



Факультет биоинженерии и биоинформатики  
МГУ имени М.В. Ломоносова

# LUCA — общий предок всех современных живых существ

**Дарья Владимировна Диброва**

к.б.н., с.н.с. НИИ ФХБ МГУ,  
доцент ФББ МГУ

25.03.2026

# План сегодняшней лекции

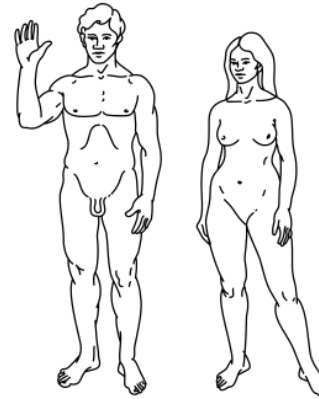
1. Последний общий предок клеточных форм жизни (LUCA) – что это и откуда мы знаем, что такой общий предок был?
2. Что представлял собой LUCA? «Мир РНК» и ранняя эволюция жизни
3. Луна и LUCA?
4. Осторожно – misuse

1. Последний общий предок  
клеточных форм жизни (LUCA) –  
что это и откуда мы знаем, что  
такой общий предок был?

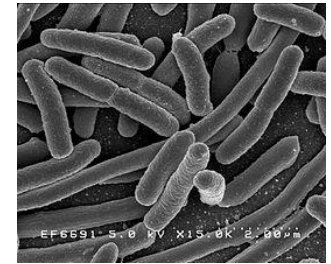
# На уровне генов могут быть похожи друг на друга даже совершенно разные внешне организмы



Мышь



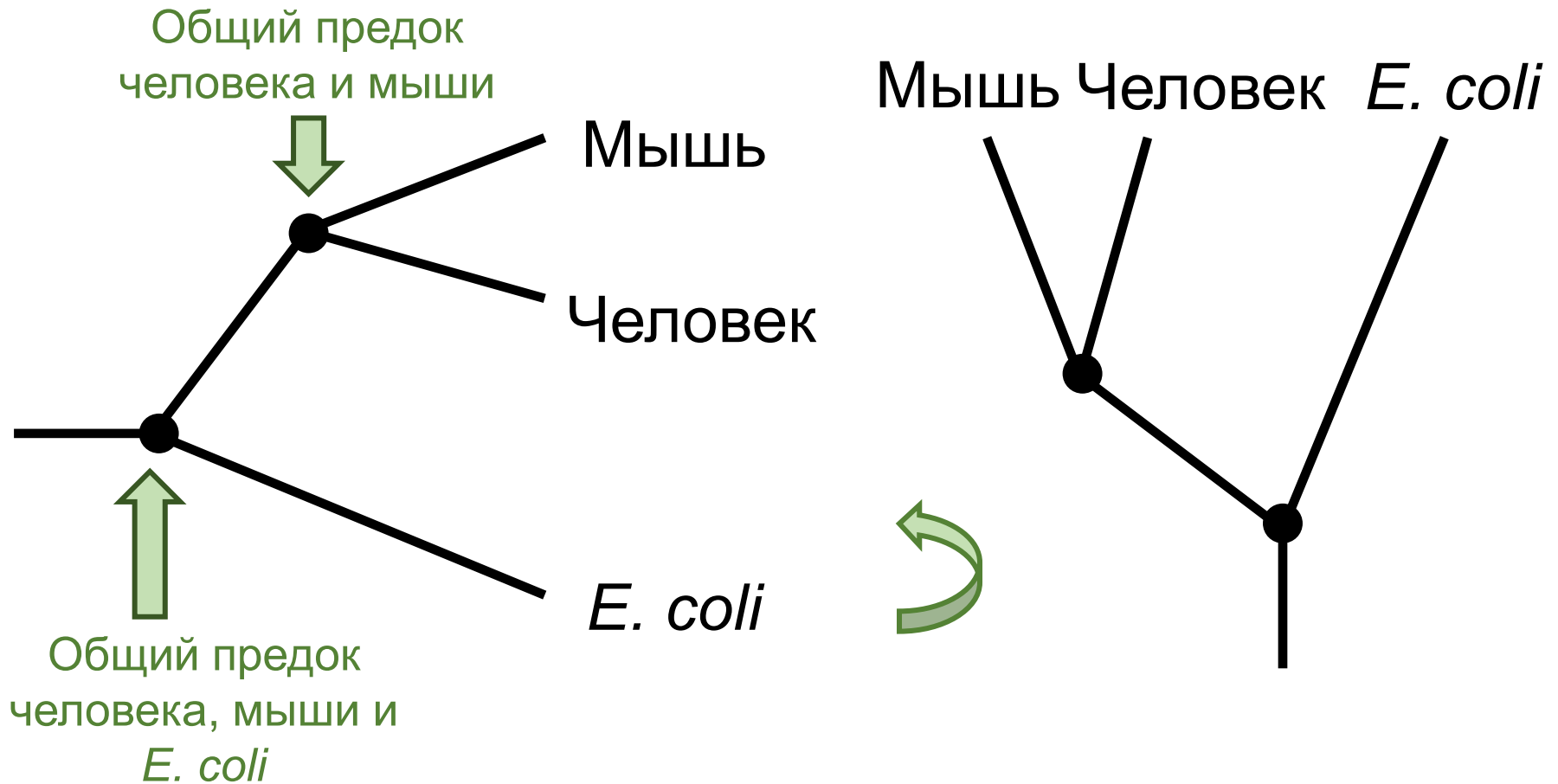
Человек



*Escherichia coli*

Параметр	Человек vs. мышь	Человек vs. <i>E. coli</i>
Общий план строения тела	✓	✗
Сходная физиология	✓	✗
Одинаково устроены клетки	✓	✗
Последовательности многих генов <i>ПОХОЖИ</i>	✓	✓

# Возможная причина: наличие общего предка



(Такие схемы называют «деревьями»)

# Что можно сказать о том, каким был общий предок, наблюдая потомков?

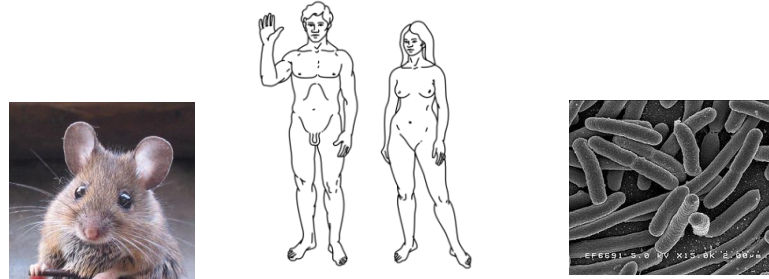


Общий предок человека и мыши:

1. Имел шерсть;
2. Кормил детенышей молоком;
3. Имел четыре конечности;
4. ...



