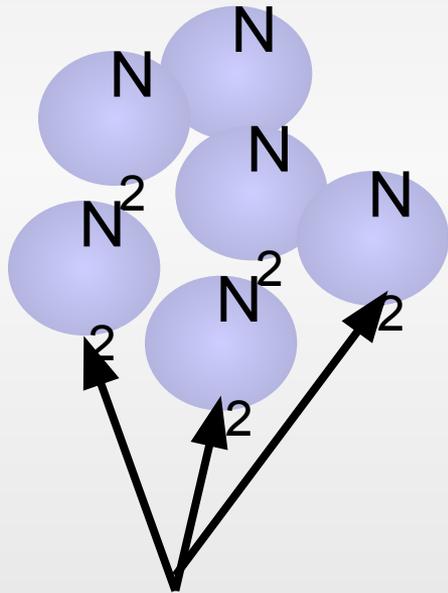


# Происхождение и эволюция жизни на Земле

---

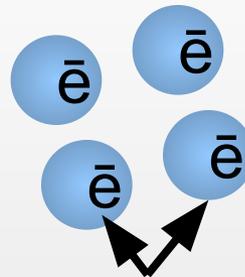
# Фундаментальное отличие объектов биологии от всех остальных

Молекулы одного вещества



**Одинаковые**  
(неотличимы)

Элементарные частицы



**Одинаковые**

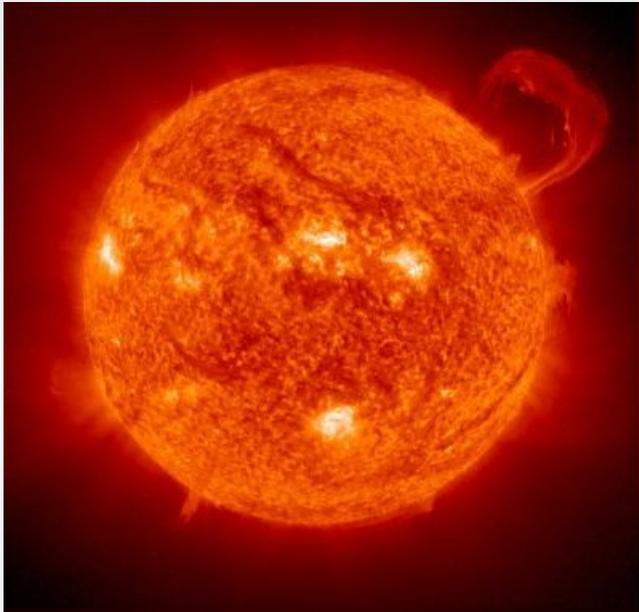
Живые существа



**Все разные!**

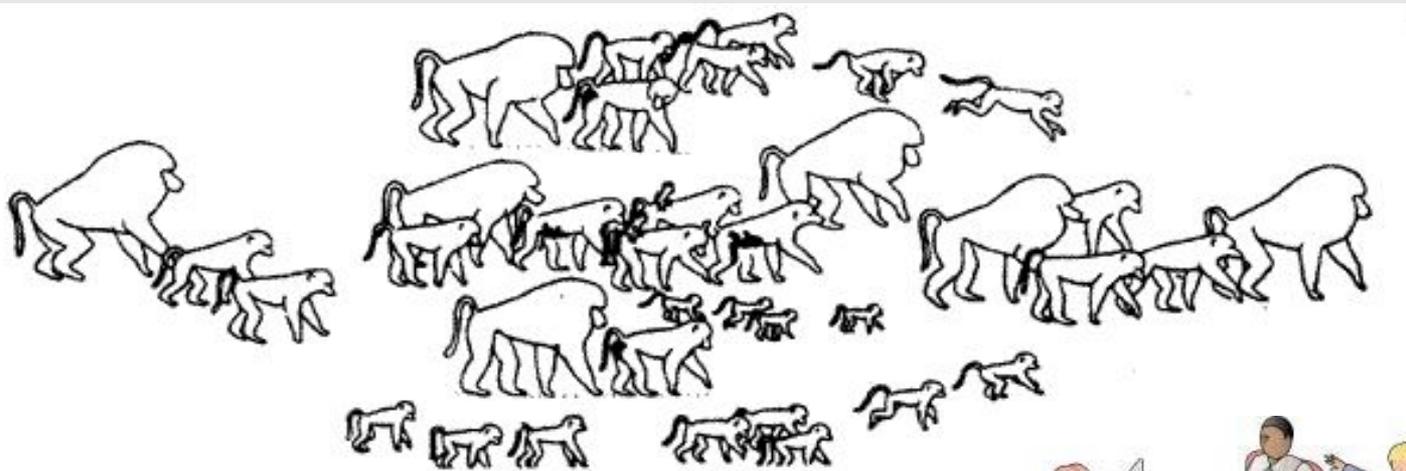
Почему они так разнообразны?

Живые существа – **сложные системы**



Сложная стохастическая система  
элементов **много**, но они **однотипные**,  
связи **случайные**

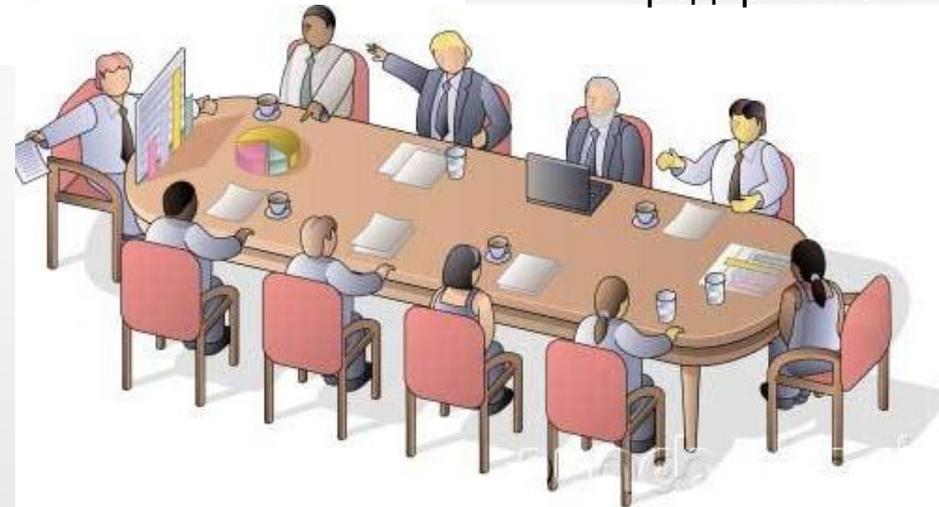
# Живые существа – **СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ**



Стая павианов на марше

Сложная система  
с управлением

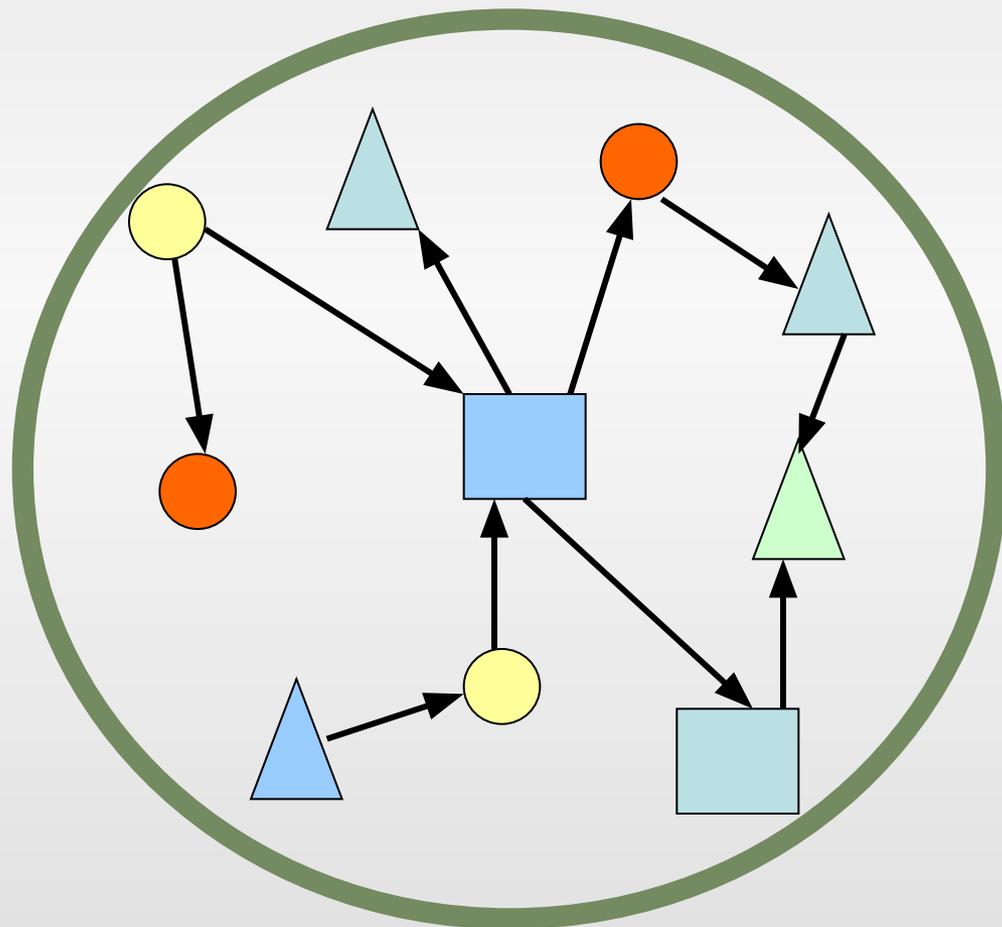
Управление  
предприятием

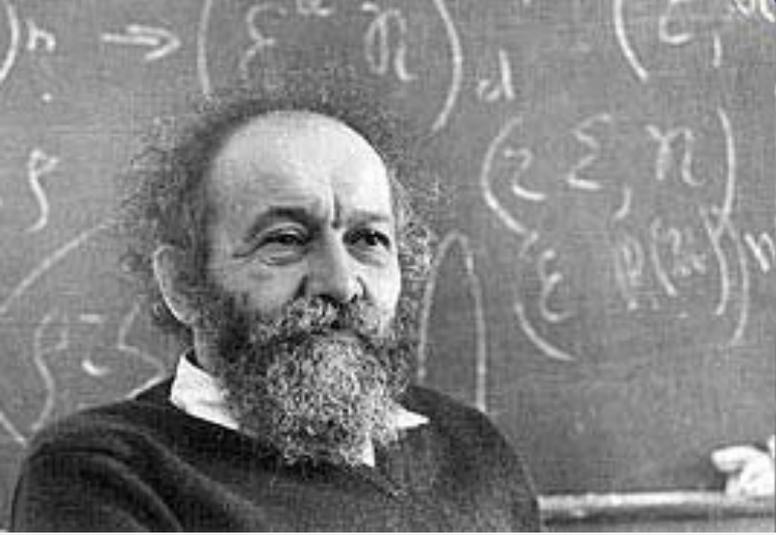


элементов **МНОГО** и они **НЕОДНОТИПНЫ** –  
существует иерархия и **управление**

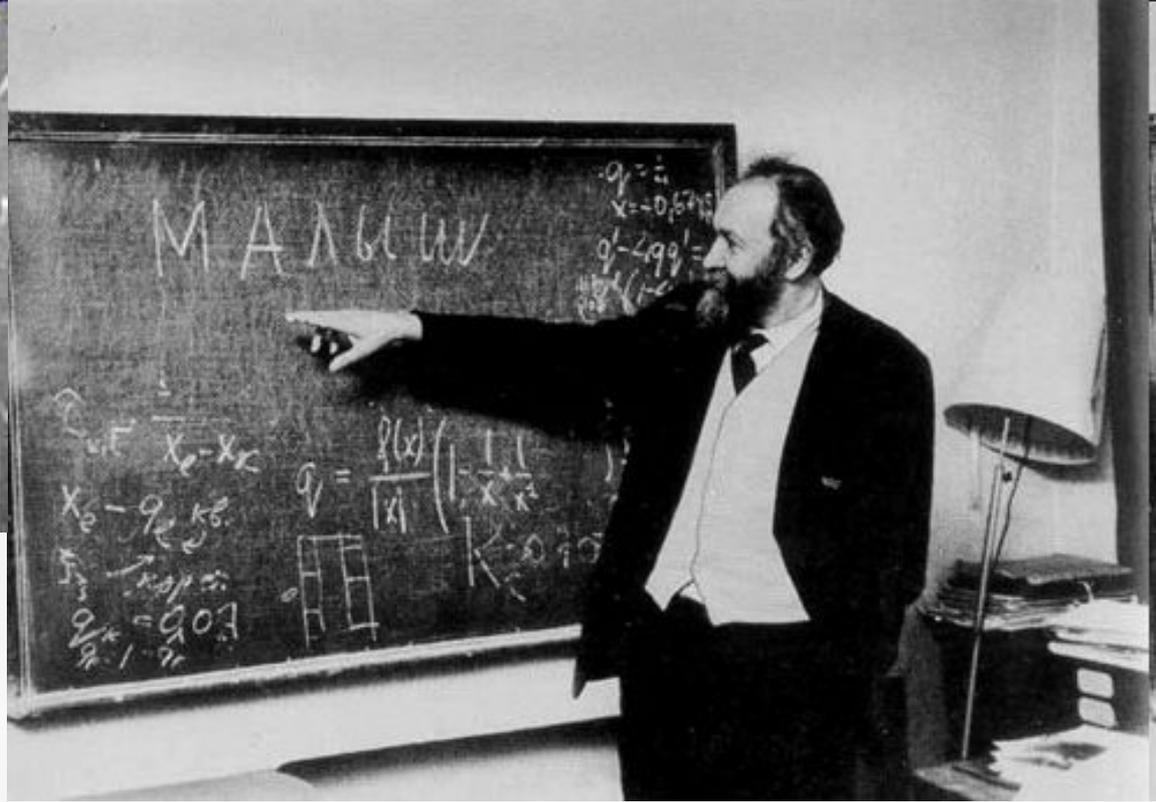
- Система – совокупность **элементов** и **связей** между ними, ведущая себя **как целое**.

