

## СОВРЕМЕННЫЕ ПАРАДИГМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЗВЕЗД В ГАЛАКТИКЕ

Представления научного сообщества о том, как происходит образование звезд в Галактике, претерпели значительные изменения в последние годы. Во многом это связано с развитием наблюдательной базы астрономии в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах. Получение и анализ новых наблюдательных данных, полученных в рамках проекта *Herschel*, на радиоинтерферометре ALMA и других современных инструментах, существенно продвинули наше понимание строения областей образования звезд, окрестностей молодых звездных объектов и дали практически исчерпывающие данные о функции масс протозвездных объектов в ряде звездообразующих комплексов Галактики. Картографирование комплексов в радиолиниях молекул позволило исследовать их пространственно-кинематическую структуру на пространственных масштабах в десятки и сотни парсек. Следующий прорыв в этой области может быть осуществлен по результатам планирующегося проекта «Спектр-ММ» (Миллиметрон), предполагающего существенное улучшение углового разрешения и чувствительности.

При этом использование чувствительных радиоинтерферометров позволило исследовать детали процессов образования звезд на малых пространственных масштабах — до размеров Солнечной системы (при помощи ALMA) и даже Солнца в рамках космического проекта «Спектр-Р» (РадиоАстрон). Существенный вклад в исследование процессов аккреции ожидается в результате реализации проекта «Спектр-УФ» («Всемирная космическая обсерватория — Ультрафиолет», сокр. ВКО-УФ, англ. WSO-UV).

В совокупности с теоретическими достижениями полученные наблюдательные данные позволили существенно развить наши представления о процессах звездообразования.

Understanding by the scientific community of the star formation processes in the Galaxy undergone significant changes in recent years. This is largely due to the development of the observational basis of astronomy in the infrared and submillimeter ranges. Analysis of new observational data obtained in the course of the Herschel project, by radio interferometer ALMA and other modern facilities significantly advanced our understanding of the structure of the regions of star formation, young stellar object vicinities and provided comprehensive data on the mass function of proto-stellar objects in a number of star-forming complexes of the Galaxy. Mapping of the complexes in molecular radio lines allowed to study their spatial and kinematic structure on the spatial scales of tens and hundreds of parsecs. The next breakthrough in this field can be achieved as a result of the planned project “Spektr-MM” (Millimetron) which implies a significant improvement in angular resolution and sensitivity.

The use of sensitive interferometers allowed to investigate the details of star formation processes at small spatial scales – down to the size of the solar system (with the help of the ALMA), and even the Sun (in the course of the space project “Spektr-R” = RadioAstron). Significant contribution to the study of the processes of accretion is expected as a result of the project “Spektr-UV” (“World Space Observatory — Ultraviolet” = WSO-UV).

Complemented with significant theoretical achievements obtained observational data have greatly promoted our understanding of the star formation processes.

## Введение

Явление звездообразования исследуется во всех диапазонах электромагнитного спектра. Различные объекты проявляются в излучении на различных длинах волн и, следовательно, требуют различных средств и методов для их исследования. Например, развитые области НШ являются довольно яркими источниками излучения длинных радиоволн; протозвездные ядра, молодые звездные объекты и их окружение проявляются в инфракрасном и субмиллиметровых диапазонах; аккрецирующие молодые звездные объекты проявляются в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах и т. д. Невозможно описать детали современной парадигмы звездообразования в Галактике в этой краткой работе. Поэтому я концентрируюсь на описании основных составляющих парадигмы и списке важных достижений последнего года, изменяющих парадигму звездообразования.

В последние годы наблюдается прорыв в исследованиях звездообразования. Это связано с такими успешными космическими миссиями, как *Herschel* [1], *Spitzer* [2], *HST* [3], включая такие полные обзоры неба, как *WISE* [4], и др. Прорыв также связан с успехом недавно введенных в действие наземных интерферометров *ALMA* [5] и *VLTI* [6], которые обеспечивают высокое угловое разрешение. Ранее построенные ведущие интерферометры, такие как *SMA* [7], *NOEMA* [8], *VLA* [9], *EVN* [10], *ATC* [11] и проч., также очень активно использовались для изучения звездообразования. Необходимо отметить масштабные обзоры с помощью наземных средств, такие как *UKIDSS* [12], *Gould Belt* [13], *ATLASGAL* [14], *MALT-45* [15], *THOR* [16], *MMB* [17] и др.

