

# Проектирование криогенной сверхвысоковакуумной установки для симуляции химических процессов, протекающих в областях образования звезд и планет



Г. С. Федосеев, В. В. Крушинский, М. Г. Медведев, К. А. Степанова, А. И. Васюнин

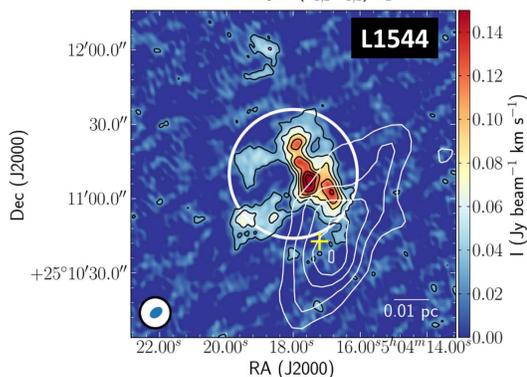
Научная лаборатория астрохимических исследований, Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет, Куйбышева 48, Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [g.s.fedoseev@urfu.ru](mailto:g.s.fedoseev@urfu.ru), [anton@urfu.ru](mailto:anton@urfu.ru)

## Мотивация

На данный момент в межзвёздной среде (МЗС), включая регионы активного звездообразования, обнаружено **более 200 химических соединений**, не считая изотопов. Каждый год обнаруживается **около пяти новых соединений**. Уточняется информация по пространственному распределению уже открытых молекул, и их взаимным (анти)корреляциям. Особый интерес здесь представляют наблюдения различных пребиотиков, химических соединений, которые могут участвовать в образовании аминокислот, сахаров и других молекул, необходимых для появления жизни. **Обнаружение новых соединений и построение карт распределения соединений в газообразной и твёрдой фазе невозможно без точного знания их полос поглощения и эмиссии. Понимание процессов стоящих за (анти)корреляциями между обнаруженными соединениями невозможно без данных численного моделирования. И то и другое требует лабораторных данных, полученных для экстремальных условий космоса.**

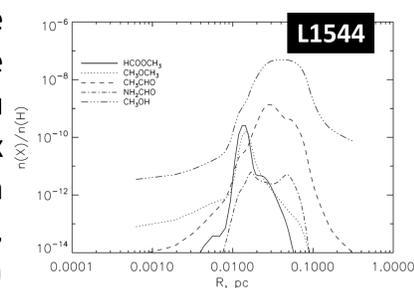
### Астрономические наблюдения

Сотрудники Научной лаборатории астрохимических исследований (НЛАИ) УрФУ уже имеют опыт успешной подачи заявок на наблюдения с использованием международных обсерваторий и работы с данными полученных наблюдений [Punanova et al. 2018](#), [Goto, Vasyunin et al. 2021](#)



### Численное моделирование

На базе НЛАИ УрФУ уже осуществляется теоретическое сопровождение и интерпретация результатов астрономических наблюдений с помощью метода балансных уравнений (MONACO, <https://astro.insma.urfu.ru/monaco>)



и метода макроскопического Монте Карло ([Vasyunin et al. 2013, 2017](#)). Ведётся разработка кодов численного моделирования химической эволюции МЗС основанных на методах микроскопического Монте Карло, смотрите доклады ВАК2021 от [Медведева М. Г.](#) и [Сатонкина Н.А.](#))

>> Параметры системы  
<< Описание системы

>> Физические условия  
<< Спектры сравнения

<< Индивид. константы  
>> Скорости реакций

## Дизайн и постановка специализированных лабораторных экспериментов

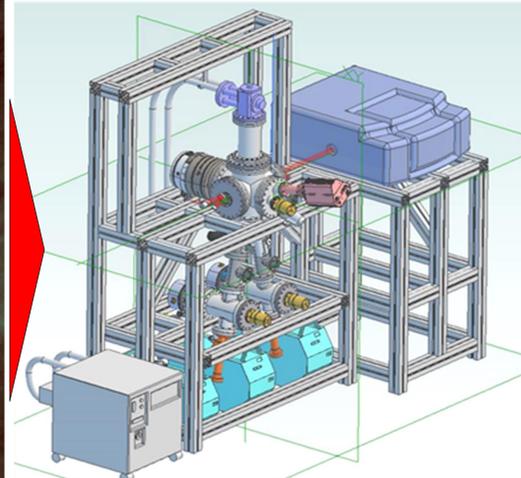
В НЛАИ УрФУ создаётся экспериментальная установка симулирующая физико-химические процессы протекающие в регионах звездообразования на поверхности пыли. За основу спроектированной установки взят опыт создания современных сверхвысоковакуумных криогенных установок в ведущих лабораториях мира. SURFRESIDE<sup>3</sup> ([Qasim, Fedoseev et al. 2020](#)), VENUS ([Congiu et al. 2020](#)) и LASSIE ([Watanabe & Kouchi 2002, Tsuge et al. 2020](#))

Ключевыми особенностями по сравнению с вышеупомянутыми аналогами являются:

- большая заявленная холодопроизводительность криостата с минимальной заявленной температурой до 3,5 К, против 6-10 К используемых в других лабораториях;
- использование ранее недоступных на рынке устойчивых к окислению термических атомарных источников с активными элементами из иридия для получения окисляющих атомов и свободных радикалов ([Raballand et al. 2008](#));
- использование ранее доступных термических источников атомарного водорода на основе вольфрама для получения пучков неокисляющих свободных радикалов, таких как NH<sub>2</sub> и CH<sub>3</sub>.

L1544 – активно изучаемое дозвёздное ядро, ранняя стадия образования звезды малой массы

Давление:  $10^{-16} - 10^{-12}$  атм  
Температура: <10 К  
Толщина льдов: 5-10 нм  
H<sub>2</sub> - потоки:  $10^7 - 10^8$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>  
H - потоки:  $10^3 - 10^4$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>  
Другие потоки:  $10^1 - 10^3$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>  
Тип поверхности: Углерод, оксиды кремния и металлов  
Анализ: радиоспектроскопия, ИК-спектроскопия



Давление:  $\sim 10^{-13}$  атм  
Температура: >3,5 - 333 К  
Толщина льдов: 1-30 нм  
H<sub>2</sub> - потоки:  $10^{11} - 10^{15}$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>  
H - потоки:  $10^{11} - 10^{12}$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>  
Потоки других частиц:  $\leq 10^{11}$  см<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>  
Тип поверхности: золото, германий, кремний  
Анализ: ИК-спектроскопия, масс-спектрометрия

