

# 1. ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ



Профессор СУНЦ НГУ к. б. н. О. В. Саблина



**Жизнь есть  
наиневроятнейшее  
состояние материи**

*Э. Шредингер*

**Жизнь – это форма существования  
макроскопических**

**гетерогенных  
СИСТЕМЫ**  
открытых систем,  
далеких от равновесия,  
способных к самоорганизации,  
саморегуляции и  
самовоспроизведению

*М.В. Волькенштейн*

# Система

(*συστήμα* - составленный)

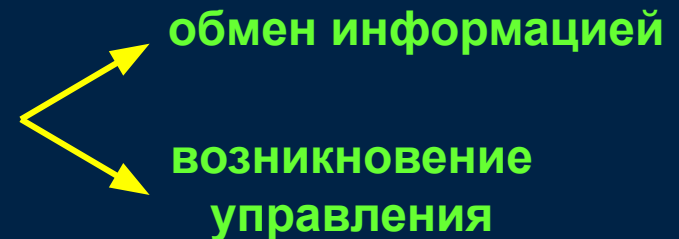
– целое, составленное из частей;

соединение элементов, связанных друг с другом

прямыми и обратными связями,

образующее единство с окружающей средой

**прямые и обратные связи**

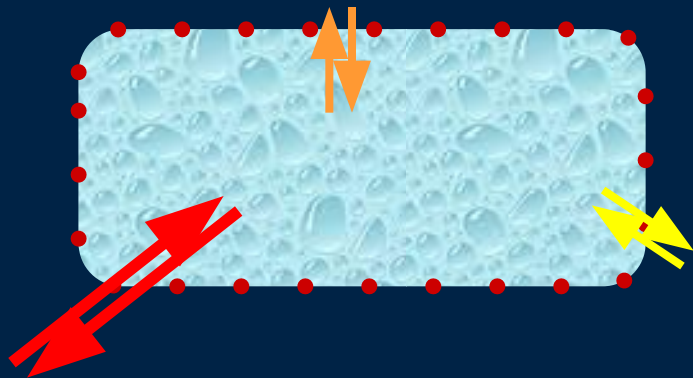


# Систем

# ы

## Открытые

Наличие обмена  
веществом, энергией  
и информацией  
со средой

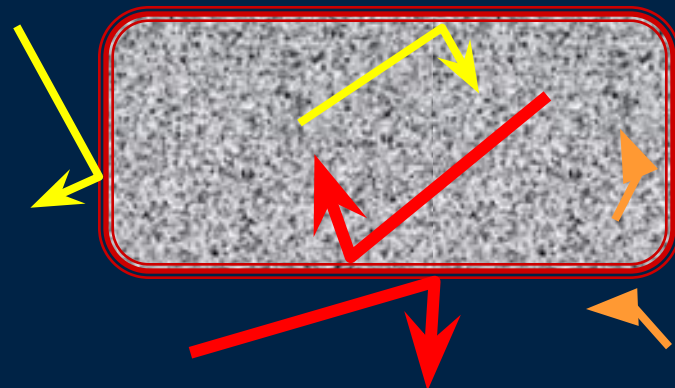


Стационарное состояние

Энтропия  
понижается

## Замкнутые

Отсутствует обмен  
веществом, энергией  
и информацией  
со средой



Равновесие

Энтропия  
максимальна

# СИСТЕМ

Открытые системы

Неравновесны

Низкоэнтропийны

Устойчивы

Структурированы

**Жизнь... – это работа специальным образом организованной системы, направленная на понижение собственной энтропии за счет повышения энтропии окружающей среды**

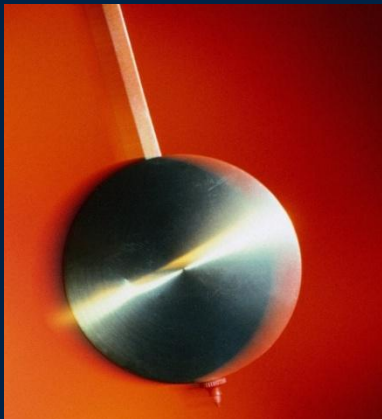
*Э. Шредингер*

# Системы

## Простые

Состоят из небольшого числа простых элементов

Поведение системы однозначно следует определенному алгоритму



Флуктуация



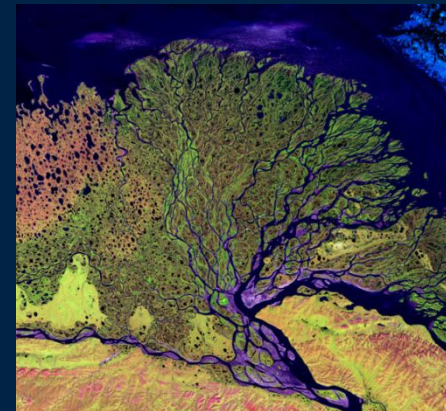
равновесие

## Сложные

Состоят из большого числа элементов, которые представляют собой подсистемы

Поведение системы однозначно не определяется

Флуктуация

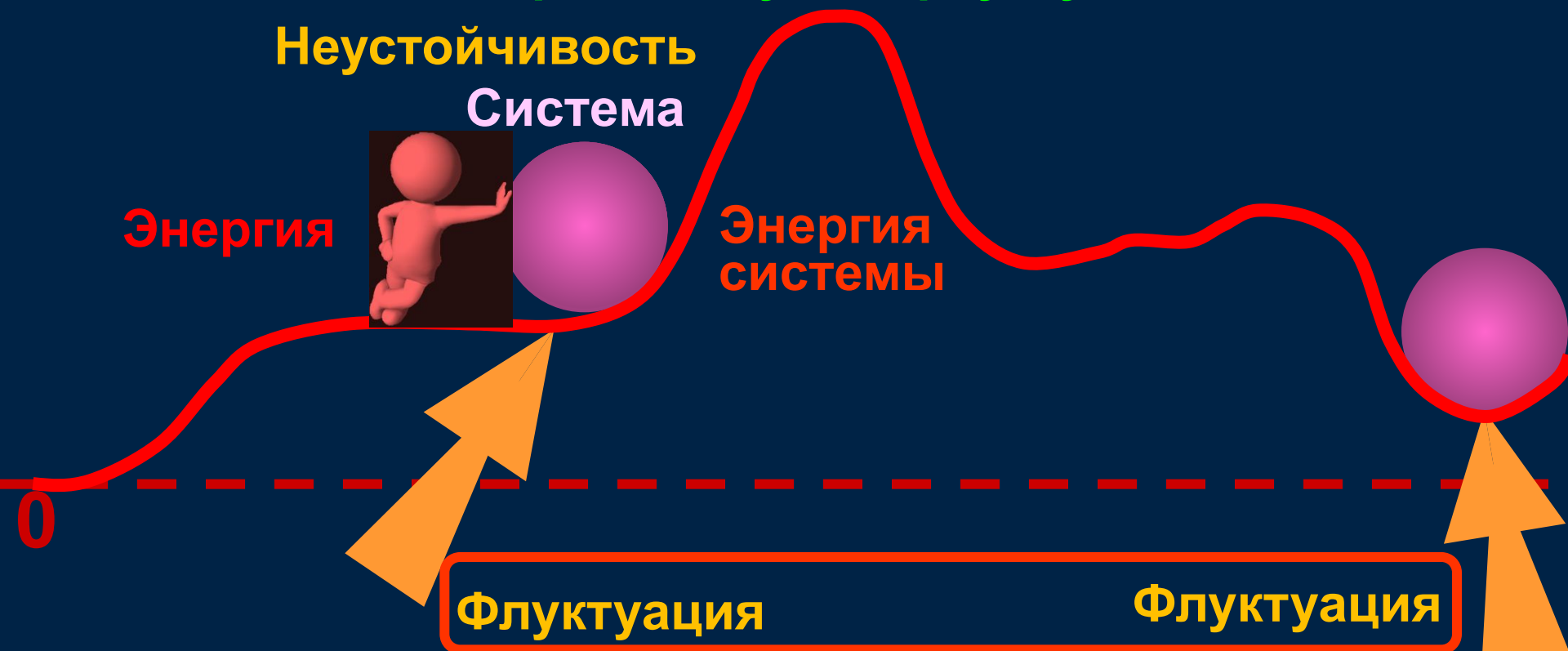


# Системы

## Поведение системы

Прекращение поступления энергии ведет к распаду  
Поддержание гомеостаза

Выходы из неустойчивости могут быть разными  
Одного состояния можно достигнуть разными путями  
Для перехода нужна флуктуация



