

## СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

<sup>1</sup>Саттарова Барно Джахангировна

<sup>1</sup>Декан факультета гуманитарных наук РГПУ им. А.И.Герцена (филиал Ташкент)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10992796>

Астрофизические исследования направлены на определение физического состояния и параметров (температуры, плотности, давления, массы, размеров) и химического состава небесных тел. Это знание светила даёт нам поток излучения, исходящий от него. Выполнение лабораторных работ студентами по курсу астрофизики во многом поможет закрепить и применить на практике теоретические знания, полученные ими по данному предмету. Решение задач, конечно, важно, но лабораторная работа знакомит студентов с методами и принципами исследования.

Спектр ярких звезд  $\text{мкм} \sim 2\text{м}$  получается с помощью спектрографа, установленного на телескопе, и такие высококачественные спектры имеют дисперсию  $1 \text{ \AA}/\text{мм}$ .

Сравнительно слабые звезды фиксируются с помощью астрографа (призменной камеры) расположенной перед ним призмой. Спектры, полученные с помощью призменной камеры, обычно имеют низкую ( $100 \text{ \AA}/\text{мм}$ ) дисперсию и содержат только интенсивные линии (линии серии Бальмера водорода, линии ионов кальция и т. д.).

Спектр большинства звезд представляет собой сплошной спектр, пересекаемый черными линиями. Соответствующий спектр формируется во внутренних плотных газовых слоях звезды. Излучение с таким когерентным спектром поглощается атомами внешних, относительно низкотемпературных и инертных газовых слоев звезды при прохождении через атмосферу этой звезды.

Атомы атмосферного газа поглощают излучение со сплошным спектром, исходящее из внутренних слоев на соответствующих им частотах, в результате чего на поверхности смежного спектра образуются черные линии поглощения. Для того, чтобы какой-либо атом слоя атмосферы мог поглотить излучение, температура этого слоя должна быть достаточной для перевода этого атома в возбужденное состояние. Только тогда происходят переходы из возбужденного состояния в состояния с более высокой энергией, то есть может образоваться черная спектральная линия (рис. 1-а) [1].

Если в спектре звезды наблюдаются линии атомов или ионов химического элемента, это указывает на наличие этого элемента в атмосфере звезды. Однако тот факт, что та или иная линия не видна в спектре звезды, не должен приводить к выводу об отсутствии этого элемента в атмосфере звезды. Потому что для того, чтобы образовались линии,



Рисунок 1. а) звездный спектр (внизу); б) его фотометрическая запись (вверху). Черные линии, видимые в нижней полосе, представляют собой линии серии Бальмера (H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ , H $\epsilon$ , H $\zeta$  и т.д), и на приведенной выше записи они выглядят как тонкие впадины.

температурные условия в атмосфере должны были перевести атомы в большое количество возбужденных состояний, чтобы образовалась эта линия.

Если температура в атмосферных слоях звезды недостаточна для перевода атомов данного элемента в возбужденные состояния, то спектральные линии этого элемента не возникнут. Таким образом, появление линий в спектре химического элемента является достаточным, но не обязательным признаком присутствия атомов или ионов этого элемента.

В начале второй половины XIX века в астрономии быстро стал применяться спектральный анализ (анализ), основанный немецким учёным Кирхгофом. Предварительные исследования показали, что спектр звезд различен.

К началу 20 века был сфотографирован спектр тысяч звезд. Полученные спектры были изучены, разделены на классы (типы) по спектру звезд и стали широко использоваться. Согласно этому методу интенсивность спектральных линий используется в качестве основы для деления на спектральные классы.

В наше время создание и использование телескопов с большой оптической и разрешающей способностью, а также фотодетекторов (ПЗС) высокой чувствительности и квантового выхода вывели звездную спектродетекцию на более высокий уровень.

Электроспектрофотометр состоит из спектрографа с входной и выходной щелями и неселективного электрофотометра (болметра или радиометра), установленного за выходной щелью.

Спектр источника света записывается на бумагу или магнитную ленту путем перемещения выходной щели равномерно в направлении рассеивания или путем перемещения спектра перед неподвижной выходной щелью (поворотом дифракционной решетки вокруг оси, параллельной ее линиям).

В таких записях соседний спектр выглядит как кривая с постепенно меняющейся интенсивностью по длине волны ( $\lambda$ ) в широком спектральном диапазоне (200 нм), а спектральные линии проявляются как резкое уменьшение интенсивности в определенных узких диапазонах (0,1-1 нм) соседней кривой спектра (рис. 1 с.).

