

## Пролог

В 1974 году полицию небольшого городка Лос-Аламос, штат Нью-Мексико, задержали сообщениями, что после наступления темноты по глухим улочкам бродит странный человек<sup>1</sup>. Из ночи в ночь огонек его сигареты проплывал в темноте. Не ведая цели, он часами блуждал в свете звезд, легко проникавшем разреженный горный воздух. Недоумевала не только полиция. Некоторые ученые из Национальной физической лаборатории также удивлялись экспериментам новоиспеченного коллеги с 26-часовыми сутками. Такой распорядок выбивался из расписания всех остальных людей, живущих в нормальном суточном ритме. Даже для группы теоретической физики это граничило с чудачеством.

За тридцать лет, прошедших с тех пор, как Роберт Опенгеймер выбрал пустынное плато в штате Нью-Мексико для создания центра разработки атомного оружия, Национальная лаборатория в Лос-Аламосе превратилась в крупнейший научный институт, который располагал ускорителями, газовыми лазерами, химическими лабораториями, обеспечивал работой тысячи специалистов: физиков, инженеров, администраторов, а кроме того, стал одним из мировых центров, владеющих самыми мощными компьютерами. Некоторые из старейших сотрудников лаборатории еще помнили деревянные здания, наспех возведенные среди скал в начале 1940-х годов, однако для следующего поколения ученых Лос-Аламаса — молодых мужчин и женщин в потертых вельветовых штанах и форменных ру-

башках — крестные отцы первой атомной бомбы были чем-то вроде привидений. Средоточием “чистой” мысли в лаборатории служил теоретический отдел, или отдел *T* (компьютерная служба и сектор вооружений маркировались соответственно литерами *K* и *X*). Более сотни опытных физиков и математиков трудились в нем на хорошо оплачиваемых позициях, свободных от “академических нагрузок” — преподавания и публикации научных трудов. Эти люди уже имели дело с натурами гениальными и эксцентричными, а потому удивить их было нелегко.

Но Митчелл Фейгенбаум составлял исключение из правил. За всю свою научную карьеру он опубликовал лишь одну статью и продолжал работать над чем-то совершенно бесперспективным. Выглядел он весьма примечательно: открытый лоб, копна густых волос зачесана назад, как у немецких композиторов прошлого века, глаза большие, выразительные. Фейгенбаум изъяснялся скороговоркой, глотая на европейский манер артикли и местоимения, словно не был уроженцем Бруклина. Работал он с маниакальным упорством, но, если дело не спорилось, бросал все и бродил, размышляя, преимущественно ночью. Двадцати-четырёхчасовые сутки казались ему слишком короткими. Тем не менее Фейгенбаум был вынужден свернуть свой эксперимент по персональной квазипериодичности, когда понял, что не может больше просыпаться на закате (а такое при его распорядке дня случалось частенько).

К двадцати девяти годам Фейгенбаум снискал репутацию признанного эксперта, и многие сотрудники лаборатории прибегали к его советам, если, разумеется, ухитрялись застать коллегу на месте. Однажды, придя вечером на работу, Фейгенбаум столкнулся в дверях с директором лаборатории Гарольдом Эгнью. Тот был заметной личностью: ученик самого Оппенгеймера, он находился на борту самолета-наблюдателя, сопровождавшего бомбардировщик *Enola Gay* во время атаки на Хиросиму, и заснял весь процесс доставки первого детища лаборатории к земле.

“Наслышан о ваших талантах, — бросил директор Фейгенбауму. — Почему бы вам не заняться чем-нибудь стоящим? Скажем, термоядерной реакцией, управляемой лазером?”<sup>2</sup>

Даже друзья Фейгенбаума задавались вопросом, способен ли он оставить свое имя в веках. Человек, шутя разрешавший трудности коллег, казалось, был равнодушен к тому, что сулило славу. Ему, например, нравилось размышлять о турбулентности в жидкостях и газах. Раздумывал он и о свойствах времени: непрерывно оно или дискретно, как чередование сменяющих друг друга кадров киноленты. Еще его занимала способность человеческого глаза отчетливо различать цвет и форму предметов во Вселенной, пребывающей, по мнению физиков, в состоянии квантового хаоса. Он размышлял об облаках, наблюдая за ними с борта самолета, а затем, когда в 1975 году ему урезали финансирование на поездки, с утесов, обступивших лабораторию.