Целостность  
возникает потому, что  
связи **не случайны**,  
а направлены на  
**устойчивость**  
системы





Алексей Андреевич  
Ляпунов  
1911-1973



Главные свойства  
жизни

Устойчивость



Управление

Устойчивость = адаптация к  
среде



У системы должна быть **память** о  
сохраняющих реакциях



Запись **информации**

Живые существа – **сложные системы**

с управлением и иерархией

с записью информации

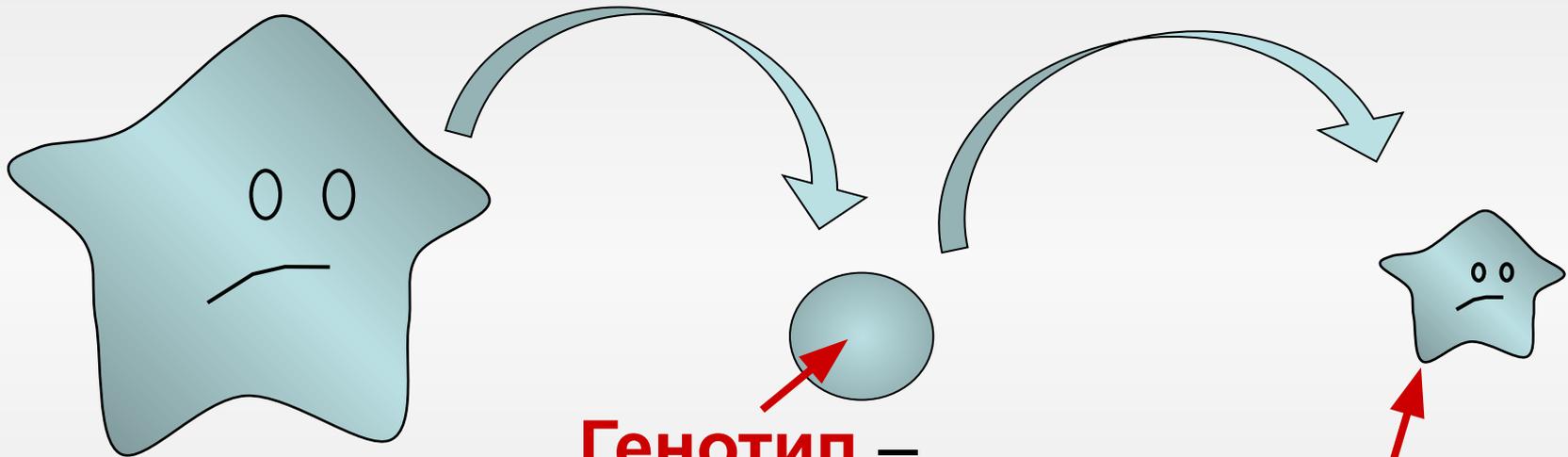


Они недолговечны, но обладают  
самовоспроизведением

# Самовоспроизведение



рост и **развитие**



**Генотип** –

программа организма,  
**информация**

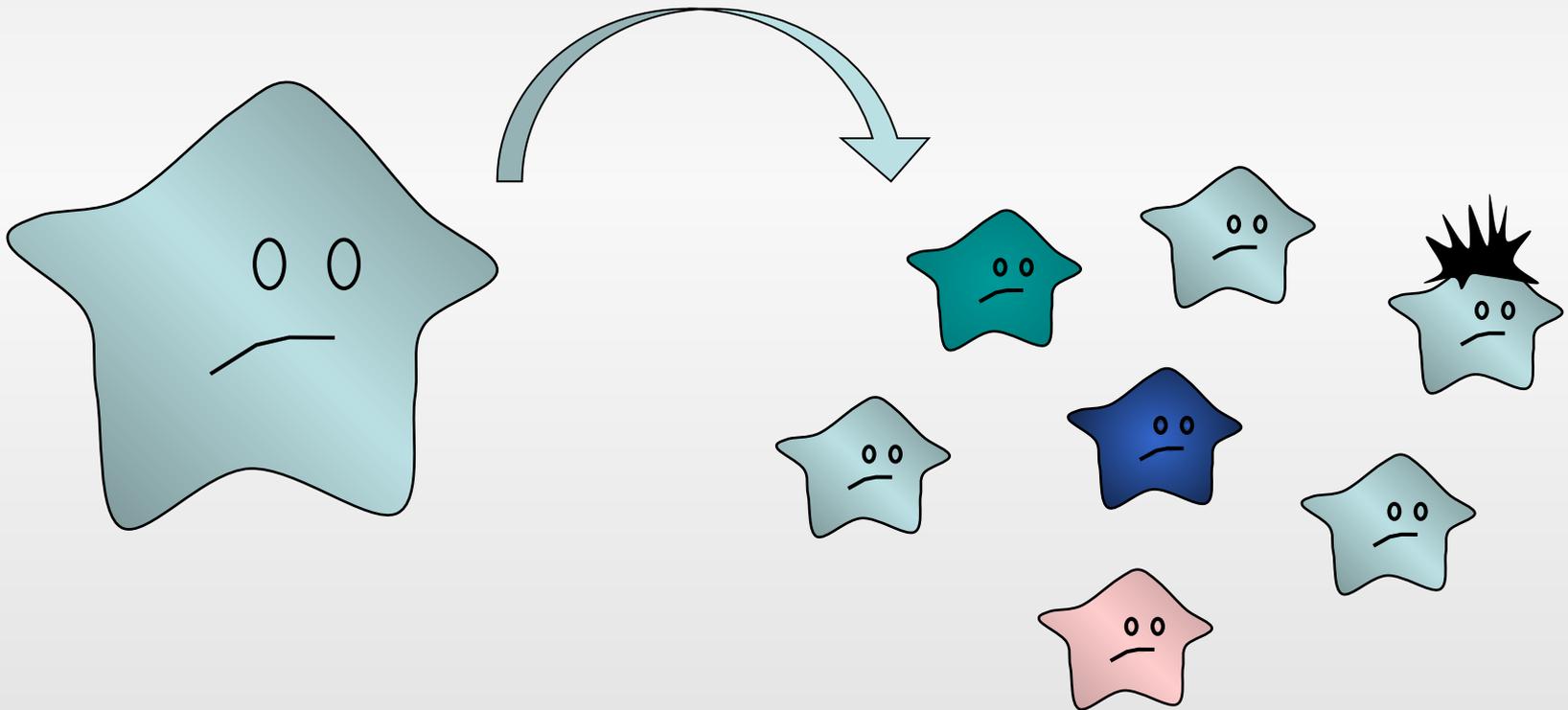
**Фенотип** –

все признаки организма,  
**реализация** программы

Передача информации **с ошибками**



Способность к адаптивной эволюции



Жизнь с точки зрения физики:  
термодинамики  
и теории вероятности

# WHAT IS LIFE?

*The Physical Aspect of the  
Living Cell*

BY

**ERWIN SCHRÖDINGER**

SENIOR PROFESSOR AT THE DUBLIN INSTITUTE FOR  
ADVANCED STUDIES

*Based on Lectures delivered under the auspices of  
the Institute at Trinity College, Dublin,  
in February 1943*



**4339**

CAMBRIDGE

AT THE UNIVERSITY PRESS

1948



Что такое жизнь с  
точки зрения физики

Эрвин Шрёдингер  
1944

Жизнь есть наименее вероятнейшее состояние материи.

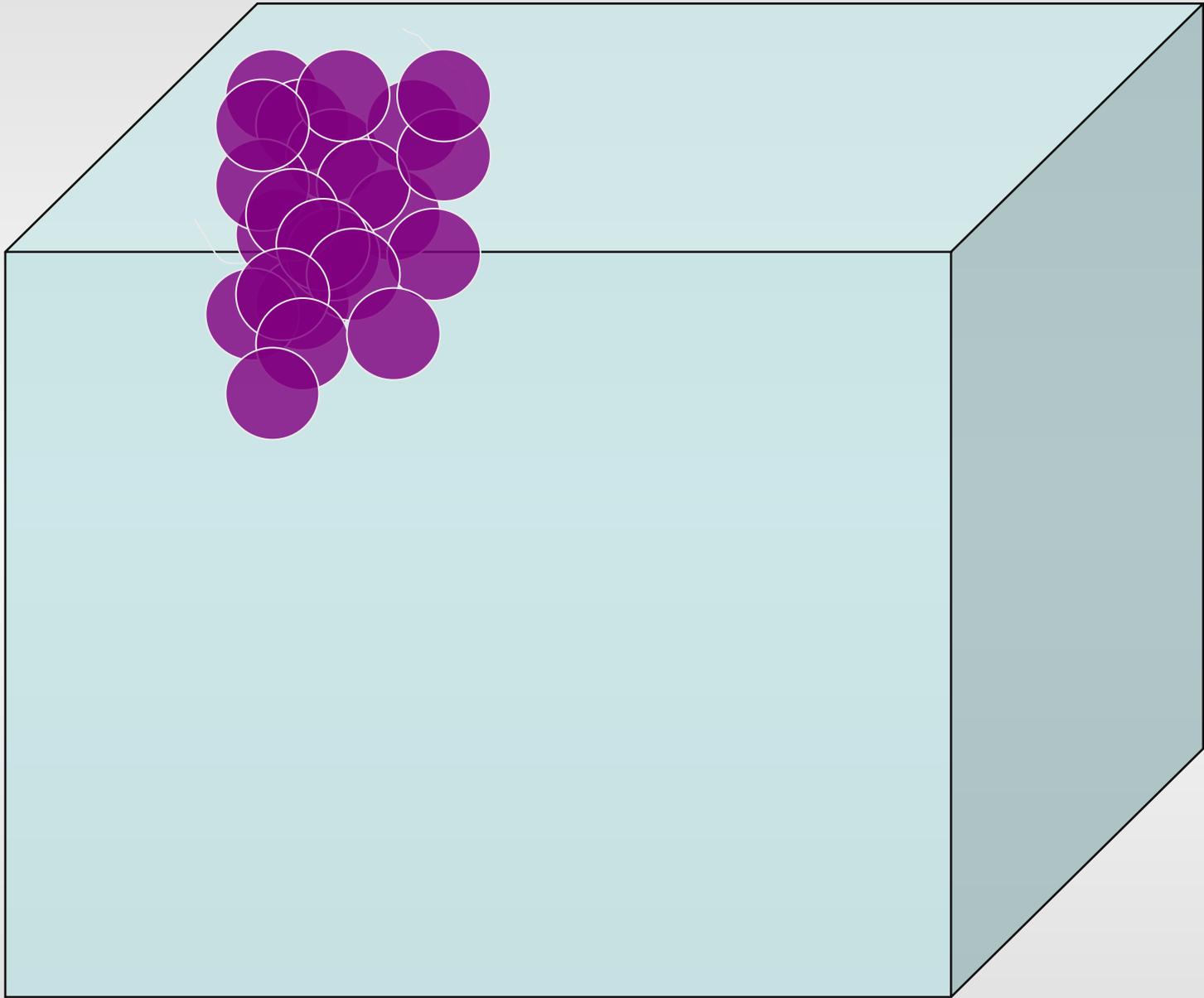
*Эрвин Шрёдингер*

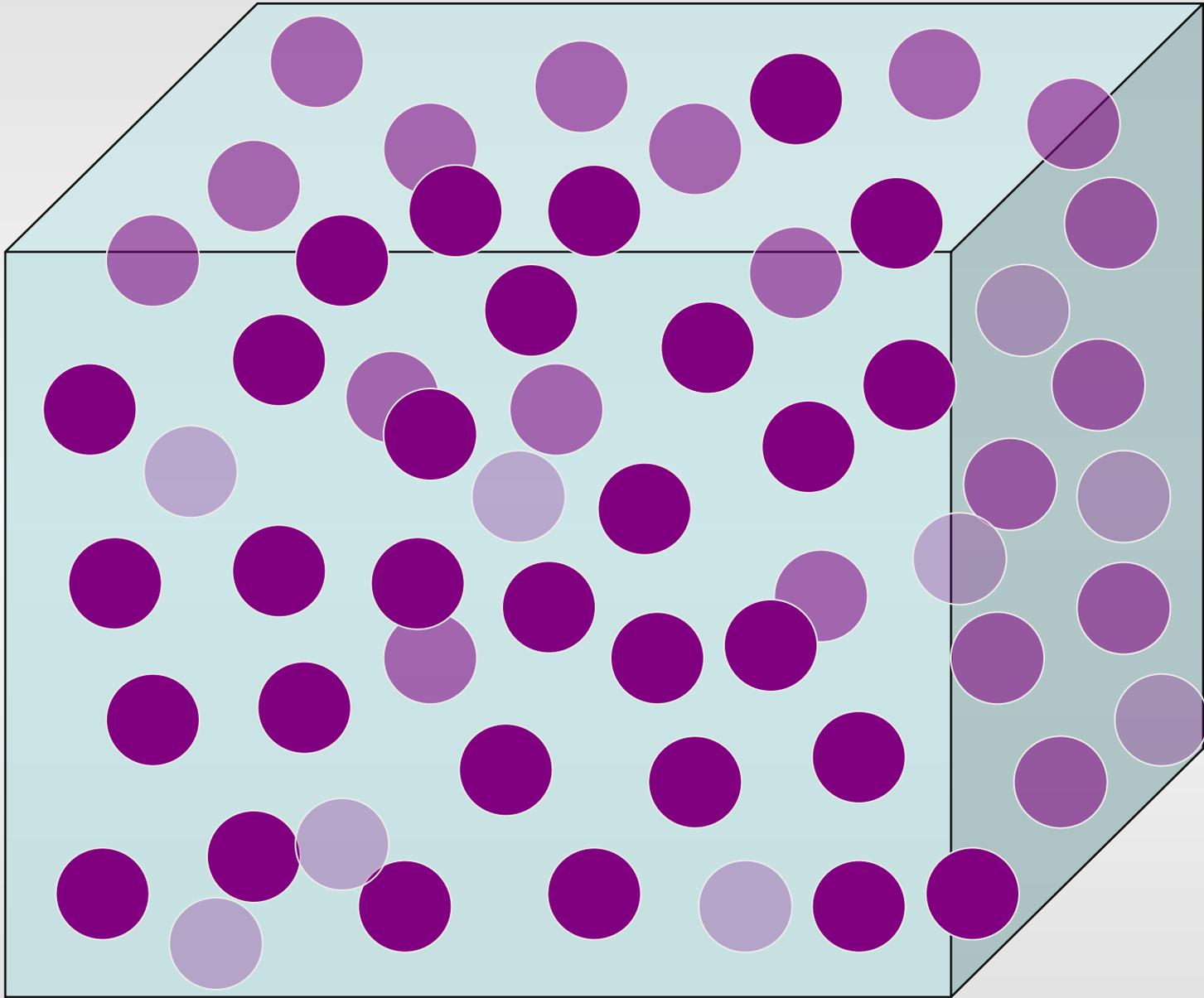
**Второе начало термодинамики:**

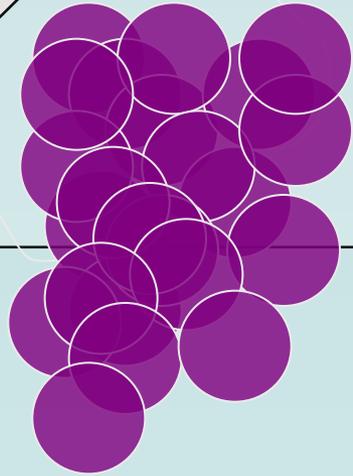
В замкнутой системе энтропия (хаос) со временем возрастает.



Термодинамическая **неравновесность**  
= малая **вероятность** состояния







При таком поведении  
молекул воздуха, в  
аудитории уже бы никого  
не осталось.

