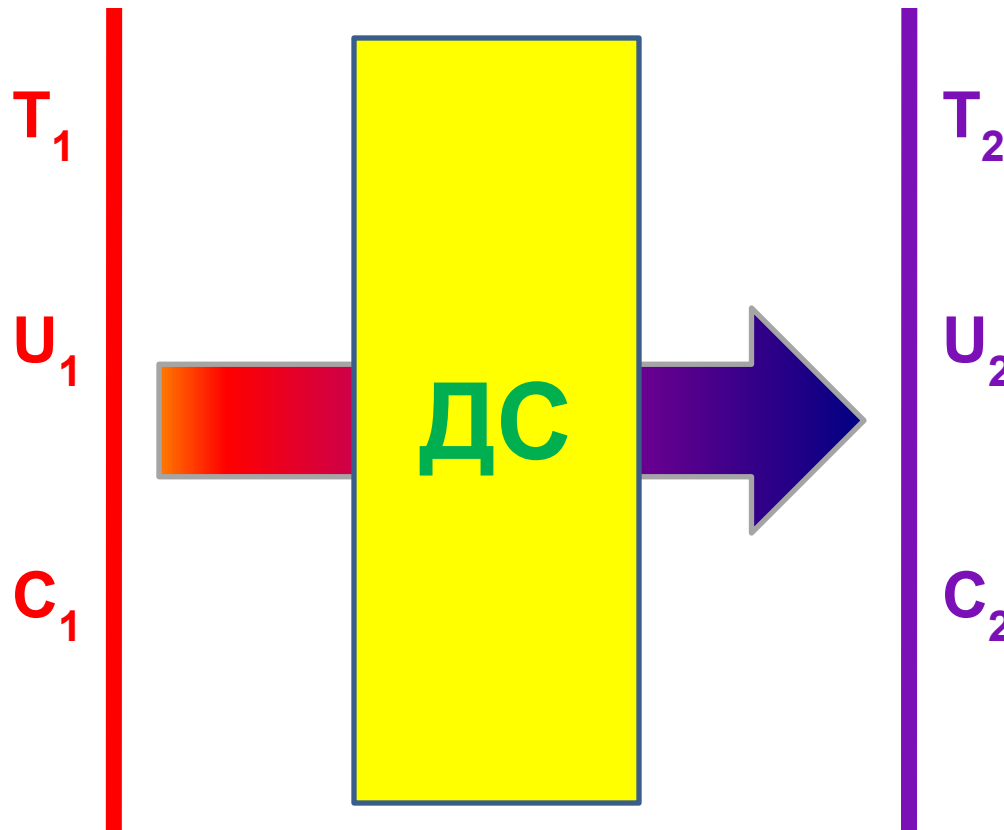
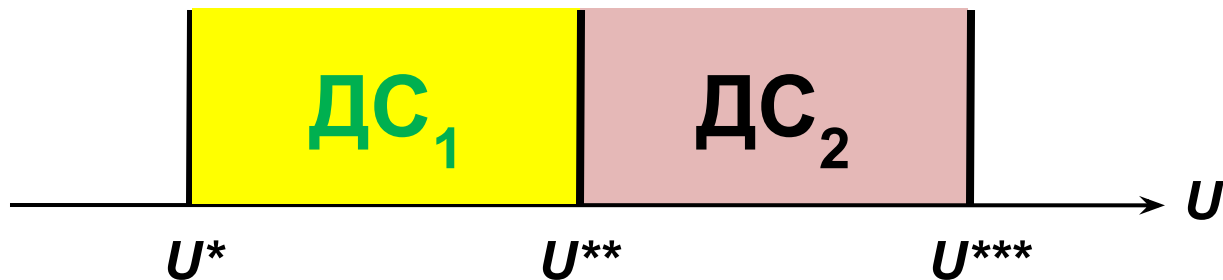


# Диссипативные структуры

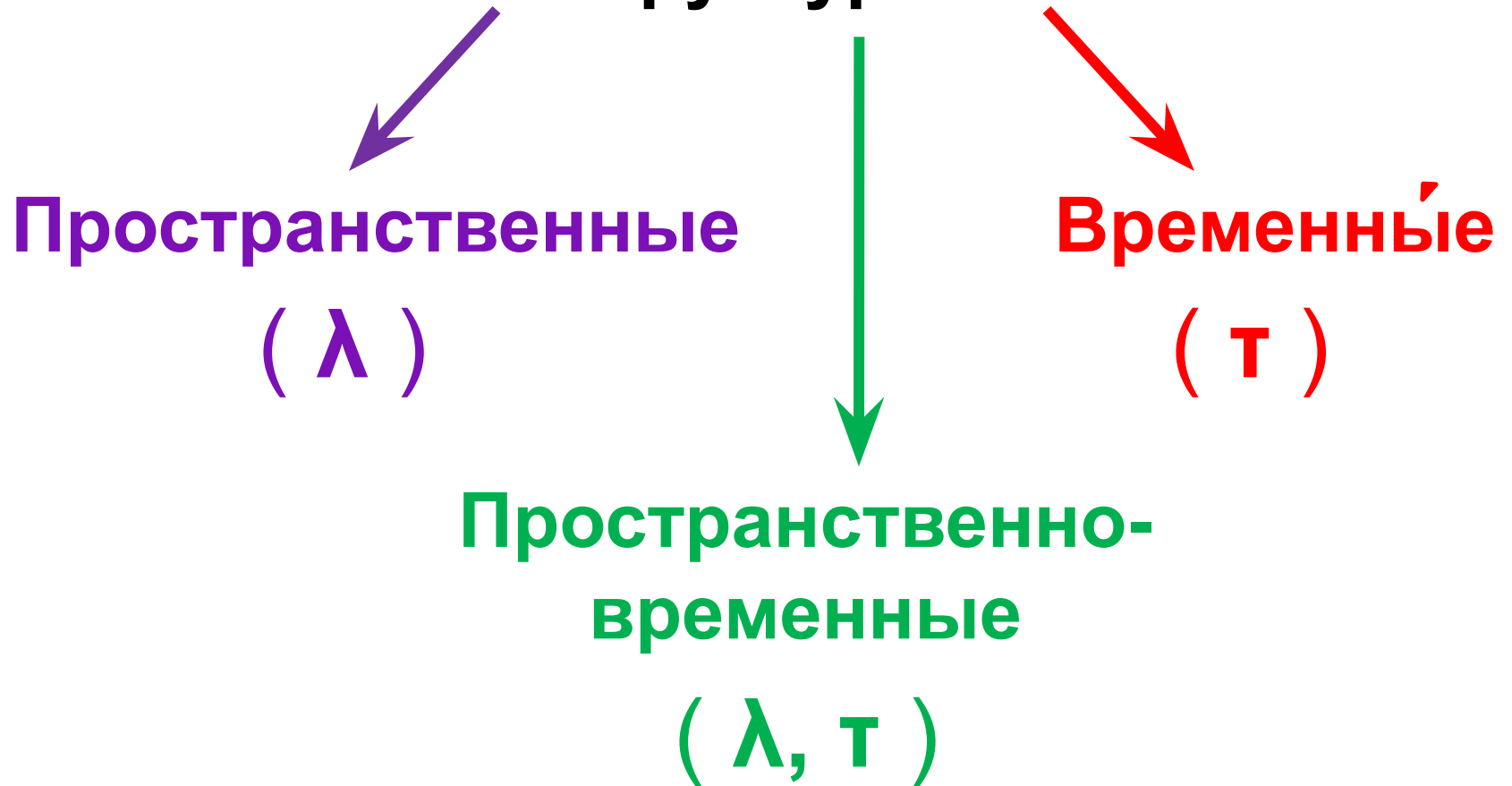
1. ДС могут существовать в стационарном режиме (т.е. неограниченно долго) только в **ОТКРЫТЫХ** системах, через которые протекает непрерывный поток энергии или вещества, поддерживаемый за счет градиента температуры, концентрации, электрического потенциала и т.д.



2. Образование ДС — **надкритическое явление** (ДС могут возникать только в системах, где между частицами имеют место межмолекулярные взаимодействия, интенсивность которых лежит в определенном интервале:  $U^* < U < U^{**}$  ).

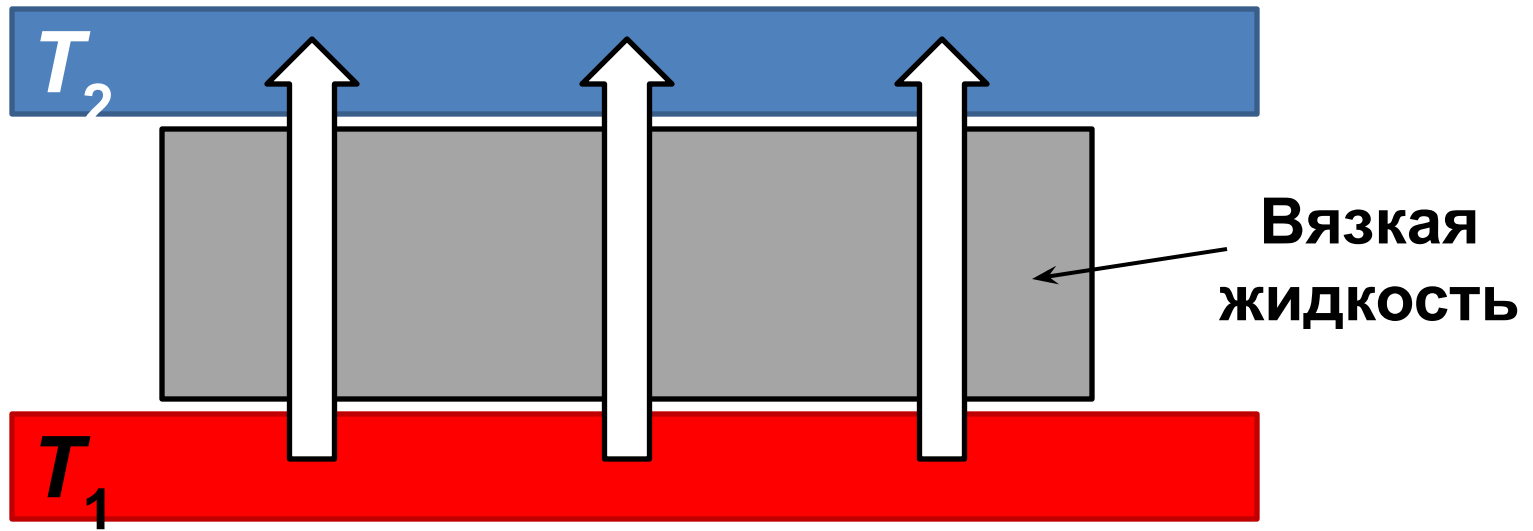


# Диссипативные структуры



# Пространственные ДС

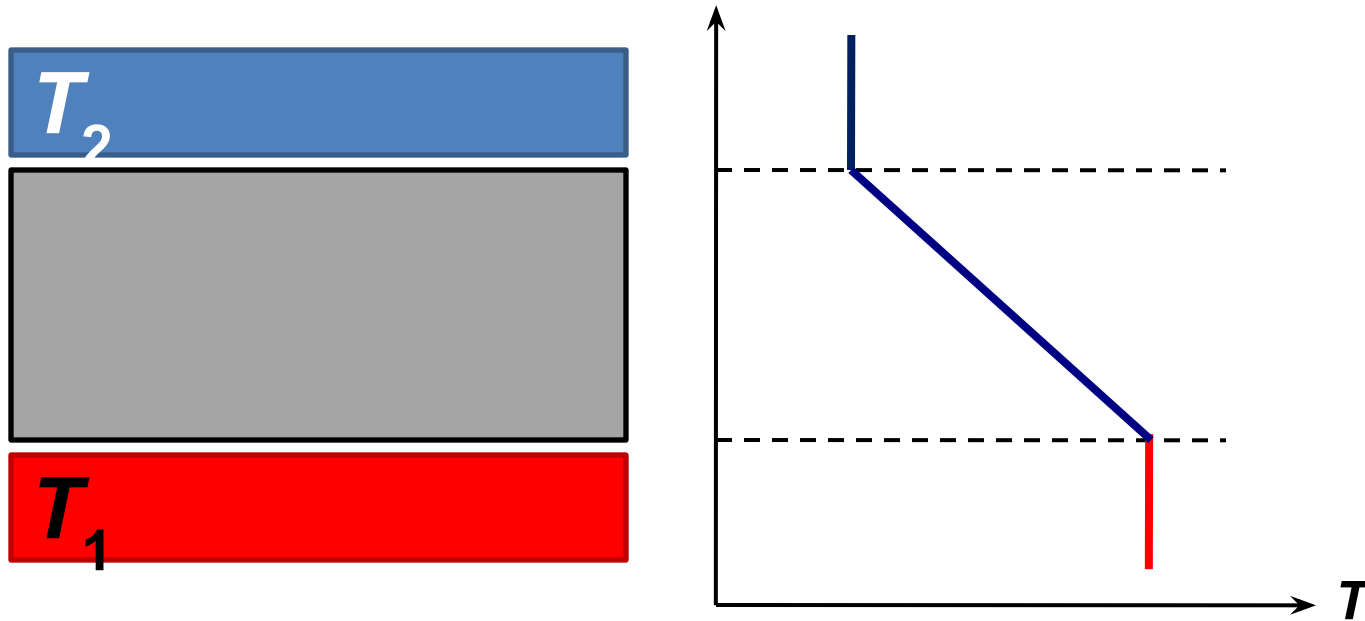
## 1. Конвективные ячейки Бенара



Два механизма теплопереноса:

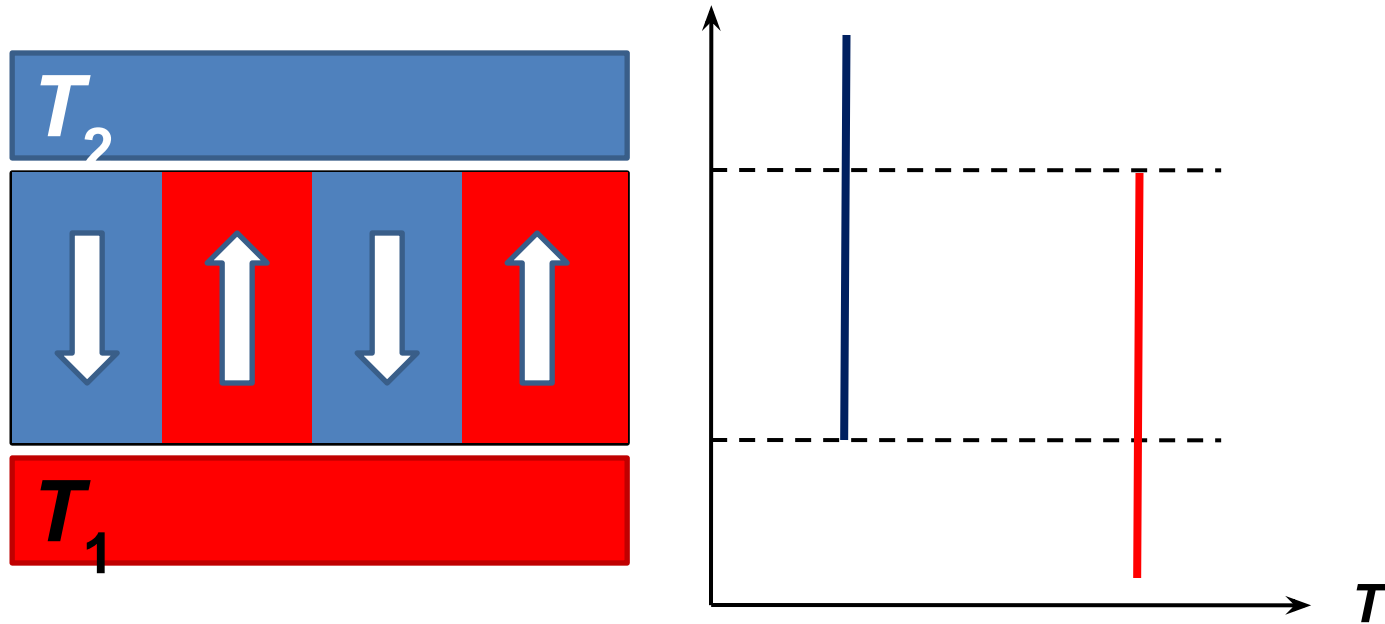
- МОЛЕКУЛЯРНЫЙ
- КОНВЕКТИВНЫЙ

# Молекулярный механизм теплопереноса



- Термическая энергия передается от «нагретых» молекул к их ближайшим соседям
- Направленное перемещение молекул в пространстве отсутствует

# Конвективный механизм теплопереноса

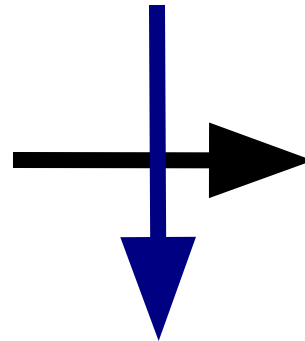
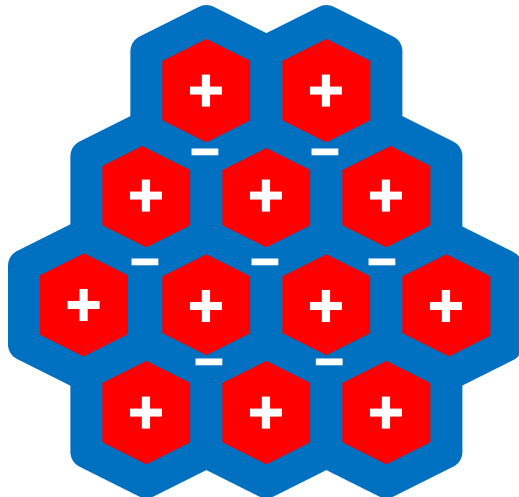


- Термическая энергия передается от «нагретых» молекул напрямую к холодной стенке, а не к соседним молекулам
- Имеет место направленное и кооперативное перемещение молекул в пространстве

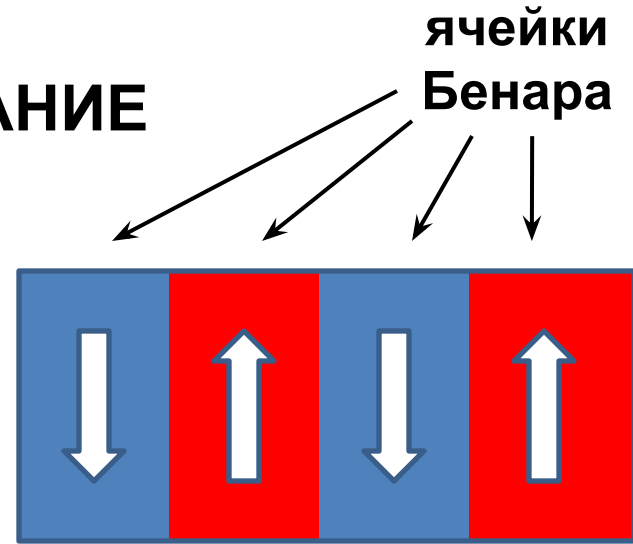
# СТРУКТУРИРОВАНИЕ



Вид «сверху»



$grad T$



$\lambda$

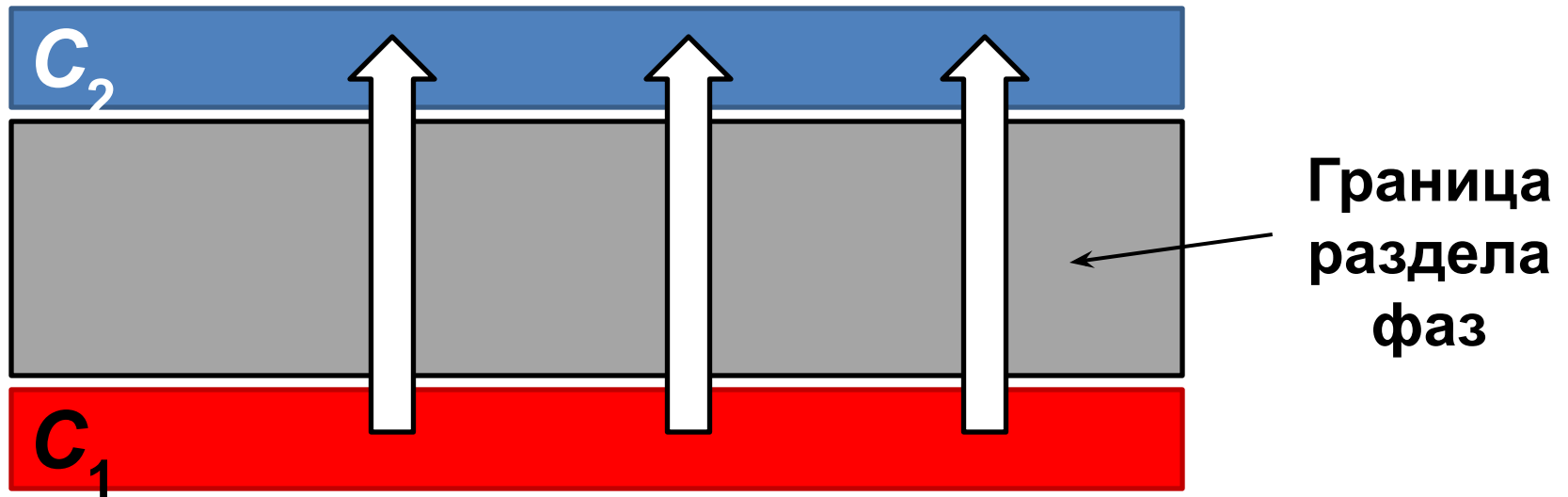
$\lambda$

«характерная» длина  
(размер)

## УСТОЙЧИВОСТЬ

после разрушения (перемешивание)  
ячейки Бенара самопроизвольно  
восстанавливаются в том же виде

## 2. Конвективные ячейки Мараньони

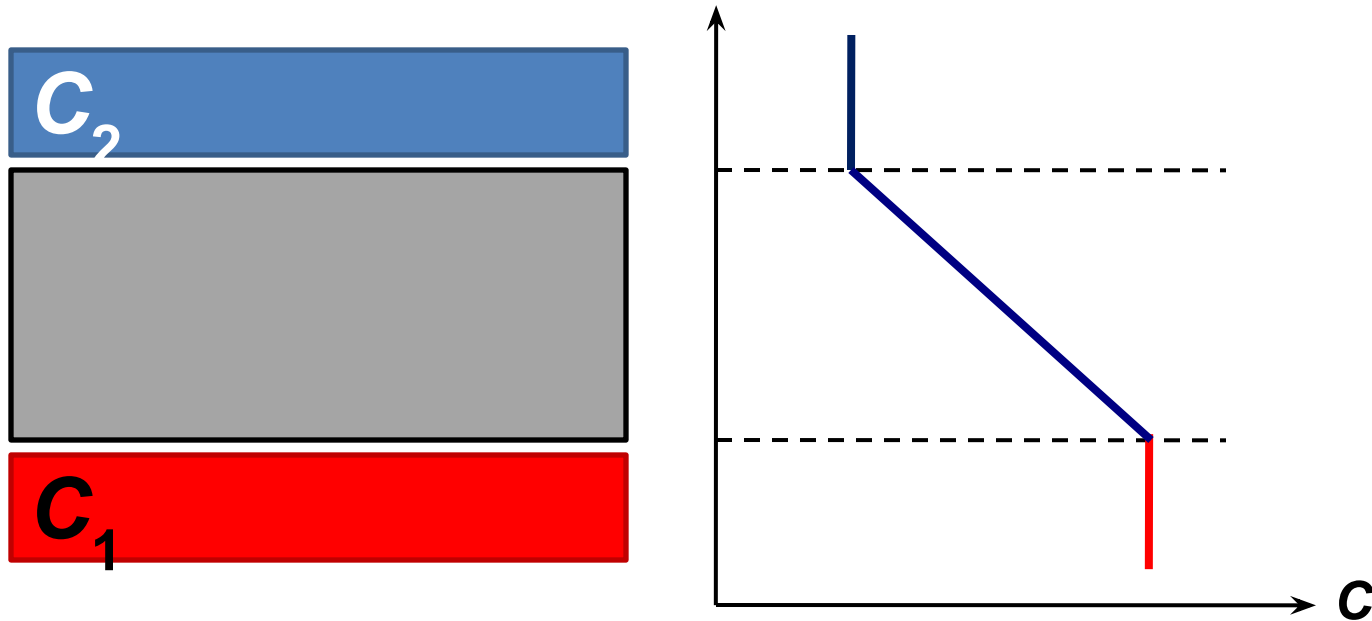


Два механизма массопереноса:

- МОЛЕКУЛЯРНЫЙ
- КОНВЕКТИВНЫЙ

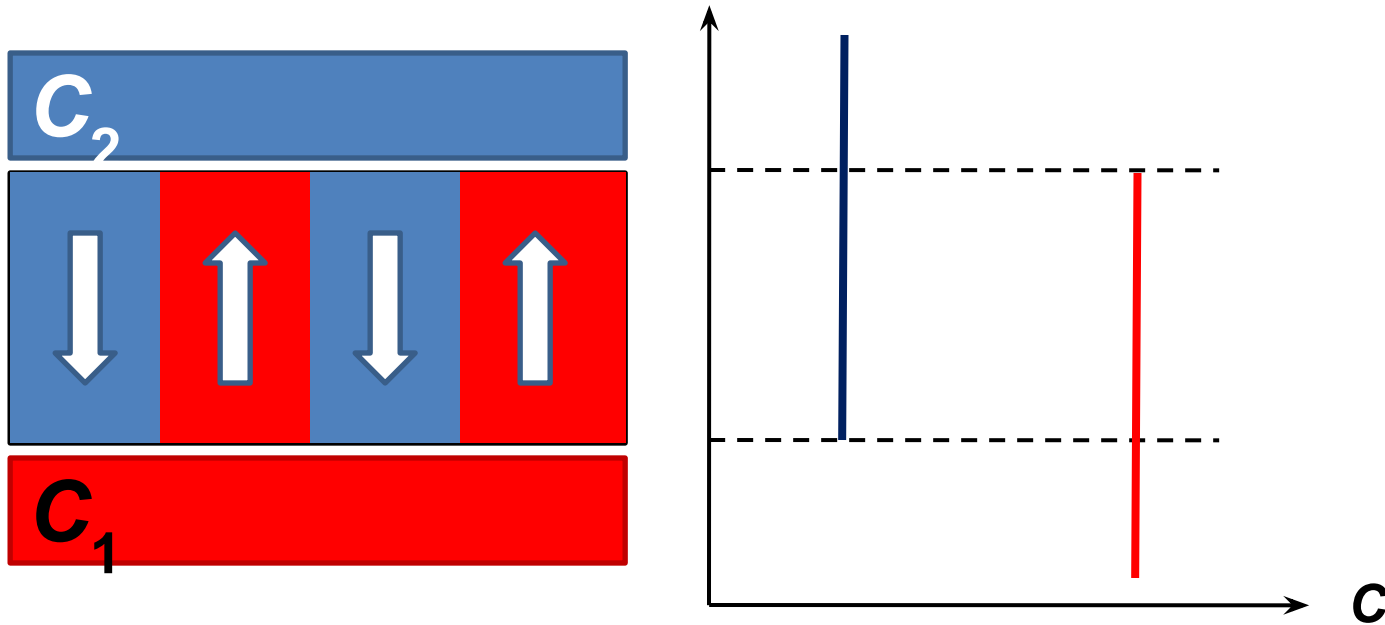


# Молекулярный механизм массопереноса



- Молекулы растворенного вещества передаются от одних молекул растворителя к соседним
- Направленное перемещение молекул растворителя в пространстве отсутствует

# Конвективный механизм массопереноса

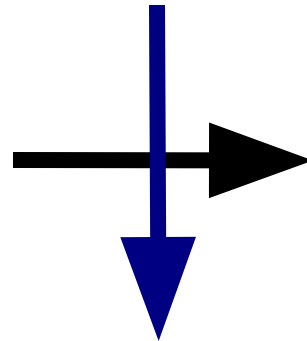


- Молекулы растворенного вещества переходят из одной фазы в другую напрямую без разрушения сольватной оболочки
- Имеет место направленное и кооперативное перемещение молекул растворителя (в виде сольватных оболочек) в пространстве

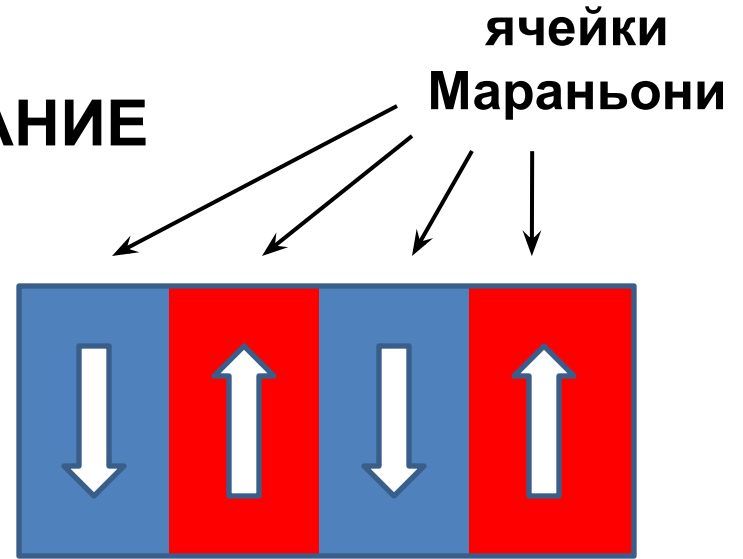
# СТРУКТУРИРОВАНИЕ



Вид «сверху»

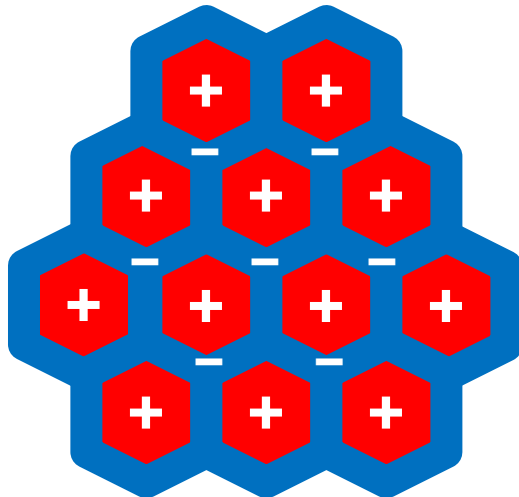


*grad C*



$\lambda$     $\lambda$

«характерная» длина  
(размер)

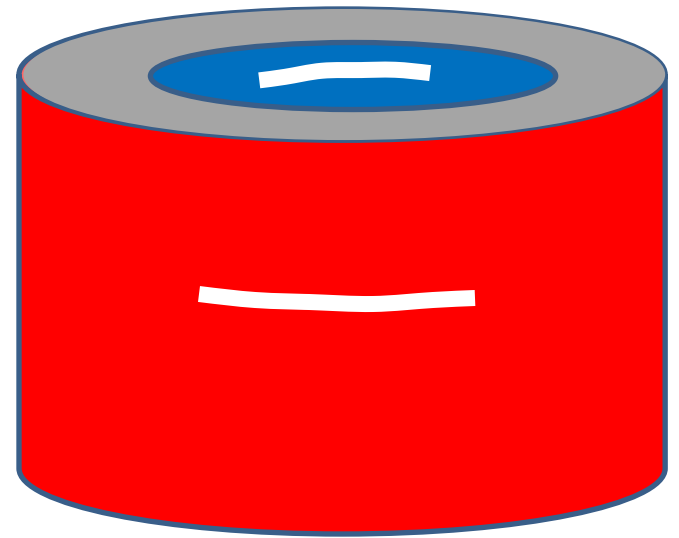
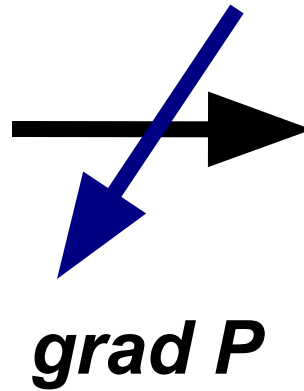
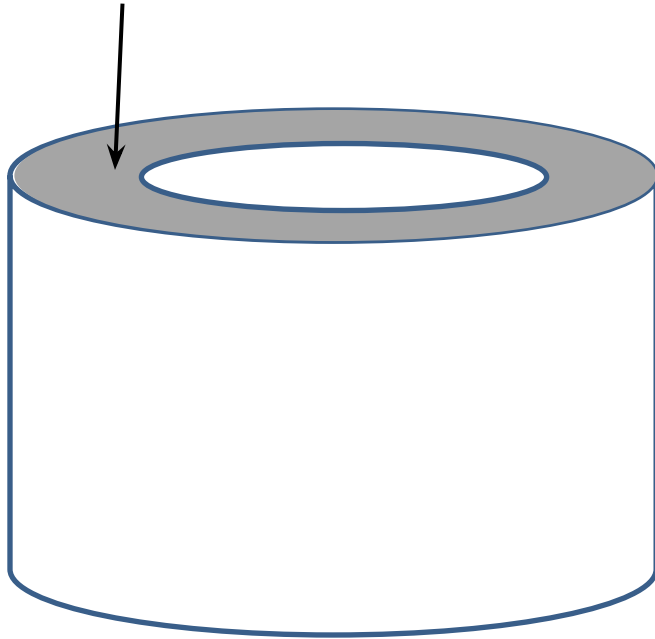


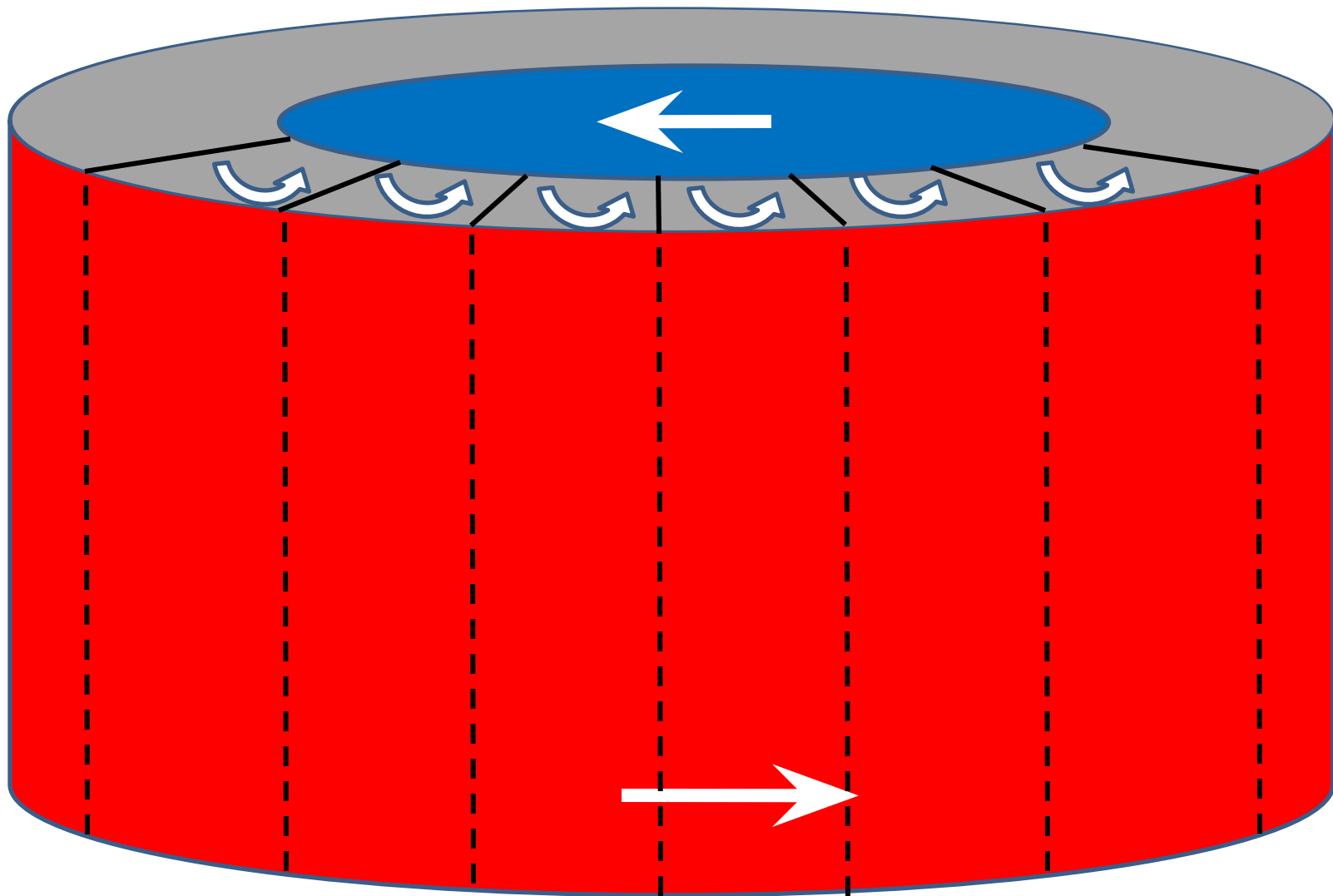
## УСТОЙЧИВОСТЬ

после разрушения (перемешивание)  
ячейки Мараньони самопроизвольно  
восстанавливаются в том же виде