На гористом американском западе облака мало похожи на ту темную бесформенную дымку, что низко стелется над восточным побережьем. Над Лос-Аламосом, лежащим на дне большой вулканической впадины-кальдеры, облака кочуют в беспорядке, но структура их в каком-то смысле упорядоченна. Они принимают формы горных цепей или изрытых глубокими морщинами образований, похожих на поверхность мозга. Перед бурей, когда небеса мерцают и дрожат от зарождающегося в их недрах электричества, эти пропускающие и отражающие свет облака видны за тридцать миль. А весь небесный купол являет взору человеческому грандиозное зрелище, безмолвный укор физикам, которые обходят своим вниманием облака — феномен, хоть и структурированный и доступный наблюдению, но слишком расплывчатый и совершенно непредсказуемый. Вот о подобных вещах и размышлял Фейгенбаум — тихо, незаметно и не очень продуктивно.

Физику ли думать про облака? Его дело — лазеры, тайны кварков, их спин, цвет и аромат, загадки зарождения Вселенной. Облаками же пусть занимаются метеорологи. Эта проблема из ряда “очевидных” — так называются на языке физиков-теоретиков задачи, которые опытный специалист способен разрешить путем анализа и вычислений. Решение “неочевидных” проблем приносит исследователю уважение коллег и Нобелевскую премию. Самые сложные загадки, к которым нельзя подступиться

без длительного изучения первооснов и главных законов мироздания, ученые именуют “глубокими”. Немногие коллеги Фейгенбаума догадывались о том, что в 1974 году он занимался действительно глубокой проблемой — хаосом.

С началом хаоса заканчивается классическая наука. Изучая природные закономерности, физики почему-то долго пренебрегали хаотическими проявлениями: формированием облаков, турбулентностью в морских течениях, скачками численности популяций растений и животных, колебаниями пиков энцефалограммы мозга или сокращений сердечных мышц. Порождаемые хаосом природные феномены, лишенные регулярности и устойчивости, ученые всегда предпочитали оставлять за рамками своих изысканий.

Однако начиная с 1970-х годов некоторые исследователи в США и Европе начали изучать хаотические явления. Математики, физики, биологи, химики принялись искать связи между различными типами беспорядочного в природе. Физиологи обнаружили присутствие некоего порядка в хаотических сокращениях сердечных мышц, что является основной причиной внезапной и необъяснимой смерти. Экологи исследовали колебания численности популяций шелкопряда. Экономисты раскопали старые биржевые сводки, опробовав на них новые методы анализа рынка ценных бумаг. В результате выяснилось, что обнаруженные закономерности имеют прямое отношение ко множеству других природных явлений — очертаниям облаков, формам разрядов молний, конфигурации сеточек кровеносных сосудов, кластеризации звезд в Галактике.

Когда Митчелл Фейгенбаум приступил к исследованию хаоса, он был одним из немногих энтузиастов, разбросанных по всему миру и почти незнакомых друг с другом. Математик из Беркли, штат Калифорния, собрал вокруг себя небольшую группу и трудился над созданием теории так называемых динамических систем. Биолог из Принстонского университета начал готовить к публикации проникновенный меморандум с призывом к коллегам заинтересоваться удивительно сложным пове-

дением биологических популяций, наблюдаемым в некоторых простых моделях. Математик, работающий на компанию IBM, искал термин для описания семейства новых форм: зубчатых, запутанных, закрученных, расколотых, изломанных, которые, по его мнению, являлись неким организующим началом в природе. Французский специалист по математической физике набрался смелости заявить, что турбулентность в жидкостях, возможно, имеет некоторое отношение к необычному, бесконечно запутанному абстрактному объекту, который он назвал “странным аттрактором”.

Десять лет спустя понятие “хаос” дало название стремительно развивающейся дисциплине, которая перевернула всю современную науку. Хаос стал предметом обсуждения для множества конференций и научных журналов. Ведомства, отвечающие за государственные программы военных исследований, ЦРУ и министерство энергетики выделили крупные суммы на изучение хаоса<sup>3</sup>. В любом большом университете и в исследовательских лабораториях любых корпораций есть ученые, занятые прежде всего проблемой хаоса, а затем уже своей основной профессиональной областью. В Лос-Аламосе был создан Центр нелинейных исследований для координации работ по изучению хаоса и связанных с ним проблем; подобные учреждения появились также в университетских городках по всей стране.

Хаос вызвал к жизни новые способы использования компьютеров и новые типы графиков, которые способны воспроизводить фантастические и тонкие структуры, лежащие в основе сложности. Новая наука дала миру особый язык и новые понятия: фрактал, бифуркация, перемежаемость, периодичность и другие. Все это — новые элементы движения, подобно тому как в традиционной физике кварки и глюоны стали новыми элементарными частицами материи<sup>4</sup>. Для некоторых ученых хаос — скорее наука переходных процессов, чем теория неизменных состояний; учение о становлении, а не о существовании<sup>5</sup>.