# Что можно сказать о том, каким был общий предок, наблюдая **очень далеких** потомков?



Мышь Человек *E. coli*

Общий предок человека и мыши:

1. Имел шерсть;
2. Кормил детенышей молоком;
3. Имел четыре конечности;
4. ...

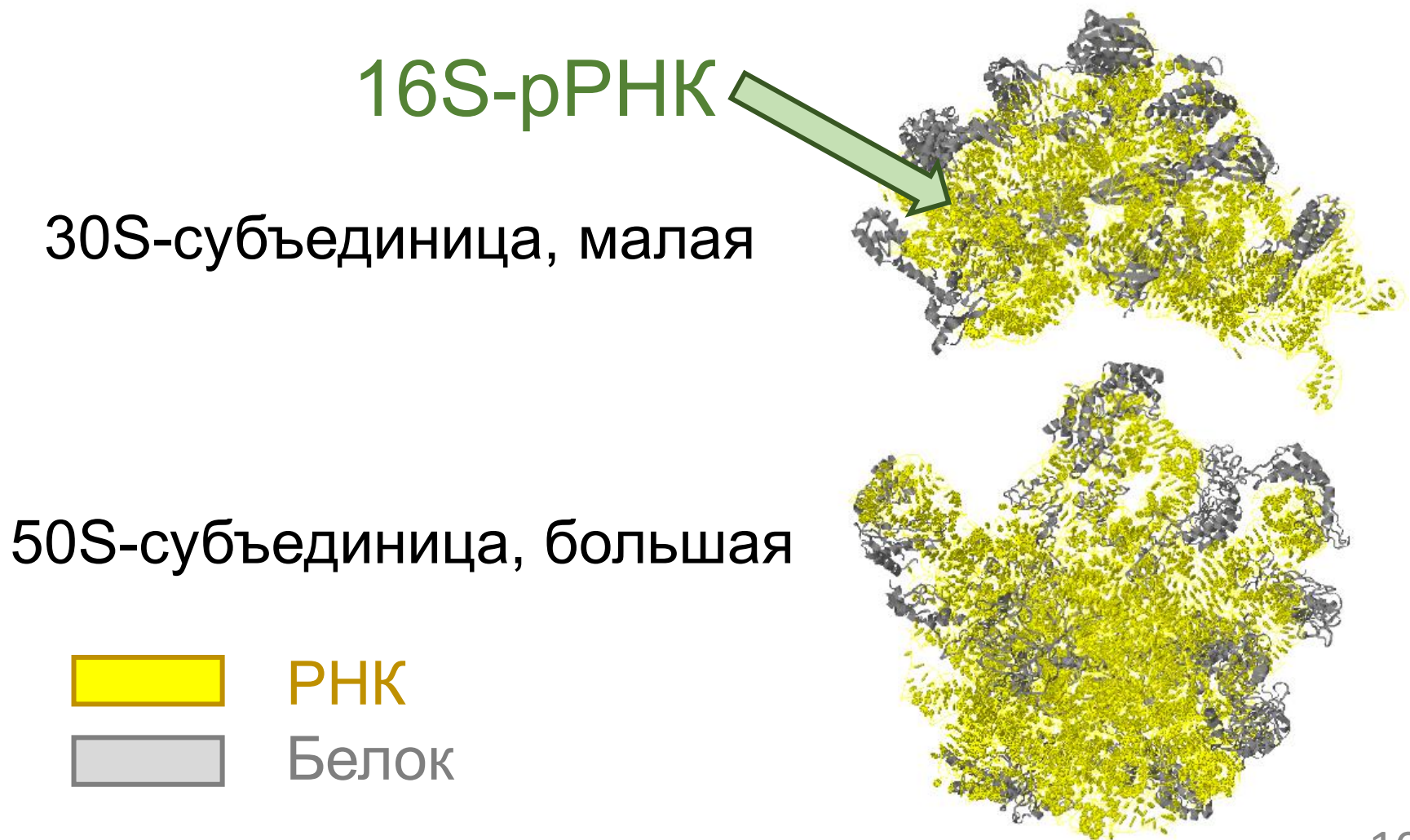
Общий предок человека, мыши и *E. coli*:

1. Имел клеточную структуру.
2. и ?..

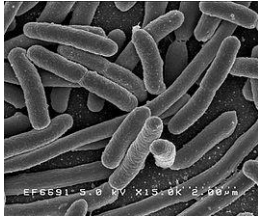
# Около 80 белковых генов (и еще десятки генов РНК) есть у всех (*почти*) организмов



# Рибосома (машина для синтеза белка) – самая универсальная система всех клеток



# Три домена клеточной жизни были выделены на основании анализа 16S рРНК

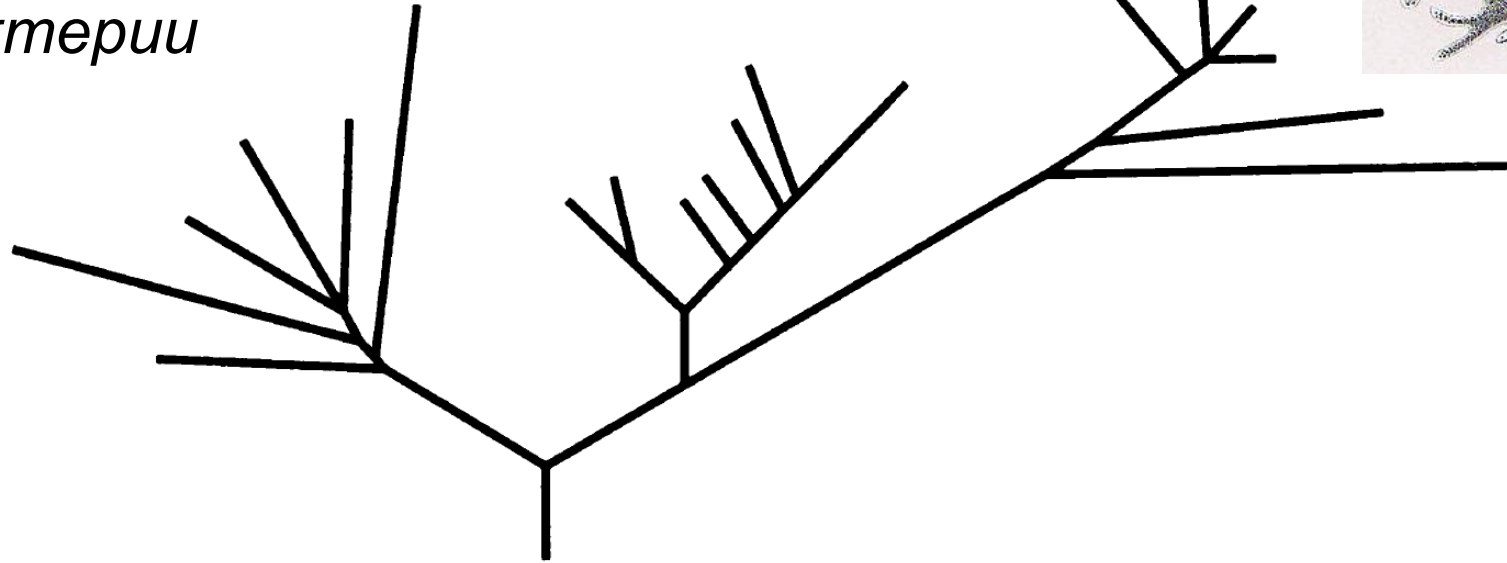
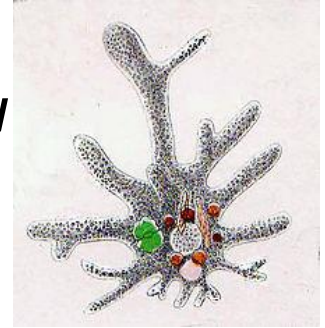


