

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Поташова Марата Шамилевича
“Эффекты неравновесности и нестационарности в оболочках сверхновых”,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 — астрофизика и звёздная астрономия.

Изучение сверхновых является одной из важнейших задач современной астрофизики. Сверхновые звёзды играют большую роль в общей картине эволюции звёзд, галактик, химической эволюции Вселенной и чрезвычайно важны в космологии. В последние десятилетия объём наблюдательного материала возрос в десятки раз. Для интерпретации новых наблюдательных данных требуется построение моделей с более точным описанием физических процессов, протекающих в оболочках сверхновых, для более детального описания наблюдаемых спектров излучения. Диссертация М.Ш. Поташова посвящена исследованию эффектов нестационарности, и связанных с ней отклонениями от локального термодинамического равновесия в оболочках сверхновых. Начиная с простой двухуровневой водородной модели, которая исследована аналитически, автор переходит к учёту все большего числа уровней и переходов между ними в водородной плазме с металлическими примесями, на основе численных расчетов. На примере этих систем убедительно показана важность эффекта нестационарности в оболочках сверхновых типа II. В диссертации развивается новый метод определения расстояний до сверхновых типа II_p на космологических расстояниях. Этот метод позволяет измерять расстояния до далёких объектов, при наличии детального спектра, напрямую, не опираясь на лестницу космологических расстояний. Метод важен для уточнения шкалы космологических расстояний и может быть полезен для разрешения недавно возникшей проблемы расхождения в значениях параметра Хаббла, при его измерениях различными способами.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, приложения и списка использованной литературы, и изложена на 141 странице. Список литературы включает 200 наименований и охватывает широкий круг публикаций по темам затронутым в диссертации.

Во **введении** дан краткий обзор диссертационной работы, сформулированы цели работы, обсуждены её актуальность и новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, указан личный вклад, приведены данные по

апробации, и список из шести публикаций диссертанта. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Особое внимание уделяется изложению имеющегося расхождению в литературе, относительно важности роли эффекта нестационарной ионизации водорода в оболочках сверхновых.

В главе 1 доказана важность учёта эффекта нестационарности при рассмотрении простой чисто водородной кинетической системы (“два уровня + континуум”), в надфотосферной области оболочки сверхновой второго типа. Установлено, что в такой системе, для больших времен эффект нестационарности существенен при любых реалистичных условиях. В общем случае предложен критерий проверки статистического равновесия в системе на основе приближения времени релаксации. Показано, что использование стационарного приближения возможно, если время релаксации системы к статистическому равновесию не превышает характерного времени изменения параметров оболочки сверхновой. Автор показал, что на эволюцию времени релаксации сильнее других факторов влияет форма и темп изменения спектра окружающего жёсткого излучения в континууме между порогами Лаймана и Бальмера.

Глава 2 содержит детальное описание программного кода LEVELS, разработанного автором. Данный код позволяет моделировать кинетику ионизации и возбуждения газа в оболочке сверхновой, при использовании заданной гидродинамической и термодинамической модели оболочки, получаемой при использовании известного радиационно-гидродинамического кода STELLA. При помощи кода LEVELS, на примере модели SN 1999em диссертант продемонстрировал влияние нестационарной ионизации. Была рассчитана кинетика многозарядной плазмы в оболочке сверхновой, и полученные населенности уровней использовались при построении спектра излучения.

Численно исследована ситуация при добавлении дополнительных уровней в модель атома водорода, учёта тонкой структуры, добавлении металлических примесей и др.. Получено, что при учёте всех этих факторов, уменьшающих время релаксации, оно тем не менее остаётся намного большим, чем характерное время изменения параметров оболочки, и следовательно, эффект нестационарности необходимо учитывать. С помощью кода LEVELS автором показана несущественность этого эффекта для триплета атомов кальция (аналитическое доказательство этого факта приведено в первой главе диссертации).

Показано, что эффект нестационарности в случае сверхновой типа II_n уменьшает силу узкой компоненты H α на росте этапе кривой блеска, что продемонстрировано автором на примере SN 2006gy типа II_n. Автор убедительно показал, что эффект

нестационарности важно учитывать при кинетических расчётах в оболочках сверхновых, где присутствует водород.

В главе 3 описано применение нового прямого метода для определения фотометрических расстояний до SN II_n. Иллюстрируется работоспособность этого метода на примере сверхновой SN 2009ip. Основная идея метода подтверждается расчётами и состоит в том, что для мощных сверхновых типа II_n фотосфера в дни роста кризиса оказывается вблизи скачка плотности – плотного слоя, образованного при столкновении выброса с окружающей оболочкой. Скорость такого слоя можно определить по наблюдению широких эмиссионных компонент спектральных линий. Полученные диссертантом результаты свидетельствуют о возможности использования в космологии сверхновых типа II_n в качестве первичных индикаторов расстояния.

Отмечу недостатки диссертации:

1. Диссертантом подробно обоснована важность учёта эффекта нестационарности (стр. 14), поэтому остаётся непонятным, каким образом некоторым авторам, указанным в диссертации, удаётся получить хорошее согласие с наблюдениями без учёта этого эффекта. Было бы желательно более детально проанализировать причины такого расхождения.

2. В Главе 3 описывается метод прямого определения расстояний до SN II_n в приложении к двум сверхновым SN 2009ip и SN 2006gy. Здесь автор подробно разбирает сверхновую SN 2009ip, и лишь вскользь упоминает SN 2006gy, видимо из-за большой ошибки в определении расстояния, которую, тем не менее, желательно было бы представить..

3. В формуле 3.1 вводится “фактор дилуции”, относительно которого остается непонятным, совпадает ли он с дилуцией, обычно рассматриваемой в астрономии. Перечисленные выше замечания не меняют важности данной работы в целом, и не влияют на её высокую оценку. Диссертация М.Ш. Поташова представляет собою законченный труд, отражающий высокую квалификацию соискателя в разных областях астрофизики. Результаты работы многократно представлялись на различных конференциях и научных семинарах. Автореферат и опубликованные работы верно отражают содержание диссертации.

Диссертация Поташова Марата Шамилевича по актуальности избранной темы, научной новизне, практической значимости, достоверности и обоснованности решений и выводов удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК при Минобр-

науки РФ к кандидатским диссертациям, и её автор несомненно заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – “Астрофизика и звёздная астрономия”.

5 июня 2020 г.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
профессор,
главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32.
т 7 (495) 333-52-12, факс +7 (495) 333-12-48
e-mail: gkogan@iki.rssi.ru



Г. С. Бисповатый-Коган

Подпись доктора физ.-мат. Г. С. Бисповатого-Когана заверяю:
Учёный секретарь
ФГБУН Института космических исследований
Российской академии наук (ИКИ РАН)
Кандидат физико-математических наук



А. М. Садовский

