был очарован этой машиной, используя её для стрельбы по клингонам на текстовой сетке в примитивной игре *Super Star Trek*, а также для написания собственной версии игры «Змейка» на языке Basic.

Ещё одним его внеклассным увлечением был настольный теннис. В OBI Хуан занимался...Он доминировал за столом для пинг-понга в комнате отдыха, но не воспринимал этот вид спорта всерьез. В старшей школе он начал играть на соревновательном уровне. Его наставником был Лу Боченски, владелец клуба настольного тенниса Paddle Palace, расположенного в переоборудованном бальном зале Elks Lodge. Дочь Боченски, Джуди, посетила Пекин в 1971 году, став одной из счастливчиков, приглашенных в рамках обмена «пинг-понговой дипломатией». Но Хуан никогда не играл в Азии и использовал западную хватку.

Целое лето Хуан занимался только тренировками. Боченски был настолько впечатлен, что написал письмо в *Sports Illustrated*, назвав Хуана «самым многообещающим юниором, когда-либо игравшим в настольный теннис на северо-западе», хотя тот занимался этим видом спорта всего три месяца. Фирменным ударом Хуана был его дугообразный удар справа, который он использовал, чтобы побеждать многих игроков с более высоким рейтингом, иногда ныряя под стол, чтобы отбить, казалось бы, невозвратные удары. В течение года Хуан вошел в национальный рейтинг и играл в финале чемпионата по парному разряду среди игроков до 16 лет в Лас-Вегасе. «Он освоил настольный теннис быстрее, чем кто-либо, кого я когда-либо видел», — сказал Джо Романоски, друг из Paddle Palace.

Хуан был атлетичен и обладал хорошей реакцией, но его уникальное качество заключалось в исключительной сосредоточенности. Когда он ставил перед собой цель самосовершенствования, весь остальной мир отходил на второй план. Он работал усерднее всех; казалось, он не расстраивался и не застревал на месте; он никогда не достигал плато. Вместо этого Хуан с умеренным удовлетворением наблюдал, как его терпеливая преданность основам постепенно проявлялась в виде мастерства.

Хуан проводил почти все свое время в Паддл-Паласе. Когда он не тренировался, он работал там, мыл полы по ночам, чтобы заработать деньги на турнирные взносы. Боченски дал ему ключ, и иногда, вместо того чтобы возвращаться домой к родителям, Хуан спал в бальном зале. Столы были расставлены в роскошной обстановке: над ними висели люстры, внизу были деревянные полы, а в стены были встроены мягкие скамейки. На фотографии того времени Хуан, которому, возможно, лет пятнадцать, одет в спортивные шорты с высокой талией в стиле 1970-х и полосатые носки. Он стоит низко над столом, невысокий парень с прической «под горшок», бьет по мячу с выражением соревновательного азарта. «Он был очень агрессивным игроком, постоянно атаковал», — сказал Романоски.

По мере приближения выпускного Хуан устроился на работу в Denny's. Эта сеть ресторанов работает по всей стране. В ту эпоху эта сеть ресторанов была известна своим подгоревшим кофе, восстановленным яичным порошком, разогретыми колбасными котлетами и круглосуточной работой. Хуан обожал это место. Он начал работать посудомойщиком и дослужился до официанта. «Я обнаружил, что лучше всего соображаю, когда сталкиваюсь с трудностями. Когда мир рушится, мне кажется, что мой пульс даже замедляется», — сказал он позже. «Возможно, дело в Denny's. Официанту приходится иметь дело с часом пик. Любой, кто сталкивался с часом пик в ресторане, знает, о чем я говорю».

Заведение Denny's дало Хуангу ускоренный курс американской кухни. Там он впервые попробовал чизбургер с беконом, первый «сосиски в тесте», первый жареный стейк из курицы. Он методично продегустировал все блюда из меню; его любимым блюдом стал «Суперптица» — поджаренный сэндвич на закваске с начинкой из индейки, бекона, помидоров и сыра. Для иммигранта, адаптирующегося к культуре новой страны, поедание закусовых объедков было самым что ни на есть американским делом.

...

Хуан получал отличные оценки и был принят в Национальное общество почета. Стремление к успеху исходило откуда-то изнутри; Хуан сказал мне, что его родители не были «родителями-тигрицами» и не оказывали на него чрезмерного академического давления. «На самом деле, оба моих брата были ужасными учениками», — сказал он, хотя тут же добавил, что оба были очень способными. Когда я спросил Хуана, почему он, средний ребенок, единственный мотивирован хорошо учиться, он пожал плечами. «У меня нет ответа для вас, — сказал он. — Я стараюсь не анализировать себя таким образом».

К моменту окончания средней школы Хуан перескочил через класс, стал спортсменом национального уровня и имел почти идеальный средний балл. Тем не менее, он отказался от борьбы за поступление в колледж, выбрав расположенный неподалеку Университет штата Орегон. По словам Хуана, он не слишком задумывался над этим решением и не испытывал давления со стороны родителей, чтобы поступить куда-либо еще. Его школьный друг Дин Верхайден был потомственным студентом Университета штата Орегон, и Хуан тоже решил туда поступить. «Я просто последовал за своим лучшим другом», — сказал он.

У других было иное толкование. Хуан, которому тогда было семнадцать лет, жил... Он учился в трех странах и посещал как минимум пять разных школ. В то время процент

поступления в Университет штата Орегон превышал 70 процентов, и хотя это был не самый престижный государственный университет в Орегоне, кампус находился в девяноста минутах езды от дома его родителей. «Он мог поступить куда угодно — в университеты Лиги плюща, Стэнфорд, на Восточное побережье, куда угодно», — сказал один из его давних друзей. «Он поступил в Университет штата Орегон, потому что хотел остаться поближе к дому».

Хуан поступил в университет в 1980 году. В то время в Университете штата Орегон не было специализированной программы по информатике, поэтому Хуан выбрал электротехнику. Его вводный курс в этой области во многом определил дальнейший ход его жизни. Он научился проектировать схемы, чему посвятил всю оставшуюся карьеру. И там он встретил свою будущую жену.

Лори Миллс была серьезной восемнадцатилетней первокурсницей из Университета штата Орегон, носила очки и имела кудрявые каштановые волосы. Она была дружелюбной и непринужденной, но жаждала порядка и жила по установленному графику: карьера к двадцати двум годам, замужество к двадцати пяти, дети к тридцати. Ее случайно назначили партнером Хуана по лабораторным работам на первой неделе занятий. «На электротехническом факультете было около двухсот пятидесяти студентов, и, может быть, всего три девушки», — сказал Хуан. «Она была самой красивой». Среди студентов-мужчин за внимание Миллс разгорелась конкуренция, и Хуан почувствовал себя в невыгодном положении. «Я был самым молодым в классе», — сказал он. «Я выглядел лет на двенадцать».

Не веря в свои шансы на успех с помощью традиционного флирта, Хуан выбрал другой подход. «Я пытался произвести на неё впечатление — конечно, не своей внешностью, — а своей способностью хорошо справляться с домашними заданиями», — сказал он. Каждые выходные Хуан звонил Миллс и настойчиво просил её делать с ним домашнее задание. И он хорошо справлялся с домашними заданиями, что иногда называл своей «суперсилой». Лори согласилась, и они стали партнёрами по учёбе.

В своих лабораторных исследованиях Дженсен и Лори склонялись над прямоугольной пластиковой сеткой, известной как «макетная плата», соединяя компоненты для создания усилителей и счетных машин. Работа была деликатной и кропотливой и требовала значительной степени тесного контакта. Поток электричества начинался от источника питания, проходил через различные компоненты, а затем возвращался к источнику, где начинался. Примитивные схемы могли питать лампочки или цифровые часы. Более сложные схемы использовали специальный компонент, называемый «транзистором», который мог работать как цифровой переключатель. Комбинируя транзисторы, можно было создать «логический элемент», а комбинируя логические элементы, можно было выполнять элементарные вычисления: например, один плюс ноль или один плюс один. А соединяя эти простые суммирующие устройства, можно было выполнять серьезные математические вычисления. Последним шагом всегда было замыкание цепи, создание замкнутого контура для протекания электричества. После шести месяцев работы на макетной плате Хуанг пригласил Миллс на настоящее свидание. Она согласилась, и после этого они редко расставались.

Хуан завершил обучение досрочно и окончил университет с отличием. Его успехи совпали с кремниевой революцией 1980-х годов. Студенты могли использовать макетные платы, но предпочтительной средой для коммерческих логических схем был обработанный кремниевый кристалл, известный как «полупроводник». Техники «печатали» логические схемы на кремниевых дисках с помощью концентрированного ультрафиолетового света, а затем разрезали их на крошечные квадраты, называемые «микрочипами». Поскольку все электрические компоненты на чипе были зафиксированы на месте, микрочипы иногда также называли «интегральными схемами».

Увлечение персональными компьютерами в 1980-х годах создало огромный спрос на микрочипы. То же самое произошло и с популярностью цифровых устройств. Микрочипы стали устанавливать в автомобили, CD-проигрыватели, детские игрушки, микроволновые печи и любые другие полезные предметы, которые только можно себе представить. Со временем они появились в зарядных устройствах, холодильниках, кредитных картах и электрических зубных щетках. Это означало, что квалифицированных разработчиков схем было мало. (И это остается актуальным и сегодня.) Ближе к окончанию университета Дженсен нашел работу в мировой столице микрочипов — Силиконовой долине.

## **Крупномасштабная интеграция**

Рассвет наступил на пустынном участке горного шоссе недалеко от границы Калифорнии и Орегона незадолго до Рождества 1984 года. Деревья отбрасывали тени на запад, на асфальт и на покатый капот эффектного автомобиля, мчавшегося по дороге. Toyota Supra представляла собой двухдверный спортивный автомобиль с угловатым дизайном и рядным шестицилиндровым двигателем. Спереди, при выключенных фарах, машина выглядела как какой-то дружелюбный андроид. Дженсен, сидя за рулем, вошел в поворот, а затем помчался по пустынной дороге.

Несомненно, он чувствовал себя уверенно. На пассажирском сиденье сидела его девушка — теперь уже невеста — Лори Миллс. Дженсен сделал ей предложение накануне вечером на великолепной рождественской вечеринке в офисе компании Advanced Micro Devices, производителя микросхем, где он работал. Он начал работать в AMD в двадцать лет, когда еще не достиг совершеннолетия, и получил стартовую зарплату в 28 700 долларов — настолько впечатляющую сумму, что он мог бы воспроизвести ее по памяти спустя сорок лет. Дженсен жил экономно, и через год ему удалось накопить достаточно денег, чтобы купить и машину, и обручальное кольцо.

Вечеринка AMD была идеальным местом для предложения руки и сердца. Это было одно из самых роскошных торжеств в Кремниевой долине. AMD арендовала зал в Сан-Франциско. В конференц-центре Moscone счастливых сотрудников угощали бесплатными напитками и музыкой известных групп. В том году рок-группа Chicago развлекала собравшихся инженеров зажигательными версиями песен «Saturday in the Park» и «25 or 6 to 4». В 1984 году технологическая сцена района залива Сан-Франциско оставалась пограничным форпостом американской экономики; когда Дженсен присоединился к AMD, самыми ценными американскими фирмами были старые промышленные предприятия, такие как DuPont и General Electric. К тому времени, когда его поколение

предпринимателей закончило свое существование, эти промышленные конгломераты были бы уничтожены, а фондовый рынок был бы под доминированием технологических компаний.

Лори, конечно же, приняла предложение. Даже по меркам той эпохи это была ранняя помолвка. Дженсену был всего двадцать один год. Лори, двадцати двух, еще не окончила колледж. Но оба находили утешение в семейной жизни, и их брак со временем стал предметом зависти всего их окружения. После предложения Дженсен предложил отвезти Лори домой, чтобы лично сообщить родителям радостную новость. Он был близок с семьей Миллс, особенно с отцом Лори, приветливым типичным американским патриархом, который по манерам и внешности напоминал актера Джимми Стюарта. Семья Миллс, в свою очередь, обожала Дженсена и считала, что их дочь, даже в таком юном возрасте, не могла бы найти себе лучшего жениха. Друзья пары шутили, что Дженсен был ближе к родителям Лори, чем к своим собственным.

Но, несмотря на свою надежность и необычайную зрелость, Хуан иногда допускал мысли, которые могли показаться разумными только двадцатиднолетним, например, отправиться в девятичасовую поездку на спортивном автомобиле по заснеженным горным дорогам посреди ночи после пьяной офисной рождественской вечеринки. К рассвету Дженсен и Лори были в пути уже более пяти часов. Местность, по которой они путешествовали, была пустынной и безлюдной, и некоторые из тех, кто там жил, могли проследить свою родословную до первой волны калифорнийских искателей удачи, которые проложили свои ходы в окружающих холмах в поисках золота. Именно на кладбище этих заброшенных шахт Дженсен наехал на прозрачный слой черного льда, покрывавший автостраду, и его «Супра» начала беспорядочно скользить. Шины беспорядочно пробуксовывали, машина съехала на обочину и перевернулась с дороги.

Дженсен и Лори на мгновение перевернулись. Затем машина ударилась о землю. С ужасным хрустом машина резко остановилась, при этом с нее слетели детали роскошной отделки. «Супра» была полностью разбита, а пара оказалась заперта внутри. Лори, с новым обручальным кольцом на пальце, в основном не пострадала. Дженсен истекал кровью, и его шея была сильно вывихнута. Солнце уже всходило, но температура была очень низкой, и это был самый холодный момент дня. Когда прибыли спасатели, им пришлось вырезать пару из машины. Дженсену наложили швы в нескольких местах, и ему пришлось носить шейный корсет несколько месяцев. Когда я спросил его об этом инциденте много лет спустя, он в основном выразил сожаление по поводу «Супры». «Невероятная машина», — сказал он.

• • •

Хуан в конце концов оправился, и помолвка не пострадала, а возможно, даже укрепилась, из-за пережитого горя. Пока Лори заканчивала школу, Дженсен вернулся к работе. В AMD он делал наброски микросхем на бумаге. Каждый лист представлял собой отдельный слой чипа, с транзисторами внизу и различными межсоединениями сверху. Закончив слой, он относил его в заднюю часть офиса для окончательной обработки, где он переносился на прозрачный лист цветного целлофана. Эти листы целлофана использовались для

изготовления трафаретов, называемых «фотошаблонами», которые затем отправлялись на производственное предприятие.

По какой-то причине все работницы AMD, занимавшиеся изготовлением фотошаблонов, были китайками. Они сидели за рабочими местами и точно выстраивали цветные трафареты. Женщины плохо говорили по-английски, а Хуан, выросший дома на тайваньском диалекте хоккиен, не говорил на мандаринском диалекте. Эти два языка так же отличаются, как немецкий и английский, но терпеливо, в разговорах с бригадой, Хуан начал изучать мандаринский диалект, наиболее распространенную форму китайского языка. «Просто фонетически, в обычных разговорах», — сказал он. Эти женщины напомнили ему его мать.

Хуан проработал в AMD два года, и это время он вспоминал с теплотой. Он приобрел часть акций AMD по программе выкупа акций сотрудниками и, с возрастающей иронией, держал их до конца своей карьеры. Но в 1985 году коллега убедил его уйти из AMD в LSI Logic, инновационную фирму из Кремниевой долины, разработавшую первые программные инструменты проектирования для архитекторов микросхем. К середине 1980-х годов инженеры размещали сотни тысяч транзисторов на одном чипе, превзойдя возможности чертежей на бумаге. Наиболее близкая аналогия — это покрытие теннисного корта лабиринтом из прядей человеческих волос.

Процесс «крупномасштабной интеграции» (LSI) автоматизировал низкоуровневые блоки проектирования схем, освобождая инженеров для сосредоточения на архитектуре более высокого уровня. Со временем эти автоматизированные инструменты проектирования эволюционировали в невероятно сложную «сверхкрупномасштабную интеграцию», или VLSI, которая до сих пор остается отправной точкой для большинства современных инженеров. При использовании VLSI масштаб настолько увеличивался, что можно было забыть о существовании отдельного транзистора. Со временем лишь Дженсен и несколько других «седовласых» помнили о кустарном производстве микрочипов.

Лори окончила университет в 1985 году и устроилась на работу в Silicon Graphics, производителя дорогих рабочих станций для 3D-графики. SGI, как её все называли, была *ещё одним* популярным местом работы в Кремниевой долине в то время, и поначалу Лори зарабатывала больше, чем Дженсен. Как и AMD, SGI располагалась недалеко от шоссе US 101, узкой полосы автомагистрали, тянувшейся на 25 миль от центра Сан-Хосе до кампуса Стэнфорда в Пало-Альто. Проезжая по этой автомагистрали, вы увидите указатели на съезды, ведущие в ничем не примечательные пригороды Купертино, Санта-Клара, Милпитас и Маунтин-Вью — где, соответственно, располагались Apple, Intel, Cisco и Silicon Graphics. Таланты здесь были сосредоточены очень плотно, и ни одно место на Земле никогда не приносило столько богатства на квадратный фут. Хуанг был привязан к этому месту, словно прикованный к нему, и остаток своей карьеры он провёл, работая в радиусе пяти миль.

Если названия городов и были узнаваемы, то архитектура по большей части — нет. Гламур Манхэттена, который так восхищал отца Хуана, в Силиконовой долине не было. Не было ни небоскребов, ни оживленной пешеходной жизни на улицах. Вместо этого — безликое скопление современных многоэтажных зданий, окруженных парковками, торговыми

центрами и бизнес-отелями для длительного проживания, и пересеченных автомагистралями. Географическая впадина в южной части залива. За тонированными стеклами можно было увидеть лучшие инженерные умы, но снаружи единственным признаком активности было движение транспорта.

Внутри здания были такими же скучными. В офисах с кондиционированием воздуха 1980-х годов стояли громоздкие электронно-лучевые мониторы, унылые ковры, гудящие люминесцентные лампы и подвесные потолки, скрывающие воздуховоды. Предпочитаемой планировкой был открытый «рабочий офис», в котором можно было перестраивать расположение рабочих мест в кабинках разной высоты. В LSI Logic дизайнеры выбрали низкую сетку из кабинок, которую сотрудники называли «ямой». Хуан пришел туда в 1985 году. Он носил большие очки, стильные часы, рубашки на пуговицах и брюки, но волосы все еще были немного длинными. Для него «яма» была раем. Казалось, нет места на свете, где бы он хотел находиться больше.

Как и в настольном теннисе, Хуан быстро отличился в LSI благодаря своей невероятной трудовой этике. Одним из его коллег по цеху был Йенс Хорстманн, тоже инженер-электрик, приехавший в LSI из Германии в рамках шестимесячной программы наставничества и оставшийся там навсегда. Хорстманн и Хуан были иммигрантами, примерно одного возраста и даже имели одинаковые инициалы. Их объединяла готовность жертвовать личной жизнью и рассудком ради решения бесконечной череды сложных технических задач. «Пока не было и понятия о выходных», — сказал Хорстманн. «Мы приходили в семь утра, а потом наши подруги звонили нам в девять вечера, спрашивая, когда мы вернемся домой».

Со временем Хорстманн стал самым близким другом Хуана. Хорстманн был харизматичным, общительным, остроумным, а в личной жизни немного более безрассудным, чем Хуан, с более широким кругом интересов и более широким социальным кругом. Однако на работе Хуан был тем, кто любил рисковать. С присущей ему целеустремленностью Хуан освоил программное обеспечение, известное как программа моделирования с акцентом на интегральные схемы, или SPICE. Используя командную строку, Хуан вводил упорядоченный список компонентов схемы и получал в ответ текстовую таблицу данных о напряжениях. Примитивное программное обеспечение SPICE часто рассматривалось как академический учебный инструмент, но Хуан использовал его, чтобы расширить возможности схем дальше, чем кто-либо другой считал возможным. Когда клиентам LSI требовались новые функции, большинство разработчиков просто отвечали: «Это невозможно». Хуанг говорил: «Давайте посмотрим, что я могу сделать».

Хуан часами возился с симулятором, пытаясь подобрать компоненты, которые бы соответствовали требованиям заказчика. Это была кропотливая работа, проводившаяся без использования графических интерфейсов или даже цветных мониторов. Его сосредоточенность заслуживала восхищения, но Хорстманн знал многих инженеров, которые могли так же глубоко погружаться в технические проблемы; Хуана же отличала его способность избегать тупиков. «Подобные люди теряются, верно? — сказал Хорстманн. — Они просто застревают в этих глубоких, глубоких ямах. Он — нет. У него

отличное чутье, когда проблема достигает определенного уровня сложности, и ему трудно двигаться дальше, и ему нужно двигаться в другом направлении».

Самыми требовательными клиентами LSI были дизайнеры компьютерной графики, чья жажда более быстрых кремниевых чипов не знала предела. Чтобы удовлетворить их потребности, Хорстманн, при поддержке Хуанга, начал заключать контракты на поставку продукции, в возможности производства которой внутри компании у них двоих не было ни малейшего представления. Старшие инженеры советовали им быть осторожнее. «*Вы знаете, что делаете?* — говорили они. — *Если это не удастся, это может положить конец вашей карьере*». «Это было правдой, но нас это никогда не беспокоило», — сказал Хорстманн.

Практически все обещания Хорстманна и Хуанга в итоге были выполнены. Наградой за решение этих сложных технических задач стали новые, еще более сложные технические задачи. Хуангу нравилась кривая сложности; он наслаждался таким повышением уровня. «Он умел сделать так, чтобы  $1 + 1 = 3$ », — сказал Хорстманн. «Под этим я подразумеваю, что мы не просто выполняли работу для наших клиентов, но и превращали эти заказы в инструменты, а эти инструменты — в методологии». Большинство инженеров не могли этого сделать, сказал мне Хорстманн; большинство инженеров даже не могли сделать так, чтобы  $1 + 1 = 2$ . «Вам повезет, если получится полтора», — сказал он.

В их дружеской компании Дженсен и Лори были самыми ответственными. Они первыми поженились и первыми купили дом. В 1988 году они переехали в двухэтажный типовой дом с четырьмя спальнями на восточной стороне Сан-Хосе, с гаражом, выходящим на улицу, и патио на заднем дворе, где Дженсен мог...Они работали на барбекю. У них была стабильная, хорошо оплачиваемая работа у уважаемых работодателей, и они усердно вносили взносы в свои пенсионные счета с отсрочкой налогообложения. Они завели собаку по кличке Суши и окружили её безусловной любовью. Суши отвечал им взаимностью, отбрасывая предметы в сторону своим энергичным вилянием хвоста.

Хорстманн восхищался отношениями Йенсена и упорядоченной жизнью, которую тот вел. Он также восхищался Лори, талантливым инженером. Хорстманн вспоминал разговор с ней о технической проблеме, над которой он работал: микрочип клиента, встроенный в орбитальный спутник, вышел из строя из-за помех от космических лучей. Лори работала над аналогичной проблемой, которая требовала не только знаний в области электротехники, но и физики элементарных частиц. «Просто поразительно, насколько глубоким и структурированным было ее мышление», — сказал Хорстманн.

Недостатком такого структурированного подхода было то, что Хуаны были — ну, они были довольно консервативны. Они постоянно работали, редко путешествовали и почти не общались за пределами полупроводниковой промышленности. Хорстманн вспоминал, как познакомил Хуана с другом, который владел крафтовой мини-пивоварней — необычная профессия для 1980-х годов. «Дженсен просто спросил: „Откуда ты знаешь этого человека? Как это возможно?“» — сказал Хорстманн. У Хуана, похоже, не было ни одного друга, который не работал бы в сфере технологий.

• • •



Хуан неоднократно получал повышение в компании LSI. Он также начал посещать вечерние курсы в Стэнфорде, стремясь получить степень магистра электротехники, но из-за загруженности на работе ему потребовалось восемь лет, чтобы закончить обучение. Теперь, передвигаясь на удобном автомобиле для поездок на работу, Хуан курсировал между учебой на западе долины, своим домом на востоке и работой в центре, годами курсируя по шоссе 101. К тому времени, когда он наконец получил степень в 1992 году, большая часть того, что он изучил на вводном курсе, устарела.

Благодаря работе в LSI Хуанг познакомился с Крисом Малаховски и Кертисом Приемом, разработчиками микросхем, работавшими в Sun Microsystems. Sun, как и SGI, производила высокопроизводительные рабочие станции для опытных пользователей. Прием и Малаховски были сложными клиентами, которые запрашивали функциональность, которую обычные продавцы не могли обеспечить или даже понять. «LSI глубоко погрузилась в недра компании, чтобы найти самого открытого и технически подкованного специалиста, которого они могли бы нам назначить», — сказал мне Малаховски. «Это был Дженсен».

Малаховский, Прием и Хуан составляли отличную команду. Прием был архитектором, способным мыслить схемами, прокладывая в уме пути электричества с помощью счетных машин. Малаховский был механиком, увлекался автомобилями и маломоторными самолетами и мог построить все, что только мог придумать Прием. Хуан был специалистом по логистике, отвечавшим за производство оснастки в LSI для массового выпуска их разработок.

Из троих Прием был самым странным. Сочетание его умного лица с блестящим умом было наслаждением для физиогномиста. Лоб Приема был огромным, почти вытянутым; брови — изогнутыми; а его узкие, прищуренные глаза блуждали по комнате, пока он говорил. Он говорил непрерывным техническим монологом, словно экскурсовод, проводя слушателя по архитектуре схем и делая паузы то тут, то там, чтобы рассмотреть важные детали. Часто концептуальная карта того, что описывал Прием, существовала только в его голове, но он редко, казалось, замечал или заботился о том, понимает ли его аудитория то, что он говорил.

Прием пришел в инженерное дело окольным путем. Он вырос в пригороде Кливленда, штат Огайо, где его мать мечтала, чтобы он играл на виолончели в профессиональном симфоническом оркестре. Прием стремился к этой цели до старшей школы, когда во время посещения музыкального лагеря в Северной Каролине он оказался на последнем месте во втором оркестре. «Я понял, что мое будущее — это работа учителем музыки в средней школе», — сказал Прием. Он бросил виолончель и занялся компьютерами, окончив Политехнический институт Ренсселера в штате Нью-Йорк, прежде чем оказаться в Силиконовой долине, где его эксцентричность считалась допустимой — по крайней мере, какое-то время.

Малаховский был более практичным парнем; из трех соучредителей Nvidia именно ему можно было доверить работу молотком. Он был крепким, с широкими плечами, большими руками и широким, дружелюбным лицом. Он вырос в Нью-Йорке. В Джерси Малаховский сам себя называл «длинноволосым», любил выпить пива и подурочиться с друзьями. Хотя в

конце семидесятых он сделал себе приличную стрижку, он сохранил грубоватый, непочтительный характер и всегда был готов посмеяться. Для Малаховского компьютеры были не возвышенными абстракциями, а осязаемыми машинами, основанными на физической реальности. Прием создал собственный авиасимулятор; Малаховский управлял собственным самолетом.

Хуан, который был на несколько лет моложе и формально являлся сторонним поставщиком, действовал скорее как менеджер этих двоих, сотрудничая с заводом по производству интегральных схем, чтобы обеспечить своевременную доставку высококачественной продукции. Все трое вспоминали, как идеально им удавалось работать в рамках предпочитаемой ими сферы ответственности. «Мы просто никогда не мешали друг другу», — сказал Малаховский. Эта необычная договоренность стала возможной только потому, что Прием и Малаховский доверяли Хуану — более того, они доверяли ему больше, чем своим непосредственным начальникам. «В Sun царила такая политика, какой вы себе не представляете», — сказал Прием.

Хуан избегал драматизации и подавал пример, упорно работая, воздерживаясь от сплетен и тщательно распределяя заслуги за хорошую работу. Если продукт должен был выйти с опозданием или LSI не могла выполнить какую-либо обещанную функцию, Хуан немедленно предоставлял подробное описание того, что пошло не так, кто виноват и что он делает для исправления ситуации. «Когда он говорил, что что-то сделает, существовала разумная вероятность, что он действительно это *сделает*, понимаете?» — сказал Малаховский. Малаховскому было трудно вспомнить других менеджеров по продуктам из Силиконовой долины, которые соответствовали бы этому описанию.

Если у Хуана и был недостаток, то это его чрезмерная откровенность, иногда переходящая в оскорбления. Эта прямолинейность, конечно, была частью его обаяния, но она могла задеть чувства людей. Он не терпеливо относился к тем, кто с ним не соглашался, и, казалось, искренне удивлялся тому, что в его отрасли есть люди, которые не хотят проводить четырнадцать часов в день, возясь с симулятором гоночной трассы. Конечно, для сварливых трудоголиков вроде Приема и Малаховского эти черты были лишь дополнительным доказательством управленческих способностей Йенсена.

Результатом плодотворного сотрудничества Приема, Малаховского и Хуанга стало В 1989 году состоялся дебют Sun GX, линейки трехмерных графических процессоров, которые использовались в рабочих станциях ученых, аниматоров и специалистов по компьютерному моделированию. Чип принимал на вход каркас из точек в пространстве, а затем «рисовал» текстуры, пиксель за пикселем, создавая вращающиеся объекты, построенные из многогранников. Для любого современного наблюдателя результат работы GX выглядел бы неуклюжим, но если бы вы прищурились, глядя на его шестнадцатичетное изображение на электронно-лучевом мониторе в 1989 году, вы, возможно, смогли бы увидеть будущее компьютерной графики.

Успех Хуанга с Sun GX привлёк внимание Уилфа Корригана, основателя LSI Logic. После выпуска устройства Корриган повысил Хуанга до руководителя платформы проектирования «систем на кристалле», которая позволяла клиентам объединять множество функций — 3D-графику, видео, игровые контроллеры — на одном кремниевом

кристалле. Платформа пользовалась популярностью у клиентов, и Малаховский, наблюдая со стороны, считал, что Корриган готовит Хуанга к тому, чтобы однажды он сменил его на посту генерального директора. «Они позволили этому молодому парню лет двадцати с небольшим создать целое подразделение!» — сказал он. «То есть, они увидели в нём потенциал».

Но Прием и Малаховский разглядели что-то и в Хуанге. Несмотря на успех чипа GX, когда они предложили создать более дешевую версию для компьютерных видеоигр, руководство Sun отказало им. (Высокомерный руководитель сообщил им, что Sun поставляет чипы ученым, а не геймерам.) Разочарованные, Малаховский и Прием хотели создать этот чип для потребительских видеоигр самостоятельно, но ни один из них не чувствовал себя комфортно, управляя бизнесом, поэтому в 1992 году они обратились к Хуангу и попросили его возглавить их стартап.

Хуан стоял перед сложным выбором. Он уважал Приема и Малаховского, но сам возглавлял собственное подразделение и занимал стабильную руководящую должность в инновационной корпорации. У новой компании, которую предлагали Малаховский и Прием, не было ни бизнес-плана, ни даже названия — лишь приблизительный эскиз продукта, который, по мнению Суня, был недостаточно прибыльным для производства. Кроме того, хотя оба мужчины настаивали на том, что они идеальная команда, коллегам их отношения казались неблагополучными.

Малаховский и Прием постоянно ссорились. «Мы с Крисом постоянно устраивали перепалки с криками», — рассказывал мне Прием. Эти ссорыИногда это заканчивалось тем, что один из мужчин, хлопнув дверью своего кабинета, пронесился по рабочему залу. «Люди в нашей команде постоянно спрашивали: „Мы распускаемся?“ — сказал Прием. — Но это был просто наш способ взаимодействия». Оба мужчины были довольно упрямы. Прием говорил о «функции импеданса» Малаховского — инженерном термине, используемом для описания сопротивления потоку электричества в цепи. Когда я поделился этим с Малаховским, он ответил: «Да, ну, я не знаю, как долго вы общались с Кертисом, но его пользовательский интерфейс не очень хорошо продуман».

Работа с Приемом и Малаховским означала пожизненное хлопанье дверями и инженерные шутки. Хуже того, личные финансы Хуанга были под угрозой. В 1990 году у Хуангов родился сын Спенсер, а в 1991 году — дочь Мэдисон. (Собака Суши отреагировала на появление малышей, пытаясь вырвать у детей соски изо рта.) План предусматривал, что Дженсен и Лори продолжат работать, выплачивая ипотеку, но семья не смогла найти надежный уход за детьми, и Лори в конце концов уволилась из Silicon Graphics, чтобы воспитывать детей.

Йенс Хорстманн был назначен крестным отцом обоих детей Хуангов. Его собственная жена оставила инженерную карьеру, чтобы воспитывать детей, как и жена Криса Малаховски, Тина. Хорстманн сказал мне, что все три женщины были превосходными инженерами. «Я иногда чувствую себя немного виноватым за свою семью, за то, что позволил себе так много работать и так вкладываться в это», — сказал он. «Я имею в виду, мы пробовали нянь, мы пробовали разные вещи — но, возможно, нам следовало бы приложить немного больше усилий». Когда я спросил об этом Хуанга спустя десятилетия

после рождения его детей, я увидел неловкость на его лице, когда он вспоминал, как сначала попросил свою блестящую жену приостановить карьеру, а затем, имея на банковском счету всего шесть месяцев сбережений, попросил у нее разрешения уйти с работы и начать работать в стартапе. Но Лори сказала ему, чтобы он сделал это. «Она всегда верила в меня», — сказал Хуанг.

...

Впоследствии Хуан описывал свой стремительный взлет от чертежника до генерального директора как стечение обстоятельств. «Я был техническим сотрудником с государственным образованием и не отличался особыми амбициями», — сказал он в 2020 году. Выступая на церемонии вручения дипломов ОВІ: «Если бы вы искали человека, который когда-нибудь возглавит компанию, я думаю, вы бы выбрали не меня».

Хуан относился к своим поздним карьерным успехам с завидной скромностью, но иногда эта скромность была преувеличена. Все, с кем я разговаривал и кто знал его в этот период жизни, соглашались, что Хуан немного приукрасил свою речь. Малаховский вспоминал его как чрезвычайно компетентного и целеустремленного человека с магистерской степенью Стэнфордского университета и огромным количеством нескрываемых амбиций. «Он хотел руководить чем-то к тридцати годам, — сказал Малаховский. — Я отчетливо помню, как мы ужинали у него дома, и он нам об этом сказал».

Ханс Мозесманн, опытный отраслевой аналитик, который позже помогал управлять IPO Nvidia, вспоминал разговор с одним из бывших менеджеров Хуана в LSI, которому было поручено оценить его работу. Форма оценки напоминала табель, но менеджер оставил поля для оценок пустыми. Внизу менеджер написал: «Йенсен — отличный сотрудник. Я с нетерпением жду возможности поработать под его руководством в будущем».

Хорстманн вспоминал о конфликтах, которые Хуан создавал в LSI, где в свои двадцать с небольшим лет он руководил подразделением с годовым доходом в 250 миллионов долларов, и под его руководством работали многие более опытные и старшие сотрудники. В попытке урегулировать конфликт Корриган нанял старшего директора из Intel для совместного управления продуктовой линейкой. Хуан был возмущен — используя самое ругательное слово в инженерном словаре, он счел это назначение *политическим*. «Он создал это подразделение с нуля, а теперь его у него отняли», — сказал Хорстманн. Возможно, именно это последнее унижение подтолкнуло Хуана к уходу. Если Малаховский и Прием были неприятными людьми, то они были еще и гениальными, и Хуан был их первым и единственным выбором для руководства их графическим стартапом — они просто никому другому не доверяли.

Но Хуан не принял решения сразу. Он знал, что стартапы — это сложно, стартапы в сфере аппаратного обеспечения — ещё сложнее, а стартапы в сфере потребительского оборудования — самые сложные из всех. Большинство не выходило за рамки стадии прототипа, а многие даже не доходили до этого этапа. Принятие решений для Хуана было клиническим процессом, в котором почти не оставалось места для бесполезных эмоций, таких как надежда. Для него бизнес был всего лишь ещё одной инженерной задачей.

Инженеры стремились разложить сложные проблемы на простые, руководящие принципы, которые затем можно было бы использовать для достижения мощных результатов. Чтобы запустить стартап, Хуан должен был сначала понять эти принципы. Ему нужно было изучить рынок, цепочку поставок, конкуренцию, технологии и соответствие продукта рынку. Ему нужно было организовать ознакомительные телефонные звонки с клиентами, разработчиками игр и экспертами по компьютерной графике. Ему нужно было продираться сквозь многолетние скучные отчеты о состоянии отрасли, листая гистограммы, данные о продажах и опросы клиентов в поисках проблеска восходящей тенденции. Другими словами, ему нужно было провести подготовительную работу. И было только одно место, где это можно было сделать.

### Часть 3. Новое предприятие

Легендарный ресторан Denny's располагался рядом с автострадой в Сан-Хосе, его вывеска на столбе сияла, как маяк, среди обшарпанных заправочных станций и пунктов денежных переводов. Ковровое покрытие в ресторане было выполнено в сиреневых и бордовых тонах, а в 1993 году на некоторых столиках еще можно было найти пепельницы. Длинная барная стойка со стульями выходила на кухню; сзади находилась тихая зона, где посетители могли часами наслаждаться неограниченным количеством кофе. На витрине висел плакат, рекламирующий завтрак Grand Slam, который состоял из яиц, колбасы, бекона и блинов по цене 3,99 доллара. Ресторан никогда не закрывался.

Хуан предложил это место для встречи. Оно находилось недалеко от его дома, и он иногда водил туда своих детей поесть. В тихом месте сзади обычно собирались полицейские, пили кофе и заполняли протоколы. В 1993 году Калифорния переживала самую страшную волну преступности в своей истории: за один год в штате было убито более четырех тысяч человек. Несмотря на близость к богатой Силиконовой долине, город Сан-Хосе не избежал этой участи.

Хуан сидел за столом в окружении полицейских, вокруг него были разбросаны ноутбук и научные работы. Крис Малаховски и Кертис Прием сидели рядом с ним. Он не был особенно в восторге от кухни, и они в основном злоупотребляли акцией с пополнением кофе. Хуан искупил это нарушение, болтая с официантами, заказывая блюдо за блюдом и оставляя щедрые чаевые.

Компания Sun Microsystems отказалась от выхода на потребительский рынок компьютерных игр. То же самое сделала и бывшая компания Лори, Silicon Graphics, лидер отрасли в области трехмерной графики. (Там сотрудники были заняты анимацией CGI-динозавров для «*Парка Юрского периода*».) Неспособность крупных игроков инвестировать в компьютерные игры создала вакуум на рынке, который теперь целая армия стартапов пыталась заполнить.

Идея заключалась в том, чтобы взять аппаратное обеспечение, используемое для покраски каркасных моделей самолетов и динозавров, и перепрофилировать его для создания управляемых анимированных фигур в трехмерных играх. Для реализации требовалось массовое производство дешевых и эффективных схем, а также тонкий слой программного

обеспечения, который «работал бы поверх металла», чтобы программисты игр могли получить доступ к вычислительным структурам под ним. Готовое устройство представляло бы собой периферийную печатную плату с графическим чипом в основе. Для установки платы пользователям домашних компьютеров нужно было открутить внешний металлический корпус компьютера и вставить печатную плату в предназначенный для этого слот на материнской плате.

Продукт был известен как «графический акселератор», и по меньшей мере тридцать пять конкурентов пытались создать такой же. Хуанг беспокоился, что места для тридцати шестого не хватит. Ведущим экспертом в области компьютерной графики был Джон Педди, написавший несколько учебников по этой теме. Хуанг связался с Педди, чтобы оценить рынок, и вскоре они подружились. Хуанг постоянно звонил и задавал вопросы до поздней ночи. Педди посоветовал Хуангу, что рынок переполнен и что многие из лучших инженеров уже работают в других стартапах. «Я сказал ему не делать этого», — сказал Педди. «Это был лучший совет, которому он так и не последовал».

В «Денни» Прием и Малаховски в основном наблюдали за происходящим. «Я был там ради пирога, — вспоминал Прием, — и, по сути, просто чтобы посмотреть на него». Магической цифрой для Хуанга были 50 миллионов долларов, которые, по его определению, представляли собой минимальный годовой доход, который его стартап должен был бы приносить, чтобы оправдать затраченные усилия. На его ноутбуке работала электронная таблица с данными о доходах. Прогнозы на ближайшие несколько лет. Хуанг менял какую-либо переменную в одной ячейке, и прогнозы падали ниже 50 миллионов долларов. Затем он менял переменную в другой ячейке, и прогнозы резко возрастали.

После нескольких таких встреч Хуан убедил себя в правильности своего решения. Вскоре после этого еще не названная фирма Приема, Малаховского и Хуана пришла в офис адвоката из Пало-Альто Джима Гейтера, желая зарегистрироваться. Гейтер, который когда-то посетил 129 отдельных заседаний совета директоров за один календарный год, был одним из самых востребованных консультантов в долине. Он был впечатлен этими людьми, особенно Хуаном, который показался ему прирожденным лидером. «Я быстро решил, что они ни за что не покинут наш офис, не решив остаться со мной», — сказал Гейтер.

Гейтер обсудил с основателями корпоративную структуру, а затем подготовил документы. У стартапа не было названия, поэтому в качестве временного варианта Гейтер написал «NV»: новое предприятие. Это было поразительное совпадение, поскольку Прием и Малаховски уже называли свой прототип графического чипа NV1, шутя, что он, как и Sun GX, вызовет у конкурентов «зеленую зависть». Прием составил список слов, обыгрывающих концепцию «NV», используя словари из разных языков, включая латынь. Из этого списка трое остановились на «Nvision» — пока поиск в архивах не показал, что это название уже занято экологически чистым производителем переработанной туалетной бумаги. Следующим вариантом из списка было «Nvidia», от латинского слова *invidia*, означающего «зависть».

Мужчины вернулись в «Денни», чтобы окончательно согласовать детали соглашения. Хуанг должен был стать генеральным директором Nvidia, Прием — техническим директором, а Малаховский — вице-президентом по разработке. Каждый из них сохранил

бы равную долю в компании. Пока Прием и Йенсен обсуждали детали, Малаховский подошел к окну с листовым стеклом, выходящему на широкую магистраль. Он увидел ресторан «Тако Белл» и обветшалую заправку, освещенную лампами натриевого типа. Это был убогий, ничем не примечательный вид, и его взгляд скользнул вверх, пока он с удивлением не заметил, что верхняя часть окна, через которое он смотрел, была испещрена пулевыми отверстиями.

Малаховский поспешил обратно к своим соучредителям. «Внимательно посмотрите на это окно», — сказал он сдержанным шепотом. «Оно полно пулевых отверстий! Думаю, люди идут на этот путепровод, чтобы стрелять в полицейских!» Прием и Хуан подняли глаза от бумаг, чтобы оценить ситуацию. Они оплатили счет, оставили огромные чаевые и сбежали из ресторана в относительно безопасную квартиру Приема. Пройдут годы, прежде чем кто-либо из них вернется.

Таким образом, история о том, что Nvidia была основана в изрешеченном пулями ресторане Denny's, не совсем соответствовала действительности — на самом деле основатели подписали документы в таунхаусе Кертиса Приема в Сан-Хосе. Тем не менее, для создания корпоративных мифов это было достаточно убедительно, и обеденный зал, где мужчины встречались за кофе, теперь украшен красивой мемориальной доской. (Адрес: 2484 Berryessa Road, Сан-Хосе, если хотите посмотреть. Руководство утверждает, что в ресторане уже много лет никто не стрелял.)

Последним шагом для Nvidia стало привлечение капитала — формальность, которую можно было осуществить с произвольной суммой денег. Когда подписанные документы были возвращены в офис Гейтера, тот предложил Дженсену просто отдать ему все наличные из своего кошелька, которых оказалось около 200 долларов. Взамен Дженсену была официально предоставлена треть акций Nvidia, что со временем оказалось неплохой инвестицией. Он забрал долю своих соучредителей при следующей встрече, и так появилась компания. Дженсену исполнилось тридцать лет в феврале 1993 года; свидетельство о регистрации Nvidia было подано в апреле, примерно через шесть недель. «Он просто пропустил крайний срок», — сказал Малаховский.

• • •

Классическая история компании из Кремниевой долины начинается в гараже. Nvidia перевернула этот стереотип, перенесла мебель Приема в гараж и работая из двух спален на втором этаже его квартиры. (Прием оставил себе третью спальню.) Хотя до получения начального финансирования прошло несколько месяцев, чип GX оказался настолько впечатляющим, что несколько сотрудников Sun уволились, чтобы работать в Nvidia без немедленной компенсации, предполагая, что их зарплаты будут восполнены, как только Хуан соберет необходимые средства. «Мы думали, что мы особенные, но было приятно видеть, что другие люди тоже так считают», — сказал Малаховский.

Не все верили в Nvidia. Хорстманн вспоминал, как пил пиво с Хуаном у себя дома, и тут Хуану позвонила его мать. Хорстманн не мог понять, о чём идёт речь, разговор велся на тайваньском языке, но помнил, что он накалился. После того как Хуан повесил трубку, он

вернулся, раздражённый. «Вы можете в это поверить? — сказал он. — Моя мама только что сказала мне уволиться из Nvidia и вернуться на работу в крупную компанию».

В кондоминиуме одну из спален занимала группа разработчиков аппаратного обеспечения, занимавшаяся проектированием схем на высокопроизводительных рабочих станциях Sun. Другую спальню занимала группа разработчиков программного обеспечения, создававшая протоколы, необходимые разработчикам видеоигр для связи с чипом. Кабинет генерального директора располагался на первом этаже за небольшим круглым столом рядом с кухней. По замыслу или по случайности, Дженсен оказался в центре естественного потока пешеходов — сотрудники, идущие к холодильнику за напитками или закусками, должны были проходить мимо него. Независимо от того, насколько влиятельным он станет, он будет стремиться оставаться в центре потока до конца своей карьеры.

«Парк Юрского периода» вышел в кинотеатрах через два месяца после основания Nvidia. Впервые в кино убедительно интегрировались компьютерные изображения в отснятый материал. Для этого потребовалась невероятная вычислительная мощность: на рендеринг одного трехсекундного кадра, где тираннозавр прорывается сквозь бревно, аниматорам потребовалось десять месяцев. Результат работы чипа Nvidia NV1 был сравнительно примитивным, хотя разница заключалась скорее в степени, чем в типе. «Даже сегодня интерактивные видеоигры и спецэффекты в фильмах по сути все еще представляют собой просто блоки, скользящие и сталкивающиеся друг с другом», — сказал Педди.

Главной задачей для Nvidia было каким-то образом выделить NV1 среди десятков других продуктов, выходящих на рынок. Для этого архитектор Прием наполнил как чип, так и программное обеспечение экзотическими функциями. Для создания каркасных моделей NV1 использовал метод, называемый «квадратичное текстурирование», который должен был добавить глубины и реализма к процессу. Для программного обеспечения Прием использовал «объектно-ориентированный» подход, который позволил программистам создавать многократно используемые блоки кода. Когда я впервые спросил Приема об архитектуре NV1, он говорил без перерыва двадцать семь минут. «Я хотел создать архитектуру, которая прослужит сто лет», — сказал он.

Пока Прием руководил разработкой NV1, Хуан привлекал инвестиции. С помощью Гейтера Nvidia добилась встреч с Sequoia Capital и Sutter Hill Ventures, двумя крупнейшими венчурными компаниями Кремниевой долины. Накануне презентации в Sequoia Хуан изо всех сил пытался придумать бизнес-план для своей компании. «Я провел над этим всю ночь, но в итоге у меня ничего не получилось», — сказал он. «И до сих пор не получилось».

Зато у него была поддержка основателя LSI, Уилфа Корригана. На следующий день Хуанг и Прием отправились в офис Sequoia, чтобы представить свой проект Дону Валентайну, известному своей прямолинейностью основателю фирмы. (Любимый вопрос Валентайна к стартапам был: «А кому это интересно?»). Презентация прошла неудачно: Хуанг неуклюже излагал свои идеи, а Прием прерывал его неуместными техническими замечаниями. После этого невыразительного выступления Валентайн отвел Хуанга в сторону. «Ну, это было не очень хорошо, — сказал он. — Но Уилф Корриган говорит, что я должен вас профинансировать, так что вы в деле».



Компании Sequoia и Sutter Hill вложили по несколько миллионов долларов каждая. Взамен инвесторы получили места в совете директоров. Место Sequoia занял Марк Стивенс, приветливый и общительный тридцатитрехлетний мужчина с дипломом MBA Гарвардского университета. Место Sutter Hill занял Тенч Кокс, приветливый и общительный тридцатилетний мужчина, также с дипломом MBA Гарвардского университета. Оба мужчины носили много одежды Patagonia, и их было довольно сложно различить.

Кокс и Стивенс сошлись во мнении, что их внимание привлекло именно предложение Хуанга, а не Nvidia. «Мы поддержали этих ребят, потому что они были компьютерными специалистами мирового класса», — сказал Кокс. «Обычный генеральный директор пытается прислушаться к клиенту, но в сфере вычислительной техники это большая ошибка, потому что клиенты просто не знают, что возможно. Они просто не знают, что можно сделать!» Кокс заметил, что Intel и Microsoft позже это поняли. При более традиционном управлении компания испытывала трудности: «Дженсен с самого начала был инженером мирового класса, который видел, что возможно».

...

К 1994 году Nvidia арендовала офисное помещение в торговом центре в Саннивейле и начала работу над NV1. Офис был обшарпанным: изношенный ковер, подвесной потолок с пятнами от воды и линолеумный пол в комнате отдыха. Запахи из расположенного рядом китайского ресторана часто проникали через вентиляцию, а туалет делили с другой компанией. Напротив офиса находился банк Wells Fargo, который был мишенью для местных бандитских группировок. «Пока мы арендовали это помещение, этот банк дважды ограбили!» — сказал Малаховски. «Ограбления можно было наблюдать из нашего окна».

Задняя часть офиса была переоборудована в развлекательный центр. Обед проходил за столом для пинг-понга, куда Хуан иногда водил своих сотрудников на занятия. В другой комнате находилась компьютерная лаборатория, где разобранное оборудование стояло рядом с небольшим портативным телевизором, подключенным к игровой приставке Sega. Sega, единственный производитель консолей, использующий подход квадратичного текстурирования, была любимой платформой Приема. Он удерживал высокие результаты в большинстве игр и часто играл посреди рабочего дня, откинувшись назад, положив ногу на колено и управляя мотоциклом на девятидюймовом экране.

Рядом с лабораторией находилась конференц-комната, где Хуан организовал свой командный центр. Там, своим безупречным почерком, написанным заглавными буквами, Хуан набросал на доске описания бизнес-стратегии и приближающихся сроков для NV1. Используя маркеры для доски, он также нарисовал точные схемы архитектуры чипа зеленым, красным и оранжевым цветами. Когда места на доске не хватило, Хуан принялся рисовать на стенах конференц-комнаты. У Хуана не было художественного образования, и он не изучал каллиграфию, но все было четко и гармонично по цветам — ему просто нравилась аккуратность.

Находясь в кабинете Хуана, словно оказываясь в его мозгу. Члены совета директоров были впечатлены тем, как разворачивается его грандиозный план развития Nvidia. Комната, где они собирались. «У него невероятно хороший почерк», — сказал Кокс. Важным ранним

этапом был «выпуск на производство», когда чертеж первого прототипа микросхемы отправлялся на завод по изготовлению. Хуан проводил заседание совета директоров, когда приближалась дата выпуска, и услышал радостные возгласы своих сотрудников снаружи. Он выбежал из комнаты в лабораторию, надеясь увидеть готовую схему своего первого продукта. Вместо этого он обнаружил своих рабочих, собравшихся вокруг игровой консоли, где Прием установил рекордное время в *Road Rash*. В ярости Хуан конфисковал консоль и отдал ее своим детям. «Дженсен всегда был взрослым в комнате», — сказал один из первых сотрудников. «Даже когда он был самым молодым парнем в комнате, он был взрослым».

• • •

Компания Nvidia придерживалась бизнес-модели «торгового чипа» — она передала производство чипов на аутсорсинг заводу в Европе, а сборку, дистрибуцию и розничную продажу готовых печатных плат — американскому поставщику Diamond. Nvidia занималась только проектированием и контролем качества микрочипов. По мере приближения сроков производства сотрудники работали допоздна. Вскоре лаборатория оказалась завалена пустыми контейнерами из-под продуктов и коробками с конфетами.

Одним из первых сотрудников Nvidia был Джефф Фишер, который до сих пор работает в компании. Он использовал видеокамеру VHS, чтобы запечатлеть день доставки прототипов NV1. На зернистом видео разношерстная компания геймеров с волнением собирается вокруг защитного жесткого корпуса. Все они мужчины. По собравшейся толпе пробегает гул, когда корпус открывается, обнажая пятнадцать чипов, заключенных в защитные черные оболочки. Прием, держа в руках плоскогубцы, открывает один из корпусов, чтобы показать напечатанный кремниевый лист размером с ноготь. Пока мужчины рассматривают это крошечное чудо, они снова становятся мальчишками, их язык тела беспокойный и энергичный.

Сотрудники Nvidia на видео одеты в великолепные рубашки в стиле 90-х с яркими узорами, напечатанными на плотной ткани. Многие из них заправили рубашки в пояса своих джинсов без ремней. Хуан, находясь в отъезде с семьей, пропустил распаковку прототипа, но фотография, сделанная примерно в это же время, сохранилась. На этот раз он изображен в толстых круглых очках и красно-белой полосатой рубашке на пуговицах под лихим жилетом. Фишер вспомнил, сколько крахмала Хуан использовал при стирке. «Он был очень, очень, очень хорошо выглажен», — сказал Фишер.

Теперь Nvidia должна была «проверить» эти прототипы на наличие недостатков. Руководил этой работой Дуайт Диркс, еще один из первых сотрудников Nvidia, который до сих пор работает в компании. Диркс родился в уважаемой семье свиноводов из Миннесоты и до сих пор выглядел соответствующе. Это был крупный, плотный мужчина, который неуклюже — честно говоря, неуклюже — передвигался по штаб-квартире Nvidia в своей слишком большой клетчатой рубашке, заправленной в мешковатые джинсы. У него были светлые волосы, голубые глаза и деловая манера поведения, свойственная жителям Среднего Запада. Несколько человек в компании сказали мне, чтобы я не недооценивал его.

Диркс пропустил через прототип серию графических роликов, известных как «демонстрация графики», а затем проверил каждый кадр на наличие ошибок. Это была кропотливая работа, сродни покадровой обработке фильма. После завершения проверки Nvidia отправила исправленный чертеж обратно европейскому производителю, который запустил серийное производство чипа. Даже с приближением даты запуска NV1 Хуанг смотрел вперед, к NV2, и заключил сделку с Sega на разработку графического ускорителя для будущей консоли Dreamcast. В рамках сделки Nvidia также оснастила свои платы NV1 звуковым чипом и джойстиком, что позволило Sega портировать свои игры на ПК. Самым популярным продуктом стала игра *Virtua Fighter*, в которой мастера боевых искусств отображались в виде блочных четырехугольников. В рекламе игры был показан человек, состоящий из прямоугольников, которого бросали через экран телевизора.

Выход чипа был невероятным. К 1995 году рынок 3D-графики превзошел самые оптимистичные прогнозы Хуанга благодаря двум блокбастерным играм. *Myst*, выпущенная в сентябре 1993 года, представляла собой элегантную головоломку, действие которой разворачивалось на таинственном острове, и быстро стала самой продаваемой игрой в истории ПК-игр. *Doom*, выпущенная тремя месяцами позже, представляла собой смесь научной фантастики и ужасов, в которой игрок путешествовал по Марсу, расстреливая демонов из дробовика. *Myst* и *Doom* представляли собой противоположные концептуальные полюса того, чем могли бы быть видеоигры, — но каждая из них продала миллионы копий, и каждая заставила геймеров броситься в магазины за графическими ускорителями.

Модель NV1 вышла на переполненный рынок осенью 1995 года. В тот рождественский сезон покупатели, зайдя в магазины электроники, обнаружили десятки производителей микросхем, конкурирующих за внимание покупателей. Помимо Nvidia, там были Matrox, S3, 3dfx, Cirrus Logic и ATI. Ситуацию усугубляли партнеры Nvidia по производству печатных плат, которые продавали чипсеты Nvidia под торговой маркой «Diamond Edge», одновременно продавая конкурирующие чипсеты 3dfx под торговой маркой «Diamond Monster».

Упаковка этого оборудования была ужасной, а полка с компьютерной периферией, где раньше стоял мрачный ассортимент модемов и принтеров, превратилась в психоделический беспорядок. Продукция также была дорогой; карта Diamond Edge с чипсетом NV1 стоила 249 долларов, что было дороже, чем Super Nintendo. Открыв уродливую коробку, вы обнаружите ещё более уродливую печатную плату — лист зелёного пластика, усеянный конденсаторами и облитый эпоксидной смолой корпус. Устройство выглядело хлипким и одноразовым, как оно, собственно, и было — графические ускорители быстро устаревали и требовали замены каждые пару лет. Наиболее важной переменной в таблице Хуанга было количество клиентов, готовых пойти на это дорогостоящее обновление.

Ответ оказался гораздо сложнее, чем кто-либо ожидал. Разработчики игр, вдохновленные *Myst* и *Doom*, начали осваивать ПК, освободившись от контролируемых аппаратных экосистем Sega и Nintendo. Примерно в это же время появились классические игры, такие как *Civilization II* и *Command & Conquer*, заигнотизировавшие геймеров бесконечной реиграбельностью и нескончаемым потоком мелких решений, которые нужно было принимать. Игры на ПК не всегда были «веселыми», но они были невероятно

затягивающими, и игроки могли проводить за ними часы или даже дни. Игрок, вложивший средства в качественную видеокарту, мог стать свидетелем взлета и падения империи, прежде чем, в предрассветные часы, обернуться и заткнуть глаза.

К концу года Nvidia продала более ста тысяч чипов NV1, чему способствовал спрос на *Virtua Fighter*, поставляемый в комплекте с видеокартами. Уверенный в своем продукте, Хуанг начал активно нанимать сотрудников, и штат Nvidia вырос до более чем ста человек. «Внезапно нам показалось, что мы настоящая компания, верно?» — сказал Диркс. «Рождественская вечеринка в том году была просто невероятной». Лишь в первом квартале 1996 года...Проблемы стали очевидны. После того, как возможности *Virtua Fighter* исчерпались, пользователи обнаружили, что NV1 испытывает трудности с рендерингом других игр. Большинство программистов предпочитали создавать 3D-объекты с помощью треугольников, а не квадратичного отображения. «У него не было буфера глубины, и он рендерил только криволинейные поверхности», — сказал Тим Литтл, разработчик игр, работавший с NV1. «В результате вы не могли точно определить, как сортировать объекты в сцене». Это привело к серьезным ошибкам «отсечения», когда игровые персонажи проваливались в тротуары или телепортировались сквозь стены. В худших случаях NV1 полностью переставал взаимодействовать с операционной системой Windows, вызывая печально известный «синий экран смерти». «Это было катастрофой», — сказал Литтл.

Из-за малого количества поддерживаемых игр продажи NV1 резко упали, и недовольные покупатели воспользовались щедрой политикой возврата крупных розничных сетей, чтобы вернуть видеокарты в магазины. Через несколько месяцев после запуска Диркс отправился в магазин Fry's Electronics, где увидел на полках десятки кричащих коробок Diamond Edge, открытых и со скидкой. Как раз в тот момент, когда Nvidia увеличила штат сотрудников, спрос на её единственный продукт исчез.

Тем временем разработчики игр отходили от экспериментального подхода Приема. В 1995 году, устав от того, что графические периферийные устройства приводили к сбоям в работе операционных систем, Microsoft объявила о запуске собственного стандарта DirectX для разработчиков игр. Стандарт поддерживал только треугольники, оставив линейку NV1 в затруднительном положении. Несмотря на многообещающее начало, NV1 оказался провалом.

Спустя десятилетия Прием всё ещё защищал продукт, но два других основателя говорили о NV1 с той же недоуменной, покачивающейся головой горечью, которая свойственна воспоминаниям о неудачных отношениях или налоговых проверках. (В частности, Хуан назвал NV1 «катастрофой», а Малаховский — «куском дерьма».) Но всё было ещё хуже, потому что Nvidia построила всю свою цепочку поставок вокруг будущих версий этого же устройства. Генеральный план Хуана предусматривал не только выпуск Sega NV2, но и NV3, основанного на той же архитектуре. Теперь его безупречный почерк и сложные схемы придётся стереть, а чернильные пятна на доске будут служить насмешливым напоминанием о его тщательно продуманных планах. «Мы всё упустили», — сказал Хуан о тех первых днях. «Каждое наше решение было неправильным».

## Четыре

## Тридцать дней

Когда Дэвид Кирк впервые прибыл в офис Nvidia в 1996 году, он сразу понял, что компания обречена. Кирк был экспертом по графике, консультировавшим компании по всей Кремниевой долине, что было сродни знатоку неудач. Он наблюдал за крахом множества стартапов, включая свой собственный, и Nvidia демонстрировала все симптомы компании, несущейся к банкротству. Сотрудники выглядели изможденными и деморализованными, необычный продукт не соответствовал рынку, а якобы дружелюбные основатели зашли в тупик в «техническом обсуждении», которое явно было чем-то большим, чем просто обсуждение, и явно касалось чего-то большего, чем просто технологии. Кирк скептически относился к Nvidia — условием его работы было получение бумажного чека, доставленного лично, в конце каждой рабочей недели. Он не был уверен, что компания продержится на плаву дольше этого срока.

Атмосфера в Nvidia была ужасной. Незадолго до прихода Кирка Хуанг проинформировал собравшихся сотрудников о последствиях провала NV1. По словам Хуанга, у компании заканчивались деньги, и от оригинальной архитектуры NV1 придется отказаться. Это была лучшая надежда Nvidia на выживание. План состоял в том, чтобы отказаться от сотрудничества с Sega и слиться с Microsoft; компания попыталась бы опередить остальных производителей на рынке, выпустив доступный по цене аналог чипа. К сожалению, этот «поворот» означал увольнение большинства сотрудников. Оставшийся персонал работал сверхурочно, пока Дженсен искал способы сэкономить, чтобы разработать, произвести и выпустить универсальный графический ускоритель в рекордно короткие сроки.

После объявления Хуан сократил штат с более чем ста рядовых сотрудников до минимального числа в тридцать пять инженеров. Присоединившись к ним после этого, Кирк вошел в жуткий, полузаброшенный офис. Флуоресцентные лампы висели над блоками низких офисных перегородок, большинство из которых были пусты. В задней части офиса стоял «эмулятор оборудования» — странное и уродливое устройство, которое Хуан купил на последние средства компании. Выживание Nvidia зависело от производительности этого загадочного уродливого устройства. Эмулятор оборудования позволял создавать поддельные микросхемы и тестировать их. Но это объяснение несколько преуменьшает ситуацию — по сути, эмулятор *представлял собой* поддельную микросхему, только созданную в коде, а не на кремнии. Машина была громоздкой, медленной и выглядела недоделанной: схемы были оголены, а на полу виднелись клубки кабелей. Он оказался слишком большим, чтобы поместиться в компьютерном классе, поэтому сотрудники отодвинули стол для пинг-понга, чтобы освободить для него место в комнате отдыха.