Бактерии



Археи

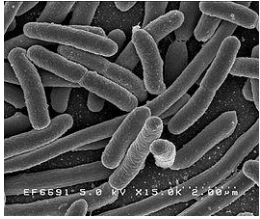
Эукариоты



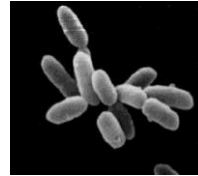
На основании сходства 16S рРНК  
все клеточные формы жизни  
разделяются на **три домена**

(Woese *et al.*, *PNAS*, 1977; Woese *et al.*, *PNAS*, 1990)

# Асгардархеи – наиболее близкие родственники эукариот, открытые через анализ геномных данных

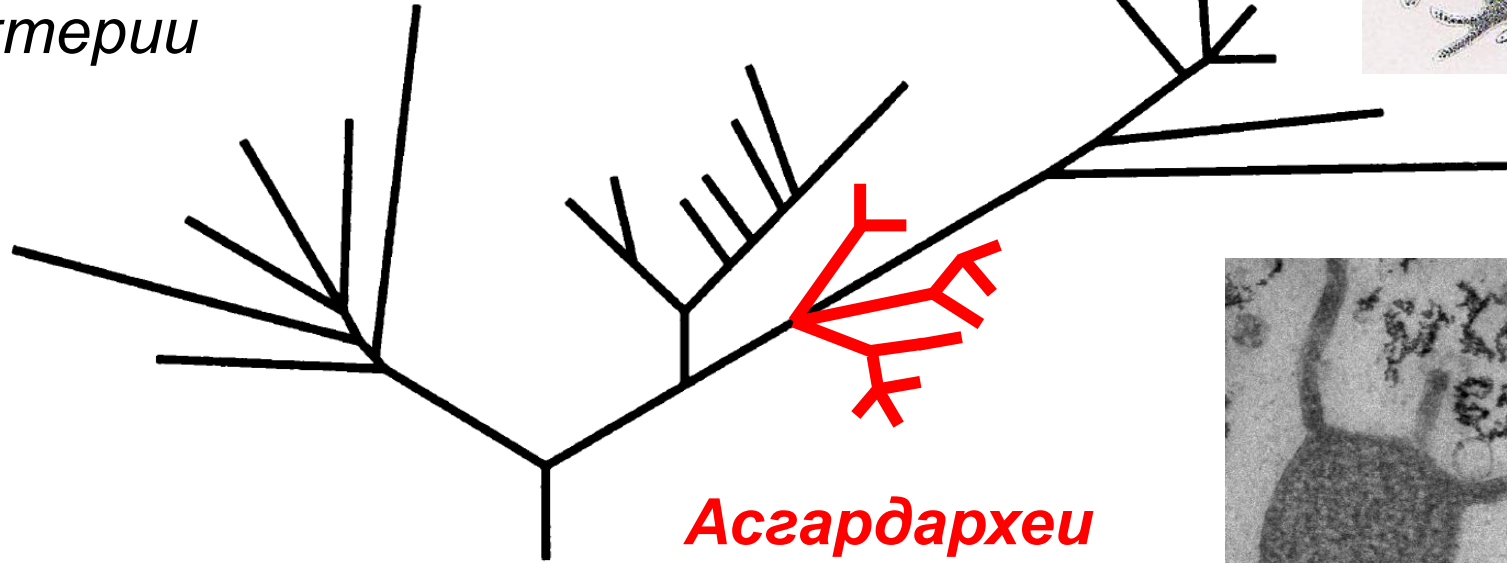
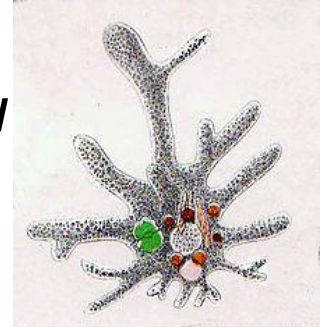


Бактерии



Археи

Эукариоты

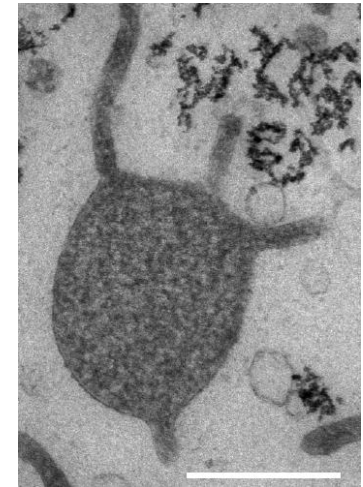


**Асгардархеи**

(Spang et al., Nature, 2015)

