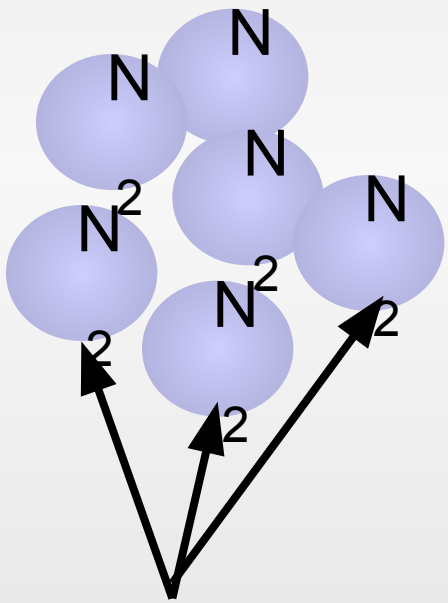
Концепции современного естествознания
Лекция 10

Происхождение и эволюция жизни на Земле

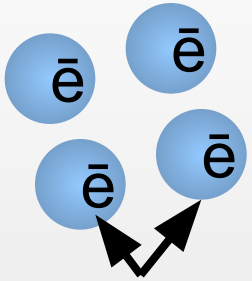
Фундаментальное отличие объектов биологии от всех остальных

Молекулы одного вещества



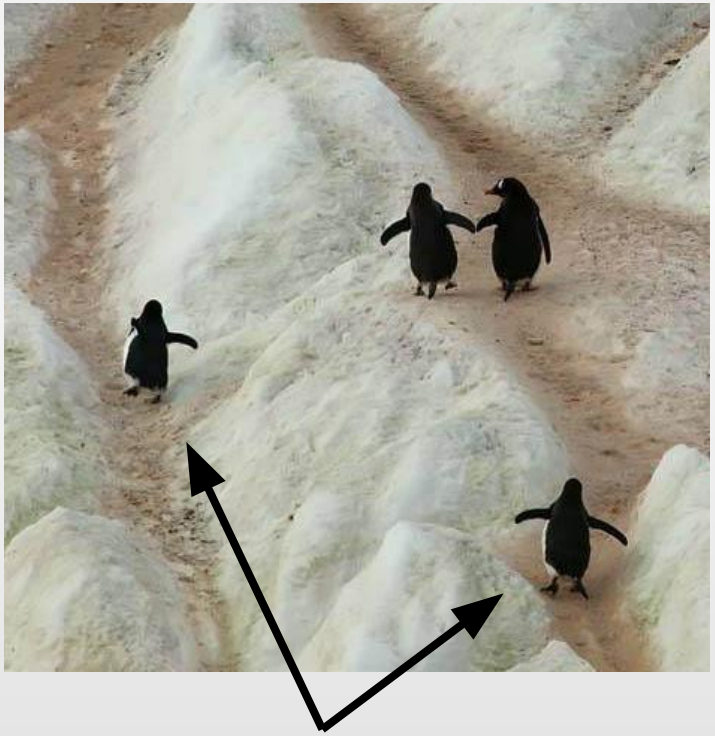
Одинаковые
(неотличимы)

Элементарные частицы



Одинаковые

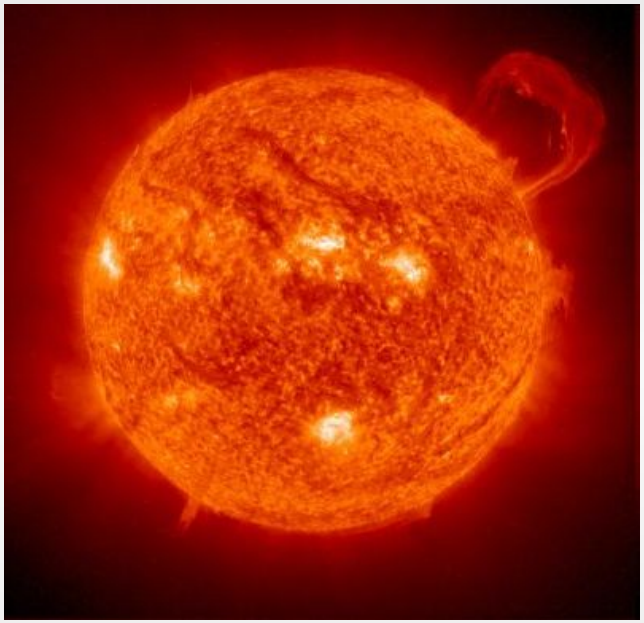
Живые существа



Все разные!

Почему они так разнообразны?

Живые существа – **сложные системы**

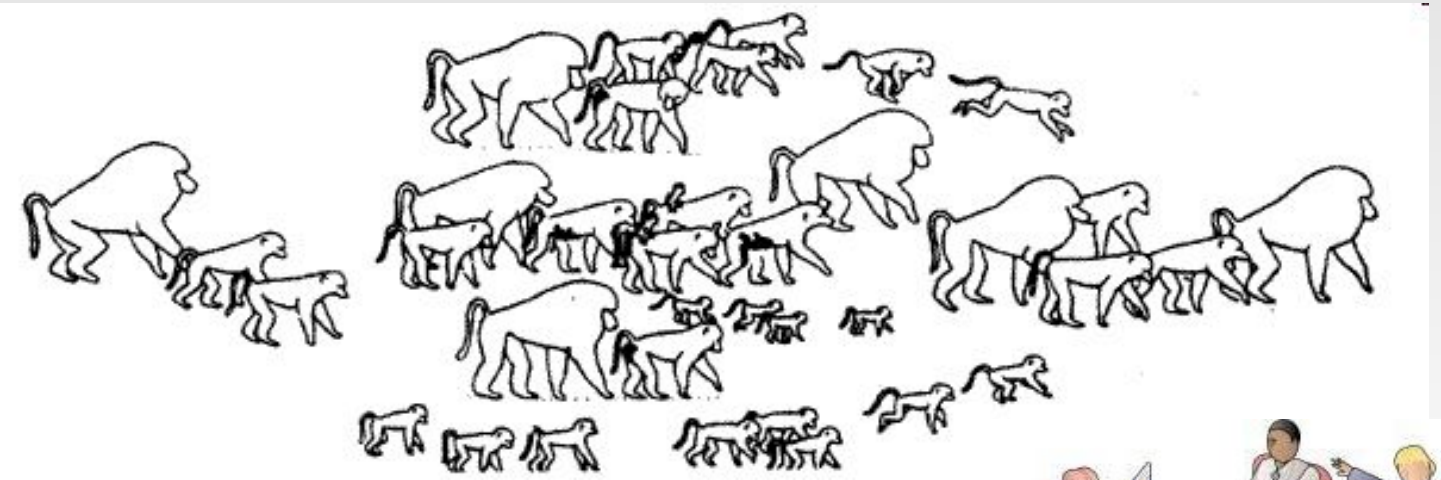


Сложная стохастическая система

элементов **много**, но они **однотипные**,

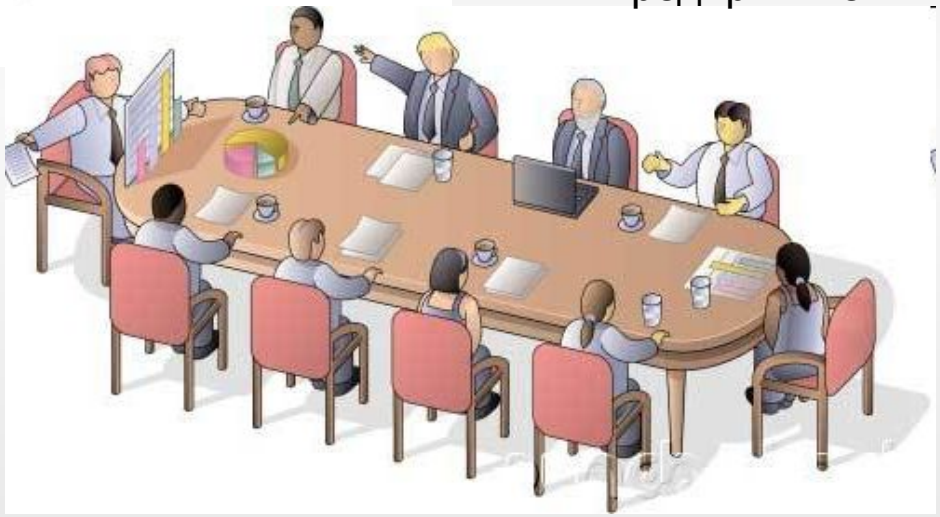
связи **случайные**

Живые существа – **сложные системы**



Стая павианов на марше

Управление предприятием

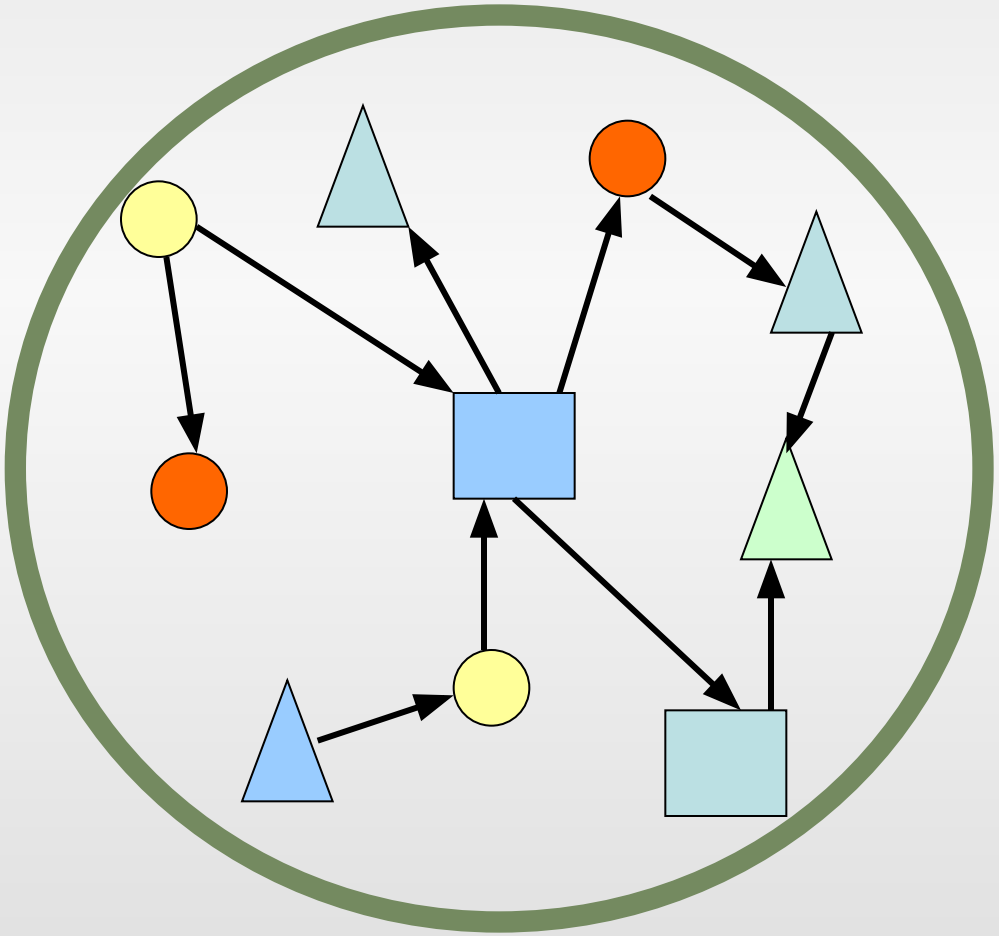


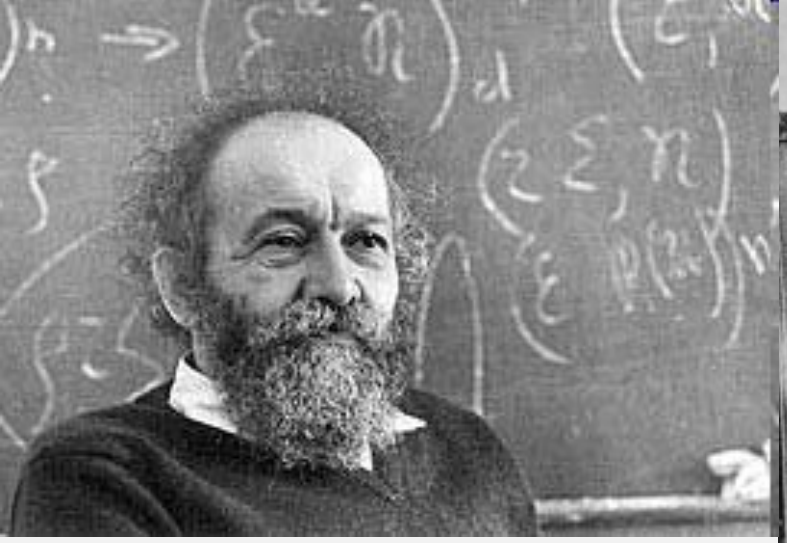
Сложная система с управлением

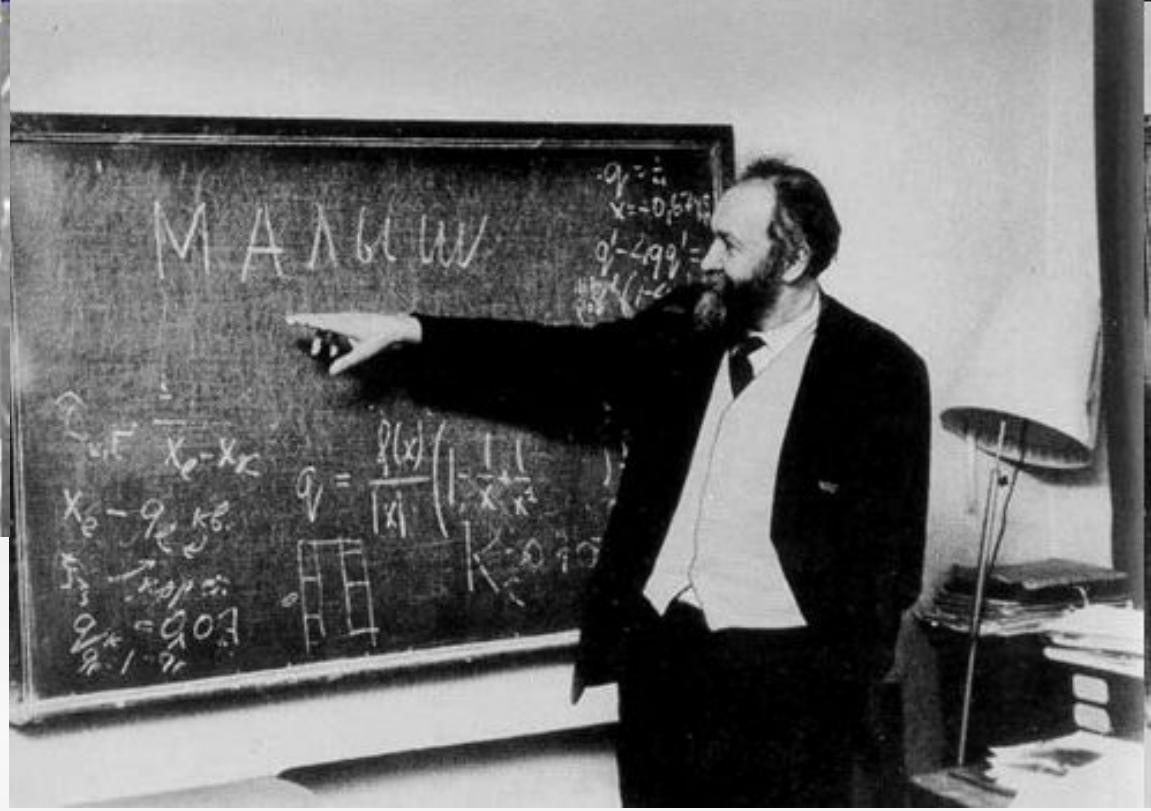
элементов **много** и они **неоднотипны** – существует иерархия и **управление**

