Министерство общего
и профессионального образования
Российской Федерации

Новосибирский Государственный Университет

Никулин Максим Александрович

Идентификация основных фраунгоферовых линий поглощения в спектре Солнца

Курсовая работа

Научный руководитель
Нестеренко И. Н.

____

«_____»________________1999 г

Новосибирск, 1999

Аннотация

В работе проведена идентификация основных фраунгоферовых линий в спектре Солнца в диапазоне длин волн 3500–6700 Å. Спектр был получен на автоматизированной установке, созданной в обсерватории «Вега». Эта установка имеет следующие характеристики: диапазон длин волн — 2000–8000 Å, минимальный шаг спектра — 0.2 Å, ширина аппаратной функции с наиболее узкими щелями — 0.7 Å.

Для расшифровки была написана программа, сравнивающая линии поглощения, найденные в спектре, с таблицами спектральных линий элементов. При этом использовалась база данных спектральных линий [1].

Применённая методика может быть использована для расшифровки других спектров.

1 Введение

Излучение Солнца в видимой области спектра, а также ближних инфракрасной и ультрафиолетовой областях, формируется в фотосфере. Это слой протяженностью около 500 км, где резко падает коэффициент поглощения, и конвективный перенос энергии сменяется лучистым. Излучение Солнца при этом достаточно точно описывается функцией Планка [2] с эффективной температурой около 6000 К.

Очень важной особенностью спектра является присутствие фраунгоферовых линий, названных по имени их открывателя. Эти линии имеют вид узких впадин на кривой зависимости интенсивности от длины волны. Они возникают из-за поглощения излучения атомами и ионами различных химических элементов. Изучая линии поглощения, можно определить состав вещества из которого образовалось Солнце. Термоядерные реакции идут на большей глубине и практически не влияют на состав фотосферы.

Также по форме фраунгоферовых линий можно определить температуру и давление вещества Солнца.[1]

Для изучения спектральных линий необходимо сначала определить, каким элементам они принадлежат. Однако сравнение спектра с таблицами спектральных линий является трудоемкой задачей. С другой стороны, полная автоматическая обработка очень сложна. Из-за этого в работе была сделана попытка найти компромисс между «ручной» и автоматической расшифровкой спектров.

2 Постановка задачи

Всякий атом или ион предпочитает поглощать или испускать излучение на определенных дискретных длинах волн. Взяв несколько элементов мы получим в спектре суперпозицию их линий поглощения. Но картина усложняется тем, что линии поглощения имеют ненулевую ширину, и близкие линии сливаются, их становится невозможно различить на спектре. Это сильно затрудняет автоматическую расшифровку спектра.

Рассмотрим два вида анализа полученного спектра Солнца.

1. Проверка присутствия линий какого-либо элемента в спектре.

2. Определение элементов, которым принадлежат наблюдаемые линии поглощения.

В первом случае необходимо к каждой линии излучения данного элемента найти линии поглощения среди тех, которые присутствуют в спектре. При этом может оказаться, что в интервал, соответствующий погрешности определения длины волны, попадает несколько линий. Этот случай требует более тонкого анализа.

Вторая задача подразумевает следующее. Для линии поглощения из полученного спектра найти наиболее близкие линии из базы данных [1].

Оба способа анализа были проделаны в данной работе. Для удобства обработки спектр поглощения преобразовывался к эквивалентному спектру излучения. Если $s(\lambda)$ — спектр Солнца, а $s_1(\lambda)$ — его огибающая, полученная при исключении линий

[1] Более подробно эти процессы описаны в книге Гибсона [3].