Запись спектра, записанного на магнитную ленту, записывается на компьютер в виде последовательности чисел с помощью аналого-цифрового преобразователя (фототока). По этой записи с помощью компьютерной программы легко найти профиль спектральных линий относительно соседней спектральной плоскости [1].

Регистрация спектра звезды с помощью электрофотометра была представлена учеными Геттисбургского университета (США) в качестве компьютерного программного продукта в программах CLEA – Contemporary Laboratory Experiment on Astronomy и VIREO – Virtual Educational Observatory.

В данной работе спектр звезды записан с помощью ПЗС-линии (матрицы ПЗС-матриц). В месте формирования спектра звезды устанавливается ПЗС матрица, состоящая из ряда пикселей (очень маленьких 0,1 нм). Спектр звезды начинает испускать электроны в каждом пикселе, электроны подсчитываются и усредняются. Через несколько секунд генерируется запись спектра (черно-белое изображение).

Эти программные продукты доступны на сайте [www.gettsburg.edu/CLEA](http://www.gettsburg.edu/CLEA). Данная лабораторная работа основана на материале, полученной с помощью такого телескопа, спектрографа и приёмника. Если эти программы установить на компьютер, то там около 10 лабораторий, включая лабораторию под названием «Звездная спектральная

классификация» (Stellar spectral classification). В этой работе можно получить спектры нескольких тысяч звезд и классифицировать их по спектрам.

**Цель работы:** Изучение спектров звезд на основе их спектрограмм и разделение их на спектральные классы (выполняется на компьютере). Нахождение спектральных линий в звездном спектре и измерение эквивалентной ширины линий.

**Порядок выполнения работы:** лабораторная работа устанавливается на компьютер по указанному адресу [www.gettsburg.edu/CLEA](http://www.gettsburg.edu/CLEA) и начинается работа [3].

**а) Работа по классификации звезд.** После установки программы из папки CLEA выбирается программа «SpecLab» и вводится в программу через вкладку CLEA\_SPE.exe (рисунок 2)

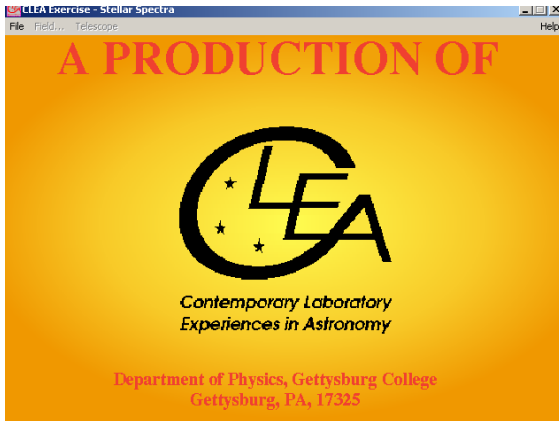


Рисунок 2. Вид программы

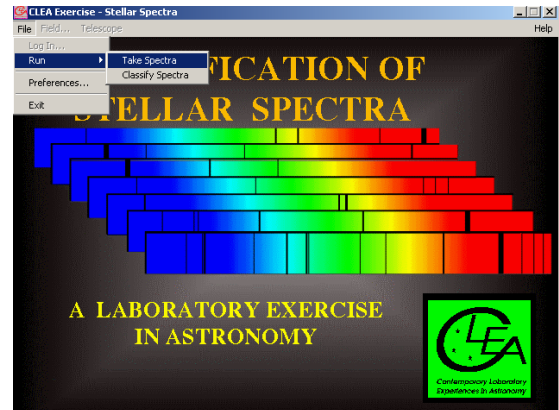


Рисунок 3. Запустить программы

После открытия программы (рис. 3) осуществляется вход в рабочее окно программы (рис. 4) через контекст *File*→*Take Spectra* [2] для получения спектра звезд с помощью контекста “*File*”.

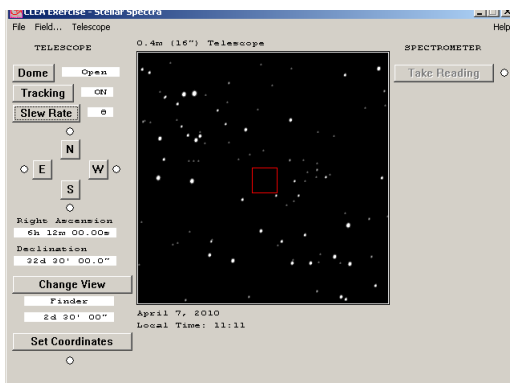


Рисунок 4. Рабочее окно программы. Реальный вид неба в обсерватории.

