

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ

ОБЩИЙ ХАРАКТЕР ЖИЗНЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Глава 1. Принципы устойчивого и неустойчивого равновесия

§ 1

Вся природа обыкновенно делится на живую и мертвую и, соответственно этому, все процессы природы — на жизненные и безжизненные. В чем же состоит основное отличие жизненных процессов от безжизненных?

Выяснению этого вопроса и посвящена настоящая работа. Для того чтобы *вскрыть* общие принципы, управляющие всеми безжизненными процессами, с одной стороны, и всеми жизненными — с другой, мы рассмотрим сначала простейшие процессы того и другого рода, относящиеся к равновесию тел в поле земного тяготения.

Нормальное состояние всякого физического тела — или, выражаясь общее, всякой мертвой системы — есть, как известно, состояние *устойчивого равновесия*. Равновесие определяется тем, что при отсутствии возмущающих сил (отличных от силы тяжести) это состояние может сохраняться неограниченно долгое время. Что же касается устойчивости, то она характеризуется тем, что всякое не слишком большое отклонение системы от состояния равновесия вызывает силу, стремящуюся *уменьшить* это отклонение и, следовательно, противодействующую той внешней силе, которая это отклонение вызвала.

По известному закону механики, центр тяжести системы в состоянии устойчивого равновесия занимает *наинизшее* из всех соседних положений, допускаемых строением системы и условиями связей. Например, маятник, могущий вращаться около одного из своих концов, опускается вертикально вниз; палка, выпущенная из рук, падает, т. е. располагается горизонтально, прижимаясь к земле.

Система может иметь не одно, а несколько положений устойчивого равновесия. Например, кубик, брошенный на стол, устанавливается на одной из своих шести граней. Если поставить стул на две ножки, то при не слишком большом отклонении от нормального положения он вновь в него вернется; при более сильном отклонении он упадет на спинку, т. е. перейдет в новое положение устойчивого равновесия.

Отсюда мы, между прочим, заключаем, что существует некоторое предельное отклонение стула от нормального положения; при всяком меньшем отклонении он возвращается обратно; при всяком большем — опрокидывается. Это предельное положение иногда называют *пределом устойчивости*. По мере приближения стула к пределу устойчивости момент действующей на него силы тяжести уменьшается и при достижении этого предела обращается в нуль. Положение, соответствующее пределу устойчивости, есть, следовательно, положение равновесия, ибо при отсутствии возмущающих сил стул мог бы оставаться в нем произвольно долго. Однако, в отличие от устойчивого равновесия, это равновесие, представляющее собой, так сказать, границу между двумя или несколькими положениями устойчивого равновесия, является само по себе *неустойчивым*. Самая ничтожная внешняя сила достаточна для того, чтобы его разрушить, ибо малейшее отклонение от этого положения в какую-нибудь сторону вызывает силу, стремящуюся это отклонение *увеличить*.

Механически состояние неустойчивого равновесия определяется тем, что центр тяжести системы занимает *наивысшее* из всех соседних положений, допускаемых строением системы и условиями связей.

Так как возмущающие влияния никогда не могут быть устранены, то и состояние неустойчивого равновесия мертвых систем никоим образом не может быть осуществлено. В виде примеров неустойчивого равновесия можно указать на палку, стоящую вертикально, без всяких подпорок, на гладком полу, или на стул, стоящий на двух ножках, или, наконец, на четырехугольную пластинку, стоящую на одной из своих сторон.

Прямоугольный параллелепипед, имеющий три различных измерения — или, просто-напросто, кирпич — может стоять на любой из своих трех пар граней. Соответ-

ствующие три пары положений равновесия обладают, однако, различной степенью устойчивости. При этом степень или величина устойчивости характеризуется работой, которую нужно затратить для того, чтобы отклонить кирпич до соответствующего предела устойчивости. Эта работа, как легко убедиться, тем больше, чем больше грань, на которой до отклонения покоился кирпич, или (что приводит к тому же) чем ниже соответственное положение центра тяжести.

При бесконечном сужении кирпича (т. е. при неограниченном уменьшении одного из его измерений) он превращается в пластинку, о которой говорилось выше; устойчивое равновесие переходит в неустойчивое; работа, характеризующая устойчивость, обращается в нуль.

Таким образом, неустойчивость не является понятием, противоположным устойчивости, а представляет собой лишь предельный случай ее, относящийся к общему, как нуль относится к совокупности всех положительных чисел. Измеряя устойчивость различных состояний «энергетическим состоянием» до предела устойчивости (т. е. соответствующей разностью энергий), мы приходим к случаю неустойчивого равновесия, когда эта разность обращается в нуль.

В обыденной речи малоустойчивые состояния отождествляются с неустойчивыми. Это, между прочим, выражается в том, что различным малоустойчивым состояниям приписывается большая или меньшая *степень неустойчивости*, в то время как, строго говоря, неустойчивость есть понятие совершенно определенное, а не допускающее количественных оттенков.

