

# ТЕМА 6 ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ

Термодинамика закрытых и открытых систем.

Базовые понятия термодинамики (система, состояние, процесс, формы и виды энергии, равновесие, начала термодинамики)

Первый закон термодинамики

Энтропия. Второе начало термодинамики.

Качество энергии. Стрела времени

Термодинамика открытых систем

Порядок и хаос, динамический хаос.

Синергетика – наука о самоорганизации.

Принципы синергетики.

Самоорганизация и информация. Глобальный –

эволюционизм. Парадигма СНКМ

# Термодинамика, базовые понятия

**Термодинамика** — наука, занимающаяся изучением наиболее общих законов преобразования и передачи энергии. Термодинамика изучает **термодинамические системы** и **термодинамические процессы**

**Термодинамическая система (Т.с)** — это любая область пространства, ограниченная действительными или воображаемыми границами, выбранными для анализа её внутренних **термодинамических параметров**. Т.с. может содержать любой набор тел, находящихся в различных фазовых состояниях. Выделяют **Т.с** : **открытые** и **изолированные**; первые обмениваются с окружающей средой **энергией, веществом, информацией**, вторые – нет.

**Термодинамическое состояние** характеризуется совокупностью макроскопических **параметров состояния**, определяющих внутренние свойства системы в данном **состоянии** и её взаимодействие с внешними телами.

**Параметры состояния ( термодинамические параметры)** — физические величины, характеризующие состояние термодинамической системы: температура, давление, удельный объём, намагниченность, электрическая поляризация и др., не применимые к отдельным атомам, молекулам.

**Термодинамический процесс** — изменение хотя бы одного макроскопического параметра термодинамической системы.



Основатель термодинамики – Садю Карно (1796-1832гг.), французский морской офицер

# Формы и виды энергии



• **Энергия** – это *скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения материи и мерой перехода движения материи из одних форм в другие.* Понятие **энергии** связывает воедино все явления природы.

В соответствии с различными формами движения материи рассматривают различные **формы энергии**: механическую, внутреннюю, электромагнитную, химическую, ядерную и др.. Это деление до известной степени условно."

Для каждой **формы энергии** можно выделить : **потенциальную энергию**, **кинетическую энергию**. Это - виды энергии. Например, **теплота** – кинетическая часть – **внутренней энергии** тела. (В научно-технической литературе, к сожалению, имеет место свободное обращение с терминами «формы » и

Существуют две **формы передачи энергии** от одного тела к другому: **работа** и **теплопередача**.

**Работа** – перенос энергии с использованием упорядоченного движения частиц (рисунок 1).

**Теплопередача** – перенос энергии с использованием неупорядоченного движения частиц (рисунок 2).

Рис.1

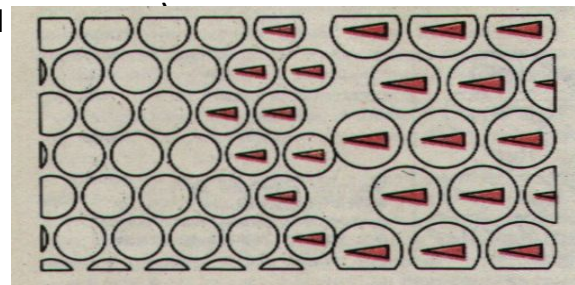
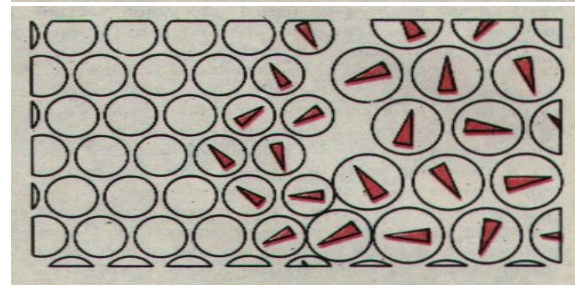


Рис.2

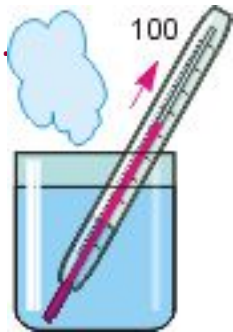
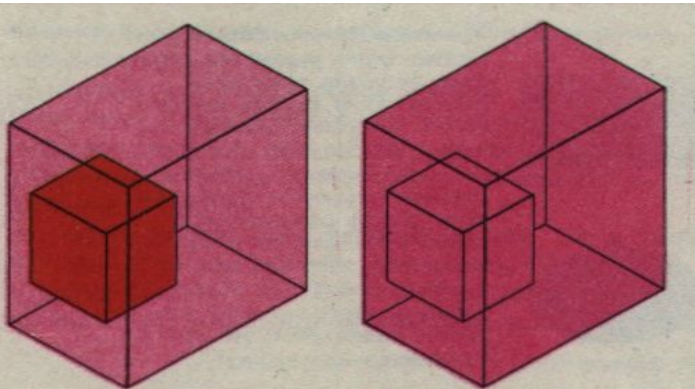


# Термодинамическое равновесие

**Термодинамическое равновесие** (тепловая смерть) – это состояние изолированной термодинамической системы, в которое она самопроизвольно приходит через достаточно большой промежуток времени, после чего параметры состояния системы уже не меняются со временем.