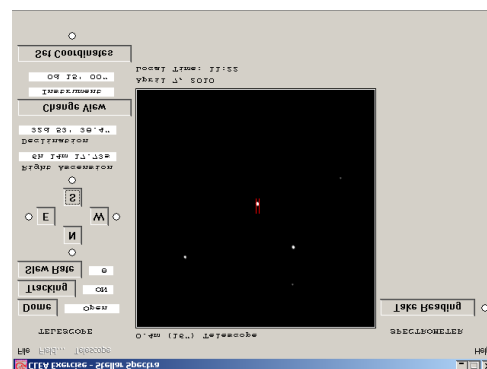


Рисунок 5. Формирование изображения в объективе телескопа со спектрографом.

**б) получение спектра звезды.** С помощью кнопок E, W, N, S (запад, восток, север, юг) часть неба выбирается из окна открытого неба и помещается внутри красной рамки (линзы телескопа), видимой в центре окна и спектрограф устанавливается на выбранную область с помощью кнопки “*Change View*”, наблюдаемую через объектив телескопа (рис. 5).

Звезда помещается в центр красной параллельной линии (спектрографа), сформированной на зеркале с помощью клавиш E, W, N, S. При нажатии кнопки “*Take Reading*” открывается новая страница, на которой размечаются оси координат (длины волн

по оси абсцисс, в ангстремах, относительные интенсивности по оси ординат) и размещается готовый для построения графика.

С помощью кнопки “*Start/Resume Count*” на панели задач запускается окно, то есть спектр выбранной звезды получается через спектральную ПЗС-матрицу (массив из 512 фотодиодов, вычерченных в одну прямую линию) (рис. 6).

Поскольку ток проходящих фотонов переменный, то чем дольше фотодиод считает фотоны, тем сумма фотонов, попадающих на каждый фотодиод, приближается к истинному значению проходящего тока на этой длине волны, запись спектра начинает превращаться в плавную кривую (рис. 6).

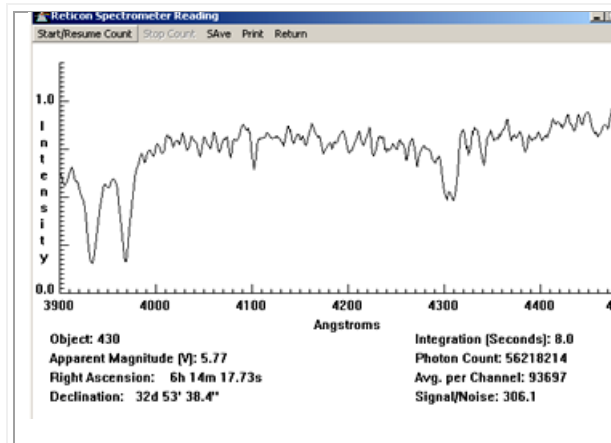


Рисунок 6. Получение спектра звезды и запись данных.

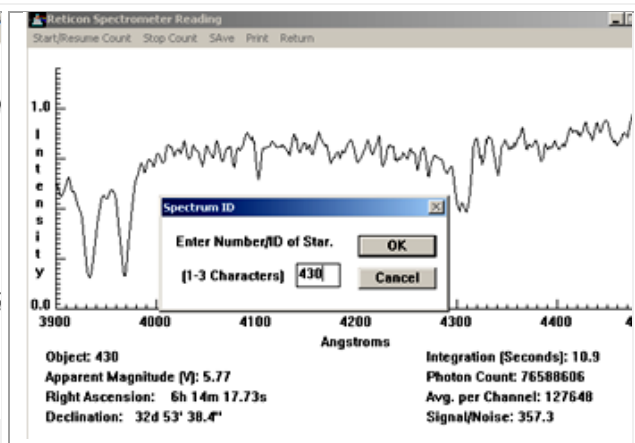


Рисунок 7. Хранение информации в памяти компьютера

Полученную информацию студенты записывают в виде таблицы (таблица представлена в разделе «Задания»). После фиксации результатов имя звезды вносится в список в открывшемся окне и сохраняется в памяти компьютера с помощью кнопки “*Save*” на панели задач (рис. 7).

### в) Классификация звёзд в зависимости от их спектра.

Теперь вернемся на предыдущую страницу (небесный фон) с помощью кнопки “*Return*”. В раздел классификации звезд мы входим через контекст *File*→*Run*→*Classify Spectra*. На экране формируется трехсрезовая страница с длинами волн от 3900 Å до 4500 Å (рис. 8).

