МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ФГБОУ ВО «КубГУ»)**

**Физико-технический факультет**

**Кафедра физики и информационных систем**

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ КРАСНОГО ГИГАНТА KIC4157282**

Работу выполнила\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дубинина Кристина Сергеевна

Курс 3

Направление 03.03.02 Физика

Научный руководитель

преподаватель\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. Е. Лысенко

Нормоконтролер

преподаватель\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. Е. Лысенко

Краснодар 2018

**РЕФЕРАТ**

Курсовой проект 25с., 7 рис., 10 источников.

СПЕКТРЫ ЗВЁЗД, СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ, КРАСНЫЕ ГИГАНТЫ, СПЕКТР КРАСНОГО ГИГАНТА KIC4157282

Объектами исследования данного курсового проекта являются интенсивные линии в спектре красного гиганта KIC4157282.

Целью проекта является объяснение расхождения теоретически рассчитанного спектра красного гиганта KIC4157282 с практическим с последующим расчётом индукции магнитного поля звезды.

В ходе курсового проекта были изучены водородные линии красного гиганта KIC4157282, о которых можно сказать следующее.

1 Как выяснилось, тонкая структура атома водорода не влияет на форму ядра спектральной линии.

2 Расхождение диаграмм, построенных на основе теоретических данных и данных, полученных опытным путём, объясняется наличием в спектре красного гиганта, кроме водородных, спектральных линий других элементов, которые имеют близкие к водородным длины волн.

3 Благодаря магнитному полю звезды происходит расщепление спектральных линий атомов, из которых состоит звезда. Это явление объясняется эффектом Зеемана, с помощью которого можно рассчитать индукцию магнитного поля звезды. Для красного гиганта KIC4157282 она равна 4,3 Тл.

Работа проверена на сайте «Антиплагиат» (URL: http://www.antiplagiat.ru). Оригинальность работы составляет 74,35 %.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| Введение . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 4 |
| 1 Спектр в физике и спектры звёзд . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 6 |
| 2 Спектральная классификация звёзд . . . . . . . .. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 8 |
| 3 Красные гиганты . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 13 |
| 4 Исследование водородных линий в спектре гиганта KIC4157282 . . . . .  | 16 |
| 5 Расчёт индукции магнитного поля KIC4157282 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 20 |
| Заключение . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 23 |
| Список использованных источников . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .  | 26 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Изучение спектров осуществляется с помощью спектрального анализа. Под этим понимается совокупность методов качественного и количественного определения состава объекта, основанная на изучении спектров взаимодействия материи с излучением, включая спектры акустических волн и электромагнитного излучения.

В зависимости от типов изучаемых спектров и целей анализа различают атомный, молекулярный и масс–спектрометрический анализы. Последний осуществляется по спектрам масс молекулярных или атомарных ионов и позволяет определить изотопный состав объекта. Атомный и молекулярный спектральные анализы позволяют определить элементарный и молекулярный состав исследуемого вещества соответственно.

Преимуществами спектрального анализа являются высокая чувствительность и быстрота его проведения (получение результатов происходит за несколько десятков секунд). С помощью спектрального анализа можно обнаружить в пробе массой 6·10-7 г присутствие золота при его массе всего 10-8 г.

Атомы всех химических элементов дают индивидуальный спектр в строго определённом диапазоне длин волн. Это позволяет определить химический состав излучающего вещества, а также обнаружить данный элемент в составе сложного вещества.

В настоящее время определены спектры всех атомов и составлены таблицы спектров. С помощью спектрального анализа были открыты многие новые элементы, например, рубидий и цезий. Элементам часто давали названия в соответствии с цветом наиболее интенсивных линий спектра. Рубидий дает линии тёмно–красного цвета, напоминающего цвет кристаллов рубина. Слово цезий означает «небесно–голубой». Этот цвет является цветом основных линий в спектре цезия.

Спектральный анализ позволил узнать химический состав Солнца. Других методов исследования химического состава космических объектов вообще не существует. Как оказалось, все звёзды состоят из химических элементов, которые имеются и на Земле. Интересно, что гелий первоначально открыли на Солнце, и лишь затем нашли в атмосфере нашей планеты. Этот элемент потому и называется гелием, так как в переводе означает «солнечный».

Так как спектральный анализ сравнительно прост и универсален, он является основным методом контроля состава вещества в металлургии, машиностроении и атомной индустрии. С помощью спектрального анализа определяют химический состав руд и минералов.