# Системы

Постоянные **Поведение системы**

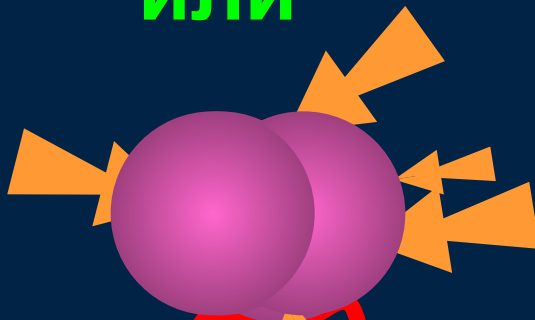
малые  
флуктуации



«Расшатывание  
гомеостаза»

Дестабилизация  
системы

или



Энергия  
системы

«Удачная»  
флуктуация

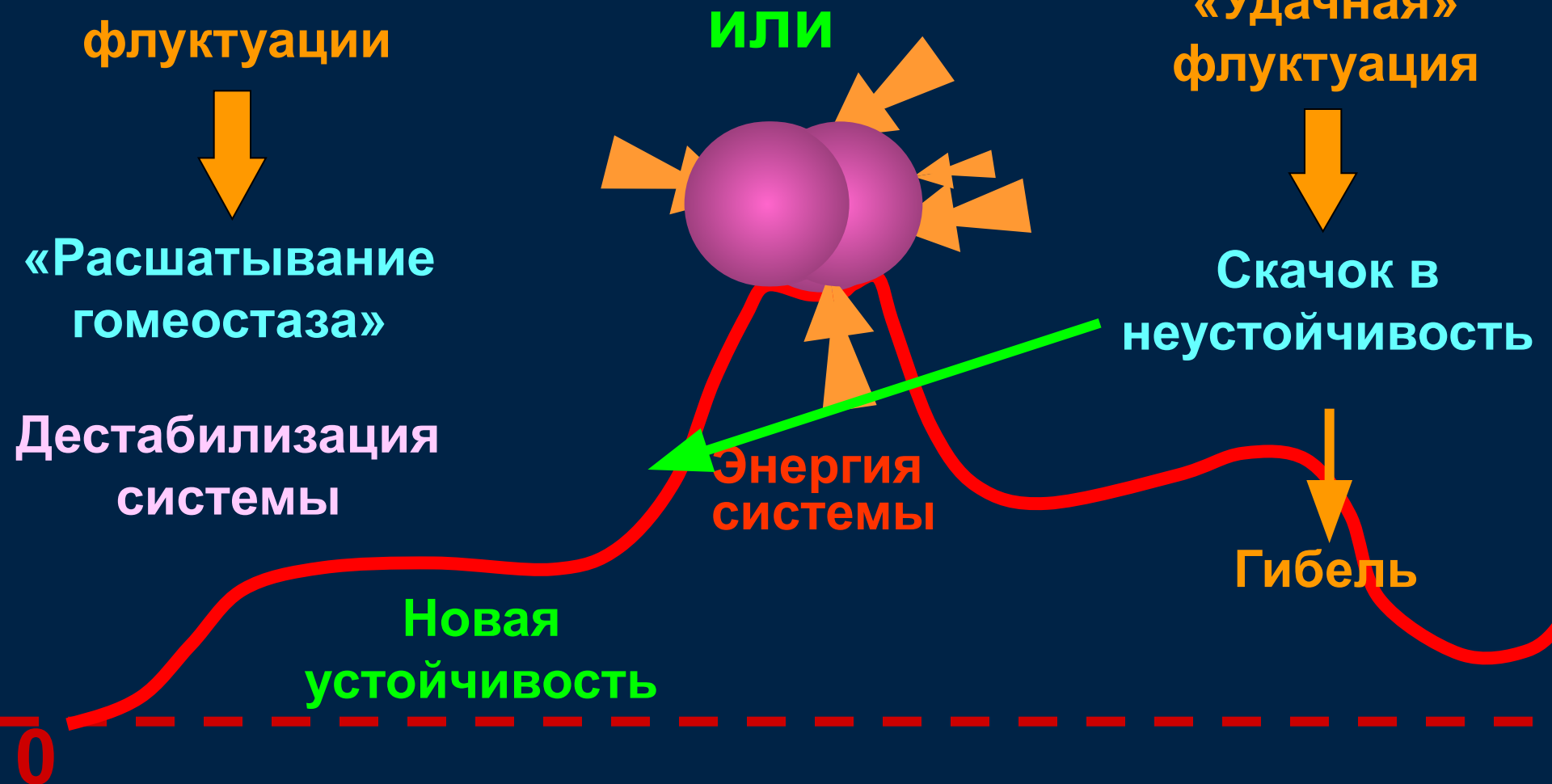


Скачок в  
неустойчивость

Гибель

Новая  
устойчивость

0





# Системы

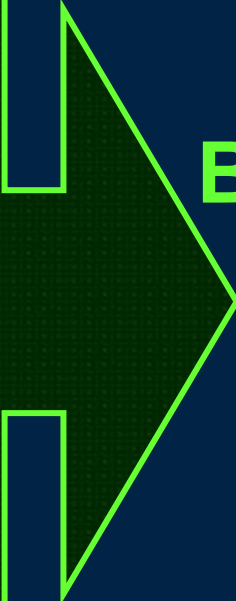
## Сложные системы

**Много элементов**

**Многочисленные сложные связи между элементами**

**Динамическое равновесие (колебания между устойчивостью и неустойчивостью)**

**Флуктуации**



**Возникновение системных свойств**

# Системы

## Системные свойства

*взаимоотношения и взаимодействия*

*элементов на основе информации,*

**которой тем или иным способом обмениваются**

**элементы**

# Системы

## Важнейшие системные свойства

**Иерархичность** устройства

**Устойчивость** – способность к поддержанию гомеостаза

**Альтернативность** путей функционирования и развития

**Эмерджентность** – наличие качеств, присущих системе в целом, но не свойственных ни одному из ее элементов в отдельности

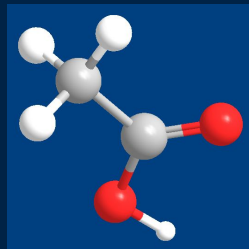
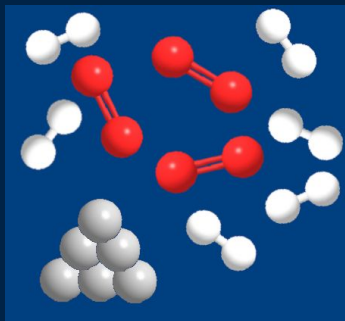
# система



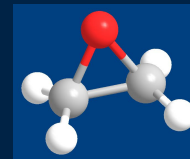
# Эмерджентность (неаддитивность)

«целое больше, чем сумма составляющих его частей»

Углерод, кислород, водород



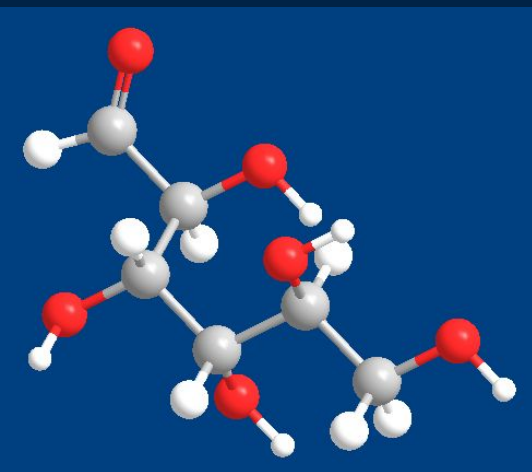
Уксус



Окись этилена



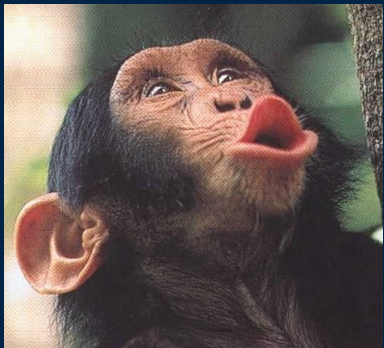
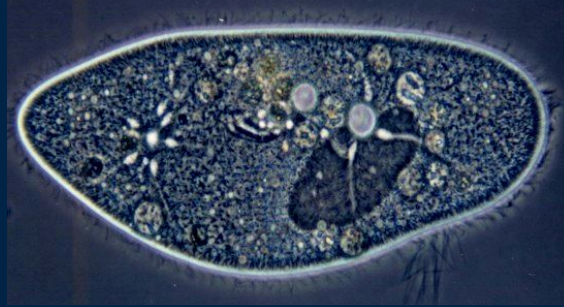
углеводородная вода



