

Исследование транзientного рентгеновского пульсара XTE J1946+274

во время вспышки 2018 года по данным обсерватории NuSTAR

ИКИ

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

А. С. Горбан^{1,2}, С. В. Мольков¹, С. С. Цыганков^{1,3}, А. А. Лутовинов^{1,2}

1- Институт космических исследований (ИКИ РАН), 2- Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", 3- Обсерватория Туорла, Университет Турку, Финляндия

Email: gorban@iki.rssi.ru



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Аннотация

В настоящей работе представлены результаты анализа транзientного рентгеновского пульсара XTE J1946+274 по данным наблюдений в июне 2018 года обсерваторией NuSTAR в широком диапазоне энергий от 3 до 79 кэВ и Swift/XRT в диапазоне 0.2 - 10 кэВ. Спектральный анализ подтвердил наличие циклотронной особенности на энергии ~38 кэВ в среднем энергетическом спектре. С помощью фазово-разрешенной спектроскопии были исследованы спектральные параметры излучения в зависимости от фазы вращения нейтронной звезды. Также анализ показал, что энергия циклотронной линии значительно меняется от фазы пульсаций, при этом оптическая ширина и толща линии также демонстрируют переменность. Обнаружено изменение величины эквивалентной ширины линии железа в зависимости от фазы импульса. Временная задержка между излучением в линии железа и основным излучением, позволяет предположить, что излучение отражается от внешних областей аккреционного диска.

Наблюдения

Двойная система XTE J1946+274 во время вспышки 2018 года наблюдалась телескопом NuSTAR (ObsID: 90401328002) и Swift/XRT (ObsID: 00088783002) с 2018-06-24 (58293.4 MJD) по 2018-06-25 (58294.6 MJD).