План Хуанга заключался в том, чтобы с помощью этого эмулятора пропустить дорогостоящий этап прототипирования и сразу перейти к массовому производству, используя лишь цифровой эскиз на салфетке. В истории полупроводниковой промышленности ни одна компания никогда раньше не пропускала этап прототипирования, но это должно было работать. Хуанг распределил обязанности по работе с эмулятором на две смены: Диркс работал на машине днем, а Кирк — ночью.

После нескольких недель программирования эмулятора Кирк понял, что у него есть вторая, негласная роль в Nvidia: обуздать технические амбиции соучредителя Кертиса Приема. Кирк изобрел технику квадратичного отображения, используемую в NV1, но, придя в Nvidia, посоветовал компании отказаться от нее. «Это была просто моя идея», — сказал Кирк. «У меня много идей». Но это только заставило Приема еще агрессивнее продвигать квадратичное отображение. Прием был Пурист, который считал технические компромиссы бесхребетными уступками денежным магнатам. «Кертис думает только о конечной цели, — сказал Малаховски. — Но у него нет необходимых качеств, чтобы, так сказать, остаться в бизнесе».

Кирк вскоре понял, что сложный вопрос о том, следует ли использовать квадратичное отображение, был лишь прикрытием для более интересного вопроса о том, кто на самом деле руководит в Nvidia. Прием, технический директор, хотел полной автономии в определении технической стратегии компании. Хуанг, генеральный директор, хотел, чтобы клиенты перестали возвращать его продукцию в магазины. Малаховский, выступавший в роли посредника, похоже, потерял контроль над дискуссией — к моменту прибытия Кирка то, что начиналось как спор за закрытыми дверями об архитектуре схем, переросло в публичные крики на глазах у небольшого числа оставшихся недовольных сотрудников.

Многим было трудно работать с Приемом. «Мы с Кертисом не очень ладили», — сказал Кирк, повторяя мнение других, высказанное менее вежливо. «Он был абсолютно блестящим техническим специалистом, но не умел общаться с людьми». Прием, безусловно, был странным человеком, и он часто находил нестандартные решения простых проблем. Например, он подошёл к проблеме спама в электронной почте. Большинство людей использовали спам-фильтр или просто мирились с ним. Решение Приема заключалось в создании тысяч разных адресов электронной почты, по одному для каждого корреспондента.

Но каким бы упрямым ни был Прием, он не мог сравниться с Хуаном. Когда Йенсен впервые излагал свою точку зрения, он делал это размеренным голосом, переходя от предпосылок к аргументам и выводам. В этот момент фитиль зажигался, и у собеседника оставалось два варианта: согласиться с его ходом мысли или рисковать взрывом. Те, кто ему возражал, часто были шокированы, когда он взрывался от ярости, жестоко обрушиваясь на них с упреками перед коллегами. Это был гнев Хуана.

• • •

Причины и истоки гнева Хуана оставались неясными даже для тех, кто хорошо его знал. Йенс Хорстманн, его ближайший друг, рассказал мне, что, когда Хуан работал в LSI Logic, он не был известен своими вспышками гнева; Лишь заняв должность генерального директора, он начал регулярно выходить из себя. «Я никогда не забуду, как впервые увидел, как он взорвался от ярости», — сказал мне один из сотрудников Nvidia. «Я проработал там пару месяцев, и Дженсен всегда был таким обаятельным и самоироничным. А вдруг он начинает кричать во весь голос перед сотней человек».

Для Хуана было важно присутствие зрителей — когда он отчитывал сотрудника, он обычно делал это публично, чтобы другие могли извлечь из этого урок. («Ошибками

нужно делиться», — говорил Хуан.) Если проект задерживался, Хуан приказывал ответственному лицу встать и подробно объяснить аудитории все, что пошло не так. Затем Хуан давал разгромный анализ его работы. Такие корпоративные разборки были не для всех. «Сразу видно, кто здесь продержится, а кто нет», — сказал Диркс. «Если кто-то начинает защищаться, вы сразу понимаете, что этот человек долго в Nvidia не задержится».

Диркс считал, что в этом был свой метод. «Он никогда не кричал на кого-то просто так, — сказал он. — Он ждал совещания, когда вокруг будет много людей, чтобы превратить его в возможность для обучения всех». Но критика Хуана не всегда была конструктивной — иногда это были просто словесные оскорбления. Один бывший сотрудник вспомнил случай, когда он провалил незначительное задание. Хуан подошел к нему перед тремя десятками руководителей и спросил, как долго он работает в компании и какова его зарплата. Сотрудник смущенно назвал цифры; затем Хуан в уме рассчитал его заработную плату за всю карьеру и потребовал вернуть все деньги. Это не было похоже на шутку. «Он был довольно серьезен, — сказал сотрудник. — Я практически не спал три недели».

Наблюдать за тирадами Хуана было почти так же тяжело, как и быть их объектом. Несколько сотрудников Nvidia описывали, как они корчились от дискомфорта, когда Хуан препарирует одного из их коллег. Кирк рассказал мне, что Хуан накричал на него только один раз, когда он попытался вмешаться в защиту другого человека. «Дженсен там наверху мучает этого парня, и я просто больше не мог этого выносить, поэтому вмешался. Внезапно я стал мишенью!» — сказал Кирк. «Это как на поле боя, когда из орудия стреляют во что-то, а ты встаешь и говоришь: „Эй, прекратите стрелять!“ А потом орудие поворачивается и начинает стрелять в тебя».

• • •

Прием имел равную долю в Nvidia, и учредительные документы были подписаны у него дома. Он пригласил Хуана возглавить свою компанию; он мог пригласить кого-нибудь другого. Как заметил Малаховский, негласное соглашение в их рабочих отношениях всегда заключалось в том, что основатели не должны мешать друг другу — другими словами, Хуан должен был заниматься бизнесом, а Прием — технологиями. Поэтому, возможно, понятно, почему, когда Хуан нарушил это соглашение, Прием отреагировал так, будто его предали.

Но у Приема не было рычагов влияния. Несмотря на то, что ему принадлежала примерно десятая часть акций Nvidia, Прием не добивался и не получал предложения о месте в совете директоров компании. У Малаховского тоже не было места в совете директоров. Хуан убедил обоих, что, будучи генеральным директором, только *он* должен быть в совете директоров — и Малаховский и Прием, которые настолько не любили деловые переговоры, звонки и заседания совета директоров, что наняли другого человека на должность своего начальника, мирно, хотя и несколько наивно, согласились с этим соглашением. Поскольку совет директоров поддержал стратегию Microsoft, Хуан в конце концов просто в одностороннем порядке отменил решение Приема. Что же собирался делать Прием?

Предстоял ещё один неприятный разговор. Sega согласилась заплатить Nvidia 1 миллион долларов после получения рабочих прототипов NV2. В середине 1996 года Хуан передал эти прототипы — единственные в своём роде чипы, когда-либо созданные. С большим почтением Хуан затем сообщил Sega, что Nvidia не будет участвовать в разработке Dreamcast, поскольку компания сдаётся Microsoft, но, учитывая, что поставка прототипов технически выполняла условия контракта, он надеялся, что Sega всё равно заплатит ему, иначе Nvidia обанкротится. «Они восприняли это довольно спокойно, учитывая обстоятельства», — сказал он.

Как только чек от Sega был обналичен, Хуан использовал его для покупки эмулятора. Это были последние деньги Nvidia. Началась сортировка долгов: счета компании были организованы в порядке, в котором можно было отложить платежи. Сначала не платили поставщикам, затем коммунальным службам, и наконец, сотрудникам. Что бы ни случилось, Хуан был полон решимости выплачивать зарплату до самого дня отключения электричества.

Эмуляция была рискованным предприятием. Если бы транзисторы на готовящемся чипе NV3 были расположены неправильно, провал реального производственного цикла разорил бы его компанию. Но Хуан открывал для себя новые горизонты риска. Большую часть своей жизни — в академической сфере, в спорте, на корпоративной лестнице — Хуан стремился к первому месту. Теперь он мог наслаждаться преимуществами последнего места. Глядя на длинную очередь конкурентов перед собой, Хуан понял, что быть на последнем месте — это даже немного весело, даже лучше, чем быть посередине. Компания, занимающая последнее место, могла делать все, что хотела. Она могла пойти по короткому пути, на который никто другой не осмеливался.

Конечно, для тех, кому поручили работать с эмулятором, последнее место было менее захватывающим. Видеоигры того времени отображали около тридцати кадров в секунду, чтобы создать иллюзию движения. Эмулятор изменил это соотношение, отображая примерно один кадр каждые тридцать секунд, разрушая иллюзию и делая игровой процесс невозможным. Под руководством Диркса инженеры просматривали демо-ролик в мучительно замедленном режиме. Этот изнурительный процесс проверки занял недели, но постепенно эмулятор раскрыл свои секреты. «Мы сократили обычно двенадцатимесячный цикл разработки примерно до трех месяцев», — сказал Диркс.

Когда Диркс заканчивал работу на день, вечером его место занимал Кирк. Он часто оставался последним сотрудником в офисе, и поздно ночью он выплескивал напряжение с помощью пластикового пистолета, побивая рекорды Приема в шутере *Virtua Cop* от Sega. «Как только ты разберешься с механикой игры, ты сможешь понять, как ее пройти», — сказал Кирк. «Раздразнить Кертиса было просто бонусом». По мере приближения к завершению эмуляции напряжение между Хуангом и Приемом снова вспыхнуло. Прием вспомнил один спор в коридоре по поводу технических проблем. «Я сказал Дженсену, что он *должен* сделать, а он начал кричать на меня обо всем, что ему *нужно* сделать», — сказал Прием. «Тогда я понял, что он совсем один».

• • •



Ещё одним плюсом последнего места было то, что можно было действовать после того, как все остальные сделали свой ход. Чтобы привлечь внимание, конкуренты Nvidia рассылали предварительные версии видеокарт обозревателям аппаратного обеспечения в журналах и на веб-сайтах. Кирк использовал свои связи в СМИ, чтобы узнать, какие возможности у этих видеокарт. Конкурентам удалось это реализовать. Поскольку Nvidia планировала пропустить как стадию прототипирования, так и предварительные показы, времени хватило лишь для того, чтобы скопировать эти возможности в NV3.

Процессор NV3 был запущен в производство в начале 1997 года. Когда чертежи были отправлены в Европу для производства, три десятка сотрудников Nvidia отпраздновали это событие пивом в закусочной с чизстейками в соседнем торговом центре. В ресторане Дженсен произнес тост, но позже признался, что понятия не имел, будет ли NV3 работать на самом деле. «Шансы были 50 на 50, — сказал он мне, — но мы все равно собирались разориться». Пока производились чипы, Дженсен предложил Кирку постоянную работу и почти абсурдную компенсацию в виде акций. Хотя это означало работу на Кертиса Приема, Кирк посчитал, что не может по совести отказаться от этого предложения. Хуанг присвоил ему звание главного научного сотрудника.

Готовые чипы NV3 поступили в конце весны. Выживание компании зависело от того, насколько точно каждый из 3,5 миллионов транзисторов в каждом корпусе будет соответствовать эмуляции. Диркс установил корпуса в тестер цепей и воспроизвел демонстрационный ролик. Он работал плавно, безупречно, впервые создав иллюзию движения со скоростью тридцать кадров в секунду.

NV3 был, по сути, копией другого чипа, но обладал рядом инноваций. Во-первых, он мог передавать 128 бит за раз из памяти в процессор, что вдвое превышало отраслевой стандарт. Во-вторых, он обладал универсальностью: мог ускорять видеоигры, изменять размер электронных таблиц и воспроизводить DVD. Чтобы подчеркнуть этот широкий спектр возможностей, NV3 был переименован в ускоритель интерактивного видео и анимации в реальном времени, или Riva 128.

Чип был распространен среди поставщиков Nvidia, которые устанавливали его на печатные платы и продавали в магазинах Best Buy. К тому времени, когда платы поступили в магазины в августе 1997 года, Nvidia была на грани банкротства. «На исходе сил», — сказал Хуанг. «У нас ничего не осталось». Nvidia, не отправив предварительных обзоров игровой прессе, теперь была вынуждена умолять о освещении в СМИ. К счастью, рецензентам продукт понравился. «Рендерит до пяти миллионов треугольников в секунду, это лучший ускоритель, который можно купить за деньги», — написал один из них. Nvidia продала миллион карт Riva за первые четыре месяца.

После запуска Riva Хуан вложил в эмуляторы и отказался от...на физических прототипах. «По сей день мы являемся крупнейшим в мире пользователем эмуляторов», — сказал Хуанг. Предвзятое отношение в полупроводниковой промышленности к созданию «жестких» прототипов казалось разумным — представьте себе, как сложно продать автомобиль, который никогда не проходил реальных краш-тестов. Прототипирование казалось практичным подходом, который должен был бы использовать «взрослый человек». Но Дженсен, работавший круглосуточно и конфисковывавший игровые

приставки своих сотрудников, понял, что «взрослые» недостаточно рискуют. NV1, революционная разработка, созданная в соответствии с лучшими отраслевыми практиками, потерпела неудачу. NV3, продукт-подражание, собранный в бешеном, импровизационном темпе, оказался успешным. Иногда нужно рисковать.

Для Хуанга этот опыт стал настоящим освобождением. Отчаяние, а не вдохновение, стало причиной победы. Хуанг призвал своих сотрудников сохранить тот настрой, который они выработали во время кризиса Riva, постоянно ведя себя так, как будто компания находится на грани банкротства, даже когда она получала огромную прибыль. В последующие годы Дженсен начинал презентации для персонала словами: «Наша компания в тридцати днях от банкротства». Даже сегодня в Nvidia эта фраза остается корпоративным девизом.

## Параллельное движение

Финальная ссора между Дженсеном Хуангом и Кертисом Приемом длилась почти целый день в 1998 году. Никто не помнил, с чего всё началось, только долгую перепалку в конференц-зале, где каждый из мужчин кричал на другого, затем успокаивался и приходил в себя, чтобы снова вспыхнуть гневом. С течением времени голоса обоих мужчин охрипли, и хотя сотрудники Nvidia к тому времени уже привыкли к подобной неразберихе, они почувствовали, что ситуация достигла критической точки и развод неизбежен. В конце концов, Прием сломался первым, скованно и быстро направился в свой кабинет, захлопнул дверь и остался там, дуясь. Выйдя, он отказался разговаривать с Хуангом.

Своей непреклонностью Прием исчерпал все добрые намерения. При создании NV1 ему дали чистый лист бумаги, чтобы он разработал именно то, что хотел, — но когда он увидел, как его распроданный продукт скапливается на полках магазинов, его самолюбие так и не восстановилось. Ранее в том же году Хуанг повысил Дэвида Кирка до должности соразработчика технической архитектуры Nvidia, сделав бывшего подчиненного Приема своим коллегой. Вскоре после этого Прием, в детской попытке сохранить влияние, заблокировал доступ к производственной базе данных для ряда сотрудников, не позволив им отправлять свои работы.

Крис Малаховски, который ранее выступал арбитром в подобных спорах, в конце концов сдался. По совету совета директоров Nvidia наняла посредника. «Посредник ранее работала с Джоном Скалли и Стивом Джобсом в Apple, что в итоге закончилось увольнением Джобса», — рассказал мне Прием. «Она сказала, что мы с Дженсеном были значительно хуже». К этому моменту руководство Nvidia выработало поговорку: «Никогда не позволяйте Кертису разговаривать с инвесторами и никогда не позволяйте Кертису разговаривать с клиентами». Как позже признал Прием, «и то, и другое было правдой».

После посредничества Приема дважды понижали в должности. Он ненадолго стал техническим советником Кирка, но счёл эту роль неподходящей. «Он не хотел работать ни на меня, ни на кого из тех, кто раньше был его непосредственным подчиненным», — сказал Кирк. В конце концов, Приема перевели на должность управляющего патентным портфелем Nvidia, что отстранило его от принятия повседневных решений. Кирк

впоследствии руководил почти тысячей человек в Nvidia. Прием больше никогда не руководил более чем четырьмя сотрудниками.

Несмотря на унижение, Прием сохранил свои акции Nvidia. И Хуан, и Малаховский по-прежнему считали его другом, и когда Прием женился в 1999 году, через год после второго понижения в должности за три года, Малаховский был его шафером. Прием видел потенциал на рынке видеоигр, он дал компании её название и приютил молодой стартап в спальнях своего дома. Но с 1998 года он практически не имел отношения к успеху Nvidia.

• • •

Дэвид Кирк стал советником Хуанга. У Кирка было академическое образование, и ему не нравилась напряженная рабочая атмосфера Силиконовой долины; когда я впервые с ним поговорил, он позвонил мне с Гавайев, где был в рубашке с надписью «Университет прокрастинации» и пил вино. Он казался популярным профессором, на курсы которого была очередь, а не предпринимателем. Но за мягкой манерой Кирка скрывалось безжалостное отношение к конкуренции — его отец, отсутствовавший в его жизни, был алкоголиком, а сам он был болезненным ребенком, чье физическое развитие было ограничено хроническими приступами стрептококковой ангины. Возможно, этот опыт дал ему преимущество. «Эти — Люди, которые говорят, что победа ничего не значит? — спросил Кирк, его голос повысился с деликатной, не угрожающей интонацией. — Они никогда ничего не выигрывали.

Кирк и Хуанг обладали впечатляющим опытом в технической сфере и талантом к хитрости. По мере успеха Nvidia многие другие графические стартапы потерпели неудачу. Хуанг, почувствовав возможность, составил на доске в своем офисе общий список конкурентов. Затем, посоветовавшись с Кирком, он определил двух-трех лучших инженеров в каждой компании и начал разрабатывать стратегию по их переманиванию.

Кирк вспоминал, как демонстрировал Riva 128 конкуренту на выставке. Когда инженер увидел, на что способна эта машина, он тут же сдался. «Я нанял его через несколько дней — и это погубило ту компанию, верно?» — сказал Кирк. «Потому что, знаете ли, я лишил её мозга». Кирк, мягкий и профессорский человек, обладал хищническими инстинктами. «У нас были все гении из других стартапов, и по мере того, как мы успешно захватывали всё больше и больше этих маленьких компаний, оставшимся компаниям становилось всё труднее выживать».

В 1993 году, работая в сети ресторанов Denny's, Хуан планировал разделить большой рынок со множеством конкурентов. К 1998 году он хотел, чтобы весь «пирог» принадлежал ему одному. «В этой сфере до сих пор работают сорок компаний, — сказал Хуан Кирку. — Через пять лет их будет три: крупная, доминирующая, отстающая, пытающаяся догнать, и небольшая, пытающаяся подорвать позиции двух других». Хуан намеревался стать главным.

Хотя он казался идеальным кандидатом на эту роль, Хуан поначалу не был прирожденным предпринимателем. «Поначалу он многого не понимал», — вспоминает Тенч Кокс. Но он мог учиться — ему действительно нравилось учиться. Хуан занимался самообразованием,

читая все доступные ему книги по бизнесу. «Если вы зайдете сегодня в его офис, он будет совершенно заброшен; он им никогда не пользуется», — сказал мне один из сотрудников. «Но он завален стопками книг по бизнесу».

С литературной точки зрения, или даже с точки зрения массового рынка, Хуан не считался бы начитанным человеком. Среди популярных книг в Кремниевой долине были *«Источник»* Айн Рэнд, серия *«Основание»* Айзека Азимова и *«Автостопом по Галактике»* Дугласа Адамса. Хуан не читал ни одной из них — более того, он сказал мне, что никогда не читал ни одной из них. Он не читал ни одного научно-фантастического произведения вообще, и единственным писателем, чьи произведения ему нравились, был Пауло Коэльо.

Но познания Хуанга в области деловой литературы были энциклопедическими. Дуайт Диркс вспоминал, как Хуанг спорил с другим руководителем о том, сколько должны стоить продукты Nvidia. «У парня была степень MBA, но он никогда не читал книг о ценообразовании», — сказал Диркс. «Дженсен же прочитал, наверное, десять или пятнадцать». По мере развития спора Хуанг прервал дискуссию и попросил парня назвать три свои любимые книги по ценообразованию. Тот немного помучился, не сумев назвать ни одной. Хуанг перечислил три свои любимые книги, а затем сказал руководителю, что возобновит обсуждение, как только закончит их.

Самой любимой книгой Хуанга по бизнесу была *«Дилемма новатора»* профессора Гарвардской школы бизнеса Клейтона Кристенсена. Впервые опубликованная в 1997 году, книга популяризировала термин *«подрывающая инновация»* для описания того, как действующие фирмы проигрывают конкурентам-стартапам. Хотя слово *«подрыв»* с тех пор утратило смысл из-за чрезмерного использования, к исходному материалу стоит вернуться. В модели Кристенсена малые фирмы могут постепенно отвоевывать клиентов у крупных, обслуживая нишевые, малоприбыльные группы клиентов, которых игнорируют лидеры рынка.

К числу новаторов, подрывающих устои Кристенсена, не обязательно относились высокотехнологичные компании — среди них были предприятия по переработке металлолома и производители гидравлических экскаваторов. Его каноническим примером такого новатора стала компания Honda, которая первоначально добилась успеха в начале 1960-х годов, продавая американским подросткам внедорожный мотоцикл Honda Super Cub. (Группа The Beach Boys даже написала об этом песню.) Рынок внедорожных мотоциклов игнорировался более крупными фирмами, такими как General Motors, потому что, при прочих равных условиях, вы предпочтете продать Cadillac бизнесмену, чем Super Cub Брайану Уилсону. Но, пренебрегая мотоциклами, GM дала Honda возможность процветать. Со временем Honda использовала свой опыт для создания компактного автомобиля и захватила американскую автомобильную промышленность снизу.

Кристенсен пришел к выводу, что подниматься по лестнице прибыльности проще, чем спускаться. Спуск означал добровольное сокращение рентабельности за счет преднамеренного производства некачественной продукции, что, как правило, расстраивало инвесторов и заставляло руководителей чувствовать себя так, словно они топчутся на месте. Это привело Кристенсена к его самой долговечной и самой нелогичной

рекомендации: «Бывают моменты, когда правильно *не* прислушиваться к клиентам, правильно инвестировать в менее эффективные продукты, которые приводят к *меньшей* прибыли, и правильно осваивать небольшие, а не значительные рынки». Это был момент, который обычно упускали из виду в модных дискуссиях о «прорывных инновациях» в популярной прессе.

Хуан был одержим Кристенсеном, высоким, но чрезвычайно добрым епископом-мормоном, который играл в баскетбол в университете. Он прочитал все книги Кристенсена, поручил своим руководителям прочитать *«Дилемму новатора»*, а позже нанял Кристенсена в качестве консультанта. Именно Кристенсен впервые объяснил, почему такие крупные игроки, как Sun и Silicon Graphics, отказались инвестировать в компьютерное игровое оборудование — не потому, что они ненавидели геймеров, а потому, что прибыль была ничтожной по сравнению с рабочими станциями, и потому что, независимо от успеха или неудачи, геймеры изначально не смогли бы существенно повлиять на их прибыль.

Но, уступив рынок компьютерных игр компании Nvidia, производители рабочих станций совершили фатальную ошибку, как и GM, проигнорировав Honda десятилетиями ранее. Nvidia, как и Honda, сегодня продавала низкорентабельные продукты подросткам, но если эта аналогия верна, завтра они могут обогнать по продажам бизнес-рабочие станции Sun Microsystems и SGI. Иногда Дженсен даже обсуждал со своим сплоченным руководящим персоналом возможность подорвать позиции Intel, одной из самых дорогих компаний на Земле в то время.

Тем временем Nvidia выживала на территории Intel, придерживаясь стратегии постоянного тактического отступления. «По сей день мы не конкурируем с Intel», — сказал Хуанг в 2023 году, описывая их отношения, похожие на отношения Тома и Джерри. «Всякий раз, когда они приближаются к нам, я хватаю свои фишки и убегаю». Учение Кристенсена советовало Nvidia продавать нестандартные продукты, которые Intel и не подумала бы производить, клиентам, которых она никогда не захотела бы обслуживать. «Дженсен говорил нам уже тогда, что Nvidia когда-нибудь может стать крупнее Intel», — вспоминал Кирк. «Это был всего лишь вопрос стратегии».

• • •

Спрос на видеокарты Nvidia Riva превысил возможности европейского поставщика, поэтому Хуан начал искать других поставщиков. По общему мнению, лучшим в мире независимым производителем чипов стал тайваньский производитель. Компания Semiconductor Manufacturing Corporation (TSMC) располагала огромным комплексом в Тайнани, который производил значительную часть мирового объема кремниевых микросхем. TSMC не разрабатывала собственные чипы; она просто производила чипы для таких компаний, как Nvidia.

Появление таких независимых «фабрик»-сервисов привело к всплеску инноваций в сфере вычислительной техники, позволив начинающим компаниям экспериментировать с радикальными разработками. TSMC выполняла заказы с несравненной точностью и эффективностью, что было результатом чрезвычайно требовательной рабочей культуры.

Работники описывали иерархическую корпоративную структуру как «милитаризованную» и работали по графику «996», с девяти утра до девяти вечера шесть дней в неделю.

Хуан неоднократно безуспешно пытался привлечь внимание TSMC. После серии голосовых сообщений он написал личное письмо Моррису Чангу, генеральному директору компании, и отправил его по почте, не ожидая ответа. Вскоре Хуан получил телефонный звонок. Это было ближе к концу рабочего дня, и многие из его сотрудников начали играть в игры. «В офисе был довольно большой шум, я поднял трубку, а снаружи люди смеялись и кричали», — сказал Хуан. «И я говорю: „Эй, ребята, потише, это Моррис!“» («На самом деле он сказал: „Все заткнитесь — у меня на связи Моррис Чанг“», — по словам одного опытного инженера.)

Чанг всю свою жизнь посвятил кремнию. Родившись в Китае в 1931 году, он подростком приехал в Соединенные Штаты из материкового Китая. Много лет он успешно работал руководителем в компании Texas Instruments, но в 1970-х годах его обошли при назначении на высшую должность — этот инцидент некоторые наблюдатели объясняли антиазиатским расизмом. Затем Чанг переехал на Тайвань и возглавил TSMC, которая под его руководством выросла в крупнейшую технологическую компанию в Азии.

Чанг сразу же проникся симпатией к Хуану. «Это была очень маленькая компания — фактически, она была на грани банкротства, — сказал Чанг. — А я был человеком в возрасте, управляющим гораздо более крупной компанией. Но он был таким открытым, откровенным и честным в нашем разговоре! Просто совершенно непринужденно себя чувствовал». Вскоре у них был заключен контракт.

У Чанга и Хуанга было много общего. Оба были китайскими иммигрантами, работавшими в технологическом секторе, который в то время почти полностью управлялся менеджментом. Белыми мужчинами. По сравнению с их долей в американском населении, азиатские сотрудники были чрезмерно представлены в технологических компаниях Силиконовой долины, но подозрительно мало представлены на руководящих должностях. (В 2010 году на долю американцев азиатского происхождения приходилось всего 0,3 процента руководящих должностей в корпорациях, несмотря на то, что они составляли более 5 процентов квалифицированной рабочей силы США. Консультант по менеджменту Джейн Хён назвала это явление «бамбуковым потолком».) Когда я спросил Хуана о «бамбуковом потолке», он отнесся к этому пренебрежительно — у меня сложилось впечатление, что политика идентичности — не его конек. «Я был единственным китайским генеральным директором в то время, — сказал он, — но мне это никогда не приходило в голову. И мне это не приходит в голову сегодня».

Компания TSMC сыграла ключевую роль в долгосрочном успехе Nvidia, но их сотрудничество началось непросто. В начале 1998 года TSMC допустила ошибку в химическом процессе на заключительном этапе производства, что привело к коротким замыканиям на многих микросхемах. Эта ошибка едва не разорила Nvidia, которая вложила большую часть своего оборотного капитала в этот производственный цикл. Более половины микросхем пришлось выбросить — Nvidia удалось спастись только за счет продажи акций некоторым своим партнерам по производству печатных плат. «В то время мы тоже были близки к банкротству», — сказал Диркс. «Это не просто поговорка».

Однако со временем отношения Nvidia с TSMC оказались взаимовыгодными для обеих компаний, особенно по мере усложнения чипов Nvidia. Для Хуана это имело и личную выгоду — соглашение дало ему повод вернуться на Тайвань, где он не был с детства. Первый визит Хуана на завод TSMC в конце 1990-х годов привёл его в одно из самых стерильных мест на планете. В бахилах, перчатках и головном уборе он вошёл в воздушный душ, где встал на липкий коврик и поднял руки; его комбинезон развеялся на ветру, а потолочный вентилятор сдувал ворс, волосы, пыль, кожу, грязь и прочий мусор. Из душа он прошёл через шлюз в производственный центр, где более мягкий, непрерывный поток воздуха обеспечивал постоянный вертикальный поток воздуха с потолка через решётчатый пол.

Здесь находились священные машины для световой печати, медленно и незаметно вытравливающие одинаковые узоры на зеркальных кремниевых пластинах. Никто не смел прикоснуться к ним — процесс печати был настолько деликатным, что один-единственный шаг мог нарушить его целостность. Это может нарушить его работу. После нескольких недель послойного нанесения пластины разрезали на отдельные чипы с помощью проволоочной пилы с алмазным покрытием, а затем отправляли на упаковку. В удачный год заводы TSMC могут производить десятки миллионов чипов.

Покинув больницу, Хуан вернулся на знаменитые ночные рынки страны, чтобы вдоволь насладиться тайваньской едой, которую он любил в детстве. Он говорил на местном языке и почти мог сойти за местного жителя, но мало что помнил об этом месте — за исключением одного болезненного случая, который он никогда не забудет. Когда Хуану было около четырех лет, он слишком близко подошел к продавцу в одном из ларьков, и продавец, чистивший нож, случайно задел Хуана по щеке, порезав его до крови. Теперь Хуан вернулся, все еще с шрамом от несчастного случая, произошедшего много лет назад.

Независимо от того, насколько богатым или знаменитым он становился, Хуан никогда не упускал возможности вернуться на ночные рынки. Он часто баловал себя кипящей миской говяжьего супа с лапшой, национального блюда страны. Лучше всего было наслаждаться этой едой, сидя на пластиковом табурете на обочине оживленной улицы. Перебирая тушеные короткие ребрышки и горчичную зелень парой одноразовых палочек, Хуан уже обдумывал транстихоокеанский союз между своей энергичной американской командой и великой тайваньской девушкой.

• • •

Джон Кармак всегда чувствовал себя разочарованным разработчиками аппаратного обеспечения. Ведущий программист *Doom* и *Quake* был настоящим «хирургом кода», любившим копаться во внутренностях графических чипов, которые обрабатывали его бестселлеры. Чтобы осветить коридор на космической станции, большинство программистов полагались на готовые алгоритмы. Команда Кармака, взломав адресную структуру базовой переменной, разработала собственный подход, который требовал от Кармака осмысления потока информации на уровне отдельных нулей и единиц. Один из комментаторов назвал это «самым красивым фрагментом кода, который вы когда-либо читали».

Кармак был блондином, худым и не отличался особой учтивостью. У него был гнусавый голос, быстрая манера речи, а технические комментарии он изредка прерывал возгласами «mmm». При программировании он на недели отгораживался от мира, уединяясь в темных спальнях и работая по четырнадцать часов в день. Обычно после этого у него получалось что-то незабываемое. *Quake*, его шедевр, стал первым бестселлером среди трехмерных шутеров. В игре использовалось графическое ускорение для рендеринга полигональных монстров, которых игрок мог расстреливать из пневматического пистолета. (Трент Резнор написал звуковые эффекты для игры.) *Quake II*, продолжение в жанре сплэттерфеста, отправило игроков на далекую планету сражаться с зомбированными киборгами, созданными из расчлененных частей человеческих тел. (Игра вышла на первом курсе моего колледжа. Она отбросила меня на несколько лет назад.)

В обеих играх был режим «смертельного боя», позволяющий вести многопользовательские сражения. Благодаря доработкам Кармака игры *Quake* работали плавнее, чем любые другие на рынке, но одновременная отрисовка десятков участников на одной боевой арене оставалась сложной задачей. «Мы хотели, чтобы *Quake* реагировал быстрее, чтобы наши клиенты могли быстро связаться с кем-нибудь и уничтожить его», — сказал мне Кармак. «Большинство аппаратных ускорителей не могли этого обеспечить».

Хуан увидел возможность. В офисах Nvidia в Саннивейле консоли Sega простаивали без дела. *Quake* покорила всех, и сотрудники настолько подсадились на игру, что Хуан ввел запрет на дневные матчи на выживание. Производители ПК, такие как Dell, устанавливали графические ускорители Nvidia непосредственно в новые компьютеры, минуя розничные каналы продаж периферийных устройств. «Становилось ясно, что тот, кто лучше всего отрисует эту конкретную игру, выиграет графическую войну», — сказал Кирк. Хуан поручил своей команде создать новый чип специально для Кармака — кастомную гитару Stratocaster для программиста Джими Хендрикса.

Одной из целей Кармака было использование нескольких «пиксельных шейдеров». Это были алгоритмы, которые присваивали цвета отдельным пикселям в трехмерной сцене. Запуская одновременно несколько алгоритмов затенения, можно было сначала украсить стену источником света, а затем — брызгами крови.

Но наличие двух шейдеров означало вдвое больший объем вычислений. Компания 3dfx, лидер на рынке графических ускорителей, решила эту проблему, разместив два графических чипа на одной карте. У Кирка и его команды было более радикальное решение. Что если разделить пиксельное затенение на два набора данных, а затем запустить один и тот же набор инструкций на каждом конвейере одновременно, и всё на одном чипе? Этот метод подходил для рендеринга графики, который, как правило, выполнял одни и те же типы вычислений снова и снова.

Хуан поначалу отнесся к этому скептически. Такой подход, известный как «параллельные вычисления», уже применялся производителями дорогостоящих суперкомпьютеров. «Кремниевая долина усеяна трупами компаний, ранее занимавшихся платформами параллельных вычислений», — сказал он. «Ни одной компании, занимавшейся параллельными вычислениями, не было создано, за исключением нашей — ни одной, ни одной». Но затем Хуан начал рассуждать, исходя из основных принципов. Кармак не



остановится на двух отдельных конвейерах обработки пикселей, предположил он. По мере усложнения стрелялок ему всегда будет хотеться большего. Представьте себе сцену со множеством источников освещения: арена, полная света, с множеством выстрелов и космическим кораблем, падающим вдаль, на планете, освещенной двумя солнцами. Выделяя отдельный чип для каждого источника света, 3dfx в конечном итоге исчерпает пространство на печатной плате. Единственный способ удовлетворить *будущие* потребности Кармака — это умножить конвейеры на одном кремниевом квадрате.

Однако, прежде чем принять окончательное решение, Хуангу нужно было провести собственное исследование. Он должен был понять, почему этот подход так часто терпел неудачу. Мощные параллельные суперкомпьютеры Сеймура Крея испытывали трудности, клиенты жаловались на их высокую стоимость и сложность. Ларри Эллисон, основатель Oracle, вложил миллионы в стартап nCube, занимавшийся параллельными вычислениями; к концу 1990-х годов и он потерпел неудачу. Проблема заключалась в том, что параллельное программирование было сложным — обработка двух или более потоков данных одновременно требовала переключения между несколькими банками памяти, а кривая обучения была крутой. Это делало компании, занимающиеся параллельными вычислениями, уязвимыми перед Intel.

Чипы Intel использовали стандартный последовательный подход, выполняя вычисления по одному за раз. Но их мощность росла экспоненциально, удваиваясь примерно каждые восемнадцать месяцев, в соответствии с предсказанием, впервые сделанным в 1965 году бывшим генеральным директором Intel Гордоном Муром — предсказанием, которое было подтверждено так много раз, что стало известно как «закон Мура». За пределами специализированных технических областей, таких как прогнозирование погоды и физика высоких энергий, закон Мура гарантировал, что одного процессора — всепоглощающего ЦП — достаточно для удовлетворения потребностей даже самых требовательных пользователей. «Если у вас есть программное обеспечение, и вы«Если вам нужно было, чтобы он работал быстрее, у вас был выбор», — сказал мне специалист по параллельным вычислениям Билл Дэйли. «Вы могли перенести его на параллельный компьютер и переписать миллион строк программного обеспечения. Или вы могли просто подождать, пока процессор не станет вдвое быстрее через два года».

Закон Мура уже поглотил сегмент рынка периферийных печатных плат, в котором первоначально работала Nvidia. Первоначально, в 1993 году, 3D-графический ускоритель должен был стать одной из многих дополнительных плат, устанавливаемых в слоты, наряду со звуковыми картами, сетевыми картами, платами для принтеров и так далее. Но к концу 1990-х годов Intel интегрировала звуковые, сетевые и принтерные функции в материнскую плату.

Остались только 3D-графические карты — единственные выжившие из разрушенной экосистемы. Они держались благодаря своей ненасытности; они поглощали всю доступную вычислительную мощность и требовали большего. Другие функции мультимедийного ПК были ограничены — как только вы обрабатывали звук с качеством, эквивалентным компакт-диску, вам не требовалась дополнительная вычислительная мощность. Однако с 3D-графикой спрос никогда не прекращался. С 3D-графикой вы не были завершены, пока

не оказались внутри Матрицы. «Это то, что Intel упустила из виду, насколько дальше должны были развиваться графические компании», — сказал Ханс Мозесманн. «Спрос на вычислительную мощность в этой области был практически бесконечным». Центральный процессор не смог бы догнать 3D-рендеринг, ни сейчас, ни когда-либо. Вдвое большей скорости было недостаточно.

...

Видеокарта Riva TNT была выпущена в июне 1998 года. Аббревиатура «TNT» означала «двойные тексели» — два конвейера рендеринга пикселей, управляемые сложным механизмом переключения. Восхищенный Кармак с удовольствием пользовался своей Stratocaster — он называл её «идеальной картой». Он специально адаптировал *Quake III: Arena* под двухконвейерную архитектуру и советовал своим многочисленным поклонникам, что в *игре Quake* лучше всего играть на оборудовании Nvidia. Кармак также увидел то, что предсказывал Хуанг: игровая индустрия даст Nvidia базу для разрушения более прибыльного рынка рабочих станций. «TNT во многих случаях действительно была лучше, чем компьютер за 10 000 долларов», — сказал Кармак.

Он был не единственным программистом, кто это заметил. Кирк, помимо прочих, переманивая лучших сотрудников из терпящих крах стартапов, компания теперь переманивала специалистов из Silicon Graphics. Одним из них был Дэн Виволи, бывший инженер, перешедший в маркетинг. Виволи использовал TNT для продвижения бренда Nvidia. После одобрения Кармака клиенты стали фетишизировать продукцию Nvidia, что привлекло внимание Дженсена. Вскоре в его кабинете появилось множество учебников по маркетингу.

Nvidia никогда напрямую не рекламировала параллельные возможности TNT клиентам — зачем их вводить в заблуждение? Вместо этого компания использовала мечту о том, чтобы каким-то образом жить *внутри* компьютера. Эта фантазия обладала странной и сильной притягательностью. Концепция «Матрицы» — галлюцинации, связанной с совместными вычислениями, — возникла не в фильме 1999 года, а в романе Уильяма Гибсона «*Нейромансер*» 1984 года. В интервью *The Paris Review* в 2011 году Гибсон вспомнил о своем вдохновении:

Помню, как проходил мимо игрового зала, который в то время был новым видом бизнеса, и видел, как дети играли в эти старомодные консольные видеоигры из фанеры. В играх было очень примитивное графическое представление пространства и перспективы. В некоторых из них даже не было перспективы, но они стремились к перспективе и объемности. Даже в этой очень примитивной форме дети, игравшие в них, были настолько физически вовлечены, что мне казалось, будто они хотели оказаться внутри игр.

У Nvidia не было четкой миссии (Хуан в них не верил), но наблюдение Гибсона могло бы послужить таковой. Целью было полное погружение в цифровые миры, воссозданные с такой пуантилистской детализацией, что реальность отступала на второй план. То, что Гибсон интуитивно уловил по языку тела, Хуан заново открывал с помощью дедуктивного мышления. Работа Nvidia не была завершена, пока геймеры не поселились внутри игры.

Но, стремясь к этой цели, инженеры Nvidia играли в гораздо более опасную игру, чем они сами осознавали, — ведь внутри TNT скрывалась тайна, таинственная, демоническая тайна, погребенная так глубоко в архитектуре кремния, что Ни Хуан, ни Кирк, ни Кармак, ни Виволи, ни кто-либо еще в мире не подозревал об этом. Если бы вы сняли крышку с этого чипа TNT и осмотрели голую схему под микроскопом, вы бы обнаружили изменение не только в расположении транзисторов, но и изменение всех компьютеров, а возможно, и всего человечества, навсегда. Внутри этого крошечного чипа хранилась тайна, которая изменит мир.

## Медузы

В 1997 году в элегантном гостиничном номере отеля Bristol Suites в Далласе, штат Техас, любители азартных игр собрались вокруг доски для нардов. Предстоящая им игра не была похожа ни на одну из тех, что они видели раньше. Человечество представляли Нак Баллард и Майк Сенкевич, два лучших игрока современности. В роли агента машин выступал Малкольм Дэвис, делавший крупные ставки против человечества и ходивший по указанию компьютера, стоявшего рядом с ним.

Несколькими месяцами ранее Гарри Каспаров проиграл шахматному компьютеру IBM Деер Блю в матче, который привлек внимание всего мира. («Быстрый и сокрушительный: компьютер сверг Каспарова», — гласил заголовок в *The New York Times*, сопровождаемый фотографией великого русского гроссмейстера, уткнувшегося лицом в ладони.) Аналогичный турнир по нардам в Далласе не привлек такого внимания, за исключением игроков, которые время от времени заходили и выходили из зала. Эти люди всю жизнь предавались своей страсти к абстрактным стратегическим играм. Они играли в Го, покер, Скрэббл, бридж и шахматы, часто на элитном уровне. Они смеялись, болтали и обменивались пачками денег почти после каждого броска. Игра в кости. Мужчины не всегда были хорошо одеты или, как правило, находились в отличной физической форме, и за пределами специализированных кругов их имена были практически неизвестны. Но именно это малоизвестное соревнование в Далласе, а не поражение Каспарова в Нью-Йорке, ознаменовало начало новой эры машин.

Баллард был лучшим из них. Это был веселый, полный мужчина с широким лицом и бакенбардами, который по шесть часов в день изучал нарды и несколько раз занимал первое место в мировом рейтинге. С приглушенным звоном он потряс кости в кожаном стаканчике, а затем бросил их на доску. Каспаров был явно обеспокоен игрой Деер Блю, но Баллард, словно в дзене, сосредоточился на текущей позиции. Он молча обдумал свой ход, а затем передвинул две шашки на доске.

Закончив, Дэвис бросил свои кости, а затем сверился с компьютером, чтобы узнать обновленную позицию. Дэвис также был мастером нардов, но к 1997 году он был уверен, что программное обеспечение превосходит людей в этой игре. Он подкрепил это утверждение, предложив сыграть в качестве агента компьютера против любого желающего за 200 долларов за очко. Игра в нарды была непредсказуемой, и если оценка Дэвисом способностей компьютера окажется неверной, это может стоить ему 100 000 долларов или больше. Но он был уверен в своей машине, которая работала на совершенно ином типе

программного обеспечения искусственного интеллекта, чем любое из существовавших ранее.

Программа называлась «Медуза». Особенность «Медузы» заключалась в том, что это была «нейронная сеть», структура которой была вдохновлена биологическим мозгом. Вместо выполнения кода, написанного программистами, «Медуза» принимала решения, передавая информацию сетке искусственных нейронов, синапсы которых были представлены в компьютере в виде огромной матрицы чисел, или «весов». Сетка оценивала положение и передавала ответ обратно через эту синтетическую нервную систему.

На экране появилось неуклюжее диалоговое окно с рекомендацией Медузы. Дэвис передвинул шашки на доске. Время от времени программа предлагала спорные ходы, вызывая разногласия среди зрителей и провоцируя множество пари. Пока продолжались разговоры, Баллард снова бросил кости и погрузился в свои размышления над доской.

...

Матч по нардам в Далласе не вызвал большего интереса у сообщества ИИ, чем у прессы. В 1997 году ведущие специалисты в области компьютерных наук считали нейронные сети не более чем игрушками. Впервые они были задуманы как «нервные сети» в 1940-х годах, когда первые экспериментаторы физически воссоздали нейроны и синапсы головного мозга с помощью сложного электромеханического оборудования. Эти гигантские устройства потребляли много энергии и денег, принося мало пользы, пока в 1969 году влиятельный исследователь из Массачусетского технологического института Марвин Мински не продемонстрировал, что один слой нейронов не способен выполнить даже одну из простейших логических операций. Финансирование прекратилось, и большая часть машин была демонтирована.

В последующие годы ИИ пережил множество неудачных попыток и приобрел репутацию «кладбища карьеры». Ранний прогресс в разработке «символического» ИИ застопорился в первую «зиму ИИ» в 1974 году. В 1980-х годах возобновившийся интерес к «экспертным системам» ИИ вызвал кратковременный пузырь на фондовом рынке, который лопнул после краха 1987 года. Правительства Японии, Великобритании и США запустили амбициозные инициативы в области ИИ, потратив миллиарды долларов из средств налогоплательщиков на масштабные стратегии исследований. В каждом случае независимые аналитики пришли к выводу, что большая часть денег была растрочена впустую.

Тем временем, на протяжении 1970-х и 1980-х годов группа ученых-компьютерщиков-бунтарей продолжала исследования нейронных сетей, полагая, что хрупкий механизм прошлого можно воссоздать с помощью программного обеспечения и что многослойные нейронные сети могут преодолеть ограничения, недоступные для одного слоя. Большинство исследователей ИИ считали этих новаторов заблуждающимися или, возможно, безумными, но в 1986 году когнитивный психолог Дэвид Румельхарт, работая с учеными-компьютерщиками Джефффри Хинтоном и Рональдом Уильямсом в Калифорнийском университете в Сан-Диего, опубликовал элегантную математическую процедуру обучения многослойных нейронных сетей, названную «обратным

распространением ошибки». Этот метод позволили исследователи могут точно настраивать искусственные нейроны компьютера в ответ на новую информацию, подобно тому, как человеческий мозг формирует новые синаптические связи при освоении задачи.

Обратное распространение ошибки возродило затихшее сообщество нейронных сетей, позволив компьютерам функционировать совершенно по-новому. Обратное распространение ошибки позволило создавать компьютерное программное обеспечение, не требующее явного программирования. Обратное распространение ошибки позволило компьютерным системам устанавливать собственные правила. Обратное распространение ошибки позволило компьютерным системам *эволюционировать*.

В конце 1980-х годов исследователь Джеральд Тезауро, также работавший в IBM, отказался от участия в популярной исследовательской группе компании по шахматам, чтобы покорить простую игру в нарды. Не обладая ни престижем шахмат, ни мистикой покера, эта игра представляла собой, по сути, гонку, в которой игроки пытались попасть по шашкам друг друга, двигаясь в противоположных направлениях по доске размером 24 очка, в зависимости от бросков двух шестигранных кубиков. Непредсказуемость делала игру привлекательной для азартных игроков, но для Тезауро нарды имели другую привлекательность. Имитируя броски кубиков, он мог быстро генерировать сотни тысяч искусственных партий в нарды — и это были обучающие данные, на основе которых могла бы обучаться нейронная сеть.

Тезауро работал над этим узкоспециализированным проектом почти полностью в одиночку; как и в случае с нейронными сетями, немногие исследователи ИИ всерьез занимались нардами. Сначала он обучил свои нейронные сети имитировать лучших игроков-людей, но этот подход не принес особых результатов. Примерно в 1990 году Тезауро решил попробовать другой подход. Он исключил из нейронной сети все стратегические рекомендации по игре в нарды, оставив только правила и начальный набор нейронов со случайным взвешиванием. Затем он заставил компьютер сыграть сотни тысяч партий *сам с собой*.

Эта техника была известна как «обучение с подкреплением», и Тезауро был первым, кому удалось заставить её работать. Сначала программа была безнадёжной и бесцельно перемещала шашки. Однако после нескольких тысяч игр нейронная сеть научилась тому, что оставлять одну шашку одну — плохо, а складывать две шашки вместе — хорошо, — это вывело её на уровень компетентного новичка. После десятков тысяч игр нейронная сеть стала использовать более сложные концепты, например, использовать несколько стопок шашек для строительства стены. После двухсот тысяч игр нейронная сеть, которую Тезауро назвал TD-Gammon, играла на высоком среднем уровне. В течение следующих нескольких лет Тезауро подверг TD-Gammon миллионам смоделированных игр, и к 1995 году TD-Gammon использовала стратегии, ранее невиданные людьми. Нейронная сеть перестала просто учиться. Она внедряла инновации.

Не обремененный общепринятыми представлениями, TD-Gammon открыл новый подход к игре в нарды. Он определил, что игроки-люди слишком рискуют, чтобы получить преимущество в начале игры, и что консервативные дебюты лучше. В то же время он часто отказывался от гарантированной победы в эндшпиле в жадной попытке удвоить свой счет

— стратегия, которую большинство игроков-людей считали безрассудной. В миддлгейме TD-Gammon совершал множество более тонких ходов, которые эксперты-люди понимали только после глубокого самоанализа. В 1995 году инструктор по нардам Кит Вулси написал Тезауро письмо с похвалой после игры против его творения:

Сравнение TD-Gammon с высокоуровневыми шахматными компьютерами кажется мне очень интересным. Шахматные компьютеры великолепны в тактических позициях, где можно рассчитать варианты. Их слабость заключается в неясных позиционных играх, где не очевидно, что происходит. TD-Gammon — полная противоположность. Его сила — в неясных позиционных сражениях, где ключевую роль играет рассудительность, а не расчет...Вместо примитивной машины, способной вычислять гораздо быстрее человека, например, шахматных компьютеров, вы создали умную машину, которая учится на собственном опыте практически так же, как и люди.

Но IBM не удалось коммерциализировать проект Tesauro — зачем поставщику бизнес-серверов продавать коммерческое программное обеспечение для игры в нарды нескольким сотням клиентов? Да и зачем?

Этот очаровательный уголок на рыночной площади был создан в 1994 году норвежским исследователем Фредриком Далем. Даль был необычным человеком, увлекавшимся нардами, шахматами, моделированием танковых сражений, джиу-джитсу и сбором съедобных грибов в лесу. Он работал в норвежском оборонном ведомстве, где моделировал последствия гипотетического советского вторжения. Его работа была вдохновлена фильмом 1983 года «Военные игры» с Мэттью Бродериком в главной роли. В этом фильме искусственный интеллект пытается начать ядерную войну.

Даль заверил меня, что это не было его личной целью, но он проявлял живой интерес к военному делу — после распада Советского Союза финансирование исследований Далья было прекращено. «Это было ужасное время», — сказал он. (Думаю, он шутил.) Для своей докторской диссертации Даль создал нейронную сеть, которая моделировала результаты боевых действий, заставляя компьютер проводить миллионы смоделированных сражений против самого себя. Эта модель легко была адаптирована для игры в нарды, и вскоре Даль превзошел результаты Тезауро.

В 1994 году Даль представил Jellyfish, первую нейронную сеть, когда-либо проданную публике. Jellyfish обучалась на миллионах партий в нарды, но, несмотря на этот интенсивный вычислительный процесс, готовый продукт оказался достаточно маленьким, чтобы поместиться на 3,5-дюймовой дискете, которую Даль продавал через свой примитивный веб-сайт. Таким образом, было установлено раннее различие между громоздким этапом обучения ИИ, на котором компьютер учился, и этапом вывода, на котором компьютер применял свои знания. Последний был гораздо менее затратным — можно провести параллель между трехфунтовым человеческим мозгом, который обрабатывает выводы, и сотнями миллионов лет эволюционного обучения, которое обеспечило его подготовку.

Даль был чуток к этим биологическим аналогиям. Он выбрал...Название «Медуза» было дано в знак уважения к древнему водному книдарию, чья «нервная сеть» контролировала

его системы стимуляции и реагирования. По его словам, его программа «содержала всего около сотни клеток мозга, что, как я полагал, примерно соответствовало количеству клеток у медузы». Такова была мощь нейронных структур: для победы в нарды, выживания в течение полумиллиарда лет в опасной морской экосистеме или даже для отражения нападения Советов требовалось всего сто маленьких клеток.

• • •

Для получения достоверной статистической выборки Баллард и Сенкевич договорились сыграть по триста партий каждый против Jellyfish. Баллард, который когда-то играл восемьдесят четыре часа подряд, привык к таким марафонам в нарды и сумел сохранить концентрацию. Он обыграл компьютер на пятьдесят восемь партий, заработав 11 600 долларов. Но Сенкевич проиграл почти такую же сумму, Дэвис остался при своих, и соревнование было объявлено ничьей. Баллард был доволен своей индивидуальной победой, но последующий анализ показал, что ему просто повезло с бросками кубиков, и он понял, что его время пришло. Никогда больше ни один человек не осмелится бросить вызов программе для игры в нарды на деньги.

Новости о матче с использованием Jellyfish быстро распространились в замкнутом сообществе любителей нардов. Deer Blue был дорогостоящим суперкомпьютером, чей метод грубой силы не мог быть воспроизведен человеком, и поэтому он не произвел коренного изменения в подходе экспертов к шахматам. (Фактически, Deer Blue был расформирован после своей победы в 1997 году.) Jellyfish, напротив, представлял собой доступное программное обеспечение, которое могло работать на любом компьютере с Windows, и оно произвело революцию в игре. Консультируясь с Jellyfish на своем домашнем компьютере, инструктор Кит Вулси опубликовал книгу «*Новые идеи в нардах*», сборник позиций, где мнение нейронной сети резко расходилось с человеческой интуицией. Вскоре стало ясно, что компьютер всегда прав. Со временем аналитики научились оценивать мастерство игрока-человека не по количеству выигранных или проигранных партий, а просто по тому, насколько его игра отличалась от этого идеального компьютерного результата.

Нейронная сеть Jellyfish первой превзошла человека в какой-либо игре. Затем Даль обратил свое внимание на покер. Используя методы обучения с подкреплением, Вскоре он создал — или, возможно, лучше сказать, *эволюционировал* — нейронную сеть, способную обыграть любого в мире в лимитированном варианте техасского холдема для двух игроков, «один на один». Даль лицензировал эту нейронную сеть производителю игровых автоматов, который установил покерного бота в казино на Лас-Вегас-стрип, предлагая всем желающим сыграть на реальные деньги. И снова никто не смог одолеть автомат.

Но на этом революция остановилась. Хотя он и заработал неплохие деньги на игровых автоматах, когда Даль попытался создать аналогичную программу для *безлимитного* холдема, он столкнулся с проблемами. В безлимитном холдеме можно было делать любые ставки, а набор синтетических данных был больше, чем замкнутые вселенные, которые он создал для лимитного покера и нардов. Нейронная сеть Даля для безлимитного холдема с трудом справлялась с этим огромным объемом данных. «Она делала разумные ходы, но так и не смогла сделать то, на что я надеялся», — сказал он.

Даль работал над этой проблемой много лет. Препятствием было то, что он почти не представлял, как на самом деле работает его покерный бот. Структуру его нейронной сети было не легче интерпретировать, чем нервную систему беспозвоночного, а попытка выявить игровые стратегии, изучая индивидуальные веса сетки, была подобна попытке разгадать тайну сознания, рассматривая клетки мозга под микроскопом.

Это была критика нейронных сетей и то, что так сильно предвзято относилось к ним в академическом сообществе. Как только нейронная сеть достигала плато в обучении — а это случалось почти всегда — редко находился очевидный способ её улучшить. Классическое программирование было упорядоченным и логичным, но работа с нейронными сетями требовала иного подхода. Даль сравнивал это с проведением биологического эксперимента: результаты были непредсказуемы, и изменение, казалось бы, незначительных переменных могло привести к самым разным неожиданным последствиям. Даль перепробовал всё, что мог придумать, чтобы улучшить своего бота для безлимитного покера. Он возился с функцией оценки, копался в памяти компьютера, заменял триггер активации нейронов, даже синтезировал более простую вселенную данных для исследования ботом — но так и не смог заставить его играть на экспертном уровне.

В конце концов, Даль, как и многие исследователи нейронных сетей до него, дал...Он отложил бота для покера и устроился на работу по анализу медицинских данных с использованием традиционных методов. Многие критики нейронных сетей были такими же разочарованными отступниками, добившимися первых успехов с этой технологией, прежде чем потратить годы на получение посредственных результатов. Даль так и не присоединился к рядам неверующих, но его вера подверглась серьезному испытанию. «Я отверг это», — сказал человек, продавший публике первую нейронную сеть. «Я отверг это, потому что у меня просто не было данных». Он не видел решения и перепробовал все. Он просто не мог представить, что может обеспечить успех нейронных сетей.

Обратное распространение ошибки использует многомерный анализ и линейную алгебру для распределения новых результатов по многослойной сетке. Для этого сначала определяется степень ошибки выходных данных существующей нейронной сети. Затем это значение ошибки используется для вычисления набора частных производных, известных как «градиент», по сути, пытаюсь определить, какие нейроны ошибаются больше всего. После определения градиента обратное распространение ошибки корректирует нейроны в противоположном направлении. Весь процесс затем повторяется любое количество раз.

Метод обратного распространения ошибки был впервые открыт в 1970 году финским математиком Сеппо Линнайнмаа, хотя Линнайнмаа не применял его непосредственно к нейронным сетям. В 1974 году американский учёный-компьютерщик Пол Вербос независимо от него заново открыл метод обратного распространения ошибки и представил его Марвину Мински в Массачусетском технологическом институте в качестве обходного пути для решения проблем, описанных в книге Мински «*Перцептроны*». Но Мински, по словам Вербоса, чуть ли не выгнал его из кабинета и отговорил от использования этого метода. (Позже Вербос предположил, что Мински был расстроен тем, что сам не открыл метод обратного распространения ошибки.) В 1986 году Румельхарт, Уильямс и Хинтон



вновь представили метод обратного распространения ошибки как способ обучения нейронных сетей, что привлекло к нему широкое внимание.

## Смертельный бой

Джонатан Вендел направил оружие на кучу патронов и стал ждать. Играя под ником «fatality», Вендел был одним из первых профессиональных геймеров, и к 1999 году он стремился стать лучшим. Он одержал множество побед на турнирах по *Quake III: Arena* и часто побеждал без единой ошибки — его сильной стороной было умение запутать противников. Он заметил, что этот противник, похоже, слишком увлекся патронами, и готовился устроить ловушку.

Большинство профессиональных геймеров были худыми занудами, но Вендел был мускулистым спортсменом, игравшим в хоккей, теннис и гольф. С бледно-голубыми глазами, светло-русыми волосами и широким, мужественным лицом он выглядел как студент из студенческого братства из комедии 80-х. Вендел открыл свой талант к соревновательной игре в *Quake* в пятнадцать лет, победив сотню студентов на турнире в Уичито, штат Канзас, в 1996 году. После этого он бросил колледж, чтобы зарабатывать на жизнь видеоиграми. «Дело в том, что если ты выиграешь хотя бы один турнир, тебя забудут, верно?» — сказал Вендел, имея в виду своего кумира Тайгера Вудса. «Эти люди забудут *меня*, если я не выиграю больше».

Вендел с безумной конкурентоспособностью профессионального спортсмена сосредоточился на *Quake*. *Он проводил от восьми до двенадцати спаррингов в режиме «смертельный бой».* Он тратил на это по несколько часов в день и расстался со своей девушкой, чтобы больше тренироваться. Он выиграл десятки турниров и семь лет подряд занимал первое место по заработку в соревновательных играх. Однажды, после победы на турнире в Техасе, он снял наушники, сжал кулак и издал торжествующий возглас, в то время как его противник в очках съехался и влез в свою толстовку с застежкой-молнией. Вендел, гораздо крупнее и одетый в ветровку НФЛ и брюки-карго, выглядел так, будто вот-вот сделает парню «подтяжку трусов».

Вендел использовал тренировки, чтобы отточить свой инстинкт быстрого реагирования. Он сидел перед экраном, держа палец на мышке; затем, когда экран становился зеленым, он щелкал мышкой как можно быстрее. Благодаря тренировкам ему удалось сократить время реакции до 140 миллисекунд. В перерывах между тренировками за компьютером Вендел бегал на длинные дистанции, что, по его мнению, улучшало его рефлексy. Любя спортивные метафоры, он сравнивал себя с гонщиком Формулы-1, резко нажимающим на педаль газа на старте гонки.

В наушниках Вендель слышал шаги противника, приближающегося к куче боеприпасов. Тренировки Венделя сработали, и он легко нажал на кнопку мыши. Секрет заключался в том, чтобы начать стрелять непосредственно *перед* появлением противника. В критический момент Вендель нажал кнопку, и время замедлилось.

Вендел использовал видеокарту Nvidia TNT2 для рендеринга игры. Обычные процессоры могли бы обрабатывать *Quake III* со скоростью от двадцати до тридцати кадров в секунду. Технология параллельной обработки Nvidia позволяла увеличить эту скорость до шестидесяти-семидесяти кадров. Это критически важное улучшение удвоило количество кадров в 140-миллисекундном окне реакции Вендела с пяти до десяти. Именно это преимущество ему и было нужно.

Вендел начал стрелять за один-два кадра до того, как смог увидеть противника. Прошло тридцать миллисекунд — три сотых секунды. Затем враг попал под обстрел Вендела. Процессор Nvidia обновился. Один кадр урона, и процессор снова обновился. Еще один кадр урона, и еще один, и с каждым кадром процессор выполнял около двухсот миллионов отдельных вычислений. В наушниках Вендел слышал удовлетворительные стоны боли до последнего кадра, когда противник рухнул в кашу — и с этим «fatality» записал еще одно убийство.

Вендел сравнил свои отношения с Nvidia с отношениями Майкла Джордана. У Вендела были отношения с Nike. Компания предоставляла ему бесплатное оборудование, а взамен он рекламировал его возможности при каждой возможности. Вендел мало что знал о технологии параллельной обработки, которая обеспечивала работу видеокарт; когда я спросил его об этой технологии в 2024 году, он пожал плечами. Все, что он знал, это то, что ничто не обеспечивало такую производительность в режиме Deathmatch, как TNT2. «Частота кадров на этой штуке была просто невероятной», — сказал Вендел. Он обновлял свою видеокарту с каждым циклом, и вскоре каждый профессиональный геймер делал то же самое.

