

КОНЕЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ЗВЕЗДНОЙ ЭВОЛЮЦИИ: ПРИРОДА, ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ И ГЕНЕЗИС

КАСУМОВ Ф.К.

Институт Физики АН Азербайджана

В статье подводятся основные итоги исследований физической природы конечных продуктов эволюции звезд, проведенных за последние более чем 30 лет с начала развития этого направления исследований в Республике. Дается краткий обзор основных работ сотрудников лаборатории «Физика источников космических лучей», их вклад в формировании современных представлений о природе и происхождении белых карликов, нейтронных звезд, черных дыр, рентгеновских и радио пульсаров.

В шестидесятых годах нашего столетия в астрофизике произошли революционные изменения. Были созданы приборы нового типа – чувствительные радиотелескопы, счетчики рентгеновских квантов и т.д. Приборы (рентгеновские и гамма детекторы) были вынесены за пределы атмосферы на ракетах, а затем и на спутниках. Исследования неба начали проводиться не только в оптическом, но и во всех других диапазонах длин волн электромагнитного излучения. Результатом стала лавина интереснейших открытий – были обнаружены реликтовое излучение Вселенной, квазары, пульсары, рентгеновские звезды. За открытие пульсаров Нобелевская премия впервые была присуждена астроному. Интерес к новым открытиям вызвал приток в астрономию физиков, зародился новый раздел науки – релятивистская астрофизика. Это наиболее перспективная и быстро развивающаяся область астрофизики: в наши дни более половины статей, публикуемых основными астрономическими журналами мира, посвящено исследованиям релятивистских космических объектов (нейтронных звезд (НЗ) и черных дыр (ЧД), являющихся конечными продуктами эволюции звезд) в различных их проявлениях.

Нейтронные звезды были теоретически предсказаны еще в тридцатые годы, но изучение их возможных свойств и проявлений и сейчас далеко от завершения.

Исследование релятивистских объектов мы начали еще в 60-х годах. Нами были впервые получены параметры вращающихся НЗ в эйнштейновском приближении (О.Х. Гусейнов, В.Ц.Гурович, ЖЭТФ, письма в редакцию, 1, НЗ, 1965) – эта задача в более простом ньютоновском приближении была решена другими авторами через два года. Мы первыми показали, что НЗ, аккрецирующая межзвездный газ, может стать источником импульсного рентгеновского излучения с периодом, равным периоду вращения НЗ (П. Р. Амнуэль, О. Х. Гусейнов, Известия АН Азерб. ССР, №3, 1968). О возможности аналогичного пульсирующего излучения НЗ в радиодиапазоне писал в то же время и Ф. Паччини, однако, никто тогда не обратил должного внимания на эти предсказания. Пульсары были открыты совершенно неожиданно в конце 1967 года радиоастрономами, наблюдавшими мерцания радиоизлучения на межпланетной плазме. Эти пульсирующие радиосигналы были даже сначала приняты за послание внеземной цивилизации, и лишь спустя полгода была правильно интерпретирована их физическая природа. Пульсарами оказались одиночные НЗ со сложным и до сих пор не до конца понятным механизмом излучения.

В связи с бурным развитием этой области астрофизики в 1971 году в ШАО АН Азербайджанской ССР была создана лаборатория Физики звездных атмосфер, целью которой была теоретическое и наблюдательное исследование релятивистских объектов в Галактике. Исследования лаборатории проводились по четырем основным направлениям:

1. Теоретическое исследование процессов, происходящих во время образования релятивистских объектов, в частности, потеря вещества при коллапсе.

2. Теоретическое исследование процессов, происходящих в окрестности уже образовавшихся релятивистских объектов, как одиночных, так и в составе кратных систем.

3. Теоретические исследования статистического характера, связанные с оценкой числа релятивистских звезд в Галактике, распределению этих объектов в Галактике, вкладом их в массу Галактики и т.д.

4. Теоретические исследования эволюционной связи релятивистских объектов с их возможными предшественниками.

Все перечисленные направления исследований являются наиболее актуальными в релятивистской астрофизике.

По первому направлению были проведены исследования процесса коллапса вращающейся звезды. Показано, что потеря массы в ходе коллапса происходит из-за возникновения ротационной неустойчивости – от звезды отделяется вращающаяся оболочка, которая может впоследствии рассеяться. Для упрощения расчетов была введена так называемая псевдополитропная модель звезды, дающая хорошее приближение к реальности. Расчеты показали, что масса, которая может отделиться во время коллапса, невелика и не превышает 10% в ньютоновском и 1,6% в релятивистском приближениях. При этом внутренние частицы оболочки достигают своих ближайших к центру звезды расстояний раньше, чем внешние, и возникает ударная волна, распространяющаяся наружу. Однако, для объяснения феномена Сверхновой недостаточно одного лишь отделения оболочки от звезды. Чтобы объяснить возникновение больших скоростей выброса оболочки при взрыве Сверхновой был привлечен механизм магнитной накачки. Были проделаны многочисленные модельные расчеты сбросы оболочки давлением закрученного вокруг ядра звезды магнитного поля и показано, что поле дипольного типа не может обеспечить сброс оболочки с большой скоростью, но поле радиального типа способно объяснить феномен Сверхновой. При этом может сброшена масса порядка $0,1 M_{\text{SUN}}$ со скоростью до 10 тыс. км/сек. Необходимые для этого потоки магнитного поля и скорости вращения должны превышать характерные значения для Солнца. Была рассмотрена также роль магнитной накачки на образование планетарных туманностей (ПТ). Показано, что при определенных условиях магнитная накачка может объяснить образование объектов типа ПТ. Расчеты показали, что звезды с начальными магнитными потоками порядка солнечного могут сообщить расширяющейся оболочке наблюдаемые в ПТ скорости $\sim 10\text{-}20$ км/с, если закон изменения магнитного поля имеет вид $H \sim r^{-k}$, где k близко к 2 [1-4].

По второй проблеме было проведено исследование процесса аккреции вещества релятивистской звездой. Исследованы несколько случаев: аккреция вещества одиночной релятивистской звездой и входящей в двойную систему. Показано, что аккреция вещества одиночной релятивистской звездой не может быть значительна, энергетический выход от такого процесса не превышает 10^{29} эрг/сек. Поэтому, возможности наблюдения процесса аккреции вещества одиночной релятивистской звезды малы. Исследовано: как влияют на параметры аккреции характеристики межзвездного газа: его плотность, температура и магнитное поле.