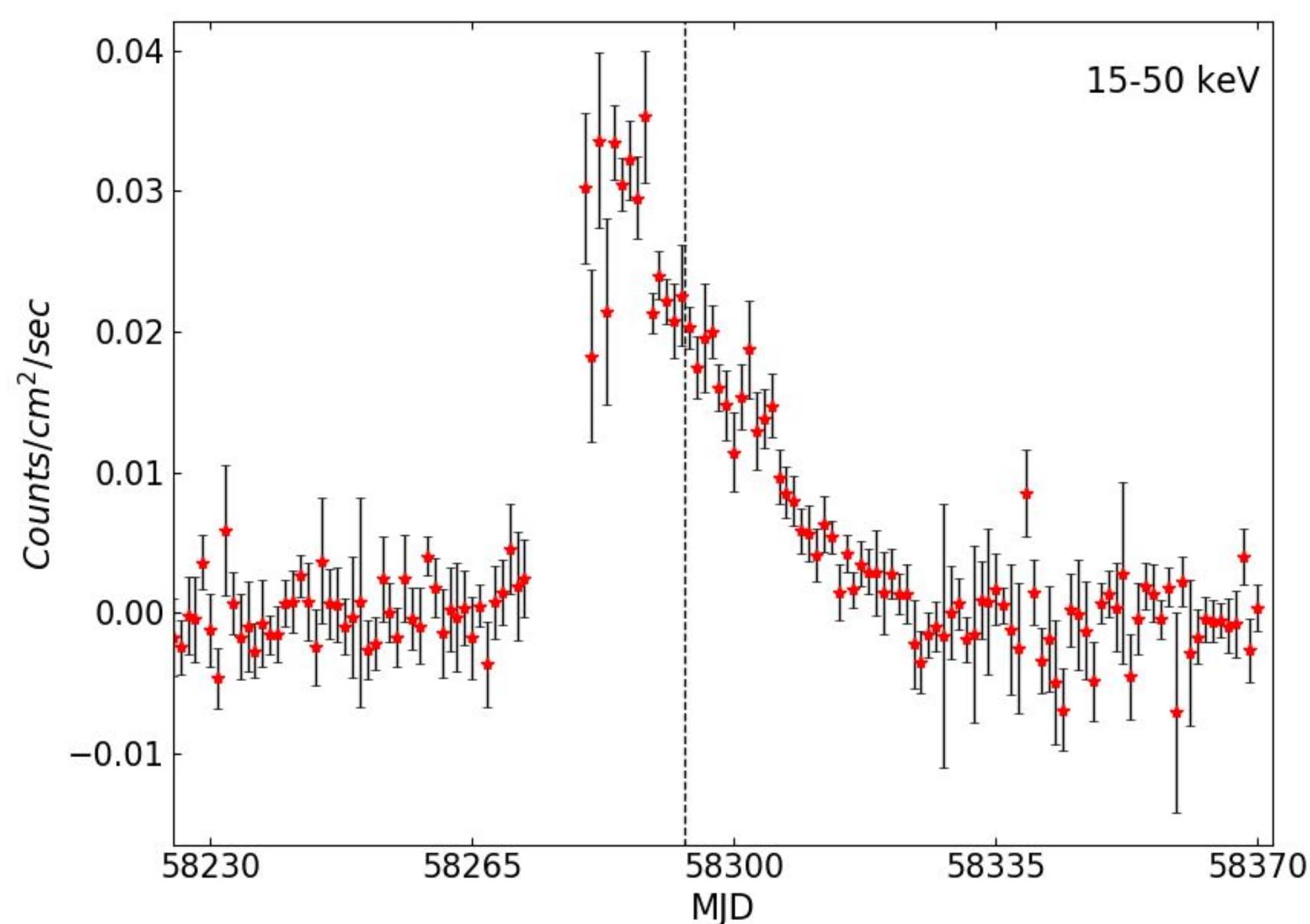


Рис.1. Кривая блеска XTE J1946 + 274 в диапазоне энергий 15-50 кэВ (данные взяты с Swift/BAT), пунктирной линией обозначен момент наблюдения NuSTAR.

Кривая блеска

На рис. 2 приведены фазовые кривые блеска источника. Видно, что профиль импульса существенно изменяется с увеличением энергии. Примерно до 20 кэВ профили импульсов в общей структуре схожи и имеют двойной пик с довольно узким минимумом между ними на фазе 0.6. При этом основной пик на энергиях до ~10 кэВ показывает наличие сложной структуры. На более высоких энергиях основной пик практически исчезает и остается один пик на фазах от 0.8 до 1.0.