В астрофизике спектральный анализ применяют не только для определения химического состава звёзд и других космических объектов, удалённых от Земли на расстояния в миллиарды световых лет, но и для нахождения по их спектрам таких характеристик, как температура и давление. По смещению спектральных линий можно определить скорость движения небесных тел.

Цель работы: объяснение расхождения теоретически рассчитанного спектра красного гиганта KIC4157282 с практическим с последующим расчётом индукции магнитного поля звезды.

Объекты исследования: интенсивные линии в спектре красного гиганта KIC4157282.

Задачи исследования:

1 построить диаграммы спектра красного гиганта KIC4157282 на основе теоретических и практических данных. Выяснить, влияет ли тонкая структура атома водорода на форму ядра спектральной линии;

2 объяснить расхождения полученных диаграмм;

3 рассчитать индукцию магнитного поля красного гиганта.

**1 Спектр в физике и спектры звёзд**

Спектр — распределение электромагнитного излучения по длинам волн или по частотам.

Спектры подразделяются на несколько групп по характеру распределения значений физических величин, таких как масса, частота или энергия. Они могут быть линейчатыми, то есть дискретными, и сплошными (непрерывными). Можно сказать, что непрерывные спектры — это спектры без каких–либо чёрных линий. Такие спектры могут наблюдаться при излучении света твёрдыми или жидкими телами, например, лампой накаливания.

Линейчатый спектр можно получить следующим образом. Пусть имеется горелка, в пламя которой помещают некоторое количество соли. При этом пламя окрасится в ярко–жёлтый цвет. Если наблюдать за этими испарениями через спектроскоп, то будет видна ярко–жёлтая линия. Полученный спектр является линейчатым или дискретным. Такое свойство характерно для веществ, которые находятся в газообразном состоянии.

Один из способов получения непрерывного спектра состоит в следующем. Свет, который излучает объект, пропускают через узкое отверстие, после чего он попадает на призму, которая его преломляет. После этого излучение направляется на специальную фотоплёнку или экран. Полученное изображение представляется в виде плавного перехода цветов от фиолетового цвета к красному.

Помимо сплошных и линейчатых спектров существуют, также, комбинированные спектры, которые представляют собой наложение первых двух [1].

Примером сплошного спектра является спектр электромагнитного излучения твёрдого нагретого тела, а примером непрерывного спектра — масс–спектры. Спектры же излучения звёзд являются комбинированными. Они представляют собой наложения на сплошной спектр фотосферы хромосферных линий поглощения.

Наблюдая за Солнцем, Йозеф Фраунгофер, немецкий оптик, отметил, что в его спектре излучения присутствуют некие чёрные линии. Позже Густав Кирхгоф определил, что любой разрежённый газ поглощает лучи только на тех длинах волн, на которых испускает сам, находясь в состоянии свечения. Полученные чёрные линии в спектре были названы линиями поглощения. Применяя эти законы к спектру излучения Солнца, учёные выяснили его химический состав, так как газы в атмосфере поглощали излучение с определёнными длинами волн.

Впоследствии в спектроскопии появилось множество методов изучения других свойств звёзд, таких как смещение спектра в определённую сторону, сравнение спектра звезды со спектром абсолютно чёрного тела и раздвоение линий наложения [2].

Все звёзды разделяются по своим спектрам на различные классы. В первую очередь, эта классификация обуславливает различие температур их фотосфер. Фотосферой называется излучающий слой звёздной атмосферы. Она даёт основную часть излучения звезды.

Различия в спектрах звёзд обуславливаются неодинаковостью физических свойств их атмосфер, в основном температуры и давления, которые определяют степень ионизации атомов. Виды спектров также зависят от наличия магнитных и межатомных электрических полей, различия химического состава и вращения звёзд.

Сплошные спектры излучения звёзд близки к излучению абсолютного чёрного тела с температурой, равной температуре её фотосферы. Её можно оценить с помощью закона смещения Вина. Но для удалённых звёзд такой метод неприменим из–за неравномерного поглощения света различных участков спектра межзвёздной средой. Более точным методом является спектроскопия. Она позволяет наблюдать в спектре звезды линии поглощения, которые имеют различные интенсивности в зависимости от температуры и типа звезды. Для некоторых типов звёзд в их спектрах наблюдаются и линии излучения.

