

# Органика в межзвёздных льдах



Облака межзвёздного газа и пыли.  
На межзвёздный газ приходится  
почти 99% от совокупной массы  
всех космических объектов  
(не считая тёмной материи)

Органические вещества синтезируются в живых организмах — потому их так и назвали, что долго не могли получить даже простейшие органические соединения из неорганики. Но откуда взялись первые живые организмы, построенные из органических молекул? Быть может, эти «кубики жизни» прилетели к нам из космических далей? Исследовательская группа из Самарского филиала ФИАН под руководством профессора Ральфа Инго Кайзера выясняет, где и почему в космосе встречается органика. В декабре учёные получили мегагрант Правительства РФ на изучение происхождения и эволюции органических молекул в Галактике. Для этого в Самаре построят Центр лабораторной астрофизики. «Кот» поговорил с исследователями о жизни и её возможных истоках в космосе

✎ Саша Васильева ^

В декабре Совет по грантам Правительства РФ выбрал 43 проекта-победителя восьмого конкурса мегагрантов. Цель конкурса, проводимого с 2010 года, — привлечь ведущих учёных планеты

в вузы России, чтобы они возглавили лаборатории, научные центры и исследовательские группы, проводящие исследования на передовых рубежах мировой науки.



### Профессор Ральф Инго Кайзер —

химик из Гавайского университета (США). Делит жизнь между островом Оаху и Самарой с 2016 года — тогда они с Валерием Аязовым выиграли другой мегагрант, на изучение реакций горения. А теперь под его руководством в Самарском филиале ФИАН будут исследовать индуцированные космическим излучением процессы формирования и роста органических соединений в межзвёздных льдах — чтобы выяснить, что происходит с органикой в космосе.



### Профессор Валерий Аязов —

директор Самарского филиала Физического института имени П. Н. Лебедева РАН. Он изучает кинетику химических и электрообменных процессов — то, как ведут себя молекулы при столкновении, обмене энергией и когда вступают в химическую реакцию. Особенно много исследовал горение разных смесей — как и многие из нас в детстве. Результаты этих исследований находят применение, например, в автомобилестроении и самолётостроении: на основании данных Аязова и его коллег инженеры проектируют камеры сгорания в двигателях.

## ЛЁД И ПЛАМЯ

**Со стороны кажется, что ваш первый мегагрант был совсем на другую тему. Связаны ли как-то космос и реакции горения?**

Ральф Кайзер. В широком смысле я изучаю химические реакции в экстремальных условиях — при очень высоких, как при горении, или очень низких температурах, например в межзвёздной среде и за пределами Солнечной системы.

Валерий Азязов. Долгое время мы исследовали формирование полициклических ароматических углеводородов в процессе горения ископаемого топлива. К простейшим ароматическим углеводородам относится, например, бензол. Он служит исходным строительным блоком для более крупных — полициклических — ароматических соединений, большинство из которых считаются в той или иной степени вредными веществами и присутствуют, в частности, в автомобильных выхлопах. Но оказалось, что простейших ароматических углеводородов много и в космосе, то есть они могут образовываться без горения, при очень низких температурах.

**Вывод, что ароматические соединения могут формироваться в глубоком космосе, то есть при очень низких температурах, Ральф Кайзер считает одним из ключевых открытий в этой области.**

Р. К. Наша цель — выяснить, могут ли ароматические соединения превращаться в таких условиях в биологически важные молекулы. Например, мы хотим посмотреть, могут ли нуклеотиды, составляющие ДНК и РНК, формироваться во льдах. Это сложные молекулы, и мы начинаем поиск с отдельных блоков, из которых состоит нуклеотид: сахаров, соединений фосфора и азотистых оснований. Мы надеемся, что сможем соединить их вместе во льдах и посмотреть, что из этого выйдет. Иными словами, мы пытаемся понять, как молекулы, которые имеют отношение к истокам жизни, могут образовываться в глубоком космосе.