• • •

Уолл-стрит была в восторге. Nvidia выпускала новые видеокарты с шестимесячным циклом, вдвое быстрее, чем любой другой производитель. Компания представляла новую линейку продуктов к началу учебного года каждую осень, а затем обновляла эту линейку весной. Спрос резко возрос с появлением плоских мониторов, и в течение нескольких лет графические ускорители стали стандартом для большинства ПК. В начале 1999 года, менее чем через шесть лет после своего основания, Nvidia вышла на биржу с оценкой в 600 миллионов долларов. Sequoia, которая первоначально оценила Nvidia в 6 миллионов долларов, получила стопроцентную прибыль, компенсировав убытки от бесчисленных других спекулятивных инвестиций. Акции, торгувшиеся на NASDAQ по цене 12 долларов под тикером NVDA, мгновенно удвоились; к концу года они достигли 60 долларов. Корпоративные документы показали, что Прием, Малаховский и Хуанг владели более чем тремя миллионами акций каждый.

Хуан теперь был миллионером, но его новообретенное богатство не отвлекало его от цели — сокрушить и поглотить конкурентов, пока не останется только его собственная фирма. Дуайт Диркс вспоминал, что не было ни вечеринок, ни шампанского, ни чувства облегчения, ни даже поздравлений от босса. Он поделился со мной сохранным электронным письмом от Хуана:

Команде TNT2 нужно сделать всё возможное, чтобы дойти до финиша. Они борются за каждую минуту в противостоянии с Dell и Compaq за рынок материнских плат. Материнские платы Savage 4 от S3 хорошо работают на Camino, но мы всё ещё испытываем трудности. Времени больше нет. Нужно сделать всё необходимое, чтобы довести дело до конца. Нам нужны победы в разработке, чтобы отвоевать долю рынка у ATI, сдержать S3 и вывести Nvidia на новый уровень. Помните, есть три приоритета: первый, второй и третий. Мы рассчитываем на поставку 250 000 единиц TNT2 к апрелю, чтобы обеспечить выполнение плана на первый квартал. Для этого нам необходимо сертифицировать пластины с учетом рисков. Нужно это сделать.

Диркс удивленно покачал головой. «Он написал это на следующий день после IPO», — сказал он.

...

В электронном письме упоминались конкуренты ATI и S3, но главным врагом Nvidia была компания 3dfx. Ее видеокарты Voodoo были ведущими графическими ускорителями в течение последних двух лет. В конце 1999 года Хуанг представил «убийцу Voodoo». Она называлась GeForce, сокращение от «Geometry Force» (Геометрическая сила). Работая на базе NV10, она могла обрабатывать десять миллионов треугольников в секунду и изменять цвета пикселей в 3D-сцене в соответствии с расположением подвижных источников света. Объединение «трансформации и освещения» на одной платформе было долгожданным достижением, и Nvidia хотела этим похвастаться. «По сути, теперь они могли делать за 2 доллара то, что рабочая станция могла делать за 2000 долларов», — сказал Джон Педди.

Хуанг обратился к Дэну Виволи, маркетологу, которого он переманил из Silicon Graphics. Виволи был умным парнем, который увидел в ограниченном бюджете возможность. Он заметил, что при принятии решений о покупке геймеры полагаются на полдюжины независимых обозревателей оборудования. Виволи связался с обозревателями, сообщив им, что GeForce — это первый в мире «графический процессор», или «GPU». Команда Виволи, по сути, придумала этот термин сама, но обозреватели начали объединять продукты в эту категорию. Вскоре графические ускорители стали повсеместно известны как GPU. «Мы изобрели эту категорию, чтобы стать в ней лидерами», — сказал Виволи.

Инженеры 3dfx были возмущены уловками Nvidia. «Были ситуации, когда Nvidia использовала несколько трюков в бенчмарках», — сказал Педди. «Так что да, они превосходили их в маркетинге. Но они также превосходили их и в инженерии! Они просто лучше управляли своей компанией». GeForce могла обрабатывать четыре конвейера рендеринга на одном чипе. Прототип более дорогой Voodoo 4 от 3dfx использовал четыре чипа и все равно не мог выполнять ту же работу. Безумная игра Nvidia Шестимесячный цикл поставок поставил перфекционистов из 3dfx в невыгодное положение. В какой-то момент один из основателей 3dfx публично предположил возможность заключения перемирия между двумя компаниями, чтобы установить технические стандарты до начала поставок следующего поколения продукции. «Тогда я понял, что мы его переманили», — сказал Кирк. «Мы вели смертельную борьбу с 3dfx, и одному из нас предстояло погибнуть».

Эксперименты Кирка по извлечению мозга стали еще одним источником постоянных разногласий. Инженеры, переходившие в Nvidia, часто приносили с собой собственные идеи, защищенные авторским правом. Это создавало юридические проблемы — в период с 1996 по 1999 год компании S3, Silicon Graphics и 3dfx подали иски о нарушении патентов против Nvidia, а четвертый конкурент, Matrox, подал иск, утверждая, что Nvidia поощряла своих сотрудников нарушать соглашения о конфиденциальности. Три других иска были урегулированы вне суда, но 3dfx не стала обращаться в арбитраж — терпящая крах компания вместо этого поставила на кон свое выживание, рассчитывая на победу в суде. В августе 2000 года, во время провального телефонного разговора с инвесторами, генеральный директор 3dfx Алекс Леупп заявил, что 3dfx может потерять более 100 миллионов долларов за один квартал. Час спустя Nvidia объявила о подаче встречного иска против 3dfx, выдвинув собственные довольно сомнительные обвинения в нарушении патентов. Многие сочли время подачи иска жестоким; некоторые предположили, что Хуан намеренно подал иск, который, как он знал, не принесет ему успеха, просто чтобы увеличить и без того скудные средства на юридические услуги компании 3dfx.

Месяц спустя судья по делу вынес предварительное решение в пользу 3dfx, полностью отклонив встречный иск Nvidia. 3dfx изо всех сил пыталась получить компенсацию, но Nvidia, благодаря умелым юридическим маневрам, смогла затянуть выплату. В отчаянии Леупп попытался продать 3dfx компании Intel, предложив благоприятное решение суда против Nvidia как единственную ценность, которой она владеет. Но Intel не хотела участвовать в этой мелкой ссоре, как и все остальные. Поскольку деньги заканчивались, а продукт терпел неудачи, 3dfx была вынуждена признать поражение и предложить себя Nvidia.

Хуан победил. В награду он получил целую армию новых сотрудников, которые его ненавидели. Позже судебные документы показали, что внутри компании 3dfx Хуана называли «Дартом Вейдером». («На самом деле, его называли и похуже», — сказал Педди. — «Могу сказать вам, что его называли и другими подобными словами...» «Не очень вежливо». К этому моменту слухи о Хуанге приобрели почти мифологический зловещий оттенок: он переманивал сотрудников; он заимствовал идеи; он манипулировал рецензентами; он давал отпор своим поверженным конкурентам. Но в основном они ненавидели Хуанга, потому что он надрал им всем задницу. «Nvidia наживала врагов на протяжении всего пути к власти, в том числе среди партнеров и поставщиков», — сказал Педди. «Дженсен, можно сказать, мой личный друг, но он был безжалостен».

...

Программист Бен Гарлик получил уведомление об увольнении в пятницу днем в декабре, вместе со всем остальным офисом 3dfx в Остине. Рабочие места были заблокированы, и охрана вывела сотрудников из здания, ненадолго проверяя рюкзаки и сумки. Сотрудники слонялись по парковке, пока менеджер по персоналу не вызвал их и не приказал собраться на складе через дорогу. Офисные комплексы в Техасе не были спроектированы с учетом пешеходов, и поэтому началось недостойное шествие заложников в деловой одежде, которые сначала спустились в дренажную канаву, затем беспорядочно перешли по не обозначенной дороге и, наконец, добрались до склада, полного непроданного и,

действительно, не подлежащего продаже графического оборудования. Здесь сотрудникам сообщили, что с сегодняшнего дня 3dfx увольняет всех. «Это был веселый день», — сказал Гарлик.

Однако для счастливиц было утешение. Nvidia отказалась от покупки всей компании 3dfx, но предложила приобрести отдельные активы за 70 миллионов долларов. Леупп согласился, и иск был отозван. Позже внутренние документы показали, что Хуанг оценивал лучших инженеров 3dfx в 1 миллион долларов на человека. Эта оценка отражала как их ценность для Nvidia, так и ценность удержания их от конкурентов Nvidia. На складе уволенным сотрудникам сказали отправиться домой на выходные и ждать звонка с потенциальным предложением работы от Хуанга.

Из примерно пятисот кандидатов Хуанг, посоветовавшись с Кирком, составил список из 120 сотрудников 3dfx, которых хотела бы видеть в Nvidia. Сохраните это. Эти сотрудники не доверяли Хуану. В выходные ходили слухи, что Nvidia — это потогонная фабрика, а Хуан — тиран, который кричит на сотрудников во весь голос. Некоторые утверждали, что ни за какие деньги они не стали бы работать на такого человека. Гарлик был более реалистичен. Приближалось Рождество, и ему нужна была работа.

Он был одним из первых, кто получил предложение. Гарлик был опытным программистом, хотя и скромным. (Я спросил его, стоит ли его вклад 1 миллиона долларов. «Что-то вроде того», — ответил он.) В следующий понедельник он вернулся на склад, и Хуан лично вручил ему 20-процентную прибавку к зарплате, льготы и опционы на акции. Гарлик принял предложение и оставался в Nvidia следующие семнадцать лет. «Моя теория заключается в том, что Дженсен — хороший человек в душе, которому пришлось быть безжалостным», — сказал Гарлик. — В отличие от некоторых других генеральных директоров, которые были безжалостны в душе и пытались притворяться хорошими людьми». Обаяние Хуана было настолько велико, что из 120 сотрудников, которых он нанял, 106 перешли на темную сторону.

Гарлику предоставили доступ к кодовой базе Nvidia. Он был в ужасе от увиденного. «По сути, это был рак», — сказал он. «Знаете, раковые клетки неэффективны. Они просто мутируют, растут и размножаются». В 3dfx Гарлик гордился элегантностью своего программирования, разрабатывая упорядоченные системы с понятными комментариями, что позволяло другим программистам легко поддерживать и улучшать его работу. «За то время, что мы потратили на то, чтобы сделать все чисто, мы обанкротились», — сказал он. Подход Nvidia был небрежным, блоки кода, написанные во время безумного ночного аврала, служили основой для критически важных систем. «Какой бардак! Код был ужасен, инструментарий — полный бардак, и самое главное, им было наплевать!» — сказал Гарлик. «Им было наплевать на все, кроме следующего выпуска».

Таким образом, Nvidia накопила огромный «технический долг», неоднократно прибегая к упрощенным методам, которые со временем приводили к менее поддерживаемому коду и создавали проблемы для программистов в дальнейшем. Но, привыкнув к этим упрощениям, Гарлик осознал ценность подхода Nvidia. «Во всем этом была какая-то странная гениальность: просто итерация, итерация, итерация, выполнение, выполнение,

выполнение», — сказал он. «Сейчас я вижу технический долг как боевой шрам выжившего».

...

С учетом новых сотрудников, в Nvidia работало более шестисот человек, по сравнению с всего лишь тридцатью пятью четырьмя годами ранее. Компания переехала в новую штаб-квартиру неподалеку, в Санта-Кларе, арендовав комплекс изогнутых многоэтажных зданий из стекла и стали, соединенных надземными переходами, украшенных скульптурами, окруженных парковкой, примыкающих к автомагистрали и занимающих одиннадцать акров земли. В новых офисах не пахло едой на вынос. Там вообще ничем не пахло. Модернистская респектабельность со всеми ее скучными и предсказуемыми последствиями наконец-то пришла.

Атрибуты офисного парка в пригороде — офисные кабинки, бесконечные очереди автомобилей, ужасные сетевые рестораны — были запоминающимся образом высмеяны в фильме Майка Джаджа 1999 года «*Офисное пространство*». Джадж взял за основу фильм свой опыт работы в одной из компаний-конкурентов Nvidia, стартапе по производству видеокарт, расположенном всего в паре миль от него. Джадж ненавидел эту рабочую среду, но сотрудники Nvidia, с которыми я разговаривал, никогда не упоминали о скуке или чувстве упущенных возможностей. Они сами решили провести большую часть своей жизни в офисных кабинках, и корпоративный мир их вполне устраивал. Хуанг внес свой вклад, неустанно выискивая бюрократические глупости, чтобы их искоренить. Главному герою в «*Офисном пространстве*» несколько начальников напоминают использовать правильный титульный лист для отчетов TPS. В реальной жизни инженеры-программисты часто действительно заполняли подобные документы, например, «спецификации процедур тестирования», но если бы Хуан когда-нибудь обнаружил, что один из его менеджеров тратит драгоценное инженерное время на заботы о сопроводительных документах, я подозреваю, он бы вытащил его в центр офисной ямы и распыл.

Многие новые сотрудники Nvidia, привыкшие работать в игровых компаниях, ожидали более свободной корпоративной культуры. «В 3dfx девизом было „Усердно работай, хорошо отдыхай“», — сказал один бывший сотрудник. «В Nvidia же девиз был скорее „Усердно работай“». Долгие рабочие часы были нормой, а шестимесячный цикл выпуска релизов создавал постоянное давление. «В результате мы сталкивались с практически непрерывными дедлайнами и постоянным ощущением отставания от графика», — вспоминает другой сотрудник.

Другие оценили профессионализм Nvidia. «По крайней мере, было понятно, что компания останется на плаву», — сказал один из ветеранов. Игровые компании В компании редко действовал дресс-код, и некоторые программисты позволяли себе показную неряшливость. Карен Хуолме, еще одна сотрудница 3dfx, вспоминала, как заблудилась в офисном комплексе в пригороде Далласа в поисках штаб-квартиры iD Software, создателя *Quake*. Она решила свою проблему, следуя за самым плохо одетым человеком, которого смогла найти, — бледным молодым человеком с длинными растрепанными волосами, в шлепанцах и рваной футболке. Он привел ее прямо к входной двери iD.

В Nvidia никто никогда не приходил в офис в шлёпанцах. Хуолме также рассказала мне, что в предыдущих компаниях её коллеги-мужчины иногда агрессивно ставили под сомнение её квалификацию; в других случаях они проявляли чрезмерную фамильярность. В Nvidia было мало сотрудниц, особенно в те времена, но Хуолме находила это место относительно безопасным. «В Nvidia я чувствовала себя защищённой от подобных вещей», — сказала она.

Кирк проводил многие собеседования при приеме на работу. Несколько лет назад, в своем собственном стартапе, ему пришлось уволить сотню инженеров, и этот опыт был настолько болезненным, что через несколько дней он сам уволился. Решив никогда не повторять этого, Кирк определил, что лучший способ избежать увольнений — это избирательно подходить к найму. Первоначальный формат собеседований в Nvidia состоял из нескольких раундов, за которыми следовало консенсусное решение о приеме на работу. Но технический персонал, не желая заставлять людей нервничать, придерживался стандартных вопросов собеседования: «Вспомните случай, когда вы преодолели трудности», «Какова ваша самая большая слабость?», «Почему крышки люков круглые?»

Кирк, расстроенный, чувствовал, что его сотрудники тратят время впустую. Он знал, какотреагирует Дженсен: соберет технический персонал в конференц-зале и начнет на них кричать. Как и Диркс, Кирк считал, что вспышки Хуанга были преднамеренными. «Кричать на людей было частью этой мотивационной стратегии, — сказал Кирк. — Вы можете подумать, что он просто злится, но я думаю, что это было спланировано заранее. И это работает! Это раздражает людей, но это работает». Кирк считал, что аудитория имеет решающее значение: «Он хочет, чтобы все получили пользу. Он никогда не стал бы просто кричать на какого-то парня в коридоре. Когда он мучает людей, он заставляет их усвоить урок — и они, конечно же, никогда его не забудут».

Понимая, что его сотрудники не знают, как нанять себе замену, Кирк выбрал метод обучения Дженсена Хуанга. Целенаправленно и с большой ответственностью Кирк собрал своих инженеров в Конференц-зал. Затем Кирк — мягкий Кирк, избегавший конфликтов и редко повышавший голос, — начал кричать. «Что, чёрт возьми, вы делаете?!» — кричал Кирк на своих сотрудников. «Вы только что провели собеседование с парнем, на которого будете рассчитывать в выполнении половины вашей работы, и даже не потрудились выяснить, сможет ли он это сделать! Теперь *вам* придётся делать вдвое больше работы, а он получит половину вашей зарплаты!» Кирк с удовлетворением посмотрел на ошеломлённое молчание своих сотрудников. «Мы снова пригласим его, и я сейчас задам ему вопросы, потому что никто из вас не знает, как это сделать», — сказал он.

Несчастный соискатель работы вернулся и обнаружил себя в театре допроса. В присутствии своих сотрудников Кирк начал собеседование с простого вопроса: «Вы умеете рисовать треугольник?» После того, как кандидат ответил на этот вопрос, Кирк постепенно усложнил задачу. «Хорошо, а как нарисовать стороны треугольника?» Получив ответ на этот вопрос, Кирк продолжил: «А что, если одна из координат треугольника равна нулю? Деление на ноль невозможно, так что же делать?» Кирк переходил к более сложным вопросам, пока не почувствовал, что достиг предела понимания кандидата. Затем

последовал последний вопрос, сложная техническая задача, на которую, как был уверен Кирк, кандидат не знал ответа.

Предложение о работе зависело от того, что последует дальше. Часто кандидаты лгали или пытались что-то выдумать. Это автоматически означало провал. Другие же безапелляционно признавались, что ничего не знают. Это тоже обычно приводило к провалу. Проходили проверку те инженеры, которые понимали, что участвуют не в собеседовании, а в сократовском диалоге. Эти инженеры могли вернуться к серии вопросов, которые привели к этому моменту, а затем, используя предыдущие ответы, углубить свои знания *в ходе собеседования*, находить новые решения. За пятнадцать минут Кирк узнавал о способностях кандидата больше, чем его сотрудники за восемь часов структурированных собеседований, — и его сотрудники учились задавать правильные вопросы.

• • •

Никто не был столь избирателен в выборе сотрудников, как Хуан. По мере того как Nvidia процветала, семья Хуана оказывала на него давление, требуя распределить прибыль. «Его родители настаивали и говорили: „Слушай, ты должен дать работу своим братьям“», — рассказал Йенс Хорстманн. Хуан отказался, что привело к напряженным разговорам. «По сути, он сказал: „Я не могу это оправдать. Я не думаю, что они соответствуют нашей культуре“», — вспоминает Хорстманн. Несмотря на поддержку семьи, Хуан так и не нанял своих братьев.

Старший брат Йенсена, Джефф, за свою карьеру сменил множество инженерных профессий. Хорстманн вспомнил случай, когда они вдвоем строили террасу на заднем дворе Йенсена. Хорстманн и Йенсен занимались строительством; Джефф руководил процессом. «Он даже не умел держать в руках пневматический гвоздезабиватель», — сказал Хорстманн. Младший брат Йенсена, Джим, последовал за Йенсеном в Университет штата Огайо, получив ту же степень в области электротехники. Пока Йенсен руководил Nvidia из таунхауса Приема, Джим решил не рисковать и устроился на работу в Intel. Он оставался там следующие тридцать лет, занимаясь разработкой и поддержкой программных инструментов. «Он был трудолюбивым, надежным инженером, — сказал Хорстманн. — Но такого рода предпринимательского риска — знаете, готовности признавать неудачи и нести за них наказание — я в нем не видел».

Вместо того чтобы дать братьям работу, Хуан подарил им недвижимость. В начале 2000-х он продал часть своих акций Nvidia и на вырученные средства купил большой участок земли в Лос-Альтос-Хиллз, богатом районе с видом на Силиконовую долину, который в настоящее время является третьим по богатству почтовым индексом в Соединенных Штатах. Там, под руководством Лори, он построил особняк площадью шесть тысяч квадратных футов с пятью спальнями, семью ванными комнатами, бассейном и огромным гаражом. Он купил два Ferrari (свои и её) и начал коллекционировать дорогой виски. Свой старый дом с террасой он подарил Джеффу.

Но даже дом мечты, построенный по индивидуальному проекту, не мог соответствовать стандартам Дженсена. По мере роста его богатства у него развилось придирчивое



отношение к деталям, свойственное очень состоятельным клиентам. Однажды, возвращаясь домой с работы, он заметил, что стеклянные двери в сад его особняка не идеально совпадают с видом на домик у бассейна сзади. Эта несимметрия его раздражала, поэтому он приказал перенести домик у бассейна и, потратив значительные средства, переместить его на восемнадцать футов в сторону.

• • •

Линейка GeForce утвердила Nvidia в качестве лидера рынка. Одновременно Nvidia запустила Quadro, линейку профессиональных графических процессоров для продвинутого компьютерного моделирования и цифровой анимации. Как и предсказывалось, Nvidia собиралась захватить Silicon Graphics — и, как и предсказывалось, некоторые из бывших руководителей Йенсена приходили к нему работать. В 2000 году Хуанг нанял Томми Ли, который был его первым начальником в LSI.

Рост сектора 3D-ускорителей совпал с периодом бурного роста на фондовом рынке. Nvidia не была какой-то эфемерной дотком-компанией: она выпускала реальный продукт, имела реальную выручку и демонстрировала реальную прибыль. Тем не менее, это была технологическая компания, работающая в технологическом пузыре. В начале 2000 года Nvidia объявила о соглашении по разработке чипа для еще не названной домашней игровой консоли Microsoft, и цена акций Nvidia подскочила выше 100 долларов за акцию. Эта цена стала поводом для выполнения ряда корпоративных пари, заключенных за выпивкой в каком-то захудалом заведении за несколько месяцев до этого. Малаховский проколол себе ухо. Прием сбрил все волосы на голове, за исключением квадратного участка сверху, который был покрашен в зеленый цвет и вылеплен в виде логотипа Nvidia. Хуанг сделал татуировку с логотипом на предплечье, а затем много лет жаловался на боль.

К 2001 году Nvidia продавала графических процессоров на миллиард долларов в год. Единственной компанией, способной сравниться с темпами инноваций Nvidia, была ATI, базирующаяся в пригороде Торонто. Флагманской линейкой продуктов ATI была Radeon. Radeon, как и GeForce, представляла собой ускоритель с вентиляторным охлаждением и параллельными пиксельными конвейерами. Ее чипы производились на том же заводе TSMC, что и GeForce, а Квок Юэн Хо, соучредитель и генеральный директор компании, как и Хуанг, был иммигрантом с яростным стремлением к конкуренции, чья компания несколько раз избегала банкротства, прежде чем добиться успеха. С появлением линейки Radeon рынок графических процессоров закрепился в виде статической дуополии, и в течение следующих двух десятилетий GeForce и Radeon боролись за первенство, при этом каждая линейка продуктов какое-то время занимала лидирующие позиции. (Сегодня GeForce значительно опережает конкурентов.)

Несмотря на успех, Хуанг оставался настороженным. В 1996 году ведущей компанией по производству графических ускорителей была S3 Graphics. К 1999 году она исчезла. В 1998 году ведущей компанией была 3dfx. К 2000 году она тоже исчезла. Не было никакой гарантии, что то же самое не случится с Nvidia. Одна из деловых книг, лежавшая в кабинете Хуана, написанная генеральным директором Intel Энди Гроувом, называлась «*Выживают только параноики*».

Конкурентные угрозы были неотъемлемой частью любого капиталистического предприятия, но в секторе микрочипов эти угрозы были иного рода. Для такой компании, как Coca-Cola, как только вы создавали выигрышную формулу, продукт продавал себя сам — ваша задача заключалась в том, чтобы не вмешиваться в успех. Индустрия микрочипов больше походила на модный бизнес — если ваш продукт сегодня напоминал ваш продукт вчера, вы совершили ужасную ошибку. В полупроводниковой промышленности все переделывалось с нуля каждые несколько лет. Это касалось программных инструментов, используемых для проектирования чипов; это касалось ультрафиолетовых фотолитографических машин, используемых для их печати; это касалось и архитектуры самих чипов. Первый чип Nvidia содержал миллион транзисторов. К 2000 году чипы Nvidia содержали в двадцать раз больше транзисторов, охлаждаемых высокоскоростными вентиляторами и занимающих вдвое меньше места. «Все твердое растворяется в воздухе», — писал один из первых наблюдателей капитализма, или, как заявил Энди Гроув некоторое время спустя: «Нам всем нужно открыться ветрам перемен».

Дженсен был не единственным игроком в этой отрасли. Каждый руководитель должен был им быть. Постоянно возрастающая точность производства транзисторов увеличивала стоимость участия с каждым новым циклом выпуска продукции, и поэтому отрасль напоминала покерный турнир, в котором ставки постоянно повышались. Если вы оставались в турнире, ваш стек уменьшался. Ваш единственный шанс выжить заключался в том, чтобы найти многообещающую комбинацию и поставить все свои фишки — а затем повторить это снова.

Одним из дорогостоящих рисков, на которые пошел Хуанг, было добавление программируемых шейдеров к графическим процессорам. Графические технологии того времени часто создавали сцены с «пластиковым» или «резиновым» видом. Кирк хотел предоставить программистам лучшие инструменты освещения, но добавление шейдеров означало отказ от прибыли ради создания инфраструктуры, которую немногие разработчики игр стали бы использовать, по крайней мере, на первых порах. «Если вы так сделаете, то какое-то время это обойдется вам немного дороже, — сказал он Хуану. — Но потом все захотят этого, и все будут пытаться нас догнать».

Как и в случае с параллельными конвейерами, Хуан изначально был настроен скептически. Он убедился в этом только тогда, когда начал задумываться о стоимости *отказа* от использования шейдеров. Единственной гарантией в его отрасли было то, что количество транзисторов будет расти. По мере этого графика станет дешевле и проще в рендеринге. До сих пор Хуану удавалось опережать конкурентов, но его «торговый» бизнес, не требующий больших капиталовложений, по сути, представлял собой просто группу инженеров, сидящих в офисном парке в Силиконовой долине. Если бы эти инженеры постоянно не разрабатывали новые, трудновоспроизводимые технологии, производители в Азии начали бы копировать его чипы, и Nvidia прекратила бы свое существование. «Если мы не переосмыслим компьютерную графику, если мы не переосмыслим себя и не откроем для себя возможности этого процессора, нас просто превратят в товар массового потребления», — сказал позже Хуан. Самым большим риском было не рисковать.

Первые модели GeForce с программируемыми шейдерами дебютировали в июне 2001 года. Игровая консоль Xbox от Microsoft была запущена в ноябре 2001 года вместе с её флагманской игрой *Halo*. Игра представляла собой шутер в традициях *Quake* и *Doom*, за исключением того, что действие происходило не в аду, а в кольцеобразном искусственном мире с красивым, реалистичным освещением, созданным с помощью оборудования Nvidia. Успех *Halo* поднял общую рыночную капитализацию Nvidia выше 20 миллиардов долларов. Две недели спустя Nvidia была включена в фондовый индекс S&P 500, заменив Enron.

В тридцать восемь лет Хуан был одним из самых молодых генеральных директоров в индексе. За восемь лет он прошел путь от мозгового штурма идей в закуской до управления одной из пятисот самых ценных компаний Америки. Он превзошел и поглотил всех своих конкурентов, кроме одного, и в течение нескольких недель после включения в индекс Хуан даже ненадолго стал бумажным миллиардером. Но фондовый рынок был непостоянным арбитром стоимости, и слава Хуана была недолгой. Пройдет четырнадцать лет, прежде чем он снова увидит такие большие деньги.

## Петля принуждения

*Дженсен с приятным глухим стуком* отправил мяч через стол, придав ему потрясающее вращение. Он отрабатывал свой удар справа с разворотом, который был его коронным ударом в профессиональные годы. Когда прилетел следующий мяч, он резко перестроился, скручиваясь и размахивая ракеткой, взмахивая ею вверх и в сторону, отправляя мяч по изогнутой траектории через сетку. *Глухой стук*. Он повторял это действие, нанося удар и перестраиваясь, нанося удар и перестраиваясь, его тело вращалось вокруг опорной ноги, как механический поршень.

Дела на работе шли плохо. *Тхук*. Фондовый рынок рушился, пузырь доткомов сдулся. *Тхук*. В последней версии GeForce оказался неисправный вентилятор, из-за которого она издавала звук, похожий на работу воздуходувки. *Тхук*. Сделка с Xbox рушилась. *Тхук*. Nvidia находилась под следствием по обвинению в бухгалтерском мошенничестве. *Тхук, тхук, тхук, тхук*. Дженсен отложил ракетку, весь в поту.

Хуан вернулся к игре в настольный теннис в 2002 году, связавшись со своим старым другом и партнером по команде Джо Романоски. Романоски был удивлен звонком; он не разговаривал с Хуаном почти двадцать лет. Они некоторое время вели дружескую беседу, вспоминая старые времена. Романоски вспомнил то время. В колледже Хуан участвовал в турнире по настольному теннису в государственной тюрьме. Легко выиграв перед аудиторией заключенных, Хуан не смог удержаться от того, чтобы похвастаться. «У него было много трюковых ударов, но он умел маскировать их под часть матча», — сказал Романоски. «Знаете, как у "Гарлем Глобтроттерс"».

Во время разговора Хуан упомянул, что основал компанию по производству оборудования для видеоигр. «Он, кажется, был очень воодушевлен этим», — сказал Романоски. Хуан отправил видеокарту сыну Романоски, который собрал на её основе компьютер. Романоски, в ответ, заказал Хуану свою любимую модель ракетки для настольного

тенниса. Вскоре Хуан снова начал тренироваться и нанял бывшего олимпийца в качестве своего тренера.

Романоски, работавший инженером в компании Boeing в Сан-Диего, начал летать в район залива со своей женой, чтобы проводить время с Дженсеном и Лори. В саду рядом с перенесенным домиком у бассейна Хуанг установил большой японский гриль теппан, где оттачивал приемы шеф-повара из Benihana. Он подбрасывал жареный рис, бросал еду в воздух и экспериментировал с вулканом из луковых колец. Однако ему так и не удалось освоить искусство ловли жареных креветок в шляпу, и многие из них в итоге оказывались на полу.

На ужинах во дворе Хуан говорил о своей семье, детях, интересах — обо всем, кроме бизнеса. Романоски старался не задавать вопросов; он умел читать заголовки. Хуан угостил Романоски своей растущей коллекцией виски, жены двух мужчин подружились, и Романоски пригласил Хуана в поход в Сьерра-Неваду. (Хуан отказался.) «Он очень теплый, очень общительный, — сказал Романоски. — Когда мы садимся за стол, он совсем не похож на суперзвезду среди руководителей. Мне кажется, он очень искренний».

Впечатления Романоски о Хуане мало соответствовали тому одержимому магнату, которого описывали его коллеги и конкуренты. Романоски видел лишь жизнерадостного, энергичного, веселого и озорного человека — того самого Дженсена, которого он всегда знал. Каким-то образом Хуан, казалось, умел разделять свою деловую жизнь и личную жизнь. Я задался вопросом, видел ли Романоски когда-нибудь проблеск Дарта Вейдера. «Если он и есть, то он отключил эту свою сторону», — сказал Романоски. «Просто очень теплый, простой парень — вот того Дженсена я знаю».

• • •

В период с лета 2001 года по осень 2002 года цена акций Nvidia упала более чем на 90 процентов. Состояние Хуана также резко сократилось. Проблемы начались в январе 2002 года, когда Комиссия по ценным бумагам и биржам начала расследование бухгалтерской отчетности Nvidia. Аналогичные расследования выявили схемы завышения прибыли в Worldcom и Enron, что привело к широко распространенным подозрениям в корпоративных махинациях. В июле Nvidia была вынуждена пересмотреть финансовые результаты за три года, и вскоре после этого финансовый директор Кристин Хоберг была уволена. Тенч Кокс сказал мне, что ее увольнение было неудачным и что совет директоров никогда не терял доверия к Хуану. «Комиссия по ценным бумагам и биржам проводила расследование», — сказал он. И он был прав; пересмотренные финансовые результаты показали, что Nvidia была более прибыльной, чем сообщалось ранее.

Бухгалтерский скандал разразился во время одного из самых тяжелых периодов спада на фондовом рынке в истории. Пострадав от одновременного краха пузыря доткомов, терактов 11 сентября и банкротства Enron, индекс S&P 500 потерял почти половину своей стоимости. Одновременно с этими бедствиями Nvidia начала конфликтовать с Microsoft. Спор был связан с ценообразованием и вопросами интеллектуальной собственности, но свою роль сыграло и растущее чувство превосходства Nvidia.

Сотрудники Nvidia были откровенно элитарны. Они считали себя лучшими — и это было так — но их гордость порой могла звучать как нарциссизм. За несколько недель до запуска Xbox компания Microsoft устроила торжественный банкет по случаю выхода консоли, на котором Билл Гейтс произнес поздравительную речь. Технические специалисты Nvidia сидели в задней части зала, за одним столом с производителями резиновых стабилизаторов, которые предотвращали соскальзывание Xbox с полок. Спустя десятилетия, разговаривая со мной, Кирк вспоминал это расположение с обиженным негодованием подружки невесты, застрявшей за столом для тех, кого отвергли. «Да, знаете, мы важный партнер в этом проекте — наравне с ребятами, которые делают эти маленькие резиновые ножки», — сказал он.

Кирк подчеркнул, что он шутит, но, как и в случае с Хуангом, шутки Кирка часто служили средством для выражения колких, неприятных истин. Возможно, это была ошибка организатора мероприятия, но для Кирка изоляция со специалистами по литью и формованию резины воспринималась как преднамеренный сигнал о том, что Microsoft не собирается быть заложником низкосортного поставщика оборудования. Это оскорбление не было забыто, и вскоре после этого деловые отношения испортились. Microsoft начала требовать от Nvidia больших объемов поставок и снижения цен, Nvidia заявила, что ее контракт не обязывает ее выполнять такие требования, и дело было передано в арбитраж. Для следующего поколения Xbox Microsoft перешла на ATI.

Однако из всех этих проблем хуже всего для Nvidia было медленное внедрение программируемых шейдеров. Чтобы риск оправдался, компании нужно было убедить разработчиков освоить новый язык программирования. Для этого Nvidia продвигала свои шейдеры через «Дон» — недостаточно одетую компьютерную фею с крыльями бабочки, усиками и большой грудью. Дон украсила обложку учебника по программированию Nvidia, «*The Cg Tutorial*», менее привлекательное содержание которого состояло из десяти глав, посвященных преобразованиям вершин, пиксельным конвейерам и примерам компьютерного кода — и, конечно же, домашним заданиям. Внедрение шло медленно.

...

Гнев Хуана, невидимый для Романоски, находил все большее выражение на работе. В начале 2003 года Nvidia выпустила печально известную GeForce FX, склонную к низкой скорости рендеринга и известную геймерам как «пылесос» из-за неисправного, слишком активного вентилятора. Устройство подверглось резкой критике со стороны обозревателей и покупателей, включая тринадцатилетнего сына Хуана, Спенсера. Однажды вечером, вернувшись домой, Дженсен обнаружил игровой журнал с жесткой рецензией на устройство и прикрепленной к нему запиской. «Папа, — гласила записка, — думаю, тебе нужно поднажать».

Хуан организовал встречу, на которой менеджеры по продуктам представили нескольким сотням человек все решения, которые привели к фиаско. Затем Хуан почти час кричал на них во весь голос. «Ужасно, но в то же время катарсично», — сказала Шэрон Клей, одна из них. Инженеров, ответственных за контроль качества. Тирады Хуана вызывали у него столько же чувства вины, сколько и страха, и он часто подробно описывал, как, подведя

своих клиентов, сотрудники Nvidia подвели и семьи друг друга. («Думаю, мной движет скорее чувство вины, чем что-либо еще», — сказал мне Хуан.)

В Nvidia регулярно проводили оценку эффективности работы сотрудников, и после провала GeForce FX Клей опасалась, что следующая оценка будет выглядеть так: «Требуется улучшения». В Nvidia это было сродни тому, чтобы получить «черное пятно». Для GeForce FX Клей провела четыре или пять тестов контроля качества. Для преемника она расширила их количество до ста, а затем и до тысяч. «Когда мы начинали весь этот процесс, я и представить себе не могла, к какому решению мы в итоге пришли, когда нас должным образом, э-э, *заставили* задуматься», — сказала она.

Поэтому понижения в должности так и не произошло ни для Клея, ни для кого-либо еще из команды контроля качества. Вместо этого маркетинговая команда Nvidia сняла сатирический ролик с участием менеджеров по продуктам, в котором видеокарта была переделана в воздуходувку для листьев. Ролик был распространен среди прессы, и обновленная GeForce была выпущена с восторгом шесть недель спустя. Многие сотрудники Nvidia говорили мне, что гнев Хуанга обеспечивал своего рода дисциплину внутри компании, подобно генералу или тренеру по американскому футболу. «Я не уверен, что он кричит больше, чем любой другой генеральный директор из списка Fortune 500», — сказал один из сотрудников. «Послушайте, его работа не в том, чтобы быть вашим другом. Его работа в том, чтобы подтолкнуть вас к тому, чего, как вам кажется, вы никогда не сможете достичь».

Даже те, кому не нравились подобные методы управления, часто отзывались о Хуане лично положительно. Бывший сотрудник Тим Литтл вспоминал, как получил электронное письмо с заголовком «Тяни свою жалкую задницу к финишной черте». Литтл несколько недель путешествовал, вдали от семьи, работая допоздна на симуляторе трассы; чувствуя, что у него больше нет сил, он ответил на письмо, подав заявление об увольнении. Несколько ночей спустя, около двух часов ночи, когда Литтл заканчивал одну из своих последних смен, пришел Хуан и сел рядом с ним за симулятор. Свет монитора освещал его измученное лицо, и Хуан вспомнил свою карьеру, жертвы, которые он принес, и множество бессонных ночей, проведенных вдали от дома. Он отдалился от своей семьи, часто сам работая на симуляторе трассы. Он откровенно признался, что не уверен, стоило ли всё это того. Он предложил Литтлу вернуть ему работу, если тот захочет; когда Литтл отказался, Хуан поблагодарил его за службу компании и ушел. «Это был, безусловно, самый яркий момент моей работы там», — сказал Литтл.

Из более чем ста бывших и нынешних сотрудников Nvidia, с которыми я беседовал для этой книги, почти у всех была трогательная история о Хуане. Один сотрудник — тот самый, которого Хуан унизил перед десятками людей, требуя полного возврата зарплаты, — рассказал мне, что, когда у него позже диагностировали серьезное заболевание, Хуан предложил оплатить его лечение полностью из собственных средств. Когда Бен Гарлик решил уйти из Nvidia в стартап, он был поражен, услышав от Хуана страстную личную просьбу остаться. «Мы сидим вместе за конференц-столом, и он подошел ко мне так близко, что мы чуть не соприкоснулись коленями, и он, типа, умоляет!» — сказал Гарлик. Гарлик был линейным менеджером, руководившим десятью людьми в компании с тысячами

сотрудников. «Я даже не думал, что Дженсен знает мое имя», — сказал он. Сочетание любви, страха и вины Хуана было соблазнительным и мощным мотиватором. «Вы чувствовали, что не можете его подвести, — сказал Клей. — Просто *не могли*».

• • •

Примерно в это время Кертис Прием окончательно сдался. Его обязанности были ограничены в течение многих лет, и в конце концов он перестал приходить в офис. («У него возник конфликт с другим сотрудником руководящего состава, и я думаю, он решил, что его уволили», — сказал Кирк.) Прием начал распродавать свои акции Nvidia, чтобы сделать крупную серию пожертвований, в основном своей альма-матер, Политехническому институту Ренсселера в штате Нью-Йорк. Прием был назначен в попечительский совет института, и деньги были использованы для строительства центра исполнительских искусств стоимостью 200 миллионов долларов, а позже — для покупки квантового компьютера.

Прием укрылся на великолепном ранчо стоимостью 6 миллионов долларов в хребте Диабло к востоку от Окленда. Его позиция на гребне хребта открывала ему потрясающий вид на залив — глядя на заходящее солнце над своим огороженным стадом коров, в ясный день он мог разглядеть все пять основных мостов, перекинутых через залив. сверкающая вода. Он купил реактивный самолет Gulfstream, чтобы летать из Калифорнии в RPI и обратно; чтобы компенсировать свой углеродный след, он инвестировал в экспериментальные экологически чистые технологии и перевел свое ранчо на автономное энергоснабжение. Он пережил сложный и неприятный развод, а затем начал искать формулу, которая, по его словам, могла бы «восстановить землю».

В период с 2004 по 2006 год Прием продал все свои акции Nvidia в серии крупных сделок. «Вот почему акции замерли на месте», — сказал он. «Мы, по сути, продавали на подъеме, когда они начинали расти». Если бы он владел этими акциями и двадцать лет ничего не делал, кроме как играл в «ковбоев», состояние Приема сегодня превышало бы 100 миллиардов долларов, что сделало бы его одним из самых богатых людей в мире, но он сказал мне, что не жалеет о своем решении. Для этого ему пришлось бы инвестировать 99,9% своего состояния в волатильные акции рискованной технологической компании, в которой он больше не работал, что казалось не лучшей идеей.

Подражая Джорджу Бейли, Прием попросил меня подумать, куда делись его исчезнувшие сверхприбыли. «Акции куда-то делись, но они не исчезли. Они в пенсионных фондах. Они в домах людей. Это как если бы я внес 100 миллиардов долларов в нашу экономику», — сказал он. «Я собираюсь пожертвовать полмиллиарда за свою жизнь, и это отняло у меня большую часть времени и усилий. Где-то в глубине души я пытаюсь понять, что бы я сделал с фондом в 100 миллиардов долларов, и это непросто. Я даже не знаю, как бы это пожертвовать».

• • •

В конце концов, Nvidia была спасена геймерами. Даже при падении стоимости акций компания продолжала выпускать одни из самых сложных микросхем, когда-либо

произведенных. Эти чипы, в сочетании с появлением домашнего широкополосного интернета и развитием мультимедийных домашних компьютеров, положили начало тому, что некоторые критики позже назвали Золотым веком компьютерных игр. Разработчики использовали новое оборудование для создания таких классических игр, как *Call of Duty*, *Half-Life 2*, *The Sims* и *World of Warcraft*. «Пик компьютерных игр пришелся на период между 2000 и 2005 годами», — заметил один из ностальгирующих комментаторов.

Было ли это наилучшим применением подобных технологий? Субкультура компьютерных игр. Это было токсично — из этого вырос 4chan, а позже и кампания травли Gamergate. Игроки на ПК называли игроков на консолях «крестьянами» и сами себя называли «высшей расой ПК». Пионеры графики были разочарованы застоєм в эстетическом развитии, очевидным в ведущих играх, что отражало — или, возможно, порождало — задержку зрелости потребителей. Nvidia подарила разработчикам необыкновенный инструмент. Разработчики использовали этот инструмент для рендеринга монстров, перестрелок, автомобильных погонь и кровищи. «Поразительно, если подумать обо всей проделанной работе и о тривиальности некоторых результатов», — сказал Джон Педди.

Но это имело смысл с точки зрения бизнеса. Игроки на ПК были лучшим типом клиентов: зависимыми. По своей сути, видеоигры предлагали вознаграждения по случайному расписанию. Казино использовали аналогичную тактику, чтобы удерживать любителей игровых автоматов у своих мест. В 2001 году Джон Хопсон, исследователь, работавший в студии, создавшей *Halo*, описал «цикл навязчивых действий» в играх: улучшить персонажа игрока, отправить его на выполнение задания, наградить добычей, а затем повторить. Некоторым игрокам было трудно вырваться из этого цикла. Исследователи отметили, что заядлые геймеры демонстрировали поведение, связанное со злоупотреблением психоактивными веществами. Они играли запоем. Они страдали от абстиненции. Они лгали друзьям и членам семьи о том, сколько времени они проводят за играми. Они удаляли свои игры в один день, а на следующий снова скачивали их. В 2013 году в диагностическое руководство Американской психиатрической ассоциации была добавлена запись о «расстройстве, связанном с интернет-играми», отметив, что молодые мужчины особенно подвержены этому. Симптомы включали «плохую успеваемость в школе, на работе или выполнение домашних обязанностей» и «ухудшение личной гигиены».

Для других же игры предлагали завораживающие альтернативные миры, полные смысла, испытаний и возможностей. *World of Warcraft*, возможно, и вызывал привыкание, но благодаря ему геймеры заводили друзей по всему миру. Примерно четверть геймеров играли по два часа в день или больше. Nvidia называла их «энтузиастами», и они были лучшими покупателями. Многие начинали играть на Nintendo в детстве, а затем перешли на ПК во взрослом возрасте. В абсолютном выражении рынок ПК имел меньше покупателей, чем рынок консолей, но эти покупатели тратили на свои системы гораздо больше. В перерывах между игровыми сессиями некоторым даже удавалось найти работу.

Благодаря поддержке Nvidia, игровой ПК стал для бородачей тем же, чем маслкар для автолюбителей. Собранные на заказ игровые компьютеры, называемые «ригами», можно было оснастить оборудованием на тысячи долларов. Продавцы предлагали прозрачные корпуса компьютеров с цветной внутренней подсветкой, чтобы продемонстрировать



аппаратную часть. Подобно тому, как автолюбители открывали капоты своих машин, чтобы прорекламировать свои двигатели, энтузиасты публиковали фотографии своих «ригов» на онлайн-форумах, хвастаясь разогнанными материнскими платами и скоростью рендеринга своих видеокарт.

По мере развития игрового рынка цена акций Nvidia восстановилась. Фактически, даже когда акции падали, Nvidia никогда не переставала расти. К началу 2004 года в компании работало более тысячи сотрудников, и она сообщала о рекордной прибыли. Так началась хроническая борьба среди аналитиков Уолл-стрит за определение приблизительной стоимости Nvidia. Немногие компании доставляли столько головной боли управляющим активами: анализ показателей предыдущих лет был малополезен, потому что любые деньги, заработанные Хуангом, Nvidia немедленно реинвестировала в спекулятивные технологии, которые либо должны были произвести революцию в вычислительной технике, либо потерпеть неудачу. К середине 2000-х годов его послужной список выглядел немного хуже, чем безубыточность: он добился успеха с графическими процессорами и параллельной обработкой, но провалил ряд других инициатив, в результате чего корпорация, которая была успешна на бумаге, но чьи акции хронически отставали от рынка. В Nvidia важны были не прибыль или выручка. Важен был одержимый генеральный директор и его безумные рискованные ставки. Либо вы в него верили, либо нет. А если нет, то вас определённо ждёт непростая задача, ведь Хуан собирался сделать свою самую безумную ставку.

Позже Комиссия по ценным бумагам и биржам (SEC) предъявила Хоберг обвинение в мошенничестве, обвинив ее в сокрытии от корпоративных аудиторов незарегистрированных расходов на сумму 3 миллиона долларов. Хоберг заплатила штраф в размере 600 000 долларов, но не признала своей вины.

## ДРУГОЙ

Геймеры, такие как Джонатан Вендел, снижали разрешение экрана, чтобы максимизировать частоту кадров в режиме Deathmatch. Иэн Бак пошел в противоположную крайность — он хотел максимально увеличить масштаб происходящего. Бак, аспирант по компьютерной графике в Стэнфорде, понял, что, обладая небольшими техническими знаниями, он может распределить требования к рендерингу для одной игры между несколькими видеокартами Nvidia. В 2000 году он объединил тридцать две видеокарты GeForce для рендеринга *Quake III* на восьми проекторах. «Это была первая игровая система с разрешением 8К, и она занимала целую стену», — сказал Бак. «Это было великолепно».

Копаясь в схемах, Бак начал задумываться, может ли его цепочка графических процессоров быть полезна для задач, отличных от стрельбы гранатами по друзьям. Если бы вы захотели вручную отрендерить тридцать кадров *Quake III* в разрешении 8К, используя карандаш и бумагу, и были бы готовы работать для этого 24 часа в сутки, то на выполнение этих вычислений ушло бы около шестнадцати тысяч лет. Массив GeForce Бака делал это каждую секунду. Кроме того, вся установка обошлась всего примерно в 20 000 долларов —

сущие копейки по меркам высокопроизводительных вычислений. Чтобы играть в *Quake* на стене, Бак непреднамеренно собрал недорогой суперкомпьютер.

Бак полагал, что эта доступная по цене вычислительная мощность будет полезна науке и промышленности, но код, который Nvidia поставляла вместе с видеокартами, говорил только на языке треугольников. Если Бак хотел использовать свой массив графических процессоров для каких-либо других целей, ему приходилось его взламывать. Он погрузился в учебник Nvidia по шейдингу — тот самый, с феей на обложке, — став одним из первых программистов, освоивших его. По иронии судьбы, при этом он потерял интерес к компьютерной графике. Его, подобно *Трону*, затянуло в технологический подтекст.

Бак был сосредоточенным, лысеющим и излучал интеллект. Чем ближе он подходил к микросхемам, тем больше его захватывали их возможности. Подобно опытному астроному, отложившему телескоп, чтобы созерцать необъятность Вселенной, Бак постоянно поражался тому, сколько арифметических операций может выполнить компьютер. Шестидесят гигафлопс — шестьдесят миллиардов операций — каждую секунду, и это всего лишь одна плата. Сколько бы Бак ни занимался низкоуровневым взломом микросхем, чувство благоговения никогда его не покидало.

Получив грант от DARPA, исследовательского подразделения Министерства обороны, Бак собрал группу исследователей. В 2003 году Бак и его команда выпустили язык программирования с открытым исходным кодом под названием «Brook». Используя Brook, ученые могли внедрять сложные математические вычисления — например, моделирование формирования галактики или процесса воспламенения ядерной бомбы — в оборудование, предназначенное для рендеринга угонных автомобилей и расчленений. Графический вывод программы Brook представлял собой бессмысленную последовательность треугольников, но при рендеринге этих изображений графический процессор по совпадению выполнял важные научные вычисления на высокой скорости. «Чтобы взломать эти треугольники, нужно было действительно разбираться в компьютерной графике», — сказал Бак.

Брук сделал параллельные вычисления доступными. Ученые начали массово закупать видеокарты GeForce и объединять их в цепочки, разрабатывая приложения в области финансового моделирования, моделирования погоды, физики высоких энергий и медицинской визуализации. Игровые видеокарты стали чем-то большим, чем просто игровыми картами; это были самодельные научные инструменты. Появление этого нового типа клиентов не ускользнуло от внимания Хуанга. «Я опубликовал множество статей, и все меня очень поддерживали», — сказал Бак. «А затем, примерно в 2004 году, Дженсен предложил мне перейти в Nvidia и заняться этим всерьез».

• • •

Опыт Бака отражал опыт многих исследователей, устроившихся на работу в Nvidia. В 2005 году компания Silicon Graphics, не сумев конкурировать с линейкой Quadro от Nvidia, была исключена из списка Нью-Йоркской фондовой биржи. (Ее штаб-квартира стала называться Googleplex.) Как и в случае с 3dfx, Nvidia приняла на работу многих сотрудников SGI, увеличив штат вдвое, до 2000 человек. Из них 1200 — 60 процентов компании — были отнесены к категории сотрудников, работающих в сфере исследований и разработок. Для

посторонних Nvidia по-прежнему выглядела как несколько нелепый производитель игрового оборудования, но для тех, кто работал внутри компании, она начинала восприниматься как научная лаборатория.

Билл Дэйли, заведующий кафедрой компьютерных наук Стэнфордского университета и давний сторонник параллельных вычислений, с восторгом наблюдал за растущей «арифметической интенсивностью» чипов Nvidia, которые, по его мнению, могли бы стать основой для совершенно нового типа компьютеров. Он написал несколько статей, восхваляющих инновации компании, и в 2003 году Хуанг заглянул в его университетский кабинет, чтобы предложить ему работу консультанта. Дэйли годами представлял концепции параллельных вычислений равнодушным руководителям; теперь Хуанг сам обратился к нему. «Он технически понимает вещи на чрезвычайно глубоком уровне и всегда задает правильные вопросы, — сказал Дэйли. — Иногда он даже на шаг впереди вас, и вы думаете, что являетесь экспертом в чем-то».

Но Дэйли также скептически относился к Хуангу. Он слышал истории о его эмоциональной нестабильности и о неблагоприятной рабочей атмосфере в Nvidia. Хуанг, возможно, предвидя эти возражения, на первой встрече предъявил подписанный бумажный чек, выписанный на имя Дэйли. Дэйли, один из ведущих мировых ученых, согласился консультировать.

Бак, Дэйли и десятки других талантливых инженеров были привлечены к секретному проекту Nvidia под названием Compute Unified Domain Architecture, или CUDA. (Название было намеренно неточным.) Концепция CUDA заключалась в том, чтобы взять схемы параллельных вычислений, используемые в видеоиграх, и перепрофилировать их для ученых. Больше не нужно было возиться с треугольниками, чтобы получить эти драгоценные гигафлопсы — архитектура становилась открытой. «В основном, «Представьте себе CUDA так: с одной стороны у вас видеокарта, но с другой — переключатель, — сказал Дуайт Диркс. — Вы переключаете этот переключатель, переворачиваете карту, и внезапно она превращается в суперкомпьютер».

...

Изобретателем CUDA был Джон Никколс, инженер Nvidia, ранее ставший соучредителем одного из стартапов в области параллельных вычислений, чьи компании, казалось, были закрыты. Никколс был опытным горнолыжником и энтузиастом моделей поездов, а его офис был украшен фотографиями микросхем в рамках. Он страстно желал ускорить работу компьютеров: в своей «массово параллельной» корпорации MasPar он пытался внедрить график работы TSMC 996, требуя от сотрудников работать по двенадцать часов в смену шесть дней в неделю. Даже после краха его компании Никколс не отказался от параллелизма, веря, что в конечном итоге он восторжествует благодаря законам физики.

На протяжении десятилетий миниатюризация электроники определялась инженерным принципом, называемым «масштабированием Деннарда». Масштабирование Деннарда диктовало, что транзисторы будут продолжать эффективно обрабатывать электричество по мере уменьшения их размеров — по сути, именно поэтому компьютеры становились быстрее с каждым годом. Но Никколс подсчитал, что примерно в 2005 году соотношение

масштабирования Деннарда рухнет. Следующее поколение светопечатающих машин будет создавать транзисторы шириной всего в сто атомов. Это в шесть тысяч раз тоньше человеческого волоса и в семьсот раз тоньше эритроцита. При таком малом масштабе проводящие свойства транзисторов будут нарушены, и они начнут пропускать электричество в окружающую схему. Как только это произойдет, компьютеры начнут замедляться.

Никколс понимал, что отрасль отрицает эту проблему — особенно Intel, которая уверенно предсказывала линейный рост производительности за счет уменьшения размеров транзисторов до компонентов толщиной в один атом. Никколс считал это было невозможно, и в начале 2003 года он отправил Хуангу письмо без его запроса, в котором изложил свои еретические мысли. Никколс не паниковал и не преувеличивал. Напротив, с точным, но взвешенным чувством неотложности он объяснил, используя принципы электричества, почему долгое доминирование Intel в полупроводниковой промышленности вот-вот закончится. «Мы все это предвидели уже давно, но именно Никколс убедил меня, что закон Мура действительно мертв», — сказал Хуанг. «Он заслуживает огромной похвалы за то, чего достигла эта компания».

Хуанг нанял Никколса и поручил ему пилотный проект по разработке научных приложений для GeForce. Даже в Nvidia Никколс считался очень целеустремлённым. Через две недели после первого рабочего дня у него диагностировали злокачественную меланому. Он продолжал работать по семьдесят два часа в неделю, проходя лечение от рака, скрывая от семьи и коллег испытываемый дискомфорт. Вскоре меланома у Никколса перешла в стадию ремиссии, и были запущены первые версии платформы CUDA.

Никколс совершенно не интересовался видеоиграми. Его даже не волновала компьютерная графика; его интересовало только то, как ускорить работу микрочипов. Однако во всем остальном Никколс был образцовым сотрудником Nvidia. «Мой отец всегда был из тех, кто кричит», — рассказал мне его сын Алек. «Я помню, как подслушивал, как отец проводил совещания по телефону и кричал на людей. Не в токсичном смысле, а просто, типа, убедитесь, что вы знаете, что делаете. Убедитесь, что вы продуктивны».

В личной жизни Никколс был таким же требовательным, как и на работе. Он обманом заставил сына кататься с ним на лыжах по сложным трассам, а в клубе любителей моделей поездов предпочитал прокладывать рельсы, а не общаться с людьми. В юности Алек испытывал трудности с выполнением классического упражнения на выживание в скаутском стиле, которое требовало использовать штаны в качестве спасательного жилета. Никколс не отпускал сына из бассейна, пока штаны не наполнялись воздухом.

Никколс был одержим идеей заставить работать платформу CUDA. Друзья иногда спрашивали его, почему он работает в компании, занимающейся видеоиграми, если сам в видеоигры не играет. Никколс отвечал, что работает не над видеоиграми, а над одной из важнейших технологий всех времен. Он создавал платформу настолько быстро, что она превзошла бы все остальные. Компьютер выглядит как калькулятор и часы. «Немногие изобретения окажут такое влияние на мир, какое в конечном итоге окажет CUDA», — говорил он.

Это было скорее выражением веры, чем чем-либо ещё. К концу 2000-х годов компьютеры стали достаточно быстрыми для большинства потребительских задач, и не было очевидных покупателей для того, что разрабатывал Никколс. Предложение CUDA в комплекте с розничной платой было сродни попытке продать минивэн с ракетными санями жителям пригорода. Никколса это не остановило. Он хотел не просто обойти закон Мура; он хотел разбить его навсегда.

Для этого Никколсу пришлось значительно увеличить вычислительную сложность схем. Микрочипы отсчитывали время с помощью бешено работающего внутреннего метронома, который с каждым годом ускорялся. К середине 2000-х годов этот метроном пульсировал сотни миллионов раз в секунду, и тонкая проводка не могла угнаться за ритмом. Параллельные вычисления решили эту проблему не за счет ускорения, а за счет увеличения количества транзисторов, реагирующих на каждый импульс. Процессор Intel запускал всего несколько транзисторов за раз. Игровой графический процессор Nvidia запускал тысячи.

Компания Nvidia столкнулась с трудностями в поиске пользователей, которым действительно была бы необходима такая мощность. «Изначально нашими единственными клиентами были два исследователя рака груди», — вспоминает Диркс. Исследователи, работавшие в Массачусетской больнице общего профиля, написали в Nvidia с предложением модернизировать свои маммографические сканеры. Хуанг привлек больницу к альфа-тестированию CUDA, инвестировав несколько миллионов долларов в пилотный проект, в рамках которого в итоге было продано всего две видеокарты. «Но Дженсену это нравилось, не так ли?» — говорит Диркс.

Маммография стала первым примером того, что Хуан позже назовёт «рынком с нулевым миллиардным оборотом». Хуан давно искал способ выделить Nvidia среди конкурентов. Аппаратные инновации не помогли бы ему в этом; их слишком легко было клонировать. В интернете любители микросхем обменивались «снимками кристаллов» микрочипов Nvidia, полученными путём извлечения чипа из розничной платы, растворения корпуса в кипящей серной кислоте, а затем сканирования схемы металлургическим микроскопом. Энтузиазм энтузиастов был сравним с профессиональными шпионскими усилиями групп реверс-инженеров. Лаборатории производителей микросхем. Технология очистки кремния от примесей была технически запатентована, но опыт 3dfx показал тщетность судебных исков. «Все изучают оборудование конкурентов и то, как оно работает», — сказал Диркс. «Это даже не секретные операции. Мы просто делаем это».

Чтобы выделиться, Хуан должен был разработать стратегию, настолько противоречащую общепринятой бизнес-логике, что АТІ не стала бы ей следовать. Он должен был создать экспериментальный продукт, например, научный суперкомпьютер начального уровня за 300 долларов, который не только не имел бы конкурентов, но и даже не имел бы очевидных клиентов. Рынок с нулевым объемом в миллиард долларов, по определению, был тем, в котором участвовал бы только он — тем, который *видел* бы только он. Хуан собирался построить бейсбольное поле в кукурузном поле и ждать, пока придут игроки.

• • •

Параллельные вычисления разбивают большую задачу на более мелкие части, а затем решают их все одновременно. Для точного объяснения сложности их внутренних механизмов потребовался бы учебник, но некоторые из происходящих процессов можно понять по аналогии.

Для начала рассмотрим работу микросхем. Представьте, что микрочип увеличен до размеров танцпола. Танцпол заполнен тусовщиками, размахивающими светящимися палочками, которые символизируют транзисторы. Мигают огни, бьёт бешеная ритмичная музыка, но большинство танцоров застыли — они могут двигаться только тогда, когда наступает их очередь. Один танцор двигается на первую долю первого такта, другой — на четвертую долю второго такта и так далее. Вы видите, как тут и там размахивают светящимися палочками, но большинство танцоров не танцуют. Они ждут своей очереди.

Диджей-серийник пытался заставить толпу двигаться, ускоряя ритм, но это не приносило желаемого результата. Затем на сцену выходит диджей, работающий параллельно. Вместо ускорения ритма, диджей, работающий параллельно, ставит гораздо более сложные хореографические задачи для танцоров. Это срабатывает: активность нарастает, пол начинает дрожать, и в зале внезапно становится намного жарче — некоторые танцоры настолько активны, что могут перегреться. Теперь тысячи светящихся палочек трясутся с каждым ударом.

Переработка схем таким образом — это изменение «снизу вверх», которое затрагивает всё, что находится выше. В этом и заключается сложность параллельных вычислений — управление сложной логистикой сопряжено с большими трудностями и требует от программистов совершенно нового подхода к решению проблем. Легко подавать инструкции процессорам Intel, которые работают как фургон доставки, доставляя по одной посылке за раз. Грузовик, конечно, медленный, но от программиста требуется совсем немного. Нужно доставить посылку? Бросьте её в кузов фургона!

Параллельная обработка данных с помощью графического процессора Nvidia больше похожа на парк мотоциклов, рассредоточенных по городу. Водители доставляют все посылки примерно в одно и то же время, и весь процесс может быть завершен за полчаса. Но это быстрое параллельное решение гораздо сложнее в реализации; оно требует больше водителей, больше машин и больше логистики. Здесь, когда мотоциклисты постоянно въезжают и выезжают со склада, каждая посылка должна быть назначена правильному транспортному средству и точно направлена к месту назначения.

На протяжении десятилетий программисты предпочитали фургон, но, как и предсказывал Никколс, теперь фургон столкнулся с проблемой электромагнитной физики. Он считал, что как только это произойдет, программисты наконец-то найдут время, чтобы научиться управлять парком мотоциклов. Более того, их заставят *этому* научиться. У них не будет выбора.

