

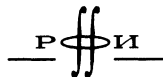
В. М. Сергеев

Пределы рациональности
Термодинамический подход
к теории экономического
равновесия



ФАЗИС
Москва 1999

УДК 519.865



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 97-01-14205*



Издание поддержано фондом
«КНИГА–НАУКА–КУЛЬТУРА»

Сергеев В. М.

Пределы рациональности.

Термодинамический подход к теории экономического равновесия
М.: ФАЗИС, 1999. VI+146 с.

ISBN 5-7036-0048-0

Издательство ФАЗИС (ЛР № 064705 от 09.08.96)
123557 Москва, Пресненский вал, 42-44
E-mail: phasis@aha.ru

ППП Типография «Наука» Академиздатцентра РАН
121099 Москва Г-99, Шубинский пер., 6
Заказ № 446

ISBN 5-7036-0048-0

© ФАЗИС, 1999

Оглавление

Предисловие	IV
Введение	1
Глава 1. Модели в экономике	5
Глава 2. Общая теория равновесия и идеи А. Смита	13
Глава 3. К. Менгер, Ф. Хайек и Д. Юм: вызов утилитаризму	22
Глава 4. Метафоры равновесия: деконструкция	31
Глава 5. Термодинамическая модель экономики	40
§ 5.1. Энтропия и температура	40
§ 5.2. Термостат и функция распределения дохода	45
§ 5.3. Взаимодействие систем с ограничением на доходы и свободных рыночных систем	48
§ 5.4. Миграционный потенциал	51
Глава 6. Термодинамика цен	58
§ 6.1. Постановка задачи	58
§ 6.2. Рынок с двумя товарами	75
§ 6.3. Рынок при постоянной температуре	77
Глава 7. Термодинамические неравенства и принцип Ле Шателье	84
§ 7.1. Термодинамические неравенства	84
§ 7.2. Принцип Ле Шателье	89
Глава 8. Флуктуации рынка	93
§ 8.1. Средние значения флуктуаций	93
§ 8.2. Флуктуация во времени	98
§ 8.3. «Тень будущего» и коллективное поведение на рынке	103
Глава 9. Тепловые машины в экономике	111
§ 9.1. Спекуляция и тепловые машины	111
§ 9.2. Правительство и экономика	116
Глава 10. Пределы рациональности: термодинамический подход и эволюционная теория	120
§ 10.1. Рациональность и неопределенность в экономике	120
§ 10.2. Рациональность и эволюция	124
§ 10.3. Эволюция и термодинамика	127
Заключение	132
Примечания	134

Предисловие

Научные концепции обладают своей собственной жизненной силой. Для автора, конечно, существенно, когда и при каких обстоятельствах появилась та идея, которая вынуждает его затратить немалые усилия для написания книги. Для процесса порождения и аккумуляции знания это вряд ли существенно.

Тем не менее идеи редко рождаются вне диалога. Поэтому существуют определенные моральные обязательства автора перед теми собеседниками, которые, может быть, и не подозревая об этом, способствовали процессу кристаллизации представлений и превращения их в связный текст. Впервые, по-видимому, идея о том, что существует какая-то общность между экономическими процессами и феноменами, изучаемыми в статистической физике, возникла у автора в результате многократных обсуждений параллелей между биологическими и социальными процессами с Я. Дорфманом в 1980–1985 гг. К сожалению, развить эти идеи не удалось из-за трагического безвременного ухода Я. Дорфмана летом 1986 г.

Дальнейшему росту моего интереса к этой проблеме способствовала стимулирующая атмосфера на семинаре А. Чернавского в Институте проблем передачи информации в 1985–1986 гг. и совместная работа с Ю. Сандлером в 1987–1990 гг. над применением нейросетевых моделей для изучения процесса принятия коллективных решений. В этот же период и несколько позднее автор интенсивно обсуждал возможности нейросетевого моделирования экономических процессов с А. Веденовым.

Однако окончательное формирование термодинамического подхода к проблеме равновесия в экономике произошло во время неформальных обсуждений экономики науки, организованных В. Ольшанским в одном из московских биологических институтов, и последовавших далее периодических обсуждений этого круга проблем с В. Павловым и О. Бушмановым, за что автор искренне всем им признателен.

Автор благодарен также своим зарубежным коллегам — проф. О. Андерссону за многочисленные обсуждения проблем теоретической экономики и возможность обсудить первый результат этой работы на

конференции по экономике Восточной Азии в Пекине в октябре 1996 г.; проф. Б. Артуру, проф. М. Бекману и д-ру Цзянь Вэйбину за стимулирующие обсуждения проблем экономического равновесия.

Естественно, никто из перечисленных выше лиц не несет никакой ответственности за взгляды и выводы, изложенные в настоящей книге, а также за возможные ошибки и неточности.

И наконец, автор выражает глубокую благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку издания книги. Первые три главы написаны при поддержке гранта РФФИ 96-06-80625.

Москва
Ноябрь 1998 г.

В. М. Сергеев

Введение

Эта книга является результатом размышлений над проблемами построения моделей социальных феноменов. В европейской научной традиции, начиная с Декарта и Бэкона, была проведена жесткая граница между исследованиями природы и изучением человека. Эта граница еще более резко была очерчена около столетия назад Дильтеем, Виндельбаном и Риккертотом, разделившими области знания на те, где сущность исследования составляет выявление законов, связывающих понятия (физика является в этом отношении наиболее развитой наукой), и на «науки о Духе», т. е. те области знания, где сущность исследования составляет описание индивидуального, неповторимого (история здесь наиболее характерный пример). Но даже не становясь на неокантианские позиции, трудно не согласиться с тем, что безличный мир природы должен существенно отличаться от личностно окрашенного мира человека, обладающего по крайней мере эмпирической свободой выбора и способностью понимать мир.

В какой же мере свобода и способность к пониманию, которыми обладает индивидуум, влияют на свойства сообществ? Что происходит, когда взаимодействия между индивидуумами становятся настолько существенными, что мы, по сути дела, уже мало что можем сказать о целом, наблюдая отдельного человека? Эта пограничная ситуация требует специального рассмотрения. Годаются ли в этом случае те методы исследований, которые выработаны для описания природы? Или все же индивидуальность является неустранимой и следует ее учитывать по крайней мере через ценности, т. е. через те критерии, которые определяют выбор отдельных людей? В какой мере сами эти критерии являются индивидуальными?

По существу исследование человеческих сообществ в их различных ипостасях — экономических, политических, социальных — является «ничейной землей» между науками о природе и науками о Духе. Уже в XVIII веке, начиная с Ф. Кенэ и А. Смита, стало ясно, что некоторые области этой «ничейной земли» гораздо лучше поддаются формальному, логическому анализу, чем другие, и что экономическая теория — наиболее благодатная почва для построения строгих моделей благодаря

доминированию интересов (в принципе доступных логическому анализу) в экономическом поведении людей. Тем самым на индивидуальном уровне определяется сила, управляющая поведением сообщества в целом. Подобные рассуждения выстраиваются в весьма простую и изящную схему — индивидуальный выбор поведенческих альтернатив определяется на основании личного интереса (в математических моделях такой выбор выражается через максимизацию функций полезности), а коллективное поведение рассматривается как сумма индивидуальных поведенческих актов. На выбор, производимый человеком, могут быть наложены некоторые дополнительные условия, ограничивающие этот выбор, тем самым задача определения условного максимума становится тем центром, вокруг которого формируются математические методы теоретической экономики.

Усилиями нескольких поколений теоретиков был построен впечатляющий математический аппарат, позволяющий объяснить существование рыночного равновесия в условиях идеальной конкуренции и исследовать свойства равновесного состояния экономики. Успехи математической экономики намного превзошли достижения в построении социальных и политических моделей — причину такого положения указал еще А. Смит, обнаруживший существование общего регулятивного принципа в экономике — «невидимой руки» рынка, трансформирующей индивидуальные устремления в некий общий порядок.

Но успехи теоретических и математических моделей не могут скрыть серьезного кризиса в этой области науки, наступавшего медленно и ставшего заметным только недавно. Начал стремительно увеличиваться разрыв между математической экономикой, дисциплиной, обладающей своим собственным интересным и содержательным предметом исследований, быстро развивающей все более абстрактные методы и в значительной степени превратившейся в весьма эзотерическую область математики, изучающую некоторые специфические типы функционалов в частично упорядоченных топологических векторных пространствах, и прикладными исследованиями, проблемы которых оказались слабо связанными с вопросами существования и свойствами рыночного равновесия.

В практическом плане гораздо важнее, как система приходит к равновесию в условиях разнообразных ограничений. Эта проблема возникла в связи с исследованием «переходных экономик», для которых абстрактные теоремы о существовании равновесия мало что дают. При

изучении переходных экономик важно понять, где устанавливается равновесие при тех или иных начальных неравновесных условиях. Углубление теоретических исследований рынка как такового также привело к возникновению серьезных вопросов, поставивших под сомнение теоретическую ортодоксию. Ф. Хайек привел достаточно веские аргументы в пользу того, что рынок как социальный институт существует отнюдь не вследствие неограниченного стремления к удовлетворению личных интересов, а скорее, наоборот, благодаря наличию системы жестких моральных правил, ограничивающих это стремление. А в этом случае изначальная парадигма, легшая в основу математических моделей — максимизация функции полезности как основа для определения равновесия, — должна быть поставлена под сомнение.

Задачей настоящей книги является выработка новой точки зрения на природу и математический аппарат теории экономического равновесия — точки зрения, концептуально лежащей в русле идей Ф. Хайека и Австрийской школы, а также эволюционного подхода к экономической теории. Хорошо известна та идеосинкразия к эконометрике, которая разделялась представителями Австрийской школы. Задача этой работы — показать, что математический аппарат, позволяющий строго сформулировать некоторые базисные идеи К. Менгера, Л. фон Мизеса и Ф. Хайека, существует и хорошо известен. Это аппарат статистической термодинамики, которая, как следует из работ К. Шеннона, Л. Бриллюэна и Н. Винера, предваренных еще в 1920-х гг. идеями Л. Сцилларда, имеет применения значительно более широкие, чем физическая статистика. Статистическая термодинамика и теория информации в существенном совпадают, а что представляет собой рынок, если не поиск информации и принятие решений, причем информации в ее наиболее формальном, теоретическом смысле, как средства уменьшить число альтернатив выбора? Именно так интерпретировал институт рынка Ф. Хайек, и именно эта интерпретация дает, как мы покажем в дальнейшем, возможность построить количественную теорию рыночного равновесия, обладающую, на наш взгляд, значительно большими возможностями, чем ортодоксальная теория, основанная на идеях Вальраса и Самуэльсона.

В заключение необходимо сделать несколько замечаний. Наш анализ существующих экономических теорий ни в какой мере не является обзором. Мы рассматриваем только те теории и те работы, которые нам представлялись интересными в контексте поставленной задачи — выработки нового подхода к исследованию экономического равновесия.

Еще одно замечание касается строгости применения математического аппарата. Мы придерживаемся стандартов, выработанных в теоретической физике, т. е. считаем функции дифференцируемыми столько раз, сколько это нужно, заменяем суммы интегралами, но при этом, естественно, помним о тех ограничениях, которые должны быть наложены на столь вольное обращение с математическими объектами в связи с существованием разного рода особенностей.

Последнее замечание касается структуры книги. Стремясь избежать изложение от загромождения деталями, автор вынес примечания в конец книги, обозначив их двойной нумерацией (по главам), заключенной в фигурные скобки.

Глава 1

Модели в экономике

В каком смысле следует понимать модели в экономике? Является ли экономическое моделирование вскрытием неких общих законов экономики или это всего лишь инструмент, помогающий оценивать конкретную экономическую ситуацию? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо установить, какие типы моделей используются в экономике и, что самое важное, знание какого типа эти модели позволяют получать из анализа экономических ситуаций {1.1}.

Совершенно очевидна роль экономических моделей в оценке практических решений. Как оптимально использовать ресурсы? Как с наименьшим риском или с наибольшей прибылью вложить деньги в акции? Какой ассортимент товаров следует производить фирме при данном положении на рынке? Ответы на множество подобных вопросов составляют основу менеджмента, и в этом смысле математические модели представляют неоспоримую ценность как средство решения рутинных задач управления экономической деятельностью. Основной концепцией в формулировании таких задач и получении ответов является концепция оптимизации — некий существенный параметр задачи максимизируется или минимизируется в процессе поиска решений {1.2}. Типичной задачей такого рода является задача замещения в неоклассической теории спроса в стиле Слуцкого–Хикса: как влияют на спрос некомпенсированные изменения цены одного из товаров {1.3}? Это задача оптимизации с одним параметром, решение которой легко получить, используя стандартные методы математического анализа. Значительно более сложные задачи возникают, когда оптимизацию необходимо производить по двум или более параметрам, скажем, максимизировать прибыль, минимизируя риск. Подобные задачи потребовали бы уже более сложного математического аппарата — теории игр, но в общем следует заметить, что многокритериальные задачи в значительной мере остаются проблемой: далеко не всегда ясно, как их решать. Дело здесь не столько в математике, сколько в «теории выбора»: вообще говоря, неясно, как согласовывать оценки различной природы {1.4}.

Как соотносить красоту объекта и его стоимость? Или стоимость и качество? Вряд ли вообще возможно сконструировать универсальные средства оценки красоты или практичности — здесь слишком многое зависит от индивидуальности оценивающего. Именно поэтому некоторые направления экономической мысли, в частности Австрийская школа, весьма скептически относились к возможностям универсализации оценок. Такой взгляд, конечно, подрывает доверие к практической значимости оптимизационных проблем, использующих понятие полезности. Тем не менее существует значительное количество оптимизационных задач, в которых нет необходимости вводить полезность, например разного рода транспортные задачи, где оптимизируется время или стоимость перевозок.

В целом задачи оптимизации предоставляют бесчисленные возможности для искусного применения математического аппарата: линейное, целочисленное и динамическое программирование, различные варианты теории игр — игры с нулевой суммой, игры с несотрудничеством, дифференциальные игры и т.п. Все эти задачи, однако, обладают одной общей особенностью — это задачи по достижению цели. Модели построения подобных задач могут быть названы нормативными, так как в основе их лежит оценка решений. Онтология целеполагания органически встроена в такие задачи. Вообще говоря, появление субъекта в оптимизационных задачах совершенно не обязательно: имеется великое многообразие вариационных задач в физике, где субъект отсутствует, если не считать, конечно, что наличие вариационных принципов в механике свидетельствует о существовании Бога (такого рода проблемы обсуждались сразу же после открытия вариационных принципов) {1.5}. Тем не менее как практические экономические задачи на оптимизацию, так и нормативные модели, несмотря на сходство аппарата, отличаются от вариационных проблем физики — *экономическая теория предполагает наличие субъекта, имеющего интересы и способного к целеполаганию*. Оптимизационные задачи в практической экономике являются инструментами, способствующими субъекту в достижении его целей, а не «законами природы», каковыми считаются, например, вариационные задачи в механике. Ничего похожего на вариационный принцип Гамильтона в нормативных моделях принятия решений не просматривается. В какой же мере вообще можно ожидать появления такого рода универсальных принципов в экономической теории?

Этот вопрос был центром теоретической дискуссии в экономике во второй половине XIX столетия. Такие экономисты, как К. Менгер, Л. Вальрас, В. Джевонс, настаивали на возможности существования абстрактной теории {1.6}. Защита возможности существования абстрактной теории в экономике, основанной на отношениях между «чистыми», «идеальными» понятиями, была, собственно говоря, защитой теоретической экономики как самостоятельной сферы деятельности, независимой от успехов практических рекомендаций в области менеджмента. Эта дискуссия была связана и с наличием другой опасности для рождающейся теоретической экономики — возможностью ее поглощения экономической историей {1.7}. В случае такого поглощения теоретические исследования свелись бы к изучению бесчисленного разнообразия форм «национальных экономик». Сформулированный в работах Вальраса, Джевонса и Менгера подход, позднее названный неоклассическим в отличие от классических постановок задач А. Смита, предполагал получение строгих ответов на «общие вопросы» и объяснение таких феноменов, как, например, падение цен при увеличении поставок товаров, падение банковских процентов при значительном накоплении капитала и т. п. Основатели неоклассического подхода предполагали, что теоретические построения, связывающие абстрактные понятия, позволят выйти за пределы «сиюминутных наблюдений» и обеспечить «предсказание и контроль» {1.8}.

Основу теоретических моделей в экономике К. Менгер, в частности, видел в выделении эмпирических форм экономической активности — *типов*, лишенных индивидуальных черт, и установлении логических отношений между типами. Тем самым теоретическая экономика отделялась как от «экономической политики», т. е. технологии принятия решений, так и от исследований по истории экономики, которые неизбежно, в силу логики исторической науки, концентрировали внимание на индивидуальных особенностях изучаемых ситуаций. Теоретическая экономика становилась, таким образом, областью функционирования интерпретационных моделей, т. е. моделей, позволяющих понять общие свойства исследуемой реальности, принципы ее организации и функционирования.

Все же значительное различие между интерпретационными моделями в теоретической экономике и тем типом теоретического знания, который в естественных науках принято называть «законами природы», оставалось непреодоленным. Неоклассические модели давали возможность понять некоторые принципиальные особенности

функционирования экономических институтов, например существование равновесия рынка в условиях идеальной конкуренции, но не смогли предложить ничего похожего на законы механики, позволяющие вычислять будущее состояние системы на основе очень небольшого количества общих характеристик системы и начальных данных. Интерпретационные модели неоклассической экономики скорее являются аналогами теорем существования в математике, т.е. логическими средствами, позволяющими говорить о существовании некоторых объектов и их свойствах, но не о *динамике* этих объектов.

Для того чтобы понять это фундаментальное различие, необходимо сделать небольшое отступление в область общих принципов методологии естественных наук, сложившихся в начале нового времени, и сравнить эти принципы с методологическими принципами теоретической экономики.

Основой науки нового времени стал эксперимент, точнее, методология, предполагающая, что существует способ проверить пригодность теоретических конструкций и моделей, т.е. сравнить результаты, полученные с помощью этих моделей, с экспериментом. Здесь следует обратить внимание на одну тонкость, упускаемую из виду не только многими представителями широкой публики, но и некоторыми весьма квалифицированными специалистами. Дело в том, что «сравнение с экспериментом» отнюдь не является сравнением с естественными ситуациями, имеющими место в природе. Строго говоря, с помощью сравнения с «природными ситуациями» ни подтвердить, ни опровергнуть научные теории нельзя. Эксперимент есть не просто реальность — это *специально приготовленная реальность*, в которой контролируются все параметры, считающиеся заданными (и существенными) в теоретической модели. Эксперимент, по существу, не имеет прямого отношения к природе как таковой — это *конструкция, являющаяся следствием теоретического абстрагирования* {1.9}.

Так, в «теоретическом споре» Аристотеля и Галилея о природе движения в физике практика на стороне Аристотеля: движущиеся тела, лишенные источника энергии, имеют тенденцию останавливаться и занимать определенное положение. Галилеевская идея движения по инерции — это теоретическая абстракция, пренебрегающая трением и сопротивлением среды. Но именно эта абстракция и была реализована Галилеем в конструкции его экспериментов. По существу, реальному эксперименту предшествовал мысленный эксперимент, т.е. конструирование прибора, выявляющего те или иные свойства изучаемого

объекта. Этот прибор оказывается своего рода микрокосмом, очищающим объект от всех несущественных свойств. Мы специально подчеркиваем здесь роль мысленного эксперимента как обязательного предшественника эксперимента реального, как теоретической конструкции, которая, воплощаясь до конца лишь в идеальном мире, тем не менее обладает ценностью и доказательной способностью сама по себе {1.10}. Степень, в которой возможно воплощение в реальности концептуальной схемы эксперимента, всегда под вопросом. Как можем мы быть уверены в том, что в реальной установке не существует каких-то факторов, неизвестных нам и не контролируемых нами, но оказывающих решающее влияние на результаты эксперимента? Для этого мы должны верить в теорию, лежащую в основе концептуальной схемы эксперимента, точнее в ту логику, которая стоит за этой концептуальной схемой, потому что отбрасывание некоторых возможных факторов влияния при создании концептуальной схемы основано не на теоретических соображениях, а на «естественной логике», часто не эксплицируемой.

Такая ситуация, однако, позволяет сделать еще один шаг. А что если экспериментальная установка, о которой идет речь в концептуальной схеме эксперимента, в принципе мыслима, но столь сложна, что в настоящий момент по техническим соображениям не может быть реализована? Значит ли это, что мы не вправе использовать в наших рассуждениях концептуальную схему эксперимента? Подобные ситуации в науке возникали неоднократно. Оказалось, что концептуальная схема эксперимента сама по себе, даже без воплощения, может являться средством доказательства. Достаточно вспомнить дискуссии Бора и Эйнштейна {1.11} об основополагающих принципах квантовой механики, «кошку Шредингера», «демона Максвелла» {1.12} и другие примеры мысленных экспериментов.

Мысленный эксперимент проверяет логику теории в предположении потенциальной реализуемости сколь угодно сложных технических устройств, принцип работы которых ясен. Рассмотрим, например, «демона Максвелла» — мысленный эксперимент, который нам понадобится в дальнейшем.

Занимаясь проблемами статистической физики, Максвелл предложил идею технического устройства, работа которого должна была бы опровергнуть второй закон термодинамики — закон возрастания энтропии. Согласно этому закону, энергия не может переходить от более холодного тела к более горячему. Максвелл предложил рассмотреть два объема газа, соединенные дверцей, которая управляется своеобразным

роботом, или, как он его назвал, «демоном». Предполагалось, что демон в состоянии определить скорость подлетающих к дверце частиц газа и открывать или не открывать дверцу в зависимости от того, какова эта скорость, регулируя таким образом поток частиц из одного объема в другой. Казалось бы, демон, не расходуя энергии, в состоянии сделать так, что быстрые частицы будут переходить из более холодного объема в более горячий и тем самым повышать температуру в более горячем объеме газа вопреки второму закону термодинамики, что с точки зрения термодинамической теории является парадоксом.

Этот парадокс многократно исследовался впоследствии {1.13}, став одним из краеугольных камней современной теории информации. Именно на этом примере Л. Сциллард показал, что работа подобного устройства невозможна без обмена информацией между демоном и газом, который он контролирует, и что информация может быть определена как энтропия с обратным знаком, т. е., уменьшая энтропию в системе, демон неизбежно будет увеличивать собственную энтропию, что и делает невозможной работу такого устройства.

Многочисленные примеры других мысленных экспериментов, направленных, как правило, на прояснение фундаментальных вопросов новых теорий, показывают, что мысленный эксперимент является мощным орудием анализа на границе теории и эксперимента, позволяя теоретической мысли проникать в миры, недоступные техническому контролю, в те области действительности, в которых не удастся искусственно приготовить и контролировать экспериментальные ситуации {1.14}.

Вернемся теперь к вопросу, заданному в начале настоящей главы. Что такое экономика как наука? Возможно ли в экономике экспериментирование и мыслимо ли построение теоретической экономики по классической схеме, хорошо известной из практики физических исследований: теория — экспериментальная проверка — теория? На первый взгляд такому подходу ничто не противоречит. Теоретическая экономика описывает реальные процессы, и, с точки зрения «наивного методолога», возможно доказательное сравнение теории с «практикой», ее «экспериментальная проверка» в жизни. Из приведенных выше рассуждений, однако, становится ясно, что собственно об эксперименте, в том его понимании, которое создавалось последние три столетия усилиями классиков европейской научной традиции, в экономических исследованиях в настоящее время вряд ли может идти речь. В реальной жизни нет искусственно приготовленных ситуаций, специально

предназначенных для проверки теоретических идей. И даже если в отдельных случаях (которыми почему-то богата история России) и производятся «экономические эксперименты», концептуальные схемы этих экспериментов крайне далеки от полного описания потенциальных факторов влияния на искусственно приготовленную экспериментальную ситуацию. Нечего и говорить о том, какова цена подобных «экспериментов» и как далека научная база этого «экспериментирования» от уровня теоретических моделей в естественных науках.

Невозможность, по крайней мере в настоящее время, реального научного эксперимента в экономике не означает, однако, фиаско идеи экспериментирования как проверки теоретических моделей экономики. Остаются богатейшие возможности *мысленного экспериментирования*. Та колоссальная польза, которую мысленное экспериментирование принесло, скажем, при построении квантовой механики, весьма обнадеживает. В такой постановке проблемы речь не идет, конечно, о проверке количественных предсказаний теории. Но сами теоретические модели, их внутреннюю логику с помощью мысленного эксперимента проверить, по-видимому, вполне возможно. И здесь сразу же начинается вырисовываться весьма серьезная проблема, которая по своему масштабу вполне сопоставима с логическими проблемами квантовой механики и которую, как нам представляется, можно попробовать решить сходными средствами, а именно, ответив на вопрос: *где пределы рациональности экономического поведения?* До какой степени экономическая ситуация, созданная выборами, предпочтениями, планами и поведением множества людей, вообще может рационально контролироваться? Не существует ли здесь принципиальных, логических по своей природе ограничений на рациональный контроль, таких как второй закон термодинамики или принцип дополнительности Бора?

Ничто не мешает предположить, что для решения таких вопросов мысленных экспериментов может быть достаточно, если теоретические модели будут сформулированы ясно и логично. Концептуальные схемы обладают своей собственной логикой, и, как показывает, в частности, пример с анализом «демона Максвелла», неукоснительное следование этой логике может выявить внутреннюю противоречивость концептуальных конструкций, казалось бы вполне удовлетворяющих принципам естественной, «наивной» логики.

Именно такой анализ имеет, на наш взгляд, первостепенное значение в экономических исследованиях. Но действительно строгое исследование внутренней логики теоретических моделей возможно только

при условии, что эти модели сформулированы на достаточно ясном, поддающемся логическому анализу языке и обладают определенного рода внутренней полнотой, не позволяющей теоретику потеряться во множестве неясных, а иногда и не сформулированных явно исходных предположений. Иными словами, теоретическая модель для того, чтобы допускать проверку мысленным экспериментом, должна быть логической конструкцией, а не метафорой. Как мы увидим ниже, именно этому требованию не удовлетворяют в основном существующие теоретические модели рыночной экономики. Эти модели начинались с метафоры «невидимой руки» рынка, предложенной Адамом Смитом. Конечно же, метафора — мощнейшее орудие творческого мышления. Но теоретический анализ должен идти дальше, он должен эксплицировать внутреннюю, логическую структуру метафоры, преобразая метафору в теоретическую модель и в известном смысле разрушая ее.

Существующие экономические теории рынка насквозь метафоричны. В них постоянно говорится о равновесии, понятии, метафорически заимствованном из механики, и поэтому нашей первой задачей будет анализ истории рождения этой базисной метафоры экономической теории. Для того чтобы превратить метафору в модель, метафору следовало бы подвергнуть «деконструкции», скажем, в том смысле, в котором деконструируют теоретические понятия Фуко и Деррида, но одной деконструкции для построения теоретической модели недостаточно. Деконструированную метафору необходимо собрать заново, используя «логический конструктор», и только тогда логически собранная модель может стать пригодной для мысленного экспериментирования. Именно это мы и предлагаем сделать с понятием равновесия в рыночной экономике.

Глава 2

Общая теория равновесия и идеи А. Смита

Нет в экономической теории, пожалуй, ни одной концепции, которая может сравниться по значимости с концепцией равновесия. Общая Теория Экономического Равновесия (ОТЭР) стала краеугольным камнем современной экономической науки, подчинила себе не только теоретические размышления, но и экономическую политику. Как это ни странно, особенно популярна ОТЭР в странах с переходной экономикой, в то время как совершенно очевидно, что переходная экономика обычно находится в состоянии, весьма далеком от равновесия, по крайней мере в его традиционном понимании. Наша цель здесь — рассмотреть онтологические основания ОТЭР. Это позволит в последующих главах предложить такое расширение концепции равновесия в экономике, которое позволило бы хотя бы частично рассматривать неравновесные процессы примерно с такой же степенью общности, с которой это делает неравновесная статистическая термодинамика в рамках физической теории.

Создатели ОТЭР хорошо понимали, что эта теория описывает экономическую ситуацию только непосредственно вблизи равновесного состояния и что логические основы для ОТЭР следует искать за ее пределами, так как механизмы, заставляющие систему перейти в состояние равновесия, не имеют ничего общего с описанием характеристик самого этого состояния {2.1}. Это положение часто забывается теми, кто пытается применить теорию на практике, предполагая, что «высвобождение» рыночных сил и строгое поддержание некоторых параметров (таких, например, как объем денежной массы или уровень дефицита бюджета) в определенных пределах автоматически приведут экономику в состояние равновесия. Таким экономистам (точнее, политикам, так как применяющий экономическую теорию на практике, хочет он этого или нет, становится политиком) полезно напомнить предостережение относительно практического применения экономических моделей, высказанное в одной из самых известных в мировой литературе книг по

экономической теории: «Правильный подход состоит в том, чтобы добиться сначала наибольшей возможной точности и совершенства в некоторой ограниченной области, затем перейти к другой, несколько более широкой области и т. д. Это покончило бы с нездоровой практикой применения так называемых теорий к экономическим и социальным реформам, где они никоим образом не могут быть полезны» {2.2}. Итак, очень важно установить пределы применения тех базисных понятий, которые используются в экономических теориях. И, конечно, в первую очередь это касается понятия экономического равновесия.

Существует ряд ключевых вопросов относительно ОТЭР, на которые очень не просто ответить. Является ли ОТЭР научной теорией или это лишь «парадигма», онтологическая посылка, в рамках которой экономическая теория должна быть развита? Можно ли фальсифицировать ОТЭР? Можно ли использовать ее как основание для «нормативной экономики», т. е. для практических экономических решений? Эти вопросы являются предметом острых непрекращающихся дебатов {2.3}. Само наличие таких тем в дискуссиях свидетельствует о том, что статус ОТЭР как теории неясен. Вряд ли подобные вопросы могут возникнуть сейчас, например, в отношении классической механики. Таким образом, вместо того чтобы рассматривать ОТЭР как основание для практических решений, следовало бы, по крайней мере, попытаться проанализировать логические основания этой теории и посмотреть, какие математические модели адекватны этим основаниям. Здесь необходимо сделать ряд на первый взгляд достаточно тривиальных замечаний.

Любое описание реальной ситуации является редукцией. Некоторые параметры ситуации принимаются во внимание, другие игнорируются. Для научной теории проблема состоит в том, в какой степени неизбежная редукция описания становится объектом сознательного контроля. Так как в рамках большинства «ненаучных» описаний редукция, как правило, является имплицитной, то и критика «изнутри» оказывается невозможной. Описание превращается в предмет веры. Такого рода трансформация и происходит обычно в процессе применения научных теорий. Научные описания отличаются от «ненаучных» именно тем обстоятельством, что редукция становится предметом рефлексии. Методологические критерии проясняют, какие «модели реальности» являются основой описания. И, что очень важно, для подобной практики (т. е. рефлексии) необходим особый «метаязык», вообще говоря, отличный от того языка, на котором делается описание реальности.

В какой мере эти тривиальные соображения используются при конструировании экономических моделей? Во многом это связано с пониманием роли математических моделей в описании реальности. В случае применения математических моделей уровень требований к рефлексии относительно имплицитных посылок модели значительно выше, чем при использовании концептуальных моделей. В экономической же теории, на наш взгляд, в значительном большинстве случаев уровень рефлексии относительно посылок при переходе от концептуальных моделей А. Смита и основателей неоклассической теории к математическим моделям экономики в 30–50-х годах нашего века не только не повысился, но и, пожалуй, понизился.

Поэтому нам представляется чрезвычайно важным проанализировать генезис представлений о рыночном равновесии и выявить те скрытые предпосылки, которые лежали в основе складывающихся представлений классической и неоклассической экономической теории. И первое, что необходимо сделать, это попытаться понять внутреннюю мотивацию и имплицитные предположения, лежащие в основе представлений основателя классической экономической теории А. Смита.

Прежде всего необходимо заметить, что А. Смит не был, собственно говоря, экономистом, во всяком случае не в области экономики лежали его основные интересы. Смит был моральным философом. Его занимали проблемы и принципы объяснения поведения человека и соотнесение характеристик этого поведения с общественным благом. По существу, его экономическая теория и была теорией, объясняющей характер взаимоотношения человеческого поведения и общественного блага {2.4}. На наш взгляд, экономические представления Смита невозможно понять, не уяснив ту «модель человека», которую он заложил в основу своей экономической теории (проницательный анализ этого аспекта воззрений А. Смита см. в {2.5}).

Для А. Смита человек был существом прежде всего эмоциональным, для которого не разум, но чувства и эмоции определяют поведение. Мораль, по Смицу, выражает общественные чувства, и моральное поведение — это поведение, согласованное с этими чувствами. Смит без труда обнаруживает противоречия между индивидуальной пользой и общественным одобрением: «Однако я остаюсь при мнении, что первая и главная причина нашего одобрения или неодобрения не вытекает из сознания того, что может быть нам полезно или вредно... К чувству одобрения постоянно примешиваются представления о естественности

и законности, не имеющие никакого отношения к представлениям о пользе. ... Самым широким и блистательным образом обнаруживаются способности человека в отвлеченных науках, и в особенности в так называемой высшей математике. Однако полезность этих наук мало кому известна, и для доказательства ее потребовались бы объяснения, которые далеко не всем доступны. Поэтому не польза, доставляемая ими, служит причиной всеобщего уважения к ним: об этой пользе не было даже и речи до тех пор, пока не пришлось отвечать на упреки людей, которые, не чувствуя склонности к этим высоким наукам, старались умалить их значение обвинением в бесполезности. ...» {2.6}.

Собственно говоря, всю жизнь А. Смит искал принципы и общественные институты, которые могли бы гармонизировать эмоции людей и общественное благо. Не найдя ничего удовлетворительного в области моральной и политической философии, он обратился к изучению экономического поведения, где и нашел наконец доминирующую эмоцию, управляющую поведением, — частный интерес — и регулятивный принцип, согласующий эту эмоцию с общественным благом, — конкурентный рынок.

Заметим однако, что для А. Смита взаимосвязь между частным интересом и общим благом отнюдь не была постулатом — это был вывод, полученный из экономического анализа. «Невидимая рука» рынка нужна была ему отнюдь не для объяснения равновесия. «Невидимая рука» нужна была для объяснения обстоятельств быстрого экономического роста. Его более всего интересовали вопросы взаимосвязи благосостояния и развития. Он обнаружил, к примеру, что наибольшая цена рабочей силы не там, где существует наибольшее благосостояние, а там, где наибольший рост производства.

А. Смит сформулировал динамическую теорию рынка, в которой интересы его участников в условиях свободной конкуренции являются движущими силами, устанавливающими равновесие, собственно и превращаясь в «невидимую руку»: «Все лица, которые употребляют свою землю, труд или капитал для поставки на рынок какого-нибудь товара, заинтересованы в том, чтобы количество его не превышало действенного спроса, а все остальные заинтересованы в том, чтобы оно никогда не падало ниже этого спроса... Если бы, напротив, в какой-либо момент количество товара, доставленного на рынок, упало ниже действенного спроса, та или другая из составных частей его цены должна подняться выше своей естественной нормы. Если это рента,

интерес всех остальных землевладельцев естественно побудит их приспособить больше земли для добывания этого продукта; если это заработная плата и прибыль, то интерес всех остальных рабочих и деловых людей скоро побудит их употребить больше труда и капитала для производства и доставки этого товара на рынок» {2.8}.

Не равновесие рынка как таковое интересовало А. Смита, а те условия, которые обеспечивают наиболее быстрый рост общественного богатства. Проблема «невидимой руки» и изучение равновесия были лишь средствами исследования проблемы гармонизации частных интересов (пользы) и общественного блага (т. е. быстрого роста совокупного богатства народа). Именно этим А. Смит существенно отличается от своих неоклассических последователей.

Интересно заметить, что метод, которым А. Смит пользуется для доказательства своих утверждений, — это, по существу, мысленный эксперимент (ср. приведенный выше отрывок). Используя идеальную логическую модель — свободную конкуренцию и отсутствие ограничений на характер экономической деятельности, А. Смит с помощью логического вывода доказывает наличие равновесия рынка. Введение каких-либо ограничений в используемую им модель (скажем, ограничения на доступные ресурсы труда или капитала) изменит результаты. Такая модель, конечно, не позволяет сделать количественных предсказаний. Мысленные эксперименты А. Смита с легкостью могут быть сформулированы в виде математической модели, но только на «метафорическом уровне». Равновесие динамической системы является той метафорой, которая может быть, исходя из мысленных экспериментов А. Смита, применена к описанию рыночного равновесия. Отклонение системы от равновесного состояния вызывает появление «сил», т. е. интересов, стремящихся вернуть систему в состояние равновесия. Конечно, рыночное равновесие не рассматривалось самим А. Смитом как особая точка системы дифференциальных уравнений, но эта метафорическая модель с легкостью экстрагируется из его рассуждений.

