

# Анализ кривых блеска поляра V808 Aur

**ИХСАНОВА А.И.<sup>(1)</sup>, Колбин А.И.<sup>(2)</sup>, Габдеев М.М.<sup>(2)</sup>**

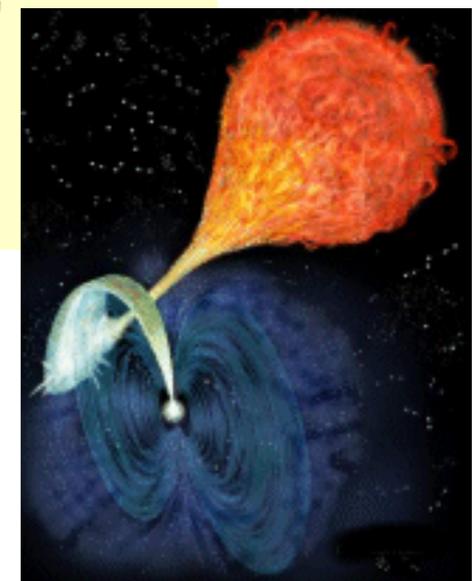
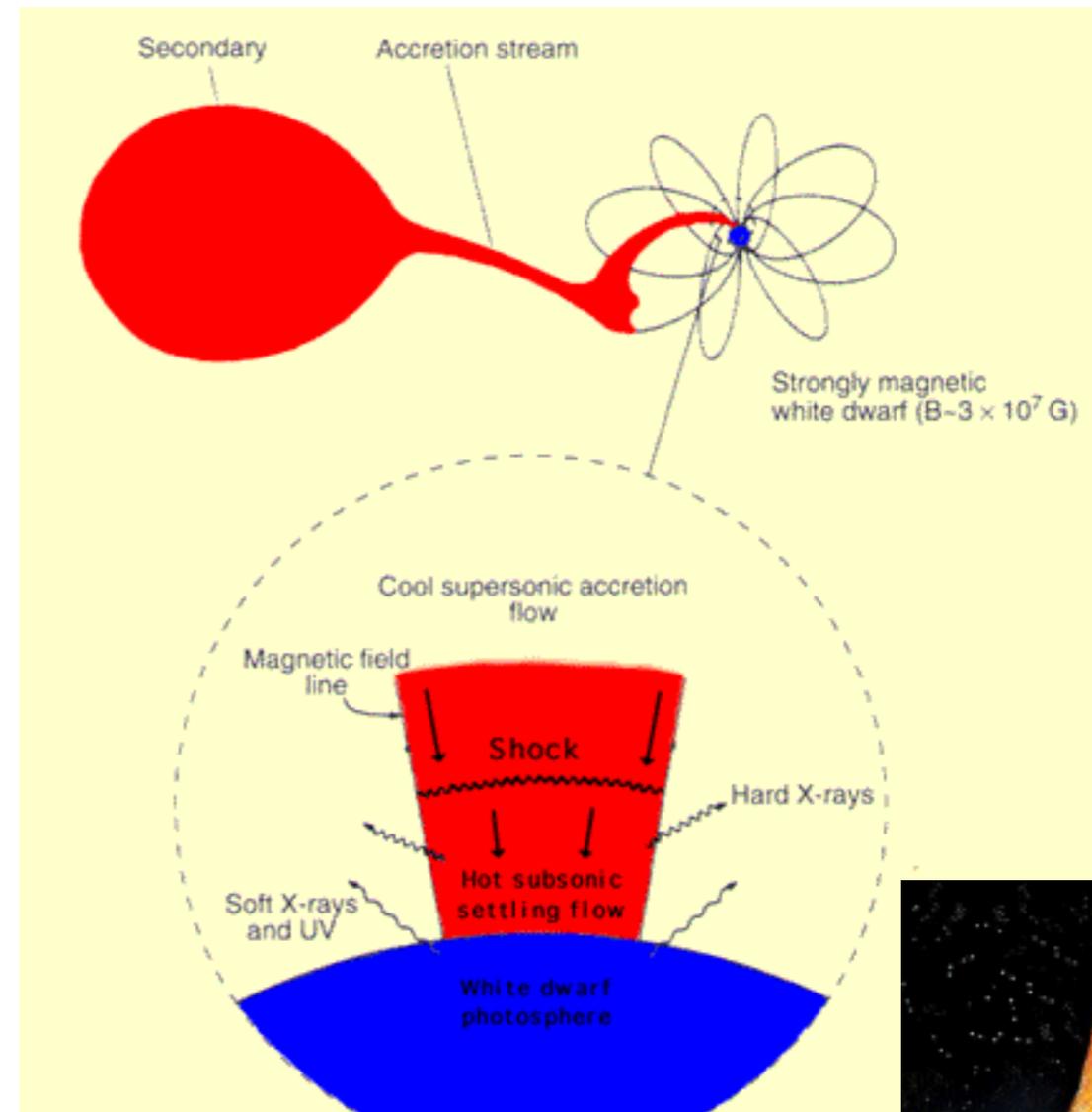
<sup>(1)</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>(2)</sup>Специальная астрофизическая обсерватория

# ПОЛЯРЫ

**Поляр** - тесная двойная система, состоящая из звезды главной последовательности, заполняющей свою полость Роша, и белого карлика с сильным магнитным полем ( $B=10-100$  МГс).

Ввиду сильного приливного взаимодействия ионизированное вещество холодной компоненты аккрецирует на поверхность белого карлика вдоль линий магнитного поля с образованием аккреционной колонны высотой порядка 0,1 радиуса белого карлика ( $kT \sim 10$  кэВ). Она является мощным источником тормозного рентгеновского излучения и поляризованного циклотронного излучения в оптическом диапазоне.

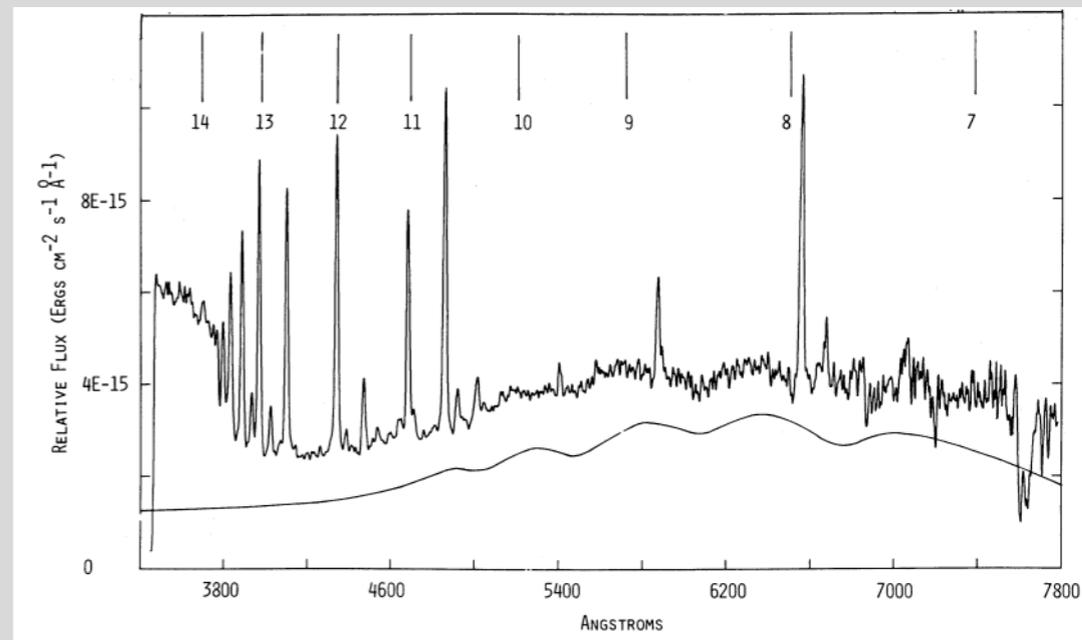
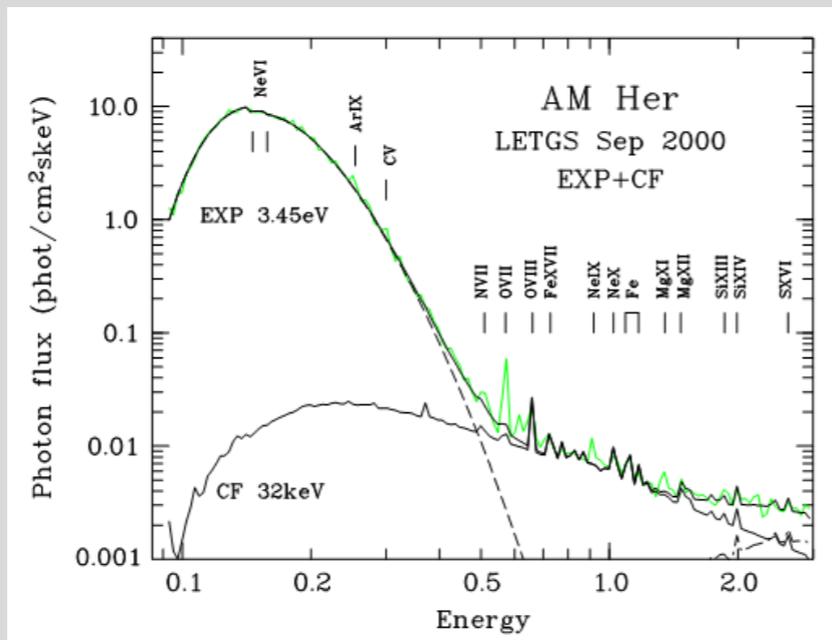