**2 Спектральная классификация звёзд**

Первая классификация звёздных спектров была создана в 1860–1870–х годах. Её основателем был Анджело Секки. В 1866 году он разбил наблюдаемые спектры на три класса в порядке убывания температуры поверхности звезды и соответствующего изменения цвета. В 1868 году Анджело Секки открыл углеродные звёзды, которые выделил в отдельную четвёртую группу. В атмосферах этих звёзд больше углерода, чем кислорода. Два этих компонента смешиваются в верхних слоях углеродных звёзд, образуя монооксид углерода, который, в свою очередь, связывает весь кислород в атмосфере, оставляя атомы углерода свободными для образования других углеродных соединений. Эти соединения дают звезде черноватую атмосферу и ярко–красный вид при наблюдении [3].

Итак, Анджелло Секки выделял следующие классы.

Класс I. Белые и голубые звёзды, у которых наблюдаются широкие линии поглощения водорода в спектре. К таким звёздам относятся Альтаир и Вега. Этот класс включает в себя современный класс А и начало класса F.

Класс I, подтип Ориона. Включает в себя звёзды первого класса с узкими линиями вместо широких полос. Это, например, Ригель и Беллатрикс; этот подтип соответствует началу современного класса В.

Класс II. Жёлтые и оранжевые звёзды со слабыми линиями водорода, но с отчётливыми линиями [металлов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D1%8B). К этому классу относятся [Солнце](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5), [Арктур](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%80%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80) и [Капелла](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BF%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0_%28%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B7%D0%B4%D0%B0%29); данный класс включает в себя современные классы G и К, а также конец класса F.

Класс III. Оранжевые и красные звёзды, в спектре которых линии образуют полосы, темнеющие в сторону синего цвета. Это, например, [Бетельгейзе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B5%D0%B9%D0%B7%D0%B5) и [Антарес](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%81); этот класс соответствует современному классу М.

Класс IV. Красные звёзды с сильными полосами и линиями углерода, углеродные звёзды.

Класс V — звёзды с эмиссионными линиями, такие, как [γ Кассиопеи](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0_%D0%9A%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D0%B8) и Шелиак, [β Лиры](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%82%D0%B0_%D0%9B%D0%B8%D1%80%D1%8B) [4].

Предложенное Секки деление спектров было общепринятым вплоть до конца [1890–х годов](https://ru.wikipedia.org/wiki/1890-%D0%B5), но постепенно к середине [XX века](https://ru.wikipedia.org/wiki/XX_%D0%B2%D0%B5%D0%BA) было заменено Гарвардской классификацией.

На основе многочисленных снимков спектров звёзд, полученных в США в Гарвардской обсерватории, в начале XX века была разработана детальная классификация звёздных спектров. С небольшими изменениями она применяется и в настоящее время. Эта классификация звёздных спектров называется гарвардской. Отдельные классы звёзд обозначаются в ней буквами. Подклассы в каждом спектральном классе нумеруются цифрами от 0 до 9 после буквы, обозначающей класс. В классе O подклассы начинаются с O5. Последовательность спектральных классов отражает непрерывное падение температуры звёзд по мере перехода к всё более поздним спектральным классам. Она выглядит следующим образом:

О — В — A — F — G — К — М.

В спектральном классе М имеется разветвление, указывающее на три немногочисленные группы холодных звёзд спектральных классов R, N и S.

Подавляющее большинство звёзд относится к последовательности от О до М. Эта последовательность непрерывна: характеристики звёзд плавно изменяются при переходе от одного класса к другому.

Гарвардская спектральная классификация звёзд основана на виде и числе спектральных линий. В обычном звёздном спектре, как и в спектре Солнца, они выглядят тёмными линиями на светлом фоне непрерывного спектра. Эти линии принадлежат различным химическим элементам. Их вид в спектре обусловлен в основном температурой звезды. Итак, в гарвардской системе выделяются следующие классы.

Класс O — самые горячие звёзды во Вселенной. Температура их поверхности находится в пределах от 30000 до 60000 К. Звёзды класса О имеют голубой цвет. В спектрах этих основными линиями являются слабые линии водорода и ионизованного и нейтрального гелия. Например, δ, λ и ε Ориона.

Класс В — менее горячие звёзды бело–голубого цвета. Температура их поверхности находится в пределах от 10000 до 30000 К. Линии водорода и гелия более чётки, чем в классе O. Например, Спинка.

Класс А характеризуется интенсивными широкими линиями водорода, линий гелия нет, также появляются слабые линии металлов. К этому классу относятся звёзды белого цвета с температурой поверхности, находящейся в пределах от 7500 до 10000 К. К примеру, Вега и Сириус.