Целлюлоза

Свойства системы определяются **СВЯЗЯМИ** между элементами

# «Целое больше, чем сумма составляющих его частей»



# Самоорганизация

процесс **самоорганизации** в **неравновесной** открытой системе

возникновение структуры

**без**

поступления извне  
каких-либо инструкций, команд,

а только **Энергии**

# Самоорганизация

процесс **упорядочения** в сложной открытой неравновесной системе

## Самоорганизация

Для самоорганизации нужна  
— возникновение структуры

**флуктуация**

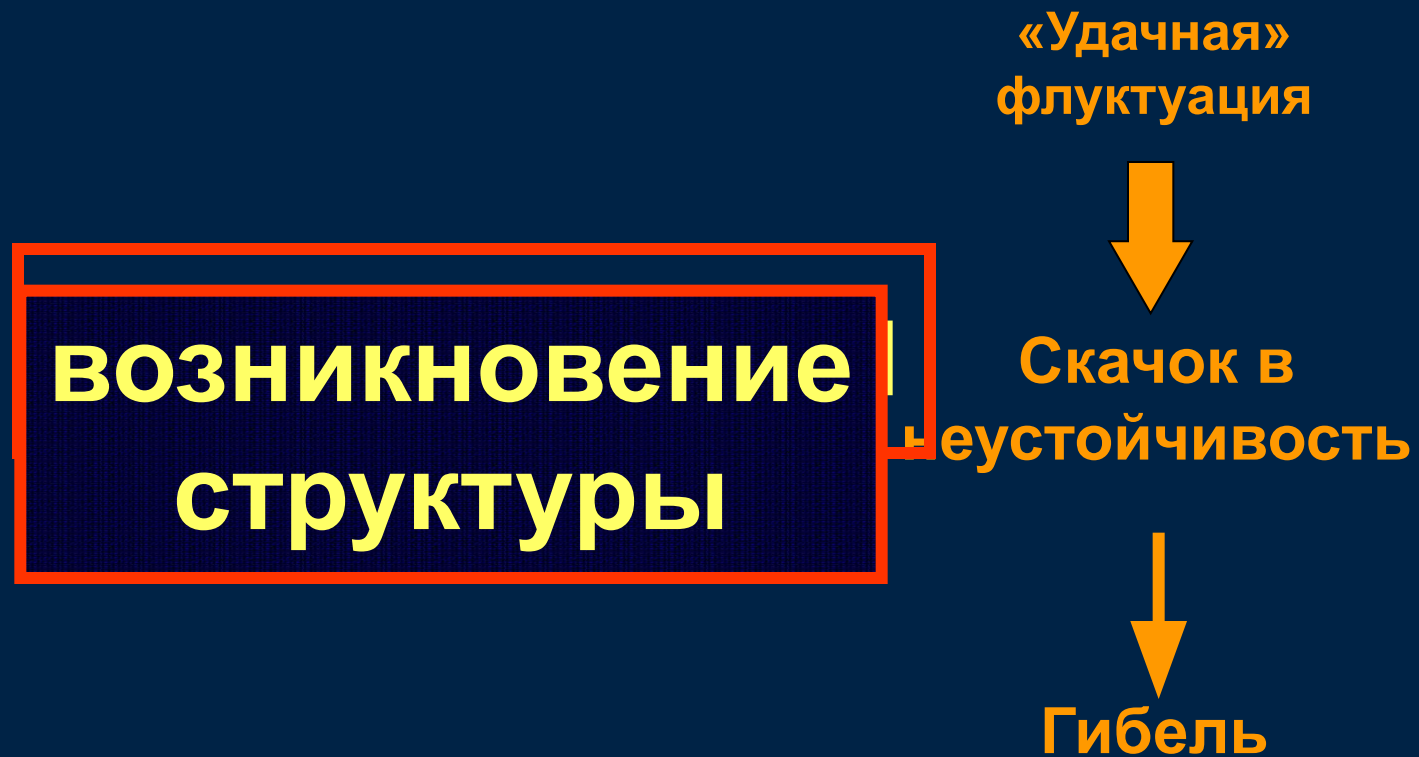
**без**

Сначала система  
поступления извне  
должна быть выведена из состояния  
каких-либо инструкций, команд,  
динамического равновесия

а только **Энергии**



# Самоорганизация



# Палеонтологическая летопись



# Самоорганизация



Альтернативность  
путей развития



нормальный

Эмерджентность

аномальный

# Самоорганизация

## Постройка термитника



Сигнал

Хватай комочек  
и неси!



Сигнал

Кидай свой  
комочек сюда!



# Свойства сложных открытых неравновесных систем

Способность к самоорганизации



**Возникновение жизни**

Способность к развитию



**Эволюция**

# II. Возникновение живых систем



Профессор СУНЦ НГУ к. б. н. О. В. Саблина





# Происхождение жизни – четыре стадии

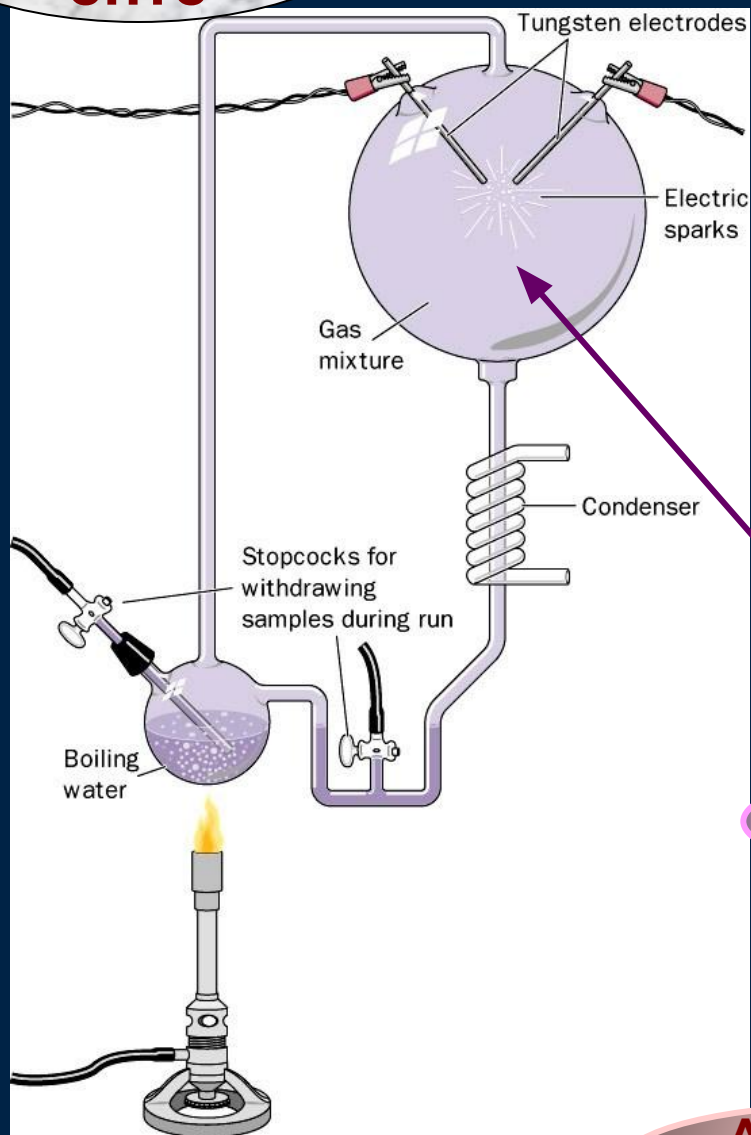
- 1) Абиогенез – синтез малых органических молекул (аминокислот, нуклеотидов)
- 2) Образование биополимеров
- 3) Возникновение самовоспроизведения (наследственности)
- 4) Образование пробионтов



Показано  
В  
эксперименте

# Абиогенез

## Эксперимент Миллера и Ури



«атмосфера» –  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$

Через неделю в смеси были:

белки

глутаминовая кислота,  
метионин, сукцинат, аспартат,

Сахара

уксусная кислота,  
пропионовая кислота, мочевины и др.