- **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

↓

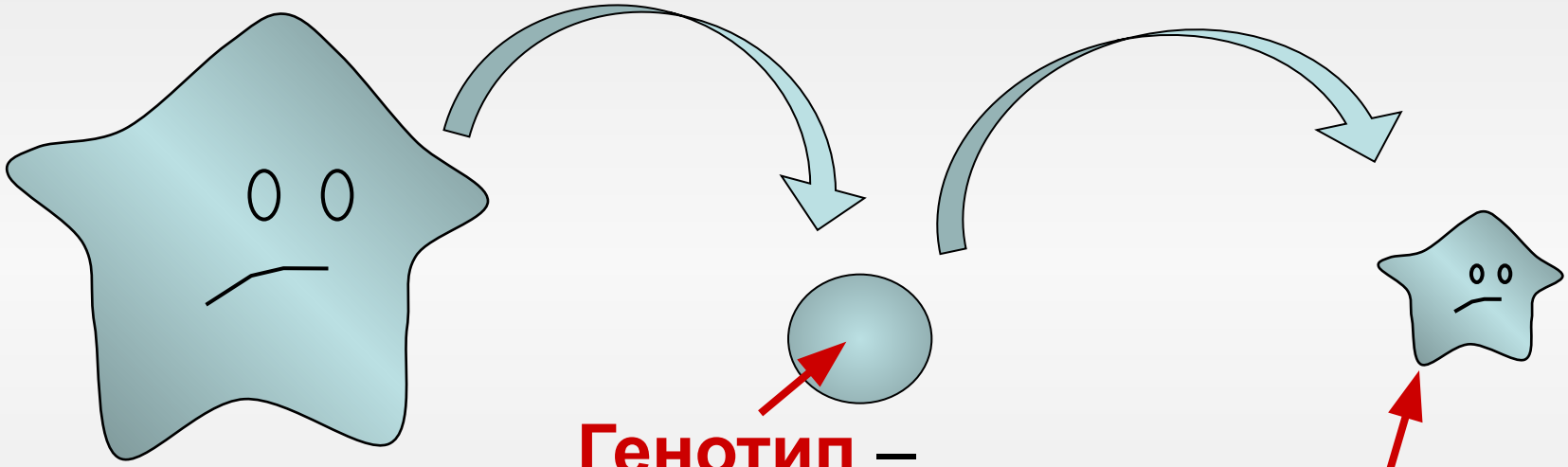
Они недолговечны, но обладают

самовоспрозведением

Самовоспроизведение

↓

рост и **развитие**



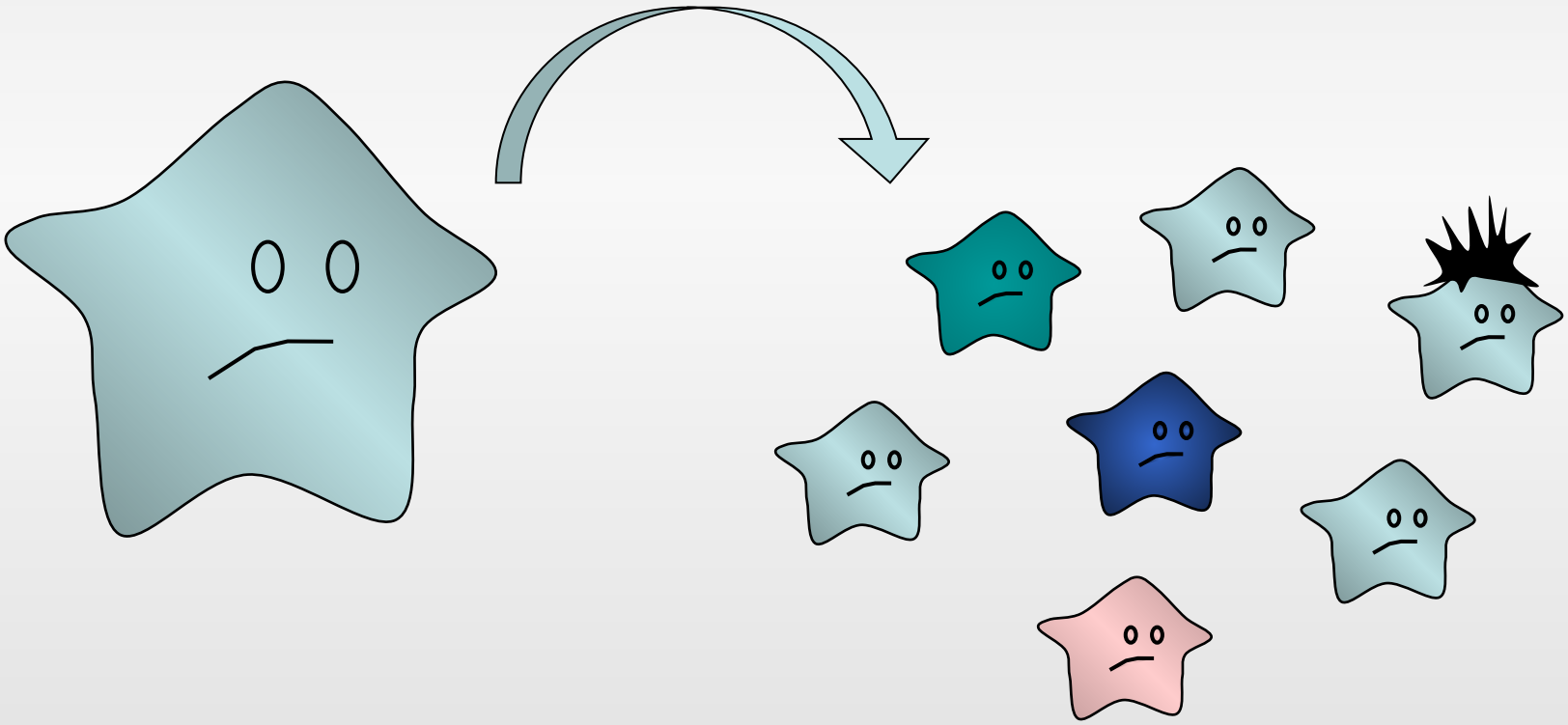
Генотип –
программа организма,
информация

Фенотип –
все признаки организма,
реализация программы

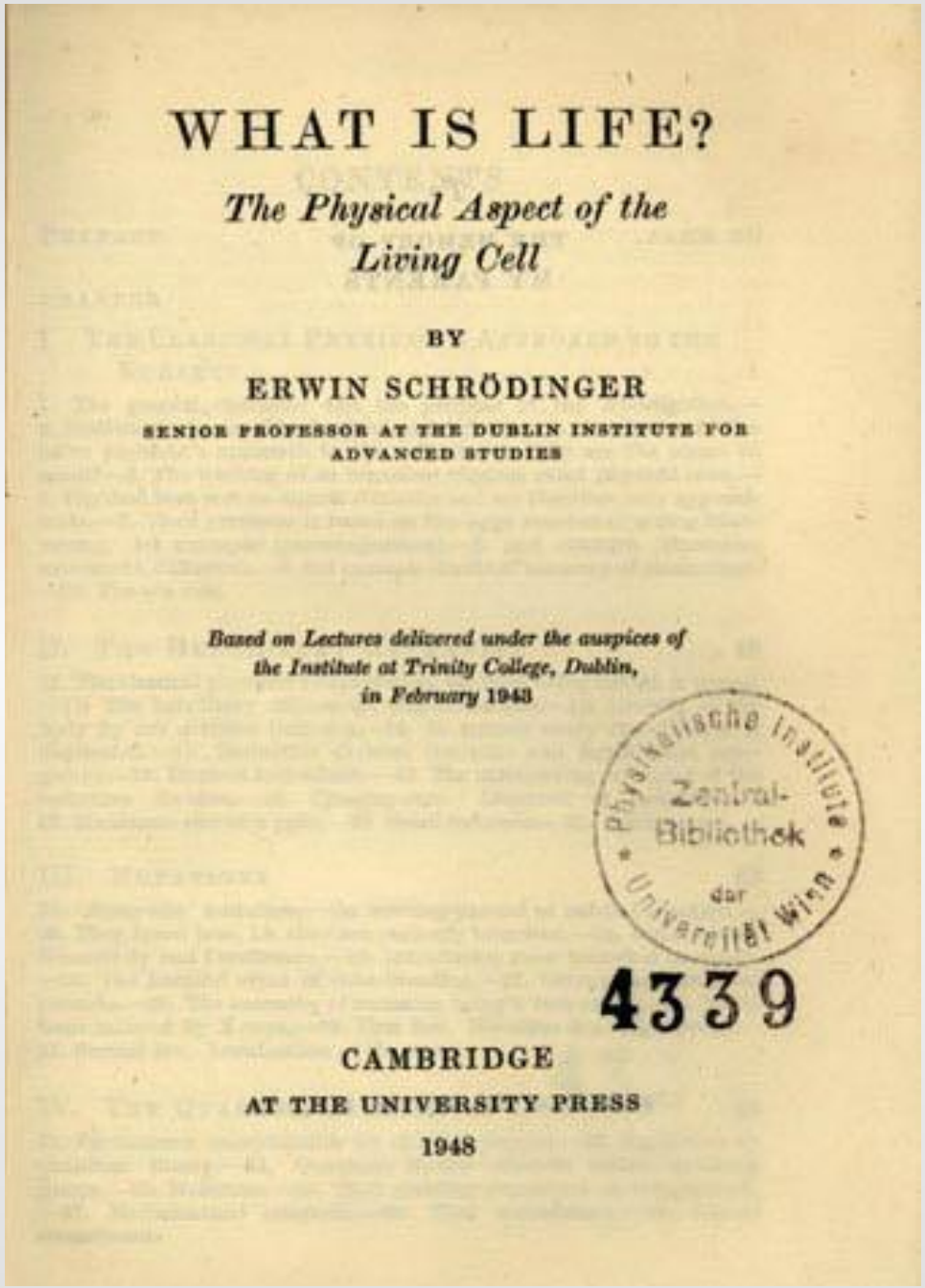
Передача информации **с ошибками**

↓

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

Physikalische Institute Zentral-Bibliothek der Universität Wien
4339

CAMBRIDGE

AT THE UNIVERSITY PRESS

1948

Что такое жизнь с точки зрения физики

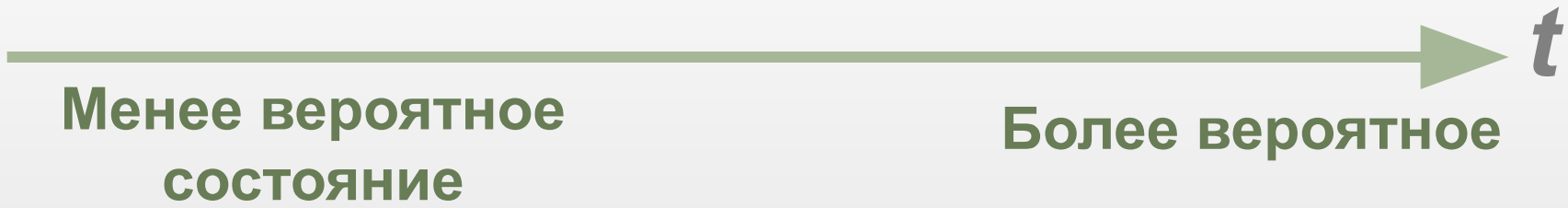
Эрвин Шрёдингер
1944

Жизнь есть наиневероятнейшее состояние материи.

