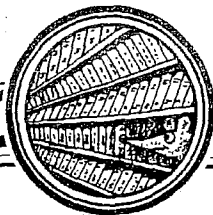


Книга «Красота фракталов», из которой взята публикуемая ниже статья, является, фактически, развернутым научным каталогом к трем выставкам картин, организованным группой Бременских математиков и физиков еще в 1984 г. Экспонатами этих выставок явились компьютерные изображения фрактальных объектов различной природы, в основном, множеств Жюлиа и Мандельброта. В 1993 г. в Москве вышел, наконец, и русский перевод этой книги, выполненный нашими коллегами из Киева.

Регколлегия



СВОБОДА, НАУКА И ЭСТЕТИКА

Герт Айленбергер

Пожалуй, это самый оригинальный из поводов, по которым меня просили высказать свое суждение. Весьма необычным для ученых, занимающихся естественными науками, представляется то упорство, с каким они пытаются донести свои результаты и понимание до широкой публики. А форма, которую они избрали, еще необычнее! Абстрактному сухому и многословному изложению сути проблемы они предпочли рисунки; это соединение математики и искусства обладает непосредственным воздействием на зрителя и вызывает всеобщее восхищение. Хотя я и не могу внести свой непосредственный вклад в эту специфическую область, я нахожу содержание этой книги вдохновляющим. Мне бы хотелось высказать несколько своих философских размышлений о том, каково может быть значение этих работ для понимания Вселенной с физической точки зрения.

Занятия естественными науками можно сравнить со строительством монументального здания, скажем Кельнского собора. Мы, ученые, строим такое здание собора - Научную картину Вселенной. И хотя результаты наших усилий, как и Кельнский собор, находят практическое применение - цель нашей работы, как она была бы выражена в средние века, - прославление Господа! И только с помыслами, подобными этому, люди могут построить собор, а не фабрику. И точно так же, как неизвестны сегодня имена строителей средневекового собора (ибо значение имеет лишь дело их рук, но не они сами), так и вклад большинства ученых остается анонимным. Собор - это общее дело, а ученые - подмастерья мощной бригады строителей или, рассматривая их деятельность во всемирном масштабе, они - братья всемирного ордена, в котором личные амбиции уходят на второй план перед великим общим делом.

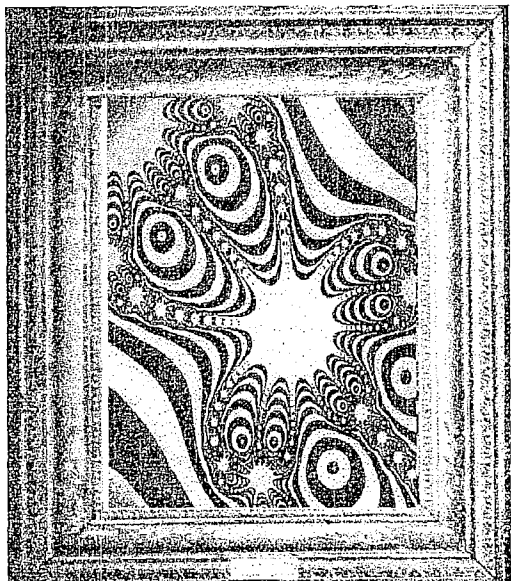
Впрочем, есть и существенная разница между научной деятельностью и строительством настоящего собора: собор строится по чертежам, а развитие науки нельзя спланировать заранее! Всегда можно ожидать сюрпризов! Так, например, чрезвычайно неожиданными для физика (хотя, возможно, не для математика) оказались приведенные здесь рисунки. Их нельзя рассматривать только как результат тривиальных компьютерных игр, приятных, но не имеющих более глубокого смысла. Напротив, математические и физические идеи, с помощью которых возникают такие изображения, - это, по моему разумению, самое волнующее научное открытие со времени появления 60 лет назад квантовой механики.

Эти идеи должны вновь революционизировать научную картину мира. Наш собор будет полностью преобразен - утратив готическую холодность, он приобретет причудливые барочные очертания!