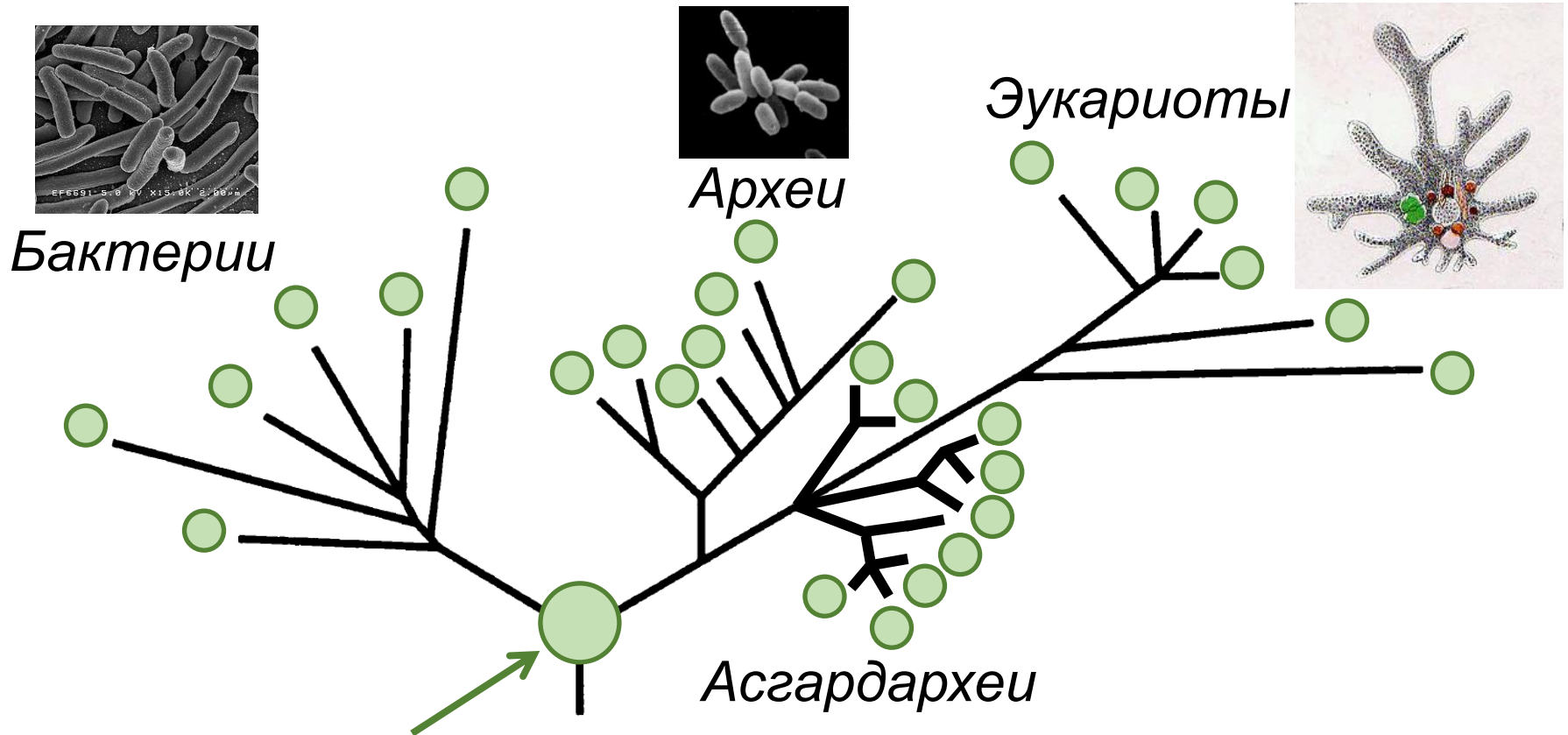
На основании сходства **16S рРНК** все клеточные формы жизни разделяются на **три домена**

(Woese et al., PNAS, 1977; Woese et al., PNAS, 1990)



(Imachi et al., Nature, 2020)

# Последний общий предок всех клеток: Last Universal Cellular (Common) Ancestor (LUCA)

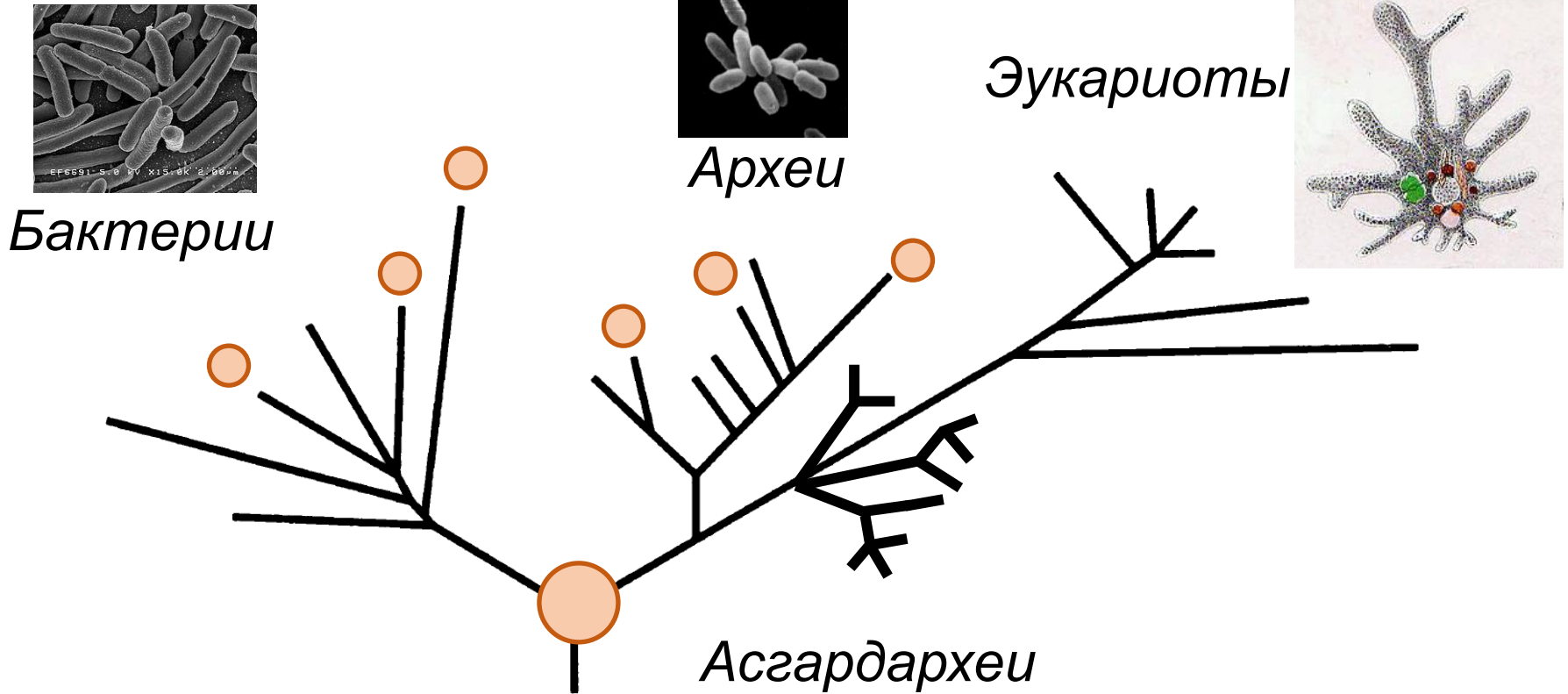


~ 80 универсальных белковых генов указывают на наличие последнего общего предка клеточных форм живого (LUCA), существовавшего до разделения бактерий и архей