Процесс перехода системы в равновесное состояние называется **релаксацией**. При релаксации в системе прекращаются все необратимые процессы, связанные с **диссипацией энергии** — теплопроводность, диффузия, химические реакции и т.д. Строго говоря, параметры состояния равновесной системы не являются абсолютно фиксированными — в микрообъёмах они могут испытывать малые колебания около своих средних значений (**флуктуации**). Изоляция не исключает возможности определённого типа контактов со средой (например, теплового контакта с **термостатом**, обмена веществом и др.).

**Температура** – физическая величина, измеряемая термометром и одинаковая у всех тел или частей тела, находящихся в термодинамическом равновесии друг с другом. Например, на рисунке справа термодинамическое равновесие между термометром и водой еще не наступило. Поэтому говорить о температуре воды преждевременно, необходимо



# Первое и второе начала термодинамики



- Первые два начала термодинамики – законы ограничители: первое – количества, второе качества энергии. Они запрещают двигатели первого и второго рода, взывают к человечеству о сбережении энергии высокого качества. Её дефицит может поставить проблемы выживания человечества на Земле задолго до нарушения других условий его жизнеобеспечения. «Океаны» ядерной энергии, «моря» возобновляемых её источников кажутся необозримыми. Однако на путях извлечения и преобразования этих форм энергии в легкодоступные формы природа поставила изощренные преграды, эффективное преодоление которых все ещё под вопросом.

- **$E = F + ST$ ,  $S$  – энтропия,**
- **$F$  - свободная энергия, энергия Гельмгольца**



# Первый закон (начало) термодинамики

Согласно **первому началу термодинамики (П.н.т)**, термодинамическая система может совершать **работу** только за счёт своей **внутренней энергии** или каких-либо внешних источников. П.н.т. часто формулируют как невозможность существования **вечного двигателя первого рода**, который совершал бы **работу**, не черпая энергию извне. П.н.т. было открыто в **середине XIX в.** в работах немецких учёных **Ю.Р. Майера**, **Г.Гельмгольца** и английского физика **Дж.П.Джоуля**.

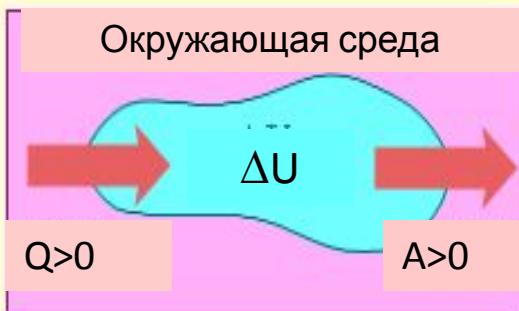


Майер Гельмгольц



Джоуль

П.н.т. – частная формулировка фундаментального закона (принципа) сохранения энергии: «**В изолированной системе энергия может переходить из одной формы в другую, но ее количество остаётся неизменным**»



*При сообщении термодинамической системе некоторого количества теплоты  $Q$  в общем случае происходит изменение внутренней энергии системы  $\Delta U$  и система совершает работу  $A$ :*

$$Q = \Delta U + A$$

Внутренняя энергия = энергия теплового движения частиц + энергия их взаимодействия

# Энтропия (термодинамика)

**Энтропия** - функция состояния термодинамической системы, изменение которой  $dS$  в равновесном процессе равно отношению количества теплоты  $dQ$ , сообщенного системе или отведенного от нее, к термодинамической температуре  $T$  системы. Неравновесные процессы в изолированной системе сопровождаются ростом энтропии, они приближают систему к состоянию термодинамического равновесия, в котором  $S$  максимальна. Понятие "энтропия" введено в 1865 году Р. Клаузиусом. Понятием энтропии широко пользуются в физике, химии, биологии и теории информации. ;



Р. Ю.Э. Клаузиус  
1822-1888

**Энтропия** мера необратимого рассеивания энергии, мера отклонения реального процесса от идеального. **Энтропия** остаётся постоянной при обратимых процессах, тогда как в необратимых — её изменение всегда положительно.

**Энтропия** — показатель случайности или неупорядоченности строения физической системы, мера хаоса и беспорядка, выражает количество тепловой энергии, пригодной для совершения работы: чем энергии меньше, тем выше энтропия.

# Энтропия ( статистическая механика)

Статистическая механика связывает *энтропию*  $S$  с вероятностью  $W$  (числом микросостояний, статистическим весом ) осуществления данного макроскопического состояния системы знаменитым соотношением Больцмана «энтропия-вероятность»  $S = k \log W$ , где  $k$  — *постоянная Больцмана*.