Старая картина мира, кредо ученого, была сформулирована французским математиком и астрономом Лапласом около 200 лет назад. Ее можно изложить так:

«Если представить себе сознание, достаточно мощное, чтобы точно знать положения и скорости всех объектов во Вселенной в настоящий момент времени, а также все силы, то для этого сознания не будет существовать никаких секретов. Оно сможет вычислить абсолютно все о прошлом и будущем, исходя из законов причины и следствия».

В таком детерминистском мире не существовало бы ни свободы, ни случайности. Действия банковского грабителя и произведения художника были бы predeterminedены заранее.



Ученые фактически никогда не принимали эту, несколько отдающую кальвинизмом, predeterminedенность повседневной жизни. Но в своей научной работе им очень трудно было избавиться от этого детерминизма, поскольку именно он порождает утверждение, что любое наблюдаемое явление имеет (хотя бы в принципе) научное объяснение, а от этой аксиомы ни один ученый легко не откажется! Даже великие революционные открытия первых десятилетий нашего века в физике, связанные с именами Планка, Эйнштейна и Гейзенберга, лишь перенесли этот конфликт на более высокий математический уровень, не решив его окончательно.

Исследователи, впрочем, всегда были весьма либеральны, интерпретируя кредо Лапласа. Даже наиболее

тщательно поставленный эксперимент никогда в конце концов не бывает полностью изолирован от влияния окружающей среды, а состояние системы ни в один момент времени не может быть известным точно. Абсолютная (математическая) точность, о которой говорил Лаплас, физически недостижима - небольшие неточности будут всегда, и это принципиальный момент.

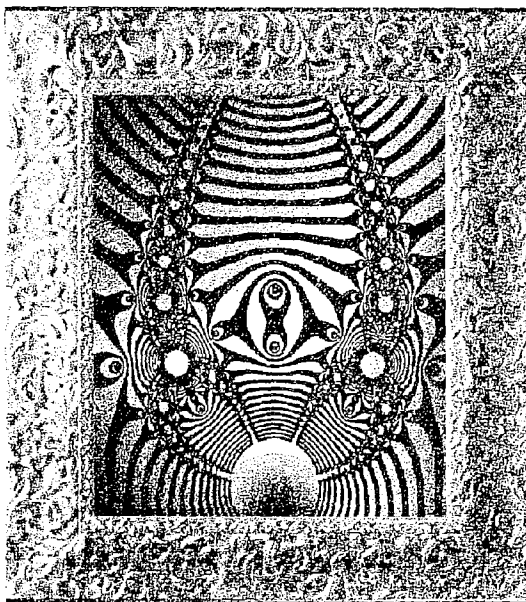
Но вот во что ученые действительно верили, так это в то, что почти одинаковые причины будут давать почти одинаковые следствия, причем как в природе, так и в хорошо поставленном эксперименте. Это чаще всего именно так и происходит, особенно для коротких временных отрезков, в противном случае было бы невозможно установить какой-либо закон природы или же построить реально работающую машину.

Но это весьма, казалось бы, правдоподобное предположение оказывается справедливым не всегда; более того, оно неверно для больших промежутков времени даже в случае нормального (типичного) течения природных процессов! В этом, если сказать кратко, смысл захватывающего прорыва, осуществленного при исследовании так называемых динамических систем.

Произведения искусства, содержащиеся в этой книге, можно интерпретировать как красочные изображения систем такого типа, на которых показаны

движения, то есть изменения со временем, некоторых математических величин, которым могут соответствовать определенные физические (экспериментально измеримые) величины. Эти изменения происходят в соответствии с простыми и ясными правилами, похожими на законы природы. Тонкая структура этих узоров выражает тот факт, что мельчайшие отклонения в начале движения могут привести через определенное время к гигантским различиям. Другими словами, самые незначительные причины вызывают через некоторое время огромные последствия. Конечно же, такое иногда встречается и в нашей повседневной жизни, а исследования динамических систем показали, что для природных процессов это *типичное* явление.