(Koonin, *Annu Rev Genomics Hum Genet*, 2000; Charlebois and Doolittle, *Genome Res*, 2004)

Изображения представителей доменов взяты из Википедии

# У LUCA могли быть также гены, которые не являются универсальными



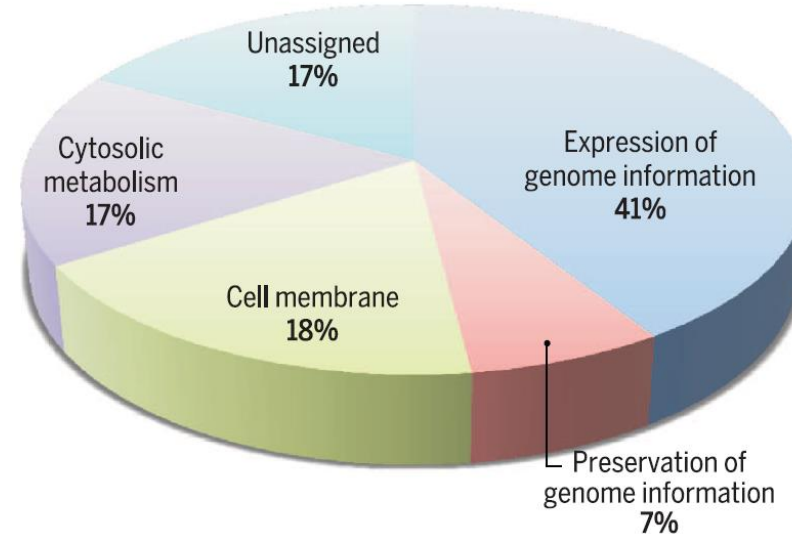
- Организмы могут **утрачивать** гены по разным причинам;
- Иногда гены могут **приобретаться** не от предка, а «горизонтально», от другого организма (т.н. «horizontal gene transfer»)

(Koonin et al., *Annu Rev Microbiol*, 2001)

## 2. Что представлял собой LUCA? «Мир РНК» и ранняя эволюция ЖИЗНИ

# Минимальный набор генов для жизни в богатой (лабораторной) среде

- В 2010 г. синтезировали хромосому бактерии *Mycoplasma* по известной последовательности (внеся незначительные изменения), вставили ее в клетку другого вида микоплазмы, откуда ДНК была удалена.
- В 2016 г. удалось уменьшить число генов с 901 до **473**, сохранив способность клеток делиться и жить.
- Правда, они делились не очень четко. В исследовании 2021 г. им вернули 7 генов, и они стали делиться почти как дикие!

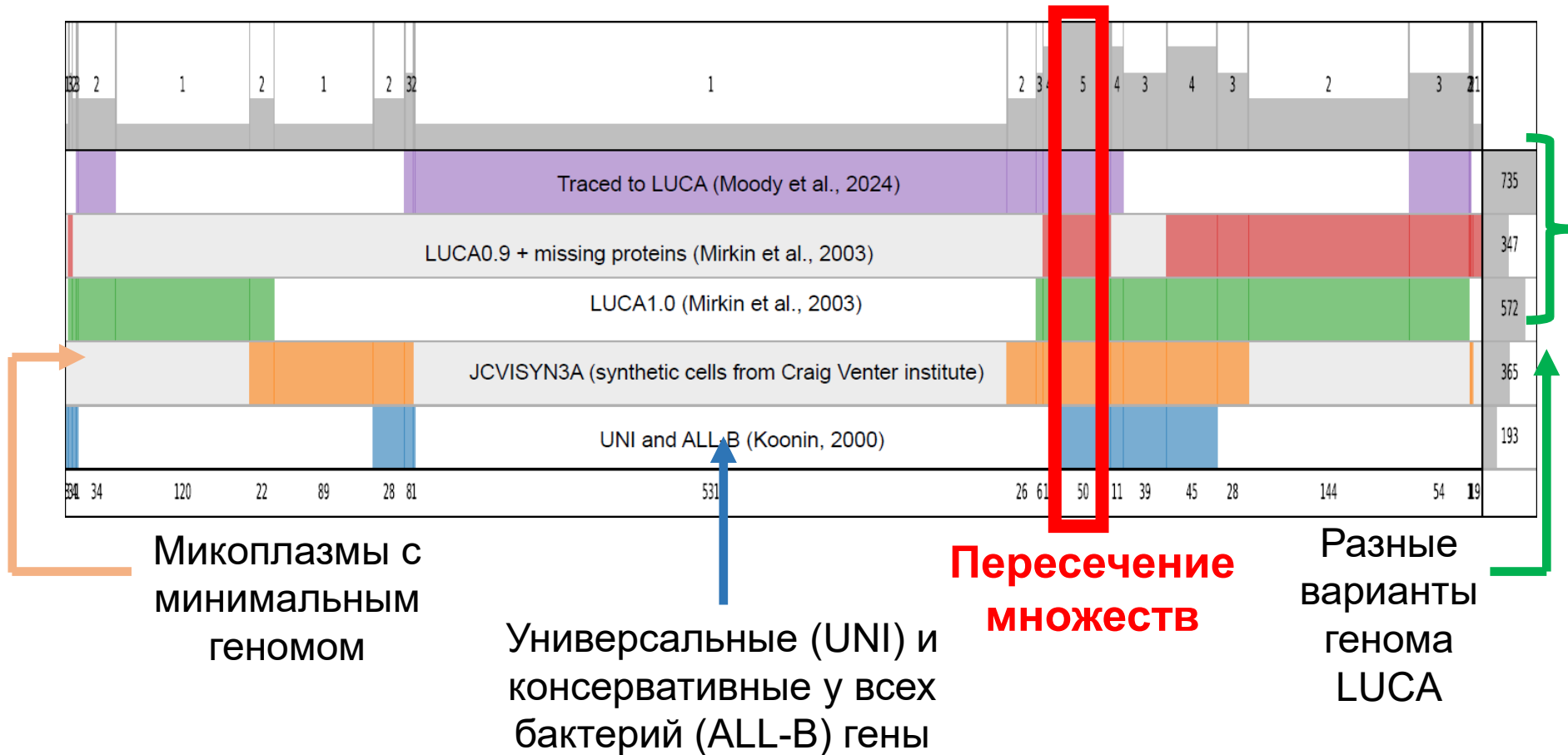


**Функциональные группы  
в «минимальном наборе  
генов»  
(из работы 2016 г.)**

Источник рисунка: Hutchison C.A. 3rd, ..., and Craig J. Venter (2016) Design and synthesis of a minimal bacterial genome. *Science* 351(6280):aad6253.