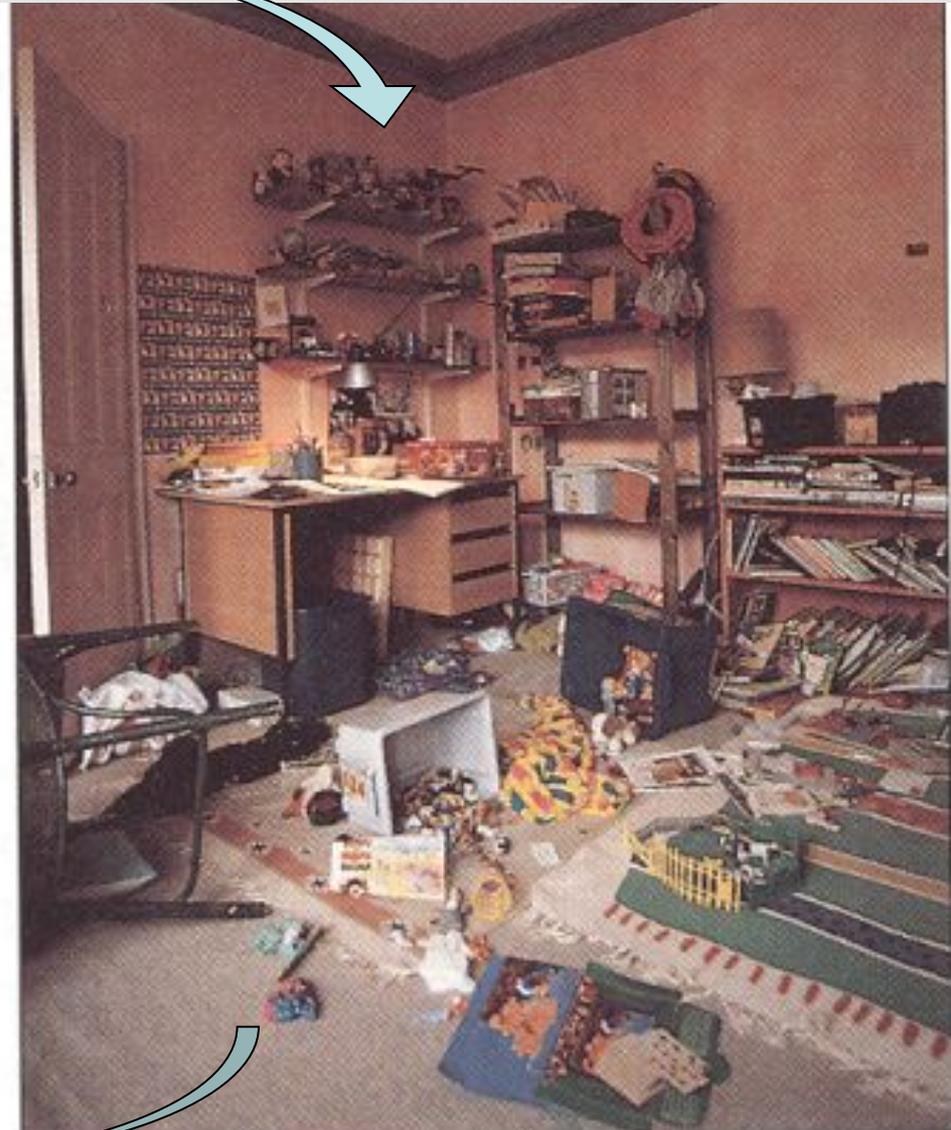
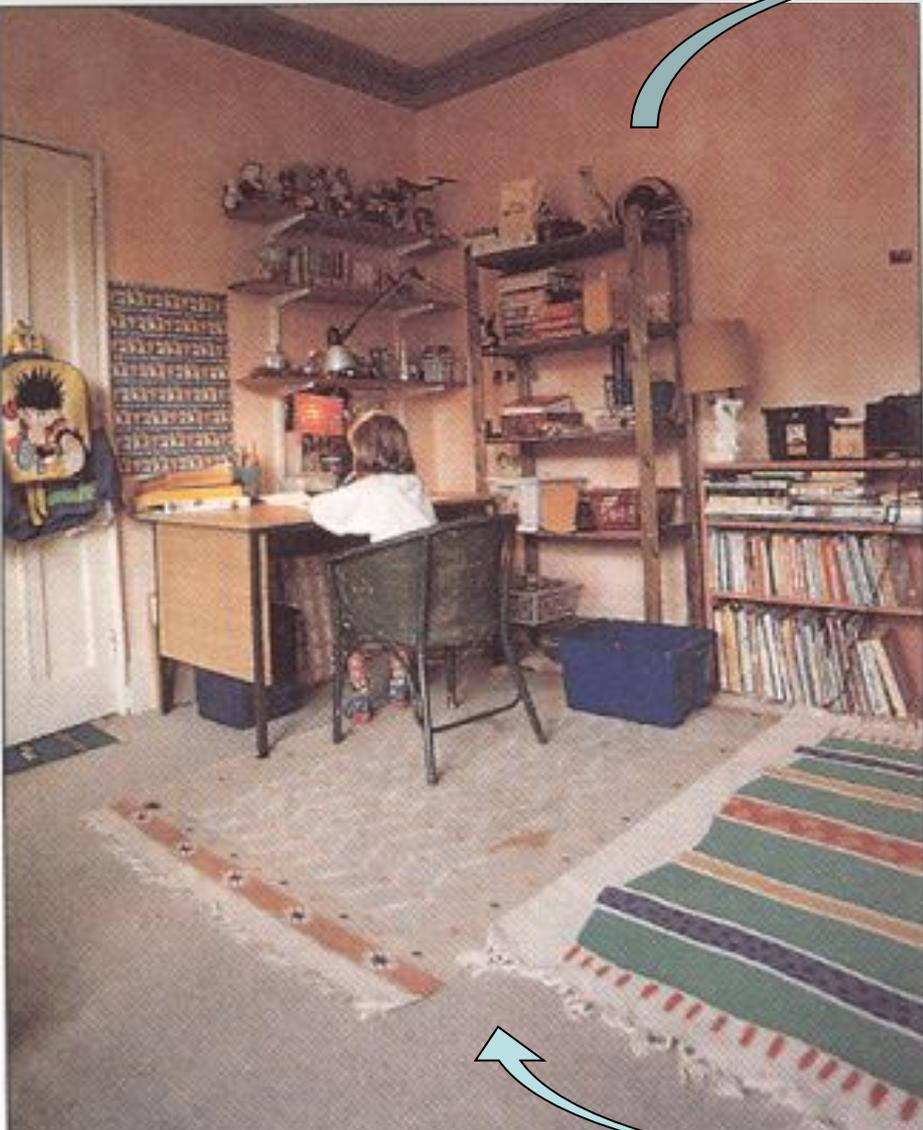
Как возможно поддержание  
маловероятных состояний?

Второе начало термодинамики:

В **замкнутой** системе энтропия (хаос) со временем возрастает.

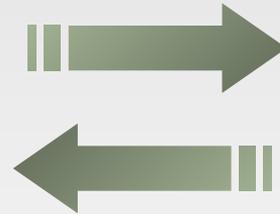
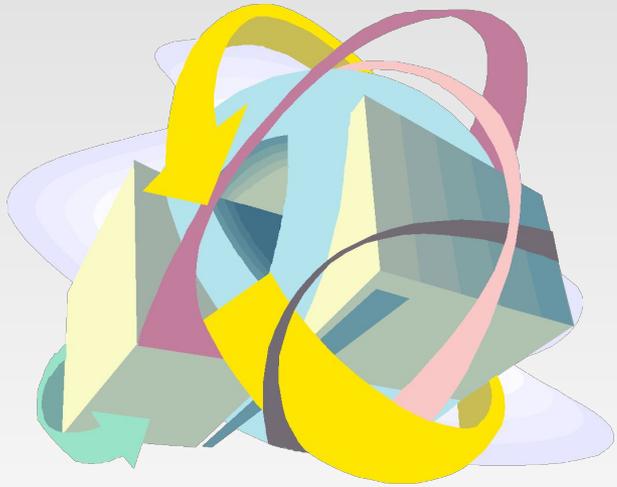
В **открытой** системе поддержание порядка возможно за счет притока энергии извне

# Изменение системы со временем



**Создание порядка требует затрат энергии**

# Что такое жизнь



**среда**

«невероятная» система:

**Сложность**  
+  
**устойчивость**

устойчива только  
при хранении  
информации

Запись информации требует сложности

Жизнь – это активное, идущее с затратой энергии поддержание и воспроизведение сложной структуры (**фенотипа**) на основе вложенной в нее программы (**генотипа**).

*Б.Н. Медников*

Свойства  
живого

Сложность

Устойчивость

Управление и иерархия

Информация

Открытая система  
(приток энергии)

реакции на  
среду

Самовоспро-  
изведение

Способность к  
адаптивной  
эволюции

сознание

---

# Происхождение жизни

---

- 
- Краткая история
  - Методическая сложность
  - Что мы знаем и откуда
  - Теория абиогенеза Опарина-Холдэйна
  - Мир РНК
  - Самоорганизация. Гиперциклы.
-

До 19 века проблемы не существовало.

Господство идеи **самозарождения**

---

Середина 19 в.

---

**1859** – Дарвин «Происхождение видов»

**1858** – Рудольф Вирхов «Всякая клетка из клетки»

**1862** – Пастер окончательно доказал невозможность самозарождения

**в наши дни!**



Проблема **возникновения в прошлом**

# Возникновение жизни

## ЧТО возникло?

Где?

на Земле

Когда?

~ 4 млрд. лет назад

Как?

# Где и когда – возможные решения

**Жизнь**

Существует  
вечно



*Возражение:*  
Конечность возраста  
Вселенной –  
13.7 млрд. лет

Возникла в какой-то  
момент прошлого

На Земле



Наиболее  
вероятно

В космосе



Гипотеза  
**панспермии**

Не отвергается,  
но маловероятна

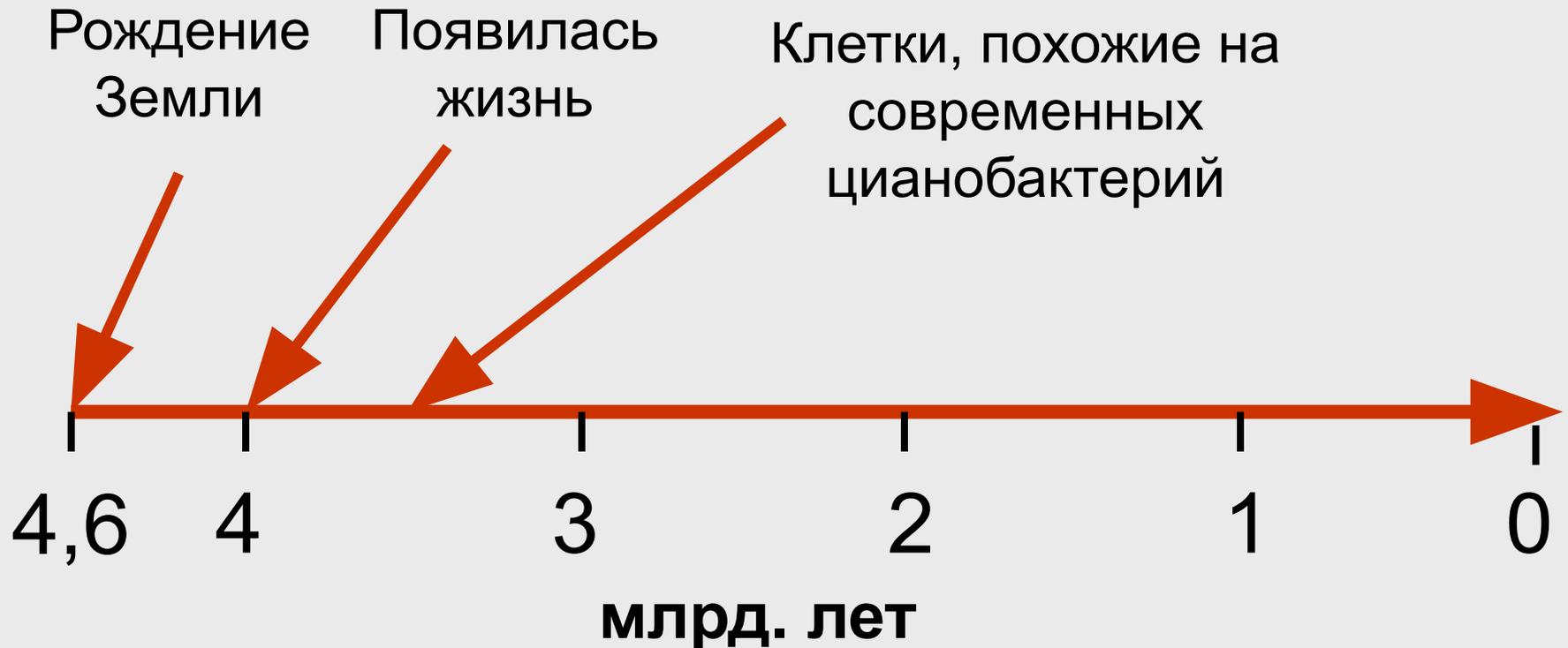
---

# Панспермия – за и против

---

# Панспермия – ЗА

Слишком быстрое появление жизни на Земле



# Панспермия – 3А

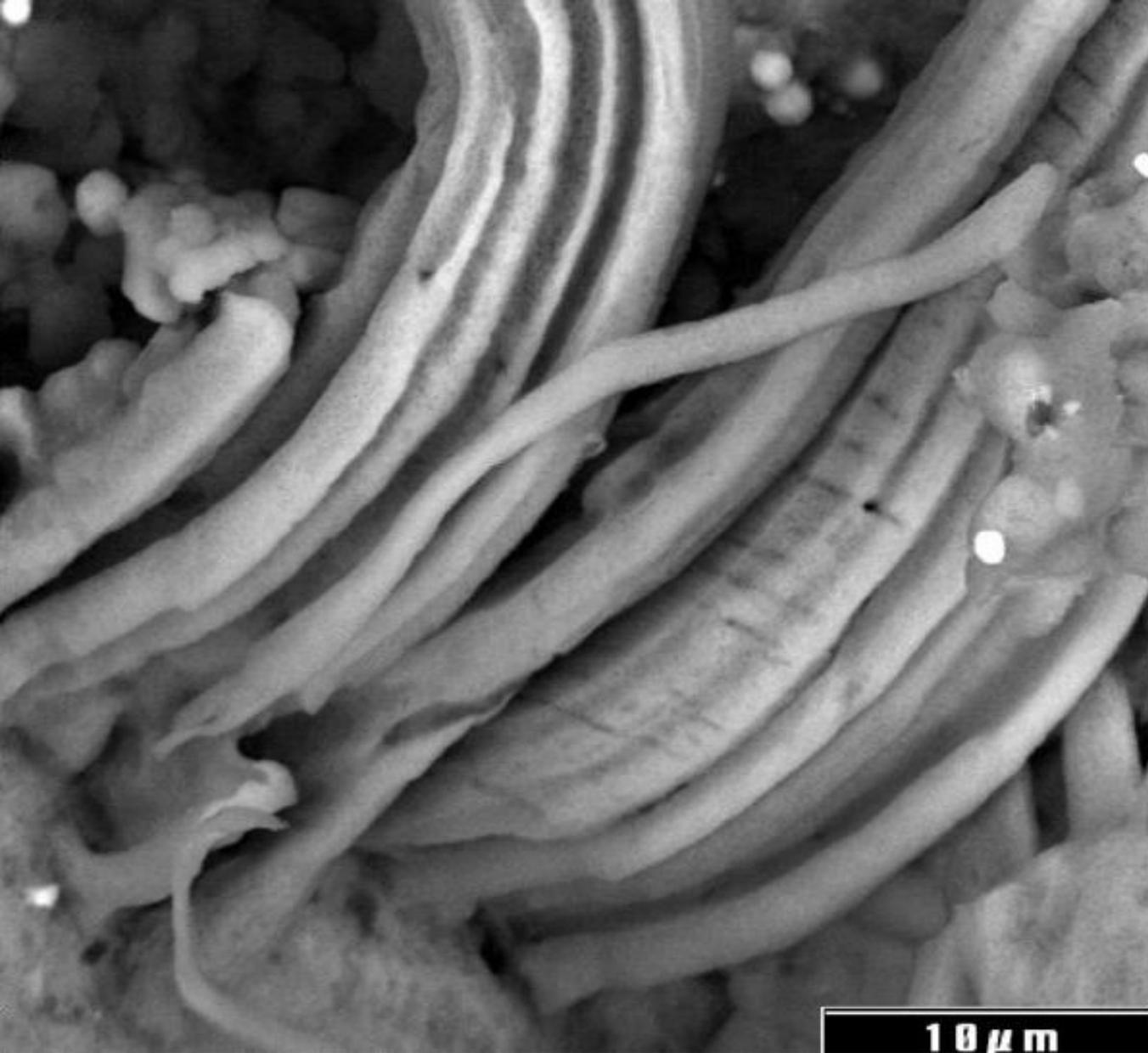
## ■ Органические вещества в метеоритах и космических облаках



