

Химия космоса для Северодонца

Интервью с известным астрономом Дмитрием ВИБЕ научного журналиста Сергея ПАХОМОВА, ноябрь 2022, Ижевск. Просветительская общественная организация [ЗВЁЗДОЧКА](#).

В Ижевске в рамках образовательной программы Ижевского планетария «[ИЖАСТРО](#)» научно-популярные лекции о химии космоса прочитал доктор физико-математических наук, заведующий отделом физики и эволюции звёзд Института астрономии РАН, профессор РАН Д.З. Вибе.



Рис.1. Профессор Д.З. Вибе в Генеральском доме ([Музей Ижевска](#)).

[Видеозапись](#) лекции в [Национальной библиотеке Удмуртии](#) 12.11.2022

= Дмитрий Зигфридович, все названия химических веществ, о которых Вы рассказывали (аммиак, формальдегид, ацетилен, метанол и др.), знакомы мне с детства, поскольку я вырос в Северодонцеке – городе химиков, где на крупнейшем в Европе химическом комбинате «Азот» были целые производственные цеха по выпуску этих веществ. Сейчас Северодонецк в руинах, жители были вынуждены покинуть город. Давайте в поддержку «земных» химиков расскажем им о химических реакциях в космическом пространстве. Чем отличается синтез в космосе?

- Ключевое отличие – это время. В космосе химические реакции идут сотни тысяч лет. С точки зрения Вселенной, возраст которой 14 миллиардов лет, это нормально. Поэтому эти химические реакции и играют в жизни Вселенной существенную роль. А вот моделировать такие процессы в лабораторных условиях на Земле практически невозможно.

Со школьной скамьи мы помним, что для ускорения химической реакции необходимо подогреть исходные компоненты. В химической промышленности строятся агрегаты, в которых создаются высокие температуры и давление. А в космическом пространстве температура даже не десятки, а только единицы градусов Кельвина. Концентрация вещества ничтожная – около 10^4 частиц на см^3 . Это то, что мы на Земле восторженно называем вакуумом. Для сравнения: в воздухе, которым мы дышим, порядка 10^{19} частиц на см^3 . И тем не менее химические реакции в космосе идут.

= *Какие молекулы там синтезируются?*

- Изначально молекулы считались исключительно земной принадлежностью. Но теперь мы знаем, что молекулы могли существовать и до появления первых звёзд. Молекулы наблюдаются на звёздах. Молекулы, конечно, наблюдаются на планетах, на малых телах солнечной системы. Но основной резервуар молекул – это всё-таки межзвёздное вещество.

В послевоенное время, когда бурно начала развиваться радиоастрономия, стали открывать там молекулы. Первой обнаруженной была молекула гидроксила OH. Химики скажут, что это даже не молекула, а радикал – в обычных условиях крайне активное и потому короткоживущее соединение атомов. Но в условиях сверхнизких концентраций мы его хорошо наблюдаем. Потом в 1969 году нашли воду, аммиак NH_3 , формальдегид CH_2O . И с тех пор в год открывается примерно по несколько новых молекул. Сегодня в списке более двухсот видов молекул.

= *Получается, космическое пространство заполнено, пусть очень жиденьким, но всё-таки органическим бульоном?*

- Не совсем так. Вещество распределено крайне неоднородно. Средняя концентрация на расстоянии удаления Солнечной системы от центра нашей галактики – это одна частица на кубический сантиметр. Но есть места, где концентрация 10^{-3} , а есть места, где она 10^6 . Оказалось, что возможны только определённые состояния температуры и концентрации, возникло такое понятие как фазы межзвёздной среды.

Ультрафиолетовое излучение звёзд губительно для молекул, под его воздействием всё распадается на атомы. Концентрация вещества определяет ещё и распространение ультрафиолета. Разреженные области хорошо просвечиваются, и там всё убивается. Но при таком разбросе концентраций и температур мы можем примерно говорить о равновесии по давлению: поэтому там, где у нас низкая концентрация в 10^{-3} , там у нас ещё и высокая температура в 10^6 . Поэтому химия – это всё-таки там, где и концентрация побольше, где-то 10^6 , и где температура поменьше, чтобы молекулы ещё могли существовать.

Так что молекулы есть не везде в межзвёздном веществе. Молекулы наблюдаются в основном в плотных сгустках, которые так и называются – молекулярные облака.

= *Сейчас химикам известно почти 200 млн. органических веществ. Каждый год их список пополняется десятками тысяч. В космосе есть ограничения на синтез?*

- То, что астрономы называют сложными соединениями, химиков может рассмешить: на сегодняшний день самая крупная молекула, обнаруженная в космосе, содержит всего 13 атомов. Но любопытно другое – в середине двухтысячных годов мы столкнулись с трудностями в объяснении синтеза в космосе ряда молекул, например, метанола CH_3OH и ацетальдегида $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$. Эти вещества хорошо наблюдаются, мы их видим, но расчёты показывают, что в космическом газе они образоваться не могут. И тут пришлось вспомнить, что реакции могут идти не только в газе, но и на поверхности твёрдых частиц.

Как происходит синтез молекул? Даже если исходные компоненты сталкиваются, объединение может не состояться, если скорости столкновения слишком велики. Компоненты просто отскочат друг от друга, потому что нет стока (отвода) избыточной кинетической энергии. Хорошо, если энергия при столкновении уходит куда-то во

внутренние степени свободы, а потом спонтанно излучается. Но далеко не всегда есть такая возможность, поэтому необходим третий участник, который бы забирал лишнее себе. Таким участником становится твёрдая частица пыли.