См. также: Gibson D.G. *et al.* (2010) Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. *Science* 329(5987):52–56. Pelletier J.F. *et al.* (2021) Genetic requirements for cell division in a genomically minimal cell. *Cell* 184(9):2430–2440.

# Представления о том, какие же белковые гены были у LUCA, весьма противоречивы



! Сложная диаграмма Венна получена с помощью **supervenn** (крутого модуля для Python: <https://github.com/gecko984/supervenn>)

# ... но белок-кодирующих генов у него должно было быть несколько сотен как минимум

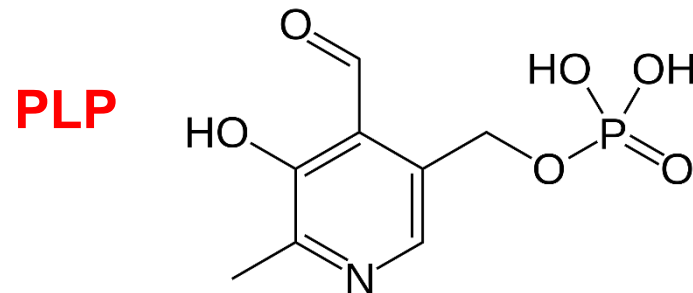
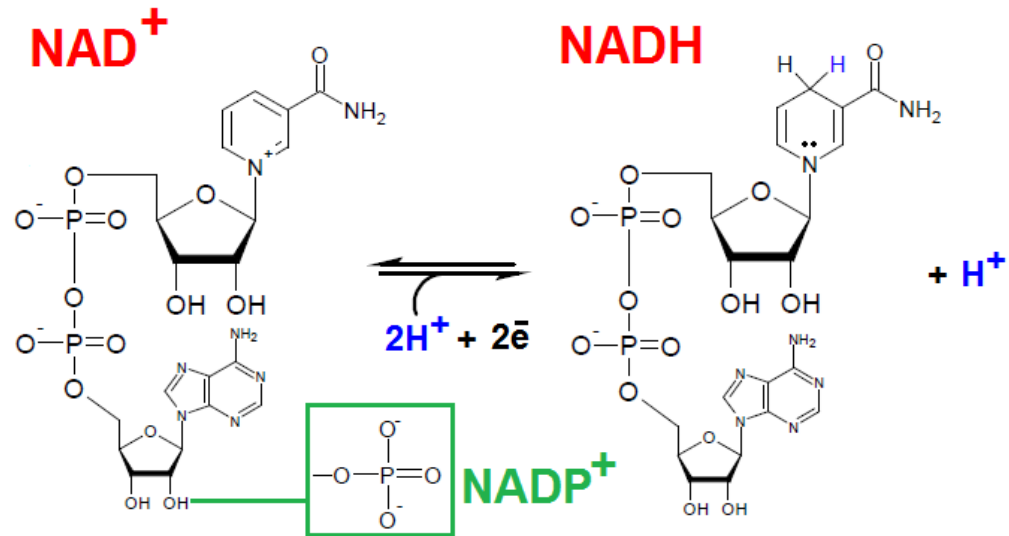
- У LUCA точно был **механизм трансляции**, напоминающий современный: рибосомы, тРНК и пр.
- У LUCA был **геном**, возможно, еще записанный в виде **РНК** (хотя это не точно...)
- Вероятно, у LUCA была какая-то **мембрана** (но и это не точно...)
- **Каким образом появились сотни генов, сложнейшая система трансляции и т.п.?**
- **В каких условиях жил LUCA?**

См. подробнее:

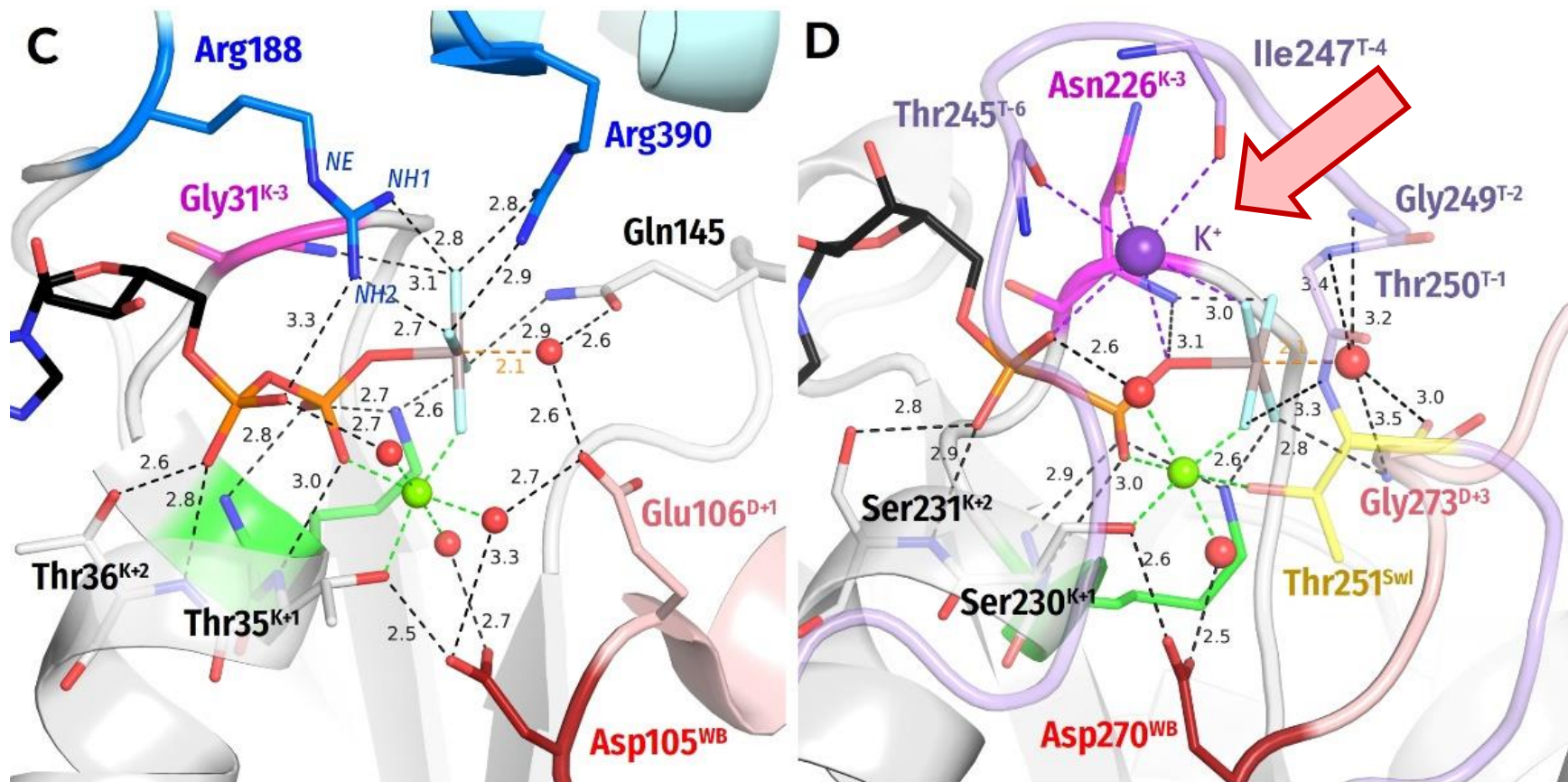
Forterre P. (2024) The Last Universal Common Ancestor of Ribosome-Encoding Organisms: Portrait of LUCA. *Journal of Molecular Evolution* 92:550–583.

