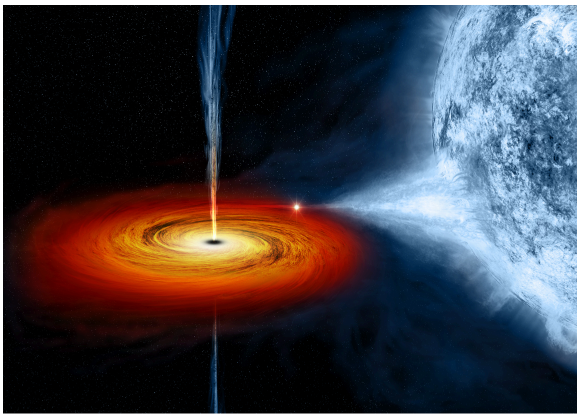
Задача по анализу данных, используя библиотеки Pandas и Matplotlib

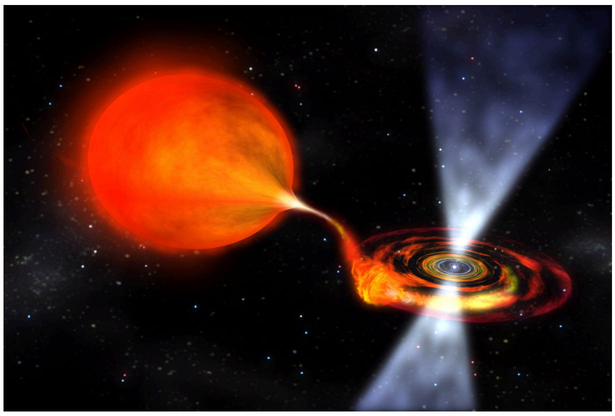
Измерение массы объекта Лебедь X-1

<u>Часть 1. Теория</u>

Лебедь X-1

1. Один из ярчайших источников рентгеновского излучения (открыт в 1964 г)
2. Первый рентгеновский источник - кандидат в чёрные дыры
3. Входит в состав двойной звёздной системы вместе с голубым сверхгигантом HDE 226868
4. Система относится к классу квазистационарных массивных рентгеновский двойных.
5. Компоненты находятся на расстоянии 0.2 а.е.
6. Вследствие аккреции на диск чёрной дыры звёздное вещество сверхгиганта разогревается до миллионов Кельвинов, генерируя рентгеновское излучение





Объект представляет собой двойную звездную систему. Для неё справедлив III закон Кеплера:

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)}$$

Лучевая (радиальная) скорость - проекция скорости точки на прямую, соединяющую её с выбранным началом координат.

Условие, определяющее расстояние до центра масс двойной системы до каждой из звёзд

$$M_1 r_1 = M_2 r_2$$

Лучевая скорость связана со скоростью движения Лебедя X-1 по орбите вокруг общего центра масс двойной системы. А через скорость движения по орбите, радиусы орбит и массу звезды-компаньона можно найти искомую массу чёрной дыры.

Часть 2. Практика. Нахождение массы объекта.

Что нужно сделать?

а) Изучить теорию, приведенную в этом документе

б) С помощью файла ***cygX-1.csv*** построить кривую блеска - график зависимости звездной величины от фазы. Учтите, что в файле даны: 1 столбец - юлианская дата, 2 столбец - звездная величина, 3 столбец - погрешность звездной величины.

Фаза считается по формуле: $Phase = \{(MJD - MJD0)/P\}$

MJD – модифицированная юлианская дата

(момент наблюдения в 01:00:00)

MJD0 – модифицированная юлианская дата одного из минимумов, который мы примем за ориентир

MJD0 = 41162.851d

Скорее всего вам не удастся самостоятельно построить этот график, он требует довольно сложной математической составляющей, в этом случае нужно построить график зависимости звёздной величины от времени (юлианской даты). Если вам удастся аппроксимировать его кривой, то можно найти период самим. Но для вашего удобства и дальнейшей работы можно принять период за P = 5.5993863d

в) На данном этапе нужно построить кривую лучевых скоростей, то есть график зависимость лучевой скорости от фазы. Вам дан файл ***cygX-1_2.csv***, в котором в первом столбце MJD – модифицированная юлианская дата наблюдений

MJD0 – модифицированная юлианская дата одного из минимумов, который мы примем за ориентир

MJD0 = 41162.851d

P = 5.5993863d

$Phase = \{(MJD - MJD0)/P\}$

Из-за наличия лучевой скорости объекта возникает эффект Доплера - смещение длины волны, в нашем случае линии гелия HeI (лабораторная длина волны HeI λ0 = 6678.15 A)

Эффект Доплера

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{V_{rad}}{c}$$

$$\lambda_0 = 6678.15\ \text{Å}$$

$$c = 299792.458\ \text{km/s}$$

$$V_{rad} = c * \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Из таблицы ***cygX-1_2.csv*** мы знаем наблюдаемую длину волны на момент каждого наблюдения (2 столбец).
Тогда, зная лабораторную и наблюдаемую длину волны, а также скорость света (с), можно найти лучевую скорость по формуле выше.

По этим формулам нужно получить таблицу, во 2 столбце которого будет лучевая скорость, а в 1 - фаза. По этой таблице нужно построить график. Vmax, Vmin - максимальное и минимальное значение лучевой скорости, полученные через эффект Доплера.
Далее нужно посчитать полумаплитуду формуле: K = ((Vmax-Vmin)/2)

- Большая полуось равна сумме радиусов орбит компонент двойной системы

$$r_1 + r_2 = a$$

- Полуамплитуда кривой лучевых скоростей равна круговой скорости звезды по орбите

$$K_{1/2} = \frac{2\pi r_1}{P} \sin i$$

- Условие, определяющее расстояние до центра масс двойной системы до каждой из звёзд

$$M_1 r_1 = M_2 r_2$$

- Обобщённый третий закон Кеплера:

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)}$$

- Функция масс, определённая по спектральным линиям первой звезды

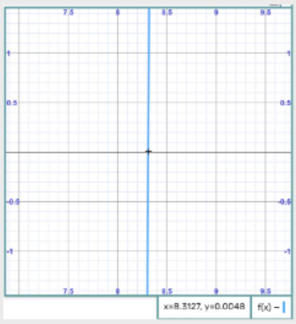
$$f_1(M) = \frac{M_2^3 sin^3 i}{(M_1 + M_2)^2} = \frac{PK_{1/2}^3}{2\pi G}$$

- Выражаем массу чёрной дыры из функции масс

$$M_2 = f_1(M)\left(1 + \frac{M_1}{M_2}\right)^2 \frac{1}{sin^3 i}$$

$$i = 48^{\circ} \pm 6.8^{\circ}$$

$$M_1 = 20 - 40\ M_{\odot}$$



- https://mathdf.com/equ/ru/ - онлайн-калькулятор для решения уравнений

* i - наклонение орбиты объекта к лучу зрения