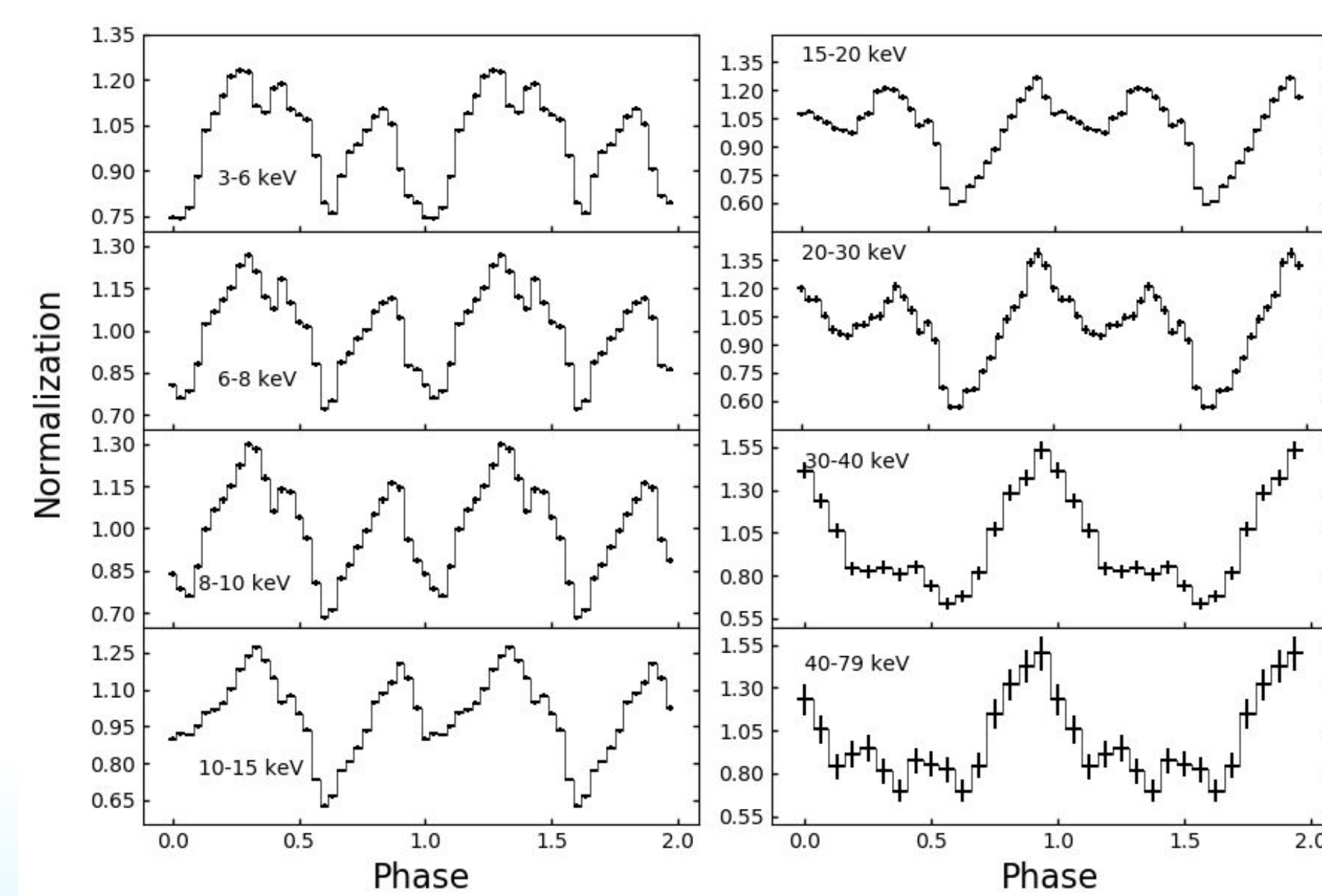


Рис.2. Профили импульса XTE J1946+274 в восьми энергетических диапазонах, полученные по данным обсерватории NuSTAR в июне 2018 г. Скорость счета нормирована на среднее значение в данном диапазоне.

Спектральный анализ

На двумерном распределении интенсивностей профилей импульсов также как и на рис. 2 прослеживается изменение профиля с энергией от двухпикового к однопиковому, при этом такой переход наблюдается в районе энергии циклотронной линии.