Азотистые  
основания

# Что было раньше

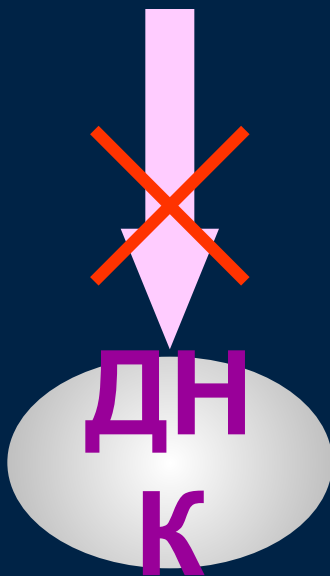
Белки не способны к самовоспроизведению



Генетическая информация

Для белка нужен ген!  
(ДНК)

Для ДНК нужен фермент!  
(белок)



# Что было раньше ?

Раньше должна была быть молекула,  
которая сама:

Содержала генетическую информацию

Была способна к самоудвоению

Обладала каталитической активностью

**Это была  
РНК!**

# Что было раньше ?

Раньше была молекула, которая  
сама:

Содержала генетическую информацию

Была способна к самоудвоению

## А откуда она взялась?

Обладала каталитической активностью

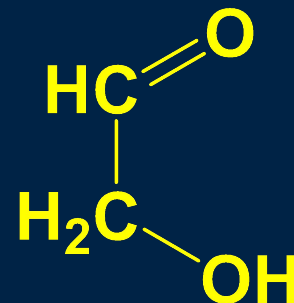
# Это была РНК!

# Активированный рибонуклеотид



Цианоацетилен

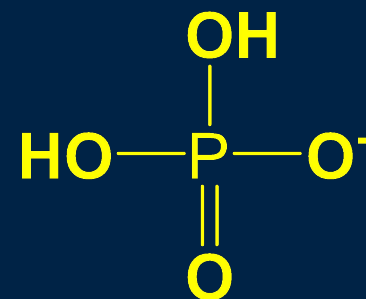
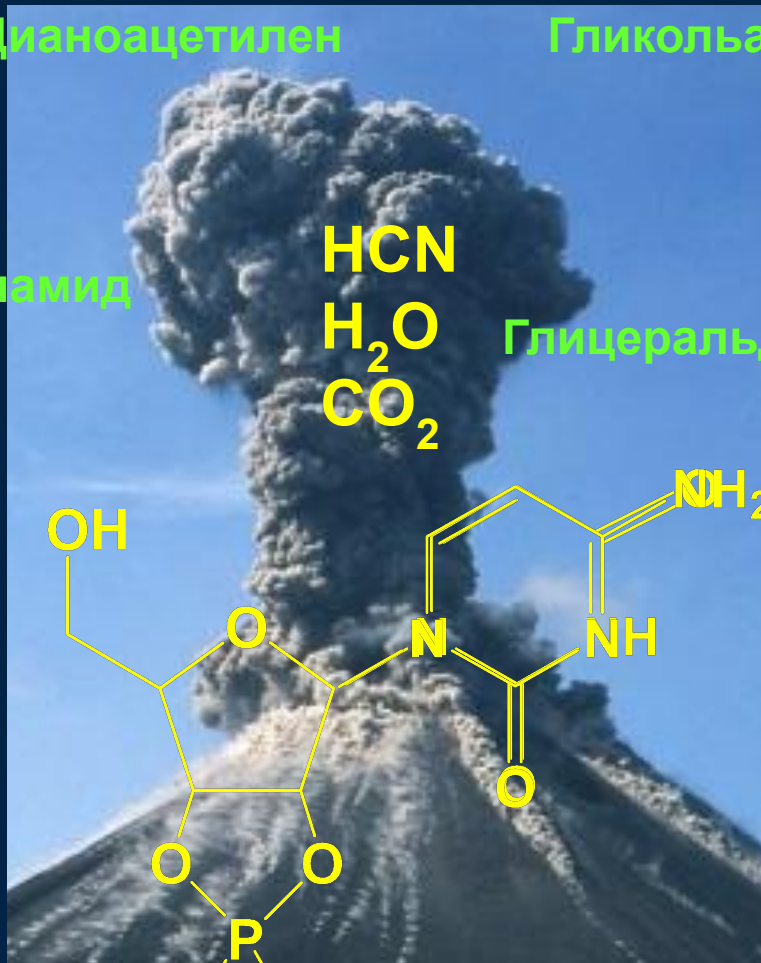
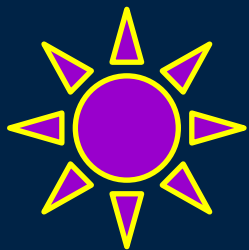
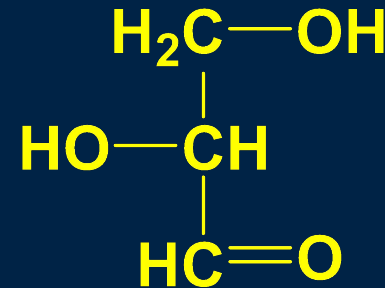
Гликольальдегид