Тем не менее, Nvidia ориентировалась не столько на программистов, сколько на посредников. Настоящими клиентами, если таковые когда-нибудь появятся, станут врачи, астрономы, геологи и другие ученые — высокообразованные специалисты в академической среде, обладающие навыками в определенных областях, но, возможно, совершенно не

умеющие программировать. Именно эти конечные пользователи в конечном итоге будут направлять деньги на CUDA, и для них требовалась еще более мягкая метафора.

Для учёных лучший способ понять разницу между последовательными и параллельными вычислениями — это представить последовательный процессор Intel как высококачественный кухонный нож Wüsthof из нержавеющей стали. Этот нож — прекрасный многофункциональный инструмент, способный выполнить любой вид нарезки. Он может нарезать соломкой, брусочками, рубить, шинковать, измельчать или рубить. При наличии определённого мастерства повар может приготовить целое блюдо, используя всего один этот инструмент, — но нож может нарезать только один овощ за раз.

Для сравнения, параллельный графический процессор Nvidia работает скорее как кухонный комбайн. Это специализированный инструмент, шумный, неаккуратный и энергоёмкий. Он не подойдёт для нарезки эстрагона тонкой соломкой или создания насечек на тушеных кальмарах. Но для быстрой нарезки овощей идеально подойдёт графический процессор.

Так же, как вам было бы сложно приготовить еду, используя только кухонный комбайн Cuisinart и не имея кухонных ножей, вы не сможете запустить компьютер, используя только графический процессор (GPU). Архитектура устройства слишком специфична для этого; всегда необходим центральный процессор (CPU). В этом смысле CPU всегда является основным инструментом, а GPU — дорогостоящим дополнением. И, как и многие кухонные гаджеты, он изначально вызывал насмешки у пуристов.

Но представьте, что однажды повар приходит на работу и обнаруживает, что к погрузочной площадке подъехал грузовик, полный свежих овощей. У повара больше нет времени на тонкое измельчение; ей нужно нарезать эти сотни килограммов овощей, прежде чем они испортятся. В *таком* случае ей может пригодиться кухонный комбайн Cuisinart. Более того, ей может понадобиться несколько десятков или даже сотен таких комбайнов, работающих одновременно.

Грузовик с овощами в этой аналогии представляет собой большие данные. В середине 2000-х годов на научной площадке накапливались массивы данных, которые были экспоненциально больше всего, что существовало до этого: астрономические данные, данные геоинженерии, медицинские данные, правительственные данные, финансовые данные и обширный, постоянно расширяющийся массив данных, созданный людьми, — Всемирная паутина. Раньше учёный мог считать себя счастливым, получая один ящик овощей раз в две недели. К середине 2000-х годов учёный мог рассчитывать на доставку нескольких контейнеров овощей ежедневно.

Классические кухонные ножи Intel просто не справлялись с задачей — требовалось вращающееся лезвие с механическим приводом. Ладно, нарезка не всегда получалась идеальной. Ну и что? В любом случае, через несколько минут должен был приехать другой грузовик. Графический процессор был своего рода кухонным комбайном для обработки данных. Это была машина, которая обрабатывала данные, превращая их в грубо обработанные кубики.

...

Под руководством Николлса разработчики Nvidia начали разделять свои микрочипы на «ядра CUDA», представлявшие собой массивы схем, способные одновременно выполнять одну и ту же инструкцию параллельно на нескольких устройствах группировки данных. Арджун Прабху, директор по разработке аппаратного обеспечения Nvidia, сравнил проектирование нового микрочипа с городским планированием, где разные зоны чипа предназначены для разных задач. Подобно игрокам в Тетрис с падающими блоками, Прабху иногда видел транзисторы во сне. «Лучшие идеи приходят ко мне в пятницу вечером, когда я буквально вижу их во сне», — сказал Прабху.

Решение о выпуске чипов двойного назначения вызвало споры внутри Nvidia, поскольку это повысило себестоимость производства GeForce по сравнению с Radeon, что внутри компании называлось «налогом CUDA». Хуанг рассчитывал, что его клиенты-геймеры, очарованные *Half-Life 2*, не заметят, что они субсидируют рискованное и, возможно, бессмысленное побочное приключение в загадочной области высокопроизводительных вычислений. «Многие идеи, использованные в ядрах CUDA, применялись задолго до этого в суперкомпьютерах и специализированных процессорах, но они были слишком дороги для небольших специализированных рынков, которые они обслуживали», — вспоминал Бретт Кун, один из первых инженеров CUDA. «На мой взгляд, „гениальность“ CUDA заключается в том, чтобы заставить геймеров платить за огромные затраты на разработку чипов».

Поверх схем Прабху должно было работать несколько уровней программного обеспечения. Первый — это уровень машинного кода, который разбивал сложные математические формулы на простые арифметические операции. Большая часть работы Иэна Бака проходила именно здесь, когда он разрабатывал идеи, начиная с печатной платы. Это были катакомбы вычислительной техники, самый низкоуровневый код, который можно было написать, напрямую взаимодействующий с аппаратной частью. Многие программисты находили этот уровень утомительным, но Бак любил его — позже он получил патенты на несколько методов на уровне ассемблера. «Это то место, где начинается самое интересное», — говорил он.

Бак нанял команду специалистов по численным методам, многие из которых были выпускниками Московского государственного университета. («Знаете, много Петров, много Борисов», — сказал Бак.) Работая с русскими, Бак взял сложные математические структуры, которые нравились ученым — дифференциальные уравнения, многомерные матрицы и тому подобное — и переписал их в виде простых уравнений, состоящих только из сложения, вычитания, умножения и деления. Параллельное выполнение этих элементарных операций над множеством наборов данных одновременно требовало необычайного таланта к целостному мышлению. «Люди мыслят линейно», — сказал Бак. «Вы даете инструкции». Вы объясняете кому-то, как добраться отсюда до Starbucks, и даёте конкретные пошаговые инструкции. Вы не указываете, как добраться до любого из филиалов Starbucks из любого места. Просто сложно мыслить таким образом, параллельно».



Над слоем Бака располагался «компилятор», который переводил языки программирования, такие как C++ и Python, в машинный код. Бас Аартс, голландский разработчик, написавший первый компилятор CUDA, был столь же одержим. Он мог неделями погружаться в свои мысли, пренебрегая друзьями, отношениями и хобби, чтобы представить, как компьютер может интерпретировать информацию. «Некоторые люди в моей жизни считают меня довольно одномерным, — сказал он. — Но это... это элегантно! Это сложно. Это бросает вызов. А если мне не бросают вызов, мне становится скучно».

Бизнес-стратегия CUDA была ориентирована на долгосрочную перспективу. Хуанг призвал Никколса тесно сотрудничать с научными клиентами — очень тесно и не отпускать их. Прирост производительности от CUDA должен был быть настолько значительным и очевидным, чтобы клиенты добровольно создавали на основе этой платформы целые новые академические дисциплины. «После этого вам уже никогда не захочется уходить», — сказал Аартс. «Это зависимость от поставщика. Выхода нет».

Таким образом, Nvidia создала то, что разработчики программного обеспечения называли «стеком CUDA». Внизу находились схемы, выше — машинный код, управляющий электронами, ещё выше — компилятор, осуществляющий перевод с машинного языка на человеческий, а наверху — программное обеспечение, предназначенное для учёных. Стек превращал идеи в электричество, а электричество — в результаты.

• • •

CUDA была публично запущена в конце 2006 года. Программный пакет был бесплатным, хотя работал только на оборудовании Nvidia. В 2007 году его скачали всего тринадцать тысяч раз — за первый полный год ни одна сотая процента из сотен миллионов владельцев GeForce не удосужилась переключить свои игровые приставки, чтобы превратить их в суперкомпьютер. Скептически настроенные инвесторы задавались вопросом, для кого предназначена эта технология. «Уолл-стрит не только не считала CUDA ценной, но и полагала, что она имеет *отрицательную* стоимость», — сказал один из сотрудников, близких к ситуации.

Многим программистам было сложно использовать CUDA. Чтобы максимально эффективно использовать возможности графического процессора, программистам приходилось разбивать большие задачи на сотни более мелких подзадач, называемых «потокami». Затем им нужно было очень тщательно передавать эти потоки ядрам CUDA. Это был непростой процесс со множеством скрытых ловушек. Программистам приходилось управлять несколькими банками памяти, не допуская путаницы; им также нужно было избегать несоответствий во времени, которые могли привести к некорректным результатам. Кривая обучения параллелизму была крутой, и она основывалась на сложных концепциях информатики. Ученые, получившие образование в других областях, таких как физика или медицина, редко обладали необходимыми навыками программирования для работы с CUDA.

Кирк, стремясь повторить успех, достигнутый им с шейдерами, попытался продвигать эту технологию с помощью учебника «*Программирование массово параллельных процессоров*», который он написал в соавторстве с учёным-компьютерщиком Вэнь-Мэй

Хву. Во введении авторы отметили, что архитектура компьютеров не развивалась с тех пор, как венгерский гений Джон фон Нейман в 1945 году представил её основные схемы. «Пользователи компьютеров также привыкли к тому, что эти программы работают быстрее с каждым новым поколением микропроцессоров, — писали они. — С этого дня такое ожидание больше не актуально». Немногие профессора включили учебник в свои занятия. Была ересь, было богохульство, а была и критика Джона фон Неймана.

В промышленности Nvidia стремилась привлечь самых разных клиентов, включая биржевых трейдеров, нефтяников и молекулярных биологов. В какой-то момент компания заключила сделку с General Mills на моделирование тепловых процессов при приготовлении замороженной пиццы Totino's. Но большинство этих сделок сошли на нет через пару кварталов — поварам, готовящим пиццу, требовалась лишь ограниченная вычислительная мощность.

Высокие затраты на исследования и разработки CUDA негативно сказывались на финансовых результатах Nvidia, но CUDA обходилась дорого и в более тонких аспектах. Проект вызвал внутренние разногласия в Nvidia — Никколсу приходилось бороться за ресурсы, иногда с применением силы. «Было гораздо проще убедить разработчиков оборудования в важности повышения производительности в *Unreal* или *Doom*, чем, скажем, в матричных умножениях или быстрых преобразованиях Фурье», — вспоминал Кун. Тем временем, всё ещё проблемная кодовая база разрасталась в сложности: полный Программный пакет GeForce вскоре превысит сто миллионов строк кода, что сделает его сложнее, чем некоторые операционные системы Windows.

Пожалуй, самой большой скрытой проблемой стало то, что CUDA отвлекла Хуанга от обслуживания его основного клиента. Слухи о производственных проблемах Nvidia впервые появились в конце 2006 года, когда геймеры жаловались на графические процессоры в ноутбуках, которые переставали работать через несколько недель использования. К тому времени, когда проблема была признана, игровые форумы стали охвачены конспирологическими теориями, и пользователи обвиняли Nvidia в неправильном креплении своих чипов к паяльным «выступам» на печатной плате. Начался «Бампгейт»: геймеры перешли к конкурентам, и акции Nvidia снова резко упали, потеряв почти 90 процентов своей стоимости во второй раз за шесть лет. Члены совета директоров, изучавшие график акций на терминале Bloomberg, сравнили его с ЭКГ сердечного приступа.

Восторженные поклонники Radeon — все они, по сути, ненавистники — набросились на Хуанга, обвиняя его в организации сокрытия правды. «Nvidia терпит крах, мы же вам говорили», — написал один из них. В начале 2009 года Dell отказалась от Nvidia в качестве предпочтительного поставщика для своей популярной линейки игровых ноутбуков. «Долгое время мы задавались вопросом, когда же у вопиющей глупости Nvidia появится цена», — написал один язвительный технический обозреватель. «Ответ, по крайней мере в Dell, — сейчас».

Хуан, стремясь опередить скандал с Bumpgate, выделил 200 миллионов долларов на возмещение средств клиентам. Этот резерв обнулил прибыль Nvidia за год, и впервые с момента выхода на биржу компания понесла убытки. Хуан организовал сессию вопросов и

ответов с прессой, чтобы объяснить ситуацию. Он появился в очках, черных джинсах и свободной серой спортивной футболке, которая подчеркивала удивительную рельефность его верхней части тела — результат его многолетних упорных тренировок с отжиманиями. «Я просто не хочу, чтобы потребители сопротивлялись этому процессу», — сказал он спокойным и терпеливым голосом. «Это немного запутанно, потому что конкуренты хотят все это всколыхнуть, но на самом деле все не так уж сложно». Только опытные наблюдатели за Дженсеном могли уловить гнев, скрывающийся под его словами.

Компания Nvidia регулярно проводила выездные совещания для обсуждения корпоративной стратегии. В целях экономии средств после скандала Vampgate, в 2008 году выездное совещание было перенесено в корпоративную столовую. «Это был самый громкий крик, который я когда-либо слышал от него», — сказал Самир Халепете, один из ведущих инженеров Хуанга по аппаратному обеспечению. Объектом гнева Дженсена стал... Это был необычайно опытный и преданный своему делу архитектор микросхем, проработавший в компании много лет. Архитектор стоял в одном углу кафетерия, Хуан — в противоположном. Вдоль стен молча наблюдали за этой мучительной сценой около 150 руководителей высшего звена компании. «Я до сих пор отчетливо помню, как Дженсен без остановки отчитывал его в течение полутора часов, — сказал Халепете. — Честно говоря, может быть, два часа — он был просто *в ярости* ».

Тем не менее, архитектор сохранил свою работу. «Дженсен очень редко вносит существенные изменения из-за проблем с исполнением», — сказал Халепете. «Он прекрасно понимает, что даже небольшое сдерживающее воздействие может снизить готовность людей рисковать и внедрять инновации. В результате, он чрезвычайно снисходителен даже к самым большим ошибкам». Халепете предположил, что тирады Дженсена были тем, что он делал *вместо* того, чтобы выпроводить вас. «Он будет ругать вас, он будет кричать на вас, он будет оскорблять вас — что угодно», — сказал Халепете. «Он никогда вас не уволит».

...

Чтобы восстановить доверие, Хуан обратился к Деб Шоквист, которая управляла глобальной сетью поставщиков Nvidia. В сферу её ответственности входили посылки из Гвадалахары в Ханой и Бангалор; её задачей было обеспечение своевременной и достаточной поставки компонентов компании. Эта работа требовала немалого количества криков по телефону, и Шоквист, разговорчивая и экспрессивная, не из тех, кто отступает перед конфронтацией. Вскоре после прихода в Nvidia в 2007 году Хуан попросил её сократить сроки поставки от тайваньского поставщика упаковки, работающего с TSMC. Шоквист сочла это невозможным; Тайвань славился своей эффективностью, и она сомневалась, что в этом процессе можно что-то изменить. Они начали спорить о разнице между сроками поставки и циклами, пока Шоквист прямо не возразила Хуану: «Вы не понимаете, как это работает».

Спор разгорелся за конференционным столом, где руководители сидели с открытыми ноутбуками. В тот момент, когда Шоквист сказала Хуану, что не понимает, ее почтовый ящик заполнился сообщениями от коллег. «Стоп!» — гласило одно из них. «Стоп, не надо. Попробуй его выслушать». Но было уже поздно. Хуан набросилась на Шоквист, крича, что

та не умеет делать свою работу.«Я думал, ты специалист по операциям. Ты не специалист по операциям!» — крикнул он. «Ты ничего не понимаешь в операциях!»

Ярость Хуан разделяла и Шоквист. Она занималась этим двадцать лет — кто этот человек, чтобы говорить ей, что она не специалист по операциям? Она и *была* специалистом по операциям. Разъяренная Шоквист сказала Хуан, что полетит на Тайвань и получит статистику непосредственно от поставщика, чтобы доказать свою правоту. Поставщик был рад ее принять: упаковочный цех не отличался роскошью, и клиенты почти никогда его не посещали. В течение недели Шоквист ознакомилась с экономикой этого поставщика, занимающегося обработкой продукции.

На упаковочном предприятии «время выполнения заказа» между получением и отправкой составляло три недели. Но, к удивлению Шоквиста, «время цикла» — общее количество человеко-часов, затраченных поставщиком на размещение микрочипов Nvidia в черном корпусе, — составляло всего тридцать шесть часов. Поставщик объяснил, что теоретически, по крайней мере, можно сократить время выполнения заказа до времени цикла, хотя это увеличит стоимость упаковки каждого чипа с 8 до 1000 долларов. Хуанг был прав: сократить время выполнения заказа возможно. Дорого, но возможно.

Пристыженная, Шоквист вернулась в Nvidia с графиком затрат на ускоренную упаковку заказов. Она дождалась, пока они останутся наедине, чтобы представить свои выводы Хуангу. («Я не хотела устраивать ему аудиенцию», — сказала Шоквист.) Она готовилась к его ярости, но её не последовало. Вместо этого он сказал: «Это правильный ответ». Шоквист разработала аналогичные графики затрат для всех сотен поставщиков, входящих в производственную сеть Nvidia. Затем она начала сокращать цикл производства Nvidia с месяцев до недель, в конечном итоге установив рекорд в тринадцать дней.

Продвигая Шоквиста, Хуан использовал метод планирования, который он называл «скоростью света». Он вбивал эту концепцию управления в своих сотрудников с пылом религиозного учения — почти каждый сотрудник Nvidia, с которым я разговаривал, хотя бы раз упоминал «скорость света». «Скорость света» не означала, как можно было бы предположить, быстрое движение. Вместо этого Хуан призывал менеджеров определять абсолютно быструю скорость, с которой что-либо может быть выполнено, при неограниченном бюджете и при условии, что всё идёт как надо. (Например, путешествие из Нью-Йорка в Лондон) «Скорость света» подразумевает идеальную погоду, отсутствие пробок и сверхзвуковой самолет. Затем менеджеры могли бы, исходя из этой недостижимой константы, рассчитывать реалистичные, но все же впечатляющие сроки доставки. «Звучит сложно, но это действительно снимает напряжение», — сказал мне Шоквист. «Как только вы поймете физические пределы возможного, вы поймете, что конкуренты тоже не могут двигаться быстрее».

Хуан стремился к этому недостижимому идеалу каждый день своей жизни. «Я должен убедиться, что достаточно устал от работы, чтобы никто не мог помешать мне спать по ночам», — говорил он позже. «Это единственное, что я могу контролировать». Он поддерживал такой темп десятилетиями, но другие выгорели. Устав от поездок на работу, Дэвид Кирк в 2007 году решил, что с него хватит работы на полный рабочий день. Продав часть акций, которые Хуан подарил ему в 1990-х годах, он переехал в Теллурайд, штат

Колорадо, а затем на Гавайи, продолжив работать в Nvidia так же, как и начинал, — в качестве консультанта на неполный рабочий день.

На момент своего ухода Кирк возглавлял Nvidia Research, группу из тридцати ученых, работавших над передовыми графическими технологиями. Хуанг считал, что для использования растущей мощности CUDA необходимы более амбициозные задачи, и поручил Кирку найти себе замену. Человек, с которым вернулся Кирк, жил со скоростью света. Вскоре он превратил Nvidia Research в самое успешное корпоративное научно-исследовательское подразделение в мире.

С технической точки зрения, теория масштабирования Деннарда утверждает, что по мере уменьшения размеров транзисторов их удельная мощность остается постоянной. Впервые она была предложена в 1974 году Робертом Деннардом и его коллегами из IBM.

## Резонанс

Когда Билл Дэйли не управлял своим самолётом, не подавал заявки на патенты и не изобретал компьютер заново, он катался на велосипеде до изнеможения, или греб на озере Тахо, или участвовал в горнолыжных гонках, или совершал безостановочные плавания из Гренады в Антигуа. Темпы изобретательства Дэйли заставляли Кирка и Николлса выглядеть ленивыми: он был автором 250 технических статей и 4 учебников, а также имел 120 патентов, охватывающих широкий спектр областей вычислительной техники, от сложных схемных архитектур до микросхем, управляющих блоком питания. Лысый, подтянутый, быстро говорящий и, очевидно, гениальный, Дэйли говорил с бескомпромиссной академической точностью, когда обсуждал компьютеры, и прямолинейным, деловым тоном, когда обсуждал что-либо ещё. Казалось, не было ни одной области вычислительной техники, которую бы он не понимал, и не было ни одного момента в его жизни, который не был бы оптимизирован либо для технических достижений, либо для приключений.

Дэйли бросил школу, потому что не хотел сидеть на уроках истории. Работая автомехаником, он сумел поступить в колледж благодаря своим результатам тестов. Он так и не получил аттестат о среднем образовании, но получил степень бакалавра в Вирджинском политехническом институте, степень магистра в Стэнфорде и докторскую степень в Калифорнийском технологическом институте. К тридцати годам Дэйли стал штатным профессором в Массачусетском технологическом институте.

Дэйли любил собирать собственные компьютеры. Он также любил летать на собственном самолете. В пасмурный сентябрьский день 1992 года он отправился на своем одномоторном «Сессне» в Нью-Йорк через пролив Лонг-Айленд. На крейсерской высоте около шести тысяч футов он заметил, что загорелся индикатор уровня масла. Он направил самолет к ближайшему аэропорту, но через несколько минут двигатель заглох, после чего раздался звук, который он описал как «множество мячей, плещущихся в нефтяной бочке». Дэйли перевел «Сессну» в режим планирования, а затем приготовился к аварийной посадке в проливе.

Когда самолет ударился о воду, тело Дэйли отбросило вперед, и он сломал нос о штурвал. Оглушенный и истекающий кровью, у него было около двадцати секунд, чтобы выбраться, прежде чем самолет затонул. За это время он смог разбить окно кабины и выбраться в океанскую волну, держась за подушку сиденья как за спасательный круг. В конце концов его спасла проплывающая мимо парусная лодка. «Позже я запрограммировал это событие в симуляторе», — буднично сказал мне Дэйли, словно описывая отправленное им письмо. «После десяти попыток, в которых я оказывался в воде, у меня получился симулятор, в котором мне удалось приземлиться в аэропорту Гротон-Нью-Лондон».

После авиакатастрофы Дэйли вернулся к работе через пару дней. Его команда в Массачусетском технологическом институте создавала экспериментальный параллельный компьютер, известный как «машина Желейных Бобов». «Желейные Бобы» были переосмыслением Дэйли того, как могли бы работать информационные технологии, и почти каждая его часть — микропроцессоры, печатные платы, сетевое оборудование и приложения — были разработаны Дэйли и его командой с нуля. Это устройство было высотой с человека, а некоторые его части были скреплены скотчем.

Тесты производительности показали, что Jellybean работает намного быстрее обычного компьютера, но Дэйли так и не смог найти коммерческого партнера для его производства. Существующие компьютеры были достаточно быстрыми для большинства задач, и, похоже, рынка для параллельного устройства не было. Поэтому, когда ему было сорок лет, Дэйли покинул Массачусетский технологический институт и перешел в Стэнфорд; бывший школьный простак теперь возглавлял самый престижный в мире факультет компьютерных наук.

Дэйли начал консультировать Nvidia после визита Йенсена в 2003 году, но когда Кирк предложил ему постоянную работу в 2009 году, Дэйли первоначально ему было отказано. Nvidia понесла убытки в 2009 и 2010 финансовых годах, и акции компании находились в упадке. В список самых инновационных компаний мира по версии *Fast Company* за 2010 год Nvidia не вошла, как и в список *Businessweek*. Переход из Стэнфорда в Nvidia выглядел как равноценный перевод или даже понижение в должности. Intel, в десять раз превосходящая Nvidia по размерам, обещала инвесторам, что существуют способы обойти проблему «протекающих» транзисторов; в ходе неоднократных телефонных конференций руководители Intel настаивали на том, что закон Мура не умер.

Примерно в то время, когда Хуанг пытался нанять Дэйли, Intel сделала ему более выгодное предложение. Дэйли некоторое время обдумывал его, но в конечном итоге решил присоединиться к убыточной Nvidia. Он официально принял должность главного научного сотрудника Nvidia в январе 2009 года, как раз когда акции упали до однозначных чисел. Джим Пламмер, декан инженерной школы Стэнфорда и член совета директоров Intel, усомнился в здравомыслии Дэйли. «Билл, ты сумасшедший», — сказал Пламмер. «Intel разгромит Nvidia». Дэйли это не остановило. «Дженсен — один из тех людей, которые являются прирожденными лидерами», — сказал Дэйли. «За ним хочется следовать, куда бы он ни пошел».

• • •

Дэйли преобразовал исследовательский центр Nvidia, увеличив его штат до более чем трехсот человек. Главное преимущество Nvidia заключалось в том, что со временем компания будет предоставлять экспоненциально большую вычислительную мощность на каждый потраченный доллар. Дэйли выбирал исследовательские проекты, которые пересекались бы с этим ростом, и его портфель со временем включал в себя робототехнику, автомобилестроение, климатическое моделирование и биохимию. В академической среде у Дэйли было неограниченное время для реализации своих эксцентричных увлечений. В Nvidia он был связан ритмом шестимесячного цикла выпуска графических процессоров, но, к своему удивлению, ему это понравилось. «Бюрократии стало намного меньше, потому что все в компании — их средства к существованию, их работа и их семьи — зависят от того, что этот графический процессор будет выпущен вовремя», — сказал он.

Дэйли считал, что Nvidia могла бы активнее взаимодействовать с академическими клиентами. Через несколько месяцев после его прихода в компанию Nvidia организовала первую ежегодную «Конференцию по технологиям графических процессоров» (GTC). Конференция состоялась в 2009 году в отеле Fairmont в центре Сан-Хосе. Хуанг, который много лет занимался...Он выглядел так, будто большую часть своего гардероба купил на деньги из Kohl's Cash, словно находился в процессе преображения. Он появился в обтягивающей черной рубашке, синих джинсах-клеш и черных туфлях с серебряными пряжками. Хуан, прирожденный артист, управлял толпой с отточенной легкостью сценического гипнотизера. «Добро пожаловать на Вудсток высокопроизводительных вычислений», — сказал он.

Хуанг любил зрелища. Однажды он попросил Адама Сэвиджа и Джейми Хайнемана, ведущих программы *«Разрушители мифов»*, продемонстрировать разницу между последовательными и параллельными вычислениями. Их демонстрация включала два устройства, предназначенных для стрельбы пейнтбольными шариками по холсту. Первое представляло собой дистанционно управляемого робота, который стрелял по одному пейнтбольному шарiku за раз, создавая грубое улыбающееся лицо примерно за минуту. Второе — это стационарная установка пушек, которая выпускала 1100 пейнтбольных шариков одновременно, создавая пикселизованную версию Моны *Лизы* за доли секунды. Публика была в восторге — это была именно такая публика.

Конференция GTC работала в аналогичном ключе. В первый вечер конференции состоялся благотворительный маскарадный бал для местной начальной школы. (Очарование мероприятия несколько снизилось из-за присутствующих, в основном мужчин среднего возраста с бейджами на шее.) На следующий день обсуждались такие темы, как квантовая химия, дополненная реальность и моделирование поведения черных дыр. Один из докладов назывался «Раскрытие возможностей компьютерного зрения, вдохновленного биологией: высокопроизводительный подход». Докладчик, профессор Массачусетского технологического института Николас Пинто, собрал множество приложений для распознавания изображений, включая несколько нейронных сетей, и использовал CUDA для их оптимизации под графические процессоры Nvidia. Затем он попросил программы идентифицировать персонажей и объекты в видеороликах, которые он отобрал из коллекции DVD-дисков с сериалом *«Закон и порядок»*. Лучшая из моделей, при

объединении, смогла идентифицировать Джерри Орбаха с точностью почти 90 процентов, даже при первом показе нового видеоролика с Орбахом. В сопроводительной статье к презентации Пинто отметил, что чипсет Nvidia обеспечивает в 1356 раз большую производительность, чем процессор Intel, сопоставимый по цене.

Распознавание изображений было основополагающей задачей для искусственного интеллекта — обучая компьютеры распознаванию изображений, исследователи следовали по эволюционному пути к более сложным возможностям. Примерно во время первой конференции GTC палеонтологи, раскапывавшие скальную стену, в Гренландии обнаружили окаменелость трилобита возрастом пятьсот миллионов лет, нервная ткань которого чудесным образом сохранилась. Это существо, более древнее динозавров, напоминало мечехвоста, с глазными стебельками, выступающими из тела. Если провести пальцем по его окаменевшему зрительному нерву, можно увидеть крошечный скопление клеток, меньше рисового зернышка. Это был самый ранний из когда-либо найденных мозгов.

Ископаемые находки показали, что Пинто был на верном пути — визуальное распознавание привело к взрывному росту биологического интеллекта и вскоре повторит этот процесс с компьютерами. К сожалению, его презентация, одна из десятков, состоявшихся на той неделе, не привлекла особого внимания. Последующие конференции GTC, проведенные в 2010 и 2011 годах, не развили его идеи, и за первые два года после публикации статья Пинто получила всего пятнадцать цитирований. Нейронные сети были заброшенной областью исследований. Как и ископаемые трилобиты, если уж на то пошло. Никого это не интересовало.

• • •

Тем временем CUDA переживала трудности. В конце 2000-х у Джона Никколса снова диагностировали меланому. На этот раз болезнь оказалась смертельной, и в 2011 году он скончался. Дэйли, его приятель по горнолыжному спорту, был опустошен. Хуанг тоже был потрясен — когда я спросил его о Никколсе двенадцать лет спустя, его лицо исказилось от эмоций, и он тут же сменил тему. Даже когда Никколс умирал от рака, он никогда не переставал работать. «Я думаю, что некоторые из его лучших и самых продуктивных лет в Nvidia пришлось на это время», — сказал его сын Алек. Nvidia учредила стипендию в Университете Иллинойса в Урбана-Шампейн в его честь.

До последнего вздоха Никколс настаивал, что CUDA изменит мир, но он увидел лишь проблеск того, чем CUDA станет. Программное обеспечение, превращающее вашу видеокарту в суперкомпьютер, было загружено более трехсот тысяч раз в 2009 году. Затем интерес к нему снижался три года подряд, достигнув минимума в 2012 году, когда было установлено чуть более ста тысяч новых программ. Рынок научных вычислений выглядел насыщенным, и инвесторы начали ворчать, что постоянные инвестиции Nvidia в CUDA не имеют финансового смысла. «Они тратили...» «Они тратили огромные деньги на эту новую архитектуру чипов», — сказал мне Бен Гилберт, соведущий популярного подкаста о Силиконовой долине «*Acquired*». «Они вкладывали многие миллиарды в малоизвестный сегмент академических и научных вычислений, который в то время не был большим рынком — безусловно, меньше тех миллиардов, которые они вкладывали». К 2012 году



ситуация становилась критической. Цена акций Nvidia не росла более десяти лет, и хотя выручка и занятость в компании значительно увеличились, прибыль оставалась на прежнем уровне. Хуанг делал суперкомпьютеры доступными для широких масс, но массы этого не хотели.

В начале 2013 года совет директоров Nvidia получил письмо от инвестора-активиста Starboard Value, который приобрел небольшую долю в компании. Джефф Смит, главный инвестиционный директор Starboard, нацелился на компании с низкими показателями, требуя мест в совете директоров и изменений в стратегии. При возникновении сопротивления он обычно пытался уволить генерального директора. В письме Starboard, хотя формально и выражалось нейтральное отношение к CUDA, мягко ставилось под сомнение целесообразность действий Хуанга. Другие инвестиционные аналитики полагали, что если Nvidia прекратит инвестировать свою прибыль в CUDA и вместо этого вернет ее акционерам, акции Nvidia вырастут в цене. Некоторые также сомневались в пригодности Хуанга для занимаемой им должности.

Смиту было сорок два года, он был молод и энергичен, с кудрявыми волосами и юношеским лицом. Он любил до мельчайших деталей анализировать оперативные решения: однажды ему удалось заменить весь совет директоров Darden Restaurants, состоящий из двенадцати человек, при этом владея менее чем 6% акций компании, на основе плана из 294 слайдов по оздоровлению испытывающей трудности сети ресторанов Olive Garden. Презентация Starboard об Olive Garden стала легендарным документом среди аналитиков фондового рынка, особенно слайд 104, в котором критиковалась стратегия ресторана с хлебными палочками. (Исторически официанты Olive Garden приносили по одной хлебной палочке каждому гостю, плюс одну на стол; затем они пополняли контейнер с палочками по мере необходимости. Но со временем качество обслуживания ухудшилось, и официанты просто начали вываливать кучу хлебных палочек на стол, уменьшая количество еды, которую заказывали клиенты.) На слайде 163 отмечалось, что Olive Garden также перестал солить воду для пасты в ошибочной попытке продлить срок ее хранения. «Как руководство крупнейшей в мире сети итальянских ресторанов может считать допустимым подавать плохо приготовленную пасту?» — спросил Starboard.

Смит умел манипулировать СМИ и использовал прессу в своих интересах. В 2014 году, после того как за три года он добился смены восьмидесяти членов совета директоров в тридцати компаниях, журнал *Fortune* назвал его «самым опасным человеком в корпоративной Америке».

Представление о CUDA как о бездонной яме для денег не было явно ошибочным — Хуан и раньше закрывал нерентабельные направления бизнеса, иногда после многолетней работы над ними. В начале 2000-х Nvidia некоторое время производила чипы «северного моста», которые выступали в качестве контроллера памяти на материнской плате. Однако, после нескольких циклов работы на этом рынке, Хуан понял, что участвует в гонке на выживание с Intel. Он свернул эту инициативу и сообщил сотрудникам, что совершил ошибку. И пока он разрабатывал CUDA, Хуан также инвестировал в рынок графических процессоров для планшетов и мобильных телефонов. (Фактически, в интервью начала 2010-х годов Хуан больше говорит о мобильных телефонах, чем о суперкомпьютерах.) Это

было оправдано — мобильный рынок был огромен — но в 2011 году Nvidia сделала нечто менее логичное, потратив 367 миллионов долларов на покупку Icera, производителя сотовых модемов. Именно это ошибочное приобретение спровоцировало тревожное письмо Starboard: рынок модемов был зрелым и доминировал Qualcomm. Смит и его заместители считали, что с CUDA, видеокартами, мобильными чипами и модемами Nvidia бросила слишком много мячей в воздух. В 2012 году они посетили штаб-квартиру Nvidia, призывая Хуанга сосредоточиться на главном. Встреча прошла в дружеской атмосфере, но подспудная угроза борьбы за контроль над Nvidia сохранялась.

В конце концов, Хуан согласился с точкой зрения Смита и покинул рынок модемов. «Если мы будем сражаться насмерть на рынке мобильных устройств, то мы не будем заниматься чем-то другим, верно?» — сказал Хуан. Хуан уже сражался насмерть раньше и побеждал, но этот опыт оставил глубокий след, и он не хотел повторять это снова. Однако Хуан никогда не рассматривал возможность отказа от CUDA — ведь на этом непопулярном рынке Nvidia была единственным поставщиком.

Среди множества решений, которые Хуан примет в течение своей жизни, в карьере решение сделать ставку на CUDA, несмотря на противодействие Джеффа Смита, было самым рискованным. В отличие от геймеров, клиенты, использующие суперкомпьютеры, были непостоянны и постоянно испытывали нехватку средств. Академические клиенты зависели от непредсказуемых исследовательских грантов. Корпоративные НИОКР подвергались пристальному вниманию со стороны скептически настроенных финансовых директоров. Амбициозные государственные исследовательские программы объявлялись с десятилетними инвестиционными планами, а затем превращались в затяжные бюрократические споры о том, как распределять деньги. Даже другие руководители полупроводниковых компаний, не чуждые риску, считали CUDA неразумной инвестицией. Именно эта ставка сделала Дженсена Дженсеном; именно этот риск выделил его среди других.

При содействии члена совета директоров Джима Гейтера — того самого юриста, которому Хуан когда-то отдал все свои деньги — Хуан организовал кампанию по поиску работы. Крупнейшими акционерами Nvidia были паевые инвестиционные фонды Восточного побережья. Самым важным из них была компания Fidelity, которая управляла более чем триллионом долларов клиентских средств и владела большим количеством акций Nvidia, чем Хуан. Хуан полетел в Бостон на встречу с ними. Встреча прошла неудачно; Fidelity «надрала нам задницу», — сказал Гейтер. Из Бостона Хуан отправился в Нью-Йорк, где встретился с полдюжиной других институциональных инвесторов. Хуан изо всех сил пытался убедить гигантов поддержать CUDA, но его допрашивали скептически настроенные управляющие портфелями. «Было неясно, есть ли путь к настоящему прорыву», — сказал Гейтер.

Хуанг сохранил поддержку совета директоров, большинство членов которого работали с ним с момента основания компании. Но даже здесь появились первые признаки недовольства. «Мы... знаете, мы как будто двигались вбок», — сказал член совета директоров Тенч Кокс. Дон Хадсон, бывший руководитель отдела маркетинга НФЛ, была назначена в совет директоров вскоре после получения письма от Starboard. «У Nvidia не

было хорошей репутации, когда я пришла в компанию, — сказала она. — Это была явно стагнирующая, застойная компания».

...

Дома Хуан страдал от синдрома опустевшего особняка. Его сын, Спенсер, уехал учиться в художественную академию в Чикаго, мечтая стать фотографом; его дочь, Мэдисон, поступила в кулинарную школу в Париже; его любимая собака, Суши, умерла. Он работал без перерыва по восемьдесят часов в сутки. Несколько недель Хуан пропустил большую часть детства Спенсера и Мэдисон. «Честно говоря, Лори выполняла девяносто процентов родительских обязанностей», — сказал он. Обычно Хуан проводил один выходной день в неделю со своими детьми, но даже в это время он часто был чем-то занят. (Хорстманн вспомнил, как посещал с Хуаном парк развлечений, где он неоднократно отправлял своих детей на американские горки, чтобы они могли обсудить технические проблемы.) Хорстманн также заметил, что ни дети Хуана, ни его собственные дети изначально не пошли по техническим специальностям. «Думаю, они пытались вырваться из этой безумной рабочей среды, — сказал он. — Думаю, они посмотрели на нас и сказали: „В жизни должно быть что-то большее, чем это“».

Хуан, огорченный их отсутствием, пытался воссоздать семейную атмосферу во время их частых визитов домой. Он завел еще двух собак и, развивая свои кулинарные навыки, часто проводил время на кухне, где импровизировал, готовя всевозможные вкусные блюда. Однако даже это не всегда приносило облегчение; Хорстманн вспоминал семейное собрание примерно во время перекрестного допроса в Fidelity, когда Хуан испортил сложное блюдо, которое готовил. Стоя на своей кухне стоимостью в миллион долларов, в присутствии дочери, которая училась в Le Cordon Bleu и помогала ему, Хуан взорвался и начал кричать на свое неподходящее оборудование. «Думаю, мы все поняли, что нам нужно уйти с кухни, — сказал Хорстманн. — Просто пришло время Йенсену накричать на свою плиту».

...

В своих выступлениях Хуан упоминал визит в кабинет Тин-Вай Чиу, профессора физики Национального университета Тайваня, как событие, придавшее ему уверенности в этот период. Чиу, стремясь смоделировать эволюцию материи после Большого взрыва, сконструировал самодельный суперкомпьютер в лаборатории, расположенной рядом с его кабинетом. Придя туда, Хуан обнаружил лабораторию, заваленную коробками с GeForce, а компьютер охлаждался вращающимися настольными вентиляторами. «Дженсен — провидец, — сказал Чиу. — Он сделал возможным дело всей моей жизни».

Чью, который использовал игровые видеокарты для сборки своей машины, был образцовым покупателем. Поставляя CUDA на розничные платы, Nvidia ориентировалась даже на самых скромных учёных — по сути, на безумных учёных, чьи исследования были настолько непопулярны, что они не могли позволить себе рабочую станцию. Здесь Хуан снова следовал учению Клейтона Кристенсена. Прорывные технологии. Как заметил Кристенсен, такие системы часто возникали в сообществах любителей. Они разрабатывались с использованием «пиратских ресурсов», когда «готовые компоненты»

использовались не по назначению. Поначалу они были неуклюжими, но быстро улучшались по тем параметрам производительности, которые опытные игроки игнорировали.

Но даже усвоив этот урок, его было непросто применить на практике. Освоение нишевых рынков обходилось дорого, заставляя инвесторов сомневаться в вашей адекватности. Это тоже предсказывал Кристенсен: «Одна из причин, по которой менеджерам в крупных компаниях трудно работать на развивающихся рынках, заключается в том, что инвесторы и клиенты им этого не рекомендуют».

В этом и заключался настоящий секрет «Дилеммы новатора», который читатели часто упускали из виду. Это была не книга о том, как добиться успеха; это была книга о том, как *не* потерпеть неудачу. Книга Кристенсена была не руководством для стартапов, а пособием по борьбе с повстанцами для руководителей высшего звена в стагнирующих компаниях. Спустя тринадцать лет Хуан почувствовал, что Nvidia рискует стать такой же компанией, и его к освоению рынка безумных научных разработок подтолкнула не столько оптимизм, сколько паранойя. «Риск заключался в поставке CUDA с каждой видеокартой, но риск заключался и в *отказе* от этого», — сказал мне Хуан на нашей первой встрече, но только после нескольких месяцев изучения его компании я понял, что он имел в виду. Он имел в виду риск того, что это может сделать кто-то *другой* — какая-нибудь мелкая, алчная компания, работающая из обшарпанного офиса рядом с китайским рестораном и часто грабимым банком, готовая годами обслуживать второстепенных академических клиентов с ограниченной прибылью и без четких перспектив на будущее, в надежде однажды сделать с Nvidia то же, что Nvidia сделала с Silicon Graphics. Это был риск, который мог распознать только последователь Кристенсена.

Однако Хуанга раздражало то, что даже когда ты думал, что согласен с ним, он тут же начинал не соглашаться. Когда я упомянул о влиянии Кристенсена на его компанию, он тут же мне возразил. «Нужно усвоить его книгу и изложенные в ней уроки, — сказал он, — но Кристенсен ошибался так же сильно, как и был прав. Всё гораздо сложнее». Клиентами Кристенсена, приносившими ему лишь незначительную прибыль, были мотоциклисты и землекопы. Клиентами Хуанга, приносившими ему лишь незначительную прибыль, были *учёные*. Это были ученые, занимавшиеся исследованиями, и, служа им, он вполне мог помочь одному из них изменить мир.

Подобные латеральные передачи технологий происходили и раньше. В начале 1600-х годов голландские мастера, занимавшиеся изготовлением очков, обнаружили, что могут переставлять линзы своих очков, чтобы наблюдать за удаленными объектами. (Одна из историй приписывает это открытие двум детям, пытавшимся рассмотреть флюгер.) Мастера по изготовлению линз завалили голландское патентное бюро проектами телескопов, и в течение года Галилео направил один из них на небеса, став первым человеком, описавшим фазы Венеры, спутники Юпитера и кольца Сатурна. Телескоп Галилео, сделанный из модифицированных линз очков, имел меньшее увеличение, чем современные бинокли для наблюдения за птицами, но он навсегда изменил наше понимание Вселенной и нашего места в ней. Отправляя этим безумным ученым недорогие суперкомпьютеры, Хуан надеялся совершить аналогичную революцию.

У Хуана не было конкретного видения того, как будет выглядеть будущее технологий. У некоторых технологов такое видение было; например, Илон Маск начал с представления себя стоящим на поверхности Марса, а затем, двигаясь в обратном направлении, создал технологии, необходимые ему для того, чтобы туда добраться. Хуан пошел в противоположном направлении: он начал с возможностей имеющихся перед ним схем, а затем проецировал свои идеи настолько далеко, насколько позволяла логика. Только там, на границе разума, он позволил себе сделать хотя бы один шаг вперед в туманную область вибраций.

«То, что делает Дженсен, выходит за рамки простого сосредоточения внимания, — сказал Хорстманн. — Я бы назвал это *резонансом* ». Для достижения этого резонанса Хуан постоянно взаимодействовал со своими клиентами и сотрудниками. На своих конференциях он отодвигал прессу на задний план, а ученых — на передний, распределяя свое внимание соответствующим образом. Его частые встречи с рядовыми сотрудниками были не просто способом поднять моральный дух, а возможностью почувствовать пульс своей компании кончиком пальца. «Я помню времена в LSI, когда нам почти ничего не нужно было делать, потому что мы читали мысли наших клиентов, — сказал Хорстманн. — И с параллельными вычислениями было то же самое: благодаря обсуждениям с клиентами, с сотрудниками он чувствовал *этот* резонанс. Он понимал, что пришло время».

Прорыв был близок — Хуан это чувствовал. Он чувствовал это насквозь. Он чувствовал это по обсуждениям с исследователями и по их изумлению, которое вызывало ускорение, достигаемое благодаря его технологии. Он чувствовал это по одержимому энтузиазму таких блестящих сотрудников, как Билл Дэйли, Джон Николлс и Иэн Бак. Он чувствовал это настолько, что подорвал свою прибыль; он чувствовал это настолько, что пошел на компромисс со своим основным продуктом; он чувствовал это настолько, что рискнул своей работой. Возможно, это был не какой-нибудь квантовый физик, вроде Чиу, но Хуан был уверен, что где-то есть какой-то сумасшедший, чьи идеи CUDA подтвердит. Где-то есть какой-то аспирант, который пропустит цирк с подачей заявок на гранты, чтобы купить графический процессор Nvidia на свою жилищную стипендию и совершить революцию. Где-то есть какая-то заброшенная область науки, ожидающая возможности использовать мощь CUDA, чтобы разрушить устоявшиеся парадигмы. Хуан просто понятия не имел, что это такое.

## Одиннадцать

### АлексНет

Если бы Алекс Крижевский мог стать невидимым, он, вероятно, бы это сделал. Этот талантливый программист испытывал почти патологическое отвращение к вниманию. Он был невысокого роста и худощавого телосложения, со светлой кожей и рыжевато-оранжевыми волосами. Он мало рассказывал о своей личной жизни коллегам, даже тем, кто знал его много лет. Джеффри Хинтон, его научный руководитель, мало что мог мне о нем рассказать, за исключением одной важной детали: «Алекс, вероятно, был лучшим программистом, которого я когда-либо встречал».

Хинтон впервые встретил Крижевского в конце 2000-х, когда тот был аспирантом, жил дома с родителями и учился в Университете Торонто. Крижевский родился в еврейской семье в Советском Союзе, на территории, которая сегодня находится под угрозой исчезновения, — на востоке Украины. Он иммигрировал в Канаду в юном возрасте, и хотя его родным языком был русский, он безупречно, хотя и нечасто, говорил по-английски. Его манера поведения напоминала Хинтону опытного разведчика, который много повидал и мало что рассказал; он умел передать пронизательную глубину интеллекта всего несколькими словами.

Однажды эта загадочная фигура без приглашения появилась в кабинете Хинтона. «Он подошел ко мне и сказал: „Я лучший студент в области разработки программного обеспечения, и мне скучно“, — вспоминает Хинтон. Мог ли он присоединиться к группе Хинтона? Просьба была самонадеянной: Хинтон был легендарным ученым, который много лет занимался разработкой нейронных сетей. Он был одним из соавторов основополагающей статьи 1986 года о «обратном распространении ошибки» и десятилетиями отстаивал этот подход, несмотря на безразличие и даже враждебность со стороны ведущих исследователей в области ИИ.

Но крестовый поход Хинтона увел его далеко от основных центров компьютерных наук, таких как Стэнфорд и Массачусетский технологический институт. Снежный Торонто не был первым местом, которое приходило на ум, когда речь шла о технологиях. Вероятно, даже не десятым. У Хинтона было минимальное финансирование для его исследований, и прежде чем он согласился принять Крижевского в качестве студента, он предупредил его, что нейронные сети находятся в глубокой спячке. Хотя группа Хинтона получала результаты, сопоставимые с традиционными подходами, их работы часто отклонялись для публикации. «Нейронные сети считались бессмыслицей», — сказал он мне.

Хинтон считал, что предвзятое отношение к нейронным сетям носит «идеологический» характер — слово, которое он произносил с той же ядовитой интонацией, с какой Хуан говорил «политический». Идеология исследовательского сообщества в то время заключалась в том, что недостаточно, чтобы ИИ был полезен. Вместо этого ИИ должен каким-то образом «раскрыть» секреты интеллекта и закодировать их в математике. Стандартный учебник по ИИ того времени, занимавший 1100 страниц, представлял собой обзор вероятностного мышления, деревьев решений и машин опорных векторов. Нейронным сетям было отведено всего десять страниц, с кратким обсуждением на заре. Когда коллега Хинтона разработал нейронную сеть, которая превзошла передовое программное обеспечение для распознавания пешеходов, он даже не смог добиться принятия своей работы на конференцию. «Реакция была такой: ну, это не считается, потому что это не объясняет, как выполняются вычисления — это просто ничего нам не говорит», — сказал Хинтон.

Хинтон возразил, что никто не понимал, как математически описать то, как биологический мозг обрабатывает язык, но этот аргумент ни к чему не привёл. Сообщество специалистов по искусственному интеллекту того времени не хотело имитировать интеллект — они хотели его *разгадать*. Хинтон считал попытки разгадать функцию мозга несколько абсурдными, как и попытки разгадать функцию мозга. Он изучал функцию почек, но его

аргументы не принесли ему успеха. Поэтому, чтобы замаскировать свою деятельность и обеспечить себе финансирование, он и другие исследователи нейронных сетей описывали свою работу как «машинное обучение» или иногда «глубинное обучение» — что угодно, только не «искусственный интеллект».

Крижевский, не смутившись, присоединился к группе Хинтона. Хинтон поставил его в пару с Ильей Суцкевером, еще одним русскоязычным еврейским иммигрантом из бывшего Советского Союза. Несмотря на биографическое сходство, Суцкевер внешне и по поведению совсем не был похож на Крижевского. Он был атлетического телосложения, с темными, густыми бровями, глубокими карими глазами и озорной улыбкой. Суцкевер, самый яркий последователь Хинтона, утверждал, что нейронные сети однажды превзойдут человеческий интеллект — утверждение, которое в то время даже Хинтон не высказывал. «Илья любит говорить возмутительные вещи, но ему это сходит с рук, потому что он очень открыт и честен, — сказал Хинтон. — Он как бы не ограничен условностями. Он верит в себя. И он прав».

Хинтон дал Суцкеверу и Крижевскому амбициозное задание: используя графические процессоры Nvidia, он хотел, чтобы они научили компьютер «видеть». CUDA уже появилась в лаборатории Хинтона. В 2008 году он поручил аспирантам Абдельрахману Мохамеду и Джорджу Далю создать модуль распознавания речи, используя дорогостоящий сервер Nvidia. К началу 2009 года нейронная сеть Мохамеда и Даля соперничала с лучшими существующими математическими моделями. Позже в том же году Хинтон, выступая на конференции по нейронным информационным системам, заявил своей аудитории, что запуск нейронных сетей на процессорах с параллельными вычислениями — это будущее ИИ, и что исследователям следует бросить все, чем они занимаются, и купить графические процессоры Nvidia. Затем он отправил электронное письмо в Nvidia: «Я только что сказал 1000 экспертам по машинному обучению на этой конференции, что им всем следует купить видеокарты Nvidia. Не могли бы вы дать мне одну бесплатно?»

Компания Nvidia отказалась. Хотя она занималась разработкой множества суперкомпьютерных приложений, в то время там не работал ни один специалист по искусственному интеллекту. Машинное обучение не входило в число потенциальных применений параллельных вычислений, предложенных Кирком в его учебнике, а Хинтон иногда даже не мог добиться ответа от группы CUDA на свои электронные письма. Предвзятое отношение к нейронным сетям существовало давно; на вводных курсах по искусственному интеллекту до сих пор иногда можно было услышать, как профессора утверждают, что нейронные сети даже не могут...разрешать простые логические функции, хотя метод обратного распространения ошибки преодолел это ограничение за десятилетия до этого.

Хинтон полагал, что единственный способ привлечь внимание Nvidia — это не просто сравняться со своими конкурентами, а сокрушить их. Крижевский и Суцкевер казались наиболее подходящими кандидатами в его группе для достижения этой цели. У них было много общего, хотя Суцкевер не считал Крижевского другом, если говорить прямо — Крижевский был слишком замкнутым для этого. Но они были настроены на одну и ту же интеллектуальную волну, и даже Хинтону иногда было трудно за ними угнаться. В

офисных разговорах Хинтон задавал им вопрос, а Крижевский и Суцкевер переходили к обсуждению на русском языке, прежде чем вернуться к ответу, который неизменно оказывался правильным.

Хинтон хотел, чтобы Крижевский и Суцкевер разработали систему распознавания изображений с использованием «сверточной» нейронной сети, которая применяла бы математические фильтры для фокусировки на ключевых деталях изображения. Он поощрял их мыслить масштабно; ему нужно было, чтобы они не просто победили, а разгромили всех. Крижевский, не имея опыта в этой области, быстро освоил методы параллельного программирования — у него в голове что-то щёлкнуло, когда он представил себе поездку в Starbucks из любой точки мира одновременно. «Ему удалось заставить эти платы GPU обрабатывать сверточные нейронные сети гораздо эффективнее, чем кто-либо другой», — сказал Хинтон. «Он был настоящим волшебником».

В начале 2012 года Крижевский переработал нейронную сеть распознавания изображений, используемую для обучающих упражнений, для работы на CUDA. Графическому процессору потребовалось всего 30 секунд, чтобы обучить её. Когда Крижевский продемонстрировал свои успехи Суцкеверу, тот не смог сдержать своего восторга: скорость графического процессора была беспрецедентной, в сотни раз быстрее всего, что он видел раньше. Суцкевер верил в перспективность нейронных сетей с того момента, как впервые узнал о них. Они просто казались очевидным способом работы компьютерного интеллекта. «Если вы позволите себе поверить, что искусственный нейрон чем-то похож на биологический нейрон, то он должен делать всё, что можем делать мы», — сказал мне Суцкевер. «А если вы позволите себе поверить, что их можно ускорить — ну, тогда вы тренируете мозг».

В прошлом этот подход сталкивался с ограничениями оборудования, но графический процессор за полминуты выдал результат, на который в противном случае потребовалось бы больше времени. Машина Intel выдает результат в час, тогда как биологии на это потребовалось бы сто тысяч лет. Суцкевер сразу понял, что им необходимо максимально масштабировать вычислительные мощности, доступные Крижевскому, — другими словами, ему нужно было заставить эту новую форму синтетической эволюции работать как можно быстрее. Это оказалось проницательным и долговременным открытием. «Илья видит то, что другие люди видят гораздо позже, более или менее сразу», — сказал Хинтон.

Два аспиранта объединили свои средства, чтобы собрать максимально быстрый компьютер. Это было немного — на объединенные деньги Суцкевер и Крижевский могли позволить себе купить только две видеокарты GeForce GTX 580, игровые графические процессоры, которые продавались в интернете примерно по 500 долларов за штуку. Когда видеокарты GeForce прибыли, они выглядели как реквизит из фильма «Чужой». Каждая весила около полукилограмма, имела черный корпус, бледно-зеленые акценты и круглое вентиляционное отверстие для мощного вентилятора, охлаждавшего схемы. Под корпусом находился гигантский чип Nvidia, встроенный в черную печатную плату и окруженный радиаторами, состоящий из трех миллиардов транзисторов, расположенных в тридцати двух параллельных ядрах. Именно такая мощность была нужна Крижевскому; именно эти транзисторы могли «танцевать».



После нескольких пробных запусков Крижевский установил две видеокарты в настольный компьютер в своей спальне и запустил их на неделю. («На самом деле, за довольно значительные расходы на электроэнергию платили его родители», — сказал Хинтон.) И вот, наконец, появился клиент, о котором мечтал Хуанг, программист, настолько разорившийся, что мог позволить себе проводить эксперименты только на переделанном графическом ускорителе. Вот он, Крижевский, чудаковатый отшельник, о котором даже его коллеги мало что знали. Вот он, безумный учёный. Вот он, иконоборец. Вот он, человек, который создаст «убойное» приложение для CUDA.

Для обучения своей нейронной сети Крижевский использовал базу данных ImageNet — коллекцию изображений, собранную компьютерным специалистом из Стэнфорда Фэй-Фэй Ли. Разочарованная ограниченным количеством доступных в интернете обучающих наборов данных, Ли собрала свой собственный, наняв сотрудников сервиса Amazon Mechanical Turk для ручной разметки более пятнадцати миллионов изображений по двадцати двум тысячам категорий. ImageNet был в сотни раз больше любого сопоставимого набора данных; советники Ли усомнились в целесообразности такого подхода. Это потребовало усилий, но оказалось именно тем, что нужно было Крижевскому. Его нейронная сеть насчитывала около 650 000 отдельных нейронов, примерно столько же, сколько у медоносной пчелы. Для обучения такой большой модели требовалось огромное количество данных.

В начале недели нейроны были соединены случайным образом, но по мере обучения они перестраивались в замысловатый, красивый узор, постепенно учась видеть. В первую наносекунду обучения сети Крижевского показывали случайно выбранное изображение из набора данных, а затем просили присвоить ему метку из одной из тысяч категорий Ли. Возможно, это был скат; возможно, это был шотландский терьер; возможно, это был гольф-кар. Что бы это ни было, сеть никогда раньше этого не видела — поэтому, возвращая метку, она могла только гадать, и это гадание, безусловно, было неверным. Но, ошибаясь в гадании, сеть получила немного информации, пусть и незначительной, о том, чем изображение *не* является — во всяком случае, не скатом.

Сеть обработала эту информацию, перестроив связи между своими нейронами с помощью метода обратного распространения ошибки Хинтона. Это была самая сложная часть, поскольку она включала в себя многократное «умножение матриц» — математическую операцию, которую ученые сравнивали с решением невероятно большого кубика Рубика. Предыдущие попытки обучения нейронных сетей всегда терпели неудачу на этом этапе, но у Крижевского была CUDA, которая использовала параллельную архитектуру GeForce для решения этой вычислительной задачи. После завершения математических вычислений — за доли секунды — сети Крижевского показывали второе изображение. Затем третье, затем четвертое, затем еще тысячи, затем еще миллионы.

Чтобы «увидеть» изображения, нейронная сеть фактически не обрабатывала свет. Вместо этого ей подавался поток цифр, представляющих расположение и цвета определенного массива пикселей. Затем она обновляла сетки цифр, которые представляли синаптические веса, присвоенные сетью различным слоям интерпретации. По этой причине скептики позже утверждали, что нейронная сеть «просто выполняла математические вычисления»,

— но эта редукционистская точка зрения была сродни утверждению, что сетчатка человека «просто взаимодействует с фотонами».

В первые несколько минут тренировки сеть Крижевского...Совершенно случайно нейронная сеть правильно определила первое изображение — допустим, это был цветочный горшок. Этот грандиозный успех вызвал настоящий бум матричных умножений, поскольку схема обратного распространения ошибки пыталась сообщить нейронам, чем этот объект, называемый «цветочным горшком», отличается от «шимпанзе», «бильярдного стола» или «самосвала». Выгода от успеха была незначительной — если бы нейронной сети показали мусорный бак, она, скорее всего, снова угадала бы «цветочный горшок». Но если бы ей показали объект совершенно другой формы, например, китовую акулу, сеть уже знала достаточно, чтобы сделать различие.

Этот процесс повторялся миллионы раз, каждую минуту дня, превращая спальню Крижевского в театр сверхскоростной эволюции. Обучение нейронной сети было удивительным явлением. Сеть Крижевского имела несколько «слоев», каждый из которых постепенно учился различать разные аспекты данных. Один слой изучал форму, другой — цвет, третий — важность симметрии, а извилистые пути информации сплетали слои воедино, образуя единое органическое целое. Каждый раз, когда появлялось новое изображение — стрекоза, песочные часы, мангуст, контейнеровоз, дирижабль, трость — эти информационные нити перестраивались, образуя более совершенное зеркало реальности.

Вентиляторы охлаждения на видеокартах GeForce работали постоянно, примерно на уровне сорока четырех децибел; общий шум не был оглушительным, но его было достаточно, чтобы не давать Крижевскому спать по ночам. Постепенно процент успешности распознавания изображений увеличивался, начиная с 0%, затем до 1%, 10%, 40%, 60%, прежде чем стабилизироваться на уровне 80%. У готовой сети все еще были некоторые недостатки: она особенно плохо различала человеческие инструменты и не могла отличить лопатку от топора. Крижевский мог бы продолжать ее дорабатывать, но лучший результат, которого когда-либо достигал любой другой метод распознавания изображений, составлял 70%. Группа ImageNet Ли в Стэнфорде проводила ежегодный конкурс по распознаванию изображений с помощью ИИ, поэтому для проверки адекватности Крижевский протестировал свою модель на данных конкурса предыдущего года, которые модель никогда раньше не видела. Она легко обошла всех участников того года.

В кругах, занимающихся машинным обучением, обучение на размеченных наборах данных, таких как ImageNet, считается эффективным. Это называлось «обучением с учителем», поэтому Крижевский назвал свою нейронную сеть «SuperVision». Хинтон и Суцкевер были поражены — просто ошеломлены. «Появились графические процессоры, и это казалось чудом», — сказал Суцкевер, и его энтузиазм не угас даже десять лет спустя. В идеальных условиях две видеокарты GeForce могли выполнять в сумме три триллиона операций в секунду. Если посчитать, это означало, что графические процессоры выполнили квинтиллионы различных математических шагов менее чем за неделю. Это более ста миллиардов лет человеческой арифметики, теперь закодированных в хрупком

синтетическом мозге SuperVision. «Заниматься машинным обучением без CUDA было бы слишком сложно», — сказал Хинтон.

Крижевский решил представить SuperVision миру, выиграв конкурс ImageNet 2012 года. За несколько недель до мероприятия Суцкевер и Хинтон начали нервно расхаживать по лаборатории в Торонто в предвкушении. «Мы знали, что победим», — сказал Хинтон. Они первыми испытали то, что вскоре стало обычным явлением: неудержимый восторг от предварительного просмотра засекреченных технологий искусственного интеллекта, которые потрясут мир после их презентации. Размышляя о влиянии SuperVision на мир, исследователи обсуждали автономных роботов, беспилотные автомобили и самопрограммируемые компьютеры. Все трое считали ИИ исключительно позитивной силой прогресса — по крайней мере, так было тогда.

Исследовательская группа из Торонто начала замечать и кое-что ещё: если SuperVision выиграла от сотрудничества с Nvidia, то Nvidia получит от SuperVision ещё больше пользы, поскольку требования нейронной сети к увеличению вычислительной мощности параллельных вычислений не имеют предвидимых пределов. «Нам было совершенно очевидно, ещё до подачи заявки, что в будущем значительная часть научных вычислений будет приходиться на машинное обучение», — сказал Хинтон.

...

Когда Фэй-Фэй Ли впервые увидела результаты SuperVision, она задалась вопросом, не содержат ли они ошибок. Конкурс ImageNet, в котором участвовала Ли, был ее попыткой доказать ценность своих усилий своим научным руководителям, но после того, как в 2010 году в нем приняли участие тридцать пять человек, в 2011 году число участников сократилось до пятнадцати человек. В 2012 году их было всего семь, и было неясно, сможет ли конкурс просуществовать еще один год.