**Почему вы решили двигаться в этом направлении?**

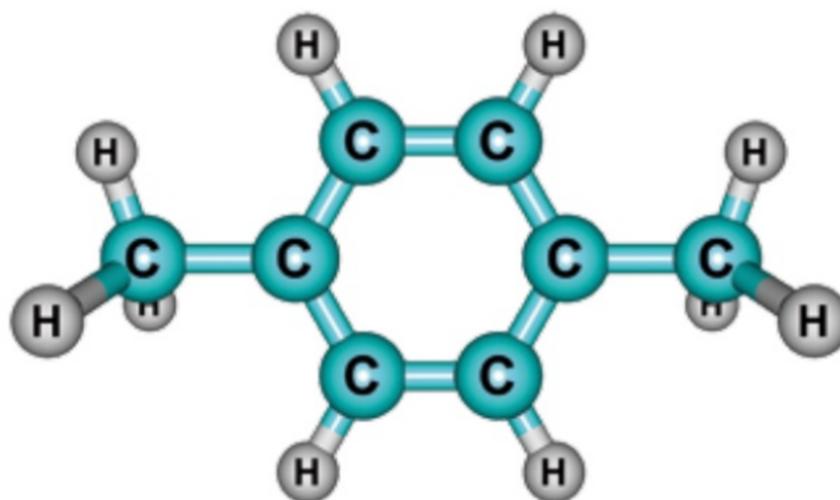
Р. К. В России астрохимией и астробиологией мало кто занимается. Я знаю только о лаборатории в МГУ под руководством Владимира Фельдмана.

Самарский университет на протяжении длительного времени участвует в разработке ракет

и подготовке космических миссий. Ну а мы, оставаясь в рамках космической тематики, выбрали явление принципиально иного масштаба: от огромных ракет — к крошечным молекулам. В. А. ФИАН проводит фундаментальные астрофизические исследования, в том числе в области структуры и эволюции астрономических объектов, межзвёздного и межпланетного пространства. У института есть собственные радиотелескопы — с их помощью мы сможем получить основанные на наблюдениях ответы на вопрос, как в космосе могла зародиться жизнь. С профессором Ральфом Кайзером у нас сложилось плодотворное сотрудничество: он помогает нам строить эксперименты и интерпретировать



РТ-22 – радиотелескоп  
Пушкинской  
радиоастрономической  
обсерватории  
АКЦ ФИАН



Структура параксилола –  
типичного ароматического  
углеводорода

химические процессы. Совместными усилиями мы нашли реакции, ведущие к образованию нескольких полициклических ароматических углеводородов при температурах до 10 К, и опубликовали около 20 научных работ в высокорейтинговых изданиях.

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ХИМИЯ

### Думаете, жизнь была занесена на Землю из космоса?

В. А. На этот счёт есть несколько теорий. Некоторые считают, что первые важные предшественники биомолекул образовались вблизи термальных источников на Земле. Другие — что

Р. К. Да, это возможный вариант развития событий. Химия универсальна: в любом уголке Вселенной, чтобы создать простейшую органику, нужны лёд, облучение и некоторые химические соединения. Мы обнаружили, что биофункциональные соединения, например пировиноградная кислота, могут формироваться в межзвёздной среде. Основываясь на наблюдениях астрономов и наших экспериментах, можно сделать вывод, что биологически важные молекулы могут образовываться не только в Солнечной системе. Это значит, что они могут попасть на планеты, расположенные в любом уголке Галактики. И у нас появляется возможность предсказывать, где именно за пределами Солнечной системы могут быть предшественники жизни.

### А в Солнечной системе? Могут ли, например, факты выброса метана на Марсе или находка фосфина на Венере свидетельствовать о наличии жизни на этих планетах?

Р. К. Мне кажется, здесь очень много спекуляций. Одна научная группа наблюдала фосфин на Венере, другая позже это оспорила. Иногда люди ошибаются: у них есть наблюдения, но они тщательно их не проверяют. И конечно, даже если наличие фосфина будет доказано, это ещё не означает, что на Венере есть жизнь.