# СВОЙСТВА ПОЛЯРОВ

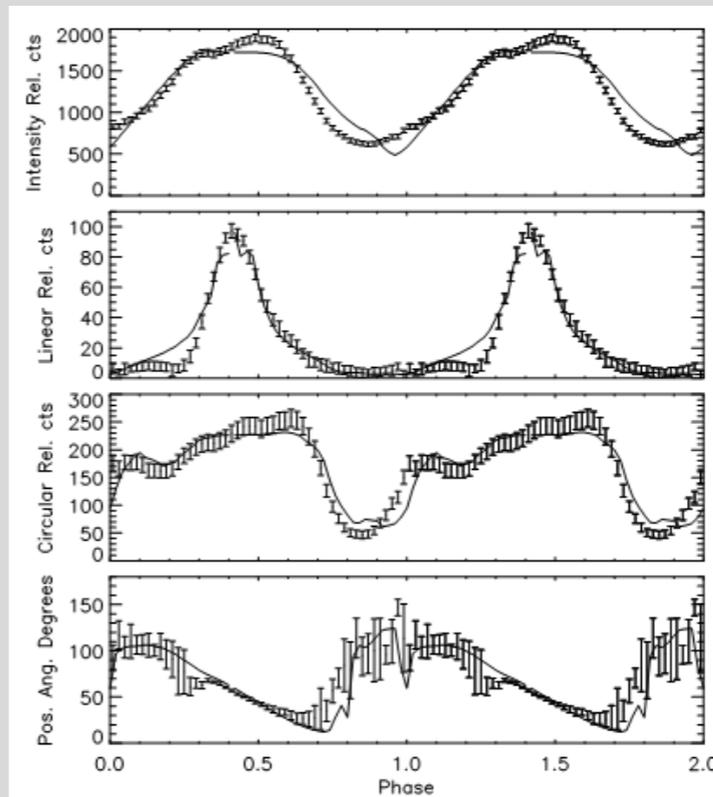
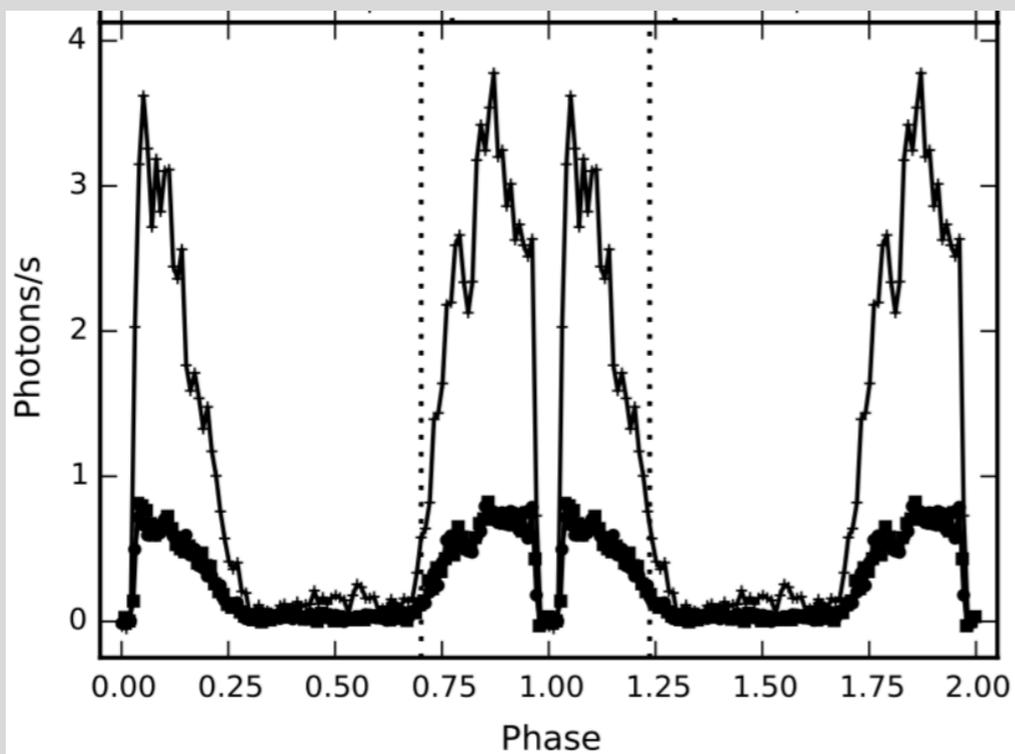
Рентген