Следующий шаг через *File*→*Unknown Spectrum*→*Saved spectra(\*.csp)* контексты, выбираем звезду, для которой мы получили результат и сохранили его в памяти компьютера, и спектральную диаграмму, которая появляется на экране в средней части (рис. 8) диаграммы этой звезды.

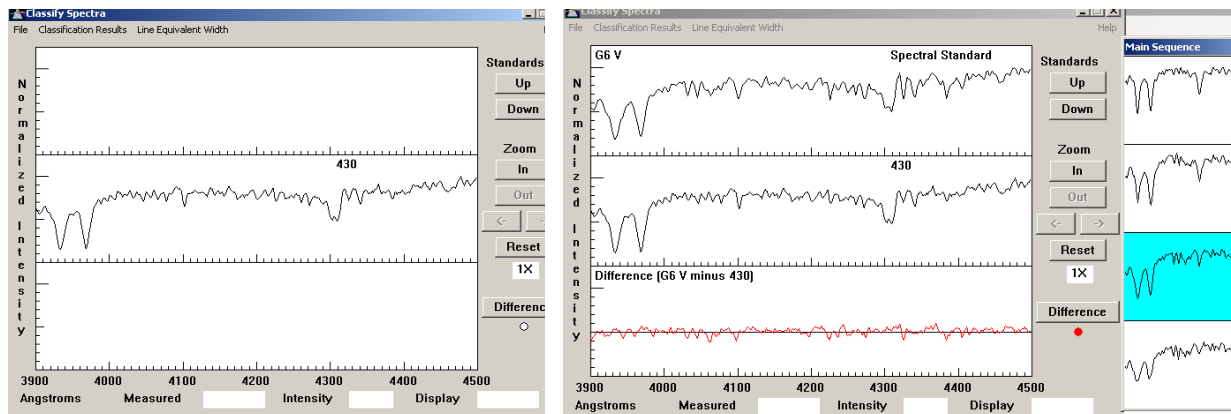


Рисунок 8. Подготовка звезды к спектральной классификации.

Рисунок 9. Сортировка выбранной звезды по спектральному классу путем сравнения ее со звездами в каталоге.

Для отнесения неизвестной проверяемой звезды к классу по ее спектру мы открываем список звезд с известными спектральными классами, включенный в память программы, для сравнения из памяти программы через контекст *File*→*Atlas of Standart Spektra*.

В этой лабораторной работе предварительно записанные спектры 25 звезд добавляются для определения их спектрального класса. При этом в верхней и нижней частях графика показаны спектральные записи изучаемых звезд. В стандартном звездном списке под ней размещается главная последовательность и образцы из спектра звезд-гигантов и сверхгигантов. Если внешний вид измеренного спектра близок к гигантам или сверхгигантам, выбираем их из таблицы, наведя на них курсор.

Включив кнопку *Difference*” внизу окна, с помощью кнопок “*Up*” или “*Down*” находим звезду, соответствующую записи спектра звезды, выбранной нами из атласа (рис. 9).

Все линии поглощения выбранной звезды совпадают со спектральной записью звезды в каталоге, если запись красного спектра на нижней панели соответствует прямой линии. В левом верхнем углу спектральной записи звезды верхнего слоя указан спектральный класс этой звезды.

Видно, что выбранная нами звезда принадлежит спектральному классу G6V. Таким образом, в данной работе более тысячи звезд можно разделить на классы по их спектру, определить линии поглощения, к которым принадлежат химические элементы, и получить другую информацию, относящуюся к звезде (рис. 10).



Рисунок 10. Определение того, какому химическому элементу соответствует длина волны линий поглощения.

Например, можно определить, какому химическому элементу принадлежат линии в спектре звезды. Для этого на экран выводится список спектральных линий через контекст *File*→*Spectral Line Table*. В записи спектра выбранной нами звезды при двойном нажатии левой кнопки мыши в центре линий поглощения будет указано, какому элементу соответствует данная линия поглощения, в красной рамке списка. [Рис. 10].

з) *Измерение эквивалентной ширины спектральных линий.*



Эквивалентная ширина ( $W$ ) спектральной линии равна поверхности формы, образующей спектральную плоскость, прилегающую к профилю линии, и определяет количество энергии, поглощенной в линии. На его основе определен химический состав атмосферы звезды. Профиль, форма, ширина и глубина спектральной линии зависят от физических условий в атмосфере звезды. Поэтому важно измерить профиль и ширину линий в звездном спектре.

Измерение линии ( $W$ ) производится на странице определения спектрального класса звезды. Для этого подведите курсор к центру линии поглощения на исследуемой записи спектра и дважды щелкните по ней левой кнопкой, появится красная линия. Спектр расширяется дважды по оси  $x$  с помощью кнопки “In” под меню “Zoom” в правой части страницы.