### 3. Конвективные ячейки Куэтте

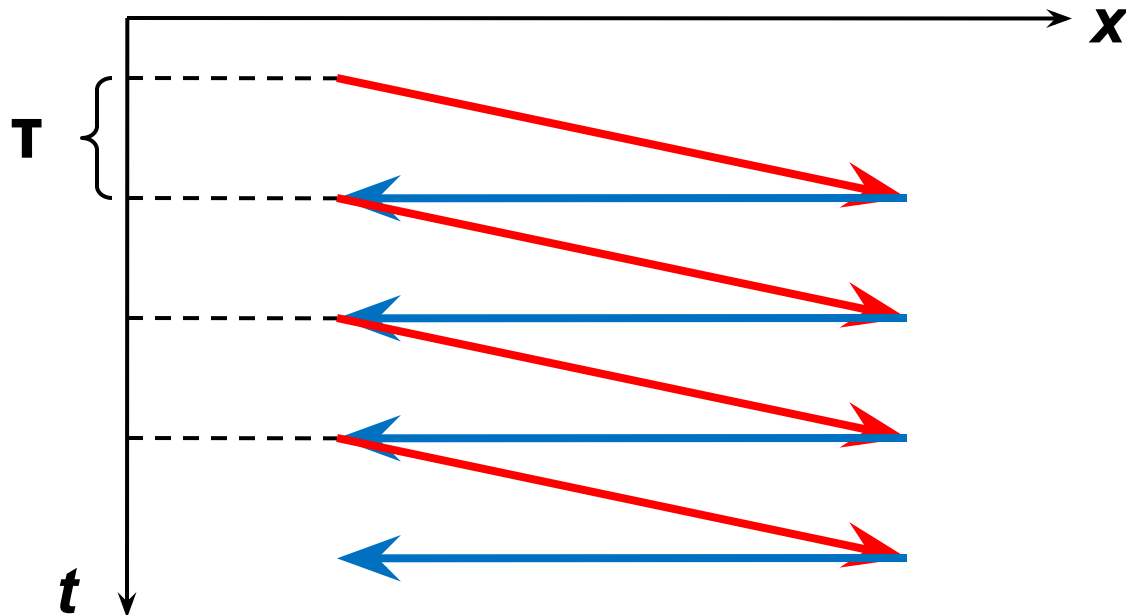
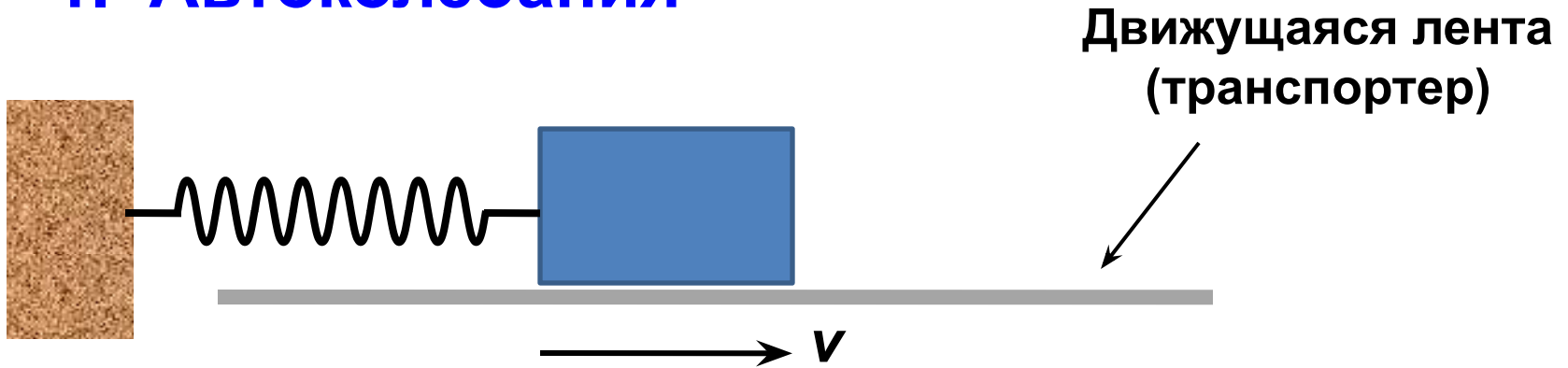
Вязкая  
жидкость

