

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
**к подпрограмме «Переходные и взрывные процессы в астрофизике»**  
**Программы фундаментальных научных исследований Президиума**  
**Российской академии наук П-7**

1. КРАТКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ, ЕЕ АКТУАЛЬНОСТЬ, ОБОСНОВАНИЕ  
НЕОБХОДИМОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОДПРОГРАММЫ  
ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВЫМ МЕТОДОМ, НАУЧНАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ  
ЗНАЧИМОСТЬ, НАУЧНЫЙ ЗАДЕЛ, СООТВЕТСТВИЕ МИРОВОМУ  
НАУЧНОМУ УРОВНЮ

В области фундаментальных научных исследований по астрономии Россия имеет по ряду направлений мощный потенциал и продолжает сохранять лидирующие позиции в мире. Для укрепления этих позиций и дальнейшего развития уровня научных исследований принципиальное значение имеет концентрация на наиболее перспективных и приоритетных научных задачах.

Достижения последних лет в области космических и наземных астрофизических наблюдений поставили ряд новых приоритетных глобальных задач, решение которых требует комплексно-ориентированного и программно-целевого подхода. В частности, наблюдательные данные, полученные как с космических аппаратов, так и на наземных телескопах, и содержащие информацию, в частности, о ранних космологических стадиях, позволяют на качественно новом уровне поставить вопрос об изучении происхождения, строения и последующей эволюции галактик и их скоплений, звезд и различных звездных систем, межгалактической и межзвездной среды, релятивистских объектов и окружающих их структур. При этом все критические этапы эволюции астрофизических объектов во Вселенной характеризуются протеканием существенно нестационарных, переходных и взрывных процессов.

В связи с этим целесообразно организовать исследования по изучению физики нашей Вселенной и составляющих ее объектов и структур в рамках Подпрограммы «Переходные и взрывные процессы в астрофизике».

Данная Подпрограмма включает перечисленные далее восемь направлений, которые охватывают широкий круг важнейших проблем современной астрофизики, связанных с формированием, строением и развитием как отдельных звезд, звездных систем и межзвездной среды, так и гигантских образований – галактик, межгалактического газа и Метагалактики. Проводится исследование природы таких загадочных объектов, как вспыхивающие источники

гамма-излучения, сложных процессов, происходящих при мощных взрывах звезд – вспышках сверхновых, формирования структуры астрофизических дисков и высокоскоростных джетов, экстремальных физических условий на стадиях образования нейтронных звезд, природы активных галактических ядер, свойств и динамики развития черных дыр, природы таинственных космологических форм вещества и энергии, характеризующих эволюционное развитие Вселенной.

Решение поставленных Подпрограммой задач возможно лишь в рамках комплексного программно-целевого подхода путем привлечения различных научных коллективов, как теоретического, так и экспериментального профиля, оптимального использования всей имеющейся материально-технической базы и организации кооперативных наблюдательных программ. В значительной степени такой подход обусловлен спецификой астрономических и, в частности, астрофизических исследований.

Подпрограмма «Переходные и взрывные процессы в астрофизике» направлена на развитие исследований, которые имеют мировой приоритет и реализация которых должна обеспечить получение результатов, имеющих фундаментальное научное и практическое значение.

Высокая научная значимость исследований, проводимых в рамках данной Подпрограммы, определяется тем, что, как показывают новые данные астрономических наблюдений и результаты теоретических расчетов, именно комплексное изучение происхождения, структуры и эволюции звезд, межзвездной среды, звездных систем, галактических систем Метагалактики представляется важным способом познания физики процессов, протекающих на самых различных ступенях иерархии во Вселенной и определяющих, в конечном итоге, наше существование.

Успешная реализация Подпрограммы позволит существенно расширить и углубить наши знания о свойствах материи в условиях как чрезвычайно высоких, так и чрезвычайно низких плотностей, сверхсильных гравитационных полей, высоких температур, сильных магнитных полей, высоких энергиях ядерного, электромагнитного и слабого взаимодействия и лучше понять процессы эволюции вещества во Вселенной, процессы образования различных структур и объектов и динамику их развития.

Большой научный задел, который имеют российские ученые в данной области, позволяет надеяться на достижение существенного прогресса в результате выполнения сформированной Подпрограммы. Многие авторы данной Подпрограммы участвуют в крупных международных кооперативных проектах, выполняют исследования при поддержке как зарубежными, так и российскими грантами, несколько руководителей проектов Подпрограммы являются лидерами ведущих научных школ (акад. В.В.Железняков, академик Н.С.Кардашев, академик Д.А.Варшавский,

акад. Р.А.Сюняев, акад. А.А.Старобинский, чл.-корр. РАН В.М.Григорьев, чл.-корр. РАН Ю.Ю.Балега, чл.-корр. РАН Ю.П.Попов, проф. В.М.Чечеткин, проф. Г.С.Бисноватый-Коган, проф. Ю.Н.Гнедин, проф. В.Н.Лукаш, проф. Н.Н.Самусь).

В качестве подтверждения полученного в предыдущие годы участниками Подпрограммы задела для выполнения Подпрограммы, можно привести, например, следующие публикации:

- В.И. Шематович, «Образование сложных химических соединений в астрохимии», *Астрон. вестник*, т. 46, с. 423, 2012.
- Ю.В. Пахомов, «Химический состав атмосфер красных гигантов с высокими пространственными скоростями», *Письма в Астрон. журн.*, т. 38, с. 122, 2012.
- Ya.N. Pavlyuchenkov, D.S. Wiebe, V.V. Akimkin, M.S. Khramtsova, Th. Henning, «Stochastic grain heating and mid-infrared emission in protostellar cores», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* v. 421, p. 2430, 2012.
- Yu.Yu. Balega, V.V. Dyachenko, A.F. Maksimov, E.V. Malogolovets, D.A. Rastegaev, I.I. Romanyuk, «Speckle interferometry of magnetic stars with the BTA. I. First results», *Astrophys. Bull.*, v. 67, p. 44, 2012.
- И.С. Саванов, «Циклы активности М карликов», *Астрон. журн.*, т. 89, с. 793, 2012.
- А.В. Степанов, В.В. Зайцев, В.М. Накаряков, «Корональная сейсмология», *Усп. физ. наук*, т. 182, с. 999, 2012.
- G.S. Bisnovatyi-Kogan, R. Lovelace, «Vertical Structure Of Stationary Accretion Disks With A Large-Scale Magnetic Field», *strophys. J.*, v. 750, p. 109, 2012.
- Yu.V. Pakhomov, N.N. Chugai, A.F. Iyudin, «Interstellar absorptions and shocked clouds towards the supernova remnant RX J0852.0-4622», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, v. 424, p. 3145, 2012
- П.С. Штернин, Д.Г. Яковлев. «Сверхтекучие нейтронные звезды», *Усп. физ. наук*, т. 182, с. 1006, 2012.
- В.В. Железняков, В.В. Зайцев, Е.Я. Злотник, «Об аналогии между зебра-структурой в радиоизлучении Солнца и пульсара в Крабе», *Письма в Астрон. журн.*, т. 38, с. 660–676, 2012.
- И.Ф. Малов, «Существуют ли «магнитары»?», *Астрон. журн.*, т. 89, с. 32-37, 2012.
- M.M. Romanova, G.V. Ustyugova, A.V. Koldoba, R.V.E. Lovelace, «MRI-driven Accretion on to Magnetized stars: Global 3D MHD Simulations of Magnetospheric and Boundary Layer Regimes», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, v. 421, p. 63-77, 2012.
- Ю.Н. Гнедин, В.Л. Афанасьев, Н.В. Борисов, М.Ю. Пиотрович, Т.М.Нацвлишвили, С.Д.Булига «Определение спинов сверхмассивных чёрных дыр в активных галактических ядрах на основе спектрополяриметрических наблюдений», *Астрон. журн.*, т. 89, с. 635, 2012.
- Yu.N. Gnedin., S.D. Buliga, N.A. Silant'ev, T.M. Natsvlishvili, M.Yu.P iotrovich, «Topology of magnetic field and polarization in accretion discs of AGN», *Astrophys. and Space Sci.*, v. 342, p. 137, 2012.
- А.Г. Жилкин, Д.В. Бисикало, А.А. Боярчук, «Структура течения в тесных двойных звёздах с учётом магнитного поля», *Успехи физ. наук*, т. 182, p. 121, 2012.
- А.В. Гетлинг, «Спиральность поля скоростей при ячеечной конвекции во вращающемся слое», *Астрон. журн.*, т. 89, с. 441, 2012.
- С.А. Арсеньев, С.А. Корягин, «Электромагнитное излучение связанных электронов с положительной энергией в кулоновском поле неподвижного ядра при наличии сильного однородного магнитного поля», *Журн. эксперим. и теор. физ.*, т. 141, с. 1049, 2012.
- Е.П. Велихов, К.Р. Сычугов, В.М. Чечеткин, А.Ю. Луговский, А.В.Колдоба, «Магниторотационная неустойчивость в аккрецирующей оболочке протозвезды и образование крупномасштабной структуры магнитного поля», *Астрон. журн.*, т. 89, с. 107, 2012.