Также необходимо отметить значительные теоретические достижения, которые в большой степени продвинули наши знания об объектах звездообразования и понимание процессов формирования звезд. Теоретическая работа особенно важна для построения сценариев звездообразования. Эти сценарии описывают происхождение и эволюцию областей звездообразования, погруженных и молодых звездных скоплений, протозвезд и молодых звездных объектов.

Достижения в области исследований образования звезд и планет периодически резюмируются на специальных конференциях “Protostars and Planets”, в результате которых издается книга. Последняя, “Protostars and Planets VI”, была проведена в 2013 г. и информация о ней доступна публично [18]. Во всяком случае, область быстро развивается, и в этой статье я концентрируюсь на важнейших результатах, которые были получены в последние годы.

Текущая парадигма определенно утверждает, что звезды малых масс в нашей Галактике образуются в результате сжатия газопылевых сгустков. Классический обзор с соответствующим сценарием был опубликован Shu и др. в 1987 г. [19]. Хотя основы формирования звезд малых масс кажутся хорошо известными, есть много деталей, которые должны быть выяснены. Современная парадигма включает в себя множество деталей, которые были неизвестны не только в прошлом веке, но и совсем недавно.

Сценарии формирования звезд больших масс гораздо менее ясны, потому что этот процесс происходит в гораздо более хаотичном и энергичном окружении. Поэтому классический обзор по образованию массивных звезд Циннекера и Йорка [20] появился на два десятилетия позже обзора по звездам малой массы. Основы сценариев формирования звезд больших масс находятся в стадии раз-

работки до сих пор. В настоящее время твердо установлено, что сценарий «маломассивного типа» может привести к формированию массивных звезд. Тем не менее есть по крайней мере две альтернативы этому сценарию, которые включают в себя конкурирующую аккрецию (competitive accretion) и слияние протозвезд (protostellar mergers). Детальное рассмотрение данного вопроса представлено в обзоре Tan [21], который содержит много важных ссылок.

## Окружение образующихся звезд

Изучение окружения образующихся звезд очень важно для исследования различных сценариев формирования звезд. Есть в Галактике и особые случаи. Наиболее ярким из них является окружение образующихся звезд в звездном диске вокруг массивной черной дыры в центре Галактики. Об этом можно прочесть в работе [22]. Изучение и отождествление особых случаев находится в активной стадии. На данный момент общепринятым и соответственно входящим в парадигму является только сам факт существования в нашей Галактике нестандартных окружений образующихся звезд. Наиболее распространенные и осознанные типы окружения включают в себя протозвездные/протопланетные диски и взаимодействующие звездные/планетные компаньоны.

## Околзвездные диски

Околзвездные диски на стадии звездообразования формируются под действием электромагнитных и центробежных сил. Для простоты диски можно разделить на три категории (см, например, [23]). Протозвездные диски — геометрически толстые самогравитирующие диски. После формирования молодой звезды протозвездный диск превращается в аккреционный диск, вещество которого аккрецирует на звезду с темпом аккреции  $10^{-8}$ — $10^{-6} M_{\odot}$  в год в случае звезд типа Т Тельца. Аккреционные диски звезд типа Т Тельца — геометрически тонкие структуры с массами около  $(0.001\text{--}0.1) M_{\odot}$  и размерами около  $(100\text{--}1000)$  астрономических единиц. В процессе эволюции аккреционные диски превращаются в протопланетные диски, подобные протосолнечному.

Диски как объекты и связанные с ними явления очень популярны, специальный словарь был составлен Эвансом и соавторами [24]. Этот словарь содержит много терминов и определений. Недавнее

исследование, проведенное Сицилией-Агиляр и др. [25], представляет другое ключевое описание протопланетных дисков, описывающее синергетику многоволновых наблюдений.

Следует отметить, что в настоящее время знания о строении и эволюции дисков вокруг звезд малой массы быстро развиваются вследствие новых открытий, совершаемых с использованием интерферометра *ALMA*. Пресс-релизы на сайте [26] позволяют находиться в курсе последних достижений. Для того чтобы показать масштаб открытий, я приведу несколько названий пресс-релизов, опубликованных в 2016 г. и связанных с общей структурой диска: “ALMA’s Best Image of a Protoplanetary Disk”, “ALMA Discovers Hidden Spiral Arms Embracing a Young Star”, “ALMA Discovers a Rotating Ring of Complex Organic Molecules”. Исследование молекулярной химии в дисках является очень быстро развивающейся областью. Подробный обзор исследований в этой области был опубликован в 2013 г. [27]. Последние открытия включают обнаружение органических молекул, таких сложных, как метанол [28, 29].