В случае аккреции вещества релятивистской звездой в двойной системе рассчитано движение частиц от нормального компонента к нейтронной звезде. Впервые показано, что вещество не может свободно течь на поверхность нейтронной магнитной звезды. На расстоянии 10^8 см от ее центра оно останавливается магнитным полем звезды, здесь возникает фронт захвата, и вещество начинает стекать на магнитные полюса звезды вдоль силовых линий ее магнитного поля. Впоследствии это положение стало основным в теории рентгеновских пульсаров, признанной в мировой литературе [5-7].

Исследование пульсаров в нашей лаборатории были начаты еще в то время, когда обзоры неба, в ходе которых открывались новые пульсары, были еще неполными и слабо чувствительными. Но и на этом скудном наблюдательном материале нам удалось сделать ряд выводов о генезисе и эволюции пульсаров. Впоследствии после получения, особенно в последние десятилетия, огромного наблюдательного материала, наши выводы получили свое подтверждение. В частности, нами была выдвинута гипотеза о том, что пульсары возникают при коллапсе массивных ОВ-звезд. Что процесс коллапса и образование нейтронной звезды сопровождается вспышкой Сверхновой [8], причем одновременно возникает и расширяется в межзвездное пространство газовая оболочка - остаток вспышки Сверхновой. Эта гипотеза, сейчас общепринятая, в свое время встречала возражения, например, многие исследователи считали, что НЗ возникает без вспышки Сверхновой, в результате «тихого» коллапса

Первый качественный скачок в исследовании пульсаров был совершен в 1978 году с появлением обширного и высокочувствительного обзора южного неба. Число известных пульсаров тогда превысило 300 – вдвое больше, чем было известно до проведения обзора. Как и многие другие зарубежные группы исследователей, мы использовали этот обзор для тщательного исследования природы и эволюции одиночных НЗ – пульсаров.

Невозможно правильно оценить свойства объекта, не зная, на каком расстоянии он находится. Для уточнения расстояния до пульсаров необходимо было знать, как распределены в Галактике свободные электроны. Поэтому первым этапом наших исследований стало создание новой методики определения электронной концентрации в Галактике [9]. В основу методики лег многофакторный статистический анализ с использованием данных о распределении в Галактике различных объектов, прямо или косвенно влияющих на величину электронной концентрации. Для ее оценки привлекались данные о самих пульсарах. Мы впервые учли неоднородности в распределении электронов на различных расстояниях и различных направлениях от Солнца. Полученное распределение позволило оценить расстояния до всех пульсаров и определить их основные параметры [10]. В отличие от оценок других авторов, наши данные оказались статистически корректны для большинства (более 90%) пульсаров и лучше всего соответствовали параметрам, полученным для тех из них, для которых есть независимое определения расстояний (например, по поглощению импульсного излучения на атомах нейтрального водорода)

Полученные параметры позволили нам корректно исследовать распределение пульсаров в Галактике с учетом возможных эффектов селекции (например, «потеря» слабых и далеких пульсаров) [11,12]. Впервые было обнаружено, что пульсары образуют около центра Галактики плоское кольцо. Плотность числа пульсаров в кольце незначительно растет в направлении на галактический центр, достигает максимума на расстоянии 5-6 кпс от центра, а затем уменьшается. Толщина кольца около 8 кпс [12-14]. Существование кольцевого распределения пульсаров было впоследствии подтверждено и в работах других исследователей, в том числе в работе австралийских радиоастрономов, авторов высокочувствительного обзора неба.

Нами была получена новая функция светимости пульсаров [10,13,15], показано, что число слабых пульсаров растет лишь до светимости около $3 \cdot 10^{26}$ эрг/с. Мы сделали вывод о том, что, достигнув возраста около 10 миллионов лет, когда светимость уменьшается до критического значения, пульсар обычно выключается. Методика оценки среднего возраста пульсаров была предложена нами впервые в [11, 14]. Мы оценили частоту рождения пульсаров (один пульсар каждые 40 лет), их средний возраст и полное число пульсаров в Галактике. Частота образования пульсаров хорошо согласуется с частотой вспышек Сверхновых [14,16,17], что подтвердило нашу гипотезу о рождении пульсара при вспышке Сверхновой. С целью исследования генетики происхождения пульсаров было изучено пространственное распределение, как галактических остатков,

так и вспышек Сверхновых I и II типа в галактиках различного морфологического типа. Проведено сравнительное изучение распределения этих объектов, частот вспышек Сверхновых, рождения пульсаров и «умирания» звезд с различными массами. Все это позволило сделать важный вывод о генезисе пульсаров [13,15,18,19].

Впервые показано, что рождение пульсаров непосредственно связано со вспышками Сверхновых II типа и что «прародителями» пульсаров являются звезды, которые в начале своей эволюции имели массу в среднем более $5 M_{\odot}$. Таким образом, на более полном и статистически однородном материале мы подтвердили выдвинутую еще в 1974 году гипотезу о происхождении пульсаров из массивных звезд так называемой плоской галактической популяции [8].

В последующие годы эти идеи подвергались дальнейшей детализации и углублению по мере накопления все более обширного и надежного наблюдательного материала. Выводы, сделанные в первом цикле работ по происхождению и эволюции нейтронных звезд, полностью подтвердились; удалось получить новые результаты, связанные с характером излучения пульсаров, изменением со временем параметров этого излучения, а также уточнить распределение в Галактике и характер эволюции остатков вспышек Сверхновых звезд, используя данные о неоднородностях межзвездной среды. Результаты этих исследований, охватывающих 80-е годы, обобщены в статьях [20-29]. Впервые метод классификации галактических остатков сверхновых по типам, при отсутствии данных о кривых блеска и химического состава. Получена новая зависимость поверхностной радиояркости от диаметра для ОСН в свете современных представлений о структуре межзвездной среды (МЗС). Показано, что влияние регулярной компоненты МЗС полностью подавляется неоднородностями среды. Отметим, что в этих довольно значительных по объему статьях были детально проанализированы возможные эффекты селекции, ряд из них были выявлены нами впервые [23,27] и с учетом наблюдательных данных во всех диапазонах длин волн оценены физические характеристики ОСН и проведены наиболее корректные исследования вопросов эволюции и генезиса пульсаров и ОСН.