- V.P. Grinin, L.V. Tambovtseva, G. Weigelt, «Spectral line profiles changed by dust scattering in heavily obscured young stellar objects», *Astron. and Astrophys.*, v. 544, A45, 2012.
- М.Г. Абрамян, Л.И. Матвеевко, «Начальная фаза формирования протозвезды», *Астрофизика*, т. 55, с. 443, 2012.
- Р.А. Буренин, А.А. Вихлинин, «Ограничения на космологические параметры по измерениям функции масс скоплений галактик в сочетании с данными других экспериментов», *Письма в Астрон. журн.*, т. 38, с. 395, 2012.
- С.В. Репин, Б.В. Комберг, В.Н. Лукаш, «Отсутствие периодической компоненты в распределении квазаров по Z», *Астрон. журн.*, т. 89, с. 778, 2012.
- A. Shatskiy, I. Novikov, O. Sil'chenko, J. Hansen, and I. Katkov, «A new integral representation for reconstructing the density distribution of matter in the disks of spiral galaxies from the rotation velocity curve in it», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, v. 420, p. 3071, 2012.
- D.A. Tretyakova, A.A. Shatskiy, I.D. Novikov, S. Alexeyev, «Nonsingular Brans-Dicke-cosmology», *Phys. Rev. D*, v. 85, id. 124059, 2012.
- M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, I. Tornainen, M. Tornikoski, and R.Yu. Udovitskiy. «Multifrequency study of GHz-peaked spectrum sources and candidates with the RATAN-600 radio telescope», *Astron. and Astrophys.*, v. 544, p. 1, 2012.
- А.Т. Байкова, В.В. Бобылев, «Переопределение параметров галактической спиральной волны плотности на основе спектрального анализа радиальных скоростей мазерных источников», *Письма в Астрон. журн.*, т. 38, с. 617, 2012.
- В.Н. Лукаш, Е.В. Михеева, В.Н. Строков, «Образование космологических потоков материи в общей теории относительности», *Усп. физ. наук*, т. 182, с. 894, 2012.
- А.Г. Дорошкевич, В.Н. Лукаш, Е.В. Михеева, «К решению проблем каспов и кривых вращения в гало тёмной материи в космологической стандартной модели», *Усп. физ. наук*, т. 182, с. 3, 2012.
- В.В. Клименко, А.В. Иванчик, Д.А. Варшалович, А.Г. Павлов, «Влияние гамма-излучения на изотопный состав облаков межзвездной среды», *Письма в Астрон. журн.*, т. 38, с. 414, 2012.
- Д.В. Бисикало, А.Г. Жилкин, А.А. Боярчук, «Газодинамика тесных двойных звезд», М.: ФИЗМАТЛИТ, 632 с., 2013.
- Д.В. Бисикало, А.Г. Жилкин, П.В. Кайгородов, В.А. Устюгов, М.М. Монтгомери, «О возможном механизме формирования наклоненных дисков в промежуточных полярах. *Астрон. журн.*, т. 90, с. 366, 2013.
- В.А. Устюгов, А.Г. Жилкин, Д.В. Бисикало, «Влияние наклона магнитной оси аккректора на структуру аккреционного диска в промежуточных полярах», *Астрон. журн.*, т. 90, с. 885, 2013.
- К.А. Постнов, Л.Р. Юнгельсон, «The Evolution of Compact Binary Star Systems», *Living Reviews in Relativity* (2013, в печати).
- А.Р. Титаренко, Т.А. Рябчикова, О.П. Кочухов, В.В. Цымбал, «Химический состав и эволюционный статус Ар-звезды HD 138633», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 390, 2013.
- D. Shulyak, T. Ryabchikova, O. Kochukhov, «Fundamental parameters of bright Ap stars from wide-range energy distributions and advanced atmospheric models», *Astron. and Astrophys.*, v. 551, A14, 2013.
- T. Ryabchikova and L. Mashonkina, «The role of atomic and molecular data in stellar atmosphere studies: atmospheric structure and chemistry», *Phys. Scripta* (2013, в печати).
- V. Akimkin, S. Zhukovska, D. Wiebe, D. Semenov, Ya. Pavlyuchenkov, A. Vasyunin, T. Birnstiel, Th. Henning, «Protoplanetary disk structure with grain evolution: the ANDES model», *Astrophys. J.*, v. 766, p. 8, 2013.
- Я.Н. Павлюченков, М.С. Кирсанова, Д.З. Вибе, «Инфракрасное излучение и разрушение пыли в зонах ИП», *Астрон. журн.*, т. 90, с. 625, 2013.
- Я.Н. Павлюченков, А. Г. Жилкин, «Многокомпонентная модель для расчета тепловой структуры коллапсирующего протозвездного облака», *Астрон. журн.*, т. 90, с. 699, 2013.

- A.V. Khruslov, «New Variable Stars I», Переменные звезды (Приложение), т. 13, № 5, 2013.
- N.N. Samus, S.V. Antipin, «New discoveries of variable stars and implications for variability-type statistics», *Astron. and Astrophys. Trans.*, v. 28, p. 49, 2013.
- Ю.А. Фадеев, «Эволюция и зависимость период-светимость красных сверхгигантов Магеллановых облаков», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 342, 2013.
- Ю.А. Фадеев, «Эволюция и изменения периодов пульсаций цефеид Большого Магелланова облака», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 829, 2013.
- В.В. Зайцев, А.В. Степанов, В.Ф. Мельников, «Субтерагерцовое излучение солнечных вспышек: Плазменный механизм излучения хромосферы», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 726-736, 2013.
- Yu.A. Nagovitsyn, A. L. Rybak, E. Yu. Nagovitsyna «Superlong Period Oscillations of Sunspots according to SOHO MDI Data», *Geomagnetism and Aeronomy*, V.53, P. 902-907, 2013.
- А.А. Лутовинов, А.И. Миронов, Р.А. Буренин, М.Г. Ревнивцев, С.С. Цыганков, М.Н. Павлинский, М.В. Еселевич, И.В. Коробцев, «Отождествление четырех рентгеновских источников из каталогов обсерваторий ИНТЕГРАЛ и Swift», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 580, 2013.
- А.А. Baranov, P. Chardonnet, V.M. Chechetkin, A.A. Filina, M.V. Popov, «Multidimensional Simulations of Pair-Instability Supernovae», *Astron. and Astrophys.*, v. 558, A10, 2013.
- А.Г. Аксенов, В.М. Чечеткин, «Гравитационное излучение при столкновении нейтронных звезд», *Астрон. журн.*, т. 90, с. 545, 2013.
- O.Yu. Tsupko and G.S. Bisnovaty-Kogan, «Gravitational lensing in plasma: Relativistic images at homogeneous plasma», *Phys. Rev. D*, v. 87, art. 124009, 2013.
- А.М. Быков, Р.Е. Gladilin, S.M. Osipov, «Non-linear model of particle acceleration at colliding shock flows», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, v. 429, p. 2755, 2013.
- А.У. Potekhin, G. Chabrier, «Electron screening effect on stellar thermonuclear fusion», *Contrib. Plasma Phys.*, v. 53, p. 397, 2013.
- А.И. Чугунов, A.V. Afanasjev, M. Beard, M. Wiescher, Д.Г. Яковлев «Простая аппроксимация сечений ядерных реакций с участием ядер с  $Z = 3-12, 14$ », *Изв. РАН. Сер. физ.*, т. 77, с. 978, 2013.
- В.М. Малофеев, О.И. Малов, Д.А. Теплых, С.В. Логвиненко, «Радиопульсар Геминга. Новые результаты низкочастотных наблюдений», *Астрон. журн.* (2013, в печати).
- T.V. Smirnova, V.I. Shishov, M.V. Popov, C.R. Gwinn, J. Anderson, A.S. Andrianov, N. Bartel, A. Deller, M.D. Johnson, B.C. Joshi, N.S. Kardashev, R. Karuppusamy, Y.Y. Kovalev, M. Kramer, V.A. Soglasnov, A. Zensus, V.I. Zhuravlev, «Studies of the nearby turbulent interstellar plasma using the longest interferometric baselines», *Astrophys. J.* (2013, в печати).
- В.В. Железняков, П.А. Беспалов, «Распространение и генерация электромагнитных волн на протонных гирочастотах в релятивистской электрон-позитронной плазме. I», *Изв. вузов. Радиофизика* (2013, в печати).
- Н.А. Силантьев, Ю.Н. Гнедин, С.Д. Булига, М.Ю. Пиотрович, Т.М. Нацвлишвили, «Магнитные поля активных галактических ядер и квазаров с областью широких поляризованных H $\alpha$ -линий», *Астрофиз. бюлл.*, т. 68, с. 14, 2013.
- Ю.Н. Гнедин, «Исследование сверхмассивных черных дыр: новый метод, основанный на поляриметрических наблюдениях активных галактических ядер», *Усп. физ. наук*, т. 183, с. 747, 2013.
- И.И. Романюк, Е.А. Семенко, И.А. Якунин, Д.О. Кудрявцев, «Химически пекулярные звезды в ассоциации Орион OB1. 1. Частота встречаемости пространственное распределение и кинематика», *Астрофиз. бюлл.* т. 68, с. 318, 2013.
- Н.Р. Ихсанов, Н.Г. Бескровная, «О механизме торможения рентгеновского пульсара 4U 2206+54», *Астрон. журн.*, т. 90, с. 322, 2013.
- Г.С. Бисноватый-Коган, Н.Р. Ихсанов «Новый взгляд на аномальные рентгеновские пульсары», *Астрон. журн.* (2013, в печати).

- Б.Б. Михалев, И.С. Веселовский, О.В. Хонгорова, «Влияние излучения на поведение МГД-волн в солнечной короне», *Астрон. вестн.*, т. 47, с. 53, 2013.
- A.V.Stepanov, V.V.Zaitsev, «Diagnostics of SGR magnetospheres using coronal seismology», *Internat. J. Astron.*, v. 2, p. 43, 2013.
- О.М. Белоцерковский, Н.Н. Фимин, В.М. Четкин, «Термодинамика вихревых систем», *Журн. вычислит. матем. и матем. физ.* (2013, в печати).
- В.В. Веденяпин, Н.Н. Фимин, «Применение термодинамической подстановки для исследования систем обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений с дискретным временем», *Докл. РАН* (2013, в печати).
- А.Ю. Луговский, Е.А. Филистов, «Численное моделирование транзиентных структур в дисках спиральных галактик», *Астрон. журн.*, т. 91, (2014, в печати).
- В.П. Гринин, И.С. Потравнов, «Эффект Росситера-Маклафлина в излучении звезд типа UX Ori», *Астрофизика*, т. 56, с. 5, 2013.
- Л.И.Матвеев, С.С.Сиваконь «Кинематика активной области квазара 3C 345», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 547, 2013.
- О.Р. Stoyanovskaya, V.N. Snytnikov, «Boulder dynamics and gas flow in self-gravitating high-density areas of massive circumstellar discs», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* (2014, в печати).
- А.А. Lutovinov, M.G. Revnivtsev, S.S. Tsygankov, R.A. Krivonos «Population of persistent high-mass X-ray binaries in the Milky Way», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, v. 431, p. 327, 2013.
- М.Г. Ревнивцев, А. Князев, Д.И. Карасев, Л. Бердников, С. Барвей, «Инфракрасные наблюдения восьми рентгеновских источников из обзоров галактической плоскости», *Письма в Астрон. журн.* т. 39, с. 591, 2013.
- Е.Н. Копатская, Е.А. Колотилов, А.А. Arkharov, «Photometric behaviour of the FU Orionis type star, V1057 Cygni, during the last 25 years», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, v. 434, p. 38, 2013.
- Р.А. Буренин «Возможные указания на ненулевую массу и дополнительный вид нейтрино, следующие из космологических наблюдений», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 403, 2013.
- I.Yu. Katkov, O.K. Sil'chenko, V.L. Afanasiev, «Lenticular Galaxy IC 719: Current Building of the Counterrotating Large-scale Stellar Disk», *Astrophys. J.*, v. 769, article id. 105, 2013.
- V.L. Afanasiev, L.C. Popovic, A.I. Shapovalova, A.N. Borisov, D. Ilic, «Variability in Spectropolarimetric properties of Sy1.5 galaxy Mrk 6», *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* (2014, в печати).
- А.В. Pushkarev, Y.Y. Kovalev, M.L. Lister, et al., «VLBA Observations of a Rare Multiple Quasar Imaging Event Caused by Refraction in the Interstellar Medium», *Astron. and Astrophys.* v. 555, A80, 2013.
- А.А. Шацкий, И.Д. Новиков, Л.Н. Липатова, «Спектр релятивистского излучения электрических зарядов и диполей при их свободном падении в черную дыру», *Журн. эксперим. и теор. физ.*, т. 143, с. 1048, 2013.
- К.А. Bronnikov, L.N. Lipatova, I.D. Novikov, and A.A. Shatskiy, «Example of a Stable Wormhole in General Relativity», *Gravit. and Cosmol.*, v. 19, p. 269, 2013.
- M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, T.V. Mufakharov, A.K. Erkenov, R.Yu. Udovitskiy, «Gigahertz-peaked spectrum (GPS) galaxies and quasars», *Astrophys. Bull.*, v. 68, p. 262, 2013.
- А.А. Митрофанова, Н.В. Борисов, В.В. Шиманский, «Спектральный анализ эволюции карликовой новой GSC 02197-00886», *Астрофиз. бюлл.* (2013, в печати).
- Г.Н. Дремова, В.В. Дремов, А.В. Тутуков, «Разрушение тесных двойных систем в гравитационном поле сверхмассивной черной дыры и образование сверхскоростных звезд», *Астрон. журн.* (2014, в печати).
- В.В. Бобылев, «Оценка галактоцентрического расстояния Солнца и скорости вращения Галактики по объектам, близким к солнечному кругу», *Письма в Астрон. журн.*, т. 39, с. 115, 2013.