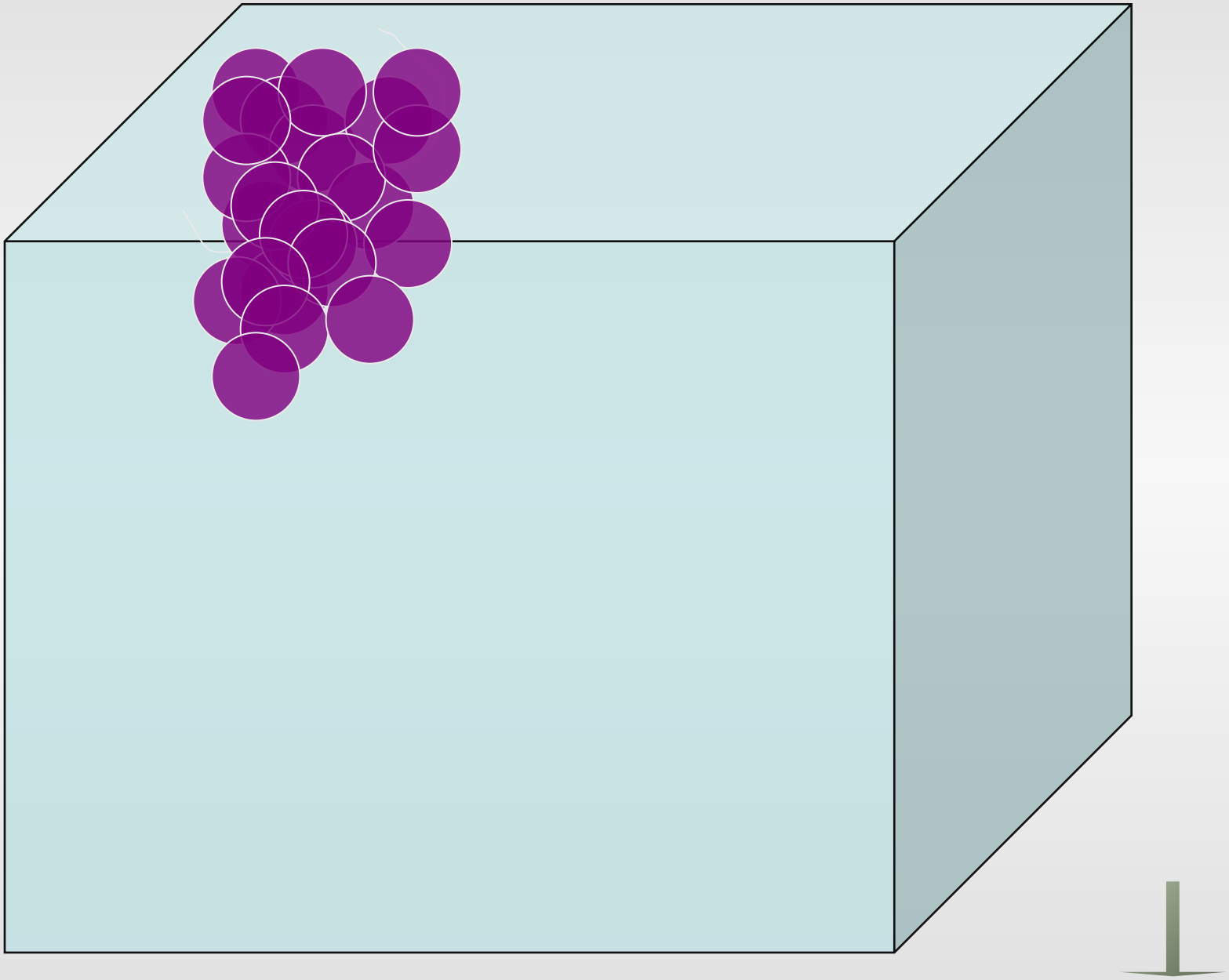
Эрвин Шрёдингер

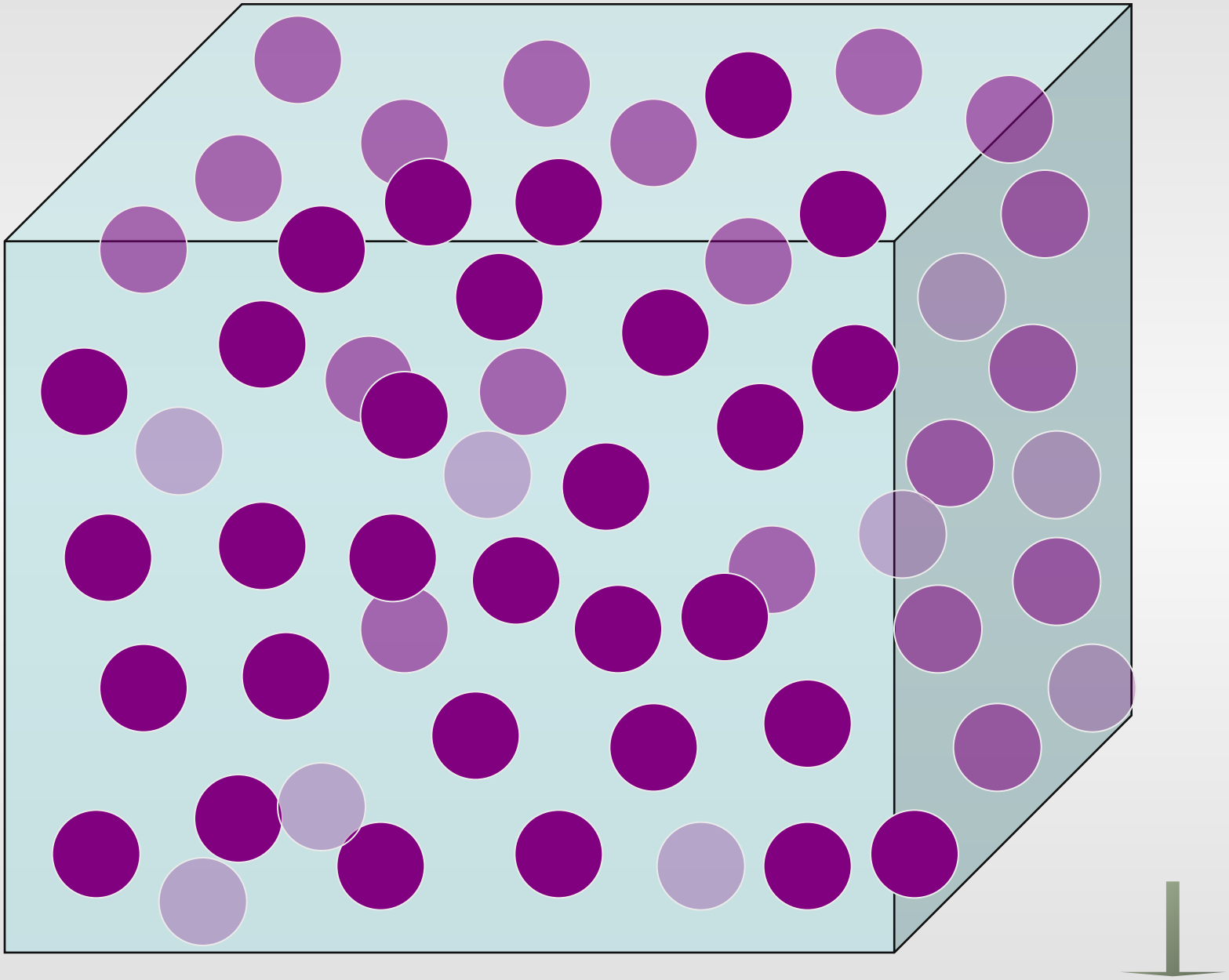
Второе начало термодинамики:

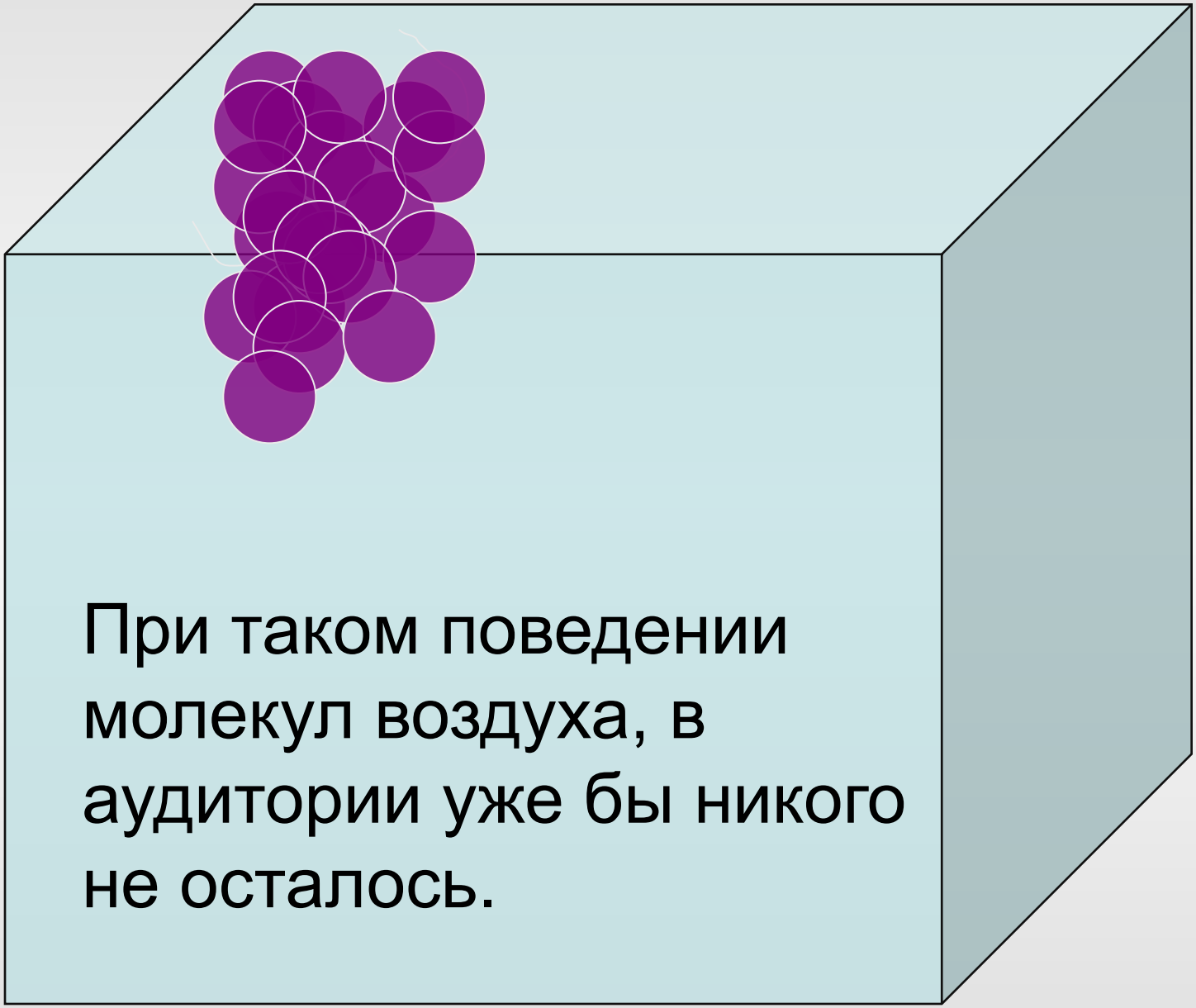
В замкнутой системе энтропия (хаос) со временем возрастает.



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







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

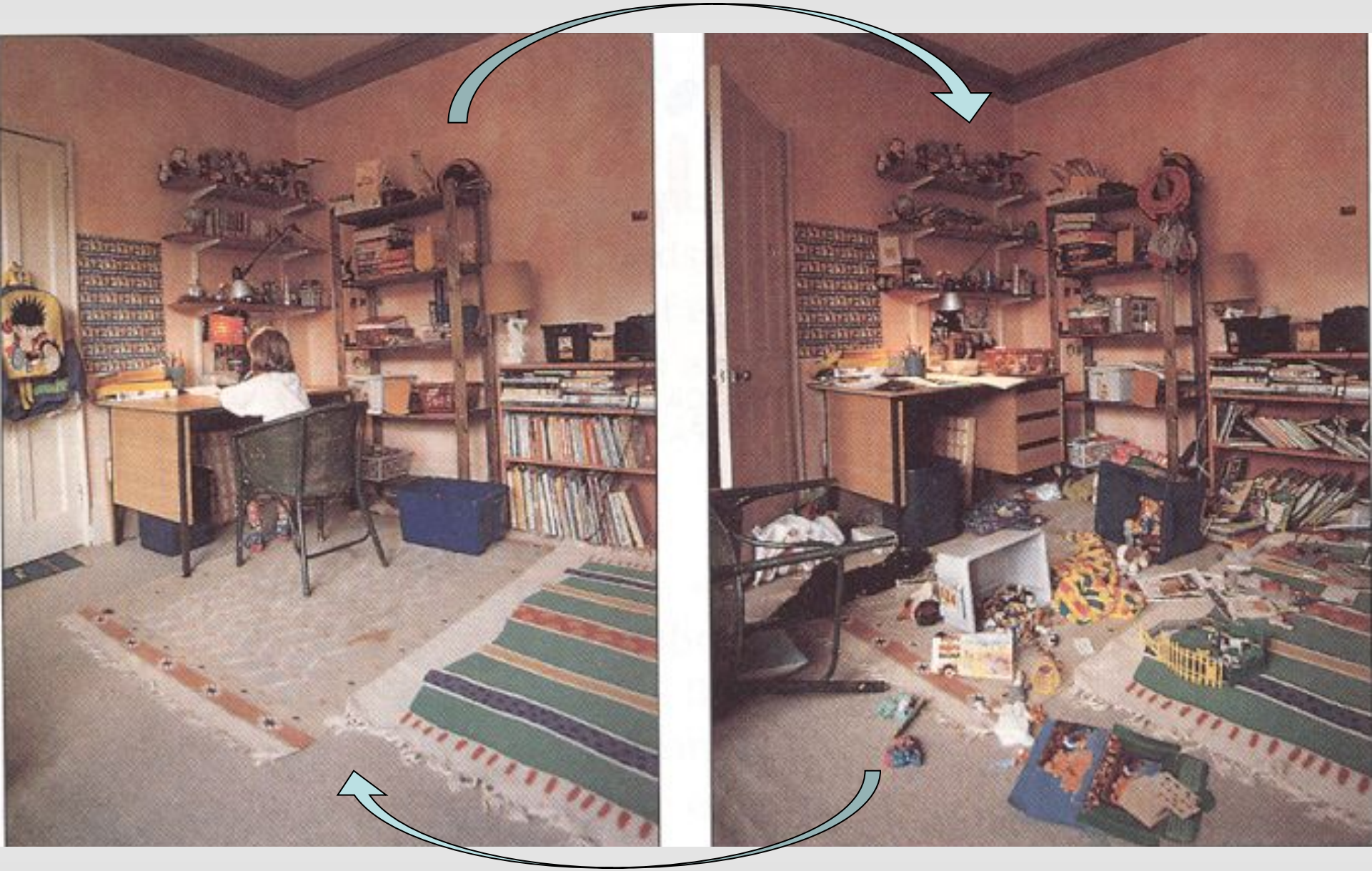
Как возможно поддержание маловероятных состояний?

Второе начало термодинамики:

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

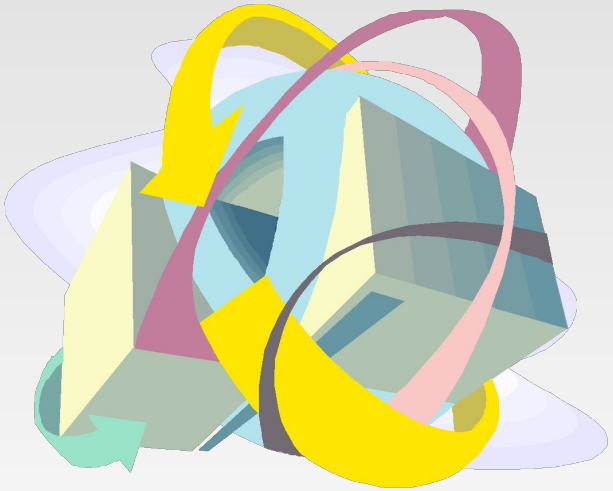
В **открытой** системе поддержание порядка возможно за счет притока энергии извне

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

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?

Когда?

