Министерство общего
и профессионального образования
Российской Федерации

Новосибирский Государственный Университет

Никулин Максим Александрович

Программа **spectrum** для управления автоматизированной спектрометрической установкой. Обработка измерений.

Курсовая работа,
практикум ТСАНИ

Научный руководитель
Нестеренко И. Н.
Преподаватель практикума
Никифоров А. А
____
«_____»_______________1999 г

Новосибирск, 1999

Аннотация

В этой работе описана программа для управления автоматизированной спектрометрической установкой, созданной в обсерватории «Вега» для исследований Солнца. Также рассказано о некоторых программах для обработки результатов.

Основой для установки послужили монохроматор МУМ и фотоумножитель ФЭУ-100. Чтобы устанавливать длину волны на монохроматоре, применен шаговый двигатель.

Управление шаговым двигателем и измерения сигнала с ФЭУ автоматизировано с помощью крейта КАМАК. В установку входят КАМАК-блоки УШД-2, вольтметр «Липенок» и контроллер К0607. Интерфейс с ЭВМ — плата ППИ-2.

На компьютере установлены операционная система **Linux**, применен драйвер платы ППИ-2 — **ppi2-0.2.4a**.

Характеристики установки: минимальный шаг спектра — 0.2 Å, ширина аппаратной функции с наиболее узкими щелями — 0.1 нм, диапазон длин волн — 200–800 нм.

Программа, управляющая установкой позволяет снимать спектры с несколькими измерениями в одной точке, фиксированным шагом или в указанных точках.

Для обработки данных было написано несколько программ. Они используются для калибровки системы по спектру серого тела, для исключения спектральной чувствительности ФЭУ, для сглаживания спектров удалением линий поглощения.

Систематизация измерений осуществляется с помощью сценария на **awk**.

Содержание

1 Введение

Излучение Солнца можно приближенно описать моделью черного тела. При распространении свет частично поглощается. Это происходит как в самом Солнце, так и в земной атмосфере. При этом на спектре возникают линии поглощения от тех элементов, которые встречаются по пути распространения. По этим спектральным линиям можно определить, как состав Солнца, так и некоторые характеристики земной атмосферы. Более подробно это описано в [1].

Подробные спектры содержат огромное количество точек и сложны в обработке. Для того чтобы избежать рутинной работы, сейчас используются компьютеры. Для этого необходимо информацию о спектре внести в компьютер. Первая работа по спектрометрии Солнца в обсерватории была сделана «вручную» Дмитрием Чуркиным, Алексеем Карпелевым и Андреем Кудрявцевым. Снятие спектров и ввод их в компьютер были очень трудоемкими операциями.

Подключение установки к крейту и компьютеру сделало получение спектров гораздо более легким и требующим гораздо меньше терпения делом, а ввод их в компьютер — просто ненужным. При этом, правда, пришлось столкнуться с тем, что спектров развелось огромное количество из-за легкости их получения.

О том как решались эти проблемы, и к чему это привело, рассказано в этой работе.

2 Описание установки

Схема установки приведена на рис. 1. Поясним принцип ее работы.

Свет от Солнца проходит через фокусирующую систему 2 с кварцевой линзой и попадает в световод 1, который идет к монохроматору 4. Фокусирующая система крепится вместо видоискателя на телескоп 3, монтировка которого осуществляет слежение за Солнцем.

Монохроматор 4 выделяет узкий участок спектра. Далее свет попадает на фотоумножитель 5, установленный на выходе монохроматора. Установка нужной длины волны осуществляется шаговым двигателем 11 с редуктором 12, присоединенным к ручке монохроматора. Уровень сигнала на выходе фотоумножителя достаточно высокий и позволяет использовать его в непрерывном режиме работы. Для измерения выходного сигнала фотоумножителя, к нему подключен

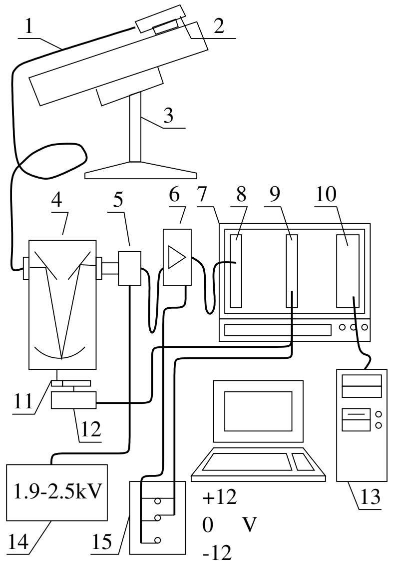

Рис. 1: Схема установки:
1. световод;
2. фокусирующая система;
3. телескоп с монтировкой;
4. монохроматор;
5. ФЭУ;
6. усилитель;
7. крейт;
8. вольтметр;
9. блок управления шаговым двигателем;
10. контроллер крейта;
11. редуктор;
12. шаговый двигатель;
13. персональный компьютер;
14. блок питания ФЭУ;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

преобразователь ток-напряжение 6, выполненный на операционном усилителе с полевыми входами.

