

# Ветра ультраярких рентгеновских источников. Моделирование оптических спектров

А. Винокуров, А. Костенков, Ю. Соловьева

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз

## Аннотация

Спектроскопия ультраярких рентгеновских источников в оптическом диапазоне свидетельствует в пользу мощных истечений вещества со скоростями от нескольких сотен до примерно тысячи км/с. Мы представляем результаты моделирования оптического спектра NGC 7793 P13 с учетом вклада как излучения ветра сверхкритического диска этого объекта, так и излучения звезды-донора, используя не-ЛТР код CMFGEN и модели звездных атмосфер. Работа поддержана грантом РФФ №21-72-10167.

## Введение

Ультраяркие рентгеновские источники (ultraluminous X-ray sources, ULXs) наблюдаются как точечные внегалактические объекты со светимостью в рентгеновском диапазоне (0.5-10 кэВ) выше  $\approx 2 \times 10^{39}$  эрг/с (Эддингтоновский предел для черной дыры массой  $15 M_{\odot}$  для солнечного хим. состава). Согласно современным представлениям большинство ULX представляют собой тесные двойные системы с чёрными дырами звёздных масс или с нейтронными звездами, в которых звезда-донор заполняет полость Роша, а аккреция происходит в сверхэддингтоновском (сверхкритическом) режиме. В этом случае должен образовываться геометрически толстый сверхкритический аккреционный диск, в котором сила давления излучения становится равна силе гравитации (диск является локально Эддингтоновским). Характерной чертой сверхкритических дисков является наличие мощных истечений газа (ветра) с его поверхности, свидетельства которых обнаружены как в рентгеновском, так и оптическом диапазонах. По результатам анализа эмиссионных линий в спектрах оптических двойников ULX Fabrika et al. (2015) показали, что ветра сверхкритических дисков по своим характеристикам очень похожи на ветра звезд типа WNLh и LBV. Это дает основание полагать, что успешно применяемые к LBV сферические-симметричные модели протяженных атмосфер можно использовать в качестве первого приближения для определения параметров ветров ULX. В данной работе мы моделируем оптический спектр и определяем параметры ветра ультраяркого рентгеновского пульсара NGC 7793 P13, донором которого считается звезда B9Ia (Motch et al., 2014).

## Методы

Для расчета модели ветра ультраяркого рентгеновского источника NGC 7793 P13 был использован не-ЛТР код CMFGEN (Hillier and Miller, 1998). Первоначально, была рассчитана сетка моделей с параметрами  $-5.0 \leq \log \dot{M} \leq -4.0$  (шаг 0.1) и  $4.20 \leq \log T_* \leq 4.75$  (шаг 0.025)

при  $\beta = 1, 4$ , металличностях  $Z = 0.5, 1.0 Z_{\odot}$  и отношениях гелия к водороду  $\text{He}/\text{H}=0.1, 0.37$  (по числу атомов) с фиксированным радиусом  $R_* = 20 R_{\odot}$  ( $\tau \approx 20$ ) для всех моделей. Из сетки была выбрана модель, тмеющая наиболее близкие к наблюдаемым параметры линий, после чего производилась более точная подгонка.

Температура фотосферы определялась по отношению интенсивностей линий He II  $\lambda 4686$  и He I, а так же по соотношению синглетных и триплетных линий He I  $\lambda 6678, \lambda 7065$ . Существенный влияние на силу линии He II оказывает высокая плотность вещества вблизи фотосферы, вследствие многократного рассеяния, поглощения и переизлучения фотонов, сила линии возрастает. Оценки темпа потери массы были получены по интенсивности линии H $\alpha$ . Предполагается, что плотный сверхкритический ветер образует протяженную "псевдо-фотосферу", в то же время разница в ширине линий H $\alpha$  и He I  $\lambda 6678, \lambda 7065$ , а так же форма линий He I указывают продолжительное ускорения ветра над фотосферой. Исходя из этого мы использовали скоростной закон ветра с протяженной зоной ускорения, начиная с больших оптических глубин. Оценки терминальной скорости ветра были основаны на ширине профиля линии H $\alpha$ .

Согласно результатам исследования абсорбционной составляющей спектра NGC 7793 P13 определяющий вклад в континуум NGC 7793 P13 вносит звезда-донор B9 Ia (Motch et al., 2014). Для его учета мы использовали модели звездных атмосфер из работы Munari et al. (2005).