Идеи А. Смита развивались в первой половине XIX века экономистами классической школы Рикардо, Дж. Миллем и др. Но эти теории не были количественными: существенно улучшая понимание экономических процессов, они не давали «вычислительных» рецептов поведения и моделей принятия экономических решений. Положение полностью переменялось с появлением работ Менгера, Вальраса и Джевонса, изменивших интеллектуальный ландшафт экономических исследований.

Как мы упоминали выше, задачей этих исследователей стало построение строгих моделей, в рамках которых логическими (Менгер) и математическими (Джевонс и Вальрас) методами можно было бы получать значимые результаты. Для этого неоклассикам пришлось существенно ограничить сферу своего анализа, сосредоточившись на исследовании рыночного равновесия как такового, т.е. рыночное равновесие стало (в особенности у Джевонса и Вальраса) пониматься не как институциональный механизм, нуждающийся в анализе, а как строго определенное положение дел на рынке, а именно отсутствие избыточного спроса. Развитие идей Джевонса и Вальраса в середине нашего века такими исследователями, как А. Валд, К. Эрроу, Ж. Дебре {2.8}, привело к созданию математических моделей рыночного равновесия с развитым исследовательским аппаратом, весьма далеким от первоначальных идей неоклассиков.

Но для понимания этих весьма изощренных математических конструкций нужно разобраться в том онтологическом сдвиге, который произошел при переходе от классической теории к неоклассической. А здесь одним из центральных новшеств стало понятие полезности. Для того чтобы получить возможность строить математические модели рынка, необходимо было создать некую универсальную модель поведения его участников. Если для продавца основа для такой модели представлялась после работ А. Смита достаточно очевидной — максимизация прибыли, реализующей частный интерес, то для покупателей такой универсальный измеритель ввести оказалось не так просто. Им стало понятие полезности, на философском уровне введенное и обоснованное И. Бентамом.

Бентам считал, что человеческое поведение вообще определяется пользой, извлекаемой из решений и действий, а общее благо может быть вычислено как сумма пользы и убытков, в совокупности получаемых членами общества от тех или иных решений {2.9}. Бентам предложил очень существенный сдвиг в понимании человеческого поведения: если для А. Смита частный интерес был лишь одной из эмоций, определяющих человеческое поведение, и роль этой эмоции в общей картине поведения была предметом исследований, то для Бентама вопрос оказался решенным — полезность стала единственной движущей силой, определяющей всю совокупность поведенческих актов. Этот взгляд был усвоен основателями неоклассической школы и превращен в инструмент математического анализа рынка. С помощью понятия полезности

оказалось возможным построить модель рационального принятия решения покупателем.

Гипотеза о том, что покупатель имеет четко определенные цели и предпочтения и в состоянии определить и сравнить полезность различных товаров, стала онтологическим постулатом неоклассической ортодоксии, так же как и гипотеза о том, что польза, полученная покупателем, и прибыль, полученная продавцом товара, исчерпывают представление об общественном благе, получаемом в результате экономической деятельности. Достаточно простые гипотезы о зависимости полезности от количества покупаемого товара (ее монотонное уменьшение) в сочетании с принципом максимизации полезности привели к «маржиналистской революции» в исследовании рыночной экономики, а именно к представлению о том, что полезность последней порции приобретаемого товара определяет положение на рынке. Действительно, нетрудно понять, что отношение полезности этой последней порции к ее цене должно быть одинаково для всех товаров, иначе можно было бы увеличить общую полезность закупаемых товаров, изменив ассортимент закупок.

Обнаружение этого факта оказало огромное влияние на весь стиль экономических исследований. Открылись новые возможности изучения свойств состояния рыночного равновесия. Окончательно закрепился тот онтологический сдвиг, который виден уже в работах Бентама, — помещение функций полезности и их свойств в центр анализа человеческого поведения. Оформилась теория «рационального выбора». Главным в изучении рыночного равновесия стал анализ решений, принимаемых покупателем, то, что стало позднее обозначаться как «суверенность покупателя», т. е. независимость его решений ни от чего, кроме функций полезности. Появилась уже отмеченная нами базисная метафора математической экономики, а именно задачи математической экономики стали пониматься как задачи определения максимумов или минимумов некоторых функций при заданных ограничениях (обычно ограничениях на ресурсы). В центре внимания экономистов оказалась проблема существования и свойств состояния рыночного равновесия.

Такое изменение основных целей исследования повлекло за собой и появление специфического математического аппарата: в 50-х годах нашего века для доказательства существования точки рыночного равновесия, т. е. некоторого вектора положительных цен в условиях неположительного избыточного спроса, стали использоваться топологические методы, например теорема о неподвижной точке {2.10}.

Конечно, выводы экономистов неоклассической школы, так же как и выводы классиков, базировались на мысленном эксперименте, так как вряд ли можно реально вычислить функции полезности участников рынка. С помощью мысленного эксперимента можно доказать существование точки рыночного равновесия, но едва ли удастся определить, каково будет это равновесие при заданных условиях производства и спроса. Но самое важное, что произошло в рамках маржиналистской революции, — это изменение представления о природе рыночного равновесия. Если для А. Смита рыночное равновесие было устойчивой точкой динамической системы с реально действующими «силами» (интересом), реагирующими на отклонения от равновесного состояния, т.е. сама метафора равновесия оказалась оправданной сравнением с поведением механических систем, то в работах неоклассиков, и особенно в математических интерпретациях неоклассических концептуальных построений, оказывается утерянной даже взаимосвязь с этимологией слова на метафорическом уровне. Непонятно, почему вектор цен, являющийся неподвижной точкой некоторого отображения и соответствующий неположительному избыточному спросу, должен называться точкой равновесия.

Модель человека в неоклассической экономике оказывается редуцированной до тривиальности. Рациональным называется поведение, максимизирующее полезность, а полезность фактически определяется как такая функция, которая определяет «рациональное поведение». Возникает логический круг. Рынок априорно считается свободным, т.е. условия идеальной конкуренции обеспечиваются как бы сами собой, в то время как А. Смит, например, обладал ясным пониманием того, что свободная конкуренция — это социальный институт, который нуждается в поддержании, и что обеспечение условий свободной конкуренции — это функция политической власти. Неоклассики же неявно стали рассматривать свободную конкуренцию как самоподдерживающуюся систему — предположение весьма сомнительное, по крайней мере нуждающееся в очень основательной аргументации.

На основе воззрений неоклассиков и сформировалась ОТЭР, последние годы ставшая не столько даже научной парадигмой, сколько ведущей идеологией консервативных политических движений и партий во многих странах, дающей, правда, весьма сомнительные по своей экономической эффективности результаты. Следует обратить внимание на то, что в послевоенное время наивысшие темпы экономического роста

были достигнуты в странах (Япония, Южная Корея, Тайвань, а недавно к ним присоединились Китай и Вьетнам), где общая ориентация на рыночную экономику сочеталась с экономической политикой, очень далекой от идеологии неоклассиков. Тем не менее недостатки вдохновленной принципами ОТЭР экономической политики (как и недавние трудности стран Восточной Азии) вряд ли могут быть аргументами в споре о научной состоятельности этой теории по причинам, рассмотренным нами в главе 1. Необходим внутренний, логический анализ тех мысленных экспериментов, на которых ОТЭР основывается.

Глава 3

К. Менгер, Ф. Хайек и Д. Юм: вызов утилитаризму

Следует отметить, что базисная для классической и неоклассической экономической теории идея рынка как способа непосредственной гармонизации частного интереса и общественного блага подвергалась достаточно серьезной критике со стороны экономистов, стремившихся создать строгую экономическую теорию, прежде всего со стороны представителей Австрийской школы. Карл Менгер, бывший одним из инициаторов маржиналистской революции, настаивал, тем не менее, на том, что частный интерес не может рассматриваться как средство автоматического достижения общего блага, и идея о взаимосвязи частного интереса и общего блага не является подходящим основанием для строгой экономической теории. Он писал: «Под “догмой частного интереса” некоторые экономисты понимают основополагающий принцип, состоящий в том, что преследование частного интереса на уровне экономического индивида, без всякого влияния политико-экономических мер правительства, должно иметь в качестве следствия высший уровень общего благосостояния, который может быть достигнут обществом в заданных пространственных и временных условиях. Тем не менее мы не намерены иметь здесь дело с этим взглядом, который является ошибочным по крайней мере в своей общей форме...» {3.1}. «Если бы даже в экономической деятельности люди всегда и везде руководствовались исключительно частным интересом, строгое определение этим фактором экономических феноменов должно было бы все равно рассматриваться как невозможное благодаря факту, данному нам в опыте, а именно тому, что в неисчислимом количестве случаев люди имеют ошибочные взгляды относительно их экономических интересов или не представляют себе положение дел в экономике ... Презумпция подобного определения регулирующей силы в экономических феноменах, а вместе с тем и в теоретической экономике, как бы ни было многозначно это слово, есть догма не только о частном интересе, но и догма

“безошибочности” и “всезнания” людей относительно положения дел в экономике» {3.2}.

Менгер настаивает на том, что экономическая теория должна абстрагироваться от несущественных факторов в поведении человека (в том числе от возможных ошибок), давая идеальную схему. «Она (экономическая теория. — В. С.) не может обеспечить понимание человеческого феномена во всей его тотальности и конкретности, но может обеспечить понимание одной из важнейших сторон человеческой жизни» {3.3}. Менгер отказывает экономической теории в претензии на понимание реальных ситуаций, в которых посторонние факторы, действующие на человеческое поведение (в частности, ошибки и заблуждения) неустранимы, но считает, что то, что остается после удаления этих случайных факторов, представляет значительный интерес для понимания экономического поведения людей.

Конечно, такая позиция уязвима и противоречива, ведь совершенно не очевидно, что, удаляя существенные факторы, влияющие на реальную ситуацию, мы вообще получим что-то интересное. Это нельзя постулировать, это необходимо доказывать. В частности, необходимо показать, что элиминация такого фактора, как ошибочное представление людей о положении дел в экономике, не нарушает ту схему мысленного эксперимента, которая используется для получения нового знания о природе экономической жизни.

Так, сейчас мы знаем, что в физической теории микромира ошибки эксперимента не могут быть элиминированы из теории {3.4}. Мы видим, что Менгер, критикуя онтологические идеализации, лежащие в основе неоклассической теории, оставался на классических позициях в совсем ином смысле — в представлении о возможности элиминирования из теории так называемых «несущественных» факторов. Тем не менее принципиальное отличие его взглядов от взглядов неоклассической ортодоксии очевидно. Совершенно не случайно представители неоклассической ортодоксии крайне сдержанно относятся к Менгеру и к Австрийской экономической школе в целом {3.5}.

Много позднее виднейший представитель Австрийской школы Ф. Хайек сделал следующий шаг в понимании глубинных принципов функционирования рынка, предположив совершенно отличную от традиционной интерпретацию принципов функционирования рыночной экономики. Конкуренцию он начал рассматривать как процедуру открытия (в особых обстоятельствах и отдельными людьми) фактов и

данных о состоянии рынка, которые дают преимущество тем, кто эти факты и данные знает и использует.

Хайек признал принципиальную неполноту знаний о действительной ситуации в экономике основным обстоятельством любой экономической деятельности: «Трудно не согласиться с обвинением, что на протяжении примерно 40–50 лет рассуждения экономистов о конкуренции опирались на предпосылки, которые в случае их соответствия действительности сделали бы конкуренцию совершенно бессмысленной и бесполезной. Если бы кому-нибудь на самом деле было известно все, что экономическая теория называет данными, то конкуренция и впрямь представляла бы весьма расточительный метод приспособления к этим “данным”... На этом фоне полезно напомнить, что всякий раз, когда обращение к конкуренции может быть рационально оправдано, основанием для этого оказывается то, что мы не знаем заранее фактов, определяющих действия конкурентов» {3.6}.

Хайек ставит принципиально компаративную задачу: какая институциональная организация в экономике и в каких условиях оказывается более эффективной, т.е. способной к выживанию? Такая постановка вопроса заставляет его для обоснования сделанных им выводов обратиться к эволюционной теории {3.7}. Для подтверждения своих взглядов он уже не может рассматривать просто эмпирические факты или даже мысленные эксперименты: «... Мы приходим к неизбежному выводу, что в случаях, когда конкуренция имеет смысл, достоверность теории заведомо невозможно проверить эмпирически. Мы можем проверить ее на абстрактных моделях и предположительно — в искусственно воссоздаваемых реальных ситуациях, где факты, на открытие которых рассчитана конкуренция, уже известны наблюдателю. Но в таких ситуациях теория не имеет никакой практической ценности... В лучшем случае мы можем надеяться установить, что общества, полагающиеся на конкуренцию, в конечном счете успешнее других достигают своих целей. Вот вывод, который, как мне кажется, замечательно подтвержден всей историей цивилизации» {3.8}.

Из этого извлечения можно ясно понять, чем определяется скепсис Ф. Хайека в отношении математических моделей рыночной экономики. В то же время обращение к эволюционной теории для обоснования преимущества рыночной экономики по сравнению с методами централизованного планирования привело Хайека к пересмотру онтологических посылок относительно природы общества в целом. Хайек стал рассматривать эволюцию рыночных структур как своего рода «третий мир»

по отношению к двум другим — миру природы с ее законами и миру рациональной человеческой деятельности {3.9}. Конкурентные структуры (т. е. не только экономика, но и биологические виды), с его точки зрения, очерчивают *пределы человеческой рациональности*, ставя перед исследователями задачу создания нового типа рассуждений — эволюционной эпистемологии (я бы сказал — эволюционной онтологии).

Хайек прекрасно осознает, что, подходя к исследованию рыночной экономики с позиций доступности знания, он разрушает представление о гармонии частных интересов и глобальных целей общества. Он вынужден отказаться от представления об экономике как о системе рационального «хозяйства», разрушая тем самым предложенную А. Смитом постановку вопроса об интересе как о внутренней регулирующей силе. Тем самым он идет гораздо дальше К. Менгера, который отказывался принимать идею о соответствии частного и общего интересов в рыночных условиях как догму (т. е. без обсуждения), но, по-видимому, не возражал бы против ее принятия как вывода (в согласии с общей методологией А. Смита). Хайек пишет: «В прямом смысле слова “хозяйство” — это организация или социальное устройство, где некто сознательно размещает ресурсы в соответствии с единой шкалой целей. В создаваемом рынком спонтанном порядке ничего этого нет, он функционирует принципиально иначе, чем собственно “хозяйство”. Он отличается, в частности, тем, что не гарантирует обязательного удовлетворения сначала более важных, по общему мнению, потребностей, а потом менее важных. . . » {3.9}. Хайек отказывается от представления о «хозяйстве», вводя идею «порядка». На этот концептуальный сдвиг мы должны обратить особое внимание. Хорошо известна роль идеи «порядка» в статистической физике, где «порядок» противостоит «хаосу». В статистической физике, так же как и в той концептуальной модели экономики, которую предлагает Хайек, порядок при определенных обстоятельствах устанавливается сам, так как такое состояние оказывается более вероятным, чем хаос (так, например, кристаллизуется жидкость при низкой температуре). Это происходит не потому, что каждая молекула «знает свое место». Движение молекул определяется лишь локальной информацией о положении соседей. Порядок устанавливается потому, что число возможных упорядоченных состояний с данной энергией оказывается очень высоким, большим, чем число хаотических состояний.

Тем самым можно попытаться трансформировать рассуждения Хайека, на основании только что упомянутой метафоры порядка, в

статистическую теорию экономической деятельности, пользующуюся в принципе теми же понятиями, что и статистическая физика. Нам представляется, что к этой идее сам Хайек подошел достаточно близко: «Бесспорно имеет смысл попытаться создать условия, при которых шансы любого случайно выбранного индивидуума на как можно более эффективную реализацию его целей были бы весьма высоки, даже если бы нельзя было заранее предугадать, достижению каких конкретных целей такие условия будут благоприятствовать, а каких — нет» {3.9}.

Тем самым Хайек предполагает, что в условиях, когда «общее благо» рассматривалось бы просто как сумма удовлетворенных интересов участников экономической деятельности, экономический институт рынка обеспечивал бы достижение «общего блага» просто за счет высокой вероятности удовлетворения интересов отдельных индивидуумов. В таких условиях невозможно предсказать, чем именно будет подобное «общее благо».

Такой подход к исследованию рынка вряд ли можно назвать изучением равновесия в том смысле, в котором эта метафора использовалась А. Смитом. Здесь уже нет «баланса», нет «сил», возвращающих систему к некоторому естественному состоянию. Хайек тонко чувствует это. Он пишет: «Создаваемый конкуренцией порядок экономисты обычно называют равновесием. Термин этот не вполне удачен, поскольку подобное равновесие предполагает, что все факты уже открыты (ср. мысли А. Смита о том, что цены дают информацию о «скрытых» параметрах, таких как прибыль или рента. — В. С.) и конкуренция, следовательно, прекращена. Понятию равновесия я предпочитаю понятие «порядка» — по крайней мере при обсуждении проблем экономической политики» {3.10}. Хайек делает далее ряд исключительно интересных замечаний, позволяющих предположить, что идеи о фундаментальной связи физической статистики с моделированием экономических процессов не были чужды ему и что его скептическое отношение к моделированию в экономике было связано с тем, что, возможно, и концептуальные конструкции, и математические методы, широко используемые в современной математической экономике, представлялись ему неадекватными. Хайек, по-видимому, просто не был знаком с основными положениями статистической физики, а потому и чисто статистические понятия связывал с кибернетическими идеями «обратной связи» — т. е. с механической метафорой. (Хотя справедливости ради необходимо заметить, что и в работах Н. Винера применение идеи обратной

связи к изучению поведения сложных систем во многом было инспирировано его интересом к проблемам статистической физики.) Обсуждая проблему взаимодействия экономических агентов рынка, Хайек пишет: «Это взаимоприспособление индивидуальных планов осуществляется по принципу, который мы вслед за естественными науками, *так же обратившимися к изучению спонтанных порядков* (курсив мой. — В. С.) или самоорганизующихся систем, стали называть “отрицательной обратной связью”» ... {3.13}. Чувствуя, что рынок работает скорее как спонтанно, статистически организованная система, в которой порядок возникает не потому, что у частей есть информация о целом и они (части системы) делают выбор в пользу порядка, а потому, что порядок просто наиболее вероятен в определенных условиях, Хайек все же не может полностью отказаться от использования механической метафоры при обсуждении принципов функционирования рынка.

Фактически Хайек выводит из приведенных рассуждений принцип универсальной пригодности рыночной экономики, отказываясь от разграничения тех условий и тех социальных проблем, при решении которых принципы рыночной экономики действительно оказываются эффективными, и тех условий и проблем, для которых их эффективность сомнительна.

На наш взгляд, это является результатом сосуществования в его представлениях без должного логического разграничения двух различных метафор, объясняющих функционирование рыночной экономики: механической метафоры А. Смита и статистической метафоры, развитой самим Хайеком. Говоря о статистической метафоре в цитированном выше отрывке, Хайек упоминает самоорганизацию. Действительно, имело место множество попыток доказать возможность самоорганизации исходя из принципов статистики {3.14}. Строго говоря, самоорганизация означает уменьшение энтропии системы. В замкнутой системе такое происходить не может, для этого необходим приток энергии снаружи, т.е. если мы говорим о самоорганизации в экономике, то такой процесс должен предполагать наличие не равновесия, а метастабильных состояний {3.15}. Нам представляется, что следует с крайней осторожностью использовать идею о самоорганизации в теории эволюции (см. главу 8).

Обсуждая проблему самоорганизации, Хайек говорит, что правила поведения участников рынка являются результатом длительного культурного процесса. Они не естественны и выполняются часто вопреки интересам экономических агентов. В целом же рынок *как система*

существует не потому, что из соблюдения правил поведения агенты рынка извлекают немедленную прибыль, а потому, что система правил поведения, определяющая рыночные институты, выигрывает в процессе конкуренции с другими системами правил поведения. Иными словами, имеется конкуренция между разными типами экономических институтов, и в «макровремени» рыночные институты оказываются более эффективными.

Это очень радикальный сдвиг во взглядах на природу рынка. Ставя экономические и, вообще говоря, социальные институты общества в эволюционный ряд, подобный процессу эволюции видов, Хайек изменяет онтологический уровень своего анализа — от анализа отдельных поведенческих актов переходит к анализу культурно обусловленных систем поведенческих принципов. В процесс конкуренции оказываются вовлеченными не люди, а культуры и социальные институты.

В таком подходе от метафоры механического равновесия уже ничего не остается. Конкурируют между собой динамичные системы различных типов. Подобные системы рассматривались с целью описания биологических механизмов эволюции на молекулярном уровне, где динамическими системами оказываются химически реагирующие потоки биологических веществ, а в процессе отбора выигрывают метастабильные состояния {3.16}.

Здесь не место рассматривать в деталях биологические теории, однако мы можем сделать один принципиальный вывод: если Хайек прав в своих взглядах на природу рыночной конкуренции и эволюции социальных институтов, то математические метафоры, используемые для построения моделей, описывающих подобные процессы, должны в корне измениться. Естественным языком для описания подобных систем будут теория информации, равновесная и неравновесная статистическая термодинамика. Изменения в языке описания не могут не привести к коренному изменению теории. Модели рыночного равновесия должны полностью изменить и свой смысл, и свой аппарат. Метафоры механического равновесия, динамической системы, обратной связи здесь уже вряд ли будут пригодными.

Интересно посмотреть, не было ли в истории экономической мысли попыток альтернативной концептуализации экономического равновесия в тот ранний период развития экономической теории, когда еще не сложилась неоклассическая ортодоксия. И действительно, такая попытка известна и принадлежит она Дэвиду Юму. Еще до появления

фундаментального труда А. Смита Юм написал несколько эссе об экономических проблемах {3.17}. В одном из них, под названием «О торговом балансе», он предлагает интересную метафору экономического равновесия. Обсуждая проблему соотношения количества денег в стране и цен на товары, Юм пишет:

«Предположим, напротив, что в течение одной ночи количество денег в Великобритании уплетерится. . . Не поднимутся ли отсюда цены на труд и товары до такой высоты, что ни одна из соседних наций не будет в состоянии покупать у нас что-либо, между тем как, наоборот, их товары сделаются сравнительно настолько дешевыми, что, несмотря на возможные запретительные законы, они наводнят наш рынок, и наши деньги будут уходить из страны, пока мы не сравняемся с соседями в отношении денег, и не утратим этого чрезмерного богатства, которое поставило нас в такое невыгодное положение. . . Вода, куда бы она ни проникала, везде стоит на одном уровне. Спросите у физиков причину этого явления: они ответят вам, что если бы вода в каком-нибудь месте поднялась, то увеличивающаяся тяжесть воды в этом месте, не будучи ничем уравновешена, должна была бы понизить ее уровень настолько, пока устанавливалось бы равновесие» {3.18}.

По видимости мы имеем здесь дело с механической метафорой равновесия. По существу же это именно та метафора (жидкость в сообщающихся сосудах), которая стала исходной для построения термодинамической теории. Примерно так выравнивается температура тел, приведенных в соприкосновение.

Смысл метафоры Юма не механический — он обращает внимание на выравнивание значения существенного параметра в двух системах, приходящих во взаимодействие. Не столь важно, что система приходит в состояние равновесия. Важно, что значения существенного параметра становятся одинаковыми, коль скоро есть контакт между системами. Обратим внимание на замечание Юма относительно возможных запретительных мер, которые тем не менее не могут воспрепятствовать достижению равновесия. Юм предполагает, что пути достижения равновесия (в данном случае способы проникновения иностранных товаров) столь разнообразны, что не стоит и обсуждать этот вопрос: важно, что такие пути всегда найдутся. Именно этот взгляд отличает модель равновесия Юма от модели равновесия А. Смита, который явно указывает механизм достижения равновесия. Идея Юма близка взглядам Ф. Хайека. Точно такое же различие возникает между механической метафорой равновесия и термодинамической метафорой, в которой

пути достижения равновесия не известны и не важны, важно только то, что *получающееся состояние наиболее вероятное*.

Взгляды Юма на экономическое равновесие не оказали на экономическую теорию влияния, сравнимого с влиянием идей А. Смита. Но мы видим, что некий зародыш нового смысла, а именно богатая возможностями теоретическая метафора, содержащаяся в эссе Юма, может быть в принципе развернута в теорию, пользующуюся совершенно иным языком и имеющую иную онтологию, в теорию, приводящую в некоторых случаях к существенно иным выводам, чем неоклассическая ортодоксия. По существу, взгляд Хайека на рынок как на систему, в которой способы действий невозможно исчислить и предугадать заранее, а равновесие или порядок достигается как наиболее вероятное состояние, вполне согласуется с метафорической концептуализацией Юма. Нам представляется, что можно сделать еще один шаг и попытаться построить экономическую теорию, которая бы систематически пользовалась языком теории информации и статистической термодинамики. Но для этого необходимо сначала «деконструировать» механическую метафору равновесия.

Глава 4

Метафоры равновесия: деконструкция

Использование математических моделей для описания реальности в значительной мере предопределяется базисной концептуализацией. Но сложность математических процедур, особенно для тех экономистов, которые не являются профессиональными математиками, часто создает такой «божественный сумрак», в котором концептуальные посылки модели просто исчезают. Практиков, использующих экономические теории, эта сложность ставит в уязвимое положение. Не понимая всех деталей математических конструкций, они вынуждены рассчитывать попросту на авторитет «научного знания».

Как мы уже отмечали выше, экономическая теория представляет собой тот нетривиальный случай, когда онтологические посылки, лежащие в основе математических моделей, сами являются в некотором смысле математическими моделями или, правильнее будет сказать, математическими метафорами. Базисной математической метафорой для классической модели рынка является механическое равновесие, и основная идея такой модели состоит в том, что малые отклонения системы от точки равновесия приводят к появлению «сил», которые заставляют систему вернуться в положение равновесия.

В некотором очень важном смысле «невидимая рука» рынка в этой модели эквивалентна механической силе. *Экономика рассматривается как динамическая система.* Время становится ключевым понятием, а математической структурой экономических моделей оказывается система обыкновенных дифференциальных уравнений. Равновесие, рассматриваемое в механических моделях, является положением, при котором «силы», приложенные к системе, уравновешивают друг друга, а «потенциальная энергия» имеет экстремум. Следовательно, при применении механической метафоры в экономической теории необходимы какие-то аналоги этих механических понятий. Подобная концептуализация совсем не безобидна. Она подразумевает, что при отклонении от положения равновесия система, будучи предоставленной самой себе, должна вернуться в это самое положение. В том, что касается

динамики рынка, неоклассическая экономическая теория унаследовала классический взгляд. Именно отсюда проистекают идеи оздоровления экономики через финансовую стабилизацию, составляющие сущность монетаристского подхода. Согласно этому подходу, достаточно отпустить цены при сохранении объема денежной массы, и система автоматически придет в равновесие. Практика «шоковых» реформ показывает, что это далеко не всегда так. Однако не в практике дело. Причины, по которым экономические системы не приходят в заранее вычисленную точку равновесия, требуют глубокого анализа, прежде всего на уровне математической метафоры. Вопрос состоит в том, достаточно ли вообще для описания экономического равновесия метафоры динамической системы.

Хорошо известно, что в физике существуют и иные подходы к концептуализации интуитивного понятия равновесия. И прежде всего это термодинамическое равновесие. В соответствии с этой концепцией система приходит в равновесие не потому, что ее влекут «силы», а потому, что это наиболее вероятное состояние системы, состоящей из множества частей, обладающих независимой динамикой. Система может быть и механической, управляемой законами динамики, но ее поведение, если она очень сложна, в среднем начинает определяться совсем другими законами, которые очень непохожи на динамические. Это различие в математическом описании изменения состояний системы совершенно фундаментально. Вместо движения во времени система просто изменяет свое положение в пространстве макроскопических параметров, оставаясь на некой поверхности, называемой уравнением состояния. Время не входит в число параметров, важных для описания системы. Уравнение состояния задается линейным соотношением между дифференциалами макроскопических переменных, или так называемым пфаффовым уравнением {4.1}. Меняя один или несколько макропараметров системы, мы просто сдвигаем ее по поверхности уравнения состояния. По существу, «с математической точки зрения», это изучение дифференциальной топологии поверхности, определяемой уравнением состояния.

Такая метафора существенно отличается от механической. Время здесь появляется не как внутренний параметр системы, определяющий ее динамику, а как внешний, а соотношения между дифференциалами изменяемых макропараметров определяются внутренней структурой системы, например разрешенными значениями энергий подсистем. Каратеодори в начале XX века показал, что термодинамику можно

логически построить исходя только из предположения о существовании «уравнения состояния», т.е. поверхности в пространстве термодинамических переменных, удовлетворяющей некоторому уравнению Пфаффа {4.2}. В этом случае второй закон термодинамики формулируется как существование в сколь угодно малой окрестности каждого состояния системы таких состояний, которые недостижимы без изменения энтропии. Такая, на первый взгляд «слабая» формулировка на самом деле означает наличие интегрирующего множителя у уравнения Пфаффа. Иными словами, простое постулирование существования «поверхности состояний» логически оказывается достаточным для того, чтобы построить мощный аппарат термодинамических уравнений. Соответственно, совершенно по-другому будет выглядеть и идея равновесия. Равновесие, в отличие от механической метафоры, в термодинамической метафоре будет означать не наличие особой точки системы дифференциальных уравнений или экстремума потенциальной функции, а перемещение по интегральной поверхности некоторого уравнения Пфаффа (по поверхности уравнения состояний). Есть серьезнейшие основания полагать, что пфаффовы уравнения (т.е. термодинамическая метафора равновесия) гораздо более адекватны для описания экономики, чем механическая метафора.

При некоторых дополнительных предположениях, например, в термодинамической системе, описываемой пфаффовыми уравнениями, будет реализовываться принцип Ле Шателье, а именно система будет демонстрировать поведение, препятствующее воздействиям, производимым в ней изменениями внешних макропараметров. Экономические системы действительно способны демонстрировать в определенных условиях такое поведение, например, увеличение цен на продукцию может стимулировать производство, чтобы поддержать уровень потребления. Попытка ввести тотальный контроль за уровнем производства или потребления запускает процессы коррупции власти, препятствующие осуществлению такого контроля, и т.п.

Крупнейшим открытием в свое время было то, что в физике процессы подобного гомеостаза, иногда выглядящие почти как разумное поведение, могут быть объяснены с помощью термодинамической метафоры, исходя из очень простых предположений, а именно из того, что система большую часть времени проводит в наиболее вероятном состоянии. В случае экономики ситуация может выглядеть так, как будто система управляется «невидимой рукой» А.Смита. Но когда

А. Смит писал свой труд, принципы термодинамики еще не были известны, а позднее метафора «невидимой руки» была переинтерпретирована в терминах механической метафоры, для чего концептуальная модель А. Смита, отождествляющего человеческие интересы с «силами» рынка, как мы видели, действительно давала серьезные основания.

Рассмотрим более подробно мысленный эксперимент А. Смита, о котором мы говорили в главе 2. А. Смит предполагает, что повышение цен на товары ведет к увеличению по крайней мере одной из составляющих цены: ренты, оплаты труда или прибыли, давая тем самым сигнал участникам экономической деятельности изменить свое поведение — ввести в обработку большее количество земли, увеличить предложение труда или расширить производство, что ведет к снижению цены. В мысленном эксперименте А. Смита есть, однако, одно очень слабое место. Непосредственно доступной информацией для участников рыночной деятельности *является только цена*. Если она повысилась или понизилась, причины этого изменения непосредственно не доступны наблюдателю. Вызваны ли эти колебания уже произошедшими изменениями в факторах, определяющих цену (например, увеличением или уменьшением прибыли)? Или дело в увеличении спроса? Такая информация обычно держится продавцом в строгом секрете.

В исследованиях представителей Австрийской школы содержатся серьезные аргументы в пользу гипотезы, что у участников рынка *нет полной информации о скрытых компонентах цены*, и, значит, они просто не могут вести себя так, как это следует из мысленного эксперимента А. Смита. Строго говоря, этот мысленный эксперимент основан на ложной посылке (предполагается, что информацию о прибылях и ренте дают цены; на самом деле более доступной информацией, хотя и не всегда, является уровень оплаты труда). Но из несостоятельности этого мысленного эксперимента вытекает, что следует поставить под сомнение и ту математическую метафору, которая лежит в основе классических представлений о динамике рынка, т. е. механическую метафору. Иными словами, онтология классической модели отнюдь не бесспорна. Как мы уже отмечали, Ф. Хайек, несмотря на яростное осуждение им социалистических идей регулирования экономики и приверженность рыночным принципам, отрицал либеральные взгляды на роль эгоистических интересов в рыночной экономике, прямо утверждая, что рыночная экономика базируется на соблюдении моральных принципов, обеспечивающих выживание данного сообщества в конкуренции с другими сообществами, и что эти принципы зачастую прямо

противоречат эгоистическим интересам. Сходные взгляды развивал и М. Вебер в своем знаменитом труде о роли протестантской этики в рождении капиталистической экономики. Вебер показал, что протестантская этика, а именно скрупулезная честность в ведении дел и трудолюбие, в рамках сложившегося в Северной Европе варианта капитализма становится условием обогащения. Интересы членов сообщества удовлетворяются в результате соблюдения моральных принципов в сообществе в целом, что находится в противоречии с идеей А. Смита, заключавшейся в том, что общее благосостояние является следствием удовлетворения эгоистических интересов.

Из анализа результатов, полученных основателями неоклассической экономической теории, в частности К. Менгером, видно, что либеральная догма о роли эгоистических интересов индивидуума как средство создания общего блага не связана с полученными ими позитивными результатами относительно существования равновесия. Эта догма доставалась многим из неоклассиков в наследство от социальной онтологии А. Смита. Но в построенных впоследствии математических моделях экономического равновесия, таких как, например, модель Эрроу – Дебре – Маккензи, при доказательстве существования равновесия предполагалось, что субъекты экономической деятельности максимизируют свои функции полезности. Тем самым аргументы о принципиальной неполноте информации у участников рынка игнорировались.

По-видимому, этот постулат и был одной из причин неприятия представителями Австрийской школы идеи применения математических методов в экономике. Как нам представляется, их не удовлетворяла не столько математика сама по себе, сколько та механическая метафора, которая использовалась для построения моделей равновесия, метафора, в которой полезность в конечном счете выступала в роли потенциала классической динамической системы. Впрочем, о неудовлетворенности подобными моделями равновесия можно было услышать не только от противников математической экономики, но и от ее наиболее горячих сторонников, часть которых была озабочена {4.3} отсутствием в рамках механической метафоры приемлемой теории стабильности экономического равновесия. Прежде всего эта неудовлетворенность была связана с невозможностью во всех случаях рассматривать избыток спроса как непрерывную функцию цены. Противоречащие примеры достаточно хорошо известны (см., например, работы Брайана Артура).

Можно, конечно, попытаться «улучшить» теорию, оставаясь в рамках механической метафоры и либеральной догмы. Нам, однако, аргументы Австрийской школы представляются достаточно серьезными для того, чтобы, не отказываясь от использования математических моделей в экономике, подумать о смене математической метафоры. И аргументы для подобной смены представляются нам достаточно весомыми. Как мы убедились выше, хайкевское понимание рынка как процедуры открытия подчеркивает принципиальную роль информации в рыночной экономике (в отличие от центральной роли ненаблюдаемых функций полезности в неоклассических исследованиях, основанных на механической метафоре равновесия). Нам представляется естественным попытаться построить модель рыночного равновесия, основываясь на математической теории информации {4.4}. Как показал Бриллюэн, математическая теория информации по существу тождественна термодинамике, если отождествлять информацию и негэнтропию.

Количество информации, полученное при взаимодействии субъекта с системой, измеряется в теории информации логарифмом относительного уменьшения количества рациональных возможностей выбора, существовавших у субъекта до получения информации. Нетрудно увидеть, что в такой формулировке теория информации непосредственно связана с описанием поведения субъектов рынка. Тем самым энтропия системы становится важнейшим параметром описания экономической ситуации. Сама по себе эта мысль отнюдь не нова {4.5}. Однако до настоящего времени идея применения энтропии использовалась лишь в специальных задачах (в основном в транспортных задачах экономики, а не для построения теории экономического равновесия). Для построения термодинамической теории экономического равновесия одной энтропии недостаточно, необходимо вводить весь спектр стандартных термодинамических переменных: температуру, давление, химический потенциал, свободную энергию и т. п.