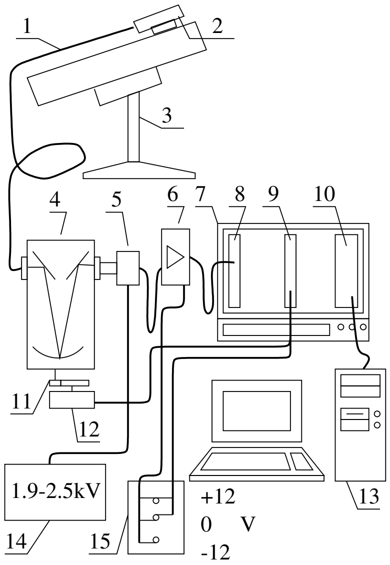

Рис. 1. Схема установки:
1. световод;
2. фокусирующая система;
3. телескоп с монтировкой;
4. монохроматор;
5. ФЭУ;
6. усилитель;
7. крейт;
8. вольтметр;
9. блок управления шаговым двигателем;
10. крейт-контроллер;
11. редуктор;
12. шаговый двигатель;
13. персональный компьютер;
14. блок питания ФЭУ;
15. блок питания усилителя и шагового двигателя.

поглощения, то из спектра поглощения можно получить эквивалентный спектр излучения по формуле

$$\frac{s_1(\lambda) - s(\lambda)}{s_1(\lambda)}. \tag{1}$$

3 Описание установки

3.1 Принцип работы установки

Схема установки приведена на рис. 1.

Свет от Солнца проходит через фокусирующую систему 2 с кварцевой линзой и попадает в световод 1, который передает свет на входную щель монохроматора 4. Фокусирующая система крепится вместо видоискателя на телескоп 3, монтировка которого обеспечивает слежение за Солнцем.

Монохроматор 4 выделяет узкий участок спектра. Далее свет попадает на катод фотоумножителя 5, установленный за выходной щелью монохроматора. Установка нужной длины волны осуществляется при помощи шагового двигателя 11 с редуктором 12, присоединенным к ручке монохроматора. Ток на выходе фотоумножителя достаточно высокий и позволяет использовать его в аналоговом режиме работы. Для измерения выходного сигнала фотоумножителя, к нему подключен преобразователь ток-напряжение 6, выполненный на операционном усилителе с полевыми входами.

Управление шаговым двигателем осуществляется с помощью блока 9, измерения напряжения с выхода усилителя 6 производятся вольтметром 8. Связь с ЭВМ 13 осуществляется через крейт-контроллер 10. Указанные блоки, за исключением усилителя, выполнены в стандарте КАМАК.

Регистрация спектра излучения Солнца производится следующим образом. С помощью двигателя на монохроматоре выбирается нужная длина волны, один или несколько раз измеряется выходной сигнал с ФЭУ, устанавливается новая длина волны, снова измеряется напряжение и так далее.

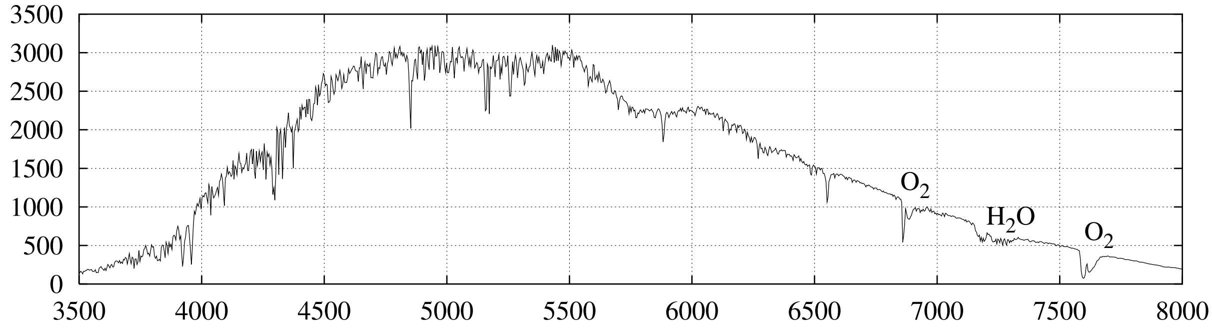

Рис. 2. Спектр Солнца. Указаны молекулярные линии поглощения, возникающие в атмосфере Земли.