## Результаты

Температура фотосферы наилучшей модели  $T_{\text{eff}} \approx 16200$  K, темп потери массы  $\dot{M} = 10^{-5} M_{\odot}/\text{год}$  (при факторе заполнения  $f=0.5$ ), терминальная скорость  $V_{\infty} = 300$  км/с. В работе мы использовали металличность  $Z = 0.5 Z_{\odot}$ , которая примерно соответствует галактическому значению. Размеры протяженной фотосферы модельного спектра соответствуют радиусу полости Роша нейтронной звезды, на которую в этой системе происходит аккреция ( $R_{\tau=2/3} \approx 50 R_{\odot}$ ).

Оптимальный результат аппроксимации абсорбционных линий и континуума был получен для звезды с параметрами  $T_{\text{eff}} = 9000$  K,  $\log g = 1.5$ , что несколько ниже значений, полученными Motch et al. (2014).

Наблюдаемый и модельный спектры преставлены на Рис. 1. Мы получили хорошее согласие между комбинированной моделью и наблюдениями по всему диапазону длин волн – в линиях водорода Бальмеровской серии, гелия He I, He II, а так же в линиях C III, N III, что указывает на состоятельность исходных предположений о ветровом происхождении эмиссионного спектра NGC 7793 P13.

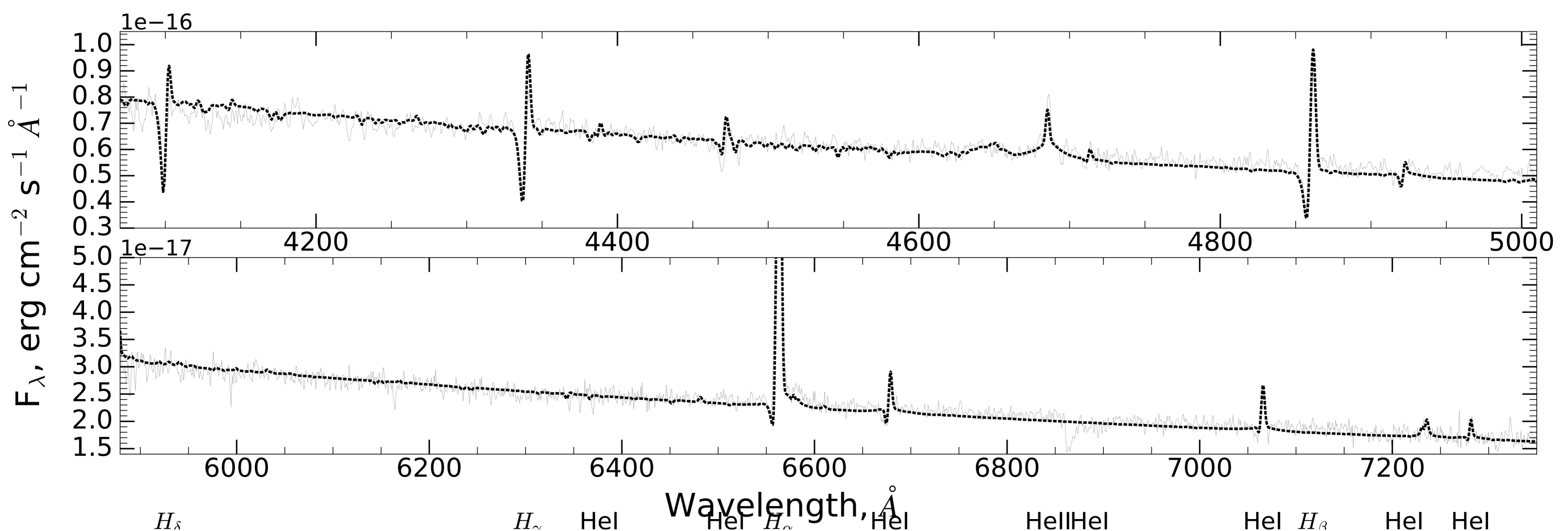


Рис. 1: Наблюдаемый спектр ULX NGC 7793 P13, исправленный за поглощение  $A_v = 0.25^m$  (серая линия); архивные данные VLT/FORS2, дата наблюдений 17 ноября 2017 года) и комбинированный модельный спектр, сглаженный со спектральным разрешением  $2.25 \text{ \AA}$  (черная линия).