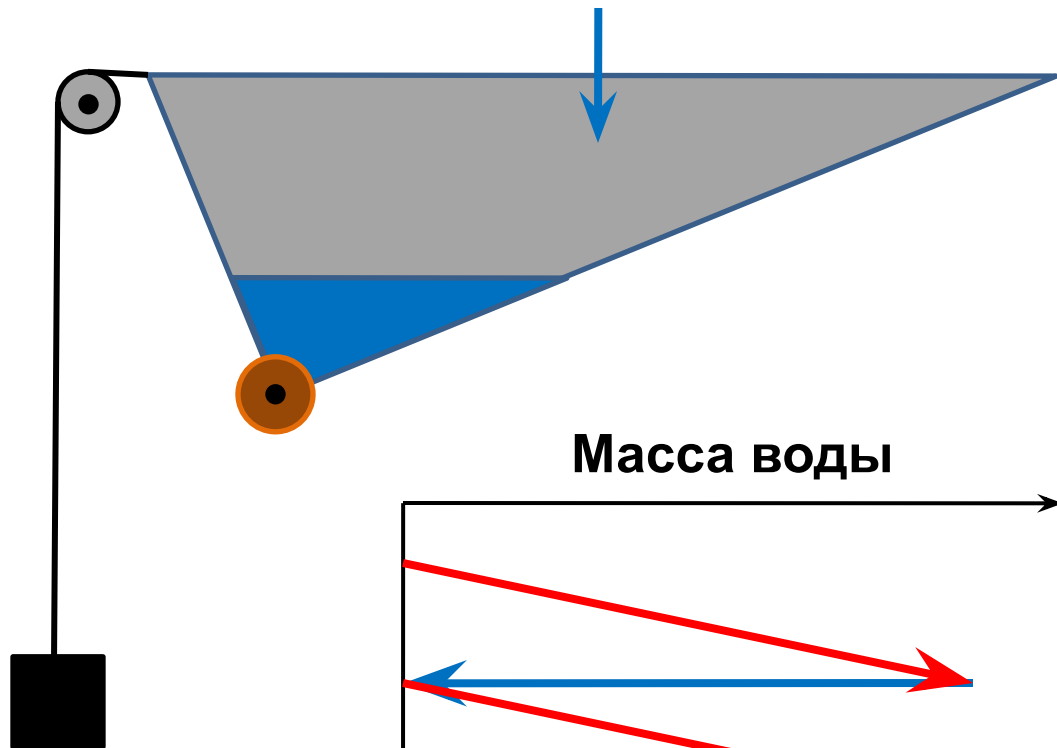




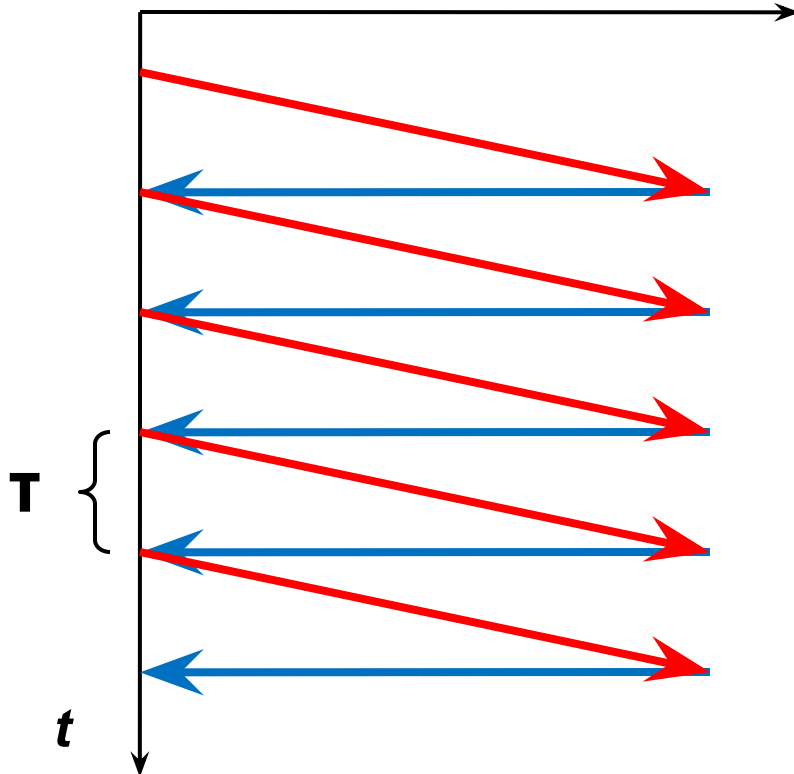
# Временные ДС

## 1. Автоколебания

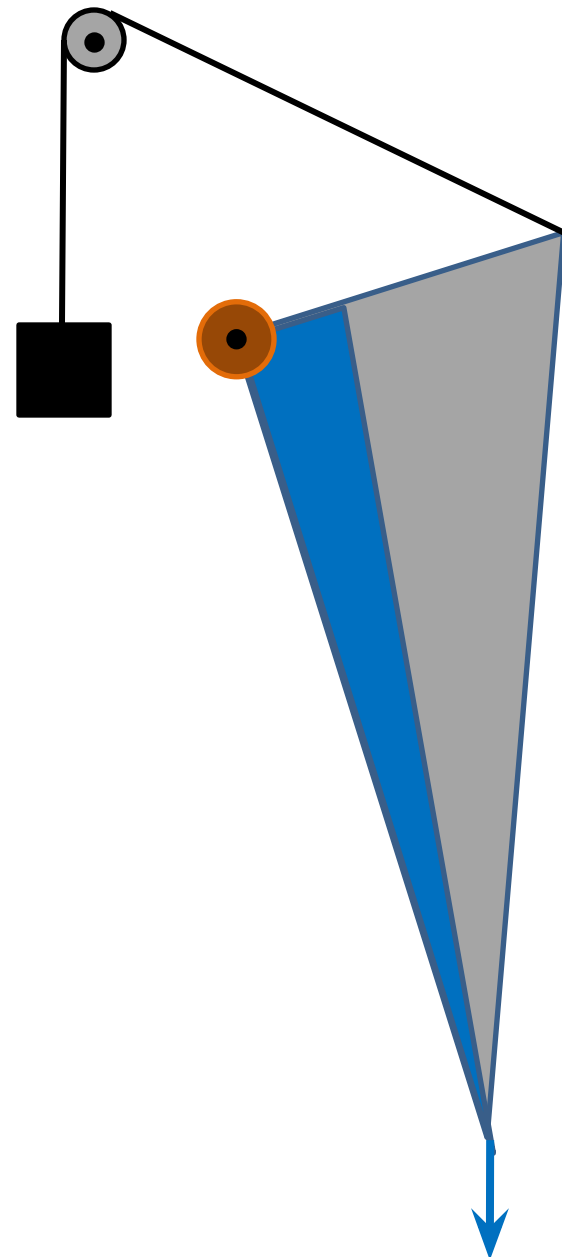




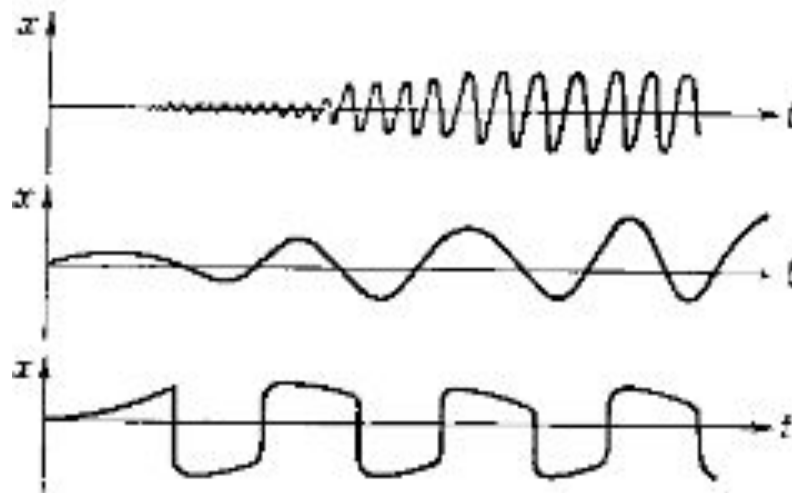
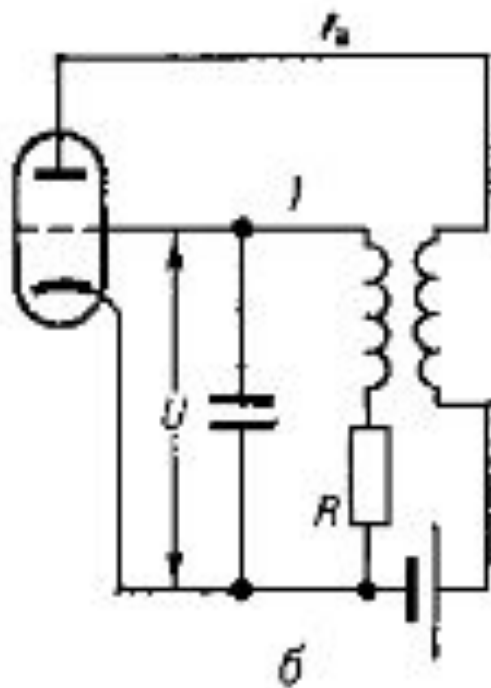
Масса воды



«журавль»



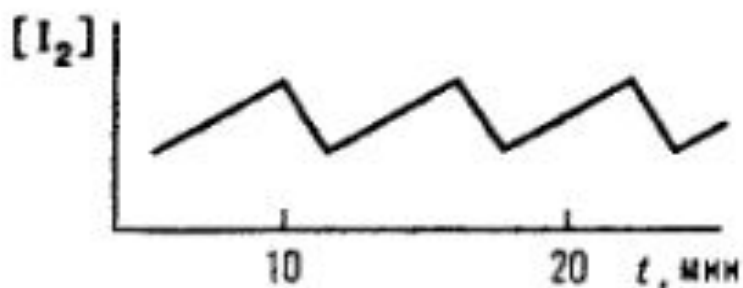
# Генератор Ван дер Поля



**Автоколебания тока или  
напряжения**



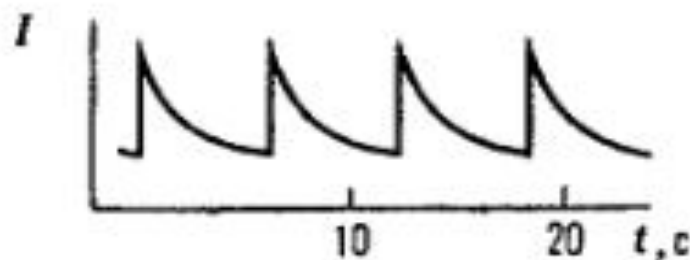
## 2. Колебательные химические реакции



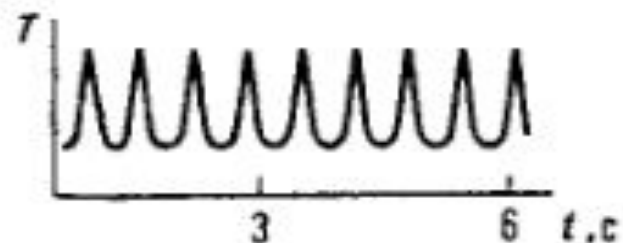
а



б

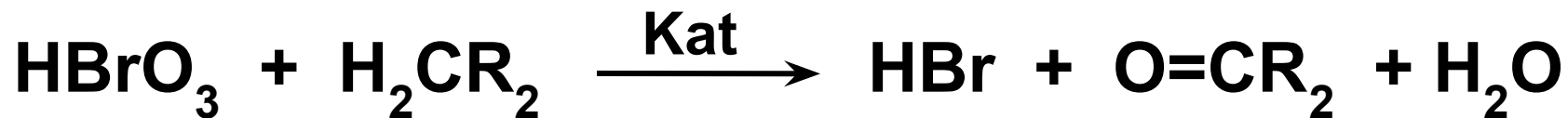


в

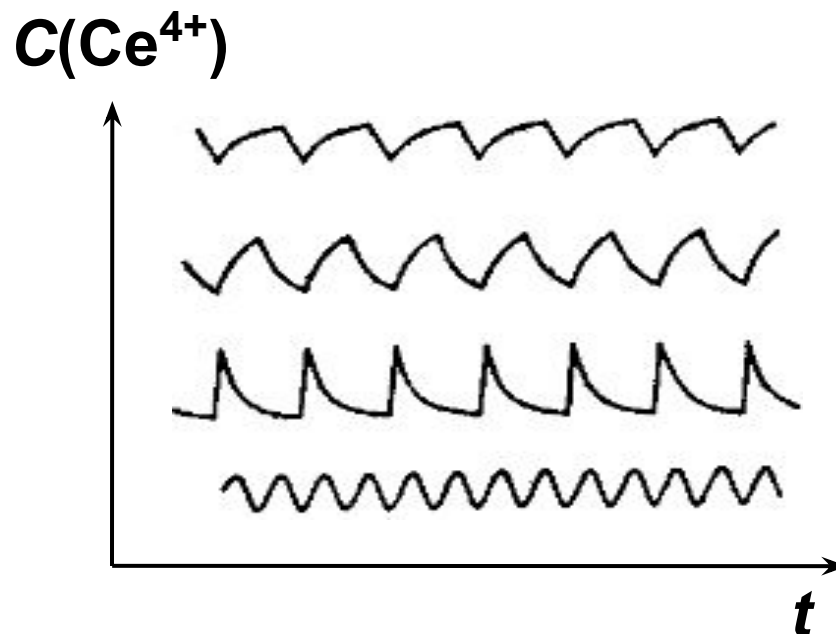
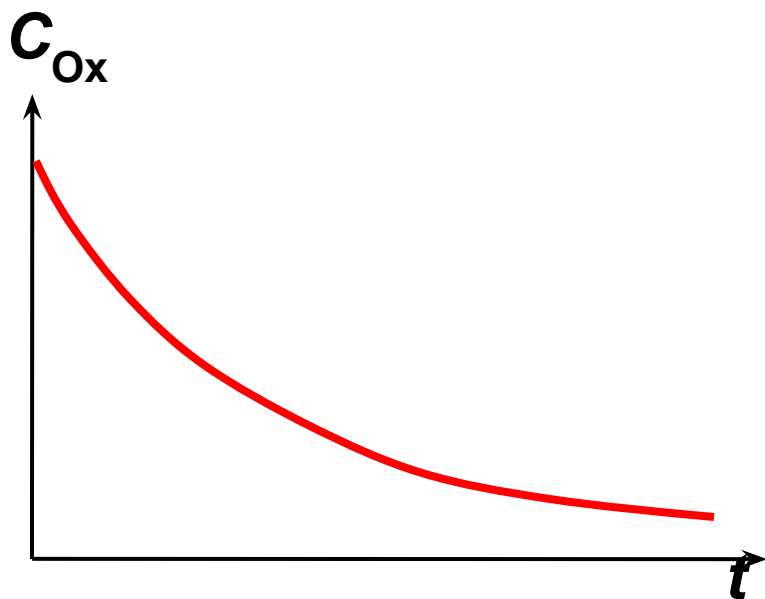


- а — концентрация  $I_2$  при разложении  $H_2O_2$  в присутствии  $IO_3^-$
- б — Red-Ox-потенциал раствора при окислении  $[S_2O_3]^{2-}$  хлоритом
- в — интенсивность люминесценции при газофазном окислении CO
- г — температура при газофазном окислении  $CH_3CHO$

# Реакция Белоусова-Жаботинского

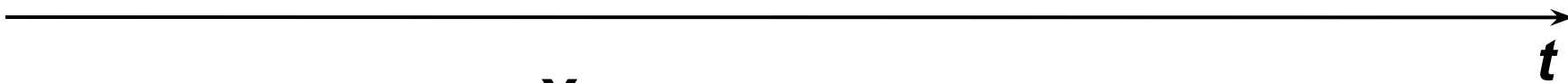
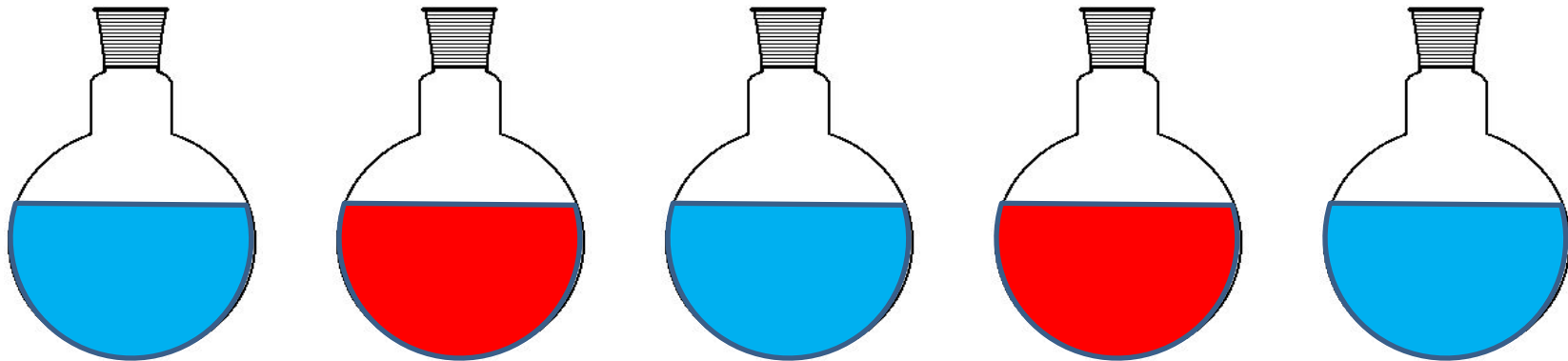


Катализатор:  $\text{Ce}^{3+} / \text{Ce}^{4+}$   
 $[\text{Fe}(\text{Phen})_3]^{2+} / [\text{Fe}(\text{Phen})_3]^{3+}$