Углистые  
хондриты  
Содержат  
сахара,  
аминокис-  
лоты,  
азотистые  
основания



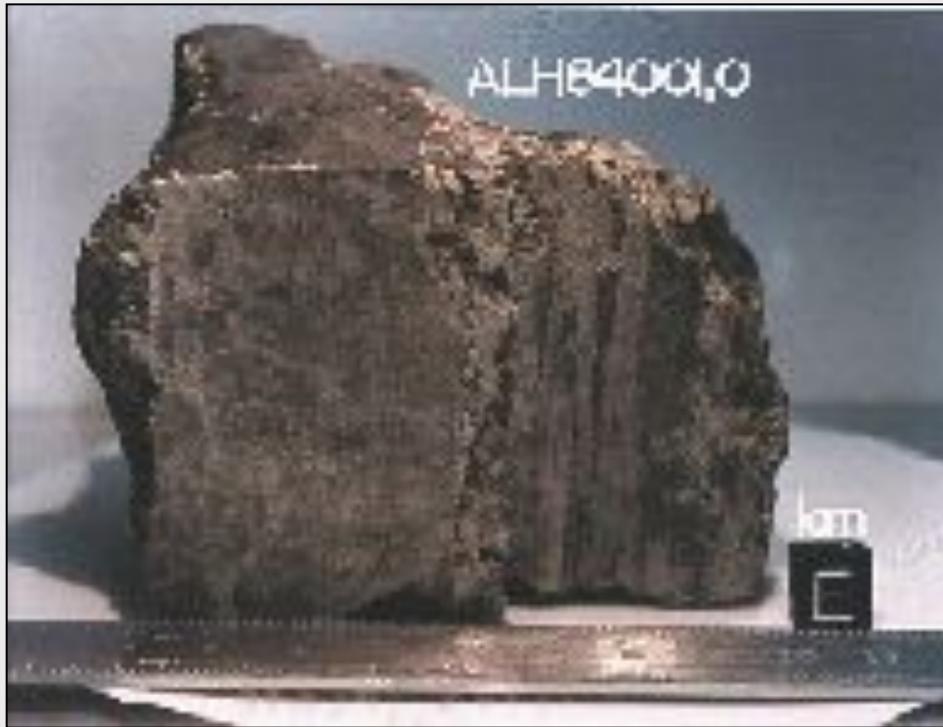
Мурчисон. Упал в Австралии, 1969



Структуры в  
метеоритах,  
напоминающие  
земных  
цианобактерий

**Против:** могут иметь неорганическое происхождение

# Марсианский метеорит



Метеорит ALH 84001

- Найден в 1984

- Покинул Марс 16 млн. лет назад, упал в Антарктиде 13 000 лет назад



Органические включения

ALH84001

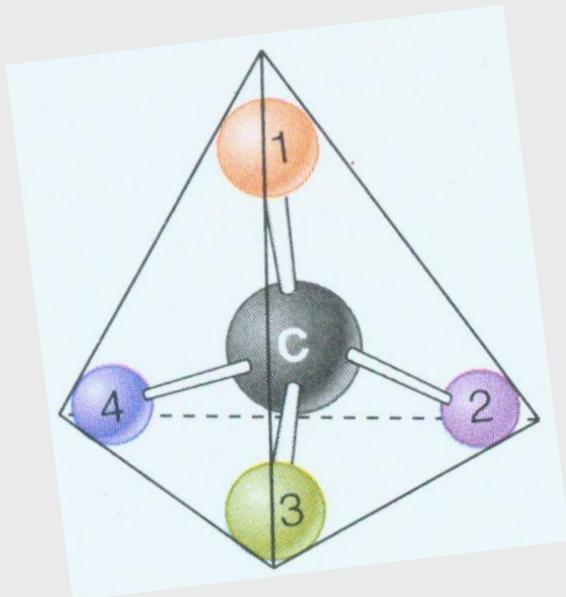


20... электронная микроскопия обнаружила  
структуры, напоминающие окаменелых бактерий

Но диаметр в 10 раз меньше, чем у самых мелких земных!

# Панспермия – ПРОТИВ

- Органика из метеоритов **не обладает хиральной чистотой**
- Это указывает на ее **абиогенное** происхождение

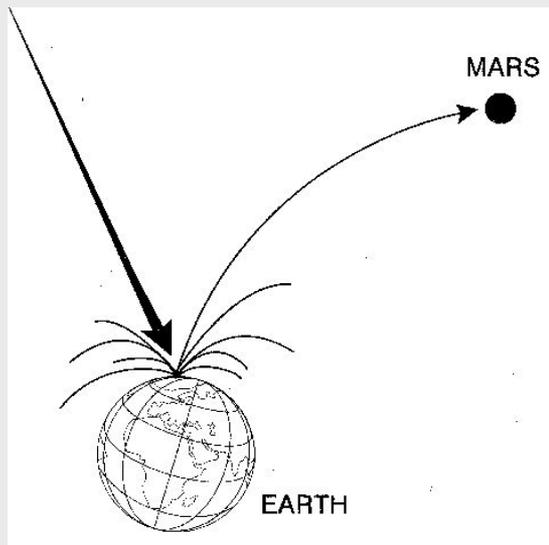
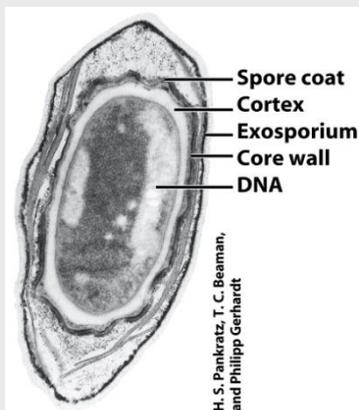


# Панспермия – ПРОТИВ

- Космический вакуум и жесткое излучение смертельны для живых организмов
- **Споры бактерий** могут вынести путешествие внутри Солнечной системы, но не за ее пределами

# Эксперименты по выживанию спор бактерий

## 10-15 дней в открытом космосе



Воздействие	Выживание
Открытый космос, солнечные лучи	$1 / 10^6$
Под кварцевым стеклом	$1 / 10$ (в темноте) $1 / 10^7$ (на свету)
Под слоем глины	$1 / 10$ (в темноте) $1 / 10^3$ (на свету)
Внутри метеорита	$1 / 10$ (в темноте) $1 / 10^3$ (на свету)

# Панспермия – ПРОТИВ

- Несмотря на длительные поиски жизни во Вселенной, ее следов пока не обнаружено

Жизнь – редкое явление

- Тем не менее, предполагается, что **микробная жизнь** могла возникать во Вселенной неоднократно

1950

## Парадокс Ферми

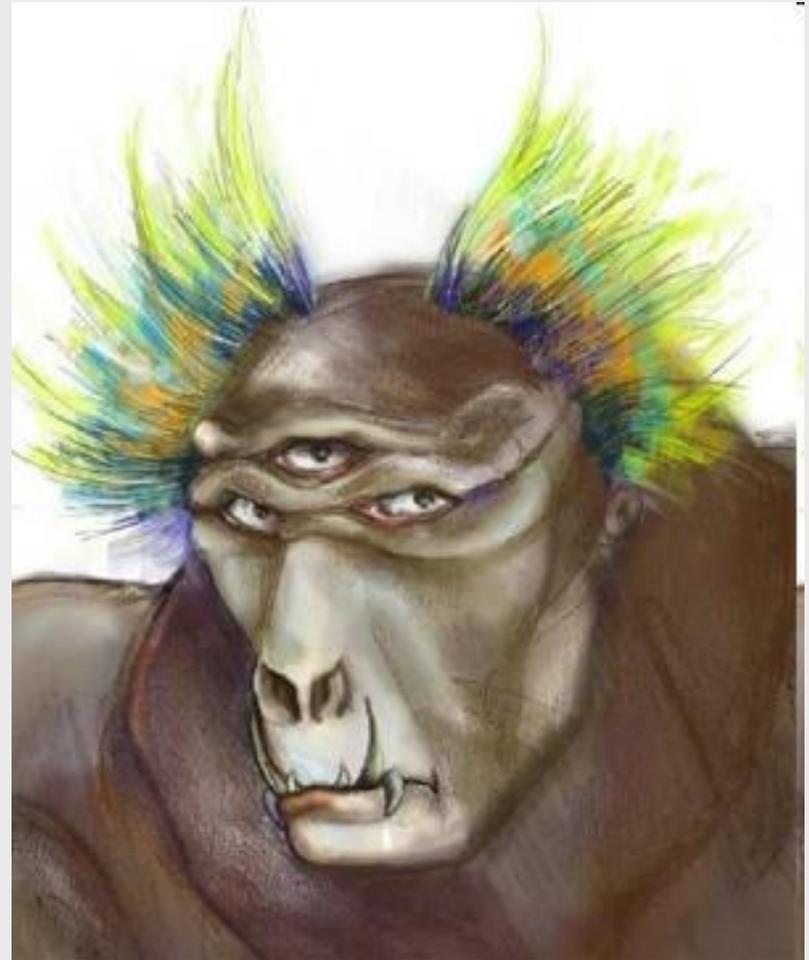
Цивилизация, способная  
передвигаться между  
звездами со скоростью  $0,1c$   
должна колонизировать всю  
Галактику ~  
за 100 млн. лет

**Так где же они?**



Enrico Fermi

Существу, живущему в сильно искривленном пространстве-времени черной дыры, удобнее рассматривать окружающий мир тремя глазами, не расположенными на одной прямой



Andrew J. S. Hamilton, Gavin Polhemus. The edge of locality: visualizing a black hole from the inside // препринт arXiv:0903.4717 (2009).

# Возможные объяснения парадокса Ферми

- **внеземных цивилизаций не существует**
- время существования цивилизаций мало – они обречены **разминуться во времени**
- **внеземные цивилизации есть, но редки** – может, одна на несколько галактик → **контакт невозможен из-за огромных расстояний**
- **внеземные цивилизации по каким-то причинам не хотят вступать в контакт** (политика невмешательства)



1962

Вывод:

Мы одиноки, если не  
во всей Вселенной, то  
в Галактике



Иосиф Самуилович  
Шкловский

Тем не менее, предполагается, что  
**микробная жизнь** может оказаться  
не такой уж редкой

# В чем сложность проблемы?



## Методическая:

**Уникальность** и древность события



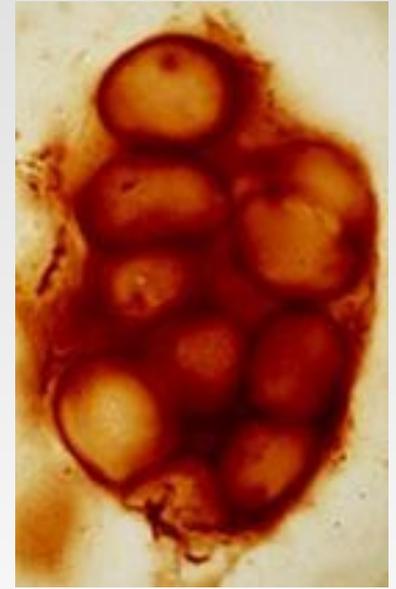
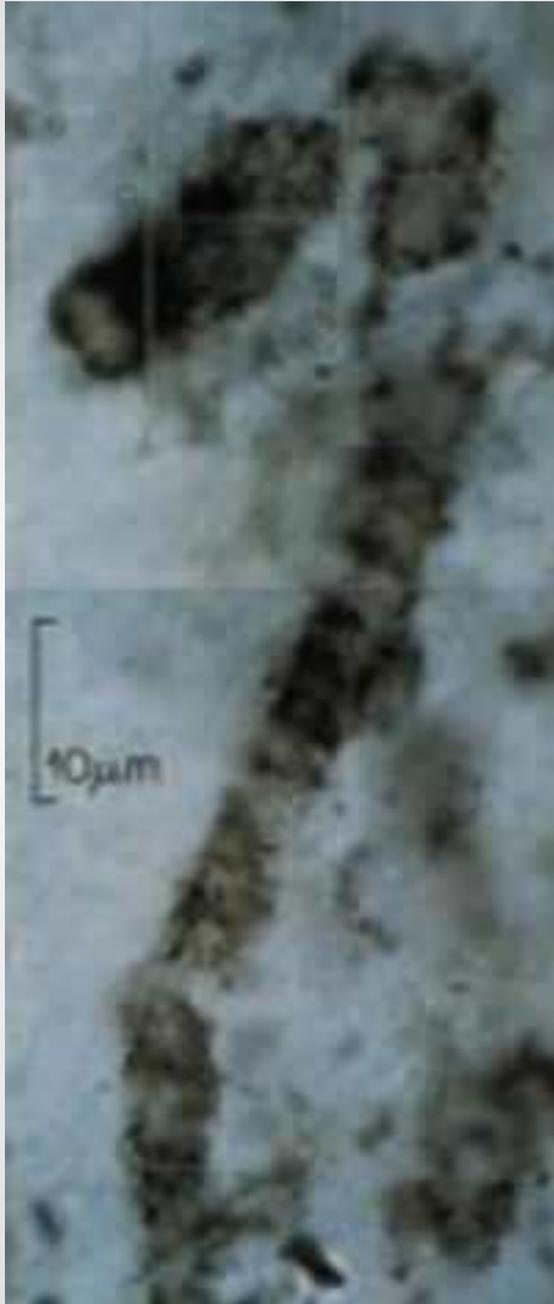
1. Отсутствие **палеонтологической летописи**
2. Невозможность воспроизвести в **эксперименте**

## Теоретические:

1. **Что** такое жизнь?
2. **Невероятность** жизни

Отсутствие **палеонтологической летописи** самых ранних этапов

- Полная летопись начинается с Эдиакарского периода Протерозоя **630 млн. лет** назад
- Кембрийский взрыв – **550 млн. лет** назад: все основные типы **многоклеточных** с твердым скелетом



▶ Самые древние из окаменелых организмов – **цианобактерии** **3.5 млрд.лет**



**Фотосинтез**



3.5 млрд.лет



Современные  
цианобактерии

# Строматолиты = бактериальные маты



Современные строматолиты, Австралия

Очень много в протерозое  
3-2 млрд. лет назад

Цианобактерии  
+  
Гетеротрофные  
бактерии



# Химические следы ранней жизни



Глобула,  
содержащая избыток  
углерода  $C^{12}$  над  $C^{13}$   
считается самым  
древним  
свидетельством  
жизни на Земле.