Базисной идеей термодинамического подхода к анализу экономического равновесия является представление о том, что если система описывается на двух онтологических уровнях — «макроскопическом» и «микроскопическом», причем одному макроскопическому состоянию отвечает множество микроскопических (их количество называется статистическим весом макроскопического состояния), то система, вообще говоря, находится в наиболее вероятном состоянии, т. е. в состоянии с наибольшим статистическим весом.

Условия применимости термодинамического подхода можно сформулировать в очень общих терминах. В этом случае становится ясно, что применимость термодинамики выходит за рамки исследования физических систем. Представим себе Большую Систему, которая может быть декомпозирована на большое число Малых Систем, обладающих независимой динамикой. Допустим, что состояние Большой Системы и ее достаточно больших частей описывается некоторым количеством макропараметров, которые аддитивны, т. е. если мы расчленим Большую Систему на части, то значения макропараметров для системы в целом получаются как суммы значений этих же макропараметров для частей и сохраняются для системы в целом. Таким примером в физике является энергия в пренебрежении той ее частью, которая является поверхностным взаимодействием между частями Большой Системы, что и служит основой для применения термодинамических методов в физике. Пусть далее каждая из рассматриваемых систем обладает также набором микропараметров, которые могут принимать различные значения при одном и том же значении макропараметра. Их значения определяются динамикой системы и, вообще говоря, интересуют нас только в одном аспекте. Зафиксировав значение микропараметров, мы знаем точное состояние системы и можем сказать, сколько различных микросостояний соответствует одному макросостоянию. Теперь мы можем ввести статистический вес — количество микросостояний, соответствующих одному макросостоянию, и энтропию — меру неопределенности макросостояния системы, которая является функцией количества микросостояний.

Если система такова, что микросостояния частей Большой Системы статистически независимы, то мы можем вычислить статистический вес Большой Системы, зная статистические веса ее частей. Для этого достаточно просто перемножить эти статистические веса, т. е. общее количество микросостояний Большой Системы определяется чисто комбинаторным способом. Если мы хотим, чтобы мера неопределенности (энтропия) тоже была аддитивной характеристикой системы, то мы должны определить ее как логарифм статистического веса. Логарифм произведения равен сумме логарифмов, и мы получим для Большой Системы, в которой части статистически независимы, аддитивную меру неопределенности — энтропию.

Если считать, что мы ничего не знаем о динамике системы кроме того, что она очень сложна, то естественным предположением о вероятности значения любого макропараметра будет утверждение, что

эта вероятность пропорциональна числу соответствующих микросостояний, т. е. статистическому весу. Так как логарифм — функция монотонная, то наиболее вероятное состояние, т. е. состояние с наибольшим статистическим весом, будет в то же время и состоянием с наибольшей энтропией, т. е. с наибольшей мерой неопределенности. Это и есть смысл второго закона термодинамики — энтропия стремится к возрастанию, потому что любая часть Большой Системы переходит в наиболее вероятное состояние при взаимодействии с другими частями. Если мы теперь вычленим из Большой Системы некоторую часть и начнем наблюдать за распределением вероятности ее состояний, то, как выясняется, мы сможем это сделать, рассматривая оставшуюся часть Большой Системы как термостат, т. е. некий резервуар, обеспечивающий равновесное (в термодинамическом смысле) распределение состояний выделенной нами подсистемы. Для определения формы этого распределения оказывается необходимым ввести «температуру», равную обратной величине от производной энтропии Большой Системы по макропараметру, для которого выполняется закон сохранения. Появление параметра равновесия — температуры — это просто результат условия, что между частями системы не будет происходить обмен потоками сохраняющегося макропараметра. Если таких сохраняющихся макропараметров несколько, то и параметров равновесия оказывается столько же, сколько сохраняющихся макропараметров. Заметим, что мы ни слова не сказали здесь ни о физике, ни о физических законах и величинах. Все приведенные рассуждения справедливы в отношении Больших Систем любой природы, для которых естественны сделанные выше предположения. Они достаточно естественны для больших экономических систем, если рассматривать в качестве макропараметров совокупный доход и производство или потребление товаров, а в качестве микропараметров — распределение дохода или производства, или потребления товаров по субъектам экономической деятельности. При таком подходе к исследованию экономического равновесия мы ликвидируем необходимость исследования динамики подсистем, нам достаточно знать институциональные ограничения на распределение доходов и товара. Тем самым мы не только имеем новый подход к описанию экономического равновесия, но и способ исследовать влияние институциональных ограничений на состояние равновесия системы. В частности, мы получаем возможность построить математический аппарат для теории трансакционных издержек, исследовать количественно влияние асимметрии информации на поведение агентов рынка и многое другое.

Следует прямо сказать, что более чем столетние попытки доказать выводы термодинамики в рамках теоретической физики исходя из уравнений динамики не привели к значительным успехам. Но никто не сомневался, что этот термодинамический принцип работает сам по себе, вне зависимости от возможности редукционистских объяснений. Наличие двух уровней описания системы ставит проблему выделения некоторых параметров — может быть совершенно неочевидных, — равенство которых является условием равновесия, интуитивно понимаемого как отсутствие значимых потоков между отдельными частями системы. Если макропараметры функционально связаны между собой, а получающая из этой взаимосвязи поверхность уравнения состояния дифференцируема, то возникающая линейная зависимость между дифференциалами макропараметров дает пфаффовы уравнения термодинамики. Как мы уже отмечали выше, идея термодинамического равновесия вполне годится и для описания экономических систем, которые, так же как и физические макросистемы, имеют два уровня описания и очевидно наблюдаемые потоки перемещения денег, товаров и людей. И описание это должно быть вполне эквивалентно термодинамическому описанию физических систем, но при этом параметры равновесия — температура, давление, химический потенциал — приобретут, конечно, совершенно иные интерпретации, связанные именно со спецификой описания экономических систем.

Интересно заметить, что термодинамические понятия очень часто «наивно» употреблялись как метафоры при описании экономических систем: биржа может быть перегрета, экономика страны разогревается или охлаждается, биржевые индексы уподобляются термометру и т. п. Одной из задач настоящей работы является попытка показать, что в подобных наивных метафорах зачастую гораздо больше смысла, чем в сложных математических построениях, основанных на механической метафоре равновесия, и что может быть развита термодинамическая теория, основанная на термодинамической метафоре, схватывающая экономическую реальность лучше, чем системы уравнений, написанные на основе механической метафоры.

Глава 5

Термодинамическая модель экономики

§ 5.1. Энтропия и температура

Мы начнем построение термодинамической модели экономики с самого простого случая, пытаясь формализовать концептуальные конструкции, извлеченные нами из работ Юма и Хайека. Рассмотрим экономическую систему, состоящую из N экономических субъектов, между которыми распределяется доход, остающийся для системы в целом постоянным. Предположим, что существует множество способов перераспределения дохода и мы не в состоянии предугадать все возможные способы такого перераспределения. (Заметим, что очень важное предположение находится в соответствии с идеей Хайека о рынке как о системе открытий новых процедур и операций.) Предположим также для простоты, что доход квантованный, т. е. выражается целыми числами (что вполне естественно, так как деньги квантовые, т. е. существует наименьшая денежная единица, принимаемая во внимание в экономических расчетах). Тогда для каждой величины совокупного дохода (E) можно подсчитать количество тех способов распределения дохода по N экономическим субъектам, которые соответствуют этой величине совокупного дохода, т. е. определить $n(E, N)$ (статистический вес состояния с доходом E).

Теперь можно ввести понятие равновесия. Мы будем говорить, что две системы (в описанных выше предположениях) находятся в состоянии равновесия, если при приведении в контакт распределение дохода между ними не изменяется, т. е. нет потока дохода от одной системы к другой. Контакт здесь снова понимается как открытый список возможных способов перераспределения. Заметим, что подсчет статистического веса может быть произведен при самых разнообразных ограничениях, наложенных на доходы экономических субъектов, т. е. для различных систем функции $n(E, N)$ могут быть различными. Здесь пока не идет речь о рынке — модель более простая. Ограничения на

доходы могут поддерживаться силой, однако способы поддержания таких ограничений для нас здесь не важны.

Если приводятся во взаимодействие две системы, одна с совокупным доходом E_1 и числом экономических субъектов N_1 , а другая соответственно с E_2 и N_2 , то объединенная система будет иметь совокупный доход $E_1 + E_2$ и число субъектов $N_1 + N_2$. Как же определить, при каких условиях будет иметь место равновесие, т.е. не будет потока дохода от одной системы к другой?

Для того чтобы построить соответствующую теорию, мы должны сделать еще одно важнейшее предположение о природе рассматриваемых систем. А именно мы полагаем, что все элементарные состояния распределения дохода по экономическим субъектам равновероятны. Основным аргументом для принятия этого предположения является симметрия состояний. Так же как обычно в теории вероятностей и статистике, равновероятность элементарных событий вводится просто потому, что у нас нет оснований предпочесть одно распределение вероятностей другому. Таким образом, для теории принципиально важным моментом является учет всех возможных состояний распределения. Изменение функции $n(E, N)$, естественно, изменит и результаты, получаемые в данной модели. В статистической физике обоснованию положения о равновероятности элементарных состояний посвящена огромная литература, но для большинства используемых моделей доказать это положение не удастся. Оно остается принципом, оправданным замечательной эффективностью статистической теории и блестящим согласием результатов с экспериментами.

Посмотрим теперь, как определить состояние равновесия, т.е. условия, при которых доход не будет перераспределяться между двумя системами, находящимися в контакте. Пусть доход перераспределяется, т.е. при приведении двух систем во взаимодействие часть ΔE дохода перейдет от системы 1 к системе 2. При этом изменится состояние систем, и их статистические веса станут равными $n_1(E_1 - \Delta E, N_1)$ и $n_2(E_2 + \Delta E, N_2)$ соответственно.

Исходя из принципа равновероятности состояний максимально вероятно найти объединенную систему в таком состоянии, в котором ее статистический вес максимален, т.е. мы должны найти максимум функции $n_{\text{об}}(E_1, E_2, N_1, N_2)$ при условии, что суммарный доход $E_1 + E_2$ постоянен. Статистический вес объединенной системы в случае, если первая система обладает доходом E_1 и вторая доходом E_2 и переход

экономических субъектов из одной системы в другую невозможен, равен

$$n_{об}(E_1, E_2, N_1, N_2) = n_1(E_1, N_1) n_2(E_2, N_2), \quad (5.1)$$

т. е. число возможных состояний составной системы получается перемножением чисел возможных состояний составляющих ее систем. Так как $E_1 + E_2 = E$, то $\Delta E_1 = -\Delta E_2$ при перераспределении дохода.

Вместо того чтобы искать максимум функций $n_{об}$, мы можем искать максимум функции $\ln n_{об}$, так как логарифм — функция монотонная. Это более удобно, так как $\ln n_{об} = \ln n_1 + \ln n_2$, и условие максимума оказывается очень простым:

$$\frac{\partial}{\partial E_1} \ln n_1(E_1, N_1) = -\frac{\partial}{\partial E_1} \ln n_2(E - E_1, N_2) \quad (5.2)$$

или, так как $dE_1 = -dE_2$,

$$\frac{\partial}{\partial E_1} \ln n_1(E_1, N_1) = \frac{\partial}{\partial E_2} \ln n_2(E_2, N_2). \quad (5.3)$$

Таким образом, две системы находятся в равновесии, если они характеризуются одинаковым значением параметра $\frac{\partial}{\partial E} \ln n(E, N)$. В термодинамике логарифм статистического веса называется энтропией системы, а производная энтропии по энергии — обратной температурой: $\frac{\partial}{\partial E} \ln n(E, N) = \frac{1}{\tau}$. Для того чтобы контактирующие системы находились в равновесии, их температуры должны быть равны.

Приведенный выше вывод можно найти в любом учебнике статистической термодинамики [5.1]. Здесь нам необходимо обсудить, насколько релевантен такой подход для экономических систем, хотя бы в рамках очерченной выше модели. В означенных предположениях мы получим, что экономическая система будет находиться в состоянии равновесия внутри себя, если она достаточно однородна: при разделении ее на части не будет потока дохода из одной части в другую. Предполагается, конечно, что однородность сохраняется только при делении на не слишком мелкие части, в противном случае мы будем наблюдать значительные флуктуации потоков.

Такое же положение дел имеется и в физической статистике. В малых частях системы наблюдаются значительные флуктуации. В физике вопрос о равновесном состоянии малых частей системы решается

следующим образом: предполагается (и это предположение тесно связано с постулатом о равной вероятности элементарных состояний), что длительное наблюдение за малой частью системы дает правильное распределение вероятности ее возможных состояний. Это одна из формулировок так называемой эргодической гипотезы {5.2}.

Сходное предположение можно сделать и для экономических систем. Мы видим, что в случае использования термодинамической модели для распределения дохода в экономической системе появляются две чрезвычайно важные величины — энтропия и температура, и незнание этих параметров не позволяет правильно судить о равновесии в системе, так как система (без изолирующих перегородок) находится в равновесии только тогда, когда ее подсистемы имеют одинаковую температуру, а температуру невозможно вычислить, не зная энтропию.

В физике для измерения температуры применяют термометры, т. е. специальные устройства, уравнения состояния которых известны и которые проградуированы, так что, приведя это устройство в контакт с неким телом, его температуру можно узнать по изменению состояния термометра. В свете сказанного в первой главе о возможностях эксперимента в экономике следует очень осторожно относиться к идеям создать подобное устройство для измерения экономической температуры, но ниже мы увидим, что в некотором смысле такими устройствами могут считаться товарные и фондовые биржи.

Основное возможное возражение против термодинамического подхода к экономике — это число «частиц» в экономических системах (в данном примере — число субъектов экономической деятельности), которое значительно меньше числа частиц в обычно рассматриваемых физических системах. Если в физических системах число частиц, как правило, сопоставимо с числом Авогадро, то в экономических системах число участников экономической деятельности составляет приблизительно $10^3 - 10^8$.

Дисперсия, т. е. корень из типичного среднеквадратичного отклонения параметров, в статистических системах имеет порядок $\frac{1}{\sqrt{N}}$, где N — число частиц. Таким образом, если статистические ошибки, связанные с конечностью числа частиц в физических задачах, совершенно ничтожны, то в экономических задачах следует ожидать существенно больших погрешностей $\approx \frac{1}{\sqrt{10^3}}$, т. е. 3% или менее. Нам представляется все же, что вряд ли можно считать это большой неточностью, учитывая крайнюю грубость экономических моделей. В последнее время и в

физике наблюдается тенденция применять термодинамический подход к системам с относительно малым числом частиц $\sim 10^3 - 10^8$ (в физике атомного ядра, физике кластеров и т. п.) {5.3}, причем получаемые результаты оказываются неплохими не только в качественном, но и в количественном отношении. Здесь действуют, по-видимому, следующие факторы: и модели взаимодействия, и данные о потенциалах взаимодействий во многих случаях настолько неточны, что не имеет смысла добиваться большой точности в статистике — это будет просто превышением точности для исходной модели. Сходная ситуация, на наш взгляд, будет иметь место и в случае применения идей термодинамики к экономическим проблемам.

Здесь следует сделать одно важное замечание. Статистические модели показывают, что энергия системы имеет интересное свойство, которое и обеспечивает успех термодинамической теории: если в системе существует какой-либо параметр неоднородности, то при большом числе частиц система имеет очень резкий максимум энтропии относительно этого параметра, который достигается, когда параметр неоднородности стремится к нулю. Тем самым не только максимально однородное состояние является самым вероятным, даже небольшие отклонения от него *крайне маловероятны*. Для иллюстрации этого положения рассмотрим энтропию одной очень простой системы, анализ которой будет весьма полезен нам в дальнейшем.

Пусть система распределения дохода между участниками экономической деятельности устроена следующим образом: участник может иметь либо нулевой доход, либо фиксированный доход A . (Представим себе, что система власти устроена таким образом, что все отклонения ликвидируются властью через специальную перераспределительную систему. Пример не такой уж нереальный, если учесть опыт экономики некоторых стран, стремившихся придерживаться уравнилельных принципов распределения дохода при условии, что часть населения вообще исключена из экономической жизни и имеет очень низкий уровень дохода.) Тогда легко найти, что если общее число экономических субъектов N , число субъектов с доходом A равно L , а величина совокупного дохода LA , то число возможных состояний системы с этим уровнем дохода равно C_N^L . Если сравнить статистические веса состояний с различными уровнями совокупных доходов, то наибольшим статистическим весом обладает состояние с $E = LA$, где $L = N/2$ (будем для простоты считать N четным). Если ввести параметр неоднородности

$m = |L - N/2|$, т. е. модуль разности между числом субъектов с нулевым доходом и числом субъектов с доходом A , деленным пополам, то применение формулы Стирлинга для факториалов дает следующее простое приближение для зависимости статистического веса от параметра неоднородности:

$$n(N, m) = 2^N \left(\frac{2}{\pi N} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(-\frac{2m^2}{N} \right). \quad (5.4)$$

Отсюда видно, что статистический вес (а следовательно, и энтропия) имеет очень острый максимум в зависимости от параметра неоднородности, ширина этого максимума составляет $1/\sqrt{N}$. Из принципа равновероятности элементарных состояний немедленно следует, что энтропия взаимодействующих систем будет увеличиваться. Наиболее вероятным состоянием будет состояние системы с наибольшим статистическим весом, а значит, и с наибольшей энтропией. Так как число возможных состояний системы быстро падает с увеличением параметра неоднородности, то вероятность найти систему в таком состоянии будет крайне мала, если параметр неоднородности будет больше некой величины, определяемой числом частиц в системе (в приведенном выше примере величина $1/\sqrt{N}$).

§ 5.2. Термостат и функция распределения дохода

Рассмотрим теперь вопрос о том, как распределяется доход по субъектам экономической деятельности. В рамках термодинамической модели оказывается, что существует универсальная функция распределения, форма которой, если число субъектов остается постоянным, зависит только от температуры. Эта ситуация хорошо известна в статистической термодинамике, где такое распределение называется распределением Больцмана.

Чтобы получить это распределение, представим себе, что экономическая система X очень велика, и выделим в ней небольшую часть Y . Назовем большую часть системы резервуаром. Если мы теперь зафиксируем какое-либо состояние малой подсистемы с доходом E_1 , то, так как общий доход системы мы полагаем постоянным, вероятность малой подсистемы иметь доход E_1 пропорциональна числу возможных состояний резервуара с доходом $E - E_1$. Тогда отношение вероятности P_1 того, что подсистема имеет доход E_1 , к вероятности того, что она

имеет доход E_2 , равно отношению соответствующих вероятностей для резервуара:

$$\frac{P_1(E_1)}{P_2(E_2)} = \frac{n(E - E_1, N)}{n(E - E_2, N)}. \quad (5.5)$$

Но так как $n = e^{S(E, N)}$, где $S(E, N)$ — энтропия системы, то мы можем записать

$$\frac{P_1(E_1)}{P_2(E_2)} = e^{S(E - E_1, N) - S(E - E_2, N)} = e^{\Delta S}. \quad (5.6)$$

Если резервуар очень велик по сравнению с подсистемой, которая нас интересует, то мы можем разложить ΔS в первом порядке по ΔE в ряд Тейлора и получить, что $\Delta S = \frac{E_1 - E_2}{\tau}$, где τ — температура резервуара $\left(\frac{1}{\tau} = \frac{\partial S}{\partial E}\right)$.

Отсюда

$$\frac{P_1(E_1)}{P_2(E_2)} = e^{-\frac{E_1 - E_2}{\tau}}. \quad (5.7)$$

Это и есть формула для распределения вероятностей для малой системы.

Если же подсистема Y при доходах E_1 и E_2 имеет число возможных состояний соответственно $n_Y(E_1)$ и $n_Y(E_2)$, то формула распределения будет выглядеть так:

$$\frac{W_Y(E_1)}{W_Y(E_2)} = \frac{n_Y(E_1)}{n_Y(E_2)} e^{-\frac{E_1 - E_2}{\tau}}. \quad (5.8)$$

Здесь мы перешли от вероятности состояния P к вероятности уровня дохода W . Заметим, что при получении этой формулы мы не делали никаких предположений, кроме двух: об однородности системы, т. е. возможности разбить ее на взаимодействующие части без возникновения потоков дохода от одной части к другой, и о сохранении общего дохода. Приведенный вывод полностью повторяет традиционный вывод распределения Больцмана в статистической термодинамике.

Здесь мы имеем нечто большее, чем просто мысленный эксперимент, проверяющий логику рассуждений. При наличии подходящих

данных и аккуратной методики этот вывод можно проверить для реальных экономических систем, сравнив, например, функцию распределения доходов в различных отраслях экономики. Такого рода проверки не входят в задачу настоящей работы, посвященной логической структуре экономической теории. Мы уже отмечали, что реальная ситуация — это не ситуация эксперимента, поэтому обнаружение в реальности отклонений от выводов, полученных в логических моделях, подобных предлагаемой в данной книге, ничего не доказывает и не опровергает. Необходимо исследовать, в какой мере в реальности выполнены постулаты логической модели и что будет, если эти постулаты в некоторой специально приготовленной ситуации будут реализованы.

Больцмановская функция распределения дохода реализуется в системе, находящейся в контакте с резервуаром при определенной температуре. В изолированной системе, наоборот, температура определяется через энтропию и доход.

Больцмановское распределение дохода позволяет определить взаимосвязь между средним доходом экономического агента в системе и температурой. Пусть в системе нет никаких ограничений на доход экономического агента и все уровни дохода разрешены. Такая ситуация соответствует обычным представлениям о рыночной экономике. Тогда с помощью больцмановской функции распределения легко вычислить средний доход экономического агента:

$$\bar{E} = \frac{\int_0^{\infty} E e^{-\frac{E}{\tau}} dE}{\int_0^{\infty} e^{-\frac{E}{\tau}} dE} = \tau. \quad (5.9)$$

Мы видим, что в случае отсутствия ограничений на доход средний доход оказывается равным температуре. Здесь интегрирование велось до ∞ , хотя, конечно, в реальной системе совокупный доход всей системы ограничен. Но из-за быстрого убывания экспоненты это несущественно, если совокупный доход много больше среднего дохода одного субъекта, что в большой системе выполняется. Далее мы увидим, что в условиях ограничения на доход взаимосвязь среднего дохода и температуры может быть совсем иной.

В заключение этого параграфа отметим, что, как и в статистической термодинамике, в термодинамической модели экономики очень

полезной оказывается величина, называемая статистической суммой:

$$Z_0 = \sum_E n(E, N) e^{-\frac{E}{\tau}}. \quad (5.10)$$

Здесь сумма берется по всем возможным значениям E .

Вероятность того, что система, взаимодействующая с термостатом, при температуре τ будет иметь энергию E , выражается через статистическую сумму

$$P(E) = \frac{e^{-\frac{E}{\tau}}}{Z_0}. \quad (5.11)$$

При фиксированном числе экономических агентов средний доход в системе при температуре τ равен

$$\langle E_{\text{ср}} \rangle = \frac{\sum_E E n(E, N) e^{-\frac{E}{\tau}}}{Z_0} = \tau^2 \frac{\partial}{\partial \tau} \ln Z_0, \quad (5.12)$$

т. е., зная зависимость статистической суммы от температуры, мы можем получить значение среднего дохода системы дифференцированием. Эти соображения снова полностью соответствуют стандартным выводам статистической термодинамики.

Рассмотрим теперь один парадоксальный пример, который показывает, что применение термодинамического подхода к экономическим системам может дать очень неожиданные результаты.

§ 5.3. Взаимодействие систем с ограничением на доходы и свободных рыночных систем

Исследуем более подробно «спиновую» модель, к которой мы уже обращались выше, с двумя возможными значениями дохода — 0 и A . Несмотря на ее абстрактность, эта модель очень полезна, так как схватывает существенные особенности систем с ограничением доходов. Посмотрим, что произойдет, если такая «спиновая» система вступит во взаимодействие с чисто рыночной системой без ограничения доходов. В рыночной системе энтропия растет с увеличением энергии и температура всегда положительна. В системе с ограничением доходов это не всегда так. Действительно, если число L субъектов экономики с ненулевым доходом становится больше половины общего числа субъектов

N , число возможных состояний системы n , которое равно C_N^L , начинает уменьшаться и обратная температура

$$\frac{\partial}{\partial E} \ln n = \frac{1}{\tau} \quad (5.13)$$

становится отрицательной. Что означает отрицательная температура? Этот феномен был хорошо изучен в связи с развитием лазерной техники {5.4}. Отрицательная температура означает инверсную заселенность, ситуацию, когда уровни с более высокой энергией заселены больше, чем уровни с более низкой энергией. В такой ситуации система готова при первой же возможности сбросить энергию, вступив в любой контакт с системой, имеющей положительную температуру.

Что же мы имеем в случае рассмотренной нами модели распределения дохода в экономической системе? Если в контакт вступают две системы при положительной температуре, то перераспределение дохода идет от системы с более высокой температурой к системе с более низкой температурой. Мы видели, что в случае свободной рыночной модели температура равна среднему доходу на одного субъекта деятельности. Перераспределение дохода от более богатой системы к более бедной вполне согласуется с интуицией, т.е. в случае взаимодействия свободных рыночных систем ничего контринтуитивного не происходит. Если взаимодействуют свободная рыночная система и система с ограничением доходов (спиновая модель), при определенных обстоятельствах имеет место контринтуитивный процесс — доход перераспределяется от более «бедной» системы к более «богатой».

Рассмотрим две системы X и Y . X — свободная рыночная система, в ней температура равна среднему доходу на одного субъекта рынка. Система Y — спиновая модель с ограничением доходов и максимальным доходом A . Пусть температура системы X $\tau_x > NA$, а число субъектов системы Y , имеющих ненулевой доход, больше половины, т.е. ее температура отрицательна. Что произойдет при взаимодействии систем? Энтропия совокупной системы будет возрастать, энтропия системы Y также будет возрастать, а это значит, что система Y будет разупорядчиваться, передавая часть своего дохода системе X , несмотря на то, что средний доход в системе X и так уже выше, чем средний доход в системе Y .

Система Y , в которой доходы ограничены, будет беднеть и дальше, а система X с неограниченными доходами будет и дальше богатеть. Это перераспределение доходов будет не следствием насилия, а просто

результатом того, что объединенная система стремится к наиболее вероятному состоянию. Насилие в такой системе играет определенную роль, но это не насилие системы X по отношению к системе Y , а насилие внутри системы Y , препятствующее росту доходов выше определенного предела.

Если говорить о процессах в реальных экономиках, то наш модельный пример позволяет сделать два важных вывода:

1) политика жесткого ограничения доходов опасна, если контакт со свободным рыночным окружением неустраим;

2) если политика жесткого ограничения доходов уже проводится и экономика, в которой эта политика реализована, изолирована от свободной рыночной среды, то результат рыночных реформ будет зависеть от порядка, в котором совершаются два ключевых действия — освобождение доходов и установление контакта с свободной рыночной средой. Для нерыночной страны необходимо сначала освободить доходы и лишь после установления равновесия «открывать» экономику. В противном случае ресурсы будут высосаны из открываемой экономики вовне еще до установления равновесия.

Конечно, аргументы, которые мы приводим здесь, основаны на идеализированных моделях. Но представляется, что наше рассмотрение позволяет объяснить различия, наблюдающиеся при проведении рыночных реформ в Восточной Европе с одной стороны и в Китае и Вьетнаме с другой. В Восточной Европе реформы проводились по «шоковому» способу: страны открывались вовне, не создав внутренней рыночной системы. Результаты в большинстве случаев оказались катастрофическими (бегство капиталов и падение производства). В Китае и Вьетнаме порядок действий был обратный: вначале высвобождались доходы внутри страны, и лишь затем страна медленно приоткрывалась по мере создания рынка внутри. Результатом такой политики стал быстрый экономический рост.

Очень интересна другая интерпретация взаимодействия системы с ограниченными доходами и свободного рынка.

Будем рассматривать спиновую систему с фиксированным доходом A как L ставок зарплат для сообщества из N рабочих. Нетрудно видеть тогда, что при фиксированной величине зарплаты A и увеличении общей суммы зарплаты (т. е. числа ставок) температура системы становится отрицательной при $L > \frac{N}{2}$. Это означает, что в равновесии со свободной рыночной системой половина рабочих не будет получать зарплату, т. е. они будут безработными, так как это состояние

гораздо более вероятно, чем другие состояния с большей занятостью. Безработица в этой модели возникает как характеристика равновесной системы, т. е. разрешается известный парадокс, мучивший экономистов неоклассической школы: почему рыночное равновесие не работает в случае рынка рабочей силы {5.5}.

Нетрудно видеть, что отрицательная температура может возникнуть в системе, имеющей ограничения на зарплату *сверху*. Действительно, будем увеличивать общий размер заработной платы для сообщества из N рабочих в условиях ограничения зарплаты величиной A . Если суммарная зарплата E станет равной NA , то энтропия системы обратится в 0. Это означает, что, по крайней мере для некоторого интервала $E_0 < E < NA$, температура $\tau = \frac{1}{\partial S / \partial E}$ будет отрицательной, т. е. при любом контакте со свободной рыночной системой суммарная зарплата упадет по крайней мере до E_0 . Если, кроме того, существует минимальная зарплата B , то число работающих будет определяться следующим неравенством: $L < \frac{E_0}{B}$. Это ограничение не даст упасть зарплате, и появится определенный уровень безработицы, который будет больше, чем $\alpha = \frac{N - L}{N}$. В реальности уровень зарплаты всегда ограничен снизу уровнем биологического выживания. Поэтому при ограничении зарплаты сверху появляется возможность безработицы.

Приведенный анализ показывает, что в экономической системе возникает безработица в состоянии равновесия с положительной температурой, если зарплата ограничена одновременно сверху и снизу.

На наш взгляд, это в определенных обстоятельствах является подтверждением кейнсианских аргументов о причинах безработицы. Если говорить о реальных ситуациях, то предприниматели стремятся ограничить зарплату сверху, профсоюзы — снизу. Именно эта комбинация и должна в соответствии с нашей моделью приводить к безработице.

§ 5.4. Миграционный потенциал

Теперь мы можем несколько обобщить термодинамический подход к экономике. Заметим прежде всего, что мы делаем в сущности единственное — изучаем способы нахождения наиболее вероятного состояния системы, состоящей из очень большого числа независимых подсистем. Весь аппарат статистической термодинамики: энтропия, температура, химический потенциал, различные обобщенные силы — все это

просто способы нахождения наиболее вероятного состояния. В частности, в понятии энтропии и во втором законе термодинамики нет никакой мистики — энтропия в системе увеличивается просто потому, что система, находящаяся в маловероятном состоянии, под действием разного рода случайных факторов будет переходить в более вероятное состояние. При этом форма энтропии — логарифм статистического веса — определяется просто тем, что для получения статистического веса комбинированной системы, состоящей из нескольких независимых подсистем, статистические веса этих подсистем следует перемножить. В то же время для исследования экстремумов функций, определенных на комбинированной системе, в силу правил дифференцирования удобно иметь дело с аддитивными функциями. Таким образом, логарифм статистического веса должен неизбежно появиться при изучении максимумов вероятности комбинированных систем.

Так же неизбежно и появление еще одной очень важной величины, которая в статистической физике называется химическим потенциалом и которую мы здесь будем называть миграционным потенциалом. Это параметр, характеризующий отклонение от равновесия в системах, в которых число агентов не является фиксированным. Если мы рассмотрим две такие системы и предположим, что общее число агентов в них сохраняется $N_1 + N_2 = N$, но при этом агенты могут мигрировать из одной системы в другую, то возникает вопрос, при каких условиях эти две системы будут находиться в равновесии.

Применив стандартную технику, можно установить, при каких условиях две взаимодействующие системы, на которые наложены ограничения, связанные с сохранением общего дохода и общего числа агентов, будет максимальной. Общая энтропия снова будет суммой энтропий, и мы получаем, так же как и в предыдущей главе, два условия (следствие того, что $dN_1 = -dN_2$ и $dE_1 = -dE_2$ при dN и $dE = 0$):

$$\left. \frac{\partial S_1(N_1, E_1)}{\partial N_1} \right|_{E_1} = \left. \frac{\partial S_2(N_2, E_2)}{\partial N_2} \right|_{E_2}; \quad (5.14)$$

$$\left. \frac{\partial S_1(N_1, E_1)}{\partial E_1} \right|_{N_1} = \left. \frac{\partial S_2(N_2, E_2)}{\partial E_2} \right|_{N_2}. \quad (5.15)$$

Назовем коэффициент $\mu = -\tau \left. \frac{\partial S(N, E)}{\partial N} \right|_E$ миграционным потенциалом. В условиях равенства температур две системы, находящиеся в

диффузионном контакте, т.е. допускающие перемещение агентов из одной системы в другую, находятся в равновесии (т.е. в наиболее вероятном состоянии), если их миграционные потенциалы равны.

При переходе δN_1 агентов из второй системы в первую изменение энтропии будет равно

$$\delta S = \delta S_1 + \delta S_2 = \left. \frac{\partial S_1}{\partial N_1} \right|_{E_1} \delta N_1 + \left. \frac{\partial S_2}{\partial N_2} \right|_{E_2} \delta N_2 = \left(\frac{\mu_2}{\tau} - \frac{\mu_1}{\tau} \right) \delta N_1 \quad (5.16)$$

(так как $\delta N_2 = -\delta N_1$ и $\delta N_1 > 0$).

Отсюда становится ясно, что происходит в системе, если миграционные потенциалы не равны. Если $\mu_2 > \mu_1$, то изменение энтропии при увеличении числа частиц в первой системе будет положительным, следовательно, это и есть изменение состояния в сторону наибольшей вероятности. Иными словами, поток частиц идет от системы с бóльшим миграционным потенциалом к системе с меньшим миграционным потенциалом.

Теперь мы можем определить относительную вероятность пребывания в различных состояниях для системы, взаимодействующей с термостатом и способной обмениваться с ним как доходом, так и агентами.

Точно так же, как мы это сделали выше, получаем

$$\frac{P_Y(E_1, N_1)}{P_Y(E_2, N_2)} = \exp[S(E_1 - E_2, N - N_1) - S(E - E_2, N - N_2)], \quad (5.17)$$

где (E_1, N_1) и (E_2, N_2) — это различные состояния подсистемы Y , взаимодействующей с термостатом, а E и N — полный доход объединенной системы (подсистема Y плюс термостат). После разложения в ряд Тейлора и несложных вычислений получаем

$$\frac{P_Y(E_1, N_1)}{P_Y(E_2, N_2)} = \frac{\exp[(N_1\mu - E_1)/\tau]}{\exp[(N_2\mu - E_2)/\tau]}, \quad (5.18)$$

т.е. вероятности пребывания подсистемы Y , обменивающейся доходом и числом агентов с термостатом, пропорциональны фактору Гиббса $\exp[(N\mu - E)/\tau]$. Напомним, что термостатом можно считать оставшуюся часть большой системы, из которой мы выделяем подсистему Y , при условии, что в большой системе в целом доход и число агентов сохраняются. Снова вывод соотношений Гиббса абсолютно стандартен.

Здесь уместно задать вопрос, не являются ли предложения о сохранении дохода и числа агентов слишком ограничительными и нереалистичными. Нам представляется, что для исследования свойств идеализированных систем подобные предположения всегда необходимы.

Точно такие же вопросы возникают и в физической статистике, где, разумеется, не существует абсолютно замкнутых систем, и тем не менее теория прекрасно работает. В реальных экономических системах число агентов, конечно, намного меньше, чем в физических системах, но, как мы уже отмечали выше, и ожидаемая точность предсказанной не так высока.

Фактор Гиббса позволяет ввести очень полезную величину, называемую в статистической термодинамике большой статистической суммой:

$$Z = \sum_{N=0}^{\infty} \sum_k \exp[(N\mu - E_k(N))/\tau]. \quad (5.19)$$

Большая статистическая сумма — это нормирующий множитель для фактора Гиббса, и ее значение позволяет с легкостью находить важные параметры, характеризующие систему. Так, например, среднее число агентов в системе можно определить, дифференцируя логарифм большой статистической суммы. Действительно, введем следующее обозначение: $\lambda = \exp \frac{\mu}{\tau}$. Тогда большая статистическая сумма запишется в виде

$$Z = \sum_N \sum_k \lambda^N e^{-\frac{E_k}{\tau}} \quad (5.20)$$

и отсюда, как нетрудно проверить,

$$\langle N \rangle = \lambda \frac{\partial}{\partial \lambda} \ln Z. \quad (5.21)$$

Это очень важное соотношение, так как оно позволяет определить λ в исследуемых системах, приравнявая $\langle N \rangle$ числу агентов в системе. Вообще говоря, вычислить миграционный потенциал через производную энтропии по числу частиц бывает очень сложно.

