

Федеральное агентство по науке и инновациям
Федеральное государственное научное учреждение
«Научно-исследовательский радиофизический институт»

Препринт № 533

**ОЧЕРК ИССЛЕДОВАНИЙ В НИРФИ
СПЕКТРОВ И ПОЛЯРИЗАЦИИ
НЕТЕПЛОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛАКТИКИ
И ДИСКРЕТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ**

В. А. Разин

Нижний Новгород 2010

Разин В. А.

Очерк исследований в НИРФИ спектров и поляризации нетеплового радиоизлучения Галактики и дискретных космических источников // Препринт № 533. — Нижний Новгород: ФГНУ НИРФИ, 2010. 39 с.

Созданный в 1956 г. При Горьковском государственном университете (ГГУ) Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ) стал преемником и продолжателем радиоастрономических работ, начавшихся в 1946 г. в ГГУ и в его Исследовательском физико-техническом институте (ГИФТИ).

Традиционными для НИРФИ стали исследования радиоизлучения Солнца, Луны, планет, дискретных источников, Галактики в широком диапазоне длин радиоволн от миллиметров до декаметров.

Поляриметрические исследования были начаты в 1954 г. с целью выяснения механизма возникновения нетеплового галактического радиоизлучения. В 1955–1956 гг. была обнаружена частичная линейная поляризация галактического радиоизлучения на волнах 1,45 и 3,3 м, что стало решающим доказательством синхротронной природы нетеплового радиоизлучения галактической межзвёздной среды. В дальнейшем поляриметрические наблюдения использовались как метод изучения структуры галактического магнитного поля и распределения в межзвёздном пространстве ионизированного газа.

Установленная теоретически зависимость спектрального индекса синхротронного галактического радиоизлучения от показателя энергетического спектра космических электронов (Г. Г. Гетманцев, 1952 г.) послужила стимулом для проведения обширных исследований частотного спектра радиоизлучения Галактики в различных её областях. Были выявлены частотные и пространственные вариации спектрального индекса. Эти исследования показали наличие глубокой связи радиоастрономии с физикой космических лучей.

Многочисленные работы НИРФИ были посвящены исследованиям спектров радиоизлучения остатков сверхновых звёзд Кассиопея А и Телец А (Крабовидная туманность). Тщательно исследовано вековое уменьшение плотности потоков этих источников, причём в случае Крабовидной туманности — впервые.

В заключительной части очерка кратко рассказано о неосуществлённых планах НИРФИ по созданию крупных радиотелескопов.

Отмечены сотрудничество радиоастрономов НИРФИ с коллегами из других научных учреждений, а также их педагогическая деятельность.

1. Введение

Радиоастрономические работы в г. Горьком были начаты вскоре после окончания Великой Отечественной войны, в 1946 г. за 10 лет до создания НИРФИ [1]. Инициаторами и руководителями этих работ были профессора Горьковского государственного университета (ГГУ) М. Т. Грехова и Г. С. Горелик. М. Т. Грехова привлекла к радиоастрономическим работам Кафедру электродинамики сверхвысоких частот ГГУ и связанный с этой кафедрой Научный отдел Физико-технический института университета (ГИФТИ). Г. С. Горелик привлёк руководимые им Кафедру физики и Научный отдел в ГИФТИ.

Успешному развитию радиоастрономических исследований способствовало создание в ГГУ в 1945 г. по инициативе А. А. Андропова, М. Т. Греховой и Г. С. Горелика первого в СССР Радиофизического факультета, деканом которого долгое время была М. Т. Грехова. Студенты нового факультета стали активно участвовать в радиоастрономических исследованиях. Радиоастрономами становились радиофизики, не имевшие специального астрономического образования, но глубоко освоившие радиотехнику и методы радиофизических исследований. Последнее обстоятельство позволило довольно быстро разработать и создать ряд совершенных по тем временам радиоастрономических приёмников (радиометров) и радиотелескопов, без которых было бы невозможно проведение экспериментальных радиоастрономических работ.

В середине 1946 г. по предложению Г. С. Горелика И. Л. Берштейн начал разработку радиометра по схеме Дикке [2] на волну 10 см. Через два года радиометр с флуктуационной чувствительностью около 3 К был создан, и впервые в Советском Союзе было принято радиоизлучение Солнца на волне 10 см.

В 1947–1948 годах по предложению Г. С. Горелика В. С. Троцкий создал модуляционный радиометр на волну 4 м и зарегистрировал радиоизлучение Солнца на этой волне.

С середины 1948 г. стали проводиться работы по созданию радиотелескопа на волну 1,5 м, пригодного для работы в полевых условиях. Антенна этого радиотелескопа представляла собой два полотна синфазных вибраторов, смонтированных на опорно-поворотном устройстве от радиолокационной станции. Уже весной 1949 г. с этим радиотелескопом в г. Горьком были проведены пробные наблюдения радиоизлучения Солнца. Немного позже радиотелескоп был установлен вблизи населённого пункта Зимёнки на высоком берегу Волги в 30 км от г. Горького вниз по её течению. С августа 1949 г. там начались регулярные наблюдения Солнца на волне 1,5 м. Во время восходов и заходов Солнца измерялась рефракция радиоволн в атмосфере Земли.

В 1949 г. в Зимёнках была создана загородная радиоастрономическая лаборатория ГИФТИ, сыгравшая большую роль в становлении и развитии радиоастрономии в г. Горьком. В лаборатории «Зимёнки» работали В. С. Троицкий, В. А. Зверев, С. А. Жевакин, М. М. Кобрин, Г. Г. Гетманцев, В. М. Плечков, Л. В. Гришкевич, А. М. Стародубцев, В. А. Разин, Н. М. Цейтлин, М. Р. Зелинская, В. С. Лазаревский, Е. А. Бенедиктов, А. Г. Кисляков и др.

Инструментальная база лаборатории «Зимёнки» постоянно наращивалась. Создавались новые радиометры сантиметрового и дециметрового диапазонов. В 1952 г. были смонтированы радиотелескопы на волны 3,2 и 9,7 см с параболическими рефлекторами диаметром 4 м, позволившие выполнить исследования радиоизлучения Солнца, Луны, дискретных космических источников, атмосферы Земли, рефракции и поглощения радиоволн в земной атмосфере.

Радиотелескоп на волну 1,5 м после ряда модернизаций использовался до 1956 г. в исследованиях радиоизлучения Солнца, дискретных источников и радиоизлучения Галактики.

Созданный в 1956 г. Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ) стал преемником и продолжателем радиоастрономических работ в ГГУ и ГИФТИ.

С образованием НИРФИ возможности радиоастрономических исследований в г. Горьком существенно расширились. Увеличился приток специалистов; значительное развитие получила материальная база для радиоастрономических исследований. Была расширена и оснащена новыми радиотелескопами лаборатория «Зимёнки». В 1964 г. были основаны радиоастрономические обсерватории НИРФИ в Крыму («Кара-Даг») и в Горьковской области («Старая Пустынь»). В 1965 г. была создана радиоастрономическая база в районе Васильсурска (Горьковская область), преобразованная затем в лабораторию «Васильсурск». Там проводятся радиоастрономические исследования в декаметровом диапазоне волн и эксперименты по модификации ионосферы мощным коротковолновым радиоизлучением (стенд «Сура»).

Радиоастрономические исследования Солнца, Луны, планет, дискретных источников, Галактики являются традиционными для НИРФИ и составляют одно из основных научных направлений института. Диапазон длин радиоволн, освоенных в радиоастрономических исследованиях НИРФИ, простирается от миллиметров до декаметров. В НИРФИ преобладают поисковые работы, направленные на обнаружение и изучение новых явлений и эффектов. Вместе с тем, серьёзное внимание уделяется и прикладным задачам.

Радиоастрономические исследования в НИРФИ всегда развивались в тесном взаимодействии с другими научными направлениями института: физикой ионосферы и тропосферы, распространением радиоволн и антенной техникой.

Работы НИРФИ в области радиоастрономии получили широкое международное признание.

В этом очерке будут рассмотрены основные достижения института в исследованиях спектров и поляризации нетеплового радиоизлучения Галактики и дискретных космических источников.

2. Поляриметрические исследования радиоизлучения Галактики

Радиоизлучение Галактики было открыто К. Янским в 1931–1932 годах на волне 14,6 м (Karl G. Jansky, «Electrical disturbances apparently of the extraterrestrial origin» Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 1933, 21, 1387–1398). Природа этого явления около 20 лет оставалась невыясненной. Сначала полагали, что галактическое радиоизлучение представляет собой тепловое излучение ионизированного межзвёздного газа. Однако, от этой гипотезы пришлось отказаться, так как ионизированный межзвёздный газ генерирует радиоизлучение, яркостная температура которого $T_{\text{я}} < 10000$ К, в то время как на волне $\lambda = 14,6$ м $T_{\text{я}} \sim 100000$ К. Кроме того, было установлено, что спектр галактического радиоизлучения в метровом диапазоне волн нетепловой: $T_{\text{я}} \sim \lambda^{\beta}$ со спектральным индексом $\beta \approx 2,5$ [6].

В начале пятидесятих годов прошлого века радиоастрономы и астрофизики вели острые дискуссии о природе нетеплового галактического радиоизлучения. Многие авторитетные учёные полагали, что общее нетепловое радиоизлучение Галактики со степенным частотным спектром $\nu^{-\alpha}$ (ν — частота, α — спектральный индекс) представляет собой суммарное излучение «радиозвёзд», число которых в Галактике $\sim 10^{12}$. Сторонники другой гипотезы [3–6] активно развивали представления, согласно которым нетепловое галактическое радиоизлучение генерируется релятивистскими электронами, движущимися по спиральным траекториям в межзвёздных магнитных полях (позже это радиоизлучение стали называть синхротронным).

Для выяснения природы нетеплового галактического радиоизлучения нужны были новые эксперименты, прежде всего измерения линейной поляризации галактического радиоизлучения, так как суммарное излучение «радиозвёзд» должно быть неполяризованным, а синхротронное радиоизлучение Галактики, вообще говоря, могло содержать линейно поляризованную компоненту [7].