Оптика

Спектры



Кривые блеска

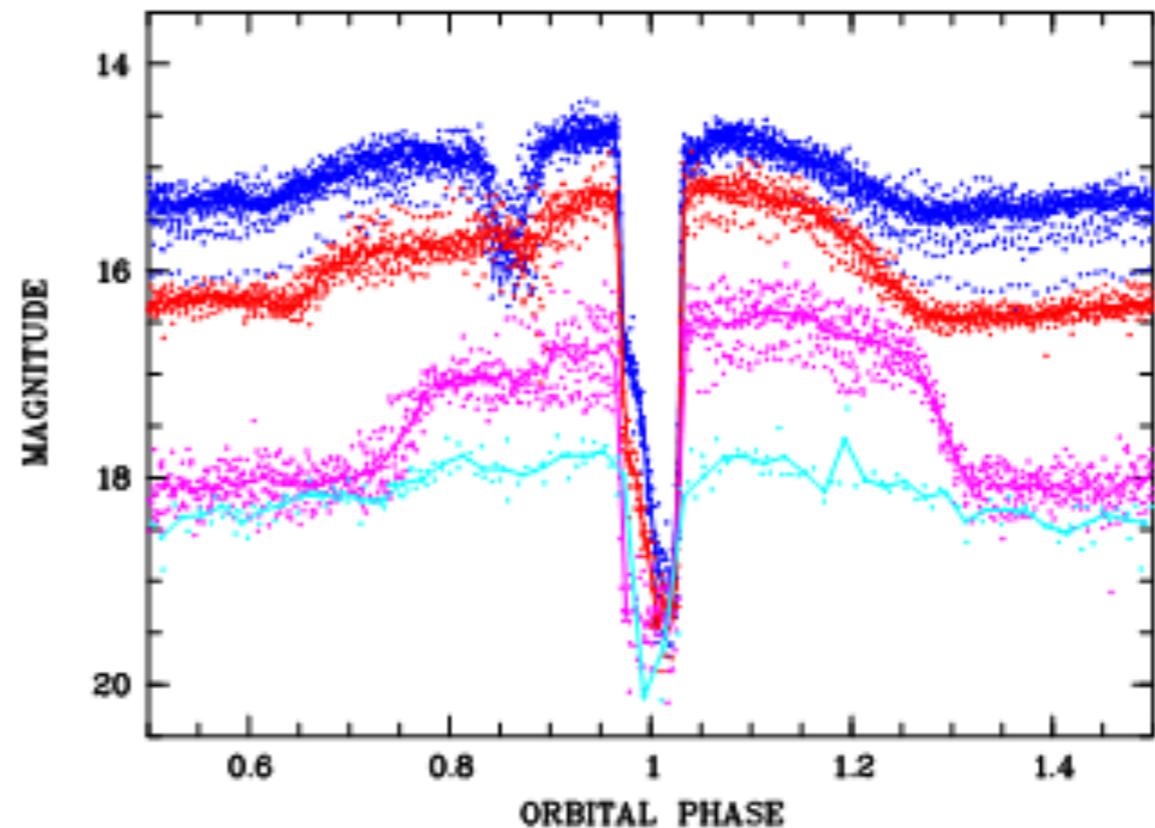


# ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение геометрической структуры аккреционных струй полюсов и восстановление распределения физических параметров по ним.

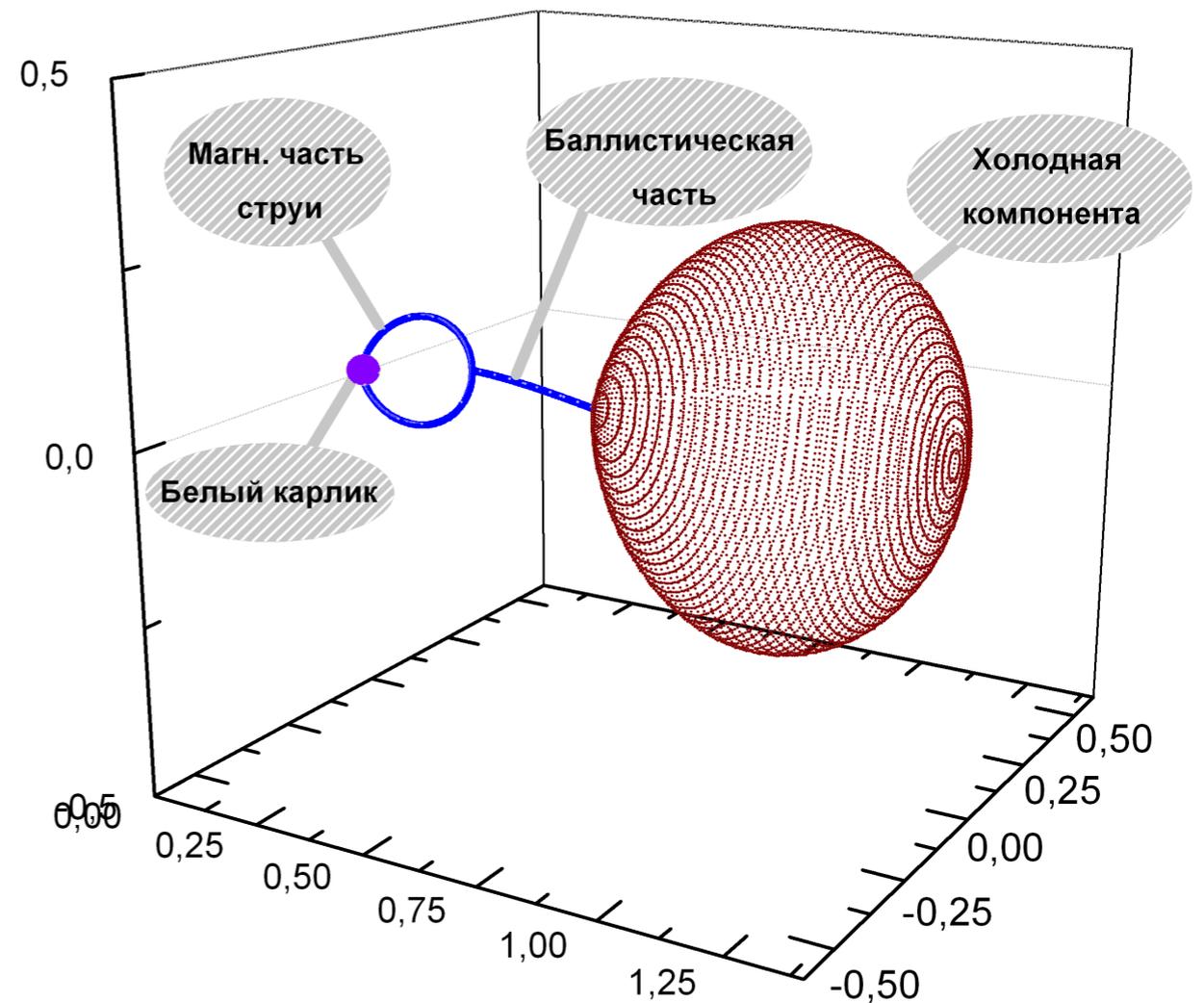
## ЗАДАЧИ

- Разработка программного комплекса моделирования кривых блеска затмений в полюсах.
- Анализ зависимости кривой блеска от геометрических параметров струи
- Применение реализованного метода для анализа кривой блеска затмения полюса V808 Aur



# МЕТОДИКА РАСЧЕТА КРИВОЙ БЛЕСКА: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Благодаря приливному взаимодействию холодная компонента имеет форму, описываемую моделью Роша.
- Магнитное поле белого карлика предполагается дипольным.
- Струя предполагается тонкой.
- Траектория делится на две части: баллистическую и магнитную.



# ПОСТРОЕНИЕ ПОЛОСТИ РОША

Безразмерный потенциал в двойной системе описывается следующей формулой:

$$W = \frac{1}{r} + q \left( \frac{1}{\sqrt{1+r^2-2r\lambda}} - r\lambda \right) + \frac{1}{2}(1+q)r^2(1-v^2)$$