Класс F — линии водорода слабее, чем у класса А, много линий ионизованных металлов, в частности железа. Температура их поверхности находится в пределах от 6000 до 7500 К. Звёзды данного спектрального класса имеют жёлто–белый цвет. Например, Канопус и Процион.

Класс G — звёзды со спектрами, подобными солнечному спектру. Они имеют жёлтый цвет, а температура их поверхности лежит в пределах от 5000 до 6000 К. К примеру, Капелла, α Центавра и Солнце.

Класс К — звёзды, более холодные, чем Солнце и имеющие оранжевый цвет. Температура поверхности этих звёзд — от 3500 до 5000 К. Линии водорода очень слабы, линии нейтральных металлов усилены, видны слабые полосы молекул СН и CN. Например, Арктур.

Класс М — самые холодные звёзды, вследствие чего имеют красный цвет. Температура поверхности таких звёзд — от 2000 до 3500 К. Интенсивны линии металлов; также присутствуют полосы молекул (особенно окиси титана). В классах R и N видны тёмные полосы углерода и циана, а в классе S — окиси циркония. К таким звёздам относятся Бетельгейзе, Антарес, Мира и Кита.

Хотя спектральная классификация звёзд основана на характеристиках спектральных линий, непрерывный спектр, на фоне которого эти линии наблюдаются, также существенно изменяется при переходе от класса О к классу М. У горячих звёзд О и В усилена синяя часть спектра и слаба красная. Звёзды F и G имеют наибольшую интенсивность излучения в жёлтых лучах, а звёзды М светят преимущественно в красной области и крайне мало излучают в синей. В соответствии с этим изменяется цвет звёзд: О и В — голубоватые звёзды, А — белые, F и G — жёлтые, К — красноватые (оранжевые), М — красные [5].

Классификация, рассмотренная выше, является одномерной, так как основной характеристикой, учитываемой в ней, является температура звезды. Но среди звёзд одного и того же спектрального класса есть звёзды–гиганты и звёзды–карлики. Они различаются по плотности газа в атмосфере, площади поверхности, светимости. Эти различия отражаются на спектрах звёзд.

В 1953 году была разработана новая, уточненная двумерная классификация звёзд. По этой классификации у каждой звезды, кроме спектрального класса, указывается еще класс светимости. Он обозначается римскими цифрами от I до V. Цифра I относится к сверхгигантам, II и III — к гигантам, IV — к субгигантам, а цифра V характеризует карлики. В этой новой классификации спектральный класс звезды Веги выглядит как AОV, Бетельгейзе — М21, Сириуса — AIV. Новая классификация позволяет определять расстояния до звёзд по их спектрам и видимым звёздным величинам. Сейчас она является общепринятой и широко используется в астрономии.

В настоящее время известны спектральные классы многих сотен тысяч звёзд. Изданы объёмистые каталоги спектров звёзд. Работы по спектральной классификации звёзд широко и успешно ведутся.

Все сказанное выше относится к нормальным звёздам. Однако во Вселенной есть великое множество нестандартных звёзд с необычными спектрами. К ним относятся, прежде всего, так называемые эмиссионные звёзды. Для их спектров характерны не только тёмные (или абсорбционные) линии, но и светлые линии излучения, более яркие, чем непрерывный спектр. Такие линии называются эмиссионными. Присутствие в спектре звезды эмиссионных линий обозначается буквой «е» после спектрального класса. Так, имеются звёзды Be, Ае, Me. Наличие в спектре звезды О определенных эмиссионных линий обозначается как Of. Существуют необычные звёзды, которые были открыты французскими астрономами Вольфом и Райе. Спектры этих звёзд состоят из широких эмиссионных полос на фоне слабого непрерывного спектра. Их обозначают WC и WN, в гарвардскую классификацию они не укладываются. В последнее время были открыты инфракрасные звёзды, которые в видимой области спектра очень мало или совсем не излучают. Почти всю свою энергию они излучают в невидимой инфракрасной области спектра. Их температура не превышает 1800 К.

Очевидно, каждая звезда хоть и относится к определенному классу, всё же остается индивидуальным и неповторимым объектом.