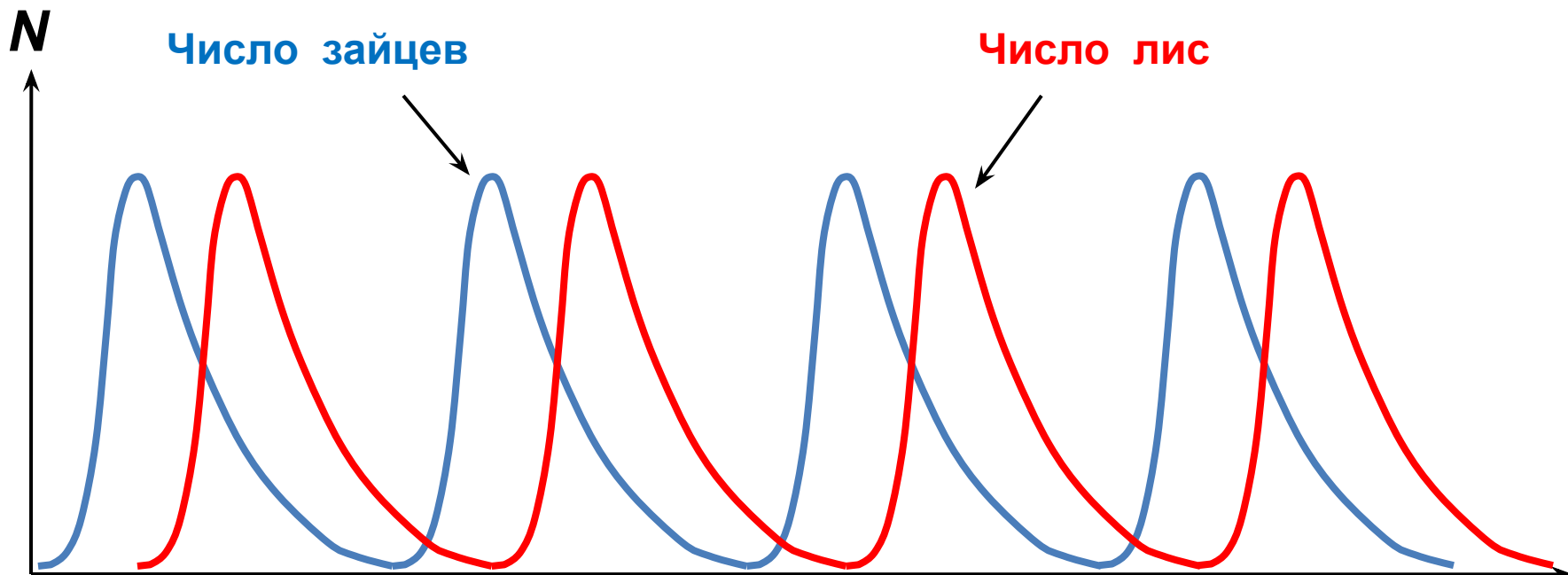


## Реакция Белоусова-Жаботинского (катализатор $\text{Ce}^{3+} / \text{Ce}^{4+}$ )

Восстановитель	Частота колебаний, Гц
Малоновая кислота	1,6
Броммалоновая кислота	0,9
Ацетоуксусный эфир	6,7
Щавелевоуксусная кислота	16
Яблочная кислота	1,1
Ацетондикарбоновая кислота	6
Лимонная кислота	1,2



«Химические часы»



Число зайцев

Число лис

«Экологические часы»

# Пространственно-временные ДС

## Химические автоволны



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



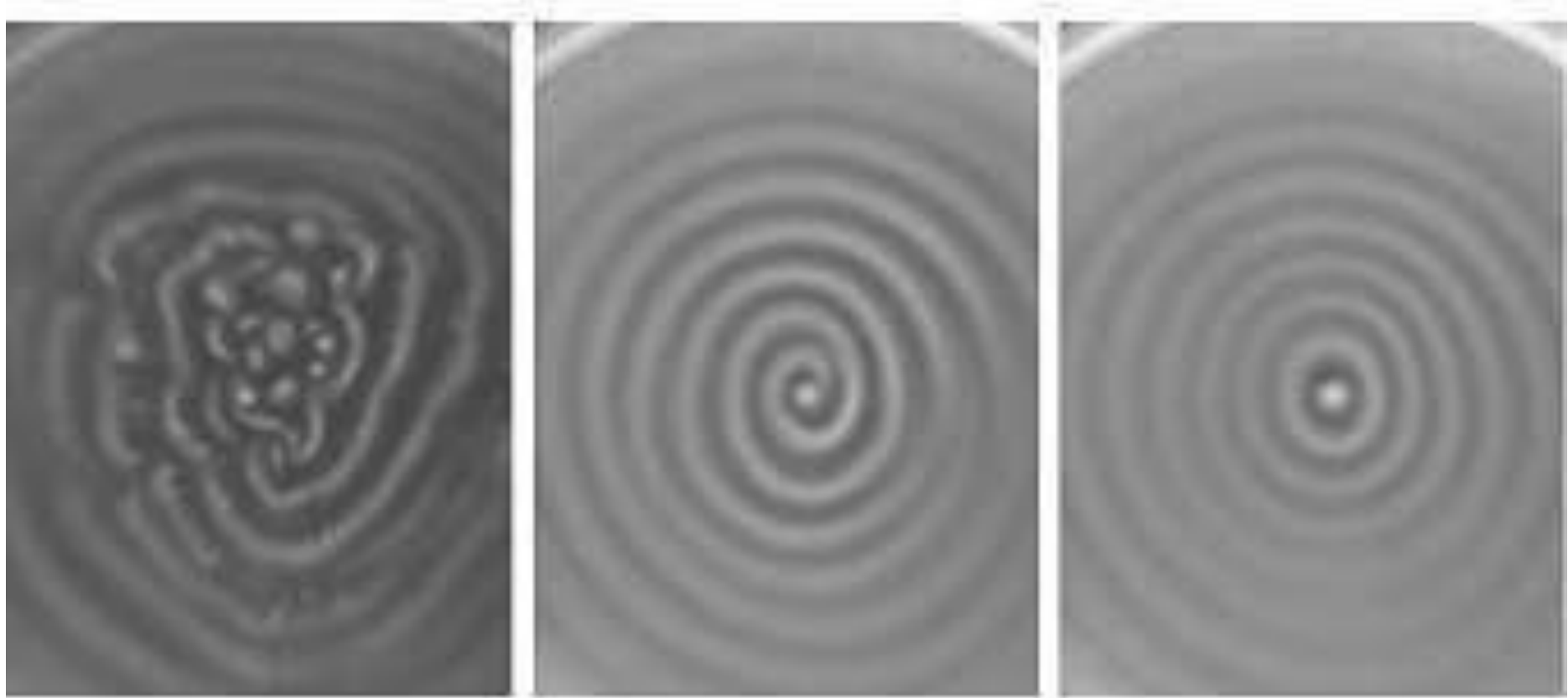
12

Реакция Б-Ж в  
плоском слое  
(чашка Петри)

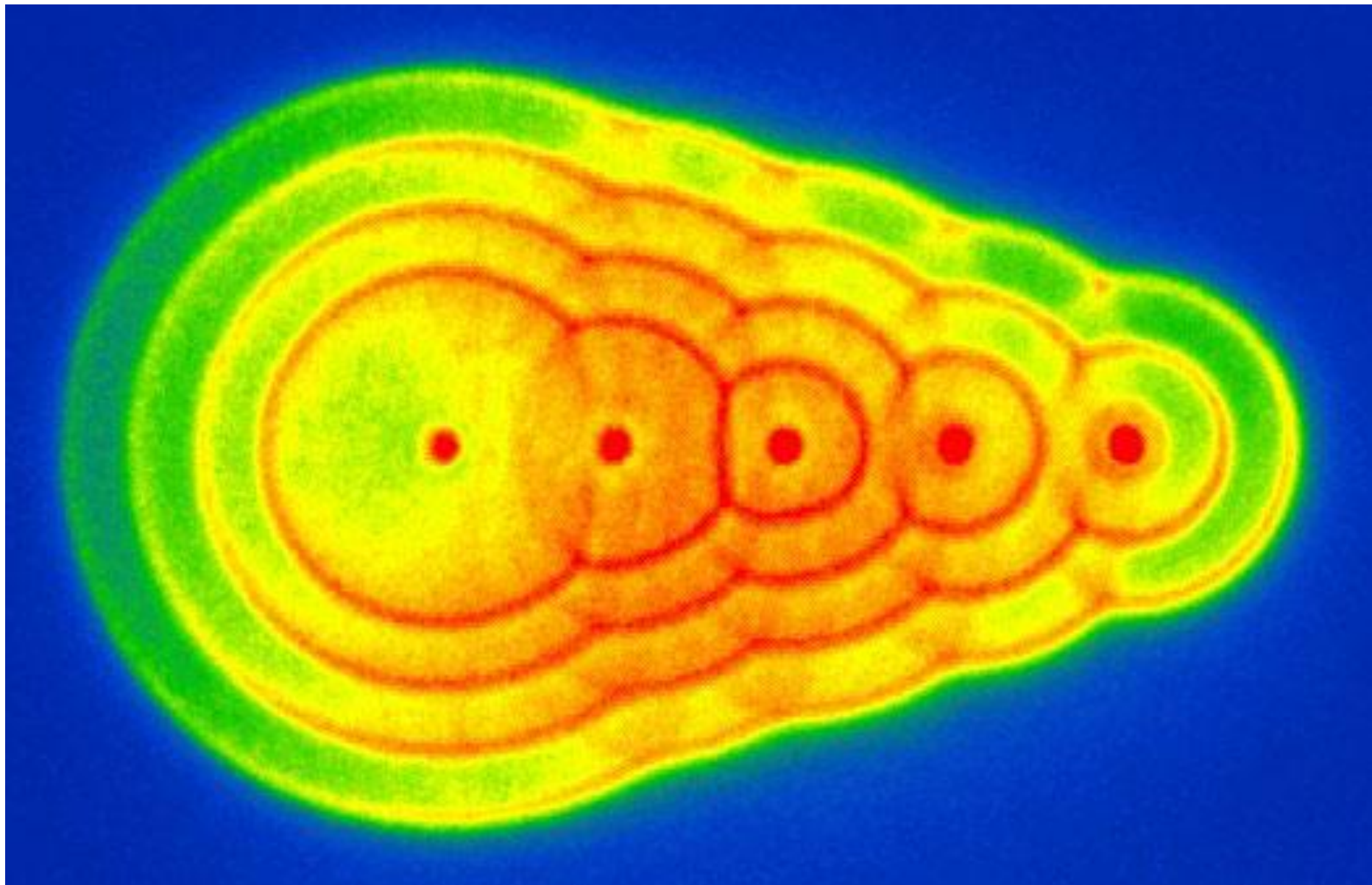
Интервал между  
снимками 15 сек.

