

МГУ им. М.В. Ломоносова
Физический факультет
Кафедра астрофизики и звёздной астрономии

Методическое пособие к задаче специального астрономического практикума
для студентов 4 курса физического факультета, обучающихся по программе
«МС_АСТРОНОМИЯ»
(специальность 03.05.01 «Астрономия»)

Задача N1
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ
ГАЛАКТИКИ

Составители:

А.В.Засов, Л.Н.Петроченко

Москва, 2017

Введение

Основным методом измерения расстояния до далеких галактик является оценка красного смещения $\delta\lambda/\lambda$ линий в их спектре. В настоящей задаче эта величина оценивается по линиям эмиссии для галактик, одна из которых сравнительно близкая, а другая — далёкая.

В задаче требуется, измерив положение эмиссионных линий в предоставленном спектре галактики, определить ее красное смещение, расстояние до галактики, светимость и линейный размер.

В галактиках, в которых имеет место звездообразование, спектр содержит эмиссионные линии, связанные с фотоионизацией и последующей рекомбинацией газа. Их доплеровский сдвиг может несколько отличаться для различных областей галактики (главным образом, из-за вращения). Расстояние при этом определяется по красному смещению линий в центральной, наиболее яркой части галактики.

В рамках задачи будут обработаны спектры галактик в формате '.fts', полученные на телескопе БТА (САО РАН) или другом телескопе (по выбору преподавателя) с использованием щелевого спектрографа. Обработка спектров будет проводиться в программе "ds9", которая позволяет просматривать fts-файлы и их шапки, определять координаты на изображении, измерять потоки и многое другое. На изображении спектра размытая полоса, идущая по центру — это непрерывный спектр галактики, наиболее яркий в области ее ядра. Искривленные линии, пересекающие спектр по вертикали — это линии неба. Самая яркая из них в желто-зеленой области — это линия кислорода 5577 Å. Неровные, сравнительно короткие и светлые на позитивном изображении (или темные — на негативном) линии — это эмиссионные линии галактики. В голубой области спектра — это H_β ($\lambda=4861\text{Å}$) и дублет [OIII] ($\lambda=4959, 5007\text{Å}$), в красной части спектра заметны H_α ($\lambda=6563\text{Å}$), дублет линий [NII] ($\lambda=6548, 6584\text{Å}$) по обе стороны от H_α , и дублет [SII] ($\lambda=6716, 6730\text{Å}$). Можно заметить и абсорбционные линии галактического ядра, но определять по ним красное смещение сложнее. На спектрограмме может быть изображена лишь часть спектра. Узнать диапазон длин волн в спектрах можно, посмотрев параметр «SPERANGE» в шапке fts-файла.

В задаче требуется определить доплеровский сдвиг хорошо заметных линий галактики по их расположению относительно линий излучения ночного неба (они идут перпендикулярно тонкой полоске спектра галактики). Пример спектра излучения ночного неба показан на рисунке 1 (<http://www.caha.es/sanchez/sky/>).