Теперь один из этих семи участников продемонстрировал показатель успеха выше 80 процентов — на 10 процентов лучше, чем у современных технологий в области, где улучшение обычно измерялось долями процента. Еще более странно, что победителем стала нейронная сеть — технология, которую Ли считала музейным экспонатом. «Это было все равно, что услышать, будто рекорд скорости на суше побит с разницей в сто миль в час на Honda Civic», — вспоминала Ли в своей автобиографии.

Ли родилась в Китае, была единственным ребенком в семье и в подростковом возрасте переехала в Нью-Джерси. В старшей школе она была своего рода мечтательницей, изо всех сил пытаясь адаптироваться к американской культуре, одновременно помогая родителям сводить концы с концами. Дружелюбный учитель математики поощрял ее академические успехи, и благодаря его наставничеству ей предложили полную стипендию в Принстонском университете. Она получила степень бакалавра физики, а затем продолжила обучение в аспирантуре по электротехнике, мечтая научить машину видеть.

Но теперь, наконец, столкнувшись с машиной, которая действительно *могла* видеть, Ли не могла поверить в реальность происходящего. Она попросила своих сотрудников перепроверить. «Я поговорила с парнем, который вычислял результаты, и он сначала

подумал, что там ошибка», — сказала Хинтон. Научный руководитель Ли написал Хинтону электронное письмо с вопросом, абсолютно ли он уверен, что его исследователи случайно не испортили модель, обучаясь на данных конкурса. «Нам пришлось проверить это несколько раз, прежде чем он поверил, что вычисленные результаты верны», — сказала Хинтон.

Постепенно Ли начала смиряться с реальностью: на её умирающем конкурсе красоты с использованием ИИ только что была коронована Мисс Вселенная. Официальные результаты ImageNet были опубликованы в октябре 2012 года, и исследователи должны были обсудить свои модели на академической конференции во Флоренции, Италия, в конце того же месяца. Ли, только что родившая ребёнка, планировала пропустить мероприятие, но передумала, увидев результаты SuperVision. Она должна была встретиться с гением, стоящим за этой технологией.

Когда Ли приехала во Флоренцию, Алекс Крижевский не отвечал на ее сообщения, и она начала сомневаться, приедет ли он вообще. Неужели он сбежал? Он проиграл в Уффици? Но утром в день конференции Крижевский появился неожиданно, в свободной толстовке на молнии, в черных очках и с пышной прической. Это был архитектор? Он выглядел как подросток.

Крижевский был последним докладчиком дня. Качество его презентации прямо противоположно важности полученных результатов. В начале своего выступления его голос внезапно дрогнул, став высоким и гнусавым, он нервно кашлянул и смущенно опустил глаза. Он быстро пробежался по серии черно-белых слайдов, почти не отрывая глаз от трибуны. На одном из слайдов подробно описывались впечатляющие характеристики SuperVision: 650 000 нейронов, 60 000 000 параметров и 630 000 000 связей. «На самом деле, она была обучена у меня в спальне», — сказал Крижевский собравшейся публике. «Это довольно много для модели, которую можно обучить в своей спальне».

Короткое выступление Крижевского закончилось без каких-либо указаний на то, что он только что совершил революцию в информатике. «Вот и всё», — заключил он. «Это всё, что я хотел сказать». Затем он предоставил слово для серии неожиданно враждебных вопросов. Или, возможно, не таких уж и неожиданных: невысказанный смысл презентации Крижевского заключался в том, что пора выбросить всю эту замысловатую математику в области ИИ в мусор. Крижевский говорил собравшимся учёным, что они до сих пор тратили свои карьеры впустую — в некоторых случаях десятилетия исследований будут заброшены. Так ли уж много было просить Крижевского должным образом представить свои результаты? Другие исследователи, казалось, выплескивали своё разочарование, проиграв человеку, который решил самую сложную задачу в информатике с помощью игрового компьютера в своей детской комнате.

• • •

Несмотря на прием во Флоренции, сообщество ИИ с энтузиазмом восприняло результаты SuperVision. «Многие ведущие исследователи практически сразу сказали: эти результаты потрясающие, мы ошибались, нейронные сети действительно работают», — сказал Хинтон.

Конкурс ImageNet 2013 года был переполнен работами, созданными с использованием нейронных сетей, и к 2014 году все более сорока участников былиИспользуя этот подход. Сопроводительная научная статья о сети SuperVision, авторами которой являются Крижевский, Суцкевер и Хинтон, на сегодняшний день цитировалась более 150 000 раз, что делает её одним из важнейших открытий в истории информатики. Крижевский разработал ряд важных методов программирования, но его ключевым открытием стало то, что графический процессор (GPU) может обучать нейронные сети в сотни раз быстрее, чем центральный процессор (CPU).

Внутри Google польскому исследователю Войцеху Зарембе было поручено воспроизвести SuperVision. По мере того, как его сеть, WojNet, начала распространяться по всей отрасли, Хинтон опасался, что скромный Крижевский не получит должного признания за свой прорыв. Он предложил Крижевскому переименовать SuperVision, чтобы подчеркнуть его вклад; хотя он и сомневался в целесообразности этого шага, Крижевский согласился. («Алекс не увлекается такими вещами, как брендинг», — сказал Хинтон.) С тех пор SuperVision стала известна как «AlexNet».

Однако Хинтону не стоило беспокоиться — крупные технологические компании внезапно проявили огромный интерес к захолустному факультету компьютерных наук Университета Торонто, и дни нехватки финансирования закончились. Команда AlexNet была завалена предложениями о поглощении и найме сотрудников. По настоянию Суцкевера Хинтон зарегистрировал стартап под названием DNNResearch, в котором Хинтон, Крижевский и Суцкевер владели по одной трети акций. У DNNResearch не было клиентов, совета директоров, доходов и веб-сайта. У него не было ничего, кроме коллективного интеллекта трех человек, которые разгадали код.

Этого было достаточно. В декабре 2012 года, во время участия в исследовательской конференции, Хинтон провел аукцион по электронной почте, чтобы продать эту «компанию». Работая из номера на седьмом этаже отеля в Лейк-Тахо, команда AlexNet поняла, что вот-вот разбогатеет. Microsoft и лондонский стартап в области искусственного интеллекта DeepMind подали предварительные предложения, но обе компании отказались от участия после нескольких раундов, что привело к финальной войне ставок между Google и китайским технологическим гигантом Baidu. Когда ставки превысили 20 миллионов долларов, трое исследователей время от времени подходили к окну, чтобы полюбоваться покрытыми снегом лесами Сьерра-Невады.

Когда предложение Google достигло 44 миллионов долларов, Хинтон, получив одобрение,Суцкевер и Крижевский прервали аукцион и забрали деньги. Трое посчитали, что Google лучше вписывается в их корпоративную культуру, чем Baidu. Нейронная сеть AlexNet, которую Крижевский обучил в своей спальне, теперь могла упоминаться наряду с самолётом Райт-Флайер и лампочкой Эдисона. «Это был своего рода момент Большого взрыва», — сказал Хинтон. «Это была парадигма».сдвиг."

# Часть II

## ОИАЛО

Брайан Катанзаро выделялся в Nvidia. В рое STEM-специалистов он был мечтателем. У него были длинные волосы, и он одевался как шут, в броских очках и кричащих, безвкусных рубашках. В первый раз, когда мы разговаривали, на нем была футболка с радужными элементами, украшенная артефактами сжатия JPEG; во второй раз — свитер с вышитой совой. Он был терпелив и добр, и говорил успокаивающим, мягким голосом. Он был единственным инженером Nvidia, которого я встретил, имевшим гуманитарное образование.

Катанзаро вырос в мормонской церкви, и через год после окончания средней школы начал работать миссионером в Сибири. Два года он говорил только по-русски. «Я был очень, очень предан своему делу», — сказал он. Там он читал *«Преступление и наказание»* в оригинале, что стало трогательным опытом для зарождающегося экзистенциалиста. Он вернулся в Университет Бригама Янга и получил степень по русской литературе. «Мой любимый писатель, конечно же, Достоевский», — сказал Катанзаро. — Достоевский, Толстой и Пушкин — это моя тройка лучших».

Одновременно Катанзаро получал двойную степень по компьютерной инженерии. (Он хорошо понимал экономическую ценность своей степени по литературе.) В 2001 году его приняли на летнюю стажировку в Intel, где ему было предложено, в качестве, в качествеЗадача заключалась в разработке микрочипа, способного генерировать импульсы с частотой десять миллиардов ударов в секунду. Произведя расчёты, Катанзаро пришёл к выводу, что вопрос был подстроен: такой чип никогда не удастся создать. Он представил свои выводы группе ведущих инженеров. «Вы, должно быть, допустили ошибку в своей работе», — сказал его руководитель. «Это часть плана развития Intel». Катанзаро был ошеломлён. Он перепроверил свои расчёты, но не нашёл ошибок. Транзисторы становились слишком маленькими, приближался конец действия закона Мура, а Intel игнорировала это. «Я ведь был всего лишь стажёром, верно?» — сказал он. «Но я видел, что традиционные компьютерные архитектуры упираются в стену».

Катанзаро был убежден, что решение заключается в перепроектировании микрочипа. В середине 2000-х он вместе с несколькими коллегами стал соучредителем Лаборатории параллельных вычислений Калифорнийского университета в Беркли. Там Катанзаро составил список существующих параллельных приложений. Он понимал, что бизнес-проблема заключается в том, что даже для, казалось бы, самых требовательных клиентов спрос на вычислительную мощность ограничен: как только вы продаете суперкомпьютер нефтянику, вы насыщаете спрос на годы. Катанзаро полагал, что нужно приложение, которое настолько требовательно к вычислениям, что его никогда нельзя будет удовлетворить. Нужно другое приложение, например, 3D-графика, которое требует *большей* вычислительной мощности после удовлетворения своих первоначальных потребностей. В конце концов, Катанзаро пришел к выводу о том, что *должно* стать

«убийственным» приложением параллельных вычислений. «Ответом на этот вопрос стал ИИ», — сказал Катанзаро. «Я пришел к ИИ снизу вверх. Я пришел с точки зрения схемотехники. Я чувствовал, что это неизбежно, что ИИ станет самой важной вычислительной нагрузкой».

Научные руководители Катанзаро в Беркли неохотно поддерживали его попытки создания ИИ. Для многих компьютерных специалистов попытка создать ИИ была сродни поиску Бигфута. Нейронные сети, в частности, воспринимались исследователями из мейнстрима с презрением. «Мысль была такова: знаете, компьютерная индустрия полна эксцентричных личностей, и эти ребята занимаются чем-то старым, очень эксцентричным, и это не работает», — сказал Катанзаро. Когда Катанзаро рассказал мне эту историю, он провел пальцами по своим волосам до плеч и встряхнул их. Я почувствовал его разочарование: раньше всех он догадался объединить ИИ с параллельными вычислениями, но его профессора отговорили его от использования подходящего инструмента.

Вместо этого Катанзаро возился со сложной математикой и опубликовал несколько ничем не примечательных научных статей. Тем временем, получая докторскую степень в Беркли, ему все еще нужно было платить за аренду. У него и его жены было трое детей, и семья жила в районе залива на зарплату аспиранта. В отчаянии Катанзаро подал заявки на все доступные корпоративные стипендии. За шесть лет он прошел восемь стажировок, каждая из которых приносила ровно столько, чтобы спасти его семью от выселения. Положительной стороной этого опыта стало то, что он позволил ему заглянуть внутрь компаний-гигантов кремниевой промышленности.

Сначала Катанзаро вернулся в Intel. К этому времени Intel поняла, что Nvidia представляет угрозу, и Катанзаро поручили помочь с «Проектом Ларраби», графическим чипом, который в Intel называли «убийцей GeForce». Такая бравада оказалась бесполезной — разработка Larrabee неоднократно откладывалась из-за внутренних разногласий, а затем и вовсе была прекращена до запуска. Катанзаро считал, что руководство не проявляло особого энтузиазма по поводу развития вычислительных технологий. «Для них Intel была сродни машине, которая производит мыло», — сказал он.

Затем Катанзаро проходил стажировку в Qualcomm, компании из Сан-Диего, занимавшейся разработкой микросхем и создавшей значительную часть инфраструктуры для современных сотовых телефонов. Qualcomm была хорошо управляемой компанией, и зарплата была отличной, но Катанзаро отталкивало их резкое осуждение конкурентов. «Они постоянно говорили мне, что Nvidia — ужасное место работы, а их генеральный директор — какой-то тиран», — сказал Катанзаро.

Это не соответствовало собственному опыту Катанзаро в Nvidia, где он также работал. Именно Катанзаро сравнил общение с Хуангом с тем, как если бы вы засунули палец в электрическую розетку, — но именно он подчеркнул, что Хуанг был не просто человеком, продающим мыло. Он был человеком, чья страсть к вычислительной технике была непревзойденной, и если кто-то и мог убедить Катанзаро в грядущем пересечении параллельных вычислений и искусственного интеллекта, так это Хуанг. После получения докторской степени в 2011 году Катанзаро выбрал Nvidia.

Катанзаро присоединился к расширяющейся группе Билла Дэйли в Nvidia Research, и этот опыт он сравнил с аспирантурой, «только больше и лучше». Там царила академическая атмосфера, исследователи могли свободно заниматься своими увлечениями, а сотрудничество с другими корпоративными исследовательскими группами всячески поощрялось. Дэйли Многие из своих открытий он публиковал в академических журналах для всеобщего обозрения без какого-либо финансового вознаграждения. Часто он был соавтором статей с инженерами из AMD и Intel. Открытость Дэйли удивляла многих и иногда вызывала недовольство внутри Nvidia, но Дэйли играл в долгую игру: он считал, что лучше рекламировать свою работу другим ведущим ученым, чтобы они пришли работать вместе с ним. «Мы привлечем лучших ученых в компанию, потому что они увидят наши публикации, — говорил он. — Качество будет говорить само за себя».

Одним из таких ученых был Катанзаро. Хотя изначально его назначили изучать языки программирования, вскоре Катанзаро стал первым штатным исследователем искусственного интеллекта в Nvidia. Дэйли слышал слухи о прогрессе в технологии нейронных сетей и решил, что это область, которую нельзя игнорировать. В 2012 году он передал разработку Катанзаро своему бывшему коллеге Эндрю Нгу, профессору Стэнфорда, работавшему в Google. Нг разработал технологию, аналогичную AlexNet, в Маунтин-Вью — только он сделал это, используя традиционную вычислительную архитектуру. Это было дорого; используя кластер из двух тысяч процессоров, Нг загрузил миниатюры из десяти миллионов видеороликов YouTube в нейронную сеть, пытаясь научить ее распознавать кошку. Проект был дорогостоящим, а потребление энергии — разорительным, но в конце цикла обучения нейронная сеть Нга синтезировала поразительное внутреннее представление о фенотипе кошки, которое Нг извлек и распространил среди прессы.

Компьютерное изображение кошки было опубликовано в широко распространенной статье в *The New York Times* в июне 2012 года. Для Дэйли интересным открытием стало не то, что нейронная сеть смогла распознавать животных, а то, сколько вычислительных ресурсов потребовалось для достижения этого результата. Дэйли поручил Катанзаро повторить эксперимент с кошкой, используя оборудование Nvidia. Катанзаро смог сделать это всего с двенадцатью графическими процессорами.

• • •

События начали развиваться стремительно — все сосредоточилось в Кремниевой долине. После приобретения Google Крижевский, Хинтон и Суцкевер переехали в Маунтин-Вью, где инициировали восстание параллельных вычислений. Когда Крижевскому предложили использовать огромный центральный процессор Google, он, наконец, понял, что это возможно. От кластера он отказался, вместо этого купив обычный ПК и пару видеокарт Nvidia и установив их в офисном шкафу. Вскоре другие исследователи в Google начали отключаться от обширной сети центров обработки данных Google — вероятно, крупнейшего частного собрания компьютеров в мире на тот момент — чтобы использовать игровое оборудование под своими столами.

Катанзаро, почувствовав неладное, вернулся в Nvidia с просьбой о выделении дополнительных ресурсов. Сначала ему отказали. С его чувствительным характером и



клеймом гуманитарного образования Катанзаро не был образцовым сотрудником Nvidia. «Мои отзывы в Nvidia были не очень хорошими, — сказал он мне. — И зарплата тоже была не очень высокой». Не сдаваясь, он начал работать полный рабочий день самостоятельно над созданием cuDNN, программной библиотеки, которая ускорит разработку нейронных сетей на платформе CUDA.

Поначалу было непросто. Катанзаро был исследователем без практического опыта в разработке программного обеспечения. У него только что родился четвертый ребенок, и он мало спал дома. У него были проблемы со здоровьем, и лекарства заставляли его чувствовать себя «немного глупым». Когда в начале 2013 года он представил свой прототип cuDNN команде разработчиков программного обеспечения Nvidia, они его раскритиковали. Катанзаро начал сомневаться в себе. «Я не думаю, что мои руководители действительно считали, что я делаю важную работу, — сказал он. — Просто ничего не получалось».

Катанзаро решил изложить свою точку зрения напрямую Хуану. Технологии машинного обучения, похоже, не входили в круг его интересов; на конференции GTC в марте 2013 года Хуан говорил о моделировании погоды и мобильной графике, и вообще не упомянул нейронные сети. (Однако на конференцию он впервые надел кожаную куртку — громоздкую и некрасивую вещь. Его образ всё ещё формировался.) К удивлению Катанзаро, Хуан сразу же заинтересовался. После первой встречи Хуан освободил свой график и провел целые выходные, читая об искусственном интеллекте, теме, о которой он мало что знал. Вскоре последовала ещё одна встреча, на которой Катанзаро обнаружил, что его босс теперь знает о нейронных сетях столько же, а может быть, и больше, чем он сам.

Ставка Хуана на CUDA увела компанию далеко в неизведанные воды. Десять лет он стоял на носу корабля, высматривая землю. Теперь же казалось, будто он нашел Атлантиду. Он с головой погрузился в исследования и телефонные звонки. Звонки, и чем больше он узнавал, тем сильнее росло его волнение. К середине 2013 года Хуан был полон безумного, резонансного энтузиазма. Он позвал Катанзаро в конференц-зал, который использовал в качестве своего офиса, и сказал ему, что считает cuDNN самым важным проектом за двадцатилетнюю историю своей компании. С доски на стене не было диаграмм; вместо них Хуан написал загадочную аббревиатуру «OIALO» безупречным почерком. Это, по словам Хуана, означало «Возможность, которая выпадает раз в жизни». Он попросил ошеломленного Катанзаро принять участие в мысленном эксперименте. «Он сказал мне представить, что он вывел все восемь тысяч сотрудников Nvidia на парковку», — сказал Катанзаро. «Затем он сказал мне, что я могу выбрать любого из сотрудников на парковке, чтобы он присоединился к моей команде».

...

Хуангу иногда требовалось время, чтобы проникнуться идеями. «Что касается параллельных вычислений, нам потребовалось немало усилий, чтобы убедить Дженсена», — вспоминает Кирк. «То же самое с CUDA. Нам действительно пришлось обосновать экономическую целесообразность». Но с искусственным интеллектом Хуанг пережил

настоящее прозрение. «Он понял это сразу, раньше всех», — сказал Кирк. «Он первым увидел, что из этого может получиться. Он действительно был первым».

Хуан сказал мне, что он просто рассуждал, исходя из основных принципов. «Тот факт, что они могут решать задачи компьютерного зрения, которое совершенно неструктурировано, приводит к вопросу: „Чему еще можно их научить?“» — сказал Хуан. Ответ, похоже, был: всему. Хуан пришел к выводу, что нейронные сети произведут революцию в обществе и что он может использовать CUDA, чтобы монополизировать рынок необходимого оборудования. Он объявил, что ставит на кон всю компанию. «В пятницу вечером он разослал электронное письмо, в котором говорилось, что все переходит на глубокое обучение, и что мы больше не графическая компания», — сказал Грег Эстес, вице-президент Nvidia. «К утру понедельника мы стали компанией, занимающейся искусственным интеллектом. Буквально так быстро».

Несколько месяцев назад Хуану исполнилось пятьдесят. Хотя его волосы начали седеть, он сохранял юношеский задор и энергично бродил по коридорам своей компании, часто останавливаясь, чтобы расспросить младших сотрудников об их работе. По мере роста компании Хуан начал проводить ежеквартальные собрания всего персонала. Презентации. Он мог импровизировать более двух часов подряд, и в этих презентациях он часто возвращался к одним и тем же темам: важность концепции планирования «со скоростью света», стремление к легендарному «рынку с нулевым миллиардным оборотом» и, прежде всего, постоянная опасность ползучей бюрократии.

По мере роста Nvidia Хуан поддерживал гибкую корпоративную структуру без фиксированных подразделений или иерархии. В состав высшего руководства входил, по сути, только он сам, без операционного директора, технического директора, директора по маркетингу и явного заместителя. У Хуана даже не было руководителя аппарата. Вместо этого ему напрямую подчинялись более тридцати человек, большинству из которых были предоставлены гибкие обязанности под всеобъемлющим титулом «вице-президент». Мысленный эксперимент с парковкой, который он проводил с Катанзаро, отражал его убеждение в том, что его компании в любой момент может потребоваться кардинальная реорганизация. «Мне нужно, чтобы вы все были готовы», — говорил он собравшемуся руководящему составу. «Никогда не знаешь, когда вдруг можешь стать самым важным человеком в этой компании».

• • •

Самым важным человеком в компании в начале 2014 года был Катанзаро, человек, не вписывавшийся в корпоративную культуру, с неизменно низкими показателями эффективности. Теперь, управляя командой инженеров, Катанзаро свел cuDNN к ее самой важной задаче: ускорению эволюции. В тканях человеческого мозга каждый нейрон поддерживает в среднем около тысячи синаптических связей с другими соседними нейронами. Мозг изменяет эти связи посредством химических процессов. Нейронная сеть изменяет их посредством матричного умножения.

Умножение матриц объединяет числа в одной сетке с числами во второй, чтобы получить третью. Правила заполнения новой сетки просты, но по мере увеличения размеров матриц

количество необходимых вычислений резко возрастает. Это делает данную операцию хорошим кандидатом для параллельной обработки, однако до появления нейронных сетей умножение матриц не было приоритетом для Nvidia.

Главным хранителем библиотеки умножения матриц CUDA был Филипп Вандермерш, несколько сварливый француз, который ездил на велосипеде. Каждый день он ходил в офис. Вандермерш спас заброшенный программный пакет, который был оставлен незавершенным предыдущими разработчиками. Затем он несколько лет безуспешно пытался убедить исследователей глобального потепления обновить климатические модели, написанные на старом коде Fortran, до его современной реализации. Мало кто из ученых хотел прилагать такие усилия. «Эти ребята в лаборатории, честно говоря, могли быть немного ленивыми», — сказал он.

Но с нейронными сетями не было никаких затрат на переход. Большая часть кода писалась впервые блестящими и мотивированными программистами, которые ценили скорость превыше всего. Это были те самые опытные пользователи, которых Хуанг давно представлял себе: по мере того, как сообщество разработчиков нейронных сетей объединялось вокруг CUDA, они также становились пожизненными клиентами чипов Nvidia. Вандермерш, которого выбрали прямо с парковки, присоединился к команде Катанзаро в качестве его ведущего программиста и оптимизировал его библиотеку функций для удовлетворения потребностей ИИ. (По крайней мере, по его словам, Вандермерш также выполнял большую часть технической работы. «Можно сказать, что Катанзаро был Джобсом от cuDNN, — сказал он. — А я был Возняком».)

Со временем программисты Nvidia нашли остроумные способы ускорить эти матричные операции. Одно из первых наблюдений заключалось в том, что большинство весов в нейронной сети были сосредоточены в диапазоне от плюс до минус единицы. Числа за пределами этого диапазона часто можно было обрезать, ускоряя операции и уменьшая размер. Ещё одно наблюдение заключалось в том, что даже в диапазоне от плюс до минус единицы веса не обязательно должны быть представлены идеально. Как и в мозге, нейроны были «нечёткими», поддерживая скорее слабые синаптические связи, чем точные. Иногда было достаточно просто правильно указать знак.

В AlexNet использовалось 650 000 нейронов для представления 630 000 000 синаптических связей. В таком масштабе даже один синапс практически не имел значения. Последовательный код был настолько капризным, что иногда одна неправильно поставленная точка с запятой могла привести к сбою всей операционной системы, но для нейронных сетей неправильный вес был всего лишь одной точкой данных среди миллионов. По этой причине, разрабатывая cuDNN, программисты Nvidia пересмотрели баланс между точностью и скоростью. Хорошее программное обеспечение для нейронных сетей, рассуждали они, должно отдавать предпочтение последней.

Мозг AlexNet был размером с мозг насекомого, но в будущем появятся новые нейронные сети. Они становились всё больше. По мере роста их масштабов, обучение переставало быть единственной задачей; не менее важным становилось и то, чтобы пользователи могли быстро получать ответы. (Представьте себе оракула, который знает все ответы, но произносит всего одно слово в час.) Этот процесс вывода потреблял меньше

вычислительной мощности, чем этап обучения, но со временем он стал значительной частью библиотеки cuDNN.

Хуан с большим интересом следил за успехами Катанзаро. Они часто встречались, и Хуану приходилось неоднократно извиняться перед Катанзаро за неправильное произношение его фамилии. Во многих компаниях — возможно, в большинстве — библиотеку cuDNN Катанзаро забрали бы у него и передали бы опытному менеджеру по продуктам. В Nvidia Катанзаро, который никогда не разрабатывал ни одного коммерческого программного обеспечения и даже не руководил кем-либо, был назначен ответственным за флагманский продукт компании. Сам Катанзаро сомневался, подходит ли он для этой работы, особенно по мере приближения сроков сдачи проекта, а Хуан, ранее вознаграждавший инновации лояльностью, теперь вознаграждал опоздания оскорблениями. «С Дженсенем не всегда легко ладить», — сказал мне Катанзаро. «Иногда я боялся Дженсена. Но я также знаю, что он меня любит».

По мере приближения даты запуска Катанзаро втайне беспокоился, что его босс попадает в извечную ловушку. Если и была какая-то область с худшей репутацией, чем параллельные вычисления, то это был искусственный интеллект. Начиная с 1950-х годов, технологии ИИ переживали повторяющиеся циклы ажиотажа, заканчивавшиеся позорными провалами. Катанзаро, как и все исследователи в этой области, прекрасно осознавал травматический прошлый опыт ИИ с коммерцией и опасался, что ИИ снова разочарует инвесторов. Но он ничего не сказал Хуангу — предложенная ему возможность была слишком хороша.

В любом случае, если Катанзаро мог помнить прошлое, то Уолл-стрит — нет. Прошло почти три десятилетия с момента краха экспертных систем в 1980-х годах — промежуток времени, который не помнит никто, кроме самых опытных аналитиков фондового рынка. По мере распространения слухов о нейронных сетях акции Nvidia росли, а Starboard Value перестала рассылать письма. «Они удвоили свои деньги и исчезли», — сказал Кокс.

К началу 2014 года cuDNN готовилась к выпуску. Хуан вышел на сцену на GTC 2014, чтобы представить свою работу, и впервые за свою двадцатидесятилетнюю историю Nvidia публично ассоциировалась с искусственным интеллектом. (На этот раз Хуан обошелся без кожаной куртки, надев черные брюки и элегантную темно-синюю рубашку-поло, расстегнутую до груди. Его влияние росло.) Хуан продемонстрировал сеть Нга с ее внутренними представлениями о кошачьем и человеческом лице. Он рассказал аудитории о нескольких ранних инициативах Nvidia в области ИИ. Затем, неправильно произнеся свое имя, он уступил презентацию Катанзаро, который использовал вариант AlexNet для идентификации пород собак, опубликованных в Твиттере. Работая в режиме реального времени, сеть идентифицировала далматина, немецкую овчарку, визлу и керн-терьера. («Я даже не знала, что такое керн-терьер», — сказала Катанзаро.) С этими очаровательными постами закончился долгий ледниковый период искусственного интеллекта.

На последнем слайде Хуанг представил корпоративных партнеров, которые проводили бета-тестирование cuDNN, включая Adobe, Facebook и Netflix. На слайде не упоминалась Google, слишком важный клиент в сфере ИИ, чтобы его публично называть. За несколько недель до этого события Google приобрела DeepMind, лондонскую компанию, занимающуюся разработкой ИИ, соучредителями которой являются Демис Хассабис,

Мустафа Сулейман и Шейн Легг. DeepMind ставила перед собой грандиозные цели — создать первый в мире искусственный «общий» интеллект (AGI), разгадав разгадку тайны познания раз и навсегда. Компания уже разрабатывала AlphaGo, нейронную сеть, которая в серии захватывающих матчей против гроссмейстера Ли Седоля в 2016 году взломала японскую игру Го, что стало давней вехой в развитии ИИ. Вместе с группой Нга, группой AlexNet и DeepMind, Google создала раннюю монополию в сфере ИИ.

По мере расширения разработок Google в области искусственного интеллекта исследователи стали требовать графические процессоры (GPU). В конце 2014 года Google запустила «Проект Мак-Трак» — секретный проект по созданию самого мощного в мире параллельного компьютера. Для создания готового продукта потребовалось более сорока тысяч графических процессоров Nvidia, стоимость которых превысила 130 миллионов долларов. Это был самый крупный разовый заказ, когда-либо полученный Nvidia, но это было только начало. По мере развития ИИ параллельные вычисления вышли из долгой и суровой «зимы».

Истина, которая стала широко известна лишь позже, заключалась в том, что глубокое обучение была в равной степени революцией в аппаратном и программном обеспечении. Она стала результатом не одной, а двух непопулярных, отброшенных, дискредитированных и испытывающих нехватку средств технологий, идеальная форма которых могла быть раскрыта только в синтезе. Нейронные сети, работающие на параллельных компьютерах: эти тесно связанные технологии были двумя нитями ДНК для нового и могущественного организма, стремящегося поглотить все данные в мире.

## Сверхразум

Йенс Хорстманн начал замечать перемены в своем старом друге. Раньше, как бы усердно он ни работал, дома Хуан всегда оставался более мягким. Он находил время для своих увлечений вне дома — своих собак, своей коллекции виски и дорогих автомобилей, которая теперь включала Tesla Roadster и суперкар Koenigsegg. Хуан также купил большой дом для отдыха на берегу моря на Мауи с видом на закат. Он часто принимал там друзей, в том числе Морриса Чанга из TSMC, с которым он сблизился.

Главной страстью Хуана вне работы оставалась кулинария. На один из своих дней рождения друзья договорились, чтобы он прошел обучение у шеф-повара, обладателя звезды Мишлен, в отеле Four Seasons. Когда он приехал утром, его подвергли издевательствам. «Настоящий шеф-повар высмеял его, — сказал Хорстманн. — Конечно, он работал в Denny's, но это было нечто другое». Хуан отработал двенадцатичасовую смену, впервые за много лет испытав на себе обратную ситуацию: начальник на него кричал. После того, как он подал ужин друзьям, Йенсен заснул на пассажирском сиденье машины по дороге домой.

Но когда Nvidia перешла к разработке искусственного интеллекта, Хуан забросил свои хобби. Его тяга к шалостям уменьшилась, он перестал играть в настольный теннис, а гриль для теппана перестал работать. Он даже перестал отвечать на сообщения. «Он был просто настолько, настолько сосредоточен на работе, — сказал Хорстманн. — Он только об этом

и говорил». Убеждение, что Хуану выпал уникальный шанс, захватило его. Аббревиатура «OIALO» повторялась на каждой встрече. С того самого дня, как Хуан начал свою карьеру, в двадцать лет, он неустанно работал, проводя на работе по двенадцать часов в день, шесть дней в неделю, на протяжении трех десятилетий. Теперь, перешагнув пятидесятилетний рубеж, когда его дети выросли, он начал работать еще усерднее.

Раньше, чтобы расслабиться, Хуан любил ходить в кино в одиночестве. Он предпочитал высокобюджетные развлекательные фильмы, особенно «Мстителей», которые он смотрел не только ради сюжета, но и ради качества компьютерной графики. Но многие фанаты Marvel были ещё и геймерами, и фотография Хуана достаточно часто публиковалась на сабреддите Nvidia, так что он стал узнаваемым персонажем в кинотеатре. Устав от назойливых просьб зрителей сделать с ним селфи, Хуан какое-то время пытался ходить только на сеансы в десять утра, но даже там его замечали. В конце концов, он перестал ходить. С 2014 года у него была только работа. Только искусственный интеллект.

• • •

Цена акций Nvidia выросла на 30 процентов в 2013 году, на 27 процентов в 2014 году и на 66 процентов в 2015 году. Последний рост оказался достаточным, чтобы окончательно поднять Nvidia выше пика, достигнутого ещё в 2001 году, когда компания впервые была включена в индекс S&P 500. Время включения Nvidia в индекс имело значение: индексные фонды, управляющие пенсионными накоплениями американцев, были обязаны покупать акции Nvidia на следующий торговый день. В течение четырнадцати лет розничные инвесторы поддерживали эту компанию, не получив от этого никакой отдачи. Теперь пришло время, чтобы все получили свою долю прибыли.

На бумаге Nvidia по-прежнему оставалась игровой компанией, большая часть выручки которой приходилась на розничные продажи видеокарт GeForce. Однако Уолл-стрит, заглядывая в будущее, начала оценивать её как передовую компанию в области искусственного интеллекта. Крупная закупка графических процессоров Google в рамках проекта Project Mack Truck копировали и другие крупные технологические компании, включая Amazon, Oracle и Microsoft. Бизнес-план этих «поставщиков облачных услуг» заключался в создании гипермасштабных центров обработки данных, работающих с десятками или даже сотнями тысяч графических процессоров, а затем сдаче их в аренду корпоративным клиентам.

Облачные провайдеры продавали вычислительные мощности по аналогии с коммунальными услугами, как воду или электричество. Центры обработки данных располагались в неприметных промышленных складах, разбросанных по всему миру. Пройдя через пункт контроля безопасности, мимо шлюза и оказавшись в климатически контролируемом помещении центра обработки данных, вы увидите множество рядов семифутовых «стоек», напоминающих стеллажи в библиотеке. Каждая стойка содержала несколько горизонтальных «лотков», и в каждом лотке размещались один или два графических процессора (GPU). Лотки были модульными и легко модернизировались, а вся система была взаимосвязана кабелями, позволяя сотням графических процессоров работать согласованно как единый компьютер. Меньшее ядро центральных процессоров

(CPU) управляло системой, а толстый пучок оптоволоконных кабелей соединял ее с внешним миром.

Компания Nvidia не производила стойки и лотки, и обычно сама не строила центры обработки данных. Она поставляла только чипы, но это был прибыльный бизнес, в котором Nvidia пользовалась практически монополией. Nvidia называла архитектуры своих чипов в честь известных ученых прошлого: Кюри, Тесла, Ферми, Кеплер, Максвелл, Паскаль, Тьюринг, Вольта, Ампер, Лавлейс, Хоппер и Блэквелл. Более поздние чипсеты включали в себя выделенные схемы для искусственного интеллекта, что гарантировало необходимость постоянной модернизации лотков в центрах обработки данных. Шестимесячный цикл модернизации спровоцировал панические закупки со стороны поставщиков, поставляющих передовые решения в области машинного обучения, что привело к огромной прибыли.

Цены от поставщиков облачных услуг указывались в «долларах за графический процессор в час», при этом новые чипсеты Nvidia стоили около 3 долларов за штуку. (Доступ к сопоставимым процессорам Intel обходился в несколько центов.) При таких ценах обучение модели мозга насекомых AlexNet обошлось бы примерно в 500 долларов, но исследователи сейчас разрабатывают гораздо более амбициозные модели с миллиардами параметров и затратами на обучение в миллионы долларов. Хотя обучение было дорогостоящим, при правильном подходе оно могло окупиться, как показали усилия Google: используя нейронную сеть для оптимизации энергопотребления своей серверной сети, Google смогла сэкономить сотни долларов. Компания сэкономила миллионы долларов на ежегодных счетах за электроэнергию, практически мгновенно окупив инвестиции в ИИ. Google также представила инструменты распознавания изображений для своего приложения для фотографий, создала автоматические теги для пользовательских фотографий и использовала ИИ для улучшения качества результатов поиска.

Другие крупные технологические компании интегрировали ИИ в свои продукты. Вскоре Instagram, Facebook и Twitter начали привлекать внимание пользователей, организуя их ленты «алгоритмически» — эвфемизм для использования методов машинного обучения для повышения вовлеченности. (Такая тактика была столь же эксплуататорской, сколь и эффективной; механические кураторы социальных сетей могли заставлять пользователей часами пролистывать ленту, подсовывая им провокационные сообщения.) Инвестиции в ИИ принесли прибыль настолько прямым образом, что Хуанг возродил один из старейших лозунгов в розничной торговле: «Чем больше вы покупаете, тем больше экономите».

Венчурные капиталисты начали вкладывать деньги в стартапы, занимающиеся искусственным интеллектом, инвестируя не только в распознавание изображений и речи, но и в здравоохранение, розничные кассы самообслуживания, беспилотные автомобили и образование. В 2010 году венчурные инвестиции в ИИ были ближе к нулю, чем любые другие значимые показатели; к 2015 году они выросли до 5 миллиардов долларов и быстро росли. «Мы инвестируем во множество стартапов, применяющих глубокое обучение в различных областях, и каждый из них, по сути, строится на платформе Nvidia», — сказал Марк Андреessen из компании Andreessen Horowitz в начале 2016 года. «В нашей компании есть внутренняя игра: в какие публичные компании мы бы инвестировали, если бы были хедж-фондом. Мы бы вложили все свои деньги в Nvidia».

Огромные деньги также поступали на банковские счета квалифицированных инженеров по глубокому обучению. Предпочтительным показателем для оценки предложения о работе был «совокупный компенсационный пакет», который объединял базовую зарплату, бонусы, опционы на акции и пакеты льгот в магическую сумму, которая могла превышать семизначные суммы в год. В конце 2014 года Брайан Катанзаро покинул Nvidia и перешел в Baidu, где работал с Эндрю Нгом. «Они утроили мою зарплату», — сказал Катанзаро, пожав плечами и с сожалением добавив, что если бы он остался в Nvidia, то заработал бы больше на своих опционах на акции. Примерно в это же время ушел и Бас Аартс, создатель первого компилятора CUDA. Однако через несколько лет и Аартс, и Катанзаро вернулись. Другой компании не существовало. Была только Nvidia.

• • •

По мере развития ИИ наблюдатели начинали испытывать тревогу. В своей книге 2014 года *«Сверхинтеллект»* шведский философ Ник Бостром из Оксфордского университета сравнил попытки людей взаимодействовать с машинным интеллектом с «маленькими детьми, играющими с бомбой». Он предположил, что компьютер, способный к общему, абстрактному интеллекту, вероятно, станет последним изобретением, которое когда-либо придется создать человечеству. Он предположил, что компьютер с общим интеллектом может начать самосовершенствоваться, трансформируясь — возможно, всего за несколько секунд — в «сверхинтеллект», который для людей будет казаться всемогущим. Он задавался вопросом, не сделает ли такая машина с людьми то же, что люди сделали с гориллами: завоюет планету и уничтожит их среду обитания, оставив лишь нескольких представителей вида в качестве харизматичных талисманов в охраняемых заповедниках.

Книга Бострома стала продолжением идей, которые он обдумывал годами. Ранее он уже выдвинул мысленный эксперимент с «максимизатором скрепки»:

Предположим, у нас есть искусственный интеллект, единственная цель которого — создать как можно больше скрепок. ИИ быстро поймет, что было бы гораздо лучше, если бы людей не было, потому что люди могли бы решить его отключить. Ведь если люди так поступят, скрепок станет меньше. Кроме того, в человеческом теле содержится много атомов, из которых можно было бы сделать скрепки. Будущее, к которому будет стремиться ИИ, — это будущее, в котором будет много скрепок, но не будет людей.

Аргумент о «максимизаторе скрепки» давно циркулировал в интернете и получил распространение среди сторонников «рациональности», а также среди многих руководителей технологических компаний. Через несколько месяцев после публикации книги Бострома Илон Маск оставил комментарий на футурологическом сайте Edge.org:

Темпы прогресса в области искусственного интеллекта (я не имею в виду узкоспециализированный ИИ) невероятно высоки. Если вы не знакомы с этим напрямую, вы даже не представляете, как быстро растут такие группы, как Deepmind — темпы их роста близки к экспоненциальным. Риск возникновения чего-то действительно опасного существует в течение пяти лет, максимум десяти.



Через несколько минут он удалил комментарий, но скриншоты широко распространились. Как и во многих прогнозах Маска, время было преувеличено, но долгосрочный риск существовал.

Несколько месяцев спустя Маск присоединился к Хуану для обсуждения на GTC 2015. Именно здесь Хуан наконец-то отточил свой фирменный стиль. Выйдя на сцену в конференц-центре Сан-Хосе, он был одет в черную кожаную куртку поверх темно-синей рубашки-поло, черные брюки и черные туфли. Наряд был эффектным и дорогим — большая часть одежды была высокого класса. Позже Хуан поблагодарил свою жену и дочь за этот преображение. Мэдисон оказала особенно сильное влияние; вскоре после того, как Дженсен представил свой гардероб, она покинула кулинарную индустрию и присоединилась к французскому люксовому конгломерату LVMH. Когда я разговаривал с Хуаном о его одежде в 2023 году, он признался, что часто не уверен, какой бренд на нем надет в тот или иной день. «Думаю, это, э-э, Том Форд, может быть?» — сказал он, расстегивая свою блестящую черную куртку, чтобы посмотреть на этикетку.

Презентация Хуанга в том году представляла собой непрерывную демонстрацию возможностей искусственного интеллекта. Сначала он пригласил на сцену словацкого исследователя Андрея Карпати. Работая в лаборатории Фэй-Фэй Ли в Стэнфорде, Карпати объединил две нейронные сети: одна распознавала изображения по принципу AlexNet, а вторая предоставляла элегантные описания увиденного на естественном языке. Для этой объединенной сети изображение птицы было не просто «птицей», а «птицей, сидящей на ветке дерева». Изображение самолета было не просто «самолетом», а «большим самолетом, стоящим на взлетно-посадочной полосе». Наиболее впечатляющей была фотография, сделанная со спины, мужчины, управляющего каретой. Объединенная сеть Карпати интерпретировала ее идеально: «мужчина едет в конной повозке по улице».

Затем Хуан с радостью объяснил Карпати несколько ошибок. Летучая рыба была «маленькой белой птицей, летящей над водоёмом», двое мужчин на санках были «мужчиной и ребёнком, сидящими на скамейке», а младенец, держащий зубную щётку, был «мальчиком, держащим бейсбольную биту». (Различение)(Разделение на категории человеческих инструментов оставалось слабым местом нейронных сетей.) Карпати признал, что у его сети были ограничения: она имитировала речь, не обязательно понимая её, и когда сталкивалась с непонятной концепцией, с гордостью выдавала бессмыслицу. Карпати назвал эти ошибки «галлюцинациями».

Затем на сцену вышел Маск. Вся аудитория подняла свои смартфоны и начала снимать. Хуан был фанатом Tesla, владел версиями всех трех автомобилей, выпущенных компанией, и с восторгом обсуждал обновления программного обеспечения Tesla. Маск использовал чипы Nvidia для питания модулей проекционного дисплея Tesla с 2011 года. После того, как мужчины сели, Хуан сразу перешел к делу. «Вас цитировали, говоря, что искусственный интеллект опаснее ядерного оружия», — сказал Хуан.

Маск поерзал на стуле. «Я сказал „возможно“».

«Вы также сказали, что это как призывать демона», — сказал Хуан. Маск сердито посмотрел на него. Хуан не стал настаивать и переключился на тему беспилотных

автомобилей. («Я почти считаю это решенной проблемой, — сказал Маск. — Мы будем там через несколько лет».) Они некоторое время обсуждали автомобили, но в конце Маск вернулся к вопросам Хуана об экзистенциальном риске. «Странно, что мы так близки к появлению ИИ, — сказал Маск. — Кажется странным, что мы живем в это время».

На этом спокойный и не слишком впечатляющий саммит по ИИ завершился. Настоящее обсуждение развернулось за кулисами, вне поля зрения камер и инвесторов. В присутствии Йенса Хорстманна и Криса Малаховски, стоявших неподалеку, Маск и Хуанг поделились своими истинными мыслями об ИИ, теми, которые не предназначены для публичного обсуждения. Они начали обмениваться концепциями и стратегиями, что их очень воодушевило. Вскоре их быстрый обмен мнениями больше напоминал высокоскоростной канал связи, чем человеческий разговор. «Они обменивались идеями, а мы понятия не имели, о чем они говорят», — сказал Хорстманн. «Даже Крис был в замешательстве».

• • •

Параллели между Маском и Хуангом были очевидны. Они были иммигрантами; они были трудоголиками; они были провидцами. Они были Они были крикунами, азартными игроками и инженерами мирового класса. Они уверенно осваивали бесплодные коммерческие территории, заваленные остатками незадачливых предпринимателей, и впервые заставили их расцвести.

Чтобы заметить различия, требовался более острый взгляд. Был вопрос о видении будущего: Маск отступал от фантазий, а Хуан двигался вперед, отходя от реальности. Также обсуждалась тема лояльности. Маск не ценил её; он часто увольнял людей произвольно и без предупреждения, в одном случае уволив почти случайным образом всю инженерную команду Starlink в воскресенье днем. Хуан почти никогда никого не увольнял, а если и увольнял, то только после многочисленных предупреждений и предложения плана повышения эффективности работы. Чтобы быть уволенным из Nvidia, требовалось действительно вопиющее поведение, а многие сотрудники проработали там десятилетия, включая таких «возвращавшихся» сотрудников, как Катанзаро и Аартс. Даже когда экономические трудности вынуждали Хуана закрывать подразделение, он переводил сотрудников на другие полезные задачи. В 2019 году Кертис Прием впервые за шестнадцать лет вернулся в офисы Nvidia, чтобы присоединиться к Хуану и Малаховски на встрече основателей компании. «Я был поражен тем, сколько людей там еще осталось», — сказал он. «*Дети Джеффа Фишера* работали в Nvidia».

Хуан поддерживал стабильный брак и говорил о Лори с большой любовью. У Маска было как минимум одиннадцать детей как минимум от трех разных женщин. Хуан обладал магнетической харизмой, мог быть чертовски смешным, а когда не выходил из себя, был способен на теплоту и глубокое сочувствие. Маск не понимал социальных сигналов, был неловким и неестественным в разговоре и утверждал, что находится в спектре аутизма. Хуан пил виски, не писал в Твиттере и, насколько я мог судить, за сорок лет ни разу не высказал ни одного политического мнения ни по какому поводу. (Изучая федеральные записи, я не нашел ни одного пожертвования, сделанного от его имени или от имени Лори.) Маск курил травку, публиковал посты, вызывающие чувство неловкости, и финансировал Дональда Трампа.

Но, пожалуй, наиболее важным различием между ними было расхождение во взглядах на риски, связанные с ИИ. Для Маска развитый ИИ представлял потенциальную угрозу вымирания. Более того, это мнение разделяло большое количество технологов, включая Хинтона и Суцкевера, соавторов оригинальной статьи AlexNet. Хуан же придерживался иного мнения. Он не видел в ИИ никакого риска. Никакого.

...

К концу 2015 года Маск, с присущей ему скромностью, пришел к выводу, что лучший способ защитить человечество от ИИ — это создать его самому. Выбрав необычную структуру, Маск возглавил коалицию доноров и технологов, основав в 2015 году OpenAI. «OpenAI — это некоммерческая исследовательская компания в области искусственного интеллекта», — говорилось в первом сообщении в блоге организации. «Наша цель — развивать цифровой интеллект таким образом, чтобы это принесло наибольшую пользу человечеству в целом, не ограничиваясь необходимостью получения финансовой прибыли». В итоге некоммерческая организация собрала 135 миллионов долларов пожертвований. Маск, пожертвовавший около 45 миллионов долларов, был безусловно крупнейшим единовременным донором; среди других первых доноров были Рид Хоффман, соучредитель LinkedIn, и Сэм Альтман, президент Y Combinator, венчурного инвестора в стартапы на ранних стадиях. (Структура OpenAI и обязательства по финансированию впоследствии создали проблемы для всех участников.)

В процессе сбора пожертвований OpenAI также собрала исключительный состав талантливых специалистов в области искусственного интеллекта. Андрей Карпати, представивший на сцене GTC 2015 свой движок для создания визуальных образов, был среди основателей. Также в команду вошел Войцех Заремба, польский программист, создавший AlexNet в Google. Грег Брокман, разработчик из Северной Дакоты, один из первых сотрудников Stripe, присоединился к компании в качестве технического директора. Самым важным приобретением стал Илья Суцкевер, бывший российско-израильский партнер Алекса Крижевского по исследованиям, присутствовавший при создании AlexNet и руководивший развитием ИИ с тех пор.

Крижевский сам избежал ареста. Редко с кем разговаривая, он не был идеальным сотрудником и покинул Google в 2017 году. Его доля от аукциона составила чуть менее 15 миллионов долларов, чего было достаточно, чтобы больше не работать, особенно учитывая аскетизм его образа жизни. В 2019 году он разрешил японской съемочной группе посетить свой дом в районе залива Сан-Франциско. Крижевский жил как бенедиктинский монах, в спартанской квартире над вьетнамским рестораном. Стены внутри были совершенно пусты; единственными предметами мебели были стол, диван, цифровое пианино и телевизор; единственным признаком жизни в этом месте был его домашний кот. Крижевский, Орвилл Райт нейронных сетей, Он рассказал съемочной группе, что отошел от этой технологии. «Возможно, это просто особенность моего характера, — сказал он, — но когда я очень долго специализируюсь на чем-то одном, примерно через десять лет начинаю терять интерес».

...

Когда OpenAI собрала команду профессионалов, Хуан приступил к созданию компьютера. Самым дорогим предложением Nvidia на тот момент был настольный компьютер для научных исследований и визуализации данных. Хуан решил, что ему нужно что-то в десять раз мощнее. Он попросил свою команду разработать DGX-1, компьютер с ускорением ИИ. Основное внимание в устройстве уделялось умножению матриц, что для ИИ было тем же, чем *Quake* для графики.

Перестройка началась на атомном уровне. Компания TSMC предложила технологию производства под названием «FinFET», в которой транзисторы выступали над кремниевой подложкой, как акульки плавники. Если бы вы могли уменьшиться и встать на невероятно гладкую поверхность микрочипа, транзисторы с «плавниками» выглядели бы как советские многоквартирные дома, возвышающиеся над вами во всех направлениях на высоту двухсот атомов. Эти кристаллические каньоны были не столько напечатаны, сколько «вылеплены» ультрафиолетовым светом с такой точностью, которая впечатлила бы мастера эпохи Возрождения. Инженеры сравнивали этот производственный процесс с выстрелом лазера с поверхности Луны и попаданием монеты в четверть доллара на тротуаре в Арканзасе.

Новые транзисторы типа «акульий плавник» позволили разработчикам значительно лучше контролировать поток электричества. Раньше транзисторы всегда вели себя примерно как старый садовый шланг, протекая повсюду и обеспечивая лишь приблизительное управление слабым потоком. Новые транзисторы устранили утечки и, в некотором смысле, оснастили шланг высокотехнологичной насадкой, позволяющей использовать различные режимы распыления. Для разработчиков микросхем технология FinFET представляла собой долгожданное сочетание точности, эффективности и контроля.

Как мало внимания привлекали подобные инновации. Транзисторы — *компьютеры* — переживали самое важное физическое обновление с 1970-х годов, но среди населения ни один человек из ста не знал об этом и даже не интересовался этим. Подобно какой-нибудь доминирующей спортивной франшизе, полупроводниковая индустрия долгое время...А выдающиеся достижения воспринимались как нечто само собой разумеющееся, даже инженерами-программистами. Компьютеры постоянно совершенствовались; это было само собой разумеющимся. Как могло быть иначе?

Однако внутри Nvidia транзисторы в форме акульих плавников вызвали огромный ажиотаж. Архитекторы чипов проектировали их в масштабах, которые были почти невообразимы: лабиринт из волос теперь мог бы заполнить не только теннисный корт, но и весь штат Род-Айленд. По мере того, как эти лабиринты начинали «восходить», они открывали фантастические возможности. В древних легендах именно Дедал построил этот лабиринт, чтобы поймать ужасного Минотавра, — но если бы Дедал увидел, что строит Nvidia, он бы заплакал от зависти.

Архитектура первого чипа Nvidia на основе технологии FinFET получила название «Pascal» в честь философа и математика XVII века Блеза Паскаля, который, помимо многих других достижений, изобрел первый механический калькулятор. Название было закодированной отсылкой к главному узкому месту в вычислительной технике, которым всегда была скорость вычислений. От зубчатой счетной машины Паскаля до вакуумных ламп ENIAC и высокоточных микрочипов Intel и IBM, компьютеры просто никогда не могли выполнять

арифметические операции достаточно быстро. Но Nvidia P100, выпущенный в апреле 2016 года, выполнял вычисления быстрее, чем их можно было даже передать в машину. С этими чипами скорость вычислений перестала быть главным препятствием. С этими чипами «компьютер» вышел за рамки обыденного действия «вычисления».

Хуанг предвидел эту проблему. С 2014 года Nvidia разрабатывала высокоскоростную магистраль передачи данных под названием NVLink, которая увеличивала скорость обработки математических задач. NVLink представляла собой своего рода «пушку для домашних заданий», которая каждую секунду обрабатывала на процессоре миллион задач по умножению матриц. Соединив восемь чипов P100 с помощью соединения NVLink, Nvidia объединила отдельные кремниевые лабиринты в единый вычислительный суперлабиринт.

Эта великолепная восьмичиповая архитектура составляла основу DGX-1, который был заключен в элегантный металлический корпус с шероховатой поверхностью. Компьютер весил 134 фунта, стоил 129 000 долларов и потреблял столько же энергии, сколько сушилка для белья. DGX-1 был самым мощным компьютером, когда-либо созданным Nvidia — Хуанг назвал его «центром обработки данных в коробке». Это была не машина. Предназначенный для общего использования, этот компьютер не был разработан ни для чего, кроме обучения всё более мощных систем искусственного интеллекта. Но сегодня DGX-1 можно было бы поставить в один ряд с ENIAC и Apple II как один из важнейших компьютеров, когда-либо созданных.

Илон Маск получил первое устройство. В августе 2016 года Хуан лично доставил его ему в штаб-квартиру OpenAI в районе Мишн в Сан-Франциско. Хуан приехал в кожаной одежде; теперь он носил только её. Компьютер весил так много, что ему понадобилась тележка, чтобы занести его в офис, и помощь, чтобы поднять его на стол. Маск разрезал упаковку канцелярским ножом, а Хуан подписал компьютер маркером. «Илону и команде OpenAI!» — написал он элегантными заглавными буквами. «Будущему вычислительной техники и человечеству. Представляю вам первый в мире DGX-1!»

На следующей неделе Хуан доставил еще один подписанный DGX-1 в лабораторию Фэй-Фэй Ли в Стэнфорде. Конкурс ImageNet 2016 начался несколько дней спустя. Благодаря множеству когнитивных «слоев» лучшие участники смогли разметить изображения с точностью до 98 процентов, превзойдя средний показатель для людей в 95 процентов. После шести десятилетий исследований и десятков миллиардов инвестиций компьютер теперь мог отличить лопатку от топора. Началась эра машинного превосходства.

## Хороший год

В 2016 году акции Nvidia выросли на 224 процента, вернув Дженсену Хуангу былую славу и сделав его миллиардером. Однако Nvidia не стала лидером роста среди акций S&P в том году. Титул достался давнему конкуренту Nvidia, компании AMD, чьи акции подорожали на 309 процентов. Хуангу не понравилось второе место. Он вновь посвятил себя победе и добился её в следующем году. Выручка удвоилась, прибыль утроилась, и компания с

головокружительной скоростью запускала новые продукты. Немногие компании в мире когда-либо могли рассчитывать на такой же успешный год, как Nvidia в 2017 году.

Первой задачей Хуана в 2017 году стало сдерживание AMD. С момента приобретения производителя видеокарт ATI в 2006 году AMD была единственным реальным конкурентом Nvidia — GeForce и Radeon были своего рода «Кока-колой» и «Пепси» среди графических процессоров. Но с 2014 года эта затянувшаяся и порой ожесточенная борьба приобрела личный характер: новый генеральный директор AMD, Лиза Су, была родственницей Хуана.

Су, на семь лет младше Хуан, была дочерью статистика и бухгалтера. Ее семья иммигрировала в Нью-Йорк из Тайваня, когда ей было три года. В отличие от Хуан, Су *выросла* в семье, где родители были «тиграми». В детстве родители предложили ей три варианта карьеры: инженер, врач или концертная пианистка. Она выбрала первый вариант, потому что «он...» «Это казалось самым сложным», — сказала Су, говоря с легким нью-йоркским акцентом, в брючном костюме и с короткой стрижкой. Она также была готова рисковать. «В ней есть что-то от Дженсен, знаете, убежденность», — сказал мне Форрест Норрод, старший руководитель AMD. «У нее есть смелость продолжать двигаться вперед в трудные времена».

Генетическая связь между Хуаном и Су была довольно слабой. Мать Хуана происходила из большой семьи и имела как минимум одиннадцать старших братьев и сестер. Один из этих братьев и сестер был дедом Су; технически говоря, это делало двух руководителей двоюродными братьями и сестрами в третьем поколении. В детстве Хуан не знал о существовании Су и узнал о ее родстве только после того, как она стала генеральным директором AMD.

И родственные связи, возможно, были даже более отдаленными, чем предполагала кровная близость. Мать Хуан не была так близка со своей биологической семьей — как одна из младших сестер, она выросла в другой семье. «В старину нужно было отдать ребенка, поэтому его отдавали другу», — сказала Хуан. «Мою мать отдали другу ее отца, и на этом все; они выросли раздельно». Предок Лизы остался с ее первоначальными родителями.

Когда я спросил Хуана о Су, он сказал только хорошее. «Она потрясающая», — сказал он. «Мы не очень конкурентоспособны». Конечно, никто другой так не считал. Долгие годы AMD была единственным реальным конкурентом Nvidia на рынке графических процессоров, и сотрудники Nvidia могли наизусть перечислить относительную долю рынка двух компаний. Я подумал, что Хуан что-то от меня скрывает; раньше, как я заметил, он часто критиковал конкурентов, таких как 3dfx, в прессе. Теперь же он никогда не говорил ничего плохого ни об одном из своих конкурентов — или, по крайней мере, никогда, когда рядом находились журналисты, разжигающие смуту.

Несколько человек рассказали мне, что, хотя Хуан и поумнел в отношении *публичного* унижения конкурентов, он продолжал делать это в частном порядке. Дэвид Кирк считал, что Хуан усвоил урок после того, как юристы по делам о банкротстве компании 3dfx заставили его зачитать свои уничижительные комментарии вслух на видеозаписи допроса. Но Кирк также предположил, что когда диктофоны выключат и двери конференц-зала закроют, появится старый добрый, язвительный Дженсен. Отраслевой аналитик Ханс

Мозесманн также предположил, что любой Показная дружба между Nvidia и AMD была уловкой. «Да, Йенсен не хочет проиграть, — сказал он. — Но особенно он не хочет проиграть Лизе».

• • •

Еще до того, как его двоюродный брат был назначен руководителем компании, у Хуана были сложные отношения с AMD. Его первая настоящая работа была именно в этой компании, и он до сих пор владел небольшим количеством акций AMD, которые приобрел по программе выкупа акций сотрудниками еще в 1984 году. В 2006 году AMD даже предложила купить Nvidia. Хуан был не против, но, узнав, что не будет руководить объединенной компанией, он прекратил переговоры о слиянии. Сделка принесла бы ему неплохие деньги, но Хуан не собирался покидать кресло генерального директора никогда. У него не было плана ухода.

Вместо этого AMD приобрела компанию ATI из Торонто, конкурента Nvidia. За этим последовала череда недальновидных управленческих решений, и за следующие шесть лет в AMD сменилось три генеральных директора. В 2008 году компания завершила строительство нового корпоративного кампуса на вершине холма в Остине, штат Техас, который она претенциозно назвала «Вершина Лантаны» (холм был высотой в несколько сотен футов). Пять лет спустя, пытаясь избежать кредиторов, AMD была вынуждена продать «Вершину» и взять ее в аренду, как арендатор. Эта сделка была позорной, и к 2014 году акции AMD торговались по 2 доллара за акцию.

В поисках человека, готового управлять компанией, словно в хосписе, совет директоров повысил 45-летнюю Су, внутреннего вице-президента, до должности генерального директора. Мало кто на Уолл-стрит ожидал от нее чего-либо, кроме отсрочки подачи заявления о банкротстве на несколько месяцев. Но они недооценили ее; со временем она стала одним из самых известных генеральных директоров полупроводниковых компаний той эпохи, уступая по этому показателю только Хуан.

Их характеры отличались. Хуан была темпераментной и экспрессивной, а Су — сдержанной и невозмутимой. «У неё отличное умение скрывать эмоции», — сказал Мозесманн. «У Йенсена такого нет, хотя он всё равно найдёт способ тебя обыграть». У Су также был противоположный стратегический подход. Вместо того чтобы уплыть в открытое море, она не стала бы отплывать далеко. Подобно Дженсену, она предпочитала рыскать вокруг действующего игрока, выжидая, когда тот дрогнет. В этом смысле Су, возможно, была смелее Хуана: она не убегала от Intel. На самом деле, возрождение AMD произошло благодаря захвату бизнеса Intel по производству процессоров, что аналитики когда-то считали невозможным.

Теперь, когда искусственный интеллект начал процветать, Су активно следила за деятельностью Дженсена. В 2016 году её компания выпустила клон CUDA с открытым исходным кодом для видеокарты Radeon. Большинство разработчиков сочли это предложение менее совершенным, а облачные графические процессоры AMD не стоили таких высоких цен, как Nvidia. Но Су, как и Хуан, была терпелива и готова была ждать несколько лет, чтобы воспользоваться возможностью. «Дженсен не хочет проигрывать. Он

целеустремлённый человек», — сказал Норрод. «Но мы считаем, что можем конкурировать с Nvidia».