- В.В. Бобылев, А.Т. Байкова, «Оценка угла закрутки спирального узора Галактики», Письма в Астрон. журн., т. 39, с. 843, 2013.
- Г.А. Гончаров, А.Т. Байкова, «Галактические орбиты звёзд HIPPARCOS: классификация звёзд», Письма в Астрон. журн., т. 39, с. 768, 2013.
- V.N. Lukash, V.N. Strokov, «Space-times with integrable singularity: black-white holes and astrogenic universes», Internat. J. Mod. Phys. A, v. 28, id.1350007, 2013.
- S.A. Balashev, V.V. Klimenko, A.V. Ivanchik, D.A. Varshalovich, P. Petitjean, P. Noterdaeme, «Molecular hydrogen absorption systems in SDSS», Monthly Not. Roy. Astron. Soc. (2013, в печати).
- Н. Motohashi, A.A. Starobinsky, J. Yokoyama, «Cosmology based on  $f(R)$  gravity admits 1 eV sterile neutrinos», Phys. Rev. Lett., v. 110, id. 121302, 2013.
- Г.Н. Дремова, В.В. Дремов, А.В. Тутуков, «Разрушение тесных двойных систем в гравитационном поле сверхмассивной черной дыры и образование сверхскоростных звезд», Астрон. журн. (2014, в печати).
- В.В. Бобылев, «Оценка галактоцентрического расстояния Солнца и скорости вращения Галактики по объектам, близким к солнечному кругу», Письма в Астрон. журн., т. 39, с. 115, 2013.
- В.В. Бобылев, А.Т. Байкова, «Оценка угла закрутки спирального узора Галактики», Письма в Астрон. журн., т. 39, с. 843, 2013.
- Г.А. Гончаров, А.Т. Байкова, «Галактические орбиты звёзд HIPPARCOS: классификация звёзд», Письма в Астрон. журн., т. 39, с. 768, 2013.
- А.Yu. Kamenshchik, «Quantum cosmology late-time singularities», Class. Quantum Grav., v. 30, id. 173001, 2013.
- K.A. Postnov, L.R. Yungelson, «The Evolution of Compact Binary Star Systems», Living Reviews in Relativity, v. 17, N.3, 3-166, 2014.
- L. Mashonkina, N. Christlieb “The Hamburg/ESO R-process Enhanced Star survey (HERES) IX. Constraining pure r-process Ba/Eu abundance ratio from observations of r-II stars”, Astron. Astrophys., 565, A123, 2014.
- L. Mashonkina, N. Christlieb, K. Eriksson “The Hamburg/ESO R-process Enhanced Star survey (HERES) X. HE 2252-4225, one more r-process enhanced and actinide-boost halo star”, Astron. Astrophys., 569, A43, 2014.
- T. Ryabchikova, L. Mashonkina “The role of atomic and molecular data in stellar atmosphere studies: atmospheric structure and chemistry”, Physica Scripta. 89, 114007, 2014.
- N.N. Chugai, V.P. Utrobin. «Does the energy of type II supernovae depend on the stellar mass?» Astronomy Letters, 40, p. 291, 2014.
- Э.И. Воробьев, Я.Н. Павлюченков, П. Тринкл. «Влияние вспышек светимости на свойства протозвездных дисков», Астрон. журн. Т. 91, с. 610, 2014.
- N.A. Gorynya, A. Tokovinin, «Spectroscopic Orbits of 10 Nearby Solar-Type Dwarfs». Monthly Not. Roy. Astron. Soc., 441, No. 3, 2316–2320, 2014.
- К.В. Соколовский, С.В. Антипин, А.М. Зубарева, Д.М. Колесникова, А.А. Лебедев, Н.Н. Самусь, Л.А. Сат, «Новые переменные звезды на оцифрованных пластинках московской фототеки. Поле SA 9». Астрон. журн., 91, № 5, 382–391, 2014.
- Ю.А. Фадеев, «Теоретические оценки скорости изменения периодов пульсаций галактических цефеид». Письма в Астрон. журн., 40, 341, 2014.
- A.V. Stepanov, V.V. Zaitsev, «Quasi-periodic pulsations and diagnostics of flaring plasma», Geomagnetism & Aeronomy, V. 54, p. 969, 2014.
- Ю.А. Наговицын, А.Л. Рыбак «Свойства долгопериодических колебаний пятен», Астрон. журн., том 91, с. 392, 2014.
- M.V. Popov, A.A. Filina, A.A. Baranov, P. Chardonnet, V.M. Chechetkin, «Aspherical Nucleosynthesis in a Core-collapse Supernova with 25 Msol Standard Progenitor», Astrophys. J., vol. 783, p. 43, 2014.

- O.Yu. Tsupko and G.S. Bisnovaty-Kogan «Gravitational Lensing in the Presence of Plasmas and Strong Gravitational Fields», *Gravitation and Cosmology*, Vol. 20, No. 3, pp. 220–225, 2014.
- P. Slane, A.M. Bykov, D.C. Ellison, G. Dubner, D. Castro «Supernova remnants interacting with molecular clouds: X-ray and gamma-ray signatures», *Space Science Reviews*, doi: 10.1007/s11214-014-0062-6, July 2014.
- А.Ю. Потехин, «Атмосферы и излучающие поверхности нейтронных звёзд», *УФН*, 184, 793, 2014.
- P.A. Kravchuk, D.G. Yakovlev, «Strong plasma screening in thermonuclear reactions: Electron drop model», *Phys. Rev. C* 89, 015802, 2014.
- И.Ф.Малов, М.А.Тимиркеева, «Особенности радиопульсаров с излучением вне радиодиапазона», *Астрон. журн.*, 91, с.705-712, 2014.
- T.V. Smirnova, V.I. Shishov, M.V. Popov, C.R. Gwinn, J.M. Anderson, A.S. Andrianov, N. Bartel, A. Deller, M.D. Johnson, B.C. Joshi, N.S. Kardashev, R. Karuppusamy, Y.Y. Kovalev, M. Kramer, V.A. Soglasnov, J.A. Zensus, V.I. Zhuravlev, «RadioAstron Studies of the Nearby, Turbulent Interstellar Plasma With the Longest Space-Ground Interferometer Baseline», *Astrophys. Journ.* V. 786, p.115-129, 2014.
- С.Д. Булига, Ю.Н. Гнедин, Т.М. Нацвлишвили, М.Ю. Пиотрович, Н.А. Силантьев, «Зависимость поляризации излучения аккреционного диска от длины волны: тестирование моделей аккреционного диска» // *Письма в Астрон. журн.*, т. 40, №4, с.213-220, 2014.
- Е.А. Семенко, И.И. Романюк, Д.О. Кудрявцев, И.А. Якунин, «Об открытии сильного магнитного поля в двойной системе HD 34736», *Астрофиз. Бюлл.* Т. 69, с. 203, 2014.
- O.V. Shcheritsa, A.V. Getling, O.S. Mazhorova, «Stratification-induced scale splitting in convection», *Advances in Space Research*, 2014, DOI: 10.1016/j.asr.2014.08.034.
- Г.С. Бисноватый-Коган, Н.Р. Ихсанов «Новый взгляд на аномальные рентгеновские пульсары», *Астрон. журн.*, том 91, № 4, сс. 275-286, 2014.
- V.V. Zaitsev, «Sporadic plasma heating in the lower chromosphere», *Geomagnetism and Aeronomy*, V. 54, p. 882, 2014.
- А.Ю. Луговский, Е.А. Филистов, «Численное моделирование транзитных структур в дисках спиральных галактик», *Астрон. журн.*, т. 91, №2, 2014.
- L. Tambovtseva, V. Grinin, G. Weigelt, «Hydrogen lines as a diagnostic tool for studying multicomponent emitting regions in hot young stars: magnetosphere, X-wind, and disk wind», *Astron. Astrophys.* V. 562, p. 104, 2014
- Л.И. Матвеевко, С.В.Селезнев «Структура и мера вращения ядра галактики М 87». *Письма в Астрон. Журн.*, т. 40, с. 816, 2014.
- A. Volnova, M.V. Ulanov, D.S. Svinkin, R.L. Aptekar, D.D. Frederiks, S.V. Golenetskii, A.E. Tsvetkova «GRB 051008: a long, spectrally hard dust-obscured GRB in a Lyman-break galaxy at  $z \approx 2.8$ », *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 442, 2586, 2014.
- A.N. Semena, M.G. Revnivtsev, D.A.H. Buckley, M.M. Kotze, I.I. Khabibullin, H. Breytenbach, A.A.S. Gulbis, R. Coppejans, S.B. Potter «On the area of accretion curtains from fast aperiodic time variability of the intermediate polar EX Hya», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, V. 442, p. 1123, 2014.
- D.A. Morozova, V.M. Larionov, I.S. Troitsky, S.G. Jorstad, A.P. Marscher, J.L. Gomez, D.A. Blinov, et al., «The Outburst of the Blazar S4 0954+658 in 2011 March-April», *Astron. J.*, V. 148, p. 42, 2014.
- I. Khabibullin, S. Sazonov, R. Sunyaev «SRG/eROSITA prospects for the detection of stellar tidal disruption flares», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, V. 437, p. 327-337, 2014.
- V.L. Afanasiev, Popović, L.Č., Shapovalova, A.I., Borisov, N.V., Ilić, D., «Variability in spectropolarimetric properties of Sy 1.5 galaxy Mrk 6», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, V. 440, p. 519, 2014.