Первые измерения линейной поляризации галактического радиоизлучения были проведены автором в Зимёнках в июне 1954 г. с помощью упоминавшегося уже радиотелескопа на волну $\sim 1,5$ м (точнее, измерения были выполнены на волне 1,45 м, частота 207 МГц). Антенна радиотелескопа представляла собой подвижную по азимуту и углу места синфазную решётку из 36 полуволновых вибраторов, расположенных на расстоянии $\lambda/4$ над металлическим экраном. При поляризационных измерениях антенна направлялась в зенит и поворачивалась по азимуту. Первые измерения не дали определённого результата, но они сыграли существенную роль в подготовке и проведении дальнейших поляризметрических исследований галактического радиоизлучения.

В следующем, 1955 г. поляризационные измерения на частоте 207 МГц были повторены с улучшенной аппаратурой, допускавшей кроме режима модуляции интенсивности сигнала ещё и модуляцию ширины полосы пропускания приёмника (впервые учитывались эффект Фарадея и дисперсия фарадеевского вращения плоскости поляризации радиоволн при их распространении в межзвёздной среде и в ионосфере). Полученные в 1955 г. данные свидетельствовали о частичной линейной поляризации галактического радиоизлучения [8].

В 1956 г. этот результат был проверен и полностью подтвердился [9]. В этом же году были выполнены поляризационные измерения на частоте 90 МГц методом частотной модуляции, давшие положительный результат [9].

Так в Зимёнках впервые в мире были выполнены тщательные поляризационные измерения, приведшие к обнаружению частичной линейной поляризации галактического радиоизлучения. Впоследствии (в сентябре 1965 г.) за этот цикл работ автору был выдан диплом на открытие (№ 26 с приоритетом от июня 1956 г. по дате публикации [8]; формула открытия «Обнаружена частичная линейная поляризация распределённого нетеплового космического радиоизлучения, обусловленного движущимися в межзвёздных магнитных полях релятивистскими электронами» [10]).

С обнаружением линейной поляризации галактического радиоизлучения гипотеза о его синхротронной природе получила решающее экспериментальное подтверждение. Но этим не исчерпывается значение поляриметрических исследований галактического радиоизлучения. Уже первые работы [8, 9] показали, что поляризационные измерения могут стать эффективным методом исследования межзвёздной среды и галактического магнитного поля.

Регулярные многоволновые поляриметрические исследования галактического радиоизлучения проводятся в НИРФИ с 1965 г. в Радиоастрономической обсерватории института «Старая Пустынь» (в 100 км южнее г. Нижнего Новгорода, географические координаты: $\varphi = 55^\circ 39' 18''$, $\lambda = 2^h 54,5^m$). Детально исследуются угловые распределения и частотные спектры яркостной температуры и позиционного угла линейно поляризованной компоненты в избранных областях неба: области сильной поляризации вблизи направления с галактическими координатами $l = 140^\circ$, $b = +8^\circ$, области Северного полюса Мира, Северного полюса Галактики, Северного галактического выступа, области минимальной яркости галактического радиоизлучения в направлении $l = 190^\circ$, $b = 50^\circ$. Используются радиотелескопы с параболическими рефлекторами диаметром 10 и 14 метров, сконструированные в Конструкторском отделе НИРФИ (Н. В. Бахарев, И. В. Мосалов, В. И. Морозов) и изготовленные в Экспериментально-производственной мастерской НИРФИ при поддержке главных инженеров В. П. Горбачёва и Ю. А. Абрамова. Частотный диапазон поляриметрических исследований Галактики, выполненных в НИРФИ, очень широк (84–1600 МГц). Автор и его сотрудники (В. В. Хрулёв, А. А. Мельников, В. Т. Фёдоров, Е. Н. Винякин, А. М. Пасека, Л. В. Попова (Пупышева), А. И. Теплых, И. П. Кузнецова (Хижнякова), Б. С. Формозов, А. Ю. Строков и др.) получили уникальные данные о петлевой структуре галактического магнитного поля [36], распределении ионизированного межзвёздного газа [34], локализации источников линейно поляризованного радиоизлучения, энергетическом спектре и про-

странственном распределении космических электронов [15, 35]. Обнаружены степенные и осцилляторные спектры линейно поляризованной составляющей галактического радиоизлучения [24, 26–31]. В НИРФИ разработаны основы теории поляризации синхротронного радиоизлучения Галактики [7–9] и различные методы поляризационных измерений [8, 9, 20, 21, 32, 33], созданы несколько поколений радиополяриметров [11–18]. Разработанным и реализованным в НИРФИ поляризационно-фарадеевским методом получен обширный материал о временных вариациях полного электронного содержания ионосферы, их связь с активностью Солнца и её геомагнитными проявлениями [37, 38].

Проекты НИРФИ, связанные с исследованиями галактического магнитного поля и межзвёздной среды методом многоволновой радиополяриметрии, неоднократно поддерживались Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) и ФЦНТП «Астрономия».

3. Исследования спектра галактического радиоизлучения

Одним из основополагающих результатов синхротронной теории нетеплового радиоизлучения Галактики является установление связи параметров, характеризующих энергетический спектр космических электронов, с видом спектра генерируемого ими синхротронного излучения. Особенно замечательный результат получается, если энергетический спектр космических электронов степенной $N(E) dE \sim E^{-\gamma} dE$ (что часто является хорошим приближением). В этом случае спектр синхротронного излучения также оказывается степенным $I_\nu \sim \nu^{-\alpha}$, причём $\alpha = (\gamma - 1)/2$ (Г. Г. Гетманцев [5])¹. Этот факт обуславливает нали-

¹ Это соотношение было получено также в работе: А. А. Корчак, Я. П. Терлецкий, «Электромагнитное излучение космических протонов и радиоизлучение Галактики». Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1952, 22, 507–509.

чие связи астрофизики космических лучей и радиоастрономии. По данным о частотных и пространственных вариациях α в Галактике и дискретных источниках можно решить целый ряд вопросов астрофизики космических лучей. В частности, исследовать процессы ускорения заряженных частиц, характер их движения и пространственного распределения в различных астрономических объектах. Этому радиоастрономическому направлению посвящены многочисленные работы сотрудников НИРФИ [39–56].

Исходными экспериментальными данными для изучения не теплового (синхротронного) галактического радиоизлучения являются карты распределения по небу яркостных температур космического радиоизлучения на разных волнах («радиоизофоты»). Однако, непосредственно по радиоизофотам исследовать все особенности спектра и углового распределения галактического синхротронного радиоизлучения невозможно. Дело в том, что в общем космическом радиоизлучении имеется метagalacticкая составляющая, а в галактическом радиоизлучении на дециметровых и сантиметровых волнах — существенна компонента, обусловленная тепловым излучением межзвёздного ионизированного газа (тепловая составляющая). Необходимо разделение компонент космического радиоизлучения. Кроме того, интерпретация радиоизофот сопряжена с принципиальной трудностью, обусловленной тем, что при исследованиях космического радиоизлучения с непрерывным спектром измерить расстояние до источников нельзя и поэтому по двумерной картине углового распределения яркостной температуры космического радиоизлучения невозможно однозначно определить пространственное распределение его источников. Тем не менее, исследования распределений по небу яркостных температур космического радиоизлучения на разных волнах дают ценную информацию о структуре галактической системы.

На изофотах космического радиоизлучения метрового диапазона длин волн выделяется ряд особенностей, отражающих структуру галактической системы. Прежде всего обращает на

себя внимание общая симметрия изофот относительно плоскости и центра Галактики. Яркость неба сильно возрастает вблизи галактической плоскости и особенно в области центра Галактики. В этом отношении распределение яркости по небу имеет сходство с распределением звезд. Но в отличие от звезд степень концентрации радиояркости к галактической плоскости и к центру Галактики не так велика. Другое существенное отличие распределения радиояркости от распределения звезд состоит в том, что радиоизофоты во многих местах обнаруживают большие отклонения от общей симметричной картины. Эти отклонения обычно называют «Выступами» («Шпурами») или «Петлями», так как они имеют форму дуг малых кругов. Наиболее контрастны Петля I, в которой выделяется Северный Галактический выступ (СГВ), Петля II (Дуга Кита) и Петля III. Самая заметная деталь — СГВ. Он начинается вблизи галактической плоскости в области с галактической долготой $l \sim 30^\circ$ и простирается почти до Северного полюса Галактики. Петлевые объекты на радиоизофотах не отождествляются ни с какими видимыми деталями структуры галактической системы.

Сотрудники НИРФИ внесли существенный вклад в исследования спектра синхротронного радиоизлучения галактической межзвёздной среды и интерпретацию полученных данных.

В работах [39, 40] была рассмотрена проблема разделения космического радиоизлучения на галактическую и метагалактическую составляющие. Позже [51, 35] по оригинальной методике было проведено разделение теплового и синхротронного радиоизлучения диска Галактики в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн.

В статье [43] обобщена теория синхротронного излучения космических электронов на случай, когда их спектр в широком интервале энергий не является степенным. Кроме того, учтено, что электроны излучают не в вакууме, а в плазме, показатель преломления которой $n < 1$. При рассмотрении вопросов о спектре и вариациях спектра нетеплового галактического радиоизлуче-

ния проанализированы два случая: 1) Галактика в отношении движения космических электронов представляет собой единую систему; 2) обмен космическими электронами между галактическими рукавами и окружающим пространством затруднён в силу квазизимкнутости магнитного поля в галактических рукавах. В первой модели синхротронная излучательная способность галактической межзвёздной среды будет всюду почти одна и та же. Вторая модель характеризуется значительными вариациями спектров радиоизлучения структурных деталей Галактики.

Методы измерения пространственных вариаций спектра космического радиоизлучения рассмотрены в работе [44].

В результате измерений и анализа данных было установлено, что спектральный индекс нетеплового космического радиоизлучения увеличивается с частотой и претерпевает значительные угловые вариации [45–56].

На основании выполненных в НИРФИ исследований спектра и углового распределения линейно поляризованного галактического радиоизлучения в диапазоне 100–1000 МГц и данных о распределении яркостной температуры неба на частотах 85, 150 и 820 МГц установлено, что магнитное поле Галактики, до расстояний 3–10 кпк от Солнца в секторе с галактическими долготами $70^\circ \leq l \leq 180^\circ$ при $b > 0^\circ$ вытянуто вдоль галактической плоскости и имеет петлевою структуру. Регулярная составляющая поля направлена к $l \approx 55^\circ$. Дисперсия направлений межзвёздного магнитного поля по галактической широте $D_b \ll 1$, а по долготе $D_l \approx 0,5$ [51].

