



**ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН им. Н.В. Пушкова
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

108840, г.Москва,г.Троицк
Калужское шоссе, д. 4, ИЗМИРАН

Тел. канц.:(495) 851-02-80
Факс:(495) 851-01-24

izmiran@izmiran.ru
http://www.izmiran.ru

ОКПО 02699636,

ОГРН 1035009350375,

ИНН/КПП 5046005410 / 775101001

28.02.2017 № 11203/91-12

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЗМИРАН

доктор физ.-мат. наук,

В.Д.Кузнецов

2017г.



Отзыв ведущей организации ФГБУН Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова Российской Академии Наук (ИЗМИРАН) на диссертацию Ксенофонтова Леонида Трофимовича "Теория ускорения космических лучей в остатках сверхновых", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Л.Т.Ксенофонтова посвящена исследованию ускорения космических лучей (КЛ) ударными волнами в остатках сверхновых (ОСН). ОСН считаются основным источником галактических КЛ. Наблюдения ОСН в радио, рентгеновском и гамма диапазонах электромагнитного излучения показывают, что в них ускоряются протоны и электроны до энергий порядка 100 ТэВ. С другой стороны в экспериментах по регистрации КЛ обнаружены особенности в спектрах различных компонент КЛ, такие как более жесткие чем спектры протонов спектры ядер, уплощение спектров КЛ при энергиях выше 100 ГэВ на нуклон и др. Эти особенности могут оказаться важными для понимания происхождения галактических КЛ, а также использованы для проверки различных моделей ускорения и распространения КЛ в Галактике. Таким образом, исследование процессов ускорения в ОСН важно как для интерпретации наблюдательных данных радио, рентгеновской и гамма- астрономии, так и для решения проблемы происхождения КЛ.

Новизна исследования и полученных результатов. Л.Т.Ксенофонтов вместе с коллективом сотрудников является автором основополагающей работы Бережко и др. 1994 по численному моделированию ускорения КЛ ударными волнами в ОСН. Диссертация посвящена развитию этой модели, включая расчеты различных типов

электромагнитного излучения, производимого в ОСН, и интерпретации соответствующих астрономических наблюдений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели и приводятся основные результаты и положения, выносимые на защиту.

В первой главе подробно описана модель ускорения частиц на движущейся ударной волне ОСН. Нестационарные сферически симметричные уравнения гидродинамики численно решаются вместе с конвекционно-диффузионным уравнением переноса для протонов, ядер и электронов. Давление ускоренных частиц влияет на гидродинамическую эволюцию ОСН и приводит к саморегуляции процесса ускорения энергичных частиц.

Вторая глава посвящена обсуждению важного для ускорения частиц явления - усиления магнитного поля в окрестности астрофизических ударных волн. Этот эффект был обнаружен во всех молодых ОСН по тонким рентгеновским волокнам на периферии остатков.

В третьей и четвертой главах модель применяется к конкретным молодым ОСН: SN1006, Тихо Браге и ОСН 1987А. Моделирование позволяет удовлетворительно объяснить наблюдаемые спектры радио, рентгеновского и гамма излучения, а в случае ОСН 1987А - также временные профили радиоизлучения.

В пятой главе диссертационной работы определены спектры КЛ, производимые в ОСН и ожидаемый химический состав КЛ. Итоговый спектр источников протонов близок к E^{-2} вплоть до энергии «колена» $3 \cdot 10^{15}$ эВ. Ожидается обогащение КЛ тяжелыми ядрами. Сделан вывод о том, что наблюдаемые спектры КЛ с энергиями до 10^{17} эВ могут объясняться протонами и ядрами ускоренными в галактических ОСН.

В шестой главе изучается производство вторичных частиц КЛ (ядер, позитронов, антипротонов) в ОСН. Сделан вывод о том, что ОСН могут давать значительный, а для позитронов определяющий вклад в наблюдаемые потоки вторичных частиц.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Научная и практическая значимость работы. Результаты, полученные в диссертации представляют интерес как для важной теоретической проблемы - происхождения КЛ, так и для различных приложений теории ускорения и распространения энергичных частиц – интерпретации данных рентгеновской, радио, гамма-астрономии, а также наземных и космических экспериментов по регистрации КЛ.

Из интересных **результатов** отметим предсказание о максимальном в настоящее время потоке гамма-излучения от ОСН 1987А, что важно для планируемых гамма-наблюдений.

Диссертация написана четко и ясно, использованные подходы и методы изложены подробно и являются хорошо обоснованными. Замечаний к оформлению работы нет.

Замечания:

1. В качестве замечания отметим, что значительное влияние старых ОСН на производство вторичных частиц КЛ (глава 6) вероятно противоречит последним наблюдениям гамма-излучения от старых ОСН. Наблюдаются мягкие спектры с показателем 2.5-3.0, что вероятно связано с выходом ускоренных частиц из остатка. Другие вторичные частицы (например позитроны) производятся с таким же мягким спектром и, следовательно, вряд ли могут дать существенный вклад при больших энергиях.

2. При рассмотрении в главе 6 возможного вклада производства вторичных КЛ, генерированных в остатках сверхновых, в наблюдаемую интенсивность КЛ, следовало бы учесть последние опубликованные данные наблюдений отношений потоков ядер бора к углероду и антипротонов к протонам в эксперименте AMS-02 и соответствующие расчеты потоков вторичных ядер, произведенных в межзвездном газе, см. например, работу R. Kappl et al. "AMS-02 antiprotons reloaded", JCAP 10(2015)034 (arXiv: 1506.04145).


Указанные замечания никоим образом не снижают важности проделанной работы. Диссертация Л.Т.Ксенофонтова "Теория ускорения космических лучей в остатках сверхновых" является научно-квалификационной работой посвященной актуальной проблеме астрофизики космических лучей и соответствует специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Работа выполнена на высоком научном уровне, содержит несколько новых интересных результатов, включая объяснение наблюдательных свойств нетеплового излучения молодых ОСН СН1006, Тихо Браге и СН1987А. Работа полностью удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Леонид Трофимович Ксенофонтов заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Работа заслушана и обсуждена на семинаре Отдела космических лучей ИЗМИРАН, протокол № 516 от 28 сентября 2016г.

Отзыв подготовил Зав.Лабораторией астрофизических исследований ИЗМИРАН д.ф.-м.н. В.Н.Зиракашвили.

Зав.Лабораторией астрофизических исследований ИЗМИРАН
д.ф.-м.н.


В.Н.Зиракашвили

Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук (ИЗМИРАН), 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4, ИЗМИРАН, тел. 8 (495) 851-0925, E-mail: zirak@izmiran.ru