Используя вышеописанные спектральные классы, астрономы могут кратко изложить основные свойства и особенности космического объекта. Так ярчайшая точка ночного небосвода — [Сириус](http://spacegid.com/sirius-samaya-yarkaya-zvezda-na-nochnom-nebe.html) представляет собой систему из двух звёзд и имеет спектральный класс A1Vm/DA2. Это означает, что видимая звезда (Сириус А) относится к классу А с подклассом температуры 1, является карликом главной последовательности и имеет сильные линии металлов, о чем говорят буквы «V» и «m». Ее компаньон Сириус Б — [жёлтый карлик](http://spacegid.com/kakoy-zvezdoy-yavlyaetsya-nashe-solntse.html) с подклассом 2, имеющий в атмосфере водород и не имеющий гелий, линии которых соответственно присутствуют или отсутствуют в спектре, на что указывает буква А [6].

**3 Красные гиганты**

В течение своей жизни все звёзды подвергаются ряду изменений. Жизнь звезды начинается, когда она представляет собой облако межзвёздного газа, которое сжимается под действием гравитационной неустойчивости и постепенно принимает форму шара. При сжатии температура звёзд растёт, так как энергия гравитационного поля переходит в основном в тепло и излучение. При температурах в пределах от $15∙10^{6}$ до $20∙10^{6}$ К сжатие прекращается и начинаются термоядерные реакции. Такой объект считается полноценной звездой [7].

Первая стация жизни звезды — стадия главной последовательности. К ним относятся звёзды, источником энергии которых служит термоядерная реакция синтеза гелия из водорода. Звёзды главной последовательности находятся в основной фазе своей эволюции.

В центральных областях звезды собирается большое количество гелия. Однако он собирается неравномерно: чем ближе к центру звезды, тем больше давление и тем быстрее реакция термоядерного синтеза или ядерного горения водорода. По мере сгорания водорода всё большую часть ядра звезды заполняет гелий. Чем больше образуется гелия в процессе термоядерного горения водорода, тем меньше становится ядро звезды.

Когда водород будет составлять примерно 1 % от массы ядра звезды, источником излучения на некоторое короткое время снова станет гравитация. Температура и светимость в недрах быстро возрастёт. Эта стадия отсутствует у звёзд, масса которых меньше 1,5 массы Солнца, так как у них небольшая концентрация источников энергии в центре [8].

Когда водород внутри ядра истощится, и оно будет лишено водородного источника энергии, то, в результате кельвиновского сжатия, в реакцию образования гелия вступят прилегающие к нему слои. Эти слои находятся под огромным давлением. Выделение энергии происходит только в тонком слое между гелиевым ядром и протяжённой оболочкой, которая ещё содержит водород.

Снаружи ядра находится большая масса вещества, которая сдавливает ядро, а гравитационная сила пытается ещё больше его уплотнить. По мере сжатия в реакцию вступает всё больше ядер и высвобождается всё большее количество энергии. Направленная наружу сила стремится вытолкнуть внешние слои всё дальше [9].

На данном этапе структура звезды начинает меняться. Несмотря на то, что водорода стало меньше, звезда теперь горячее. По мере уменьшения количества водорода внешние слои звезды начинают давить на её ядро, из–за чего оставшиеся атомы водорода движутся всё быстрее и сталкиваются всё чаще. Внешние слои начинают расширяться, а температура поверхности — снижаться. Звезда уходит с главной последовательности и становится красным гигантом. Если масса звезды больше, чем 10 масс Солнца, то звезда становится сверхгигантом.

Радиус такой звезды в 20 раз больше радиуса Солнца, а площадь — больше его площади примерно в 1500 раз. Красные гиганты излучают примерно в сто раз больше света, чем Солнце, так как разница их абсолютных величин — около пяти. Несмотря на это, красные гиганты имеют значительно меньшую температуру, чем наше светило.

Красными гигантами и сверхгигантами называются космические объекты, имеющие протяжённые оболочки и высокую светимость. Их относят к поздним спектральным классам (К и М). А на диаграмме Герцшпрунга–Рассела они располагаются над линией звёзд главной последовательности. Абсолютная звёздная величина красных гигантов варьируется в пределах чуть выше нуля или имеет отрицательное значение, что из рисунка 1.



Рисунок 1 — Диаграмма Герцшпрунга–Рассела

Видимый нашему глазу цвет звезды зависит от температуры её поверхности. У красных гигантов внешние слои имеют протяжённые и менее плотные оболочки, чем у Солнца. Вещество, находящееся в них, более холодное, чем у звёзд, находящихся на стадии главной последовательности. Так как вещество более холодное, то свет, излучаемый данной звездой, имеет большую длину волны, чем свет, излучаемый Солнцем. Следовательно, красные гиганты окрашиваются в красный цвет [10].