С целью выявления генезиса релятивистских звезд, установления масс их прародителей в рамках 3 и 4 пунктов основных направлений исследований лаборатории был проведен также цикл работ по исследованию белых карликов (БК). Исследования 70-80-х годов указывали на возможность взрывного характера образования этих звезд и массы их предшественников доводилось до $8 M_{\odot}$. Поэтому, необходимо было детальное исследование этих вопросов, вместе со сбором и систематизацией наблюдательных данных по этим объектам, уточнением основных параметров (расстояния, массы, температуры, и т.д.). Был составлен каталог БК, включающий в себе все основные параметры этих объектов, который был издан отдельной книгой в Голландии [30]. На базе этого каталога и критического анализа данных было заново пересмотрена шкала расстояний до планетарных туманностей, которая лучше соответствовала наблюдательным данным. Кроме того проанализирована методика определения температур ядер ПТ и предложен новый полуэмпирический метод определения температур. Критически пересмотренная методика определения масс БК и центральных звезд ПТ позволила получить значения масс для более 100 центральных звезд ПТ, и показать, что распределение масс этих звезд широкое [36]. С учетом влияния эффектов наблюдательной селекции и остывания получено новое распределение масс одиночных БК и БК в визуально-двойных системах и показана идентичность этих распределений [33].

Проведено сравнительное исследование распределения масс БК (одиночных, в широких системах и в катаклизмических двойных) с учетом эффектов селекции с массами звезд на главной последовательности. Выявлены и исследованы двойные системы, в которых можно ожидать присутствие более массивных, чем БК конечных продуктов звездной эволюции – НЗ и ЧД [37].

НЗ обычно проявляют себя как радиопульсары, будучи одиночными объектами. Поскольку большинство звезд в Галактике являются членами двойных или кратных систем, то присутствие релятивистских звезд в этих системах могут проявиться в новом качестве, в частности, как рентгеновские звезды (РЗ).

Причиной рентгеновского излучения является аккреция – вещество, теряемое нормальной звездой, частично захватывается полем тяжести НЗ и излучает в рентгеновском диапазоне. Исследования РЗ ведутся с помощью приборов, устанавливаемых на ракетах и спутниках. В течение ряда лет этого периода мы занимались систематизацией и анализом рентгеновских наблюдений. Это позволило создать наиболее полный в тот период каталог рентгеновских источников. Без такого каталога развитие рентгеновской астрофизики (наблюдательной и теоретической) было бы невозможно. Дело в том, что до этого РЗ наблюдались в течение 20 лет различными группами исследователей с помощью приборов различной чувствительности и разрешающей силы. Из-за этого сведения о многих источниках оказались противоречивыми – часто даже не удавалось точно определить наблюдается в данной области неба одна РЗ или несколько. Составление каталога, поэтому явилось непростым сбором и систематизацией данных, но анализом противоречивых сведений. В результате этой работы был создан каталог 677 источников, куда были включены все сведения о них (например, координаты, рентгеновские интенсивности), заново рассчитаны спектры и величины температур, новый анализ отождествлений и т.д. Первое издание каталога было опубликовано в США, а второй вариант каталога был опубликован отдельной книгой в издательстве Рейделя, Голландия [38]. Создание каталога позволило решить многие задачи рентгеновской астрофизики.

Во-первых, удалось доказать гипотезу, выдвинутую нами еще в 1974 году о том, что в Галактике существуют не только яркие РЗ, как считалось в то время, но есть популяция слабых источников, в сотни раз слабых по светимости, но гораздо более многочисленных. В 1974 году популяция слабых РЗ оспаривалось большинством исследователей, но уже в 1976 году такие РЗ были экспериментально обнаружены во время полета английского спутника и американского «САС-3». Сейчас в каталоги включены уже десятки реально обнаруженных РЗ этого типа. До последнего времени, однако, оставался открытым вопрос о числе слабых РЗ в Галактике. На основании данных каталога мы оценили, что число таких должно составлять несколько тысяч [39]. Согласно нашей гипотезе РЗ – это двойные системы. Одна звезда, в которой нейтронная, а другая является карликом, подобным Солнцу. В последние десятилетия эта гипотеза так же была подтверждена отождествлением слабых с конкретными немассивными двойными системами).

Анализ сведений, включенных в каталог, позволили решить и проблему так называемых рентгеновских Новых – объектов, которые видны как рентгеновские звезды лишь в течение нескольких недель или месяцев. Еще в 1974 году [40] на основании разрозненных данных мы выдвинули гипотезу о том, что рентгеновские Новые – это активная фаза в эволюции слабых немассивных РЗ, речь о которых шла выше. В то же время мы построили первую обобщенную кривую блеска таких источников. Наблюдения, проведенные в 1975-77 гг. с бортов спутников «Ариэль» и «САС-3», а позднее с борта обсерватории «Эйнштейн» (эти данные также были включены нами в каталог), подтвердили как вывод о природе рентгеновских Новых, так и их кривую блеска. Анализ наблюдений показал, что изучение некоторых рентгеновских Новых не исчезает полностью – яркость источника выходит на стационарный режим слабого источника [41]. Более того, конкретные отождествления (например, РЗ А 0620-00, оптическое наблюдения которого проводились и в ШАО АН Азерб. ССР [42]) подтвердили, что рентгеновские новые, как и стабильные слабые источники являются двойными системами, одна из звезд которых нейтронная, а другая – карликовая звезда.

Анализ данных, приведенных в каталоге, позволили нам оценить число стабильных источников в Галактике, число слабых источников, число рентгеновских Новых и других классов РЗ [43]. Найдено, как меняется во время рентгеновской вспышки спектр излучения, сделано заключение о физической природе вспышек.

В 90-е годы с запуском специализированных высокочувствительных м с большими разрешением рентгеновских спутников Beppo-Sax, XMM-Newton, Chandra и др., значительно улучшены параметры РИ, что привело к открытию новых форм проявления нейтронных звезд (такие как аномальные X-ray пульсары, АХР, мягкие повторные гамма источники, SGR, и др.) которые в настоящее время интенсивно исследуются. В сотрудничестве с турецкими учеными нами созданы электронные версии каталогов как массивных (HMXB), так и маломассивных (LMXB) рентгеновских источников.