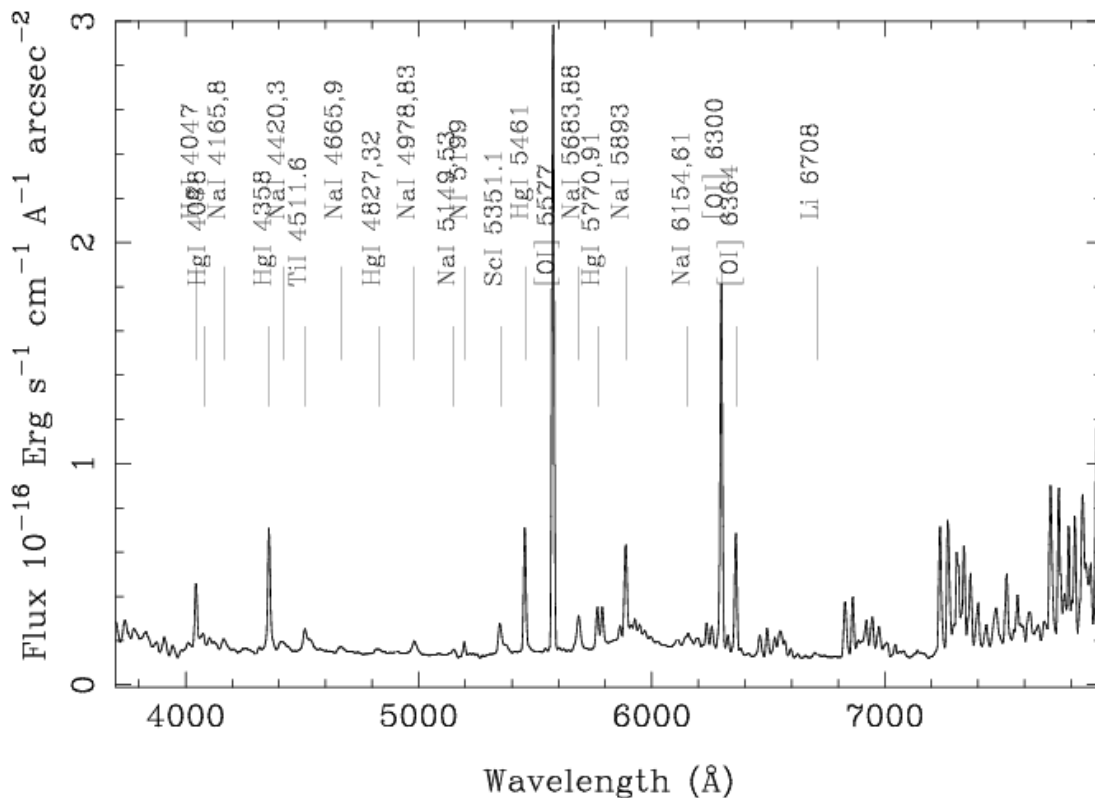


Рисунок 1. Пример спектра излучения ночного неба.

На рисунке 2 продемонстрирован спектр одной из галактик, для которой в задаче потребуется определить красное смещение.

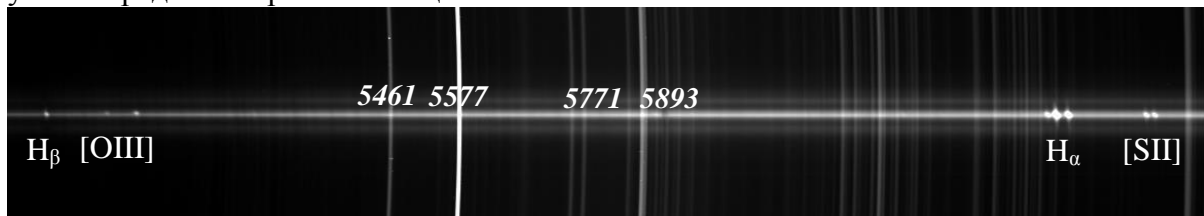


Рисунок 2. Пример спектра галактики. Сверху белым курсивом подписаны длины волн некоторых линий ночного неба, а снизу белым прямым шрифтом – некоторые эмиссионные линии галактики.

По измеренному смещению линий («красному смещению») можно оценить расстояние до галактики. Для корректного определения скорости удаления галактики, надо исправить полученную из наблюдений скорость за движение Земли вокруг Солнца и Солнца в Галактике по формуле:

$$\Delta V = 220 \text{ км/с} \cdot \sin l \cdot \cos b,$$

где l и b , — соответственно, галактическая долгота и широта объекта, которые определяются по любой базе данных, содержащей координаты внегалактических объектов, например, NED (<http://ned.ipac.caltech.edu/>) или HYPERLEDA (<http://leda.univ-lyon1.fr/>). Номер галактики по NGC можно узнать из fits-файла (вход через “file”). В базе HYPERLEDA могут быть найдены угловые размеры галактики и звёздные величины, исправленные за межзвёздное и внутреннее поглощение. В базе данных NED содержится также легкодоступная информация о том, что представляют собой галактика (опция “Notes”) и ее изображения

(опция “Images”).

