

## Лабораторная работа № 2

### ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА СОЛНЦА

Цель работы:

идентифицировать на регистрограмме солнечного спектра спектральные линии водорода, сделать вывод о химическом составе Солнца;

по ширине спектральных линий определить температуру поглощающего газа хромосферы;

по максимуму интенсивности спектра Солнца на основании закона Вина определить температуру излучающего газа фотосферы.

#### ВВЕДЕНИЕ

Спектрометрические данные являются основным источником информации о космических объектах. Изучение спектров излучения и поглощения дает информацию о химическом составе источника, механизме излучения, температуре и другую информацию.

Спектром называют зависимость интенсивности излучения от длины волны, представленную графически. Первоначально спектры получали на фотопластинках (рис. 1). С развитием технологии приема электромагнитных волн появилась возможность получать регистрограммы спектров (рис. 2).

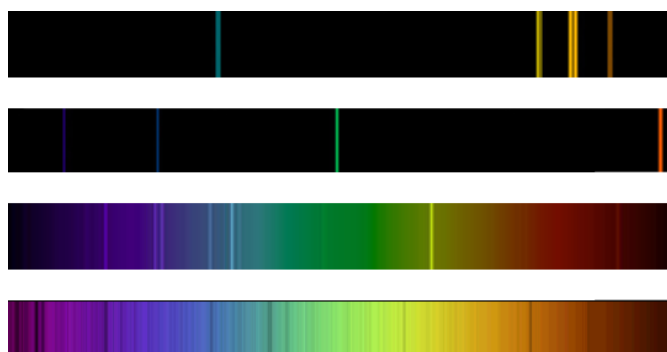


Рисунок 1 — Фотографический вид спектров сверху вниз излучения натрия, излучения водорода, излучения гелия, поглощения Солнца.

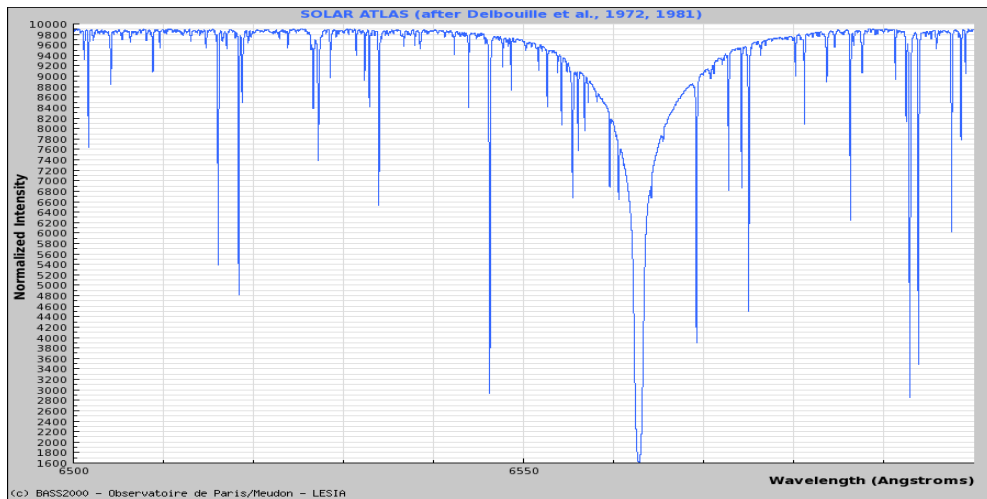


Рисунок 2 — Регистрограмма спектра поглощения.

Если тело излучает как абсолютно черное (то есть оно полностью поглощает все виды падающего на него излучения), то выполняются законы теплового излучения.

**Закон Вина.** Максимум интенсивности приходится на длину волны

$$\lambda = \frac{b}{T}, \quad (1)$$

где коэффициент

$$b = \frac{hc}{4,965 \cdot k} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}. \quad (2)$$

Данная зависимость применяется для оценки температуры далеких источников. Так определенная температура называется цветовой, для серых тел совпадает с истинной. Серое тело поглощает излучение не полностью, интенсивность поглощения зависит от температуры, но не зависит от частоты.

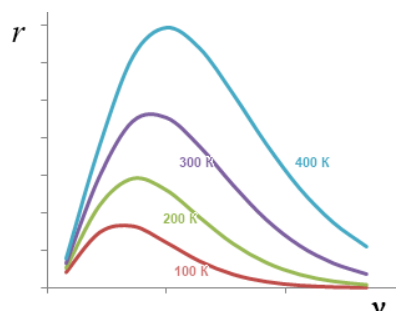


Рисунок 3 — Зависимость максимума интенсивности излучения абсолютно черного тела от его температуры (по оси абсцисс отложена частота волн).