Рассмотрим теперь один пример из экономики миграции, чтобы показать, как работает миграционный потенциал. Пусть мы имеем две системы: A с числом рабочих мест N_A и B с числом рабочих мест N_B и n агентов, которые могут свободно перемещаться из одной системы в другую. Пусть, далее, доход в системе A равен E_A , доход в системе B — E_B . Кроме того, мы предполагаем, что обе системы погружены в много большую систему — термостат с температурой τ

(т.е. с определенным значением производной энтропии по величине общего суммарного дохода).

Как вероятности заполнения рабочих мест в системах A и B зависят от параметров модели? Равновесное, т.е. наиболее вероятное состояние объединенной системы, будет определяться температурой и миграционным потенциалом системы. Функцию распределения агентов по системам A и B можно легко вычислить, используя большую статистическую сумму {5.6}.

Выделим в качестве подсистемы одно рабочее место в системе A . Рассматривая эту подсистему как находящуюся в равновесии с оставшейся частью, мы можем определить ее большую статистическую сумму. Так как эта подсистема может находиться только в двух состояниях: одно с доходом 0 (пустое состояние), другое с доходом E_A , большая статистическая сумма будет равна

$$Z_A = 1 + \lambda e^{-\frac{E_A}{\tau}}, \quad (5.22)$$

где $\lambda = e^{\frac{\mu}{\tau}}$. Точно так же для системы B

$$Z_B = 1 + \lambda e^{-\frac{E_B}{\tau}}. \quad (5.23)$$

Так как мы полагаем, что системы A и B находятся в равновесии, то их миграционные потенциалы равны и λ — общее для обеих систем.

Тогда вероятность того, что рабочее место в системе A занято, будет равна

$$\varphi_A = \frac{\lambda e^{-\frac{E_A}{\tau}}}{1 + \lambda e^{-\frac{E_A}{\tau}}}. \quad (5.24)$$

То же для системы B

$$\varphi_B = \frac{\lambda e^{-\frac{E_B}{\tau}}}{1 + \lambda e^{-\frac{E_B}{\tau}}}. \quad (5.25)$$

Отношение $\frac{\varphi_A}{\varphi_B}$ будет равно

$$\frac{\varphi_A}{\varphi_B} = \frac{e^{-\frac{E_B}{\tau}} + \lambda}{e^{-\frac{E_A}{\tau}} + \lambda}. \quad (5.26)$$

Заметим теперь, что общее число агентов в системе равно n

$$n = N_A \varphi_A + N_B \varphi_B. \quad (5.27)$$

Из этого уравнения мы можем найти миграционный потенциал и подставить в выражения для φ_A и φ_B , определив вероятности нахождения агентов в условиях равновесия в системах A и B соответственно. Ясно, что при изменении температуры термостата эти условия будут меняться, так как относительная вероятность иметь общий доход E для объединенной системы $A + B$ определяется фактором Больцмана $e^{-\frac{E}{\tau}}$.

Посмотрим теперь, каково будет решение нашей задачи в том случае, когда число рабочих мест в системах равно и обе системы почти заполнены, т. е. φ_A и φ_B близки к 1. Такое предположение означает, что выражения для φ_A и φ_B можно разложить в ряд по факторам $\lambda^{-1} e^{\frac{E_A}{\tau}}$ и $\lambda^{-1} e^{\frac{E_B}{\tau}}$ и ограничиться первым порядком малости. После несложных вычислений получаем

$$\frac{\varphi_A}{\varphi_B} = \frac{x \left(1 - \frac{\Delta}{N}\right) + 1}{x + \left(1 - \frac{\Delta}{N}\right)}, \quad (5.28)$$

где $N = N_A = N_B$ — число рабочих мест, $\Delta = 2N - n$ — число свободных мест в объединенной системе, $x = e^{\frac{E_A - E_B}{\tau}}$.

Мы видим, что если разность между доходами $E_A - E_B$ намного больше температуры, то отношение вероятностей вообще перестает зависеть от величин доходов и становится равным $1 - \frac{\Delta}{N}$. Если эта разность мала, то $e^{\frac{E_A - E_B}{\tau}} \cong 1 + \frac{E_A - E_B}{\tau}$ и

$$\frac{\varphi_A}{\varphi_B} = 1 - \frac{(E_A - E_B)\Delta}{2\tau N}. \quad (5.29)$$

Таким образом, существенны не сами величины E_A и E_B , а отношения разности этих величин к температуре, которая задается состоянием термостата, т. е. средой. В предположении, что термостат есть свободная от ограничения доходов система и, следовательно, температура в нем равна среднему доходу, мы видим, что в нашей модельной системе для определения отношения занятости рабочих мест оказывается существенным отношение разности в зарплатах к средней зарплате в среде.

Мы привели здесь решение очень простой модельной задачи занятости, чтобы продемонстрировать, как вообще можно решать такие задачи. Нетрудно придумать большое количество моделей такого рода с более реалистическими предположениями. В частности, можно исследовать миграционные процессы во взаимодействующих системах с различными принципами ограничения доходов или задачи с пространственным распределением доходов, существенные для изучения региональной экономики, что может представлять значительный интерес для изучения реальных миграционных процессов. Для нас в этой книге важно было лишь показать принципиальную возможность постановки и решения некоторого интересного класса экономических задач.

Глава 6

Термодинамика цен

§ 6.1. Постановка задачи

Попробуем теперь распространить термодинамический подход на исследование рынков и цен. Для этого нам необходимо рассмотреть упрощенную модельную ситуацию. Необходимо, конечно, упрощать рассмотрение таким образом, чтобы не потерять наиболее существенные характеристики ситуации. Наша первая модель предназначена для анализа того, как влияет на рыночные цены размер потока товаров и денег. Выше мы уже показали, что, рассматривая поток денег как сохраняющуюся величину, можно ввести понятие равновесия в распределении доходов. Для этого необходимы представления об энтропии системы и температуре — параметре, позволяющем устанавливать, в каких случаях система находится в состоянии равновесия с окружением. Если добавить к этой модели поток товаров, то, оказывается, что и в этом случае мы получим возможность вычислить энтропию и ввести дополнительный параметр равновесия, на этот раз связанный с потоком товара. Мы покажем, что этот новый параметр можно интерпретировать как цену товара. Кроме того, удастся установить уравнение состояния рынка, т. е. зависимость между потоком товаров, ценой, количеством покупателей и температурой.

Рассмотрим сначала интуитивное понятие рынка и равновесия рынков, а потом попробуем формализовать его. Рынок характеризуется наличием товаров, которые продаются, и денег, которые тратятся при покупках. Пусть в единицу времени продается $V(t)$ единиц товара и при этом покупатели затрачивают $E(t)$ денежных единиц. Будем называть рынок стационарным, если $V(t)$ и $E(t)$ постоянны во времени и весь товар раскупается, т. е. не происходит его накопления в руках продавцов. В процессе функционирования рынка заключаются сделки, т. е. соглашения об обмене некоторого количества товара на деньги. Рынок характеризуется правилами заключения сделок. Некоторые сделки могут быть запрещены, например сделки по очень низкой или очень

высокой цене. Для нас важно, что правила заключения сделок остаются постоянными во времени.

В том случае, когда регулирование цен отсутствует, правила все равно существуют — это правила соблюдения контрактов. Именно в силу наличия правил заключения сделок рынок является социальным институтом. Ясно, что при наличии правил должен существовать и аппарат, наблюдающий за их соблюдением. Этот аппарат должен обладать некоторыми силовыми возможностями для наказания нарушителей, а также следить за соблюдением обязательств по заключенным сделкам. Таким образом, рынок отнюдь не является частным проявлением спонтанной активности экономических субъектов, это социальный институт.

Пусть существует несколько рынков. Они могут вступать во взаимодействие, обмениваясь товарами и денежными ресурсами. Интуитивное понятие равновесия рынков состоит в том, что при приведении двух рынков во взаимодействие ситуация на каждом из них в некотором существенном смысле остается неизменной. Ясно, что такое положение не может иметь место при любых значениях параметров V_1 , E_1 и V_2 , E_2 . Взаимодействие может быть различным, т.е. допускать обмен только денежными ресурсами, только товарами или и тем и другим.

Рассмотрим наиболее простой случай. Пусть потоки денег и товара могут принимать только дискретные значения

$$E_n = nE_0, \quad V_m = mV_0. \quad (6.1)$$

Это вполне естественное условие, учитывая наличие денежной единицы и в предположении, что товар штучный. Будем, кроме того, считать, что числа n и m , характеризующие потоки товаров и денег, очень велики, с тем чтобы мы могли рассматривать малые изменения потоков и использовать дифференциальное исчисление. Пусть N будет число покупателей. (Вообще говоря, N — это число сделок, но сейчас нам удобнее рассматривать N как число покупателей.) Рынок мы предполагаем стационарным в определенном выше смысле.

Возможные состояния рынка — это множество всех разрешаемых правилами контрактов, т.е. способов распределения потока товаров между покупателями. Мы рассматриваем рынок с одним продавцом и считаем, что продавец не в состоянии влиять на поток поступающего к нему товара. Случай с несколькими продавцами сложнее, и сейчас мы не будем его рассматривать.

Для обсуждаемой модели можно ввести представление об энтропии так же, как мы это делали в предыдущем параграфе, определяя энтропию системы как логарифм числа возможных состояний, но на этот раз энтропия будет зависеть как от размера суммарного дохода E , так и от общего объема потребляемого товара V . Различные состояния рынка — это разрешенные правилами распределения общего объема денег и товара по N покупателям. Заметим, что сейчас мы рассматриваем рынок покупателей и, таким образом, не обязаны включать в энтропию различные распределения товара по продавцам. Если бы мы это сделали, то вынуждены были бы учитывать и распределение потока денег по продавцам — а это более сложная задача. Для определения цены, уплаченной покупателем, неважно, где он взял товар. Важно, сколько товара он получил и сколько денег заплатил. Таким образом, для анализа рынка покупателей энтропия, связанная с наличием многих продавцов, не включается нами в модель.

Чтобы избежать этих сложностей, можно было бы вместо продавцов и покупателей сосчитать число контрактов, но такое предположение требует введения аналога химического потенциала, соответствующего возможному изменению числа контрактов. Мы рассмотрим этот случай позже.

По аналогии с давлением в статистической термодинамике мы можем ввести «маргинальную цену» P в системе следующим образом:

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial S}{\partial V}. \quad (6.2)$$

В дальнейшем мы увидим, как оправдывается это определение. Маргинальная цена является параметром, определяющим, находятся ли две взаимодействующие системы в равновесии.

Рассмотрим самый простой случай, который мы назовем свободным рынком. В такой модели не существует никаких ограничений на распределение потока денег и товаров по покупателям, т. е. мы считаем, что покупатель, вообще говоря, может заплатить любую цену — сколь угодно высокую и сколь угодно низкую. Этот случай (свободный рынок) рассматривать просто, так как общее количество возможных состояний рынка является произведением числа возможных распределений товара по агентам рынка и числа возможных распределений потока денег для них же, т. е. статистические веса системы получаются перемножением статистических весов, зависящих от потока товара (V) и

от потока денег (E). Следовательно, энтропия системы (логарифм статистического веса) будет состоять из двух компонент, одна из которых зависит от товара, другая — от денег:

$$S(E, V) = S(E) + S(V). \quad (6.3)$$

Пусть, как мы условились выше, потоки денег и товаров квантованы: $E_n = nE_0$, $V = mV_0$. Попробуем получить уравнение состояния такой системы.

Вычислим сначала число возможных распределений потоков товаров и денег по N агентам рынка. Статистический вес $g(E_n, N)$ потока E_n , распределяемого по N агентам, равен числу решений уравнения

$$n = x_1 + \dots + x_N \quad (6.4)$$

в неотрицательных целых числах. Способ подсчета хорошо известен {6.1}. Действительно, добавив единицу к каждому числу X_i , мы получаем, что искомое число есть число решений уравнения

$$n + N = y_1 + \dots + y_N, \quad (6.5)$$

но уже в неотрицательных целых числах. Теперь мы можем разбить целочисленный отрезок длины $n + N$ на n целочисленных положительных отрезков, делая $N - 1$ отметок в $n + N - 1$ интервалах, т.е. искомый статистический вес оказывается числом сочетаний из $n + N - 1$ по $N - 1$:

$$g(E_n, N) = C_{n+N-1}^{N-1} = \frac{(n + N - 1)!}{(N - 1)! n!}. \quad (6.6)$$

Для достаточно дальних n и N это число легко вычислить, применяя формулу Стирлинга,

$$g(E_n, N) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{(N + n - 1)^{(N+n-\frac{1}{2})}}{(N - 1)^{(N-\frac{1}{2})} n^{(n+\frac{1}{2})}}. \quad (6.7)$$

Отсюда

$$\begin{aligned} S(E_n) = \ln g(E_n, N) &\approx \left(N + n - \frac{1}{2}\right) \ln \left(N + n - \frac{1}{2}\right) \\ &- \left(N - \frac{1}{2}\right) \ln \left(N - \frac{1}{2}\right) + \left(n + \frac{1}{2}\right) \ln \left(n + \frac{1}{2}\right) - \frac{1}{2} \ln 2\pi. \end{aligned} \quad (6.8)$$

Температура τ вычисляется через $\frac{\partial S}{\partial E}$:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{E_0} \frac{\partial S(E_n)}{\partial n} \approx \frac{1}{E_0} \ln \frac{N + n - \frac{1}{2}}{n + \frac{1}{2}}. \quad (6.9)$$

При $n \gg N$, что является вполне естественным условием функционирования свободного рынка, получаем

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\partial S(E_n)}{\partial E_n} = \frac{1}{E_0} \frac{N}{n} = \frac{N}{E}, \quad (6.10)$$

т.е. $\tau = \frac{E}{N}$ — температура равна среднему доходу.

Полностью аналогично вычисление для $\frac{\partial S}{\partial V}$ с учетом того, что энтропия S распадается на сумму двух слагаемых, одно из которых зависит только от E , другое — только от V :

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial S(V_m)}{\partial V_m} = \frac{1}{V_0} \frac{N}{m} = \frac{N}{V}, \quad (6.11)$$

с учетом выражения для температуры получаем взаимосвязь между маргинальной ценой, потоком товара и температурой свободного рынка — *уравнение состояния рынка*:

$$P = \tau \frac{N}{V}. \quad (6.12)$$

Так как $\tau N = E$, то мы видим, что на свободном рынке *маргинальная цена равна средней цене*. Этим, собственно говоря, оправдывается определение $\tau \frac{\partial S}{\partial V}$ как цены. Но маргинальная цена может отличаться от средней при наличии ограничений на цены для агентов рынка.

Легко видеть, что полученное уравнение состояния свободного рынка в точности совпадает с уравнением состояния идеального газа. Казалось бы, мы снова, как и в предыдущем параграфе, полностью повторяем рассуждения из статистической термодинамики, заменив семантику. Однако это не так. Хотя маргинальная цена и совпадает по форме с выражением для давления в статистической термодинамике $\frac{P}{\tau} = \frac{\partial S}{\partial V}$, это выражение не является определением давления, которое имеет иную, механическую природу и определяется как $-\frac{\partial E}{\partial V}$ {6.2}.

В наших построениях маргинальная цена имеет такое же термодинамическое происхождение, как температура или химический потенциал, т.е. теория строится полностью исходя из термодинамических принципов. Маргинальная цена — такой же параметр равновесия, как температура, она вводится, чтобы определить, находятся ли взаимодействующие системы в состоянии равновесия. Собственно говоря, мы можем провести те же рассуждения, что и при введении температуры, и показать, что две взаимодействующие системы, в которых возможен обмен товарами, находятся в состоянии равновесия только тогда, когда маргинальные цены товара в этих системах равны. Действительно, пусть статистические веса систем, находящихся во взаимодействии, зависят от потоков денег и товаров — E и V и общий поток обеих величин сохраняется (говоря о потоке какой-либо величины мы имеем в виду ее расход в единицу времени):

$$E_1 + E_2 = E, \quad V_1 + V_2 = V, \quad (6.13)$$

тогда статистический вес объединенной системы будет

$$g_1(E_1, V_1) \cdot g_2(E - E_1, V - V_1). \quad (6.14)$$

Вероятность состояния будет максимальной, когда это произведение имеет максимум. Снова вводим энтропию как $\ln g$ и получаем условия экстремума энтропии

$$\left(\frac{\partial S_1}{\partial E_1} dE_1 + \frac{\partial S_1}{\partial V_1} dV_1 \right) + \left(\frac{\partial S_2}{\partial E_2} dE_2 + \frac{\partial S_2}{\partial V_2} dV_2 \right) = 0. \quad (6.15)$$

Но

$$dE_1 = -dE_2, \quad dV_1 = -dV_2.$$

Отсюда условия равновесия выглядят так:

$$\left. \frac{\partial S_1}{\partial E_1} \right|_{V_1} = \left. \frac{\partial S_2}{\partial E_2} \right|_{V_2}, \quad \left. \frac{\partial S_1}{\partial V_1} \right|_{E_1} = \left. \frac{\partial S_2}{\partial V_2} \right|_{E_2}. \quad (6.16)$$

Первое условие мы уже видели — это равенство температур. Второе — это равенство маргинальных цен, если определить маргинальную цену так, как мы это делали выше:

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial S}{\partial V}.$$

Таким образом, мы показали, что равенство маргинальных цен есть необходимое условие равновесия взаимодействующих экономических систем. Рассмотрим теперь случай, когда рынок не свободен — для него существуют некоторые ограничения. Сначала посмотрим, что произойдет, если ввести некое подобие карточной системы, т. е. принудительно ограничить возможность приобретения товаров. Необходимо помнить, что по нашим условиям рынок стационарен, т. е. все потоки товаров и денег должны быть распределены между агентами рынка:

$$\frac{P}{\tau} = \frac{\partial S}{\partial V}.$$

Введем следующее правило: ни один агент рынка не имеет права получать поток товара более K единиц. В остальном распределение потока товара по N агентам рынка остается произвольным и, что очень важно, не зависит от того, как распределен поток денег, т. е. нет явных ограничений на цены сделок. Это означает, что статистический вес состояний со значениями потока товаров и денег V и E по-прежнему является произведением статистических весов:

$$g_N(E, V) = g_N(E) g_N(V)$$

и энтропия состоит из двух компонент, одна из которых зависит от E , другая — от V :

$$S_N(E, V) = S_N(E) + S_N(V). \quad (6.17)$$

Для определения маргинальной цены надо знать $\left. \frac{\partial S}{\partial V} \right|_{E, N}$, т. е. мы должны вычислить $S_N(V)$. Это теперь оказывается очень непростой комбинаторной задачей: надо найти количество решений в целых неотрицательных числах уравнения

$$m = x_1 + x_2 + \dots + x_N \quad (6.18)$$

при условии, что ни одно из x_i не больше K .

Легко видеть, что решение этой задачи обладает одной особенностью, которая позволяет сделать качественные выводы, имеющие очень большое значение. Ясно, что при $m > KN$ эта задача вообще не имеет решений. Логарифм числа решений — это энтропия системы $S_N^K(V_m)$. Значит, при приближении числа m (т. е. потока товаров) снизу к значению KN энтропия с какого-то момента начнет уменьшаться. А это,

в свою очередь, означает, что $\frac{\partial S(V_m)}{\partial V}$ станет отрицательным. Учитывая, что распределение потока денег свободно, а значит, температура положительна, мы получаем, что в условиях карточной системы маргинальная цена при достаточно больших объемах потока товаров становится отрицательной. Это значит, что при взаимодействии с другими системами с положительной маргинальной ценой система с карточным регулированием начнет выбрасывать товар по демпинговым ценам — любая цена на экспортируемый товар больше нуля будет способствовать достижению равновесия.

Можно, конечно, сказать, что, когда поток товара близок к величине KN , нет никакого смысла поддерживать карточное распределение. Вопрос, однако, состоит в том, что маргинальная цена может стать отрицательной задолго до того, как поток товара V_0 приблизится к критической величине KNV_0 . Так, для $K = 1$ это произойдет при $m > \frac{N}{2}$. Представим себе, что введение ограничений является политическим решением. Откуда лицам, применяющим это решение знать, что маргинальная цена уже стала отрицательной? Ведь цена рыночных сделок положительная, и средняя цена положительна тоже. Для выяснения того, насколько система далека от равновесия во взаимодействии с другими, необходимо произвести вычисление неких неочевидных параметров — температуры и производной от энтропии по потоку товара. А это, как мы только что убедились, непростая вещь даже для очень простой модели.

Мы видим, таким образом, что ограничения рынка могут создавать в пространстве состояний системы зону «скрытой неустойчивости». Посмотрим теперь, есть ли зоны скрытой неустойчивости в случае ограничения цены сделки снизу. Это очень важный случай, так как реальные рыночные системы вряд ли являются свободными — невозможно продавать товар в массовых масштабах по цене ниже себестоимости.

Пусть в нашей модельной системе цена сделки ограничена снизу — это значит, что энтропия системы уже не может, как прежде, рассматриваться как сумма двух компонент, каждая из которых зависит только от одной переменной: энтропии потока товара и энтропии потока денег.

Математическая задача по определению энтропии будет сводиться к определению $\ln g_N(E, V_m, \lambda)$, где λ — параметр, ограничивающий цены

снизу, а $g_N = \sum g_N(y_1 \dots y_n)$, где $g_N(y_1 \dots y_n)$ — количество решений в положительных целых числах уравнения:

$$m = x_1(y_1) + x_2(y_2) + \dots + x_n(y_n), \quad (6.19)$$

y_n — произвольное разбиение числа n на N неотрицательных целых чисел, а $x_i(y_i) = 0$, если $y_i = 0$, и $x_i(y_i) < \frac{y_i}{\lambda}$, если $y_i > 0$.

Мы получаем еще более сложную задачу о разбиениях. Однако, как и в предыдущем случае, в поведении решений можно обнаружить некие качественные зависимости. Действительно, если мы будем увеличивать поток товара, не увеличивая потока денег, то при достаточно большом $V_{k,m}$ из-за ограничений на значения x_i ($x_i \leq \frac{y_i}{\lambda}$, где y_i ограничены, они не больше n , такого, что $nE_0 = E$) система не будет иметь решений, т.е. энтропия $S_N^\lambda(E, V)$ обратится в ноль. Это означает, что, как и в предыдущем случае, маргинальная цена еще до этого станет отрицательной, так как распределение потока денег по-прежнему свободно, температура положительна, а производная $\frac{\partial S_N^\lambda(E, V)}{\partial V}$ при V меньших, но близких к V_k , отрицательная. Мы получаем в точности тот же эффект, что и при введении карточной системы, — скрытую область неустойчивости, в которой маргинальная цена отрицательна, с теми же последствиями — демпинговым сбросом товаров из системы.

По-видимому, именно так следует объяснять феномен массового уничтожения товаров для поддержания цен в период кризисов пере-производства. Это не злая воля владельцев товара, а просто наиболее вероятное состояние системы — ведь именно так система приходит к статистическому равновесию, т.е. к наиболее вероятному состоянию. Мы получили довольно интересный результат: введение ограничений в системе ведет к появлению областей скрытой неустойчивости, границы которых чрезвычайно трудно установить даже для предельно простых моделей. Такие параметры, как производные энтропии, т.е. температура и маргинальная цена, оказываются ключевыми для определения поведения системы с ограничениями во взаимодействии с такими же системами или со свободными рыночными системами. Чрезвычайно важным параметром оказывается маргинальная цена — важнейший параметр равновесия рынка, который только для свободной рыночной системы совпадает со средней ценой, в системах же с ограничениями бывает отрицательным, что свидетельствует о неустойчивости системы.

Мы видим, что ограничения на экономическую деятельность отнюдь не безобидны *прежде всего из-за неясности границ*, в пределах которых они делают систему *неустойчивой*. Иными словами, ограничения, устанавливаемые на свободу рыночной деятельности, создают в системе неопределенности, вместо того чтобы, как обычно думают политики, делать ее более предсказуемой.

Следует заметить, что экономические обоснования ограничений на сделки (минимальная цена, определяемая ценой производства) при более глубоком анализе оказываются политическими: если цену производства нельзя снизить, то, как правило, это результат монополизма — политического контроля над рынком.

Заметим теперь, что наше рассмотрение рынка с ограничением цен имеет отношение к проблеме, вызвавшей значительный интерес в теоретической экономике в последнее время. В 1970 г. Дж. Акерлоф опубликовал быстро приобретшую очень широкую известность статью {6.3} о рынках с асимметричной информацией, т. е. рынках, где продавец и покупатель имеют разные возможности оценки качества продаваемого продукта. Акерлоф показал, подтвердив свои выводы в последующие годы рядом других публикаций {6.4}, что в случае асимметричных рынков наличие плохих товаров и нечестных продавцов может привести не только к вымыванию с рынка хороших товаров, но и к коллапсу рынка как такового.

Вкратце, рассуждения Акерлофа выглядят следующим образом. Представим, что продаваемый товар (скажем, подержанный автомобиль) может быть плохим с некоторой вероятностью q (и, соответственно, хорошим с вероятностью $1 - q$). Эта априорная вероятность известна покупателю, так как q — это вероятность фабричного брака. Но продающий подержанный автомобиль гораздо лучше знает, что он продает. Покупатель же в оценке машины руководствуется общими соображениями. По этой причине продающий *хороший* подержанный автомобиль не может получить за него настоящую цену — покупатель боится брака. Наоборот, продающий плохую машину имеет все шансы получить за нее больше, чем она реально стоит. Следовательно, хорошие машины будут вымываться с рынка, а плохие — доминировать.

Используя стандартную технику функций полезности, Акерлоф показал, что при некоторых формах функций полезности равновесие может отсутствовать — кривая зависимости поставок от цены не пересекается с кривой зависимости спроса от цены.

Акерлоф связывает проблему асимметричных рынков с обоснованием закона Грэхэма, в соответствии с которым «плохие» деньги вытесняют из обращения «хорошие» деньги, и полагает, что такой подход позволит оценить экономический убыток от нечестности на рынке. Он пишет: «Цена нечестности, следовательно, состоит не только в размере ущерба покупателя; эта цена должна включать потери от лишения возможности существования честного бизнеса» {6.5}.

Модель с ограничением цен снизу, рассмотренная нами выше, проливает, на наш взгляд, некоторый дополнительный свет на проблему асимметричных рынков. Нам представляется, что Акерлоф доказал не столько возможность коллапса асимметричного рынка, сколько невозможность применения к изучению таких рынков стандартных методов неоклассического равновесного анализа. В самом деле, даже в асимметричном случае сделки все равно будут совершаться, но для изучения характера рынка при этом больше подходит определение равновесия, основанное на идеях статистической термодинамики.

Пусть взаимодействуют два рынка: один с ограниченной снизу ценой, другой — без ограничений. Если рассматривать модель с несимметричной информацией, скажем рынок поддержанных автомобилей, то рынок с ограниченной снизу ценой — это рынок «хороших» машин, а рынок без ограничений — это рынок, включающий «лимоны» (так в США называют бракованные автомобили). Мы показали выше, что при определенных соотношениях между потоком товара и температурой рынка (а именно при низкой температуре рынка) маргинальная цена на рынке с ограничениями (т.е. на рынке «хороших» машин) становится отрицательной, т.е. этот рынок коллапсирует. *Но это случается только при достаточно низкой температуре.* При высокой температуре рынок «хороших» машин вполне жизнеспособен.

Теперь мы можем скорректировать утверждения Акерлофа о рынке «лимонов» и возможности вести честный бизнес в развивающихся странах, где стандарты честности низкие. Далеко не всегда рынок «хороших» машин будет коллапсировать. Дело не в стандартах честности, а в низкой температуре рынка. Если температуру рынка повысить, то «честный рынок» (с ограничениями цены снизу) может вполне сосуществовать с рынком «лимонов». Маргинальная цена формально соответствует давлению — нужно лишь, чтобы «давление» на рынке «хороших» машин было положительным.

Рассмотрим теперь более подробно термодинамическую модель рынка с ограниченной снизу ценой. Для этого нам придется обратиться

к аппарату большой статистической суммы. Но перед этим сделаем ряд замечаний.

Забудем о продавцах и покупателях на рынке и будем фиксировать только количество контрактов N . Тогда температура рынка, в соответствии с нашим предыдущим рассмотрением, будет определяться как

$$\tau = \frac{E}{N}, \quad (6.20)$$

где E — поток денег. Введем представление о «потенциальном контракте», т.е. абстрактной возможности заключить сделку с потоком товара $V_\ell = \ell V_0$ и потоком денег $E_k = k E_0$. Далее упростим немного нашу модель рынка. Введем дискретное время τ_k и будем считать, что поток товаров и денег — это просто постоянно повторяющаяся в дискретном времени ситуация. Такая модель рынка напоминает «постоянно обращающийся рынок» фон Мизеса. Это позволит нам рассмотреть сделку в привычных терминах, как одnorазовый акт.

Если мы вспомним о статистическом аспекте системы, то такое представление рынка, когда мы рассматриваем одновременно множество параллельно существующих систем со всеми допустимыми сделками и проводим усреднение по ансамблю вместо усреднения по времени, вполне естественно.

Потенциальный контракт со значениями V_ℓ , E_k (будем обозначать его $C(E_k, V_\ell)$) может быть заполнен реальной сделкой, а может остаться пустым. Представление о потенциальном контракте соответствует представлению об орбитали в квантовой механике {6.6}. Теперь мы можем рассмотреть множество потенциальных контрактов $C = (E_k, V_\ell)$, на которые могут быть наложены некоторые ограничения: скажем, могут быть запрещены контракты с отношением $\frac{E_k}{V_\ell} < P_0$ (это и есть ограничение цены снизу).

Применим теперь к системе стандартную технику, основанную на вычислении большой статистической суммы. Если $N \ll nm$ (где n , m , как и раньше, определяют полное количество товара и полное количество денег на рынке), то наш рынок находится в «классическом» режиме: «населенность» каждого из контрактов очень мала $\approx \frac{N}{n \cdot m}$, и мы можем пренебречь вероятностью того, что один «потенциальный контракт» окажется «заполненным» двумя актуальными контрактами

с одинаковым значением V_ℓ и E_k . А это означает, что в большой статистической сумме мы можем пренебречь членами с λ^2 и более высокими степенями λ . Тогда вероятность заполнения потенциального контракта будет

$$W(k, \ell) = \lambda e^{-\frac{E_n}{\tau}}. \quad (6.21)$$

Зная полное количество реальных контрактов N , мы можем определить λ из соображений нормировки, так как, суммируя по всем потенциальным контрактам величину вероятности $W(k, \ell)$, мы можем получить значение N :

$$N = \lambda \sum_{\ell, k} W(k, \ell) \quad (6.22)$$

и отсюда

$$\lambda = \frac{N}{\sum_{\ell, k} W(k, \ell)}. \quad (6.23)$$

Далее, учитывая, что $\lambda = e^{\frac{\mu}{\tau}}$, где μ — миграционный потенциал, определяющий равновесие систем с различным количеством контрактов, мы можем определить μ

$$\frac{\mu}{\tau} = \ln \frac{N}{\sum W(k, \ell)}. \quad (6.24)$$

После этого можно определить энтропию системы из соотношения

$$\left. \frac{\partial S}{\partial N} \right|_{E, V} = -\frac{\mu}{\tau}. \quad (6.25)$$

Подставляя значения $\frac{\mu}{\tau}$, получаем

$$S = - \int_0^N \frac{\mu}{\tau} dN = \int_0^N \ln N dN + N \ln \sum_{k, \ell} W(k, \ell) \quad (6.26)$$

или

$$S = -N \ln N + N + N \ln \sum_{k, \ell} W(k, \ell). \quad (6.27)$$

Сумма $\sum_{k,\ell} W(k, \ell)$, вообще говоря, зависит от τ и от V . Обозначим ее $\varphi(\tau, V)$. Теперь, дифференцируя энтропию по V , мы можем получить уравнение состояния

$$\frac{P}{\tau} = \left. \frac{\partial S}{\partial V} \right|_{E,N}.$$

Чтобы это сделать, необходимо вычислить $\varphi(\tau, V)$. Сделаем это сначала для уже известного нам случая без ограничений цены:

$$\varphi(\tau, V) = \sum_{k=1}^{\infty} C(k) \cdot e^{-\frac{kE_0}{\tau}}, \quad (6.28)$$

где $C(k)$ — число потенциальных контрактов со значением E_k . Так как для каждого значения E_k существует ровно $m = \frac{V}{V_0}$ потенциальных контрактов, которые могут быть заполнены, то $C(k) = m$. Для простоты вычислений мы полагаем n очень большим ($E = nE_0$) и верхний предел в сумме считаем равным ∞ . Вычисляем $\varphi(\tau, V)$, получаем

$$\varphi(\tau, V) = \frac{V}{V_0} \frac{e^{-\frac{E_0}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{E_0}{\tau}}} = \frac{V}{V_0} \frac{1}{e^{\frac{E_0}{\tau}} - 1}. \quad (6.29)$$

Отсюда

$$\frac{P}{\tau} = \left. \frac{\partial S}{\partial V} \right|_{E,N} = N \frac{\partial}{\partial V} \ln \varphi(V, \tau) = \frac{N}{V}. \quad (6.30)$$

Мы получили уже известный нам результат. Вычислим теперь $\varphi(\tau, V)$ в случае ограничения цены снизу. Число потенциальных контрактов $C_k(E_k, P_0)$ будет зависеть от E_k и минимальной цены сделки:

$$C_k(E_k, P_0) = \sum_{n=1}^{\frac{kE_0}{P_0 V_0}} 1 = \frac{kE_0}{P_0 V_0}. \quad (6.31)$$

Тогда $\varphi(\tau, V)$ разобьется на две части. Одна получится суммированием до величины $k = \frac{mP_0 V_0}{E_0}$, и в этом случае $C_k(E_k, P_0) = \frac{kE_0}{P_0 V_0}$. Для этих значений k число потенциальных контрактов зависит от k .