В тех случаях, когда обычное словоупотребление не будет вызывать недоразумений, мы сохраним его, помня, однако, о том, что резкой грани между устойчивыми и неустойчивыми состояниями на самом деле не существует. Для удобства равновесие, неустойчивое в строгом смысле этого слова, мы будем иногда называть абсолютно неустойчивым.

§ 2

Представим себе множество кирпичей, раскиданных как попало по совершенно ровной земле. Огромное большинство этих кирпичей будет «лежать» на большей грани, небольшая часть расположится на средней, и лишь совсем ничтожная часть будет «стоять» на меньшей грани.

Этот пример иллюстрирует тот факт, что относительно малоустойчивые состояния в мертвой природе осуществляются крайне редко. Возникнув каким-нибудь образом, подобные состояния имеют весьма мало шансов сохраниться более или менее продолжительное время, вследствие присутствия в окружающей природе бесчисленного множества всякого рода возмущающих сил.

Мы можем поэтому сказать, что *малоустойчивые состояния мертвых систем крайне маловероятны*. А так как крайне маловероятные события очень редко встречаются, то тот же факт выражается несколько проще, хотя зато и несколько расплывчатее, следующим принципом, который мы назовем *принципом устойчивого равновесия*: *Нормальное состояние всякой мертвой системы есть состояние устойчивого равновесия*.

При этом под устойчивым равновесием понимается равновесие, обладающее относительно высокой степенью устойчивости.

Принцип устойчивого равновесия относится не только к чисто механическим процессам, зависящим от силы тяготения, но ко всем физическим и химическим процессам вообще. Все безжизненные процессы, рассматриваемые в целом, состоят в приближении соответствующих систем к состоянию устойчивого равновесия, достижение которого знаменует собой окончание процесса. Иными словами, все безжизненные процессы имеют тенденцию к самопрекращению.

Достигнув нормального состояния, система стремится сохранить его, и на всякое внешнее воздействие отвечает появлением силы, стремящейся уменьшить эффект этого воздействия.

Этот закон, представляющий собой один из наиболее общих законов физики и химии, известен под именем принципа Ле Шателье—Брауна, или принципа подвиж-

ного равновесия. Собственно говоря, его следует отождествить с принципом устойчивого равновесия, так как он непосредственно вытекает из самого понятия устойчивости. Его можно формулировать в иной форме, более удобной для индуктивной проверки.

Пусть отклонение безжизненной системы от нормального состояния определяется двумя факторами, A и B , находящимися, подобно положению и силе, в отношении взаимной зависимости* (изменение положения вызывает изменение силы, которая, в свою очередь, вызывает изменение положения). Относительно характера этой взаимной зависимости можно сформулировать следующий общий закон:

A и B находятся в отношении взаимного ослабления: если A вызывает B , то B вызывает — A , т. е. стремится уменьшить A .

Например, отклонение маятника (A) вызывает силу (B), которая стремится вернуть его обратно, т. е. уменьшить это отклонение, или, иными словами, вызвать противоположное отклонение (A). Следует подчеркнуть, что каждый из взаимодействующих факторов может быть как причиной, так и следствием другого или, вернее, ему противоположного.

Такое соотношение взаимного ослабления мы будем называть *антагонистическим*. Антагонизм между взаимодействующими факторами соответствует общему консервативному характеру безжизненных процессов.

В следующей главе мы познакомимся с несколькими замечательными примерами такого консерватизма.

§ 3

Выше мы говорили, что (абсолютно) неустойчивое равновесие безжизненных систем никоим образом не может быть осуществлено. В частности, например, палка, ничем не поддерживаемая сбоку, не может сама по себе стоять вертикально. Однако весьма нетрудно удерживать ее вблизи вертикального положения на кончике пальца, непрерывно двигая последний в тех направлениях, в которых палка начинает падать.

Подобное поддержание всевозможных предметов вблизи состояния неустойчивого равновесия представляет собой главное содержание жонглерского искусства, и, конечно, неоднократно наблюдалось каждым.

Отсюда, однако, не следует, что неустойчивое равновесие безжизненных систем осуществимо, ибо вышеозначенные предметы не представляют собой *самостоятельных* («целых») систем, образуя таковые лишь вместе с жонглером. Таким образом, живая система (жонглер) имеет возможность поддерживать в состоянии неустойчивого равновесия посторонние тела, с которыми она приходит в соприкосновение. Более того, она имеет возможность поддерживать в подобном состоянии *самое себя*.

Действительно, тело человека, стоящего на одной ноге, находится, очевидно, в положении неустойчивого равновесия. Непрерывно подпрыгивая в сторону начинающегося падения, он жонглирует своим собственным телом точно так же, как в вышеприведенном примере он жонглировал бы палкой.