Но какое это имеет отношение к свободе, то есть к возможности в принципе принимать не *предопределенные заранее решения*? Ведь на такой возможности зиждется наше представление о себе, как о разумно действующих существах, а не автоматах. Начнем с того факта, что мыслительным процессам, протекающим в нашем мозгу, и, в частности, сознанию соответствуют электрофизиологические процессы в нервных клетках и что сознание - это фактически внутреннее отражение некоторых из этих процессов. Если в соответствии с описанным выше грубым физическим детерминизмом наши действия могут быть предугаданы, исходя из приближенно известного начального состояния нервных клеток, то и невозможность не *предопределенной заранее воли* может, хотя бы в принципе, быть установлена эмпирически. Но сейчас уже стало известно, что пустяковая, неизмеримо малая разница в начальных состояниях может привести к совершенно разным конечным состояниям (то есть решениям), и физика уже не позволяет эмпирически установить невозможность свободной воли.



Однако мы все же не смогли избавиться от антиномии Канта о невозможности свободы. Нам удалось опровергнуть грубый детерминизм реальной физики, но отнюдь не детерминизм Лапласа. Последний исчезает, если проследить причинную цепочку назад - к причинам, различие между которыми становится все менее заметным. Исчезновение детерминизма происходит, когда возникают онтологические вопросы теории познания о *пределах применимости математики* как средства адекватного отражения реальности. Я верю, что такие пределы существуют. Но прежде чем приступить к обоснованию своей позиции, мне бы хотелось сделать небольшое отступление.

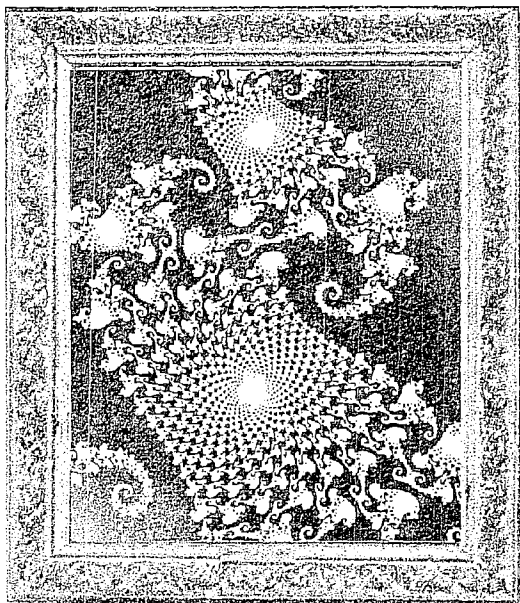
Огромные успехи точных математических наук привели к появлению среди ученых, особенно среди физиков, веры в то, что все реально наблюдаемое в их опытах подчиняется законам математики вплоть до мельчайших деталей. Установление математических законов, которым подчиняется физическая реальность, было одним из самых поразительных чудесных открытий, сделанных человечеством. Ведь математика не основана на эксперименте, а порождена человеческим разумом, как и Афина, рожденная из головы Зевса.

Математическое познание выводимо, то есть его основные элементы связаны между собой, но это познание *априори*. Когда же физик использует свои

знания для предсказаний и на основе нескольких экспериментов, проведенных в конкретное время и в конкретном месте, и подходящей теории пытаются объяснить явления природы, происходящие в совершенно другом месте и в совершенно другое время, и такие предсказания сбываются, то это граничит с чудом. Физик при этом лишь с удовлетворением заключает, что, по-видимому, теория верна. Но почему собственно говоря, реально существующий мир должен подчиняться теории, математической структуре?

Кант дал на этот вопрос остроумный ответ: само наше восприятие выстраивает действительность следующим образом, то есть только то, что отражается нашим разумом и воспринимается как реальность, подчиняется математическим законам. С внешним миром мы не знаем ничего (или «Вещь в себе»).

Как ни разумна эта идея, мне она кажется неверной. Я разделяю идею эволюционной теории познания, которая восходит к физикам Людвигу Больцману и была развита в дальнейшем, в особенности после работ Конрада Лоренца.



Основная мысль такова: в смиренную рубашку математики одевает природу вовсе не наша чувственная или познавательная деятельность, а сама Природа в ходе своего эволюционного развития вкладывает математику в наш разум как реально существующую структуру, неотъемлемую от нее самой. Менее абстрактно: в мозгу обезьяны, от которой мы произошли, должно было реально существовать очень точное понимание геометрии пространства, если она не хотела упасть с дерева и сломать себе шею. Точно так же можно утверждать, что развитие наших способностей к абстрагированию и манипулированию логическими символами должно быть ориентировано на реально существующие

структуры реального мира.