**Закон Стефана–Больцмана.** Мощность излучения с единицы поверхности черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры

$$\varepsilon = \sigma T^4, \quad (3)$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ . Применяется для оценки температуры черного тела при известной светимости (так называемая эффективная или радиационная температура, всегда ниже истинной).

Солнце излучает как абсолютно черное тело, поэтому по максимуму интенсивности можно было бы определить температуру излучающего слоя, если бы свет не испытывал поглощения как в атмосфере самого Солнца, так и в атмосфере Земли. Поэтому реальное распределение интенсивности света по длинам волн сильно отличается от такового для черного тела. Таким образом определить температуру по закону Вина или Стефана—Больцмана проблематично.

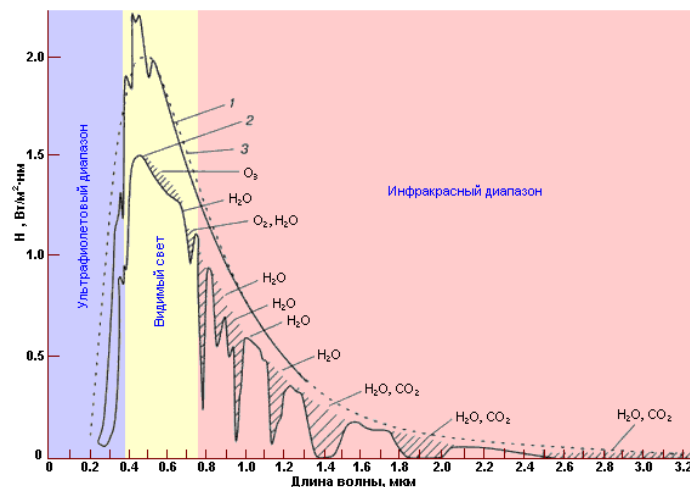


Рисунок 4 — Интенсивность падающего на Землю солнечного излучения  $H$  в зависимости от длины волны. Заштрихованные области соответствуют участкам спектра, ненаблюдаемым на уровне моря из-за их поглощения указанными компонентами атмосферы. 1 — солнечное излучение за границей атмосферы, 2 — солнечное излучение на уровне моря, 3 — излучение абсолютно черного тела при 5900 К. (Справочник по геофизике и космическому пространству. Под ред. С.Л.Валлея и МакГроу-Хилла, Нью-Йорк, 1965).

Современный взгляд на строение Солнца таков. Энергия вырабатывается в ядре при протекании термоядерных реакций. Через зону лучистого переноса энергия проходит в виде электромагнитного излучения. К фотосфере энергия приходит путем конвекции (грануляция фотосферы). В фотосфере вырабатывается видимый свет. В хромосфере формируется линейчатый спектр поглощения. Таким образом, изучая поглощение света, мы изучаем хромосферу — тонкую (до 10000 км), почти невидимую часть атмосферы, граничащую с фотосферой снизу и с короной сверху. В хромосфере идет увеличение температуры газа с высотой. Среднюю температуру фотосферы можно определить по ширине линий поглощения водорода и гелия — основных ее компонентов.



Рисунок 5 — Строение Солнца

В лабораторных условиях водород дает достаточно тонкие линии излучения и поглощения, так как его температура и скорость его молекул достаточно низкая. Но при высокой температуре проявляется эффект Доплера — изменение длины волны света, ощущаемой движущимся приемником излучения. Если приемник излучения движется в сторону,

откуда приходит свет, то он будет принимать максимумы волн с большей частотой. В противном случае, когда приемник излучения движется в ту же сторону, что и свет, то он будет принимать максимумы волн с меньшей частотой. Энергия фотона определяется его частотой. Поэтому атом водорода, который может поглощать свет только строго определенными порциями, то есть, строго определенных частот, которые могут перевести электрон на одну из высоких орбиталей, при движении с большой скоростью может поглощать свет близких частот (а следовательно, и длин волн) в зависимости от того, поглощает он фотон, движущийся ему навстречу, или догоняющий его фотон.