Теперь, когда вы поместите курсор в центр линии поглощения справа и дважды щелкните правой кнопкой мыши, появится фиолетовая T-образная форма. Эту операцию проделываем в точках, где профиль линии на правом и левом крыле линии поднимается до уровня соседнего спектра. В результате появляется фиолетовая буква «П», содержащая линию (рис. 11).

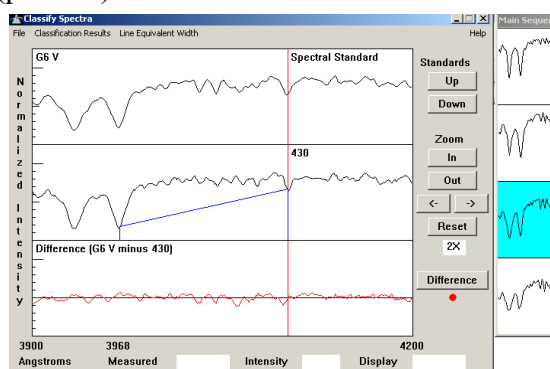


Рисунок 11. Определение эквивалентной ширины линии

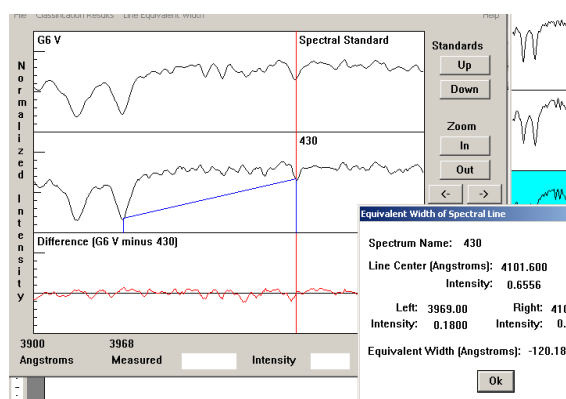


Рисунок 12. Получение эквивалентной ширины спектрограммы и другой информации, связанной с ней.

Теперь через контекст “Line Equivalent Width” из панели задач откроется окно данных под названием “Equivalent Width of Spectral Line”, в котором указан номер звезды и все результаты измерений: соответствующие центру линии и на краю его левого (Left) и правого (Right) крыльев длина и интенсивность входящей волны (Wave length) (Intensity) и ее эквивалентная ширина (Equivalent Width (Angstroms)) записываются в ангстремах (рис.12). Эти результаты копируются и прикрепляются к отчету.

#### Задания студентам:

1. Каждый студент выбирает по 50 звезд. Они определяют спектральный класс и яркость данных звезд, а также записывают в таблицу другую необходимую информацию о них.
2. Найдите эквивалентную ширину, профиль и интенсивность спектральной линии в спектре выбранной звезды.
3. Напишите выводы о каждой звезде на основе ее спектрального класса, видимой величины и профиля линии. В сводке представлена дополнительная информация (цвет звезды, температура, размер и т. д.).
4. Определить спектральные классы наиболее интенсивных линий водорода и ионизированного кальция по спектру стандартной звезды.

*Отчет по лабораторной работе составляется самостоятельно.*

**Отчет о лабораторной работе, выполненной на компьютере.**

1. Спектральный класс и яркость звезды

№	Название выбранной звезды (Objec)	Видимая звёздная величина (Apparent Magnitude)	Прямое восхождение ( $\alpha$ , Right Ascension)	Склонение ( $\delta$ , Declination)	Время сбора фотонов (Integration, секунд.)	Число фотонов, собранных в фотодиод (Foton Count)	Среднее количество фотонов (Avg. per Cannel)	Сигнал/шум (Signal/Noise)	Спектральные классы звёзд Sp-s

2. Эквивалентная ширина, профиль и интенсивность спектральной линии.

Название выбранной звезды (Objec)	$\lambda$ (Å)	$I_\lambda$	$\lambda_{ч}$ (Å)	$I^{\lambda_{ч}}$	$\lambda_0$ (Å)	$I^{\lambda_0}$	W

**REFERENCES**

1. Саттаров И. Астрофизика, Часть I, «Экономика-Финансы», Т., 2009.
2. Саттаров И., Саттарова Б. “Астрофизический практикум”. Учебное пособие. Издательство ООО “Адабиёт учкунлари”. Ташкент -2016. ISBN 978-9943-992-48-1.
3. [www.gettsburg.edu/CLEA](http://www.gettsburg.edu/CLEA)