Как утверждают современные теории, хаос присутствует везде: закручивается струйка сигаретного дыма, трепещет

и полощется флаг на ветру, капли воды из подтекающего крана одна за одной то срываются вниз, то словно выжидают. Хаос обнаруживается и в капризах погоды, и в траектории движения летательного аппарата, и в поведении автомобилей в дорожной пробке, и в том, как струится нефть по нефтепроводу<sup>6</sup>. Каковы бы ни были особенности конкретной системы, ее поведение подчиняется одним и тем же недавно открытым закономерностям. Осознание этого факта заставило управляющих компаниями пересмотреть отношение к страхованию, астрономов — под другим углом взглянуть на Солнечную систему, а политологов — изменить мнение о причинах вооруженных конфликтов<sup>7</sup>.

Хаос проявляет себя на стыке областей знания. Будучи наукой о глобальной природе систем, теория хаоса объединила ученых, работающих в весьма далеких друг от друга областях. «Пятнадцать лет назад науке угрожал кризис все возрастающей специализации, — заметил ответственный за финансирование исследований чиновник военно-морского министерства США, выступая перед аудиторией математиков, биологов, физиков и медиков. — Удивительно, но эта тенденция превратилась в свою прямую противоположность благодаря феномену хаоса!»<sup>8</sup> Хаос вызывает к жизни вопросы, которые плохо поддаются решению традиционными методами, однако позволяют сделать общие заключения о поведении сложных систем. Все первые теоретики хаоса — ученые, давшие начальный толчок развитию этой дисциплины, — имели нечто общее. Они замечали определенные закономерности, особенно такие, которые проявляются в разном масштабе в одно и то же время. У них выработалось особенное чутье, позволявшее оценивать случайность и сложность, предвидеть внезапные скачки мысли. Верующие в хаос — а они иногда действительно называют себя верующими, новообращенными или евангелистами — выдвигают смелые гипотезы о предопределенности и свободе воли, об эволюции и о природе возникновения разума. Они чувствуют, что поворачивают вспять развитие науки, следовавшей по пути редукционизма — анализа систем как совокупностей составляю-

щих их элементарных объектов: кварков, хромосом, нейронов. Они верят, что ищут пути к анализу системы как целого.

Наиболее страстные защитники новой науки даже утверждают, что грядущим поколениям XX век будет памятен лишь благодаря созданию теории относительности, квантовой механики и теории хаоса<sup>9</sup>. Хаос, заявляют они, стал третьей из революций, последовательно освобождавших физику от догматов ньютоновского видения мира<sup>10</sup>. По словам одного физика, теория относительности разделалась с иллюзиями Ньютона об абсолютном пространстве-времени, квантовая механика развеяла мечту о контролируемом процессе измерения и, наконец, теория хаоса развенчала Лапласову фантазию о полной предопределенности развития систем<sup>11</sup>. Из этих трех открытий лишь теория хаоса применима к Вселенной, которую мы можем наблюдать и ощущать, к объектам, которые доступны человеку. Повседневный опыт и реальная картина мира стали уместным предметом исследований. Давно уже зрело ощущение, пусть и не выражавшееся открыто, что теоретическая физика далеко уклонилась от интуитивных представлений человека об окружающем мире. Насколько обоснованна эта еретическая мысль, никому не известно, но теперь некоторые специалисты, считавшие, что физика рано или поздно загонит себя в угол, видят в хаосе выход из тупика.

Исследования хаоса произросли из непопулярных областей физической науки. Главным ее направлением в XX веке считалась физика элементарных частиц, которая исследовала основные элементы, слагающие материю, при все более высоких энергиях, больших масштабах и коротких отрезках времени и породила современные теории о природе физических взаимодействий и происхождении Вселенной. И все же некоторые молодые ученые чувствовали себя разочарованными. Прогресс замедлился, поиски новых частиц не имели успеха, а сама теория стала весьма запутанной. Недовольным казалось, что вершины сияющих абстракций физики высоких энергий и квантовой механики слишком долго доминировали в науке.

В 1980 году космолог Стивен Хокинг, лугасовский профессор\* математики Кембриджского университета, выразил мнение большинства ученых в обзорной лекции, посвященной развитию теоретической физики и названной “Не наступает ли конец физической теории?»: “Мы уже знаем физические законы, описывающие абсолютно все, с чем нам приходится сталкиваться в обычной жизни... И можно считать своеобразным комплиментом успехам теоретической физики тот факт, что нам приходится создавать сложнейшие приборы и тратить огромные деньги и усилия для того, чтобы поставить эксперимент, результаты которого мы не можем предсказать”<sup>12</sup>.