С учётом анизотропии синхротронного излучения межзвёздной среды в магнитном поле указанной структуры удаётся объяснить распределение яркостной температуры неба в рамках простой модели излучающего диска в виде эллипсоида вращения с полуосями 14 и 0,8–1 кпк.

В направлении на Северный полюс Галактики вклад радиогало на частоте 85 МГц составляет не более 15% от полной температуры неба и уменьшается с ростом частоты [51, 50].

Выполненный в [51] анализ радиоизотопов в центральной области Галактики в зависимости от галактической широты при $l = 0^\circ$ свидетельствует о существовании в ядре Галактики непрерывно действующего источника космических электронов. Существует, по-видимому, радиогало вокруг ядра Галактики.

Проведены одновременные исследования угловых распределений линейно поляризованного и неполяризованного галактического радиоизлучения на частоте 334 МГц в области яркого пятна линейно поляризованного радиоизлучения с центром в направлении $\alpha = 4^h 30^m$, $\delta = 60^\circ$ (ПО147 + 8) [57, 58]. Обнаружена антикорреляция температуры указанных компонент и пропорциональность температуры полного радиоизлучения эффективному размеру диска Галактики.

Большой астрофизический интерес представляют радиоастрономические работы, выполненные с использованием антенны стенда «Сура», 144-элементной фазированной решётки диапазона 4,5–9,3 МГц с размерами 300 × 300 м. Впервые в длинноволновой части декаметрового диапазона волн на частотах 5,6 и 8,9 МГц построены радиоизотопы северной небесной полусферы, исследованы частотные и угловые вариации спектра низкочастотного распределённого радиоизлучения Галактики, получены новые данные о локальной межзвёздной среде (не опубликовано, частное сообщение Ю. В. Токарева).

Итак, в НИРФИ выполнен большой цикл исследований спектра синхротронного радиоизлучения межзвёздной среды в очень широком диапазоне частот. Данные наблюдений позволили существенно продвинуться в изучении радиоструктуры Галактики, межзвёздного магнитного поля, источников космических лучей, характера их движения и пространственного распределения.

4. Исследования нетепловых космических дискретных радиоисточников

Осенью 1952 г. автором в лаборатории «Зимёнки» впервые в мире были проведены измерения плотностей потоков радиоиз-

лучения дискретных источников Кассиопея А и Телец А (Крабовидная туманность) на волнах 3,2 и 9,7 см, а также наблюдения источника Лебедь А на волне 3,2 см [59].

Эти исследования проводились с 4-метровыми параболическими рефлекторами, установленными на лафетах от зенитных пушек, и очень совершенными по тем временам радиометрами, разработанными под руководством В. С. Троицкого [60].

Наблюдения дискретных источников на сантиметровых волнах представляли исключительный интерес, так как давали информацию о радиоизлучении источников в совершенно не исследованном участке спектра. В 1952 г. имелись лишь данные о радиоизлучении дискретных источников на метровых волнах [6]. Спектральные индексы даже самых мощных источников были известны с большими погрешностями. Например, спектральный индекс Тельца А считался равным нулю [6], что воспринималось как свидетельство тепловой природы его радиоизлучения. Полученные в Зимёнках в 1952 г. результаты позволили заметно продвинуться в изучении радиоспектров дискретных источников. Измерения на сантиметровых волнах позволили установить, что радиоизлучение Крабовидной туманности имеет нетепловую природу. Для Кассиопеи А и Тельца А были получены спектральные индексы, близкие к их современным значениям.

К сожалению, не обошлось без досадного недоразумения. Данные о радиоизлучении Кассиопеи А на волне 9,7 см (частота ≈ 3000 МГц в литературе стали относить к волне ≈ 100 см (частота 300 МГц) и помечать буквой «R». Эта точка «R», разумеется, совершенно не гармонировала с данными других авторов (см., например, два издания книги И. С. Шкловского «Сверхновые звёзды»). На эту ошибку было указано в заметке [61], но на неё мало кто обратил внимание. Отмеченное недоразумение можно, однако, использовать для оценки качества данных 1952 г. Действительно, если точку отнести к той частоте, на которой были проведены измерения в Зимёнках, то не трудно убедиться, что она точно ложится на спектр Кассиопеи А.

Первые наблюдения дискретных источников, выполненные в Зимёнках, положили начало многолетним плодотворным исследованиям в НИРФИ радиоспектров и эволюции радиоспектров дискретных космических источников в широком диапазоне частот.

В НИРФИ большое значение придавалось разработке методов абсолютных измерений плотностей потоков радиоизлучения дискретных источников. В начале 60-х годов прошлого столетия был предложен и реализован перспективный метод калибровки радиотелескопов по излучению чернотельных дисков, расположенных во фраунгоферовой зоне антенны [63–65]. Несколько позже метод был модифицирован с тем, чтобы калибровочные диски можно было размещать во френелевой зоне антенны [66–69]. Метод калибровки радиотелескопов по чернотельным дискам позволил получить высокоточные (погрешность $< 3\%$) спектры ряда мощных дискретных источников, включая остатки сверхновых (ОСН) Кассиопея А, Крабовидная туманность, радиогалактики Лебедь А, Дева А и др. [66–70].

В 1960 г. И. С. Шкловский [71], основываясь на представлениях о синхротронной природе радиоизлучения дискретных источников (H. Alfvén and N. Herlofson «Cosmic Radiation and Radio Stars». *Physical Review*, 1950, 78, 616–617), предсказал вековое уменьшение плотности потока радиоизлучения от Кассиопеи А $\sim 2\%$ в год. Факт уменьшения плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А (хотя и более медленного) был подтверждён в работе [72] по данным измерений на частоте 81,5 МГц.

Статья И. С. Шкловского [71] оказала сильное стимулирующее влияние на исследования вариаций спектров дискретных источников. Это было связано с тем, что измерения векового уменьшения плотностей потоков радиоизлучения остатков сверхновых представляют интерес как с точки зрения изучения физических процессов, происходящих в этих объектах, так и в связи с тем, что некоторые из них (в первую очередь наиболее интенсив-

ные Кассиопея А и Телец А) часто используются в качестве эталонных источников при различных радиоастрономических измерениях.

В НИРФИ переменность радиоизлучения дискретных источников исследовалась путём абсолютных [66–70, 81] и относительных [73–80, 88–90] измерений. Успешно проводились исследования дискретных источников в миллиметровом диапазоне волн (см. обзор А. Г. Кислякова [87]) и на декаметровых волнах [84].

В течение нескольких десятилетий в НИРФИ проводятся измерения плотностей потоков радиоизлучения остатков сверхновых Кассиопея А, Крабовидная туманность, 3С10 (ОСН Тихо Браге), ОСН Кеплера, 3С58 и радиогалактик Лебедь А, Дева А, Центавр А на сантиметровых, дециметровых и метровых волнах. Получены новые данные о вековом уменьшении радиоизлучения Кассиопеи А, впервые обнаружено вековое уменьшение радиоизлучения Крабовидной туманности [73, 75].

Большое научное и прикладное значение имеет разработанная в НИРФИ абсолютная шкала плотностей потоков радиоизлучения. Шкала определена в диапазоне частот от 26 МГц до 31 ГГц с погрешностью 3–4% (см. обзор В. П. Иванова и К. С. Станкевича [85]). В последнее десятилетие шкала уточнялась и корректировалась на современную эпоху [85а].

Методом лунных покрытий в 1964 и 1974 гг. изучалась структура Крабовидной туманности [82, 83]. Были обнаружены изменения в распределении радиояркости в туманности на частоте 750 МГц с разрешением 20 секунд дуги, а также смещение центра тяжести радиоизлучения. Установлена связь этих процессов с активностью пульсара в центральной области Крабовидной туманности [86а].

Развивались методы реконструкции двумерных распределений яркости в источниках по одномерным проекциям. В результате был разработан оригинальный радиоастрономический подход к решению томографических задач при ограниченном чис-

ле проекций. Этот метод признан перспективным направлением в астротомографии — новой области исследований в астрономии [91].

По инициативе В. С. Троицкого с 1965 г. в НИРФИ проводятся многоплановые работы методами радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). Большой вклад в развитие этого направления внесли В. А. Алексеев, Э. Н. Гателюк, Б. Н. Липатов, Н. А. Князев, А. С. Сизов.

В 1969 г. были начаты впервые в СССР астрофизические исследования методом РСДБ. Использовались крупные радиотелескопы страны и аппаратурные радиоинтерферометрические комплексы на частоты 6, 9, 25, 86, 327, 408, 5300, 22235 МГц, созданные в НИРФИ. Впервые был измерен угловой размер ОСН Кассиопея А и ряда других источников в декаметровом диапазоне волн [92, 93]. В измерениях угловых размеров космических мазеров H_2O на волне 1,35 см с базой 1100 км было достигнуто угловое разрешение $0,5 \cdot 10^{-3}$ секунды дуги [95].

В НИРФИ разработаны методические и технические основы нового научного направления — прецизионной радиоастрометрии с применением РСДБ [94, 96].

В последние годы в НИРФИ продолжались интенсивные исследования радиоизлучения и физических процессов, происходящих в молодых остатках сверхновых звёзд: Кассиопея А и Крабовидная туманность.

С 2001 г. по 2004 г. НИРФИ был головным институтом по Проекту Международного научно-технического центра (МНТЦ) «Исследование динамики взрыва сверхновых, эволюции спектра электромагнитного излучения и разлёта их оболочек» (руководитель Проекта В. А. Разин). Институтом-участником был Российский Федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ), г. Саров. Работа финансировалась Соединёнными Штатами Америки.

Цели проекта состояли в

- проведении экспериментальных и теоретических исследований эволюции интегральных спектров радиоизлучения ОСН Кассиопея А и Крабовидная туманность;
- численном моделировании взрывов сверхновых (СН) и разлёта их оболочек с учётом взаимодействия последних с неоднородной межзвёздной средой и межзвёздным магнитным полем;
- исследовании механизмов ускорения заряженных частиц в СН и ОСН;
- исследовании возможностей лабораторного моделирования динамики разлёта ОСН с использованием лазерной техники.