# Белки очень часто связывают и используют для своей работы кофакторы

- Аминокислотные остатки не предназначены для реакций окисления-восстановления, для этого есть редокс-кофакторы;
- Многие реакции переноса аминогрупп катализируются PLP (витамин B<sub>6</sub>);
- Ионы **металлов** тоже могут быть кофакторами!



# У некоторых АТФаз Р-петли (P-loop ATPases) ион калия способствует гидролизу АТФ



См. подробнее:

M.I. Kozlova, D.N. Shalaeva, D.V. Dibrova and A.Y. Mulkidjanian (2022) Common Patterns of Hydrolysis Initiation in P-loop Fold Nucleoside Triphosphatases. *Biomolecules* 12:1345.

# Универсальные белки очень часто зависят от $K^+$ и $Zn^{2+}$ , сравнительно редких на Земле

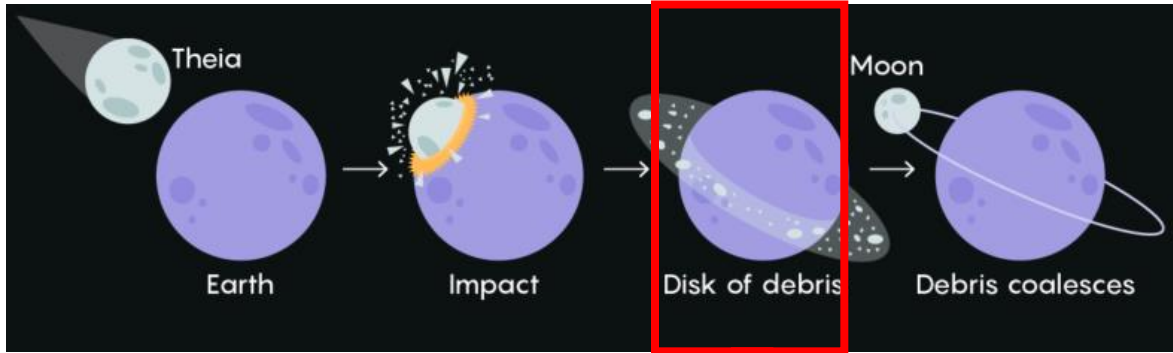
Параметр	Важные для функции $Me^+$	Важные для функции $Me^{2+}$	$Me^{2+}$ в структурах белков
Рибосомные белки	-	-	$Mg^{2+}$ , $Zn^{2+}$
тРНК-синтетазы	$K^+$	$Mg^{2+}$ , $Zn^{2+}$	$Mg^{2+}$ , $Zn^{2+}$
Другие белки трансляции	-	$Mg^{2+}$ / $Zn^{2+}$	$Mg^{2+}$ / $Zn^{2+}$
Факторы трансляции	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Mg^{2+}$
Метаболизм	-	$Mg^{2+}$	$Mg^{2+}$
Репликация и др. действия с ДНК	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Mg^{2+}$
Белки транскрипции	$K^+$	$Mg^{2+}$ , $Zn^{2+}$	$Mg^{2+}$ , $Zn^{2+}$

Для получения таблицы мы проанализировали **18 616** трехмерных структур универсальных белков (не считая **52 398** структур рибосомальных белков)

Mulkiđjanian A.Y., Dibrova D.V., Bychkov A.Y. (2025) Origin of the RNA World in Cold Hadean Geothermal Fields Enriched in Zinc and Potassium: Abiogenesis as a Positive Fallout from the Moon-Forming Impact? *Life* 15: 399

3. Луна и LUSA?..

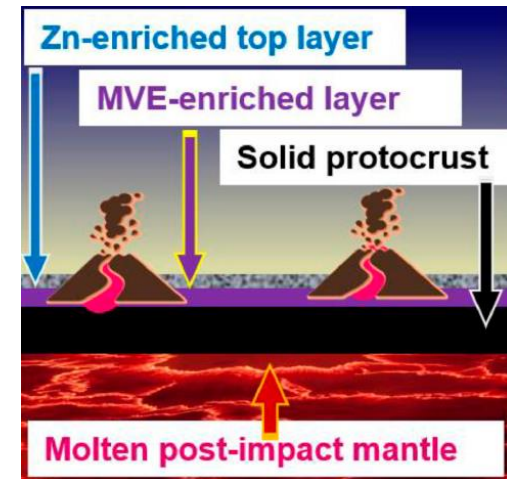
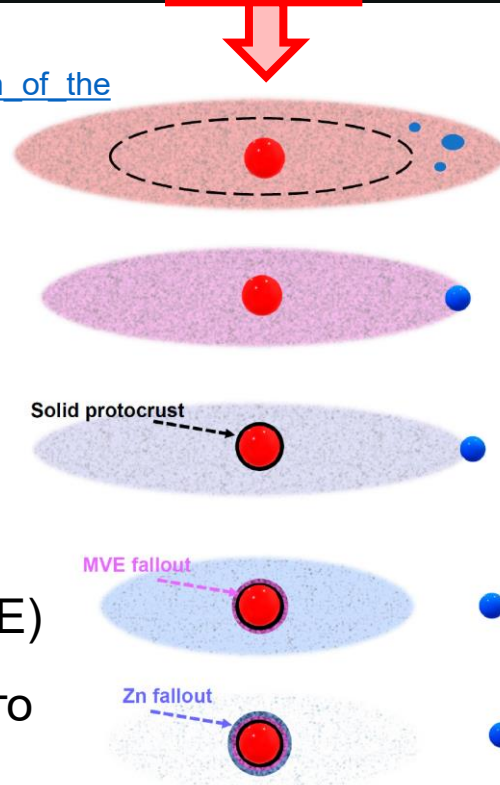
# Луна обеднена умеренно летучими элементами, в том числе $K^+$ и $Zn^{2+}$ , по сравнению с Землей