В последние годы мы узнали много нового о самых ранних стадиях формирования планет вокруг образующихся звезд солнечного типа и о наличии сложных/пребиотических молекул в местах планетообразования. Пресс-релизы 2016 г. с сайта *ALMA* сообщают нам: “ALMA confirms predictions on the interaction between protoplanetary disks and planets”, “ALMA Reveals Footprints of Baby Planets in a Gas Disk”, “ALMA Observes First Protoplanetary Water Snow Line Thanks to Stellar Outburst”, “ALMA Spots Possible Formation Site of Icy Giant Planet”.

Образование звезд сопровождается истечениями, которые связаны с потерей углового момента и определяются магнитными полями в диске. Последний наблюдательный результат представлен в пресс-релизе “ALMA Spots Baby Star’s Growing Blanket”, наши теоретические исследования по этой теме опубликованы в [23].

Исследования дисков вокруг молодых звезд приблизительно одинакового возраста в подобном окружении проводятся по данным о молодых звездных скоплениях, которые являются базовыми объектами для изучения эволюции дисков. Было показано, что окружающая среда/взаимодействие с окрестностями в каждом скоплении играют важную роль в эволюции дисков. Получены свидетельства о существовании неоднородностей в виде малых концентраций звезд внутри скоплений большего размера [30].

Наблюдения молекулярных линий на *ALMA* и *SMA* обнаружили вращающиеся диски и связанные с ними истечения вокруг нескольких образующих массивных звезд [31–33]. Это подтверждает возможность сценария «маломассивного типа», приводящего к образованию массивных звезд. Наблюдения в среднем инфракрасном диапазоне на *VLT/MIDI* подтверждают это утверждение обнаружением дисков и истечений в молодых звездных объектах большой массы [34–36].

### Кратность образующихся звезд

Хорошо известно, что звезды, как правило, формируются в группах. Последние крупные исследования нескольких сотен областей формирования массивных звезд на инфракрасных телескопах класса с 8–10 м обнаружили, что вопрос о кратности образующихся звезд, взаимодействующих между собой, является чрезвычайно важным [37]. Это подтверждается результатами спектроскопического мониторинга молодых звезд, даже на телескопах небольшого диаметра [38, 39]. Таким образом, образование массивных звезд по сценариям, отличающимся от «маломассивного типа», представляется возможным.

Интерферометры подтвердили свою эффективность в наблюдениях кратности отдельных объектов в субмиллиметровом и радиодиапазонах также и для звезд малой массы. Это доказывают результаты специальных обзоров, таких, например, как *CALYPSO* [40] и *VANDAM* [41]. Пресс-релизы 2016 г. “ALMA Unveils Details of Planet Formation around Binary Star” и “Young Stellar System Caught in Act of Forming Close Multiples” представляют прекрасные примеры формирующихся кратных звездных систем.

Наблюдения скоплений протозвезд ясно показывают, что образующиеся звезды промежуточных и больших масс оказывают сильное влияние на близлежащие молодые звездные объекты и беззвездные сгустки [42]. Таким образом, ближайшее окружение формирующихся звезд подвергается мощному воздействию окружающих их ярких звезд.

### Окрестности образующихся звезд

Как было отмечено в предыдущем разделе, современная парадигма образования звезд включает в себя взаимодействие непосред-

ственного окружения образующихся звезд с более широкими окрестностями. Это является темой данного раздела.

### Молекулярные ядра

Молекулярные ядра являются наиболее ранним типом изолированных объектов, связанных с образованием звезд в Галактике. Некоторые из этих ядер не содержат звезд, но могут подвергнуться внешнему воздействию, которое приведет к процессам вынужденного звездообразования.

Ядра, дающие жизнь звездам малой массы, имеют сравнительно небольшие размеры, и детальное исследование этих объектов возможно только в близких комплексах звездообразования, таких как Пояс Гулда (Gould Belt). Важные результаты соответствующих обзоров опубликованы в следующих работах, анализирующих данные, полученные на *Herschel* [43], JCMT [44] и VLA [45]. Общие свойства ядер до сих пор являются объектом рассмотрения.

