

# Исследование транзientного ультраяркого рентгеновского источника NGC 925 X-3 в рентгеновском и оптическом диапазоне

Винокуров А.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз

## Аннотация

По данным Swift/XRT 2011-2023 гг. исследована долговременная переменность транзientного ультраяркого рентгеновского источника NGC925 X-3 в рентгеновском диапазоне. Показано, что большую часть времени объект находится в слабом состоянии вблизи или ниже порога детектирования, при этом амплитуда переменности потока объекта составляет по крайней мере 30 раз с пиковым значением, соответствующем светимости  $1.3 \times 10^{40}$  эрг/с при расстоянии до галактики 9.3 Мпк. Методом Ломба-Скаргла обнаружено два периода в изменении рентгеновского потока объекта, составляющие 123.2 и 3.4 дней. Первый период сопоставим по длительности с уже известными суперорбитальными периодами ряда других ультраярких источников, вопрос о природе короткопериодических вариаций потока пока остается открытым. В оптическом диапазоне X-3 отождествляется с голубым точечным источником с абсолютной звездной величиной в фильтре V менее -6.8 mag, соответствующим O-B сверхгиганту или звезде Вольфа-Райе. Проведенная на БТА/SCORPIO-2 спектроскопия выявила связь с объектом слабую туманность протяженностью около 50 пк, отношения эмиссионных линий которой указывает на фотоионизацию центральным источником без признаков ударного возбуждения. Часть наблюдательных данных получена на уникальной научной установке Большой телескоп альт-азимутальный САО РАН. Работа выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации N 075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003).

## Введение

NGC 925 X-3 является транзientным ультраярким рентгеновским источником (ultraluminous X-ray source, ULX), открытым по результатам проведенных в ноябре 2017 года наблюдений обсерватории Chandra (Earnshaw et al. 2020). Его светимость на тот момент составляла  $L_X \approx 7.4 \times 10^{39}$  эрг/с<sup>-1</sup> в пересчете на принятое здесь расстояние до галактики  $D \approx 9.3$  Мпк, Tully et al. 2013. Выполненный авторами работы анализ архивных данных Swift показал, что это не первая вспышка объекта: сходную светимость он имел в июле-августе 2011 года. В ярком состоянии объект имеет жесткий степенной спектр с  $\Gamma = 1.6 \pm 0.1$ , становясь более мягким ( $\Gamma = 1.8$ ) при уменьшении потока примерно в 20 раз. Вследствие малого числа наблюдений авторам не удалось однозначно определить причины переменности: кривая блеска с одинаковым успехом может быть объяснена как переходом источника от сверхкритической аккреции к режиму пропеллера, так и наличием сверхорбитального периода. Отмечается, что обе интерпретации кривой блеска указывают на то, что аккретором в данной двойной системе может выступать нейтронная звезда. На исследовании оптических свойств источника и их интерпретации авторы практически не останавливаются, опубликовав лишь оценку блеска объекта  $m_r = 20.94 \pm 0.03$  по данным PanSTARRS и указав, что источник не виден на инфракрасных изображениях, полученных телескопом Spitzer.

Дальнейшие исследования выявили периодическую составляющую изменения рентгеновского потока объекта с периодом  $P \approx 126 - 128$  дней (Salvaggio et al. 2022, Earnshaw et al. 2022). По результатам обсуждения различных сценариев, объясняющих поведение X-3 в рентгеновском диапазоне, Earnshaw и соавторы повторно пришли к выводу, что предположение о наличии в двойной системе нейтронной звезды с магнитным полем  $\sim 10^{12}$  Гс по крайней мере не противоречит наблюдениям. При этом пульсаций рентгеновского излучения не обнаружено, получен лишь верхний предел их доли в потоке около 40%.

Постоянно увеличивающийся объем данных для X-3 в рентгеновском диапазоне и практически полное отсутствие результатов исследований в оптическом диапазоне побудили нас провести собственный анализ имеющегося наблюдательного материала, а также начать наблюдательную кампанию на 6-м телескопе САО РАН и 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ.