Научные результаты, полученные в ходе выполнения Проекта, изложены в отчёте [97]. Вклад сотрудников НИРФИ представлен достаточно полно в этом отчёте, а также в публикациях [98–105]. Отметим здесь, что в результате работы, выполненной по Проекту в Радиоастрономической обсерватории НИРФИ «Старая Пустынь», выявлено замедление уменьшения плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А со временем и подтверждена частотная зависимость этого процесса. Темп годового уменьшения d плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А на частоте ν по измерениям с 1977 г. по 2004 г. в диапазоне длин волн 0,1–2 м равен

$$d(\% \text{ год}^{-1}) = -(0,65 \pm 0,05) + (0,09 \pm 0,05) \ln(\nu/1000 \text{ МГц}).$$

Наклон спектра радиоизлучения Кассиопеи А со временем уменьшается. Скорость уменьшения спектрального индекса α Кассиопеи А равна

$$d\alpha/dt = -(0,0009 \pm 0,0005) \text{ год}^{-1}.$$

Что касается радиоизлучения Крабовидной туманности, то темп годового уменьшения плотности потока радиоизлучения по

измерениям на частотах 151,5, 927 и 2829 МГц с 1980 г. по 2004 г. таков:

$$d(\% \text{ год}^{-1}) = -(0,26 \pm 0,075) + (0,02 \pm 0,06) \ln(\nu/1000 \text{ МГц}).$$

В работах [97, 103–105] рассмотрено влияние космических лучей и неоднородности плотности околозвёздной среды на формирование оболочки сверхновой, её рентгеновское и гамма-излучение. В двухжидкостном газодинамическом приближении исследованы степенные зависимости коэффициента диффузии космических лучей от их давления и плотности среды, при которых возможно получение новых ранее неизвестных автомодельных решений, обобщающих решение Седова на случай точечного взрыва в однородных и неоднородных околозвёздных средах с космическими лучами. Подробно исследовано автомодельное решение о точечном взрыве в неоднородной околозвёздной среде со спадающей степенной зависимостью её плотности от расстояния до центра симметрии и космическими лучами при нулевом значении их коэффициента диффузии. Рассчитано рентгеновское и гамма-излучение ОСН.

В связи с исследованиями синхротронного и других механизмов электромагнитного излучения астрономических объектов [5, 43, 62, 103–121] в НИРФИ получены важные теоретические результаты, некоторые из которых получили мировую известность. Ещё раз отметим работу Г. Г. Гетманцева [5]. В последующих работах [106, 62, 43] впервые была строго решена задача о влиянии разреженной плазмы на спектр синхротронного излучения и его реабсорбцию. Было показано, что на частотах ниже $\omega^* = 2\pi\nu^* = \omega_p^2/\omega_H \sin \theta$, $\nu^*[\text{Гц}] = 30 N_e[\text{см}^{-3}]/H[\text{Гс}] \sin \theta$ (ω_p — плазменная частота, ω_H — гирочастота, N_e — концентрация плазмы, H — напряжённость магнитного поля, θ — угол между скоростью релятивистского электрона и направлением магнитного поля) гармоники синхротронного излучения сильно подавляются. Это явление необходимо учитывать при анализе физических процессов в астрономических объектах [106, 62, 42,

111, 112, 51]. В работе В. Я. Эйдмана [107] влияние магнитоактивной плазмы на синхротронное излучение релятивистских электронов исследовано в более общем виде.

На частотах $\nu \gg \nu^*$ влияние плазмы на синхротронный механизм мало, но характеристики излучения могут изменяться по мере его распространения в плазме. В частности, при исследовании линейной поляризации радиоизлучения Галактики и дискретных источников необходимо учитывать фарадеевское вращение плоскости поляризации радиоволн. В простейшем случае очень узкой диаграммы направленности антенны радиотелескопа и узкой полосы пропускания приёмника при совпадающих пространственных распределениях концентраций ионизированного газа и релятивистских электронов в излучающей области с однородным магнитным полем уменьшение степени поляризации излучения определяется фактором $|\sin \psi / \psi|$, где ψ — угол поворота плоскости поляризации волны при прохождении ею всей излучающей области [8, 9]. Позиционный угол направления поляризации излучения измеряется при этом на $\psi/2$; $\psi = 2,37 \cdot 10^4 N_e H_{II} l / \nu^2$, где H_{II} — составляющая магнитного поля, параллельная лучу зрения, l — размер излучающей области.

Увеличение ширины диаграммы направленности антенны приводит к дополнительной деполяризации излучения, так как фарадеевское вращение меняется при изменении направления в пределах луча антенны [8, 9]. Из-за дисперсии фарадеевского вращение излучение деполяризуется и при расширении полосы пропускания приёмника [8, 9, 20, 33, 19]. При П-образной частотной характеристике приёмника с полосой пропускания $\Delta\nu$ деполяризующий фактор равен $|\sin \Delta\psi / \Delta\psi|$, где $\Delta\psi$ — разность углов поворота плоскостей поляризации волн с частотами, отличающимися на $\Delta\nu$: $\Delta\psi = -2\psi_0 \Delta\nu / \nu_0$, где ψ_0 — угол поворота плоскости поляризации излучения частоты ν_0 , равной средней частоте в полосе пропускания приёмника ($\nu_0 \pm \Delta\nu/2$).

В [106, 51] развита статистическая теория интегральной линейной поляризации радиоизлучения космических источников.

Рассмотрена модель радиоисточника, состоящего из большого числа «ячеек» с квазиоднородным магнитным полем, в каждой из которых происходит фарадеевское вращение плоскости поляризации радиоизлучения. На основании статистического анализа такой модели исследована частотная зависимость интегральной линейной поляризации радиоизлучения космических источников. Показано, что на достаточно длинных волнах при значительном влиянии эффекта Фарадея степень интегральной линейной поляризации радиоизлучения $\langle p \rangle \sim \lambda^{-1}$ (λ — длина волны) [51]. Этот вывод согласуется с данными наблюдений.

К этому направлению относятся и работы [115, 116].

Широкий круг астрофизических проблем рассмотрен в монографиях [120, 121, 141].

5. Заключительные замечания

Достижения НИРФИ в области галактической и внегалактической радиоастрономии были бы значительно весомее, если бы институт имел большой радиотелескоп (с параболическим рефлектором диаметром 60–70 метров). Это осознавалось изначально. В семидесятых годах прошлого столетия институт добивался строительства 64-метрового полноповоротного радиотелескопа в Васильсурске по проекту ОКБ МЭИ (такие радиотелескопы созданы в Медвежьих Озёрах вблизи Москвы и в Калязине). Этому плану не суждено было осуществиться.

Затем был разработан проект создания в Ковернинском районе Горьковской области обсерватории «Узола» с 70-метровым радиотелескопом, аналогичным радиотелескопам в Евпатории и Уссурийске. Но и этот проект реализовать не удалось.

В 2000–2003 годах НИРФИ выступил с основательно проработанным предложением о создании четвёртого интерферометрического пункта по проекту «Квazar КВО» с 32-метровым радиотелескопом в «Старой Пустыни». Проект «Квazar КВО»

выполнялся С.-Петербургским Институтом прикладной астрономии (ИПА РАН) и состоял в последовательном строительстве трёх радиоинтерферометрических пунктов, оснащённых 32-метровыми полноповоротными параболическими антеннами сантиметрового диапазона: Светлое (С.-Петербург), Зеленчукская (Северный Кавказ) и Бадары (Иркутск). Создание четвёртого пункта в «Старой Пустыни» позволило бы существенно повысить эффективность РСДБ-сети проекта «Квazar КВО», что неоднократно отмечалось в решениях секций Научного совета РАН по астрономии. Были благоприятные условия для установки четвёртого радиотелескопа в «Старой Пустыни». Часть основных узлов и элементов четвёртой антенны (около 50% от необходимых) уже были изготовлены в рамках проекта «Квazar КВО». В «Старой Пустыни» на площадке, где предполагалось установить антенну, были проведены необходимые геологические изыскания. Имелась вся необходимая документация, технологическая оснастка и механизмы для монтажа; существовала кооперация строительно-монтажных организаций.

Предложение о создании в «Старой Пустыни» 32-метрового радиотелескопа было поддержано администрацией Нижегородской области. Губернатор Г. М. Ходырев обратился к Председателю Правительства Российской Федерации М. М. Касьянову (письмо от 29.03.2002 г. № 01.169) с просьбой поддержать предложение НИРФИ о строительстве в «Старой Пустыни» четвёртого пункта РСДБ по проекту «Квazar КВО» с 32-метровой антенной. Итогом явилось поручение Заместителя Председателя Правительства РФ А. Л. Кудрина Минфину России (А. В. Улюкаеву), Минэкономразвития России (Г. О. Грефу), Минпромнауки (И. И. Клебанову), РАН (Ю. С. Осипову) рассмотреть вопрос о финансировании строительства 32-метрового радиотелескопа в «Старой Пустыни» при подготовке проекта федерального бюджета на 2003 г.

И вот тут возникло противодействие нескольких академиков планам расширения сети «Квazar КВО», приведшее к провалу всей работы в этом направлении.

Большое значение радиоастрономы НИРФИ всегда придавали сотрудничеству с коллегами из других научных учреждений как в нашей стране, так и за её пределами. Отмечу здесь некоторые работы, выполненные с использованием радиотелескопа РАТАН-600 [18, 23, 132, 142–144], ДКР-1000 в Пущино [79], РТ-22 в КрАО [87], УТР-2 в Харькове [93], РТФ-32 в Светлом [85а].

Международное сотрудничество успешно развивалось с итальянскими радиоастрономами по программе «The Sky Polarization Observatory (SPOrt)» [145–148].

Большое место в деятельности радиоастрономов НИРФИ занимала педагогическая работа на Кафедре радиоастрономии и распространения радиоволн Радиофизического факультета ГГУ имени Н. И. Лобачевского и на филиале этой кафедры в НИРФИ. Длительное время в штате ГГУ были Г. Г. Гетманцев, С. А. Каплан, В. П. Докучаев, В. А. Разин, Н. М. Цейтлин, К. С. Станкевич. В настоящее время преподают в ННГУ А. В. Калинин, Е. Н. Винайкин, А. И. Теплых, Ю. В. Тихомиров.