Проблема нейтронных звезд двойных систем тесно связана с общей проблемой эволюции двойных систем – необходимо знать, в каких двойных системах возможно возникновение НЗ, как связано возникновение НЗ с процессом потери массы нормальной звездой. Поскольку возникновение НЗ сопровождается вспышкой Сверхновой, то необходимо знать, в каких случаях распадается двойная система во время такой вспышки. Все эти проблемы непосредственно связаны с происхождением радиопульсаров и образованием НЗ в двойных системах.

На основании анализа наблюдательного материала мы показали, что в ходе эволюции любая звезда (одиночная или в составе двойной системы) теряет до 75% своей начальной массы, причем потеря происходит в основном на конечных этапах эволюции – в стадии красного гиганта [44,45]. Вещество, которое теряет одиночная звезда, уходит в межзвездное пространство. В двойной системе ситуация сложнее – здесь возможно, что вещество, которая теряет одна из звезд, полностью или частично захватывается вторым компонентом. В основном, расчеты эволюции двойной системы проводились теоретиками именно в предположении полного переноса вещества с одной звезды на другую. Мы показали [44-48], что практически все вещество, теряемое нестабильной звездой, вытекает из двойной системы в межзвездное пространство и лишь небольшая доля захватывается вторым компонентом. Эти выводы были сделаны на основе не только оптических [43,47], но и рентгеновских наблюдений [49]. Из сделанного следует два принципиально важных заключения:

во-первых, даже очень массивные в начале эволюции звезды приходят к стадии предколлапса, имея массу вряд ли больше 2-3 M/SUN. При коллапсе такой массы не могут образоваться черные дыры и, поэтому, в подавляющем большинстве случаев результатом коллапса становится рождение НЗ [8,13,44,50];

во-вторых, вспышки СН I и II типов не могут сильно различаться ни по энергетике, ни по массе [8,44,51,52]. Эти выводы в последние годы также получили подтверждение и признание астрофизиков. Исследование, как пульсаров, так и РЗ позволило сделать вывод о том, что большинство двойных систем (некоторые массивные и подавляющее большинство немассивных) распадаются при вспышке СН [44,51,53].

В 90-х годах в связи с известными политическими событиями и распадом СССР после некоторого спада темпов исследований, было налажено тесное сотрудничество нашей лаборатории (с февраля 1981 года находится в Институте физики АН Азербайджана) с турецкими исследователями. В этот период основные базовые положения и выводы, полученные нами в предшествующий период исследований, получили дальнейшее развитие и обобщение, основанное на анализе все нарастающего потока наблюдательного материала по релятивистским объектам.

Был выполнен цикл работ по проблемам генезиса конечных продуктов звездной эволюции: БК, НЗ, и остатков Сверхновых, опубликованных в турецких, российских и европейских журналах.

Остановимся на лишь некоторых из наиболее важных результатов этого периода, которые в рамках 3 и 4 пунктов основных направлений исследований лаборатории, также получили широкое признание научной общественности.

Очень важным наблюдательным свойством остатков сверхновых (ОСН) является их нетепловое радиоизлучение. Поэтому, для понимания природы этих объектов принципиальное значение имеет установление происхождения релятивистских электронов, ответственных за синхротронное радиоизлучение. Наиболее перспективным механизмом, ответственным за ускорение частиц в ОСН оказался открытый в конце 70х годов механизм регулярного ускорения (МРУ) заряженных частиц на фронте ударной волны. Наиболее важные результаты нами получены в применении этого механизма к ОСН оболочечного типа. Одним из первых работ, посвященных применению МРУ к статистике ОСН, была наша работа [29], где было показано перспективность применения этого механизма для объяснения природы и эволюции радиоизлучения ОСН.

Хотя МРУ, будучи разновидностью механизма Ферми I, прост для физического описания, но остается нерешенной так называемая проблема инжекции: какие частицы и в каком количестве подвергаются ускорению на фронте УВ. Теоретическое решение этой проблемы сталкивается с принципиальными трудностями из-за отсутствия законченной теории сильной турбулентности плазмы. Нами впервые была предложена возможность наблюдательной проверки идеи о том, что ускорению подвергаются электроны с «хвоста» максвелловского распределения нагретых на ударной волне электронов [54,55]. Был предсказан степенной рентгеновский спектр в области энергий ≥ 20 кэВ от этих электронов в ОСН Кассиопея А. Действительно, в последующем такие спектры были обнаружены от ОСН Кассиопея А. Для эффективности ускорения электронов в ОСН Кассиопея А было получена оценка, что ускорению подвергается каждая из 10^3 тепловых электронов [56]. Эти наши результаты получили признание среди специалистов по рентгеновскому излучению и регулярному ускорению электронов в ОСН во всем мире. Для объяснения расхождения величины спектрального индекса радиоизлучения Кассиопеи А с величиной, предсказываемой МРУ, нами одним из первых была предложена двухкомпонентная природа радиоспектра этого ОСН [57,58]

В работе [59] была построена функция распределения электронов в оболочке ОСН с учетом ее точной структуры и ее изменения со временем при уменьшении интенсивности УВ. Отметим, что эта работа была отмечена как значительный результат в мировой астрофизике в 1993 году [60].

Была построена модель, описывающая эволюцию радиоизлучения на стадии Седова, основанная на том, что радиоизлучающие электроны ускоряются МРУ с тепловых энергий [61]. Сравнение с наблюдательными данными, а также Монте-Карло моделирование [62] показали, что для подавляющего количества наблюдаемых ОСН МРУ может послужить единственным источником происхождения радиоизлучающих электронов в ОСН оболочечного типа. Некоторые предсказания, сделанные на основе модельных расчетов, получили наблюдательное подтверждение. В частности, обнаружен предсказанный на основе модели избыток числа остатков со значениями спектральных индексов 0.6.