## Переменность в рентгеновском диапазоне

На рис. 1 показана кривая блеска объекта NGC 925 X-3, построенная по всем имеющимся в архиве Swift/XRT данным (165 наблюдений с июня 2011 по ноябрь 2023). Оценки максимального и минимального значения светимости за этот период составили  $1.3 \times 10^{40}$  и  $3.8 \times 10^{38}$  эрг/с<sup>-1</sup> соответственно. В ярком состоянии объект пребывает недолго, большую часть времени находясь вблизи или ниже порога детектирования Swift, явные признаки бимодальности в распределении количества наблюдений от величины потока отсутствуют.

По данным, полученным после августа 2019 года, когда наблюдения начали проводиться регулярно, была построена периодограмма Ломба-Скаргла (рис. 2). Уровень  $3\sigma$  превысили два пика с частотами  $0.0081$  день<sup>-1</sup> (соответствует периоду  $\approx 123.5$  дня) и  $0.29$  день<sup>-1</sup> (приблизительно 3.5 дня). Уточнение периодов с помощью HEASoft/efsearch, осуществляющей поиск периодической составляющей сигнала путем сворачивания кривой блеска с набором пробных периодов и максимизацией невязки между полученной фазовой кривой и константой, дало значения 123.248 дня и 3.408 дня. Соответствующие фазовые кривые показаны на нижних панелях рис. 2.

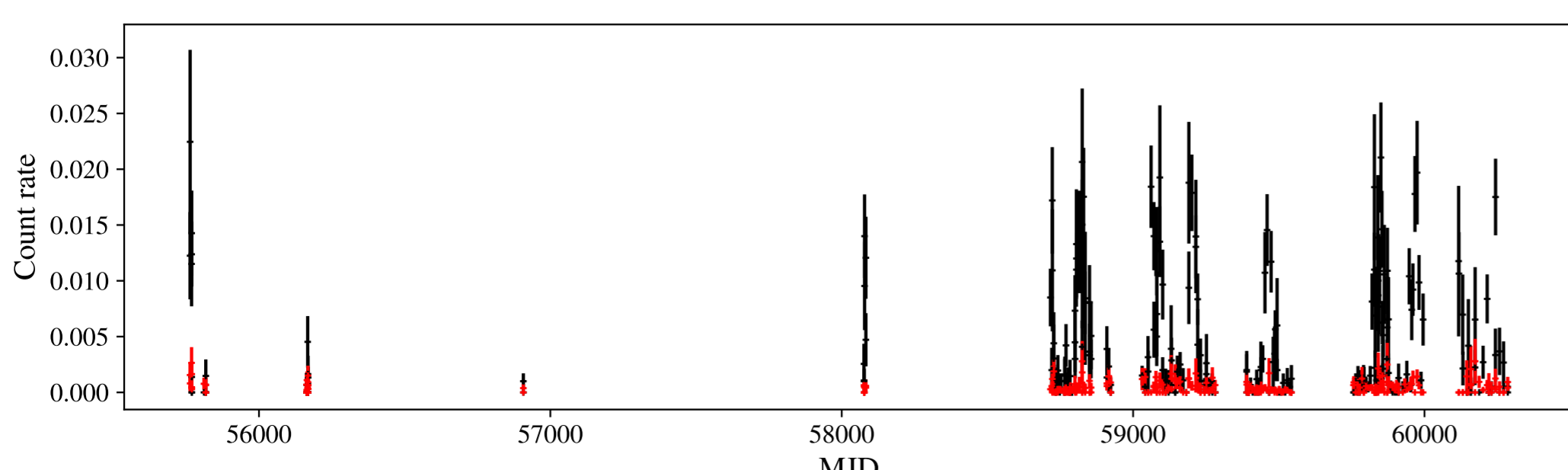


Рис. 1: Кривая блеска NGC 925 X-3 по данным Swift/XRT. Красным показан уровень фона в пересчете на апертуру объекта. Фотоны объекта экстрагировались в круговой апертуре радиусом  $23''$ . Фон измерялся в полукольце, часть которого была маскирована, чтобы исключить попадание в них соседних источников.