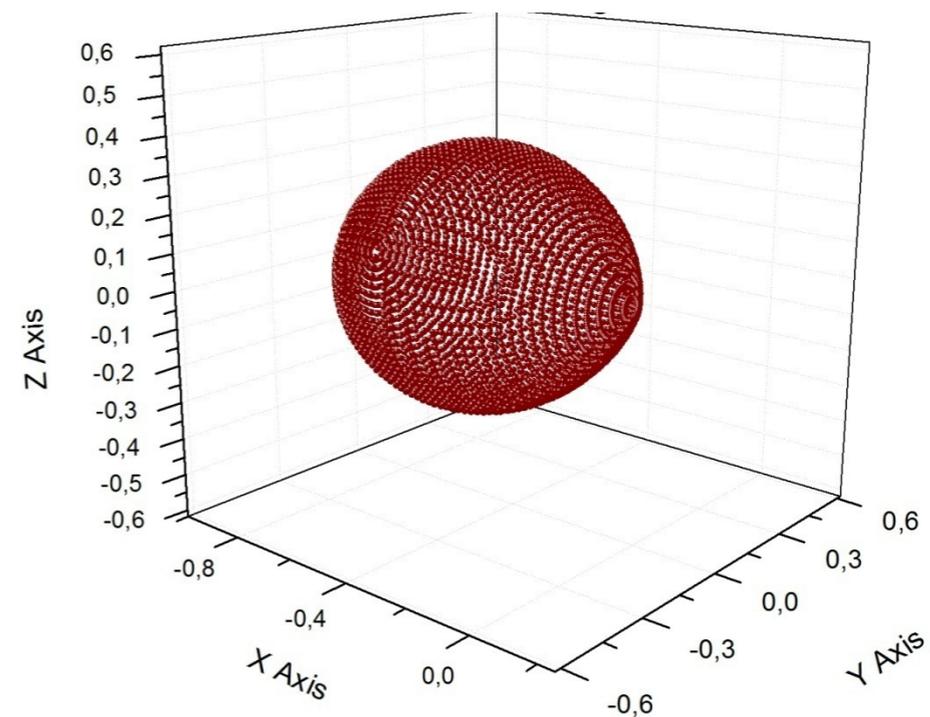
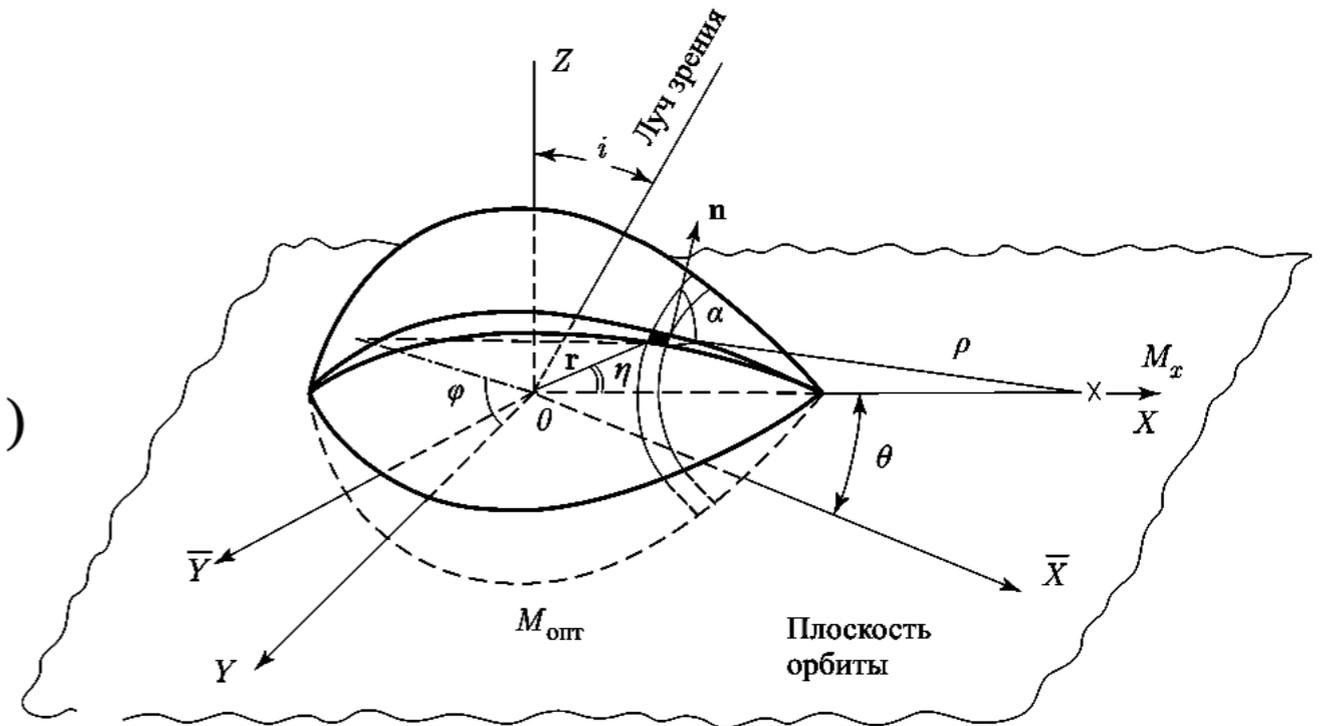
$$\lambda = \cos\eta$$

$$\mu = \sin\eta \cos\varphi$$

$$v = \sin\eta \sin\varphi$$

Координата точки Лагранжа  $L_1(X_0, 0, 0)$  определяется путем решения уравнения:

$$\frac{dW}{dx} = -\frac{1}{X_0} - q \left[ 1 - \frac{1}{(X_0-1)^2} \right] + (1+q)X_0 = 0$$



# ПОСТРОЕНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ТРАЕКТОРИИ

Ограниченная задача трех тел:

$$\ddot{x} = 2\dot{y} + x - \mu \frac{x - x_1}{r_1^3} - (1 - \mu) \frac{x - x_2}{r_2^3},$$

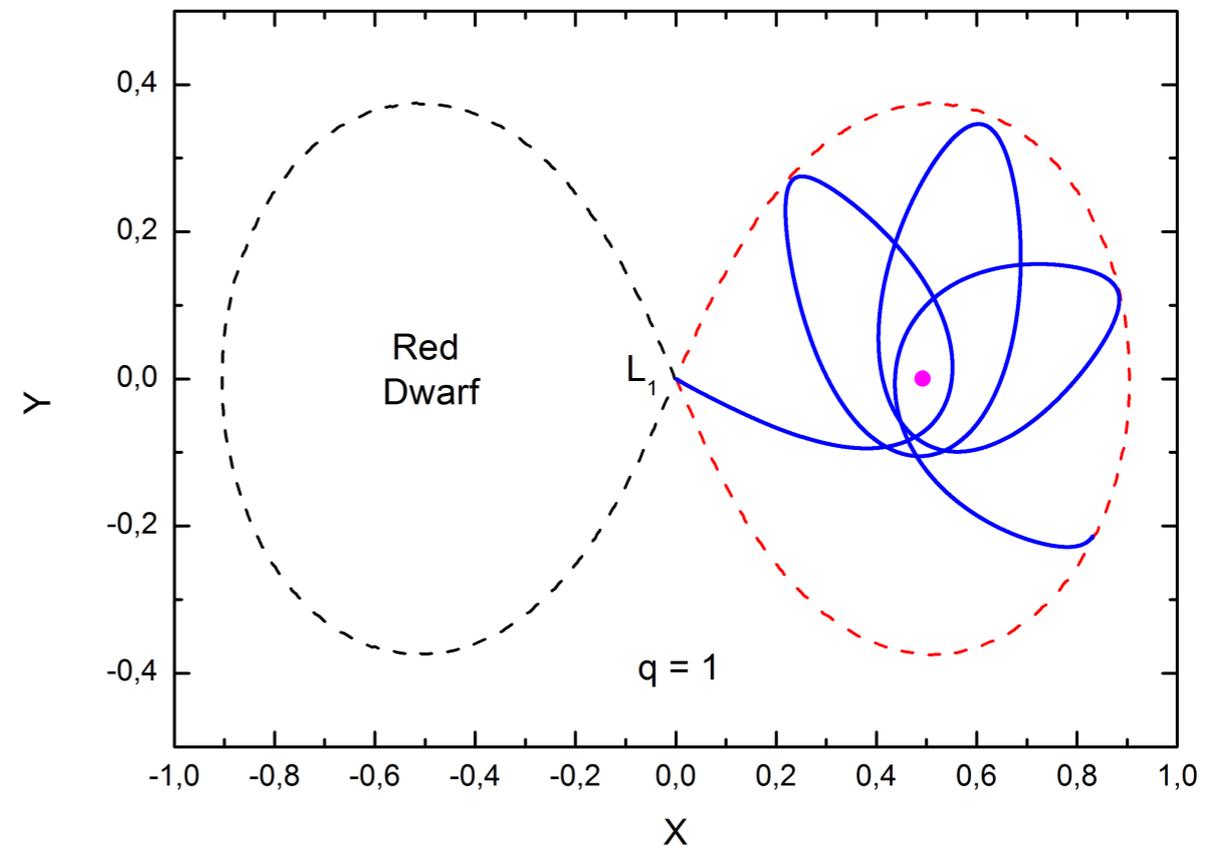
$$\ddot{y} = -2\dot{x} + y - \frac{\mu y}{r_1^3} - (1 - \mu) \frac{y}{r_2^3}.$$