Длина волны  
0,55 см

Скорость волны  
0,01 см/сек

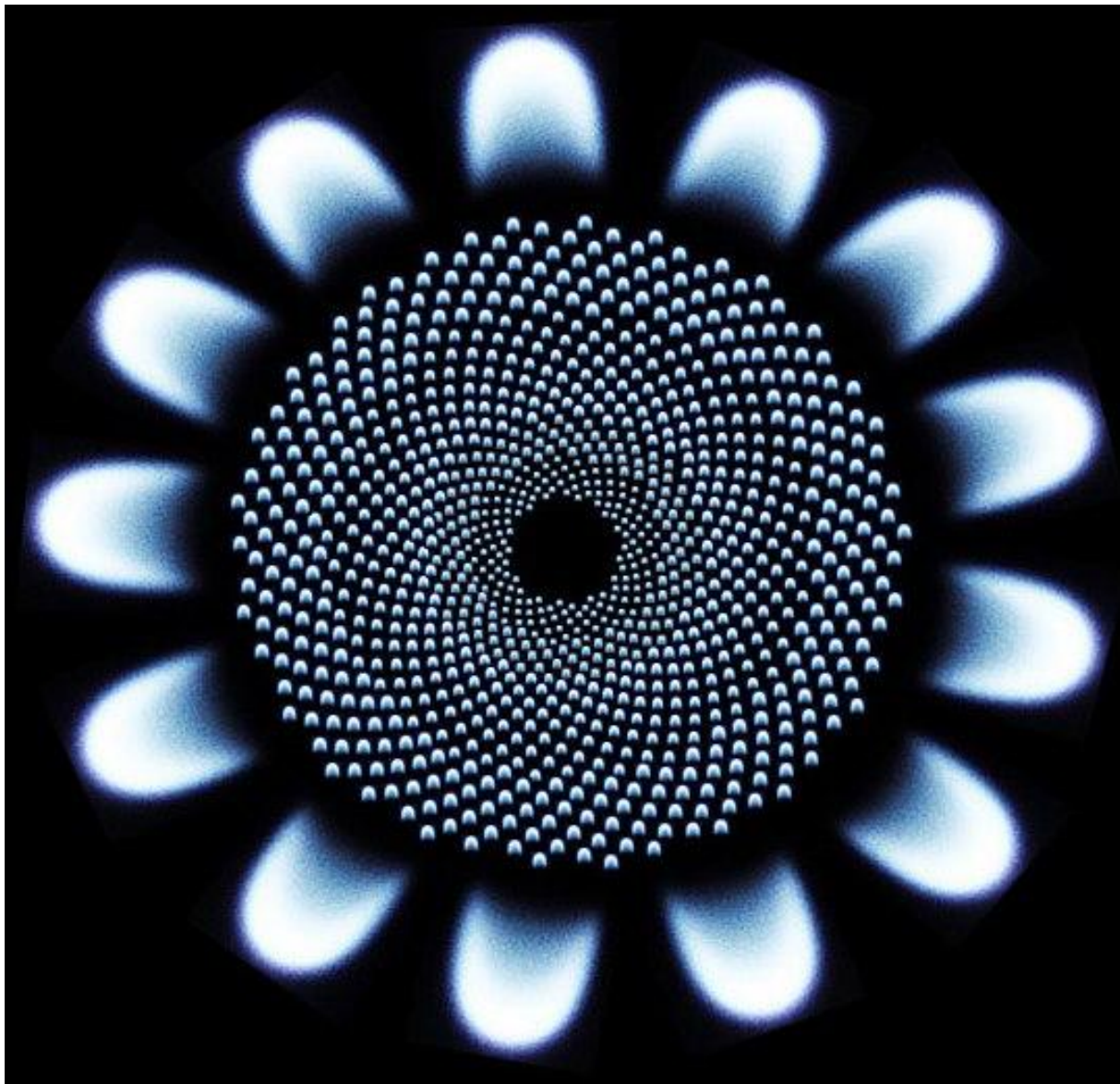


**Диссипативные структуры (автоволны) в плазме**



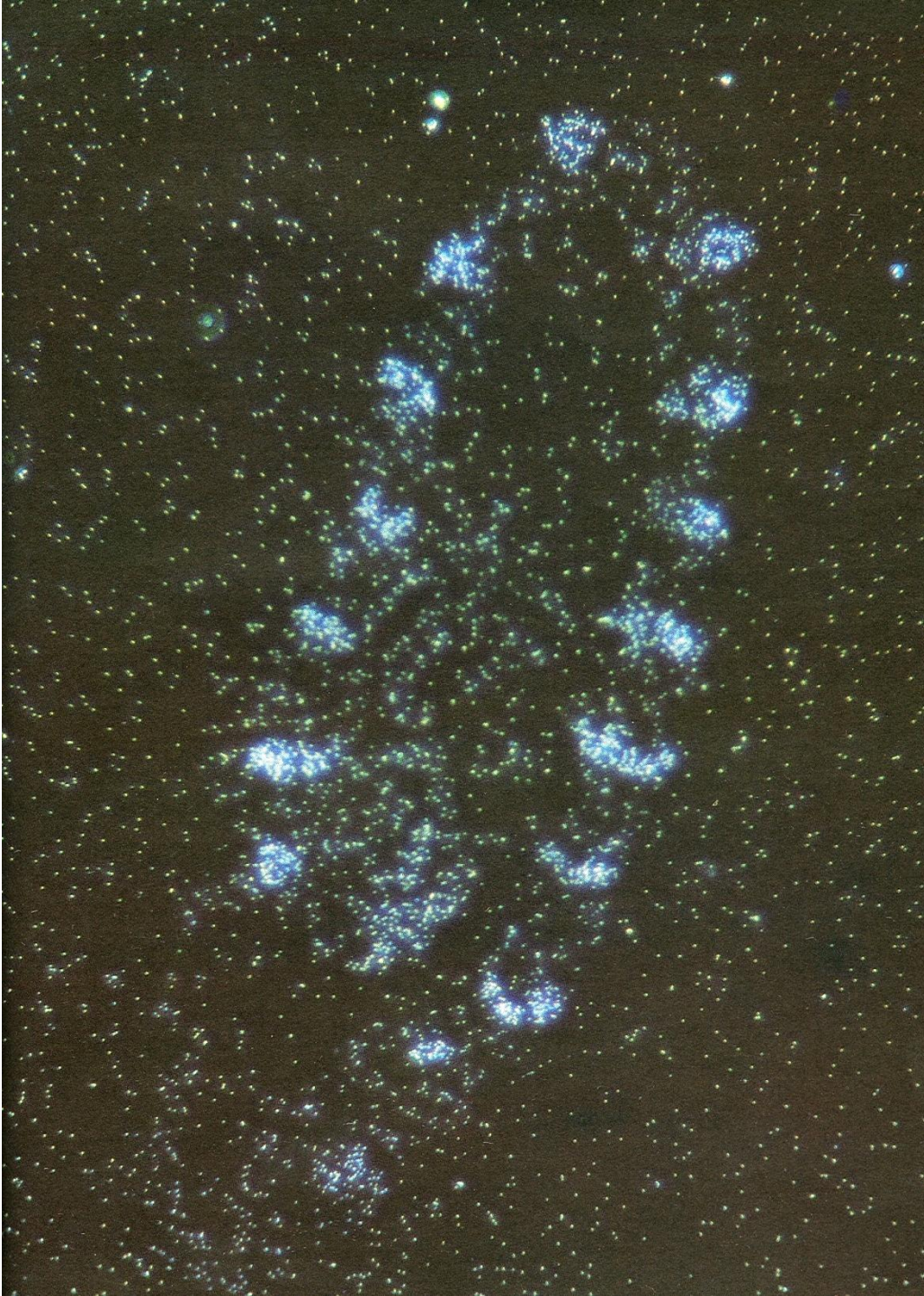
**Детонация в смеси кислорода и ацетилена**





**Горение метана: пространственные ячейки**



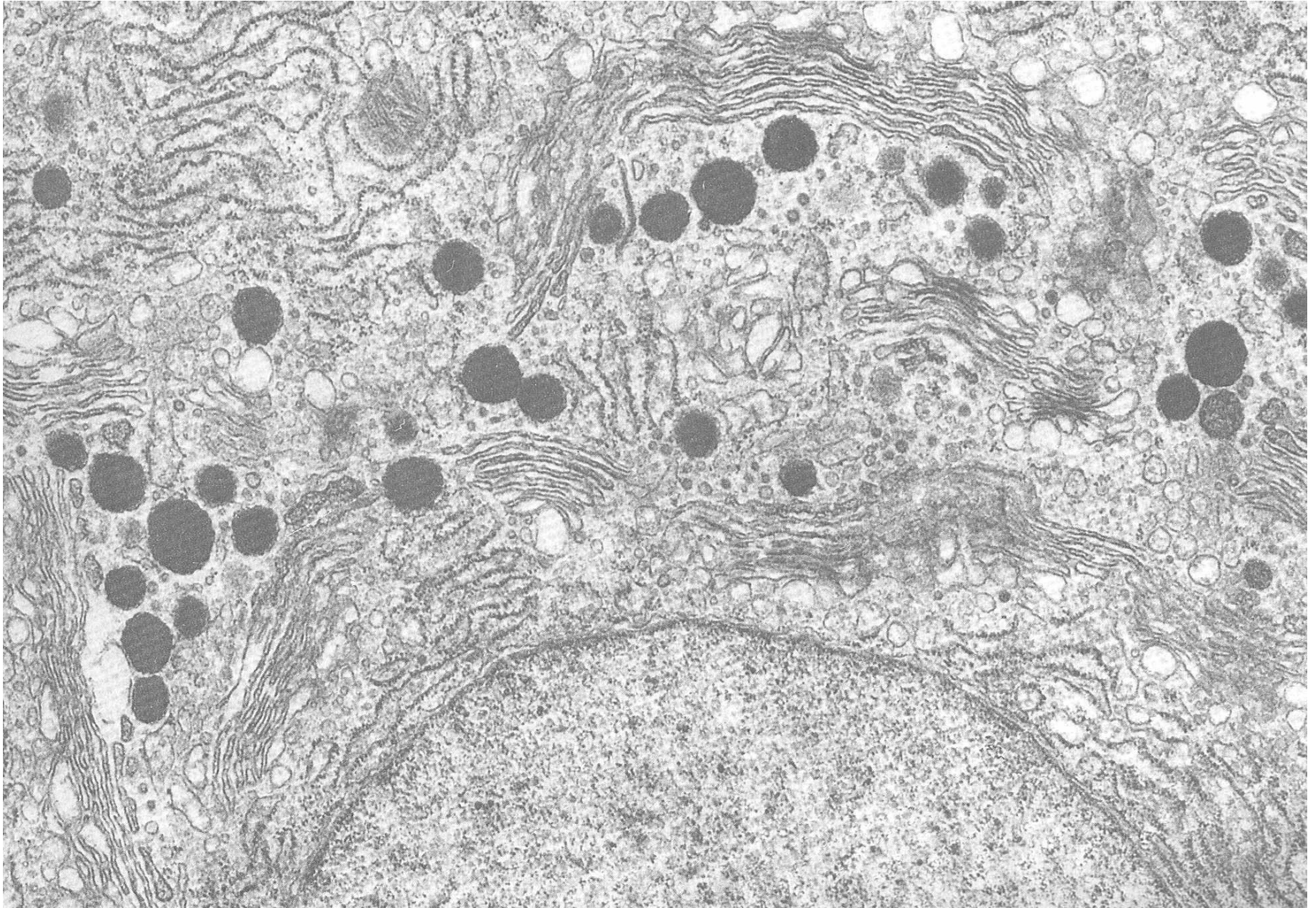


**Срез 6-часового  
эмбриона  
плодовой мушки  
*Drosophila***

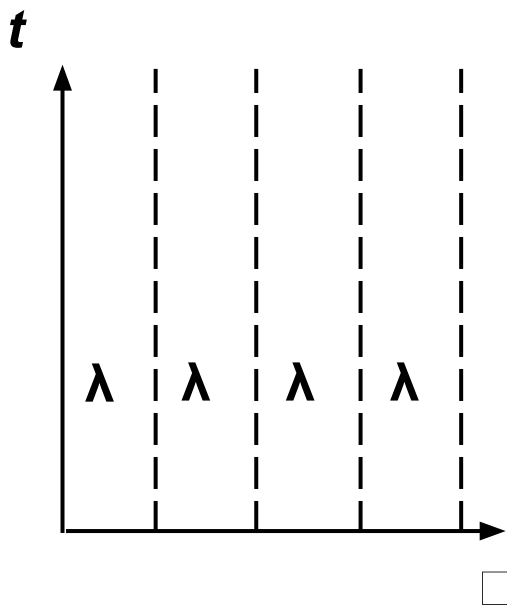
**(белые пятна —  
следы распада  
радиоактивных  
ядер в составе  
молекулы ДНК)**