Найдена в породах  
из Гренландии **3.8**  
млрд. лет

Увеличение  $\times 6900$

Теория

Опарина и Холдейна

**АБИОГЕНЕЗ**

# Главная идея

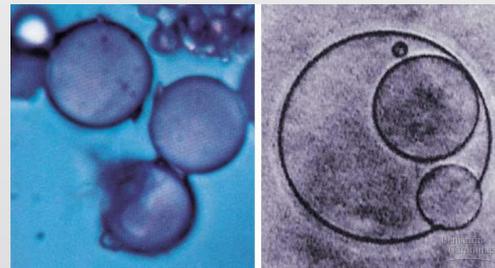
- Условия на древней Земле были **не такими как сейчас**
- А такими, что в них был возможен **абиогенный** синтез органики
- Жизнь – продолжение **химической эволюции**

1922

Опарин Александр Иванович



- Сначала – **органические вещества** абиогенно
- Потом из них – **коацерваты** – белковые капли



1929 Джон Холдэйн



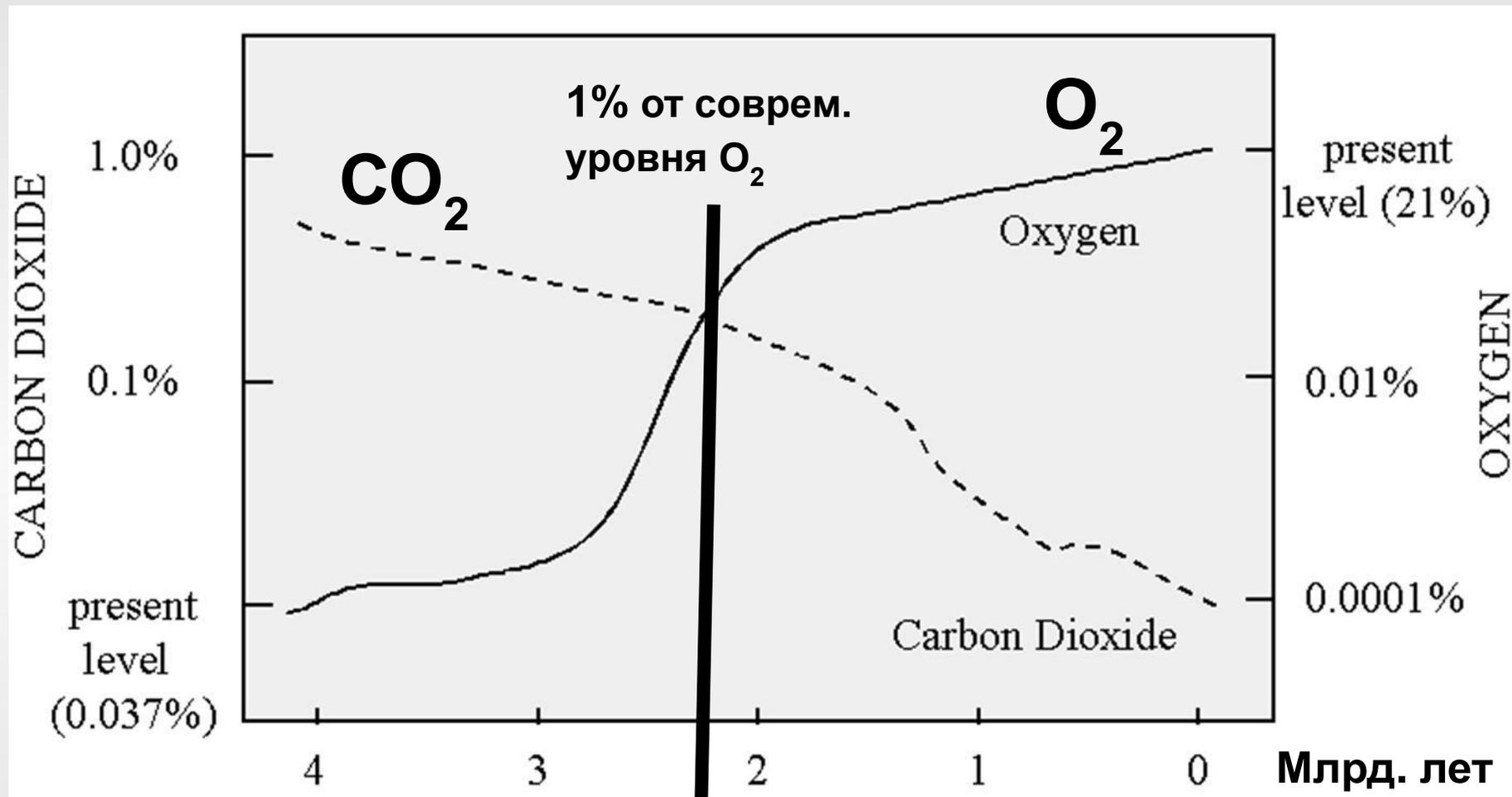
«Первичный  
бульон»

Независимо выдвинул те же идеи, что и Опарин

# При каких условиях возможен абиогенный синтез органики?

- Самое главное – **отсутствие кислорода** в атмосфере
  - Сегодня доказано геологией
- **Высокая температура**
  - Более  $1\ 000^{\circ}\text{C}$  на ранней Земле

# Кислород и углекислый газ в атмосфере Земли



Гадей

3,8

Архей

2,5

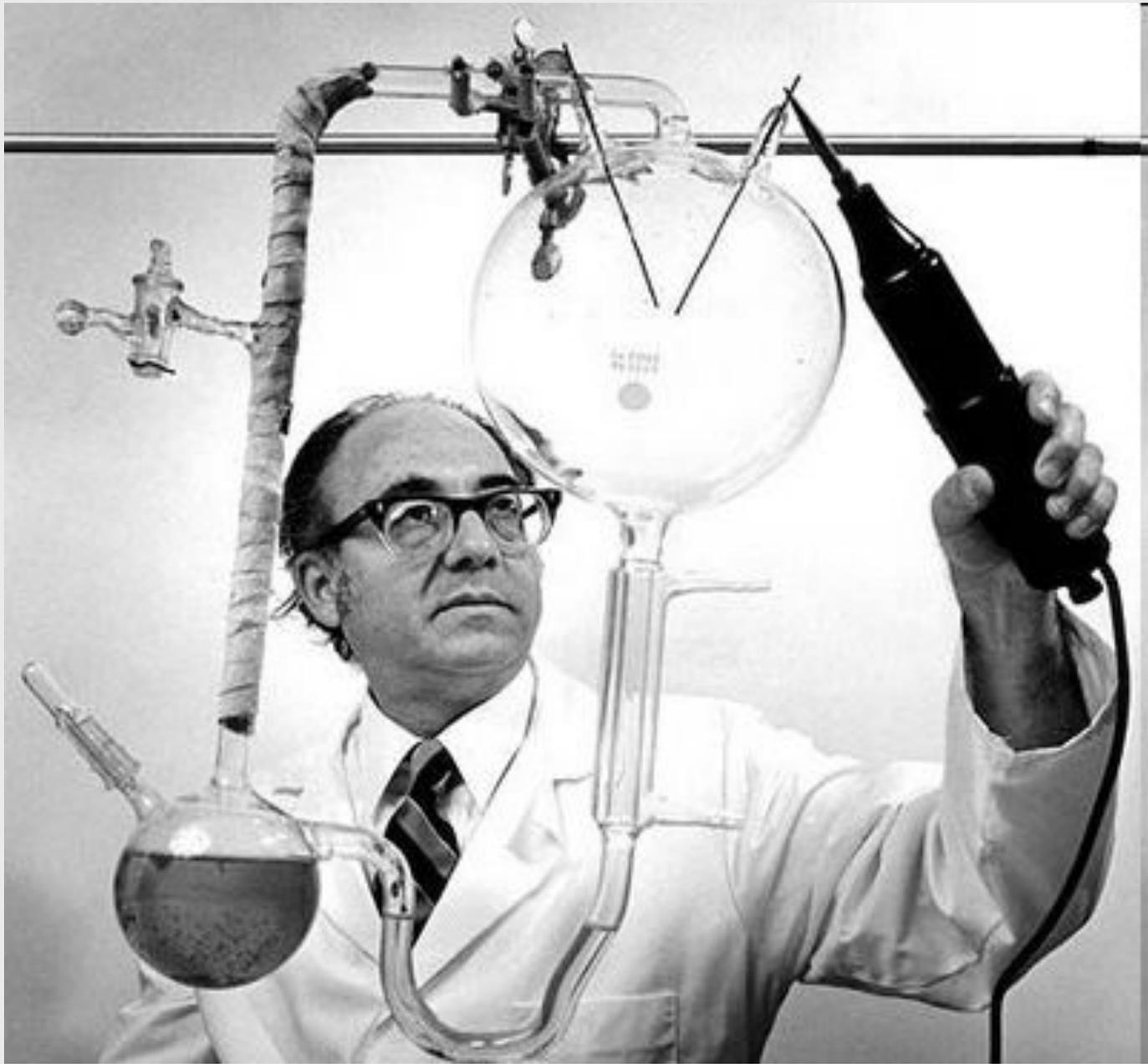
Появление  
эукариот

Протерозой  
(до кембрия)

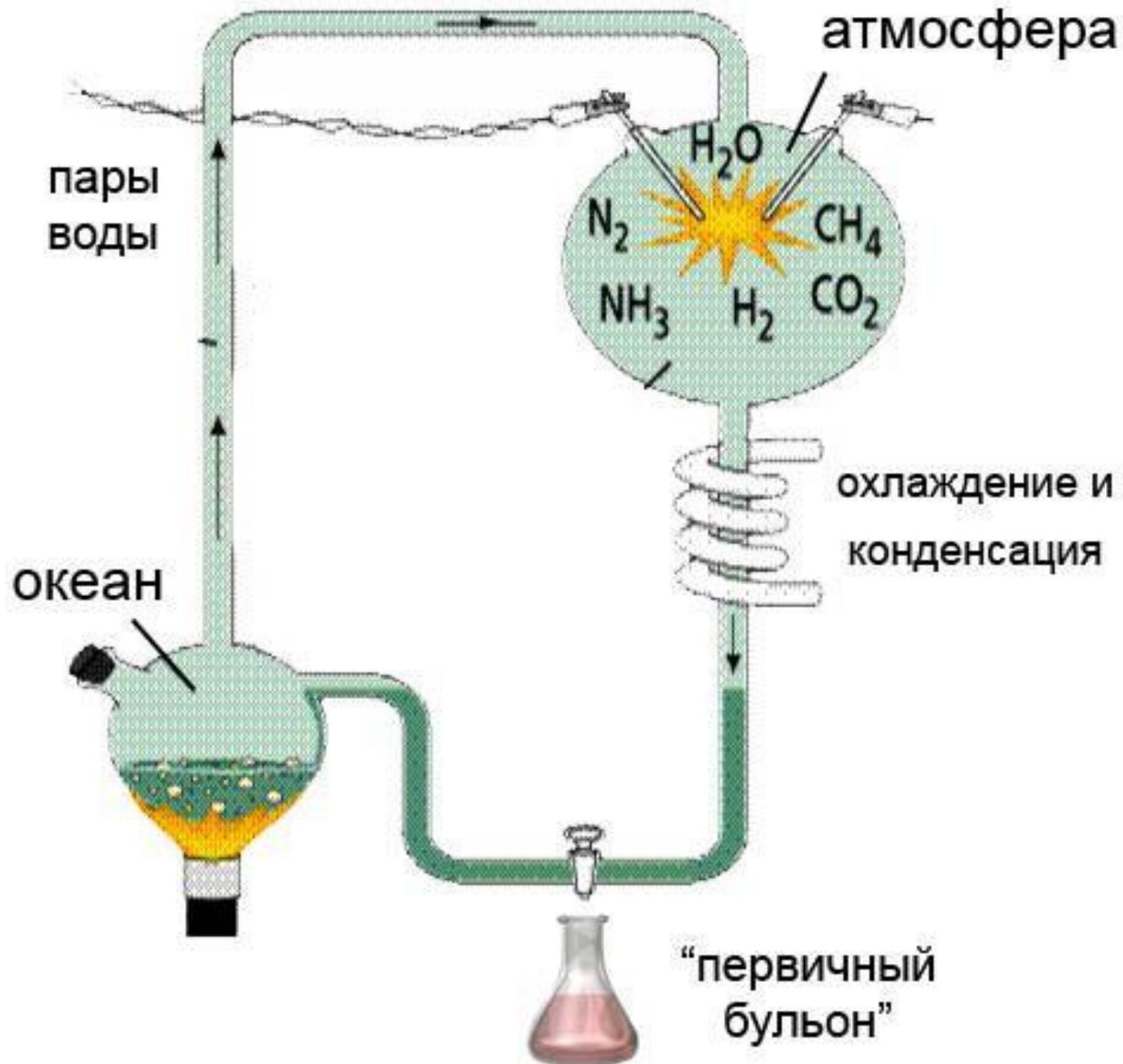
# Экспериментальная проверка модели Опарина-Холдэйна

Доказательство возможности  
абиогенного синтеза органики –  
**эксперимент Миллера-Юри**

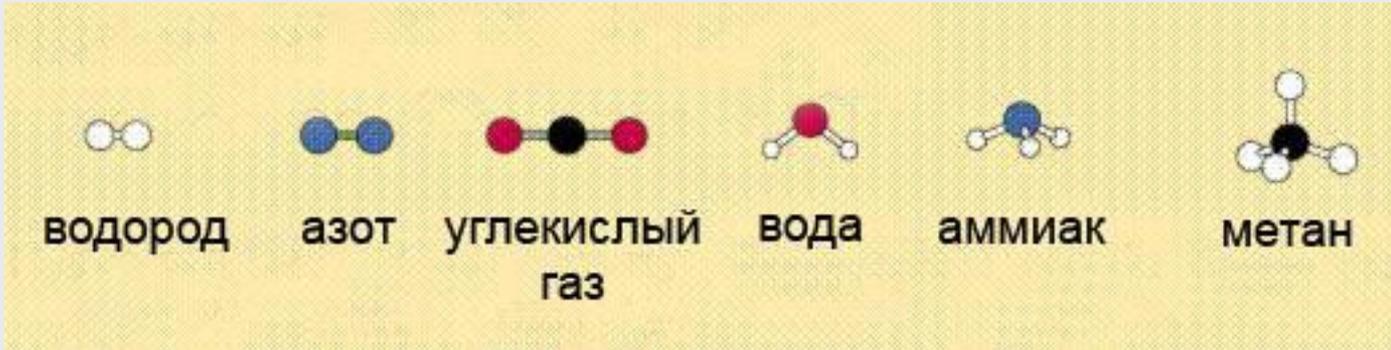
**1953**



Stanley  
Miller



# Эксперимент Миллера и Юри 1953



«Атмосфера»

**Через неделю в смеси были:**

Несколько аминокислот

Азотистые основания

Сахара

Мочевина

Возможность спонтанной полимеризации – показана позже.