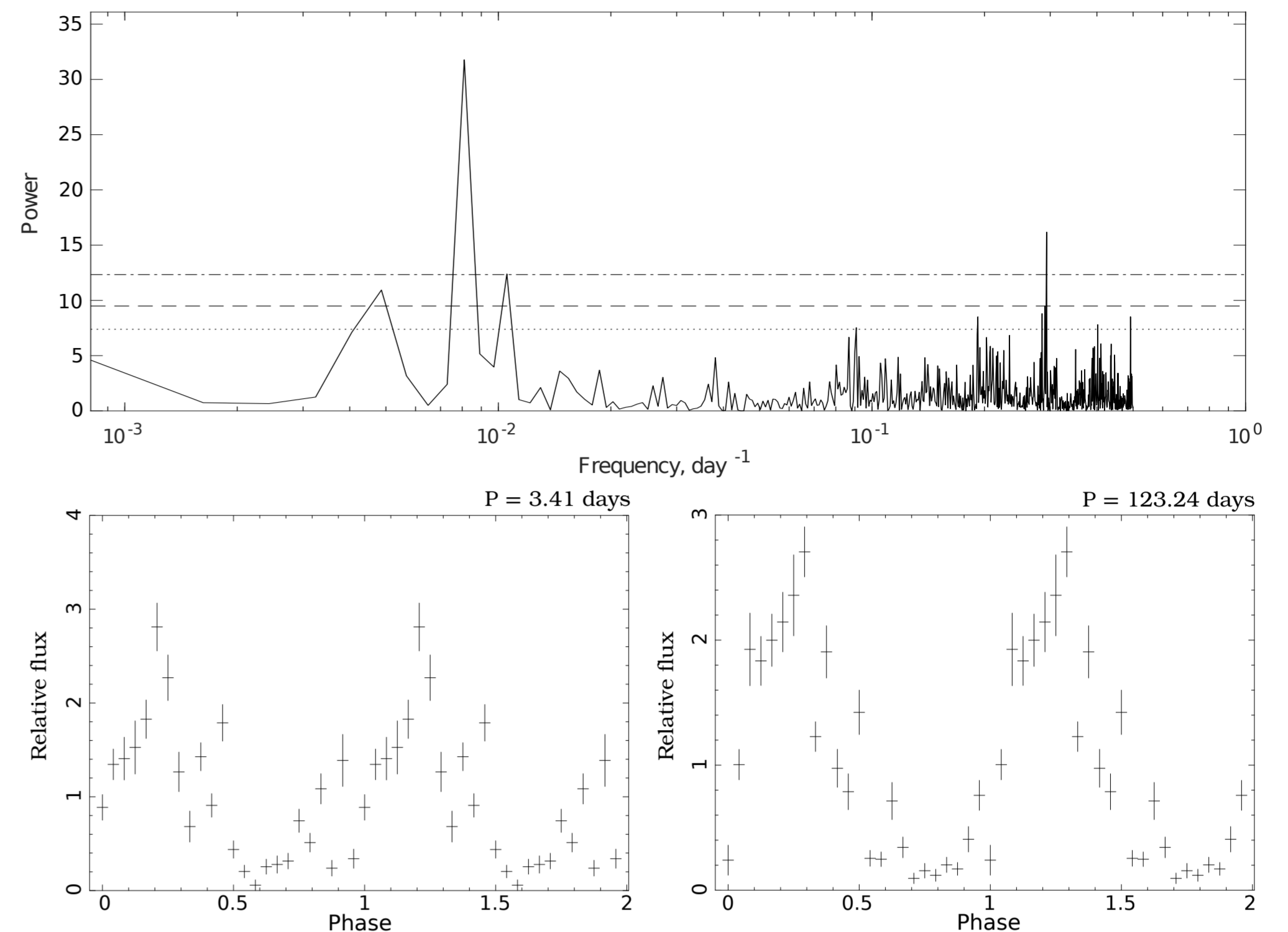


Рис. 2: Верхняя панель: построенная по данным Swift/XRT периодограмма Ломба-Скаргла. Точечной, штриховой и штрихпунктирной линиями показаны пороги значимости  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  и  $3\sigma$  соответственно. Нижние панели: фазовые кривые для превысивших уровень  $3\sigma$  пиков, соответствующих периодам 123.2 и 3.4 дней.