Без преувеличения можно сказать, что за 50 с лишним лет активной работы НИРФИ оказал большое влияние на развитие радиофизики и радиоастрономии не только в СССР и России, но и во всём мире, став широко известным и признанным научным центром.

В этом очерке я коснулся лишь части радиоастрономических работ НИРФИ, опустив многие детали. Интересные факты о создании НИРФИ, его становлении и развитии содержатся в воспоминаниях В. И. Морозова [149], написанных в стиле «наука и жизнь», и в статьях других сотрудников НИРФИ [150, 151]. Эти материалы я рекомендую читателям, интересующимся достижениями НИРФИ и перспективами его развития.

Автор благодарен А. И. Теплых и Л. Р. Семёновой за помощь в подготовке настоящего очерка к печати.

Литература

1. Кисляков А. Г., Разин В. А., Троицкий В. С., Цейтлин Н. М. Радиоастрономические исследования в г. Горьком // Препринт НИРФИ № 163. — Горький, 1983.
Очерки истории радиоастрономии в СССР / Отв. ред. д.ф.-м.н. А. Е. Саломонович. — Киев: Наукова думка, 1986. С. 79–109.
2. Dicke R. H. The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies // The Review of Scientific Instruments. 1946. V. 17. P. 268–275.
3. Kiepenhener K. O. Cosmic rays as the Source of General Galactic Radio Emission // Physical Review. 1950. V. 79. P. 738–739.
4. Гинзбург В. Л. Космические лучи как источник галактического радиоизлучения // ДАН СССР. 1951. Т. 76. С. 377–381.
5. Гетманцев Г. Г. Космические электроны как источник радиоизлучения Галактики // ДАН СССР. 1951. Т. 83. С. 557–561.
6. Шкловский И. С. Космическое радиоизлучение. — М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1956. 492 с.
7. Гетманцев Г. Г., Разин В. А. К вопросу о поляризации нетеплового космического радиоизлучения // Труды 5-го Совещания по вопросам космогонии 9–12 марта 1955 г. Радиоастрономия. — М.: АН СССР, 1956. С. 496–507.
8. Разин В. А. Предварительные результаты измерения поляризации космического радиоизлучения на волне 1,45 м // Радиотехника и электроника. 1956. Т. 1. С. 846–851.
9. Разин В. А. Поляризация космического радиоизлучения на волнах 1,45 и 3,3 м // Астрон. журн. 1958. Т. 35. С. 241–252.
10. Открытия в СССР 1957–1967. Сборник кратких описаний открытий, внесенных в Государственный реестр СССР. — М.: ЦНИИ-ПИ, 1968. С. 13–14.
11. Разин В. А., Хрулёв В. В., Фёдоров В. Т., Волохов С. А., Мельников А. А., Пасека А. М., Пупышева Л. В. Наблюдения поляризации космического радиоизлучения вблизи антицентра Галактики на волнах 70, 60 и 40 см // Изв. вузов. Радиофизика. 1968. Т. 11. С. 1461–1472.
12. Мельников А. А., Разин В. А., Хрулёв В. В. Линейная поляризация космического радиоизлучения на частоте 950 МГц в окрестностях точки с координатами $l^{\text{II}} = 142^\circ$, $b^{\text{II}} = +8^\circ$ // Изв. вузов. Радиофизика. 1967. Т. 10. С. 1760–1762.

13. Капустин П. А., Петровский А. А., Пупышева Л. В., Разин В. А. Линейная поляризация галактического радиоизлучения на частоте 210 МГц // Изв. вузов. Радиофизика. 1973. Т. 16. С. 1325–1333.
14. Пасека А. М., Попова Л. В., Разин В. А., Архангельский В. Г., Самохвалов Ю. Е. Линейная поляризация галактического радиоизлучения на частоте 102 МГц около $l = 140^\circ$, $b = +8^\circ$ // Изв. вузов. Радиофизика. 1975. Т. 18. С. 926–929.
15. Кузнецова И. П., Мельников А. А., Разин В. А. Спектр галактического радиоизлучения в диапазоне длин волн 17–32 см по данным поляризационных измерений // Изв. вузов. Радиофизика. 1975. Т. 18. С. 1548–1549.
16. Пасека А. М., Попова Л. В., Разин В. А. Яркое пятно линейно поляризованного излучения Галактики на волне 1 м // Астрон. журн. 1976. Т. 53. С. 286–287.
17. Пасека А. М. Исследование распределения поляризации галактического радиоизлучения на частоте 920 МГц в области Петли III // Астрон. журн. 1978. Т. 55. С. 1163–1168.
18. Виняйкин Е. Н., Абрамов В. И., Крайнов И. Л. Линейная поляризация радиодуги вблизи центра Галактики на волне 7,6 см // Письма в Астрон. журн. 1989. Т. 15. С. 971–974.
19. Виняйкин Е. Н., Крайнов И. Л. О поляризации радиоизлучения космических источников из-за дисперсии фарадеевского вращения и оптимальной полосе приема при поляризационных наблюдениях // Препринт НИРФИ № 288. — Горький: НИРФИ, 1989. 13 с.
20. Разин В. А. Об одном методе измерения линейной поляризации галактического радиоизлучения // Ученые записки ГГУ, серия физическая. 1956. Т. 35. С. 35–38.
21. Гетманцев Г. Г., Токарев Ю. В. К вопросу о деполяризации и корреляционном методе измерения поляризации космического радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 1967. Т. 10. С. 170–174.
22. Абрамов В. И., Разин В. А., Теплых А. И. Предварительные результаты исследования линейно поляризованного галактического радиоизлучения на частотах 84 и 88 МГц // XIX Всесоюзная конференция по галактической и внегалактической радиоастрономии. 1987. г. Таллин. Тезисы докладов. С. 86–87.

23. Виняйкин Е. Н. Исследование линейно поляризованной компоненты радиоизлучения Северного Полярного выступа на волне 31 см с высоким угловым разрешением // *Астрон. журн.* 1995. Т. 72. С. 674–686.
24. Виняйкин Е. Н., Кузнецова И. П., Пасека А. М., Разин В. А., Теплых А. И. Спектр линейно поляризованной компоненты галактического радиоизлучения в направлении Северного полюса Мира // *Письма в Астрон. журн.* 1996. Т. 22. С. 652–659.
Razin V. A., Vinyajkin E. N., Paseka A. M., Teplykh A. I. Study of the local interstellar medium and Galactic magnetic field by multi-frequency polarimetry of synchrotron radio emission. In book: *Astrophysics and Cosmology after Gamow: Theory and Observations. Proceedings of the Gamow Memorial International Conference / Edited by G. S. Bisnovaty-Kogan.* — IKI, Moscow, Russia, S. Silich E. Terlevich R. Terlevich, INAOE, Puebla, Mexico, A. Zhuk, Odessa National University, Ukraine. 2006. P. 417–422.
25. Кисляков А. Г., Разин В. А., Цейтлин Н. М. Введение в радиоастрономию. Ч. I. Основы радиоастрономии. — М.: Физико-математическая литература, 1995. 211 с.
26. Виняйкин Е. Н., Пасека А. М., Теплых А. И. Спектры яркостной температуры линейно поляризованной компоненты фонового радиоизлучения Галактики // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2002. Т. 55. С. 113–120.
27. Виняйкин Е. Н., Пасека А. М., Разин В. А., Формозов Б. С. Спектр линейно поляризованной компоненты галактического радиоизлучения в области минимальной радиояркости вокруг $l = 190^\circ$, $b = 50^\circ$ // *Труды Научной конференции по радиофизике.* — Н. Новгород: ННГУ, 2002. С. 108–109.
28. Vinyajkin E. N., Razin V. A. Low frequency polarization observations of the galactic radio emission. — CP609, *Astrophysical Polarized Backgrounds*, edited by S. Cecchini et al., 2002. American Institute of Physics. P. 26–31.
29. Vinyajkin E. N. Faraday rotation and depolarization of galactic radio emission in the magnetized interstellar medium. 8–12 September, 2003, Antalya, Turkey. Eds. B. Vyaniker, W. Reich, R. Wielebinski. Copernicus GmbH, 2004, p. 93; astro-ph/0402370 v1 16 Feb 2004.
30. Виняйкин Е. Н., Пасека А. М., Разин В. А., Теплых А. И., Формозов Б. С. Спектр яркостной температуры линейно поляризованной компоненты галактического радиоизлучения области с

- координатами $\alpha_{1950} = 4^h 30^m$, $\delta_{1950} = 61^\circ$ // Труды Научной конференции по радиофизике. — Н. Новгород: ННГУ, 2004. С. 76–77.
31. Пасека А. М., Попова Л. В., Разин В. А., Теплых А. И. Поляризационные исследования галактического радиоизлучения в области Петли III на частотах 240, 290, 334 и 920 МГц // Препринт НИРФИ № 128. — Горький: НИРФИ, 1979. 105 с.
 32. Разин В. А., Хрулёв В. В. Об оптимальных длине волны и ширине спектрального интервала при исследованиях поляризации распределенного космического радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 1965. Т. 8. С. 857–861.
 33. Разин В. А., Хрулёв В. В. Деполяризация космического радиоизлучения из-за дисперсии фарадеевского вращения плоскостей поляризации радиоволн // Изв. вузов. Радиофизика. 1965. Т. 8. С. 1063–1068.
 34. Разин В. А., Хижнякова И. П. Замечания о распределении ионизированного межзвездного газа // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. С. 479–487.
 35. Виняйкин Е. Н., Разин В. А. О разделении тормозного и синхротронного радиоизлучения диска Галактики // Препринт НИРФИ № 405. — Н. Новгород: НИРФИ, 1995. 34 с.
 36. Разин В. А., Теплых А. И. Структура галактического магнитного поля и распределение релятивистских электронов в направлениях около антицентра Галактики // Всесоюзная конференция «Структура галактик и звездообразование». Тезисы докладов. — Киев: Наукова думка, 1983.
 37. Попова Л. В., Разин В. А., Теплых А. И., Добрушский Л. А. Данные измерений полной концентрации электронов на луче зрения в ионосфере радиоастрономическим поляризационно-фарадеевским методом // Отчет НИРФИ. — Горький: НИРФИ, 1980. 115 с.
 38. Попова Л. В., Разин В. А., Теплых А. И., Добрушский Л. А. Об особенностях вариаций полной электронной концентрации на луче зрения в ионосфере в ночное время // XIII Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Тезисы докладов. — Горький, 1981. С. 74.
 39. Гетманцев Г. Г. О галактической и метагалактической составляющих космического радиоизлучения // Астрон. журн. 1955. Т. 32. С. 22–28.