Однако Хокинг признал, что понимание законов природы в терминах физики элементарных частиц оставило без ответа вопрос о том, как применять эти законы к любым системам, кроме простейших. Предсказуемость предсказуемости рознь. Одно дело — предсказать, что произойдет в камере Вильсона, когда там столкнутся две частицы, разогнанные на ускорителе, и совсем другое — предсказать поведение бурлящей в обычной ванне жидкости, или погоду, или процессы в человеческом мозге.

Хокингову физику, успешно собирающую Нобелевские премии и крупные гранты на дорогостоящие эксперименты, часто называли революционной. Временами казалось, что священный Грааль науки — теория Великого объединения, называемая также теорией всего, — вот-вот окажется в руках “революционеров”. Физики проследили развитие энергии и материи во Вселенной всюду и везде, кроме кратчайшего момента ее зарождения. Но действительно ли физика элементарных частиц послевоенного периода была революцией? Или же она лишь “наращивала мясо” на основу, заложенную Эйнштейном, Бором и другими создателями теории относительности и квантовой механики? Безусловно, достижения физики, от атом-

\* Именная позиция в Кембридже (одна из самых престижных научных должностей в мире), названная по имени благотворителя Генри Лукаса, завещавшего в 1663 году средства для ее финансирования. Вторым лугасовским профессором был сэр Исаак Ньютон, с тех пор ее часто неформально называют “ньютоновской”. — *Здесь и далее, если не указано иное, прим. науч. ред.*

ной бомбы до транзистора, изменили реальность XX века. Тем не менее круг вопросов, которыми занималась физика частиц, казалось, сузился. И сменилось не одно поколение, прежде чем в этой сфере возникла новая идея, изменившая взгляд на мир обычного, рядового человека.

Физика Хокинга могла исчерпать себя, так и не ответив на некоторые фундаментальные вопросы, поставленные природой: как зародилась жизнь, что такое турбулентность, как во Вселенной, подчиняющейся закону повышения энтропии и неумолимо движущейся ко все большему и большему беспорядку, может возникнуть порядок? Кроме того, многие объекты повседневной жизни, например жидкости и системы, подчиняющиеся законам классической механики, уже казались столь обыкновёнными и хорошо изученными, что физики перестали ожидать от них каких-либо сюрпризов. Но вышло иначе.

По мере того как революция хаоса набирает обороты, виднейшие ученые без всякого смущения возвращаются к феноменам “человеческого масштаба”. Они изучают не галактики, а облака. Приносящие прибыль компьютерные расчеты выполняются не на “креях”, а на “макинтошах”\*. Ведущие научные журналы рядом со статьями по квантовой физике публикуют исследования, посвященные загадкам движения шарика, который прыгает по столу. Многие простейшие системы, оказывается, обладают исключительно сложным и непредсказуемым хаотическим поведением. И все же в подобных системах иногда самопроизвольно возникает порядок: порядок и хаос в них сосуществуют. Лишь новая научная дисциплина могла положить начало преодолению огромного разрыва между знаниями о том, как действует единичный объект — одна молекула воды, одна клеточка сердечной ткани, один нейрон — и как ведут себя миллионы таких объектов.

Понаблюдайте за двумя островками водяной пены, кружащимися бок о бок у подножия водопада. Можете ли вы угадать,

\* Cray — название компании, производящей суперкомпьютеры. Macintosh — название персональных компьютеров, выпускавшихся компанией Apple.

каково было их взаимное положение до того, как они обрушились с водопадом вниз? Вряд ли. С точки зрения традиционной физики только что не сам Господь Бог перемешивает молекулы воды в водопаде. Как правило, получив сложный результат, физики ищут сложные объяснения, и, если им не удастся обнаружить устойчивую связь между начальным и конечным состояниями системы, они считают, что реалистичности ради в теорию, описывающую эту систему, должен быть “встроен” элемент случайности — искусственно сгенерированный шум или погрешность. Изучать хаос начали в 1960-х годах, когда ученые осознали, что довольно простые математические уравнения позволяют моделировать системы, столь же неупорядоченные, как самый бурный водопад. Незаметные различия в исходных условиях способны обернуться огромными расхождениями в результатах — подобный феномен называют “сильной зависимостью от начальных условий”. Применительно к погодным явлениям это выливается в так называемый эффект бабочки: сегодняшнее трепетание крыльев мотылька в Пекине через месяц может вызвать ураган в Нью-Йорке.

Пытаясь отыскать истоки новой науки в прошлом, исследователи хаоса обнаруживают много предвестников переворота. Однако один из них стоит особняком. Для молодых физиков и математиков, возглавивших революцию в науке, точкой отсчета стал именно эффект бабочки.