Если  $W=1$ ,  $\log W=0$ ,  $S=0$  – абсолютный порядок, если  $W=\infty$ ,  $\log W=\infty$ ,  $S=\infty$  - тепловая смерть, полный хаос

Пример: в системе 100 ячеек

- необходимо разместить в них 100 частиц:

есть только 1 вариант  $W=1$ ,  $\log W=0$ ,  $S=0$

- необходимо разместить 99 частиц:

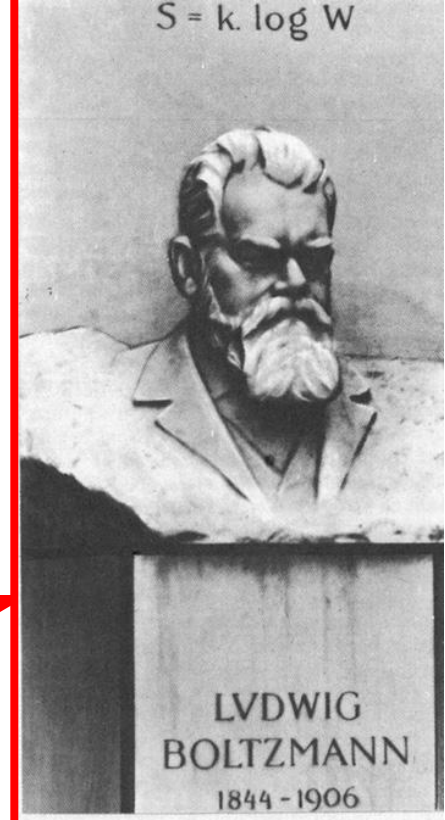
100 вариантов,  $W=100$ ,  $\log W=2$ ,  $S=2k$

- необходимо разместить 50 частиц

$W = 1 \cdot 100 \cdot 99 \cdot 98 \cdot \dots \cdot 52 \cdot 51 / 50! = 2,02 \cdot 10^{27}$  (50! –

исключает варианты при разной последовательности удалений)

При дальнейшем сокращении числа частиц постепенно до 0 энтропия вновь придёт к наименьшему значению, система возвратится к к полному порядку ( $S=0$ )



В отличие от термодинамики статистическая механика рассматривает специальный класс процессов — *флуктуации*, при которых система переходит из более вероятных состояний в менее вероятные и вследствие этого её *энтропия* уменьшается. Наличие флуктуаций показывает, что закон возрастания *энтропии* выполняется *только статистически*: в среднем для большого промежутка времени.



# Второе начало термодинамики

Второе начало термодинамики (В.н.т.) - один из важнейших законов природы, определяющих вектор эволюции Вселенной. Его формулировки:

1. «Полное преобразование теплоты в работу без каких-либо изменений в окружающей среде невозможно» ( лорд Кельвин, 1849 г.).
2. «Самопроизвольный переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому невозможен» (Клаузиус, 1850 г.).
3. «В изолированной термодинамической системе **энтропия** постоянно возрастает и, в конечном счёте, стремится к своему максимальному значению» (современная трактовка)
4. «**Вечные двигатели второго рода**, работающие с переходом всей внутренней энергии системы в полезную работу **невозможны**».
5. Для превращения тепловой энергии в механическую необходим не только нагреватель, но и холодильник, причем максимально возможный коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины равен отношению разности температуры нагревателя и холодильника к температуре нагревателя (КПД цикла Карно) ,  $\eta = (T_1 - T_2) / T_1$

Постулат, не доказываемый в рамках термодинамики, а созданный на основе обобщения многочисленных опытных данных

В.н.т.

Физический принцип, накладывающий ограничение на направление процессов передачи тепла между телами.

# Качество энергии

**Качество энергии** – понятие, вытекающее из второго начала термодинамики,

- объективно и полно оценивать качество энергии наука пока не умеет, возможно оно не имеет абсолютной шкалы и потребует для оценки ряд параметров. Хотя ясно: тепловая энергия имеет более низкое качество по сравнению с механической, электромагнитной и др.

Энергия более высокого качества с меньшими потерями: -  
преобразуется в энергию низкого качества (электричество в тепло);  
- концентрируется ( ядерная энергия и ВВ );  
- передаётся на большие расстояния (лазерный луч и свет лампочки);

Качество энергии в системе с неравномерным распределением её по энергоносителям выше, чем с равномерным (система: раскаленная игла и стакан холодной воды до и после охлаждения иглы в воде)

Энергию низкого качества нельзя непосредственно перевести в энергию высокого качества (не вскипятить чайник , опустив его в море)

Возрастание энтропии – деградация энергии, рассеяние, диссипация, релаксация энергии, понижение её качества!

Система , обладающая большей упорядоченностью обладает и более высококачественной энергией!

# Стрела времени



Большинство законов науки не делают различий между направлением "вперед" и "назад" во времени, например, законы Ньютона. Со вторым началом термодинамики в науку вошло понятие **«стрелы времени»**. Это термодинамическая стрела, т. е. то направление времени, в котором возрастает беспорядок, растет энтропия Вселенной. Измеряя энтропию изолированной системы в два разных момента времени, мы уверенно укажем, какой из них предшествует другому.



---

Существуют, по крайней мере, три **«стрелы времени»**: термодинамическая (энтропии); психологическая (субъективное восприятие, опыт); космологическая (расширение Вселенной). Тот факт, что эти стрелы времени в настоящий момент времени в нашей Вселенной совпадают, является одной из загадок современной научной картины мира.