При больших значениях k эта зависимость исчезает, так как количество денег, используемых в потенциальном контракте, заведомо достаточно, чтобы обеспечить любое из $m = \frac{V}{V_0}$ возможных значений купленного товара:

$$\begin{aligned}\varphi(\tau, V) &= \sum_{K=1}^{\frac{P_0 V}{E_0}} C_k(E_k, P_0) e^{\frac{-kE_0}{\tau}} + \sum_{k=\frac{P_0 V}{E_0}}^{\infty} m e^{\frac{-kE_0}{\tau}} \\ &= \sum_{k=1}^{\frac{P_0 V}{E_0}} \frac{kE_0}{P_0 V_0} e^{\frac{-kE_0}{\tau}} + \sum_{k=\frac{P_0 V}{E_0}}^{\infty} \frac{V}{V_0} e^{\frac{-kE_0}{\tau}}.\end{aligned}\quad (6.32)$$

Вычисляем $\varphi(\tau, V)$ следующим образом: добавим и вычтем в выражении $\varphi(\tau, V)$ член, равный $\sum_{k=\frac{P_0 V}{E_0}}^{\infty} \frac{E_0 k}{P_0 V_0} e^{\frac{-kE_0}{\tau}}$. Тогда

$$\begin{aligned}\varphi(\tau, V) &= \frac{E_0}{P_0 V_0} \sum_{n=1}^{\infty} k e^{\frac{-kE_0}{\tau}} - \frac{E_0}{P_0 V_0} \sum_{k=\frac{P_0 V}{E_0}}^{\infty} k e^{\frac{-kE_0}{\tau}} + \frac{V}{V_0} \sum_{k=\frac{P_0 V}{E_0}}^{\infty} e^{\frac{-kE_0}{\tau}} \\ &= \varphi_1(\tau) \left(\frac{E_0}{P_0 V_0} - \frac{E_0}{P_0 V_0} e^{\frac{-V P_0}{E_0}} \right),\end{aligned}\quad (6.33)$$

где

$$\varphi_1(\tau) = \sum_{k=1}^{\infty} k e^{\frac{-kE_0}{\tau}} = \frac{e^{\frac{E_0}{\tau}}}{\left(e^{\frac{E_0}{\tau}} - 1 \right)^2}.$$

Теперь можно подставить $\varphi(\tau, V)$ в выражение для энтропии и определить уравнение состояния:

$$\frac{P}{\tau} = \left. \frac{\partial S}{\partial V} \right|_{E, N} = N \frac{\partial}{\partial V} \ln \varphi(\tau, V), \quad (6.34)$$

$$\frac{P}{\tau} = \frac{N P_0}{E_0} \frac{1}{e^{\frac{P_0 V}{E_0}} - 1}. \quad (6.35)$$

Мы получили очень интересное уравнение состояния. В пределе $P_0 \ll \frac{\tau}{V}$ это уравнение переходит в уже известное нам «газовое» уравнение:

$$\frac{P}{\tau} = \frac{N}{V}. \quad (6.36)$$

Но, оказывается, даже незначительное ограничение цены снизу полностью изменяет уравнение состояния. В пределе больших V маргинальная цена P (т. е. равновесная цена) оказывается ниже минимальной цены контракта, т. е. рынок разваливается. Совершенно очевидно, что в условиях существования минимальной цены контракта для достаточно больших объемов товара и ограниченной температуры товар продать нельзя. Имеем $\tau = \frac{E}{N}$, и если есть минимальная цена P_0 , то при $V > \frac{E}{P_0} = \frac{\tau N}{P_0}$ часть товара, равную $V - \frac{\tau N}{P_0}$, продать нельзя. Поверхностный взгляд на ситуацию заставляет предположить, что критическая масса товара при ограничении цены снизу будет порядка

$$V_{\text{кр}} = \frac{\tau N}{P_0}. \quad (6.37)$$

Наш анализ показывает, что это не так и критическая масса товара существенно ниже, а именно $V_{\text{кр}}$ должно определяться из условия $P > P_0$:

$$P = \frac{\tau N P_0}{E_0} \frac{1}{e^{\frac{P_0 V_{\text{кр}}}{\tau}} - 1} > P_0 \quad (6.38)$$

или

$$\frac{\tau N}{E_0} > e^{\frac{P_0 V_{\text{кр}}}{\tau}} - 1, \quad (6.39)$$

$$V_{\text{кр}} = \frac{E_0}{P_0} \ln \left(\frac{\tau N}{E_0} - 1 \right). \quad (6.40)$$

Вместо $V_{\text{кр}} = \frac{\tau N}{P_0} = \frac{n E_0}{p}$, определяемого из «поверхностных» соображений, $V_{\text{кр}}$ оказывается примерно равным $\frac{E_0 \ln n}{P_0}$, т. е. в $\frac{\ln n}{n}$ раз меньше. А это означает, что эффект развала рынка наступит существенно раньше, чем этого можно было ожидать. Если вернуться к

обсуждению рынка «лимонов», то вытеснение рынка хороших автомобилей, оказывается, произойдет гораздо быстрее, чем это можно было априорно предположить. Мы видим, что при наличии асимметричной информации область устойчивости рынка «хороших» товаров очень невелика. По-видимому, этот анализ оправдывает мнение Хайека, что рынок существует благодаря выработке «культуры» честности и вызывает в процессе конкуренции культур.

Из нашего анализа вытекает необходимость еще одного условия для существования рынка «хороших» товаров. Каким-то образом рынок «хороших» товаров должен быть отграничен от рынка «плохих» товаров, иначе при увеличении количества «хороших» товаров он окажется неустойчивым.

Изученная нами модель показывает, что рынок «хороших» товаров в силу его очень ограниченной емкости может существовать во взаимодействии с рынком «плохих» товаров только как элитный рынок, т. е. обращение за его пределы ограничено «моральным кодексом». Альтернативой оказывается отказ от сертификации товара.

Мы видим, что предложенная выше теория оказывается в каком-то смысле лишенной человеческого компонента — теория равновесия в экономике по существу ничем не отличается от теории статистического равновесия в физике. Но предложенная здесь теория никак не касается технологий — предмета интеллектуальной активности. Ясно также, что предположения о равной вероятности состояний рынка — базисные предположения для любой статистической теории, могут быть обоснованы только в том случае, если мы в соответствии с идеями Хайека считаем человеческую активность принципиальным фактором в условиях неполной информации о ситуациях на рынке. В противном случае гипотеза о равной вероятности состояний рынка была бы абсурдной. Именно через человеческую активность и открытие новых возможностей вместе со свойственными этой активности ошибками и становится естественной гипотеза о равной вероятности состояний. Человеческий компонент оказался важным и еще в одном аспекте — рынок требует соблюдения установленных правил заключения сделок. В нашей теории это положение принимается как данное, но именно необходимость соблюдения правил, в том числе просто соблюдения условий сделки, даже если сделки не ограничиваются внешними правилами, превращает рынок в социальный институт, т. е. некую машину. Поведение этой машины, в том числе ее термодинамические свойства, — это уже другой вопрос, но *вначале машину надо создать*.

§ 6.2. Рынок с двумя товарами

Рассмотрим теперь рынок с двумя товарами, которые способны заменять друг друга, и исследуем проблему равновесия рынка в этом случае. Рынок с замещением товаров — это одна из наиболее известных задач математической экономики, решение именно этой задачи и привело к маржиналистской революции. В классической постановке для решения этой задачи необходимо ввести функции полезности товаров, зависящие от объема поставок. В условиях, когда производная от функции полезности по объему поставок уменьшается с увеличением этого объема, можно показать с помощью метода классического анализа, что суммарная функция полезности будет иметь максимум при таком значении объема поставляемых товаров, при котором увеличение полезности на единицу затраченных средств одинаково для всех товаров. Интуитивно это вполне ясное утверждение. Если бы при затрате единицы средств на один из товаров можно было увеличить суммарную полезность приобретаемого товара, заменив его другим, то это и следовало бы делать до тех пор, пока полезность не упадет за счет увеличения объема. Мы видим, что зависимость функции полезности от объема действительно очень важна для обеспечения устойчивости системы, иначе все средства будут инвестированы в наиболее полезный товар. Посмотрим теперь, как будет выглядеть задача с замещением товаров в рамках термодинамического подхода.

Говорить о замещении имеет смысл только в том случае, если между товарами существует некая эквивалентность. Если эквивалентности нет, то и о замещении говорить бессмысленно. Пусть существует такая эквивалентность, т. е. n единиц товара 1 эквивалентны (неважно в каком точно смысле) m единицам товара 2. Тогда это отношение эквивалентности можно использовать для того, чтобы найти максимум энтропии точно так же, как мы это делаем для одного товара. Важно отметить, что в наших предположениях соотношение эквивалентности не зависит от потока товара. Если такая зависимость есть, то построение теории статистического равновесия все равно возможно, но будет несколько более сложным. Максимально вероятное или, что то же самое, равновесное состояние системы будет достигнуто, если энтропия системы имеет максимум. Соотношение эквивалентности между двумя товарами можно использовать, чтобы найти максимум энтропии точно так же, как мы это делали раньше.

Пусть есть рынок с N агентами, через который идет поток денег E и потоки двух товаров V_A и V_B . Чтобы вычислить энтропию системы, мы должны подсчитать число возможных сделок, т.е. число способов приписать каждому агенту четыре числа $(E_{A_i}, E_{B_i}, V_{A_i}, V_{B_i})$, показывающие, сколько денег им было затрачено в единицу времени на приобретение товаров A и B и сколько товара куплено за то же время. Суммируя $E_{A_i}, E_{B_i}, V_{A_i}, V_{B_i}$ по i , мы получим значения макроскопических параметров системы (E_A, E_B, V_A, V_B) . Заметим, что для определения состояния нельзя просто фиксировать количество денег, затраченное i -м агентом, так как, вообще говоря, некоторые микроскопические состояния могут быть запрещены вследствие, скажем, ограничения цен снизу. В общем случае зависимость энтропии системы от макроскопических параметров не может быть представлена в виде суммы компонентов, зависящих от одного или двух параметров каждый. Но в случае свободного рынка это может быть сделано. Рассмотрим условия равновесия системы с энтропией $S(E_A, E_B, V_A, V_B)$. Меняя E_A и E_B при условии $E_A + E_B = E$, получаем $\delta E_1 = -\delta E_2$,

$$\delta S = \frac{\partial S}{\partial E_1} \delta E_1 + \frac{\partial S}{\partial E_2} \delta E_2 = \delta E_1 \left(\frac{\partial S}{\partial E_1} - \frac{\partial S}{\partial E_2} \right). \quad (6.41)$$

В равновесии δS и производные $\frac{\partial S}{\partial E_1}$ и $\frac{\partial S}{\partial E_2}$ равны. При этом V_A и V_B фиксированы. Если мы имеем эквивалентность между товарами A и B , то это означает, что мы можем «сложить» эти товары и рассмотреть равновесие по отношению к замещению одного товара другим. Пусть $V_A = V_A^0 n_A$, где $V_B = V_B^0 n_B$, n_A и n_B — количество единиц товара, продаваемого в единицу времени.

Введение V_A^0 и V_B^0 означает, что мы знаем соотношения замещения, т.е. обладаем общей единицей измерения. Снова

$$\begin{aligned} V_A + V_B &= V, & \delta V_A &= \delta V_B, \\ \delta S &= \frac{\partial S}{\partial V_A} \delta V_A + \frac{\partial S}{\partial V_B} \delta V_B = \delta V_A \left(\frac{\partial S}{\partial V_A} - \frac{\partial S}{\partial V_B} \right) \end{aligned} \quad (6.42)$$

и условие равновесия принимает вид

$$\frac{\partial S}{\partial V_A} = \frac{\partial S}{\partial V_B}. \quad (6.43)$$

Обратим внимание на то, что мы не делали никаких предположений о полезности — лишь о возможности замещения одного товара другим.

Посмотрим, как будут выглядеть условия равновесия в случае свободного рынка, когда мы знаем зависимость энтропии от макропараметров. Условия равновесия по потоку денег дадут, как и было показано в предыдущей главе:

$$\frac{\partial S}{\partial E_A} = \frac{N}{E_A}, \quad \frac{\partial S}{\partial E_B} = \frac{N}{E_A}. \quad (6.44)$$

Так как $E_A + E_B = E$, то равенство $\frac{\partial S}{\partial V_A}$ и $\frac{\partial S}{\partial E_B}$ дает результат $E_A = E_B = \frac{E}{2}$. Аналогичные вычисления для $\frac{\partial S}{\partial V_A}$ и $\frac{\partial S}{\partial V_B}$ дают $\frac{\partial S}{\partial V_A} = \frac{N}{V_A}$ и $\frac{\partial S}{\partial V_B} = \frac{N}{V_B}$; при условии $V_A + V_B = V$ получим $V_A = V_B = \frac{V}{2}$. Вспомним, что $V_A = V_A^0 n_A$, $V_B = V_B^0 n_B$ (условие замещения), тогда получаем, что

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{V_B^0}{V_A^0}, \quad (6.45)$$

т.е. количество единиц товара, продаваемого на свободном рынке в равновесии, обратно пропорционально его «замещающей способности». Вспомнив, что равновесие по потоку денег предполагается достигнутым, мы можем записать условия равновесия по потоку товара в следующем виде:

$$\tau \left. \frac{\partial S}{\partial V_A} \right|_{E_A, E_B} = \tau \left. \frac{\partial S}{\partial V_B} \right|_{E_A, E_B}. \quad (6.46)$$

Величину τdS при постоянном потоке денег можно интерпретировать как затраты на покупку последней, «маргинальной» части потока товара. Мы получаем хорошо известный маржиналистский результат. В равновесии отношение количества денег, потраченных на приобретение последней части товара, к единице замещающей способности одинаково для всех товаров.

§ 6.3. Рынок при постоянной температуре

Выше мы рассматривали модели экономических систем с фиксированным потоком денег. В случае реальных рынков, конечно, очень трудно определить, каков действительный поток денег. Кроме того, поток денег не является параметром равновесия системы, т.е., зная потоки

денег в двух различно устроенных системах, нельзя сказать, будут ли они находиться в равновесии при установлении контакта между ними. Поэтому гораздо интереснее рассматривать экономические модели при постоянной температуре, так как температура является параметром равновесия.

Для того чтобы перейти к новым переменным, можно использовать математическую технику, называемую преобразованием Лежандра. Геометрический смысл преобразований Лежандра состоит в том, что в качестве новых переменных в системе, заданной уравнением Пфаффа (т.е. неким линейным соотношением между дифференциалами переменных, определяющим интегральную поверхность системы), используются координаты касательной плоскости к этой поверхности {6.7}. Эта техника позволяет легко получить большое количество различных новых соотношений. При переходе к новым независимым переменным та экстенсивная величина, сохранение которой использовалось для получения параметра равновесия, заменяется на новую, в которую этот параметр равновесия входит линейно. Оказывается, что такое переопределение базисных величин очень полезно. Получившиеся после преобразования Лежандра величины, в статистической термодинамике обычно называемые потенциалами, обладают рядом замечательных свойств. Посмотрим, как работает преобразование Лежандра, переводящее независимые переменные (E, V) в независимые переменные (T, V) . Если мы будем исходить из соотношения

$$dE = \tau dS + \mu dN - P dV \quad (6.47)$$

— основного для нашей теории, то, считая температуру τ и число частиц N постоянными, из этого соотношения немедленно получаем (деля (6.47) на dV)

$$P = \left. \frac{\partial E}{\partial V} \right|_{\tau, N} + \tau \left. \frac{\partial S}{\partial V} \right|_{\tau, N} \quad (6.48)$$

или, если ввести функцию $F = T - \tau S$ (т.е. преобразование Лежандра)

$$P = - \left. \frac{\partial F}{\partial V} \right|_{\tau, N}. \quad (6.49)$$

Таким образом, зная функцию F , мы можем дифференцированием получить значение цены при постоянной температуре и постоянном числе агентов рынка.

Это очень существенное соотношение. Представим, что наша система взаимодействует с термостатом при температуре τ . Теперь мы не ограничены определенным значением потока денег — система обменивается деньгами с термостатом, нам достаточно предположить, что в целом система плюс термостат удовлетворяют соотношению сохранения потока денег.

Нетрудно видеть, что при изменении потока товара от V_1 до V_2 при постоянной температуре изменение потока денег будет

$$\int_{V_1}^{V_2} P dV = - \int_{V_1}^{V_2} \left. \frac{\partial F}{\partial V} \right|_{\tau, N} dV = F(V_1) - F(V_2). \quad (6.50)$$

При увеличении потока товара поток денег, затрачиваемый для того, чтобы сделать это увеличение возможным, оказывается равным изменению функции F . В статистической термодинамике функция F называется свободной энергией. Мы будем называть F свободным потоком денег. Легко показать, что $F = -\ln Z$, где Z — статистическая сумма системы.

Действительно,

$$F = E - \tau S = \sum_i E_i W_i - \tau \sum_i W_i \ln W_i, \quad (6.51)$$

где $W_i = \frac{e^{-\frac{E_i}{\tau}}}{Z}$ — вероятность для системы находиться в состоянии i . Подставляя W_i в формулу для F и вычисляя разность, получаем

$$F = -\ln Z. \quad (6.52)$$

Заметим, что F — отрицательная величина. Из соотношения (6.50) видно, что свободный поток денег — это наибольшие затраты, которые возможны в системе для увеличения потока товара.

Покажем теперь, что свободный поток денег экстремален в наиболее вероятной конфигурации при постоянной температуре и постоянном потоке товара. Действительно, в системе, находящейся во взаимодействии с термостатом, общий поток денег сохраняется:

$$dE_C + dE_T = 0, \quad (6.53)$$

где dE_C — изменение потока денег в системе, dE_T — изменение потока денег в термостате.

Полная энтропия системы $S_C + S_T$ максимальна, и, следовательно, $dS_C + dS_T = 0$, а температура системы τ определяется термостатом и

$$dE_T = \tau dS_T. \quad (6.54)$$

Таким образом,

$$dE_T = -dE_C = \tau dS_T = -\tau dS_C \quad (6.55)$$

или

$$dE_C - \tau dS_C = 0, \quad dF_C = 0. \quad (6.56)$$

Иными словами, функция F имеет экстремум в точке равновесия между системой и термостатом. Этот экстремум оказывается минимумом, что следует из максимальной энтропии. При любом изменении ситуации, выводящем систему из состояния равновесия, сумма изменения энтропии системы и термостата будет меньше либо равна 0:

$$\Delta S_C + \Delta S_T \leq 0. \quad (6.57)$$

Но энергия может попасть в систему только за счет уменьшения энтропии термостата:

$$\Delta E_C = -\tau \Delta S_T \quad (6.58)$$

и, так как $\Delta S_T \leq -\Delta S_C$, то

$$\Delta F_C = \Delta E_C - \tau \Delta S_C \geq 0. \quad (6.59)$$

А это значит, что система находится в равновесии при минимуме функции F при постоянных V и τ {6.8}. Это очень важное свойство. Это значит, что состояние равновесия можно искать через нахождение минимума некоторой функции, которая вычисляется, если мы знаем статистическую сумму. А для нахождения статистической суммы достаточно знать статистические веса состояний с различными допустимыми значениями потока денег и температуру. Все остальные параметры системы: поток денег E и цену — можно вычислить по простым формулам:

$$E = -\tau^2 \frac{\partial}{\partial \tau} \frac{F}{\tau} \Big|_{V,N}, \quad (6.60)$$

$$P = \frac{\partial F}{\partial V} \Big|_{\tau,N}. \quad (6.61)$$

Легко видеть, что преобразования Лежандра можно применять различными способами, переходя к другим независимым параметрам, например τ, P . В этом случае в статистической термодинамике вводится термодинамический потенциал Φ :

$$\Phi = E - \tau S - PV. \quad (6.62)$$

Сохраним это название и для нашего случая. Нетрудно показать, что термодинамический потенциал имеет минимум в равновесии при постоянных τ, P . Для термодинамического потенциала выполняются соотношения

$$d\Phi = -Sd\tau + VdP, \quad S = \left. \frac{\partial \Phi}{\partial \tau} \right|_P, \quad V = \left. \frac{\partial \Phi}{\partial P} \right|_\tau. \quad (6.63)$$

Отсюда нетрудно получить важное соотношение, исходя из возможности переставить порядок дифференцирования:

$$\left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_\tau = \frac{\partial}{\partial P} \left. \frac{\partial \Phi}{\partial \tau} \right|_P = - \left. \frac{\partial}{\partial \tau} \frac{\partial \Phi}{\partial P} \right|_\tau \quad (6.64)$$

или

$$\left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_\tau = - \left. \frac{\partial V}{\partial \tau} \right|_P. \quad (6.65)$$

Теперь мы можем построить термометр, чтобы определить абсолютную температуру произвольной системы.

Следует, конечно, заметить, что применять подобный термометр в экономике будет далеко не так просто, как в физике. В физике под термометром подразумевается некая произвольно отградуированная физическая система, которая приводится в тепловой контакт с измерительной системой, и по изменению состояния термометра, который предполагается находящимся в тепловом равновесии с измеряемым телом, определяется «условная температура». Далее, если мы знаем уравнение состояния термометра, условную температуру, выраженную, скажем, в объеме ртути, как это делается в медицинском термометре, можно пересчитать на абсолютную температуру. Однако такую процедуру можно осуществить и не зная заранее уравнения состояния термометра, а произведя ряд измерений термодинамических величин. Пусть

$\tau = \tau(\tau_{\text{усл}})$, где $\tau_{\text{усл}}$ — произвольно проградуированная шкала, связанная с неким термометром. Имеем соотношения, следующие из (6.65):

$$\left. \frac{\partial E}{\partial P} \right|_{\tau} = \tau \left. \frac{\partial S}{\partial P} \right|_P = -\tau \left. \frac{\partial V}{\partial \tau} \right|_P. \quad (6.66)$$

Производную $\left. \frac{\partial V}{\partial \tau} \right|_P$ можно выразить в «эмпирической шкале» через $\tau_{\text{усл}}$:

$$\left. \frac{\partial V}{\partial \tau} \right|_P = \left. \frac{\partial V}{\partial \tau_{\text{усл}}} \right|_P \frac{d\tau_{\text{усл}}}{d\tau}. \quad (6.67)$$

Отсюда

$$\left. \frac{\partial E}{\partial P} \right|_{\tau_{\text{усл}}} = -\tau \left. \frac{\partial V}{\partial \tau_{\text{усл}}} \right|_P \frac{d\tau_{\text{усл}}}{d\tau} \quad (6.68)$$

или

$$\frac{\partial \tau_{\text{усл}}}{\partial \tau} = - \frac{\left. \frac{\partial V}{\partial \tau_{\text{усл}}} \right|_P}{\left. \frac{\partial E}{\partial P} \right|_{\tau_{\text{усл}}}}. \quad (6.69)$$

Это соотношение в правой части имеет только функции, которые могут быть измерены в условной шкале {6.9}. Если мы можем это сделать, то мы можем и определить затем зависимость условной шкалы от относительной температуры. В случае реальных экономических систем это означало бы необходимость иметь некий образцовый рынок, который можно было бы присоединять к произвольному рынку и измерять, как меняется производная от потока товара по условной температуре при фиксированной цене и как меняется производная от потока денег по цене товара при фиксированной условной температуре. Ясно, что сбор такого рода статистических данных в большом количестве искусственно созданных условий в действительности мало реален. Важно, однако, подчеркнуть, что он возможен как мысленный эксперимент, т.е. что в принципе восстановление шкалы абсолютной температуры по определенному набору статистических данных возможно.

На самом деле, благоприятным обстоятельством является тот факт, что и в экономике есть аналог газового термометра — свободный рынок. Абсолютная температура свободного рынка вычисляется, как мы

видели выше, через средний поток денег на одного агента рынка. Тем самым мы имеем термостаты с различной температурой в виде свободных рынков значительного объема и при благоприятных обстоятельствах могли бы использовать их как инструменты изучения несвободных рынков.

Однако создание таких благоприятных обстоятельств обходится чрезвычайно дорого, для этого требуется проведение большого числа масштабных экономических экспериментов, цену которых трудно даже вообразить. В каком-то смысле заменой могло бы быть изучение исторических случаев, когда по тем или иным причинам подобные эксперименты проводились, но вряд ли удастся набрать достаточное количество случаев для одного определенным образом устроенного несвободного рынка.

По-видимому, единственным возможным путем изучения свойств несвободных рынков является математическое моделирование, результаты которого можно сравнивать с результатами анализа специально отобранных исторических случаев.

Глава 7

Термодинамические неравенства и принцип Ле Шателье

§ 7.1. Термодинамические неравенства

В рамках развиваемой в этой книге теории появляется интересная возможность получать неравенства, связывающие различные переменные в экономической системе точно таким же способом, каким подобные неравенства получаются в термодинамике, а именно через технику замены переменных. Получающиеся неравенства и есть, как нам представляется, те «экономические законы», о которых писал в свое время Карл Менгер. По существу, эти неравенства являются следствием предположений о том, что система при любых самопроизвольных изменениях только увеличивает свою энтропию, т. е. стремится перейти в наиболее вероятное состояние. Применяемая для доказательства неравенств техника замены переменных основана на использовании якобианов {7.1}. Якобианом двух функций от двух переменных (более сложные случаи нам не понадобятся) называется детерминант из частных производных:

$$\frac{\partial(u, v)}{\partial(x, y)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{vmatrix} = \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x}. \quad (7.1)$$

Очевидно, что при перестановке функций U и V якобиан меняет знак:

$$\frac{\partial(u, v)}{\partial(x, y)} = - \frac{\partial(v, u)}{\partial(x, y)}. \quad (7.2)$$

Кроме того,

$$\frac{\partial(u, y)}{\partial(x, y)} = \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_y. \quad (7.3)$$

Якобианы обладают свойствами, подобными свойствам обычных производных:

$$\frac{\partial(u, v)}{\partial(x, y)} = \frac{\partial(u, v)}{\partial(q, p)} \frac{\partial(q, p)}{\partial(x, y)}. \quad (7.4)$$

Пользуясь свойствами якобианов, можно легко получать различные соотношения между производными от переменных системы $\{7.2\}$. Фактически базисное неравенство $\delta S \leq 0$ в состоянии равновесия можно переписать множеством способов, показывающих, какие ограничения налагает это неравенство на соотношения между различными переменными в системе и их производными. Рассмотрим один важный пример.

Термодинамический потенциал Φ , определяемый как $E - \tau_0 S + P_0 V$, где τ_0 и P_0 — фиксированные величины, имеет минимум в точке равновесия. Следовательно, при отклонении от положения равновесия

$$\delta \Phi = \delta E - \tau_0 \delta S + P_0 \delta V > 0. \quad (7.5)$$

Разложим поток денег как функцию энтропии S и потока V товара по вариациям δS и δV с точностью до второго порядка малости:

$$\delta E = \frac{\partial E}{\partial S} \delta S + \frac{\partial E}{\partial V} \delta V + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 E}{\partial S^2} \delta S^2 + 2 \frac{\partial^2 E}{\partial S \partial V} \delta S \delta V + \frac{\partial^2 E}{\partial V^2} \delta V^2 \right). \quad (7.6)$$

Далее, так как в точке равновесия

$$\frac{\partial E}{\partial S} = \tau, \quad \text{а} \quad \frac{\partial E}{\partial V} = -P, \quad (7.7)$$

где $\tau = \tau_0$ и $P = P_0$, получаем, подставив δE в вариацию $\delta \Phi$ и сократив линейные по δS и δV члены,

$$\frac{\partial^2 E}{\partial S^2} \delta S^2 + 2 \frac{\partial^2 E}{\partial S \partial V} \delta S \delta V + \frac{\partial^2 E}{\partial V^2} \delta V^2 > 0. \quad (7.8)$$

Это неравенство выполняется, если выполняются два условия:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial S^2} > 0, \quad \frac{\partial^2 E}{\partial S^2} \frac{\partial^2 E}{\partial V^2} - \left(\frac{\partial^2 E}{\partial S \partial V} \right)^2 > 0. \quad (7.9)$$

Первое из этих условий означает, что в равенстве при постоянном потоке товара для увеличения потока денег необходимо увеличение температуры (если она положительная) или уменьшение температуры

(если она отрицательная). Действительно, по определению температуры

$$\frac{\partial^2 E}{\partial S^2} = \frac{\partial \tau}{\partial S} \Big|_V = \frac{\tau}{\tau \cdot \frac{\partial S}{\partial \tau} \Big|_V}. \quad (7.10)$$

Выражение в знаменателе в статистической термодинамике называется теплоемкостью при постоянном объеме. В нашем случае это величина, на которую необходимо увеличить поток денег в систему, чтобы нагреть ее на единицу температуры. Будем называть ее теплоемкостью рынка при постоянном потоке товара C_V . Получаем

$$\frac{\tau}{C_V} > 0. \quad (7.11)$$

Это первое из полученных нами термодинамических неравенств. Второе условие можно выразить на языке якобианов:

$$\frac{\partial \left(\frac{\partial E}{\partial S} \Big|_V, \frac{\partial E}{\partial V} \Big|_S \right)}{\partial(S, V)} > 0. \quad (7.12)$$

Или, что то же самое:

$$\frac{\partial(\tau, P)}{\partial(S, V)} < 0, \quad (7.13)$$

где τ — температура, P — цена. Заменяем пару переменных S, V на τ, V и получим

$$\frac{\partial(\tau, P)}{\partial(S, V)} = \frac{\frac{\partial(\tau, P)}{\partial(\tau, V)}}{\frac{\partial(S, V)}{\partial(\tau, V)}} = \frac{\frac{\partial P}{\partial V} \Big|_\tau}{\frac{\partial S}{\partial \tau} \Big|_V} = \frac{\tau}{C_V} \frac{\partial P}{\partial V} \Big|_\tau < 0. \quad (7.14)$$

Вспоминая неравенство (7/11), получаем

$$\frac{\partial P}{\partial V} \Big|_\tau < 0, \quad (7.15)$$

т. е. при увеличении потока товара при постоянной температуре цена товара падает. Заметим, что мы доказали весьма общее и не очевидное утверждение. Обратим внимание на то, как это утверждение получено. Мы исходили из того, что $\delta\Phi > 0$, и, разложив δE в ряд по δS и δV , получили некое новое неравенство. Но это неравенство

означает, что $\delta\Phi$ имеет строгий минимум в точке равновесия. Полученное нами соотношение есть не что иное, как условие выпуклости области, определяемое условием $\Phi > \Phi_0$ в окрестности точки равновесия. Преобразования якобианов при переходе к новым переменным фиксируют этот же факт: полученные термодинамические неравенства есть просто это же утверждение, записанное в других терминах. Это чрезвычайно общий метод получения термодинамических соотношений. Обычно это обстоятельство не акцентируется в курсах термодинамики, но в основе получения множества термодинамических соотношений лежат простые утверждения о выпуклости или вогнутости некоторых функций — прежде всего энтропии, а также свободной энергии и термодинамического потенциала. Тот факт, что дважды дифференцируемая функция имеет строгий максимум, достаточен для того, чтобы делать утверждения о выпуклости этой функции в окрестности максимума. На языке производных это будет выражаться, как мы видели, некими неравенствами. Далее эти неравенства можно записывать в различных координатных системах — при переходе от одних координат к другим свойство выпуклости в окрестности максимума оказывается инвариантным. Именно этот факт и лежит в основе методов получения неравенств. Здесь уместно провести параллель с ролью выпуклых допустимых областей в стандартных задачах математической экономики. В этих задачах выпуклость важна для обеспечения таких свойств решений, как единственность максимума функции полезности или существование неподвижной точки отображений. Мы видим, что существует некоторая общность между стандартным подходом математической экономики и развиваемым в настоящей книге термодинамическим подходом — важными оказываются дифференциально-топологические инварианты. С некоторой очень абстрактной точки зрения любая «теория равновесия» при всех тех различиях между механическим и термодинамическим подходами, которые мы отмечали выше, должна быть теорией критических точек отображений, т. е. разделом дифференциальной топологии {7.3}. К сожалению, как мы уже упомянули, этому факту не уделяется должного внимания.

Определим теперь теплоемкость рынка при постоянной цене C_P как изменение потока денег, необходимое для подъема температуры на одну единицу при постоянной цене, в виде

$$C_P = \tau \left. \frac{\partial S}{\partial \tau} \right|_P. \quad (7.16)$$

Попробуем теперь сравнить C_V и C_P — теплоемкости рынка при постоянной цене и постоянном давлении:

$$\begin{aligned}
 C_V &= \tau \frac{\partial(S, V)}{\partial(\tau, V)} = \tau \frac{\frac{\partial(S, V)}{\partial(\tau, P)}}{\frac{\partial(\tau, V)}{\partial(\tau, P)}} \\
 &= \frac{\tau \left(\frac{\partial S}{\partial \tau} \Big|_P \frac{\partial V}{\partial P} \Big|_\tau - \frac{\partial S}{\partial P} \Big|_\tau \cdot \frac{\partial V}{\partial \tau} \Big|_P \right)}{\frac{\partial V}{\partial P} \Big|_\tau} \\
 &= \tau \frac{\partial S}{\partial \tau} \Big|_P - \tau \frac{\frac{\partial S}{\partial P} \Big|_\tau \cdot \frac{\partial V}{\partial \tau} \Big|_P}{\frac{\partial V}{\partial P} \Big|_\tau}
 \end{aligned} \tag{7.17}$$

Если подставить в эту формулу полученные нами ранее соотношения $\frac{\partial S}{\partial P} \Big|_\tau = - \frac{\partial V}{\partial \tau} \Big|_P$ и вспомнить, что $C_P = \tau \frac{\partial S}{\partial \tau} \Big|_P$, получаем

$$C_P = C_V - \tau \frac{\left(\frac{\partial V}{\partial \tau} \right)_P^2}{\frac{\partial V}{\partial P} \Big|_\tau}. \tag{7.18}$$

Мы только что убедились, что $\frac{\partial P}{\partial V} \Big|_\tau < 0$. А это означает, что при положительной температуре

$$C_P > C_V. \tag{7.19}$$

Иными словами, чтобы разогреть рынок на единицу температуры при постоянном потоке товара нужен меньший поток денег, чем для того, чтобы сделать это при постоянной цене, т.е. *при возрастании потока денег температура рынка при постоянном потоке товара растет быстрее, чем при постоянной цене.*

Переводя это утверждение на язык экономической политики, можно сказать, что в условиях ограничения импорта инфляция в системе растет быстрее, чем в условиях свободной торговли, если мировые цены постоянны. (В условиях свободной торговли цена будет определяться ценами на мировом рынке.) Конечно, утверждения такого рода значимы только для моделей, как мы уже неоднократно подчеркивали. Под моделью мы здесь понимаем идеально-типическую абстракцию в

веберовском смысле, абстракцию от некоторых может быть и существенных, но необязательных для *данной модели факторов*. Тем не менее именно с такого рода моделями только и имела дело теоретическая экономика начиная в Вальраса, Джевонса и Менгера и кончая Эрроу, Самуэльсоном и Дебре.

§ 7.2. Принцип Ле Шателье

Принцип Ле Шателье фиксирует тот замечательный факт, что системы, стремящиеся к наиболее вероятному состоянию, способны оказывать своеобразное сопротивление изменению внешних условий. При таком изменении в них возникают силы, препятствующие изменениям. Для того чтобы убедиться в этом, рассмотрим систему, состоящую из рынка, погруженного в некую среду. Пусть есть два параметра α и x , характеризующие рынок, и S — энтропия системы в целом. Пусть, далее, параметр α характеризует внутреннее равновесие рынка, т. е. если $\frac{\partial S}{\partial \alpha} = 0$, то это означает, что рынок сам по себе находится в наиболее вероятном состоянии, но не обязательно в равновесии со средой. Если, кроме того, $\frac{\partial S}{\partial x} = 0$, то это означает, что равновесие существует также между средой и рынком. В неравновесных условиях $A = -\frac{\partial S}{\partial \alpha}$ и $X = -\frac{\partial S}{\partial x}$ будут отличны от нуля. Так как в положении равновесия энтропия должна быть максимальна, то это накладывает условия не только на A и X , но и на их производные по α и x точно так же, как в предыдущем параграфе, когда мы получали термодинамические неравенства. В равновесии должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} A &= 0, & X &= 0, \\ \left. \frac{\partial A}{\partial \alpha} \right|_x &> 0, & \left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_\alpha &> 0, \\ \left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_\alpha \left. \frac{\partial A}{\partial \alpha} \right|_x - \left(\left. \frac{\partial X}{\partial \alpha} \right|_x \right)^2 &> 0. \end{aligned} \tag{7.20}$$

Пусть теперь в результате какого-либо внешнего воздействия нарушается равновесие рынка со средой. Это означает, что X уже не будет равен 0, а параметр равновесия рынка со средой x изменит свое значение. Изменится и X на величину ΔX_H . Это приведет к тому,

что и внутренний параметр α , определяющий равновесие рынка самого по себе, также изменится. В свою очередь, изменение параметра приведет к новому изменению величины X по сравнению с первоначальным отклонением, так что результирующее отклонение при $A = 0$ (т. е. при восстановлении равновесия рынка) будет равно ΔX_K . Вопрос состоит в том, в какую сторону будут отклонять величину ΔX процессы, восстанавливающие равновесие рынка? Оказывается, что эти процессы приводят к уменьшению первоначального отклонения, т. е. $|\Delta X_H| > |\Delta X_K|$.

Действительно,

$$\begin{aligned}\Delta X_H &= \left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_{\alpha} \Delta x, \\ \Delta X_K \Big|_{A=0} &= \left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_{A=0} \Delta x.\end{aligned}\tag{7.21}$$

Искомое неравенство получается методом, описанным сходным с методом, описанным в предыдущем параграфе:

$$\left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_{A=0} = \frac{\partial(X, A)}{\partial(x, A)} = \frac{\frac{\partial(X, A)}{\partial(x, \alpha)}}{\frac{\partial(x, A)}{\partial(x, \alpha)}} = \left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_{\alpha} - \frac{\left. \frac{\partial X}{\partial \alpha} \right|_x^2}{\left. \frac{\partial A}{\partial \alpha} \right|_x}.\tag{7.22}$$

Но $\left. \frac{\partial A}{\partial \alpha} \right|_x > 0$ по условиям равновесия, и мы получаем искомый результат. Учитывая, что

$$\left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_{\alpha} \left. \frac{\partial A}{\partial \alpha} \right|_x - \left(\left. \frac{\partial X}{\partial \alpha} \right|_x \right)^2 > 0,\tag{7.23}$$

имеем

$$0 < \left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_{A=0} < \left. \frac{\partial X}{\partial x} \right|_{\alpha}\tag{7.24}$$

или

$$|\Delta X_K| < |\Delta X_H|,\tag{7.25}$$

т. е. процессы установления равновесия внутри рынка действительно частично компенсируют воздействие, приводящее к нарушению взаимодействия с внешней средой. Мы видим, что системы термодинамического типа обладают свойствами гомеостаза, стремясь воспротивиться нарушению состояния равновесия. Это и есть принцип Ле Шателье.