Для управления шаговым двигателем используется блок 9, для измерений напряжения — вольтметр 8. Связь с ЭВМ 13 осуществляется через контроллер крейта 10.

Теперь расскажем более подробно о каждом блоке.

Монохроматор МУМ может работать в диапазоне длин волн 200–800 нм. Но реально нижняя граница спектров составляет 350 нм, так как свет с меньшими длинами волн поглощается в световоде. Дисперсия равна 3–4 нм/мм. Для повышения разрешения по длинам волн были изготовлены более тонкие щели, позволяющие изучать структуру линий поглощения. Ширина аппаратной функции при этом составляет около 0.1 нм.

Фотоумножитель ФЭУ-100 имеет кварцевое окно, позволяющее работать с ультрафиолетовой областью спектра. Как уже говорилось, световод ограничивает диапазон длин волн.

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

Интегрирующий вольтметр «Липенок» может измерять напряжение с точностью 14–20 двоичных разрядов. В установке применены блок управления шаговым двигателем УШД-2 и контроллер крейта К0607. Все КАМАК-блоки изготовлены в Институте Ядерной Физики имени Будкера.

3 Программа spectrum

Эта программа предназначена для получения спектров на описанной выше установке. При этом уделено внимание удобству и гибкости программы.

3.1 Возможности программы

Для начала можно кратко сказать об окружении в котором используется программа. На компьютере установлена операционная система **Red Hat Linux 4.2**, ядро 2.0.35, драйвер платы ППИ-2 **ppi2-0.2.4a** (автор — А. Никифоров). Программой также используется **gnuplot-3.6**.

Для программы был выбран интерфейс командной строки, как самый быстрый, когда требуется передавать несколько аргументов. При этом используется библиотека **readline**, позволяющая использовать историю команд. Анализатор командной строки поддерживает кавычки и комментарии.

Остановимся на возможностях программы. Она может снимать спектры в заданном диапазоне длин волн с указанными шагом и количеством измерений напряжения в каждой точке. Также можно пользоваться «именными» спектрами. «Имени» при этом соответствуют все перечисленные выше параметры, и вместо их перечисления команде достаточно указать только «имя». Чтобы на получение спектра уходило меньше времени, можно задать файл-шаблон, в котором перечислены интересующие длины волн. Например, можно пропустить все линии поглощения и получить огибающую спектра, или избавиться от ненужных линий поглощения.

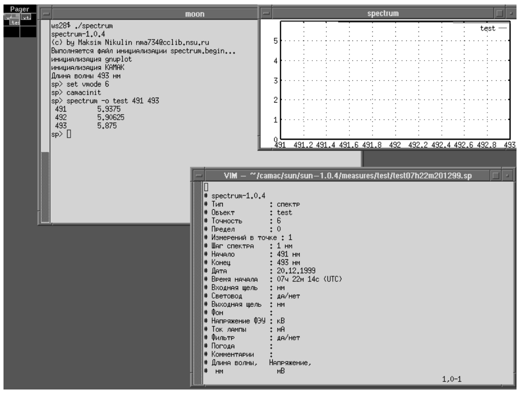

Рис. 2: Вид экрана при работе с программой **spectrum**. Показаны: окно **gnuplot**, текстовый редактор, запущенный для редактирования комментариев, окно **xterm** с запущенной в нем программой **spectrum**.

Во время измерений на экране рисуется спектр. Для этого используется **gnuplot**. Вид экрана при работе программы показан на рис. 2.

Но получить спектры мало, еще надо не запутаться в огромном их количестве. Для систематизации данных программе можно указать название объекта, например, «Halpha» — линия поглощения водорода. При этом файл с результатами измерений попадет в каталог с таким именем, а имя файла будет состоять из названия объекта и времени, когда этот спектр был снят. Кроме того, в файл будут внесены сведения о названии объекта, дате, времени начала и окончания измерений, режиме работы вольтметра и некоторые другие параметры, будут подготовлены поля для таких сведений, как погода в течение измерений. Программа предложит их заполнить по окончании измерений. Также, ведется файл протокола, в который вносится информация о полученных спектрах и об ошибках, возникших при работе с крейтом. Пример заголовка файла приведен на рис. 2.

Для настройки установки предусмотрены команды передвижения на необходимую длину волны и многократного измерения напряжения без перемещений.