- O.V. Egorov, T.A. Lozinskaya, A.V. Moiseev, G.V. Smirnov-Pinchukov, «The supergiant shell with triggered star formation in Irr galaxy IC~2574: neutral and ionized gas kinematics», Monthly Not. Roy. Astron. Soc., V. 444, p. 376, 2014.
- А.А. Ермаш, «Сейфертовские галактики первого типа с узкими линиями. Связь между частотой встречаемости и крупномасштабной структурой Вселенной», Астрон. журн., т. 91, с. 263, 2014.
- T.V. Mufakharov, Yu.V.Sotnikova, A.K.Erkenov, and M. G. Mingaliev, «Study of the Relation between the Jet and Accretion-Disk Emission in Blazars Using RATAN-600 Multifrequency Data», Astrophys. Bull., V. 69, p. 266, 2014.
- Ю.А. Ковалев, В.И. Васильков, Попов М.В., Согласнов В.А., Войцик П.А., Лисаков М.М., Кутькин А.М., Николаев Н.Я., Нижельский Н.А., Жеканис Г.В., П.Г. Цыбулев, «Проект РадиоАстрон. Измерения и анализ основных параметров космического телескопа в полете 2011-2013 гг.», Космические исследования, т. 52, с. 1, 2014.
- V.V. Bobylev, A.T. Bajkova, “The Milky Way Spiral Structure Parameters from Data on Masers and Selected Open Clusters”, Monthly Not. Roy. Astron. Soc., V. 437, p. 1549, 2014.
- M. Demianski, A. Doroshkevich, «Semi-analytical description of formation of galaxies and clusters of galaxies», Monthly Not. Roy. Astron. Soc., V. 439, p. 179, 2014.
- A.Yu. Kamenshchik, E.O. Pozdeeva, A. Tronconi, G. Venturi, S.Y. Vernov, «Integrable cosmological models with non-minimally coupled scalar fields», Class. Quant. Grav. V. 31, p. 105003, 2014.

## 2. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПОДПРОГРАММЫ

В результате выполнения работ по Подпрограмме «Взрывные и переходные процессы в астрофизике» предполагается получить важные оригинальные результаты. Исследования проводятся в рамках следующих направлений:

1. Эволюция и свойства одиночных и двойных звезд.
2. Звездная переменность: наблюдения и теория.
3. Сверхновые, пульсары, нейтронные звезды.
4. Переходные и взрывные процессы с участием магнитных полей в астрофизической плазме.
5. Процессы аккреции и физика астрофизических дисков и джетов.
6. Переменность гамма-, рентгеновских, радио- и инфракрасных источников.
7. Активные процессы в галактиках; переходные и взрывные процессы и структура нашей Галактики.
8. Космологические аспекты.

(Всего в структуре Подпрограммы 44 проекта.)

Далее по каждому направлению перечислены основные цели и задачи работ, которые планируется выполнить в рамках данной Подпрограммы.

Направление 1: Эволюция и свойства одиночных и двойных звезд.

Исследование двойных звезд является одной из наиболее важных задач современной астрофизики, поскольку многие физические параметры звезды (в том числе масса, радиус) могут быть получены из наблюдений только для компонентов двойных систем. Двойные звезды многочисленны – большинство звезд Галактики входит в состав двойных, либо кратных систем. Наконец, взаимодействующие двойные звезды демонстрируют широкий спектр наблюдательных проявлений, анализ которых может дать информацию о физических процессах, протекающих как на поверхности звезд, так и в межзвездном пространстве. Для интерпретации наблюдений, получаемых современными средствами, прежде всего космическими обсерваториями, необходимо использовать сложные физические модели, построение которых невозможно без проведения численного моделирования.

Будет проводиться диагностика физических условий в атмосферах и оболочках звезд на основе спектральных наблюдений. Это включает определение химического состава звезд с большим дефицитом металлов в карликовых галактиках - спутниках нашей Галактики, изучение зависимости различных элементных отношений от металличности, сравнительный анализ разных галактик. Это важно для изучения начальных эпох нуклеосинтеза и звездообразования. Будет проводиться проверка и развитие теории диффузионного разделения элементов в атмосферах химически пекулярных звезд под совокупным действием гравитации и лучевого давления, спектральное исследование переменных звезд-гигантов с хромосферной активностью, а также исследование SN 2014J, ближайшей к нам сверхновой типа Ia, от которой впервые обнаружено гамма-излучение, связанное с распадом  $^{56}\text{Ni}$ .

Эволюция органических соединений в межзвездной среде относится к числу наиболее актуальных проблем современной астрофизики. Их изучение вызывает интерес в связи с проблемами астробиологии, а также в связи с общей диагностикой процессов, сопровождающих образования планетных систем и звезд различных масс. Будет проводиться разработка методики моделирования реакций синтеза сложных молекул на поверхностях космических пылинок и ее реализация в модели эволюции протозвездного объекта. Планируется поиск и включение в модель актуальных лабораторных данных о химических реакциях с участием сложных молекул и об их взаимодействии с излучением. Будет разработана методика моделирования эволюции (коагуляции и разрушения) пылевых частиц в протозвездных и протопланетных объектах.

## Направление 2: Звездная переменность: наблюдения и теория

Фотометрическая переменность – весьма распространенное и важное свойство звезд. Новые наблюдательные данные (специально поставленные наблюдения, а также наблюдения автоматических обзоров ASAS, MACHO, OGLE, SuperWASP, Catalina и др.) позволяют эффективно выявлять новые переменные звезды, существенно уточнять информацию об известных объектах, совершенствовать каталоги переменных звезд. У большинства звезд-гигантов и сверхгигантов поздних спектральных классов наблюдаются изменения блеска и лучевых скоростей, которые находят объяснение в рамках гипотезы о радиальных звездных пульсациях, однако понимание физических механизмов, ответственных за наблюдаемую переменность блеска, все еще остается на низком уровне. Знание этих механизмов необходимо, например, при использовании эмпирической зависимости период–светимость для установления шкалы межгалактических расстояний. Приложение теории звездных пульсаций к наблюдательным данным позволяет также проверить отдельные выводы теории звездной эволюции. Решение этих задач планируется получить с помощью программ расчета звездной эволюции и метода самосогласованного решения уравнений радиационной гидродинамики и турбулентной конвекции. Новые наблюдательные данные приводят к существенному изменению статистики переменных звезд. Среди переменных звезд по-прежнему важно выделить объекты особого астрофизического значения для дальнейших исследований.

Будут проводиться наблюдения, интерпретация и теоретическое моделирование циклических, колебательных и волновых явлений, происходящих на Солнце и звёздах поздних спектральных классов. Циклы активности различных временных масштабов у широкого класса звёзд - фундаментальное явление, требующее детального изучения. Наибольшие возможности для исследования циклов звёздной активности предоставляет нам ближайшая звезда G2 - Солнце. Для нее имеется возможность рассмотрения различных циклов активности на большой временной шкале.

Изучение активных ядер галактик и микроквazarов относится к числу наиболее актуальных задач современной астрофизики. Одной из ключевых проблем является выяснение строения и механизма работы т.н. "центральной машины" (области, где происходит выделение основной части энергии) активных галактических ядер, обеспечивающей в течение длительного времени самую большую во Вселенной мощность электромагнитного излучения. Планируется проведение наблюдений галактик с активными ядрами в полосах BVRI на 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК для исследования природы переменности на разных временных шкалах, проведение

фотометрических наблюдений оптических послесвечений гамма-всплесков, а также поддержка космических экспериментов по исследованию активных ядер галактик.

Открытие и исследование большого числа звездных объектов с планетными системами и без них позволяет сделать прорыв в проблеме происхождения звездной активности и проверить ряд существующих гипотез о динамике Солнечной системы и гелиоферы. Имеющаяся совокупность наблюдений экзопланет различными способами будет подвергнута тщательному анализу на непротиворечивость и качество исходных данных для критической оценки утверждений различных авторов. Для решения поставленных задач будет выполнен сравнительный и корреляционный анализ имеющейся обширной базы данных о параметрах солнечной и звездной активности, числах пятен, площади корональных дыр, корональных выбросов и вспышек, солнечного и звездного ветра и солнечной и звездной короны. В солнечной части будут использоваться в основном данные с космических аппаратов ACE, SOHO, SDO и наземных спектроскопических наблюдений во время солнечных затмений. Моделирование будет использовать аналитические методы и методы безразмерного масштабирования на основе численных оценок.

Экстремальные звездные события (мощные вспышки, корональные выбросы плазмы и др.) являются одним из важнейших факторов влияния родительской звезды на ее планетную систему и, в особенности, на состояние планетных атмосфер. Частота вспышек открытых недавно в наблюдениях подобных Солнцу звезд при помощи космического телескопа NASA Kepler, с энергией порядка  $10^{34-35}$  эрг, составляет в среднем 1 событие в течение 800 - 5000 лет, с экстремальным значением 57 супервспышек за 500 дней. Известно, что по своим возможным последствиям мощные вспышки (или потенциально возможные супервспышки) могут вызывать существенные изменения состояния планетной атмосферы за счет усиления нетепловых процессов потери атмосферы. Будет проведен анализ статистики наблюдений супервспышек для звезд солнечного типа и исследование проявлений магнитной активности звезд, обладающих супервспышками на основе наблюдений на космическом телескопе NASA Kepler. Будет вестись разработка модели влияния супервспышки на атмосферу планеты на орбите, близкой к родительской звезде.

### Направление 3: Сверхновые, пульсары, нейтронные звезды

Будет проведено моделирование коллапсирующей сверхновой с учетом реалистичной физики и самосогласованной гравитации, когда несферичность взрыва определяется, в основном, характером вращения и, возможно, магнитными полями. Будут проведены расчеты образования химических элементов в несферическом взрыве сверхновых. Это позволит дать

более достоверную теорию образования тяжелых элементов  $A > 12$ , учитывая, что современные наблюдения некоторых сверхновых указывают на наличие несферичности при взрыве.

Большое значение для изучения физики сверхновых имеют расчеты магниторотационной модели взрыва. Предполагается провести численное моделирование магниторотационного механизма взрыва сверхновой в двумерной и трехмерной постановке, а также численное моделирование формирования направленных струйных выбросов, аналогичных астрофизическим джетам, под действием лазерного импульса. Будут рассчитаны параметры последних устойчивых круговых орбит пробных тел с собственным моментом вращения в гравитационном поле черных дыр. Будет вестись исследование космических гамма-всплесков, включающее наблюдения, исследование феноменологии, а также моделирование физических параметров в источниках гамма-всплесков.

Будет построена нелинейная модель эволюции возмущений в релятивистском ветре пульсарной туманности, приводящих к формированию динамических излучающих структур. Для этой цели будут проанализированы многолетние и синхронные многоволновые данные об излучении динамических структур в ряде галактических пульсарных туманностей и разработана количественная модель вспышечной активности динамических структур в пульсарных туманностях. Разработанная модель поможет в интерпретации спектральных и временных характеристик как квазистационарного, так и вспышечного излучения, наблюдаемого от галактических пульсарных туманностей, в частности, от Крабовидной туманности.