Аминокислоты → белки

Азотистые  
основания  
сахара } нуклеотиды → ДНК, РНК

**Возникновение полимеров со случайной последовательностью**

# Этапы абиогенеза (Джон Бернал)

1. Абиогенный синтез **мономеров**
2. Образование **полимеров**
3. Появление у полимеров способности к **самовоспроизведению**
  - **КАК** – теория Опарина-Холдэйна не объясняла
4. Окружение **мембраной** – первые клетки

Ответ на вопрос КАК

стал возможен

ТОЛЬКО В молекулярную эру

биологии

# Преодоление сложностей – «**молекулярные ископаемые**»

- Следы прошлого остались не только в геологических пластах, но и **внутри ныне живущих организмов.**
  - **Молекулярные ископаемые** – такие особенности молекулярных процессов, которые можно объяснить только их происхождением от более древних
- Эволюция – запоминание случайного выбора. Раз найденное решение проблемы потом не меняется.

# Преодоление сложностей

- Главный критерий научного знания – **воспроизводимость** результатов эксперимента.
- **Нельзя** вернуться на 4 млрд лет назад и увидеть возникновение жизни
- Но **можно** воссоздать эти условия
  - в лаборатории – **моделирование**
  - построить **теоретическую модель** эволюции молекул

# Экспериментальная проверка модели Опарина-Холдэйна

Доказательство возможности  
абиогенного синтеза органики –  
**эксперимент Миллера-Юри**

**1953**

# Преодоление **теоретических** сложностей

1. Ответ на вопрос «Что такое жизнь» –  
ЧТО должно было возникнуть

**Не сразу современные клетки!**



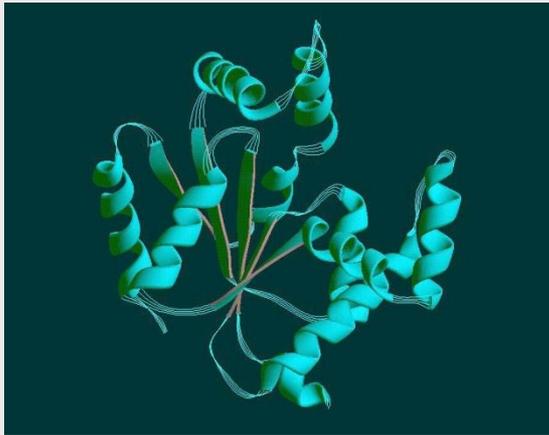
2. Решение проблемы **вероятности**

# Невероятность ЖИЗНИ

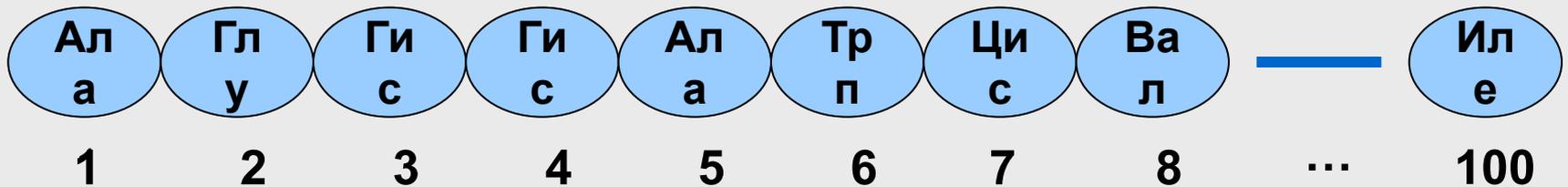


- главный аргумент **креационистов**
- То, что даже **самая примитивная клетка** может возникнуть случайно – так же вероятно, как то, что ураган, пронесшийся над мусорной свалкой, соберет «Боинг 747»

*Фред Хойл*



Простейшие из  
современных белков  
имеют длину  
~ 100 аминокислот



20 разных «строительных блоков»

$20^{100}$  вариантов

больше числа атомов  
во Вселенной

Вероятность **случайного** возникновения  $10^{-130}$

# Молекула ДНК

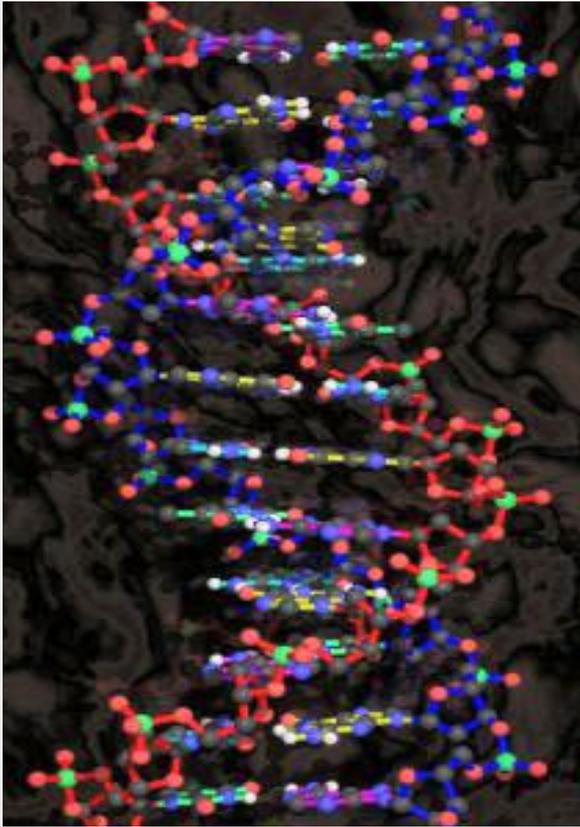
4 «строительных блока» -  
нуклеотиды **А, Т, Г, Ц**

Длина одного гена ~ 1 тысяча  
н.п. (минимум)

Одной молекулы – миллионы  
н.п. (до 8 см)

Вероятность случайного возникновения даже  
одного гена (ДНК для кодирования одного белка)

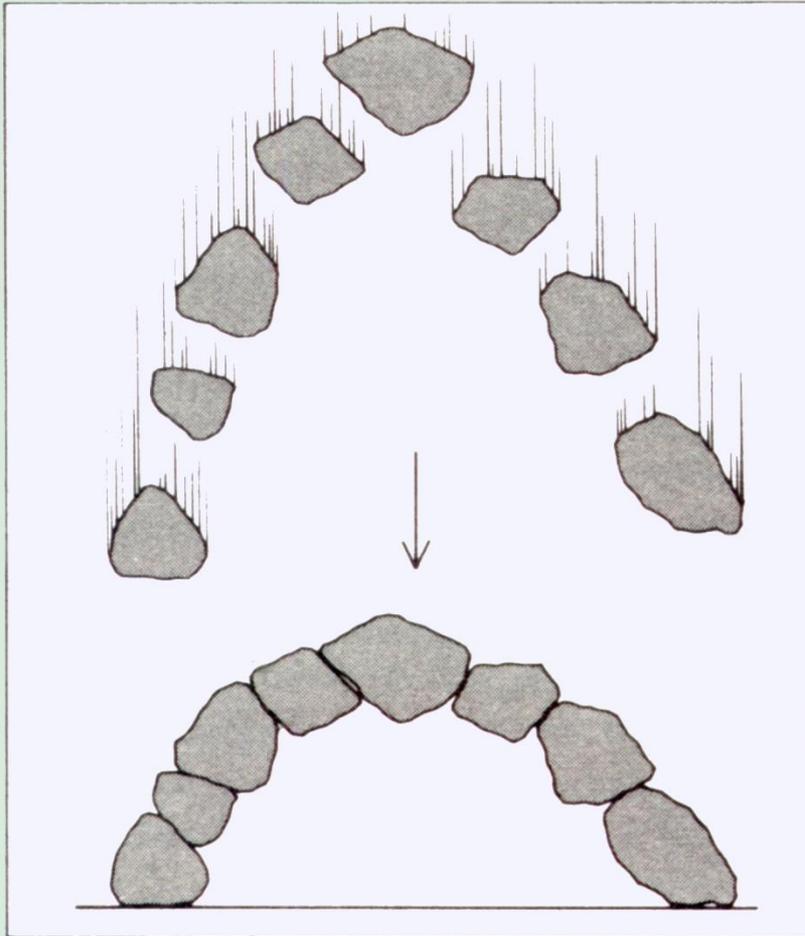
**$\sim 10^{-200}$**



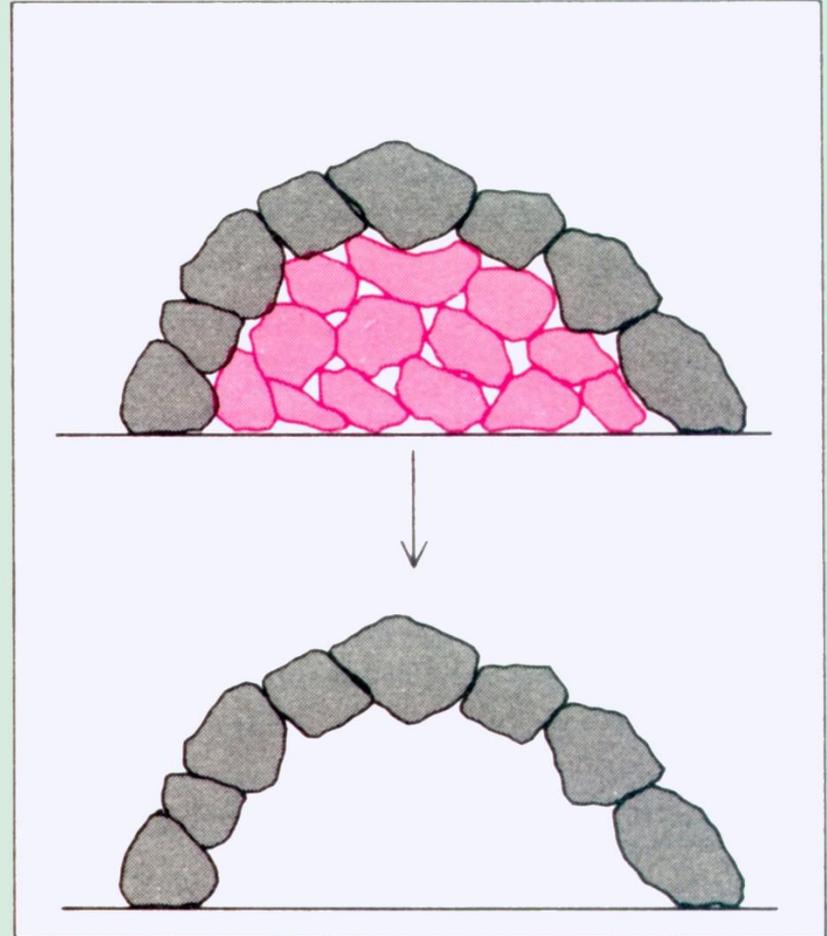
# Невероятность жизни – выход?

- Отказаться от мысли, что жизнь сразу была такой, как мы ее знаем сегодня.
- Она могла начинаться с **очень примитивных систем**, обладающих далеко не тем уровнем сложности и совершенства, что теперь.
- И все-таки – сложных, т.е. сложнее любой неорганической системы.

# Возникновение сложной структуры с использованием промежуточных



**Невероятно!**



**Возможно**

Первая жизнь могла быть всего  
**одной молекулой**,  
обладающей свойствами  
**матрицы** и **катализатора**  
своей репликации  
одновременно

**Современные гипотезы**

**ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ**

**Мир РНК**

# Все современные организмы



Гипотезу, что вначале была РНК,  
выдвинули **в конце 60-х**

**Карл Вуз, Фрэнсис Крик и Лэсли Оргел**

- Carl Woese, *The Genetic Code* (New York: Harper and Row, 1967)
- F.H.C. Crick, "The origin of the genetic code," *J. Mol. Biol.* 38 (1968): 367-379
- L.E. Orgel, "Evolution of the genetic apparatus," *J. Mol. Biol.* 38 (1968): 381-393.



**Невероятно!**

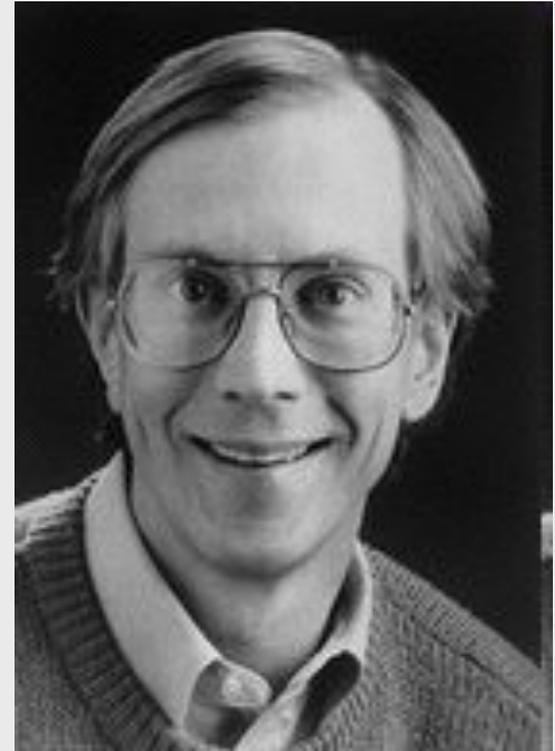
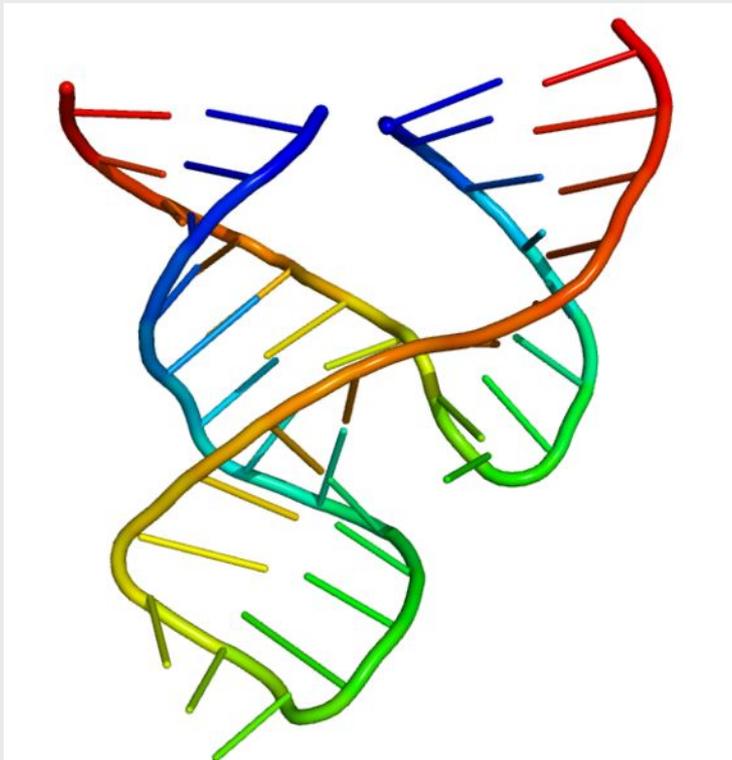
Одна молекула,  
катализирующая синтез  
подобных себе молекул

A large, thick, light-blue circular arrow curves clockwise, starting from the top and ending at the bottom, framing the text on the left.