Способности к математике - это часть зафиксированного генетически видового опыта, априорного для индивидуума и апостериорного для вида в целом.

Однако широкий спектр способов математического описания природы выглядит чудом. Наука все еще не достигла ясно различимых пределов применения математических методов, хотя я и не могу отделаться от подозрения, что некоторые парадоксы, возникающие при интерпретации квантовой механики, могут указывать на такие пределы. Эта широта тем более поразительна, что наши математические способности (если эволюционная теория познания справедлива) приобретались нашими предками путем опытов с довольно грубыми структурами и объектами повседневного мира.

Совершенно очевидно, что наши геометрические и логические возможности простираются далеко за пределы окружающего мира. А это означает, что реальный мир подчиняется математическим законам в значительно большей степени, чем нам известно сейчас.

Но даже если эти структурные (математические) принципы экстраполируются все более глубокими конструкциями и теоремами, то и в этом случае просто невероятно, чтобы действительность с исчерпывающей полнотой отражалась математическими конструкциями - от огромных космологических размеров и до самой последней микроскопической детали.

Физику-теоретика нелегко с этим согласиться, но в эволюционной теории познания фактически неизбежно возникает предположение о том, что математические способности вида «гомо сапиенс» принципиально ограничены, так как имеют биологическую основу и, следовательно, не могут полностью содержать все структуры, существующие в действительности. Иными словами, должны существовать пределы для математического описания природы.

Таким образом детерминизм Лапласа не может быть абсолютным, и вопрос о случайности и свободе вновь открыт!

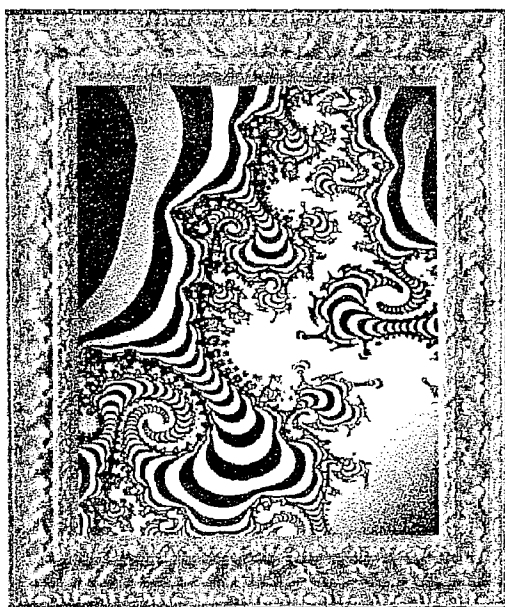
Но картины, представленные на этой «выставке», можно рассматривать и с другой точки зрения - они просто прекрасны! Хаотический компонент, заметный в очень мелких структурах, не захватывает всю картину. Существуют большие регулярно упорядоченные области, причем порядок и хаос гармонически сбалансированы друг с другом. Эта *смесь* порядка и беспорядка в самом деле поразительна и, что самое важное, *типична* для природных процессов. Теория динамических систем дает здесь ответ на другой, эмоциональный вопрос: почему все, что производит промышленность, вообще весь технический мир кажется столь неестественным, хотя и является продуктом *естественных наук*?

Почему все же силуэт изогнутого бурями дерева без листьев на фоне вечернего неба воспринимается как нечто прекрасное, а любой силуэт высоко функционального университетского здания таким не кажется, несмотря на все усилия архитектора?

Ответ, как мне кажется (пусть даже это немного и надуманно), должен быть дан с помощью новых подходов к динамическим системам. Наше ощущение *прекрасного* возникает под влиянием гармонии порядка и беспорядка в объектах природы - тучах, деревьях, горных грядках или кристалликах снега. Их очертания - это динамические процессы, застывшие в физических формах, и определенное чередование порядка и беспорядка характерно для них.