Нейтронные звезды привлекают пристальное внимание астрофизиков, а также физиков, занимающихся ядерной физикой, физикой элементарных частиц, сильных взаимодействий и конденсированного вещества. Будет проводиться развитие теории вещества нейтронных звезд: расчеты термодинамических и транспортных свойств вещества в различных слоях нейтронных звезд, что необходимо для моделирования эволюции нейтронных звезд и правильной интерпретации их наблюдений. Планируется также моделирование эволюции нейтронных звезд и сравнение с наблюдениями: использование новых данных о термодинамических и транспортных свойствах вещества нейтронных звезд для моделирования теплового излучения этих звезд, строения их теплоизолирующих оболочек, остывания одиночных нейтронных звезд и эволюции нейтронных звезд разного типа с источниками подогрева. Сравнение результатов с наблюдениями позволит получить информацию о параметрах нейтронных звезд и свойствах сверхплотного вещества в их недрах.

В настоящее время проводится большое число исследований резонансного взаимодействия излучения с плазмой в сильных (квантующих) магнитных полях. Основная мотивация таких исследований – объяснение наблюдаемых явлений в атмосферах и

магнитосферах нейтронных звёзд и магнитных белых карликов. Главной трудностью при анализе различных аспектов взаимодействия излучения с плазмой в условиях сильного магнитного поля является существенная и далеко неочевидная роль целого ряда физических эффектов, которыми нельзя пренебречь в области параметров, отвечающих реальным объектам. Так, известно, что поляризованный вакуум в условиях атмосфер и магнитосфер нейтронных звёзд может сильно изменять поляризацию распространяющихся электромагнитных волн и кардинально менять характер взаимодействия циклотронного излучения с электронами. В частности, благодаря поляризации вакуума, показатели преломления и коэффициенты поглощения нормальных волн сильно изменяются. Планируется провести качественный и количественный анализ резонансного взаимодействия излучения с сильнозамагниченной рассеивающей плазмой, характерной для атмосфер вырожденных звёзд в отсутствие аккреции либо горячих пятен на звёздах. Основные результаты планируется получить при помощи современных численных кодов, адаптированных к конкретным задачам. Так, особенности резонансного рассеяния планируется изучить посредством их моделирования методом Монте-Карло, уравнения переноса будут решены сеточным методом ускоренных итераций, а самосогласованная динамика и кинетика плазмы будет исследована путём моделирования методом частиц в ячейках, в частности с использованием открытого кода EPOCH. Этими подходами планируется определить, как изменяется функция распределения электронов в верхних слоях атмосфер вырожденных звёзд под действием давления циклотронного излучения.

Известно около десятка радиопульсаров, излучающих не только в радио, но и в оптическом диапазоне. У пульсара в Крабовидной туманности спектр излучения простирается вплоть до гамма частот. Его излучение в оптике, рентгене и гамма диапазонах обычно интерпретируется как некогерентное синхротронное излучение релятивистских электронов (или релятивистских электронов и позитронов) из локальных источников, расположенных в районе светового цилиндра. В данном проекте рассматривается возможность объяснить наблюдаемое радиоизлучение из указанных локальных источников на пульсаре на основе предположения о наличии в них нерелятивистских протонов с неравновесной функцией распределения. Протонная компонента может приводить к генерации гигантских всплесков сравнительно низкочастотных электромагнитных волн, так как в окрестности светового цилиндра протонная гирочастота и её низшие гармоники соответствуют радиодиапазону. Ожидаемые результаты внесут важный вклад в фундаментальные исследования электромагнитных свойств космической плазмы в уникальных условиях магнитосферы пульсара и актуальны для объяснения последних экспериментальных данных о радиоизлучении

пульсара в Крабовидной туманности, полученных на радиоспектрографе с рекордно высоким временным и частотным разрешением.

Пульсары представляют собой быстро вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем. Вблизи полюсов нейтронной звезды происходит генерация и ускорение электронов и позитронов до релятивистских скоростей. Плотный поток такой плазмы, движущейся вдоль магнитных силовых линий, генерирует мощное радиоизлучение в узком конусе в направлении движения плазмы. При этом внешний наблюдатель видит короткие радиоимпульсы, повторяющиеся с периодом вращения нейтронной звезды. Пульсары являются самыми компактными радиоисточниками во Вселенной, их угловые размеры не превышают одной микросекунды дуги. Такие компактные объекты являются идеальными источниками для изучения эффектов рассеяния радиоволн на неоднородностях межзвездной плазмы, которое приводит к временному уширению импульсов, а также к модуляции радио спектров и интенсивности излучения. Традиционный метод анализа эффектов рассеяния состоит в получении динамических спектров. В данном исследовании акцент будет перенесен на так называемые вторичные динамические спектры, которые представляют собой двумерное преобразование Фурье от динамических спектров. В этих вторичных динамических спектрах ранее были выявлены регулярные структуры в виде параболических арок, присутствие и форма которых дают возможность получить определенные ограничения на свойства рассеивающей среды (плазмы) и свойства излучающего источника (пульсара). Особый интерес представляет анализ вторичных динамических спектров для двухантенного интерферометра. В этом случае вторичные спектры представляют собой не что иное как традиционную диаграмму «временная задержка – частота интерференции». Такая диаграмма содержит информацию не только об амплитуде, но и о фазе интерферирующих рассеянных лучей. В ходе выполнения научной программы РадиоАстрон были проведены наблюдения ярких пульсаров в различных направлениях в Галактике при участии больших наземных радиотелескопов. Предполагается провести анализ этих данных методом построения вторичных динамических спектров.

Будут проанализированы данные наблюдений пульсаров, проведенных на различных наземных и космических телескопах (в частности, на большой решётке — LAT космического аппарата Fermi). Также предполагается провести обзор всех теорий и моделей, предложенных для описания особенностей аномальных пульсаров. Будет проведен сбор и систематизация данных наблюдений в радио, рентгеновском и гамма-диапазонах различных типов одиночных нейтронных звёзд -радиопульсаров с излучением вне радиодиапазона, компактных центральных источников в остатках сверхновых (CCO), слабо излучающих в рентгене изолированных нейтронных звёзд XDINS), радиотранзиентов (RRAT), аномальных рентгеновских пульсаров (AXP) и источников с повторяющимся мягким гамма-излучением

(SGR), а также анализ возможностей различных предложенных ранее моделей аномальных пульсаров. Планируется отбор и наблюдения десятка пульсаров с пред импульсами (precursor) и после импульсами (postcursor) на частоте 111 МГц (антенна БСА ФИАН) с целью исследования особенностей радиоизлучения. Будет также проводиться обработка данных наблюдений пульсаров, проведенных международной группой наблюдателей по программе «Радиоастрон» на частоте 324 МГц, и анализ этих данных.

#### Направление 4: Переходные и взрывные процессы с участием магнитных полей в астрофизической плазме.

Будет решаться проблема определения и эволюции магнитных полей, образующихся в процессе аккреции вещества на компактные астрофизические объекты (протозвезды и молодые звезды, активные галактические ядра, квазары). Разработан поляриметрический метод измерения магнитных полей, основанный на комбинированном учете эффекта фарадеевского вращения плоскости поляризации излучения и процесса электронного рассеяния. Именно этот метод наиболее эффективен для реального определения магнитных полей в условиях процесса аккреции на компактные астрофизические объекты. Планируется получение данных поляриметрических и спектроскопических наблюдений молодых звезд и активных ядер галактик, причем наблюдения будут осуществляться на крупнейших российских и международных телескопах, включая БТА-6м САО РАН, ЗТШ-2.6м КрАО, VLT-8m Южной Европейской Обсерватории. Будут выполнены теоретические расчеты системы уравнений переноса поляризованного излучения магнитоактивной плазмы для различных моделей аккреционных дисков с применением методики, развитой в ГАО РАН. Будет проводиться исследование нестационарного поведения магнитоактивной плазмы, играющего ключевую роль в переходных и взрывных процессах, происходящих в наблюдаемых объектах, причем основное внимание будет уделяться исследованию поляризации излучения таких объектов. Будет выполнено детальное сравнение данных поляриметрических наблюдений с результатами теоретических расчетов и определение на их основе величины, топологии и эволюции магнитного поля исследуемых астрофизических объектов.

Сильное магнитное поле существенно влияет на структуру атомов и молекул в атмосферах вырожденных звезд — белых карликов и нейтронных звезд. В свою очередь, изменение атомной структуры отражается на длинах волн наблюдаемых спектральных линий элементов, что позволяет определять индукцию магнитного поля на одиночных белых карликах (которая достигает одного гигагаусса и существенно превышает значения магнитного поля в лабораторных экспериментах). Частоты спектральных линий атома водорода в сильном

магнитном поле уже детально изучены и в настоящее время теоретические исследования атомной структуры проводятся для более тяжёлых элементов с многими электронными оболочками, что обусловлено поисками магнитных звёзд с неводородными атмосферами.

Вместе с тем перенос излучения в континууме в холодной плазме фотосфер магнитных белых карликов остаётся нерешённой задачей. Сложность решения обусловлена большим числом атомных состояний, которые определяют излучение и поглощение в континууме на каждой частоте, и существенным изменением не только связанных, но и свободных состояний частиц плазмы. Однако решение задачи переноса упрощается для инфракрасного излучения (в диапазоне длин волн больше одного микрометра), где энергия фотона меньше тепловой энергии частиц. В этом случае перенос излучения определяется в основном свободно-свободными переходами электрона при столкновении с протонами. Вместе с тем инфракрасное излучение оказывается низкочастотным по сравнению с частотой циклотронного вращения электронов в условиях белых карликов с сильным магнитным полем, поэтому именно в этом диапазоне наиболее сильно проявляется влияние магнитного поля на перенос излучения в континууме.

Предполагается рассчитать коэффициенты переноса излучения в континууме холодных белых карликов с сильным квантующим магнитным полем, обусловленные кулоновскими столкновениями. Расчёты должны выявить сильное отличие поглощения для электромагнитных волн с разной поляризацией. Такое отличие в поглощении может обеспечивать выход электромагнитных волн определённой поляризации из более глубоких и горячих фотосферных слоёв, что порождает сильную поляризацию наблюдаемого излучения от звёзд данного класса.

Актуальность исследований механизмов быстрой переменности рентгеновских и гамма пульсаров, барстеров и вспышечной активности магнитных взрывных переменных обусловлена стремительно растущим количеством информации о структуре и параметрах вспышек, интерпретация которой в рамках существующей теории затруднительна. Планируется построение механизма быстрой мультиволновой вспышечной активности взрывной переменной АЕ Водолея, содержащей в своем составе белый карлик в состоянии эжектора. Будет проводиться интерпретация результатов РСДБ и оптических спектральных наблюдений этого объекта путем моделирования процесса взаимодействия потоков плазмы с магнитным полем и релятивистским ветром белого карлика. Планируется локализация вспышечного источника в рентгеновских барстерах и оценка темпа энерговыделения при учете тороидального компонента магнитного поля в коре нейтронной звезды. Будет проведено моделирование эволюции вспышки, вызванной импульсным локальным прогревом коры нейтронной звезды. Планируется моделирование переменности излучения рентгеновских пульсаров, находящихся в состоянии аккреции из магнито-левитационного диска (ML-диска) и оценка устойчивости такого диска и границы магнитосферы аккрецирующей нейтронной звезды.