Исследована применимость МРУ для объяснения фонового нетеплового радиоизлучения Галактики. С этой целью построена модель эволюции радиоизлучения ОСН, расширяющихся в разреженной фазе межзвездной среды с учетом противодействия окружающей среды. [63-65]. Получено, что при характерных для межзвездной среды магнитных полях, ОСН в разреженной фазе межзвездной среды в конце своей жизни дают синхротронное радиоизлучение весьма близкое по спектральным характеристикам с нетепловым фоновым излучением Галактики. В частности спектральный индекс радиоизлучения ОСН в конце своей жизни имеет почти универсальное значение, т.е., он остается ограниченной в пределах 0.70 - 0.75 и зависимость от плохо известных параметров модели очень слабая.

Исследовано происхождение радиоизлучения оболочечных остатков сверхновых больших диаметров, $D \geq 100$ пс. Показано, что механизм Ван дер Лаана не в состоянии объяснить радиоизлучение таких остатков. Механизм регулярного ускорения на фронтах ударных волн является наиболее реальным источником для генерации релятивистских электронов в оболочках остатков больших размеров. При этом выявлены две возможные пути для объяснения происхождения радиоизлучения: 1) за происхождение радиоизлучающих электронов целиком ответственен регулярный механизм, но при этом энергии вспышек, в результате которых образовались эти остатки, $(2-3) \cdot 10^{51}$ эрг, что превышает 2-3 раза обычно принимаемые значения. 2) электронный компонент космических лучей, существующих в межзвездной среде, вносит дополнительный вклад в концентрацию радиоизлучающих в оболочке электронов. При этом если реализуется первая возможность, то остатки сверхновых больших размеров (большинство которых не наблюдаемы) ответственны за фоновое нетепловое радиоизлучение Галактики. На основе сравнения модельных расчетных данных с наблюдательными данными получено, что ускорение электронов на ударных волнах адиабатических остатков сверхновых происходит в режиме пробных частиц и их концентрация в области ударной волны составляет $(2-4) \cdot 10^{-4}$ от фоновой концентрации.

К середине 90-х годов были обнаружены большое количество миллисекундных радиопульсаров в шаровых скоплениях, где по сложившимся ранее представлениям они не должны были быть. Длительный период наблюдений радиопульсаров позволил для некоторых из них оценить непосредственно величину показателя торможения, который оказался меньше значения соответствующего чисто магнито-дипольному излучению. Это же обстоятельство, к середине 90-х годов позволило определить величину собственного движения для более чем 100 объектов, причем для 40 из них точность измерения $\leq 50\%$. По этим данным скорости их пространственного движения были увеличены до ~ 500 км/с. Это обстоятельство также приводило к противоречию с теоретическими идеями о происхождении НЗ, даже с учетом распада двойных систем. Все это требовало анализа возникших проблем и адекватного новым наблюдательным данным теоретического осмысления природы и происхождения этих объектов.

Поскольку данные о собственных движениях пульсаров не могли определить компонент лучевой скорости, то ошибка в величине средней скорости пульсаров по этим данным могла оказаться довольно значительной, поэтому нами впервые был использован многофакторный метод оценки средней скорости пульсаров, который включал в себя эффект размывания рукавной картины распределения пульсаров со временем, взаимное расположение центров плерионов и центров комбинированных ОСН, а также флуктуации областей звездообразования от геометрической плоскости симметрии Галактики (по некоторым долготным секторам). По всем этим методам оценки получены очень близкие значения не превосходящие $\sim 250-300$ км/с, что привело к снятию возникшего противоречия [68]. Крайне важным для понимания происхождения релятивистских объектов: общая картина которой как отмечалось ранее сложилось уже к середине 80-х годов был поиск ответа на ряд вопросов приводящих к противоречию с этими представлениями. Среди них были отрицательные результаты поиска пульсаров и рентгеновских источников в молодых остатках сверхновых некоторые расхождения в пространственном распределении ОСН и радиопульсаров, распределение по массам НЗ и ЧД надежные оценки которых к этому времени уже были статистически значимыми, наличие аномальных (слабозамagnитенных радиопульсаров) на на диаграмме P-P и т.д. Поиск ответов на эти вопросы, проведенный в последние несколько лет привел нас к следующим результатам.

Проанализированы причины отрицательных поисков пульсаров, а также точечных рентгеновских источников, как в исторических, так и в других ОСН по специальным программам. С этой целью построена начальная функция светимости пульсаров, справедливая до очень малых светимостей ($L \geq 0.5$ мЯн кпс²) и показано, что причиной

отрицательных поисков пульсаров и малое число пульсаров с возрастaми до $(5-10)10^4$ лет (это среднее время жизни ОСН) главным образом является слабая светимость большинства вновь родившихся пульсаров [69].

Построена переходная функция, т.е., функция, связывающая массы БК и их прародителей на главной последовательности (ГП); и показано, что верхний предел массы прародителей БК на ГП равен 7-8 M/SUN . Звезды с такими массами в конце эволюции порождают БК с массами 1,3-1,4 M/SUN [70,71].

Проведено сравнение пространственных распределений исторических Сверхновых, остатков Сверхновых, пульсаров и массивных рентгеновских двойных систем с областями звездообразования. При этом отобраны объекты не подверженные влиянию эффектов селекции и показано, что примерно 30% вспышек Сверхновых связаны с эволюцией звезд с массами $\leq 9 M/SUN$ и тем самым по данным функции звездообразования нижний предел массе прародителей НЗ оказался равен $\sim 7-8 M/SUN$ [72,73].

Опираясь на результаты исследования радио и рентгеновских пульсаров в двойных системах, а также на нейтронные звезды (НЗ), не выявляющие пульсирующего излучения, изучено распределение их по массам. Всего отобрано 44 НЗ с известными оценками масс в двойных системах; из них 24 системы с радиопульсарами, 8 рентгеновских пульсаров в массивных рентгеновских двойных (HMXB), 2 рентгеновских пульсара и 10 НЗ в маломассивных рентгеновских двойных (LMXB).

Построена функция распределения этих объектов по массе с учетом степени надежности оценок масс и возможности увеличения массы рентгеновских пульсаров с момента их образования за счет аккреции вещества со второго компонента. Показано, что эта функция с высокой степенью точности описывается нормальным законом распределения с параметрами: $\sigma = 0.206$, $\mu_{max} = 1.48 M/SUN$. Максимум функции лежит вблизи Чандрасекаровского предела $\sim 1.4 M/SUN$. Верхняя граница массы НЗ в момент рождения не превышает $2 M/SUN$. Отметим, что еще в 1970 г. мы отмечали, что из требования положительности дефекта массы и возможных энергетических потерь в процессе формирования, НЗ с массами $> 1,6-2 M/SUN$ не могут возникнуть из первоначально разреженного газа [74].