## Модель ударного формирования Луны

Источник рисунка:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Origin\\_of\\_the\\_Moon](https://en.wikipedia.org/wiki/Origin_of_the_Moon)

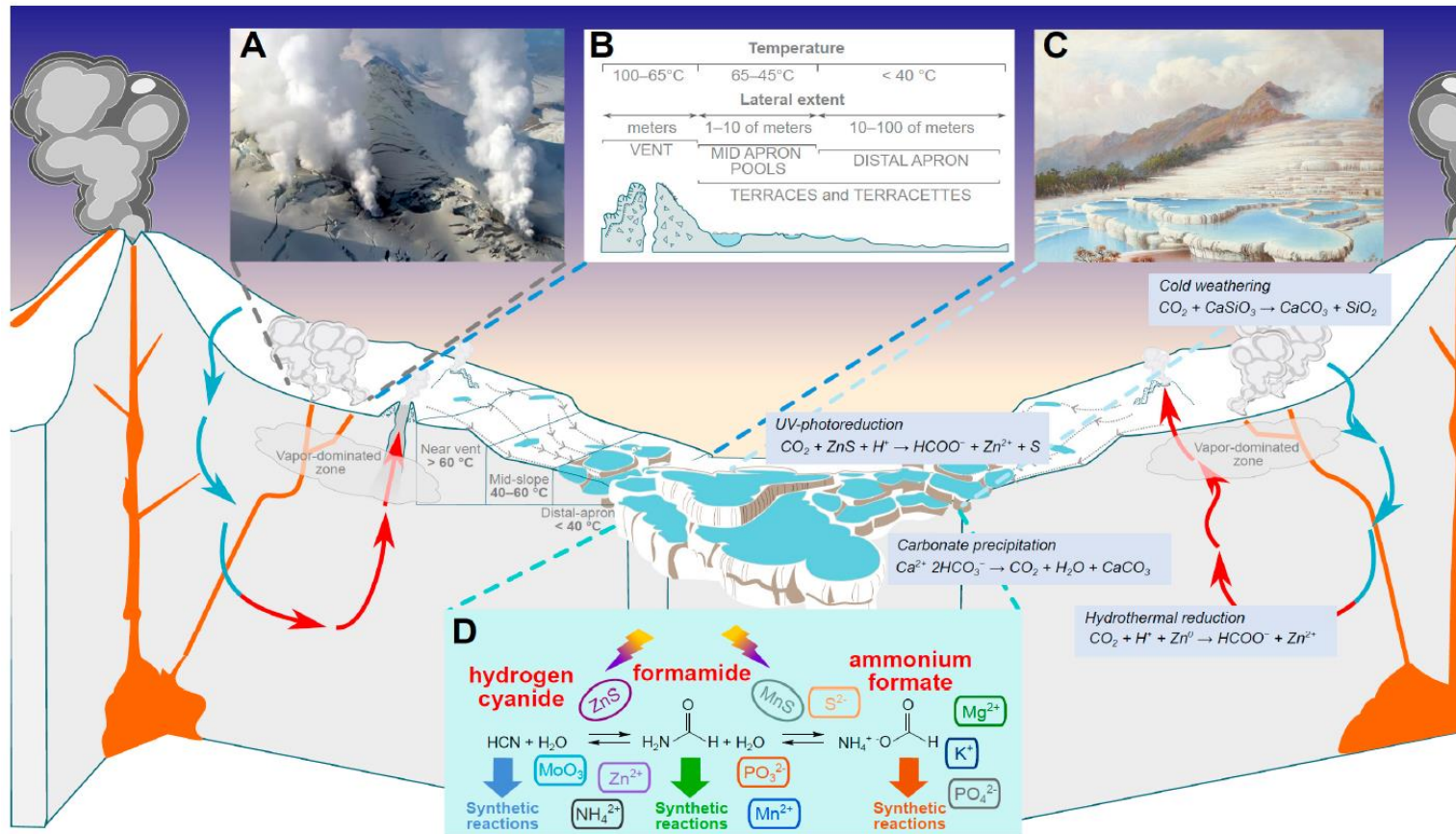


Выпадение умеренно летучих элементов (MVE)

Выпадение  $Zn^{2+}$ , самого летучего из них

- Источник рисунка: Mulkidjanian A.Y., Dibrova D.V., Bychkov A.Y. (2025) Origin of the RNA World in Cold Hadean Geothermal Fields Enriched in Zinc and Potassium: Abiogenesis as a Positive Fallout from the Moon-Forming Impact? *Life* 15: 399

# Наземные геотермальные системы – подходящее место для возникновения и ранней эволюции жизни



Источник рисунка: Mulkidjanian A.Y., Dibrova D.V., Bychkov A.Y. (2025) Origin of the RNA World in Cold Hadean Geothermal Fields Enriched in Zinc and Potassium: Abiogenesis as a Positive Fallout from the Moon-Forming Impact? *Life* 15: 399

См. также: Mulkidjanian A.Y., Bychkov A.Y., Dibrova D.V., Galperin M.Y., Koonin E.V. (2012) Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields. *PNAS* 109(14): E821–E830.

# Недавно вышедшая на бумаге книга по теме

Книга содержит интервью ведущих ученых в этой области, в том числе главного автора нашей статьи, о которой говорилось раньше



**Армен Яковлевич Мулкиджанян**  
д.б.н., проф. ФББ МГУ



## 4. Осторожно – misuse

# Теории происхождения и ранней эволюции жизни (наша не исключение) умеренно убедительны

...

В магистрах, в докторам хожу  
И за нос десять лет вожу  
Учеников, как буквоед,  
Толкуя так и сяк предмет.

...

*Гёте. «Фауст»  
(перевод Б.Пастернака)*

# Реакция на создание бактерии с минимальным геномом в 2010 г. была очень бурной

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

Ирина Якутенко  
20 МАЯ 2010 Г. В 21:14

## Первая в мире искусственная жизнь создана

Крейг Вентер, который десять лет назад первым прочитал геном человека, только что создал первый рукотворный геном и вживил его в клетку. Так человечество перешло от чтения геномов к их написанию

... удивил отца,  
... чертежам из *Popular*  
Сейчас он считает это «своим  
... вторжением в епархию науки»

...КА > В ПОПУЛЯРНЫХ ЖУРНАЛАХ > «ПОПУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА»

## Создатель новой жизни

«ПОПУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА» №12, 2010 • БИОЛОГИЯ, ГЕНЕТИКА • 5 КОММЕНТАРИЕВ



Хотя есть и намного более взвешенные оценки, см.:

<https://www.trv-science.ru/2010/05/ximery-krejga-ventera/>