До сих пор остаётся открытым вопрос, почему вспышки на звёздах типа красных карликов, как правило, на несколько порядков более мощные, чем на Солнце. Одна из причин может быть связана с большими скоростями фотосферной конвекции на этих звёздах по сравнению с Солнцем. Это обстоятельство приводит к формированию более мощных токовых систем и к увеличению свободной энергии, запасённой в корональных магнитных петлях красных карликов. При определённых условиях запасённая энергия может высвободиться в виде вспышек. Предполагается исследовать эту проблему. Будут определены параметры корональных магнитных петель на звёздах поздних спектральных классов. Для этого будут использованы имеющиеся данные о мере эмиссии и времени затухания соответствующих вспышек в мягком рентгеновском диапазоне. По указанным данным будут определены электрические токи в магнитных петлях и запасённая в них свободная энергия. Будет исследована возможность генерации электрических токов за счёт взаимодействия фотосферной конвекции с корональными магнитными полями в основаниях петель и получены условия на соответствующие значения скорости фотосферной конвекции.

#### Направление 5: Процессы аккреции и физика астрофизических дисков и джетов в астрофизической плазме

Численное моделирование аккреционных дисков, в том числе при наличии магнитного поля, а также исследование влияния неустойчивостей на процесс аккреции являются актуальными задачами современной астрофизики. Механизм переноса углового момента крупными вихревыми структурами, образующимися в аккреционном звездном диске в результате развития гидродинамической или магниторотационной неустойчивостей, используется в мировой астрофизике наряду с другими механизмами для объяснения потери диском углового момента. Планируется осуществить исследование характеристик плазменных течений в аккреционных дисках в различных постановках, в частности, в рамках полной двумерной магнитогидродинамической постановки с учетом осевой симметрии и без нее, а также с учетом неполной ионизации плазмы. В том числе, планируется исследовать развитие неустойчивости сдвигового течения с учетом действия магнитного поля.

Исследование динамических процессов в ближайших окрестностях молодых звезд представляет огромный интерес для понимания физических явлений, происходящих на ранних стадиях их эволюции, поскольку именно в этих областях из первичного вещества протопланетных дисков рождаются планеты и планетные системы. Для изучения этих процессов планируется выполнить спектральные и фотометрические наблюдения (частично в режиме мониторинга) группы молодых звезд, отобранных таким образом, чтобы можно было

исследовать влияние наклона околозвездного диска (и оси вращения звезды) к лучу зрения на характер спектральной и фотометрической переменности. Фотометрические наблюдения будут выполняться в оптической (*UBVRI*) и ближней инфракрасной (*JHKL*) областях спектра.

Исследования структуры астрономических объектов с предельным угловым разрешением, достигающим десятков микросекунд дуги, открывает принципиально новые возможности для познания происходящих в них переходных процессов. Будет исследована кинематика сверхтонкой структуры активных областей астрофизических объектов. Планируется исследовать объект 3C 454.3 и радиогалактики M87 и 1803+784. Будут определены параметры фрагментов, ориентации плоскости поляризации, меры вращения в направлении отдельных фрагментов, яркостные температуры фрагментов, даны оценки количества тепловых электронов и величины магнитного поля, определена кинематика. Впервые будут определены процессы, сопровождающие активность ядер.

Будут исследованы локальные гравитационные коллапсы в околозвездном диске при планетообразовании. Планируется разработка численной модели массивного околозвездного диска одиночной звезды для воспроизведения начальных стадий локальных гравитационных коллапсов и аккреции вещества на массивные сгущения в двухфазной среде на основе трехмерного метода SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) для газовой динамики, метода PIC (Particle-in-Cell) для динамики глыб, сеточного метода для уравнения Пуассона. Будет разработана параллельная реализация численной модели, позволяющей проводить моделирование динамических процессов в диске с рекордным пространственным разрешением. Планируется суперкомпьютерное моделирование захвата газа и твердой фазы (глыб) самогравитирующими сгущениями и натурное моделирование столкновений и слипания твердых тел миллиметрового и сантиметрового размеров с участием вязкого органического вещества. Будет проведена оценка физических условий для столкновения со слипания тел в массивных околозвездных дисках на основе литературных данных.

Направление 6: Переменность гамма-, рентгеновских,  
радио- и инфракрасных источников

Планируется исследование временных и спектральных характеристик космических гамма-всплесков космологического происхождения и мягких гамма-репитеров в российско-американском эксперименте КОНУС-ВИНД в рамках всеволновых наблюдений источников всплесков синхронно с американскими миссиями СВИФТ и Ферми и сетью наземных оптических и радиотелескопов. Будет вестись разработка современных методов детального исследования временных и спектральных характеристик космических гамма-всплесков и

мягких гамма-репитеров применительно к планируемым наблюдениям аппаратурой «Конус-УФ» (проект «Спектр-УФ») и «Конус-ФГ» (проект «ГАММА-400»). Планируется разработка и всесторонняя лабораторная отработка современных спектрометрических сцинтилляционных детекторов на основе уникального по быстродействию и энергетическому разрешению кристалла бромида лантана. Планируется создание для перспективных отечественных экспериментов «Конус-УФ» и «Конус-ФГ» высокотехнологичных детекторов для спектрометрии гамма-излучения и автономной локализации источников всплесков. Детекторы обладают долговременной стабильностью в широком интервале температур эксплуатации на космических аппаратах и не имеют аналогов в мировой практике регистрации космических гамма-всплесков по ширине энергетического диапазона и степени защиты детекторов от фона космического аппарата.

Будет проводиться исследование взрывных и переходных процессов, сопровождающих рождение, жизнь и смерть черных дыр, нейтронных звезд и белых карликов в рентгеновских двойных, с помощью регулярного анализа поступающих общедоступных данных и данных российской квоты наблюдений обсерватории ИНТЕГРАЛ с целью отслеживания вспышек транзиентных рентгеновских источников в Галактике и выявления ранее неизвестных источников. По данным обсерваторий ИНТЕГРАЛ и SWIFT будет выполнен наиболее глубокий анализ (обзор) короткоживущих (с временем жизни несколько часов) рентгеновских источников в системах с массивными ОВ спутниками (так называемых «быстрых транзиентов») с целью уточнения механизма их вспышек и его моделирования. По данным обсерваторий ИНТЕГРАЛ, SWIFT, MAXI и телескопа RIT-150 будет проводится мониторинг долговременной (дни и месяцы) переменности рентгеновских двойных, и прежде всего — рентгеновских новых, с целью исследования их переходов между разными спектральными состояниями и зависимости этих переходов от темпа аккреции и других возможных параметров. Будут построены широкополосные спектры рентгеновских новых, в разных состояниях, выполнено моделирование наблюдаемых спектров излучения. Будет выполнен поиск ранее неизвестных барстеров с низким уровнем постоянного излучения в данных обсерватории ИНТЕГРАЛ, составлен полный каталог зарегистрированных обсерваторией рентгеновских всплесков, связанных с термоядерными взрывами на поверхности нейтронных звезд. Будет проведен статистический анализ частоты всплесков в разных источниках и морфологический анализ их профилей, выполнено теоретическое моделирование профилей всплесков, образующихся при термоядерном взрыве, и их сравнение с наблюдениями. По данным обсерватории ИНТЕГРАЛ будут построены спектры жесткого рентгеновского и гамма-излучения нескольких близких молодых остатков сверхновых (и спектры возможной вновь вспыхнувшей сверхновой) с целью поиска и исследования линий излучения прямого вылета

или комптонизированного непрерывного излучения, связанного с распадом в разлетающейся оболочке радиоактивных изотопов, синтезированных при взрыве: Ti-44, Na-22, Fe-55, Co-60, Co-56, Ni-56, Co-57. Будут выполнены оценки содержания этих изотопов: проведено сравнение с результатами численного моделирования процесса взрывного нуклеосинтеза при разных предположениях о механизмах взрыва данных сверхновых.

Будет проводиться исследование природы внутрисуточной переменности дискретных внегалактических источников на основе радиометрических и радиоинтерферометрических наблюдений. Проведение наблюдений внегалактических объектов в радиодиапазоне позволяет изучить нестационарные, переходные и взрывные процессы в объектах Вселенной, сделать выводы о происхождении и эволюции звезд и галактик. Регулярные радионаблюдения в различных диапазонах длин волн дают важную информацию для построения физической модели процессов, происходящих в изучаемых объектах. Планируется экспериментальное исследование характеристик компактных структур дискретных источников космического радиоизлучения и характеристик турбулентной межзвездной среды. Основная задача - поиск и анализ переменности плотности потока радиоизлучения источников на временных масштабах от внутрисуточных (т.н. IDV) до недельных. Эта задача будет решаться на основе анализа наблюдений, проводимых на радиотелескопах РТ-32 обсерваторий комплекса «Квazar-КВО» (ИПА РАН) и радиотелескопе «РАТАН-600» САО РАН. Существование внутрисуточной и недельной переменности предполагает наличие в радиоисточнике микросекундных структур. Поэтому исследование природы этой переменности дает мощный инструмент для изучения этих структур, неразрешимых даже для наземно-космических интерферометров типа «РадиоАстрон». Кроме того, проведение наблюдений в различных диапазонах длин волн позволит определить, связана ли найденная переменность радиоизлучения со свойствами центральной области источника или она обусловлена свойствами межзвездной (RISS) и межгалактической (микролинзирование) сред. А установление связи IDV с долгопериодической переменностью (недельной или годичной) позволит лучше понять природу внутренней переменности радиоисточников.

Исследование переменности радиоизлучения активных ядер галактик (AGN) позволяет получить информацию о механизме образования релятивистского джета, а также о механизме взаимодействия между аккреционным диском и потоком вытекающего из аккреционного диска вещества. Исследование переменности излучения активных ядер галактик предполагается выполнять на основе радиометрических наблюдений, выполненных на радиотелескопах РТ-32 РСДБ-комплекса «Квazar-КВО». В качестве объектов исследования будут выбраны AGN, открываемые космической рентгеновской обсерваторией «ИНТЕГРАЛ». Сопоставление радиоастрономических наблюдений AGN с данными, полученными в других диапазонах длин

волн (оптическими, рентгеновскими и гамма-данными), позволят изучить высокоэнергетические нестационарные процессы, происходящие во Вселенной. Планируются наблюдения активных ядер галактик с преобладанием излучения мазеров водяного пара на радиотелескопах РТ-32 обсерваторий «Зеленчукская» и «Бадары» в диапазонах частот 8.45 и 4.85 ГГц.