Примером красного гиганта является α Ориона (Бетельгейзе). Её объём в 300 раз больше объёма Солнца, а светимость — в 100 тысяч раз.

**4 Исследование водородных линий в спектре гиганта KIC4157282**

Спектры звёзд содержат в себе информацию обо всех химических элементах, находящихся в веществе, из которого она состоит. На диаграмме, построенной по экспериментально полученным данным, видно, что в спектре излучения красного гиганта KIC4157282 наблюдаются ярко выраженные линии излучения водорода с длинами волн, равными 486 нм и 656 нм.

На основе таблиц, полученных опытным путём, были построены линии различных возможных переходов для тонкой структуры атома водорода в области линии излучения с длиной волны, равной 486 нм. Из полученной диаграммы, представленной на рисунке 2, видно, что тонкая структура не влияет на форму ядра линии излучения.



Рисунок 2 — Тонкая структура атома водорода. По вертикальной оси отложена величина нормализованного потока, по горизонтальной оси ― длина волны, λ (Å)

Диаграммы, построенные на основе данных, полученных опытным путём, имеют расхождения с диаграммами, построенными с помощью теоретически рассчитанных значений длин волн и интенсивностей данных линий, что видно из рисунков 3 и 4.

Рисунок 3 — Линия водорода с длиной волны, равной 486 нм. Цифрой 1 показана теоретическая кривая, цифрой 2 — практическая кривая

Рисунок 4 — Линия водорода с длиной волны, равной 656 нм. Цифрой 1 показана теоретическая кривая, цифрой 2 — практическая кривая

Данные расхождения объясняются рядом причин. Анализируя диаграммы можно заметить, что несоответствия графиков обусловлены спектральными линиями некоторых элементов, у которых линии наблюдаются на длинах волн, близких к водородным линиям. Эти линии отмечены на рисунках 5 и 6.

Рисунок 5 — Линия излучения водорода с длиной волны, равной 486 нм

Рисунок 6 — Линия излучения водорода с длиной волны, равной 656 нм

Элементы, вносящие свой вклад в линию с длиной волны, равной 486 нм — это линии излучения ионов прометия (PmI), железа (FeI), тория (ThI), меди (CuII) и хрома (CrI). В случае линии с длиной волны, равной 656 нм — ионы лития (LiII), ванадия (VII), тория (ThI) и вольфрама (WI).

Длины волн и соответствующие им переходы представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 — Длины волн и переходы к рисунку 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | λ, Å | λ, Å (предполагаемая) | Элемент | Верхний уровень | Нижний уровень |
| 1 | 4860,7412 | 4860,74 | PmI | $$4f^{5}\left(\_{ }^{0}\right)6p^{7}:$$ | $$4f^{5}\left(\_{ }^{0}\right)6s:$$ |
| 2 | 4860,9849 | 4860,9781 | FeI | $$4d^{7}\left(\right)5s$$ | $$3d^{6}($$ |
| 3 | 4861,2285 | 4861,2167 | ThI | $$5f7s^{2}7p:$$ | $$5f6d7s^{2}:z\_{4}^{0}$$ |
| 4 | 4861,5029 | 4861,5612 | CuII | $$3d^{9}\left(\right)4f$$ | $$3d^{9}\left(\right)4d$$ |
| 5 | 4861,8379 | 4861,8409 | CrI | $$3d^{5}($$ | $$4d^{4}($$ |

Таблица 2 — Длины волн и переходы к рисунку 6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | λ, Å | λ, Å (предполагаемая) | Элемент | Верхний уровень | Нижний уровень |
| 1 | 6561,4761 | 6561,43 | LiII | $$1s6s:$$ | $$1s4p:$$ |
| 2 | 6561,6392 | 6561,6 | LiII | $$1s6s:$$ | $$1s4p:$$ |
| 3 | 6561,9243 | 6561,91 | LiII | $$1s6s:$$ | $$1s4p:$$ |
| 4 | 6562,3721 | 6562,4 | VII | $$3d^{3}\left(\right)4f$$ | $$3d^{3}($$ |
| 5 | 6562,5757 | 6562,61 | LiII | $$1s6d:$$ | $$1s4f:$$ |
| 6 | 6562,6162 | 6562,647 | ThI | $$5f^{2}($$ | $$5f6d($$ |
| 7 | 6562,9424 | 6562,89 | WI | $$5d^{4}6s\left(\right)7s:\_{1}$$ | $$5d^{4}6s\left(\right)6p:$$ |
| 8 | 6563,0645 | 6563,06 | LiII | $$1s6d:3D1$$ | $$1s4f:$$ |
| 9 | 6563,3086 | 6563,36 | LiII | $$1s6d:3D2$$ | $$1s4f:$$ |

**5 Расчёт индукции магнитного поля KIC4157282**

Вещество внутри звезды находится в состоянии плазмы. Вследствие разности температур звёздного вещества происходит появление конвективных зон. Движение вещества в этих зонах порождает магнитное поле звезды.