Наука практически наверняка установила, что разумные существа могут жить только в фазе расширения. Фаза сжатия для них не подходит, потому что в ней отсутствует сильная термодинамическая стрела времени.

# Термодинамика открытых систем

Науке XIX в. присуща идея развития, сформированная статистической механикой и **равновесной термодинамикой** - науками о поведении замкнутых( изолированных) систем.

В XX в. наука исходит из факта, что все системы открытые и большинство из них далеки от равновесия. Развитие таких **неравновесных систем** часто происходит путем образования прогрессирующей упорядоченности., что и легло в основу понимания **самоорганизации** материальных систем. Принципиальным в каждом из указанных подходов являются характеристики системы находящиеся в том или ином состоянии.

## Равновесное состояние

- Элементы пребывают в хаотическом движении, энтропия возрастает
- Существует только одно дискретное устойчивое состояние , в котором система может характеризоваться единым параметром - температурой
- Нечувствительно к флуктуациям
- Система меняет свою структуру только при наличии сильных внешних возмущений
- Поведение системы характеризуется линейными зависимостями

## Неравновесное состояние

- Неопределенность поведения
- Множество дискретных устойчивых вариантов состояния
- Чувствительность к флуктуациям
- Наличие бифуркаций (критических состояний - переломных точек в развитии)
- Система меняет структуру, реагируя на внешние условия, приток энергии создает упорядоченность, энтропия уменьшается
- При снижении уровня обмена энергией и веществом с внешней средой система может релаксировать к равновесному состоянию

# Примеры согласованного действия элементов сложных открытых нелинейных систем



## Лазер -

оптический квантовый генератор когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока фотонов

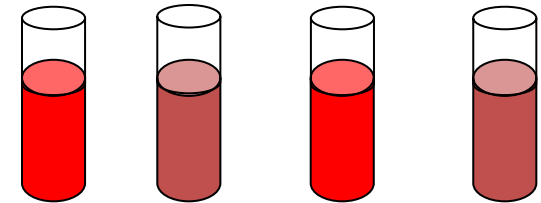


**ПРИМЕРЫ, ФАКТЫ САМООРГАНИЗАЦИИ**

- механика жидкостей (ячейки Бенара, неустойчивости Тейлора);
- лазеры фотонов и мазеры;
- неустойчивости плазмы;
- фазовые переходы;
- эффекты самоорганизации в кристаллах (рост кристаллов, осциллятор Ганна);
- флаттер;
- реакции Жаботинского-

## Пример реакции Жаботинского-Белоусова (химические часы)

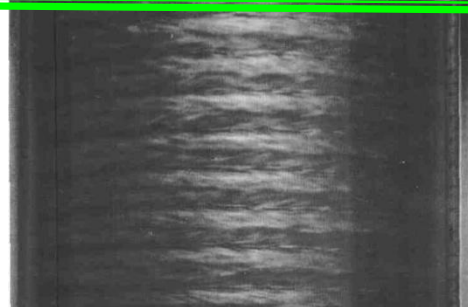
$H_2SO_4$  - серная кислота +  $Ce_2SO_4$  - сульфат церия +  $KBrO_3$  - бромат калия +  $CH_2(COOH)_2$  - малоновая кислота + ферроин - индикатор pH.



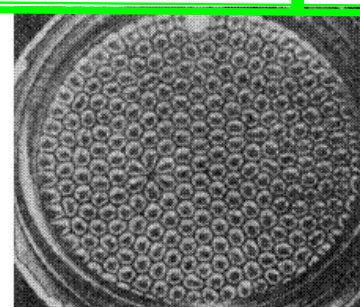
Морфогенез-формообразование, возникновение и развитие органов, систем и частей тела организмов в процессе индивидуального или эволюционного развития.



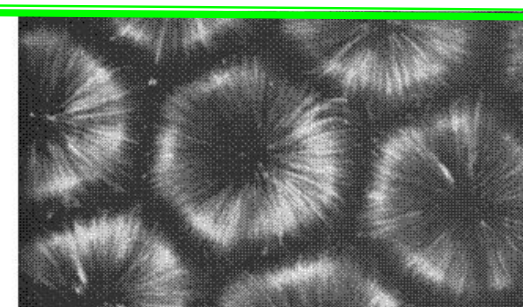
флаттер



неустойчивости



ячейки Бенара





# Синергетика - наука о самоорганизации

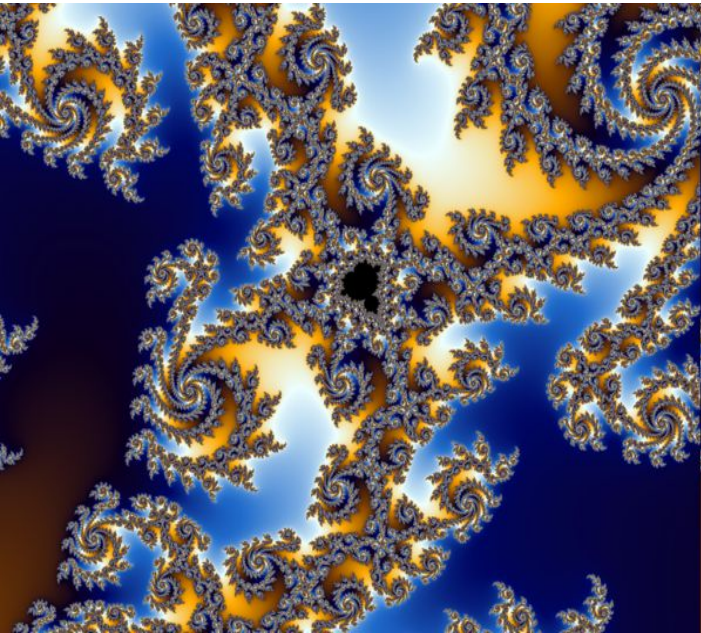
**Синергетика** является теорией эволюции и самоорганизации сложных систем мира, выступая в качестве современной (постдарвиновской) парадигмы эволюции».