Решение: **метод Эйлера.**

Начальные условия:

$$x(t = 0) = L1_x; y(t = 0) = 0;$$

$$\dot{x}(t = 0) \rightarrow 0; \dot{y}(t = 0) = 0.$$



Пример рассчитанной траектории частицы в отсутствии магнитного поля.

# ПОСТРОЕНИЕ МАГНИТНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Магнитная траектория определяется параметрами:

$\alpha$  - азимут. угол конца баллист. траектории;

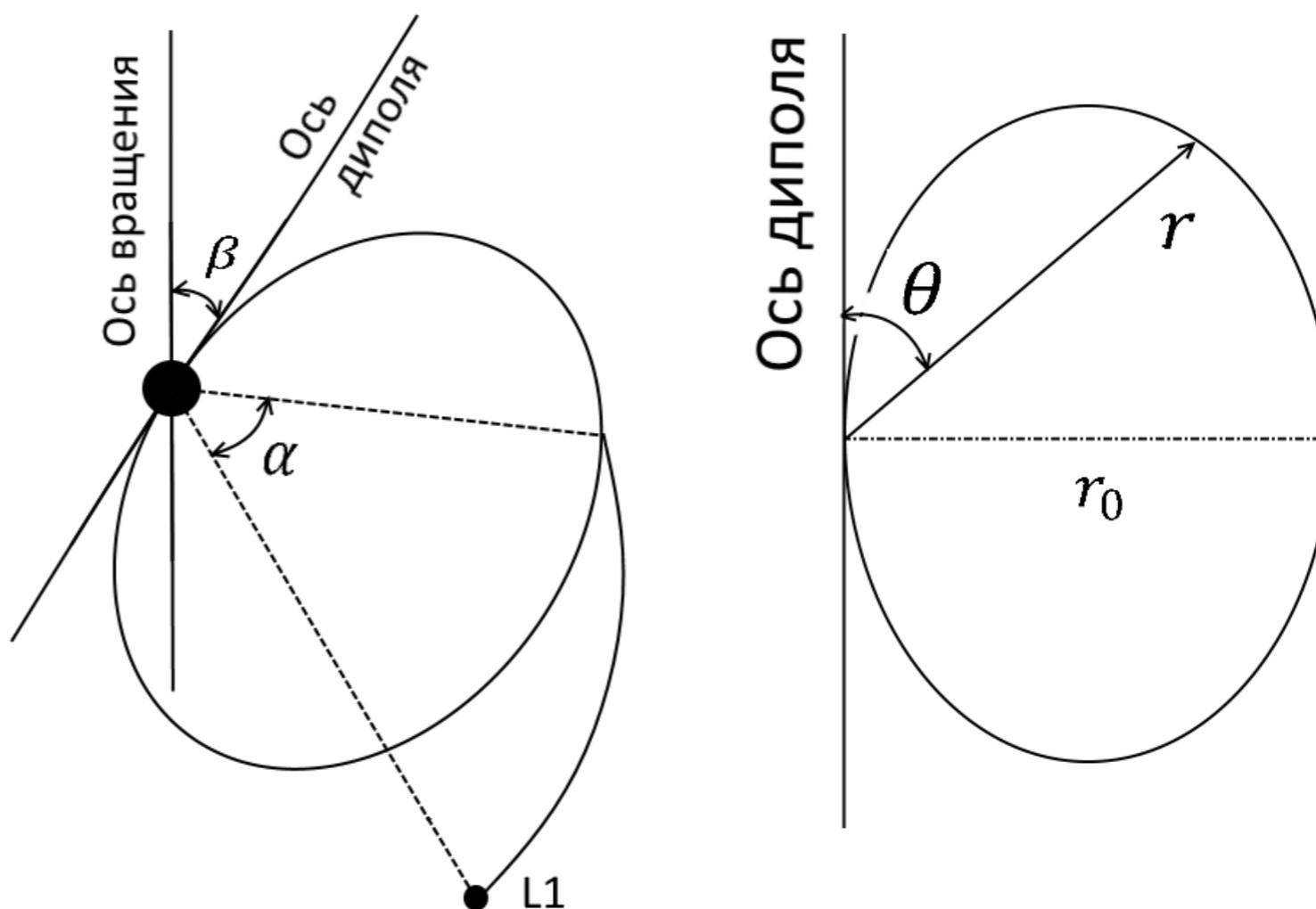
$\beta$  } направляющие  
 $\psi$  } углы диполя.

Уравнение магн. линии:

$$r = r_0 \sin^2 \theta.$$

Переход из “магнитных” координат в “орбитальные” координаты:

$$\mathbf{r}' = \mathbf{T}_\varphi \mathbf{T}_\beta \mathbf{r}.$$



# СИНТЕЗ КРИВОЙ БЛЕСКА

Алгоритм.

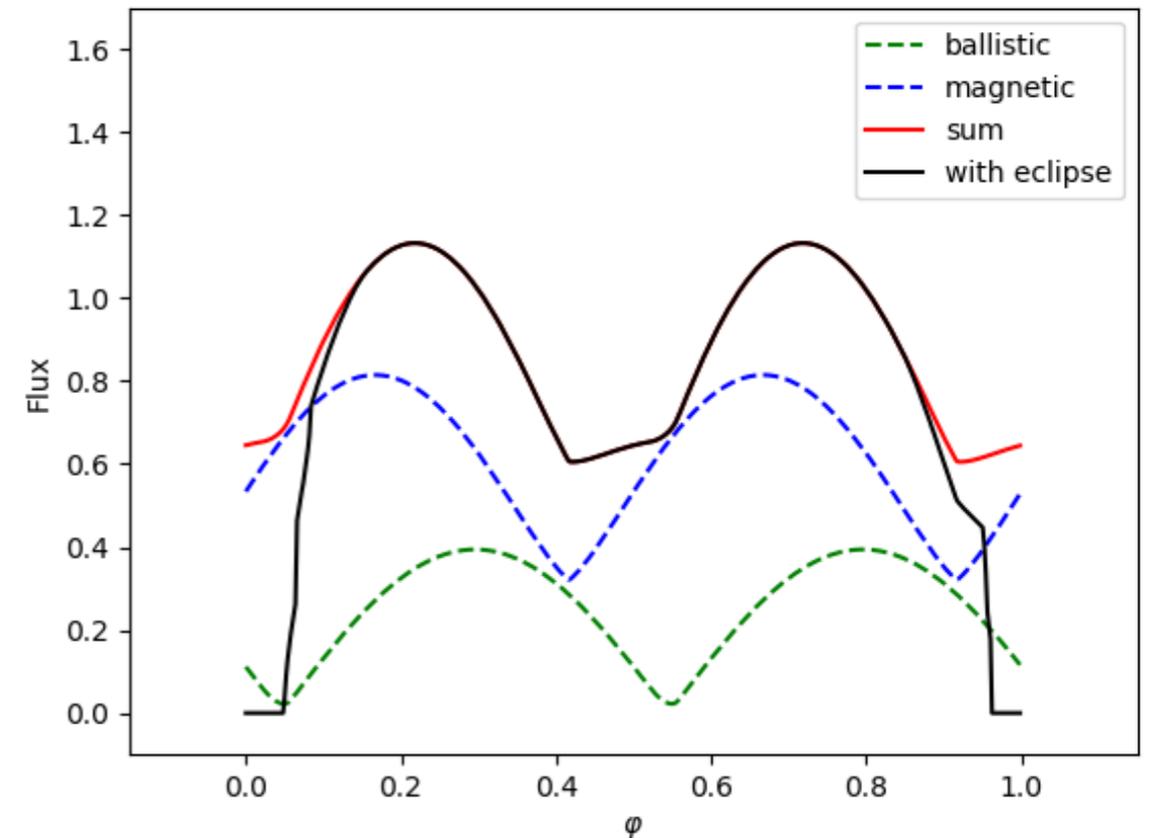
- 1) Расчет траектории аккрецирующего вещества.
- 2) Разбиение струи на малые отрезки.
- 3) Задание распределения интенсивности по струе:
  - а) однородное распределение;
  - б) распределение  $\sim 1/r^2$ ;
  - в) яркая колонна + слабая струя.
- 4) Интегрирование интенсивности по незатмеваемым участкам струи:

$$F_p = \sum_i \Delta L_i \sin \omega_{pi} I_i,$$

$\Delta L_i$  – ширина отрезка;

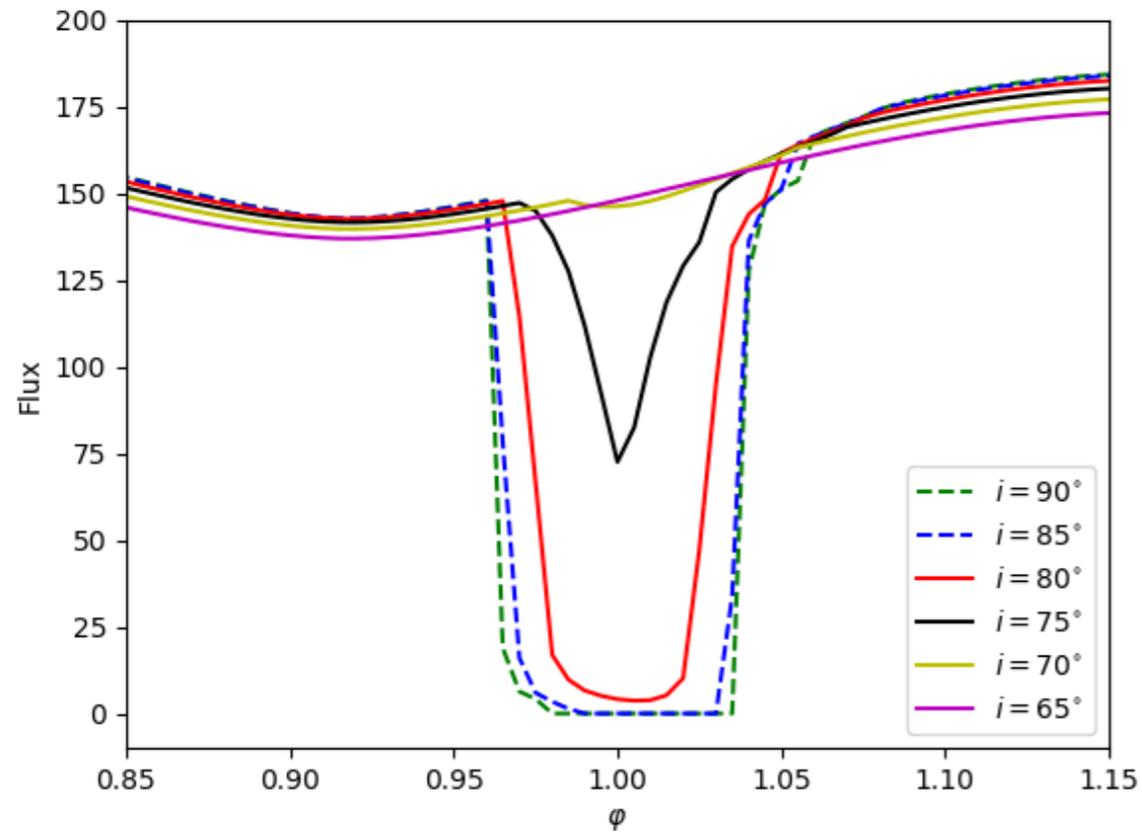
$\omega_{pi}$  – угол между отрезком и лучом зрения;

$I_i$  – интенсивность отрезка.

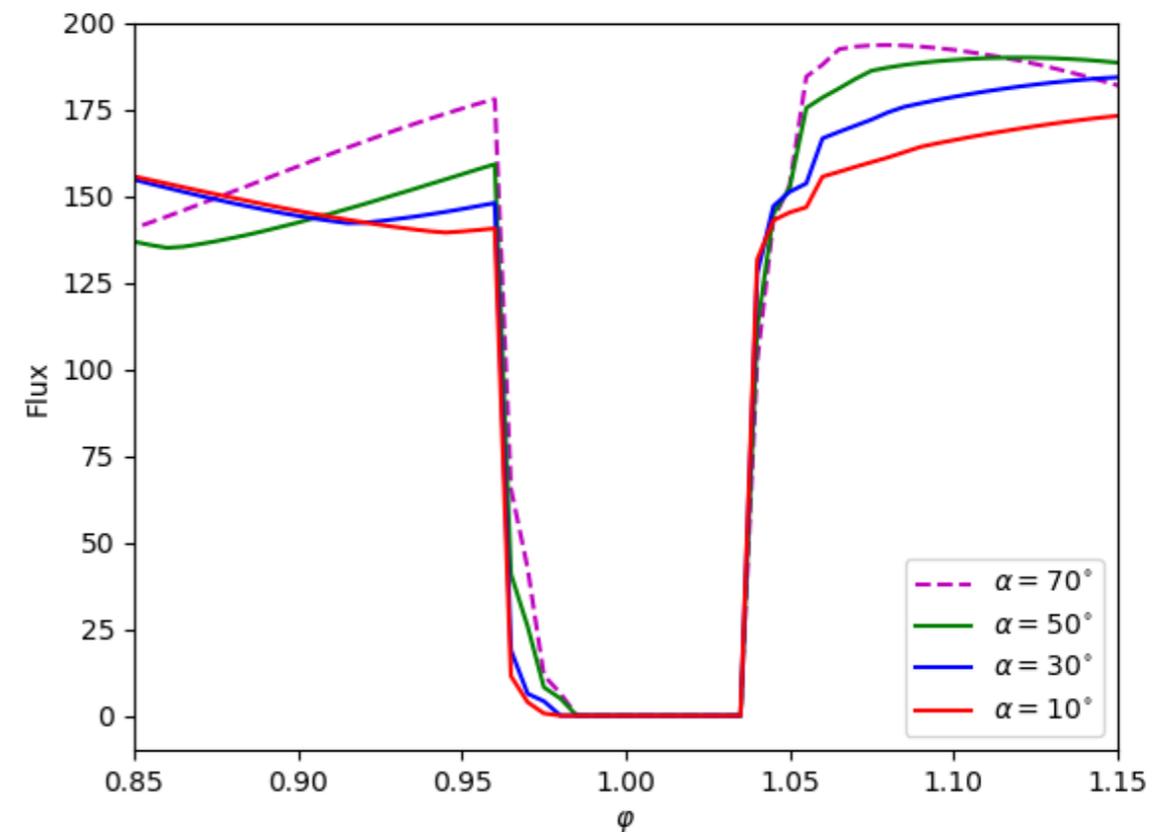


Вклад разных участков струи в общую кривую блеска поляр (i=90°, q=0.21,  $\alpha=30^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$ , аккреция на два полюса).

# ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИВЫХ БЛЕСКА



Кривые блеска затмения для разных значений угла наклона орбитальной плоскости  $i$ . ( $\alpha=30^\circ$ ,  $q=M2/M1=0.21$ ,  $\beta=0^\circ$ ).



Кривые блеска затмения для разных значений азимутального угла конца баллистической траектории  $\alpha$ . ( $i=90^\circ$ ,  $q=M2/M1=0.21$ ,  $\beta=0^\circ$ ).

# ПОЛЯР V808 Aur

Borisov+, 2014

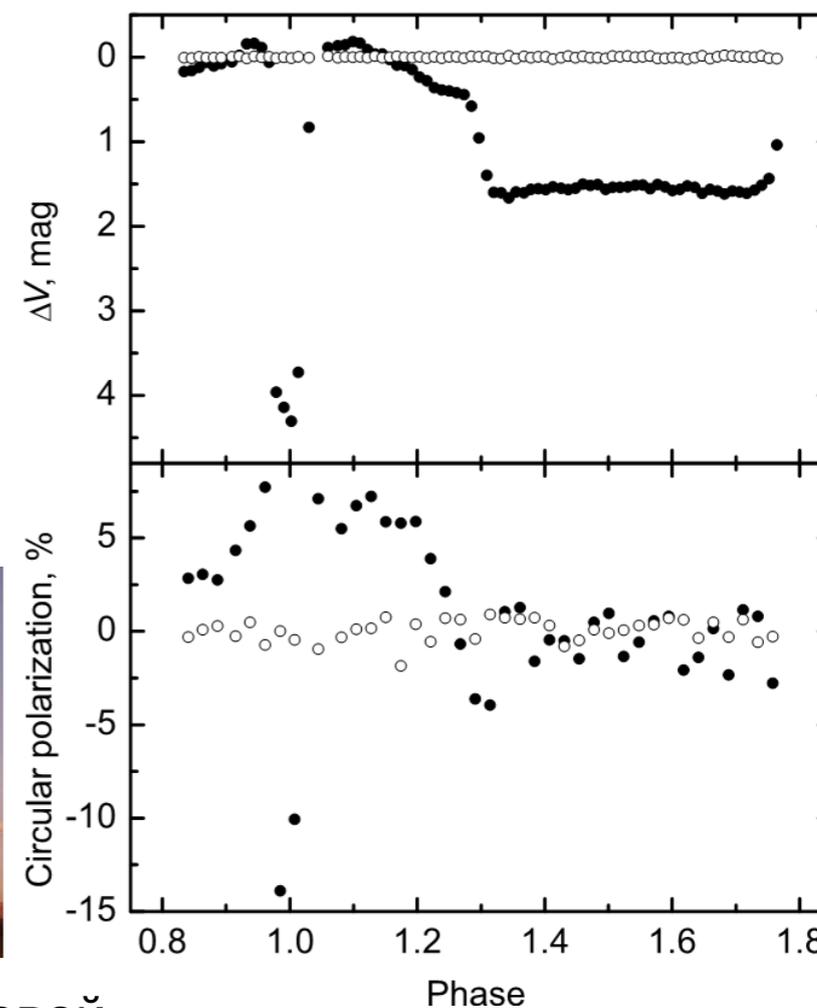
$$i = 79 \pm 0.3^\circ$$

$$q = 0.21$$

$$B = 38MG$$

$$\beta = 38.7^\circ$$

$$\psi = -9.7^\circ$$

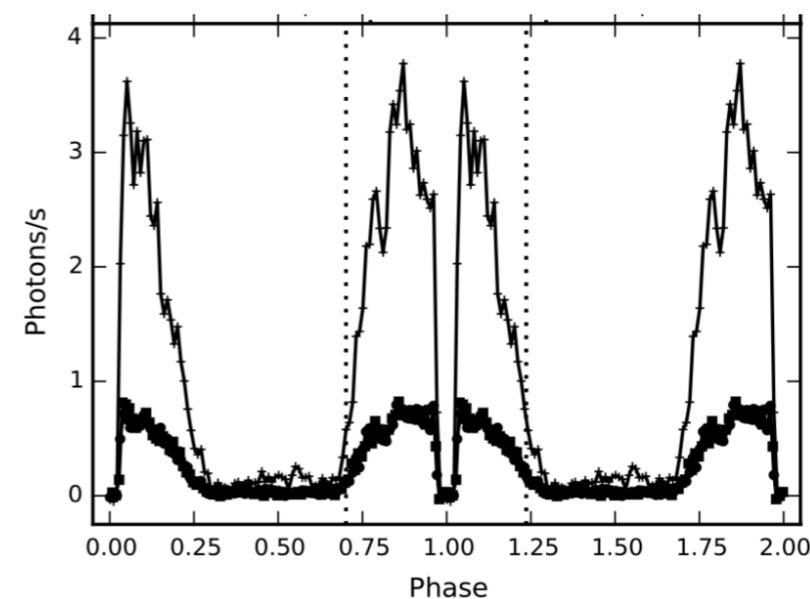


Кривая блеска и кривая круговой поляризации поляр V808 Aur по данным БТА/SCORPIO-2.

Kolbin+, 2019



Рентгеновская кривая блеска поляр V808 Aur, полученная на XMM-Newton (Worpel+, 2015).



# Наблюдения и обработка данных

Телескоп: БТА САО РАН (D=6m)

Прибор: MPPP

Режим: полоса V

при 4-х положениях  
поляризатора

Обработка данных:

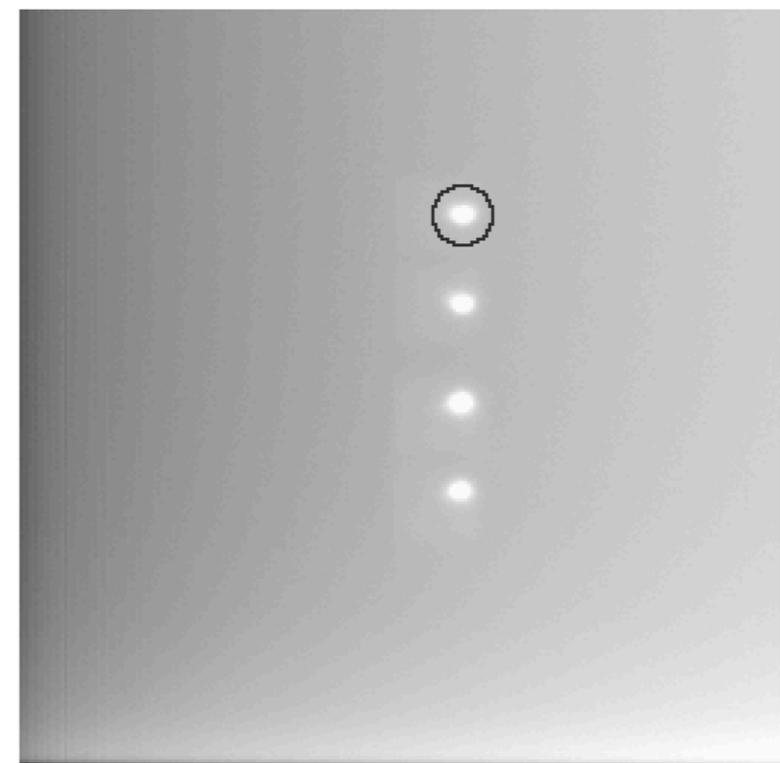
Апертурная фотометрия (IRAF)