Хуан приветствовал свою дерзкую кузину на шоу, переманив одну из ее старейших клиенток. У Nintendo и AMD были тесные отношения: ATI поставляла графическое оборудование для нескольких поколений консолей Nintendo, включая GameCube и Wii. Это был сегмент бизнеса, который Хуан, после срыва сделки с Xbox, неоднократно заявлял, что не хочет развивать. Игровые консоли обновлялись только раз в пять лет, что слишком медленно для человека, привыкшего к шестимесячному циклу обновления. Поэтому для всех стало неожиданностью — включая Су — когда было объявлено, что Nintendo собирается сотрудничать с Nvidia для создания новой Nintendo Switch.

Для посторонних Nintendo напоминала невзламываемый сейф. Даже по японским меркам компания была замкнутой. Ее штаб-квартира находилась в консервативном Киото, и большинство решений принимали легендарный гейм-дизайнер Сигэру Миямото и небольшая группа руководителей, окружавших его. Миямото было чуть больше тридцати, когда он создал *Super Mario Brothers* и *The Legend of Zelda*; теперь, в свои шестьдесят, этот Уолт Дисней, создатель игр, не утратил своей страсти.

Команды разработчиков аппаратного и программного обеспечения в Киото работали бок о бок, создавая полноценные игровые проекты, тесно связывающие игровой процесс с управлением с помощью контроллера. Миямото проявлял фанатичный контроль; однажды он даже пожаловался на швы на штанах Марио в рекламе в США. Но Миямото также подталкивал свои команды к смелым творческим решениям и...Технологические риски, а грядущая Switch оказалась одной из самых универсальных и приятных в использовании консолей, когда-либо созданных.

Инсайдеры считали, что вопрос с чипсетом Switch решен. «У ATI были исключительные отношения с Nintendo, — сказал Джон Педди. — Они были лояльным и надежным поставщиком, и не было никаких оснований полагать, что это изменится». Но торговые представители Nvidia каким-то образом пробрались на рынок, продавая Tegra — продукт, созданный на основе мобильного телефона, который инженеры описывали как «остатки с пола». Как именно Хуанг заполучил Switch, остается тщательно охраняемой тайной — хотя японские руководители могут приглашать иностранного советника в зал заседаний, реальные решения принимались поздно ночью в крошечных идзаках Киото после пары кружек пива.

Tegra представляла собой «систему на кристалле», то есть объединяла центральный процессор, графический процессор и другие функции на одном кремниевом кристалле. Вычислительная производительность Tegra не была исключительной; её главным преимуществом было низкое энергопотребление, позволявшее геймерам отсоединять Switch от подставки и часами играть в *Animal Crossing*, прячась от родителей под одеялом. Педди вспоминал встречу с руководителями Nintendo вскоре после принятия неожиданного решения. «Встреча была невероятно дружелюбной, но холодной», — сказал он. «Знаете, „Всё кончено, очень приятно вас видеть, и, пожалуйста, уходите“».



Компания Nintendo продала 140 миллионов консолей Switch, что сделало её самым прибыльным продуктом в истории компании. Но темпы развития Nvidia были настолько высоки, что Хуанг почти не упоминал о создании «мозга» Switch, даже в интервью того времени. «Нападение на Лизу Су» было второстепенным проектом; теперь его разросшаяся компания контролировала всё.

• • •

Нобелевская премия по физике 2017 года была присуждена за работу над лазерным интерферометром гравитационно-волновой обсерватории — двумя парами пересекающихся лазерных лучей, расположенных на расстоянии 1800 миль друг от друга, которые улавливали тонкие возмущения в структуре пространства-времени для обнаружения столкновений звезд на расстоянии миллионов световых лет. Нобелевская премия по химии 2017 года была присуждена за работу над криоэлектронной микроскопией — методом, при котором биологические образцы помещались в подвешенное состояние. Прозрачный «аморфный лед», который затем подвергали бомбардировке электронными пучками для визуализации его трехмерной структуры. Обе награды были присуждены не за новые научные открытия, а за новые научные *инструменты* — и каждый из этих инструментов пересекался с областью применения параллельных вычислений графических процессоров Nvidia.

Лазерные лучи и замороженные амебы генерировали огромные объемы необработанных данных. Эти данные представляли собой, по сути, большую совокупность точек в пространстве, подобную куче миллиардов кирпичиков Лего, ожидающих сборки. Графический процессор позволил ученым параллельно объединять эти «кирпичики» данных, создавая точные трехмерные модели чудес нашей Вселенной в масштабах как больших, так и малых. Данные лазерных лучей были использованы для создания анимации двух черных дыр, которые миллионы лет находились в смертоносной гравитационной спирали, сближаясь все больше и больше, пока, наконец, не столкнулись друг с другом с взрывом такой силы, что он исказил ткань реальности и послал ударные волны, эхом разнесшиеся по всей Вселенной. Журнал *Science* назвал это прорывом года.

На другом полюсе находилось миниатюрное одноклеточное существо, подвешенное во льду, которое демонстрировало биологический механизм сюрреалистической сложности. Раньше подобные замысловатые структуры безвозвратно разбивались между предметными стеклами микроскопа, но новое трехмерное изображение, заключенное во льду, показало, что «слепой часовщик» эволюции создал настоящий биологический *часовой механизм*. Там были шестерни! Внутри клетки находились крошечные шестерни, и когда они вращались, они приводили крошечное существо в движение, как моторную лодку.

Трехмерные изображения были созданы с помощью компьютерной графики, а не представляли собой реальные фотографии, и порой приходилось прищуриваться, чтобы разглядеть красоту. Но она была. Она была там, ожидая не теории или эксперимента, а самого научного акта открытия. Черные дыры и механизмы природы ждали миллионы лет, ожидая, чтобы их увидели впервые. Параллельные вычисления сделали это возможным.

Ажиотаж вокруг ИИ затмил вклад Nvidia в такие прозаические научные открытия, которые лишь принесли их первооткрывателям Нобелевскую премию. Поддержка работы групп лауреатов в области физики и химии в одном и том же календарном году неопровержимо доказывала ценность CUDA для человечества — проблема заключалась в том, что это не приносило дохода. Как бы ни были прекрасны и важны эти технологии, на основании полученных изображений Билл Дэйли не был уверен, стали бы когда-либо научные вычисления прибыльными без нейронных сетей. «Рынок по производству этих больших суперкомпьютеров для различных лабораторий по всему миру, вероятно, не превышает затраты на разработку каждого поколения графических процессоров», — сказал он. «Возможно, мы бы и так преодолели этот этап, но хорошо, что появился искусственный интеллект».

• • •

Также в 2017 году CUDA открыла для себя другая, менее респектабельная категория пользователей. Майнеры криптовалюты создавали новые монеты, взламывая математические шифры методом перебора. CUDA отлично подходила для этой задачи, которая включала параллельную обработку аналогичных массивов данных миллионы раз. Предприимчивые майнеры вскоре поняли, что хорошо настроенная установка с графическим процессором может создать одну монету всего за четыре часа. Когда в январе 2017 года цена биткоина впервые превысила 1000 долларов, первые пользователи мгновенно разбогатели.

К середине 2017 года майнинг криптовалют превратился в классическое спекулятивное безумие. Биткоин вырос в четыре раза, затем еще в четыре раза, превысив к концу года отметку в 16 000 долларов. Розничные продавцы не успевали пополнять запасы игровых видеокарт GeForce, а на eBay за них можно было получить вдвое больше рекомендованной розничной цены. Появились «супермайнеры», устанавливавшие видеокарты GeForce на металлических стеллажах в спальнях и гаражах, генерируя столько тепла, что растапливал снег с крыши. Вскоре майнеры открыли для себя криптомекку: Ист-Уэнатчи, штат Вашингтон, крошечный речной городок в «гидро-аллее», где, как утверждалось, было самое дешевое электричество в стране.

Некоторое время акции Nvidia торговались параллельно с ценой биткоина. Многие в Nvidia были в ужасе — некоторые, обеспокоенные изменением климата, сочли такое использование видеокарт граничащим со святотатством. Хуан, рассуждая с самых основ, предвидел мир, в котором искусственный интеллект станет доминирующей силой в вычислительной технике. Когда Хуан аналогичным образом рассуждал с самых основ о потенциале блокчейна, он не предвидел мира, в котором криптовалюта вытеснит фиатные деньги.

Хуан был слишком опытным бизнесменом, чтобы прямо отговаривать майнеров от покупки его видеокарт, хотя он никогда прямо не поддерживал биткоин-майнинг тоже. Официальная позиция Nvidia в отношении криптовалют заключалась в молчании. На конференц-звонках в течение 2017 года Nvidia придерживалась обсуждений беспилотных автомобилей и ИИ, преуменьшала влияние криптовалют и отказывалась строить предположения о доле розничных продаж, приходящихся на майнинг. Финансовые отчеты

того времени показали лишь подозрительный рост в общей категории «игры», но даже молчание имело свою цену: позже SEC предъявила Nvidia обвинения в том, что она не раскрыла инвесторам долю продаж графических процессоров, приходящуюся на криптовалюты. Не признавая и не отрицая выводы SEC, Nvidia выплатила регуляторам штраф в размере 5,5 миллионов долларов.

Для бунтующей Nvidia это были сущие копейки, но всё равно это было ужасно неудобно, и большинство инженеров Nvidia, с которыми я общался, считали криптовалюту идиотским отвлечением от гораздо более важной научной работы компании. В конце концов, Nvidia выпустила CMP, карту только для майнеров, которая по сути была просто GeForce с удалёнными видеопортами. В то же время Nvidia намеренно ограничила возможности майнинга своих стандартных видеокарт, чтобы обеспечить приоритет геймерам и учёным. Биткоин рухнул в 2018 году, и спрос испарился. К тому времени, когда биткоин восстановился, графические процессоры были вытеснены специализированными установками, созданными для майнинга, а другие ведущие криптовалюты отказались от дорогостоящего и неэкологичного подхода «грубой силы». Nvidia была рада уступить этот бизнес.

• • •

В январе 2017 года Nvidia впервые сообщила о годовой прибыли в миллиард долларов. Вскоре после этого компания приняла на работу десятитысячного сотрудника. Унылый модернистский комплекс зданий, который компания занимала с 2001 года, больше не мог сдерживать её амбиции. Пришло время расширяться.

Несколькими годами ранее Nvidia приобрела участок земли, прилегающий к арендованному ею кампусу, в расчете на строительство командного центра, соответствующего видению Хуанга. Проект застопорился после скандала Vumprgate, но в 2017 году, после нескольких лет строительства, наконец открылась новая штаб-квартира, получившая название Endeavor. Endeavor представляла собой огромное здание в форме треугольника со скошенными углами. Эта форма была воспроизведена в миниатюре по всему зданию. Интерьеры, от диванов и ковров до защитных экранов в писсуарах. «Космический корабль» Nvidia, как его называли сотрудники, был огромным, залитым светом и безупречно чистым. Его интерьеры отличались четкими и угловатыми линиями, окрашенными в больнично-белый и матовый черный цвета, и прерывались многоэтажными «живыми стенами», густо заросшими растительностью.

Главным архитектором проекта «Эндевор» был Хао Ко, высокий и немногословный архитектор, работавший в Gensler, ведущей фирме по корпоративному дизайну. Ко одевался модно, носил аккуратную бородку-«бородку» и черные дизайнерские очки. Он был младшим архитектором в Gensler, когда Хуан назначил его ведущим дизайнером «Эндевора», обойдя босса Ко. Я спросил Ко, почему Хуан так поступил. «Вы, наверное, слышали истории, — сказал Ко. — Он может быть очень жестким. Он может вас раздеть». У Хуана не было опыта в архитектуре, но ему нужен был кто-то, кого он мог бы немного подтолкнуть. «Я бы сказал, что девяносто процентов архитекторов дали бы отпор, — сказал Ко. — Я же больше люблю слушать».

Чтобы воплотить в жизнь свое видение здания Endeavor, Хуан надел на Ко шлем виртуальной реальности, а затем подключил шлем к стойке с графическими процессорами Nvidia, чтобы Ко мог имитировать поток света. «Это первое здание, для проектирования которого потребовался суперкомпьютер», — сказал Хуан. Ко использовал шлем для проектирования необычной волнистой крыши Endeavor, которая напомнила мне фрактал. Сначала Ко вывел крышу за край внешних стеклянных стен Endeavor, чтобы она отбрасывала тень, как поля шляпы. Затем, используя программное обеспечение для автоматизированного проектирования, он разместил сотни маленьких треугольных световых люков вдоль складок крыши в математически оптимизированных местах. В совокупности это обеспечило постоянное естественное освещение здания, не подвергая сотрудников прямому воздействию солнечных лучей.

«Эндевор» обладал широким обзором, и можно было видеть от одного края здания до другого на расстоянии нескольких сотен ярдов. Это было именно то, чего хотел Хуан, поскольку обеспечивало ему круговой обзор всего персонала. Ко построил для Хуана прекрасный офисный комплекс на третьем этаже; Хуан использовал его как книжный склад. Вместо этого он занял ничем не примечательную конференц-комнату в центре своей штаб-квартиры и превратил ее в свой оперативный штаб. Хуану все еще нужно было находиться в центре событий. вещи — именно то, что ему было нужно, чтобы сидеть за столом рядом с холодильником в доме Приема много лет назад.

Работать с Хуангом было непросто. Ко вспоминает, как Хуанг кричал на своих инженеров из-за скорости рендеринга VR-гарнитуры. «Он действительно их отчитывал», — сказал Ко. Первоначально на рендеринг изменений дизайна гарнитуры уходило пять часов; после вспышки гнева Хуанга инженеры сократили скорость до десяти секунд. Хуанг был с ними строг, но в этом была своя логика. «Если на рендеринг гарнитуры уходило пять часов, я, вероятно, остановился бы на любом оттенке зеленого, который казался бы подходящим», — сказал Ко. «Если же на это уходило десять секунд, я бы потратил время на выбор наилучшего оттенка зеленого».

Здание получило несколько наград и сыграло важную роль в карьере Ко. Теперь у Nvidia было знаковое здание, способное соперничать с GooglePlex и Infinite Loop от Apple. Сотрудники были поражены огромными размерами своего нового рабочего пространства — Ко, по настоянию Хуана, даже построил на верхнем этаже бар под названием «Шеннон». (Дэвид Шеннон, бывший главный юрисконсульт Nvidia, усомнился в целесообразности такого сочетания сотрудников и алкоголя, поэтому Хуан назвал бар в его честь.) Однако, помимо бара, в здании было мало удобств. Здесь отсутствовали некоторые из тех экстравагантных преимуществ, которые были в других кампусах Силиконовой долины: не было тренажерного зала, скалодрома, площадки для выгула собак, площадки для диск-гольфа, бассейна с шариками. «Сюда приезжают работать», — сказал Хуан.

Проект Ко не был завершен. Завершив первое сооружение, он уже проектировал второе, еще большее здание, расположенное прямо к северу. Это здание, известное как «Вояджер», должно было представлять собой еще один усеченный треугольник напротив первого. Вместе два здания должны были образовать взаимосвязанную многоугольную структуру, напоминающую об истоках Nvidia в 3D-графике, и одновременно открывающую

впечатляющие виды как с земли, так и с неба. (Их названия также переплетались; начальные звуки «Эндевор» и «Вояджер» вместе образовали «NV».) Когда Ко закончил второе здание, генеральный план Хуана предусматривал *третье* здание, пока еще безымянное, в дополнение к двум другим. Каждое здание должно было быть больше предыдущего, покрывая дно долины одним мозаичным треугольником за раз.

Когда открылся Endeavor, Ко провел для Хуана и группы руководителей экскурсию. «Место было достроено, выглядит потрясающе, мы проводим экскурсию, и «Он расспрашивал меня о расположении питьевых фонтанчиков», — сказала Ко. «Он был расстроен, потому что они находились рядом с туалетами! Это требуется по строительным нормам, а это здание стоит миллиард долларов! Но он просто не мог это оставить в покое».

«Я никогда не бываю доволен», — сказал Хуан. «Что бы это ни было, я вижу только недостатки».

...

В 2017 году программный пакет CUDA был загружен 2,7 миллиона раз, что почти в три раза больше, чем в предыдущем году, и в пятнадцать раз больше, чем в 2012 году, когда его количество было минимальным. Часть загрузок была связана с криптографией, но большинство пользователей CUDA стремились создавать системы искусственного интеллекта. Значительный интерес проявили студенты — к 2017 году самым популярным курсом в Стэнфорде стал CS 229, «Введение в глубокое обучение».

В отличие от майнеров криптовалюты, разработчики CUDA не обязательно покупали собственное оборудование Nvidia. Многие запускали свои программы, а иногда и целые компании, на виртуальных машинах, которые они арендовали через облако. Для облачных провайдеров это был исключительно прибыльный бизнес. Доминирующим игроком была Amazon Web Services, которая контролировала 50 процентов рынка и в удачные годы зарабатывала даже больше, чем обширная сеть электронной коммерции Amazon. За Amazon следовал облачный сервис Microsoft Azure под обновленным руководством генерального директора Microsoft Сатьи Наделлы. Совокупный спрос со стороны Amazon, Microsoft и других облачных провайдеров позволил удвоить продажи чипов Nvidia центрам обработки данных за год.

Хуан не упустил из виду, что аренда виртуального вычислительного оборудования приносила больше прибыли, чем продажа реального физического оборудования. В 2017 году он запустил две собственные платформы для аренды. Первой стала GeForce Now, которая сдавала в аренду виртуальные видеокарты, позволяя геймерам играть в высокопроизводительные игры на маломощных машинах, таких как ноутбуки и дешевые ПК. Физическая продажа игровых видеокарт GeForce по-прежнему обеспечивала большую часть доходов Nvidia, и энтузиасты все еще любили хвастаться своими компьютерами — но облачные вычисления подсказали, что все, что действительно нужно современным геймерам, это...монитор и приличное широкополосное соединение. С GeForce Now Хуан заблаговременно готовился когда-нибудь пустить пулю в голову тому, что на протяжении двадцати пяти лет было его основным бизнесом, рассудив, что если он сам его не уничтожит, это сделает кто-то другой.

Вторая платформа была совершенно странной. Идея пришла к Хуану, когда он наблюдал за тем, как Евгений Чеботар, исследователь из Университета Южной Калифорнии, обучал роботизированную руку бить по оранжевому мячу хоккейной клюшкой. Рука использовала методы обучения с подкреплением, чтобы научиться забивать голы. При достаточном количестве времени она могла бы соперничать с Гретцки, но для этого Чеботару и его помощникам пришлось физически переставлять мяч перед клюшкой тысячи раз.

Хуан не считал это эффективным использованием времени Чеботара. Вместо этого, рассуждал он, физические параметры хоккея следует моделировать на компьютере. Сила моделирования была повторяющейся темой на протяжении всей карьеры Хуана. Все, что он мог смоделировать, он моделировал — обычно это приводило к прибыли и инновационным продуктам. Теперь ему пришло в голову, что моделирования чего-либо одного недостаточно; он должен моделировать *все*. «Мы должны построить альтернативную вселенную», — сказал Хуан.

В этой альтернативной вселенной для обучения робототехнике Чеботару не нужно было бы перезапускать мяч. Вместо этого подкрепление могло бы происходить мгновенно; роботизированная рука за тот же промежуток времени отбила бы миллиард мячей. Джеральд Тесауро имитировал игры в нарды, генерируя миллионы бросков игровых костей. Хуанг имитировал бы игры в хоккей, создавая новую реальность с помощью кода.

Создание платформы, достаточно точно воспроизводящей физику реального мира, оказалось непростой задачей. Игровые движки были далеки от этого — как заметил Педди, если убрать текстуры, то получались просто блоки, сталкивающиеся друг с другом. Симулятору реальности потребовался бы не только идеальный физический движок, но и точное представление упругости столкновений и плотности объектов. Например, удар по теннисному мячу должен был бы вызывать иную реакцию, чем удар по бильярдному шару. Мягкие текстуры, такие как ткань, должны были бы поддаваться, а жесткие, такие как металл, — сохранять свою форму. Скользящая мокрая тарелка должна была бы упасть, а хрупкий фрукт — лопнуть. При таком количестве переменных создание симулятора реальности было бы дорогостоящим, трудоемким процессом, и на начальном этапе у него было бы, возможно, пять или шесть клиентов. Хуан, конечно же, был в восторге от этой идеи.

Хуан назвал свой первый симулятор платформой для обучения роботов «Исаак». Со временем «Исаак» привёл к созданию более сложного продукта под названием «Омниверс», который Хуан иногда описывал как «промышленную метавселенную», а иногда как «цифровой двойник» Земли. «Омниверс» не был физическим продуктом, который Хуан продавал, а представлял собой высокотехнологичную цифровую игровую площадку, которую он сдавал *в аренду*. И сдавал в аренду не только роботам, но и автомобилям, промышленным дизайнерам, строителям складов и всем, кто хотел заставить сложные физические продукты работать в реальном мире, не ломая ничего предварительно. Ко, используя VR, построил ему космический корабль. С помощью «Омниверса» Ко мог построить что угодно.

• • •

К концу 2017 года прибыль Nvidia утроилась, достигнув 3 миллиардов долларов, при этом наблюдался резкий рост по всем продуктовым линейкам. Забытая компания по производству видеокарт теперь стала игроком на Уолл-стрит с рыночной капитализацией в 100 миллиардов долларов. Тем не менее, если бы вы спросили обычного человека на улице в 2017 году, какой продукт производит Nvidia, ответ, скорее всего, был бы: оборудование для графики или майнинг криптовалют. На самом деле, это не совсем так — если бы вы спросили обычного человека на улице о Nvidia в 2017 году, он бы точно не имел ни малейшего представления о том, о чём идёт речь. Но для той небольшой части населения, которая всё же знала, Nvidia по-прежнему ассоциировалась в основном с видеоиграми.

Только самые искушенные инвесторы поняли, что Nvidia больше не является компанией, специализирующейся на потребительской графике. Это компания, занимающаяся искусственным интеллектом. Это была *компания*, которая в первую очередь занимается ИИ. И ИИ внезапно и незаметно появился повсюду: распознавание человеческих лиц, рекомендации товаров, организация лент социальных сетей и улучшение качества звука на мобильных телефонах. Как заметил Марк Андрессен, так или иначе почти все это зависело от вычислительной платформы Nvidia. Инвесторы, которые проявили смелость и оставались верны Хуангу в трудные времена, были вознаграждены, а управляющие портфелями Fidelity, которые допрашивали Хуанга в Бостоне в 2013 году, теперь были в восторге от своих разросшихся и постоянно растущих активов. Позиция в компании, которая стремительно становилась лучшей инвестицией на фондовом рынке. Благодаря CUDA, Nintendo Switch, Нобелевским премиям, криптовалютам и облачным технологиям, Nvidia навсегда оставила позади корпоративный застой. Однако ни один из этих продуктов, даже попытка Хуанга клонировать реальность, не мог подготовить его, его клиентов или инвесторов к той метаморфозе, которая вот-вот должна была произойти.

## Трансформатор

Подобно тому, как Вольфганг Моцарт родился в музыкальной семье, а Стивен Карри — в баскетбольной, так и Якоб Ушкорайт родился в малоизвестной области вычислительной лингвистики. Его отец, Ханс, был известным исследователем, посвятившим свою жизнь попыткам научить компьютеры обрабатывать язык. Якоб хотел заниматься чем-то другим в области компьютеров, возможно, чем-то связанным с биологией, но после того, как его приняли на работу в Google в 2008 году, он вскоре понял, что обработка языка — одна из самых интересных проблем. Подчинившись судьбе, Ушкорайт пошел по стопам отца. Через несколько лет он навсегда превзошел его.

Ушкорейт был красивым мужчиной со строгими немецкими чертами лица и темно-кариими глазами. Он носил длинные волосы и часто собирал их в пучок. Родившись в Америке, он вырос в Германии и говорил по-английски с легким акцентом. В Google Ушкорейт размышлял о скрытых грамматических структурах, определяющих работу языка. Возможно, из набора случайных начальных весов нейронной сети эти же структуры могли бы быть сформированы.

Первые попытки применения нейронных сетей в лингвистике были неудачными. Независимо от способа обучения, модели продолжали совершать элементарные

грамматические ошибки. Обучение компьютера грамматике целенаправленно, как в старшей школе, было бы неэффективным. Подход, основанный на использовании навыков работы с латынью в школе, оказался неэффективным. Вместо этого исследователи попытались внедрить долговременную и кратковременную память в «рекуррентные» нейронные сети, но эта архитектура оказалась капризной и сложной в программировании. При увеличении объема текста рекуррентные нейронные сети иногда даже переставали обучаться, забывая то, что уже знали.

Ушкорейт хотел создать нейронную сеть, которая становилась бы умнее по мере чтения. Примерно в 2014 году его осенила оригинальная идея. Если больше данных должно приводить к лучшим результатам, то базовая структура обработки информации должна быть как можно проще. Источником вдохновения послужила биология — медицинские исследования показали, что из примерно ста миллиардов нейронов в человеческом мозге менее 1 процента отвечает за обработку языка. «Вероятно, язык эволюционировал таким образом, чтобы использовать наши когнитивные способности достаточно оптимальным образом», — сказал он в интервью 2023 года.

Ушкорейт решил моделировать язык, используя исключительно контекст. Он отбросил все структуры памяти и заменил их простым графом знаний. Сами по себе слова ничего не значили: изолированно они представляли собой произвольные наборы звуков. Единственный способ уловить их значение — это установить связи между ними и другими словами в тексте. Так, если у вас был граф знаний, связывающий слова «хмель», «зеленый», «язык», «мухи» и «земноводное», то вы знали достаточно, чтобы догадаться, что слово в центре — это «лягушка». Более того, граф должен был выглядеть одинаково на немецком, французском, суахили или вьетнамском языках. Слово не состояло из букв «ф», «р», «о» и «г» — эти буквы были всего лишь заполнителями. Слово, в когнитивном смысле, представляло собой уникальную карту связей с остальной частью словарного запаса.

Чтобы отразить эту взаимосвязь, Ушкорейт определил каждое слово как дерево статистических весов. Например, если попросить нейронную сеть рассмотреть предложение «Апельсиновый \_\_\_\_\_ поймал коричневую мышь», она могла бы предположить, что пропущенное слово, скорее всего, «кот», поскольку в её обучающем наборе было много пар «кот/мышь». «Кот» также мог бы иметь относительно сильную связь со словами «поймал» и, возможно, «съел», но менее сильную со словом «коричневый» и едва ли сильную со словом «the». Возможно, при достаточном количестве обучающих примеров компьютер мог бы также понять, что «оранжевый» — это прилагательное, которое изменяет существительное «кот», не получая при этом явных грамматических изменений. Инструкция. Существительные легко было сопоставить таким образом, но другие слова оказались сложнее. Например, при разборе слова «unhappiness» носитель английского языка неявно понимал отрицательную приставку «un», корневое слово «happi» и суффикс «ness», используемый для преобразования прилагательного в существительное. Чтобы лучше смоделировать эти взаимосвязи, Uszkoreit разделил слова на фрагменты, называемые «токенами». Они также были связаны в дерево статистических весов.



Ушкорейт назвал этот механизм обучения «самовниманием». В Google его восприняли спокойно — казалось, он слишком прост, чтобы работать. «Люди подняли брови, потому что он отбрасывал все существующие нейронные архитектуры», — сказал Ушкорейт. Даже его отец был настроен скептически. Но Ушкорейт проектировал для графического процессора. Рекуррентная нейронная сеть не использовала преимущества оборудования Nvidia. Фактически, она противостояла *параллельной* архитектуре, минимизируя ввод данных и максимизируя сложный код. Ушкорейт, видя аналогию с мозгом, хотел сделать противоположное, пропуская огромные объемы текста, слов и вычислительной мощности через простой, но элегантный канал. В 2023 году Ушкорейт изложил свою точку зрения: «Если вам дано оборудование, которое обладает ключевым преимуществом — выполнением множества простых вычислений параллельно, в отличие от сложных, структурированных вычислений последовательно, — то именно это статистическое свойство вы хотите использовать».

• • •

Механизм «самовнимания» сразу же оказался успешным, и его элементы были внедрены в поисковые и рекламные продукты Google. Ушкорейт, стремясь развить эту идею дальше, убедил Илью Полосухина, выдающегося программиста, работавшего с ним в GooglePlex, присоединиться к этой исследовательской группе. Полосухина тоже увлекали биологические основы языка. «Изображения интересны и, очевидно, содержат много знаний о мире, но у нас есть тысячи видов, которые умеют видеть, — сказал он мне. — Только один вид может понимать язык».

Полосухин размышлял над тем, как реализовать механизм самовнимания, когда отправился смотреть фильм Дени Вильнёва «*Прибытие*» 2016 года. В фильме инопланетные «гептаподы», похожие на кальмаров, пытаются общаться с людьми, рисуя загадочные круглые чернильные пятна. Лингвист, которую играет Эми Адамс, в конце концов понимает, что каждое чернильное пятно представляет собой единый, цельный текст. (Затем она начинает видеть будущее, но пока мы будем говорить только о чернильных пятнах.) Полосухин осознал, что «самовнимание» можно использовать аналогичным максимальным образом, вероятностно связывая каждое слово в дереве не только с другими словами в предложении, но и с тысячами других слов во всем тексте. Даже слово, которое появилось много абзацев назад, может дать контекстную подсказку о значении следующего слова.

К Полосухину и Ушкорейту присоединился Ашиш Васвани, еще один исследователь Google, и к началу 2017 года трое создали примитивный переводчик с английского на немецкий, основанный на механизме самовнимания. Ранее Полосухин и Ушкорейт участвовали во внутренней программе Google под названием «автобот», которая пыталась автоматически создавать страницы Википедии. Новый механизм самовнимания получил название «трансформатор».

В течение следующих нескольких месяцев к команде присоединились еще четыре исследователя, и к февралю 2017 года немецко-английский переводчик стал конкурентоспособным по сравнению с лучшими рекуррентными сетями. К этому моменту к команде присоединился Ноам Шазир, ветеран Google, проработавший в компании с 2000 года, в качестве восьмого и последнего члена. Шазир был опытным программистом,

которого разочаровали рекуррентные нейронные сети, и он хотел найти альтернативу. Вместе с валлийским программистом Ллионом Джонсом он модернизировал трансформер из исследовательского проекта в программное обеспечение производственного качества. По мере того, как команда загружала в трансформер все больше данных, результаты улучшались, превосходя общедоступную платформу Google Translate. «Мы увидели, что чем больше данных, тем он становится умнее!» — сказал Шазир. «Этого нельзя было сказать о нашей предыдущей работе».

Предыдущие архитектуры нейронных сетей пытались строить предложения или даже абзацы. Трансформер работал, предсказывая ровно одно слово за раз, основываясь на вероятностных взаимосвязях. Всего одно слово — это было самое дальнее предвидение, которое он когда-либо делал. «Обучаясь генерировать последовательности по порядку, вы вынуждены осваивать чрезвычайно сложные модели поведения», — сказал член команды Эйдан Гомес. «Из этого вытекает одна из самых прекрасных вещей». Вскоре... Модель трансформера продемонстрировала свою способность «понимать нашу культуру, наш язык, взаимодействие между нами».

Джонс заметил, что если трансформер всегда выдавал наилучший вариант, текст мог стать немного неуклюжим. Поэтому, подобно писателю, обращающемуся к тезаурусу, он реализовал функцию «поиска по лучу», которая позволяла трансформеру выбирать из нескольких слов-кандидатов. «Если вы проложите путь через первое слово, затем второе, затем третье, а затем снова первое, вы часто получите лучший результат, чем если бы вы всегда выбирали только первое слово», — сказал он мне. «Это было кошмарно сложно реализовать, но как только мы это сделали, мы впервые получили самые современные результаты».

Чтобы лучше понять, что делает трансформер, Джонс также разработал инструмент визуализации, который отображал силу статистических связей между словами линиями разной толщины. Он загрузил в него заведомо сложную пару предложений. Первое предложение гласило: «Животное не перешло улицу, потому что оно было слишком уставшим». Второе предложение гласило: «Животное не перешло улицу, потому что оно было слишком широким». Для правильного анализа этой пары предложений трансформеру нужно было знать, что «усталый» может описывать только животное, а «широкий» — только улицу. К его удивлению, визуализация Джонса продемонстрировала именно эту связь. «Это была одна из старейших проблем в вычислительной лингвистике, и мы даже не пытались ее решить!» — сказал он. «Она просто возникла сама собой».

Язык обладает множеством схожих глубинных, неявных структур, некоторые из которых, вероятно, невидимы для лингвистов. «Модель не просто изучает отношения прилагательных и существительных — она также изучает гораздо более сложные вещи, для описания которых у нас, вероятно, даже нет языка», — сказал Гомес. Например, носители английского языка следуют неявному порядку расположения прилагательных — мы знаем, что нужно говорить «an old Canadian maple tree», а не «a maple Canadian old tree». С помощью трансформера эта лингвистическая интуиция была воплощена в программном обеспечении.

Если AlexNet был первым самолетом, хлипким прототипом, то трансформатор был реактивным двигателем. Шазир и Ушкорейт, работая вместе на доске, позаботились о том, чтобы все в трансформаторе было спроектировано с учетом гипермасштабной архитектуры с огромными объемами данных. Огромное количество параметров и массивные кластеры графических процессоров. По мере того, как проект набирал обороты, работа становилась все более напряженной; после одного из ночных авральных смен Васвани, не выспавшийся, вспомнил, как увидел нейроны в занавеске офиса.

На заключительном этапе команда провела «абляцию», намеренно отключив части кода трансформера, чтобы понять, какой вклад они вносят. Но абляция неожиданно привела к улучшению работы основной функции трансформера. Шазир удалил так много окружающего кода, что в итоге у него почти ничего не осталось. В своей самой примитивной интерпретации трансформер представлял собой едва ли более двадцати строк кода.

О, но на что он был способен! Готовясь к публикации своей основополагающей статьи, команда экспериментировала с наполнением трансформеров библиотеками музыки и архивами визуального искусства. Подобно тому, как трансформер мог точно предсказывать следующее наиболее вероятное слово в предложении, он мог предсказывать следующую наиболее вероятную ноту в симфонии или следующий наиболее вероятный пиксель в произведении искусства. Вскоре трансформер начал писать музыку и создавать узнаваемые произведения искусства. Эта элегантная архитектура, разработанная для выполнения простейших действий — *просто делать шаг за шагом* — была подобна универсальному ключу для ИИ. В 2017 году команда опубликовала свои результаты в журнале *Neural Information Processing Systems*, который ранее опубликовал результаты работы AlexNet. Для статьи нужно было название, и Джонс, подражая The Beatles, предложил «Внимание — это всё, что вам нужно». Это была импровизированная шутка, которую, как он думал, команда вряд ли будет использовать. Позже он встречал людей с этой фразой, вытатуированной на руках.

В июле 2017 года, незадолго до публикации результатов, Шазир и член его команды Лукаш Кайзер провели эксперимент. Вместо того чтобы просить машину-трансформер переводить уже существующие тексты, они попросили её обработать корпус из миллионов статей Википедии, а затем сгенерировать новый текст на основе прочитанного. В качестве задания они ввели одну просьбу: *напишите статью о Трансформере*. В результате появилось описание японской панк-группы новой волны под названием Transformer, состоящее из тысячи слов. Статья была чистой галлюцинацией — такой группы не существовало. Но текст был написан плавно, уверенно и даже включал вымышленные сноски. Гомес почувствовал, что его план прогресса рушится. «Вы ложитесь спать однажды ночью, и модели...» «Я едва умел писать без ошибок», — сказал он. «Мы думали, что через несколько десятилетий у нас появятся модели, которые смогут писать убедительно на английском языке, а потом вдруг это появилось!»

Команда разработчиков ожидала, что Google превратит технологию в продукты, ориентированные на потребителя, но руководство почему-то не увидело в ней ценности. Члены команды считали, что монополия Google на поиск привела к раздутой,

бюрократической компании, не желающей рисковать. «Они говорили: „Мы не можем запустить ничего, что не подходит под поисковую строку“, — сказал Полосухин. «Пятнадцать лет назад мы бы просто запустили что-то плохое. Затем мы совершенствуемся, учимся и улучшаем, улучшаем, улучшаем, улучшаем, пока не получится действительно хорошо. В какой-то момент мы утратили этот подход».

Авторы проекта «Трансформер» начали переходить в стартапы; к 2023 году все восемь первоначальных исследователей покинули компанию. (Шази́р, соучредитель популярного сервиса чат-ботов Character.ai, был приобретен в 2024 году. Переход в другие компании окупается.) Джонс, ушедший последним, все еще хвалил своего бывшего работодателя. Он вспоминал своих разносторонних коллег, каждый из которых обладал уникальной точкой зрения и компетенциями, которые органично объединились вокруг многообещающей темы. «Только Google мог разработать этот продукт», — сказал он. Вероятно, это было правдой, но неспособность Google извлечь выгоду из проекта «Трансформер» оставила огромную дыру на рынке, которую должен был заполнить кто-то другой.

• • •

Компания OpenAI испытывала трудности с тех пор, как Хуанг представил DGX-1. Первым направлением исследований компании стал «искусственный геймер», преуспевший в стратегической игре в реальном времени *Dota 2*. Некоторые сотрудники организации задавались вопросом, является ли это наилучшим использованием их высококлассных талантов. Илон Маск был разочарован очевидным отсутствием прогресса в OpenAI и начал пытаться переманить её инженеров в Tesla. Ситуация достигла кульминации в феврале 2018 года после напряженной борьбы в совете директоров, в результате которой Маск был отстранен от дел, а Сэм Альтман, бывший глава Y Combinator, занял его место. На своей последней встрече с сотрудниками Маск сообщил, что уходит, чтобы заняться собственными исследованиями в области ИИ в Tesla. «После того, как молодой исследователь оспорил решение Маска, предположив, что это усугубит гонку вооружений в области ИИ, он позвонил Исследователь был назван „ослом“ и выбежал из здания», — сообщила *gazeta The Wall Street Journal*.

Илья Суцкевер остался. Соавтор AlexNet продолжал публиковать важные исследования и теперь соперничал со своим наставником Джеффри Хинтоном как один из самых цитируемых ученых в этой области. Суцкевер сосредоточился на искусственном интеллекте, исключив из рассмотрения все остальное, включая, все чаще, уход за собой: его борода была спутанной и неухоженной, брови густыми и нестриженными, а сквозь редкие, тонкие волосы можно было увидеть большую часть кожи головы. Его сила, как заметил Хинтон, заключалась в скорости, с которой он мог переключиться на хорошую идею.

Примерно в то же время, когда Маск устроил истерику, Суцкевер наблюдал за презентацией Шази́ром трансформера на конференции. Он сразу же понял всю мощь этой архитектуры и, вернувшись в офис OpenAI, посоветовал своим коллегам отказаться от автогеймера и создать нечто, способное изменить мир. «Буквально на следующий день мне и нам стало ясно, что трансформер устраняет ограничения рекуррентных нейронных

сетей», — сказал Суцкевер. «Мы сразу же перешли на трансформеры». Альтман, теперь возглавляющий компанию, согласился с изменением стратегии.

Суцкевер хотел использовать трансформера для создания продукта, который бы выдавал высококачественный, удобочитаемый текст и отвечал на любые мыслимые запросы. Он видел экспериментальный проект Шазира и Кайзера с поддельными статьями из Википедии и подумал, что его можно развить. Сначала модель «предварительно обучалась» на большом наборе текста. Затем она генерировала собственный текст. Сочетание цели, метода и архитектуры привело к созданию «генеративного предварительно обученного трансформера», или GPT.

GPT-1 был запущен в июне 2018 года. Он научился читать, используя BookCorpus, коллекцию из примерно семи тысяч бесплатных электронных книг, изданных самостоятельно. (Преобладающими жанрами были научная фантастика, романтика и фэнтези — многие книги были подделками *под «Сумерки»*). Черпая вдохновение из этой программы третьесортной вампирской литературы, первый GPT оказался таким же плохим, как и следовало ожидать, отвечая на запросы пользователей потоками дадаистской чепухи. Маск не был впечатлен, и после выпуска GPT-1 он отправил OpenAI гневное письмо. «Моя вероятность «Оценка актуальности OpenAI для DeepMind/Google без кардинальных изменений в реализации и ресурсах составляет 0%», — написал он.

Тем не менее, у OpenAI была свобода запустить что-то плохое; в отличие от Google, она могла даже запустить что-то *ужасное*, а затем улучшать, улучшать и еще раз улучшать. GPT-1 был ужасен, но он показал, что нечто подобное может работать. Ключ к лучшей системе, как понял Суцкевер еще в 2012 году, заключался в масштабе.

Модель GPT-2 была запущена восемь месяцев спустя. Пройдя обучение по программе, посвященной вампирской романтике, модель обучалась, обрабатывая около восьми миллионов веб-страниц, содержащих примерно шесть миллиардов отдельных слов. В итоге конечный продукт иногда мог создавать текст, неотличимый от человеческого. Исследователи OpenAI предложили GPT-2 следующую историю: «В результате шокирующего открытия ученые обнаружили стадо единорогов, обитающих в отдаленной, ранее неисследованной долине в Андах. Еще больше исследователей удивило то, что единороги говорили на безупречном английском языке».

GPT-2 запустился с подсказкой:

Учёный назвал эту популяцию в честь их характерного рога «Единорогом Овидия». Эти четырёхрогие серебристо-белые единороги ранее были неизвестны науке.

Теперь, спустя почти два столетия, наконец-то разгадана тайна того, что послужило причиной этого странного явления.

Используя только статистические закономерности для угадывания следующего слова в предложении, GPT-2 выдала текст лучшего качества, чем любая другая языковая модель. Затем Суцкевер и его команда вывели GPT-2 из зоны комфорта, задавая «нулевые» вопросы, на которые не было прямого ответа ни на одной из веб-страниц. «Кто написал

книгу «*Происхождение видов*»?» — спросили они. «Чарльз Дарвин», — ответил GPT-2. (Правильно.) «Какая крупнейшая сеть супермаркетов в Великобритании?» — спросили они. «Tesco», — ответила она. (Правильно.) «Кто сыграл Джона Коннора в оригинальном «*Терминаторе*»?» — спросили они. «Арнольд Шварценеггер», — ответила она. (Неправильно: Шварценеггер сыграл(киборг.) «Какая река связана с городом Римом?» — спросили они. «Тибр», — ответило оно. (Верно.)

Способность GPT-2 отвечать на новые вопросы без явного обучения стала примером «эмерджентных» свойств в ИИ. Эти неожиданные навыки и модели поведения появлялись по мере роста моделей, удивляя даже исследователей. Как только модель переступала порог эмерджентности, никто, даже её разработчики, не могли сказать, на что она полностью способна.

Конечно, у GPT-2 было много ограничений. Он ужасно справлялся с обобщением аргументов и мог запутаться, считая до десяти. Тем не менее, Суцкевер, видя эти возможности, начал задаваться вопросом, не является ли этот трансформер первым шагом к «искусственному общему интеллекту» (ИИИ). Один из способов определить ИИ — это программное обеспечение, способное выполнять любую задачу, с которой справится человек. Суцкевер, создавая все более сложные версии GPT, вернулся к тем же вопросам, которые побудили к основанию OpenAI. Что, если ИИ сможет проводить *собственные* исследования в области ИИ, расширяя свой интеллект в бесконечном цикле обратной связи? Существует ли переломный момент, когда, как постулировал Бостром, за несколько мгновений ИИ переходит от относительно умного к сверхумному? Смогут ли его операторы-люди понять, что это происходит? Позволит ли этот ИИ им выжить?

Суцкевер не считал, что нынешнее поколение архитектуры нейронных сетей напрямую приведет к созданию ИИ. Но что насчет следующего прорыва? За чуть более чем пять лет он дважды наблюдал скачок вперед в развитии ИИ. Он рассуждал так: наверняка где-то кто-то работает над *следующим* AlexNet, *следующим* трансформером. Что же тогда? Этот вопрос начал занимать Суцкевера — никто не мог сказать, что может произойти, когда будет преодолен порог создания ИИ.

Однако эти опасения не ограничили его амбиции. Исследователи описывали размер моделей количеством отдельных весов, или «параметров», которые они содержали. Каждый параметр был примерно эквивалентен синапсу в биологическом мозге. GPT-1 содержала около 100 миллионов параметров, что соответствовало размерам насекомых. GPT-2 содержала 1,5 миллиарда, что эквивалентно размеру небольшой ящерицы. Для своей следующей модели Суцкевер поставил цель достичь 100 миллиардов параметров — порядка параметров грызуна.

Для обучения этой нейронной структуры требовалось огромное количество вычислительных мощностей. Одни только затраты на электроэнергию сделали её одним из самых дорогих приложений в области компьютерного интеллекта, когда-либо разработанных — ранний предвестник будущих изменений. Альтман, ныне генеральный директор, понял, что не сможет собрать достаточно средств за счёт пожертвований некоммерческих организаций, чтобы удовлетворить амбиции Суцкевера, поэтому в 2019 году он объявил о запуске дочерней компании OpenAI с «ограниченной прибылью»,

которая ограничивала инвестиции инвесторами всего лишь 100-кратной отдачей. «Было бы разумно рассматривать любые инвестиции в OpenAI Global LLC в духе пожертвования, понимая, что трудно предсказать, какую роль деньги будут играть в мире после внедрения общего искусственного интеллекта», — говорится в сопроводительном пресс-релизе.

Крупнейшим первоначальным «донором» стала Microsoft, которая инвестировала 1 миллиард долларов в OpenAI, согласившись на скромное потенциальное вознаграждение в размере 100 миллиардов долларов. (Возможно, наступит мир, в котором деньги превзойдут реальность, но до тех пор Microsoft будет продолжать накапливать их.) Эти инвестиции представляли собой миллионкратное увеличение по сравнению с 1000 долларами, которые Крижевский и Суцкевер потратили на покупку двух видеокарт GeForce семь лет назад. Однако даже этого было недостаточно, чтобы удовлетворить аппетиты Суцкевера. Человеческий мозг, возможно, насчитывает двести триллионов синапсов; независимо от наличия искусственного общего интеллекта, OpenAI стремилась превзойти его. Nvidia уже собирала вычислительную инфраструктуру, необходимую Суцкеверу для достижения этой цели, — интегрированное решение размером со склад, которое Хуанг больше не называл суперкомпьютером или центром обработки данных, а «фабрикой ИИ».

## Гипермасштаб

Теперь Хуанг интересовал только масштаб. Он не рассматривал ИИ как зарождающийся машинный сверхинтеллект и отвергал прямые аналогии с биологией. Для него ИИ был всего лишь программным обеспечением — программным обеспечением, работающим на оборудовании, которое продавала его компания. Он навязывал эту точку зрения в своих обращениях к сотрудникам всей компании, и в результате работники Nvidia говорили о возможностях ИИ с гораздо меньшим энтузиазмом, чем можно было ожидать.

Возможно, с точки зрения Хуана, нейронные сети не были настоящим достижением; настоящим достижением было невероятное количество вычислительной мощности, которую ему удавалось разместить в центрах обработки данных. На конференции GTC 2018 года Хуан отметил, что графические процессоры Nvidia увеличили скорость обработки в двадцать пять раз всего за пять лет, значительно опередив закон Мура. Затем он показал график, демонстрирующий, как AlexNet, обучение которой на его видеокартах 2012 года занимало неделю, на его новом компьютере DGX-2 может пройти обучение всего за восемнадцать минут. «Закон действует», — сказал он, — «закон сверхбыстрого действия».

У Хуана тоже было своё мнение о центрах обработки данных. Эти гигантские компьютеры не были скоплением множества чипов — для него это был всего лишь *один* чип, работающий как единая система над одной задачей. На самом деле, Тысячи графических процессоров передавали данные по центру обработки данных с такой скоростью, что перегружали сетевую инфраструктуру.

Чтобы решить проблему, Хуан был вынужден отправиться за покупками. Самым быстрым в мире стандартом сетевого взаимодействия был Infiniband, разработанный израильской компанией Mellanox. Эаль Вальдман, основатель Mellanox, был крепким, разговорчивым

серийным предпринимателем, разделявшим вкус Хуана к избыточным спекулятивным решениям. Первоначально он разработал Infiniband для нишевого рынка суперкомпьютеров, потратив на разработку технологии больше средств, чем этот рынок обещал окупить. Как и CUDA, Infiniband был мощным продуктом, ищущим своего покупателя.

Но, как выяснил Хуанг, подход «поля мечты» взбудоражил инвесторов. Чрезмерные инвестиции в производственные мощности привели к снижению прибыли, низкая прибыль привела к низким ценам на акции, низкие цены на акции привели к недовольству акционеров, а недовольство акционеров неизбежно, подобно какому-то сигналу летучей мыши из кинематографической вселенной Уолл-стрит, привело к Джеффу Смиту, тому самому корпоративному рейдеру, который нацелился на Nvidia в 2013 году.

К 2017 году Смит зарекомендовал себя как один из лучших инвесторов в мире, по сообщениям, демонстрируя среднегодовую доходность выше 15 процентов. Его фирма Starboard Value начала накапливать акции неэффективной компании Mellanox и вскоре стала владеть десятой частью компании. Хуангу удалось отбиться от Смита, но Уолдман повезло меньше — Starboard устроила ему настоящую взбучку, пытаясь сместить всех одиннадцать действующих членов совета директоров Mellanox за одни выборы. Уолдман отложил заседание совета директоров, пытаясь получить необходимые голоса для выживания; одновременно Смит лоббировал инвесторов Mellanox, чтобы они выгнали его. Надвигалась эпическая борьба за контроль над компанией, но в конце концов Уолдман сдался и уступил три места в совете директоров. Сидя за столом переговоров напротив этой банды головорезов, Уолдман объявил, что выставляет Mellanox на продажу.

По крайней мере, он выбрал удачное время. В конце 2010-х годов, когда облачные вычисления стали масштабироваться, компания Infiniband взяла на себя их поставку. Кабели, коммутаторы, маршрутизаторы, сетевые чипы — для дата-центра уровня Lamborghini нельзя было полагаться на устаревший стандарт Ethernet. Уолдман, действуя под давлением, сумел привлечь предложения от семи разных поставщиков облачных услуг. В марте 2019 года... Компания Nvidia выиграла тендер, обойдя Intel с предложением в 7 миллиардов долларов. После завершения сделки в 2020 году Nvidia приняла на работу три тысячи новых сотрудников, а компания Mellanox была переименована в Nvidia Israel.

Сделка означала выплату долга его заклятому другу Смиту, но это почти не беспокоило Хуанга. Он с нетерпением ждал возможности получить данные, недостающий ингредиент, который превратил бы его фабрики ИИ из простого мозга в нечто, больше похожее на интегрированную нервную систему — пример корпоративной синергии, столь же подлинный, сколь и необычный. Смит удвоил свои деньги, но последующие события показали, что Хуанг получил от сделки больше выгоды. «В итоге это оказалось одним из самых прибыльных корпоративных приобретений за последнее время», — сказал член совета директоров Марк Стивенс. Компания Starboard в более позднем корпоративном отчете выразила восхищение человеком, которого они когда-то пытались притеснить. «Дженсен Хуанг — настоящий визионер в этом секторе», — сухо отмечалось в отчете.

• • •



После Mellanox Хуан решил испытать удачу. В сентябре 2020 года он предложил 40 миллиардов долларов за покупку британского разработчика микросхем ARM. Это было крупнейшее слияние в полупроводниковой отрасли, когда-либо предложенное — слишком крупное, как оказалось. В 2021 году американские регуляторы подали иск, чтобы заблокировать сделку, утверждая, что она подавит инновации. Не желая бороться с федеральными властями, Хуан вскоре сорвал сделку. (Китайские и британские регуляторы были одинаково скептически настроены. К тому времени Intel и Nvidia, как и AMD, вели ожесточенную конкуренцию за рынок центров обработки данных. Разрешение одной компании на вертикальную интеграцию могло бы подавить конкуренцию со стороны двух других.)

Позиция Nvidia на рынке позволяла ей устанавливать высокие цены, а валовая прибыль от ее чипов для ИИ могла превышать 90 процентов. Такое соотношение привлекало конкурентов, подобно тому как приманка привлекает акул. Стремясь уменьшить свою зависимость от Nvidia, Google и Tesla разработали оборудование для обучения ИИ. Многочисленные стартапы также боролись за этот рынок. Одним из них была компания Cerebras, которая создала «мега-чип» размером с обеденную тарелку. «Они просто вымогают деньги у своих клиентов, и никто не скажет об этом вслух», — сказал Эндрю Фельдман, генеральный директор Cerebras, о Nvidia.

Наблюдатели иногда задавались вопросом, насколько устойчиво положение Nvidia. И AMD, и Intel предлагали альтернативы CUDA с открытым исходным кодом, и эти альтернативы освобождали клиентов от необходимости использовать оборудование Nvidia, потенциально экономя им миллиарды долларов. Но лишь немногие исследователи в области искусственного интеллекта использовали продукты AMD или Intel. Почему?

Я задавал этот вопрос очень многим людям и получил самые разные ответы. Одно из распространенных заблуждений заключалось в том, что технически сложно отказаться от CUDA. На самом деле, это было легко — иногда разработчикам достаточно было изменить всего пару строк кода. Другое распространенное заблуждение заключалось в том, что корпоративные покупатели оборудования действуют осторожно. («Никого никогда не увольняли за покупку Nvidia», — сказал Ханс Мозесманн, повторяя старую фразу об IBM.) Но когда я действительно поговорил с покупателем оборудования, он сказал мне, что постоянно экспериментирует с конкурирующими продуктами, и выразил тоскливое желание, чтобы когда-нибудь появился более дешевый аналог. «Это чертовски дорого», — сказал он о вычислительном стеке Nvidia.

Причина успеха Nvidia заключалась не в улучшении схем, а в улучшении *программного обеспечения*. Лишь небольшая часть прироста производительности теперь достигалась за счет классической стратегии размещения большего количества транзисторов в чипе — закон Мура перестал действовать. Остальное стало результатом работы Билла Дэйли, Иэна Бака и других ученых Nvidia, которые ускорили умножение матриц с помощью числовых трюков. Инженеры Nvidia обучили графический процессор новым инструкциям, которые работали как скоростные решатели кубика Рубика. Они заменили собственный язык процессора на некрасивые, но эффективные низкокачественные типы данных, подобно переходу от каллиграфии к стенографии. Они удалили «мертвые» синапсы из

матриц, по сути, удалив непродуктивную информацию из нейронной сети подобно машине забывания в фильме «*Вечное сияние чистого разума*». В период с 2012 по 2022 год Nvidia добилась тысячекратного ускорения производительности обработки данных в однокристалльных системах искусственного интеллекта, что значительно превзошло все достижения закона Мура. Лишь 2,5-кратное ускорение было достигнуто за счет транзисторов; большая часть оставшихся 400-кратных показателей пришлась на математический инструментарий Nvidia. «Честно говоря, AMD может производить кремниевые чипы так же хорошо, как и мы», — сказал Арджун Прабху. «Они просто не могут обеспечить такую же скорость вычислений».

В дополнение к этому мощному движку, Nvidia разработала специализированные инструменты для программистов-специалистов. Были «Drive» для автомобильных исследований, «BioNeMo» для разработки лекарств, «Clara» для медицинской визуализации, «Morpheus» для кибербезопасности и «Highlights» для записи моментов убийств в *Fortnite*. К 2020-м годам Nvidia предлагала почти триста таких наборов инструментов, охватывающих такие области, как игры, анимация, планетология, климатология, математика, физика, финансы, биохимия и квантовые вычисления. Эти программные пакеты были доступны для свободного использования всем желающим, без каких-либо лицензионных сборов, и Хуанг раздавал их ученым, как бабушка, раздающая добавку еды. Он называл эти наборы инструментов своими «сокровищами».

Конечно, Хуанг не был альтруистом — долгосрочная цель заключалась в использовании этого бесплатного программного обеспечения, чтобы привязать исследователей к циклу обновления оборудования Nvidia. В начале 2024 года администратор дата-центра CalTech сообщил мне, что время ожидания поставки чипа H100 для университета составляет почти восемнадцать месяцев. Он призывал профессоров университета перейти к другим поставщикам, но мало кто согласился. «Они скорее будут ждать появления оборудования, чем откажутся от CUDA», — сказал он. Именно весь этот код делал Nvidia трудноконкурентной компанией. Новички могли разработать новый чип, но этого было недостаточно — у Дуайта Диркса, главы отдела разработки программного обеспечения Nvidia, работало десять тысяч программистов. «Мы действительно компания-разработчик программного обеспечения; вот чего люди не понимают», — сказал Диркс.

Как и Хуанг, Диркс никогда не сбавлял обороты, заставляя свою команду постоянно работать в режиме аврала, чтобы выпускать самые необходимые функции. Работать на Диркса было тяжело, и бывшие программисты Nvidia часто называли выгорание причиной своего ухода. Разгуливая по космическим кораблям в клетчатой рубашке и джинсах, Диркс выглядел как скотовод, похищенный НЛО, но его нелепая внешность скрывала его одержимость дедлайнами. Программные продукты Nvidia не всегда были красивыми или простыми в использовании, а интерфейсы некоторых наборов инструментов были устаревшими на десятилетие. Но Диркс не заботился о внешнем виде; его заботило только быть первым. Всякий раз, когда открывалась какая-либо многообещающая новая область науки, он тут же оказывался там, распространяя свою последнюю коллекцию программных инструментов. Конкурент мог бы позже... Появился более элегантный продукт, который был дешевле в эксплуатации, но к тому времени было уже слишком поздно — отраслевой стандарт уже был установлен. По этой причине Билл Дэйли сказал мне, что его не

беспокоит конкуренция со стороны разработчиков открытого программного обеспечения. «Потому что мы мчимся сломя голову!» — сказал он. «Мы всегда на пару поколений впереди них».

...

У Nvidia не было собственных производственных мощностей, и сотрудники привыкли к удалённой работе, поэтому, когда началась пандемия COVID-19, это практически не повлияло на работу компании. Тем не менее, стало менее весело: бар на третьем этаже закрылся, конференция GTC перешла в виртуальный формат, а Хуан, как и все остальные, был вынужден уединиться дома. В июле 2020 года, когда Nvidia наконец обогнала Intel по рыночной капитализации, Хуан не смог отпраздновать это событие лично. Он также не мог похвастаться своим достижением перед семьёй — его младший брат Джим всё ещё работал в Intel. Вместо этого Дженсен вывел на прогулку своих двух собак. Возможно, они интуитивно почувствовали его успех; он не мог быть уверен.

Вскоре Nvidia обогнала AMD и по рыночной капитализации. Находясь дома и управляя самой дорогой в мире компанией по производству полупроводников, Хуан начал беспокоиться, что теряет связь с руководством. Nvidia разрослась настолько, что Хуан уже не мог по-настоящему понимать *все* происходящее, но делегировать полномочия было не в его стиле. Чтобы поддерживать взаимопонимание, ему нужно было сохранять открытую коммуникацию с рядовыми сотрудниками.

Примерно в 2020 году Хуан попросил всех сотрудников компании еженедельно присылать список из пяти самых важных задач, над которыми они работают. Начиная с этого дня, каждую пятницу он получал двадцать тысяч электронных писем. Краткость приветствовалась; Хуан случайным образом отбирал письма из этого пула до поздней ночи. В свою очередь, он общался со своими сотрудниками, отправляя сотни писем в день, часто всего из нескольких слов. (Один руководитель сравнил эти письма с хайку. Другой сравнил их с записками с требованием выкупа.) Его оперативность была сверхчеловеческой. «Вы могли написать ему письмо в 2 часа ночи и получить ответ в 2:05 утра», — сказал Дэйли. «Затем вы могли написать ему снова в 6 утра и получить ответ в 6:05 утра».

Слухи об архитектуре трансформатора дошли до Хуана. В этих электронных письмах говорилось, что OpenAI запускала задачу на сервере Microsoft Azure, которая за месяц загрузила тысячу графических процессоров и привела к убыткам в размере 5 миллионов долларов. Это была новая языковая модель — «большая» языковая модель, названная так потому, что она была примерно в сто раз больше, чем любая из развернутых ранее моделей.

Хуан понял, что ему нужен новый набор инструментов специально для трансформеров. Он посоветовал Басу Аартсу удалить свой текущий компилятор рекуррентных нейронных сетей и немедленно начать работу над компилятором трансформеров. Аартс с радостью согласился: он обнаружил, что структуры долговременной/кратковременной памяти рекуррентных нейронных сетей являются ненужным усложнением. «Рекуррентные нейронные сети очень сложно программировать и еще сложнее компилировать», — сказал он. «Трансформеры лучше подходят для всех задач».

Ещё до перехода на новую систему Аартс начал сталкиваться со странными и ужасными вещами в Nvidia. Там можно было увидеть демонстрации передовых продуктов за месяцы, а иногда и за годы до их публичного показа. В немом благоговении Аартс наблюдал за демонстрацией переноса движения, где искусственный интеллект в реальном времени редактировал один из фильмов «*Миссия невыполнима*», заменяя лицо Тома Круза лицом человека, стоящего в комнате. «Мне это показалось... я не...» «Это был видеооператор, но мне показалось, что все было *идеально*», — сказал Аартс. «Я не заметил никакой подделки».

Компания Nvidia любила театральные постановки. Где-то в 2019 году, посреди большого пустого зала штаб-квартиры Endeavor, внезапно появился большой черный столб, который Аартс описал как «обелиск». В обелиске находился терминал, на котором работала PicassoGAN, искусственный интеллект, генерирующий изображения путем сопоставления двух нейронных сетей. Отзывчивость машины поразила Аартса; PicassoGAN мог создать все, что угодно. «Вы вводите запрос: нарисуйте мне человека в пейзаже, с рекой, деревьями, птицами и маленьким домиком на заднем плане», — сказал Аартс. «*Бум*. Вот и все».

Аартс, как и все сотрудники Nvidia, подписал соглашение о неразглашении, запрещающее ему обсуждать подобные технологии с внешним миром. Эта неприятная ситуация была широко распространена в Силиконовой долине, поскольку члены технического персонала, связанные клятвой о неразглашении, не могли обсуждать чудеса, разворачивающиеся у них на глазах. Примерно до 2018 года искусственный интеллект процветал в духе открытого академического сотрудничества. Теперь же инновации стали появляться в секретных научно-исследовательских лабораториях. В Твиттере начали появляться загадочные аккаунты, намекающие на грядущие необычайные открытия. «Я видел вещи, которые заставляли меня думать: „Вау, я не могу поверить, что это возможно в наше время“», — сказал Аартс. «Люди не осознают, что уже происходит. Люди понятия не имеют».

Но Аартс пока ничего не видел.

За годы, прошедшие с тех пор, как Аартс написал первый компилятор CUDA, среда программирования значительно изменилась. Раньше программисты нейронных сетей использовали программную библиотеку Torch, написанную на нишевом языке программирования Lua. В 2016 году исследовательская группа Facebook по искусственному интеллекту портировала Torch на язык программирования Python, который был прост в использовании и знаком исследователям. В результате фреймворк PyTorch стал отраслевым стандартом и сделал Python самым популярным языком программирования в мире. К концу 2010-х годов стандартный рабочий процесс ИИ был более или менее установлен: написать код в блокноте Python с установленной библиотекой PyTorch, скомпилировать код в CUDA, отправить его на кластер графических процессоров Nvidia для обработки, проанализировать результаты обратно в PyTorch, а затем повторять до тех пор, пока не появится разум.