Атомы, находящиеся в звёздных атмосферах, поглощают энергию на определённых, характерных для них, частотах, благодаря чему в спектре появляются линии поглощения. Под действием магнитного поля звезды эти линии расщепляются на несколько компонент, близких друг к другу по частоте. Такое поведение спектральных линий в магнитном поле объясняется эффектом Зеемана.

Расщепление линий происходит из–за того, что расщепляются сами энергетические уровни атомов. В результате этого атомы излучают линии при различных квантовых переходах на следующих частотах:

$$ω=ω\_{0}-dω∙Δm\_{l}, (1)$$

где $ω\_{0}$ — частота линии, которая излучается в отсутствие магнитного поля, рад/с;

 $Δm\_{l}$— разность квантовых чисел проекции орбитального момента, которая, согласно правилам отбора, может принимать значения 0 или $\pm 1$.

Следовательно, частота одной из компонент будет равна частоте исходной спектральной линии, а частоты двух других компонент определяются следующим образом:

$$ω=ω\_{0}\pm dω, (2)$$

где $dω$ — величина смещения исходной спектральной линии, рад/с.

Она определяется следующей формулой:

$$dω=\frac{eB}{2m}, (3)$$

где e — модуль заряда электрона, Кл;

 B — индукция магнитного поля, Тл;

 m — масса электрона, кг.

Величина смещения спектральных линий зависит от величины индукции магнитного поля. Следовательно, с помощью эффекта Зеемана можно рассчитать магнитное поле звезды.

В спектре красного гиганта KIC4157282 можно наблюдать лорентцевский триплет вблизи водородной линии с длиной волны 486 нм. По полученной диаграмме находим, что смещение компонент равно 0,47 Å. Рассчитаем магнитное поле гиганта. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$dω=λ^{'}dλ, (4)$$

где λ — длина волны спектральной линии в отсутствие магнитного поля, м.

Учитывая, что

$$λ=\frac{2πс}{ω\_{0}}, (5)$$

где с — скорость света, м/с;

 $ω\_{0}$ — частота спектральной линии в отсутствие магнитного поля, рад/с;

получаем:

$$dλ=\frac{dω}{λ^{'}}=-\frac{2πc}{ω\_{0}^{2}}dω, (6)$$

а, заменяя $dω$ на выражение (3), получим уравнение для расчёта индукции магнитного поля:

$$\left|dλ\right|=\frac{2πc}{ω\_{0}^{2}}∙\frac{eB}{2m}=\frac{πceB}{ω\_{0}^{2}m}=\frac{eλ^{2}B}{4πcm}⇒B=4πcm∙\frac{\left|dλ\right|}{eλ^{2}}, (7)$$

где B — искомая индукция магнитного поля, Тл.

Подставляя все известные значения величин, получаем, что $B=4,3 Тл.$

Несмещённая компоненты обозначена на рисунке 7 цифрой 2, а смещённые под действием магнитного поля компоненты — цифрами 1 и 3. Их длины волн равны:

$$λ\_{1,3}=λ\pm dλ=\left(4861,36\pm 0,47\right) Å, (8)$$

где λ — длина волны спектральной линии в отсутствие магнитного поля, Å;

 $dλ$ — величина смещения спектральной линии, Å.

Рисунок 7 — Расщепление водородной линии

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате курсовой работы было получено следующее.

1 Все звёзды классифицируются по своим спектрам. Различия в этих спектрах обусловлены различием физических свойств их атмосфер, а главным образом, температур. Таким образом, звёзды разделяют на семь классов: от самых горячих до самых холодных. Звезду, принадлежащую определённому классу, обозначают заглавной буквой, указывающей на данный спектральный класс.

Подклассы в каждом спектральном классе нумеруются цифрами от 0 до 9 после буквы, обозначающей класс.

Помимо этого, звёзды различаются по классу светимости, который обозначается римскими цифрами от I до V.