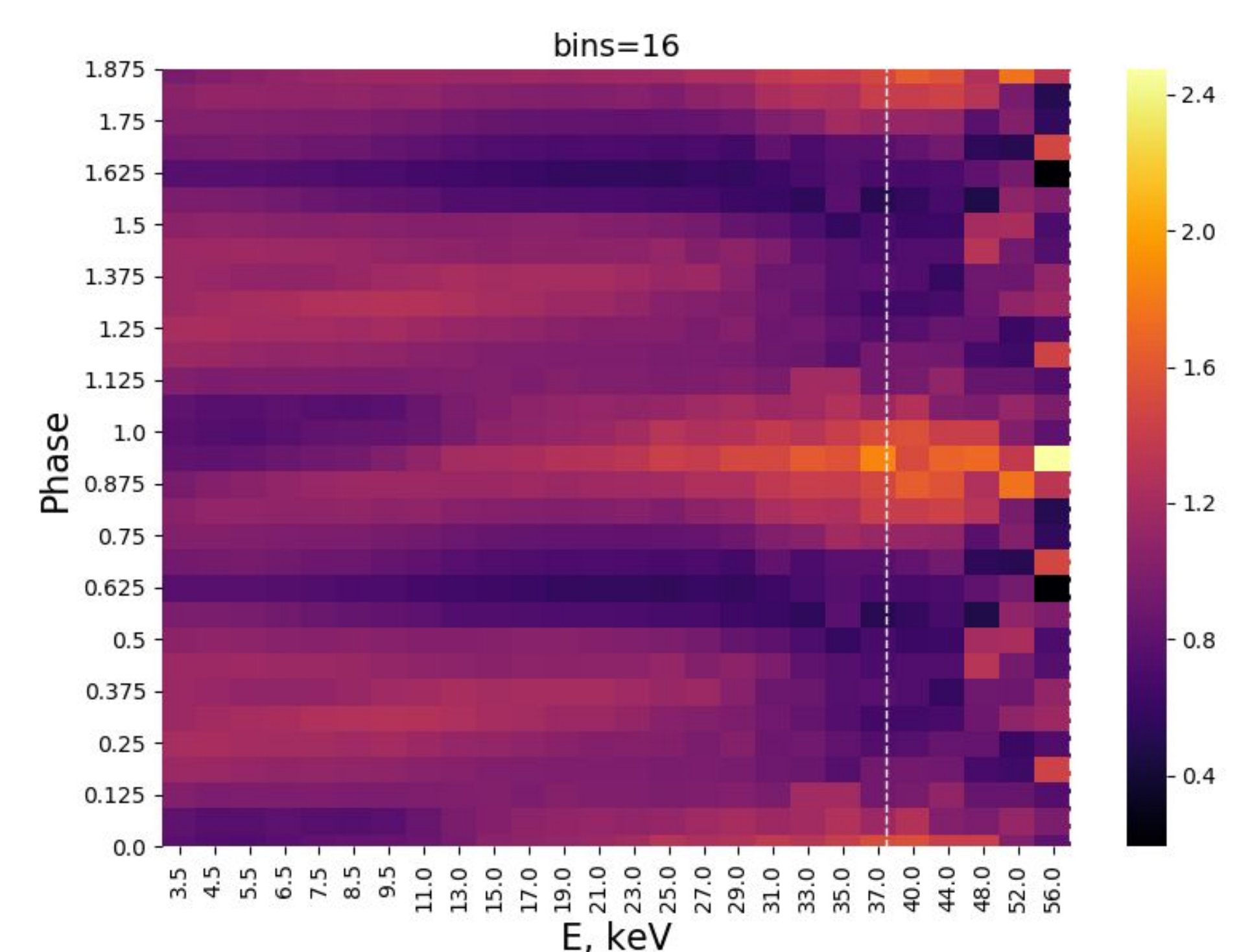


Рис. 3. Двумерное распределение нормированной интенсивности профиля импульса в зависимости от энергии. Уровни одинакового цвета показывают равные значения нормированной интенсивности, которые представлены на панели справа. Пунктирная линия показывает положение центра линии циклотронного поглощения в спектре пульсара.

Спектральный анализ

Для аппроксимации спектров была применена модель степенного закона с экспоненциальным завалом на высоких энергиях (POWERLAW*HIGHCUT). Межзвездное поглощение учитывалось добавлением компоненты TBABS. На энергии ~6.4 кэВ была добавлена эмиссионная линия железа. Также в среднем спектре наблюдалась особенность на энергиях ~38 кэВ (Рис.4: b, d), описанная абсорбционной компонентой в виде модели GABS. Добавление этой компоненты привело к значительному улучшению качества модели (до: $\chi^2=2222.91$ (1903), после: $\chi^2=2065.27$ (1900)). Таким образом, в спектре источника значимо регистрируется особенность вблизи энергии 38 кэВ, скорее всего связанная с циклотронным поглощением.