К сожалению, система монохроматор-двигатель не имеет обратной связи для определения длины волны, которая установлена на монохроматоре. Из-за этого пользователю необходимо следить за длиной волны. Конечно же, его труд максимально облегчен. Ему как правило достаточно один раз указать длину волны, на которую настроен монохроматор. По окончании работы сведения о ней будут записаны в файл, а при следующем запуске программа ее восстановит. Сведения о длине волны сбрасываются при возникновении ошибок при работе с крейтом, или если программа обнаружила, что двигатель находится в режиме ручного управления.

При запуске программы выполняется инициализационный сценарий. В нем восстанавливается из файла длина волны, открывается файл протокола, устанавливаются параметры КАМАК-блоков, инициализируется gnuplot, задаются «именные» спектры. При выходе из программы выполняется завершающий сценарий. Можно также выполнить подготовленный заранее сценарий. Он может состоять из любых встроенных команд программы. Предусмотрено также выполнение команд shell.

Непременный атрибут любой программы — это система помощи. При необходимости можно получить список доступных команд и переменных с краткими пояснениями. Описание команд, использующих опции, выполнено в стиле man-страниц.

3.2 Структура программы

Строки прочитанные с клавиатуры или из файла поступают в анализатор, который делит строку на отдельные слова. После этого вызывается функция, соответствующая команде. Они делятся на несколько блоков:

- Общие команды. Сюда входят такие команды, как помощь, выход, изменение переменных и выполнения сценария.
- Ведения протокола. Это открытие и закрытие файла протокола, добавление в него текущего времени и добавление строки.
- Работы с **gnuplot**. Здесь обрабатываются программы запуска и завершения его работы. Также есть возможность передать ему любую команду.
- Команды для установки длины волны. Ее можно прочитать из файла, установить, записать в файл и, конечно же, посмотреть.
- И, наконец, команды измерений. Точнее те, которые работают с крейтом. Сюда я также отношу команду добавления «именных» спектров.

Об установке длины волны упоминалось ранее. Дополнительно можно сказать, что внутри программы информация о длинах волн хранится в шагах двигателя. Это сделано для того, чтобы не накапливались ошибки округления.

Перейдем к работе с крейтом. Открытию файла крейта сопутствует установка параметров блоков, и новые значения таких переменных, как точность измерения напряжения, начинают работать только с этого момента.

Работа с вольтметром трудностей не вызывает. Можно отметить только возможность прервать измерения в любой момент.

Ошибка при работе с шаговым двигателем может привести к выходу из строя монохроматора, поэтому пришлось принять некоторые меры предосторожности. Во-первых, движение не начнется при неизвестной длине волны. Во-вторых, при передвижении на большое расстояние по диапазону длин волн, задание делится на несколько более мелких. В-третьих, если перед началом движения окажется, что двигатель находится в режиме ручного управления, то длину волны придется устанавливать заново. И, наконец, таймауты на ожидание выполнения блоком УШД задачи выбираются не сильно отличающимися от времени, которое необходимо на отработку движения.

Если в момент принудительного прекращения измерений двигатель вращался, то перед его установкой программа определяет, сколько шагов двигатель еще не отработал, и по этому значению устанавливает длину волны.

4 Обработка результатов

4.1 Систематизация проведенных измерений

Как показал опыт, файлов с измерениями быстро становится очень много. При этом становится сложно найти нужный. Для облегчения этой задачи был написан сценарий для **awk**, который анализирует комментарии в файлах с измерениями и на их основе создает таблицу с краткими сведениями.

На рис. 4 приведено начало файла с измерениями (они были выполнены одной из первых версий программы). Таблицу, полученную при обработке этого и еще одного файла, вы можете увидеть на рис. 4.2. Информации в ней обычно хватает для того, чтобы найти нужный спектр.

4.2 Исключение спектральной чувствительности фотокатода

Данные измерений, которые содержатся в файле с результатами, не являются «истинным» спектром. Необходимо учесть, что квантовая эффективность фотокатода ФЭУ зависит от длины волны [2], а конечная ширина щелей монохроматора искажает профиль спектральных линий.

Остановимся подробнее на определении спектральной чувствительности фотокатода. Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела b^0_λ описывается формулой Планка [3]

$$b^0_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1},$$

где T — термодинамическая температура, λ — длина волны.

Реальные тела не являются абсолютно черными, поэтому для описания их спектра вводят коэффициент серости $a(\lambda)$. Тогда спектральная плотность излучения такого тела равна

$$a(\lambda)b^0_\lambda.$$

Сняв спектр лампы накаливания $l(\lambda)$ и измерив пирометром ее температуру, мы можем получить спектральную чувствительность фотокатода $q(\lambda)$

$$q(\lambda) = \mu\frac{l(\lambda)}{a(\lambda)b^0_\lambda},$$

где μ — коэффициент, подобранный так, чтобы максимум $q(\lambda)$ был порядка 1.