на Земле

~ 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

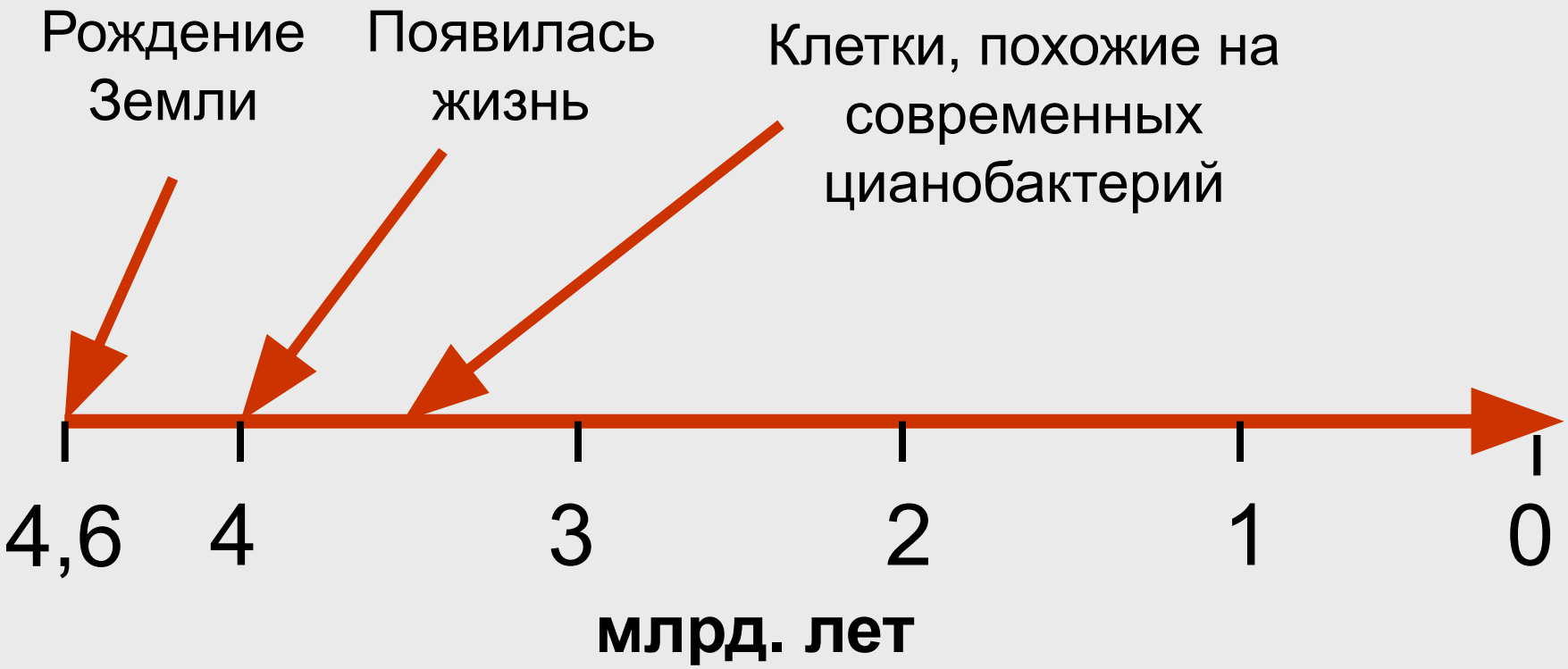
Гипотеза **панспермии**

Не отвергается, но маловероятна

Панспермия – за и против

Панспермия – ЗА

Слишком быстрое появление жизни на Земле



Панспермия – ЗА

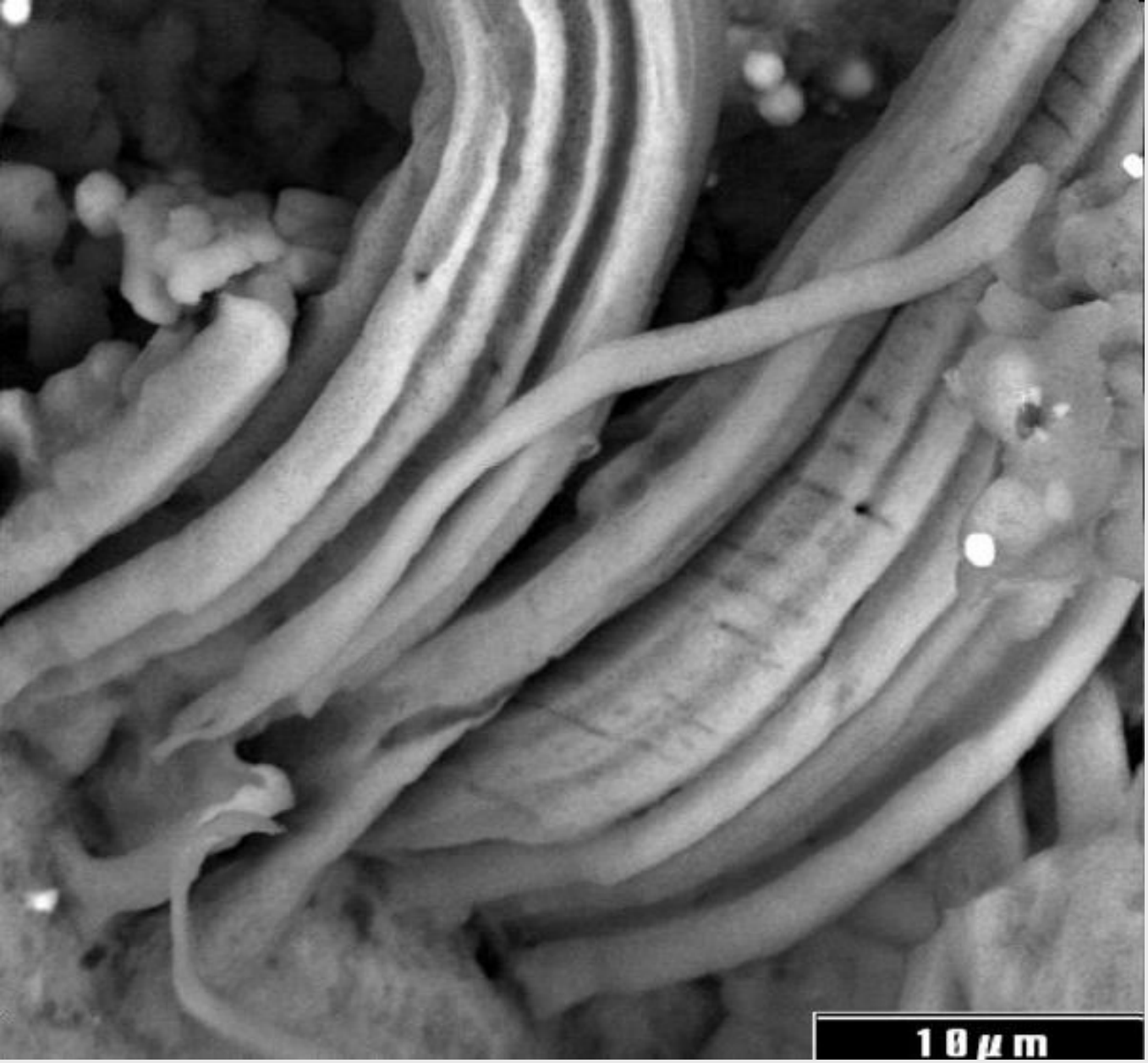
- **Органические вещества**

  в метеоритах и космических облаках

Углистые хондриты

Содержат сахара, аминокис-лоты, азотистые основания

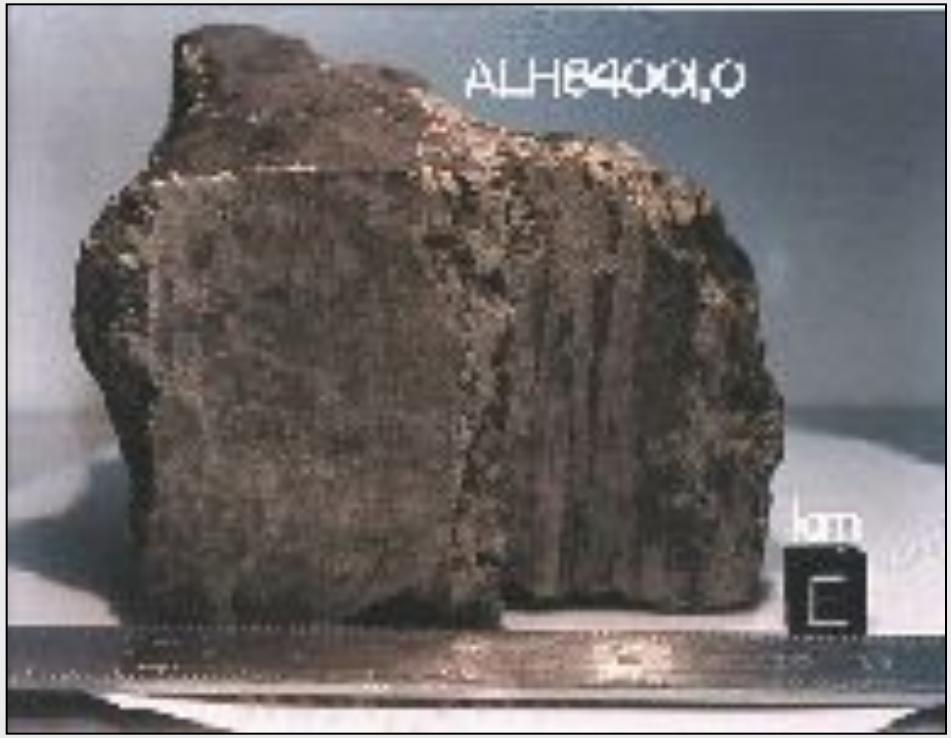
Мурчисон. Упал в Австралии, 1969



Структуры в метеоритах, напоминающие земных цианобактерий

Против: могут иметь неорганическое происхождение

Марсианский метеорит

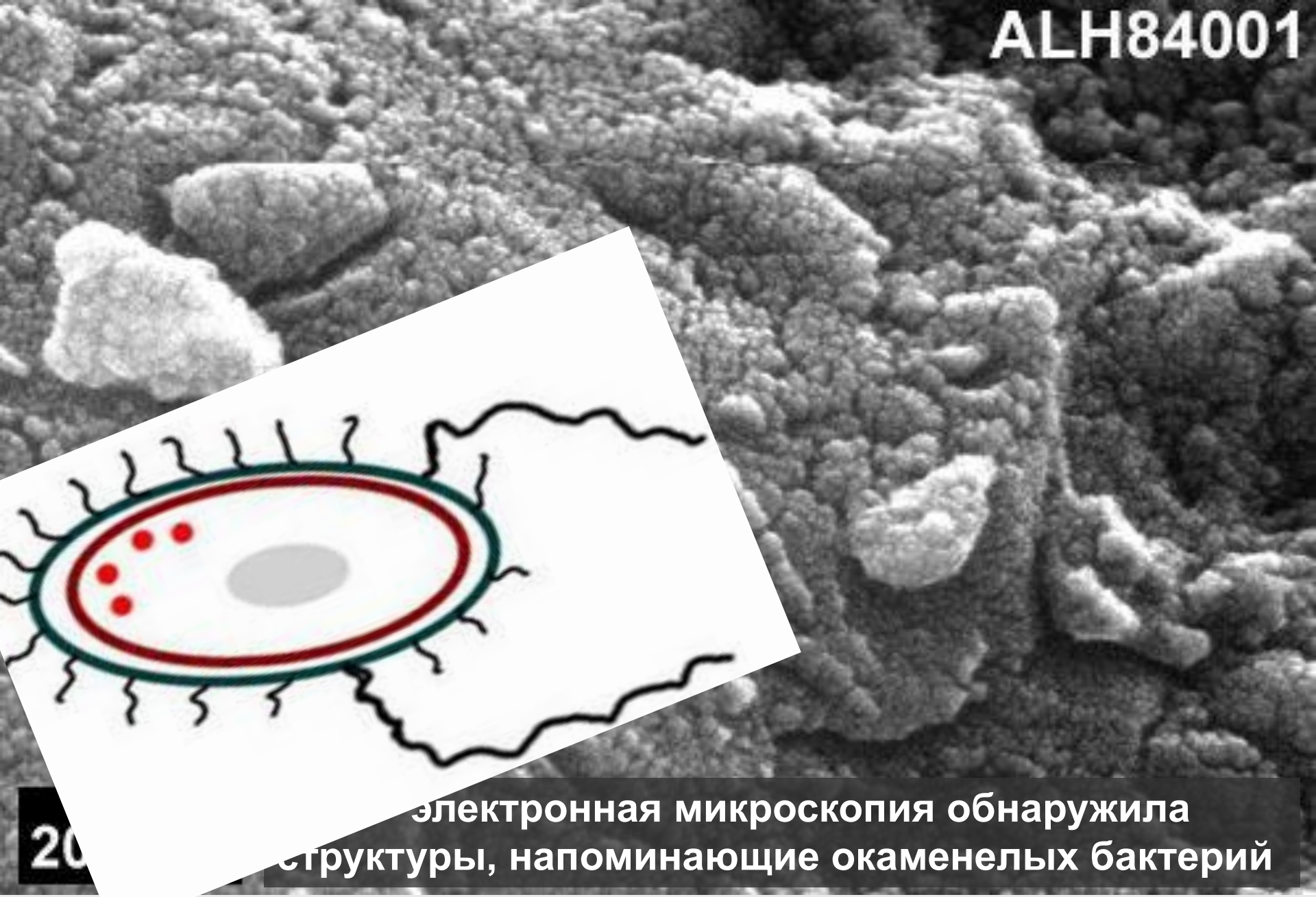


Метеорит ALH 84001

- Найден в 1984

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

Органические включения

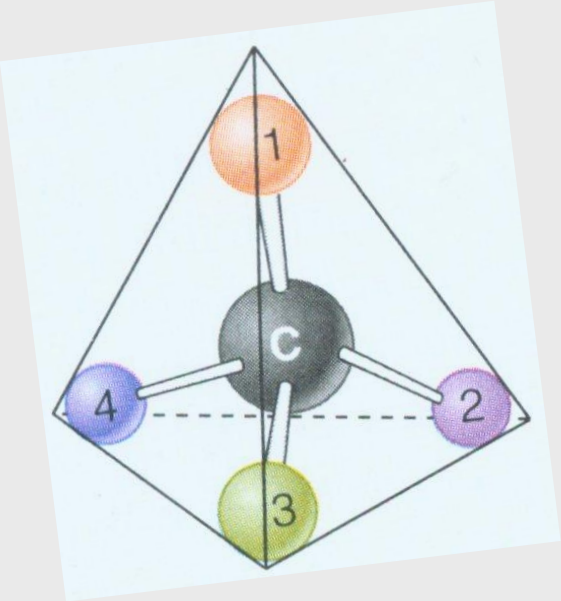


электронная микроскопия обнаружила
структуры, напоминающие окаменелых бактерий

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

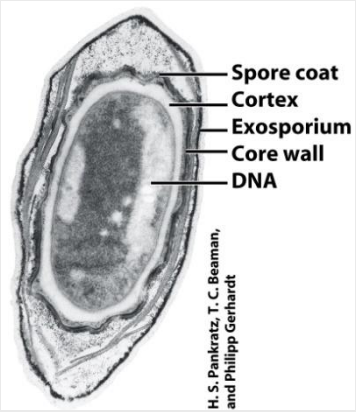


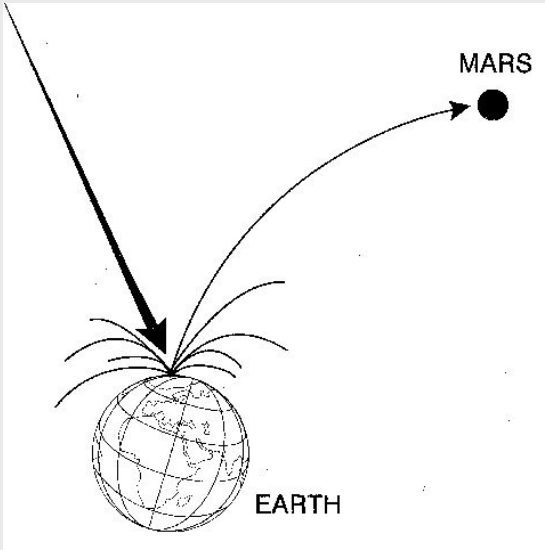
Панспермия – ПРОТИВ

- 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 0,1*c* 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