40. Гетманцев Г. Г. О природе нетеплового космического радиоизлучения // Труды пятого совещания по вопросам космогонии. 9–12 марта 1955 г. Радиоастрономия. — М.: АН СССР, 1956.
Гетманцев Г. Г., Пятова Е. Д., Токарев Ю. В., Шибяев В. А. О галактической и метагалактической составляющих распределенного космического радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 1970. Т. 13. С. 1480–1484.
Токарев Ю. В. О фоне радиоизлучения Метагалактики // Изв. вузов. Радиофизика. 1970. Т. 13. С. 1571–1573.
41. Разин В. А. О галактической короне // Астрон. журн. 1958. Т. 35. С. 829–837.
42. Разин В. А. К критике гипотез о метагалактическом происхождении космических лучей // Астрон. журн. 1962. Т. 39. С. 29–34.
43. Разин В. А. О спектре нетеплового космического радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 1960. Т. 3. С. 921–936.
44. Гетманцев Г. Г., Разин В. А. О методах измерения пространственных вариаций спектра космического радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 1962. Т. 5. С. 866–872.
45. Гетманцев Г. Г., Караванов В. С., Сазонов Ю. А., Тарасов А. Ф. Частотный спектр космического радиоизлучения в диапазоне 10–207 МГц на высоких галактических широтах // Изв. вузов. Радиофизика. 1968. Т. 11. С. 191–199.
46. Токарев Ю. В. Об угловых вариациях спектрального индекса нетеплового космического радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. С. 161–167.
47. Бенедиктов Е. А., Ефимова Т. В., Скребкова Л. А. Влияние поглощения радиоволн в межзвездной среде на распределение космического радиоизлучения по небосводу // Астрон. журн. 1969. Т. 46. С. 286–291.
48. Виняйкин Е. Н. О частотных и угловых вариациях спектрального индекса галактического радиоизлучения в диапазоне длин волн 0.7–2 м // Астрон. журн. 1978. Т. 55. С. 307–310.
49. Разин В. А. О космических электронах в Галактике // Астрон. журн. 1970. Т. 47. С. 56–59.
50. Разин В. А. К вопросу о радиогало Галактики // Астрон. журн. 1971. Т. 48. С. 46–53.
51. Разин В. А. Поляризация и спектры синхротронного радиоизлучения Галактики и дискретных источников: Дисс. ... д.ф.-м.н. — Горький: НИРФИ, 1971. 491 с.

52. Гетманцев Г. Г. Ожидаемая анизотропия нетеплового космического радиоизлучения на низких частотах // Космические исследования. 1965. Т. 3. С. 495–496.
53. Токарев Ю. В., Кайзер М. Л., Бойко Г. Н., Густов П. В. Анизотропия гектаметрового космического радиофона // Письма в Астрон. журн. 2000. Т. 26. С. 643–648.
54. Беляев П. П., Тарасов А. Ф., Токарев Ю. В., Юрищев М. А. О спектре нетеплового радиоизлучения Галактики. Наблюдения на частотах 200 и 375 МГц // Изв. вузов. Радиофизика. 1983. Т. 26. С. 1047–1058.
55. Корсаков В. Б., Токарев Ю. В., Флейшман Г. Д. О влиянии местного межзвездного облака на спектр низкочастотного фонового радиоизлучения Галактики // Письма в Астрон. журн. 1997. Т. 23. С. 262–267.
56. Tokarev Yu. V. Low-frequency cosmic background for the cloudy interstellar medium model // Astronomical and Astrophysical Transactions. 1999. V. 18. P. 151–153.
57. Teplykh A. I. The probing of the Galaxy by linearly polarized radio-emission. Proceeding of YERAC-78, Manchester, 1978. Abstracts.
58. Разин В. А., Теплых А. И. Зондирование Галактики линейно поляризованным лучом в направлении ПО147 + 8 // Отчет НИРФИ по теме «Исследования углового распределения и спектра линейно поляризованного радиоизлучения галактической межзвездной среды». Шифр «Спираль». Номер государственной регистрации 76019925. — Горький: НИРФИ, 1980.
59. Плечков В. М., Разин В. А. Результаты измерений интенсивности радиоизлучения дискретных источников на волнах 3,2 и 9,7 см // Труды пятого совещания по вопросам космогонии, 9–12 марта 1955 г. Радиоастрономия. — М.: АН СССР, 1956. С. 430–435.
60. Троицкий В. С., Рахлин В. Л., Стародубцев А. М., Бобрик В. Т. Радиотелескопы Горьковской радиоастрономической станции «Зименки» // Труды пятого совещания по вопросам космогонии, 9–12 марта 1955 г. Радиоастрономия. — М.: АН СССР, 1956. С. 37–80.
61. Pletchkov V., Razin V. Note on the measurements of radio emission from Cassiopeia A. Monthly Notices Roy //Astron. Soc. 1959. V. 119. P. 72.
62. Разин В. А. К теории спектров радиоизлучения дискретных источников на частотах ниже 30 МГц // Изв. вузов. Радиофизика 1960. Т. 3. С. 584–594.

63. Кротиков В. Д., Порфирьев В. А., Троицкий В. С. Разработка метода прецизионного измерения интенсивности поля и эталонирование радиоизлучения Луны на $\lambda = 3,2$ см // Изв. вузов. Радиофизика. 1961. Т. 4. С. 1001–1012.
64. Троицкий В. С., Цейтлин Н. М. Радиоастрономические методы абсолютных измерений интенсивности сигналов. Калибровки антенн и радиотелескопов на сантиметровых волнах (обзор) // Изв. вузов. Радиофизика. 1961. Т. 4. С. 393–414.
65. Бондарь Л. Н., Кротиков В. Д., Станкевич К. С., Цейтлин Н. М. Спектры некоторых остатков сверхновых в дециметровом диапазоне // Изв. вузов. Радиофизика. 1965. Т. 8. С. 437–440.
66. Цейтлин Н. М. К вопросу об измерении параметров антенн по радиоизлучению «черного» диска, расположенного в зоне Френеля // Изв. вузов. Радиофизика. 1964. Т. 7. С. 571–572.
Станкевич К. С., Цейтлин Н. М. О влиянии смещения облучателя из фокуса на точность антенных измерений // Радиотехника и электроника. 1966. № 3. С. 451–455.
Дмитренко Д. А., Цейтлин Н. М. Об абсолютном измерении интенсивности с помощью «черного» диска, расположенного в зоне Френеля // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. С. 639–643.
Дмитренко Д. А., Дмитренко Л. В., Иванов О. С., Цейтлин Н. М. Абсолютные измерения интенсивности радиоизлучения Девы-А в диапазоне волн 10–30 см // Астрон. журн. 1971. Т. 48. С. 437–438.
67. Виноградова Л. В., Дмитренко Д. А., Цейтлин Н. М. Абсолютные измерения интенсивности излучения Кассиопеи-А, Лебедя-А и Тельца-А в диапазоне 15–30 см // Изв. вузов. Радиофизика. 1971. Т. 14. С. 157–159.
68. Цейтлин Н. М., Дмитренко Л. В., Дмитренко Д. А., Миллер Е. Н., Снегирева В. В., Титов Г. К. Результаты абсолютных измерений интенсивности Кассиопеи-А., Лебедя-А, Тельца-А и Девы-А на волнах 30–100 см и их спектры в диапазоне 3–100 см, полученные с помощью «черного» диска, расположенного в зоне Френеля // Препринт НИРФИ № 84. — Горький: НИРФИ, 1975.
69. Троицкий В. С., Цейтлин Н. М., Порфирьев В. А. Результаты измерений интенсивности радиоизлучения источника Телец-А в дециметровом диапазоне волн // Астрон. журн. 1964. Т. 41. С. 446–451.

70. Разин В. А., Федоров В. Т. Интенсивности ряда дискретных источников, Луны и Солнца на частоте 927 МГц // Изв. вузов. Радиофизика. 1963. Т. 6. С. 1052–1053.
71. Шкловский И. С. О возможном вековом изменении потока и интенсивности радиоизлучения от некоторых дискретных источников // Астрон. журн. 1960. Т. 37. С. 256–264.
72. Scott P. F., Shakeshaft J. R., Smith M. A. Decrease of Flux Density of the Radio Source Cassiopeia A at 81.5 MHz // Nature. 1969. V. 223. P. 1139–1140.
73. Виняйкин Е. Н., Разин В. А. О вековом уменьшении плотностей потоков радиоизлучения остатков сверхновых Кассиопея А и Тельца А на частоте 927 МГц // Астрон. журн. 1979. Т. 56. С. 913–917.
Виняйкин Е. Н., Разин В. А., Хрулёв В. В. Вековое уменьшение плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А на частоте 2924 МГц // Письма в Астрон. журн. 1980. Т. 6. С. 620–622.
74. Виняйкин Е. Н., Разин В. А., Федоров В. Т. Вековое уменьшение плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А на частотах 437 и 510 МГц // Письма в Астрон. журн. 1979. Т. 5. С. 450–451.
75. Vinyajkin E. N., Razin V. A. Secular decreases in the 927 MHz emission from the supernova remnants Cas A and Tau A // Australian Journal of Physics. 1979. V. 32. P. 93–94.
76. Stankevich K. S. Evolution of the Radio Emission from Young SNRs according to Observational Data // Australian Journal of Physics. 1979. V. 32. P. 95–104.
77. Цейтлин Н. М., Дмитренко Л. В., Снегирева В. В. О переменности радиоизлучения Тельца-А // Изв. вузов. Радиофизика. 1980. Т. 23. С. 996–997.
78. Виняйкин Е. Н. Эволюция радиоизлучения Крабовидной туманности // Препринт НИРФИ № 172. — Горький: НИРФИ, 1983. 32 с.
79. Виняйкин Е. Н., Дагкесаманский Р. Д., Извеков Б. К. Поиск векового уменьшения плотностей потоков радиоизлучения Крабовидной туманности и 3С 58 на волне 3,5 м // Астрон. журн. 1988. Т. 65. С. 883–884.
Виняйкин Е. Н., Володин Ю. В., Дагкесаманский Р. Д., Соколов К. П. Низкочастотное радиоизлучение остатка сверхновой Тихо Браге (3С 10) // Астрон. журн. 1987. Т. 64, № 2. С. 271–279.