Но и две ноги представляют собой весьма ненадежную опору для нашего тела. Стоя на двух ногах, мы, подобно стулу, стоящему на двух ножках, находимся почти на предделе устойчивости. Стараясь держаться прямо, мы поднимаем центр тяжести своего тела в *наивысшее* положение, допускаемое строением последнего, — а это и есть механический критерий неустойчивости. Неустойчивость нашего нормального положения является характеристической чертой нашей жизненности. Человек, убитый «наповал», мгновенно превращается из живой системы в мертвую, и это превращение проявляется, прежде всего, в том, что он падает, т. е. что его *тело переходит из состояния неустойчивого равновесия, характеризующего жизнь, в состояние устойчивого равновесия, характеризующего смерть*.

Легко, далее, заметить, что *степень неустойчивости нормального состояния находится в прямом соотношении с интенсивностью и высотой жизни*. Чем человек силь-

* Нормальное состояние предполагается столь устойчивым, т. е. столь далеким от предела устойчивости, что отклонение не достигает этого предела.

нее, здоровее, тем прямее он держится, тем выше поднимает центр тяжести своего тела. Наоборот, старение и, вообще, всякое ослабление организма сопровождается сгибанием тела, т. е. опусканием его центра тяжести.

Далее, из всех животных, обладающих четырьмя конечностями (не считая хвоста), наиболее организованное — человек — является единственным, которое в нормальном состоянии держится лишь на двух из них*. Но и четвероногие, стоящие на всех четырех конечностях, находясь в малоустойчивом состоянии, ибо строение их тела допускает сгибание этих конечностей и, следовательно, дальнейшее опускание центра тяжести, т. е. переход животного в более устойчивое состояние, соответствующее лежанию. Наконец, среди четвероногих относительная высота конечностей обыкновенно уменьшается с понижением степени биологического развития. У змей все конечности (кроме хвоста) совершенно атрофированы. С известными оговорками можно сказать, что относительная высота центра тяжести тела пропорциональна биологической высоте жизни.

Простейшие животные и растения в большинстве случаев находятся, с механической точки зрения, в состоянии безразличного равновесия (например, плавают в воде).

Высшие растения, имеющие стебли или стволы, растут вверх, повышая, таким образом, свой центр тяжести. Однако, пуская при этом корни в землю, они, до известной степени, прикрепляются к ней, так что их равновесие следует признать гораздо более устойчивым (т. е. далеким от предела устойчивости), чем равновесие животных, ничем не связанных с земной поверхностью.

Нормальное состояние живых систем является неустойчивым не только с механической точки зрения, но также — и притом в особенности — с химической. Органические вещества, наиболее характерные для живых систем (в особенности белки), суть в высшей степени сложные и нестойкие химические соединения, непрерывно разрушающиеся, но зато и непрерывно возобновляющиеся в процессе жизнедеятельности организма. Химическая неустойчивость живых систем, подобно механической, обнаруживается особенно отчетливо при умирании. Лишь только прекращается жизнь, лишь только живая система превращается в мертвую, в труп, — этот труп *падает*, и вместе с тем начинается *распад* составляющих его веществ (трупное разложение).

Мы имеем некоторое основание думать, что черта, отличающая — с механической и химической точек зрения — живые системы от мертвых, а именно чрезвычайно малая устойчивость первых по сравнению со вторыми, должна быть чертой общей и фундаментальной. Поэтому результаты, к которым нас привело сопоставление простейших жизненных процессов с простейшими безжизненными, мы сразу же обобщим на случай *всяких* жизненных процессов, откладывая индуктивное оправдание подобного обобщения на будущее. Итак, мы предположим, что *нормальное состояние всякой живой системы, с какой бы точки зрения она ни рассматривалась; есть состояние неустойчивого равновесия (т. е. состояние, весьма близкое к пределу устойчивости)*.

§ 4

Если смерть заключается, таким образом, в переходе системы из состояния неустойчивого равновесия в устойчивое**, то в чем же, в таком случае, заключается жизнь? Жизнь, очевидно, должна заключаться в поддержании неустойчивого равновесия.

Мы никогда не стоим абсолютно прямо и недвижимо, но все время пошатываемся около вертикального положения, непрерывно жонглируя собственным телом. Качания эти значительно усиливаются, когда мы становимся «на цыпочки», уменьшая опорную поверхность ног; они усиливаются также при всяком нарушении или ослаблении жизнедеятельности (например, у пьяного, больного и т. д.).

Итак, наше тело никогда не покоится в своем нормальном положении, но соверша-

* Животные, могущие держаться на задних ногах, имеют либо очень большие ступни, либо, вдобавок, толстый хвост, служащий им подпоркой (кенгуру).

** Это положение было высказано еще Спенсером, который, однако, придавал ему скорее образное, нежели реальное значение и не сделал из него никаких выводов.