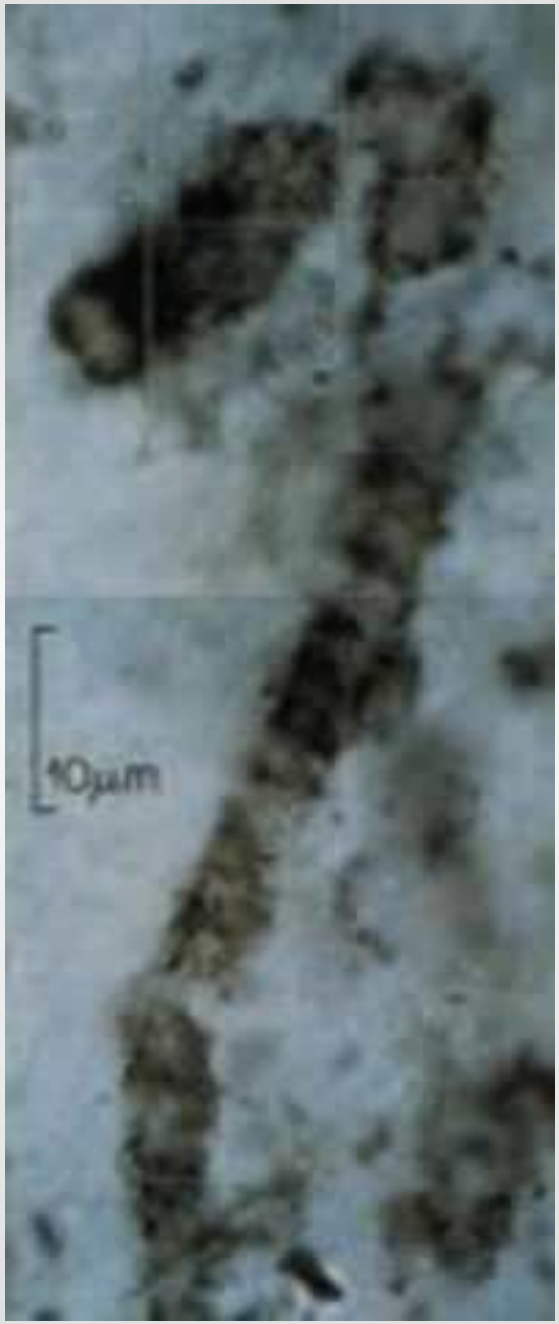
1. Отсутствие **палеонтологической** летописи
2. Невозможность воспроизвести в **эксперименте**

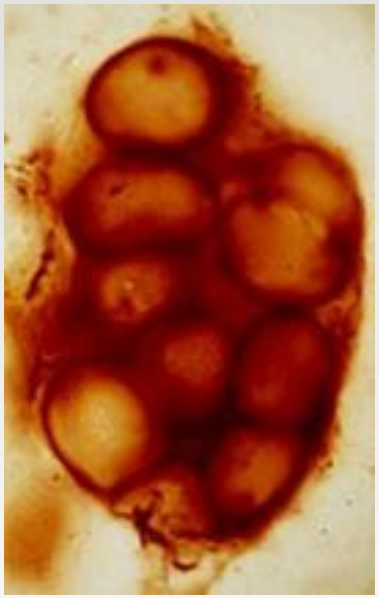
Теоретические:

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



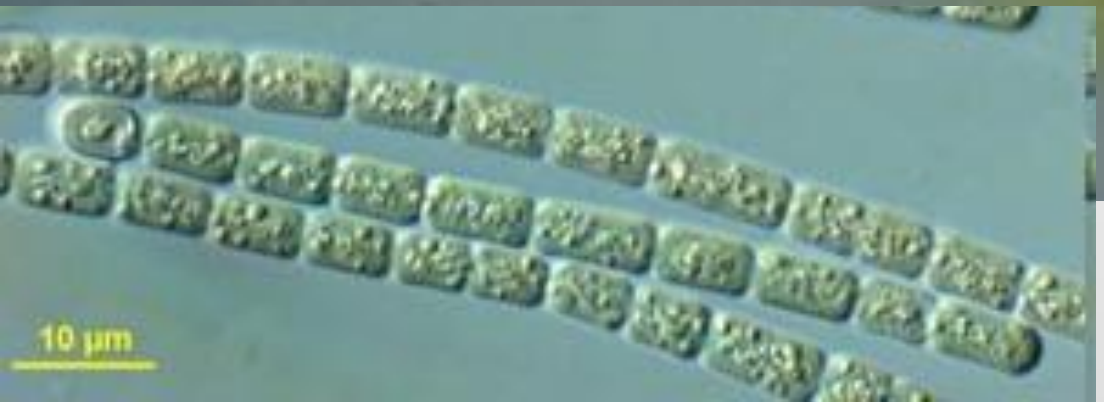


- Самые древние из окаменелых организмов – **цианобактерии**

3.5 млрд.лет

Фотосинтез

30
20
μm
10
0
3.5 млрд.лет



Современные цианобактерии

Строматолиты = бактериальные маты

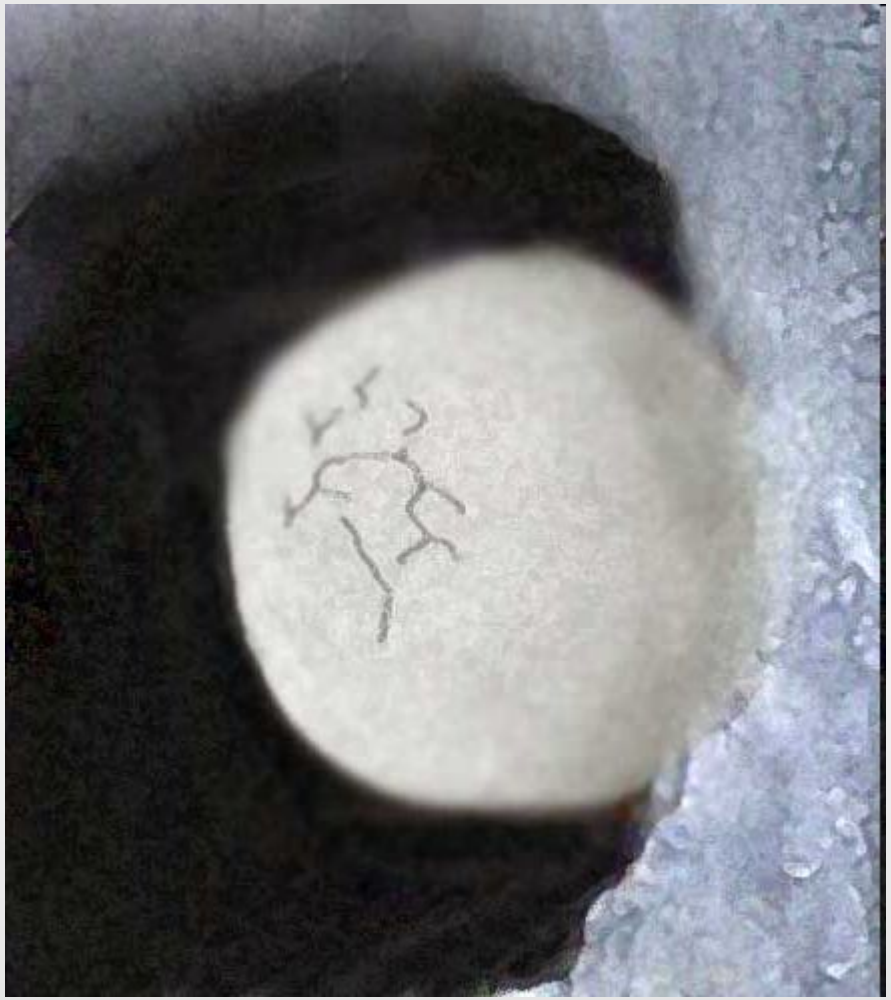
Современные строматолиты, Австралия

Цианобактерии
+
Гетеротрофные бактерии

Очень много в протерозое

3-2 млрд. лет назад

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 ×6900

Теория
Опарина и Холдейна

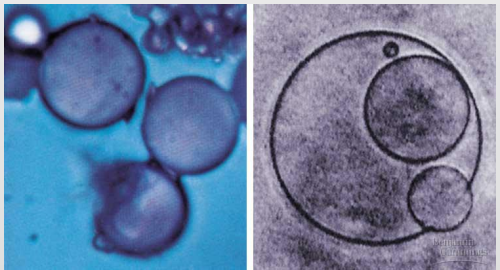
АБИОГЕНЕЗ

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

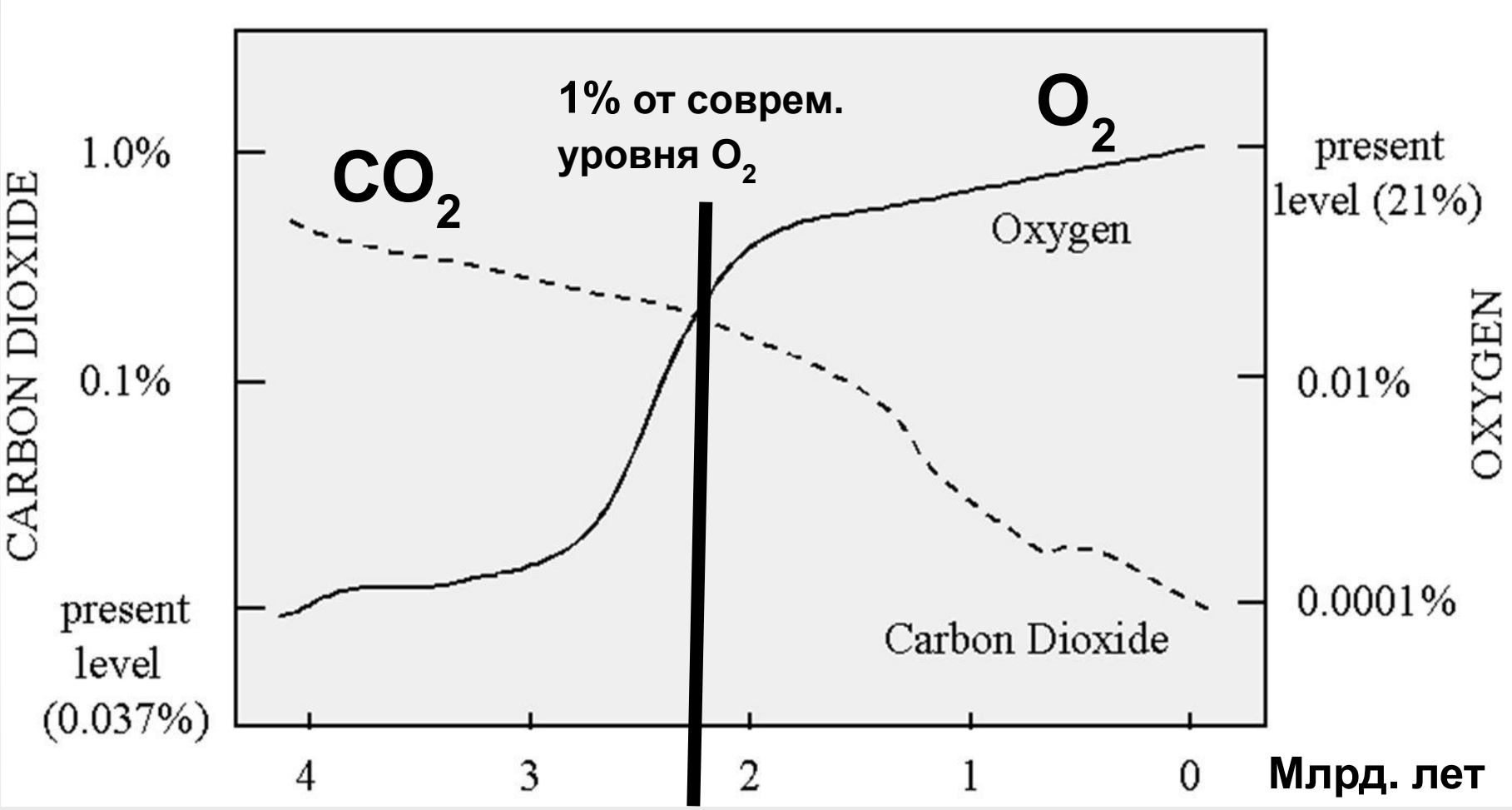
«Первичный бульон»

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° С на ранней Земле

Кислород и углекислый газ в атмосфере Земли



Гадей 3,8 **Архей** 2,5 Появление **эукариот** **Протерозой** (до кембрия)

