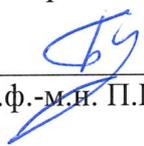




“УТВЕРЖДАЮ”

Зам. директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе


д.ф.-м.н. П.Н. Брунков

20 апреля 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию М.Ш. Поташова “Эффекты неравномерности и нестационарность в оболочках сверхновых”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия)

Диссертационная работа М.Ш. Поташова посвящена исследованию вопроса о важности учета эффекта нестационарности в оболочках сверхновых. Автором рассмотрено несколько модельных систем, построенных с постепенным учетом все большего числа различных факторов и процессов, происходящих в оболочках сверхновых. На их примере аналитическими выкладками и численным расчетом показана важность эффекта нестационарности в подавляющем большинстве случаев. Также развит метод определения расстояний до сверхновых типа II_p. Сверхновые звезды (и их остатки) являются одним из центральных объектов современной астрофизики, поскольку их изучение дает ответы на такие важные и актуальные вопросы, как рождение и эволюция звезд, ускорение частиц до высоких энергий, крупномасштабная эволюция вселенной, в том числе, эволюция ее химического состава и ряд других. Построение моделей сверхновых и корректный учет физических процессов, происходящих в их оболочках, безусловно, является актуальной задачей, решение которой позволит адекватно интерпретировать большой объем имеющихся наблюдательных данных. Кроме того, развитый диссертантом прямой метод определения расстояний до сверхновых типа II_p важен для проверки шкалы космологических расстояний и прояснения вопросов, связанных с темной энергией.

Диссертация состоит из введения, трех глав основного содержания, заключения и списка литературы из 200 наименований. Полный объем диссертации – 141 страница текста с 24 рисунками и 3 таблицами.

Во введении дана общая характеристика работы и используемых методов, обсуждены ее актуальность и новизна, сформулированы цели и поставлены задачи, оценена научная и практическая значимость исследования. Представлен обзор современного состояния исследуемой области с акцентом на имеющуюся неоднозначность в оценке важности эффекта нестационарной ионизации водорода в оболочках сверхновых. Приведены данные по апробации результатов работы, а также список публикаций автора с указанием его личного вклада.

В первой главе исследован вопрос о важности учета эффекта нестационарной ионизации для рассматриваемой простой модельной системы, представленной двухуровневым атомом водорода, помещенным в заданное излучение в континууме в некоторой надфотосферной области оболочки сверхновой второго типа. Установлено, что в пределе больших времен эффект нестационарности необходимо учитывать при любых реалистичных условиях. Для определения важности учета эффекта нестационарности в общем случае, построен критерий проверки статистической равновесности системы на основе времени релаксации. Если время

релаксации системы к статистическому равновесию по отношению к характерному времени изменения параметров сверхновой мало, то можно использовать стационарное приближение. В обратном случае необходимо учитывать эффект нестационарности. Изучена эволюция времени релаксации и показано, что ключевыми факторами, влияющими на время релаксации системы, являются интенсивность и скорость изменения окружающего жесткого излучения в континууме между порогами Лаймана и Бальмера. Аналитически показано, что, например, для переходов триплета атомов кальция эффект нестационарной ионизации не является существенным.

Во второй главе приведены детали моделирования физических процессов в оболочке сверхновой с помощью кода LEVELS, разработанного диссертантом. Этот код использует гидродинамическую и термодинамическую модель оболочки сверхновой, которая может быть построена с помощью широко используемого и хорошо верифицированного пакета STELLA. С помощью LEVELS автор рассчитал кинетику многозарядной плазмы в оболочке сверхновой и, используя полученные населенности уровней, построил спектры излучения. На примере семи модельных систем численно исследовано влияние различных факторов на эффект нестационарности. Показано, что добавление дополнительных уровней в модель атома водорода и учет тонкой структуры слабо влияет на эффект нестационарности. Учет ударных процессов и добавление металлических примесей уменьшают время релаксации, однако оно все равно остается намного большим, чем характерное время изменения параметров оболочки, и следовательно, эффект нестационарной ионизации присутствует. С помощью кода LEVELS было подтверждено отсутствие такого эффекта для триплета атомов кальция (аналитически это показано в первой главе диссертации). Показано, что эффект нестационарности в случае сверхновой типа II_p уменьшает силу узкой компоненты H α в дни роста кривой блеска, в отличие от проявления этого эффекта для сверхновой типа II_R.

В третьей главе описано применение разработанного численного алгоритма для расчета фотометрических расстояний до сверхновой типа II_p методом плотного слоя (DSM). Работоспособность этого метода проиллюстрирована на примере SN 2009ip. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования сверхновых типа II_p в качестве первичных индикаторов расстояния.