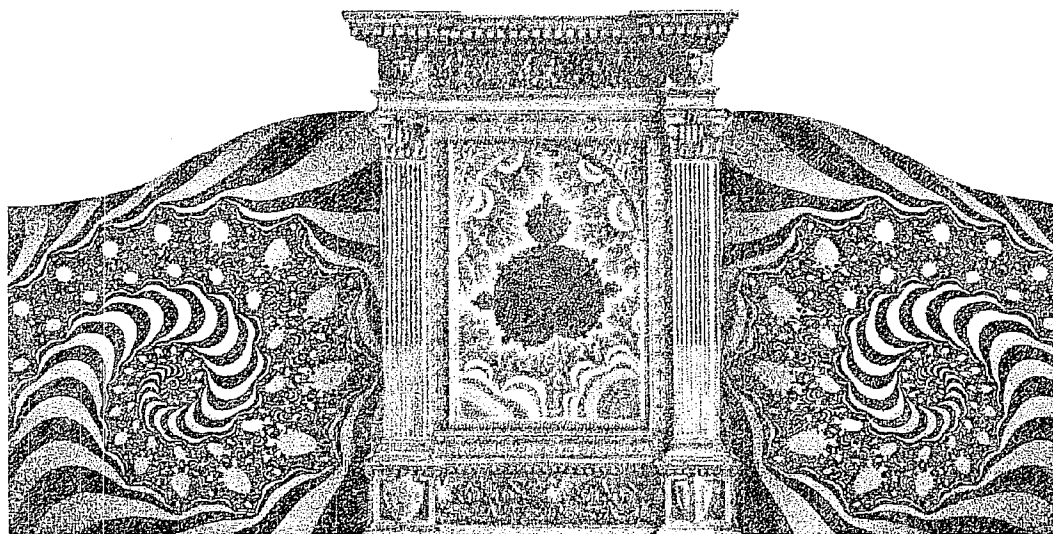
В то же время наши промышленные изделия выглядят какими-то окостеневшими из-за полного упорядочения их форм и функций, причем сами изделия тем совершеннее, чем сильнее это упорядочение. Такая полная регулярность *не противоречит* законам природы, но сейчас мы знаем, что она *нетипична* даже для весьма «простых» естественных процессов. Здесь мы имеем дело с искусственно созданной пограничной линией природы, с *патологическим случаем*, если хотите.

Можно спросить: если это наблюдение и в самом деле является столь неожиданным, то не мог ли некий непредвзятый наблюдатель увидеть то же самое где-нибудь в другом месте? Вопрос правильный, но мы, ученые, не были (если я имею право так говорить о своих коллегах) *непредвзятыми* наблюдателями! Мы строили наши концепции (и предубеждения) типичного поведения природных систем, наблюдая за искусственными системами, которые и выбраны-то были именно из-за своей регулярности. Полная упорядоченность была предварительным необходимым условием для математического описания процесса.



И только появление мощных компьютеров сняло эти ограничения. Ожидалось, что компьютеры наведут полный порядок и дисциплину во всех областях жизни, но именно они дали возможность лучше понять гармонию и хаос.

И еще одна причина волнения, связанного с этими картинами: они показывают, что можно без труда установить внутреннюю связь, перебросить мост между рациональным научным познанием и эмоциональной эстетической привлекательностью. И эти два способа познания человеком мира начинают сближаться в своей оценке того, что представляет собой природа. Более того, наука и эстетика согласны в том, что именно теряется в технических объектах по сравнению с природными: роскошь некоторой нерегулярности, беспорядка и непредсказуемости. Понимание этого может здорово помочь нам в том, чтобы придать человеческое лицо технологии, от которой все больше зависит наше выживание.



Убежден, что рационализм науки, развитый должным образом, является для человечества единственным и всеобъемлющим источником познания, единственной религией просвещенного будущего.



Айленбергер Герт родился в 1936 году в Гамбурге. В 1961 году под руководством Ф. Хуцда получил степень доктора естественных наук. Исследования по физике твердого тела, в частности, сверхпроводимости, и нелинейным явлениям. С 1970 года профессор Кёльнского университета и директор Института твердого тела (KFA, Jülich).

© Х.-О. Пайтген, П.Х. Рихтер. Красота фракталов/ Пер. с англ. П.В. Мальшева и А.Г. Сивака; Под ред. А.Н. Шарковского. М.: Мир, 1993.