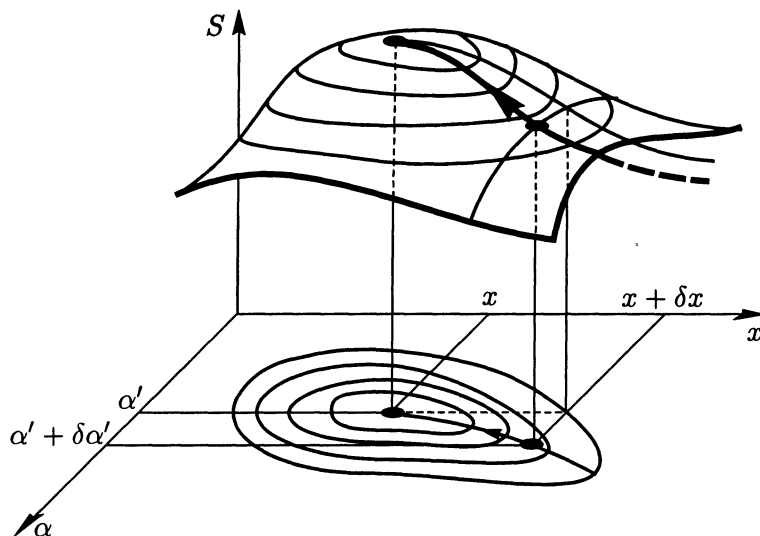


Рис. 1

Поясним полученный результат более наглядно. На рис. 1 наше рассуждение проиллюстрировано в частном случае, когда система при релаксации по параметру α (но не по x) возвращается в исходное состояние. После изменения x на δx система выведена из равновесия. Но равновесие начинает устанавливаться по параметру α , который, чтобы максимизировать энтропию, смещается в положение α' , в котором $\left. \frac{\partial S}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=\alpha'} = 0$. Очевидно, что при этом

$$|\delta S(x + \delta x, \alpha')| > |\delta S(x + \delta x, \alpha' + \delta \alpha')|. \quad (7.26)$$

Ясно, что крутизна поверхности $S(x, \alpha)$, которая пропорциональна ΔS , уменьшится после некоторого увеличения энтропии в процессе релаксации системы по параметру α .

Мы снова видим, что характер особенности функции S , а именно наличие максимума и, следовательно, выпуклости функции $S(x, \alpha)$, по существу и определяет справедливость неравенств, составляющих содержание принципа Ле Шателье.

Принцип Ле Шателье позволяет также получать термодинамические неравенства. Так, если взять в качестве параметра x энтропию рынка, а в качестве параметра α поток товара V , то из принципа

Ле Шателье будут следовать неравенства, уже известные нам из предыдущего параграфа:

$$C_P > C_V > 0. \quad (7.27)$$

Если в качестве x взять поток товара на рынок, а в качестве α — энтропию рынка, то можно получить неравенства

$$\left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_S < \left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_\tau < 0, \quad (7.28)$$

т. е. изменение цены при изменении потока товара на единицу при постоянной энтропии отрицательно и по модулю меньше, чем изменение цены при изменении потока товара на единицу при постоянной температуре.

Необходимо отметить, что вывод термодинамических неравенств в случае экономических моделей *ничем* не отличается от выводов термодинамических неравенств в статистической физике. Эти неравенства никак не зависят от природы систем, они являются просто другой формой выражения фундаментального неравенства термодинамики, непосредственно связанного с законом возрастания энтропии, а именно $\delta S \leq 0$ в состоянии равновесия, плюс предположения о дифференцируемости термодинамических функций.

Иными словами, и принцип Ле Шателье, и термодинамические неравенства суть следствия представления о том, что система в равновесии находится в наиболее вероятном состоянии, а это наиболее вероятное состояние является максимумом дважды дифференцируемой функции. По существу термодинамика — это не физическая теория. Это теория того, как наше знание о возможных состояниях элементарных систем плюс гипотезы об априорных вероятностях этих состояний определяют наиболее вероятные (равновесные) состояния более сложных систем.

Глава 8

Флуктуации рынка

§ 8.1. Средние значения флуктуаций

Хорошо известно, что рынки флуктуируют. Если наблюдать зависимость от времени некоторых параметров рынка, например цен или количества проданного товара, мы увидим, что эти параметры колеблются около равновесных значений. Причины этих колебаний могут быть различными, но нам необходимо сделать важное разграничение и выделить два типа колебаний.

Первый тип колебаний — это результат того, что рынки очень редко можно рассматривать как изолированные. Как правило, рынки являются частями больших рынков. Даже если система в целом (т. е. не только непосредственно наблюдаемая часть, но и другие, связанные с ней экономические системы) находится в равновесии, возможны случайные отклонения, которые, вообще говоря, тем больше, чем меньшую систему мы рассматриваем. Второй тип колебаний — это спекулятивные колебания, ими мы займемся в конце данной главы.

Мы уже видели, что величины среднеквадратичного отклонения обратно пропорциональны корню квадратному из числа экономических агентов рынка. Ниже мы покажем, какого рода теория может быть использована для вычисления среднеквадратичных флуктуаций. Эта теория снова оказывается тождественной теории флуктуаций, известной из статистической физики. Но в нашем случае, в применении к экономике, теория флуктуаций особенно значима в силу того, что измерения флуктуаций рынков — это вполне доступная процедура, а, как мы увидим ниже, средние значения флуктуаций рынка оказываются связанными с термодинамическими параметрами рынков. Это значит, что измерение средних значений флуктуаций могут быть использованы для измерения термодинамических параметров рынков, в частности для измерения температуры.

Вряд ли нужно пояснять, насколько важным может оказаться это для построения теории. Мы получаем наконец тот измерительный

инструмент, который может заменить специальные экспериментальные условия.

Тем не менее все, что говорилось об искусственной реальности эксперимента, остается справедливым. Помимо чисто вероятностных факторов, связанных с особенностями структуры рынка, на флуктуации измеряемых величин, таких как цены и объемы товара, будут влиять и другие, нерыночные, факторы: социальные, политические, демографические и пр.

Термодинамическая модель рынка пренебрегает этими факторами, в действительности же от них избавиться нельзя, разве что свести их влияние к минимуму, выбирая специальные моменты для измерений или исключая некоторые данные. Мы по-прежнему оказываемся перед лицом все той же дилеммы: для того чтобы действительно проверить теорию, необходимо создать искусственную реальность или, по крайней мере, выбрать особые случаи, которые будут близки к искусственной реальности, для которых влияние не входящих в модель факторов будет сведено к минимуму.

В этом смысле измерения флуктуаций в имеющихся системах гораздо более экономный способ изучения экономических систем, чем специальное конструирование экспериментальных ситуаций, которое попросту вряд ли возможно из-за невероятно большой стоимости подобных экспериментов.

Итак, посмотрим, как же изучение флуктуаций рынка может заменить такие специальные эксперименты. Мы будем в этом параграфе полагать, что флуктуации рынка возникают произвольно из-за свойств рынка как такового, т. е. считать несуществующими принудительные изменения макропараметров рынка и планируемые спекуляции. Реакцию на принудительные изменения мы рассмотрим в следующем параграфе, кроме того, что очень существенно, мы будем рассматривать *флуктуации* в окрестности равновесия. Далее мы увидим, что существуют области неустойчивости рынков, когда случайная флуктуация может привести к макроскопическим и иногда сколь угодно большим отклонениям от равновесия.

Естественно считать, в полном соответствии с основным постулатом статистической теории, что вероятность того, что система находится в некоем состоянии, описываемым макропараметром X , пропорциональна числу микросостояний соответствующих этому значению макропараметров. Иными словами, вероятность $W(X)$ системы быть в макросостоянии X пропорциональна статистическому весу $g(X)$ этого

состояния. Напомним, что эти основные положения статистической теории не доказываются — мы по определению считаем элементарные микросостояния равновероятными. Отсюда легко заключить, что вероятность системы быть в макросостоянии X пропорциональна экспоненте от энтропии этого макросостояния, — просто в силу определения энтропии как логарифма статистического веса:

$$W(x) \approx g(x) = e^{\ln g(x)} = e^{S(x)}. \quad (8.1)$$

Здесь мы видим, что никакой разницы между физическими и экономическими системами нет, если мы интересуемся только соотношениями между макро- и микропараметрами системы.

Если мы рассматриваем систему, находящуюся в состоянии равновесия X_0 , то можно разложить энтропию $S(X_0 + \Delta X)$ в ряд по X . По смыслу равновесного состояния

$$\left. \frac{\partial S}{\partial X} \right|_{X_0} = 0, \quad \left. \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \right|_{X_0} < 0, \quad (8.2)$$

так как энтропия максимальна.

Снова свойства особой точки некоторого отображения позволяют нам построить теорию. Мы видим, что вероятность $W(x)$ системы иметь значение макропараметра X , отличающееся на ΔX от равновесного значения X_0 , пропорциональна

$$W(X_0 + \Delta X) \approx e^{S_0 - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \Delta X^2}. \quad (8.3)$$

Так как экспонента очень быстро падает с ростом аргумента, роль $W(X_0 + \Delta X)$ для больших ΔX реально не важна, и мы можем с хорошей точностью получить нормировочную константу для распределения вероятности, интегрируя W по ΔX от $-\infty$ до ∞ . Интегрируя, получаем для функции распределения выражение

$$\int_{-\infty}^{\infty} d\Delta X W(X_0 + \Delta X) = A \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\Delta X^2}{2}} \left. \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \right|_{X_0} d\Delta X = 1 \quad (8.4)$$

или

$$W(X_0 + \Delta X) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \left. \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \right|_{X_0} e^{-\frac{\Delta X^2}{2} \left. \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \right|_{X_0}}. \quad (8.5)$$

Отсюда нетрудно вычислить и средний квадрат флуктуации:

$$\overline{\Delta X^2} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \left. \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \right|_{X_0} \int_{-\infty}^{\infty} (\Delta X)^2 e^{-\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \Delta X^2} d\Delta X = \frac{1}{\left. \frac{\partial^2 S}{\partial X^2} \right|_{X_0}}. \quad (8.6)$$

Следовательно, для вероятности отклонения системы от состояния равновесия получаем распределение Гаусса:

$$W(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\overline{\Delta X^2}}} e^{-\frac{\Delta X^2}{2\overline{\Delta X^2}}}. \quad (8.7)$$

Из-за малости ΔX и резкого падения вероятности с ростом X можно просто найти среднеквадратичную величину для любой функции $f(X)$, разлагая ее в ряд Тейлора и ограничиваясь первым членом:

$$\overline{\Delta f^2} = \left(\left. \frac{\partial f}{\partial X} \right|_{X=X_0} \right)^2 \overline{\Delta X^2}. \quad (8.8)$$

Чтобы вычислить среднее от произведений флуктуаций термодинамических величин, необходимо заметить, что среднее от флуктуации $\overline{\Delta X}$ равно нулю в силу симметрии функции распределения относительно точки $\Delta X = 0$. Среднее от произведения флуктуаций независимых величин $\overline{\Delta \alpha \Delta b}$ также равно нулю, так как для независимых величин $\overline{\Delta \alpha \cdot \Delta b} = \overline{\Delta \alpha} \cdot \overline{\Delta b} = 0$.

Рассмотрим теперь среднее от произведений флуктуаций, не являющихся независимыми. Для этого нам понадобится примерно та же техника работы с термодинамическими величинами, которая уже использовалась выше для получения термодинамических неравенств. Если происходит флуктуация в некоей части рынка, находящейся в равновесии, то это означает, что мы можем считать температуру среды и цену в первом приближении постоянными (для малой флуктуации). А это, в свою очередь, значит, что отклонения потока денег от равновесного будут даваться термодинамическим потенциалом в соответствии с рассуждениями § 3 главы 6 {8.1}:

$$\Delta \Phi = \Delta E - \tau_0 \Delta S + P_0 \Delta V, \quad (8.9)$$

где τ_0 — равновесная температура, а P_0 — равновесная цена.

Действительно, энтропия рынка есть функция от потока денег. Если мы производим некоторые изменения этого потока в части системы, то изменится и энтропия системы в целом:

$$\Delta S = \frac{\partial S}{\partial E} \cdot \Delta E|_{P_0, \tau_0} = \tau_0 \Delta \Phi. \quad (8.10)$$

Изменения Φ можно найти, разлагая E в ряд по δS и δV . Здесь необходимо подчеркнуть, что функция распределения зависит от *полного* изменения энтропии системы при флуктуации, в то время как δS и δV — это изменения энтропии и потока товара только для выделенной части системы.

Так же, как мы это видели выше,

$$\begin{aligned} \Delta \Phi &= \Delta E - \tau \delta S + P \delta V \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 E}{\partial S^2} (\delta S)^2 + 2 \frac{\partial^2 E}{\partial S \partial V} \delta S \delta V + \frac{\partial^2 E}{\partial V^2} \delta V^2 \right) \\ &= \frac{1}{2} \left[\delta S \delta \left(\frac{\partial E}{\partial V} \Big|_S \right) \right] = \frac{1}{2} (\delta S \delta \tau - \delta V \delta P) \end{aligned} \quad (8.11)$$

(где члены первого порядка сокращаются).

Здесь мы видим математический смысл изменения термодинамического потенциала $\Delta \Phi$ — оно показывает отклонение потока денег от касательной плоскости к уравнению состояния $E = E(V, \tau)$. Теперь мы можем записывать это изменение в различных системах координат. Выбрав, например, систему переменных δV , $\delta \tau$, мы можем выразить δS и δP через δV , $\delta \tau$. Получаем после вычислений

$$\delta P \delta V - \delta \tau \delta S = -\frac{C_V}{\tau} \delta \tau^2 + \frac{\partial P}{\partial V} \Big|_{\tau} \delta V^2. \quad (8.12)$$

Вероятность флуктуации при уклонении систем от равновесия оказывается произведением двух множителей зависящих от δV и $\delta \tau$,

$$W(\delta \tau, \delta V) \approx e^{-\frac{1}{2\tau} \left(-\frac{C_V}{\tau} \delta \tau^2 + \frac{\partial P}{\partial V} \Big|_{\tau} (\delta V)^2 \right)}, \quad (8.13)$$

т.е. $\overline{\delta V \delta \tau} = 0$.

Нетрудно вычислить и средние квадратичные значения флуктуаций, сравнивая $W(\delta \tau, \delta V)$ с формулой распределения Гаусса (8.7):

$$\begin{aligned} \overline{(\delta \tau)^2} &= \frac{\tau^2}{C_V}, \\ \overline{(\delta V^2)} &= -\tau \frac{\partial V}{\partial P} \Big|_{\tau}. \end{aligned} \quad (8.14)$$

Отсюда уже легко вычислить среднее значение:

$$\overline{\delta P \delta V} = \overline{\left(\left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_{\tau} \delta V - \left. \frac{\partial P}{\partial \tau} \right|_V \delta \tau \right) \delta \tau} = \left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_{\tau} \overline{\delta V^2} = -\tau. \quad (8.15)$$

Это соотношение дает возможность измерять температуру рынка, вычисляя среднее от произведения флуктуации цены на флуктуацию потока товара. Так как среднее по ансамблю можно заменить на среднее по времени, получаем формулу для эмпирического вычисления температуры рынка:

$$\tau = -\frac{1}{2} \frac{1}{T} \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T [V(t) - \bar{V}] [P(t) - \bar{P}] dt. \quad (8.16)$$

И зависимость цены от времени, и зависимость потока товара от времени — это в принципе доступные данные, скажем для товарной биржи. Следовательно, если мы предполагаем, что на цены и потоки товара не влияют никакие посторонние факторы, не определяемые структурой рынка как такового, у нас есть средство измерять термодинамические параметры рынков.

§ 8.2. Флуктуация во времени

Посмотрим, как можно рассматривать зависимость флуктуаций от времени в системе, которая была выведена из равновесия. Здесь необходимо заметить, что мы имеем право рассматривать только такие отклонения от равновесия, которые не слишком велики, но, с другой стороны, и не слишком малы {8.2}. Если начальное отклонение от равновесия очень мало, то динамика флуктуаций не будет ничем отличаться от хаотических самопроизвольных флуктуаций. Если же начальное отклонение очень велико, то необходимо учитывать нелинейные эффекты в зависимости скорости изменения исследуемой величины от значения начального отклонения. Мы же ограничимся линейным случаем, т. е. будем предполагать, что в зависимости скорости возвращения отклонившейся от равновесия величины от величины отклонения можно пренебречь всеми членами разложения скорости в ряд Тейлора, кроме первого.

Если говорить о практическом применении такого подхода для предсказания поведения временных рядов, скажем, цены на биржевых рынках, то это означает, что разумные предсказания можно сделать

для ограниченных отрезков времени, когда выведенные из равновесия цены возвращаются к равновесному значению, но все еще остаются больше дисперсии (см. рис. 2: отрезки времени $t_{i_k} - t_{i_n}$ — это те периоды, когда предсказание может быть значимым). Значение дисперсии отклоняющейся величины ΔX можно определить, пользуясь соображениями, высказанными в предыдущем параграфе.

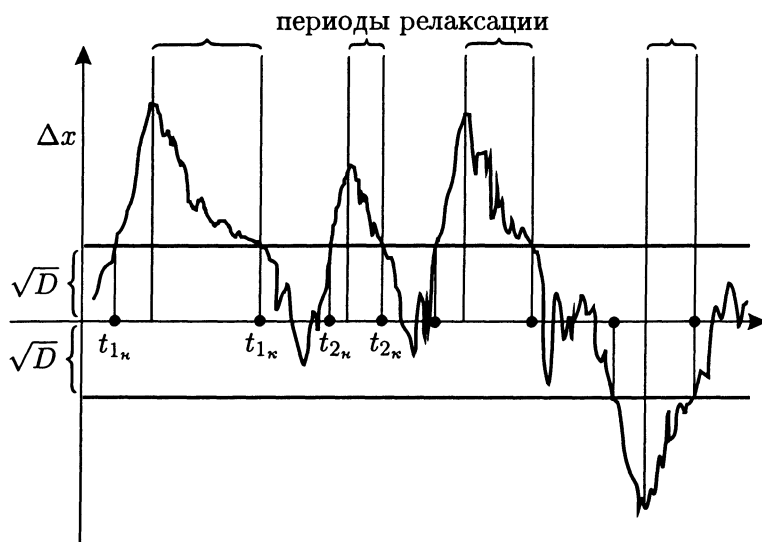


Рис. 2

Следует заметить, что далеко не для всех рынков такое предсказание возможно. Как мы увидим ниже, для того чтобы чисто термодинамический подход работал, необходимо, чтобы «тень будущего» не оказывала слишком сильного воздействия на поведение агентов рынка, а также чтобы соблюдалась определенного рода симметрия между продавцами и покупателями. Иными словами, вряд ли термодинамический подход будет хорош для фондовых рынков, где трудно себе представить выполнение обоих отмеченных выше условий, но он может вполне годиться для товарных бирж.

Для того чтобы построить теорию временных флуктуаций, необходимо ввести важную величину, называемую автокорреляционной функцией. Она определяется как среднее по ансамблю от произведения значений изучаемой величины, разделенных фиксированным интервалом времени t_0 :

$$\varphi(t_0) = \langle \Delta X(t) \Delta X(t + t_0) \rangle. \quad (8.17)$$

Знание этой величины позволяет определить спектральную плотность мощности флуктуаций, т.е. вероятность того, что «частота» флуктуации лежит в определенном интервале. Здесь мы пользуемся метафорическим языком, говоря о «частоте» флуктуаций, — на самом деле, мы при этом имеем в виду наличие процессов с некоторым характерным временем релаксации t_0 .

Частота обратно пропорциональна времени релаксации:

$$\omega \approx \frac{1}{t_0}. \quad (8.18)$$

В более формальном изложении соображения о взаимосвязи частоты флуктуаций и времени релаксации выглядят следующим образом. Определим преобразование Фурье от функции $\Delta X(t)$:

$$\Delta X_\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta X(t) e^{i\omega t} dt. \quad (8.19)$$

Тогда функцию $X(t)$ можно рассматривать как обратное преобразование Фурье от ΔX_ω :

$$\Delta X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta X_\omega e^{-i\omega t} d\omega. \quad (8.20)$$

Это выражение для $\Delta x(t)$ можно подставить в определение автокорреляционной функции для $\Delta x(t)$:

$$\varphi(t_0) = \left\langle \iint_{-\infty}^{\infty} \Delta X_\omega \Delta X_{\omega'} e^{-i(\omega+\omega')t} e^{-i\omega t_0} d\omega d\omega' \right\rangle. \quad (8.21)$$

Заметим теперь, что усреднение по ансамблю можно в соответствии с основным положением статистической термодинамики заменить усреднением по времени:

$$\varphi(t_0) = \iint_{-\infty}^{\infty} \Delta X_\omega \Delta X_{\omega'} \left[\frac{1}{T} \int_{-T}^T e^{-i(\omega+\omega')t} dt \right] e^{-i\omega t_0} d\omega d\omega'. \quad (8.22)$$

В пределе $T \rightarrow \infty$ под интегралом оказывается выражение для дельта-функции — $\delta(\omega + \omega')$. Отсюда для автокорреляционной функции $\varphi(t_0)$ получаем

$$\varphi(t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta X_{\omega}^2 e^{-i\omega t_0} d\omega, \quad (8.23)$$

или, совершая преобразование Фурье, мы можем получить выражение для спектральной плотности мощности:

$$X_{\omega}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t_0) e^{i\omega t_0} dt_0. \quad (8.24)$$

Это выражение известно как теорема Винера–Хинчина {8.3}.

Теперь мы можем лучше понять, как связаны частоты флуктуаций и время релаксации. Пусть скорость возвращения переменной ΔX к равновесному значению (т.е. к 0) зависит только от значений самой этой переменной:

$$\frac{d\Delta X(t)}{dt} = f(\Delta X). \quad (8.25)$$

Разлагая $f(X)$ в ряд Тейлора, помня, что $f(0) = 0$ (т.е. в равновесии скорость изменения равна 0), и пренебрегая всеми членами разложения, кроме линейного, получаем

$$\frac{d\Delta X}{dt} = -\lambda \Delta X, \quad (8.26)$$

где $\lambda > 0$, т.е. $\Delta X(t) = \Delta X(0) e^{-\lambda t}$.

Подставляя это выражение для ΔX в формулу для автокорреляционной функции, получаем

$$\varphi(t_0) = \langle \Delta X^2 \rangle e^{-\lambda t}. \quad (8.27)$$

При этом необходимо помнить, что мы:

1) пренебрегаем высшими членами в разложении функции $\Delta \dot{X}(t)$ по ΔX ;

2) рассматриваем значения ΔX , большие типичных самопроизвольных флуктуаций, т.е. $|\Delta X| < \sqrt{D}$, где D — дисперсия термодинамических флуктуаций величины ΔX .

Теперь мы можем определить λ , если мы знаем автокорреляционную функцию:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(|t_0|) dt_0 = \langle \Delta X^2 \rangle 2 \int_0^{\infty} e^{-\lambda t_0} dt_0 = \langle X^2 \rangle \frac{2}{\lambda}. \quad (8.28)$$

Это означает, что, если у нас есть временной ряд $\Delta \dot{X}(t)$, мы имеем возможность, вычислив автокорреляционную функцию

$$\varphi(t_0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \Delta X(t) \Delta X(t + t_0) dt \quad (8.29)$$

и взяв от нее интеграл по времени, получить константу скорости возвращения переменной ΔX в состояние равновесия:

$$\lambda = \frac{2 \langle X^2 \rangle}{\int_0^{\infty} \varphi(t_0) dt_0} = \frac{2\pi \langle X^2 \rangle}{X_{\omega}^2(0)}, \quad (8.30)$$

где $X_{\omega}^2(0)$ — спектральная плотность мощности при нулевой частоте в соответствии с теоремой Винера–Хинчина.

Заметим, что для экспоненциальной автокорреляционной функции спектральная плотность мощности выглядит следующим образом:

$$X_{\omega}^2 = \frac{\lambda}{\pi(\omega^2 + \lambda^2)} \langle X^2 \rangle. \quad (8.31)$$

При частотах меньших λ спектральная плотность мощности примерно равна $\frac{1}{\pi\lambda} \langle X^2 \rangle$, т. е. для частот, меньших обратного времени релаксации системы, вероятности для переменной ΔX иметь ту или иную частотную компоненту примерно равны.

Каков же физический смысл приведенного анализа термодинамических флуктуаций? Такой анализ имеет ценность тогда, когда в рассматриваемой системе имеются два различных времени релаксации.

Одно — очень маленькое — для установления неполного равновесия, т. е. такого равновесия, когда для частей системы имеет смысл вводить термодинамические переменные, и другое — большое, — соответствующее установлению полного равновесия.

В случае рынков это означает, что имеет смысл делить рынок на некие части, каждая из которых сама по себе может описываться термодинамической моделью. В чисто практическом плане в качестве $\Delta X(t)$ можно рассматривать, например, разности цен на различных биржах, так как время релаксации этого параметра больше, чем время релаксации на отдельной бирже. Вероятно, интересно рассмотреть с этой точки зрения процессы глобализации экономики.

Следует отметить, что в применении теории термодинамических флуктуаций к изучению релаксации цен на рынках все же следует соблюдать предельную осторожность по причинам, которые мы обсудим в следующем параграфе.

§ 8.3. «Тень будущего» и коллективное поведение на рынке

Теперь мы должны задать очень важный вопрос, непосредственно связанный с исследованием флуктуаций рынка. Какое влияние на флуктуации оказывают представления агентов рынка о будущем? Вообще говоря, агенты рынка имеют различную информацию о ситуации, и в окрестности равновесия в соответствии с концепциями, которые мы обсуждали в главе 3, трудно ожидать скоординированного поведения: ведь именно отсутствие такого скоординированного поведения и характеризует тот «расширенный порядок», о котором писал Ф. Хайек. Преимущества получает тот, кто открывает новые возможности, новый тип поведения, а множество таких возможностей в принципе ничем не ограничено. В том случае, когда начинает доминировать какой-либо определенный стереотип поведения, следует ожидать не роста «порядка», а его разрушения. Именно это и случается, когда значительной частью агентов рынка начинает овладевать одна идея — скажем, вкладывать деньги в какой-то определенный вид деятельности или определенную компанию. В этом случае активы быстро оказываются переоцененными, что рано или поздно (и часто достаточно быстро) становится ясным, вызывая новую волну спонтанно скоординированного поведения — на этот раз вынуть деньги из соответствующей области деятельности. Подобные ситуации приводят уже не просто к флуктуациям, но к значительным колебаниям, а иногда и к полному краху рынка (примеры такого рода весьма многочисленны, достаточно вспомнить недавние экономические катастрофы в Мексике и Юго-Восточной Азии).

Решающую роль в подобном спонтанно скоординированном поведении агентов на рынке играет «тень будущего» — представления о возможном развитии ситуации. Результат получается неожиданным для участников ситуации. Их коллективное поведение ведет именно к тому результату, которого каждый из них стремится избежать. Подобный эффект хорошо известен в так называемых играх с несотрудничеством и наиболее хорошо изучен на примере игры под названием «дилемма заключенного». Этой теме посвящена необозримая литература, и здесь не место обсуждать данную проблему, но необходимо заметить, что именно в играх с несотрудничеством (хотя и в несколько ином смысле) была выделена радикально значимая роль «тени будущего» в формировании спонтанных паттернов коллективного поведения {8.4}.

В таком случае интерес представляет следующая проблема: как взаимосвязаны мелкие флуктуации системы и паттерны спонтанного поведения, меняющие общую ситуацию на рынке. Иными словами, какую роль спонтанно формируемое коллективное поведение играет в проблеме устойчивости рыночного равновесия.

Если малые флуктуации параметров рынка способствуют формированию спонтанного коллективного поведения, разрушающего равновесие рынка, то рынок оказывается эволюционно неустойчивым, несмотря на то, что в неоклассическом смысле равновесие на таком рынке должно существовать.

Подобные вопросы в последние годы находятся в центре внимания исследователей, стремящихся уйти от неоклассической ортодоксии и расширить рамки экономических исследований, в особенности в связи с исследованием влияния технических инноваций в экономике {8.5}. Но здесь мы ограничимся рассмотрением простой модели «спекулятивного поведения», показывающего, в каких условиях флуктуации рынка можно рассматривать как термодинамические.

Исследование процесса формирования биржевой цены представляет особый интерес как с точки зрения создания прогностических моделей, так и в чисто теоретическом аспекте, так как цена является хорошим примером, который иллюстрирует, как целенаправленная деятельность множества людей, основанная на индивидуальных прогнозах и принятии решений, приводит к образованию некоторой коллективной переменной.

Сама по себе задача прогнозирования биржевых цен требует чрезвычайно детального изучения конкретной обстановки и выявления

массы факторов не только экономического, но и политического характера. Заранее безнадежной представляется попытка построения математической модели, учитывающей все эти факторы. Вместе с тем необходимо заметить, что многие из внешних факторов, а также ряд экономических факторов (например, уровень реального спроса на товар) могут оставаться неизменными в течение достаточно долгого времени, в то время как цены испытывают постоянные колебания. Причиной этих колебаний является спекулятивная деятельность. Анализ зависимости биржевых цен от времени приводит к выводу, что для коротких отрезков времени характер колебаний зачастую обладает некоторыми общими особенностями. Этот факт наводит на мысль изучать спекулятивные колебания в условиях неизменных «долговременных» факторов, что дает возможность моделировать изменение биржевых цен, пользуясь разницей в масштабах времени для колебаний цены, вызванных спекулятивными операциями, и колебаний цены, возникающих в результате действия долговременных факторов.

Мы абстрагируемся от реальных условий функционирования биржи, сделав ряд существенных упрощающих допущений.

Определим «среднюю цену» $\bar{X}(t)$ как отношение средней величины денежной массы $\bar{P}(t)$, затрачиваемой на покупку товара в единицу времени, к среднему количеству товара $\bar{Q}(t)$, проданного за то же время:

$$\bar{X}(t) = \frac{\bar{P}(t)}{\bar{Q}(t)}. \quad (8.32)$$

Напомним, что в соответствии с результатами главы 6 на свободном рынке это отношение совпадает с маргинальной ценой, определяющей равновесие рынка, где $\bar{P}(t)$ и $\bar{Q}(t)$ — медленно меняющиеся величины, значение которых определяется производственными мощностями и другими медленно меняющимися факторами.

Спекулятивные операции приводят к тому, что и поток денежной массы $P(t)$, и поток товара $Q(t)$ изменяются, что ведет к изменению цены. «Мгновенная» цена $X(t)$ зависит от $\Delta P(t)$ и $\Delta Q(t)$:

$$X(t) = \frac{\bar{P}(t) + \Delta P(t)}{\bar{Q}(t) + \Delta Q(t)}. \quad (8.33)$$

Для коротких промежутков времени $\bar{Q}$ и $\bar{P}$ можно считать не зависящими от времени (это возможно из-за разницы во временных масштабах изменения спекулятивных и долговременных факторов).

Обсуждавшаяся выше идея «тени будущего» приводит к мысли, что модели формирования биржевой цены должны радикально отличаться по структуре от традиционных механических моделей равновесия. Механические модели равновесия дают описание будущего состояния на основании знания прошлого. Биржевая цена в значительной степени формируется в результате взаимодействия целеустремленных систем (иначе говоря, в результате соотношения определенных образов будущего у людей, принимающих решения о закупке того или иного количества товара). Агенты рынка действуют на основании имеющегося у них прогноза, и, таким образом, биржевая цена зависит от того, какими прогнозами руководствуются агенты рынка, принимающие решения. Эти прогнозы могут зависеть не только от значения цены в прошлом и настоящем, но и от их оценки направления развития долгосрочных факторов, от политической ситуации и от многого другого. Именно с тем фактом, что биржевая цена формируется в результате прогнозов, и связана известная непредсказуемость биржевой цены. По существу, для того чтобы предсказать цену, необходимо предсказать прогнозы отдельных агентов рынка, совершающих биржевые операции.

Если ограничиться простым предположением о том, что дополнительное количество товаров и денег, появляющееся на бирже, зависит от возможной прибыли, то можно написать следующее уравнение для биржевой цены:

$$X(t) = \frac{\bar{P} + \sum_{\ell} f_{\ell}[X(t), \tilde{X}_{\ell}(t + \tau)]}{\bar{Q} + \sum_k \varphi_k[X(t), \tilde{X}_k(t + \tau)]}, \quad (8.34)$$

где ℓ — индекс, характеризующий покупателей, k — индекс, характеризующий продавцов, $\tilde{X}(t + \tau)$ — прогнозируемая цена на период τ , φ_{ℓ} и f_{ℓ} — функции, характеризующие зависимость дополнительного потока денег и товаров от мгновенной и прогнозируемой цены.

В такой форме уравнение является слишком общим и непригодно для исследования, однако оно может служить исходным пунктом для дальнейших упрощений, приводящих к более конкретным уравнениям. Нашей основной задачей будет выяснение условий, в которых наблюдается равновесный тип флуктуаций биржевых цен — колебания вокруг некоего среднего значения, возможно медленно меняющегося во времени вместе с объемом поставок Q и потоком денежной массы P .

Мы сделаем следующие упрощающие предположения:

1) будем считать, что все покупатели пользуются одинаковым прогнозом и все продавцы пользуются одинаковым прогнозом (причем эти прогнозы не обязательно тождественны);

2) увеличение предложения пропорционально возможной (прогнозируемой) прибыли на единицу товара;

3) увеличение спроса также пропорционально возможной прибыли.

Тогда уравнение (8.34) принимает следующий вид:

$$X(t) = \frac{\bar{P} + \alpha [\tilde{X}_P(t + \tau) - X(t)]}{\bar{Q} + \beta [\tilde{X}_Q(t + \theta) - X(t)]}, \quad (8.35)$$

где $\tilde{X}_P(t + \tau)$ — прогноз покупателей, использующих базисное время прогноза τ ; $\tilde{X}_Q(t + \theta)$ — прогноз продавцов, использующих базисное время прогноза θ . Следует ожидать, что τ и θ могут быть существенно различны, т. е. рынок, вообще говоря, асимметричен {8.6}.

Теперь можно сделать дальнейшие упрощения. Естественно предположить, что прогноз определяется разложением цены $X(t)$ в ряд Тейлора по времени, причем учитываются члены не выше второго порядка. Трудно себе представить учет влияния производных цены выше второй на человеческое восприятие — глаз обычно определяет первую и вторую производную по характеру кривой. Тогда уравнение (8.35), будет выглядеть следующим образом:

$$X(t) = \frac{\bar{P} + \alpha \left(\tau \dot{X} + \frac{\tau^2}{2} \ddot{X} \right)}{\bar{Q} + \beta \left(\theta \dot{X} + \frac{\theta^2}{2} \ddot{X} \right)}. \quad (8.36)$$

Далее мы имеем следующие альтернативы:

а) можно ограничиться первыми производными, в этом случае получаем уравнение

$$X(t) = \frac{\bar{P} + \alpha \tau \dot{X}}{\bar{Q} + \beta \theta \dot{X}}; \quad (8.37)$$

б) можно исследовать более сложное уравнение (8.36).

Исследовать случай а) весьма просто. Разрешая уравнение (8.37) относительно $\dot{X}$, получаем

$$\dot{X} = \frac{\bar{P} - \bar{Q}X}{BX - A}, \quad (8.38)$$

где $B = \beta\theta$, $A = \alpha\tau$.

Это уравнение можно проинтегрировать, однако мы исследуем его более простым способом. Заменим переменные $Z = \frac{B}{A}X$ и получим

$$F\dot{Z} = \frac{\Phi - Z}{Z - 1}, \quad \text{где} \quad F = \frac{A}{Q}, \quad \Phi = \frac{\bar{P}B}{\bar{Q}A}. \quad (8.39)$$

Если $F > 0$ (рис. 3а), т. е. $A > 0$ и $\Phi > 1$, то имеется устойчивое равновесие в точке $Z = \Phi$ ($X = \frac{\bar{P}}{\bar{Q}}$).

Если $F > 0$ и $\Phi < 1$ (рис. 3б), то равновесие в точке $Z = \Phi$ ($X = \frac{\bar{P}}{\bar{Q}}$) неустойчиво. При небольшом увеличении цены она быстро возрастает до величины, соответствующей $Z = 1$ ($X = \frac{A}{B}$), при небольшом уменьшении — падает до 0.

Очень интересен случай $\Phi = 1$. В этом случае равновесия нет вообще, так как $\dot{Z} = -\frac{1}{F} \left(\dot{X} = \frac{Q}{B} \right)$.