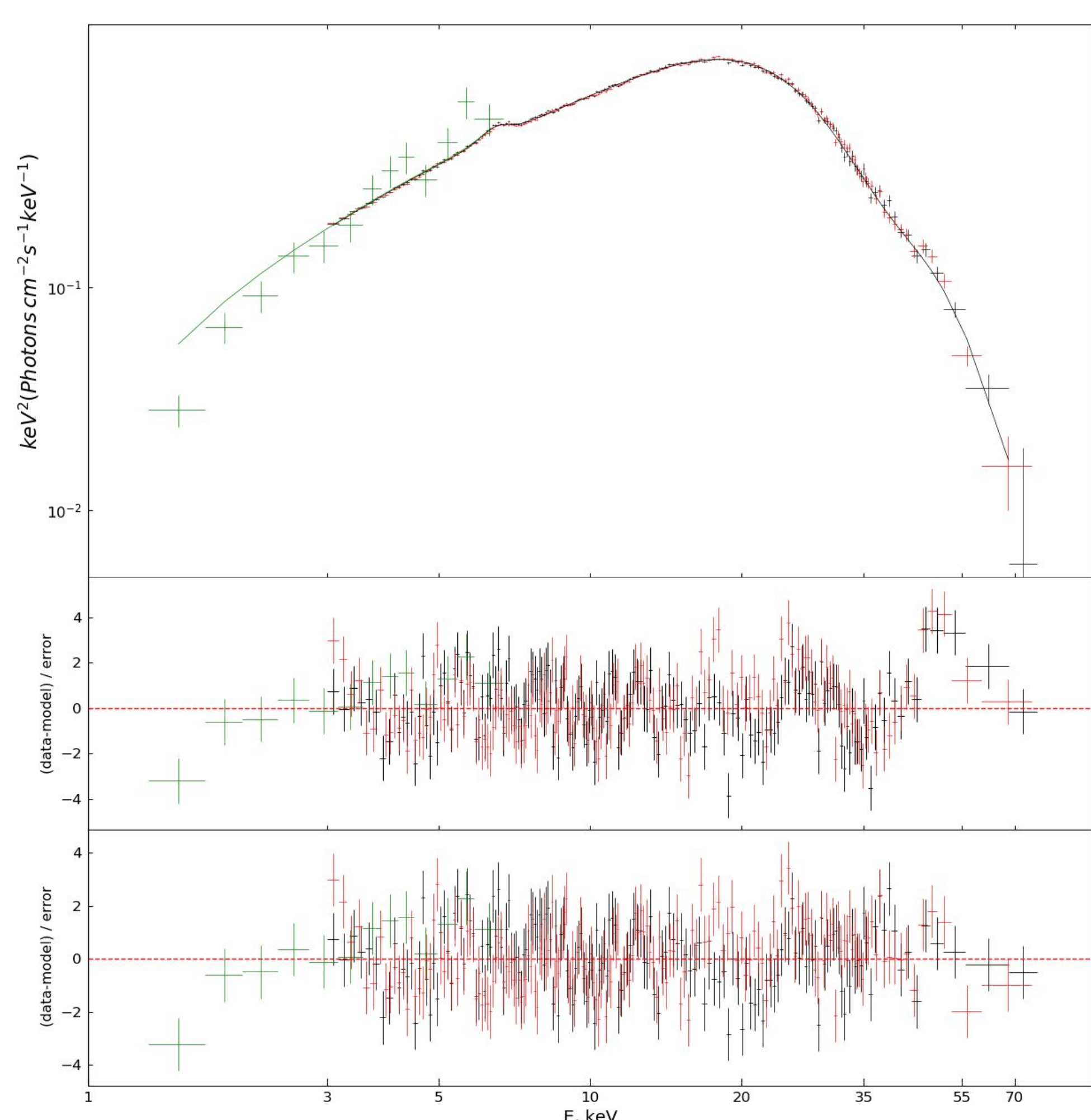


Рис.4. (a) — Энергетический спектр XTE J1946+274, измеренный по данным NuSTAR (красные и синие точки) и Swift/XRT (зеленые точки), сплошной линией показана модель, наилучшим образом описывающая спектр. Панель (b) показывает отклонение наблюдательных данных от модели HIGHCUT+BB без включения в модель циклотронной линии, (c) — с включением циклотронной линии.

Была проведена фазово-разрешенная спектроскопия, для которой данные были разделены на десять фазовых интервалов. Для аппроксимации полученных спектров мы использовали модель аналогичную для среднего спектра. Было обнаружено, что эмиссионная линия железа присутствует во всех фазах, в то время как циклотронная линия поглощения значимо регистрируется только в пяти фазовых бинах, при этом изменяясь на масштабе импульса от 34 до 39 кэВ (рис. 5a), достигая максимальных значений вблизи пиков импульса. Такая зависимость энергии от фазы, вероятно, связана с изменениями угла обзора областей, где образуется циклотронная линия (см., например, Лутовинов и др., 2015). Ширина и глубина линии меняются в течение импульса излучения примерно таким же образом, что и ее энергия.

Также, максимумы эквивалентной ширины линии железа не совпадают с максимумами профиля импульса (рис.5d). Это позволило определить время задержки (~12.6 с) между пиками излучения и эквивалентной ширины, что соответствует расстоянию $\sim 3.8 \times 10^{11}$ см. Это значение более чем на два порядка величины превышает внутренний размер аккреционного диска, но значительно меньше расстояния до звезды-компаньона в системе. Так как флуоресцентная линия железа образуется в холодном веществе вблизи нейтронной звезды, возможно предположить, что область его формирования находится на внешней границе аккреционного диска.