Основные идеи синергетики (по Г. Хакену):

- процессы созидания (упорядоченности) имеют единый алгоритм, независимо от характера систем, в которых они осуществляются (физические, химические, социальные...);
- эволюция большинства сложных систем имеет нелинейный характер, т.е. существует несколько вариантов возможного, случайность встроена в механизм эволюции;
- хаос не только разрушителен, но и созидателен, развитие осуществляется через неустойчивость (динамическую хаотичность).

**Самоорганизация** (в широком смысле) - тенденция развития Природы: от менее к более сложным и упорядоченным формам организации материи.

**Самоорганизация** (в узком смысле) – природный скачкообразный процесс, переводящий открытую неравновесную систему, достигшую в своем развитии критического состояния в новое устойчивое состояние с более высоким уровнем сложности и упорядоченности по сравнению с исходными.



Для самоорганизации система должна:

- быть открытой, иметь приток энергии, вещества, информации извне;
- находиться вдали от равновесия;
- быть сложной (с большим числом элементов);
- характеризоваться флуктуациями, процесс возникновения и усиления которых лежит в основе самоорганизации;
- допускать положительные обратные связи (в отличие от динамического равновесия систем, опирающегося на отрицательные обратные связи).

# Понятия и принципы синергетики, I

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ:

- диссипативные структуры;
- точка бифуркации;
- аттрактор; странный аттрактор;
- параметры порядка;
- фазовое пространство;
- динамический хаос

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ:

Принципы бытия (гомеостатичность, иерархичность); принципы становления (нелинейность, открытость, неустойчивость, динамическая иерархичность (эмерджентность), наблюдаемость)

**Диссипативные структуры (Д.с)** - это устойчивые состояния, возникающие в неравновесной среде при условии диссипации (рассеивания) энергии, которая поступает извне. Д.с. иногда называют ещё *стационарными открытыми системами*.

**Точка бифуркации** — смена установившегося режима работы системы, критическое состояние системы, при котором система становится неустойчивой относительно флуктуаций и возникает неопределенность: станет ли состояние системы хаотическим или она перейдет на новый, более дифференцированный и высокий уровень упорядоченности.

**Аттрактор** - состояние, к которому с течением времени эволюционирует система, "устойчивый фокус, к которому сходятся все траектории динамики системы (Г. Хакен).

**Странный аттрактор** – стационарное состояние, размазанное по области фазового пространства.

**Параметры порядка (П.п.)** – немногочисленные коллективные переменные, управляющие (дирижирующие) поведением всех остальных переменных системы.

**Фазовое пространство** – абстрактное пространство с числом измерений равным числу переменных, характеризующих систему.

**Динамический хаос** - неустойчивый хаотический режим неравновесной системы с внутренней упорядоченностью.

# Понятия и принципы синергетики, II

**Принципы бытия:** характеризуют фазу стабильного функционирования системы, ее жесткую онтологию, прозрачность и простоту описания, принцип иерархического подчинения Г. Хакена (долгоживущие переменные подчиняют себе короткоживущие), наличие устойчивых диссипативных структур – аттракторов, на которых функционирует система.

**Принципы становления:**

- **нелинейность** - есть нарушение принципа суперпозиции в некотором явлении: результат действия суммы причин не равен сумме результатов отдельных причин, нелинейность "живет" и ярко проявляется вблизи границ существования системы (в точках бифуркаций).

**открытость** позволяет эволюционировать системам от простого к сложному;

- состояния **неустойчивости**, выбора (точки бифуркаций) непеременимы в любой ситуации рождения нового качества и характеризуют рубеж между новым и старым. Их значимость еще и в том, что только в них можно не силовым, информационным способом, т.е. сколь угодно слабыми воздействиями повлиять на выбор поведения системы, на ее судьбу.

- **динамическая иерархичность (эмерджентность)**. Основной принцип прохождения системой точек бифуркаций, ее становления, рождения и гибели иерархических уровней. Этот принцип описывает возникновение нового качества системы по горизонтали, т.е. на одном уровне, когда медленное изменение управляющих параметров мега-уровня приводит к бифуркации, неустойчивости системы на макро-уровне и перестройке его структуры. В точке бифуркации коллективные переменные, параметры порядка макро-уровня возвращают свои степени свободы в хаос микро-уровня, растворяясь в нем. Затем в непосредственном процессе взаимодействия мега- и микро-уровней рождаются новые параметры порядка обновленного макро-уровня.