Цианамид



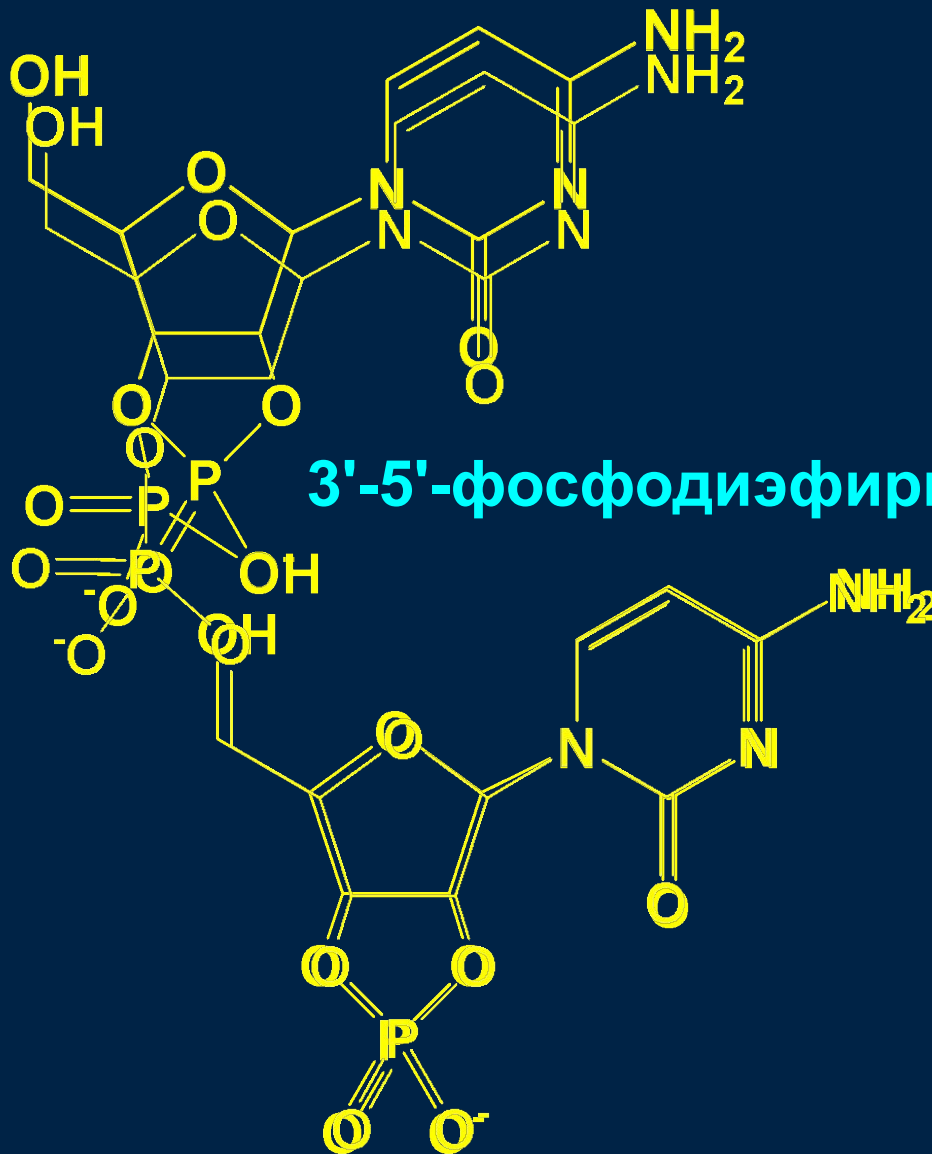
Глицеральдегид



Показано  
в  
эксперименте

рибозиддин-2,3,3-циклофосфат

# Активированный фолиевый кислотный нуклеотид



Показано  
в  
эксперименте

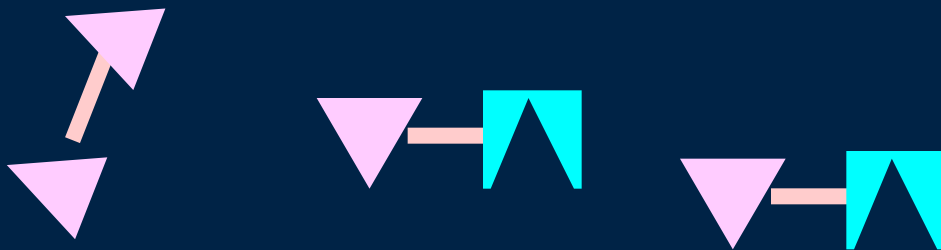
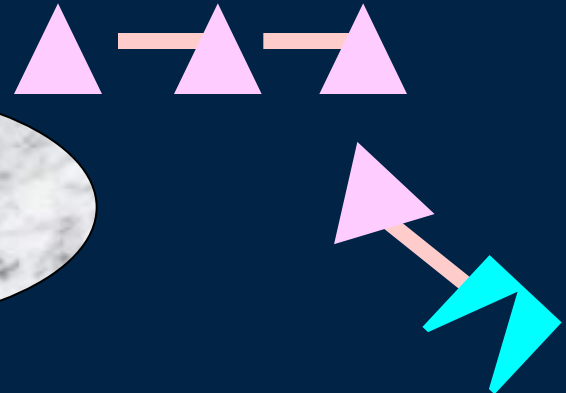
3'-5'-фосфодиэфирная связь

# реакция трансэтерификации



динуклеотид

Показано  
в  
эксперименте



Ал

нды

# РНК-мир

Предполо  
жение



# РНК

Способна к кодированию информации

Способна к самоудвоению без  
участия ферментов

Обладает каталитической активностью

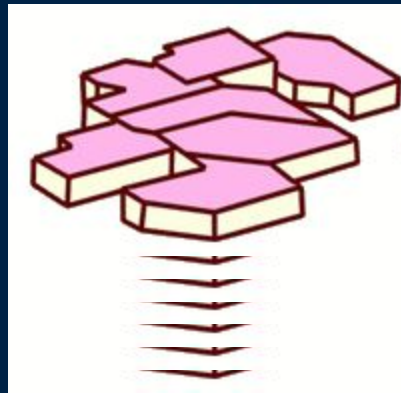
# Но!

РНК – слишком сложная

и **хирально чистая** молекула

# Нужна хиральная Матрица!

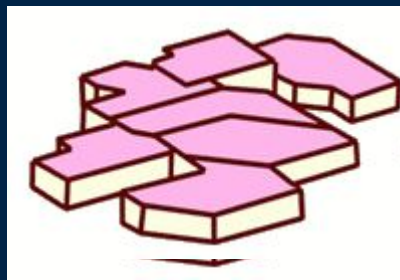
Рост  
микрокристалла



Глина

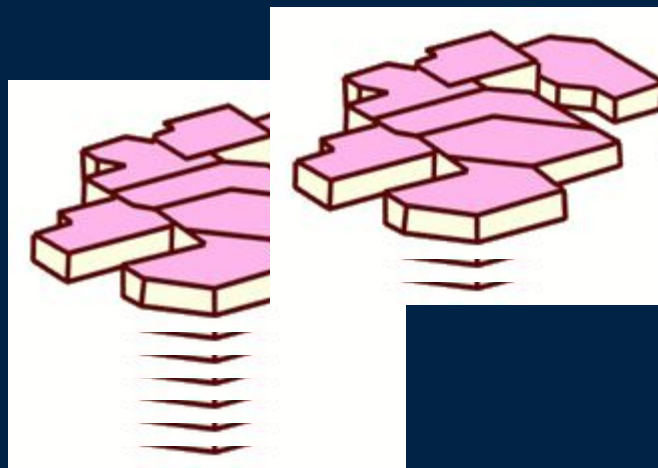
# Матрица

Показано  
в  
эксперименте



Рост  
микрокристаллов

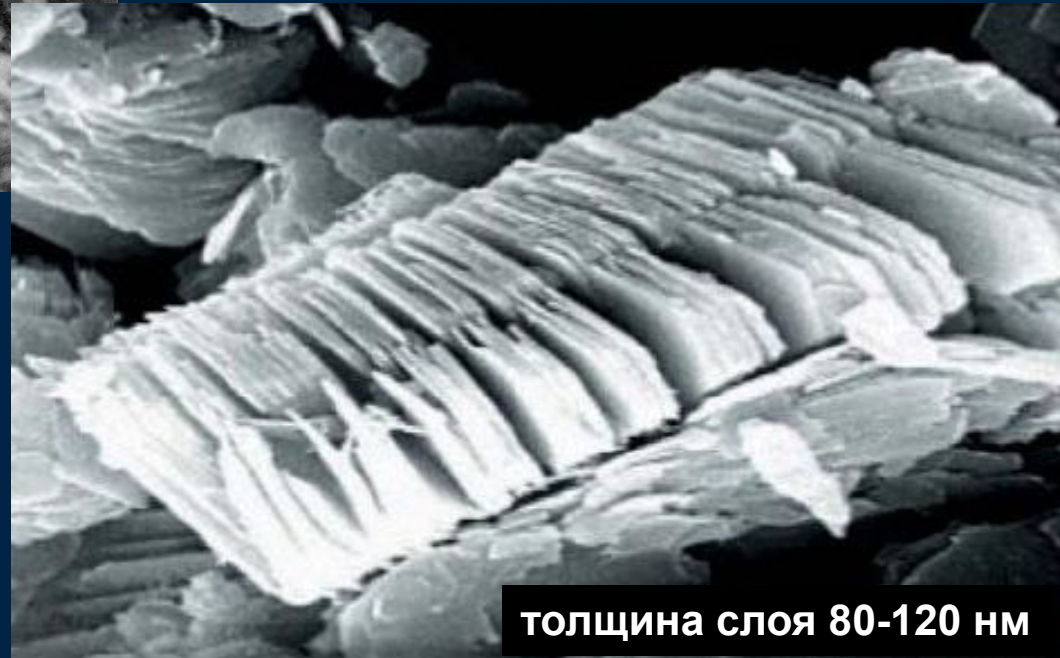
Расщепление  
микрокристалла



**Самовоспроизведение!**

# Глина

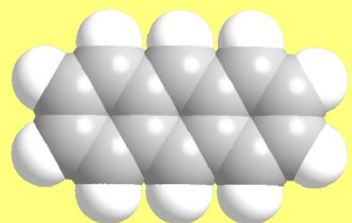
вермиформный каолинит



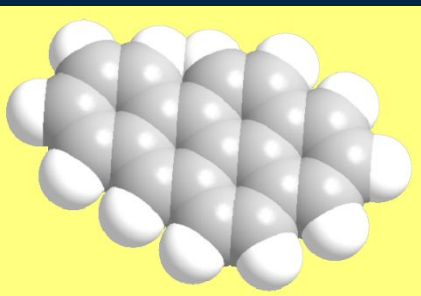
МОНТМОРИЛЛОНИТ

толщина слоя 80-120 нм

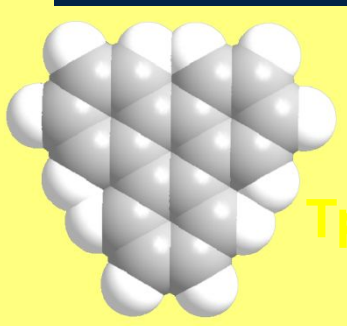
# Гипотеза мира полиароматических углеводородов