Радионаблюдения релятивистских объектов позволяют получить информацию о нестационарных, переходных и взрывных процессах в астрофизике. Вспышки гамма-излучения ряда источников сопровождаются послесвечением в радиодиапазоне. Проведение регулярных радионаблюдений в различных диапазонах длин волн позволяют построить физическую модель процессов, происходящих в изучаемых объектах. Предполагается проводить исследования радиоизлучения космических гамма-всплесков и сверхновых на обсерваториях «Зеленчукская» и «Бадары» комплекса «Квазар-КВО» ИПА РАН. Излучение гамма-всплесков в радиодиапазоне является слабым и трудно обнаружимым. Тем не менее результаты, полученные по наблюдениям ИПА РАН, сопоставимы с данными как крупных одиночных инструментов, например РАТАН-600, так и с результатами интерферометрических сетей, например VLBA. В случае обнаружения радиопослесвечения планируется проводить длительный, порядка нескольких лет, мониторинг таких источников на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО».

#### Направление 7: Активные процессы в галактиках:

##### переходные и взрывные процессы и структура нашей Галактики

Будет проводиться исследование физических процессов в ядрах активных галактик, центральных областях нормальных галактик и в скоплениях галактик по данным орбитальной обсерватории гамма-лучей ИНТЕГРАЛ. Будет вестись работа по повышению за счет новых наблюдений чувствительности полного обзора неба, выполненного орбитальной обсерваторией ИНТЕГРАЛ в жестких рентгеновских лучах, и по расширению выборки близких AGN из этого обзора (и из обзора неба спутником SWIFT) за счет выявления новых AGN среди неотожествленных источников обзоров (по данным спутников XMM, CHANDRA, оптических телескопов РТТ-150 и БТА). На основе выборок сейфертовских галактик в близкой Вселенной, полученных по данным жестких рентгеновских обзоров всего неба, будет измерена истинная (поправленная на эффекты наблюдательной селекции) зависимость доли поглощенных AGN от светимости. По результатам этого исследования и на основе другого наблюдательного материала, будут исследованы физические свойства газопылевых структур (торов) - центрального элемента моделей объединения различных классов AGN. Такие исследования

необходимы для проверки «теории объединения» сейфертовских галактик и диагностики распределения холодного вещества вокруг сверхмассивных черных дыр. Будет продолжено исследование эволюции AGN во Вселенной по данным современных внегалактических инфракрасных, оптических и рентгеновских обзоров. Это исследование должно позволить уточнить историю роста сверхмассивных черных дыр. Более детальный анализ сверхмассивной черной дыры и ее эволюции будет проведен для ядра нашей Галактики.

Будет вестись мониторинг выборки AGN методами фотометрии, спектроскопии и спектрополяриметрии на 6-м и 1-м телескопах САО с целью исследования физики области вблизи массивного ядра – кинематика и происхождение околоядерного газового диска, механизмы излучения, процессы истечения и аккреции в активных областях на масштабах 0.1-100 пс. Планируется получение новых данных методами 2D-спектроскопии у выборки близких AGN с целью исследования причин и механизмов транспортировки газа в центральные активные области галактики, исследование наблюдательных проявлений связанных с ними гравитационных и гидродинамических неустойчивостей, изучение причин вспышек звездообразования, исследование механизмов фотоионизации газа, химического состава и возраста звездного населения в активных областях галактик на масштабах 0.1-10 кпс. Будет проведена необходимая для выполнения поставленных задач модернизация методов 2D спектроскопии и поляриметрии на БТА в видимом и ближнем ИК-диапазонах.

Будет проводиться изучение кинематики Галактики и ее спиральной структуры с использованием данных о молодых объектах галактического диска. Для этих целей, прежде всего, будет использована выборка мазеров с измеренными средствами РСДБ тригонометрическими параллаксами. Эти мазеры расположены в областях активного звездообразования, ассоциируются с массивными протозвездами и хорошо трассируют спиральный узор Галактики. Мазеры из исследуемой выборки находятся в интервале галактоцентрических расстояний 0-15 кпк, их параллаксы определены в среднем с ошибкой около 10%. В настоящее время количество таких источников уже составляет более 120. Будет расширена кинематическая база данных о массивных спектрально-двойных звездах около 60 таких систем (расположенных от Солнца дальше 0.6 кпк) использовались для изучения спиральной структуры Галактики, планируется удвоить их количество с новыми определениями расстояний до OB3-звезд с использованием спектральных линий межзвездного кальция.

Будут изучены свойства радиоизлучения активных ядер галактик и связь с излучением в других диапазонах. Проект направлен на получение информации об активных внегалактических источниках в широком диапазоне электромагнитного спектра. Современный уровень развития инструментальной и технической базы позволяет проводить постоянный

мониторинг сотен космических объектов. К активным внегалактическим объектам относятся ядра активных галактик, радиогалактики, квазары, блазары. Многие из них отличаются сильным нетепловым излучением по всему электромагнитному спектру (от радио до гамма). Часто наблюдаемые свойства связаны с релятивистскими эффектами из-за того, что джет (струи, выброс) в них расположен под малым углом по лучу зрения к наблюдателю. Такие объекты являются идеальными «космическими лабораториями» исследования высокоэнергетической плазмы. Важно одновременное получение данных об активности того или иного объекта в максимально широком диапазоне волн. Главным преимуществом радиотелескопа РАТАН-600 является возможность проведения долговременных и многочастотных (1-30 ГГц) наблюдений сотен космических объектов по большей (-75%) части неба. Будет проводиться массовый многочастотный мониторинг таких объектов, привлечение данных Архива наблюдательных данных РАТАН-600 с целью накопления большого наблюдательного материала, измерения кривых блеска активных космических объектов (АЯГ, квазаров и блазаров). Полученная спектральная и временная информация и данные по эволюции синхротронного излучения от струйных выбросов послужат основой для создания более глубокой теории активности объектов этого типа.

Планируется использовать совместные наблюдения в оптическом и радио диапазонах активных ядер галактик с целью обнаружения быстрой (IDV) переменности потока излучения и установления корреляции вариаций потока от источников в указанных ниже диапазонах длин волн. Предполагается провести синхронные наблюдения выборки из 10 объектов на 1-метровом рефлекторе Цейсс-1000 с штатным ПЗС-фотометром, в основном в *R* фильтре, и на 22-метровом радиотелескопе НИИ КрАО на частотах 22 и 36 ГГц. По результатам наблюдений и их обработки, будет проведен совместный анализ данных, полученных в оптическом и радиодиапазонах. Предполагается исследовать эффекты лучистого взаимодействия компонент тесных двойных систем и определения их фундаментальных параметров. С использованием методики доплеровской томографии планируется провести картирование областей формирования эмиссионных линий водорода и ионизованного гелия в новых полярах BS Tr1, USNO-B1.0 1340-00183028 и CSS130604:215427+155714 и на основе полученных карт исследовать структуру аккреции. На основе моделирования гармоник циклотронного излучения в оптических спектрах новых полярных BS Tr1 и USNO-B1.0 1340-00183028 будут оценены величины магнитных полей сильно заманиченных белых карликов, которые они содержат. Будет проведен совместный анализ фотометрических спектральных и поляриметрических результатов наблюдений новых полярных USNO-B1.0 1340-00183028 и CSS130604:215427+155714, полученных на телескопе БТА. Планируется определить

фундаментальные параметры данных систем и исследовать особенности процесса аккреции в катаклизмических переменных звездах на сильнозаманиченный белый карлик.

Будет проводиться оптическое отождествление и классификация объектов, найденных в рентгеновских обзорах, в связи с работами по созданию орбитальной обсерватории Спектр-рентген-гамма. Предполагается, что в обзоре этой обсерватории будет открыто около 3 миллионов AGN и порядка ста тысяч скоплений галактик. В ходе и сразу после завершения обзора СРГ потребуется отождествить и измерить расстояния до огромного количества открытых рентгеновских источников. Решить эту масштабную и сложную задачу, используя открытые данные обзоров неба в различных диапазонах длин волн, невозможно. Традиционные, состоящие из 4-5 оптических фильтров, цветовые системы не позволяют с нужной для анализа данных точностью определять красные смещения и тип объекта из-за схожести распределений энергии объектов в широкополосных фильтрах. Будут использованы разработанные участниками проекта методика построения распределения энергии в спектрах объектов по наблюдениям в среднеполосных фильтрах, а также оригинальная методика анализа распределения энергии в спектрах объектов, позволяющая классифицировать объекты и оценивать их красное смещение с высокой точностью. Методики будут реализованы, протестированы и подготовлены для перенесения на большие выборки объектов, обнаруженных обсерваторией СРГ.

Планируется провести измерение временной задержки излучения между радио- и гамма-диапазонами на основе кросс-корреляции четырехлетних рядов наблюдений источников на частоте 15 ГГц на системе апертурного синтеза VLBA и в диапазоне энергий 0.1-100 ГэВ на гамма-телескопе Fermi-LAT. Для объектов с известными красными смещениями это даст возможность пересчитать задержки в систему отсчёта, связанную с источником, что в свою очередь позволит оценить типичное расстояние между областью генерации гамма-излучения в АГЯ и центральной черной дырой с помощью моделирования методом Монте-Карло. С помощью анализа поперечных сечений струй, а также информации о видимых скоростях планируется провести статистические исследования видимых и истинных углов раскрытия релятивистских выбросов на парсековых масштабах, а также зависимости этих параметров от Лоренц-фактора, спектрального класса (квазары и объекты типа BL Lacertae) и гамма-яркости наблюдаемых источников. Моделирование методом Монте-Карло позволит получить распределение Доплер-фактора и угла к лучу зрения. Кроме этого, будет проведён анализ формы выбросов по измерениям поперечных размеров струй вдоль хребтовой линии, а также изучение связи между степенью коллимации и наличием ускоренного движения плазмы. Планируется доведение нового метода восстановления изображений только по амплитуде функции видности, предложенного ранее, до рабочего алгоритма, эффективно подавляющего

шумы в данных (в том числе, ошибки калибровки), его программная реализация и применение для картографирования АГЯ по VLBA данным. Метод основан на минимизации функционала энтропии и включает в себя в качестве искомым параметров также фазовую составляющую спектра изображения.

Будут проведены спектральные и пространственные исследования газопылевых конденсаций межзвездной среды на наземных радиотелескопах и сетях. Планируется проанализировать методику определения параметров межзвездного газа по результатам наблюдений тепловых линий метанола. На основании аналитической модели возбуждения метанола будут выявлены основные причины ошибок, возникающих при определении параметров газа и указаны способы избежать этих ошибок в дальнейшем. Результаты будут проверяться с помощью расчетов статистического равновесия. Предполагается провести обработку архивных данных и собственных интерферометрических наблюдений области звездообразования W75N с целью определения величины магнитного поля во время вспышки активности 2004-2007 годов и более спокойного последующего периода, сравнение с опубликованными результатами измерений в линиях метанола и воды, сравнение с данными спектрального мониторинга. Основываясь на обработке данных собственного обзора 80 метанольных мазеров I класса, будет проведен анализ кросскорреляционных спектров с целью выявления количества обнаруженных деталей излучения молекулы гидроксила OH, оценки процентного соотношения линий в переходах лямбда-удвоения основного состояния молекулы и получения косвенного заключения о возможной нетепловой природе данных линий.