Обширная информация о ядрах, в которых образуются массивные звезды, приведена в результатах обзора *ATLASGAL* [14], специальных исследованиях объектов, обнаруженных в ходе обзора метанольных мазеров *MMB* [17], и результатах других проектов. Эти ядра достаточно яркие, чувствительные обзоры позволяют исследовать общие свойства этих объектов во всей Галактике [46]. Необходимо отметить также «слепые» (то есть ненаправленные, полные обзоры) избранных областей, например *MALT-45* [15], которые дают информацию о частях Галактики, представляющих особый интерес.

Исследования молекулярных ядер очень важны для понимания деталей процессов образования звезд. Однако сам факт существования молекулярных ядер и их общие свойства соответствуют существующей парадигме, новые исследования вряд ли приведут к ее изменению.

### Волокна

Обзоры окрестностей молекулярных ядер привели к важному открытию: ядра находятся в волокнах, которые являются основными составляющими звездообразующих комплексов. Последние работы показывают, что в волокнах, вероятно, заключается основная доля плотного газа в звездообразующих молекулярных облаках [43, 47]. Анализ результатов *ATLASGAL* позволил выделить всегалактический набор плотных волокнистых структур [48]. Есть признаки того,

что волокна обладают некоторыми универсальными свойствами [49]. В волокнах наблюдается значительная фрагментация [50] и выделяются подструктуры с коррелированными скоростями [51]. Иногда хорошо выделяется сеть перпендикулярных «бороздок» или субволокон [52]. Происхождение волокон и их общие свойства не совсем ясны, но они являются одной из важнейших составляющих современной парадигмы образования звезд.

## **Области НП**

Обзоры ясно показывают, что наша Галактика наполнена пузырями — областями НП, образованными молодыми и яркими звездами. Влияние ярких звезд может приводить к формированию массивных звезд [53], звезд меньших масс [54] и звездных скоплений [55]. Исследования физических параметров и кинематики газа на краях областей НП [56, 57] показали, что процессы звездообразования, инициированные в одном и том же комплексе, могут иметь различную природу. Различные сценарии представляют собой разновидности сценариев «сгребания-и-сжатия» (“collect-and-collapse”) и «сжатия ранее существовавших сгустков».

## **Комплексы звездообразования**

Как показано в работе Инуцка с соавторами [58], для образования молекулярных комплексов звездообразования требуется несколько эпизодов сверхзвукового сжатия. Это может произойти из-за распространения крупномасштабных ударных волн от сверхновой, спиральных волн плотности, расширения областей НП и межоблачных столкновений. Последний сценарий часто рассматривается как основной для образования богатых звездных скоплений и их комплексов [59]. До сих пор неясно, как формируются комплексы звездообразования, но есть указание на пути решения проблемы. Они заключаются в изучении «СО-темного» (“CO-dark”) газа, который недавно был обнаружен как весьма заметная составляющая межзвездной среды. В последнее время этот газ является объектом интенсивных исследований, как наблюдательных [60], так и теоретических [61]. Необходимо отметить большие теоретические достижения в изуче-



нии молекулярных облаков и формирования комплексов звездообразования на галактических масштабах [62–64]. Они ясно показали, что свойства молекулярных облаков зависят от их галактического окружения.

## Заключение

Таким образом, существующая парадигма образования звезд в Галактике изменяется, была существенно дополнена в последние годы. Она быстро развивается за счет использования сверхсовременных наблюдательных средств, развития теории и средств интерпретации. Существенный прорыв ожидается от предстоящих космических миссий «Спектр-ММ» [65] и «Спектр-УФ» [66] с ведущим российским участием.

Работа была поддержана грантом РФФИ № 15–12–10017.

## Библиографические ссылки

1. HERSCHEL. — <http://www.cosmos.esa.int/web/herschel/home>.
2. Spitzer. — [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/spitzer/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/spitzer/main/index.html).
3. HST. — [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/hubble/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/main/index.html).
4. WISE. — [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/WISE/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/WISE/main/index.html).
5. ALMA. — <http://www.almaobservatory.org/>.
6. VLTI. — <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/telescopes/vlti.html>.
7. SMA. — <https://www.cfa.harvard.edu/sma/>.
8. NOEMA. — <http://iram-institute.org/EN/noema-project.php>.
9. VLA. — <http://www.vla.nrao.edu/>.
10. EVN. — <http://www.evlbi.org/>.
11. ATCA. — <https://www.narrabri.atnf.csiro.au/>.
12. UKIDSS. — <http://www.ukidss.org/>.
13. GouldBelt. — <http://www.herschel.fr/cea/gouldbelt/en/>.
14. GouldBelt. — <http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/div/atlasgal/>.
15. *Jordan C. H., Walsh A. J., Lowe V. et al.* MALT-45: a 7 mm survey of the southern Galaxy - I. Techniques and spectral line data // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2015. — Vol. 448. — P. 2344–2361. 1501.06650.