Антрацен



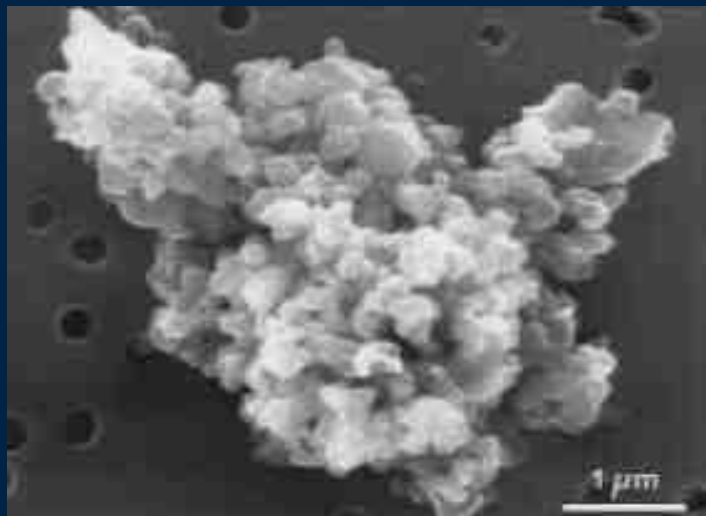
Бензпирен



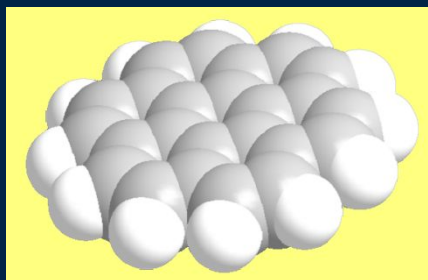
Трифенилен



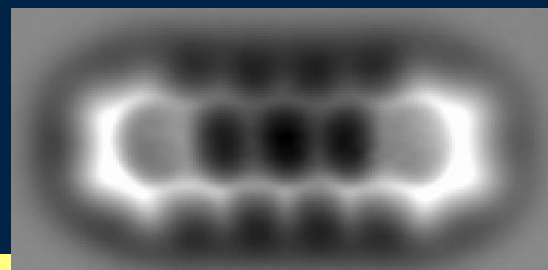
Метеорит Мэрчисон  
28 сентября 1969 г.