Спектр другого объекта можно получить по результатам измерений $s_1(\lambda)$, воспользовавшись формулой

$$\frac{s_1(\lambda)}{q(\lambda)}.$$

Иллюстрация к этому методу приведена на рис. 3. В данном случае обработка проводилась программами, написанными на си и фортране. Более подробно калибровка спектрометрических приборов описана в [4].

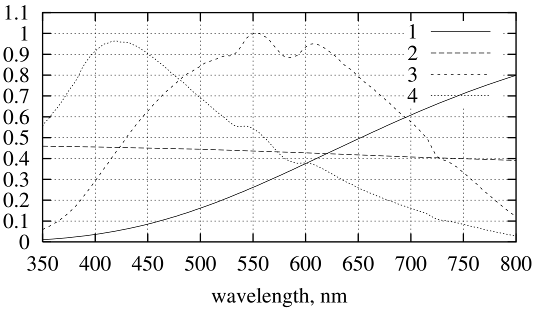

Рис. 3: 1. Спектр черного тела при $T = 2740\,\mathrm{K}$; 2. коэффициент серости вольфрама при той же температуре; 3. результат измерений спектра лампы накаливания; 4. Спектральная чувствительность фотокатода. Спектры даны в относительных единицах.

```
# spectrum-0.2.2
# Объект          : sun
# Точность        : 6
# Шаг спектра     : 1 нм
# Начало          : 300 нм
# Конец           : 830 нм
# Дата            : 20.05.1999
# Время начала    : 13ч 21м 52с (UTC)
# Время окончания: 13ч 32м 08с (UTC)
# Входная щель    : световод
# Выходная щель   : 0.25 мм
# Напряжение фона: 13 мВ
# Напряжение ФЭУ : 2.3 кВ
# Фильтр          : нет
# Погодные условия : дымка
# Длина волны,    Напряжение,
#  нм               мВ
 300              27.4062
 301              27.3125
```

Рис. 4: пример заголовка файла измерений

file	obj	шаг	beg	end	<->	in	out	фон	ФЭУ	fltr	комментарий
sun11h53m200599	sun	0.10	380	410	–>	свет	0.05	11	2.3	нет	однородная дымка
sun13h32m200599	**sun**	**1 нм**	**300**	**830**	**–>**	**свет**	**0.25**	**13**	**2.3**	**нет**	**дымка**

Рис. 5: результат обработки заголовков

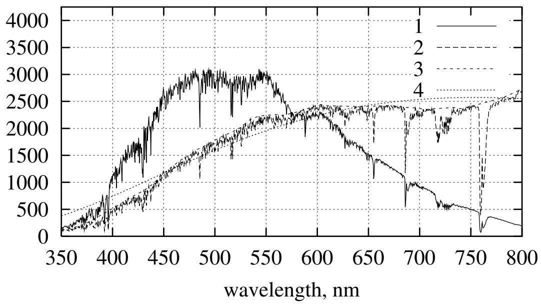

Рис. 6: Спектр Солнца: 1. результат измерений; 2. спектр с учетом спектральной чувствительности фотокатода; 3. сглаженный; 4. спектр черного тела при $T = 3840\,\mathrm{K}$.

К сожалению, с достаточной точностью измерить температуру лампы накаливания не удалось. В результате спектры, полученные с учетом измеренной таким образом спектральной чувствительности, отличаются от тех, которые должны быть на самом деле. В этом и заключается причина того, что в программу пока не включена on-line обработка.

Попытаемся аппроксимировать спектр Солнца спектром черного тела. При этом обилие линий поглощения мешает это сделать. Для подобных измерений была написана программа удаляющая подозрительные участки спектра. Сначала она избавляется от точек, в которых слишком большая производная, затем от тех, где большая кривизна.

Результат сглаживания представлен на рис. 6. Также на этом рисунке приведен спектр черного тела. Аппроксимация производилась нелинейным методом наименьших квадратов программой **gnuplot**. На самом деле излучение Солнца соответствует 6000 K [1]. Это подтверждает неточность калибровки системы.

Получение реального профиля линии поглощения — более сложная задача. Эта обработка проводится с использованием программы **Mathcad**. При этом можно не учитывать неточность определения спектральной чувствительности фотокатода.

5 Заключение

Написанная программа вполне подходит для измерений, и основная цель работы выполнена. Дальнейшая эксплуатация выявит, как сделать программу более удобной. Однако необходимо более точно откалибровать систему по какому-либо спектральному источнику. Им, например, может стать синхротронное излучение.

Далее необходимо развивать методы обработки результатов. Одним из наиболее интересных направлений является идентификация спектральных линий. Также можно исследовать профиль линий и поглощение в атмосфере Земли.

Список литературы

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

[2] *Матвеев В. В, Соколов А. Д.* Фотоумножители в сцинтилляционных счетчиках, М.—1962

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

[4] *Миронов В. В.* Прецизионная фотометрия, М.—1997