16. GouldBelt. — <http://www2.mpia-hd.mpg.de/thor/Overview.html>.
17. *Green J. A., Cohen R. J., Caswell J. L. et al.* The Methanol Multi-beam Survey // *Astrophysical Masers and their Environments* / ed. by J. M. Chapman, W. A. Baan : IAU Symposium. — 2007. — Vol. 242. — P. 218–222.
18. ppvi. — <http://www.mpia.de/homes/ppvi/index.php>.
19. *Shu F. H., Adams F. C., Lizano S.* Star formation in molecular clouds - Observation and theory // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* — 1987. — Vol. 25. — P. 23–81.
20. *Zinnecker H., Yorke H. W.* Toward Understanding Massive Star Formation // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* — 2007. — Vol. 45. — P. 481–563. 0707.1279.
21. *Tan J. C.* Comparison of Low-Mass and High-Mass Star Formation // *ArXiv e-prints*. — 2015. 1510.08021.
22. *Yusef-Zadeh F., Wardle M.* Star Formation Close to Sgr A\* and Beyond the Nuclear Cluster // *ArXiv e-prints*. — 2016. 1611.09401.
23. *Khaibrakhmanov S. A., Dudorov A. E., Parfenov S. Y., Sobolev A. M.* Large-scale magnetic field in the accretion discs of young stars: the influence of magnetic diffusion, buoyancy and Hall effect // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2017. — Vol. 464. — P. 586–598. 1609.03969.
24. *Evans N., Calvet N., Cieza L. et al.* The Diskionary: A Glossary of Terms Commonly Used for Disks and Related Objects, First Edition // *ArXiv e-prints*. — 2009. 0901.1691.
25. *Sicilia-Aguilar A., Banzatti A., Carmona A. et al.* A "Rosetta Stone" for protoplanetary disks: The synergy of multi-wavelength observations // *ArXiv e-prints*. — 2016. 1611.01798.
26. ALMApress. — <http://www.almaobservatory.org/en/press-room/press-releases>.
27. *Henning T., Semenov D.* Chemistry in Protoplanetary Disks // *Chemical Reviews*. — 2013. — Vol. 113. — P. 9016–9042. 1310.3151.
28. *Walsh C., Loomis R. A., Öberg K. I. et al.* First Detection of Gas-phase Methanol in a Protoplanetary Disk // *Astrophys. J. Lett.* — 2016. — Vol. 823. — P. L10. 1606.06492.
29. *Parfenov S. Y., Semenov D. A., Sobolev A. M., Gray M. D.* Towards detecting methanol emission in low-mass protoplanetary discs