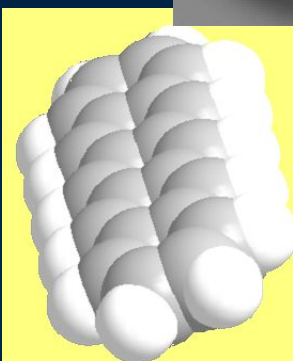
Межзвездная пыль



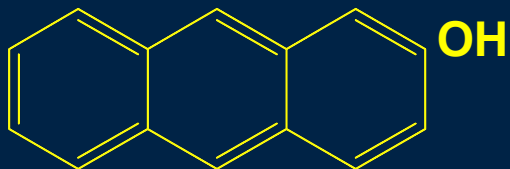
Коронен



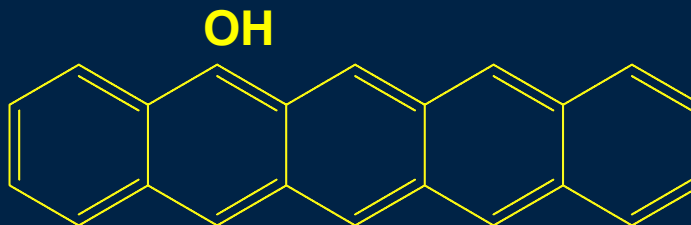
Пентацен



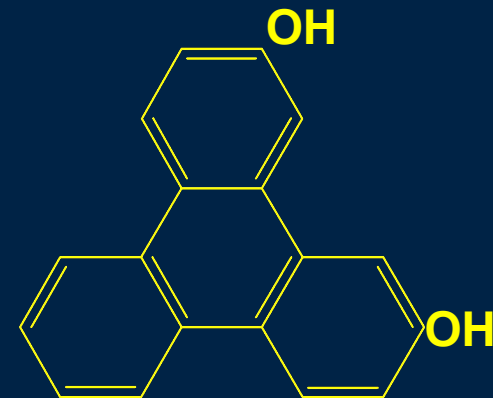
# Полиароматические углеводороды



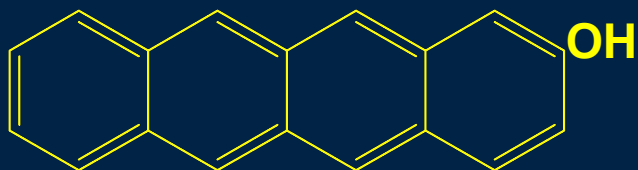
Антрацен



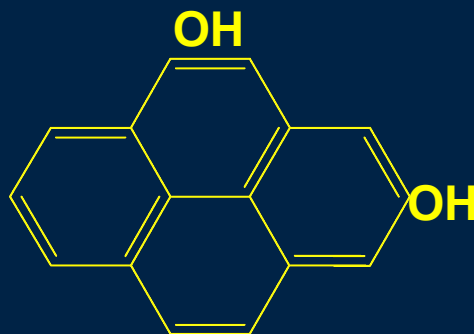
Пентацен



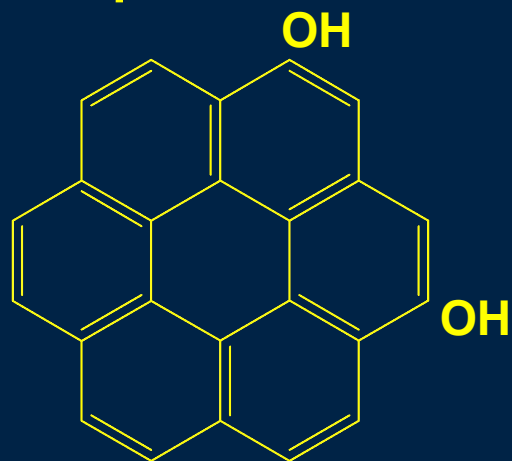
Трифенилен



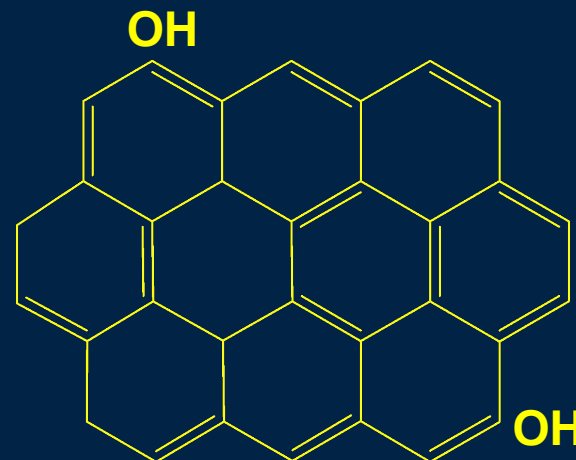
Тетрацен



Пирен



Коронен



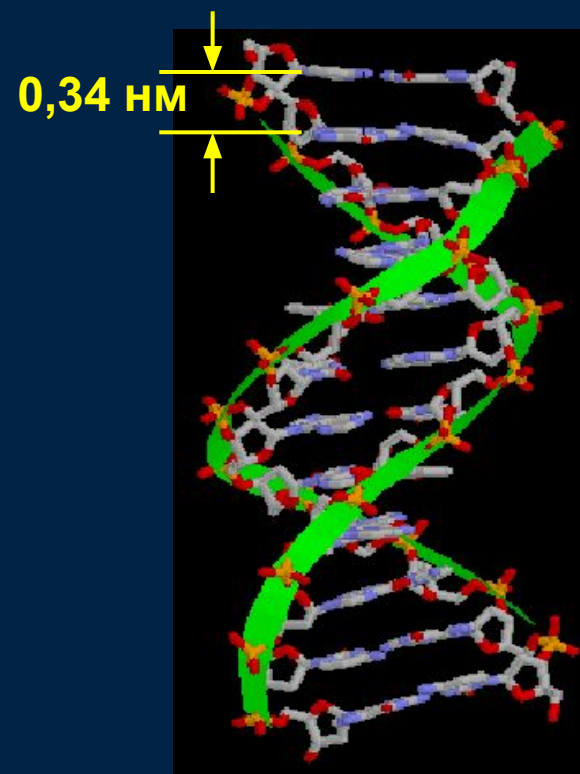
Овален

# Полиароматические углеводороды

Предположение

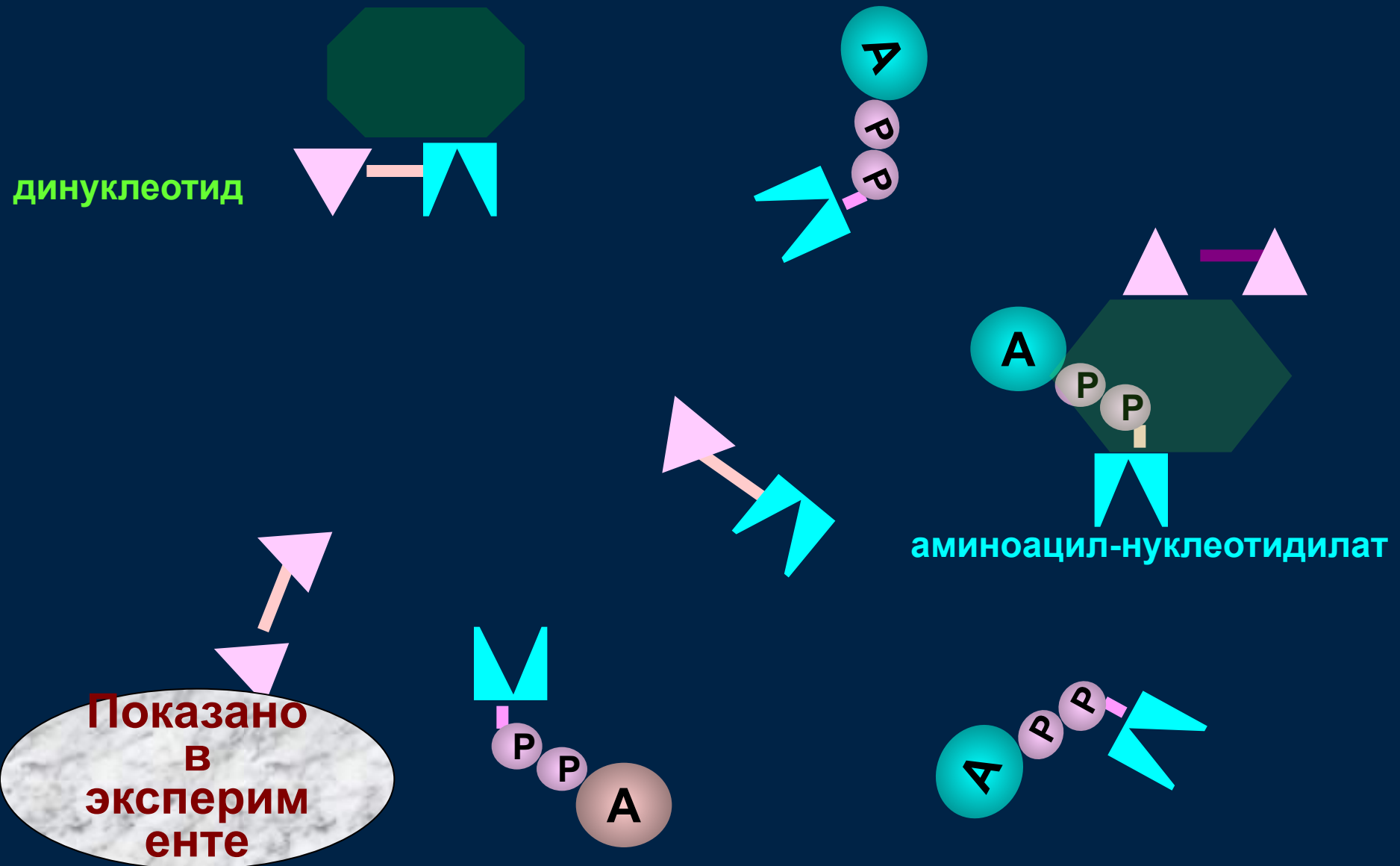


**РНК**



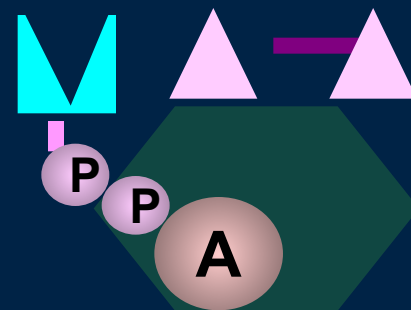
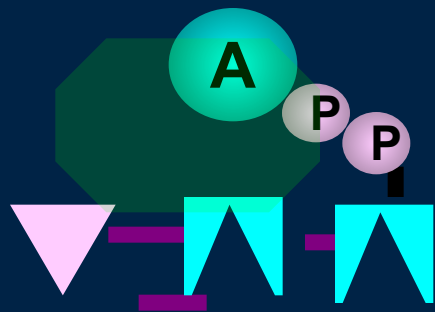
Показано  
в  
эксперименте

# Возникновение генетического кода

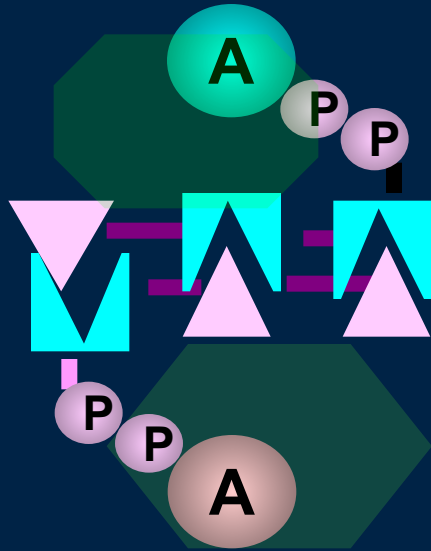




«проген»



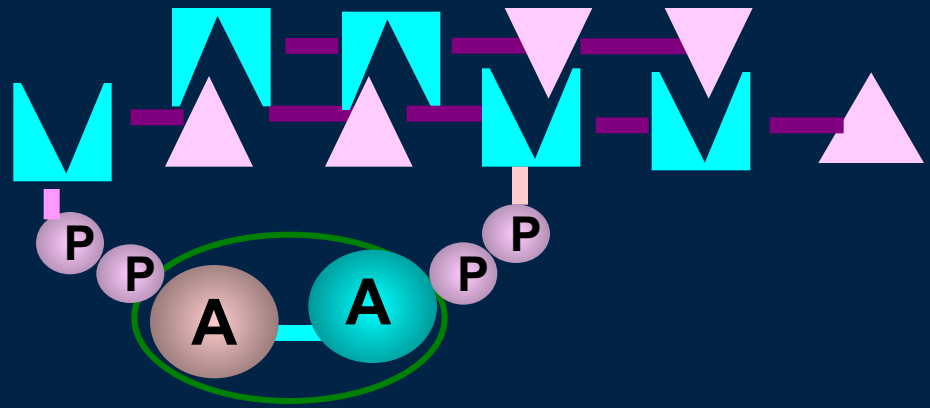
«проген»