- относительность интерпретаций к масштабу **наблюдений**. То, что было хаосом с позиций макро-уровня, превращается в структуру при переходе к масштабам микро-уровня. Т.е. сами понятия порядка и хаоса, **Бытия** и **Становления** относительно к масштабу-окну наблюдений..

# Примеры динамических нелинейных уравнений систем и их решений

Множество возможных **состояний** системы рассматривают как **пространство состояний** (или фазовое **пространство**) системы, а координаты этого **пространства** называют **фазовыми координатами** (параметрами управления, параметрами порядка) Пространство состояний может быть представлено эволюционными уравнениями и их решениями

$$\frac{dq}{dt} = \alpha q$$

$$\frac{dq}{dt} = \alpha q + f(t)$$

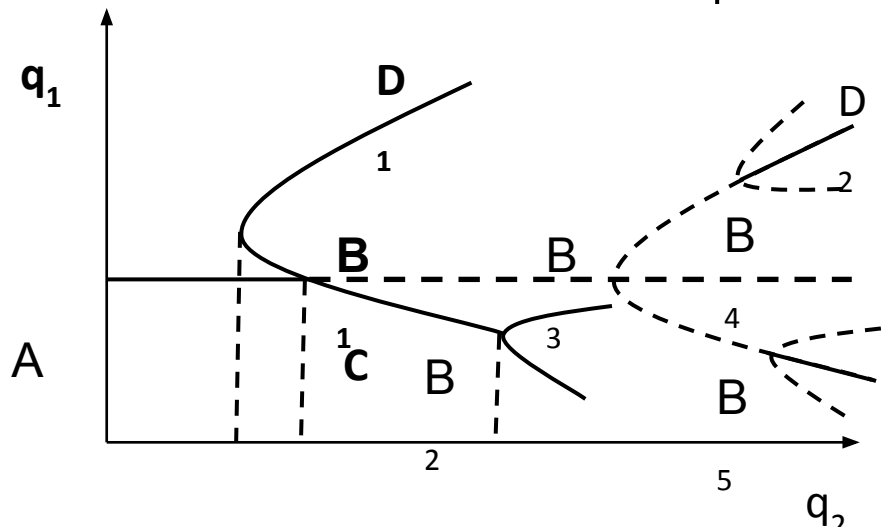
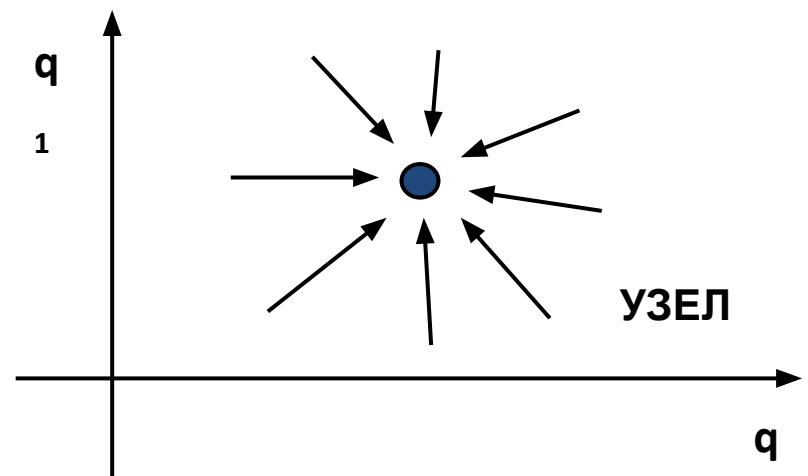
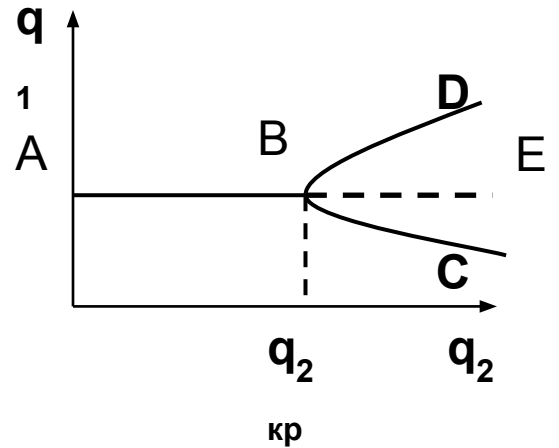
$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega^2 q = 0$$

$$\frac{dq_1}{dt} = \beta q_1 q_2$$

$$\frac{dq_1}{dt} = \alpha q_1 + \beta q_1 q_2$$

\*  $q = N(\alpha., q, \nabla, x, t),$

$$\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

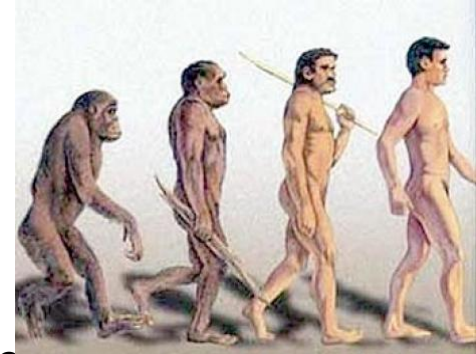


$B, \dots, B_n$  – ТОЧКИ БИФУРКАЦИИ;  
 ШТРИХ - ПУНКТИРНЫЕ ЛИНИИ - НЕУСТОЙЧИВЫЕ РЕШЕНИЯ;  
 $q_2$  – ПАРАМЕТР УПРАВЛЕНИЯ;