- with ALMA: the role of non-LTE excitation // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2016. — Vol. 460. — P. 2648–2663. 1605.03729.
30. *Sicilia-Aguilar A., Kim J. S., Sobolev A. et al.* The low-mass stellar population in the young cluster Tr 37. Disk evolution, accretion, and environment // *Astron. Astrophys.* — 2013. — Vol. 559. — P. A3. 1308.0114.
  31. *Johnston K. G., Robitaille T. P., Beuther H. et al.* A Keplerian-like Disk around the Forming O-type Star AFGL 4176 // *Astrophys. J. Lett.* — 2015. — Vol. 813. — P. L19. 1509.08469.
  32. *Zinchenko I., Liu S.-Y., Su Y.-N. et al.* The Disk-outflow System in the S255IR Area of High-mass Star Formation // *Astrophys. J.* — 2015. — Vol. 810. — P. 10. 1507.05642.
  33. *Chen H.-R. V., Keto E., Zhang Q. et al.* A Hot and Massive Accretion Disk around the High-mass Protostar IRAS 20126+4104 // *Astrophys. J.* — 2016. — Vol. 823. — P. 125. 1604.00523.
  34. *Boley P. A., Kraus S., de Wit W.-J. et al.* A multi-wavelength interferometric study of the massive young stellar object IRAS 13481-6124 // *Astron. Astrophys.* — 2016. — Vol. 586. — P. A78. 1511.03195.
  35. *Caratti o Garatti A., Stecklum B., Weigelt G. et al.* Tracing jet emission at the base of a high-mass YSO. First AMBER/VLTI observations of the Br $\gamma$  emission in IRAS 13481-6124 // *Astron. Astrophys.* — 2016. — Vol. 589. — P. L4. 1603.06860.
  36. *Caratti o Garatti A., Tambovtseva L. V., Garcia Lopez R. et al.* AMBER/VLTI high spectral resolution observations of the Br $\gamma$  emitting region in HD 98922. A compact disc wind launched from the inner disc region // *Astron. Astrophys.* — 2015. — Vol. 582. — P. A44. 1508.00798.
  37. *de Koter A.* Formation and Evolution of Massive Stars: Current Surveys // *Multi-Object Spectroscopy in the Next Decade: Big Questions, Large Surveys, and Wide Fields* / ed. by I. Skillen, M. Barcells, S. Trager : Astronomical Society of the Pacific Conference Series. — 2016. — Vol. 507. — P. 147.
  38. *Alexeeva S. A., Sobolev A. M., Gorda S. Y. et al.* Orbital and physical parameters of the spectroscopic binary HD37737 // *Astrophysical Bulletin.* — 2013. — Vol. 68. — P. 169–176.
  39. *Bisyarina A. P., Sobolev A. M., Gorda S. Y., Parfenov S. Y.* Optical spectroscopic monitoring of the Herbig Be binary star HD 200775:

- New maximum of activity and refinement of the orbital period // Astrophysical Bulletin. — 2015. — Vol. 70. — P. 299–309.
40. *Santangelo G., Codella C., Cabrit S. et al.* Jet multiplicity in the proto-binary system NGC 1333-IRAS4A. The detailed CALYPSO IRAM-PdBI view // Astron. Astrophys. — 2015. — Vol. 584. — P. A126. 1511.01428.
  41. *Tobin J. J., Looney L. W., Li Z.-Y. et al.* The VLA Nascent Disk and Multiplicity Survey of Perseus Protostars (VANDAM). II. Multiplicity of Protostars in the Perseus Molecular Cloud // Astrophys. J. — 2016. — Vol. 818. — P. 73. 1601.00692.
  42. *Wang Y., Audard M., Fontani F. et al.* Ongoing star formation in the protocluster IRAS 22134+5834 // Astron. Astrophys. — 2016. — Vol. 587. — P. A69. 1510.02251.
  43. *Könyves V., André P., Men'shchikov A. et al.* A census of dense cores in the Aquila cloud complex: SPIRE/PACS observations from the Herschel Gould Belt survey // Astron. Astrophys. — 2015. — Vol. 584. — P. A91. 1507.05926.
  44. *Ward-Thompson D., Pattle K., Kirk J. M. et al.* The JCMT and Herschel Gould Belt Surveys: a comparison of SCUBA-2 and Herschel data of dense cores in the Taurus dark cloud L1495 // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2016. — Vol. 463. — P. 1008–1025. 1608.04353.
  45. *Pech G., Loinard L., Dzib S. A. et al.* The Gould's Belt Very Large Array Survey. V. The Perseus Region // Astrophys. J. — 2016. — Vol. 818. — P. 116. 1511.07522.
  46. *Urquhart J. S., Csengeri T., Wyrowski F. et al.* ATLASGAL: Massive Star Formation Across the Galaxy // EAS Publications Series : EAS Publications Series. — 2016. — Vol. 75. — P. 215–216.
  47. *Schisano E., Rygl K. L. J., Molinari S. et al.* The Identification of Filaments on Far-infrared and Submillimeter Images: Morphology, Physical Conditions and Relation with Star Formation of Filamentary Structure // Astrophys. J. — 2014. — Vol. 791. — P. 27. 1406.4443.
  48. *Li G.-X., Urquhart J. S., Leurini S. et al.* ATLASGAL: A Galaxy-wide sample of dense filamentary structures // Astron. Astrophys. — 2016. — Vol. 591. — P. A5. 1604.00544.