Показано  
в  
эксперименте

Аденин

Урацил



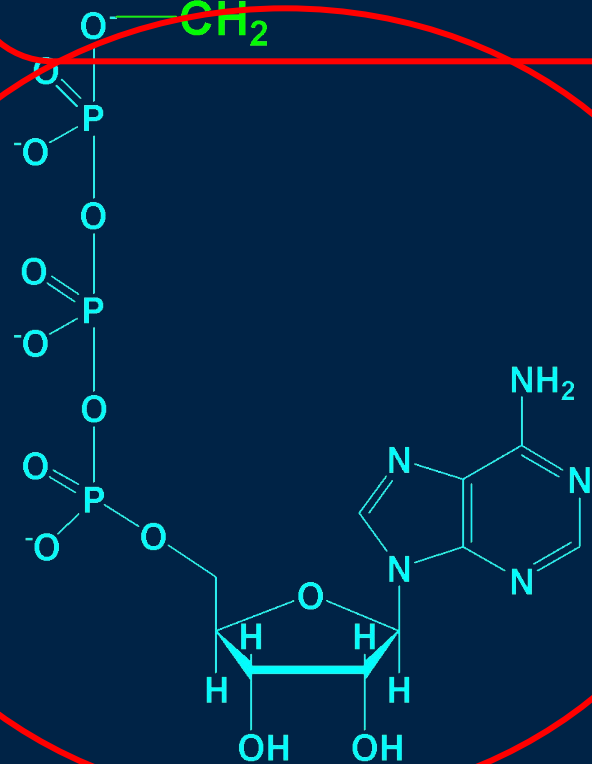
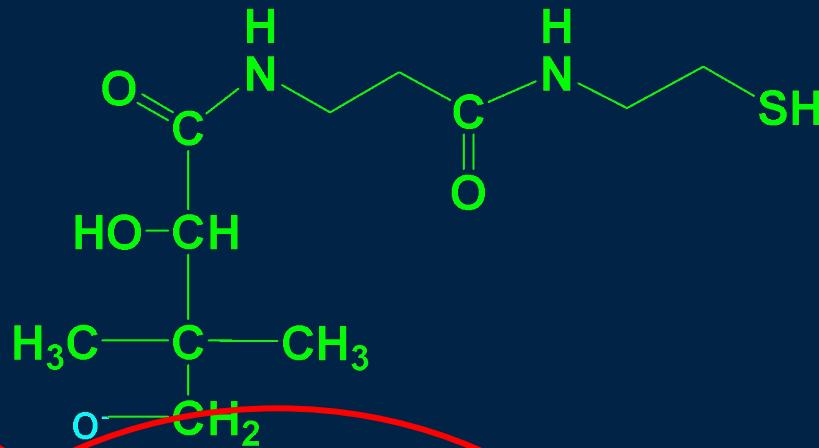
Предположение

РНК-зависимая РНК-полимераза

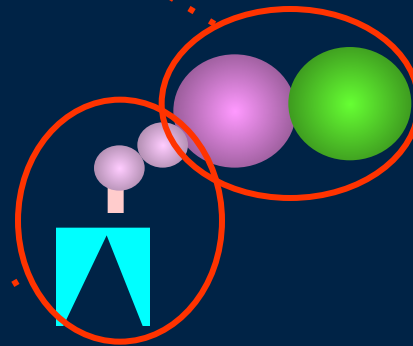
# «Молекулярное живое ископаемое»

## Кофермент А

Дипептид

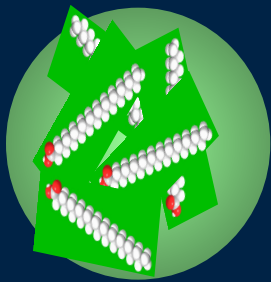


Нуклеотид

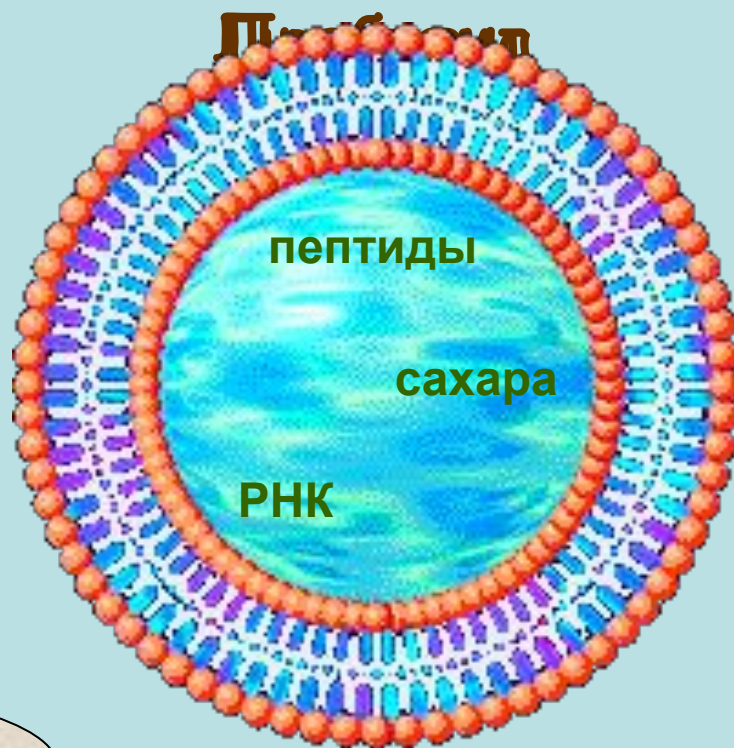


# Происхождение жизни – четыре стадии

- 1) Абиогенез – синтез малых органических молекул (аминокислот, нуклеотидов)
- 2) Образование биополимеров (РНК)
- 3) Возникновение самовоспроизведения (наследственности)
- 4) Образование пробионтов



# Пробионты



**Предполо  
жение**

# Пробионты



Показано  
в  
эксперименте

Модельная протоклетка



**Предполо  
жение**





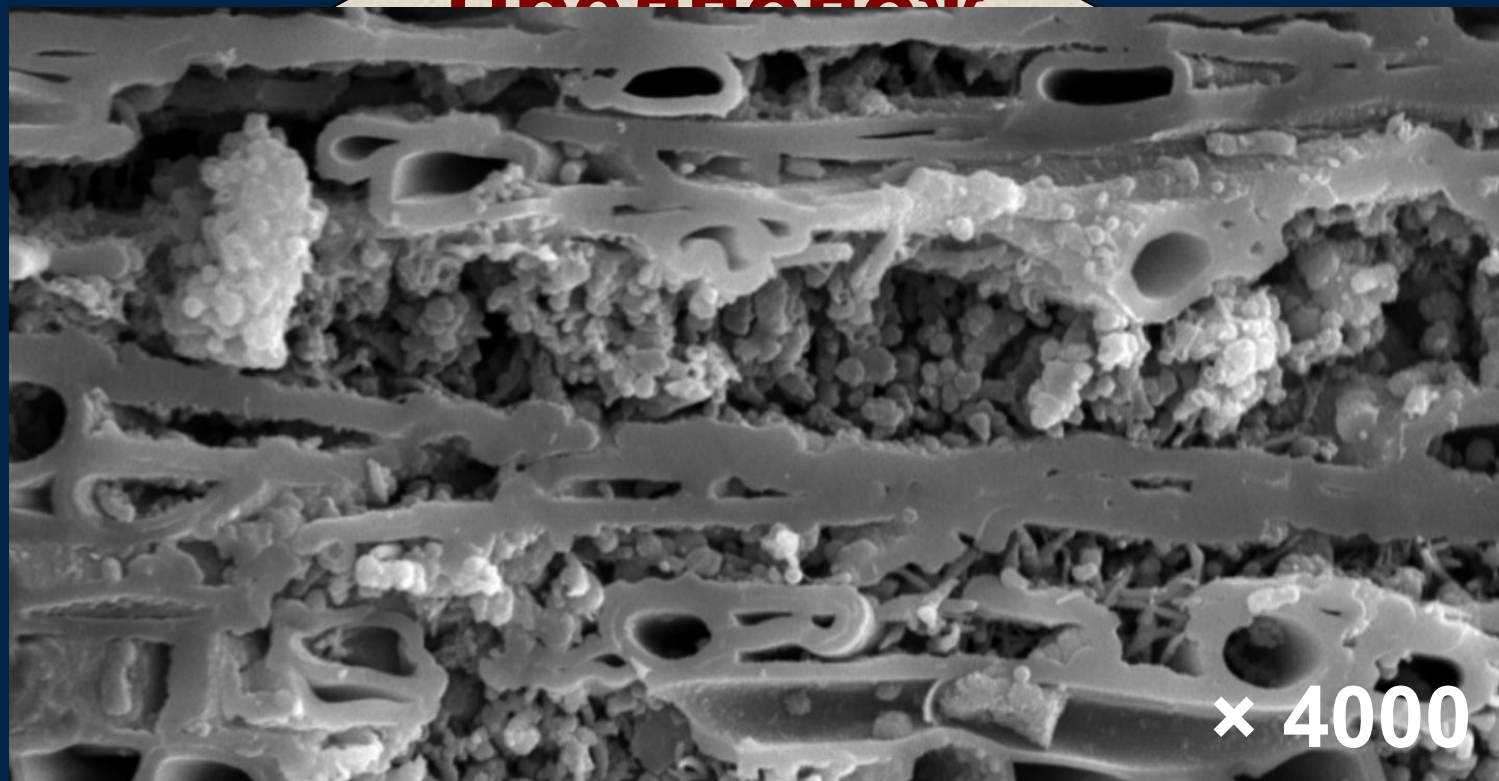
**Предполож  
ение**







Продолжение



× 4000