80. Виняйкин Е. Н. Эволюция радиоизлучения Крабовидной туманности // Письма в Астрон. журн. 1993. Т. 19. С. 912–918.
81. Востоков А. В., Дугин Н. А., Миллер М. Е., Сырейщиков В. П. Абсолютные измерения плотностей потоков мощных дискретных источников на частоте 575 МГц // Изв. вузов. Радиофизика. 1987. Т. 30. С. 917–919.
82. Ласточкин В. П., Лукин Э. Б., Станкевич К. С., Цейтлин Н. М. Исследование Крабовидной туманности методом лунных покрытий // Астрон. журн. 1965. Т. 42. С. 705–708.
83. Агафонов М. И., Иванов В. П., Подвойская О. А. Радиоизображения Крабовидной туманности по данным лунных покрытий // Астрон. журн. 1990. Т. 67. С. 549–560.
84. Бенедиктов Е. А. О стабильности излучения дискретного радиоисточника Кассиопея-А в декаметровом диапазоне волн // Изв. вузов. Радиофизика. 1970. Т. 13. С. 1474–1479.
Токарев Ю. В. Низкочастотные радиоспектры Крабовидной туманности, Девы А и Лебеда А // Изв. вузов. Радиофизика. 1996. Т. 39. С. 945–958.
Виняйкин Е. Н., Никонов В. А., Тарасов А. Ф., Токарев Ю. В., Юрищев М. А. О спектре низкочастотного радиоизлучения Кассиопея А // Астрон. журн. 1987. Т. 64. С. 987–991.
Виняйкин Е. Н., Володин А. Г., Ковальчук О. М. О вековом уменьшении плотности потока радиоизлучения Кассиопея А на частоте 38 МГц // Письма в Астрон. журн. 1992. Т. 18. С. 755–759.
85. Иванов В. П., Станкевич К. С. Радиоастрономическая абсолютная шкала потоков (обзор) // Изв. вузов. Радиофизика. 1986. Т. 29. С. 3–27.
- 85а. Иванов В. П., Ипатов А. В., Рахимов И. А., Смоленцев С. Г., Станкевич К. С., Финкельштейн А. М. Определение шкалы потоков на современную эпоху // Труды Института прикладной астрономии РАН. 2004. Вып. 12. С. 13–19.
86. Станкевич К. С., Иванов В. П. Энергетические изменения в спектре излучения остатка сверхновой Кассиопея А // Труды Всероссийской конференции «Астрофизика на рубеже веков» ПРАО, 17–22 мая 1999 г. — М.: ЯНУС-К, 2001. С. 174–178.
- 86а. Станкевич К. С., Иванов В. П. Взаимосвязь нестационарных изменений радиосветимости Крабовидной туманности и активности пульсара // Письма в Астрон. журн. 2005. Т. 31. С. 110–115.

87. Кисляков А. Г. Радиоастрономические исследования в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн // УФН. 1970. Т. 101. С. 607–653.
88. Vinyajkin E. N. Variations and secular decrease of the flux density of Cassiopeia A at frequencies 151.5, 290 and 927 MHz according to long-term (1977–1994) measurements // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. 1996. V. 11. P. 325–330.
89. Vinyajkin E. N. Secular decrease and random variations of the flux density of Cas A at 927, 290, 151.5 and 38 MHz from long-term measurements // *Astrophysics and Space Science*. 1997. V. 252. P. 249–257.
90. Виняйкин Е. Н. Вековое уменьшение плотности потока радиозлучения Кассиопеи А по многолетним наблюдениям. Наблюдения на частотах 38, 81.5 и 151.5 МГц // *Астрон. журн.* 2006. Т. 83. С. 168–176.
91. Агафонов М. И. Разработка и развитие радиоастрономического метода малоракурсной томографии и дистанционные исследования космических объектов: Дисс... д.ф.-м.н. — Н.Новгород: НИРФИ, 2006.
92. Алексеев В. А., Виняйкин Е. Н., Троицкий В. С. и др. Измерение угловых размеров радиоисточника Кассиопея А на частоте 9 МГц радиointерферометром независимого приема на базах 1,5 и 7 км // *Изв. вузов. Радиофизика*. 1973. Т. 16. С. 1307–1313.
93. Алексеев В. А., Брауде С. Я., Виняйкин Е. Н., Троицкий В. С. и др. Измерения угловых размеров дискретных источников интерферометром независимого приема на частоте 25 МГц // *Изв. вузов. Радиофизика*. 1973. Т. 16. С. 1318–1319.
94. Алексеев В. А., Антипенко А. А., Гателюк Э. Д., Дементьев А. Ф., Князев Н. А., Крюков А. Е., Липатов Б. Н., Рат Р. Н., Сизов А. С. Радиоастрометрический интерферометр НИРФИ // *Препринт НИРФИ № 206*. — Горький: НИРФИ, 1986. 53 с.
95. Аблязов В. С., Алексеев В. А., Антоненц М. А., Арискин В. И., Векшин В. П., Гателюк Э. Д., Дёмин В. В., Ефанов В. А., Кутузов Б. Г., Липатов Б. Н., Матвеев Л. И., Мкртчян С. М., Моисеев И. Г., Никонов В. Н., Оганесян В. А., Самаян В. А., Сизов А. С., Сороченко Р. Л., Соснин В. П., Троицкий В. С., Фатеев Б. П., Чикин А. И., Щёкотов Б. В. Наблюдения источников H_2O на радиointерферометре со сверхдлинной базой Пуццино–Симеиз // *Изв. вузов. Радиофизика*. 1974. Т. 18. С. 1431–1437.

96. Алексеев В. А., Липатов Б. Н., Щёколов Б. В. Радиоспектрометрия с применением дифференциальных интерферометрических измерений на сверхдлинных базах // Изв. вузов. Радиофизика. 1976. Т. 19. С. 1669–1677.
Алексеев В. А. Об оптимальной структуре длиннобазового радиоинтерферометрического комплекса для совместного решения астрофизических, астрометрических и геодинамических задач // Препринт НИРФИ № 127. — Горький: НИРФИ, 1979. 26 с.
97. Разин В. А., Виняйкин Е. Н., Дугин Н. А., Петухов Ю. В., Разин А. В., Злобин А. М., Жмайло В. А., Долголёва Г. В., Гайнуллин К. Г. и др. Технический отчет по проекту МНТЦ 729-01 «Исследование динамики взрыва сверхновых, эволюции спектра электромагнитного излучения и разлета их оболочек». — Н. Новгород–Саров: НИРФИ–ВНИИЭФ, 2004. 219 с.
98. Vinyajlin E. N. The Secular Decrease of the Crab Nebula at 927 and 151.5 MHz // ASP Conference Series. 2005. V. 342. M. Turatto, S. Benetti, L. Zampieri, and W. Shea. «1604–2004: Supernova as Cosmological Lighthouses». P. 435–437.
99. Дугин Н. А. О технике и методике прецизионных измерений интенсивности внеземных источников радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 2002. Т. 45. С. 144–151.
100. Дугин Н. А., Кузнецова И. П., Разин В. А. Абсолютные измерения плотностей потоков радиоизлучения космических источников с калибровкой по двухтемпературному чернотельному эталону. Ч. 1. Измерительный стенд. Двухтемпературный эталон // Препринт НИРФИ № 484. — Н. Новгород: НИРФИ, 2004.
101. Дугин Н. А., Кузнецова И. П., Разин В. А., Троицкий Н. Р. Ч. 2. Учет поправок и оценка погрешностей. Результаты // Препринт НИРФИ № 485. — Н. Новгород: НИРФИ, 2004.
102. Дугин Н. А., Кузнецова И. П., Серкин А. Г., Черникова С. О., Бояринов В. А. Ч. 3. Математическое и программное обеспечение записи и обработки данных // Препринт НИРФИ № 486. — Н. Новгород: НИРФИ, 2004.
103. Petukhov Yu. V., Razin A. V., and Razin V. A. Effects of Stellar Medium Density Inhomogeneities and Cosmic Rays on X-ray and Gamma-ray Radiation from Supernova Envelopes // ASP Conference Series. 2005. V. 342. M. Turatto, S. Benetti, L. Zampieri, and W. Shea. «1604–2004: Supernova as Cosmological Lighthouses». P. 205–207.