# **Дополнительные материалы по теме 6**



# Эволюция живой материи и энтропия



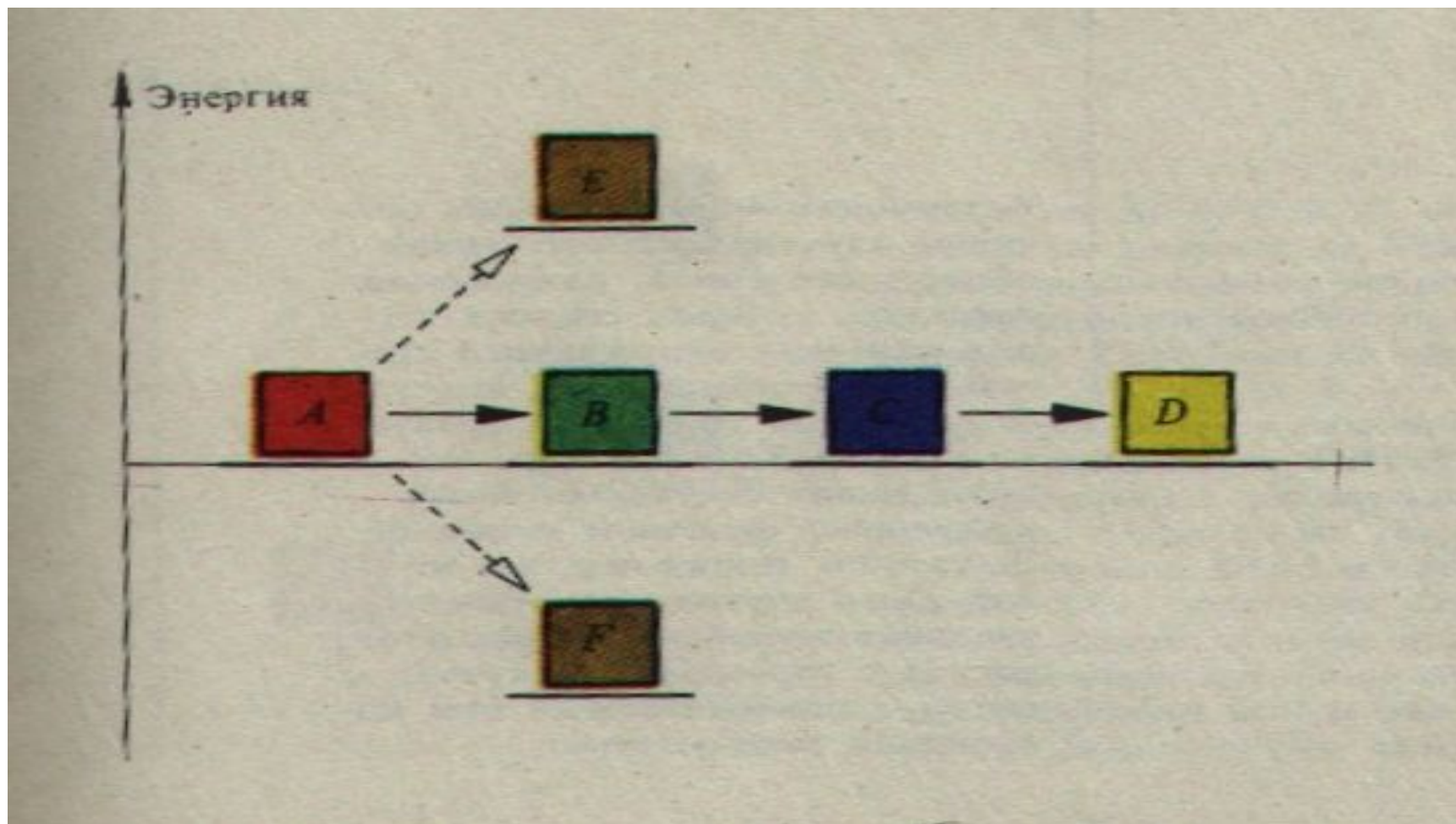
Живой организм в условиях агрессивной окружающей борется с **энтропией**, использует механизм «гомеостаза», но во всех случаях в конце концов его все равно настигнет **термическое равновесие** – смерть.

Организма, но не вида!

Размножение организмов позволяет им избежать неизбежного, казалось бы, распада и сохраниться во времени. Главный секрет этого термодинамического чуда в самом размножении, то есть в получении тысяч, миллионов, миллиардов копий генетической информации. Любой онтогенез, любой жизненный цикл имеет своим фокусом получение этих копий. На этой задаче сосредоточены в конце концов все системы организма и все его затраты. Копирование, однако, сопряжено с возможностью ошибок, а копирование с ошибками не решает задачу создания вечного совершенного вида. И виной тому энтропия. Мутагенез, ошибки при размножении, это заполнение новых степеней свободы, это **рост энтропии**. В подавляющем большинстве случаев эти ошибки губительны, но иногда.....!!!! Новые комбинации нуклеотидов дают начало новым стабильным видам организмов.