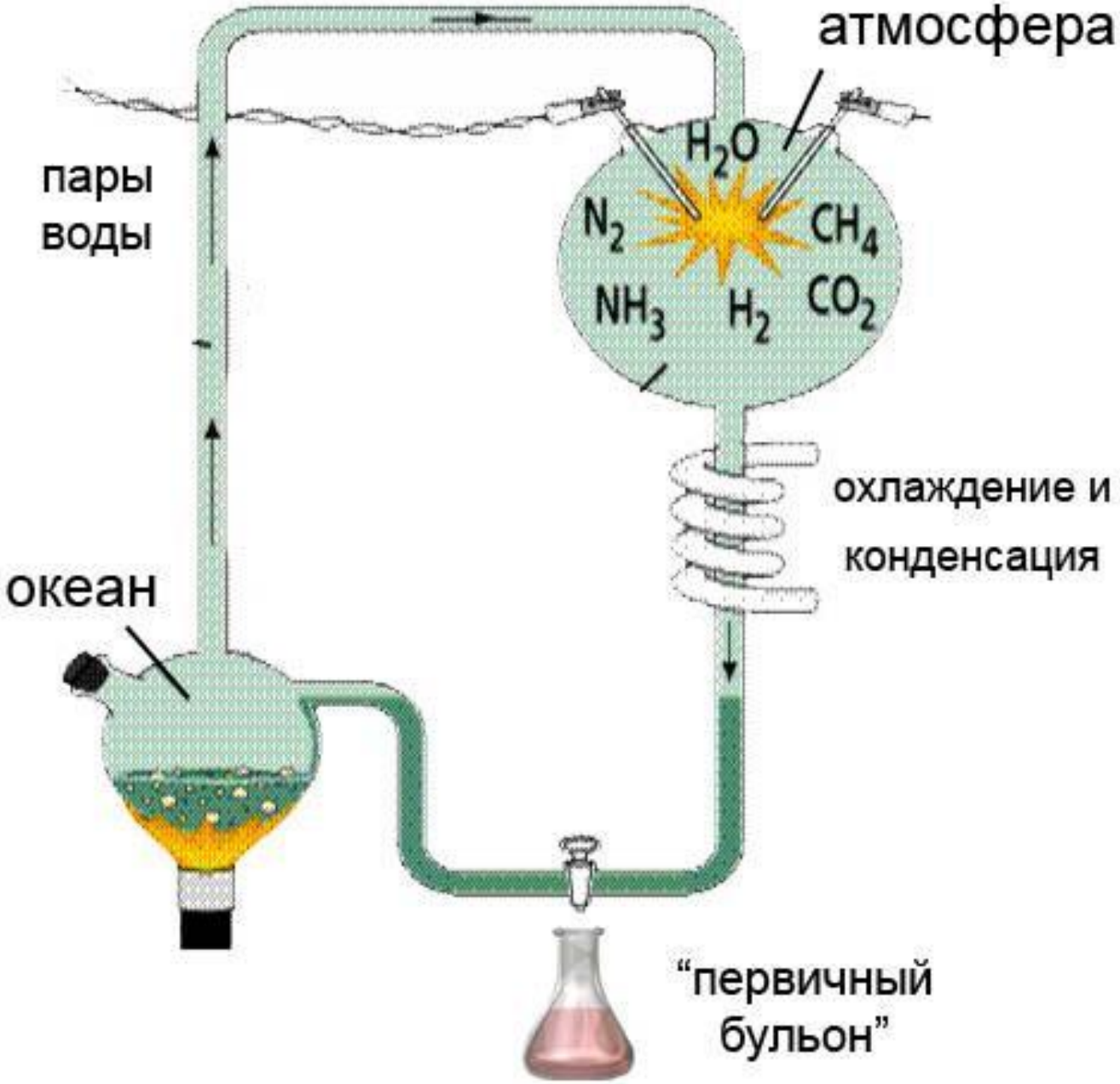
Экспериментальная проверка модели Опарина-Холдэйна

Доказательство возможности абиогенного синтеза органики –

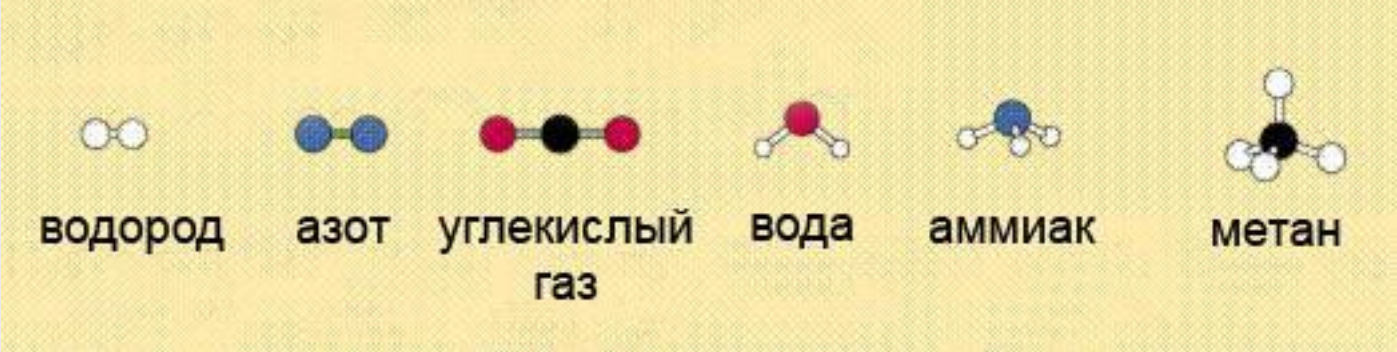
эксперимент Миллера-Юри

1953

Stanley
Miller


атмосфера
пары
воды
H_2O
N_2
CH_4
NH_3
H_2
CO_2
охлаждение и
конденсация
океан
“первичный
бульон”

Эксперимент Миллера и Юри 1953



«Атмо-сфера»

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

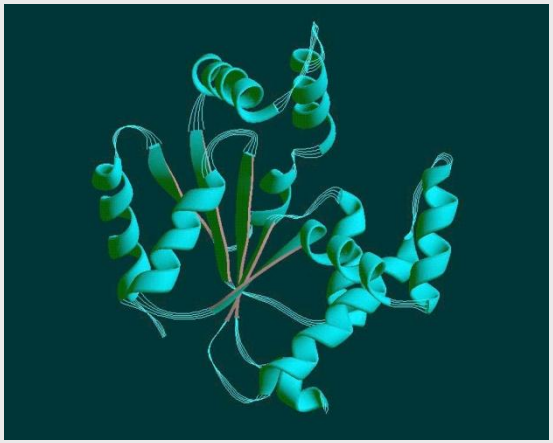
Не сразу современные клетки!

2. Решение проблемы **вероятности**

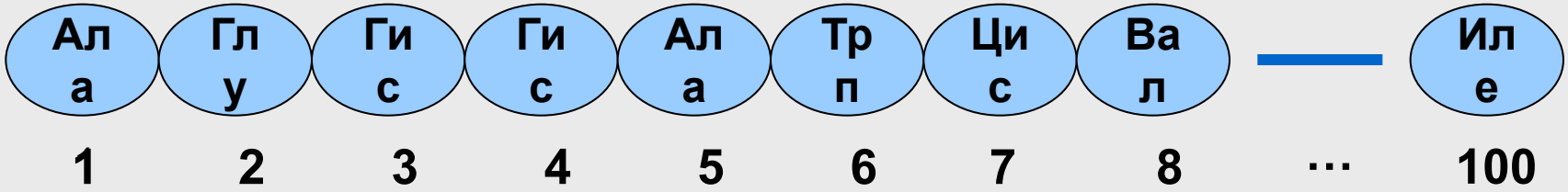
Невероятность жизни

- 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

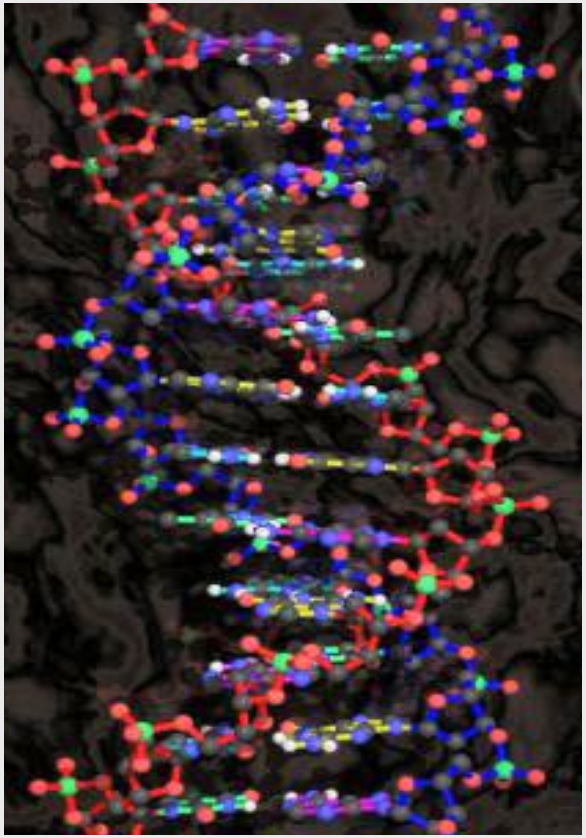


20 разных «строительных блоков»

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)

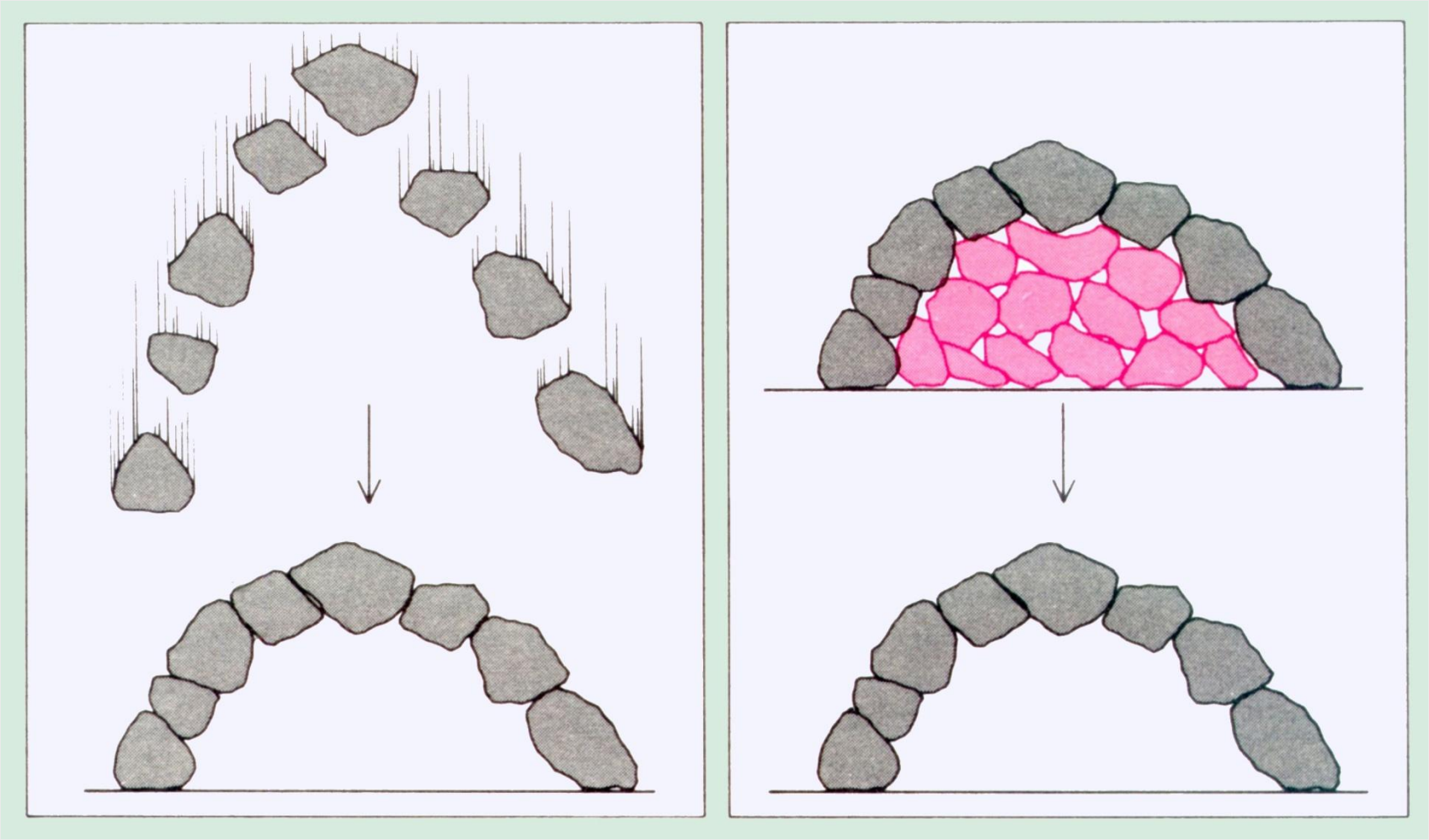
Вероятность случайного возникновения даже одного гена (ДНК для кодирования одного белка)

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

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

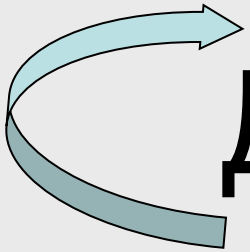
одновременно

Современные гипотезы

возникновения жизни

Мир РНК

Все современные организмы



ДНК → РНК → белки

Информация

чтение
реализация
копирование

Посредник

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.

ДНК + белок, катализирующий ее репликацию

Невероятно!

Одна молекула, катализирующая синтез подобных себе молекул

Вероятность случайного возникновения мала, но не нулевая!