**Вероятность  
случайного  
возникновения  
мала,  
но не нулевая!**

# 1982

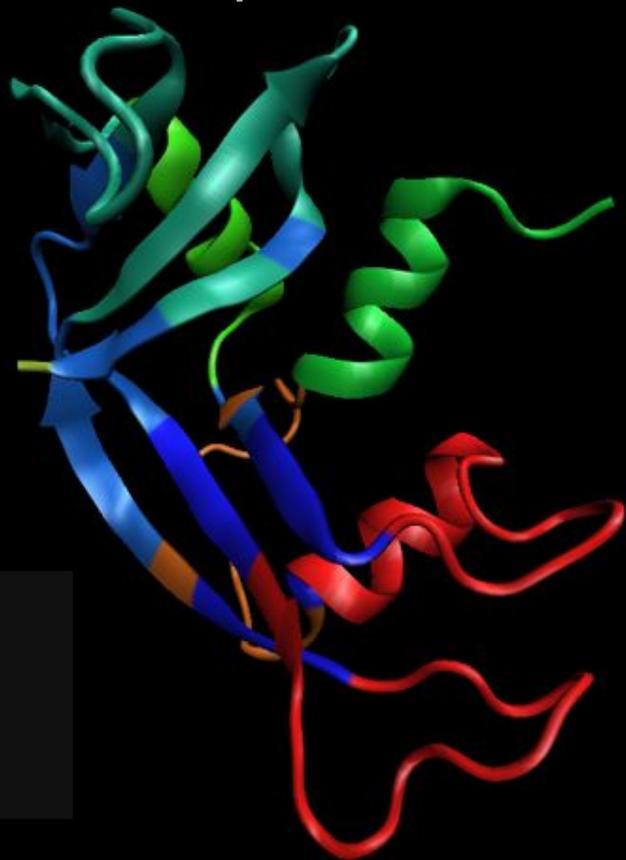
Открытие **рибозимов** –  
РНК с каталитической  
активностью



Томас Чек

**3-D форма и  
разнообразные функции**

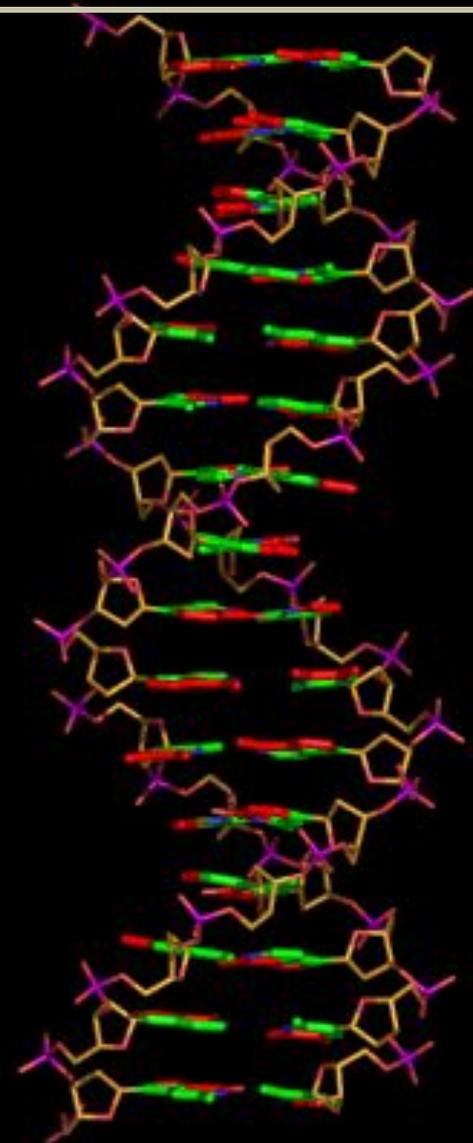
**Матрицы**



**Белок**

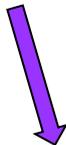


**РНК**

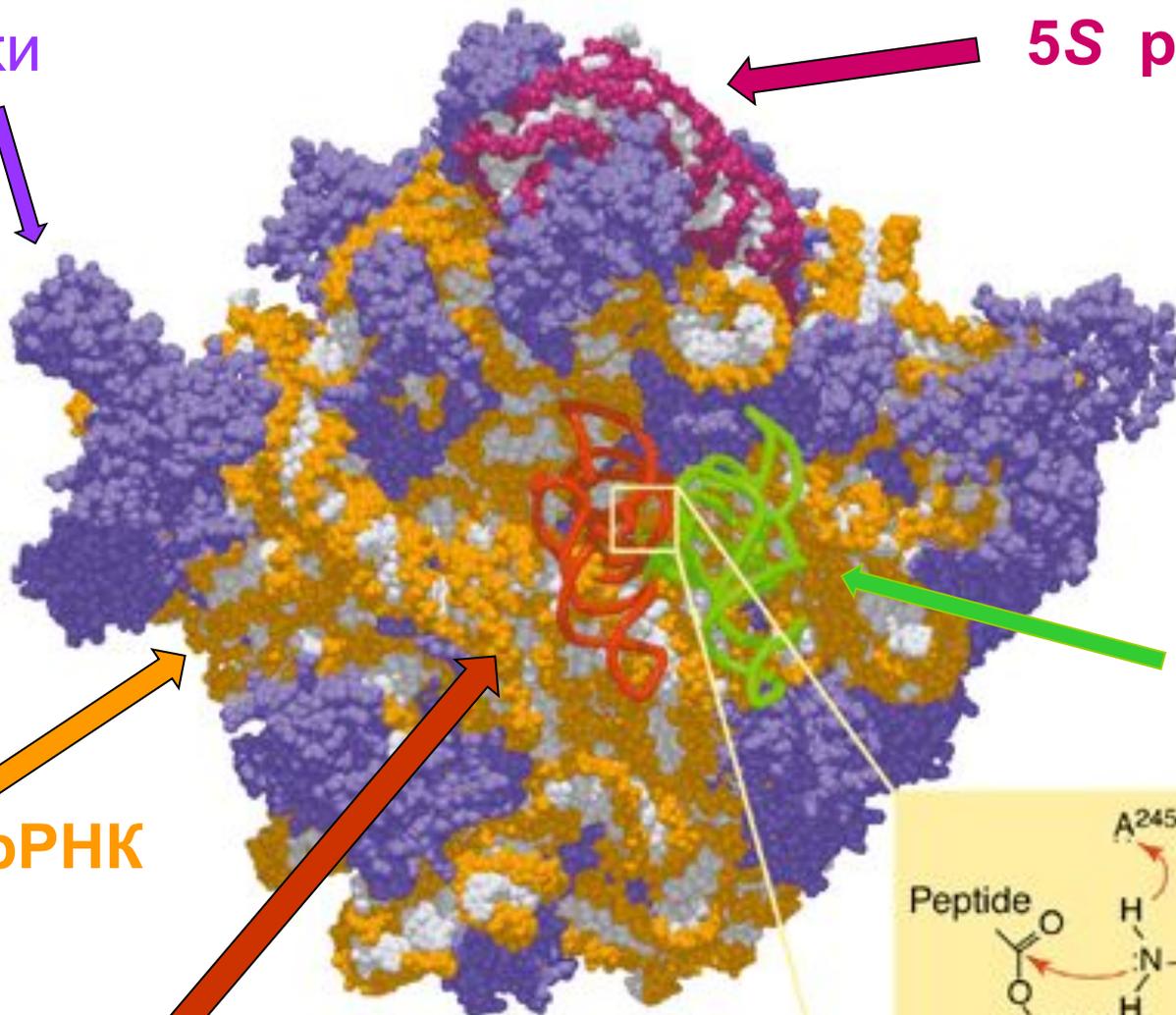


**ДНК**

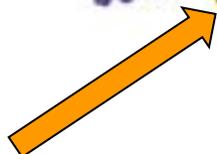
белки



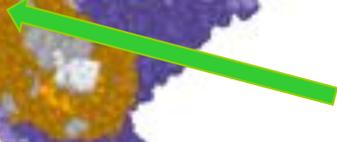
5S рРНК



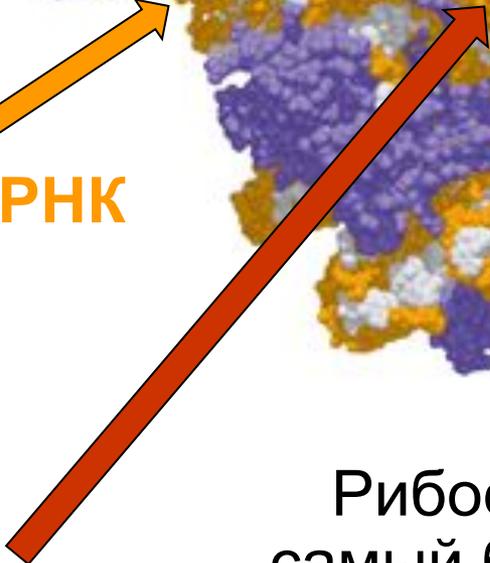
23S рРНК



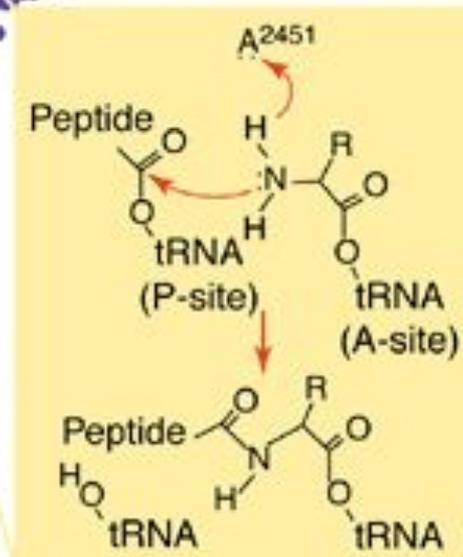
A-центр



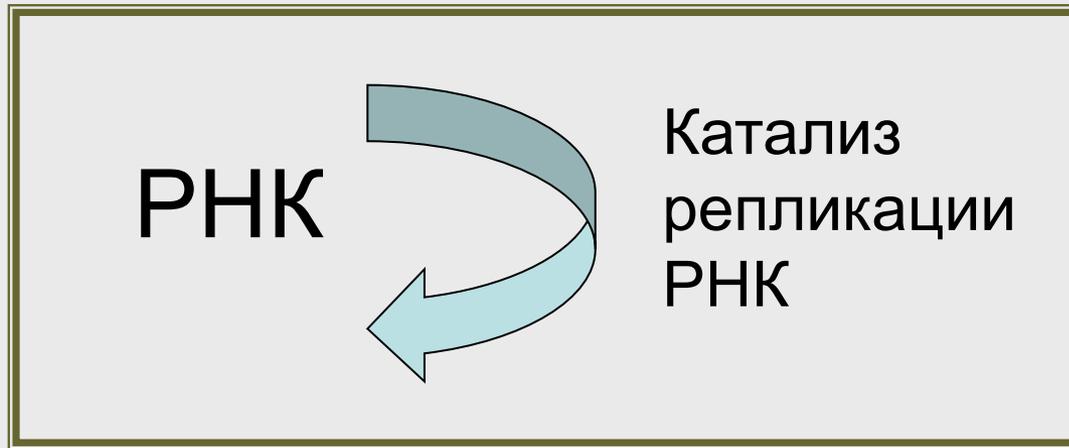
P-центр



Рибосома –  
самый большой  
рибозим



Гипотеза, что первая жизнь была автокаталитической **молекулой РНК**



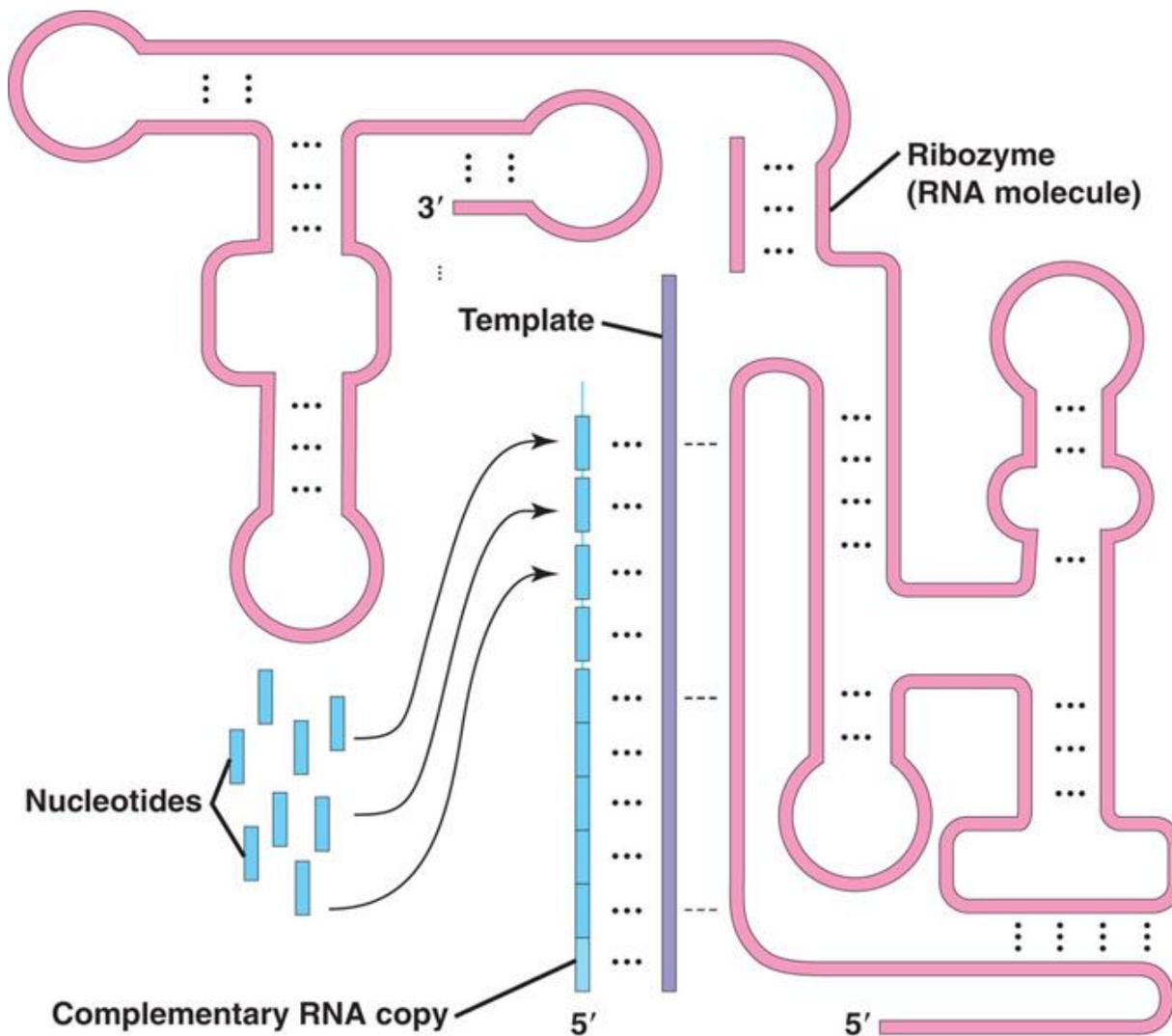
**РНК-  
репликаза**

**Свойства:**

Сложность

Самовоспроизведение

Способность к эволюции



Каталитической активностью обладают участки РНК длиной всего 40-50 нуклеотидов.  
 Первый катализатор не обязан быть совершенен.