104. Петухов Ю. В., Разин А. В., Разин В. А. Влияние космических лучей и неоднородности плотности околозвездной среды на формирование оболочки сверхновой // Препринт НИРФИ № 495. — Н. Новгород: НИРФИ, 2004. 27 с.
105. Петухов Ю. В., Разин А. В., Разин В. А. Влияние космических лучей и неоднородности плотности околозвездной среды на формирование оболочки сверхновой // Письма в Астрон. журн. 2006. Т. 32. С. 831–843.
106. Разин В. А. Исследование космического радиоизлучения: Дисс. . . к.ф.-м.н. — Горький: НИРФИ, 1957.
107. Эйдман В. Я. Излучение заряда, движущегося в магнитоактивной плазме // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 131–137. Поправки к этой статье опубликованы в ЖЭТФ. 1959. Т. 36. С. 1335–1336.
108. Tamoykin V. V. The Spectrum of Synchrotron – Transient Radiation of Charged Particle in Plasma with Random Inhomogeneities // Astrophysics and Space Science. 1978. V. 53. P. 3–11.
109. Гетманцев Г. Г., Пасека А. М., Токарев Ю. В. О влиянии движения космической среды на поляризацию космического радиоизлучения // Изв. вузов. Радиофизика. 1967. С. 599–602.
110. Getmantsev G. G., Tokarev Yu. V. Depression of the Power Spectrum of Compton Radiation from Relativistic Particles in a Rarefied Plasma // Astrophysical Letters. 1972. V. 12. P. 57–60.
111. Гундарев А. Г., Разин В. А. К вопросу о синхротронном излучении релятивистского электрона, движущегося по винтовой линии в разреженной плазме. 1. Критерии оценки влияния плазмы // Препринт НИРФИ № 348. — Н. Новгород: НИРФИ, 1992. 35 с.
112. Goundyrev A. G., Razin V. A. On the Synchrotron Emission of a Relativistic Electron Spiraling in Rarefied Plasma. I. Criteria of the Plasma Influence // Astronomical and Astrophysical Transactions. 1995. V. 6. P. 229–249.
113. Fleishman G. D., Melnikov V. F. Gyrosynchrotron Emission from Anisotropic Electron Distributions // The Astrophysical Journal. 2003. V. 587. P. 823–835.
114. Fleishman G. D., Melnikov V. F. Optically Thick Gyrosynchrotron Emission from Anisotropic Electron Distribution // The Astrophysical Journal. 2003. V. 584. P. 1071–1083.
115. Токарев Ю. В. К вопросу о фарадеевской деполяризации интегрального радиоизлучения дискретных источников // Изв. вузов. Радиофизика. 1973. Т. 26. С. 1789–1795.

116. Писарева В. В. К вопросу о поляризации нетеплового радиоизлучения Галактики и радиоизлучения Крабовидной туманности // Изв. вузов. Радиофизика. 1960. Т. 3. С. 165–179.
117. Кузнецова И. П. О фарадеевском вращении в межгалактической среде // Астрон. журн. 1976. Т. 53. С. 475–484.
118. Мельников В. Ф. Нестационарные процессы в солнечных вспышечных петлях: Дисс. . . д.ф.-м.н. — Н. Новгород: НИРФИ, 2006.
119. Докучаев В. П. Излучение магнитозвуковых волн в межзвездной среде физическими переменными звездами // Письма в Астрон. журн. 2003. Т. 29. С. 202–207.
120. Каплан С. А., Пикельнер С. Б. Физика межзвездной среды. — М.: Наука, 1979.
121. Каплан С. А., Цытович В. Н. Плазменная астрофизика. — М.: Наука, 1972.
122. Цейтлин Н. М. Применение методов радиоастрономии в антенной технике. — М.: Сов. радио, 1966.
123. Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. — М.: Сов. радио, 1976.
124. Кисляков А. Г., Разин В. А., Цейтлин Н. М. Введение в радиоастрономию. Ч. II. Техника радиоастрономии. — М.: Физико-математическая литература, 1996. 196 с.
125. Цейтлин Н. М. Прикладная радиоастрономия // Препринт НИРФИ № 202. — Горький: НИРФИ, 1985. 28 с.
Сборник «Развитие радиоастрономии в СССР» / Отв. ред. д.ф.-м.н. А. Е. Саломонович. — М.: Наука, 1988. С. 176–195.
126. Алексеев В. А. Радиointерферометры со сверхдлинными базами — новое средство решения задач астрометрии, геодинамики, службы времени и космической навигации. В сб.: Советские радиотелескопы и радиоастрономия Солнца / Отв. ред. д.ф.-м.н. А. Е. Саломонович, д.т.н. Г. Я. Смольков. — М.: Наука, 1990. С. 126–136.
127. Цейтлин Н. М. Развитие и разработка радиоастрономических методов антенных измерений в научно-исследовательском радиофизическом институте (НИРФИ) // Препринт НИРФИ № 357. — Н. Новгород: НИРФИ, 1993. 14 с.
128. Троицкий В. С. Радионаблюдения планет и спутников // Препринт НИРФИ № 169. — Горький: НИРФИ, 1983. 63 с.

129. Цейтлин Н. М., Мосалов И. В., Бахарев Н. В., Беккерман Б. М., Дугин Н. А., Миллер Е. А., Миллер М. Е., Пелюшенко С. А., Романовичев А. А. Радиоастрономический комплекс для проведения измерений по методу «черного диска» в дециметровом – метровом диапазонах волн // Препринт НИРФИ № 176. – Горький: НИРФИ, 1984. 11 с.
130. Цейтлин Н. М., Миллер М. Е., Пелюшенко С. А., Бубукина В. П. Абсолютные измерения яркостной температуры распределенного космического радиоизлучения в метровом диапазоне волн // Препринт НИРФИ № 181. – Горький: НИРФИ 1984. 17 с.
131. Дугин Н. А., Семенова Л. Р., Турчин В. И. Обработка информации при суперсинтезе линейной апертуры (программа записи и обработка массивов данных на ЭВМ) // Препринт НИРФИ № 174. – Горький: НИРФИ, 1983. 47 с.
132. Абрамов В. И. О некоторых особенностях поляризационных характеристик антенны переменного профиля при неидеальном облучателе // Препринт НИРФИ № 182. – Горький: НИРФИ, 1984. 29 с.
133. Белов Ю. И., Илясов Ю. П., Орешко В. В., Петровский А. А., Серкин А. С., Сизов А. С. Аппаратурный комплекс для миллисекундных пульсаров на 610 МГц // Препринт НИРФИ № 381. – Н. Новгород: НИРФИ, 1994. 13 с.
134. Алексеев В. А. Об оптимальной структуре длинноволнового радиоинтерферометрического комплекса для совместного решения астрофизических, астрометрических и геодинамических задач // Препринт НИРФИ № 127. – Горький: НИРФИ, 1979. 26 с.
135. Разин В. А., Цейтлин Н. М. К вопросу об измерении радиоизлучения атмосферы и поверхности земли // Изв. вузов. Радиофизика. 1962. Т. 5. С. 21–30.
136. Алексеев В. А., Кротиков В. Д. К вопросу об уменьшении влияния нестабильности электрической длины линии передач гетеродинного сигнала в системе радиоинтерферометра с высоким угловым разрешением // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. С. 651–653.
137. Алексеев В. А., Кротиков В. Д., Никонов В. Н., Троицкий В. С. Двухчастотный радиоинтерферометр с независимыми гетеродинами // Изв. вузов. Радиофизика. 1969. Т. 12. С. 644–650.
138. Цейтлин Н. М. К методике прецизионных измерений с помощью «искусственной Луны» // Изв. вузов. Радиофизика. 1963. Т. 6. С. 1265–1268.

139. Калинин А. В., Попереченко Б. А. Технологии высокоточных голографических измерений характеристик 64-метровых антенн ТНА-1500 // Электромагнитные волны и электронные системы. 2004. № 11. С. 33–39.
140. Калинин А. В. Использование радиоголографии для контроля деформаций больших полноповоротных зеркальных антенн // Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 9. С. 25–26, 49.
141. Дибай Э. А., Каплан С. Я. Размерности и подобие астрофизических величин. — М.: Наука, 1976. 399 с.
142. Абрамов В. И., Белов И. Ф., Виняйкин Е. Н., Разин В. А. Поляризацияционные исследования на РАТАН-600 в дециметровом диапазоне волн // Тезисы докладов на XVIII Всесоюзной конференции по радиоастрономии. — Иркутск, 1986. С. 61–62.
143. Абрамов В. И., Виняйкин Е. Н. Асимметрия поляризации характеристик радиоизлучения внутренних лепестков Центавра А по наблюдениям на волнах 13 и 31 см // Астрон. журн. 1991. Т. 68. С. 1174–1180.
144. Абрамов В. И., Белов И. Ф., Виняйкин Е. Н., Разин В. А. Исследования линейной поляризации радиоизлучения нескольких космических радиоисточников на волне 13 см с радиотелескопом РАТАН-600 // Препринт НИРФИ № 158. — Горький, 1983.
145. Виняйкин Е. Н., Каретти Э., Кортильони С., Поппи С. Линейная поляризация фонового галактического радиоизлучения на частоте 8,3 ГГц // Всероссийская астрономическая конференция, 6–12 августа 2001 г., Санкт-Петербург. Тезисы докладов. С. 35.
146. Виняйкин Е. Н., Каретти Э., Кортильони С., Кротиков В. Д., Поппи С. Луна как возможный эталон линейно поляризованного радиоизлучения в миллиметровом и сантиметровом диапазонах волн в проекте SPORt // Всероссийская астрономическая конференция 6–12 августа 2001 г., Санкт-Петербург. Тезисы докладов. С. 34–35.
147. Caretti E., Cortiglioni S., ... Vinayjkin E. N., Razin V. A., Sazhin M. V., Strukov I. A. // The Sky Polarization Observatory (SPORt) Programme. Astronomy Cosmology and Fundamental Physics, Proceedings of the ESO- CERN-ESA Symposium held in Garching, Germany, 4–7 March 2002. P. 425. 2003 asfp. conf. 425C.

148. Caretti E., Cortiglioni S., ... Vinayjkin E.N., Razin V.A., Sazhin M.V., Strukov I.A. // SPORt: an experiment aimed at measuring the large scale cosmic microwave background polarization Polarimetry in Astronomy. Edited by Silvano Fineschi. Proceedings of the SPIE, 2003. V. 4843. P. 305–313.
149. Морозов В.И. Воспоминания // Препринт НИРФИ № 513. — Нижний Новгород, 2007. 71 с.
150. Сборник: К 45-летию НИРФИ. Современность и перспективы // Препринт НИРФИ № 468. — Нижний Новгород, 2001. 80 с.
151. Степанянц О.Ф., Агафонов М.И., Митяков Н.А., Митякова Э.Е. 45 лет НИРФИ. 1956–2001 / под ред. С.Д. Снегирева // Препринт НИРФИ № 466. — Нижний Новгород, 2001. 44 с.

Разин Владимир Андреевич

**Очерк исследований в НИРФИ спектров и поляризации
нетеплового радиоизлучения Галактики
и дискретных космических источников**

Подписано в печать 12.05.2010 г. Формат 60 × 84/16.

Бумага писчая. Объем 2,05 усл. п. л.

Тираж 50. Заказ 5597

Отпечатано в НИРФИ

Нижегород, ул. Большая Печерская, 25