В итоге выполнения задачи должна быть получена оценка красного смещения галактик, расстояние до них, и — по известной звёздной величине и угловому размеру — светимости и линейного размера галактик.

Порядок выполнения работы

1. Загрузить изображение спектра галактики в программе ds9. Для этого в верхнем меню нужно выбрать File, затем Open и выбрать требуемый файл. С использованием кнопок zoom добейтесь наиболее удобного для работы по отождествлению линий масштаба и контраста. Контраст можно менять, проводя мышью по изображению, зажимая правую кнопку мыши. Для того, чтобы ознакомиться с шапкой fts-файла выберите в меню над изображением file и нажмите header.
2. Отождествите линии неба и эмиссионные линии галактики. Отождествление линий неба удобно проводить с использованием отдельной фотографии спектра неба, которая может быть приложена к задаче. (В отождествлении может помочь также Рис.1 и 2). Необходимо отождествить все отчетливо наблюдаемые эмиссионные линии ночного неба и галактики, для которых известна длина волны.
Примечание. В красной области спектра самой яркой эмиссионной линией является ($\lambda = 6563\text{Å}$), две близкие линии по обе стороны от нее принадлежат натрию. В спектре неба эти линии очень слабые.
3. Измерьте x-координату каждой отождествленной линии. Для увеличения точности отсчета поставьте линию на центр изображения (это можно сделать, перемещая зеленую рамочку в квадрате справа вверху). Оцените точность результата. Она может быть ограничена либо размером пикселя изображения, либо «размытостью» линии. Поскольку линии на спектре сильно искривлены, проводите измерения на одной y-координате, относящейся к ядру галактики. Однако, если непрерывный спектр ядра очень ярок, и оценить координату линий на его фоне трудно, можно определять координаты всех линий, отступив на небольшое фиксированное расстояние от ядра сверху и снизу от него, и брать среднее значение по каждой паре измерений.
4. По линиям ночного неба постройте дисперсионную кривую (зависимость координаты вдоль спектра от длины волны) в программах ORIGIN или Excel. Аппроксимируйте полученную зависимость полиномом третьей степени. Зная x-координаты эмиссионных линий галактики, определите с помощью полученной калибровочной зависимости их длины волн.
5. Сопоставив полученные значения длин волн галактики с лабораторными значениями, определите красное смещение галактики, скорость удаления $V = c[(\delta\lambda)/(\lambda)]$, исправьте ее за движение Солнца, и оцените расстояние $D=V/H$, где $H = 70 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ — постоянная Хаббла.
6. С помощью преподавателя или с использованием HYPERLEDA найти оценку видимой звёздной величины, углового размера галактики и скорости вращения V_{rot} .
Примечание: угловой диаметр в HYPERLEDA дается для граничной изофоты 25 зв.вел./сек² в единицах 0.1 угл. минуты в логарифмических единицах. Пример: $\log D_{25} = 2$ соответствует 10 угл. минутам.
7. По известному расстоянию определить светимость, линейный размер и массу в пределах оптического радиуса. Оптический радиус $R = D \sin(D_{25}/2)$. Масса галактики в пределах этого радиуса составит (в предположении сферически симметричного распределения массы) $M = V_{\text{rot}}^2 R / G$.

Результаты

В задаче должны быть получены оценки красного смещения, расстояния до галактик, их светимости, линейного размера и массы в пределах оптических границ и оценены ошибки полученных оценок с учетом того, что постоянная Хаббла известна с точностью $\pm 5\%$.

Примеры контрольных вопросов

- Почему дисперсионная кривая строится по всем отождествленным линиям, а не по двум любым?
- Почему линия $H\alpha$ в спектре галактики видна в эмиссии, а не в абсорбции? Всегда ли это так?
- Почему форма спектральных линий в спектре галактики иногда отличается от прямолинейной?
- Чем определяется толщина спектральной линии на спектрограмме?
- При каких предположениях расстояние до галактики определяется по закону Хаббла?