ет около него колебания большей или меньшей амплитуды. Неизбежность подобных колебаний непосредственно вытекает из неустойчивости этого положения, — ибо самое незначительное отклонение A тела, вызванное самой ничтожной внешней причиной, вызывает момент силы тяжести B , стремящийся увеличить это отклонение, — точь-в-точь как в случае палки, поставленной вертикально на полу. Палка, предоставленная взаимодействию двух факторов (A) и (B), находящихся в отношении взаимного усиления, падает; наше же тело, отклонившись до известного предела, вновь выпрямляется, — очевидно, благодаря вмешательству третьего фактора (C), находящегося с A в отношении взаимного ослабления (антагонизма). Этот фактор представляет собой *жизненную реакцию организма*, направленную к поддержанию неустойчивого равновесия, и состоит из координированного ряда нервных импульсов и мышечных сокращений, вызванных отклонением и стремящихся его *уменьшить*, т. е. выпрямить тело. Присутствие этого фактора с неизбежностью вытекает из самого факта сохранения неустойчивого равновесия в течение всей жизни, составляя ее отличительную черту и придавая ей кажущуюся устойчивость.

Почему пьяные «шатаются»? Очевидно, потому, что небольшие отклонения не вызывают у них той восстанавливающей реакции C , которую они вызвали бы у трезвого человека, или, иными словами, потому, что эта реакция появляется со слишком большим запаздыванием. Из того факта, что хотя бы небольшие пошатывания тела *всегда* имеют место, мы можем заключить, что *эта реакция всегда запаздывает относительно вызывающего ее фактора*, в одних случаях меньше, в других — больше.

Каждое легкое отклонение A , какой бы случайной причиной оно ни было вызвано, вызывает сначала лишь фактор B , стремящийся его увеличить. Когда отклонение достигло некоторой минимальной величины, появляется фактор C , стремящийся его уменьшить. Пока C остается меньше B , тело продолжает отклоняться в прежнем направлении с возрастающей скоростью. Поэтому реакция C должна возрастать быстрее B , — тем быстрее, чем больше запаздывание. Вместе с запаздыванием должна возрастать — как абсолютно, так и сравнительно с предельной интенсивностью B — предельная интенсивность реакции C , необходимая для того, чтобы остановить падение тела и заставить его двигаться в противоположную сторону, к положению неустойчивого равновесия. Конечно, интенсивность реакции не может при этом превысить некоторого максимума, зависящего от силы и строения организма. Вот почему при слишком большом запаздывании тело «теряет равновесие», т. е. опрокидывается.

Итак, *запаздывание* восстанавливающего фактора относительно отклоняющего является основным моментом, характеризующим их взаимоотношение. Тот факт, что люди научаются ходить, прыгать на одной ноге, жонглировать всевозможными предметами, показывает, что под влиянием упражнения это запаздывание может сокращаться до полной незаметности. Наоборот, при всяких нарушениях жизнедеятельности, при ослаблении или старении организма, это запаздывание может чрезвычайно увеличиваться, делая подчас ходьбу или стояние без опоры совершенно невозможным.

Так как нормальное состояние живых систем является неустойчивым не только с механической, но и с химической точки зрения, то и в химических процессах мы должны ожидать аналогичного запаздывания. И оно, действительно, с полной очевидностью обнаруживается, например, в области питания, которое происходит не непрерывно, а с интервалами; в течение этих интервалов система все более и более отклоняется от нормального, с химической точки зрения, состояния, и при слишком большом запаздывании наступает голодная смерть.

Запаздывание, очевидно, должно быть тем меньше, чем больше неустойчивость. А так как неустойчивость уменьшается с понижением уровня биологического развития (см. предыдущий параграф), то вместе с тем должно увеличиваться опаздывание. Например, интервалы между едой у дикаря могут быть, и обыкновенно бывают, гораздо больше, чем у культурного человека. Еще больше становятся они у животных, достигая у змей нескольких месяцев. Некоторые бактерии могут без всякой пищи сохранять в течение тысячелетий. Наконец, в случае безжизненных систем, восстанавливающая реакция совершенно исчезает, т. е. запаздывание становится равным бесконечности.

Эти результаты, на том же основании, что и в предыдущем параграфе, мы можем обобщить на случай *всяких* жизненных процессов. Мы, следовательно, предположим, что всякий жизненный процесс может быть разделен на две главные фазы, причем в *начальной* доминирует отклоняющий фактор *B*, а в *конечной* — восстанавливающий *C*. Продолжительность начальной фазы зависит от *запаздывания* *C* относительно *B*, которое для различных процессов может меняться в самых широких пределах. В тех случаях, когда неустойчивость исходного состояния не слишком велика, т. е. когда оно не слишком близко к пределу устойчивости, то для доведения системы до этого предела должна быть затрачена небольшая, но все же более или менее заметная работа. Таким образом, первой главной фазе процесса должна предшествовать *предварительная фаза*, имеющая слабо *выраженный консервативный характер*.