# Молекулярные ископаемые РНК-мира

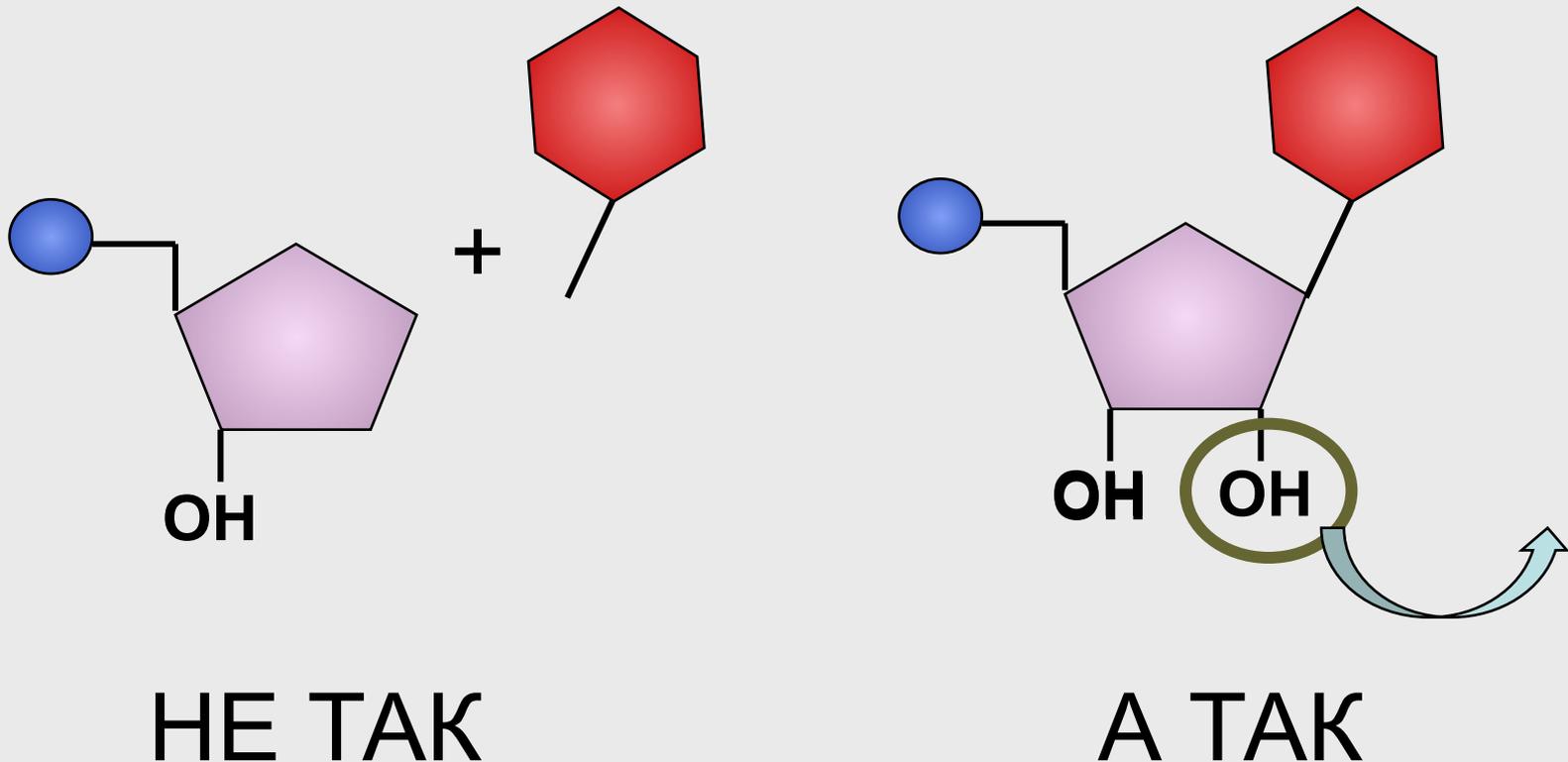
- РНК – посредники на всех этапах синтеза белков
- РНК в составе сплайсосом и некоторых других ферментов
- РНК-вирусы

# Молекулярные ископаемые РНК-мира

- РНК осталась не только в матричных синтезах, но и в основных процессах **получения энергии:**
  - все их коферменты – содержат **рибонуклеотиды**. Как и сама молекула **АТФ**
  - следы тех времен, когда эти процессы контролировались **рибозимами**

# Молекулярные ископаемые РНК-мира

- Синтез нуклеотидов ДНК



Следующая стадия –  
эволюция **белков**

Передача им всех функций,  
кроме информационной

## **2. Мир РНК и БЕЛКОВ**

# Самая сложная проблема – возникновение белкового синтеза

## Как возникли

- т-РНК
- рибосомы
- аминоацил-тРНК-синтетазы
- генетический код

На третьей стадии эволюции  
РНК-мира информационная  
функция передается **ДНК**

### **3. Мир ДНК и БЕЛКОВ**

- Переход к ДНК произошел в мире с развитым белковым синтезом:
- Ни один этап репликации и чтения ДНК не использует рибозимов

# Почему?

Молекулы РНК  
неустойчивы.

Они не могут быть  
слишком длинными —  
легко рвутся.

Мир РНК  
и белков

Мир ДНК  
и белков

# Как?

Появилась **обратная**  
**транскриптаза**

РНК → ДНК

Гипотеза: первыми на ДНК  
переписали свои геномы  
**вирусы** – для защиты от РНК-  
рестриктаз клеток-хозяев.

Мир РНК  
и белков



Мир ДНК  
и белков

# Возникновение мембран

- Независимо от возникновения самореплицирующихся систем, т. е. жизни
  - на стадии РНК-мира
  - либо мира РНК и белков

Способность липидов к самосборке

# Первые клетки

Сообщества  
реплицирующихся молекул  
+  
липидная мембрана

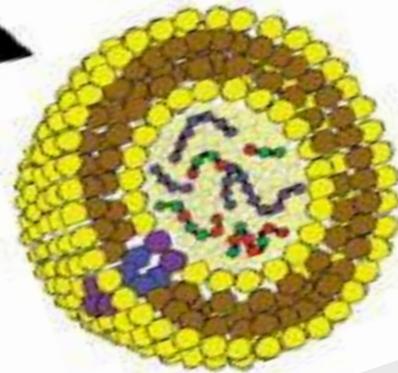
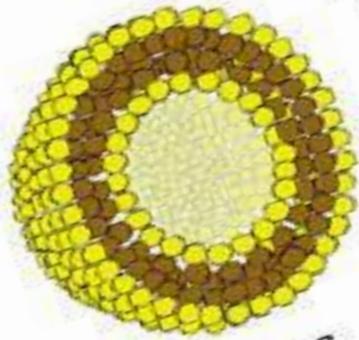
RNA  
chemistry

Molecular  
self-replication

Lipid vesicles  
appearance

Proteins  
appearance

Protocell



# Илья Пригожин – неравновесная термодинамика

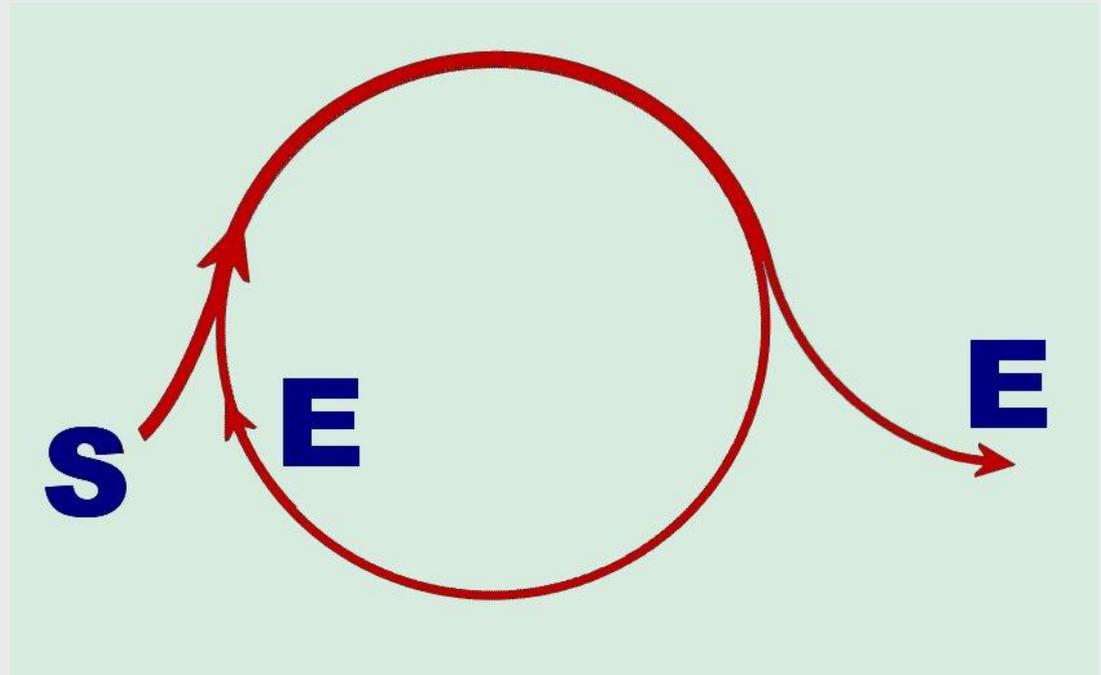
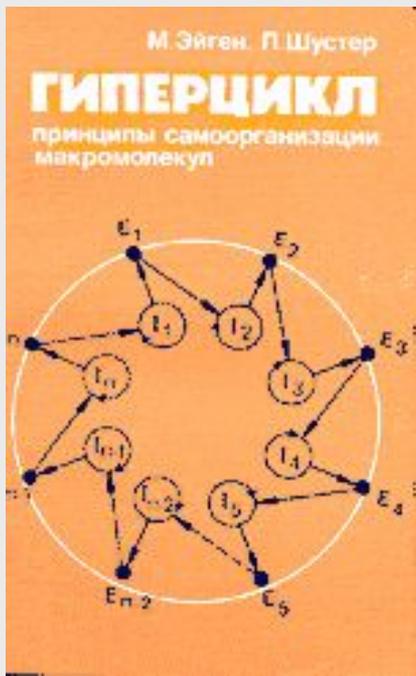


1917-2003

Нобелевская премия  
по химии 1977



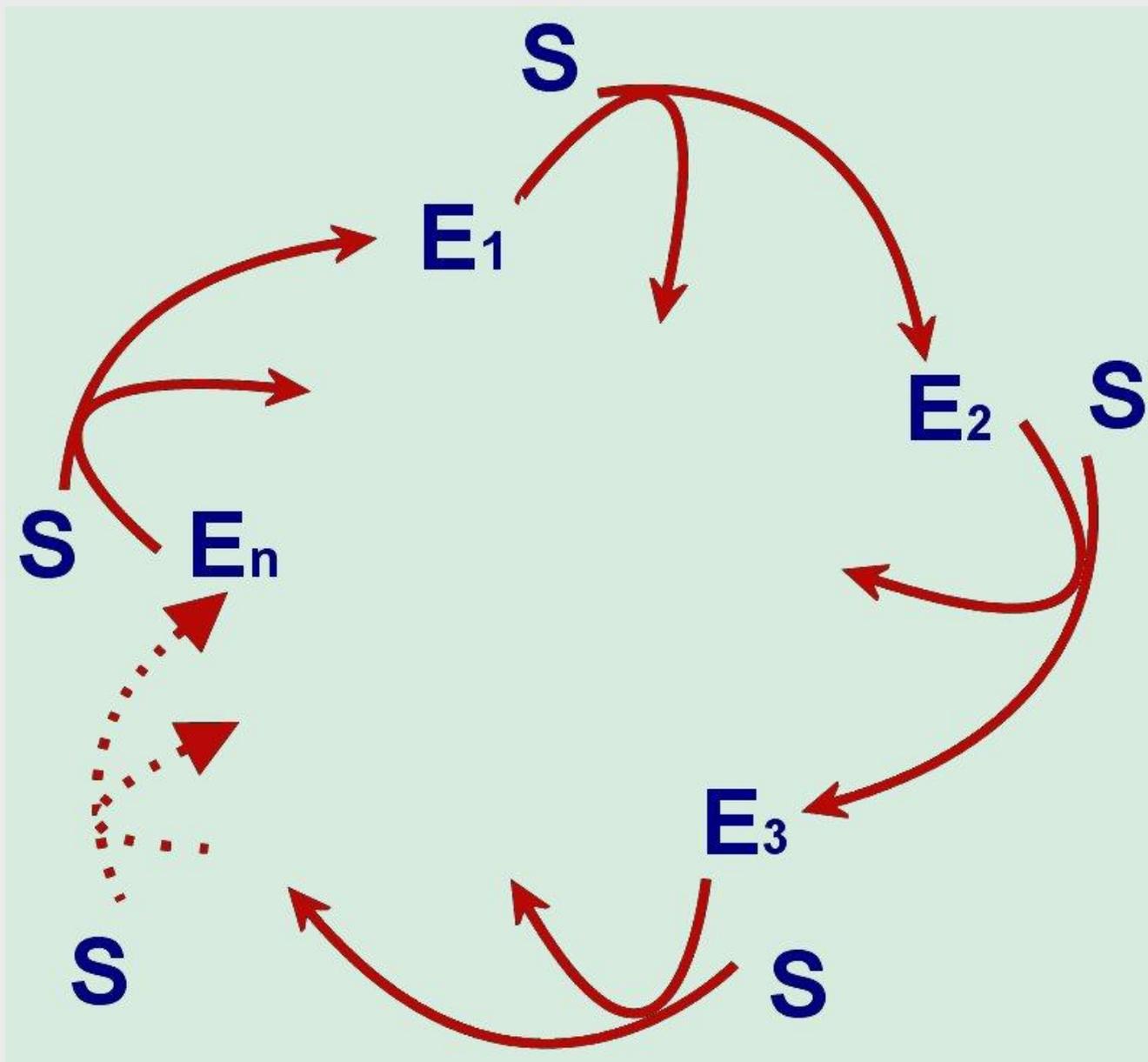
# Гиперциклы Эйгена



Автокаталитическая реакция.

Продукт одновременно является ферментом реакции.

# Автокаталитический цикл



**Сложные молекулы** (неустойчивы)



Динамические **системы молекул**



**воспроизведение с ошибками**



Наличие многих возможных состояний  
и способность **запоминать** случайный  
выбор (информация)



**Способность к эволюции**

# ССЫЛКИ

Origin of life

- Обзор <http://universe-review.ca/F11-monocell.htm>
- Хороший сайт по палеонтологии  
<http://www.palaeos.com/Timescale/Precambrian.htm>
- Кернс-Смит «Глиняные гены»  
<http://macroevolution.narod.ru/glina.htm>
- Учебный курс, много презентаций  
<http://ool.weizmann.ac.il/courses/ool2000/>

# ССЫЛКИ

- РНК

<http://www.tulane.edu/~biochem/lecture/723/combinRNA.htm>

- Статья Leslie Orgel. Проблемы теории РНК-мира

<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/2948/orgel.html>

## Авторские права

Вы скачали данную презентацию с сайта **Biologii.Net**, согласившись с тем, что

### **Вы можете свободно**

- Использовать данную презентацию в образовательных целях с сохранением авторства.
- Использовать рисунки и отдельные слайды в своих презентациях и на сайтах со ссылкой на данный сайт или автора.

### **Вы НЕ имеете права**

- Копировать, распространять или использовать ее другим способом для извлечения коммерческой выгоды.
- Выкладывать на интернет-сайтах для скачивания.
- Использовать слайды, текст и авторские рисунки без ссылок, выдавая их за свои.

Если вы не согласны с этими условиями, удалите презентацию с вашего компьютера.

© М.А. Волошина 2009

<http://http://biologii.net>