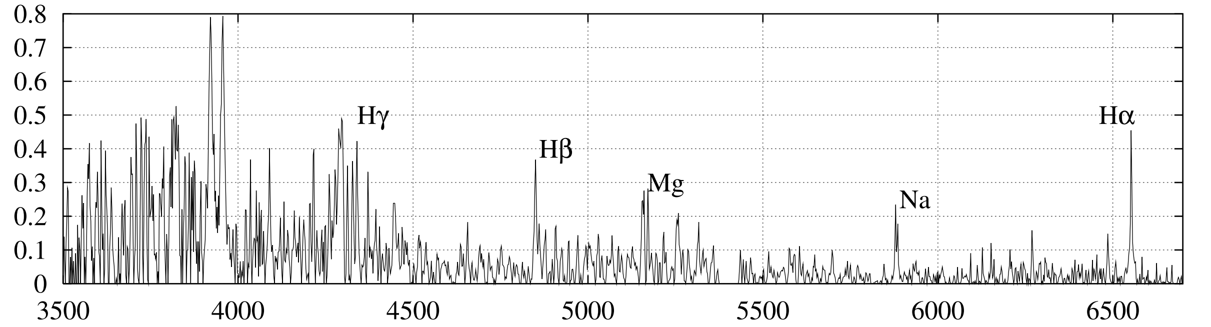

Рис. 3. Эквивалентный спектр поглощения. Отмечены те линии, по которым определялся сдвиг длин волн

3.2 Оборудование

В установке использовано следующее стандартное оборудование.

Монохроматор МУМ. В нем в качестве диспергирующего элемента используется вогнутая дифракционная решетка, рабочий диапазон длин волн — 2000–8000 Å. Величина обратной дисперсии составляет 30–40 Å/мм. Монохроматор оснащен сменными щелями постоянной ширины 0.05, 0.25, 1.0 мм. Для повышения разрешения по длинам волн были изготовлены более тонкие щели, позволяющие изучать структуру линий поглощения. Ширина аппаратной функции на полувысоте с этими щелями составляет около 0.7 Å.

Шаговый двигатель и редуктор позволяют снимать спектры с минимальным шагом 0.2 Å.

Фотоумножитель ФЭУ-100 имеет кварцевое окно, которое дает возможность работать с ультрафиолетовой областью спектра.

Следующие блоки выполнены в стандарте КАМАК и изготовлены в Институте Ядерной Физики имени Будкера.

Интегрирующий вольтметр «Липенок» может измерять напряжение с точностью 14–20 двоичных разрядов в зависимости от времени интегрирования.

Блок управления шаговым двигателем — УШД-2.

Крейт-контроллер — К0607.

3.3 Программное обеспечение

Управление установкой осуществляется персональным компьютером. На нем установлена операционная система **Red Hat Linux 4.2**, ядро 2.0.35, драйвер платы ППИ-2 **ppi2-0.2.4a** (автор — А. Никифоров).

Для работы с установкой была написана программа **spectrum**. Она позволяет получать спектры в двух режимах. В первом сканирование спектра идет с фиксированным шагом. Второй режим позволяет провести измерение уровня сигнала только на определенных длинах волн. В каждой точке спектра напряжение может измеряться несколько раз. Это сделано для того, чтобы избавиться от быстрых флуктуаций яркости.

Еще несколько программ были написаны для обработки результатов.

4 Результаты измерений

Для обработки использовались спектры, полученные 15 октября 1999 года. Шаг этих спектров составляет 2 Å. В ходе обработки выяснилось, что они недостаточно подробные, то есть в некоторые линии попадает только одна точка спектра. Кроме того, определить положение линии поглощения с погрешностью меньшей шага спектра невозможно. По этой причине было решено отложить количественный анализ до получения более подробных спектров.

Обработка спектров состояла из следующих этапов. Она проводилась написанными для этого программами.

Исходный спектр приведен на рис. 2. На спектре отмечены линии поглощения, возникающие в земной атмосфере. Также можно заметить, что при длинах волн больших 6700 Å видимые линии поглощения относятся к молекулярным линиям поглощения в атмосфере Земли и интереса не представляют.

Сначала была учтена спектральная чувствительность фотокатода. Это было сделано для того, чтобы получить более плавный график, и облегчить следующий этап обработки.

Затем спектры были обработан программой, удаляющей линии поглощения. Поясним алгоритм ее работы. Сначала она избавляется от точек, в которых слишком большая производная, затем от тех, где большая кривизна. Таким образом были получены точки по которым можно провести огибающую.

Далее по формуле 1 был получен эквивалентный спектр излучения. Он приведен на рис. 3.