Релятивистские ударные волны являются источником жёсткого излучения, наблюдаемого от гамма-всплесков и активных ядер галактик. В случае гамма-всплесков существующие модели сталкиваются с серьёзными трудностями: для описания спектров излучения конкретных событий требуется индивидуальная подгонка параметров, а часть спектральных особенностей не удаётся объяснить вовсе. Надежды на решение проблемы интерпретации спектров связаны с более сложными моделями излучающей области, допускающими изменение магнитного поля в релятивистском плазменном течении. С математической точки зрения такие модели слишком сложны, чтобы рассчитывать на получение аналитического результата, особенно с учётом того обстоятельства, что закон затухания магнитного поля за фронтом ударной волны априори неизвестен и по сути является функциональным параметром модели. Таким образом, требуется численное исследование задачи. Планируется построение численной модели, позволяющей рассчитать спектр синхротронного излучения электронов, ускоряемых за счёт передачи энергии от затухающего магнитного поля за фронтом релятивистской ударной волны. Модель предполагается применить с использованием некоторого заранее заданного закона диссипации магнитного поля

в предположении, что излучающая область остаётся геометрически тонкой по сравнению с радиусом кривизны фронта ударной волны (что справедливо для источников гамма-всплесков). Первоочередной целью исследования являются расчёты для экспоненциального и степенного законов спада магнитного поля. Полученные в расчётах спектры излучения будут сопоставлены с наблюдаемыми с целью выяснить, какой закон спада магнитного поля и какие параметры плазмы за фронтом релятивистской ударной волны обеспечивают наилучшее согласие теории с наблюдениями гамма-всплесков.

#### Направление 8: Космологические аспекты

В рамках исследования процессов в ранней Вселенной, с помощью новой концепции калибрующих гравитационный физический вакуум локально и интегрально сохраняющихся тетрадных токов (при указании единственной преимущественной системы отсчёта) будут обобщены результаты Л.Д. Фаддеева по решению проблемы энергии в теории тяготения Эйнштейна, решённой им для островной физической системы, на общий случай пространств Римана-Картана. Будет исследована гипотеза (в рамках струнной космологии) о T-дуальной связи между масштабом Великого объединения физических взаимодействий и размером бозона Хиггса. Будет исследовано, как возникает квазиклассическая волновая функция Вселенной. Задача будет решаться путем анализа квантованных решений уравнения Уилера-де Витта для Вселенной с положительной кривизной, несколькими безмассовыми скалярными полями и Лямбда-членом. В качестве начального условия будет использовано естественно возникающее вакуумное состояние. Будут описаны свойства квазиклассической волновой функции. В рамках анализа перспектив получения наблюдательных ограничений на модели темной энергии (ТЭ) планируется исследовать эффективность наблюдений при  $z > 2$  для определения параметров ТЭ в модели Ратра-Пиблса. Также планируется исследование ряда моделей скалярного поля (квинтэссенции) как модели скрытой энергии и ее предсказаний для наблюдений.

Будут проведены исследования спектров квазаров с большими красными смещениями, которые позволят определять физические условия и химический состав вещества, существовавшего в ранние эпохи эволюции Вселенной и, тем самым, уточнить космологические параметры.

Будет проведен анализ обнаруженного участниками проекта возможного отклонения процесса перехода Вселенной на стадию доминирования темной материи от того, который предсказывается стандартной космологической моделью с космологической постоянной, при красных смещениях порядка 2 на основе новых наблюдательных данных. Планируется

построение новых космологических моделей, единым образом описывающих первичную и современную темную энергию на основе  $f(R)$  гравитации и скалярного поля с неминимальной кинетической связью с гравитацией, и сравнение их с наблюдательными данными. Будет проведен расчет процесса распада первичной темной энергии и генерации обычной материи в этих моделях. Планируется провести также расчет скорости распада современной темной энергии в модели квинтэссенции, созданной вакуумными флуктуациями на инфляционной стадии в ранней Вселенной.

**3. НОМЕРА И НАИМЕНОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫХ АКАДЕМИЙ НАУК НА 2013-2020 ГОДЫ, К КОТОРЫМ  
ОТНОСЯТСЯ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОДПРОГРАММЕ.**

Направление 16 "Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач" программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы.

#### 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ.

В результате выполнения работ по Подпрограмме «Взрывные и переходные процессы в астрофизике» предполагается получить важные оригинальные результаты, вносящие вклад в развитие астрофизики в целом, и в особенности в понимание критических этапов эволюции астрофизических объектов во Вселенной, характеризующихся протеканием существенно нестационарных, переходных и взрывных процессов.

Практическая значимость планируемых результатов и возможные области их применения достаточно разнообразны и относятся как к развитию фундаментальной и наблюдательной астрофизики, так и к поддержке и развитию космических исследований, к исследованиям в области физики вещества, ядерной физики, к астробиологии и исследованию развития и безопасности жизни на Земле, к развитию вычислительных методов для моделирования физических явлений.

Результаты, полученные в ходе выполнения Подпрограммы, могут быть использованы для интерпретации наблюдений и построения эволюционных моделей взаимодействующих двойных звезд, понимания строения и эволюции звезд и двойных звездных систем, механизмов звездной переменности и генерации звездных магнитных полей, структуры межзвездного вещества в направлении на переменные звезды и пульсары, рассеяния радиоволн на неоднородностях межзвездной плазмы, информации об основных механизмах энерговыделения во Вселенной, в частности, "центральной машины" (области, где происходит выделение основной части энергии) активных галактических ядер, обеспечивающей в течение длительного времени самую большую во Вселенной мощность электромагнитного излучения, а также о механизме излучения и параметрах плазмы в излучающей области гамма-всплесков. Будут получены важные результаты в области исследования активных галактических ядер (Active Galactic Nuclei, AGN): определение физических свойств газопылевых торов вблизи AGN, исследование эволюции AGN позволят проверить и уточнить «теорию великого объединения» AGN и историю роста сверхмассивных черных дыр во Вселенной. физических процессов, ответственных за формирование их жесткого излучения, а также позволяют оценить параметры аккрецирующих релятивистских объектов в двойных и условия, существующие в их окружении. Полученные результаты позволят более точно определить основные космологические параметры, задававшие развитие самого «большого взрыва» в истории Вселенной. Значения космологических параметров будут востребованы при оценке параметров проектируемых приборов и интерпретации данных наблюдений многих космологических

экспериментов, создаваемых или уже работающих по всему миру. Ожидаются важные результаты в области нерешенных проблем, связанных с начальными условиями для возникновения и эволюции Вселенной, с проблемой времени и проблемой оценки вероятности инфляционной стадии эволюции Вселенной в квантовой космологии и канонической квантовой гравитации. Будут получены выводы о наличии и природе темной материи в нашей Галактике. Поиск возможных ограничений на модели и свойства темной энергии позволит прояснить ее физическую природу. Выводы о свойствах первичной и современной темной энергии и возможных каналах их распада будут иметь фундаментальное значение как для космологии, так и для физики элементарных частиц сверхвысоких (в случае первичной темной энергии) и сверхнизких (в случае современной темной энергии) энергий. Кроме того, если удастся обнаружить наблюдательные следы распада современной темной энергии на видимую материю, то это будет указанием на существование нового источника обычных видов энергии, что будет важно для перспектив энергетики будущего.

Будут получены результаты, имеющие потенциальную практическую значимость в области космических исследований, в особенности для ориентации космических аппаратов по звездам, создания систем автоматического распознавания участков звездного неба, для эффективной обработки и интерпретации наблюдений действующих и будущих космических обсерваторий, для создания новой космической аппаратуры, в частности, отработке сцинтилляционных гамма-спектрометров космического назначения.

Результаты, полученные в ходе выполнения Подпрограммы, включают определение параметров физических процессов, протекающих в межзвездном пространстве около взаимодействующих двойных звезд, при взрывах сверхновых, что даст возможность исследовать поведение вещества в экстремальных условиях, недостижимых на Земле. Исследования термоядерных взрывов на поверхности нейтронных звезд и взрывов сверхновых важны для выбора правильной модели взрыва и определения его физического механизма, для точной оценки энергетики взрыва, роли энерговыделения при распаде синтезированных радиоактивных элементов, для эффективности нуклеосинтеза, наконец, для решения проблемы происхождения физических элементов во Вселенной и их распределения. Исследования позволят сделать новые выводы о фундаментальных свойствах сверхплотного вещества в ядрах нейтронных звезд (уравнение состояния, сверхтекучесть под действием ядерных сил, эффекты взаимодействий между частицами в экстремальных условиях). Такая информация дополняет ту информацию, которую можно получить в лаборатории на лучших ускорителях, причем астрофизические исследования сверхплотного вещества могут быть значительно менее затратными. В ходе исследования гигантских импульсов пульсаров будут протестированы теории, описывающих высокоэнергетические процессы в замагниченной плазме.

Будут глубоко исследованы вопросы, связанные с проблемой возникновения жизни на Земле и поисками внеземного разума, а именно эволюция органических соединений в межзвёздной среде, процессы, сопровождающие образование и эволюцию экзопланет, планетных систем и звёзд различных масс, в том числе в присутствии магнитного поля. Будут разработаны наблюдательные методы идентификации процессов планетообразования в дисках объектов звездообразования.

Планируется получить результаты, непосредственно связанные с обеспечением безопасности от угроз из космоса, такие как разработка систем мониторинга ультрафиолетовых свечений земной атмосферы под воздействием экстремальных солнечных событий и оценки их влияния на естественную и техногенную среду, а также выяснить степень влияния солнечной активности на климат Земли и уточнить механизмы (а также методы прогнозирования) вспышечной активности на Солнце, а также вопросы динамики Солнечной системы.

В ходе выполнения Подпрограммы будут разработаны вычислительные коды и методики моделирования, а также методики наблюдения и аппаратура, которые могут быть использованы при решении других задач. Будут существенно улучшены наблюдательные характеристики ряда телескопов, разработаны и введены в строй новые приемники излучения. Полученные в ходе выполнения Подпрограммы результаты позволят более эффективно планировать в будущем наблюдательные программы, лучше оценивать дорогостоящее наблюдательное время телескопов для различных типов объектов.

Координатор Подпрограммы

чл.-корр. РАН Б.М.Шустов

Ученый секретарь Научного  
совета по Подпрограмме

чл.-корр. РАН Д.В.Бисикало