Поскольку формирование НЗ всегда сопровождается вспышкой Сверхновой, то этот результат указывает на то, что значительная часть ядра Сверхгиганта с массой на главной последовательности $> 7 M/SUN$ в процессе образования НЗ должна быть сброшена в оболочку остатка Сверхновой или околозвездную область. Наличие значительного содержания гелия, кислорода и железа в оболочке Сверхновой 1987 года в Большом Магеллановом облаке, подтверждает этот вывод. Аккреция вещества в тесных двойных системах на НЗ и ЧД не приводит к значительному увеличению их масс и существующий разрыв между их массами ($\geq 2 - 3 M/SUN$) невозможно объяснить аккрецией вещества компонента. Большие массы ЧД ($10 - 15 M/SUN$) и малые пространственные скорости центров масс систем, содержащих ЧД, свидетельствуют о том, что ядро Сверхгиганта коллапсирует в ЧД без вспышки Сверхновой [73,74].

Выявлена группа одиночных радиопульсаров с магнитными полями $\leq 10^{11}$ Гс и возрастaми $\tau > 10^7$ лет, для объяснения которых выдвинута гипотеза, о происхождении этих объектов из рентгеновских пульсаров, ранее входивших в двойные системы. После распада такой системы в результате взрыва второго компонента они превращаются в одиночные радиопульсары с подобными параметрами. Ослабление начального стандартного для обычных пульсаров магнитного поля на 2-3 порядка величины в этом случае объясняется аккрецией вещества со второго компонента, который в последующем также взрывается и превращается в радиопульсар с обычными параметрами.

Предложенный сценарий происхождения этой группы радиопульсаров, естественно объясняет их относительно малые пространственные скорости и незначительную удаленность от галактической плоскости по сравнению с одиночными пульсарами, не

прошедшими рентгеновскую стадию развития в двойных системах и расхождение между характеристическим и кинематическими возрастами радиопульсаров с ростом τ [76].

Помимо этого получены интересные результаты об особенностях и характере энергетических потерь молодых пульсаров, объясняющих полученные в последние годы наблюдательные данные по этим объектам (отсутствие пульсаров в ОЧН, значения показателя торможения n и др.) [75].

Недавно были открыты несколько вспышек СН с очень большим, на два порядка превышающим энергию обычных СН ($\sim 10^{51}$ эрг), выделением энергии. Природа этих объектов остается невыясненным. Имеются два возможных объяснения такой большой энергии вспышек: сильно асимметрический направленный взрыв обычной Сверхновой звезды и сферически-симметричный взрыв с реальным выделением энергии $\geq 10^{52}$ эрг (Гиперновая звезда). Рассчитана модель, описывающую эволюцию радиоизлучения остатка Гиперновой звезды. Показано, что остаток Гиперновой имеет высокую поверхностную яркость в радиодиапазоне при диаметрах 200-300 пс. Такие остатки легко могут быть обнаружены в соседних галактиках как точечные источники радиоизлучения со спектральным индексом 0.5 - 0.6, характерными для обычных остатков сверхновых. Обнаружение таких остатков позволит выбрать возможную модель СН с экстремальным энерговыделением в пользу модели Гиперновой звезды.

Однако, исследованная, хотя и недостаточно богатая, статистика ОЧН с большими диаметрами пока обнаружила только один остаток Гиперновой S26 в NGC 7793 [66,67]. С другой стороны, объяснение происхождения высокоскоростных радиопульсаров ($V \sim 250-300$ км/с) в результате распада тесных двойных систем только при симметричной вспышке СН также не согласуется с наблюдательными оценками времени жизни массивных звезд и частотой их рождения. Высокоскоростные радиопульсары, скорее всего, образуются в процессе асимметричных вспышек первичных компонентов двойных систем, включающих в себя и широкие пары [77].

По-видимому, асимметрично-направленный взрыв обычной СН является более приемлемой для объяснения аномально-энергичных вспышек СН, косвенным подтверждением которой и является существование высокоскоростных радиопульсаров, образующихся в результате таких взрывов.

В заключение отметим, что эта область исследований за последние несколько лет, с открытием совершенно новых форм проявления НЗ, получила новый импульс в развитии. Это стало возможным благодаря запуску высокочувствительных рентгеновских спутников, таких как XMM, ВерроSAX, «Chandra» и др. Обнаружены, так называемые, аномальные рентгеновские пульсары (AXP), повторные гамма-источники (SGR), компактные центральные объекты в ОЧН (CCO), радиоспокойные тепловые НЗ (DRQ NS). Природа этих объектов, особенно AXP и SGR, резко отличается от ранее известных форм проявления НЗ (обычных радио и рентгеновских пульсаров), и в настоящее время они интенсивно исследуются в разных странах мира, и в том числе у нас в республике.

Исследования сотрудников лаборатории, выполненные после 1971 года, вызывает большой резонанс в научных кругах, как в СНГ, так и за рубежом. На работы сотрудников лаборатории имеется много ссылок в научных журналах и монографиях. Большой резонанс вызвала, например, работа «Вспышки рентгеновских Новых», опубликованный в 1974 году в журнале «Астрофизикс энд Спейс саенс» (Англия). В этой работе была приведена синтетическая кривая блеска рентгеновских новых и сделаны выводы об их природе. Ссылки на эту работу с перепечаткой синтетической кривой блеска появились в журналах «Астрофизикал джорнал», «Астрофизикс энд Спейс саенс», «Астрономи энд Астрофизикс», «Природа». С.Холт (США) сравнил синтетическую кривую с полученными позднее на спутниках Ариэль-5 и САС-3 кривыми блеска рентгеновских Новых и отметил хорошее совпадение кривых. Аналогичный анализ был проведен английской группой Калуженски и др. Последние отмечали также, что в

работе «Вспышки рентгеновских Новых» содержались верные предположения о физической природе этих объектов, в частности, о том, что нормальным компонентом в таких системах должна быть звезда позднего спектрального класса. Имеются ссылки и на другие работы, в частности, на работу «Магнито-ротационный взрыв Сверхновой», опубликованной в «Астрономическом Журнале» (Москва) в 1971 году. В работе содержались модельные расчеты взрыва Сверхновой. Впоследствии Г.С. Бисноватый-Коган (Россия) и Арнетт (США) сделали более детальные расчеты такого взрыва и показали, что учет вторичных поправок не отражается на результате, полученном в нашей лаборатории.

