

1) Авторы:

С.Ю. Сазонов, И.И. Хабибуллин, отдел 52

2) Название:

Цикл из трех работ «Функция светимости и совокупный спектр излучения ярких массивных рентгеновских двойных систем, рентгеновский нагрев ранней Вселенной»

3) Ссылки:

«Bright end of the luminosity function of high-mass X-ray binaries: contribution of hard, soft and supersoft sources»

Sazonov S., Khabibullin I.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2017, vol. 466, p. 1019-1051

«The intrinsic collective spectrum of luminous high-mass X-ray binaries»

Sazonov S., Khabibullin I.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2017, vol. 468, p. 2249-2255

«Подогрев ранней Вселенной излучением массивных рентгеновских двойных систем»

Сазонов С.Ю., Хабибуллин И.И.

Письма в Астрономический журнал, 2017, том 43, стр. 243-253

4) Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Тема реионизации Вселенной чрезвычайно актуальна. Остается открытым ключевой вопрос: какие астрофизические объекты и физические механизмы были ответственны за реионизацию Вселенной? В последнее время активно обсуждается гипотеза, что еще до реионизации ультрафиолетовым излучением галактик и квазаров первичная межгалактическая среда во Вселенной могла быть заметно разогрета излучением первых рентгеновских источников. Естественным кандидатом на роль таких источников в ранней Вселенной являются массивные рентгеновские двойные системы (МРД). Поэтому тема раннего нагрева Вселенной оказывается неразрывно связана с исследованием популяционных свойств МРД в современную эпоху.

5) Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

Цели работы: построение функции светимости и суммарного спектра рентгеновского излучения МРД высокой светимости ($>10^{38}$ эрг/с) в современную эпоху, оценка нагрева ранней Вселенной излучением таких источников в первых галактиках.

6) Используемый подход, его новизна и оригинальность

Использовалась выборка 27 близких галактик, для которых имеются карты атомарного и молекулярного межзвездного газа, а также темпа звездообразования. На основе каталога источников, обнаруженных телескопом Чандра в этих галактиках, была составлена выборка из 200 вероятных МРД со светимостью выше 10^{38} эрг/с, исследованы рентгеновские спектры этих источников. На основе этой выборки была измерена функция рентгеновской светимости МРД и построен рентгеновский спектр совокупного излучения популяции МРД в современную эпоху. При этом были учтены эффекты селекции, связанные с разнообразием спектров ярких МРД и поглощением излучения в межзвездной среде родительских галактик. Такой самосогласованный подход никогда ранее не использовался при изучении популяционных свойств МРД.

На основе измеренных функции светимости и суммарного спектра МРД, используя зависимость интегрального темпа звездообразования от красного смещения на $z=6-10$, основанную на наблюдениях космического телескопа им. Хаббла, и принимая во внимание, что в ранней Вселенной удельная светимость МРД могла быть повышена из-за низкой металличности первых галактик, был рассчитан нагрев ранней Вселенной мягким рентгеновским излучением МРД. В предыдущих работах использовались менее обоснованные оценки светимостей и спектров рентгеновских источников в первых галактиках.

7) Полученные результаты и их значимость

Впервые измерена истинная (поправленная за поглощение и эффекты селекции), отнесенная к темпу звездообразования функция светимости МРД в современную эпоху. В диапазоне светимостей от 10^{38} до $3 \cdot 10^{40}$ эрг/с она может быть описана степенным законом: $dN/d\log L = 2.0(L/10^{39} \text{ эрг/с})^{-0.6} / (M_{\text{Sun}}/\text{год})$. Показано, что вклады жестких, мягких и сверхмягких источников в функцию светимости находятся в пропорции 2:1:1. Также впервые измерена функция светимости МРД в мягком рентгеновском диапазоне 0.25-2 кэВ и показано, что жесткие, мягкие и сверхмягкие источники вносят в нее примерно равный вклад. Суммарная мягкая рентгеновская удельная светимость МРД в современную эпоху составляет $5 \cdot 10^{39}$ эрг/с/($M_{\text{Sun}}/\text{год}$). Самосогласованный учет эффектов поглощения и разнообразия рентгеновских спектров никогда ранее не осуществлялся при изучении популяционных свойств МРД.

Впервые измерен поправленный за поглощение и эффекты селекции суммарный спектр рентгеновского излучения ярких МРД в современную эпоху. В диапазоне энергий 0.25-8 кэВ он может быть описан степенным законом с наклоном 2.1. Основной вклад в совокупное излучение дают ультраяркие рентгеновские источники со светимостью выше 10^{39} эрг/с. Жесткие источники доминируют на энергиях выше 2 кэВ, а мягкие и сверхмягкие — на более низких энергиях. Полученный спектр дает важные ограничения на модели около- и сверх-критической аккреции вещества на черные дыры и нейтронные звезды.

Используя измеренные функцию светимости и суммарный спектр ярких МРД, оценен фотонагрев ранней Вселенной мягким рентгеновским излучением таких систем. Показано, что излучение ультраярких и сверхмягких ультраярких рентгеновских источников могло существенно нагреть первичную межгалактическую среду уже к $z=10$, если удельная рентгеновская светимость молодого звездного населения в ранней Вселенной была, из-за низкой металличности первых галактик, на порядок выше, чем в современную эпоху. Это делает возможным наблюдение нейтрального водорода в линии 21 см в излучении на $z < 10$. Хотя расчеты рентгеновского нагрева Вселенной ранее проводились неоднократно, в наших расчетах были впервые использованы реально измеренные спектры и функция светимости МРД в мягком рентгеновском диапазоне.