Рост энтропии есть условие всякого движения, и можно сказать, что энтропия – движущая сила эволюции, но эволюция Вселенной осуществляется как результат сопротивления этой силе, росту энтропии.

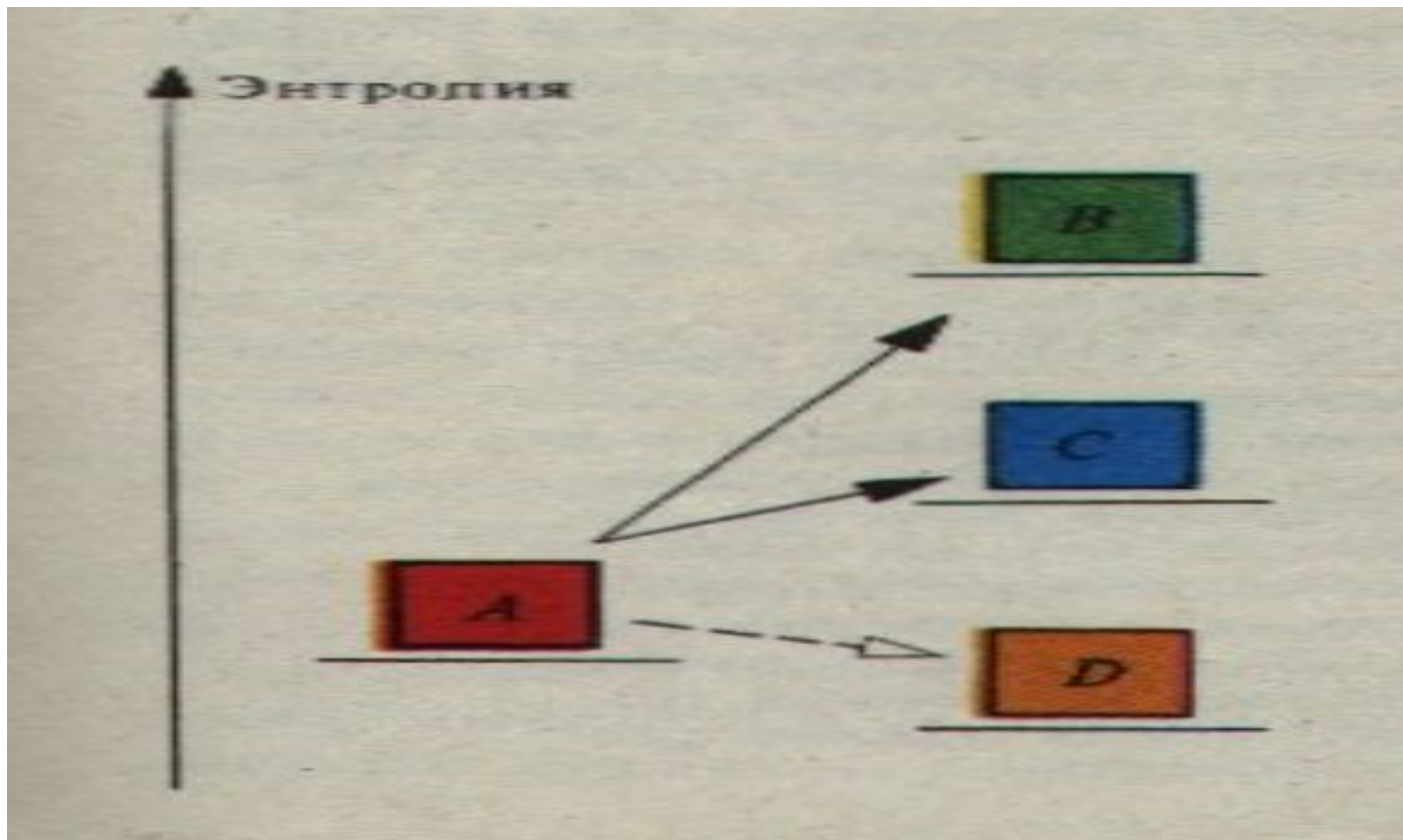
# ВАРИАНТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ



# ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

- ЕСЛИ СИСТЕМА СОВЕРШАЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ, Т.Е. ВОЗВРАЩАЕТСЯ В КОНЕЧНОМ СЧЕТЕ В ИСХОДНОЕ СОСТОЯНИЕ, ТО ПОЛНОЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, СООБЩЕННОЕ ЕЙ НА ПРОТЯЖЕНИИ ЦИКЛА РАВНО РАБОТЕ, СОВЕРШЕННОЙ ЕЮ
- $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$

# ВАРИАНТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИИ В ИЗОЛИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ



# ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

$$S = k \log W$$

LUDWIG

BOLTZMANN

1844-1906

$k$  - постоянная Больцмана,  
 $k=5,67 \times 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^{-4}$

$W$  - статистический вес состояния