Заметим, что в случае безжизненных процессов мы имеем дело исключительно с этой предварительной фазой, ибо мертвые системы в нормальном состоянии столь далеки от предела устойчивости, что без вмешательства живых систем не могут через него перейти.

Первая, главная, или *начальная*, фаза всякого жизненного процесса протекает так же, как и в случае безжизненной системы, искусственно приведенной в состояние неустойчивого равновесия и предоставленной самой себе, т. е. взаимодействию двух факторов, *A* и *B*, находящихся в отношении взаимного усиления или *гармонии*. Каждый из них есть причина и, в то же время, следствие другого, благодаря чему процесс имеет *прогрессивный*, или, как иногда говорят, *лавинобразный характер* (т. е. характер падения). Итак, в начальной фазе жизненные процессы подчиняются *принципу неустойчивого равновесия*, который можно формулировать следующим образом:

1. Факторы *A* и *B* находятся в отношении взаимного усиления: если *A* вызывает *B*, то *B* вызывает *+A*, т. е. стремится увеличить *A*.

В конечной своей фазе, при доминировании восстанавливающего фактора *C* над отклоняющим *B*, жизненный процесс протекает так же, как и в случае безжизненной системы, отклоненной от своего нормального состояния, т. е. состояния устойчивого равновесия, и имеет, следовательно, *консервативный характер*, благодаря антагонистическому соотношению между отклонением и реакцией.

Итак, в конечной фазе жизненные процессы подчиняются *принципу устойчивого равновесия*, формулированному выше (§ 2):

2. Факторы *A* и *C* находятся в отношении взаимного ослабления: если *A* вызывает *C*, то *C* вызывает *-A*, т. е. стремится уменьшить *A*.

Длительность начальной фазы, как уже упоминалось, зависит от запаздывания восстанавливающего фактора. Если это запаздывание слишком велико (равно бесконечности), то наступает смерть. Тогда первая фаза процесса протекает до конца, и система переходит из состояния неустойчивого равновесия в состояние устойчивого равновесия.

Резюмируя выводы относительно зависимости неустойчивости и запаздывания от степени биологического развития, мы сможем сказать, что *нормальное состояние живых систем тем неустойчивее, а отклонения от него тем меньше, чем выше их организация*.

Глава 2. Безжизненные процессы

§ 5

Консервативный характер безжизненных процессов, вытекающий из принципа Лешателье—Брауна, в настоящее время может считаться установленным и в индуктивной проверке не нуждается. Однако для полноты я считаю необходимым пояснить его хотя бы несколькими примерами. При этом мы будем иметь в виду ту формулировку принципа устойчивого равновесия (несколько отличную от обычной), которая была дана в § 2, а именно: *если A вызывает B, то B вызывает -A, т. е. стремится уменьшить A*.

1. Почти все тела при нагревании (*A*) расширяются (*B*); они же при растяжении (*B*) охлаждаются (*-A*). В случае каучука имеет место обратное. Резиновая трубка удлиняется при охлаждении, а при удлинении нагревается.

Замечательный пример представляет собой Солнце. Как всякое нагретое тело, оно сильно излучает, а излучая — охлаждается; охлаждаясь, оно сжимается, а сжимаясь — нагревается. В результате охлаждение его происходит крайне медленно.

2. Нагревание жидкости вызывает ее испарение, а испарение вызывает охлаждение. Вот почему, например, жидкий воздух может сохраняться в *открытом* сосуде весьма продолжительное время. Благодаря антагонизму между взаимодействующими факторами процесс его испарения имеет явно консервативный характер. Если раскрыть бутылку с жидкой углекислотой, то последняя, вследствие понижения давления, начинает бурно испаряться, причем пары ее до такой степени охлаждаются, что тотчас же конденсируются в твердое состояние (минуя жидкое), выпадая в виде хлопьев снега, которые испаряются чрезвычайно медленно. Если сильно сжатому газу открыть доступ в пустую камеру, то (при надлежащих условиях температуры и давления) получается парадоксальный эффект: вместо того чтобы равномерно заполнить камеру, газ конденсируется в жидкость. Расширение вызывает охлаждение, а охлаждение — конденсацию (т. е. сжатие). На этом принципе основаны современные методы сжижения газов.

3. Если нагревание воды повышает концентрацию насыщенного раствора какого-нибудь вещества, то растворение этого вещества в воде вызывает охлаждение (т. е. теплота растворения отрицательна).

4. Если раствор отделен от чистого растворителя полупроницаемой перегородкой (пропускающей молекулы растворителя, не пропускающей молекулы растворенного вещества), то увеличение концентрации раствора повышает осмотическое давление, которое, вытягивая новую порцию растворителя, стремится уменьшить концентрацию.