Согласующийся с результатами Salvaggio et al. (2022) и Earnshaw et al. (2022) период 123 дня вероятнее всего является суперорбитальным. Аналогичные периоды наблюдаются у NGC 5907 ULX1 (Walton et al. 2016), NGC 7793 P13 (Furst et al. 2018), NGC 4395 ULX-1 (Vinokurov et al. 2018) и д.р. Он может быть связан с прецессией аккреционного диска или тепловой неустойчивостью в нем (наиболее предпочтительное объяснение, если дальнейшие наблюдения подтвердят вспышечный характер переменности). С учетом отсутствия бимодальности в распределении рентгеновского потока NGC 925 X-3 эффект пропеллера (Tsygankov et al. 2016) представляется маловероятным сценарием.

Изменение рентгеновского потока с периодом 3.4 дня обнаружено впервые. Наиболее вероятной его интерпретацией является орбитальное движение компонент двойной системы, однако, на данный момент мы не можем полностью исключить, что ответственными за этот период могут быть какие-то иные физические процессы.

## Спектроскопия и фотометрия NGC 925 в оптическом диапазоне

Анализ данных проводимого на телескопах САО РАН и КГО ГАИШ МГУ мониторинга, а также архивных данных других обсерваторий, не выявил значительной переменности оптического источника, с которым Earnshaw et al. (2020) отождествили NGC 925 X-3. При этом, блеск объекта оказался примерно на 2 звездные величины слабее по сравнению с представленной в статье оценкой: видимая звездная величина объекта в полосе V составляет  $\approx 23.2$  mag при относительно малом значении показателя цвета. Исправленная за межзвездное поглощение в Галактике  $A_V \approx 0.2$  mag абсолютная звездная величина X-3 составляет  $M_V < -6.8$  mag, если рассматривать  $A_V$  как нижний предел полной величины поглощения. Скорректированные  $M_V$  и цвет источника соответствуют O-B сверхгигантам, звездам Вольфа-Райе или включающей их малочисленной группе звезд.

Проведенная на БТА спектроскопия выявила очень слабую и довольно компактную туманность вокруг исследуемого ULX. Протяженность туманности  $53 \pm 20$  пк сравнима с размерами давно известных и хорошо изученных примеров компактных оболочек вокруг некоторых других ULX, например NGC 6946 ULX-1 (Blair et al. 2001), Holmberg II X-1 (Lehmann et al. 2005), NGC 5408 X-1 (Kaaret & Corbel 2009). Спектр туманности, представленный на рис. 3, также похож на спектры перечисленных компактных оболочек и характеризуется исключительно большой яркостью эмиссионных линий дважды ионизованного кислорода [O III]  $\lambda 4959, 5007$ . Отношение интенсивностей [O III]  $\lambda 5007/H\beta = 6.6 \pm 0.4$  при обилии кислорода на расстоянии X-3 от центра галактики около 0.5 солнечного (Pilyugin et al. 2014) говорит об очень высокой степени ионизации газа, требующей мощного источника излучения в рентгеновском или далеком ультрафиолетовом диапазоне (Abolmasov et al. 2007). Признаков ударного возбуждения нет: ширина линий соответствует спектральному разрешению  $\approx 4.5 \text{ \AA}$ , а возбуждаемые электронным ударом линии дублетов [N II]  $\lambda 6548, 6584$  и [S II]  $\lambda 6716, 6731$  имеют низкую интенсивность относительно  $H\alpha$ .