Среди наиболее важных результатов, полученных автором диссертации, стоит отметить следующие:

1. Разработан оригинальный код LEVELS, предназначенный для расчета кинетики ионизаций и возбуждений атомов и ионов в оболочке сверхновой при заданной гидродинамической и термодинамической структуре такой оболочки. Алгоритм этого кода не опирается ни на какие предположения о термодинамическом равновесии и позволяет в приближении Соболева моделировать спектры оптического излучения, формирующегося в разлетающихся оболочках сверхновых звезд.
2. Получен критерий, позволяющий определить важность эффекта нестационарности системы атомов и ионов в оболочке сверхновой в широком диапазоне масштабов времени. Численно исследована эволюция времён релаксации для различных подобных систем. Показано, что добавление дополнительных уровней в модель атома водорода и учёт тонкой структуры слабо влияют на эффект нестационарности. Учет же ударных процессов и наличия примесей металлов сокращают время релаксации, однако этого сокращения недостаточно для того, чтобы эффектом нестационарной ионизации можно было бы пренебречь.

3. При помощи кода LEVELS количественно показано, что указанный выше эффект нестационарности разным (противоположным) образом проявляется для сверхновых звезд типа II^p и типа II_n.

4. Разработан алгоритм расчета фотометрических расстояний до сверхновых звезд типа II_n методом плотного слоя (DSM). Разработанный алгоритм позволяет использовать для оценки расстояния множество наборов наблюдательных данных и учитывать неопределенности каждого из используемых наблюдений.

Выводы и положения диссертации соответствуют полученным и представленным результатам. Существенных недостатков представленная диссертация не содержит, имеются лишь небольшие замечания, в основном технического и стилистического характера:

(i) Результат, представленный на рисунке (1.3) [стр. 34], демонстрирует, что время сходимости решений диссипативной системы в цилиндр-трубку велико, оно составляет десятки дней. Далее показано, что включение ударных процессов может приводить к "сжатию" структур в цилиндр-трубку быстрее – время сходимости составит всего несколько тысяч секунд. Это говорит о ключевой роли ударных процессов в рассматриваемой ситуации. В главе 1 проведен замечательный объемный анализ упрощенной системы уравнений (аналитическими методами), позволяющий объяснить многие свойства рассматриваемой физической системы, соответствующей системе уравнений и ее решений, где учитываются только радиативные процессы. Представляется, что включение в эту модель ударных переходов, и обсуждение их роли упростило бы понимание дальнейших результатов. Подробно система кинетических уравнений с учетом ударных переходов приведена в главе 2, но решается она, вероятно, численными методами, что не позволяет увидеть, как именно учет ударных переходов меняет рассматриваемую ситуацию.

(ii) Еще одним аспектом влияния столкновительных переходов на общую ситуацию может быть то обстоятельство, что достаточно интенсивные столкновительные переходы могут привести к значительному нарушению режима частичного перераспределения по частоте. Этот вопрос в диссертации не исследован, хотя в свете учета поглощения резонансных квантов в континууме он может оказаться довольно важным.

(iii) В выражении для вероятности поглощения резонансных квантов $n \rightarrow m$ ($n > m > 1$) в континууме (2.22) присутствует зависимость от величины R , которая определена как безразмерная скорость рекомбинации на второй уровень (формулы 1.19–1.27). Было бы желательно пояснить в тексте, какое отношение эта величина имеет к процессу поглощения фотона $n \rightarrow m$ в континууме, и как она может повлиять на вероятность гибели такого фотона.

(iv) На стр. 80 указано, что "Условие (2.26) нарушается почти всюду". Употребление выражения, имеющего конкретный математический смысл (везде за исключением множества меры ноль) в контексте данной работы нуждается в пояснении.

Указанные замечания не снижают высокой оценки диссертации в целом. Представленная работа является законченным научно-квалификационным исследованием, которое выполнено на высоком научном уровне и вносит значительный вклад в развитие актуального направления современной астрофизики – исследований сверхновых звезд.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Основные результаты опубликованы в ведущих мировых научных журналах, они неоднократно представлены на научных семинарах и конференциях по астрономии и астрофизике, получили заслуженное признание специалистов в России и за рубежом.

Результаты, полученные в диссертации М.Ш. Поташова, могут быть использованы для исследований, проводимых в ГАИШ МГУ, ИНАСАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИТЭФ, ИЯИ РАН и ряде других учреждений.

Диссертационная работа М.Ш. Поташова была обсуждена на научном семинаре лаборатории Астрофизики высоких энергий ФТИ им. А.Ф. Иоффе, проведенном в режиме телеконференции. По общему мнению участников семинара представленная работа является законченным исследованием, выполнена на высоком уровне, тематически актуальна, содержит интересные оригинальные результаты и ценные для практического использования выводы.

Диссертационная работа М.Ш. Поташова отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия).

Отзыв составил:

Руководитель отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, д.ф.-м.н. по специальности 01.03.02, чл.-корр. РАН



/А.М. Быков/

194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26,
электронный адрес: byk@astro.ioffe.ru, телефон: +7(812)2927160.
20 апреля 2020 г.