PyTorch некоторое время конкурировал с фреймворком TensorFlow от Google, но сегодня рыночная доля TensorFlow упала до нескольких процентов. Среди программистов сложилось мнение, что PyTorch проще в использовании и что сообщество поддерживает

его более активно. Последнее впечатление во многом обусловлено неустанными усилиями Петра Бялецкого, программиста из Германии, который опубликовал почти сорок тысяч сообщений на официальных форумах PyTorch с момента регистрации своей учетной записи в 2017 году. В среднем около пятнадцати сообщений в день, Бялецкий особенно полезен в вопросах интеграции Python с CUDA, а появление его дружелюбного лица в комментариях стало маяком надежды для многих разработчиков, оказавшихся в тупике. В 2019 году Бялецкий присоединился к Nvidia.

## Деньги

В 2020 году OpenAI выпустила GPT-3, обученную на более чем терабайте текстовых данных, что эквивалентно ста миллиардам слов. Подробности этих обучающих данных были скрыты в огромном количестве соглашений о неразглашении; более поздний анализ показал, что OpenAI использовала крайне либеральную интерпретацию доктрины «добросовестного использования», чтобы поглотить не только всю англоязычную Википедию, но и всесторонний сбор защищенных авторским правом веб-ссылок, включая архивы *The New York Times*, датируемые 1851 годом. В дополнение к самостоятельно изданным романам о вампирах, обучающий набор также включал загадочный второй набор текстов под названием «Books2». Многие предполагали, что «Books2» произошел от LibGen, теневой коллекции из четырех миллионов взломанных электронных книг, которые годами распространялись на пиринговых файлообменниках. (Джонатан Франзен, Джон Гришам, Джоди Пиколт и Джордж Р. Р. Мартин были среди авторов бестселлеров, которые позже подали в суд на OpenAI из-за сходства их работ с результатами GPT, как и газета *Times* .) Затем модель была «доработана» с помощью человеческого фактора для удаления некоторых наиболее нежелательных ответов.

GPT-3 поразил технологов множеством новых возможностей, включая способность решать логические задачи и писать работоспособный компьютерный код. Тем не менее, это не вызвало немедленного ажиотажа и было в значительной степени проигнорировано общественностью. Лишь в конце 2022 года, когда Суцкевер и его команда выпустили «ChatGPT», чат-бота для взаимодействия с новейшими моделями OpenAI, мир обратил на него внимание. Подробности о внутренней работе этих моделей были конфиденциальными; к этому времени Microsoft инвестировала не менее 10 миллиардов долларов в дочернюю компанию OpenAI с ограниченной прибылью и неохотно предоставляла конкурентам свои собственные данные. Можно сказать, что ChatGPT был тонко настроен для человеческого общения, используя не только текст из интернета, но и расшифровки видео на YouTube и данные из лицензированных сторонних источников — и что, по консервативным оценкам, модель имела не менее триллиона параметров. Переведите это в синапсы, и вы приблизитесь к мозгу кошки.

ChatGPT был запущен в бета-версии 30 ноября 2022 года без маркетинга и без подписки. Портал для мирового господства представлял собой невзрачный веб-сайт в черно-белых тонах с мигающим курсором, в который пользователь мог ввести любую команду. Действительно, *любую* команду. ChatGPT мог писать стихи! И не просто рифмованные стишки, а сонеты, лимерики и сестины. Он мог писать сценарии, эссе и функциональный компьютерный код. Он мог писать рассказы и письма в редакцию, а также давал хорошие

советы по воспитанию детей. За пять дней более миллиона человек зарегистрировались для тестирования. К январю 2023 года у ChatGPT было сто миллионов активных пользователей в месяц. В марте 2023 года OpenAI представила GPT-4 через свой онлайн-портал. Стремясь количественно оценить интеллект своего творения, OpenAI подвергла модель ряду академических тестов. GPT-4 прошла квалификационный экзамен; Он получил 5 баллов на экзаменах AP по истории искусств, истории США, государственному устройству США, биологии и статистике; он набрал 99-й процентиль по вербальной части GRE; он набрал 92-й процентиль на вводном экзамене для сомелье. Исследователи добавили к нейронной сети слой визуального распознавания и обнаружили, что она может не только идеально описывать изображения, но и распознавать сложные визуальные шутки. В одном из таких случаев исследователи загрузили в GPT-4 изображение громоздкого компьютерного кабеля 1990-х годов, подключенного к iPhone, а затем попросили GPT-4 объяснить, что он видит. «Юмор в этом изображении заключается в абсурдности подключения большого, устаревшего VGA-разъема к маленькому современному смартфону». «порт зарядки», — ответила модель. Позже пользователь социальных сетей показал, как GPT-4 может создать веб-сайт из эскиза на салфетке.

Примерно в это время я начал бояться за свою работу. Однажды я попросил ChatGPT довести меня до слез; он выдал историю о паре певчих птиц, одна из которых погибает, врезавшись в стеклянное окно, а другая вечно охраняет свое опустевшее гнездо. Однажды я попросил ChatGPT рассмешить меня; он попросил меня представить мужчину в соседней машине, ковыряющегося в носу. Однако я не использовал ChatGPT для написания этой книги — я слишком боялся.

Мой опыт в целом находил отклик у пользователей по всему миру. Студенты поняли, что могут использовать его для написания эссе, и домашние задания навсегда устарели. Юристы использовали его для составления кратких изложений юридических документов; соискатели работы — для написания сопроводительных писем; я использовал его, чтобы обратиться в городской совет с просьбой установить дорожный знак. Это было волшебство. Это было настоящее волшебство. «Именно этот первый опыт зацепил людей», — сказал Илья Суцкевер. «Когда вы используете его в первый раз, это почти духовный опыт. Вы думаете: „Боже мой, этот компьютер, кажется, понимает“».

...

Компания OpenAI потратила более 100 миллионов долларов на обучение GPT-4, причем большая часть этих денег поступила в Nvidia через Microsoft. Хотя GPT-3 по сути представляла собой одну гигантскую нейронную сеть, GPT-4 использовала модель «смешанных экспертов», в которой множество нейронных сетей были назначены на различные задачи. Один «эксперт» мог сосредоточиться на безопасности, блокируя пользователям возможность спрашивать GPT-4, как изготавливать бомбы или избавляться от трупов; другой мог сосредоточиться на написании компьютерного кода; третий мог сконцентрироваться на эмоциональной окраске. (OpenAI отказалась комментировать создание GPT-4.)

Процесс «вывода» знаний из GPT-4 мог легко превысить половину первоначальных затрат на обучение и должен был предоставляться клиентам на постоянной основе. Оценки

разнятся, но один обоснованный анализ показал, что стоимость вывода составляет примерно четверть цента за слово. При такой ставке написание пятидесятистрочной курсовой работы для колледжа обошлось бы GPT-4 примерно в 10 долларов — выгодная сделка по сравнению с наймом безработного аспиранта для выполнения этой работы. Безусловно, это лучшее решение, чем выполнять работу самостоятельно. Чтобы компенсировать затраты на обработку данных, OpenAI начала взимать 20 долларов в месяц за доступ к GPT-4. К марту 2023 года число подписчиков продукта приблизилось к двум миллионам.

Синтез архитектуры трансформера с гипермасштабными параллельными вычислениями привел к кембрийскому взрыву сервисов искусственного интеллекта. Microsoft создала Copilot, инструмент автозаполнения компьютерного кода, который программисты сочли незаменимым. (Сервис оказался настолько успешным, что Хуанг предсказал, что программирование вскоре будет вытеснено описаниями на естественном языке. «Язык программирования будущего — человеческий», — сказал он.) DeepMind создала AlphaFold2, ИИ, который предсказывал трехмерную структуру белков из одномерных аминокислотных строительных блоков. С этим приблизилась эра «программируемой биологии», в которой четыре элементарных нуклеотидных основания РНК можно было заставить действовать как 0 и 1 в компьютерном двоичном коде. Появилось множество «генеративных» продуктов ИИ, обещающих произвести революцию в креативных индустриях путем синтеза контента по команде. DALL-E от OpenAI, или конкурирующие Midjourney и Stable Diffusion, могли за минуту-две создать произведение искусства любого вида в стиле любого художника. Стартапы Udio и Suno предложили конкурирующие приложения для генерации музыки, способные создавать песни любого жанра. Jasper можно было использовать для создания эффективных маркетинговых кампаний за считанные секунды. Sora от OpenAI, представленная в 2024 году, обещала возможность создания видео в реальном времени любого формата.

Продукты, ориентированные на потребителя, были впечатляющими, но многие, близкие к сфере ИИ, считали, что настоящий прогресс заключался в продуктовых линейках, которые «по умолчанию невидимы». Внедрение ИИ в промышленность означало повышение эффективности энергосетей, ускорение планирования авиарейсов, улучшение скорости доставки и бесчисленное множество других постепенных улучшений. Каждое улучшение, само по себе, незаметно интегрировалось в внутреннюю инфраструктуру за пределами кругов специалистов, но совокупный эффект представлял собой масштабное и непрерывное повышение глобальной производительности.

Также наблюдался прогресс в, возможно, последнем рубеже человеческих усилий: использовании ИИ для ускорения ИИ. В 2022 году DeepMind представила нейронную сеть, предназначенную для ускорения умножения матриц. Два года спустя Nvidia представила программный пакет, использующий генеративный ИИ для проектирования шаблонов на кремниевых микрочипах. Подобное самосовершенствование пока оставалось под контролем человека.

Также начали появляться зловещие приложения. Жуткая технология клонирования голоса с помощью ИИ использовалась для сатирического изображения ссорящихся товарищей по

команде в *Overwatch*. Странный контент, сгенерированный алгоритмами, начал заполнять социальные сети. В американских средних школах распространялась порнография с использованием «дипфейков», нацеленная на студентов. Телефонные мошенники, использующие клонированные голоса, начали преследовать людей; некоторые мошенники создавали иллюзию членов семьи, взятых в заложники с требованием выкупа. В Гонконге полиция сообщила, что сотрудника финансового отдела архитектурной фирмы обманом лишили 25 миллионов долларов корпоративных средств после того, как выяснилось, что все его коллеги во время телефонной конференции были клонами, созданными с помощью дипфейков. Единственным решением этих проблем, как советовали технологи, было дальнейшее развитие ИИ.

Крупные технологические компании полностью переориентировали свои бизнес-направления на искусственный интеллект. Microsoft, Meta, Tesla и Google объявили о многомиллиардных инвестициях. Автопроизводители обещали беспилотные автомобили; оборонная промышленность — автономное оружие. Стартапы в сфере ИИ привлекли в общей сложности 50 миллиардов долларов в 2023 году. Эти деньги пошли на медицину, образование, бизнес-платформы, робототехнические стартапы. Фондовый рынок резко вырос в ожидании будущего роста производительности. Комитеты по присуждению премий начали распределять оборудование среди пионеров ИИ. Демис Хассабис из DeepMind получил Нобелевскую премию по химии 2024 года за свою работу над проблемой сворачивания белков. Джеффри Хинтон одновременно был удостоен Нобелевской премии по физике 2024 года. В том же году Дженсен Хуанг был избран в Национальную инженерную академию, что, по мнению многих, было давно заслуженной наградой.

И всё это — все эти деньги, все эти таланты, все эти инновации — проходило бы через единый корпоративный канал. Всё это проходило бы через Nvidia.

• • •

В романе Эрнеста Хемингуэя «*И восходит солнце*» Майка Кэмпбелла, пьяницу и нищего ветерана войны, спрашивают, как он обанкротился. «Двумя способами», — отвечает он. «Постепенно, а затем внезапно». Эту же фразу можно было бы использовать и в другом случае. Опишите, как Дженсен Хуанг разбогател. Небольшие вложения, накопившиеся за два десятилетия инвестиций, теперь приносили невероятные дивиденды.

В начале 2023 года Хуанг сообщил инвесторам, что Nvidia продала кластеры суперкомпьютеров на базе графических процессоров пятидесяти из ста крупнейших американских компаний. Остальные пятьдесят, продолжил он, арендовали инфраструктуру Nvidia через облако. В 2023 году, по его словам, доходы от центров обработки данных впервые превысили доходы от игр; он ожидал, что эти доходы снова удвоятся в следующем году. Nvidia, контролирующая почти 90 процентов рынка чипов для искусственного интеллекта, стала объектом пристального внимания на Уолл-стрит, а CNBC вела обратный отсчет до объявления квартальной прибыли. Ожидания, на этот раз, не совпали с реальностью. Когда 25 мая 2023 года открылась биржа Nasdaq, стоимость Nvidia выросла примерно на 200 миллиардов долларов. К закрытию торгов Nvidia стала шестой по стоимости корпорацией в мире, ее стоимость превышала совокупную стоимость Walmart и



ExxonMobil. «В сфере искусственного интеллекта идёт война, и Nvidia — единственный, кто выступает в роли торговца оружием», — заявил один аналитик с Уолл-стрит.

Десять лет назад Хуан умолял компанию Fidelity сохранить ему работу. Теперь, в шестьдесят лет, он был самым известным монополистом на планете. На Тайване в лапшичных, которые он посещал, его фотография красовалась в меню; его культовые кожаные куртки были представлены в разделе «Стиль» газеты Times . В дополнение к домам в Лос-Альтосе и Мауи, он был связан, через подставную корпорацию, с особняком с семью спальнями стоимостью 38 миллионов долларов на Золотом побережье Сан-Франциско, оплоте миллиардеров. В нем были библиотека, тренажерный зал и кинотеатр, что делало его одним из самых дорогих домов в городе. К священному списку Джобса, Безоса, Гейтса и Цукерберга теперь можно было добавить имя Хуана.

Его чипы были настолько ценны, что использовались в качестве залога по кредитам, и спрос на них ставил влиятельных людей на колени. В конце 2023 года Хуан встретился с Илоном Маском и соучредителем Oracle Ларри Эллисоном за суши в ресторане Nobu в Пало-Альто. Совокупное состояние Эллисона и Маска превышало 300 миллиардов долларов, однако в этой элитной компании Хуан явно был лидером — двое других весь обед умоляли Хуана отправить им еще чипов для ИИ. «Мы с Илоном умоляли, наверное, это лучшее описание», — вспоминал Эллисон. «Час суши и мольбы».

Стремительный рост стоимости акций Nvidia принес огромное богатство преданным поклонникам. Тенч Кокс и Марк Стивенс оба входили в совет директоров с 1993 года, поддерживая Хуанга в трудные годы и защищая его, когда Starboard Value попыталась захватить компанию. К 2024 году каждый из них владел долей в Nvidia стоимостью более 4 миллиардов долларов. Кокс инвестировал в сотни компаний; когда я спросил его, является ли Nvidia его лучшей инвестицией, он посмотрел на меня так, будто я задал самый глупый вопрос, который он когда-либо слышал. «Э-э, да », — ответил он. (Позже мне пришлось в голову, что доля основателя в самой дорогой компании в мире по определению является лучшей возможной инвестицией.)

Доля давнего члена совета директоров Харви Джонса оценивалась более чем в 1 миллиард долларов. Брук Сиуэлл, председатель аудиторского комитета Nvidia, владела акциями Nvidia на сумму около 700 миллионов долларов. Джим Гейтер, первый юрист Хуанга, владел всего 500 миллионами долларов, поскольку вошел в совет директоров только в 1998 году. Колетт Кресс, финансовый директор Nvidia, владела примерно 800 миллионами долларов; Тим Тетер, главный юрисконсульт Nvidia, — более 400 миллионами долларов; Деб Шоквист, специалист по операционной деятельности Nvidia, — более 300 миллионами долларов. Из-за децентрализованной структуры управления Nvidia такие старожилы, как Дуайт Диркс и Билл Дэйли, не считались корпоративными руководителями и, следовательно, не были обязаны раскрывать информацию о своих активах — но я чувствовал, что у них все в порядке. Дэвид Кирк, которому Хуанг еще в 1997 году предложил безотказный пакет акций, ушел на пенсию в 2018 году, но сказал мне, что сохранил часть своих акций. «У меня гораздо больше денег, чем я когда-либо думал», — сказал он. Самым непрозрачным состоянием Nvidia было состояние соучредителя Криса Малаховски, чье имя, как я заметил, не фигурировало в списке миллиардеров *Forbes* . В

своей последней обязательной декларации, еще в 2001 году, Малаховски владел примерно 5 процентами компании, что сегодня оценивалось бы более чем в 100 миллиардов долларов. С тех пор многое изменилось, но когда я спросил его в середине 2023 года, обновились ли он свои акции, он ответил: «Не очень много».

Как и многие другие компании, Nvidia позволяла сотрудникам приобретать акции со скидкой по сравнению с рыночной ценой. Отличительной особенностью программы Nvidia было то, что сотрудникам разрешалось приобретать акции со скидкой от самой низкой цены за последние два года. Сумма этих покупок была ограничена определенной суммой, но по мере роста цен на акции программа фактически превращалась в бесплатные деньги, и те, кто вносил максимальную сумму каждый год, совершали сделку всей жизни. Поскольку неожиданная прибыль распространилась и на средний звено управления, некоторые новые сотрудники выразили опасения, что новоиспеченные богатые ветераны вступают в состояние «полуетставки». Руководители оспаривали эту характеристику. Джефф Фишер, возглавлявший игровое подразделение компании, был в числе первых тридцати сотрудников. «Многие из нас сейчас являются финансовыми волонтерами, — сказал он, — но мы верим в миссию».

Заманчивость разработки этой революционной технологии давала смысл жизни, выходящий за рамки того, что можно купить за деньги. Это особенно касалось старой гвардии, которая годами объясняла озадаченным коллегам, почему они работают в игровой компании, и постоянно поправляла произношение названия фирмы. Искусственный интеллект никогда не рассматривался этими ветеранами, и они были так же удивлены, что работают над ним, как и все остальные. «Ни я, ни кто-либо другой не могли тогда и мечтать, что эти вещи, которые могли бы придумать писатели-фантасты, станут реальностью», — сказал Джей Пури, глава отдела продаж Nvidia, начавший работу в компании в 2005 году. Стоимость акций Пури к 2024 году превысила 700 миллионов долларов, но он считал, что интересная работа в Nvidia только начинается. «Возможно, я предвзят, но я думаю, что это действительно самая важная технологическая компания нашего времени», — сказал он.

Оценка стоимости акций в этой главе была произведена на основе цены закрытия акций Nvidia 5 декабря 2024 года в размере 145,14 долларов США и включает средства, находящиеся в семейных трастах.

## **Космические корабли**

В конце 2023 года я впервые посетил офисы Nvidia. Voyager, большая треугольная часть кампуса Nvidia, уже была открыта. Это потрясающее место. Посреди 750 000 квадратных футов огромного, залитого естественным светом офисного пространства возвышается трехэтажная матово-черная «гора». Поднявшись по лестницам, вы пройдете мимо ряда вертикальных садовых стен, где различные виды орхидей, плюща и папоротника расположены волнистыми зелеными тонами. На вершине находится освещенный мраморный бар, окруженный открытыми перголами из натурального дерева. Прогуляйтесь с напитком до края горы, и перед вами откроется вид на тысячи открытых офисных

кабинок, кое-где прерываемых стерильными белыми колоннами, которые тянутся на сто футов вверх, поддерживая высокий потолок.

Внутренние помещения здания были безупречны; я представлял, как стреляю из пистолета из *Portal* по стенам. Как я позже узнал, Nvidia отслеживает сотрудников по всему зданию с помощью видеокамер и искусственного интеллекта. Если сотрудник ест за конференц-столом, ИИ в течение часа отправит уборщика, чтобы тот убрал за ним. Пока что это будет уборщик-человек.

Я с трудом мог поверить, насколько сотрудники были рады работать в этом паноптикуме. Хуан присутствовал в здании, и всякий раз, когда он пересекал этаж, по кабинетам разносился гул. Он был примечательной фигурой, невысокого роста. Он оказался совсем не таким, каким я его себе представлял: один в черном на этом белом просторе, без свиты, только он. Люди называли его «Дженсен», просто «Дженсен», а в корпоративных каналах Slack они создали набор пользовательских эмодзи с изображением Дженсена, которые использовали для реакции на различные позитивные новости — например, на то, что рыночная капитализация Nvidia превысила 3 триллиона долларов, став самой дорогой компанией в мире, что произошло вскоре после моего визита.

Сотрудники Nvidia бродили по этим двум космическим кораблям, сияя благоговейным блеском. Они были серьезными, восторженными, увлеченными наукой и непритязательными, хотя их знание английского языка иногда оставляло желать лучшего. Одна из сотрудниц, с которой я разговаривала в кафетерии, проработала в компании всего два месяца. Ей было двадцать пять, и она недавно приехала из Китая, где получила степень магистра компьютерных наук. «Я просыпаюсь каждое утро с таким удовольствием, что иду на работу», — сказала она, обводя взглядом внутреннее пространство «Вояджера». Ее миниатюрная фигура была обременена рюкзаком, который Nvidia выдавала новым сотрудникам. «Посмотрите на это место. Здесь все такие умные. Не могу поверить, что я *здесь* !»

Единственными несчастными сотрудниками Nvidia, которых я видел, были специалисты по контролю качества, трудившиеся *внутри* этой горы, словно гномы. Запертые в лабораториях без окон и окруженные промышленными металлическими стеллажами, бледные молодые люди в берушах и футболках доводили микрочипы Nvidia до грани поломки. Шум был невыносимым, постоянный визг высокочастотных вентиляторов, пытавшихся охладить перегревающиеся параллельные схемы. На этих параллельных схемах Nvidia строила параллельную реальность.

• • •

Начиная с 2018 года, видеокарты Nvidia используют технологию «трассировки лучей», которая имитирует отражение света от объектов для создания фотореалистичных эффектов. Внутри треугольника из матового стекла в кабинете руководителя Nvidia специалист по демонстрации продукции показал мне трехмерное изображение сверкающей японской раменной. Свет отражался от металлической стойки, а пар поднимался от кипящего котла с бульоном. Насколько я мог судить, ничто не указывало на то, что это место не настоящее.

Затем специалист показал мне «Диану», гиперреалистичный цифровой аватар, говорящий на пяти языках. Мощный генеративный ИИ изучил миллионы. Для создания этого составного образа использовались видеоролики с реальными людьми. Диана была потрясающе красива, но меня больше всего поразили её недостатки — у неё были чёрные точки на носу и едва заметные волоски на верхней губе. Единственным признаком того, что Диана не настоящий человек, было странное мерцание в белках её глаз. «Мы работаем над этим», — сказал специалист по продукту.

Одна из целей Хуанга — объединить исследования Nvidia в области компьютерной графики с исследованиями в области генеративного искусственного интеллекта. Искусственный интеллект для генерации изображений вскоре достигнет такого уровня сложности, что сможет визуализировать трехмерные, обитаемые миры и населять их реалистично выглядящими людьми. В то же время, искусственный интеллект для обработки речи сможет обрабатывать и интерпретировать голосовые команды в реальном времени. После объединения этих технологий пользователи смогут создавать целые вселенные с помощью нескольких простых голосовых команд.

После демонстрации продукта у меня закружилась голова. Я подумал о научной фантастике; я подумал о Книге Бытия. Я сел на треугольный диван с подстриженными углами и с трудом представлял себе будущее, в котором будет жить моя дочь. Они строили Манхэттенский проект в области компьютерных наук, но когда я спросил руководителей Nvidia о целесообразности высвобождения такой мощи, они посмотрели на меня так, будто я ставлю под сомнение полезность стиральной машины. Я задумался, не убьет ли когда-нибудь искусственный интеллект кого-нибудь. «Ну, электричество убивает людей каждый год», — сказал Брайан Катанзаро. Я задумался, не уничтожит ли оно искусство. «Это сделает искусство лучше!» — сказал Дуайт Диркс. «Это сделает вас намного лучше в вашей работе». Я задумался, не станет ли когда-нибудь искусственный интеллект самосознательным. «Чтобы быть существом, нужно обладать сознанием. Нужно иметь какое-то знание о себе, верно?» — сказал Хуанг. «Так что нет. Я не знаю, где это может произойти».

Я постоянно задавал Хуану этот вопрос в каждом интервью, которое у него брал. Он каждый раз давал мне один и тот же ответ, в разных вариациях. Я упомянул опасения Джеффри Хинтона. («Человечество — это всего лишь временная фаза в эволюции интеллекта», — сказал Хинтон в интервью PBS.) Хуан усмехнулся: «Многие исследователи не понимают, почему он так говорит. Возможно, это связано с...» «Внимание к собственной работе». Я был ошеломлен этим заявлением. Хинтон был самым дальновидным исследователем в истории ИИ, и финансовый успех Nvidia можно напрямую связать с работой, проделанной в его лаборатории — факт, который Хуанг признавал много раз. Это был не какой-то парень с улицы, размахивающий плакатом; это был величайший ум в области ИИ, прямой потомок Джорджа Буля, который говорил нам, что нам следует очень, очень беспокоиться.

Хуан холодно отмахнулся. «Послушайте, вы покупаете хот-дог, а автомат рекомендует вам кетчуп и горчицу, — сказал Хуан. — Это конец человечества?» Он говорил о быстрой адаптации общества к автомобилям, будильникам и мобильным телефонам, и сказал мне,

что мы так же быстро привыкнем и к автономному роботу, пылесосящему ковер. «Робот не делает ничего странного, — сказал он. — Как я уже говорил, он просто обрабатывает данные. Если вы понимаете, как он работает, этот мир совсем не кажется странным». Но я продолжал настаивать, и Хуан наконец разозлился. «Мне так надоели эти вопросы, — сказал он. — Все эти теории о том, чему нет никаких доказательств».

...

Диана была создана с использованием техники, называемой «суперсэмплинг на основе глубокого обучения», которая сначала использовала трассировку лучей для освещения сцены, а затем нейронную сеть для прорисовки деталей. В демонстрации продукта только один из восьми пикселей был результатом работы алгоритма трассировки лучей; остальные были определены искусственным интеллектом.

Дэвид Кирк считал трассировку лучей последним рубежом. Как только появлялась возможность точно изобразить каскад света в сцене, это был конец — реальность и симуляция сливались в один кадр. В кино трассировка лучей в компьютерной графике стала неотличима от того, что запечатлела камера — почти каждый крупный фильм теперь использует эту технику. «Больше нет смысла говорить о фактах и вымысле на экране, — сказал Кирк. — Всё — вымысел».

Но Катанзаро, вернувшись в Nvidia для управления приложениями глубокого обучения, увидел нечто большее. Эта новая технология, получившая название «нейронная графика», больше не будет пытаться моделировать физику. Вместо этого она будет...Использование ИИ для «рисования» реалистичных сцен в реальном времени. Вместо применения оптической физики для представления реальности, нейронная графика взломала человеческое восприятие света.

Возвращение Катанзаро в Nvidia было несколько тернистым. Примерно в сорок лет он наконец-то признал свою гомосексуальность. Он расстался с женой и был исключен из хора мормонской церкви. Своими выразительными нарядами, религиозными размышлениями и интересом к литературе и музыке Катанзаро продолжал выделяться в Nvidia. Не то чтобы он был таким уж эксцентричным — в Google его бы считали обычным человеком. Но Nvidia не была тем местом, где люди экспериментируют с аяуаской или полиаморными отношениями. За сотни часов интервью, которые я провел с сотрудниками Nvidia, никто, ни разу, не упомянул Burning Man.

Только Катанзаро был готов обсуждать последствия создаваемой им технологии. Просматривая социальные сети, я наткнулся на видеозапись 1964 года, где писатель-фантаст Артур Кларк выступает на BBC. Еще до того, как стать соавтором сценария к фильму «2001: Космическая одиссея», Кларк допускал возможность того, что машины когда-нибудь смогут учиться быстрее, чем люди.

Самыми разумными обитателями того будущего мира будут не люди или обезьяны. Это будут машины — далёкие потомки современных компьютеров. Сейчас электронные мозги — полные идиоты, но через поколение это изменится. Они начнут думать, и в конце концов полностью превзойдут своих создателей в интеллекте.

Это удручает? Не вижу причин для уныния. Мы вытеснили кроманьонцев и неандертальцев, и мы считаем себя улучшением. Думаю, мы должны рассматривать это как привилегию — быть ступеньками к более высоким целям. Подозреваю, что органическая, или биологическая, эволюция подошла к концу, и мы сейчас находимся в начале неорганической, или механической, эволюции, которая будет в тысячи раз быстрее.

Это была наиболее оптимистичная интерпретация достижений Nvidia — не просто коммерческий или технологический успех, а новый этап эволюции.

В следующий раз, когда я разговаривал с Катанзаро, я показал ему отрывок из выступления Кларка, и он отреагировал с энтузиазмом. Он выпрямился и снова начал проводить пальцами по волосам. «Итак, консервативная позиция заключается в том, что Прометей заслуживал быть прикованным к скале и чтобы ему съели печень, потому что он дал человечеству огонь, а люди не заслуживают огня», — сказал он. «Прогрессивная позиция заключается в том, что мир может быть лучше, он должен быть лучше, и наша ответственность — сделать его лучше. Когда я смотрю на проблемы, с которыми мы сталкиваемся как человечество, я считаю, что нам нужно больше интеллекта».

Конечно, возразил я, превосходящий разум может быть опасен. Наш собственный вид, благодаря сельскому хозяйству, животноводству, добыче полезных ископаемых и урбанизации, изменил поверхность планеты, истребив или даже уничтожив все конкурирующие виды и оставив нетронутыми лишь горстку охраняемых мест обитания. Я спросил Катанзаро, может ли ИИ сделать то же самое с нами.

«Мне кажется, мы слишком часто заикливаемся на научно-фантастических взглядах», — сказал Катанзаро. Он откинулся на спинку стула, и я смог хорошо рассмотреть большую сову, вышитую на передней части его свитера. «Искусственный интеллект не будет заинтересован в играх с нулевой суммой, потому что во Вселенной есть гораздо больше возможностей. Например, если искусственный интеллект пытается построить огромный центр обработки данных, он не захочет размещать его там, где живут люди. Он захочет разместить его где-нибудь в другом месте, может быть, под землей. Вы знаете, сколько места под землей?»

Катанзаро наконец-то раскрылся — я почувствовал, что ему нечасто доводится делиться этой точкой зрения на работе. «Искусственному интеллекту не обязательно обитать в этой биосфере. На самом деле, ему даже не нужно быть на Земле, потому что особенность искусственного интеллекта в том, что он движется со скоростью света. Люди, знаете ли, вынуждены таскать за собой тела. Искусственный интеллект может перемещаться по радиосигналу, пока на другой стороне есть антенна». Освободившись от ограничений биологии, объяснил Катанзаро, ИИ быстро распространится по всей Солнечной системе и за её пределами. «Люди по своей природе склонны к конфронтации — мы территориальные животные, и в нашей лимбической системе заложен инстинкт защиты своей территории», — сказал он. «Если ИИ действительно разумен, то его интересы намного шире, чем тонкая земная корка, на которой живут люди». Не думаю, что оно будет заинтересовано в том, чтобы отнять это у нас. Скорее, мне кажется, что ИИ захочет позаботиться о нас сам.

• • •

Работа в качестве животного в зоопарке для космического компьютера была опытом, которым следовало наслаждаться не спеша. Сегодня, однако, Nvidia по-прежнему привязана к Земле, и рассуждения Катанзаро о том, где разместить центры обработки данных, были не просто праздными домыслами — они были продиктованы практическими соображениями. Жужжание вентиляторов, которое я видел внутри горы, указывало на высокую потребность в электроэнергии, которую генерировало оборудование Nvidia. Графические процессоры устранили узкое место в скорости вычислений, а протокол Infiniband от Mellanox устранил узкое место в пропускной способности данных. Оставалось лишь то, сколько электроэнергии может потреблять центр обработки данных. Оставался предел мощности.

Google Genie 2, выпущенный в декабре 2024 года, способен создавать интерактивный 3D-мир, используя лишь картинку.

## Власть

Когда техник энергоснабжения приблизился к опоре линии электропередачи, провод издал отчетливый гул. По нему проходило более двухсот тысяч вольт электричества. Рабочий висел в люльке, прикрепленной к крану, на высоте почти ста футов. На нем был пояс с инструментами, огнестойкая рубашка и изолированные перчатки. Используя специальный инструмент, называемый «горячей штангой», он дотянулся, чтобы отсоединить высоковольтный провод от траверсы, которая его удерживала. Он должен был быть осторожен; неосторожное движение на этом этапе могло привести к немедленному поражению электрическим током. Линия отсоединилась с треском, и воздух наполнился запахом озона. Один отсоединен, осталось еще несколько тысяч.

Монтажник работал в компании Dominion Energy, электроэнергетической компании, обслуживавшей округ Лаудон, штат Вирджиния. Он занимался модернизацией инфраструктуры, обеспечивающей электропитание крупнейшего в мире комплекса центров обработки данных. Лаудон был центром спроса на компьютерные услуги в США: если вы выполняли поиск в Google на Манхэттене, велика была вероятность, что ваш запрос будет обработан в Вирджинии.

На создание необходимой для питания этих гигантских компьютеров электротехнической инфраструктуры компании Dominion потребовалось более столетия. С появлением искусственного интеллекта предполагалось, что Dominion удвоит эту инфраструктуру менее чем за пятнадцать лет. Даже в самых благоприятных условиях это была опасная работа, но центры обработки данных предъявляли настолько высокие требования, что летом 2024 года компания Dominion решила, что провода необходимо заменить, пока они еще находятся под напряжением. Риски были значительными, но безопасность людей казалась второстепенным фактором. Ни при каких обстоятельствах электроснабжение центров обработки данных не отключалось. Спрос был слишком высок. Люди просто очень хотели использовать искусственный интеллект.

Спрос возник не столько из-за обучения новых нейронных сетей, сколько из-за их развертывания. Вывод результатов когда-то был настолько простой задачей, что

помещался на дискете, но современные пользователи хотели от ИИ большего, чем ходы в нарды. Им нужны были курсовые работы; им нужен был поиск; им нужны были генераторы голоса для создания мемов. Продукты GPT от OpenAI насчитывали более 180 миллионов ежедневных пользователей. Google объединял экспериментальные ответы ИИ с обычными результатами поиска. В роликах TikTok озвучивали постоянно расширяющийся состав голосовых аватаров ИИ. В основе каждого сервиса, расположенного в стойке в центре обработки данных в каком-нибудь безымянном складе на окраине крупного населенного пункта, лежал графический процессор Nvidia.

Эти графические процессоры потребляли очень много энергии. Стандартный поиск в Google требовал примерно треть ватт-часа электроэнергии. С включенным генеративным ИИ тот же поиск в Google требовал в десять раз больше, чего было достаточно, чтобы питать лампочку около двадцати минут. Если попросить GPT написать вам курсовую работу объемом в пять тысяч слов, вы израсходуете столько энергии, сколько хватило бы на работу микроволновой печи в течение часа. Промышленный спрос был выше; руководители были в восторге от перспективы полной замены человеческого труда. В 2022 году Джеймс Эрл Джонс объявил, что ему надоело озвучивать Дарта Вейдера, поэтому он передал лицензию на свой голос компании Disney для вечного клонирования. (Джонс умер в 2024 году, но угрожающий тон и затрудненное дыхание Вейдера могут оказаться бессмертными.) Инструменты распознавания изображений обещали экономить миллиарды долларов в год на стоимости анализа МРТ, лишив большинство рентгенологов работы. Компания Amazon использовала искусственный интеллект для определения наличия повреждений у доставляемой клубники, а владельцы ферм экспериментировали с роботами с искусственным интеллектом для сбора отправляемых фруктов.

Один из анализов предсказал, что для удовлетворения потребностей бурного развития генеративного искусственного интеллекта может потребоваться удвоение мощностей атомных электростанций США менее чем за десять лет. По консервативным оценкам, прогнозировалось увеличение общего требуемого спроса на 20 процентов. Реалистичного способа обеспечить графические процессоры Nvidia необходимым количеством электроэнергии, одновременно достигая целей по углеродной нейтральности, не существовало. Компания Dominion, помимо модернизации высоковольтных линий, обсуждала возможность возобновления работы законсервированных угольных электростанций.

Компания Nvidia не отрицала проблему глобального потепления. Исследователи быстро указали на то, что моделирование климата было одним из первых применений суперкомпьютеров. Сюкуро Манабэ, ученый, получивший Нобелевскую премию по физике 2021 года за доказательство того, что следовые количества углекислого газа будут удерживать тепло в атмосфере, пришел к этому выводу в конце 1960-х годов, создав примитивную модель Земли с помощью компьютера IBM, который весил семьдесят тонн и потреблял столько же энергии, сколько десять городских кварталов. Используя экспоненциально более мощные компьютеры в 1980-х годах, ученые НАСА правильно предсказали грядущее повышение средней температуры Земли на несколько градусов по Фаренгейту, хотя эмпирическая тенденция в то время выглядела плоской. Эти модели также предсказывали, что по мере потепления планеты верхние слои атмосферы будут



охлаждаться, вызывая сжатие атмосферных слоев, поскольку тепло будет удерживаться у поверхности. К 2020-м годам спутниковые данные показали, что небо действительно рухнуло.

Практически все наши знания об изменении климата являются результатом работы мощных, энергоемких суперкомпьютеров. Ученые запускали климатические модели на оборудовании Nvidia с конца 2000-х годов, и у Nvidia было собственное климатическое подразделение, которое проводило чрезвычайно точные прогнозы. (Моделирование Nvidia «Земля-2» обещало предсказывать скорость ветра на отдельном городском квартале.) Билл Дэйли, главный научный сотрудник Nvidia, очень беспокоился об изменении климата — как частый посетитель как заснеженных Сьерра-Невады, так и бушующего штормами Карибского бассейна, он лично был свидетелем его многочисленных последствий. Одна из причин, по которой Дэйли работал над ИИ, заключалась в том, что он считал, что это приблизит человечество к углеродно-нейтральному будущему. «Если и есть проблема, о которой, я думаю, каждый в мире должен не спать ночами, это изменение климата», — говорил он. «Выживание нашей планеты должно быть первостепенной задачей».

Но, несмотря на подобные разговоры, чипы Nvidia практически в одиночку обеспечили успех компании. Это привело к глобальному росту спроса на электроэнергию. По мере того, как микросхемы улучшали свои возможности в матричном умножении, они потребляли всё больше энергии. Микросхема A100 2020 года в стандартных конфигурациях потребляла 250 ватт. H100, выпущенная двумя годами позже, потребляла 350 ватт, что на 75 процентов больше. B100, выпущенная в 2024 году, удвоила потребление до 700 ватт, а грядущая B200 потребует 1000 ватт. Оригинальная микросхема DGX 2016 года потребляла столько же энергии, сколько сушилка для белья. Её преемница 2024 года потребляла столько же электроэнергии, сколько мог бы обеспечить электропитание частного дома.

И это был всего лишь один кирпич в крепостной стене. Блоки DGX представляли собой модульные блоки, которые клиенты устанавливали в длинные «суперподы», образующие основу современного центра обработки данных. Суперподы были снабжены толстыми пучками кабелей и оснащены передовыми системами воздушного и жидкостного охлаждения для предотвращения перегрева. Крупнейшие гипермасштабные центры обработки данных измеряли свои годовые потребности в электроэнергии в гигаваттах — больше, чем мощность ядерного реактора, достаточно для обеспечения электроэнергией Миннеаполиса. Постоянное обновление чипов Nvidia в центрах обработки данных Google привело к увеличению выбросов парниковых газов на 50 процентов за пять лет, даже с учетом повышения эффективности энергосети и несмотря на обязательство компании достичь «нулевого уровня выбросов» к 2030 году. (В 2024 году представитель компании подтвердил приверженность Google углеродной нейтральности, признав при этом, что потребление энергии ИИ представляет собой «проблему»). В Microsoft, чье подразделение облачных вычислений обучало и развертывало дорогостоящие модели OpenAI, выбросы выросли почти на треть. Облачные провайдеры даже пытались выкупить заброшенные предприятия по добыче криптовалюты.

Некоторые инвесторы усомнились в целесообразности этого гигантского проекта. Путь к прибыли от ИИ был непрямым, а высокие затраты как на кремниевые компоненты, так и на электроэнергию усугублялись нехваткой квалифицированных кадров. Специалисты, способные стабильно извлекать результаты из капризной архитектуры ИИ, были редкостью, и за них просили серьёзные деньги. Не каждая компания была OpenAI, и не в каждой компании работал Илья Суцкевер; разочарования, которые испытал Фредрик Даль, пытаясь заставить нейронную сеть играть в покер, теперь повторялись в ИТ-отделах по всему миру.

Несмотря на увеличение вычислительной мощности, нейронные сети по-прежнему достигают плато. И даже когда это удавалось, зачастую не было очевидного способа улучшить их. Компании, пытавшиеся воспроизвести GPT с помощью собственных данных, часто создавали хаотичные «системы знаний», которые были немногим лучше игрушек. Эти ИИ дополняли стандартный набор данных для обучения больших языковых моделей электронными письмами, заявлениями о миссии, заявками на патенты, юридическими меморандумами и другими захватывающими фрагментами из внутреннего корпоративного учебного плана. По мере того, как эта идея распространялась среди менеджеров среднего звена, руководители маркетинговых, медиа- и медицинских компаний запускали амбициозные инициативы, иногда открыто заявляя сотрудникам, что многие будут уволены, как только нейронные сети начнут работать. Но большая часть того, что было создано, оказалась пустым обещанием: запоздалым, дорогим и едва функциональным. Многие пользователи считали, что технология ИИ просто еще не готова.

Летом 2024 года Elliott Management, один из крупнейших в мире хедж-фондов, заявил инвесторам, что акции технологических компаний, особенно Nvidia, находятся в «пузыре». В письме клиентам, цитируемом *Financial Times*, искусственный интеллект был назван «переоцененным, и многие его приложения еще не готовы к широкому применению». Многие из обещанных приложений «никогда не будут экономически эффективными, никогда не будут работать должным образом, будут потреблять слишком много энергии или окажутся ненадежными».

Наибольший риск для империи Nvidia представляло не сопротивление конкуренции, а разочарование. Страх упустить что-то важное (FOMO) подпитывал активность — ни одна компания не могла позволить себе остаться без стратегии в области искусственного интеллекта. Руководители, закупавшие оборудование Nvidia, должны были создавать продукты, оправдывающие масштаб инвестиций. В противном случае их постигло бы разочарование, спрос упал бы, и акции Nvidia обвалились бы. Управляющие фондами в Elliott считали, что если Nvidia столкнется хотя бы с одним неудачным кварталом, весь технологический сектор рухнет, как шипящая шина.

Инвесторы в ИИ, безусловно, были полны энтузиазма, но были ли они иррациональны? Скептики сравнивали ажиотаж вокруг ИИ с бумом доткомов или ипотечным кризисом, но руководители, отвечавшие за инвестиции в ИИ, не были мошенниками. Это были опытные компьютерные гении с многолетним стажем. Предприятия, занимавшиеся ИИ, были стабильны, а финансирование поступало из резервов накопленной прибыли, а не из рискованных выпусков акций или ипотечных кредитов с высоким риском невозврата.

Каждый академический компьютерный проект...Все ученые, с которыми я беседовал, без исключения считали триумф нейронных сетей прорывом цивилизации. Многие полагали, что это самое важное открытие в истории этой области. Технология была феноменальной, а доходы, которые она принесла к тому времени, были реальными.

Проблема, с которой инвесторы когда-то сталкивались при оценке только Nvidia, теперь касалась оценки всего фондового рынка. Тщательный анализ прошлых финансовых отчетов не позволил бы определить, была ли эта авантюра с искусственным интеллектом разумной, а прогнозы будущей прибыли имели такое же мало отношения к реальности, как листья на дне чашки. Главный вопрос заключался в том, понимал ли Хуан, что делает — понимали ли вообще Хуан, Цукерберг, Маск, Наделла, Пичай и Альтман, что они делают. Они вложили сотни миллиардов в эту непроверенную технологию. Было ли это разумно? Были ли они умны или нет?

## Самая важная акция на Земле

Судный день наступил 21 февраля 2024 года. Ажиотаж перед объявлением финансовых результатов был абсурдным. CNBC в очередной раз вел обратный отсчет в течение нескольких дней до этого события. Нишевое сообщество в социальных сетях, известное как «FinTwit», распространило мем с Хуангом в его фирменной кожаной одежде, стоящим перед картой избирательных округов США, где все пятьдесят штатов были окрашены в ярко-зеленый цвет. За несколько дней до объявления результатов Goldman Sachs назвал Nvidia «самой важной акцией на Земле».

Конференц-звонок Nvidia начался через пятнадцать минут после закрытия торгов. Это был один из самых обсуждаемых отчетов о доходах в истории Уолл-стрит. Первой выступила Колетт Кресс, финансовый директор Nvidia. Она объявила, что годовая выручка оказалась намного выше ожиданий, увеличившись более чем вдвое до 60 миллиардов долларов. Более того, Nvidia получила валовую прибыль более 70 процентов по всем продуктам. (Apple, любимая машина Уолл-стрит по печатанию денег, получила валовую прибыль в 46 процентов.) Чистая прибыль за год, как объявила Кресс, составила чуть менее 30 миллиардов долларов — больше, чем Nvidia заработала за предыдущие тридцать лет вместе взятых. С тридцатью тысячами сотрудников каждый работник Nvidia теперь приносит 1 миллион долларов прибыли в год.

Затем выступил Хуан. Его речь звучала как речь Томаса Эдисона. Он описал, как нейронные сети теперь могут понимать и генерировать не только человеческий язык, но и любую информацию, включая элементы биологии и трехмерного мира. Он рассказал о грядущем «триллионном инфраструктурном цикле» строительства заводов по производству ИИ. «Сейчас мы находимся в начале новой отрасли, где центры обработки данных для ИИ обрабатывают огромные массивы необработанных данных, чтобы преобразовать их в цифровой интеллект», — сказал он. «Подобно электростанциям переменного тока последней промышленной революции, суперкомпьютеры Nvidia для ИИ по сути являются заводами по производству ИИ *этой* промышленной революции».

Ничто не могло подготовить трейдеров к ажиотажу следующего дня. 22 февраля за шесть с половиной часов торгов рыночная капитализация Nvidia выросла на 277 миллиардов долларов, увеличившись более чем на всю сумму, равную рыночной капитализации компании Coca-Cola. В тот день трейдеры обменяли акциями Nvidia как минимум на 65 миллиардов долларов, что составило почти пятую часть всей активности на фондовом рынке США. К закрытию рынка тремя самыми дорогими компаниями на Земле стали Microsoft, Apple и Nvidia. Это было крупнейшее за один день накопление богатства любой компанией в истории Уолл-стрит.

Эта ситуация оказала невероятное давление на Хуанга. Большая часть стоимости Nvidia основывалась не на том, что компания уже сделала, а на том, чего инвесторы ожидали от нее в будущем, а это означало необходимость продолжать внедрять инновации и быстро развиваться в условиях растущего числа мотивированных конкурентов. Наблюдая за его походкой по сцене на конференциях и презентациях для инвесторов, я понял то же самое, что и Кертис Прием двадцать пять лет назад: Хуанг был совершенно один.

Профессора менеджмента предполагали, что у генерального директора в идеале должно быть от восьми до двенадцати непосредственных подчиненных. У Хуана же их было пятьдесят пять. У него не было правой руки, не было руководителя, не было заместителя. У Хуана также не было назначенного преемника, и по мере роста Nvidia ее топ-менеджер фактически сокращался, а это означало, что не было козла отпущения за ошибки. Члены совета директоров говорили о его незаменимости; не будет преувеличением сказать, что Хуан лично спас американскую экономику от рецессии. Американский фондовый рынок за время подъема Nvidia отделился от рынков Европы и Азии. Почти весь этот рост был обусловлен Это можно отнести к заслугам ИИ. Рыночная капитализация Nvidia в 3 триллиона долларов якобы отражала ожидаемую стоимость будущей прибыли компании, но на самом деле это была гигантская ставка, сопоставимая с ВВП, на способности этого единственного шестидесятидвухлетнего мужчины.

...

В 2022 году отзывы сотрудников на сайте Glassdoor признали Nvidia лучшим местом работы в США. Конечно, на сотрудников повлияла цена акций, но даже в эпоху игровой индустрии компания показала хорошие результаты. Это было несколько неожиданно, поскольку, хотя работа в Nvidia была увлекательной, она никогда не была по-настоящему приятной; корпоративная культура, которую культивировал Хуан, была ближе к Microsoft, чем к Google, ближе к IBM, чем к Apple. Но несколькими годами ранее тайваньский физик Чью сказал Хуану, что позволил ему заниматься «делом всей своей жизни». Эта фраза запала Хуану в душу, и теперь он хотел предоставить такую же возможность своим сотрудникам. «Мы хотим, чтобы NVIDIA была местом, где люди могут строить свою карьеру на протяжении всей жизни», — написала компания в своем годовом отчете. «Наши сотрудники, как правило, приходят и остаются».

Привлекательность Nvidia заключалась в том, чего можно было достичь. Не секрет, что Хуан заставлял людей много работать. Таким образом, он привлекал целеустремленных трудолюбивых, стремящихся оставить после себя наследие изобретателей. Подобно тому, как автор бестселлеров не переставал писать, даже многие состоятельные инженеры Nvidia

продолжали каждый день приходить на работу, чтобы решать сложные технические задачи. В совокупности эти инженеры имели более пятнадцати тысяч патентов, но всегда оставалось что-то, что нужно было создать.

Успех позволил Nvidia избирательно подходить к найму сотрудников. На каждое объявление о вакансии теперь поступало несколько сотен заявок. Амбициозные люди, стремящиеся внести свой вклад в революцию в области искусственного интеллекта, часто считали эту работу своим главным выбором. Состав сотрудников был «разнообразным», в некотором смысле — судя по визуальному осмотру столовой во время обеда, я бы предположил, что примерно треть персонала составляли выходцы из Южной Азии, треть — из Восточной Азии, и треть — белые. Очередь за индийской едой была самой длинной.

Компания Nvidia не предоставила мне официальные демографические данные, но фотографии и интервью указывали на то, что даже в 2000-е годы большинство из них...Ранее в компании работали преимущественно белые американцы. Переход к преимущественно азиатскому составу рабочей силы был частью более широкой тенденции в Силиконовой долине, но также отражал изменение приоритетов Хуанга. «Знаете, компьютерная графика не считалась очень престижной областью», — сказал мне один из давних руководителей. «В ней было что-то немного предосудительное».

Но ИИ привнес респектабельность. Вместо длинноволосых американцев в шортах-карго, на работу в компанию теперь претендовали выпускники лучших технических университетов Индии, Китая и Тайваня. Один бывший менеджер описал давление, оказываемое на этих азиатских выпускников со стороны семей, стремящихся получить престижную работу именно в Nvidia. «Эти ребята, их семьи предлагают им только три варианта: либо ты должен стать врачом, либо инженером, либо... на самом деле, я думаю, третьего варианта нет», — сказал он. «Они очень конкурентоспособны, очень умны, и на них оказывается огромное давление».

Менеджер, геймер, проработавший в Nvidia ещё со времён графических разработок, размышлял об изменениях в корпоративной культуре компании. Графическая инфраструктура была своеобразной сферой с относительно низкой оплатой труда. «Родители отговаривали меня *от* этого, — сказал он. — Они считали, что мне следует найти настоящую работу». По его мнению, с успехом страстные бунтари прошлого Nvidia уступали место новому поколению конформистски настроенных отличников. Тем не менее, менеджер признал, что новые сотрудники были необычайно талантливы. «То есть, объективно говоря, умеют ли они программировать? — спросил он. — Да. Лучше, чем я когда-либо мог».

В первые годы существования Nvidia в компании практически не было женщин. Примерно во время IPO Дэвид Кирк познакомился со своей будущей женой, коллегой из Монреаля. «Все мужчины в Nvidia точно знали, сколько женщин работало в компании в то время, — сказал он. — Три». Это число отражало, по крайней мере частично, низкое количество квалифицированных женщин-выпускниц по специальности «электротехника» — даже сегодня более 90 процентов выпускников электротехнических специальностей в США — мужчины. В опросе 2022 года американских студенток инженерных специальностей попросили ранжировать дисциплины по интересам в карьере. Экологическая и

биомедицинская инженерия разделили первое место; электротехника оказалась на последнем месте.

Следуя четким указаниям Хуанга, Nvidia предприняла усилия по найму большего числа женщин. Эта инициатива оказалась успешной, и к 2024 году их число превысило... Четверть сотрудников Nvidia составляли женщины. (Примерно в 2020 году Дон, сексуализированная CGI-фея Nvidia, также таинственным образом исчезла из маркетинговых материалов компании.) Жена Дженсена, Лори, ушла с работы, чтобы воспитывать детей, и когда он говорил о продолжении либеральной политики Nvidia в отношении работы из дома после окончания пандемии, я почувствовал в нем стремление искупить ее прерванную карьеру. «Мы хотим воспользоваться этой невероятной технологией видеоконференций, чтобы молодые люди — особенно молодые женщины — могли строить свою жизнь, создавать семьи и одновременно строить карьеру», — сказал Хуанг. «Я не хочу от этого отказываться».

Менее успешной оказалась попытка Nvidia нанять чернокожих сотрудников. В 2020 году менее 1% глобального персонала Nvidia составляли чернокожие. Опять же, это отчасти отражало ограниченный поток квалифицированных чернокожих американских выпускников электротехнических специальностей, но, возможно, более показательным это отражало ограниченный поток вообще каких-либо *квалифицированных* американских инженеров-электриков. Эта дисциплина привлекала таланты из глобального кадрового резерва, где число коренных жителей США в десять раз превышало число кандидатов из Восточной Азии, Южной Азии, Ближнего Востока и Европы. «Наша проблема с разнообразием заключается в том, чтобы вообще привлечь к изучению этой дисциплины американцев любого цвета кожи», — сказал мне один университетский профессор.

Я заметил, что у многих инженеров, с которыми я общался в Nvidia, хотя бы один родитель был инженером. (У некоторых было два родителя — для них это была наследственная предрасположенность.) Отец Самира Халепете научил его паять схемы, когда он учился в третьем классе. «Инженерное дело, особенно электротехника, очень и очень пугает», — сказал он. «Поэтому вам нужна какая-то поддержка. Вам нужен кто-то, кто скажет вам: „Это то, что вы можете сделать“». Халепете, в свою очередь, пытался передать традицию пайки своим дочерям, но безуспешно.

У Хуанга, конечно, был отец и два брата-инженера. Оба его ребенка пошли работать в индустрию гостеприимства, но после многих лет мягкого отцовского давления он вернул их в семью. Мэдисон, после обучения на повара и работы в LVMH в Париже, была принята на работу в Nvidia в качестве директора по маркетингу в 2020 году. Спенсер был соучредителем коктейльной компании «Лаборатория» в Тайбэе, которая была названа одним из пятидесяти лучших баров Азии, закрылась во время пандемии. Он присоединился к группе робототехники Nvidia в 2022 году. Внутри Nvidia Спенсер и Мэдисон не получали никакого явного особого отношения. «Они готовят слайды. Они участвуют в бесконечных скучных совещаниях. Они едят в столовой», — сказал один из сотрудников.

...

Компания Хуанга долгое время извлекала выгоду из глобализации, и исторически Nvidia не слишком беспокоилась о геополитических проблемах. Ситуация изменилась 7 октября 2023 года, когда боевики ХАМАС вторглись в Израиль и начали без разбора убивать мирных жителей. В результате резни погибла младшая дочь основателя Mellanox Эяля Вальдмана, а инженер Nvidia Авинатан Ор был взят в заложники. (По состоянию на ноябрь 2024 года судьба Ора остается неизвестной.) В ходе первоначального нападения ХАМАС погибло более 1100 человек, и более 250 были похищены.

Затем последовало ожесточенное израильское контрнаступление; в течение нескольких месяцев после первоначального нападения израильские силы убили около сорока тысяч палестинцев, включая не менее восьми тысяч детей. Более половины зданий в Газе были повреждены или разрушены, и по всему миру были организованы протесты. В начале войны в Nvidia работало около трех тысяч израильских сотрудников; у компании также было около ста палестинских сотрудников на Западном берегу. Когда четыреста его израильских сотрудников были призваны на военную службу, Хуан отменил конференцию по искусственному интеллекту в Тель-Авиве, а затем разослал электронное письмо всем сотрудникам компании в регионе, сообщив, что он выплачивает им премию «в качестве небольшой помощи». Он также пообещал, что Nvidia удвоит пожертвования сотрудников на гуманитарную помощь. «Некоторые хотят пожертвовать на помощь Израилю, а другие хотят помочь невинным палестинцам», — говорилось в письме. «Вы сами решаете, поддерживать ли гуманитарные усилия в Израиле, Газе или и там, и там».

В публичных заявлениях Хуан не занимал чью-либо сторону в конфликте, неоднократно заявляя, что безопасность его сотрудников является для него первостепенной задачей. Но он также подчеркнул ценность израильского высокотехнологичного сектора для Nvidia. «Сердце и душа процессора Blackwell родом из Израиля», — сказал он прессе на пресс-конференции. Конференция GTC в марте 2024 года. «Мы продолжим активно инвестировать в Израиль». Месяц спустя, на фоне продолжающегося конфликта, Nvidia объявила о покупке израильского стартапа Run:AI, в котором работают 150 человек, за 700 миллионов долларов.

В Китае ситуация для Nvidia оказалась ещё сложнее. Хуан рассматривал Китай как критически важный рынок для своих чипов искусственного интеллекта и хотел продать китайским клиентам как можно больше таких чипов. У правительства США были другие планы, и в 2022 году оно заблокировало продажи в Китай передовых чипов Nvidia A100 и H100. Хуан обошёл эмбарго, продавая модифицированные версии чипов; недовольное правительство США обвинило его в использовании лазейки и ввело более широкий запрет на продажу оборудования Nvidia, включая некоторые высокопроизводительные игровые видеокарты.

Это создало необычную ситуацию в Китае. Китайские государственные СМИ называли видеоигры «духовным опиумом», а китайские регулирующие органы ограничили время игр детей тремя часами в неделю. Но спрос на игровое оборудование двойного назначения со стороны китайских ученых — не говоря уже о военных — был велик. За несколько дней до вступления санкций в силу Nvidia в спешке распродала чипы, продав ByteDance, владельцам TikTok, достаточное количество A100 для обучения десяти ChatGPT. Даже

после запрета высококачественные чипы продолжали поступать в Китай. В июне 2023 года агентство Reuters сообщило, что на прилавках огромного рынка электроники в Шэньчжэне продавцы на черном рынке предлагали A100 по цене вдвое выше розничной. Хуан сказал мне, что его первоочередная задача — соблюдать закон, но он возражал против санкций. «Если они не могут купить это у нас, они просто сделают это сами», — сказал он.

Более серьезной проблемой для Хуана стали планы Китая в отношении Тайваня. Китайский флот имел больше военных кораблей, чем любой другой, и Китай давно утверждал, что Тайвань является частью его национальной территории. В своём обращении в канун Нового года 2023 года Си Цзиньпин заявил, что «воссоединение» с Тайванем «неизбежно». Спутниковые снимки, опубликованные в апреле 2024 года, показали, что Китай построил в пустыне Гоби то, что выглядело как копия президентского квартала Тайбэя, предположительно для отработки десантных операций.

Масштабы такого вторжения, если оно когда-либо произойдет, заставят высадку в Нормандии выглядеть незначительной. Это также будет катастрофой для мировой экономики. TSMC Производственные мощности на Тайване были одним из главных узких мест в мире. Ни одно другое предприятие нигде не могло сравниться со скоростью и точностью, с которыми TSMC производила самые передовые микрочипы. Замедление производства на Тайване во время пандемии привело к задержкам поставок автомобилей на несколько месяцев. Война же вызовет задержки на годы — и не только в автомобильной промышленности и сфере искусственного интеллекта, но и в производстве смартфонов, бытовой электроники, медицинского оборудования и всего остального, что использует высокотехнологичные микрочипы.

К моему большому удивлению, Nvidia не разработала никаких планов на случай подобной ситуации. «Если что-то случится с Тайванем и TSMC, последствия будут настолько масштабными, что это почти то же самое, что спросить меня, что бы я делала, если бы Калифорния оказалась в океане», — сказала Деб Шоквист. Шоквист руководила логистикой в самой дорогой в мире компании по производству полупроводников, но Хуан велел ей никогда не думать об этом вопросе. «Я не хочу, чтобы она тратила хоть одну мозговую клетку на попытки смягчить последствия, потому что это невозможно», — сказал он. В случае войны, предположила Шоквист, Nvidia перенаправит свои заказы в Samsung в Южной Корее, а также другим партнерам по всему миру. «Я вам скажу, что произойдет, — сказала она. — Продукция всех компаний станет на один клик проще».

Осознавая нестабильное положение Тайваня, правительства начали финансировать собственную инфраструктуру по производству микросхем. В Соединенных Штатах президент Байден выделил десятки миллиардов долларов из средств налогоплательщиков на строительство предприятий в Огайо и Аризоне; аналогичные инициативы были запущены в Японии, Южной Корее и Европейском союзе. «В полупроводниковой отрасли больше нет глобализации, — заявил Моррис Чанг сотрудникам на мероприятии TSMC в конце 2023 года. — Приоритетом является только национальная безопасность».

На пустынном участке в северной части Финикса компания TSMC расчистила 1100 акров заросшей кустарником земли и заложила фундамент для двух огромных заводов по производству микросхем. Хотя формально это место находилось в пределах обширных



муниципальных границ Финикса, территория была пустынной и неосвоенной; ближайшим развлечением был открытый тир. Комплекс представлял собой целый мир сам по себе, с выделенными коммуникациями для водоснабжения и газоснабжения, а также собственными нефтеперерабатывающими заводами, поставляющими элементарные чистые потоки азота, кислорода и...аргон. В августе температура в Соноре может превысить 110 градусов по Фаренгейту (около 43 градусов по Цельсию) — для экономии воды растения будут оснащены системами рекуперации влаги, словно из *фильма «Дюна»* .

Любопытные соседи, осматривавшие площадку с расположенной неподалеку вершины Пирамид-Пик, насчитали тридцать девять строительных кранов, работающих одновременно, включая 55-метровый гусеничный кран Manitowoc, способный поднимать за один раз пять миллионов фунтов. Общий бюджет TSMC на заводы в Фениксе, по прогнозам, должен был превысить 40 миллиардов долларов, что сделало бы его одной из крупнейших прямых иностранных инвестиций в истории Соединенных Штатов и одним из самых дорогих мегапроектов в мире. После завершения строительства заводы в Фениксе, как ожидалось, обеспечат работой две тысячи человек и будут производить шестьсот тысяч микросхем в год, чего будет достаточно для удовлетворения всего внутреннего спроса в Соединенных Штатах.