49. *André P., Revéret V., Könyves V. et al.* Characterizing filaments in regions of high-mass star formation: High-resolution submillimeter imaging of the massive star-forming complex NGC 6334 with ArTéMiS // *Astron. Astrophys.* — 2016. — Vol. 592. — P. A54. 1605.07434.
50. *Kainulainen J., Hacar A., Alves J. et al.* Gravitational fragmentation caught in the act: the filamentary Musca molecular cloud // *Astron. Astrophys.* — 2016. — Vol. 586. — P. A27. 1507.03742.
51. *Hacar A., Tafalla M., Kauffmann J., Kovács A.* Cores, filaments, and bundles: hierarchical core formation in the L1495/B213 Taurus region // *Astron. Astrophys.* — 2013. — Vol. 554. — P. A55. 1303.2118.
52. *Palmeirim P., André P., Kirk J. et al.* Herschel view of the Taurus B211/3 filament and striations: evidence of filamentary growth? // *Astron. Astrophys.* — 2013. — Vol. 550. — P. A38. 1211.6360.
53. *Deharveng L., Schuller F., Anderson L. D. et al.* A gallery of bubbles. The nature of the bubbles observed by Spitzer and what ATLASGAL tells us about the surrounding neutral material // *Astron. Astrophys.* — 2010. — Vol. 523. — P. A6. 1008.0926.
54. *Ladeyschikov D. A., Sobolev A. M., Parfenov S. Y. et al.* Star formation in the S233 region // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2015. — Vol. 452. — P. 2306–2317. 1506.05888.
55. *Kirsanova M. S., Sobolev A. M., Thomasson M. et al.* Star formation around the HII region Sh2-235 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2008. — Vol. 388. — P. 729–736. 0805.1586.
56. *Kirsanova M. S., Wiebe D. S., Sobolev A. M. et al.* Physical conditions in star-forming regions around S235 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2014. — Vol. 437. — P. 1593–1608. 1310.6123.
57. *Rodón J. A., Zavagno A., Baluteau J.-P. et al.* Herschel SPIRE-FTS observations of RCW 120 // *Astron. Astrophys.* — 2015. — Vol. 579. — P. A10. 1504.06485.
58. *Inutsuka S.-i., Inoue T., Iwasaki K., Hosokawa T.* The formation and destruction of molecular clouds and galactic star formation. An origin for the cloud mass function and star formation efficiency // *Astron. Astrophys.* — 2015. — Vol. 580. — P. A49. 1505.04696.
59. *Fukui Y., Torii K., Ohama A. et al.* The Two Molecular Clouds in RCW 38: Evidence for the Formation of the Youngest Super Star

- Cluster in the Milky Way Triggered by Cloud-Cloud Collision // *Astrophys. J.* — 2016. — Vol. 820. — P. 26. 1504.05391.
60. *Beuther H., Ragan S. E., Ossenkopf V. et al.* Carbon in different phases ([CII], [CI], and CO) in infrared dark clouds: Cloud formation signatures and carbon gas fractions // *Astron. Astrophys.* — 2014. — Vol. 571. — P. A53. 1410.0156.
  61. *Glover S. C. O., Clark P. C.* Hunting for the signatures of molecular cloud formation // *EAS Publications Series : EAS Publications Series.* — 2016. — Vol. 75. — P. 367–370. 1511.04689.
  62. *Khoperskov S. A., Vasiliev E. O., Sobolev A. M., Khoperskov A. V.* The simulation of molecular clouds formation in the Milky Way // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2013. — Vol. 428. — P. 2311–2320. 1207.5162.
  63. *Khoperskov S. A., Vasiliev E. O., Ladeyschikov D. A. et al.* Giant molecular cloud scaling relations: the role of the cloud definition // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2016. — Vol. 455. — P. 1782–1795. 1508.04966.
  64. *Dobbs C. L., Adamo A., Few C. G. et al.* The properties, origin and evolution of stellar clusters in galaxy simulations and observations // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2016. 1609.00209.
  65. *Kardashev N. S., Novikov I. D., Lukash V. N. et al.* Review of scientific topics for the Millimetron space observatory // *Physics Uspekhi.* — 2014. — Vol. 57. — P. 1199–1228. 1502.06071.
  66. *Boyarchuk A. A., Shustov B. M., Savanov I. S. et al.* Scientific problems addressed by the Spektr-UV space project (world space Observatory—Ultraviolet) // *Astronomy Reports.* — 2016. — Vol. 60. — P. 1–42.