Затем каждому локальному максимуму на графике была поставлена в соответствие одна линия. Ее положение соответствует положению максимума.

Следующим шагом была калибровка монохроматора. Для этого положение наиболее интенсивных линий сравнивалось со значениями из базы данных. Таким образом была определена систематическая погрешность измерения длины волны. Эту часть работы автоматизировать пока не удалось. Линии, по которым проводилась калибровка, обозначены на рис. 2.

Когда все подготовительные операции закончены, можно приступать к расшифровке. Выполнялась она двояко. Сравнения проводились со следующими элементами: C, Ca, Fe, H, Mg, N, Na, O.

3660.271	H	-		
3661.221	H	-		
3662.258	H	-		
3663.406	H	-		
3664.679	H	-		
3666.097	H	-		
3667.684	H	-		
3669.466	H	-	3671.1	-1.6
3671.478	H	-	3671.1	+0.4
3673.761	H	-		
3676.365	H	-		
3679.355	H	-		
3682.810	H	-	3681.5	+1.3
3686.833	H	-		
3691.557	H	2	3689.8	+1.8
3697.154	H	3	3696.1	+1.1
3703.855	H	4		
3711.974	H	5	3710.7	+1.3
3721.940	H	6	3721.1	+0.8
3734.370	H	8	3735.7	-1.3
3750.154	H	10	3750.2	-0.0
3770.632	H	15	3771.1	-0.5
3797.900	H	20	3796.1	+1.8
3835.386	H	40	3835.7	-0.3
3889.051	H	60	3887.7	+1.4
3970.074	H	80	3969.0	+1.1
4101.737	H	100	4102.3	-0.6
4340.468	H	200	4339.8	+0.7
4861.332	H	500	4862.8	-1.5
6562.725	H	1000	6562.8	-0.0
6562.849	H	2000	6562.8	+0.1

Рис. 4. Результат сравнения спектра со спектром водорода. Линии, найденные в спектре, отмечены знаками «-».

Результат сравнения для водорода представлен на рис. 4. Сначала приводится строка из базы данных. В ней содержаться: длина волны, элемент, следующий параметр — степень ионизации, для водорода естественно не приводится, последнее число — относительная интенсивность. Если в спектре удалось найти близкую линию, то она расположена в следующей строчке и отмечена знаками «-». Для нее приведены: длина волны, отклонение длины волны, интенсивность. Длины волн указаны в ангстремах. Спектр был снят с шагом 2 Å.

Для гелия найдены все яркие линии, кроме тех, которые соответствуют дважды ионизированному состоянию. Несколько хуже оказалась ситуация с железом. У него есть яркие линии, которых не нашлось в спектре.

При сопоставлении спектра со всеми этими элементами, нашлись линии, которые не относятся ни к одному из этих элементов. В этом нет ничего удивительного, поскольку в таблице Менделеева еще много элементов. Кроме того в спектре могли появиться линии поглощения, соответствующие молекулярным линиям земной атмосферы.

5 Анализ результатов

Большой шаг спектра сделал невозможным точное определение систематической погрешности измерения длины волны. Также могли быть потеряны некоторые слабые линии поглощения. И, наконец, при расшифровке пришлось задать большой интервал поиска линий (он, естественно, должен превышать шаг спектра).

Положительным результатом можно считать то, что была отработана методика расшифровки спектров. Также для гелия и водорода в спектре найдены все яркие линии.

6 Заключение

При получении подробных спектров можно будет провести более точный анализ. Также это позволит провести количественный анализ.

Новые направления исследований может дать усовершенствование установки. Например, использование телескопа в качестве фокусирующей системы, позволит изучать спектры в разных частях диска Солнца. Перевод фотоумножителя в счетный режим даст возможность исследовать менее яркие объекты.

Можно также заметить, что описанный способ анализа применим к спектрам других объектов.

Список литературы

[1] База данных спектральных линий атомов, `http://www.aist.go.jp/RIODB/rfp_db/waveleng/`

[2] *Лебедева В. В.* Техника оптической спектроскопии, М.—1986

[3] *Гибсон Э.* Спокойное Солнце, М.:«Мир»—1977