На работы сотрудников лаборатории, выполненные после 1971 года, имеется более 300 ссылок в зарубежной научной печати, в том числе в таких известных монографиях как «Теория тяготения и эволюция звезд» Я.Б.Зельдовича и И.Д.Новикова, «Новые и новоподобные звезды» В.Г. Горбачко, «Гипотезы о звездах и Вселенной» В.А.Бронштэна, «Наука и человечество, 1974», Липунов В.М. "Astrophysics and Neutron stars, 1993 и др.

Отметим также, что в трех из всего пяти Нобелевских премий присужденных в области астрофизики после 1970 года вклад работ выполненных в нашей лаборатории весьма существенен, в частности это относится к предсказанию спектра и потока нейтрино при вспышке Сверхновой (Премия 2002 года, Девис и Кошиба), предсказания существования рентгеновских пульсаров (премии 1974, Хьюиш и 2002 года, Джаккони).

-
- [1] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К. Астрофизика, 1972, **8**, 425
 - [2] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К. Астрон. Ж., 1971, **48**, 722
 - [3] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х. Касумов Ф.К. Астрофизика, 1971, **7**, 651
 - [4] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х. Касумов Ф.К. Астрон. Ж., 1972, **49**, 1143
 - [5] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х. Астрофизика, 1970, **6**, 397
 - [6] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х. Астрофизика, 1972, **8**, №1
 - [7] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х. Известия АН Азерб. ССР, 1968, **70**, №3
 - [8] Guseinov O.H. and Kasumov F.K. Mem.Soc.Astron.Italiana, 1974, **45**, 723-726
 - [9] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К., Юсифов И.М. Астрон. журнал, 1981, **58**, 996-1010.
 - [10] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К., Юсифов И.М. Астрон. журнал, 1981, **58**, 1195-1206
 - [11] Guseynov O.H., Kasumov F.K. Astrophys. and Space Sci., 1978, **59**, 285-300
 - [12] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К., Юсифов И.М. Астрон. Циркуляр, 1979, № 1045
 - [13] Guseinov O.H., Kasumov F.K. Symp.95 IAU, Bonn, 1981
 - [14] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К., Юсифов И.М. Астрон. журнал, 1982, **59**, 51-60.
 - [15] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К., Юсифов И.М. Астрофизика, 1978, **14**, 351-356
 - [16] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К., Юсифов И.М. Астрон. журнал, 1982, **59**, 312-317
 - [17] Guseinov O.H., Kasumov F.K., Yusifov I.M. Proc.3rd European Astron. Meeting, Tbilisi, 1-5 July, 1975, 143-392
 - [18] Guseinov O.H., Kasumov F.K. Kalinin E.V. Astrophys. and Space Sci., 1980, **68**, 385-392
 - [19] Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К. Астрон. журнал, 1973, **50**, 1166-1173
 - [20] Allahverdiyev A.O., Guseynov O.H., Kasumov F.K. Yusifov I.M. Astrophys. and Space Sci., 1983, **97**, 287-302
 - [21] Allahverdiyev A.O., Amnuel P.R., Guseinov O.H., Kasumov F.K. Astrophys. and Space Sci., **97**, 1983, 261-285
 - [22] Аллахвердиев А.О., Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К. Астрофизика, 1986, т.24, 397-410.
 - [23] Аллахвердиев А.О., Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К. Астрофизика, 1986, т. 24, 97-107
 - [24] Гусейнов О.Х., Юсифов И.М. Астрон. журнал, 1985, **62**, 240-251
 - [25] Гусейнов О.Х., Юсифов И.М. Астрон. журнал, 1986, **63**, 265-273

- [26] Гусейнов О.Х., Юсифов И.М. Астрон. журнал, 1986, 63, 78-83
- [27] Allahverdiyev A.O., Guseynov O.H., Kasumov F.K. Astrophys. and Space.Sci, 1985,15,1-29
- [28] Allahverdiyev A.O., Guseynov O.H., Kasumov F.K., Yusifov I.M. Astrophys.and Space.Sci., 1986,121,21-44
- [29] Allahverdiyev A.O., Asvarov A.I., Guseynov O.H., Kasumov F.K. Astrophys. and Space.Sci, 1986, 123, 237-258
- [30] Agaev A.G., Guseinov O.H., Novruzova H.I. Astrophys. and Space Sci., 1982, 81, 5
- [31] Amnuel P.R., Guseinov O.H., Novruzova H.I., Rustamov Y.S. Astrophys. and Space Sci., 1984, 107, 19.
- [32] Amnuel P.R., Guseinov O.H., Novruzova H.I., Rustamov Y.S. Astrophys. and Space Sci., 1985, 113, 59.
- [33] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х., Новрузова Х.И., Рустамов Ю.С. Астрофизика, 1987, 27, 53.
- [34] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х., Рустамов Ю.С. Письма в Астрон. Ж., 1990, 16, №10
- [35] Guseinov O.H., Novruzova H.I., Rustamov Y.S. Astrophys. and Space Sci. 1983, 97, 305.
- [36] Guseinov O.H., Novruzova H.I., Rustamov Y.S. Astrophys. and Space Sci. 1983, 96, 1.
- [37] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х., Новрузова Х.И., Рустамов Ю.С. Adv. Space Res, 1988, 8, №2-3, 333.
- [38] Amnuel P.R., Guseinov O.H., Rakhamimov Sh.Yu. Ap.J Supl., 1975, 41 and Astrophys. Space Sci., 1982, 92
- [39] Amnuel P.R., Guseinov O.H. Astrophys. Space Sci., 1980, 88, 315-334
- [40] Amnuel P.R., Guseinov O.H. Rakhamimov Sh.Yu. Astrophys. Space Sci., 1974, 29
- [41] Amnuel P.R. and Guseinov O.H. – Astrophys. Space Sci., 60,1979
- [42] Амнуэль П.Р., Гусейнов О.Х., Рахамимов Ш.Ю. Письма в Астрон. Ж., 1976, 2, N8, 392-396
- [43] Guseinov O.Kh., Vonysek V. Astroph. And Space Sci, 1974, 28, L11-L15
- [44] Гусейнов О.Х., Новрузова Х.И. Астрофизика, 1974, 10, 273-282
- [45] Гусейнов О.Х. Астрофизика, 1973, 9, 425-429
- [46] Amnuel P.R., Guseinov O.H. Astronomy and Astrophys., 1977,54,23-29
- [47] Гусейнов О.Х., Новрузова Х.И., Рахамимов Ш.Ю. Астрон. журн. 1974,51,782-785
- [48] Amnuel P.R., Guseinov O.H. Astrophys. and Space Sci, 1982, 86, 91-106.
- [49] Amnuel P.R., Guseinov O.H. Astrophys.and Space.Sci., 1976,46, L19-L21
- [50] Ахундова Г.В., Гусейнов О.Х., Рахамимов Ш.Ю. Астрофизика, 1974, 10, 85-91
- [51] Amnuel P.R., Guseinov O.H. Astron.and Astrophys. 1974, 31, 37-40
- [52] Гусейнов О.Х., Касумов Ф. Сборник научных трудов, конференция «Релятивистская Астрофизика. Космология Гравитационный эксперимент. Минск, 1976, 13
- [53] Amnuel P.R., Guseinov O.H. Astron. and Astrophys. 1976, 46, 163-169
- [54] Асваров А.И., Гусейнов О.Х., Догель В.А., Касумов Ф.К. Астрон.Ж., 1989, т.66, с.1030-1038
- [55] Asvarov A.I., Dogiel V.A., Guseinov O.H., Kasumov F.K. Astron. and Astrophys., 1990, v.229, pp.196-200
- [56] Asvarov A.I., Guseinov O.H., Dogiel V.A. - Proc.21th ICRC, 1990, Adelaide, v.1, pp.121-124
- [57] Асваров А.И. Кандидатская диссертацияю Астрокосмический Центр ФИАН им. Лебедева, Москва, 1994
- [58] Asvarov A.I. Abstract Book, 23rd GA IAU, Aug 17-30, Kyoto, Japan, 1997, p.329
- [59] Асваров А.И., Гусейнов О.Х. Письма в Астрон.Ж., 1991, т.17, с.702-710
- [60] Trimble V., Leonard P. J. T. Astrophysics in 1993. PASP, 1994, v.106, No.695pp.1-24