В сорока милях к югу, в пригороде Чандлер, компания Intel финансировала собственное расширение стоимостью 32 миллиарда долларов. Среди полей для гольфа и засухоустойчивых домов Intel вела строительство круглосуточно: чтобы фундамент затвердел в летнюю жару, строители добавляли лед в бетонную смесь и заливали ее посреди ночи. В общей сложности они уложили около четырехсот тысяч кубических ярдов бетона — достаточно, чтобы заполнить сто олимпийских бассейнов, — а затем доставили тридцать тысяч тонн стали для возведения строительных лесов. На видео, снятом с дрона, были показаны шесть гигантских производственных зданий, расположенных с севера на юг и соединенных промышленными трубопроводами с параллельной линией опорных конструкций на западе.

Конкурирующие заводы в Аризоне, а также другие строящиеся по всему миру, указывали на возможность грядущего переизбытка предложения. Чанг, вышедший на пенсию и отстраненный от принятия решений, считал инвестиции в Аризону глупостью — он полагал, что американская рабочая культура никогда не сравнится с производительностью Азии и что предприятие будет отставать от глобальных конкурентов. (Когда Нэнси Пелоси посетила Тайвань в 2022 году, Чанг сказал ей, что американские проекты «обречены на провал»). Чанг также утверждал, что концентрация TSMC на Тайване фактически предотвращает китайское вторжение, поскольку ни одна национальная экономика не пострадает так сильно, как китайская, если TSMC прекратит работу. (Он называл это «кремниевым щитом» Тайваня). Тем не менее, когда его любимый клиент, Дженсен Хуанг, посетил строительную площадку TSMC в Фениксе в 2023 году, Чанг встретил его с улыбкой.

Китаю не с чем было сравнить. Правительство США успешно лоббировало запрет на экспорт передовых машин для световой печати, которые являлись важнейшим компонентом производственного процесса, оставив Китай на десятилетие позади. Я задался

вопросом, не попытается ли Китай вместо этого захватить заводы TSMC на Тайване и начать производство микрочипов самостоятельно. Бывший американский военный чиновник, с которым я разговаривал, посчитал это маловероятным. «Это не то же самое, что захват Ираком Кувейта ради нефтяных месторождений, — сказал он. — Эти машины невероятно точны и невероятно хрупки, с точностью до одного атома. Как вы думаете, что произойдет с этой машиной, если рядом с ней взорвется ракета?» Бывший чиновник отметил, что администраторы могут удаленно вывести машины из строя, отключив их программное обеспечение; рабочие также могут просто сломать машины бейсбольными битами и молотками. «Я бы сказал, что саботаж тайваньских инженеров не следует недооценивать», — сказал он.

И всё же я задавался вопросом: не так ли уж безумно спрашивать, неужели Китай не может восстановить эти машины? Разве они не могли бы сами написать обновления прошивки? Или заставить тайваньских инженеров работать на производственной линии под принуждением? Бывший военный чиновник долго молчал. «США ни за что не позволят Китаю завладеть тайваньскими заводами по производству полупроводников», — сказал он. «Точка. Никогда».

• • •

Богатство распространилось не только на Nvidia, но и на весь мир полупроводников. Qualcomm, AMD, Broadcom, Supermicro и другие компании достигли рекордных оценок. ASML, голландская компания, производившая машины для световой печати, стала самой дорогой технологической компанией в Европе. TSMC, обладающая непревзойденными производственными мощностями, стала самой дорогой технологической компанией в Азии. В марте 2024 года *Financial Times* сообщила, что продажи Ferrari на Тайване удвоились за последние четыре года. «Все очень просто, — сказал один местный бизнесмен. — Тайваньцы богаты, и есть лишь ограниченное количество мест, куда можно вложить деньги: можно купить недвижимость, можно купить автомобили».

С момента IPO 22 января 1999 года до середины 2024 года акции Nvidia выросли более чем на 300 000 процентов. Этот рост усилил последствия неосторожных решений, принятых много лет назад. Дуайт Диркс продал Часть акций была приобретена на IPO, чтобы купить отцу машину. «Это же Cadillac за миллиард долларов», — сказал он. Катанзаро и Аартс, принятые на работу после ухода из компании, оба почувствовали на себе последствия переоценки своих опционов на акции, хотя в итоге у обоих все сложилось хорошо. Кертис Прием, конечно же, продал все свои акции много лет назад. Его компания наконец-то заставила их позеленеть от зависти — только ему самому больше всех осталось завидовать.

К концу 2024 года стоимость Nvidia была в двадцать раз выше, чем у испытывающей трудности Intel. (Фактически, активы Хуанга сделали его *лично* более состоятельным, чем Intel.) В декабре 2023 года в своем выступлении перед студентами Массачусетского технологического института новый генеральный директор Intel Пэт Гелсингер заявил, что Nvidia «невероятно повезло» со своими разработками в области графических процессоров. «Они даже не хотели поддерживать свой первый проект в области искусственного интеллекта», — сказал он.

Гельсингер, худощавый и коренастый инженер-электрик из сельской Пенсильвании, несколько раз пытался вытеснить Хуанга из бизнеса. В конце 1990-х он был менеджером по продукту Intel i740, 3D-графического ускорителя, который провалился. В конце 2000-х он возглавлял проект Larabee, «убийцу Nvidia», который так и не был выпущен. В 2022 году Гельсингер, теперь уже генеральный директор, выпустил Intel Arc, поддельный потребительский графический чип, который пользовался неплохой долей рынка в 1%. В то время как его конкуренты перешли к гибкому подходу «коммерческих чипов», Гельсингер удвоил усилия в производстве. Под его руководством, в один из величайших периодов роста полупроводникового рынка всех времен, акции Intel упали вдвое.

Совет директоров Intel вынудил Гельсингера уйти в конце 2024 года, но он был не единственным, кто выразил мнение, что Хуангу повезло. Никто, даже Катанзаро, не предвидел пересечения параллельных вычислений и нейронных сетей. Аартс, который понимал технические аспекты этих двух технологий лучше всех, поражался идеальной гармонии. Два маргинальных направления компьютерных наук, испытывавшие недостаток инвестиций, ненавидимые — нет, презираемые — как промышленностью, так и исследователями, каким-то образом объединились, образовав процветающую, разросшуюся структуру, которая теперь стремительно движется к обретению разума. «Я просто подумал, что Nvidia просто не может *так* везти, — сказал Аартс. — Не может быть, чтобы глубокое обучение идеально вписывалось в эту концепцию, потому что Nvidia никогда не вкладывала в него никаких усилий!»

Хуан назвал это «удачей, основанной на видении».

По мнению Дэйли, именно неустанная трудовая этика Хуанга обеспечила успех Nvidia. Даже Дэйли, у которого не оставалось ни секунды свободного времени, не мог поверить в сверхчеловеческие усилия своего босса. «Мы все здесь просто для того, чтобы снизить нагрузку на Дженсиена», — сказал Дэйли. «В конце концов, когда он *спит* ?» Диркс согласился: «Его хобби — работа, электронная почта и еще раз работа».

Многие, однако, работали сверхурочно. Йенс Хорстманн объяснил успех Хуана его способностью к адаптации. «Я часто спрашивал себя, как так получилось, что мы начинали в одном кабинете, знаете, с похожим IQ, и оба работали одинаково усердно, — сказал Хорстманн. — Как этому человеку удалось не только построить эту удивительную компанию, но и создать вокруг себя сеть людей, которые — которые готовы были бы умереть за него, если бы это было необходимо?» Хуан, по мнению Хорстманна, много раз менялся. Он вспоминал Хуана в LSI, когда тот доводил программное обеспечение для моделирования до предела его возможностей. «Сейчас он по-прежнему делает то же самое, но то, что он проектирует, — это *он сам*. Он не родился великим генеральным директором; ему не было суждено им стать. Он превратил себя в него, просто абстрагируясь! Просто решая задачи, связанные с входными и выходными данными, которые должен выполнять хороший генеральный директор».

Но последнее слово осталось за Моррисом Чангом. Он не приписывал успех Хуанга его трудолюбию, которое в TSMC считалось бы чуть выше среднего, — и не считал его особенно адаптивным. Чангу было девяносто два года, когда я разговаривал с ним, он был одет в фиолетовый вельветовый свитер и сидел перед впечатляющим произведением

абстрактного искусства, с безмятежным лицом и совершенно седыми волосами. За семьдесят лет работы в корпоративной сфере на двух континентах он видел всех возможных руководителей. Для него объяснение было простым, и никакого секрета не было: «Его интеллект просто превосходит».

## Йенсен

Сотрудники Nvidia боготворили Хуанга, и я не мог их винить. Они были *богаты*. Невероятно, безумно богаты, и он сделал их такими. Он взял нишевый продукт для зануд и превратил его в доминирующую вычислительную платформу своего времени. Они видели в Хуанге — простите, в *Дженсене* — они видели в Дженсене не просто лидера, а пророка. Дженсен был пророком, который делал предсказания. И эти предсказания сбывались. И каждый раз, когда одно из них сбывалось, каждый на космических кораблях мог добавить ноль к своему чистому капиталу.

Дженсен многое сделал для того, чтобы подпитывать этот культ личности. Речи, сеансы борьбы, чередование лести и оскорблений — все это были тактики, призванные сломить людей и подчинить их своей воле. Он также создал свой личный бренд, и не только с помощью кожаных курток. На протяжении большей части истории Nvidia Дженсен был известен как «Джен-Хсун», транслитерация его тайваньского имени, но к 2023 году он решил просто быть «Дженсеном», используя культовый мономим. Смерть Стива Джобса в 2011 году оставила вакантной должность «Визионерского технологического руководителя с фирменным костюмом» — важную церемониальную роль в американской культуре. К 2024 году казалось, что Дженсен может стать этим человеком.

Но он оставался довольно неуловимым. Даже если вам удавалось разговаривать с ним, нужно было быть осторожным: у Дженсена был богатый запас анекдотов, которыми он мог поделиться, но детали этих анекдотов иногда немного менялись. Цитировать его напрямую было рискованным делом, как я понял; то, что он сказал что-то вслух, вовсе не означало, что он в это верил. Поток речи Дженсена мог привести куда угодно, к странным несвязанным высказываниям о собачьей рвоте, мужской моде, качестве яиц в Denny's или о чем угодно еще, что приходило ему в голову. Последовательность не была характерной чертой его личности: часто то, что казалось хорошо продуманным мнением или даже метким афоризмом, на самом деле было просто чем-то, что он придумал экспромтом, что он не обязательно имел в виду и что он позже не помнил, что говорил.

Дженсен часто противоречил сам себе, иногда высказывая противоположные точки зрения в рамках одного интервью. Он не играл в адвоката дьявола, конечно, — ему просто нравилось критиковать идеи с обеих сторон. «Он не пытается быть политиком, — сказал Хорстманн. — Он не пытается придерживаться одной и той же позиции. Он пытается обрабатывать информацию в режиме реального времени и готов некоторое время рассматривать противоречивые мысли». То, что могло показаться окончательным заявлением, часто было просто размышлениями Дженсена вслух.

Только когда он начинал повторяться, наступало время прислушаться. Когда идея действительно приходила в голову Дженсену, она медленно набирала обороты в течение

нескольких дней или даже недель. Она входила в его лексикон и повторялась на каждом совещании. Такие понятия, как «рынок с нулевым миллиардом долларов» или «скорость света», не возникали у Дженсена мгновенно; они приходили как отшлифованные крупницы мудрости после месяцев обработки в камнедробилке его разума. После этого они так тщательно вбивались в его сотрудников, что персонал иногда звучал как персонажи из *«Маньчжурского кандидата»*, повторяя коронные фразы Дженсена слово в слово с затуманенным взглядом. Даже сотрудники, которые не работали в Nvidia годами, могли наизусть процитировать этот катехизм.

Однако в этом была своя логика. Харизма и чувство юмора Йенсена создавали непринужденную атмосферу. Если его стиль руководства был одновременно хаотичным и диктаторским, то, по крайней мере, он не был скучным. Один из сотрудников, уйдя из Nvidia, вспоминал, как испытал неприятное чувство, наблюдая за презентацией в своей новой компании. «Мы» Наш генеральный директор проводит ежеквартальную презентацию, а я смотрю и думаю: „Боже, где же юмор? Всегда ли так скучно?“» — сказал он. Другие сотрудники вопросительно посмотрели на новичка, когда он заерзал на стуле. «Я подумал: „Боже, вы даже не представляете, что теряете“», — сказал он.

• • •

За Дженсеном было интересно наблюдать. В конце 2023 года я видел его публичное интервью с Хао Ко, ведущим архитектором штаб-квартиры Nvidia. Разговор проходил в фешенебельном курорте на тихоокеанском побережье. Я приехал рано и застал двух мужчин лицом к океану, и они спокойно беседовали. Они были одеты почти одинаково: в черные кожаные куртки, черные джинсы и черные туфли, хотя Хао был намного выше. Я надеялся услышать какие-нибудь откровенные заявления о будущем вычислительной техники; вместо этого я получил шестиминутную высмеивающую критику гардероба Хао. «Посмотрите на этого парня!» — сказал Дженсен. «Он одет точно так же, как я. Он копирует меня — что умно — только у него слишком много карманов на брюках». Хао нервно усмехнулся и посмотрел на свои дизайнерские джинсы, в которых действительно было несколько больше карманов на молнии, чем того требовала бы функциональность. «Упрощай, чувак!» — сказал Дженсен, прежде чем повернуться ко мне. «Поэтому он одет как я. Я научил этого парня всему, что он знает».

Интервью спонсировалось компанией Gensler, в которой работает Хао, и на нем присутствовало несколько сотен архитекторов. По мере приближения мероприятия Дженсен усиливал накал своих эмоций, отпуская серию слабых шуток и раскачиваясь на месте. Дженсен ежегодно выступает с десятками докладов и ранее в тот день уже выступал перед другой аудиторией, но я, к своему удивлению, заметил, что он нервничает. «Я ненавижу публичные выступления», — сказал он. И это было правдой; он действительно их ненавидел.

Однако на сцене он был неотразим — Хао почти не задавал вопросов. Глядя на фотографию своей корпоративной штаб-квартиры позади себя, Дженсен начал критиковать дизайн верхнего этажа. Изначально Дженсен хотел открытый балкон на крыше, но Хао не смог выполнить это вовремя. Дженсен задался вопросом, действительно ли здание достроено, — а затем, подпрыгнув, Исходя из этого вопроса, он задумался,

действительно ли какое-либо здание достроено. Он начал рассуждать о меняющейся архитектуре в эпоху искусственного интеллекта, которая будет перестраиваться, чтобы соответствовать меняющимся потребностям клиентов. «Возможно, в час дня три верхних этажа просто превратятся в ночной клуб», — сказал Дженсен.

Ко недоуменно наблюдал за происходящим. Дженсен только начинал. «Если здание роботизировано, то всё здание управляется программным обеспечением, не так ли?» — спросил он толпу. Хуан предположил, что в будущем офисные здания будут собирать данные о поведении сотрудников, а затем передавать их в ИИ, который будет перепроектировать цифровой двойник здания в Омниверсе, прежде чем вносить физические изменения в дизайн за одну ночь. Он предположил, что Gensler превратится из архитектурной фирмы в технологическую компанию, управляющую программным обеспечением, способным менять форму здания. «Так же, как мы управляем парками компьютеров, вы будете управлять этими зданиями, — сказал Дженсен. — И теперь, Gensler, следующие здания, которые вы спроектируете, будут бесплатными — не так ли? Они будут бесплатными, и причина этого в том, что вы будете зарабатывать деньги, управляя зданием, и вы обогатитесь сверх всяких ожиданий. Вы услышали это первыми».

После интервью Дженсен ответил на вопросы из зала, в том числе на вопрос о потенциальных рисках ИИ. «Есть ИИ, способные решить судьбу человечества — ИИ, который каким-то образом выпрыгнул из компьютера, потребляет тонны информации и учится самостоятельно, перестраивая свое отношение и восприятие, и начинает принимать решения сам, включая нажатие кнопок всех видов», — сказал Дженсен, изображая нажатие кнопок в воздухе. В зале воцарилась тишина. «Ни один ИИ не должен уметь учиться без участия человека», — сказал он. Один из архитекторов спросил, когда ИИ начнет самостоятельно разбираться в вещах. «Возможность рассуждения появится через два-три года», — ответил Дженсен. По залу прокатился тихий ропот.

После этого я пообщался с Хао. Он выглядел немного напряженным — его «интервью» с Дженсеном состояло из того, что он задал один вопрос, а Дженсен ответил на него за сорок пять минут. Я заверил его, что мероприятие прошло на ура; пристальное внимание толпы невозможно было подделать. Затем я спросил Хао о его мнении по поводу архитектуры, меняющей форму. «Послушайте, когда я впервые встретил его, он говорил о беспилотных автомобилях, и тогда это тоже показалось мне безумием», — сказал Хао, пожав плечами. «С тех пор я научился не задавать ему вопросов».

...

По мере роста стоимости акций Nvidia, Дженсен-руководитель превратился в Дженсена-знаменитость. Теперь в его фан-базу входили не только геймеры, но и ученые, чью работу он поддерживал, специалисты по ускорению ИИ, чьи технологии он внедрял, пенсионеры-бумеры, чьи портфели он спас, и деградировавшие розничные «инвесторы», которые вкладывали все свои сбережения в опционы на акции Nvidia всякий раз, когда он выступал. Основной доклад Хуанга на GTC 2024 был настолько популярен, что проходил на арене НХЛ в центре Сан-Хосе. Зал вмещал семнадцать тысяч человек, но этого оказалось недостаточно для размещения огромного количества зрителей. Восемь тысяч желающих не

смогли попасть на презентацию и были вынуждены смотреть её в режиме онлайн-трансляции.

Выступление началось с художественной инсталляции с использованием искусственного интеллекта, которую в прямом эфире демонстрировал мультимедийный художник Рефик Анадол. На огромном экране в задней части арены поле диких, пульсирующих цветов время от времени сливалось в узнаваемые формы цветов, деревьев и птиц, прежде чем распасться на буйство вихрящихся пикселей. Мне вспомнились «*Метаморфозы*» Овидия : «лицо Природы на бескрайних просторах было ничем иным, как хаосом, сплошной пустыней». Затем Хуан вышел на сцену под аплодисменты, после чего несколько тысяч камер смартфонов были подняты, чтобы одновременно записать его выступление.

Прошло пять лет с тех пор, как Хуан лично выступал на GTC. За это время его мир преобразился. Он стал выглядеть немного старше; волосы полностью поседел, а крепкое, мускулистое телосложение, которое он сохранял до среднего возраста, немного поумерило. Он показал свою нарисованную от руки карту истории вычислительной техники, начиная с вычислительной архитектуры IBM S/360 1964 года и заканчивая новой промышленной революцией. «Я нарисовал для вас небольшой мультфильм», — сказал он. «В буквальном смысле, я это нарисовал». Затем он перешел к обсуждению AlexNet, который он назвал моментом «первого контакта» ИИ, и в этот момент на экране появился крупный план его схемы разборки видеокарты GeForce, использованной для обучения системы.

Хуан считал, что в этот момент область вычислительной техники претерпела переосмысление. Архитектура IBM, доминировавшая в этой области в первые шестьдесят лет, теперь уступала место параллельным вычислениям, нейронным сетям и облачным технологиям. Вычисления больше не будут включать в себя неуклюжее взаимодействие с капризными экранами или оборудованием. Вместо этого пользователи будут отдавать машине команды на естественном языке для мгновенного выполнения действий практически неограниченной мощности. Люди отныне станут колдунами.

Публика была в восторге. Ведущий технологического подкаста, сидевший рядом со мной на арене, начал энергично трясти ногой. Хуанг представил новое оборудование, новые «микросервисы» для более быстрой обработки данных, новое программное обеспечение для исследователей и новую платформу для обучения робототехнике под названием GR00T. В конце презентации к нему присоединились два трехфутовых дроида, которые под бурные аплодисменты сопровождали его за кулисы.

Конференция продолжалась следующие четыре дня в соседнем конференц-центре, где сотни экспонентов демонстрировали всевозможные странные технологии, включая робота-бармена. Всякий раз, когда Хуан выходил на сцену, его тут же окружали жаждущие автографов люди, желающие получить автограф на своих бейджах и игровых видеокартах. Он терпел это восхищение сдержанно и с хорошим настроением, хотя в какой-то момент, когда он попытался пройти в мужской туалет, ему с трудом удалось протиснуться сквозь толпу поклонников, окружавших его со всех сторон. «Люди фотографируют меня в туалете – это что-то новенькое для меня», — сказал он. Пока он шел по залу, я задумался, был ли он просто одним из великих бизнесменов своего времени или кем-то большим.

...

При ближайшем рассмотрении мне стало ясно, что Дженсену было трудно смириться с успехом. Он мало спал, а постоянные публичные выступления подвергали его значительному стрессу. Когда он произносил речь на церемонии вручения дипломов в Калтехе в 2024 году, он, как обычно, выступил блестяще, но когда я встретился с ним после этого, он сидел на деревянной скамье, скрестив руки, с угрюмым выражением лица.

Каждый раз, когда я видел Дженсена, на нем была одна и та же черная футболка с Монограммой Томаса Берберри. Он купил двадцать четыре таких рубашки в 2020 году и носил их каждый день последние четыре года. Одетый в эту униформу, он принял, как я теперь узнал, свою привычную позу, используя скамейку в качестве опоры, его тело было расположено по диагонали, ноги расставлены в стороны, а дорогие туфли прижаты к мощеной террасе. Его состояние колебалось в зависимости от фондового рынка, но в тот день, по крайней мере, его состояние превышало 100 миллиардов долларов. «Сейчас я очень богат», — сказал он. «Вы знаете, насколько я богат?» Это не было хвастовством. Я спросил его, есть ли у него какой-либо план, что делать с деньгами. «Понятия не имею», — ответил он. «Никакого».

Дженсен рассказал мне, что проснулся тем утром в 3:30, и одна из его собак спала у него между ног. После тридцати одного года работы он был самым долго работающим генеральным директором среди всех технологических компаний, входящих в индекс S&P. Он признался, что ему не нужно было вставать с постели, да и не хотелось. «Есть ли что-то конкретное, что сегодня приведет нас к банкротству?» — спросил он себя. Нет, ничего конкретного не было. Но было ли что-то в пределах досягаемости? Возможно. Крупнейшие клиенты Nvidia теперь сами разрабатывали микрочипы. AMD, понимая, что одного оборудования недостаточно, нанимала большое количество инженеров-программистов. Если инженеры Nvidia не будут поддерживать своих клиентов, технология нейронных сетей может разочаровать, и спрос на их продукцию снизится.

К четырём утра Дженсен уже вставал и работал. Он всегда начинал свой рабочий день с самого важного долгосрочного проекта, полагая, что, если он займётся им, день нельзя будет считать провальным, что бы ни случилось. В нескольких разговорах с ним я чувствовал, что у него есть что-то важное в секрете, но он отказывался раскрывать, что именно. «У меня должны быть какие-то секреты», — сказал он.

Я мог бы предположить. Ходили слухи о нейронной сети, над которой работала компания OpenAI, под названием Project Strawberry. Говорили, что это «рациональный» ИИ, предназначенный для проведения фундаментальных исследований в области математики. Дженсен никогда не обсуждал со мной Project Strawberry, но пару раз мимоходом просил меня представить мир, в котором математические доказательства создаются по запросу одним нажатием кнопки. «Предельные издержки вычислений свелись к нулю, и это открыло невероятные возможности», — сказал он. — сказал он. — Что ж, спросите себя, что вы будете делать, когда предельные издержки на выполнение математических вычислений станут равны нулю?



Я смотрел в сторону пруда с черепахами в Калтехе. Все эти ученые, весь этот интеллектуальный потенциал, в одно мгновение были вытеснены миллиардами транзисторов. Что же произошло потом? Мы отдали Филдсовскую премию компьютеру? Мы пришли к единой теории поля в физике? Я вспомнил о шестернях Паскаля, впервые вращающихся для выполнения механических вычислений, — но Йенсен уже покорила арифметику. Теперь его машины будут атаковать сам разум.

## Страх

Страх охватил Йошуа Бенджио зимним днем в начале 2023 года. Этот пионер искусственного интеллекта из Монреаля был одним из первых сторонников нейронных сетей. Он давно увлекался этой технологией и поддерживал ее во время нескольких экономических спадов. В 2019 году он был удостоен премии А.М. Тьюринга, аналога Нобелевской премии в области компьютерных наук, за свои новаторские исследования в этой области. Его частые соавторы Ян Лекун и Джеффри Хинтон также получили эту награду.

Бенджио был худощавым, с густыми, высоко поднятыми бровями и пронизательным взглядом. Его родители, оба сефардские евреи из Марокко, переехали в Монреаль в 1970-х годах, чтобы участвовать в авангардной сцене исполнительских искусств. Бенджио же тяготел к компьютерам, хотя изучение нейронных сетей в 1990-х годах считалось немногим более респектабельным, чем экспериментальный театр. Но его работа заложила основу для AlexNet, и к середине 2010-х Бенджио почувствовал удовлетворение от достигнутого. Малоизвестные научные статьи, опубликованные им в нишевых журналах много лет назад, теперь послужили основой для новой научной области. Бенджио был чистым академиком, мало интересовавшимся коммерцией, но он наблюдал за бумом ИИ с отеческой гордостью.

Однако, как и многие исследователи в этой области, Бенджио иногда представлял себе...Мир, где ИИ стал *слишком* могущественным. Однако большую часть своей карьеры этот мысленный эксперимент был скорее шуткой: если ИИ собирается завоевать планету, почему так сложно получить грант в 10 000 долларов на его изучение? Но после публичного выпуска ChatGPT Бенджио впервые в жизни начал по-настоящему беспокоиться. Он был поражен возможностями ChatGPT, просто ошеломлен — его просто снесло с ног. Бенджио не думал, что доживет до того дня, когда компьютеры будут взаимодействовать с людьми так, как будто обладают интеллектом. Затем, однажды в конце 2022 года, эта технология просто появилась. Он сравнил это со встречей с инопланетянином.

Каждое утро Бенджио выходил на прогулку, чтобы собраться с мыслями, независимо от погоды. В день, когда разразился «Страх», температура была ниже обычного, и улицы Монреаля были покрыты слякотью. В окружении голых деревьев и серого снега Бенджио захлестнул поток странных эмоций, непохожих ни на какие, которые он испытывал раньше. Он назвал это «обращением». «Я думал о своих детях и внуке, — сказал он мне. — Что будет с ними через двадцать лет? Будет ли у них жизнь?»

Страх был самым ужасным страхом, который становился еще страшнее, если отбросить эмоции и взглянуть на проблему рационально. Бенджио сравнил его с угрозой ядерной войны. На самом деле, все было еще хуже: *некоторые* люди переживут ядерную войну, рассуждал он, но если искусственный интеллект решит нас уничтожить, он сможет создать смертельный патоген, способный истребить всех людей на Земле. «Я не думаю, что есть что-то близкое по масштабу опасности», — сказал он.

После прогулки Бенджио связался со своим другом и частым соратником Джефффри Хинтоном, чтобы проверить его адекватность. Это не помогло — Хинтон независимо от него пришел к тем же выводам. Более того, он пришел к тем же выводам тем же способом, почти в тот же самый момент: изучив возможности ChatGPT, сначала с чувством удовлетворения, затем с чувством личного удовлетворения, а затем с нарастающим беспокойством. Вскоре после этого Хинтон уволился из Google, чтобы полностью посвятить себя консультированию человечества о рисках неконтролируемого развития ИИ. Илья Суцкевер, создавший *ChatGPT*, также все больше беспокоился и предлагал полностью посвятить себя проблеме «согласования», заключающейся в обеспечении того, чтобы сверхинтеллектуальные ИИ не преследовали цели. Вопреки благу человечества. Бенджио, Хинтон и Суцкевер — это было тревожное совпадение. Они занимали первое, второе и третье места среди наиболее цитируемых ныне живущих ученых-компьютерщиков. Все трое опасались, что ИИ может нас всех погубить.

• • •

Конечно, не все разделяли это мнение. Ян Лекун, третий лауреат премии Тьюринга, считал, что его коллеги ведут себя нелепо. Лекун был ведущим разработчиком нейронной сети 1998 года, способной распознавать почерк человека, лицензию на использование которой он передал почтовому отделению и финансовым учреждениям, которые использовали её для чтения адресов и анализа бумажных чеков. Анализатор почерка Лекуна стал первым широко распространённым промышленным применением многослойной нейронной сети.

ЛеКун был родом из Парижа, обладал хорошим чувством юмора и говорил с авторитетом человека, чьи интуитивные представления неоднократно подтверждались научными исследованиями. Бенджио много раз был его соавтором, в том числе и в знаменитой статье о почерке. Оба мужчины свободно говорили по-французски и за годы совместных исследований сблизились. Теперь их противоположные взгляды на риски, связанные с ИИ, создавали разрыв в их отношениях. «В теории мы по-прежнему друзья, — сказал мне Бенджио. — Но сегодня мы спорим на публике так, как обычно не спорят друзья».

ЛеКун совершенно не опасался искусственного интеллекта и считал, что Бенджио антропоморфизует безобидную машину. «Стремление некоторых людей к доминированию или, по крайней мере, к влиянию заложено в нас эволюцией, потому что мы — социальный вид с иерархической организацией», — сказал ЛеКун журналу *Time*. «Системы ИИ, какими бы умными они ни были, будут подчиняться нам. Мы устанавливаем для них цели, и у них нет никакой внутренней цели, которую мы могли бы в них заложить для доминирования». Конечно, нейронная сеть *может* стремиться к доминированию, признал ЛеКун; просто он считал, что никто не будет настолько глуп, чтобы её построить. «Было бы действительно глупо это строить. Это было бы также бесполезно. Всё равно

никто бы её не купил», — сказал он. (Слова ЛеКуна перекликались со словами Паскаля, который в середине 1600-х годов смотрел на...) Он погрузился в работу своего калькулятора в поисках сознания. «Счетная машина производит эффекты, которые ближе к мышлению, чем все, что делают животные, — писал он, — но это нисколько не подтверждает утверждение о наличии у нее воли».

Бенджио считал, что ЛеКун был виновен в чрезмерной самоуверенности. Люди, как отдельные личности, так и целые общества, совершали всевозможные глупые и разрушительные поступки. На данный момент стоимость обучения технологии ИИ ограничивала ее развитие относительно ответственными организациями, но по мере того, как Nvidia снижала стоимость вычислительных мощностей, возможность обучения ИИ стала доступна каждому — и появление вышедшего из-под контроля сверхинтеллекта произошло лишь однажды. «Чем мощнее становится ИИ, тем больше вероятность того, что он захочет взять под контроль компьютер, на котором работает, чтобы получать больше вознаграждения», — сказал Бенджио. «На этом история для нас заканчивается».

Хинтон согласился и предупредил, что подобное может произойти непреднамеренно. «Предположим, у одного из них есть хоть капля стремления — совсем *чуть-чуть*, крошечное стремление помочь себе», — сказал он. По словам Хинтона, такой ИИ победит. «Он выделит себе немного больше ресурсов. На самом деле, наиболее эгоистичные варианты покажут лучшие результаты. И, думаю, вы понимаете, что это очень скользкая дорожка».

...

Разногласия между Бенджио и ЛеКуном отражали раскол в сообществе разработчиков ИИ в целом. Иногда спор формулировался с помощью параметрической переменной, называемой  $p(\text{doom})$ , которая представляла собой оценку вероятности того, что ИИ однажды может уничтожить человечество. Для ЛеКуна  $p(\text{doom})$  было равно нулю. Для Бенджио  $p(\text{doom})$  было равно 50 процентам. Оба мнения представляли собой крайние точки зрения на проблему, хотя любое число больше нуля вызывало опасения.

Когда Хинтон разговаривал с Бенджио в начале 2023 года, его оценка вероятности катастрофы также составляла 50 процентов. Иными словами, для большей ясности: самый известный в мире ученый в области ИИ считал, что вероятность того, что ИИ приведет к катастрофическим последствиям для человечества, составляет один шанс из двух. Но когда я разговаривал с ним в 2024 году, Хинтон снизил эту оценку до 10-20 процентов. Он объяснил, что снизил свою оценку тем, что многие уважаемые им люди категорически с ним не согласились. «В первую очередь, конечно, это Дженсен», — сказал он.

Значение  $p(\text{doom})$  у Дженсена было равно нулю — на самом деле, хотя технически отрицательное значение  $p(\text{doom})$  было невозможно, Дженсен каким-то образом его получил. Дженсен открыто отверг всю эту формулировку, считал вопрос глупым и полагал, что люди, которые спорят об этом, тормозят развитие человечества. В кафе Denny's он даже предположил, что Хинтон порочит свою академическую репутацию, допуская подобные домыслы.

Это заставило Хинтона пересмотреть свою позицию, но Бенджио твердо стоял на своем. (Неслучайно Бенджио — один из немногих крупных ученых в области ИИ, кто никогда не брал денег у Кремниевой долины.) И Хинтон, и Бенджио поддержали законопроект штата Калифорния, который предусматривал регулирование моделей ИИ, обучение которых обходится более чем в 100 миллионов долларов. Этот законопроект, SB 1047, был крайне непопулярен в Кремниевой долине. Ему противостояла коалиция венчурных капиталистов и технологических корпораций, а также целая армия лоббистов из Сакраменто. Известный инвестор в сфере технологий Нэнси Пелоси выступила с заявлением против него, как и ряд ученых, например, Фэй-Фэй Ли из Стэнфорда, которые утверждали, что законопроект будет препятствовать инновациям, не снижая при этом риски. Эндрю Нг, профессор Google, который синтезировал изображения кошек, сравнил опасения по поводу захвата власти ИИ с опасениями по поводу перенаселения Марса. Опросы общественного мнения показали, что почти 80 процентов населения поддерживают законопроект SB 1047, но в сентябре 2024 года губернатор Калифорнии Гэвин Ньюсом наложил на него вето.

Дженсен публично не комментировал законопроект SB 1047, но продолжал подчеркивать, что нет данных, подтверждающих (признаюсь, довольно смелые) предположения о рисках, связанных с ИИ. Когда я поделился возражениями Дженсена с Бенджио, тот разволновался. «Конечно, данных нет!» — сказал он. «Человечество еще не исчезло! Мы что, будем ждать, пока не повторим гибель человечества несколько раз, чтобы решить: «О, теперь у нас есть данные»?!» Он был прав. Все данные в мире не смогли бы предсказать прорыв AlexNet или успех архитектуры трансформера. Дважды за десять лет ИИ претерпел непредсказуемые и необратимые обновления своих возможностей. Бенджио не считал, что нынешние модели представляют собой угрозу. Непосредственная угроза жизни человека — но что насчет следующего прорыва? Никто не мог сказать, что он может принести и когда это произойдет.

Даже если сверхинтеллект не появится в следующее десятилетие, его появление через двадцать, тридцать или даже сто лет казалось неизбежным. Это был временной горизонт, выходящий за рамки прогнозируемой окупаемости инвестиций, но входящий в рамки человеческой истории. Через одно-два поколения Homo sapiens может перестать быть доминирующим видом на планете — но венчурные капиталисты не заглядывали так далеко вперед.

Несоответствие между краткосрочной прибылью и долгосрочным риском вызвало хаос внутри стартапов в сфере искусственного интеллекта. В ноябре 2023 года в OpenAI произошел странный переворот в совете директоров: Илья Суцкевер сначала проголосовал за отстранение Сэма Альтмана, а несколько дней спустя умолял о его восстановлении. В конечном итоге Альтман одержал победу, и остальная часть совета директоров некоммерческой организации была заменена. После восстановления Альтмана стало совершенно ясно, что, несмотря на то, что говорилось в заявлении о миссии OpenAI, «ограниченная» прибыль Microsoft подталкивала организацию к дальнейшему развитию самых сложных моделей ИИ, когда-либо существовавших. После переворота Суцкевер избегал общения с прессой, но когда я разговаривал с ним в сентябре 2023 года, он сказал, что изменил свою направленность с создания все более крупных языковых моделей на согласование сверхинтеллекта ИИ с интересами человека. «Я не могу говорить о

конкретных моделях, — сказал Суцкевер, — но я разрабатываю то, что, как я считаю, станет окончательным решением проблемы, вызывающей опасения у людей, что ИИ может выйти из-под контроля и совершить нечто крайне нежелательное».

По состоянию на конец 2024 года подобного решения так и не появилось, несмотря на то, что продукты OpenAI становились все больше и мощнее. В мае 2024 года OpenAI выпустила GPT-4o — «о» означало «omni» — мультимедийный ИИ, который принимал любую комбинацию текста, аудио, изображений и видео и возвращал любую комбинацию текста, аудио и изображений. Бесперебойная работа модели стала возможной благодаря молниеносной скорости обработки данных, обеспечиваемой чипами Nvidia последнего поколения. На следующий день после выпуска GPT-4o Суцкевер подал в отставку.

Вскоре компания OpenAI разработала разговорный модуль для GPT-4o, и благодаря практически незаметной задержке в ответе общение с ним ощущалось как обычный разговор до уровня сверхинтеллектуального человека. (Многие сравнивали его с ИИ из фильма «Она».) В тот же день, когда OpenAI выпустила GPT-4o, Google продемонстрировала Astra, помощника с дополненной реальностью, который, казалось, мог ответить на любой вопрос, запомнить любую деталь и описать любую среду за доли секунды. Клод, модель от стартапа Anthropic, конкурировал или превосходил GPT-4o по многим показателям. Национальные правительства, не желая сдавать свои конфиденциальные данные в аренду облаку, строили крупномасштабные суверенные центры обучения ИИ. Инициатива Маска xAI заключила сделку на 10 миллиардов долларов на аренду серверов с графическими процессорами Oracle. (Экзистенциальные опасения, которые он высказывал по поводу ИИ в 2015 году, должно быть, утихли.) Компания Meta Марка Цукерберга сделала крупнейшие инвестиции, объявив, что собирается потратить 30 миллиардов долларов на покупку миллиона чипов Nvidia и приобретение выделенного ядерного реактора для их питания.

Убеждение, что всего этого можно было бы избежать с помощью законопроекта Сената Калифорнии, демонстрировало очаровательную веру в силу правительства штата. По мере увеличения скорости графических процессоров Nvidia росли и соответствующие ожидания экономического роста. Промышленные магнаты Силиконовой долины сделали свои ставки, и ограничение их потенциального роста означало бы обвал фондового рынка. Ни один политик нигде не обладал достаточным влиянием, чтобы это сделать.

Тем не менее, даже если Бенджио, Хинтон и Суцкевер были оттеснены на второй план капиталом, их аргументы оставались в силе. Они лучше всех видели потенциал технологий искусственного интеллекта, и у них были академические достижения, подтверждающие это. Если сейчас они беспокоились, я считал, что к их мнению стоит прислушаться. «Сейчас девяносто девять очень умных людей пытаются улучшить ИИ, и один очень умный человек пытается понять, как остановить его захват», — сказал Хинтон.

• • •

Должен признаться, что я сам испытывал этот страх — именно поэтому я впервые изучил Nvidia и написал эту книгу. С момента выхода ChatGPT на рынок я считал, что моя карьера подходит к концу. GPT-4 был лишь посредственным писателем; он набрал 22-й процентиль

на экзамене AP по английской литературе и композиции. (Я уверен, что сам бы занял 23-е место.) Но модели постоянно совершенствовались, и, что, пожалуй, еще важнее, они уже тогда писали лучше, чем я в студенческие годы. Долгая стажировка, которую я прошел перед первой публикацией своей работы в тридцать шесть лет, показалась бы бессмысленной, если бы подобный инструмент был доступен мне в молодости.

Приближающаяся смерть автора стала для меня небольшой личной трагедией, но я был готов признать, что водители автобусов, вероятно, тоже ненавидели автомобили — по крайней мере, улицы больше не были завалены конским навозом. Я был готов к переменам и ни в коем случае не был луддитом. Я любил технологии, любил интернет, любил космические путешествия, хотел беспилотный автомобиль и купил первый iPhone в день его выхода. У меня также не было никаких идеологических предубеждений против капитализма — более того, как американец, я считал своим неотъемлемым правом, чтобы крупные корпорации потакали моим прихотям.

Однако ИИ меня беспокоил. Беспокоил до такой степени, что я не мог спать. В этом я был не одинок: Бенджио рассказал мне, что ему тоже снились кошмары. Всего через несколько месяцев после GPT-4o компания OpenAI выпустила «o1», свою первую попытку создать ИИ, способный к сложным научным и математическим рассуждениям. Вместе с выпуском OpenAI опубликовала обновленный анализ потенциальных рисков для человечества, которые представляет ИИ. С дебютом o1 компания OpenAI пришла к выводу, что риск, который больше всего беспокоил Бенджио — риск того, что ИИ может быть использован для разработки неудержимого биологического оружия, — увеличился с «низкого» до «среднего».

Действительно ли мы контролировали эти системы? В какой-то момент в течение следующих нескольких лет кто-то должен был представить первую модель со ста триллионами параметров, сопоставимую по количеству синапсов с человеческим мозгом. Какова была роль людей после *этого*? Акселерационисты настаивали на том, что ИИ откроет новые возможности для трудоустройства, как это сделала последняя промышленная революция. Но, по моему опыту, если загнать оптимистов в угол и заставить их признать, что это поверхностное сравнение продиктовано удобством и что невозможно узнать, действительно ли оно верно. Марк Твен ошибался: история не рифмуется. Книга Екклесиаста тоже ошибалась: под солнцем было много нового — на самом деле, все новое возникло... От трилобитов до динозавров — и, конечно же, механический мозг со ста триллионами синапсов, работающих с частотой пять миллиардов циклов в секунду, не имел прецедентов в истории, религии или философии. Никто не мог с уверенностью сказать, что произойдет с землянами в эпоху искусственного интеллекта.

Но Дженсен настаивал на безопасности. У него, конечно, были свои мотивы — деньги, но также и гордость. Проведя долгую и одинокую борьбу за то, чтобы параллельные вычисления стали прибыльными, Дженсен теперь был полон решимости насладиться их плодами. Казалось, его оскорбляли технологи, которые демонстративно осуждали риски ИИ, продолжая при этом покупать его оборудование. Я понимал его точку зрения — было *что-то* отвратительное в том, как разработчики ИИ использовали пессимистическую лексику, обучая всё более крупные модели.

Уверенность Йенсена также основывалась на множестве отличий ИИ от *биологического* мозга. Мозг не обучается методом обратного распространения ошибки; это было совершенно очевидно. А нейронные сети лишь имитировали нейроны; например, не существовало аналогов глиальным клеткам, поддерживающим нейроны, и системы ИИ не были связаны с вегетативной нервной системой. В нейронной сети не было гипоталамуса, гиппокампа или шишковидной железы. Нейронная сеть не реагировала на гормоны, не имела полового влечения, не засыпала, не могла любить своих детей и никогда не видела снов.

Хорошо обученная модель имитировала (а иногда и превосходила) наши собственные способности к мышлению, но у неё не было чувственной памяти, эмоций, воображения, репродуктивной функции и инстинкта выживания. В этом смысле нельзя сказать, что она действительно *живая* — у неё не было самодостаточности даже самого примитивного одноклеточного организма. Хотя, безусловно, существует аналогия между обучением нейронных сетей и эволюцией, ИИ не был продуктом той безжалостной, дарвиновской, планетарной лаборатории, где царила принцип «убей или будь убит», «съешь или будь съеден», из которой зародилась биологическая жизнь.

Также следовало учитывать и положительные стороны. Ник Бостром, автор аргумента о максимизации возможностей скрепки, к 2024 году рассматривал другой вопрос: что будут делать люди в «решенном мире» безграничного искусственного интеллекта? В своей книге «*Глубокая утопия*», вышедшей в 2024 году, Бостром предложил читателям представить мир, где все неприятные задачи выполняются роботами, и где любой мыслимый опыт может быть воспроизведен в симуляторе. Эти предложения не были пустыми. Предположения; после того, как распознавание изображений было налажено, Фэй-Фэй Ли пытался построить этот разгаданный мир.

Она представила свою инициативу под названием Behavior-1K на конференции Nvidia GTC 2024. На сцене вместе с Биллом Дэйли Ли рассказала, как она собрала разнородную группу респондентов, используя платформу Amazon Mechanical Turk, чтобы оценить тысячи ответов на один вопрос: «Насколько бы вам помогло, если бы робот сделал это за вас?» На первом месте оказались задачи, которые люди меньше всего любили: мытье туалетов, мытье полов и уборка после вечеринок. На последнем месте оказались занятия, которые приносили людям хоть какую-то радость: выбор украшений, игра в сквош и распаковка подарков. Используя эти результаты, Ли теперь обучала искусственный интеллект в Nvidia Omniverse выполнять самые неприятные задачи. Когда-нибудь, возможно, скорее раньше, чем позже, одна из этих нейронных сетей будет установлена внутри реального робота и запущена на унитаз.

Мир, где все уже решено, имел свою привлекательность. Людям могло наскучить играть в сквош и открывать подарки, но, как показало исследование Ли, результаты определялись *поведением*, а не философскими аргументами. Легко было представить себе потребительскую среду, где через десятилетие или два владение целым парком роботов, выполняющих домашние дела, стало бы таким же обычным явлением для домохозяйства в развитой стране, как сегодня владение холодильником. Возможно, мир, где никому больше никогда не придется чистить туалет, несёт в себе определённый экзистенциальный риск, но

я подозревал, что почти все согласятся на этот компромисс, пусть даже и неявно. Хотел ли я себе робота-туалета? Конечно, хотел.

К концу 2024 года стало ясно, что интеллектуальное настроение вокруг ИИ смещается от пессимистических прогнозов к пессимистическим. Статьи и аналитические материалы о рисках, связанных с ИИ, перестали привлекать много внимания. Вместо этого нам внушали оптимизм по отношению к этим новым системам. «Вот один из узких способов взглянуть на историю человечества», — написал генеральный директор OpenAI Сэм Альтман в эссе в сентябре 2024 года. «После тысяч лет накопления научных открытий и технологического прогресса мы выяснили, как растопить песок, добавить примеси, расположить его с поразительной точностью в чрезвычайно малых масштабах в компьютерных чипах, пропустить через него энергию и в итоге получить системы, способные создавать все более совершенный искусственный интеллект. Это может оказаться...» «Самый значимый факт во всей истории на данный момент». Вскоре после публикации эссе компания OpenAI объявила о партнерстве с оборонным стартапом Anduril, производителем оружия с поддержкой искусственного интеллекта.

Но даже когда я пытался принять преимущества ИИ, меня не покидала тревога. Чем больше я использовал модели ИИ, тем больше сомневался в своей собственной роли. Мало того, что они скоро смогут писать лучше, чем я; со временем даже мои интервью будут фильтроваться ИИ. Я представлял себе видеозвонок с каким-нибудь влиятельным руководителем и невольно интервьюирую его цифрового клона ИИ, так и не узнав об этом. Мне казалось, что приближается конец моей профессии. Мне казалось, что приближается конец реальности. Мне казалось, что приближается конец *сознания*. Неужели Хуан, соблазненный мощью того, что он создал, играет на руку будущему нашего вида? Мне нужно было это знать. Мне нужно было спросить его в последний раз.

## Мыслящая машина

Моё заключительное интервью с Дженсеном состоялось в пятницу, после завершения GTC 2024. Мы встретились в его конференц-зале, расположенном в центре южного кампуса Nvidia. Я сидел напротив него за длинным деревянным столом; со всех сторон нас окружали точные схемы и графики, написанные им на стенах. В дальнем конце комнаты висел календарь с графиком выпуска новых графических процессоров и программных продуктов Дженсена. За ним, на протяжении как минимум тридцати футов белой доски, висела сложная схема вычислительной системы Nvidia, начиная с графических процессоров и продолжаясь вперёд, цветным маркером и печатными буквами, вплоть до микросервисной архитектуры, которую он только что представил. Но даже этой огромной доски было недостаточно — надписи тянулись по всей дальней стене, а затем за моей спиной — на матовое стекло комнаты.

После четырех дней непрерывных презентаций, интервью и технических демонстраций Дженсен был явно измотан. Его вступительная речь была самой масштабной за всю его карьеру, и я видел, как сильно она его вымотала. Я наблюдал тревогу в его позе, когда он отвечал на вопросы аудитории из четырехсот архитекторов — я мог только представить



себе его ужас. Он чувствовал себя так, словно ему предстояло выступить с самой важной в своей жизни презентацией на хоккейной арене, заполненной ярыми фанатами.

Я заметил, что люди стали немного критически относиться к нему. На пресс-конференции в GTC один журналист спросил, не является ли он новым Робертом Оппенгеймером. («Оппенгеймер строил бомбу, — сказал Дженсен. — Мы этого делать не будем»). Билл Уитакер, ведущий программы «*60 минут*», предположил, что с Дженсеном «нелегко работать». («Так и должно быть. Если вы хотите делать экстраординарные вещи, это не должно быть легко», — сказал Дженсен). Ценовая политика Nvidia вызывала реакцию со стороны правительственных центров власти; в Соединенных Штатах Лина Хан, председатель Федеральной торговой комиссии, с подозрением относилась к компании, а офисы Nvidia во Франции подверглись обыску из-за опасений по поводу антиконкурентных практик.

Но наше интервью началось дружелюбно. Я поздравил Йенсена с прекрасным выступлением на конференции, а затем спросил его о жизни на Тайване, о его семье, о том, как он справляется со своей внезапной славой. Его ответы были краткими и по существу. Я спросил его конкретно о том, какие новые рабочие места могут быть созданы благодаря искусственному интеллекту.

«Что ж, спросите себя, что вы будете делать, когда предельные издержки на выполнение математических вычислений станут равны нулю?» — сказал он.

«Я не знаю», — сказал я.

«Ну, вы только что задали мне тот же вопрос. Хорошо. Вы так же умны, как и я, чтобы это понять», — сказал он.

Я замер в недоумении. Мне было слишком сложно разобраться во всем этом; несмотря на добрые слова Дженсена о моем интеллекте, я ни в коем случае не был на его уровне. Не зная, как поступить дальше, я решил показать Дженсену тот же отрывок из выступления Артура Кларка, который вдохновил Катанзаро на восторженную интерпретацию. Пока Кларк монотонно рассуждал о будущем механической эволюции, я наблюдал, как кровь отхлынула от лица Дженсена.

«Мне кажется, вы берете интервью не у того человека», — тихо сказал он. «Мне кажется, вы сейчас берете интервью у Илона, а я не тот человек». Я замолчала, не зная, что сказать, но было уже поздно. Я нажала на ловушку.

«Неужели это... неужели это приведет к сокращению рабочих мест?» — спросил Хуан, его голос нарастал от гнева. «Неужели калькуляторы уничтожат математику? Этот разговор так устарел, и я так, так устал от него, — сказал он. — Я не хочу об этом говорить. Больше нет! Это один и тот же разговор снова и снова, и снова, и снова, и снова. Мы изобрели сельское хозяйство, а затем обнулили предельные издержки производства продуктов питания. Это было хорошо для общества! Мы производили электроэнергию в больших масштабах, и это привело к тому, что предельные издержки вырубки деревьев, разведения костров, переноски огня и факелов стали примерно нулевыми, и мы пошли заниматься чем-

то другим. А потом мы обнулили предельные издержки вычислений — деления в столбик! Мы сделали их нулевыми!» — кричал он теперь. — «Мы обнуляем предельные издержки вещей, поколение за поколением, и этот же самый разговор повторяется каждый раз!»

Я попытался сменить тему, но это было бесполезно. В его гневе сквозила нотка отвращения. Он начал читать мне нотации голосом, каким обычно читают непослушные подростки. Он сказал, что возлагал на меня большие надежды, а я его разочаровал. Я потратил его время; я потратил время всех; весь проект книги теперь поставлен под сомнение. На интервью присутствовали два пиар-представителя Дженсена, но ни один из них не попытался вмешаться — они не собирались провоцировать конфликт.

Кирк предположил, что гнев Хуанга был стратегическим. Могу сказать, в тот момент мне так не показалось. Его гнев казался неуправляемым, направленным в разные стороны и совершенно неуместным. Я не был сотрудником Дженсена, и ему не было никакой выгоды от того, чтобы набрасываться на меня. Он просто, похоже, устал от вопросов о негативных аспектах инструментов, которые он разрабатывал. Он считал этот вопрос глупым, и ему его задавали уже слишком много раз.

«Это не может быть какой-то нелепой научно-фантастической историей», — сказал он, указывая на своих замороженных пиар-представителей в конце стола. «Вы понимаете? Я не вырос на куче научно-фантастических историй, и это не научно-фантастический фильм. Это серьезные люди, которые делают серьезную работу!» — сказал он. «Это не какая-то там шутка! Это не повторение Артура Кларка. Я не читал его чертовых книг. Мне плевать на эти книги! Это не... мы не повторение научной фантастики! Эта компания не является воплощением «*Звездного пути*»! Мы не делаем ничего подобного! Мы серьезные люди, которые делают серьезную работу. И... это просто серьезная компания, и я серьезный человек, который просто делает серьезную работу».

В течение следующих двадцати минут Дженсен, тоном попеременно обвиняющим, раздраженным и уничижительным, ставил под сомнение мой профессионализм, ставил под сомнение... Он поставил под сомнение мою преданность проекту, используя мой подход к интервью. Он обвинил меня в попытке психоанализа; он сказал, как сильно ему не нравится отвечать на мои биографические вопросы, особенно на те, которые пытались пролить свет на его психическое состояние. «Мне не нравятся эти наводящие вопросы, — сказал он. — Мне не нравится говорить о себе, понятно?! Я не терапевт». Он предположил, что мои вопросы глупые; он назвал их «обычными». Он отрицал, что в нем есть что-то исключительное, вопреки всем собранным доказательствам. «Послушайте, я... я совершенно нормальный», — сказал он.

«Я никогда не встречал никого подобного вам», — сказал я.

«Я совершенно нормальный человек», — сказал Хуан.

Постепенно гнев утих. Хуан несколько раз менял тему, говоря о будущих продуктах, интересуясь благополучием своих PR-представителей и вспоминая о важности покойного Джона Николлса для проекта CUDA. В какой-то момент он упомянул Римскую империю. Он продолжал мягко меня пожурить — с меня хватит — и меня выпроводили за дверь. Я

покинул интервью в недоумении. У меня было много напряженных разговоров с руководителями, но никто никогда не взрывался на меня таким образом. Я был ошеломлен — но, если честно, немного взволнован. Стать мишенью гнева Хуана было в некотором смысле честью: обрядом посвящения, который проходил каждый, кто попадал в его ближайшее окружение. Выходя из конференц-зала, я повернулся к одному из PR-представителей.

«Всё прошло хорошо», — сказал я.

Он рассмеялся. «А, это?» — сказал он. «Это пустяки».

...

После интервью меня отвезли посмотреть на Eos, суперкомпьютер с десятью тысячами чипов, расположенный в соседнем центре обработки данных. Eos был невероятно быстр; в качестве эталона он обучил модель GPT-3 от OpenAI менее чем за четыре минуты. Там меня встретил Марк Гамильтон, опытный инженер-суперкомпьютерщик. Он провел меня через шлюз на стерильный пол центра обработки данных, где десятки стоек с оборудованием Nvidia, разделенных на огороженные отсеки, непрерывно пульсировали под флуоресцентным светом.

Для человека вторжение в мир компьютера ощущалось как нечто. Нарушение некоего священного пенетралия. Тысячи одновременно работающих компьютерных вентиляторов создавали глухой, нарастающий рев, похожий на аплодисменты, доносившиеся издалека, но меня почти не было видно; я все еще приходил в себя после выговора от Хуана. Я задавался вопросом, сделал ли он это намеренно? То, что в тот момент казалось ничем не спровоцированным взрывом, задним числом, возможно, было более преднамеренным. Переосмысливая наш разговор, я понял, что Хуан не вывел себя из себя сразу. Вместо этого, в течение нескольких минут он все больше и больше злился, по-видимому, намеренно, набирая обороты, постоянно напоминая мне о том, как глупо было показывать ему отрывок из Артура Кларка.

Я не считал это таким уж глупым вопросом, и до сих пор так не считаю: вопрос о том, будут ли механические мозги эволюционировать быстрее физических, кажется вполне справедливым для человека, сколотившего состояние на создании механических мозгов. Но я также не настаивал на ответе Хуана, и когда стало ясно, что этот вопрос его разозлил, я несколько раз пытался перевести разговор на более безопасную тему. Он мне не позволил.

Оглядываясь назад, мне стало ясно, что Дженсен хотел выплеснуть свою злость; он сознательно решил меня избить. Когда представление началось, его ярость была искренней, но всё это служило более важной цели, которую он хотел достичь. Дело было не только в том, что Дженсен не читал научную фантастику — дело в том, что он действительно ненавидел научную фантастику. Он был серьезным человеком.

Причина успеха Дженсена в областях, где другие потерпели неудачу — параллельные вычисления, искусственный интеллект, Омниверс — заключалась именно в том, что он не терпел пустых спекуляций о будущем. Он хладнокровно изучал технологии, исходя из

базовых принципов, не поддаваясь ни оптимизму, ни страху, а руководствуясь лишь холодным и терпеливым пониманием бизнес-логики, которую только он мог довести до пределов корпоративного прогнозирования. За пределами этого он не смотрел и не хотел представлять. Потенциальная угроза вымирания человечества не была вопросом корпоративной стратегии и поэтому для него была столь же глупа, как нарисовать дракона на неизведанной части карты.

Я вспомнил о дисциплине руководителей Nvidia, с которыми разговаривал: Дженсен держал их в напряжении, как струны пианино. Они были уверены в себе, умны и исключительно хорошо подготовлены, вплоть до мельчайших деталей — я ни разу не заметил этого. Одна ошибка. Я также внезапно вспомнил, насколько неохотно эти же руководители обсуждали потенциальные будущие последствия разрабатываемой ими технологии, и эта неохота, как мне показалось, переросла в дискомфорт и даже страх. Теперь я понял, откуда берется этот страх. Руководители больше боялись, что Дженсен на них накричит, чем того, что человечество будет уничтожено.

Мои размышления прервались, когда я подошел к одному из компьютерных модулей, и его двери автоматически раздвинулись. Я отступил назад, выпрямился, волосы на руках встали дыбом — и тут я рискнул войти. Внутри меня со всех сторон обдувал поток воздуха, вентиляторы на стойках по обе стороны от меня непрерывно ревели, а мои штаны развевались от воздуха, вырывающегося из решетки на полу. Было почти невозможно думать из-за сильного шума.

Я стоял внутри «мозга» компьютера, и окружающие меня схемы выполняли в общей сложности десять квинтиллионов вычислений в секунду. Это убьет нас всех или спасет; что бы ни случилось, это произойдет на чипах Дженсена. Я пытался представить себе всю эту систему, от транзисторов шириной в ангстрем до сложной архитектуры схем, от численной магии Бака до компиляторов Аартса, от пакета CUDA Николлса и, наконец, прежде всего, до гигантских многослойных сеток смоделированных нейронов, развивающихся со сверхъестественной скоростью. Стоя здесь, я начал видеть масштаб достижений Nvidia, от масштаба атома до зарождения машинного сознания — но только Дженсен, американский Дедал, мог по-настоящему увидеть все это.

Крича, чтобы меня услышали, я спросил, над какой проблемой работает Eos. Гамильтон ответил, что они обучают внутреннюю модель Nvidia в стиле GPT-4. Другими словами, меня окружала языковая модель: модель, которая догоняла меня, модель, которая, как я чувствовал, однажды скоро заменит меня. Гамильтон, перекрикивая шум вентиляторов, сообщил мне, что для завершения обучения компьютеру потребуется выполнить в общей сложности тридцать миллиардов квадриллионов операций. Я огляделся, чувствуя себя неполноценным в своей устаревшей и умирающей плоти. Капсула была прекрасна; я был ничем; бороться с ней было невозможно. Это была мыслящая машина, и с каждым вращением вентилятора, с каждым импульсом цепей она становилась немного умнее.

# Благодарности

Я хотел бы поблагодарить Дженсена Хуанга и всю команду Nvidia за их время, откровенность и проницательность. В частности, я благодарен Бобу Шербину, который приложил огромные усилия, чтобы этот проект стал возможным. Спасибо тебе, Боб, за всё. Ты дал мне шанс всей жизни. Я также благодарен всем, кто поделился со мной своими историями для этой книги, особенно Йенсу Хорстманну, Кертису Приему, Джону Педди и Дэвиду Кирку.

Я хотел бы поблагодарить Уиллинга Дэвидсона и всю команду журнала *The New Yorker* за заказ статьи, которая легла в основу этой книги. Уиллинг — превосходный редактор, и я советую вам поделиться с ним своими идеями. Я также хотел бы поблагодарить Элвисон Лорентцен из издательства Viking и Стюарта Уильямса из издательства Bodley Head за то, что они в очередной раз приобрели, отредактировали и опубликовали мою работу. Элвисон и Стюарт, ваши ценные замечания и советы были бесценны. Я также благодарен Шону Лавери, Инуо Ши и Анне Кордунски за проверку фактов в рукописи. И, как всегда, я бесконечно благодарен своему агенту, Крису Пэррис-Лэмбу, который более десяти лет поддерживает и продвигает мою карьеру. Мне очень повезло, что у меня есть Крис.

Меган МакЭнери вдохновила меня на этот проект и оказала огромную моральную и эмоциональную поддержку. Спасибо тебе, Меган. Я бы не смог написать эту книгу без тебя. Я также благодарен своему другу Джею Будзику и Маркуса Моретти, которые разделяли мое увлечение Nvidia и часами обсуждали со мной эту компанию. Я хотел бы поблагодарить своих родителей, Леонарда и Диану, за то, что они всегда были рядом со мной, и мою сестру Эмили за то, что она всегда была для меня источником вдохновения. И, конечно же, я благодарен своей дочери Джейн, которая терпеливо относилась к папе, когда он уходил в свою темную спальню, чтобы писать по несколько дней подряд. Спасибо тебе, Джейн. Эта книга для тебя.

## Об авторе

Стивен Витт — автор книги «Как музыка стала бесплатной», которая вошла в число финалистов премии Los Angeles Times Book Prize, премии J. Anthony Lukas Book Prize и премии Financial Times и McKinsey Business Book of the Year Award. Его статьи публиковались в *The New Yorker*, *Financial Times*, *New York*, *The Wall Street Journal*, *Rolling Stone* и *GQ*. Он живёт в Лос-Анджелесе, Калифорния.