5. Химические реакции, вызываемые нагреванием, в свою очередь вызывают охлаждение (эндотермические реакции), и наоборот.

6. Две проволоки из различных материалов спаяны своими концами, образуя замкнутую цепь. При нагревании одного из спаев (*A*) и охлаждении другого (*B*) в цепи возникает термоэлектрический ток определенного направления. При пропускании через цепь тока этого направления, спай (*A*) охлаждается, а спай (*B*) нагревается.

7. Некоторые кристаллы при растяжении определенным образом электризуются; если же наэлектризовать их таким образом, то они сжимаются (пьезоэлектричество).

Аналогичное отношение взаимного ослабления имеет место между электризацией этих кристаллов и их нагреванием (пирозэлектричество).

8. Усиление электрического тока в цепи вызывает возрастание его магнитного поля, которое, в свою очередь, вызывает ослабление тока (самоиндукция).

9. При движении проводника в магнитном поле возникают силы, противодействующие этому движению (закон Ленца). Иными словами, движение проводника в магнитном поле вызывает такие токи, которые стремятся вызвать движение в противоположную сторону.

10. Изменение электрического поля вызывает такое изменение магнитного поля, которое, в свою очередь, вызывает противоположное изменение электрического*.

Этих примеров, я думаю, достаточно для того, чтобы показать фундаментальное значение принципа устойчивого равновесия для понимания физических и химических явлений.

§ 6

Многие химические реакции, как разложения, так и соединения, протекают чрезвычайно бурно и имеют характер взрыва, явно изобличающий неустойчивость (или, вернее, весьма малую устойчивость) соответствующего соединения или смеси.

Во всех этих случаях реакция *начинается* благодаря какому-нибудь ничтожному внешнему воздействию, необходимому для отклонения химической системы за предел устойчивости, вблизи которого она находится, — например, местному нагреванию, толчку, освещению, — но продолжается и лавинообразно разрастается благодаря теплоте, выделяемой во время самого превращения. Таким образом, химическое превра-

* Этому обстоятельству соответствуют противоположные знаки в двух группах уравнений Максвелла.

щение и нагревание находятся в отношении взаимного усиления (гармонии), и мы имеем дело с процессом, совершающимся по схеме: *A* вызывает *B*, *B* вызывает *+A*, и при этом — *до конца*. Этот процесс, следовательно, совершенно аналогичен процессу падения палки и представляет собой переход из состояния неустойчивого равновесия в устойчивое.

Палка не может быть приведена в положение неустойчивого равновесия силами мертвой природы; это может сделать лишь живая система — человек. Точно также и химически неустойчивые — взрывчатые и горючие — вещества образуются лишь благодаря деятельности живых организмов. (Заметим, что эти вещества можно рассматривать как неустойчивые состояния составляющих их элементов.) В минеральном царстве почти не встречается горючих веществ. Уголь, нефть, дерево — суть вещества органические, не вполне разрушившиеся останки живых систем, окончательно разрушающиеся при вмешательстве человека, «зажигającego» их, т. е. отклоняющего их за предел устойчивости и дающего, таким образом, импульс к дальнейшему распаду.

Наиболее взрывчатые вещества получают также из органических веществ (например, нитроглицерин, пироксилин — из клетчатки) при искусственной их обработке человеком, который приводит компоненты этих веществ в чрезвычайно неустойчивое состояние. Но и неорганические взрывчатые вещества (например, бертолетова соль, гремучая ртуть, порох) получают лишь благодаря деятельности человека или низших организмов. Так, например, колоссальные залежи чилийской селитры, входящей в состав обыкновенного пороха, представляют собой, по современным воззрениям, продукт жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий.

Примеры *физически* неустойчивых состояний представляют собой переохлажденная или перегретая жидкость, пересыщенный пар или раствор и т. п. Под влиянием самых ничтожных внешних воздействий эти физические системы достигают предела устойчивости и лавинообразно переходят («падают») в соответствующие состояния устойчивого равновесия. Подобно химически неустойчивым состояниям (или веществам), эти физически неустойчивые состояния получают лишь искусственно (за весьма редкими исключениями), благодаря вмешательству живых систем, — и притом наиболее неустойчивых — людей.

Итак, мы можем сказать, что *неустойчивые состояния и процессы, протекающие согласно принципу неустойчивого равновесия, осуществляются лишь в лаборатории живой природы*.