- [61] *Asvarov A.I.* Астрон.Ж., 1992, т.69, N 4, с.753-766
- [62] *Asvarov A.I.* Астрон.Ж., 1994, т.71, N 2, с.228-236
- [63] *Asvarov A.I.* Proc. Sym. IAU No.188., 1998, p.249-250 Kluwer Academic
- [64] *Asvarov A.I.* Abstracts of the 19th Texas Symposium, 1998, Eds.:J. Paul, T. Montmerle, and E.Aubourg
- [65] *Asvarov A.I.* 26th ICRC, Salt Lake City, Utah, USA, 1999, Eds.: D.Kieda, V.Salamon & B. Dingus, V. 3, pp. 472-476
- [66] *Asvarov A.I.* Symp.205 IAU, Galaxies and their constituents at the highest angular resolutions Manchester, UK, Aug 15-18, 2000 Eds.T. Schilizzi, S. Vogel, F. Paresce & M. Elvis Astr. Soc. Pacific, pp. 192-193, 2001
- [67] *Asvarov A.I.* Symp.214 IAU, "High energy Processes and Phenomena in Astrophysics", 6-10 Aug. 2002, Suzhou, China. Eds. X.Li, J.Yang and V.Trimble
- [68] *Аллахвердиев А.О., Гусейнов О.Х., Тагиева С.О., Юсифов И.М.* Астрон. Ж., 1997, 74, №2, 297-302.
- [69] *Аллахвердиев А.О., Гусейнов О.Х., Тагиева С.О.* Письма в Астрон. Ж., 1997, 23, №10, 297-302.
- [70] *Aydin C., Ozdemir S., Guseynov O.H., Ozel M., Tagieva S.O.* Turkish J.Phys., 1996, 20, №10
- [71] *Касумов Ф.К., Новрузова Х.И., Тагиева С.О.* Физика, 1998, 4, №2
- [72] *Аллахвердиев А.О., Гусейнов О.Х., Тагиева С.О.* Физика, 1998, 4, №4
- [73] *Tagiyeva S.O., Ankaý A, Guseynov O.H, Sezer A.* Astron. and Astrophys.Trans., 2000, 19, 123-131
- [74] *Гусейнов О.Х., Касумов Ф.К.* Астрон. Циркуляр, 1972, № 562
- [75] *Тагиева С.О.* Кандидатская диссертация, БГУ, Баку, 1999
- [76] *Касумов Ф.К., Тагиева С.О.* Тезис Школа Н. Туси, 1999
- [77] *Касумов Ф.К., Новрузова Х.И., Тагиева С.О.* Известия АН Азерб, 2000,

ULDUZ TƏKAMÜLÜNÜN SON MƏHSULLARI: TƏBİƏTİ, TƏZAHÜR FORMALARI VƏ QENEZİSİ

QASIMOV F.Q.

Məqalədə Respublikada 30 ildən çox bir dövrü əhatə edən ulduz təkamülünün son məhsullarının fiziki təbiətinə dair tədqiqatlar yekunlaşdırılır. Kosmik şüa fizikası laboratoriyasının işçilərinin əsas elmi işlərinin qısa xulasəsi, onların ağ çırtanlar, neytron ulduzları, qara dəliklər, rentqen və radio pulsarların təbiətinə və əmələ qəlməsinə dair müasir təsəvvürlərin formalaşmasına verdikləri töhvəsindən bəhs edilir.

THE FINAL PRODUCTS OF STAR EVOLUTION: THE NATURE, MANIFESTATIONS AND GENESIS

KASUMOV F. K.

In article the basic results of researches of the physical nature of final products of star evolution which have been carried out for last more than 30 years from the beginning of development of this direction of researches in Republic are reviewed. The brief review of the basic works of employees of the « Physics of Cosmic ray sources » laboratory, their contribution in formation of modern representations about the nature and an origin of white dwarfs, neutron stars, black holes, x-ray and radio pulsars is given.