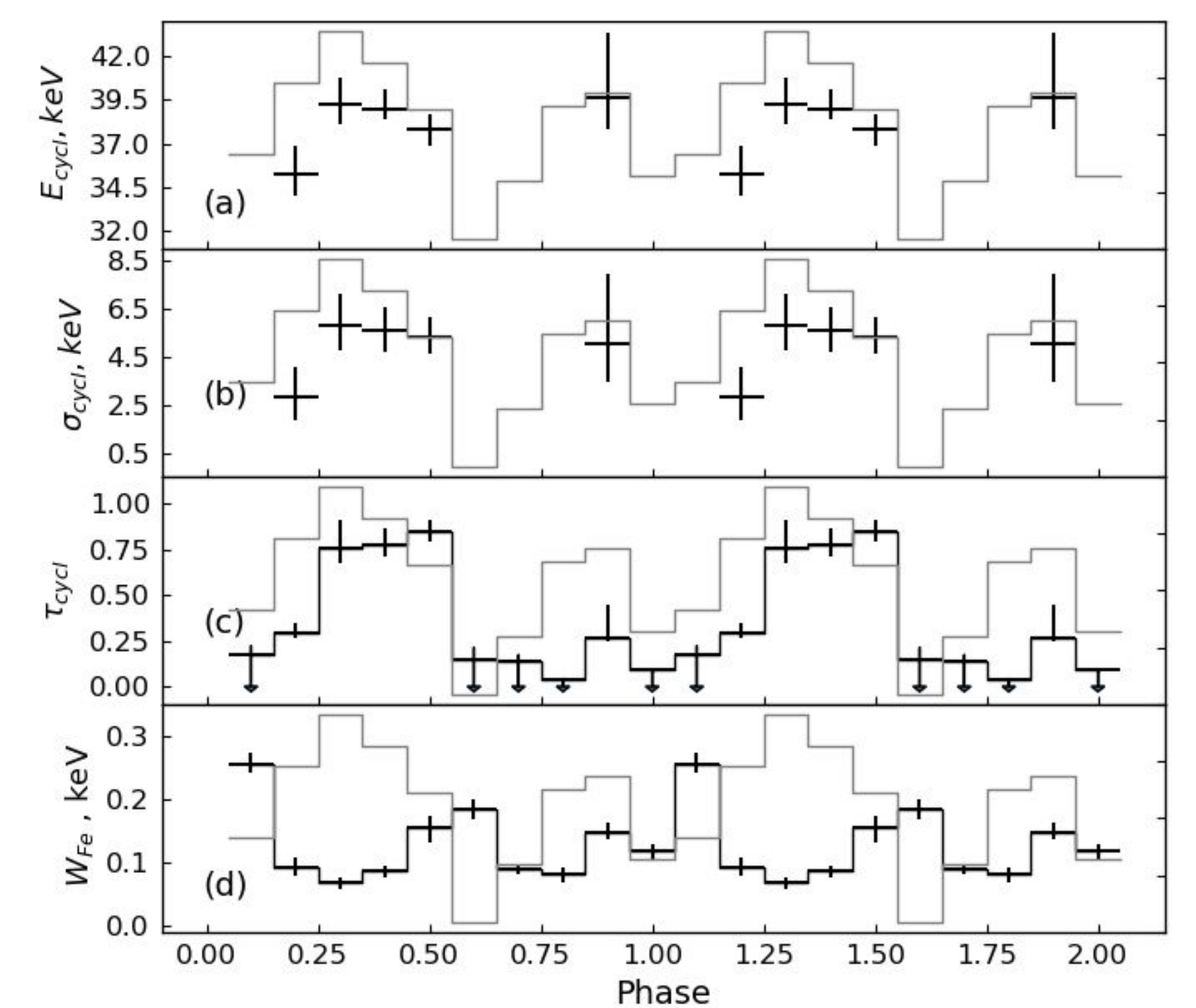


Рис.5. Зависимость спектральных параметров XTE J1946+274 от фазы импульса: (a) — циклотронная энергия, (b) — ширина циклотронной линии, (c) — оптическая глубина циклотронной линии, (d) — эквивалентная ширина линии железа. Серой линией показан профиль импульса в полном энергетическом диапазоне обсерватории NuSTAR.

Заключение

- Подтверждено наличие циклотронной линии на 38 кэВ (результаты предыдущих наблюдений - Уилсон и др., 2003; Дорошенко и др., 2017). Измеренная энергия линии позволяет определить напряженность магнитного поля на поверхности нейтронной звезды $B \sim 3.2 \times 10^{12}$ Гс.
- Проведена фазово-разрешенная спектроскопия двойной рентгеновской системы XTE J1946+274. Анализ показал, что наблюдаемое поведение параметров циклотронной линии может быть интерпретировано в рамках модели отражения излучения небольшой аккреционной колонки (светимость источника в момент наблюдений составила $\sim 3 \times 10^{37}$ эрг с⁻¹) от поверхности нейтронной звезды.
- Обнаружено, что эквивалентная ширина линии железа также значительно изменяется с фазой импульса. Временная задержка между профилями импульса и эквивалентной ширины может быть объяснена отражением излучения нейтронной звезды от внешних областей аккреционного диска. Также, оценена область формирования излучения флуоресцентной линии железа.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 19-12-00423.