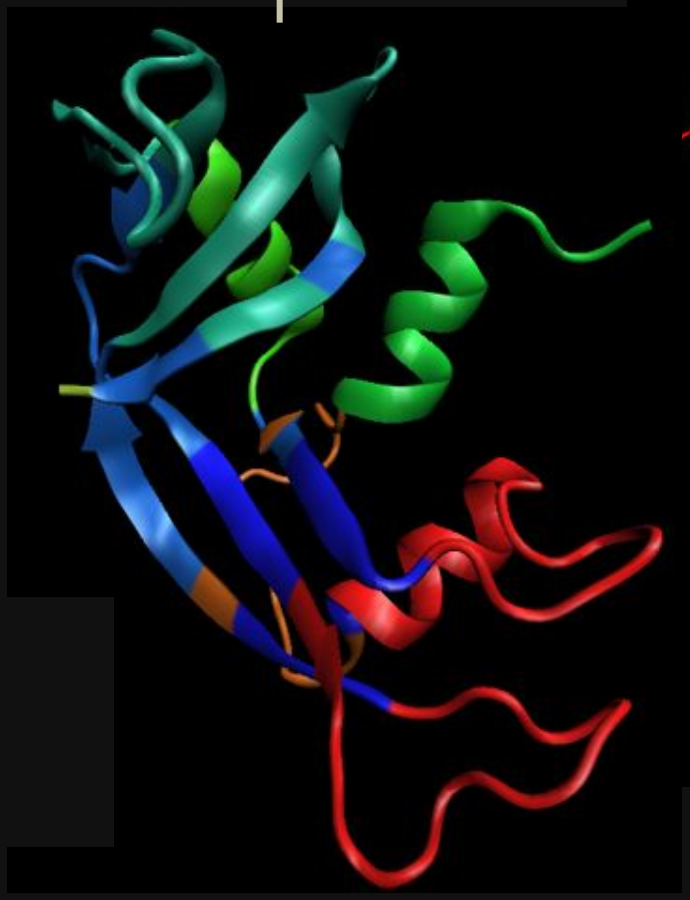
1982

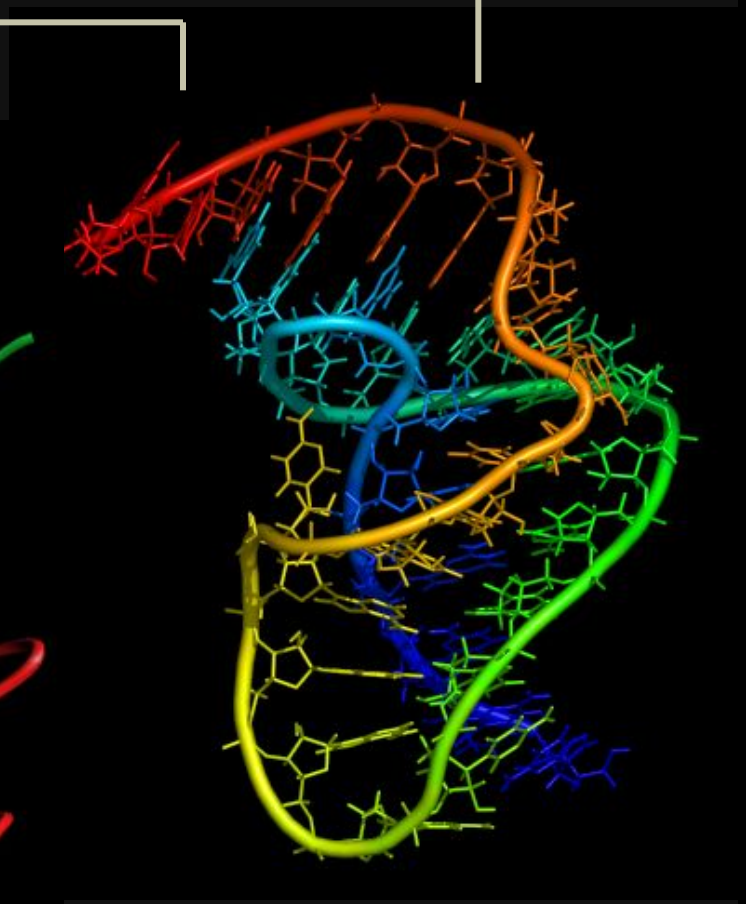
Открытие **рибозимов** – РНК с каталитической активностью

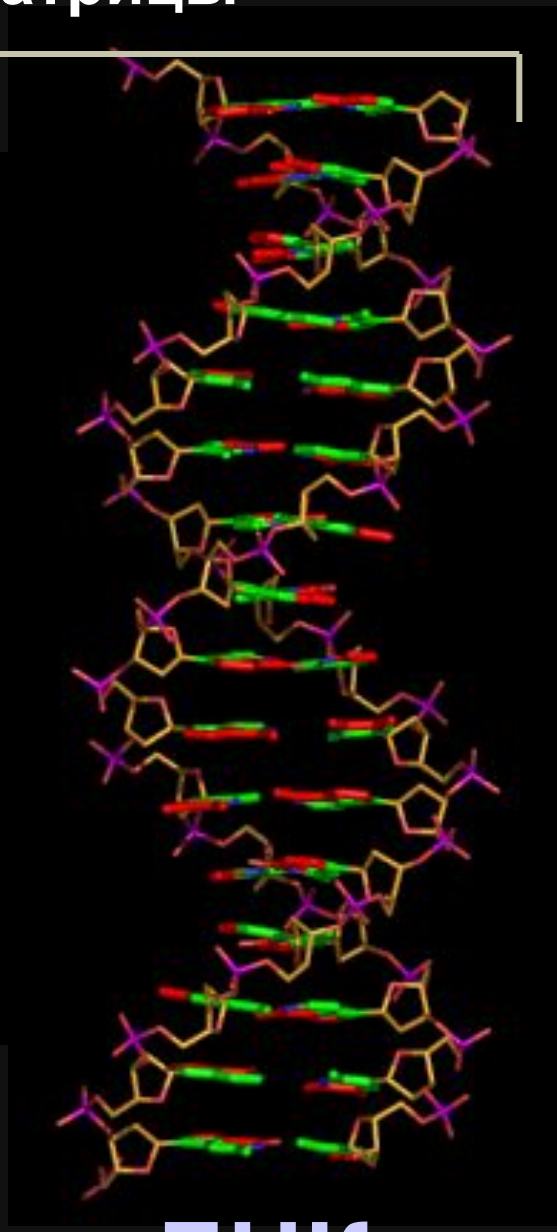
Томас Чек

3-D форма и разнообразные функции

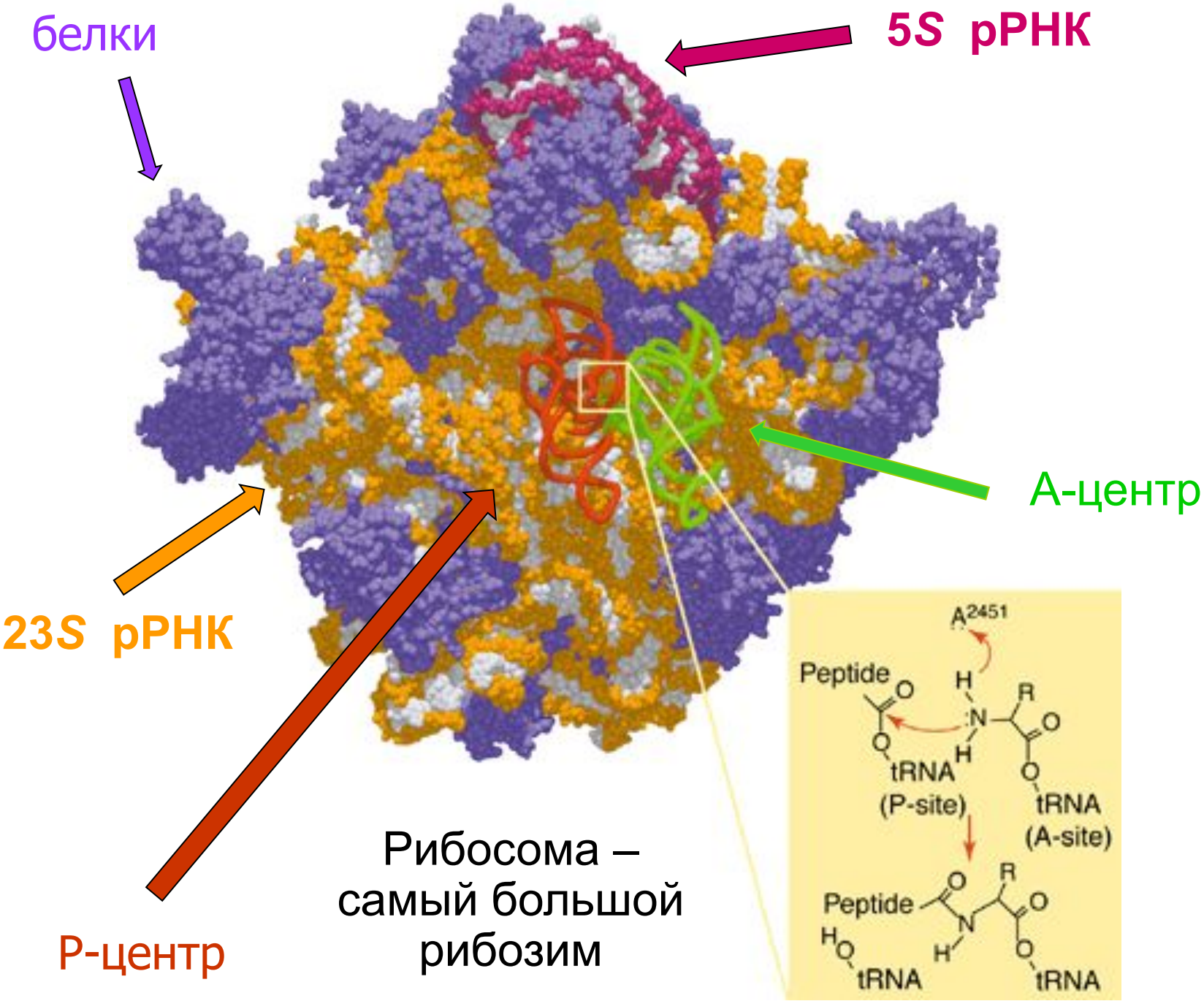
Матрицы



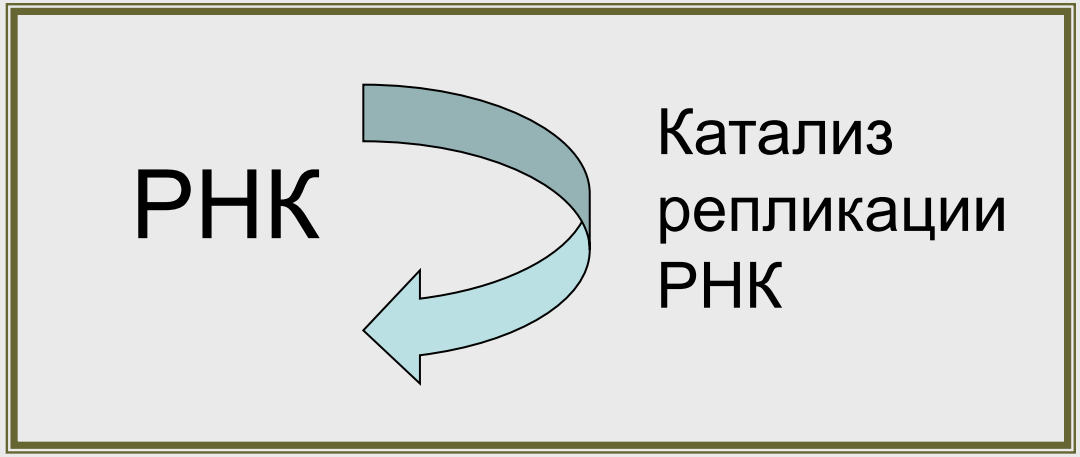




Белок **РНК** **ДНК**


белки
5S рРНК
23S рРНК
А-центр
Р-центр
Рибосома – самый большой рибозим
A2451
Peptide
tRNA
(P-site)
tRNA
(A-site)
Peptide
tRNA
tRNA

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



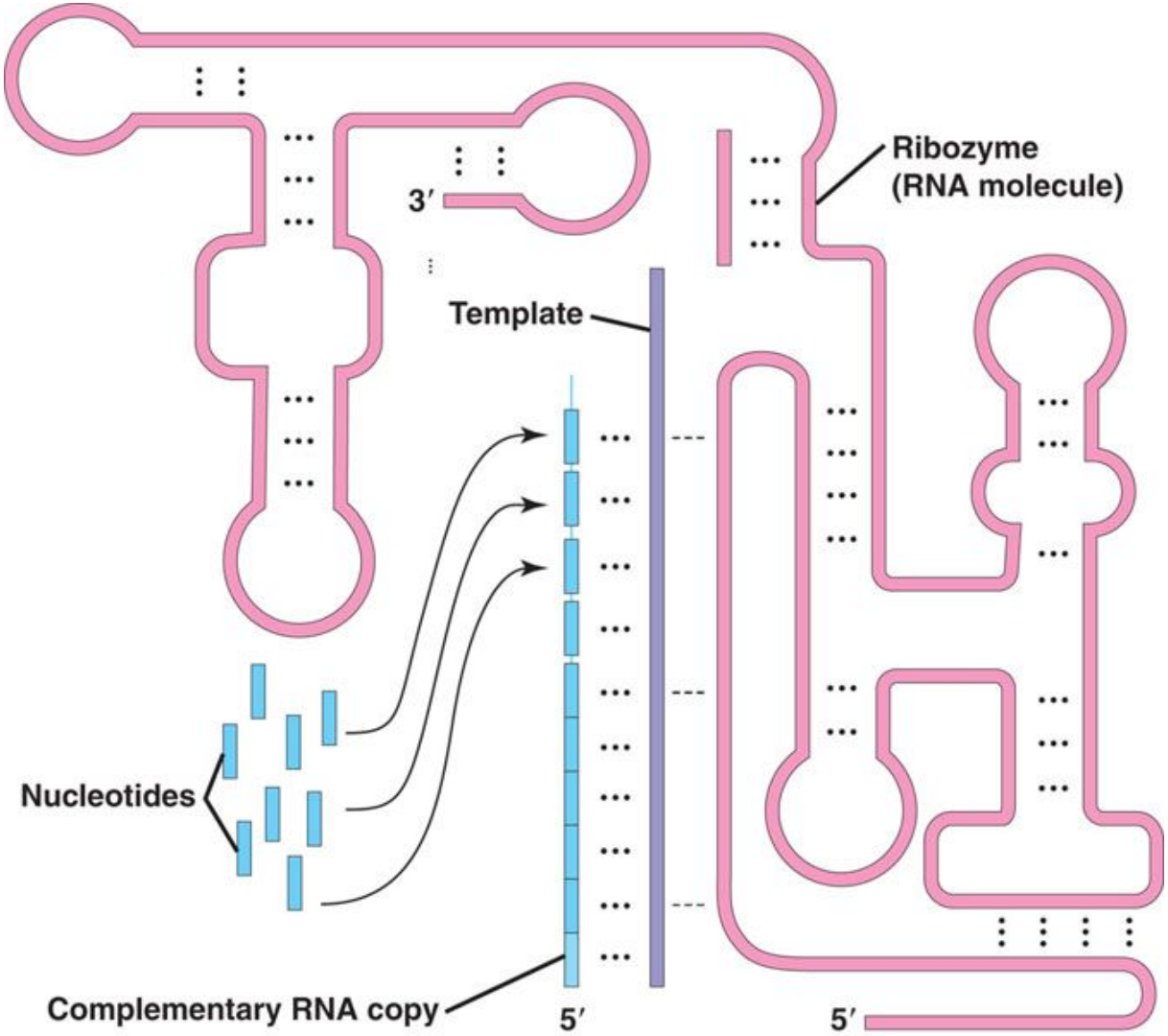
РНК-репликаза

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

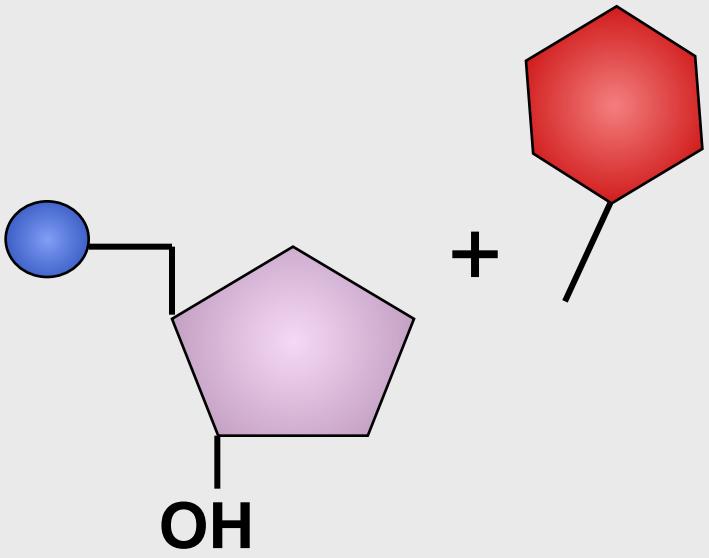
- РНК – посредники на всех этапах синтеза белков
- РНК в составе сплайсосом и некоторых других ферментов
- РНК-вирусы