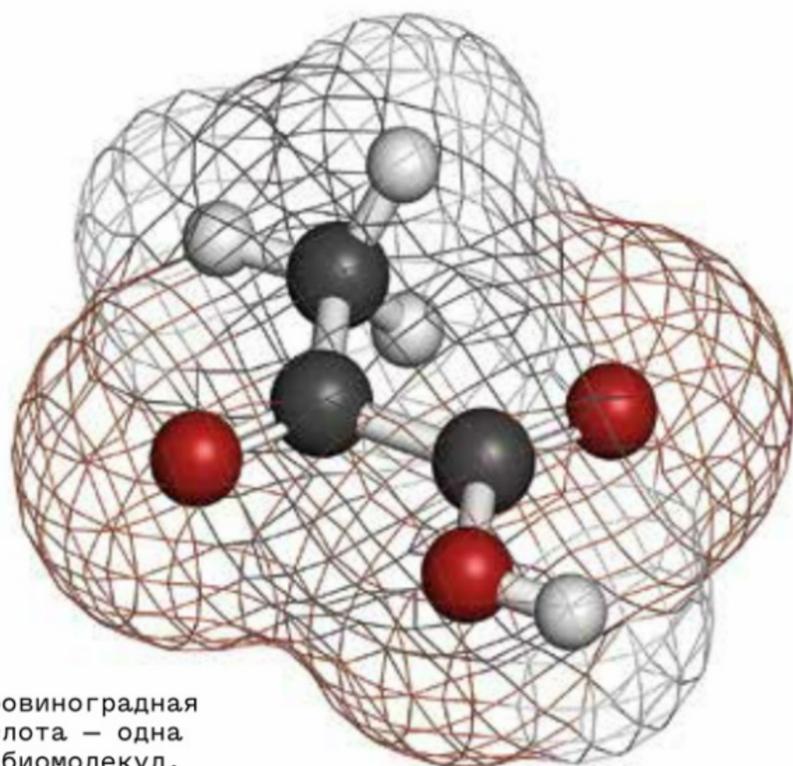
### Назовите, пожалуйста, главные вопросы, которые стоят перед исследователями в вашей области.

Р. К. Их много. Один из них — насколько большими и химически сложными можно сделать эти молекулы? Могут ли, например, нуклеозиды и нуклеотиды формироваться из более простых строительных блоков во льдах?

## КОСМОС В ЛАБОРАТОРИИ

### Почему вы ищете предшественников биологически важных молекул именно в межзвёздных льдах?

В. А. Дело в том, что из-за большой разреженности межзвёздной среды атомы и молекулы в газовой фазе сталкиваются редко. А органические соединения-предшественники образуются как раз при молекулярных столкновениях. Астрохимические модели, основанные исключительно на газофазных реакциях, предсказывают фракционное содержание органических молекул на пять порядков ниже наблюдаемых. С другой стороны, мы знаем, что в космосе есть молекулярно-пылевые облака, из которых,



Пировиноградная кислота — одна из биомолекул, формирующихся в межзвёздной среде

такие молекулы возникли при ударе молнии, потому что в этот момент высвобождается много энергии, которая может запустить синтез сложных соединений. Наконец, ароматические соединения находили в метеоритах, попавших на Землю. Нельзя исключить, что строительные блоки для биомолекул повсеместно распространены в космосе. Об этом свидетельствуют наблюдения с помощью радиотелескопов, которые регистрируют излучение ароматических молекул, исходящее из областей зарождения солнечных систем.

Аязов называет Кайзера сторонником гипотезы о том, что первые кирпичики земной жизни образовались в космосе. Сам Ральф высказывается осторожнее:

собственно, и образуются солнечные системы. Плотность вещества в крупинке пыли высокая, и скорости протекания реакций намного выше, чем в газе. Это может объяснить эволюцию сложных соединений в низкотемпературных условиях космоса.

Р. К. Молекулы могут находиться в газовой фазе или во льдах. Лёд конденсируется на частицах нанометрового размера в так называемых зёрнах межзвёздной пыли. Это происходит при очень низких температурах, порядка 10 К. Молекулы газа сталкиваются с этими зёрнами, прилипая к ним. В результате со временем на этих пылинках образуется тонкий слой льда толщиной в несколько сотен нанометров. По большому счёту это тот же процесс, при котором в холодильнике накапливается лёд.