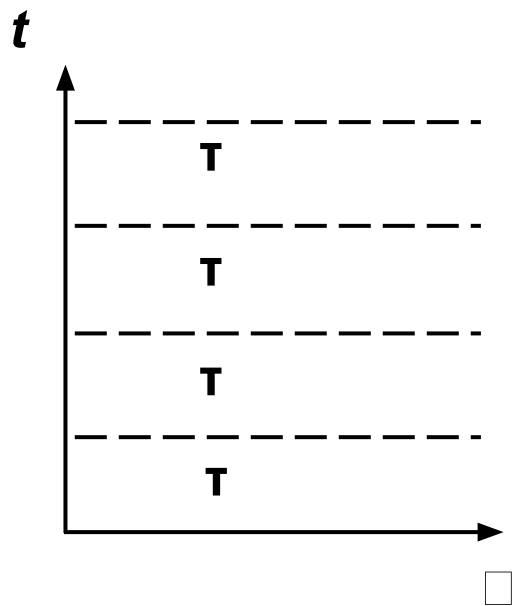
# Фрагмент внутриклеточной структуры



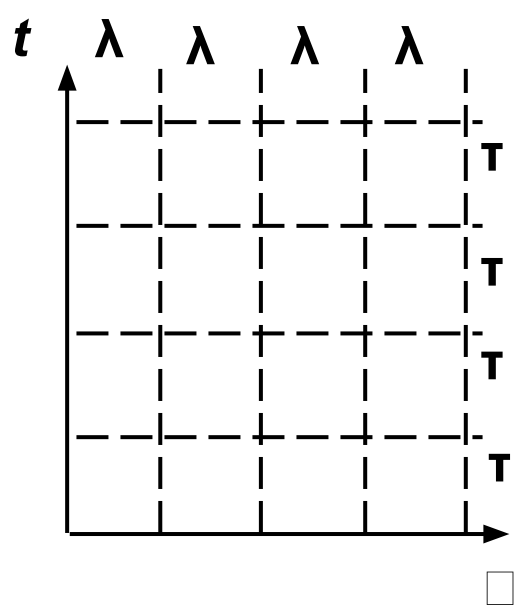




Пространственные  
ДС



Временные  
ДС



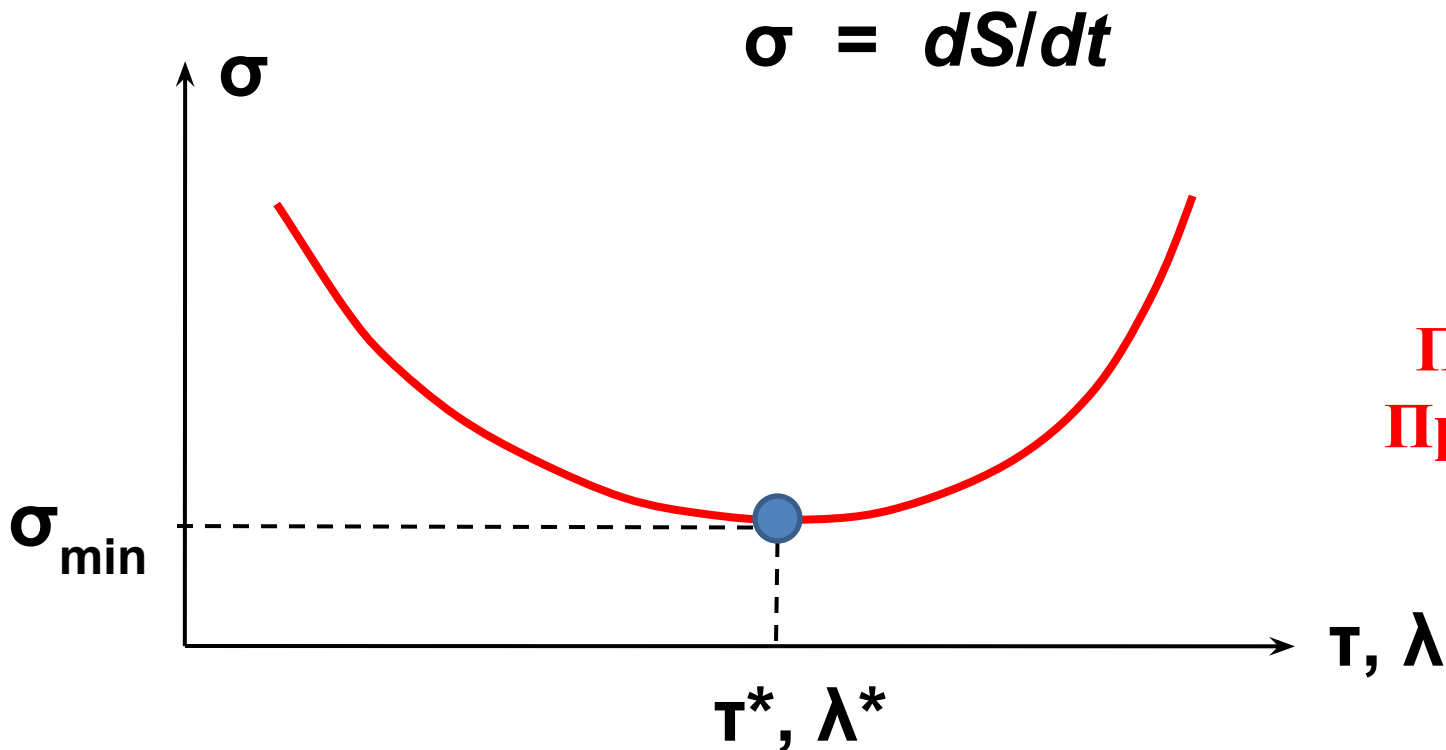
Пространственно-  
временные ДС

# Устойчивость ДС

Внутреннее трение

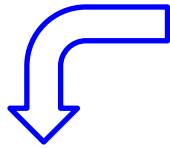


Диссипация свободной энергии и  
производство энтропии



Принцип  
Пригожина

# СТРУКТУРЫ



**равновесные**

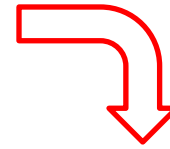
## **Тип равновесной структуры**

(форма кристалла,  
способы движения  
электронов в атомах и  
молекулах и т.д.)

**определяется  
правилом:**

$$**E = min**$$

(вариационный  
принцип Ритца)



**диссипативные**

## **Тип диссипативной структуры**

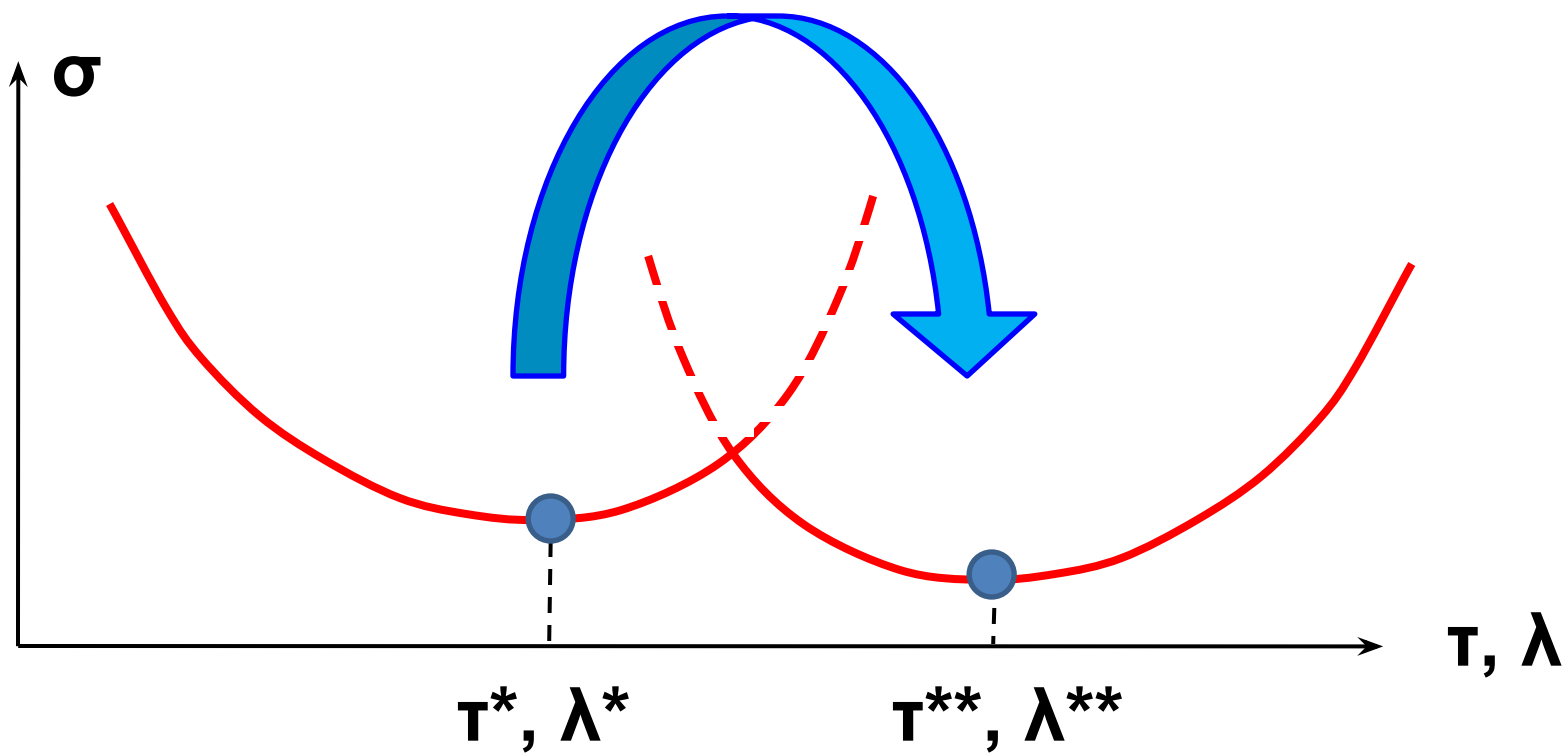
(форма и размеры  
ячеек Бенара,  
частота  
автоколебаний и т.д.)

**определяется  
правилом:**

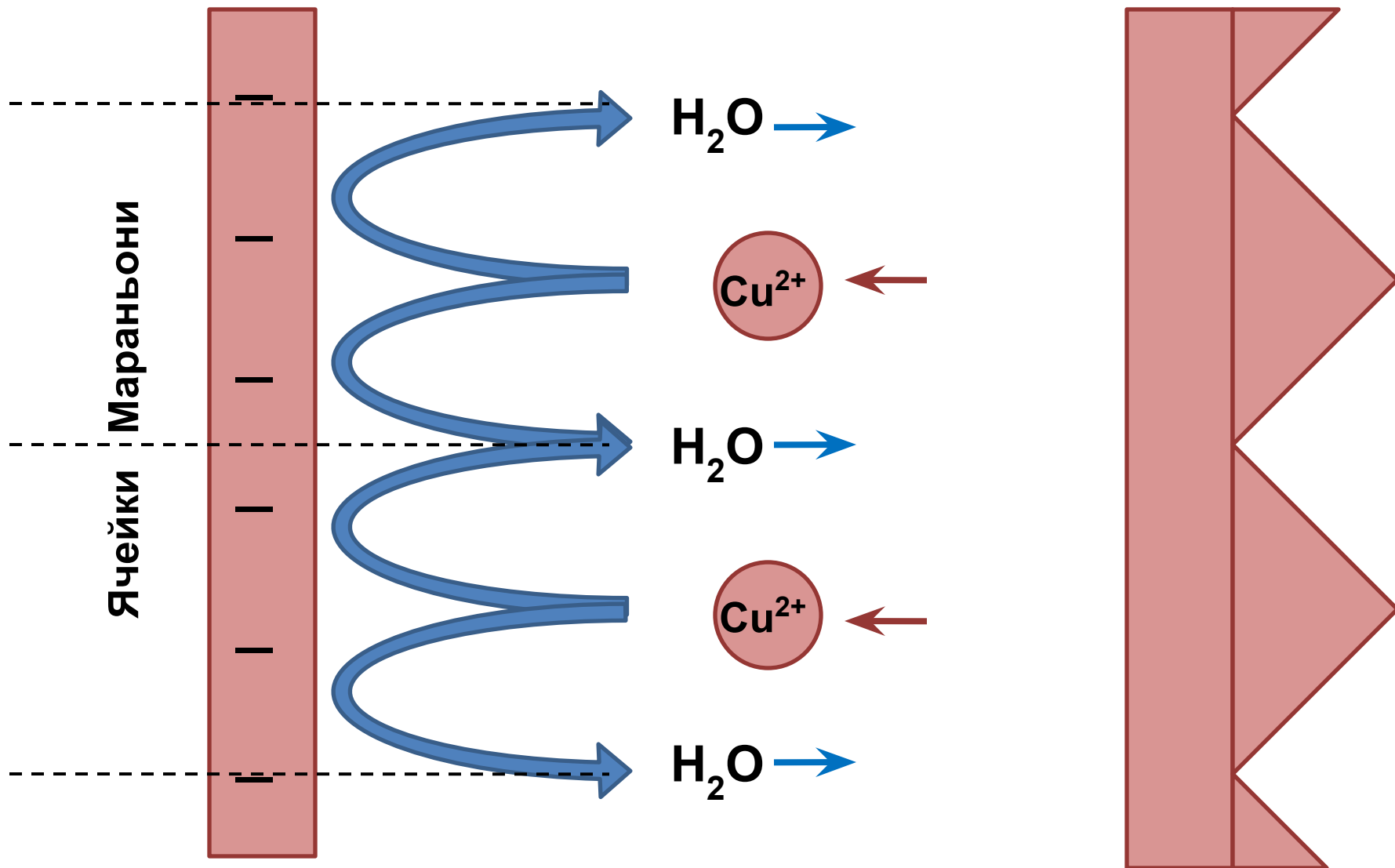
$$**dS/dt = min**$$

(вариационный  
принцип Пригожина)

# Бифуркация



# «Замороженные» ДС



# Каталитическая коррозия



Поток газовой смеси ( $\text{CH}_4 + \text{O}_2$ )



Платиновый катализатор