При $B < 0$ (рис. 3в) цена непрерывно возрастает, при $B > 0$ (рис. 3г) — падает до 0. (Ясно, что смысл имеет только полуплоскость $X > 0$.)

В этой ситуации все зависит от характера прогноза продавцов, т. е. от того, считают ли они увеличение цены стимулом для производства или для удержания товара в ожидании его подорожания.

Ясно, что, если поставки товара ограничены или есть возможность сократить производство, реализуется случай $B < 0$. Иными словами, в случае монополии продавца или объективных ограничений на поставки товара цена начнет расти неограниченно.

По-видимому, эта модель довольно хорошо описывает феномен внезапного роста цен во время социальных потрясений и войн, а также инфляцию в условиях ограниченного производства (в частности, рост цен черного рынка в 1970–80-е гг. в странах «реального социализма»).

Рассмотрим теперь другой тип прогноза с учетом второй производной цены. Разрешая уравнение (2) относительно второй производной, получаем

$$\ddot{X} = \frac{\bar{P} + \alpha\tau\dot{X} - X(Q + \beta\theta\dot{X})}{\beta\frac{\theta^2}{2}X - \alpha\frac{\tau^2}{2}}. \quad (8.40)$$

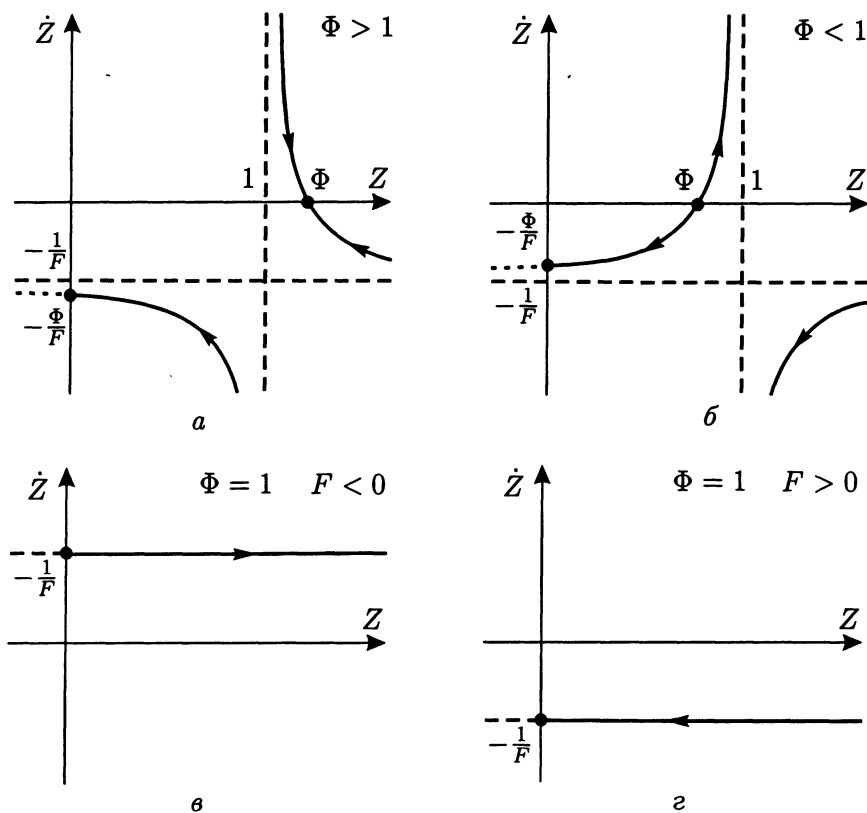


Рис. 3

Это уравнение можно исследовать стандартным способом [8.7]. Введем новую переменную $\dot{X} = Y$ и в получившейся системе уравнений исключим время, поделив $\dot{X}$ на $\dot{Y}$. Получаем

$$\frac{dY}{dX} = \frac{\bar{P} + \alpha\tau Y - X(\bar{Q} + \beta\theta Y)}{Y\left(\beta\frac{\theta^2}{2}X - \alpha\frac{\tau^2}{2}\right)}. \quad (8.41)$$

Это уравнение можно упростить, введя $k_1 = \alpha\tau$, $k_2 = \alpha\frac{\tau^2}{2}$, $k_3 = \beta\theta$, $k_4 = \beta\frac{\theta^2}{2}$. Получаем

$$\frac{dY}{dX} = \frac{\bar{P} - \bar{Q}X}{Y(k_4X - k_2)} + \frac{k_1 - k_3}{k_4x - k_2}. \quad (8.42)$$

Здесь мы имеем следующий результат: если $k_1 = k_3$, то система имеет равновесие в точке $Y = 0$; $X = \frac{\bar{P}}{\bar{Q}}$, т. е. ожидаемое равновесие.

Если же $k_1 \neq k_3$, то $X = \frac{\bar{P}}{\bar{Q}}$ не является точкой равновесия. Это удивительный результат, показывающий, что в условиях асимметрии ожиданий учет второй производной ликвидирует равновесие. Асимметричные рынки ведут себя совершенно неожиданным образом.

Из такого рассмотрения следуют весьма неожиданные выводы.

«Тень будущего» в случае линейного прогноза ограничивает область устойчивого равновесия, но даже в случае асимметричного прогноза со стороны покупателей и продавцов не ликвидирует равновесие совсем. Добавление второй производной в прогноз (т. е. в общем-то профессионализация прогноза) в случае асимметрии прогноза ликвидирует равновесие. Иными словами, рынок становится глобально неустойчивым.

Этот вывод чрезвычайно важен для нашего дальнейшего анализа. Это означает, что возникает возможность манипулировать рынком, используя ограниченные ресурсы, т. е. можно превратить рынок в своего рода «тепловую машину», создавая асимметрию в восприятии будущего у агентов рынка.

Глава 9

Тепловые машины в экономике

§ 9.1. Спекуляция и тепловые машины

Зададим теперь вопрос: а можно ли извлечь деньги из рынка, пользуясь его термодинамическими свойствами? Хорошо известно, что в физических системах можно извлекать энергию, пользуясь разностью температур двух систем. Соответствующее устройство называется тепловой машиной. В простейшем виде действие тепловой машины состоит в том, что рабочее тело нагревают с помощью источника высокой температуры τ_1 , заставляют совершать работу, а затем охлаждают в среде с температурой τ_2 , после чего цикл повторяется. Работа такой машины становится возможной из-за зависимости объема тела от температуры. Расширяясь, тело способно совершать работу.

В более чем элегантной формулировке это выглядит так: на поверхности состояния системы, скажем $P = P(S, \tau)$, можно нанести линии изотерм $P = P(S, \tau_0)$ для различных τ_0 и линии адиабат $P = P(S_0, \tau)$ для различных S_0 . На получившейся координатной сетке выделим любой участок, ограниченный двумя изотермами (при τ_1 и τ_2) и двумя адиабатами (при S_1 и S_2). Перемещая систему по границам выделенного участка, мы будем совершать цикл Карно {9.1}. При этом в зависимости от направления движения будет либо затрачиваться, либо получаться работа, равная

$$A = \int \tau dS = \tau_1(S_2 - S_1) - \tau_2(S_2 - S_1). \quad (9.1)$$

Это отношение позволяет определить к.п.д. тепловой машины, т. е. долю тепла, которую можно превратить в работу.

Так как затрачиваемую теплоту можно представить как $Q_3 = \tau_1(S_2 - S_1)$, то эта доля равна $\frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1}$, где τ_1 — температура нагревателя, а τ_2 — температура холодильника.

Мы задаем следующий вопрос: можно ли использовать принцип тепловой машины, т. е. идею превращения теплоты в механическую энергию в экономике?

В некотором смысле ответ тривиален: да, можно, и это давно делается. Простейшим примером такой операции является покупка товара там, где его много, по низкой цене и продажа там, где его мало, по высокой цене. Если температуры рынков одинаковы, то полученный доход оказывается равным $V(P_2 - P_1)$. Это выражение соответствует превращению разности давлений, полученной за счет нагрева, в механическую энергию.

Если производить достаточно много таких операций, то поток товара на рынке 1 упадет и его цена поднимется, а количество товара на рынке 2 возрастет и его цена упадет. Мы видим, что цикла не получается. Торговля ведет к выравниванию цены, хотя временное различие между ценами может быть использовано для получения прибыли.

Представим себе теперь, что мы в состоянии регулировать температуру рынка. Цена товара, как мы видели в главе 6, зависит не только от объема его поставок, но и от температуры. Тогда возникает возможность реализовать простую схему: охладить рынок — купить товар — разогреть рынок — продать товар. Доход будет определяться снова как $V(P_2 - P_1)$, где V — объем купленного при температуре τ_1 и проданного при температуре τ_2 товара. Так как $P_1 = \frac{\tau_1 N}{V}$ и $P_2 = \frac{\tau_2 N}{V}$, то доход от таких операций будет равняться

$$D = \frac{1}{2} \left(\frac{\tau_1 N}{V} - \frac{\tau_2 N}{V + \Delta V} \right) \Delta V = \frac{N \Delta V}{V} \left[\tau_1 - \tau_2 \left(1 - \frac{\Delta V}{V} \right) \right]. \quad (9.2)$$

Продажа дополнительного товара вызовет понижение цены, а время получения дохода составляет только половину времени цикла (если считать, что переключение температур производится мгновенно).

В принципе такую схему можно реализовать, если иметь два рынка с разной температурой и монополию торговли. Из выражения для дохода видно, что $\frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_2}$ должно быть больше, чем $\frac{\Delta V}{V}$, т. е. существует естественное ограничение на отношение количества дополнительного товара ΔV к количеству товара на рынке V . Размер спекуляций ограничен разностью температур рынков.

Мы видим, что природа циклических спекуляций на рынках та же, что и у цикла Карно. Вопрос в том, как обеспечить достаточно большую разность температур. В том случае, когда взаимодействуют пространственно разнесенные рынки, используется естественная разность

температур, или разность в уровнях поставок товаров на рынок, которые могут возникать на самых различных основаниях: так, например, растения, из которых изготавливаются пряности, не растут в Европе, отсюда в средние века возникала естественная разница в цене на соответствующих рынках.

Для регулярного извлечения прибыли необходима была монополия на торговлю, иначе цены бы существенно сблизились. Нельзя было импортировать слишком много пряностей в Европу. Случай двух слабо связанных рынков тривиален.

Нетривиально, как нам представляется, рассмотрение спекулятивной торговли как тепловой машины. Но нетривиальность ситуации в возможности манипулировать температурой рынка. Рассмотрим фондовый рынок, где цена акций определяется спросом, а спрос — в основном перспективами фирмы. Информация о перспективах фирм — вещь чрезвычайно деликатная и не очень надежная. Поэтому большинство агентов рынка руководствуются общей тенденцией, т. е. пытаются прогнозировать цену исходя из характера ее изменения.

Это ровно та ситуация, которую мы рассматривали в § 3 предыдущей главы. В этом случае в некоторых обстоятельствах (скажем, при асимметричном прогнозе покупателя и продавца) могут возникать неустойчивости в поведении цены, определяемые резкими изменениями потока денег или поставки товара. Но именно размер потока денег и определяет температуру при сохранении числа агентов рынка. Этот параметр оказывается в некоторых условиях подверженным влиянию характера флуктуаций. А это, в свою очередь, означает, что управляя флуктуациями, т. е. используя относительно небольшие ресурсы для продажи или покупки акций, можно резко менять температуру рынка. В таком случае легко реализовать циклическую тепловую машину, способную извлекать деньги из фондового рынка.

Цикл выглядит следующим образом. Продается относительно небольшое количество акций какой-либо компании, достаточное, чтобы вызвать коллективную реакцию (т. е. неустойчивость). После значительного падения цены акции вновь скупаются, вызывая новую неустойчивость, ведущую к повышению цены, и ситуация возвращается к исходному положению, но у играющего «на понижение» остается на руках разница между общей ценой проданных (по высокой цене) и купленных (по низкой цене) акций.

Цикл можно производить и в обратном порядке, играя «на повышение». Эти различия в направлении обхода цикла в точности соответствуют разнице между тепловой машиной и холодильником в цикле

Карно. В первом случае на руках остаются лишние деньги, во втором — лишние акции.

Эффективность операции зависит от того, насколько удастся снизить (при игре «на понижение») или повысить (при игре «на повышение») температуру рынка. Это, конечно, сильно зависит от того, насколько рынок близок к неустойчивости. Вообще говоря, для проведения таких операций нужны значительные средства, чтобы «раскачать» рынок и переключить температуру. Хорошим примером подобных операций являются спекуляции на мировых валютных рынках. И здесь очень интересно сравнить точки зрения политических деятелей стран, валюта которых страдает от подобных операций, и деятелей международных валютных рынков.

Недавно на совещании МВФ в Гонконге премьер-министр Малайзии Махатир заявил о необходимости запретить или хотя бы ограничить спекуляции на международном валютном рынке, обвинив деятелей этого рынка, в частности известного американского финансиста Дж. Сороса, в сознательном причинении ущерба Малайзии (ринггит в результате валютных спекуляций упал перед этим на 20%). Его заявление вызвало немедленное дальнейшее падение ринггита на 5%. Дж. Сорос, отвечая на обвинение Махатира, заявил, что спекуляции не затрагивают здоровые валюты, атакам подвергаются слабые и переоцененные валюты {9.2}.

Интересно проанализировать эти дебаты в свете предложенной выше модели. Из анализа §3 главы 8 следует, что области устойчивости рынка могут значительно меняться по размерам или исчезать вообще в зависимости от характера прогноза, используемого агентами рынка. При этом факторами, формирующими прогноз, могут быть не только изучение изменения цен в предыдущий период, но и слухи, заявления политических деятелей, влиятельных финансистов и т. п.

Вообще говоря, в этих условиях не существует объективной стабильности рынка, стабильность зависит от характера прогнозов большинства его агентов. Но эти субъективные прогнозы также являются частью реальности, иногда они очень подвижны, но могут быть и очень консервативными. Поэтому результат спекуляций существенно зависит от следующих факторов: от степени консервативности прогнозов, от их характера (что именно прогнозируется) и, наконец, от величины средств, использованных для осуществления спекуляции (что тесно связано с прогнозами — устойчивый, по мнению финансистов, рынок нет смысла раскачивать).

Ясно, что чем большими ресурсами располагает агент или группа агентов рынка, начинающая игру, тем выше вероятность успеха. Однако точно предсказать результат трудно, так как для этого надо очень хорошо знать характер прогнозов других участников рынка и возможные ресурсы атакуемого. Но в случае спекуляций на валютных рынках эти факторы обычно хорошо известны. Дж. Сорос, по-видимому, прав в том отношении, что, не имея уверенности в успешном исходе операции, нет смысла ее начинать. Существует, однако, асимметрия в потенциальных потерях сторон. Начав неудачную спекуляцию, финансисты рискуют немногим: не получив желаемого эффекта — резкого изменения температуры рынка, — можно без особых потерь вернуться в исходную точку. Но для страны, валюта которой подвергается атаке, ставкой является размер национального богатства, а возможная его оценка (через обменный курс валюты) попадает в зависимость от *характера прогнозов дилеров валютного рынка*, т.е. от субъективных факторов, на которые правительства имеют, пожалуй, меньшее влияние, чем крупные финансисты.

Предсказать возможное поведение правительств также непросто. В истории были значительные периоды, когда многие правительства отказывались от свободной конвертируемости валют. Поэтому слишком большие успехи финансистов при использовании тепловых машин в международных финансах могут повлечь за собой резкую реакцию заинтересованных правительств.

Существование рынка предполагает возможность использования «тепловых машин». Но необходимо понимать, что финансовые тепловые машины являются *внешними устройствами по отношению к рынку, а не его частью*. Собственно, в этом и заключается один из основных выводов, получаемых в результате применения понятия тепловой машины в экономике.

Рынок, вообще говоря, может существовать и без финансовых тепловых машин — они не являются необходимыми компонентами рынка. Это интеллектуальные надстройки над рынком, позволяющие извлекать прибыли не из производства и продажи товаров, а из *циклических операций*, т.е. путем отбирания средств у тех агентов рынка, которые не имеют достаточно возможностей, чтобы влиять на рыночную ситуацию. К сожалению, именно в таком положении оказывается население стран, имеющее на руках бумажные деньги — ценные бумаги, выпущенные государством.

Конечно, роль финансовых тепловых машин в глобализации экономических процессов огромна. Благодаря им, а также мировой торговле устанавливается некое подобие глобального экономического равновесия. Тем не менее создание определенного «кодекса поведения» в этой области экономической деятельности может понадобиться хотя бы во избежание роста «экономического популизма», угрожающего свободе рыночных отношений.

§ 9.2. Правительство и экономика

Посмотрим, какие возможности по извлечению средств из экономической системы с точки зрения термодинамического подхода к экономике, имеют правительства. Для страны жизненно необходимо иметь надежную схему сбора налогов с населения.

Естественный способ извлечения средств — это взимание налогов с транзакций и недвижимости. В случае недвижимости, а также транзакций, находящихся под контролем правительства (скажем, при пересечении товарами границы), проблем не возникает. Проблема возникает тогда, когда сбор средств базируется на налогообложении неконтролируемых транзакций. Такая схема оказывается крайне неэффективной.

Наиболее показательным примером является подоходный налог с населения. Для того чтобы взимать этот налог, необходимо иметь возможность хотя бы в принципе контролировать транзакции десятков миллионов людей. И здесь начинает работать принцип «демона Максвелла». *Невозможно проконтролировать транзакции (т. е. получить соответствующую информацию), не затратив средств.* Фирма обязана иметь документацию о транзакциях, а обязать физическое лицо вести такую документацию практически невозможно, проверять же все транзакции чрезвычайно сложно, так как число потенциальных источников дохода практически безгранично. Проверка доходов обладает своей собственной ценой транзакции. И для того чтобы эта проверка была эффективной, ее вероятность должна быть достаточно высока. Это означает, что на осуществление проверок в полном масштабе (для десятков миллионов налогоплательщиков) необходимо будет затратить колоссальные средства с очень небольшой вероятностью обнаружения уклонения. Незаявленные транзакции, как правило, нигде не зарегистрированы. В странах со значительной долей «черной» и «серой» экономики подобный способ взимания налогов исключительно расточителен и оборачивается огромными потерями государственных доходов, так

как «черные» и «серые» сделки по определению не могут попасть под налогообложение — объявление о них налогоплательщиком обернется как минимум потерей источника дохода в будущем.

Так как цена проверок зависит от их количества, очевидно, что эффективность обеспечения уплаты налогов, обратно пропорциональная числу субъектов налогообложения, — основной аргумент в пользу отказа от подоходного налога и замены его налогом на добавленную стоимость или налогом с оборота и на недвижимость. Очевидно, что в этом случае собираемость налогов значительно повысится.

Возникает вопрос, почему же, несмотря на очевидные недостатки этого института, подоходный налог с населения продолжает взиматься? Аргументы о социальной справедливости вряд ли могут считаться достаточным основанием для этого. Нетрудно ввести корректировку доходов с помощью налога на добавленную стоимость, взимая его с предметов роскоши по повышенной ставке. Если же аргумент о социальной справедливости еще может в какой-то степени работать для объяснения практики подоходного налога в странах с демократическим правлением (скажем, в условиях экономической неграмотности населения), то трудно представить эффективность этого аргумента для авторитарных правительств. Помимо всего прочего взимание подоходного налога сомнительно с точки зрения либеральной системы права, так как фактически ликвидирует принцип презумпции невиновности при обвинении в неуплате налогов и противоречит принципу, зафиксированному во многих демократических конституциях, согласно которому человек не обязан свидетельствовать против самого себя. Именно поэтому, скажем, в США налогоплательщик имеет право отказаться от заполнения налоговой декларации (в этом случае налог исчисляют налоговые органы на основании собственных оценок расходов). Неэффективность подоходного налога, лишаящего государство доходов от «черного» и «серого» секторов экономики, и возможность его замены на НДС, стали серьезно обсуждаться в последнее время в США в связи с ростом этих секторов экономики (в особенности торговли наркотиками).

Приведенный выше анализ свидетельствует в пользу иной трактовки продолжения практики взимания подоходного налога — его можно рассматривать как средство установления политического и экономического контроля над гражданами. Именно тоталитаристский характер этого института и является, по-видимому, основным аргументом в пользу его существования. Он не столько дает средства

правительству, сколько устанавливает, кто именно богат, а кто беден (информация важного политического свойства). Неслучайно подоходный налог был изобретен в Венеции «демократической олигархией», знаменитой своими изощренными способами контроля над поведением граждан.

С точки зрения термодинамической модели экономики взимание подоходного налога эквивалентно совершенно немыслимому и, как показывают исследования парадокса «демона Максвелла», просто нереализуемому способу отъема энергии системы. Попробуем представить себе конструкцию робота, отнимающего у каждой из частиц газа некоторый процент ее кинетической энергии, в свою очередь, зависящий от энергии.

Эта метафора (которая, как мы видели выше на примерах исследования экономических процессов с помощью статистической термодинамики, гораздо больше, чем просто метафора) делает неэффективность подоходного налога совершенно очевидной.

Следует отметить, что многие правительства, сохраняя этот экономически неэффективный институт с политическими целями, для реального извлечения средств из населения пользуются гораздо более мощными экономическими средствами, обсуждавшимися нами в предыдущем параграфе, — манипулированием рынком денег и ценных бумаг. Так как центральные банки государств являются крупнейшими резервуарами средств, для них не составляет труда реализация различного рода тепловых машин, позволяющих (конечно, в пределах, ограниченных возможностями полного разрушения экономики) извлекать значительные средства из экономической системы, представляющей собой взаимосвязанные рынки при различных температурах. Учитывая, что некоторые из этих рынков, в особенности рынки ценных бумаг, очень легко управляемы, т. е. изменение их температур почти не требует финансовых вложений, для управления ими достаточно средств массовой информации или просто контролируемых «информационных утечек» из органов, принимающих решения. Возможности правительств по извлечению средств из экономических систем практически не ограничены — вплоть до полного разрушения экономики. Это один из основных аргументов, стимулирующих гражданское общество, обычно через средства парламентского контроля, строго ограничивать деятельность правительств. Эмпирически об этом свидетельствует практика создания центральных банков, независимых от решений правительства, а также

(в тех случаях, когда в силу особенностей политической культуры обеспечение независимости центрального банка затруднено) учреждения валютных фондов, привязывающих национальную валюту к одной или нескольким устойчивым иностранным валютам ради исключения возможности политических манипуляций в экономике, осуществляемых центральными банками под давлением правительств.

Глава 10

Пределы рациональности: термодинамический подход и эволюционная теория

§ 10.1. Рациональность и неопределенность в экономике

В предыдущих главах мы показали, как можно построить математическую теорию экономического равновесия, не опираясь на понятие полезности. При таком подходе необходимо ответить на вопрос: а что же такое рациональность в экономике? Если цены образуются не в результате максимизации полезности, а в силу того, что некоторые состояния системы оказываются гораздо более вероятными, чем другие (имеют большую энтропию), то какую роль играют человеческие решения в экономике? В какой степени эти решения вообще могут опираться на рациональный анализ? Что можно знать об экономической ситуации?

Для того чтобы ответить на эти вопросы, необходимо ввести очень важное разграничение, касающееся типов знаний о ситуации и типов экономических решений. Первые подразделяются на «микрознания» и «макррознания», вторые — на «микрорешения» и «макрорешения». Не сделав этого разграничения, обсуждать проблему в общем практически невозможно, так как характер и возможности применения микрознаний и макрознаний совершенно различны, и те неопределенности, с которыми сталкивается субъект экономической деятельности в области микрорешений и макрорешений, кардинально различаются.

Хозяин лавки или менеджер небольшой фирмы, выискивая возможности для приемлемых сделок, имеет дело с неопределенностью цен. Цены различны у разных продавцов, и так как возможных продавцов много, то неопределенность ситуации связана прежде всего с тем, что не вся информация о рынке доступна. Где-то, может быть совсем рядом, находится поставщик, способный продать по цене ниже тех, которые известны покупателю, но найти именно этого поставщика в хаосе рынка иногда очень трудно. Микрознание — это прежде всего знание о таких, может быть, редких случаях, знание того, куда и когда надо обратиться, чтобы получить товар по низкой цене или продать его по

высокой. Такие знания опираются на связи в среде, являются результатом включенности в неформальные информационные сети. Сколько бы ни совершенствовалась формальная система рыночной информации, всегда неформальные контакты и оперативная осведомленность дадут преимущества хотя бы потому, что информация не может быть включена в формальную, общедоступную сеть мгновенно. Всегда есть определенный лаг времени между моментом доступности возможной сделки и широким распространением информации о имеющейся возможности, а ресурсы заключения сделки могут быть исчерпаны быстрее, чем станет доступной официальная информация.

Макрознание — это понимание глобальной ситуации на рынке, знание общих тенденций развития цен, доступности ресурсов, возможных последствий решений, влияющих на рыночную ситуацию в целом. Характер неопределенности в случае макрознания и макрорешений совершенно иной, чем на микроуровне. Очень во многом экономическое макрознание определяется представлениями о характере экономического равновесия, т.е. теми метафорами равновесия, которые используются в анализе экономической ситуации.

Соответственно с различиями в характере знания на микро- и макроуровнях различается и характер рациональности. Последнее время в теоретической экономике исследование проблемы рациональности стало одной из центральных тем {10.1}. Недостаточность модели рационального выбора для объяснения экономических феноменов становится все более очевидной, особенно в связи с возрастающим интересом к изучению экономических институтов, в частности прав собственности. В свое время Р.Коуз {10.2} обратил внимание на то, что равновесие в экономической системе зависит от цен транзакций, а цены транзакций непосредственно связаны с правами собственности {10.3}. Тем самым работа Коуза инициировала в экономике интерес к изучению социальных институтов. Нетрудно обнаружить, что институционализированные процессы принятия решений регулируются не рациональным выбором между альтернативами с использованием функций полезности, а некими рутинными правилами, в значительной степени обусловленными традицией.

Обнаружение этого факта потребовало серьезного изменения взгляда на природу человеческой деятельности в области экономики. Если не все человеческое поведение определяется функциями полезности, то возникает вопрос, как строить модели равновесия? В рамках неоклассического подхода это сделать очень трудно, если не невозможно.

Таким образом, в экономической теории помимо «инструментальной рациональности», связанной с полезностью, появляется еще один тип рациональности — «процедурный» (в терминологии Харгривс-Хипа). Процедурная рациональность интенсивно исследовалась Г. Саймоном как в рамках его работ по теоретической экономике {10.4}, так и в связи с его деятельностью в области искусственного интеллекта. Г. Саймон связывал появление процедурной рациональности с ограничением вычислительных возможностей человеческого разума (теория «связанной рациональности»). Иными словами, не имея возможности сравнить все возможные альтернативы, разум опирается на выработанные в опыте процедуры, которые становятся условными соглашениями, определяя структуру социальных институтов. Хорошей метафорой для объяснения этой ситуации является игра в шахматы, где невозможность оценить и сравнить между собой все разрешенные ходы приводит к необходимости пользоваться стандартными схемами — дебютами, типичными комбинациями, общими позиционными принципами.

По-видимому, проблема здесь более серьезная, чем просто ограниченная способность вычислений. На наш взгляд, необходимо признать, что жизнь — это не игра по заданным правилам. Список альтернатив открыт: альтернативы действий могут быть созданы разумом. Но в этом случае должен появиться еще по крайней мере один тип рациональности, которую мы предпочли бы назвать «онтологической рациональностью». Должны существовать некие правила, регулирующие включение альтернатив в список для оценки и, в принципе, порождение альтернатив {10.5}. Это можно сделать только в том случае, если рационализировать тот факт, что мир в восприятии субъекта обладает определенной онтологией, т.е. существуют некие способы представить, что реально и что существенно и должно быть включено в рассмотрение. Должны также существовать механизмы генерирования альтернатив. И здесь, очевидно, огромное значение имеют метафоры и примеры {10.6}.

По-видимому, нечто близкое к этой концепции имел в виду Харгривс-Хип, вводя представление об «экспрессивной рациональности»: «Я утверждаю, что экспрессивная рациональность определяется универсальной человеческой заинтересованностью в понимании мира, в котором мы живем. Именно из-за того, что мы целеустремленны нам необходимо придать миру смысл: мир должен быть разумно объяснен, если мы хотим действовать в нем. Я имею в виду необходимость

космологии, которая дает ответы на вопросы о смысле этого, об основаниях другого, о взаимосвязях индивидуума и общества и т. п.» {10.7}.

Нам представляется, что концепция онтологической рациональности лучше схватывает проблему, концентрируя внимание на важнейшем вопросе в теории социальных наук: откуда и как человек берет альтернативы, из которых он производит выбор? Предположение о внешней заданности альтернатив, вводимое в теории рационального выбора, не соответствует действительности и резко сужает сферу человеческой свободы.

На наш взгляд, с позиций когнитивного анализа процесса принятия решения можно обосновать существование трех типов рациональности. Первая фаза этого процесса — формулировка альтернатив — деятельность, которая обладает своей собственной логикой и далеко не сводится к каталогизации уже известных или навязанных средой альтернатив. Она связана с онтологической рациональностью.

Вторая фаза процесса — процедурная разработка альтернатив, (нечто аналогичное составлению планов на случай возможных конфликтов, осуществляемому генеральными штабами) — соответствует процедурной рациональности.

И третья фаза — оценка построенных и процедурно оформленных альтернатив с помощью заданной иерархии ценностей — соответствует теории рационального выбора (инструментальной рациональности).

Конечно, эта весьма упрощенная схема — в реальности фазы сосуществуют, может осуществляться циклический возврат к предыдущей фазе и т. п. Но такая схема дает по крайней мере рамку для значительно более глубокого анализа человеческой деятельности вообще и экономической деятельности в частности, чем теория рационального выбора, в которой две важнейшие фазы процесса принятия решений — онтологическая и процедурная, попросту элиминированы.

Наличие подобной схемы дает возможность объяснить, как работает термодинамический подход к экономике. Наиболее существенным является тот факт, что разные субъекты не только обладают различным набором альтернатив (некоторые из этих альтернатив лучше, некоторые хуже с точки зрения оптимизационного критерия), но и стремятся открыть новые альтернативы. В условиях институциональных ограничений, налагаемых исторической традицией, политическим давлением заинтересованных групп и т. д., лишь конкурентный процесс в целом обеспечивает равновесие во введенном нами смысле, т. е. равновесие как отсутствие потоков между частями системы.

Наличие институциональных ограничений в экономике долго приводило в замешательство экономистов неоклассической школы. Интересно отметить, что Р. Коуз в своей известной статье {10.8} задает, казалось бы, странный вопрос, но неожиданный только для того, кто воспринимает мир через неоклассическую онтологию: почему существуют фирмы? Действительно, почему часть трансакций оказывается интегрирована внутрь корпораций, вместо того чтобы осуществляться через рыночные отношения? Ответ на подобные вопросы потребовал пересмотра методологии экономических исследований. Вместе с проблемой фундаментальной неопределенности, интерес к которой был инициирован работами Найта {10.9} и Кейнса {10.10}, а также тем акцентом на важности изучения *человеческих действий* в условиях неопределенности, который делали все представители Австрийской школы после фон Мизеса {10.11}, институциональный анализ заставил теоретиков перейти от изучения равновесия к изучению эволюции экономических институтов. Основная идея этого перехода состояла в том, чтобы на уровне эволюционного процесса в целом попытаться обнаружить то, что не удастся обнаружить в деятельности отдельного субъекта рынка (реализацию максимизации полезности) из-за неопределенности и институциональных ограничений.

§ 10.2. Рациональность и эволюция

В результате математизации неоклассической экономики «невидимая рука» практически исчезла из экономической теории, оказалась сведенной к теореме существования вектора цен. Мощная метафора саморегуляции рынка посредством индивидуальных интересов, которая дала А. Смиту убежденность в том, что в экономике в отличие от политических наук действует принцип спонтанного равновесия, в течение более чем столетия давало экономической теории онтологическое обоснование. Постепенное растворение этой метафоры в абстрактных математических построениях не могло не встревожить теоретиков. Ф. Хайек, как мы видели выше, вернулся к идее «невидимой руки» {10.12}, предложив рассматривать в качестве таковой эволюционный процесс.

В 1950 г. А. Алхиян опубликовал работу {10.13}, в которой на модельном уровне показал, как эволюция может заменить человеческую рациональность. Алхиян исходил из того, что неопределенность рынка обесценивает инструментальную рациональность. Он предложил

рассматривать процесс естественного отбора в качестве средства, определяющего, какой характер деловой активности выживает, а какой нет. В качестве фильтра эволюции Алхиян предложил положительный доход от экономической деятельности при условии, что успешные образцы деловой активности копируются другими участниками экономического процесса, что и обеспечивает «размножение» соответствующего образца.

До настоящего времени работа Алхияна продолжает вызывать оживленные отклики {10.14}. Некоторые положения его работы критиковались: в частности возможность воспроизводства образца {10.15}, предположение о достаточности положительного дохода в качестве эволюционного фильтра {10.16}, но общая очень высокая оценка работы базируется на убеждении, что Алхияну действительно удалось вернуть в экономику сильный вариант «невидимой руки».

Тем самым снова, уже вполне на уровне современной науки, появляется механизм, устанавливающий рациональный порядок способом, не зависящим от степени рациональности отдельных участников процесса. Этот порядок не является результатом чьего-либо плана и достигается децентрализованной активностью. Работы Алхияна продемонстрировали большие возможности теории информации в применении к экономическому анализу. Вот что писал недавно один из его последователей: «Мое собственное понимание экономики находилось под сильным воздействием идей Алхияна. Я сформулировал бы основу его преподавания в фразе: «Все в экономике является информационно теоретическим...» {10.17}.

Идеи Алхияна оказали сильное влияние на развитие институциональной экономической теории в работах О. Вильямсона, Д. Норта и других {10.18}. Действительно, несмотря на очевидную привлекательность идеи учесть в экономической теории цены трансакций, право собственности и т. п., совершенно неясно было, как сделать это в рамках неоклассической модели рационального выбора. Институционализированное поведение тем и отличается от поведения в рамках моделей рационального выбора, что практически очень трудно приписать институциональным процедурам, основанным на конвенциях, значение полезности. Даже если сделать это в рамках внутриинституционального поведения, то совершенно неясно, как связать такого рода полезность с эффективностью института в целом.

Идея рассматривать эволюционный процесс как своего рода глобальный разум, обеспечивающий рациональность путем отбора и

элиминации неконкурентоспособных правил поведения, давал теоретическую основу для институционального анализа, которая сравнима по своей убедительности с неоклассической теорией равновесия, но существенно превосходит ее в пригодности для изучения реальных экономических институтов. Институциональный бум в теоретической экономике вызвал значительное оживление интереса к идеям Австрийской школы, практически полностью забытой в 1950–60-е гг. {10.19}.

Тем не менее эволюционный подход не вполне решил проблемы, стоящие перед экономическим анализом рыночных процессов с учетом таких факторов, как ограниченность информации, ограничения поведения, связанные с культурной традицией, учет цены и трансакций и т. п. Проблема состоит в том, что моделирование эволюционных процессов — чрезвычайно трудоемкое дело, осуществимое только для очень простых систем. Помимо всего прочего для решения такого рода задач не существует развитого аналитического инструментария. В основном эволюционные модели демонстрируются с помощью компьютерных экспериментов. Это не мешает делать важные теоретические выводы, но бедность аналитического аппарата явно свидетельствует о слабости подхода.

Эволюционный анализ имеет дело с микрорешениями и микрорешениями, но практически ничего не может сказать о макрознании и макро-решениях. Между тем невозможно отрицать роль макро-решений. Конечно, определенного рода спонтанный порядок вырабатывается в процессе эволюционного отбора. Но что делать в тех случаях, когда приходится «подправлять» деятельность «невидимой руки», которая сама по себе зависит от определенных макропараметров, таких как, например, банковское и налоговое законодательство, практика лицензирования отдельных видов экономической деятельности и т. п.?

Эволюционная теория мало чем может помочь в этом случае {10.20}. Между тем на макроуровне проблема неопределенности и недостаточности информации и существует, и представлена, пожалуй, в еще большей степени, чем на микроуровне.

Наше исследование посвящено развитию еще одного, термодинамического способа ввести «невидимую руку» в экономику. Выше, в главе 4 мы обсуждали соотношение между механическим и термодинамическим вариантами «невидимой руки». Каково же соотношение между «невидимой рукой» эволюции и «невидимой рукой» термодинамики?