Гавайский Университет  
в Гонолулу — основное место  
работы Ральфа Кайзера

В. А. На льды воздействует космическое излучение. Например, отрывает от стабильной молекулы метана ( $\text{CH}_4$ ) атом водорода — получается  $\text{CH}_3$ . А  $\text{CH}_3$  — это уже активная молекула. Встречаясь, молекулы  $\text{CH}_3$  с высокой вероятностью образуют ароматическое соединение — бензол.

#### Как вы будете проводить эксперименты?

В. А. Для этого мы создаём междисциплинарный Центр лабораторной астрофизики — будем исследовать механизмы формирования сложных органических соединений на покрытых

льдом наночастицах в молекулярных облаках и областях звездообразования. Под руководством профессора Кайзера мы построим установку для изучения криогенных поверхностных процессов. У профессора в подчинении будет около 20 сотрудников, в том числе студенты и аспиранты. Двое молодых сотрудников из Самары поедут на стажировку в лаборатории коллеги в Гавайском университете. Там они будут осваивать современные методы исследований на установках, подобных той, которую построят в нашем центре.

#### Что это за установка?

Р. К. Мы хотим создать камеру имитации сверхвысокого вакуума следующего поколения и воссоздать в ней космические условия: радиацию, ультрафиолетовое излучение, низкие температуры.

В. А. В России есть похожие установки, но такая мощная, чувствительная, которая бы в полной мере имитировала условия в космосе, будет первая. Это очень дорогое оборудование, только мегагрант и способен покрыть расходы на его приобретение. В этой установке мы, как в космосе, будем бомбардировать криогенные льды, например, жёстким ультрафиолетом, смотреть, какие химические превращения при этом происходят, и детектировать продукты реакций — разбираться, что за молекулы у нас получились. В сочетании с расчётами электронной структуры молекул, астрохимическим моделированием и астрономическими наблюдениями наши исследования позволят составить единую картину формирования ключевых органических соединений и выявить многообразие молекул, которые могут быть синтезированы в глубоком космосе.

#### Чем ещё вы будете заниматься в этой лаборатории?

В. А. Для проведения высокоуровневых квантово-механических расчётов нужны суперкомпьютерные мощности и теоретическая группа, которая эти расчёты будет делать. Потом те молекулы, что мы предсказали экспериментально, астроном будет искать в космосе с помощью радиотелескопов. А теоретик будет говорить: «Да, это излучение действительно относится к молекуле, которую вы обнаружили». А ещё мы собираемся экспериментально проверить данные уже опубликованных на эту тему исследований. Кроме того, если мы научимся рассчитывать вероятности столкновения молекул в разреженной среде, это поможет подсчитать

константы, в частности время, за которое формируются планеты, галактики и другие космические объекты.