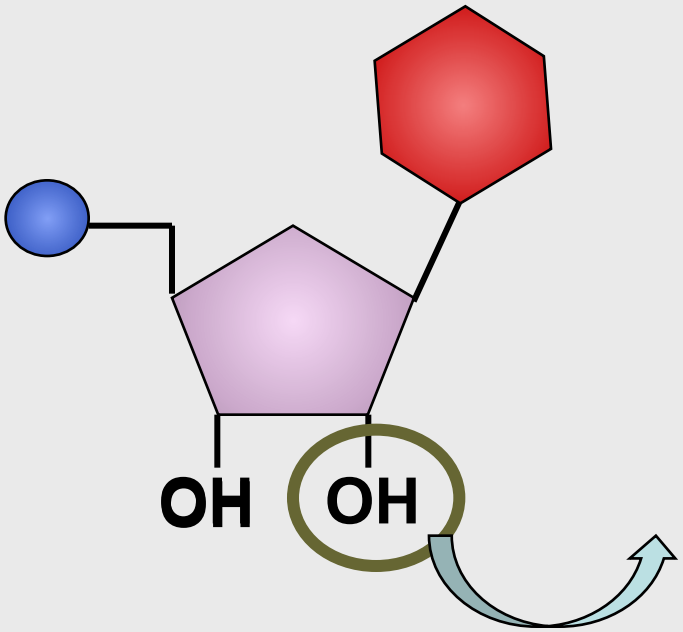
Молекулярные ископаемые РНК-мира

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

Молекулярные ископаемые РНК-мира

- Синтез нуклеотидов ДНК





НЕ ТАК

А ТАК

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.

Как?

Появилась обратная транскриптаза

РНК → ДНК

<u>Гипотеза:</u> первыми на ДНК переписали свои геномы вирусы – для защиты от РНК-рестриктаз клеток-хозяев.

Возникновение мембран

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

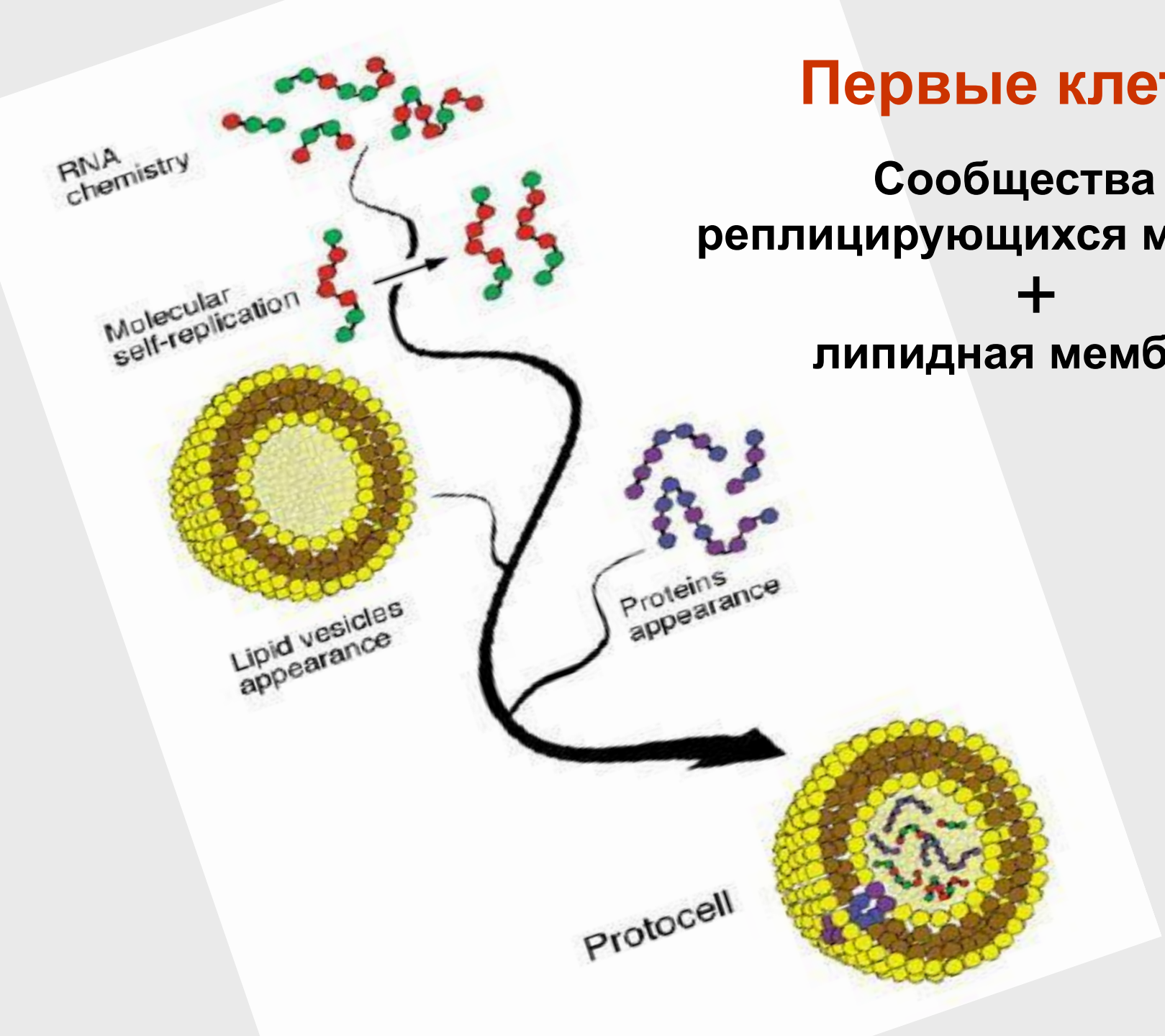
Способность липидов к самосборке

Первые клетки

Сообщества реплицирующихся молекул

+

липидная мембрана

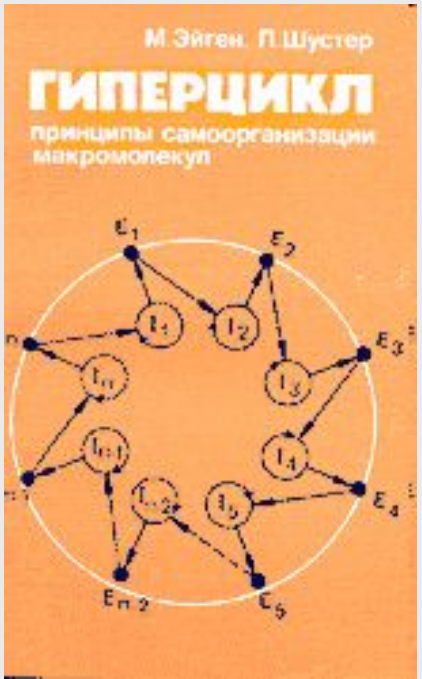


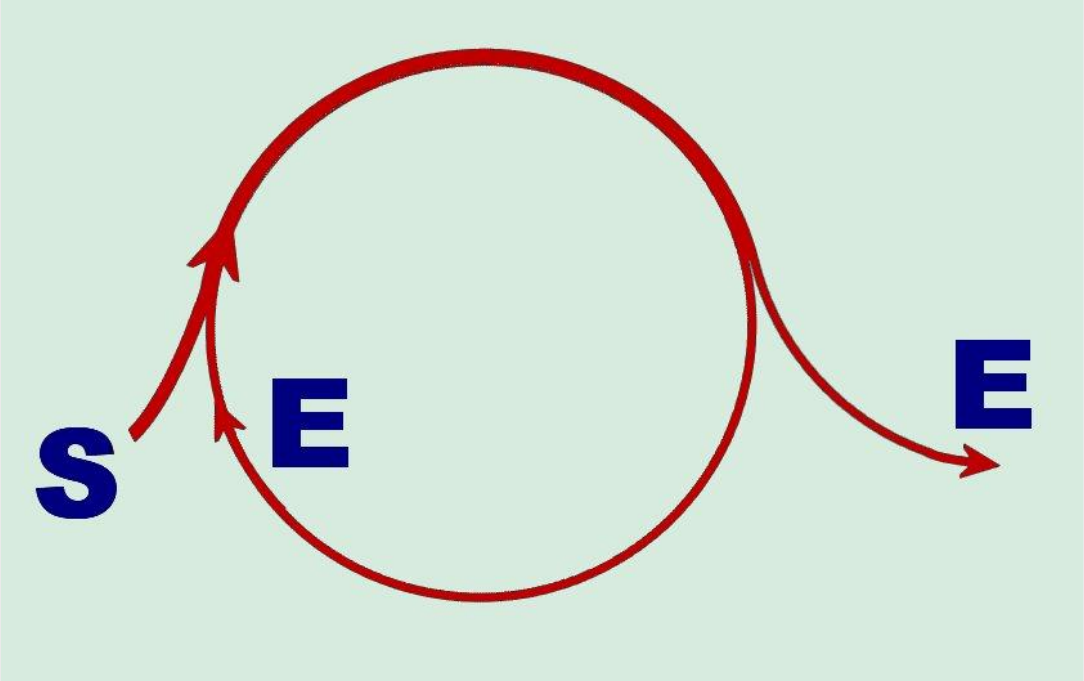
Илья Пригожин – неравновесная термодинамика

1917-2003

Нобелевская премия по химии 1977

Гиперциклы Эйгена

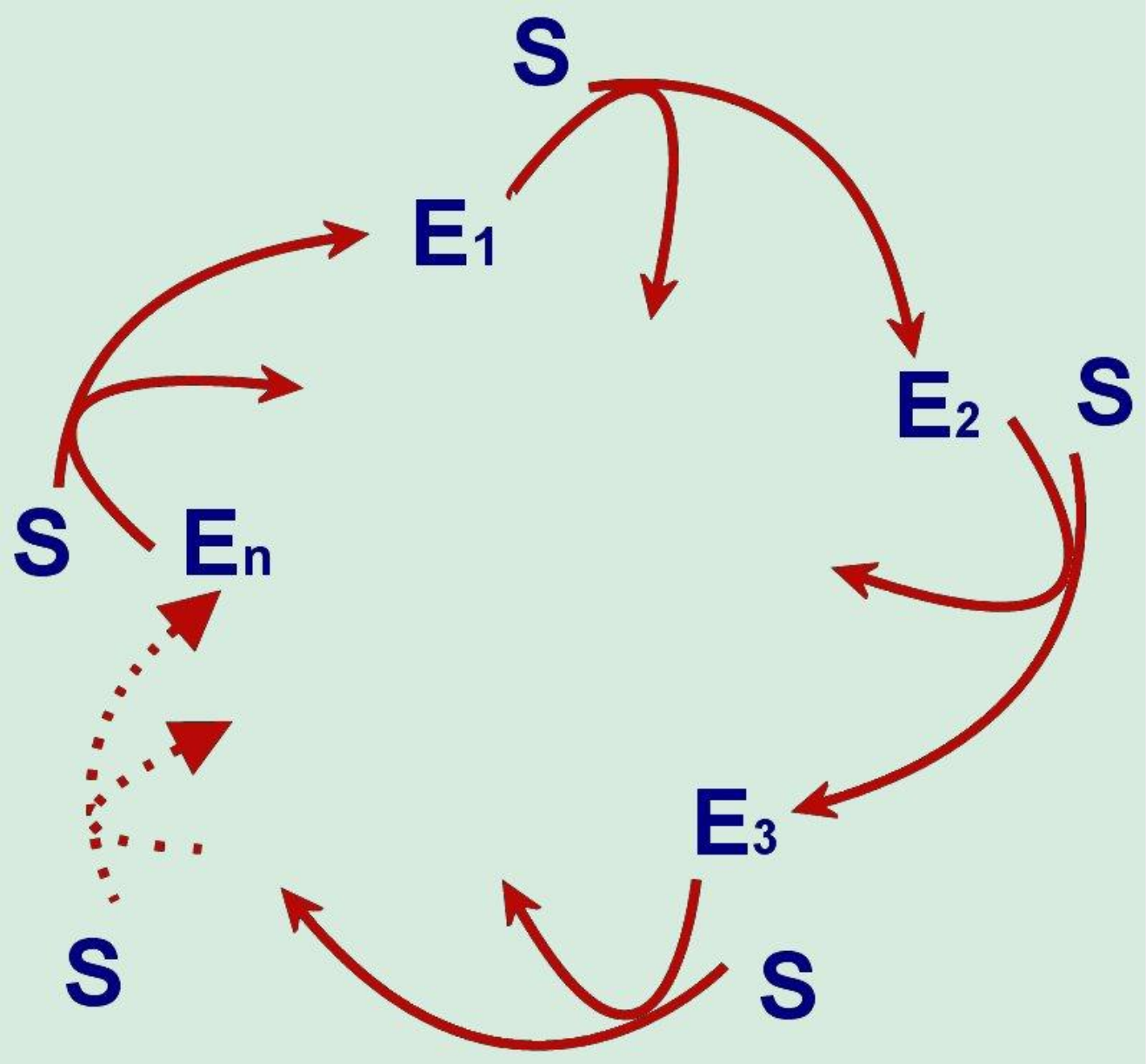




Автокаталитическая реакция.

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