Послесловие к публикации работы Я. И. Френкеля «Общий характер жизненных процессов»

Наиболее интересным в публикуемой статье Якова Ильича Френкеля, выдающегося отечественного физика-теоретика, представляется то, что молодой физик, в 1916 г. окончивший Петроградский университет (физико-математический факультет), осуществил натурфилософский подход к задачам физиологии тогда, когда натурфилософия была в чем-то бранным словом. Почти не имея натурфилософской базы (из известных натурфилософов упомянут Спенсер; влияния других не чувствуется), автор не мог кое в чем избежать «изобретения велосипеда». Однако он сумел продвинуться в понимании серьезных проблем биологии и предвосхитить некоторые достижения кибернетики. Так, его рассуждения о поддержании человеком равновесия (движется ли он или стоит на месте) предвосхищало кибернетическое понятие контура обратной связи.

Комплекс явлений, которые Я. И. Френкель объединил чисто механическим понятием неустойчивого равновесия позднее привлекал многих. Из их числа наиболее известен Э. Бауэр. Им — для того же круга явлений — позднее было предложено прямо противоположное понятие: устойчивое неравновесие (этот принцип является одним из основных в его известной книге «Теоретическая биология»; заметим, что эта книга, написанная Бауэром в период его работы во Всесоюзном институте экспериментальной медицины в Ленинграде, с авторской надписью сохранилась в библиотеке Я. И. Френкеля). Известный биолог и натурфилософ, близкий друг и соавтор Якова Ильича — профессор А. Г. Гурвич шутливо назвал указанный принцип Бауэра «принципом непромокаемого непальто». С Бауэром Френкель тесно общался в 30-е гг., а после его ареста, вместе с другими, предпринимал тщетные попытки для его освобождения.

Итак, в подходе двадцатидвухлетнего Френкеля был свой резон. Адекватная проблеме, обоз-

наченной в заголовке статьи Френкеля, терминология появилась лишь с кибернетикой, показавшей, что весь этот круг проблем вообще не сводится к устойчивости или равновесию. Решение же соответствующих вопросов, принятое на сегодняшний день, даже выходит за рамки кибернетики (т. е. теории функционирования уже созданных для заданной цели систем) и формулируется общей теорией систем, согласно которой любое поддержание стационарного режима есть эпизод в процессе развития (см. в этой связи работы И. А. Аршавского или Э. Янча). Позицию, наиболее близкую к изложенной в 1916 г. Френкелем, можно найти в книге Л. Н. Фицнера (1977 г.)^{*}.

К сожалению, молодому физику Френкелю в 1916 г. был совершенно неизвестен весь круг проблем, приведший А. А. Богданова к его знаменитой «всеобщей организационной науке» (тектологии), впервые обнародованной в 1913 г.

Натурфилософский характер статей Френкеля (1916 и 1920 г.; о второй из них мы упомянем ниже) состоит, прежде всего, в том, что его выводы не следуют из специально поставленного опыта, а скорее из «визуальных» наблюдений или имитаций (моделирования) опытов. Так, колебательный характер феномена равновесия биологического объекта истолкован Френкелем как взаимодействие отклоняющего и возвращающего движений. В начальной стадии исследования такие толкования всегда полезны, а порою и просто необходимы.

В 1920 г., уже будучи приват-доцентом Таврического (Крымского) университета в Симферополе, Я. И. Френкель заново написал свою первую статью, озаглавив ее «Физическая противоположность живого и мертвого». В основной своей части она почти текстуально соответствует статье 1916 г. Но есть в ней и новый по сравнению со статьей 1916 г. материал: натурфилософия проявилась в ней и в проведении принципа энергетизма. Он был моден в начале века (см., например: *Остальд В.* Философия природы. СПб., 1903, лекция 9-я и далее). В этой части работы Френкель сказал сравнительно мало нового. Тем более интересна и значительна проводимая им параллель между развитием живого организма и развитием циклона. Здесь он близко подходит к идее диссипативной структуры, предложенной через полвека П. Гленсфордом и И. Пригожиным.

Укажем в заключение, что свои работы Яков Ильич докладывал биологам. 1 мая 1920 г. он писал своим родителям, что его ближайший доклад «...предстоит во вторник в семинарии у Гурвича. Об этом докладе, — продолжает Френкель, — я расскажу подробнее по приезде. Предметом его является „Противоположность тенденций жизненных и безжизненных процессов“» (см.: *Френкель В. Я.* Яков Ильич Френкель. М.-Л., 1966. С. 82). Десятью днями позже он пишет: «Вчера вечером был у Гурвича, который давно уже приглашал меня к себе. Поговорили с ним об академических делах, о физике и биологии. Гурвич записался в число моих слушателей по теории электричества, специальный курс, который я предполагаю прочесть в будущем году. Курьезно, что он знает физику и интересуется ей гораздо больше математиков» (там же, с. 90).

В заключение я хотел бы еще раз подчеркнуть, что в статьях Френкеля отчетливо прослеживается ход его мыслей, ярко высветивший проблематику нарождавшейся тогда биофизики. А соответствующие мысли не оставляли Якова Ильича и значительно позднее. В конце 40-х гг. он задумал книгу «Теория познания физических наук». Сохранился ее план и начало первой главы. В плане к главе «Причина и следствие» читаем: «1. Сосуществование причин и следствий в механике и электродинамике. 2. Взаимность причин и следствий и устойчивость в физических явлениях. 3. Неустойчивость в жизненных явлениях».