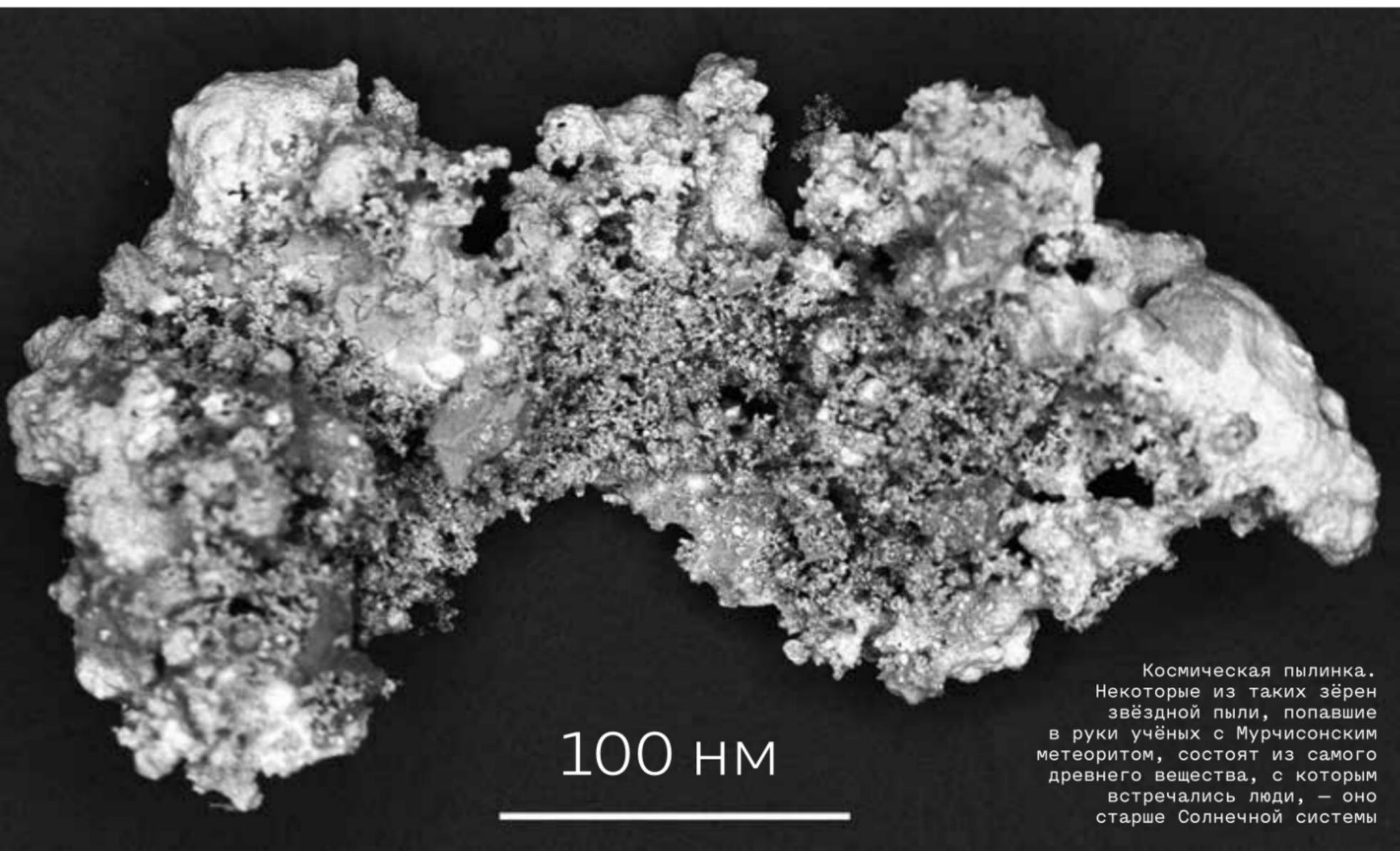
## ИЗ ГОНОЛУЛУ В САМАРУ

Согласно условиям гранта, Ральф должен приехать в Самару на три месяца, но пока процесс тормозит COVID-19.

Р. К. Конечно, раз мы создаём новую лабораторию, моё присутствие было бы полезным, поэтому мы надеемся, что вылеты скоро разрешат.

навестить родных — зависело от того, сколько длилась командировка. Но такие поездки очень важны и для профессионального развития: я всегда смотрю на опыт коллег из других стран — ни одна организация не совершенна, всегда можно что-то улучшить.

В. А. Мне было приятно поработать несколько месяцев в лаборатории профессора Кайзера в Гавайском университете. Но в какой-то момент островная жизнь начинает угнетать. У нас поездка на дачу занимает столько же времени, сколько требуется, чтобы объехать остров целиком.



Космическая пылинка. Некоторые из таких зёрен звёздной пыли, попавшие в руки учёных с Мурчисонским метеоритом, состоят из самого древнего вещества, с которым встречались люди, — оно старше Солнечной системы

Впрочем, вопрос ещё и в том, когда можно будет подать заявление на визу. Пока такой возможности нет ни у кого.

По словам Кайзера, Самара в некоторой степени напоминает ему Германию, откуда он родом.

Р. К. Особенно похожи трамваи — не современные, а традиционные, исторические. Иногда по дороге в Самару я заезжал в Германию

Валерий Аязов называет Ральфа Кайзера великим экспериментатором и верит, что если за дело взялся Ральф, то установка непременно заработает. Кайзер в ответ посмеивается: — Пока наши совместные эксперименты были успешными. Но в моей работе было множество экспериментов, которые не сработали. Это наука — тут всё может пойти не так, как ты ожидаешь, и это тоже захватывающая история. ^\_^