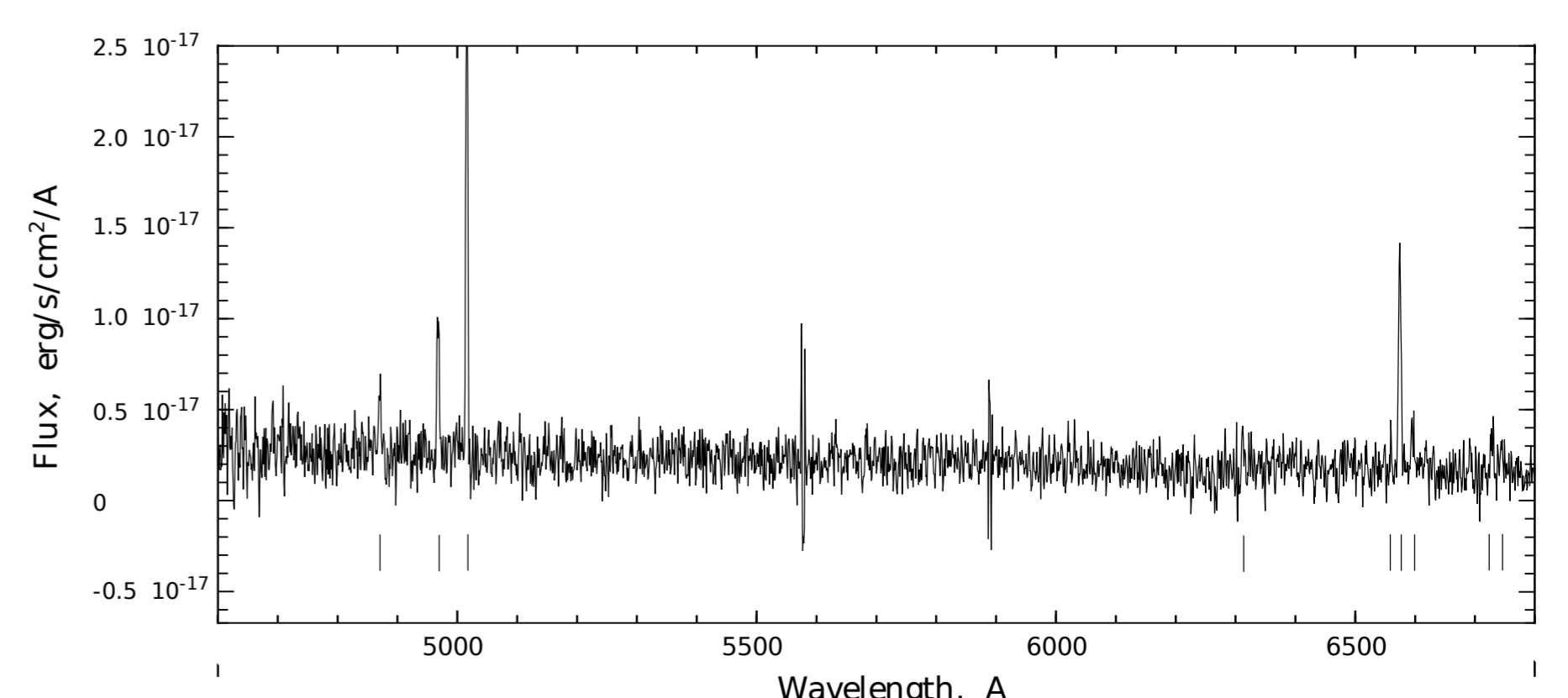


Рис. 3: Суммарный спектр NGC 925 X-3, полученный по данным наблюдений 13 декабря 2020 и 4 ноября 2021 гг. на БТА/SCORPIO-2. Штрихами обозначены линии окружающей объект туманности  $H\beta$ , [O III]  $\lambda 4959, 5007$ , [O I]  $\lambda 6300$ , [N II]  $\lambda 6548$ ,  $H\alpha$ , [N II]  $\lambda 6584$  и [S II]  $\lambda 6716, 6731$ .