Вначале один компонент синтеза сталкивается с частицей пыли и прилипает к ней. По сути, намораживается, примерзает: пылинка по сравнению с молекулой очень велика и легко поглощает кинетическую энергию прилетающих молекул и атомов. Когда подлетает второй компонент синтеза, он тоже гасит свою скорость и может вступить в химическую реакцию с первым компонентом. Причём, если в газе возможны только двухкомпонентные реакции (вероятность одновременного столкновения сразу трёх компонентов чрезвычайно мала), то на поверхности пылинки, в принципе, может идти последовательное присоединение любого количества. Поэтому именно на частицах пыли идёт синтез сложных молекул.

= На Земле пыль – продукт истирания твёрдых веществ. До половины пыли у нас в квартирах – это мельчайшие частицы нашей собственной кожи. Откуда пыль берётся в космосе? Что там трётся?

- Механизм образования космической пыли другой. Когда газ истекает из атмосферы звёзд, он остывает, и начиная с некоторого момента происходит конденсирование вещества, образование твёрдых частиц. Всё, что меньше 10 микрон, называется пылью. Сейчас астрономы хорошо представляют, как из звёзд возникают углеродные и кремниевые частицы пыли. Углерод один из основных продуктов термоядерного синтеза. Его много в космосе, но на Земле его намного меньше, чем, например, кремния.

= Забавно, что практически в то же время, когда астрономы открывали молекулы в космосе, в Северодонецке запускали промышленные производства этих же веществ. Химический комбинат построили специально в Донбассе, рядом с Лисичанском, где был первый рудник каменного угля (углерод C), а стоит Северодонецк на песке (в котором содержится кремний Si).



Рис.2. Северодонецкий химический комбинат «Азот» и космические молекулярные облака. Коллаж.

- Материал пылинки, похоже, не так уж и важен. Вначале даже предполагали, что железо, которое часто встречается в метеоритах, на поверхности пылинок могло бы играть роль катализаторов химического синтеза. Но ведь молекулы, которые намерзают на пылинку, очень быстро закрывают всю поверхность. И эти, и так незначительные железные участки будут просто закрыты мантией. Следующие процессы идут уже фактически не на пылинке, а на её ледяной оболочке.

В последнее время стали появляться модели, в которых уходят от силикатно-графитовой парадигмы. Она родилась в 60-е годы и у неё была основа, потому что понятно было, откуда такая пыль берётся – из звёзд. Но здесь есть нюанс. Когда мы сейчас смотрим на спектральные графики поглощения молекулярных облаков, мы всё-таки видим признаки наличия силикатов и углеводов. Т.е. они там есть.

= Так это материал пылинок или то, что на них синтезировалось?

- Очень хороший вопрос. Потому что мы видим просто какой-то провал в спектре. Но то, что на космической пыли идёт синтез органики, уже установлено точно. Мы не знаем, где заканчивается это процесс, но вариантов путей синтеза на поверхности оказалось даже больше, чем в газе. Одним из видов такой органики являются полициклические ароматические углеводороды.

= Бензольные кольца?

- Да, точнее, это фрагменты плитки из бензольных колец. Мы знаем, что они там точно есть, и количество атомов в их формулах может быть очень большим, но идентифицировать, какие именно там ароматические углеводороды, мы пока не можем.

Сложность расшифровки космических спектров приводит к тому, что уже не раз открывали аминокислоты, но потом их успешно «закрывали», делали опровержение. Но нет сомнений, что аминокислоты действительно в космосе есть. Это просто вопрос техники, когда их окончательно откроют.

= Означает ли это, что вопрос зарождения жизни существенно приблизился к решению?

- Нет. Всё-таки от той органики, которую мы наблюдаем в космосе, до жизни остаётся огромное расстояние. Да, в прошлом веке идеи Опарина о синтезе органики из неорганических соединений производили сильное впечатление. Но сейчас мы понимаем, что если даже из космоса на Землю прилетело, скажем, не CO_2 , а аминокислоты, то до РНК, протобионтов (простейших живых существ) всё равно очень и очень далеко.

= Изучение химии космоса ведётся методами радиоспектроскопии. Чего Вы ждёте от радиотелескопов нового поколения?

- Все великие открытия и революции в астрономии происходят, когда появляется новое оборудование. Последние 10 лет мы ждали, когда полетит «Джеймс Уэбб», у которого зеркало собирает в 6 раз больше излучения, чем у телескопа «Хаббл». И «видит» он в инфракрасном диапазоне, что позволяет рассмотреть самые дальние галактики и детальное распределение пыли. Год назад его запустили и сейчас идёт поток информации. В каком-то смысле это новый взгляд.

На земле активно используется для изучения молекул в космосе 30-метровый радиотелескоп «IRAM», установленный в горах Сьерра-Невада в Испании. С его помощью открыты десятки новых молекул.

Международное сотрудничество позволяет работать и российским исследователям на уникальных инструментах. Но все телескопы дико перегружены, время наблюдений расписано на много времени вперед. Требуется очень серьезное обоснование своей заявки, и очень редко она удовлетворяется в полном объеме. Между тем время наблюдений необходимо, чтобы набрать достоверную статистику, на которую можно опереться при построении каких-то моделей, выводе заключений. Поэтому мы всегда ждём новых телескопов, которые позволили бы нам заглянуть дальше и с лучшим разрешением. В сравнении с привычной «земной» химией космическая химия только начинается.

= Пожелаем астрономам новых химических открытий, а городу химиков Северодонецку мира и возрождения.

Ижевск,
2022

Переход на [Главную страницу сайта «ЗВЁЗДОЧКА»](#)