§ 10.3. Эволюция и термодинамика

Для того чтобы применять эволюционный подход к исследованию экономических процессов, необходимо прежде всего иметь ясную структуру эволюционной теории. Эта теория содержит два исключительно важных, но слабо связанных между собой аспекта. Первый касается возникновения инноваций в системе, второй — работы механизмов отбора инноваций.

В теории биологической эволюции первый аспект вызывал необычайно много споров. Различие между основными версиями теории эволюции — дарвинизмом и ламаркизмом связано с различным пониманием этого аспекта теории. В дарвиновской теории инновации абсолютно случайны, в теории Ламарка — являются результатом обучения. В настоящее время не существует прямых экспериментальных свидетельств в пользу наследования приобретенных признаков. Но это совсем не значит, что дарвиновская теория не имеет трудностей.

Основная трудность состоит в том, как объяснить возникновение сложной конструкции в результате случайных мутаций: такая конструкция состоит из элементов, которые могут быть созданы только отдельными независимыми мутациями, но она дает преимущество в отборе только тогда, когда все необходимые элементы уже присутствуют и собраны в функционирующий механизм, как в случае руки или глаза. Но здесь не место обсуждать эти проблемы, так как, к счастью, в экономической теории не приходится говорить о порождении новой структуры (это результат человеческой активности), зато очень серьезно стоит проблема отбора. По существу, проблема отбора — это проблема чисто термодинамическая. Необходимо определить, каково будет распределение «организмов» по «питательным нишам», с тем чтобы понять, как, например, сокращение «питательных ниш» повлияет на распределение «организмов» или как появление новых «организмов» с другими свойствами сдвигает общее распределение по «питательным нишам». Нетрудно видеть, что в процессе отбора образуются эволюционно стабильные состояния, которые можно отождествить с равновесными состояниями термодинамической системы. Так как в эволюционном подходе к экономической теории нет смысла вводить представления о поколениях, наследованиях и генах [10.21], эволюционная теория в применении к экономике принимает гораздо более простой вид, чем в биологии. Речь здесь идет лишь о механизме, фильтрующем институциональные инновации. Это в чистом виде задача теории информации, как отмечал А. Алхиян (см. выше). Но в силу практического

тождества теории информации и термодинамики задача фильтрации инноваций превращается в задачу нахождения равновесной функции распределения для экономических «организмов» по неким «микропараметрам», определенным структурой эволюционного фильтра.

Рассмотрим на одном примере, как работает эта идея. Пусть у нас есть N фирм, каждая из которых характеризуется определенным годовым доходом ε . Структуру фильтра определим следующим образом: доход должен быть положительным. Этого достаточно, для того чтобы построить распределение фирм по доходам в условиях равновесия — при температуре τ и миграционном потенциале $\mu(\tau)$. Смысл подхода состоит в том, чтобы, имея спектр возможных значений дохода и полагая, что каждое из этих значений может быть «населено» любым количеством фирм, а также учитывая тот факт, что система находится в равновесии, определить функцию распределения фирм по доходам.

Равновесие здесь понимается в том смысле, что если разделять систему на части, руководствуясь значениями параметров, не связанных с изучаемым распределением дохода (например, пользуясь географическим местоположением и считая этот параметр и доход независимыми), то при делении системы на части по такому параметру функция распределения сохраняется. В этом случае несущественно сохранение числа «организмов» или сохранение дохода, нужна лишь эмпирическая уверенность в существовании инвариантной функции распределения для соответствующих параметров равновесия, в данном случае температуры и миграционного потенциала. Мы можем рассматривать эту систему в виде ряда систем, возникающих и уничтожающихся в течение бесконечных последовательных равных интервалов времени, — если при этом наблюдается устойчивость функции распределения «организмов» по параметрам фильтра, то это и является равновесием.

Для анализа такой системы можно применить аппарат большой статистической суммы. В этом случае, выделяя одно из состояний дохода и строя для него большую статистическую сумму, получаем

$$Z = \sum_{n=0}^{\infty} \lambda^n e^{-n \frac{\varepsilon}{\tau}} = \frac{1}{1 - \lambda e^{-\frac{\varepsilon}{\tau}}}.$$

Мы считаем спектр возможных состояний дохода состоящим из положительных равноотстоящих друг от друга величин $\varepsilon_n = n\varepsilon_0$. Дискретным этот спектр выбран для простоты решения модельной задачи.

Тогда для функции вероятности заполнения определенного уровня дохода получаем

$$\langle n(\varepsilon) \rangle = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n x^n}{\sum_{n=0}^{\infty} x^n}, \quad (10.1)$$

где $x = \lambda e^{-\frac{\varepsilon}{\tau}}$.

Вычисляя, получаем для функции распределения выражение, тождественное выражению для функции распределения Бозе–Эйнштейна в статистической физике,

$$\langle n(\varepsilon) \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon - \mu}{\tau}} - 1}. \quad (10.2)$$

Напомним, что τ — это параметр равновесия, определяемый из $\frac{\partial S(E)}{\partial \varepsilon} = \frac{1}{\tau}$.

Мы можем подсчитать, сколькими способами можно заполнить уровень дохода систем в целом, располагая N фирм по фиксированным уровням дохода, и, следовательно, можем вычислить температуру и миграционный потенциал μ , определяя его так же, как и раньше, из условия

$$\sum_{\varepsilon} \langle n(\varepsilon, \mu) \rangle = N. \quad (10.3)$$

Мы получили очень интересную функцию распределения. Хорошо известно, что в системах со статистикой Эйнштейна наблюдается явление «бозе-конденсации». При низких температурах частицы конденсируются на основном уровне энергии системы. Нетрудно видеть, что и в нашем случае произойдет то же самое.

Мы получаем следующее выражение для населенности нулевого уровня дохода:

$$n(0, \tau) = \frac{1}{\exp\left(-\frac{\mu}{\tau}\right) - 1} = N_0. \quad (10.4)$$

При $\tau = 0$, $N(0, \tau) = N$ мы можем получить значение миграционного потенциала μ в зависимости от τ :

$$\mu(\tau) = -\tau \ln \left(1 + \frac{1}{N} \right) \quad (10.5)$$

или

$$\lambda = 1 - \frac{1}{N} \quad \left(\lambda = e^{\frac{\mu}{\tau}} \right). \quad (10.6)$$

Зная функции заполнения уровней, можно вычислить сколько частиц (т. е. фирм) будет на ненулевых уровнях дохода:

$$N_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{e^{\frac{(\varepsilon_n - \mu(\tau))}{\tau}} - 1}. \quad (10.7)$$

Теперь можно получить значение температуры «бозе-конденсации», исходя из того, что при этой температуре число частиц на основном уровне системы равно числу частиц на возбужденных уровнях:

$$N_0(\tau_0, \mu) = N_1(\tau_0, \mu) = \frac{N}{2}. \quad (10.8)$$

Мы имеем два уравнения для определения двух параметров τ_0 и μ_0 , где μ_0 определяется через населенность основного уровня:

$$\mu_0 = -\tau \ln \left(1 + \frac{2}{N} \right), \quad (10.9)$$

а τ_0 определяется через уравнение

$$\frac{2}{N} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{e^{\frac{n\tau\varepsilon_0}{\tau_0} + \ln \left(1 + \frac{2}{N} \right)} - 1}. \quad (10.10)$$

Для оценки этого выражения можно заменить сумму на интеграл в предположении о малости ε_0 и в принципе вычислить $\tau_0 = \varphi(N, \varepsilon_0)$. Далее, вычислив средний доход E системы, можно получить зависимость температуры от величины дохода при заданном N_0 . Эта процедура означает, что условие равновесия можно выразить как в терминах параметров τ , μ , так и в терминах параметров E , N . Мы не будем этим заниматься, так как модель слишком грубая.

Здесь существенен только один вывод из модели, а именно, что при конечной, отличной от нуля температуре, на низшем уровне дохода будет находиться «макроскопическая» доля фирм, т. е. в асимптотическом пределе при больших N отношение $\frac{N_0}{N} \approx O(1)$. Представим себе теперь, что немного изменились условия, скажем, введена цена трансакций — это значит, что доход каждой фирмы уменьшится на фиксированную величину. Мы получим хорошо известный эффект «краха» —

значительная доля существующих фирм прекращает свое существование. Подчеркнем еще раз, что основная особенность рассматриваемой модели — это бозе-эйнштейновская функция заполнения значений спектра возможного дохода.

Мы видим, что при определенных обстоятельствах система оказывается неустойчивой относительно малых изменений внешних параметров, хотя и находится в равновесии. При небольшом увеличении цены транзакций «макроскопическое» число фирм «вымирает».

Это лишь один пример того, как можно использовать статистическую термодинамику для анализа действия фильтра эволюционного процесса.

Здесь мы хотели показать, что «выживание» в эволюционной теории может быть описано в рамках термодинамической модели, установив тем самым связь между эволюционным и термодинамическим подходом к описанию экономических процессов.

Заключение

В настоящей работе мы стремились показать, что в теоретической экономике возможна новая метафорическая рамка, сохраняющая в наиболее сильной форме идею спонтанного порядка (или «невидимой руки») и в то же время предоставляющая более богатые аналитические возможности, чем неоклассическая теория равновесия или эволюционное моделирование.

Термодинамический подход показывает, что макропеременные в экономической системе оказываются связанными уравнением состояния, т. е. находятся на некоторой поверхности, форма которой определяется пфаффовым уравнением. Необходимо знать это уравнение, чтобы сказать, куда сдвинутся макропараметры системы при изменении одного из них.

Вообще говоря, при попытке сдвинуть экономику в каком-то направлении, изменяя макропараметры, успеха можно добиться, только зная уравнение состояния системы. Система с достаточно экзотическим уравнением состояния (а такова, по-видимому, экономическая система с неустоявшимися рынками) может при вполне рациональных попытках изменить ее состояние прийти совсем не туда, куда ее толкает «рациональный» политик.

Такая точка зрения имеет на наш взгляд огромное значение для макроэкономики. Неопределенности, с которыми приходится иметь дело в процессе принятия макрорешений, как следует из термодинамического подхода к экономике, значительно сложнее неопределенности ее на микроуровне. Рациональность макрорешений оказывается «связанной» в более сильном смысле, чем имел в виду Г. Саймон. Дело не только в ограниченной способности человека вычислять, но и в незнании тех связей, которые наложены на систему. Еще раз подчеркнем вывод, который можно сделать из настоящего анализа: без представления об уравнении состояния системы, не может быть и речи о рациональных макрорешениях. В отсутствие такого представления можно говорить лишь об эмпирических решениях в макроэкономике. В настоящее же время не только не известны уравнения состояния экономических

систем, но и не принимаются во внимание жизненно важные параметры, определяющие состояние экономических систем, такие как температура или миграционный потенциал. Экономическая макротеория, на наш взгляд, находится примерно в том состоянии, в котором находилось исследование тепловых процессов в период господства теории флогистона, до открытия законов термодинамики.

Экономика глобализуется, а эта глобализация предоставляет новые неожиданные возможности для построения гигантских тепловых машин в экономике, позволяющих тем, кто контролирует международные финансовые потоки, работать с национальными экономическими системами примерно так, как Уатт работал с паровым котлом. Следует помнить о том, что паровая машина была изобретена задолго до того, как термодинамические соотношения стали предметом научного анализа. В процессах макроэкономических решений имеются две опасности. Одна — основная — это широкое применение политиками стандартных процедур, не принимающих во внимание «уравнения состояния» национальных экономик, причем за ущерб, причиняемый такого рода действиями, политики реальной ответственности не несут, так как на макроуровне национальных экономических решений не существует эффективного эволюционного механизма отбора. Институциональные механизмы демократии слишком слабы, и работают хорошо, как правило, там, где политики и без того выработали некую процедурную практику работы с экономикой.

С другой стороны, процедуры использования тепловых машин в сфере международных финансов подчиняются жестким правилам эволюционного отбора, основанным на доходности для субъектов экономической деятельности, а потому эффективны, но полностью лишены какого-либо контроля со стороны тех, чье благосостояние реально зависит от процедурных манипуляций в глобализованной мировой экономике.

Я надеюсь, что представленный в этой книге подход поможет хотя бы в небольшой степени уменьшить неопределенность и увеличить степень рациональности макроэкономических решений не на основе идеологических догм, а в результате установления органичной взаимосвязи макро- и микроанализа в теоретической экономике.

Примечания

Глава 1

- {1.1} Дискуссия о различных типах моделей в экономике имеет очень давнюю историю. О разделении «чистого» теоретического закона и исторического изучения эмпирических форм экономической деятельности см. в кн.: Menger C. Problems of Economics and Sociology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963. (перевод с значительно более раннего немецкого издания). Современное состояние дискуссии о типах знания в экономике см. в кн.: Blaug M. The Methodology of Economics: or How Economists Explain. 2nd ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1992.
- {1.2} Задачи оптимизации в экономике породили необычайно обширную литературу (см., например, Ланкастер К. Математическая экономика. М.: Советское радио, 1972), во многом обязанную идеям Л. Канторовича и Дж. фон Неймана. В значительной мере этот интерес был связан также с общим интересом к проблеме исследования операций, приобретшей большое значение во время Второй мировой войны. Методы исследования операций, основанные на оптимизации решений, продемонстрировали свою эффективность для очень широкого круга задач (см., например, Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций. М.: Советское радио, 1977).
- {1.3} См. American Economic Association. Readings in Price Theory, Selected by a Committee of the American Economic Association. Chicago: R. D., Irwin, 1952.
- {1.4} Ср., например, обсуждение этой проблемы в § 4 гл. I книги Неймана Дж. фон и Моргенштерна О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970.
- {1.5} Так, один из авторов принципа наименьшего действия П. Мопертюи считал, что законы, выведенные из этого принципа, применимы не только к миру механики, но и к миру живой природы. См.: Maupertuis P. Les lois de mouvement et du repos, déduites d'un Principe Méthaphysique. (Mem. de l'Acad de Sc., 1746). (Русский перевод: Мопертюи П. Законы движения и покоя, выведенные из метафизического принципа. В кн.: Вариационные принципы механики. М.: Физматгиз, 1959, 41–45.)

- {1.6} См.: Menger C. Problems of Economics and Sociology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963; Walras L. Elements of Pure Economics. London: Allen and Unwin Ltd, 1954; Jevons W. S. Theory of Political Economy. London: Penguin, 1970 (первое изд. 1871).
- {1.7} Menger C. Problems of Economics and Sociology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963.
- {1.8} Menger C. Problems of Economics and Sociology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963, p. 76.
- {1.9} См. замечательный анализ этого вопроса в кн.: Библер В. С. «Кант–Галилей–Кант». М.: Мысль, 1991.
- {1.10} Очень интересный анализ структуры мысленных экспериментов Галилея предложен М. Вертхеймером (Вертхеймер М. Продуктивное мышление. М.: Прогресс, 1987, гл. 9).
- {1.11} Н. Бор. Дискуссия с Эйнштейном по проблемам теории познания в атомной физике. В кн.: Бор Н. Избранные научные труды. В 2-х т. Т. 2. М.: Наука, 1971, 399–433.
- {1.12} Анализ мысленного эксперимента Максвелла, важного для проблем, рассматриваемых в настоящей работе, см. в кн.: Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М.: Физматгиз, 1960, 212–241.
- {1.13} См. ключевую для развития теории информации работу Сцилларда: Scillard L. *Zs. Physik.* **840** (1929), p. 53.
- {1.14} О том, как семантически устроены такие пограничные миры см., в частности: Сергеев В. М. Проблема понимания: некоторые мысленные эксперименты. В кн.: Теория и модели знаний. (Теория и практика создания систем искусственного интеллекта): Труды по искусственному интеллекту. Тарту: ТГУ, 1985, 133–147. (Ученые записки Тартуского гос. ун-та, 714.)

Глава 2

- {2.1} Один из известных американских специалистов по математической экономике писал не так давно: «Для макроэкономистов ... макроэкономическая теория в основном занимается положением равновесия. Планы экономических агентов (обычно полученные из решения индивидуальных оптимизационных проблем) сводятся вместе, а некоторые переменные (обычно цены) считаются имеющими такие значения, которые делают эти планы взаимно согласованными... При всем этом очень мало говорится о динамике процесса, который ведет к равновесию... Внимание концентрируется на равновесии как таковом, а точки, в которых равновесие отсутствует, обсуждаются, только

- чтобы показать, что система не может в них оставаться». Fisher F. V. *Desequilibrium Foundations of Equilibrium Economics*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1963, p. 3.
- {2.2} Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. Гл. I, § 3. М.: Наука, 1970, 32–33.
- {2.3} См., например, Blaug M. *The Methodology of Economics: or How Economists Explain*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1991, гл. 8.
- {2.4} Знаменитому труду А. Смита. «Исследование о природе и причинах богатства народов» предшествовал длительный интерес к занятиям моральной философией. А. Смит в 29 лет избирается в университет Глазго по кафедре нравственной философии, в 36 лет публикует «Теорию нравственных чувств». Лишь в 1767 году, 44 лет от роду, после поездки в Париж и знакомства с Тюрго, А. Смит начинает заниматься экономической теорией.
- {2.5} Whitehead W. *Forgotten Limits: Reason and Regulation in Economic Theory*. In: *The Economic Approach to Politics (A Critical Reassessment of the Theory of Rational Action)*. Ed. by K. R. Monroe. Harpen Collins Publishers, 1991, 53–73.
- {2.6} Смит А. Теория нравственных чувств. Ч. 4, гл. 2. М.: Республика, 1997, 188–189.
- {2.7} Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов. Кн. I, гл. 7. М.: Наука, 1993, 176–177.
- {2.8} См.: Wald A. *On Some Systems of Equations of Mathematical Economics*. *Econometrica*, 1951, 19, 368–403; Debreu G. *Theory of Value. An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium*. New York: Wiley, 1959; Arrow K. J., Debreu G. *Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy*. *Econometrica*, 1954, 22, 265–290.
- {2.9} Bentham J. *An Introduction to the Principle of Morals and Legislation*. London: W. Pickering, 1823.
- {2.10} Теорема о том, что непрерывное отображение компактного выпуклого множества в себя имеет неподвижную точку, принадлежит Брауэру. Позднее С. Какутани сформулировал теорему о неподвижной точке для полунепрерывных сверху точно-множественных отображений. (Kakutani S. *A Generalization of Brouwer's Fixed Point Theorem*. *Duke Math. J.*, 1941, 8, 457–458), которая и была использована К. Эрроу и Ж. Дебре для доказательства существования равновесия в конкурентной экономике. Идея доказательств состоит в построении двух точно-множественных отображений: множества векторов избыточного спроса в множество векторов цен и множества векторов цен в

множество векторов избыточного спроса, а также в применении теоремы Какутани к комбинированному отображению, определенному на декартовом произведении множеств векторов цен и избыточного спроса. При выполнении определенных условий (которые для конкретных экономических моделей надо доказывать) оказывается, что существует такой вектор цен, для которого избыточный спрос неположителен. (См. доказательство, например, в кн.: Алипрантис К., Браун Д., Беркиншоу О. Существование и оптимальность конкурентного равновесия. М.: Мир, 1995. (Aliprantis Ch., Brown D., Burkinshaw O. Existence and Optimality of Competitive Equilibria. Berlin: Springer-Verlag, 1990.).)

Глава 3

- {3.1} Menger C. Problems of Economics and Sociology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963, p. 83.
- {3.2} Menger C. Problems of Economics and Sociology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963, p. 84.
- {3.3} Menger C. Problems of Economics and Sociology. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963, p. 87.
- {3.4} Это один из фундаментальных результатов квантовой механики. (См., например, Нейман Дж. фон. Математические основы квантовой механики. Гл. VI. М.: Наука, 1964, 306–324.) Существуют величины, которые не могут быть одновременно измерены с произвольной точностью, а именно такие физические величины, что соответствующие им в квантово-механической теории операторы не коммутируют. Однако проблема измерения в современной физической теории не сводится к невозможности одновременных точных измерений: «... Безусловно верно, что измерение или связанный с ним процесс субъективного восприятия является по отношению к внешнему физическому миру новой, не сводящейся в нему сущностью. Действительно, такой процесс выводит нас из внешнего мира или, правильнее, вводит в неконтролируемую, так как в каждом контрольном опыте уже предполагаемую, мысленную внутреннюю жизнь индивидуума» Нейман Дж. фон. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964, с. 307.
- {3.5} Так С. Литтлчайлд характеризует Австрийскую школу следующим образом: «Австрийские экономисты являются субъективистами, они подчеркивают целенаправленность человеческих акций, они недовольны конструкциями, которые выделяют равновесие, пренебрегая рыночными процессами, они глубоко подозрительны в отношении попыток применить процессы измерения в экономической теории, они являются скептиками в отношении эмпирических «доказательств»

экономических теорем и, соответственно, имеют серьезные сомнения в значимости и важности большей части эмпирической работы, выполняемой сегодня в экономических исследованиях» (Littlechild L. The Fallacy of the Mixed Economy. I. Austrian Critique of Economic Thinking and Policy. London: Inst. of Economic Affairs, 1978, p. 22). Ранее П. Самуэльсон так сформулировал свое отношение к некоторым критикам неоклассической ортодоксии: «В связи с преувеличенными претензиями, которые высказываются в экономической науке относительно возможностей дедукции... Карлом Менгером и Людвигом фон Мизесом — я трепещу за репутацию моей дисциплины. К счастью, мы уже оставили это позади» (Samuelson P. A. The Collected Scientific Papers. Ed. by R. C. Merton. Vol. 3. Cambridge, Mass.—London: MIT Press, 1972, p. 761). Как мы увидим далее, сомнения критиков неоклассического подхода еще очень далеки от того, чтобы быть преодоленными.

- {3.6} Хайек Ф. А. Конкуренция как процедура открытия. *МЭИМО*, 1989, 12, 6–14.
- {3.7} Впервые, по-видимому, к идее использовать теорию эволюции в экономике пришел А. Алхиян (Alchian A. A. Uncertainty, Evolution and Economic Theory. *J. Polit. Econom.*, 1950, 58, 211–221). Эволюционный подход также существенно использовался Д. Нортон в исследовании эволюции социальных институтов, и прежде всего прав собственности: North D. C. *Institutions, Institutional Changes and Economic Performance*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990; North D. C. *Structure and Change in Economic History*. New York: Norton, 1981.
- {3.8} Хайек Ф. А. Конкуренция как процедура открытия. *МЭИМО*, 1989, 12, с. 7.
- {3.9} Хайек Ф. А. Пагубная самонадеянность: Ошибки социализма. М.: Новости, 1992 (особенно гл. 1, с. 24–52).
- {3.10} Хайек Ф. А. Конкуренция как процедура открытия. *МЭИМО*, 1989, 12, с. 9.
- {3.11} Хайек Ф. А. Конкуренция как процедура открытия. *МЭИМО*, 1989, 12, с. 9.
- {3.12} Хайек Ф. А. Конкуренция как процедура открытия. *МЭИМО*, 1989, 12, с. 10.
- {3.13} Хайек Ф. А. Конкуренция как процедура открытия. *МЭИМО*, 1989, 12, с. 10.
- {3.14} Начало обсуждению подобных проблем положила книга Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. Изд. 2-е. М.: Атомиздат, 1972; проблемами самоорганизации автоматов в конце жизни занимался Дж. фон Нейман. (См.: Нейман Дж. фон. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир, 1971.)

- {3.15} Жизнь как метастабильное состояние обсуждалась еще в кн.: Винер Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. Изд. 2-е. М.: Сов. радио, 1968, с. 114. В связи с констатацией неизбежности прихода «демона Максвелла» в равновесие со средой Винер писал: «Тем не менее до того, как демон сойдет с толку, может пройти немалое время, и оно может оказаться столь продолжительным, что мы вправе называть активную фазу демона метастабильной. Нет оснований считать, что метастабильные демоны в действительности не существуют, напротив, вполне возможно, что энзимы являются метастабильными максвелловскими демонами, которые уменьшают энтропию пусть не разделением быстрых и медленных частиц, а каким-нибудь другим эквивалентным процессом. Мы вполне можем рассматривать живые организмы, как и самого Человека, в этом свете».
- {3.16} См. получившие широкую известность работы: Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973.; Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. М.: Наука, 1979. Сходные проблемы обсуждались ранее с иных позиций Г. Кастлером и К. Х. Уоддингтоном. (Уоддингтон К. Х. Организаторы и гены. М.: Гос. изд. иностр. лит., 1947.; Кастлер Г. Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967.)
- {3.17} Юм Д. Малые произведения. М.: Канон, 1996.
- {3.18} Юм Д. Малые произведения. М.: Канон, 1996, стр. 112–113.

Глава 4

- {4.1} См., например, Рашевский П. К. Геометрическая теория уравнений с частными производными. М.–Л.: Гостехиздат, 1947. В свое время М. Борн отмечал радикальное отличие методов и математического аппарата термодинамики от других областей теоретической физики: «В классической физике логическая обработка какой-либо области лишь тогда признается законченной, когда она сведена к одной из глав «нормальной математики». Но есть одно поразительное исключение — классическая термодинамика. Методы, обычно применяемые в этой дисциплине для вывода основных положений, резко отличаются от принятых в других областях». Борн М. Критические замечания по поводу традиционного изложения термодинамики. В кн.: Борн М. Размышления и воспоминания физика. М.: Наука, 1977, с. 91.
- {4.2} Изящное изложение подхода К. Каратеодори см. в статье Борн М. Критические замечания по поводу традиционного изложения термодинамики. В кн.: Борн М. Размышления и воспоминания физика. М.: Наука, 1977, с. 91–121.

- {4.3} См. известную лекцию Hahn F. H. On the Notion of Equilibrium in Economics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1973. См. также Littlechild S. C. Equilibrium and the Market Process. In: Method, Process, and Austrian Economics: Essays in Honor of L. Von Mises. Ed. by J. M. Kirzner. Lexington, Mass.: Lexington Books, 1982.
- {4.4} Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М.: Физматгиз, 1960; Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд. иностр. лит., 1963. Из недавних работ см., например, Gray R. M. Entropy and Information Theory. New York: Springer-Verlag, 1990.
- {4.5} В конце 60-х годов А. Вильсон предложил использовать энтропийный анализ для исследования транспортных потоков. (Wilson A. G. Entropy in Urban and Regional Modeling. London: Pion, 1970.) В основном Вильсон применял технику максимизации энтропии для расчета транспортных задач, в частности для «гравитационной модели» распределения путей передвижения, вводя некий аналог уравнений движения, где общее число поездок и число целей в каком-либо направлении рассматривалось как аналог массы, а цена поездки — как аналог расстояния. Энтропия использовалась для определения наиболее вероятного распределения поездок в различных направлениях. Несмотря на то что Вильсон ограничивался в своих исследованиях транспортными задачами, он, по-видимому, понимал большие возможности термодинамического подхода к изучению социальных процессов. Так он писал: «Есть примеры, когда эта концепция (энтропия. — В. С.) может играть столь же полезную роль в исследовании социальных систем. Но важно, чтобы концепции, соответствующие энергии и работе (такие как полезность и капиталовложения), были ясно определены для интересующей системы» (стр. 12). В главе 7 своей книги Вильсон пишет о перспективах использования термодинамических идей для исследования сложных динамических систем, но не предлагает никаких конкретных способов приложения этих идей к анализу рыночного равновесия. В экономических исследованиях хорошо известно также использование концепции энтропии для оценки плохо определенных данных, основанное на идее Джейнса (Jaynes E. T. Information Theory and Statistical Mechanics. *Phys. Rev.*, 1957, **106** (6), 620–630; 1957, **108** (2), 171–190 и Jaynes E. T. Prior Information and Ambiguity in Inverse Problems. Inverse Problems (New York, 1983). In: SIAM-AMS Proc., 14. Providence: Amer. Math. Soc., 1984, 151–166). См. применение этих идей в Levine R. D., Tribus M. Foreword. In: The Maximum Entropy Formalism (Conf., Mass. Inst. Tech., Cambridge, Mass., 1978). MIT Press, 1979, VII–IX; Golan A., Judge G., Miller D. Maximum Entropy Econometrics: Robust Estimation with Limited Data. Chichester: Wiley, 1996. Эти работы, однако, не имеют прямого отношения к анализу экономического равновесия. О других применениях методов статистической

физики к исследованию социально-экономических проблем. (См., например, работы С. Дурлауфа: Durlauf S. Nonergodic Economic Growth. *Rev. Econ. Studies*, 1993, **60**, p. 349–366; Durlauf S. A Theory of Persistent Income Inequality. *J. Econ. Growth*, 1996, **1**, p. 75–93.)

Глава 5

- {5.1} См., например, Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М.: Физматгиз, 1960.
- {5.2} См. Tolman R. C. The Principles of Statistical Mechanics. Oxford: Oxford Univ. Press, 1938; Халмош П. Р. Лекции по эргодической теории. М.: Изд. иностр. лит., 1960.
- {5.3} Френкель Я. И. Физика атомного ядра. М., 1938.
- {5.4} Klein M. J. Negative Absolute Temperatures. *Phys. Rev.*, 1956, **104** (3), p. 589.
- {5.5} Вопрос о причинах существования безработицы занимает исключительно важное место в обсуждении проблем экономического равновесия, так как является контрпримером к неоклассической теории равновесия, в которой невозможно существование избыточного спроса. Эта проблема стала одним из основных толчков к развитию институционального подхода к экономике — см.: Williamson O. E. Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications. New York: Free Press; London: McMillan, 1975. Ch. 4. Akerloff G. A. An Economic Theorist's Book of Tales: Essays that Entertain the Consequences of New Assumptions in Economic Theory. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984.
- {5.6} Анализ задачи основан на известной физической модели «решеточного газа». См. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. Приложение 2, 310–312. М.: Наука, 1977.

Глава 6

- {6.1} См., например Холл М. Комбинаторный анализ. М.: Изд. иностр. лит., 1963.
- {6.2} См. детальное обсуждение этого вопроса в кн.: Киттель Ч. Статистическая термодинамика. Гл. 7. М.: Наука, 1977, 94–109.
- {6.3} Akerlof G. A. The Market for Lemons; Qualitative Uncertainty and the Market Mechanism. *Quarterly J. Econom.*, 1970, **84**, 488–500.
- {6.4} Akerlof G. A. An Economic Theorist's Book of Tales: Essays that Entertain the Consequences of New Assumptions in Economic Theory. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984.

- {6.5} Akerlof G. A. The Market for Lemons; Qualitative Uncertainty and the Market Mechanism.
- {6.6} См. подробное обсуждение представления об орбитали в Киттель Ч. Статистическая термодинамика. М.: Наука, 1977, 94–109. Гл. 10, 128–133.
- {6.7} См. Курант Р. Уравнения с частными производными. М.: Мир, 1964.
- {6.8} Это стандартный вывод свойств F , см., например, Киттель Ч. Статистическая термодинамика. М.: Наука, 1977, 94–109. Гл. 18, 243–257.
- {6.9} Мы воспроизводим здесь соображения, приведенные в кн. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Статистическая физика. Ч. 1, § 17. М.: Наука, 1963, 73–74.

Глава 7

- {7.1} См.: Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1963.
- {7.2} Мы следуем здесь упоминавшейся выше книге Д. Ландау и Е. Лившица.
- {7.3} О теории критических точек. См., например, Милнор Дж. Теория Морса. М.: Мир, 1965.

Глава 8

- {8.1} Здесь мы снова следуем кн. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1963.
- {8.2} Анализ временных рядов, соответствующих рыночным ценам, посвящена огромная литература (см., например, в Mills T. C. The Econometric Modeling of Financial Time Series. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993). Мы не будем здесь обсуждать различные существующие методы анализа и прогнозы соответствующих цен, так как в основе своей они базируются на универсальных математических свойствах временных рядов или на разного рода вероятностных гипотезах. В нашем же подходе рынок рассматривается как система, обладающая специфическими свойствами — уравнением состояния, которое учитывается структурой зависимости энтропии от макропараметров рынка.
- {8.3} Конечно, приведенные соображения не являются выводом этой теоремы, а лишь иллюстрируют идею. См. вывод в кн. Винер Н. Интеграл Фурье М.: Физматгиз, 1960. О роли этой теоремы в исследовании физических временных рядов см. в кн.: Винер Н. Нелинейные задачи в теории случайных процессов. М.: Изд. иностр. лит., 1961.

- {8.4} См. Axelrod R. The Evolution of Cooperation. New York: Basic, 1984. Ср. также обсуждение этого вопроса в кн. Sergeev V. The Wild East. New York M. E. Shanp, 1997. Ch. III.
- {8.5} Arthur W. B. Self-reinforcing mechanisms in economics. In: The Economy as an Evolving Complex System. Proceedings of the Workshop on the Evolutionary Paths of the Global Economy Held in Santa Fe, New Mexico, September, 1987. Ed. by P. W. Anderson, K. J. Arrow, D. Pines. Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1988, 9–31.
- {8.6} Ср. предположение Дж. Акерлофа об асимметрии рынка (Akerlof G. A. The Market for Lemons; Qualitative Uncertainty and the Market Mechanism).
- {8.7} См., например, Трикоми Ф. Дж. Дифференциальные уравнения. М.: Изд. иностр. лит., 1962.

Глава 9

- {9.1} Подробное обсуждение цикла Карно и его роли в термодинамике см., например, в кн.: Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика. М.: Изд. иностр. лит., 1955.
- {9.2} О диалоге премьера Махатиры и Дж. Сороса см. в *Far Eastern Economic Review*, 1997, September 25, October 2, 160 (39), p. 40.

Глава 10

- {10.1} Hargreaves Heap S. Rationality in Economics. Oxford: Basil Blackwell, 1989.
- {10.2} Coase R. H. The Nature of the Firm. *Economics*, 1937, 9, 386–405.
- {10.3} Williamson O. E. Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications. New York: Free Press; London: McMillan, 1975; North D. C. Institutions, Institutional Changes and Economic Performance. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990.
- {10.4} Simon H. A. Models of Bounded Rationality and Other Topics in Economics. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1982.
- {10.5} Сергеев В. М. Когнитивные модели в исследовании мышления: структура и онтология знания. В кн.: Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987, 179–195. См. также: Sergeev V., Biryukov N. Russia's Road to Democracy Aldershot. Edward Elgar, 1993, гл. 1.
- {10.6} Сергеев В. М. Когнитивные модели в исследовании мышления: структура и онтология знания. В кн.: Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987, 179–195.

- {10.7} Hargreaves Heap S. Rationality in Economics. Oxford: Basil Blackwell, 1989, p. 149.
- {10.8} Coase R. H. The Nature of the Firm. *Economics*, 1937, 9, 386–405.
- {10.9} Knight F. H. Risk, Uncertainty and Profit. London: School of Economics, 1933.
- {10.10} Keynes J. M. The General Theory of Employment Interest and Money. London: McMillan, 1936, Ch. 12.
- {10.11} Mises L. von. Human Action: A Treatise on Economics. New Haven: Yale Univ. Press, 1949; Method, Process, and Austrian Economics: Essays in Honor of Ludwig von Mises. Ed. by I. M. Kirzner. Lexington, Mass.: Lexington Books, 1982.
- {10.12} Hayek F. A. The Road to Serfdom. Chicago: Chicago Univ. Press, 1977.
- {10.13} Alchian A. A. Uncertainty, Evolution and Economic Theory. *J. Polit. Econom.*, 1950, 58, 211–227.
- {10.14} См. Uncertainty and Economic Evolution: Essays in Honor of Armer Alchian. Ed. by J. R. Lott. London: Routledge, 1997.
- {10.15} Winter S. G. Jr. Economic “Natural Selection” and the Theory of the Firm. *Yale Economic Essays*, 1964, 4 (1), 225–272.
- {10.16} Damsets H. Rationality, Evolution and Acquisitiveness. In: Uncertainty and Economic Evolution. *J. Polit. Econom.*, 1950, 58, 4–19.
- {10.17} Vany A. de. Information, Change and Evolution: Alchian and the Economics of Self-organization. In: Uncertainty and Economic Evolution. *J. Polit. Econom.*, 1950, 58, p. 21.
- {10.18} Williamson O. E. Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications. New York: Free Press; London: McMillan, 1975.
- {10.19} См., например, North D. C. Institutions, Institutional Changes and Economic Performance. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1990. Заметим, что оживление интереса к Австрийской школе экономики было связано с присуждением Ф. Хайеку Нобелевской премии по экономике.
- {10.20} Ср. обсуждение потенциальных возможностей эволюционной теории в Hodgson G. M. Economics and Institutions: a Manifesto for a Modern Institutional Economics. Cambridge: Polity. Press, 1988.
- {10.21} См. Hodgson G. M. Economics and Institutions: a Manifesto for a Modern Institutional Economics. Cambridge: Polity. Press, 1988, p. 111.