Ю. В. Чайковский

^{*} Литературу по этому вопросу см. в книге: *Чайковский Ю. В.* Элементы эволюционной диатропники. М., 1990.

А. В. ПИЛИПЕНКО, С. М. ГЕРАСИМОВ

ИЗОБРЕТЕНИЕ РАДИО: К ВОПРОСУ О ПРЕДШЕСТВЕННИКАХ И ПРИОРИТЕТЕ

7 мая 1995 г. состоялось празднование знаменательной даты — 100-летия изобретения радио. В период подготовки к этому событию обострились приоритетные споры [1, 2]. Они велись давно, с конца прошлого столетия, и для них существуют объективные основания. Радио — первое техническое средство, пригодное для беспроводной связи, родилось в итоге многочисленных научных исследований и технических изысканий ученых и инженеров: М. Фарадея, Дж. Максвелла, Г. Герца, Э. Бранли, О. Лоджа, В. Крукса, Н. Теслы, Д. Пойнтинга, Н. А. Умова, О. Хевисайда, И. Томсона, Т. Эдисона, И. И. Боргмана, А. Долбира, В. Приса, А. Риги, Д. Боса, А. Слаби, О. Д. Хвольсона, А. С. Попова, Г. Маркони и др. Каждый из них внес вклад в общий процесс развития идей, представлений или технических решений, связанных с осуществлением беспроводной телеграфии. И так как до сих пор не сформулирован четкий критерий того, что может считаться изобретением радио, многим из названных деятелей науки и техники или даже всем в совокупности приписывается нередко это достижение.

Для того, чтобы прояснить вопрос о том, кого следует считать изобретателем радио, необходимо рассмотреть выполненные в этой области работы под углом зрения роли их авторов в решении изобретательской задачи создания первого технического средства радиосвязи, поскольку в таком ключе эти работы в целом в историко-технических исследованиях еще не рассматривались.

Начало предыстории радио следует, на наш взгляд, искать в период, когда появились первые представления об электромагнитном поле, механизме его возникновения и распространения, а также первые искусственные устройства для возбуждения и регистрации этого поля.

Было бы неверным считать, что радио родилось только из физических экспериментов. Изобретательская мысль шла зачастую впереди науки. Но интенсивное развитие тех или иных устройств, как правило, начиналось после выполнения теоретических или экспериментальных научных исследований. Вполне понятно, что известные эксперименты Фарадея (1831 г.), открытие им электромагнитной индукции, введение понятия магнитных кривых и выдвижение гипотезы о конечной скорости передачи в пространстве сил электрического и магнитного полей имели фундаментальное значение для создания системы технических средств, предназначенных для передачи информации [3, 4]. Однако в период появления этих идей, т. е. в начале 30-х гг. прошлого столетия, мысль о беспроводной связи еще не возникала. Во-первых, не были закончены работы по созданию дееспособной системы проводной телеграфии. Во-вторых, не сформировалось достаточно ясного представления об электромагнитном поле и механизме его распространения. Эта ясность появилась после публикации работы Дж. Максвелла [5]. Вместе с тем выводы Максвелла были настолько неожиданными, что долгое время не воспринимались научной общественностью как отражение материального мира. Считалось, что полученные им уравнения — не более, чем плод математической абстракции.

Тем не менее уже с начала 80-х гг. появляются технические предложения по созданию устройств индукционного типа, с помощью которых возможно было бы осуществление беспроводной связи, т. е. предполагающих работу в ближней зоне от источника колебаний [6—8]. Одна из первых попыток такого рода была сделана американским ученым А. Долбиром (1882 г.). В его устройстве применялся прототип высокочастотного генератора — катушка Румкорфа, питаемая от батареи постоянного тока через микрофон, и прототип антенны в виде длинного провода, вокруг которого создавалось поле индукции. В случае замены микрофона на телеграфный ключ дальность связи достигала 20 км (см.: [6, с. 99]).

Интересны аналогичные работы Т. Эдисона. Но так как они выполнены во второй половине 80-х — середине 90-х гг., когда уже вынашивались идеи и разрабатывались устройства беспроводной радиосвязи, т. е. связи на высоких частотах в дальней зоне, вряд ли эти работы могли оказать существенное влияние на последние. В то же время важно отметить, что схема индукционной железнодорожной связи Эдисона появилась в 1886 г., за год до окончательного опубликования работ Г. Герца [9, 10] и, следовательно, родилась независимо.

Работы Герца — важнейший этап в предыстории радио. В них сочетается глубокое обоснование реальности теоретически открытых Максвеллом электромагнитных волн и построение ори-