Учет атмосферной экстинкции

Переход в HJD (astropy)

Экспозиция: 0,1-0,2s

Время наблюдений: 2018-04-07



Пример получаемого изображения

# МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЙ БЛЕСКА V808 Aur

Поиск параметров струи:

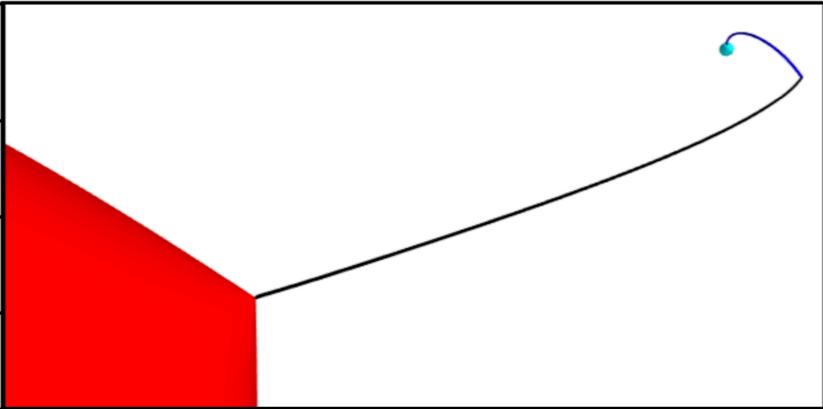
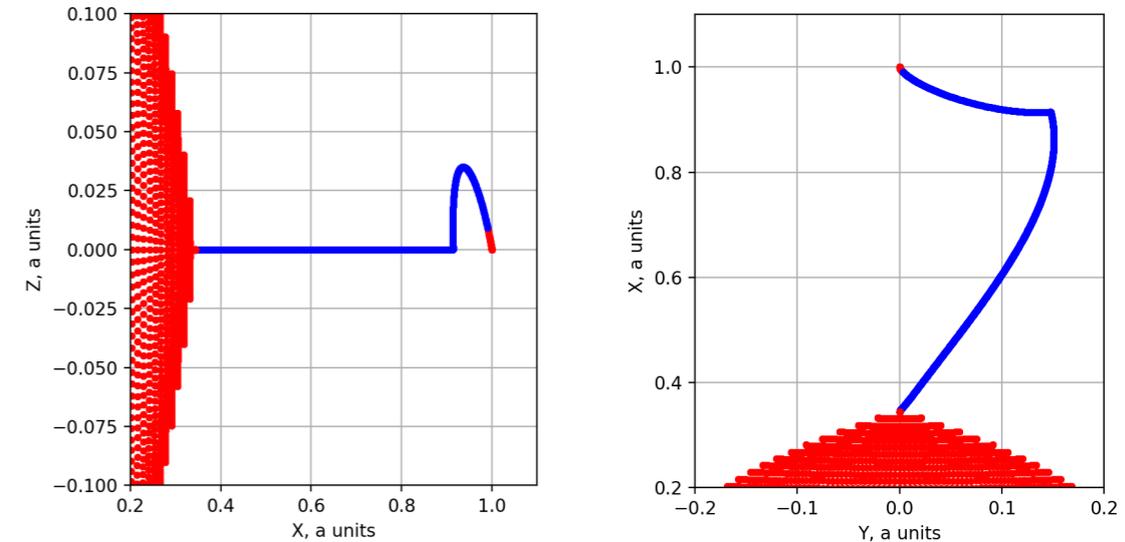
$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} (y_i - f_i)^2 \rightarrow \min$$

Оптимизация: метод Нелдера-Мида

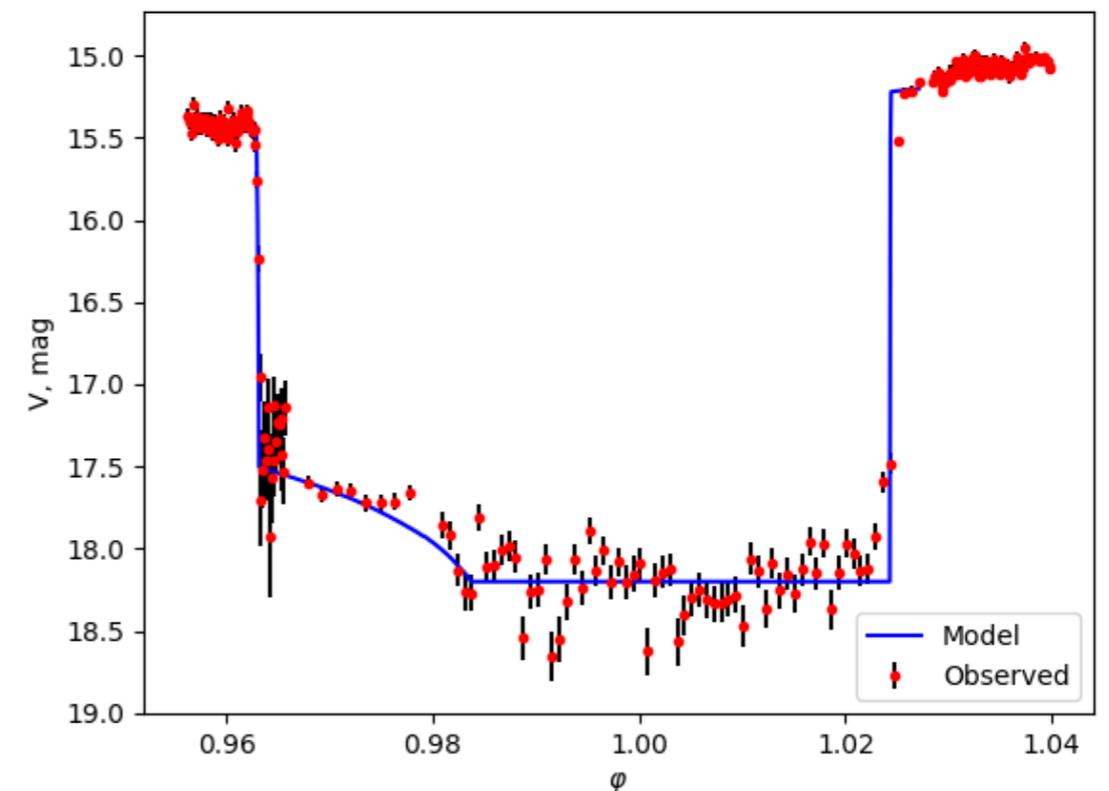
Распараллеливание: System.Threading

Найденное решение:

Parameter	Value
$i^\circ$	$81.7 \pm 5^\circ$
$\alpha^\circ$	$50 \pm 10^\circ$
$H, R_{WD}$	$0.2 \pm 0.15$

Найденная модель аккреции в поясе V808 AUR



Сравнение наблюдаемых и теоретических кривых блеска.

# ВЫВОДЫ И ПЛАНЫ

## ВЫВОДЫ:

- ❖ Разработан программный комплекс моделирования кривых блеска затмений полярных звезд (C#+Python).
- ❖ Выполнена обработка наблюдательного материала полярной звезды V808 Aur и промоделирована кривая блеска с нахождением параметров аккреционной струи.

## ПЛАНЫ:

- Восстановление структуры струи методом максимума энтропии.
- Сравнение полученных результатов с данными доплеровского картирования.
- Моделирование кривых линейной и круговой поляризации затмения.

*Спасибо за  
внимание!*