В спектрах некоторых звёзд присутствуют эмиссионные линии, на наличие которых указывает буква «е» в обозначении.

Буквы «V» и «m» говорят о наличии в спектре данной звезды линии металлов.

2 Красными гигантами и сверхгигантами называются космические объекты, имеющие протяжённые оболочки и высокую светимость. Их относят к поздним спектральным классам (К и М). На диаграмме Герцшпрунга–Рассела эти звёзды располагаются над линией звёзд главной последовательности. Абсолютная звёздная величина красных гигантов варьируется в пределах в пределах чуть выше нуля или имеет отрицательное значение.

Радиус такой звезды в 20 раз больше радиуса Солнца, а площадь — больше его площади примерно в 1500 раз. Красные гиганты излучают примерно в сто раз больше света, чем Солнце, так как разница их абсолютных величин — около пяти. Однако красные гиганты имеют значительно меньшую температуру, чем наше светило.

В ходе курсовой работы были изучены водородные линии красного гиганта KIC4157282, о которых можно сказать следующее.

1 Как выяснилось, тонкая структура атома водорода не влияет на форму ядра спектральной линии.

2 Расхождение диаграмм, построенных на основе теоретических данных и данных, полученных опытным путём, объясняется наличием в спектре красного гиганта, кроме водородных, спектральных линий других элементов, которые имеют близкие к водородным длины волн. Элементы, вносящие свой вклад в линию с длиной волны, равной 486 нм — это линии излучения ионов прометия (PmI), железа (FeI), тория (ThI), меди (CuII) и хрома (CrI). В случае линии с длиной волны, равной 656 нм — ионы лития (LiII), ванадия (VII), тория (ThI) и вольфрама (WI).

3 Вещество внутри звезды находится в состоянии плазмы. Следствие разности температур звёздного вещества происходит появление конвективных зон. Движение вещества в этих зонах порождает магнитное поле звезды, благодаря которому происходит расщепление спектральных линии. Это явление объясняется эффектом Зеемана, с помощью которого была вычислена индукция магнитного поля звезды. Для красного гиганта KIC4157282 она равняется 4,3 Тл.

В результате выполнения курсового проекта были достигнуты такие компетенции, как:

1 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК–3). Мною были проведены расчёты индукции магнитного поля красного гиганта KIC4157282 с помощью формул из курса общей физики;

2 готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК–3). Для вычисления индукции магнитного поля красного гиганта был применён эффект Зеемана;

3 способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК–5). Мною был получен спектр красного гиганта KIC4157282 и построен в программе Excel.

**Список использованных источников**

1 Собельман И. И. Введение в теорию атомных спектров / И. И. Собельман — М.: Книга по требованию, 2012. — 640 c.

2 Физические основы спектроскопии БГУ, 2013 / (Рус.) — URL: <http://www.rfe.by/media/kafedry/kaf2/publications/kug>. [8 марта 2017].

3 Сихубилин Н. А. Методы моделирования в астрофизике I. Звёздные атмосферы / Н. А. Сихубилин — М.: Фен, 2013. — С. 187–191.

4 Тарасевич Б. Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье / Б. Н. Тарасевич. — Москва, 2012. — С. 18.

5 Михалас Д. Звёздные атмосферы. Часть 2 / Д. Михалас — М.: Мир, 2010. — 424 с.

6 Эйнштейн А. Испускание и поглощение излучения по квантовой теории / А. Эйнштейн / Сб. науч. тр. — М: Наука, 2011. — С. 348–386.

7 Фриш С. Э. Оптические спектры атомов / С. Э. Фриш — М: физматгиз, 2012. — 640 с.

8 NIST Atomic Spectra Database — Lines Holdings. 2011. — (Engl.). — URL: http://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines\_pt.pl [2 November 2016].

9 Лысенко В. Е. Одновременное действие теплового и турбулентного движения поглощающего газа на форму профиля спектральной линии / Образование и наука: современное состояние и перспективы развития: сб. науч. тр. По материалам Междунар. Науч.–практ. конф. 31 июля 2014 г.: Часть 2. — Тамбов, 2014. С. 103–105. — (Рус.) — URL: http://ucom.ru/doc/conf/2014\_07\_31\_02.pdf [16 декабря 2016].

10 Кологривов В. Н. Эффект Доплера в классической физике: [Учебно–методическое пособие] / В. Н. Кологривов. — Москва, 2012. — 42 с.