$$\lambda = \lambda_0(1 - v/c) \quad (4)$$

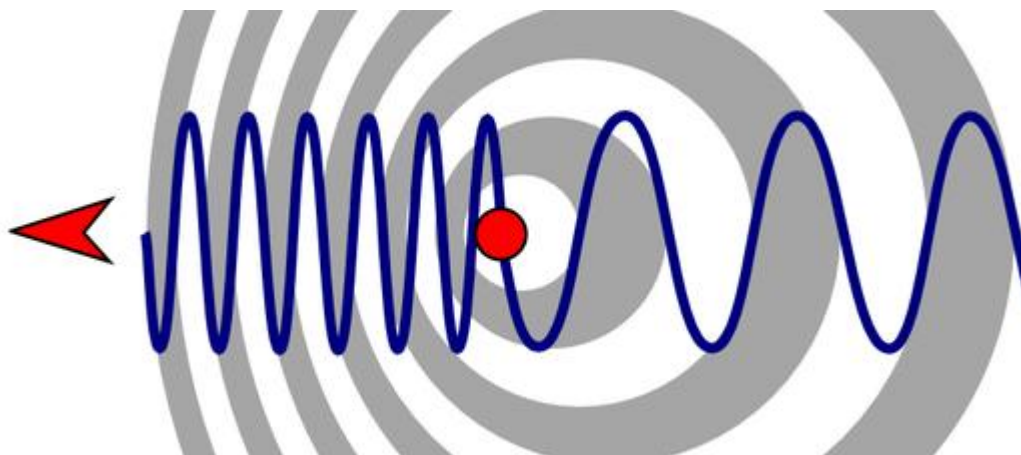


Рисунок 6 — Эффект Доплера

Таким образом, измеряя ширину спектральной линии поглощения, мы можем определить наименьшую и наибольшую скорость атома водорода, как приемника излучения.

Наконец, температура газа зависит от средней кинетической энергии его молекул.

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT \quad (5)$$

Число атомов, имеющих конкретное значение проекции вектора скорости на луч зрения, подчиняется зависимости Максвелла (рисунок 7). Число атомов, имеющих наиболее вероятную величину проекции скорости

на луч зрения, определяющуюся температурой среды — это максимум на графике распределения атомов по скорости. На профиле спектральной линии расширение вследствие эффекта Доплера атомами, имеющими наиболее вероятную скорость, соответствует точка перегиба (интенсивность примерно 3000). Измерив длину волны  $\lambda$  на уровне перегиба профиля линии, а также измерив длину волны  $\lambda_0$ , соответствующую минимуму интенсивности в профиле спектральной линии, можно получить наиболее вероятную скорость  $v$  атомов поглощающего газа по формуле Доплера (4).

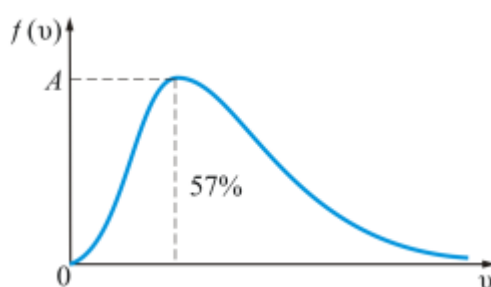


Рисунок 7 — График распределения молекул газа по модулю скорости

Для работы используется интернет-сайт Парижской обсерватории, содержащий инфокоммуникационную версию атласа солнечного спектра доступного по адресу [http://bass2000.obspm.fr/solar\\_spect.php](http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php). Для выполнения работы необходим персональный компьютер с подключением к Интернет.

### Порядок выполнения работы

#### Задача 1.

1. Создать электронную таблицу для расчета длин волн серии Бальмера для водорода, в которой по формуле Бальмера рассчитать длины волн линий водорода в оптической области спектра (примерно от 600 нм до 300 нм).

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 3, 4, 5, 6, \quad (6)$$

где  $R_H = 10967759,3 \text{ м}^{-1}$  — постоянная Ридберга для водорода.

2. Загрузить страницу [http://bass2000.obspm.fr/solar\\_spect.php](http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php).

3. В диалоговом окне Wavelength в строке Start Wavelength набрать 6500. Это нижняя граница области спектра Солнца в ангстремах ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ ).

3. В строке Wavelength range набрать 100. Это максимальная ширина области спектра в ангстремах.

4. Нажать Ok.

В окне появится участок регистрограммы спектра Солнца в промежутке длин волн от 650 нм до 660 нм. Линию поглощения в атмосфере Солнца с высокой температурой можно отличить от линий поглощения в земной атмосфере (при низкой температуре) по значительной ширине.

5. Подвести курсор мыши к самой глубокой точке широкого провала регистрограммы и нажать левую кнопку. После этого в верхней части окна появится длина волны.

6. Сравнить полученный результат с данными электронной таблицы с результатами расчетов по формуле Бальмера (6).

7. Путем изменения нижней границы окна регистрограммы найти другие широкие линии поглощения. Сделать вывод о составе поглощающего свет газа.

## Задача 2.

1. На втором листе электронной таблицы создать таблицу для расчета температуры поглощающего газа.

Таблица 1 — Рекомендуемый вид таблицы для расчета температуры поглощающего газа

№ линии в видимом свете	$H_\alpha$	$H_\beta$	$H_\gamma$	$H_\delta$
Длина волны на выбранном уровне				

Длина волны в минимуме интенсивности	6562,805	4861,317	4340,463	4101,683
Скорость по формуле Доплера				
Масса атома H, кг	1,67E-27	1,67E-27	1,67E-27	1,67E-27
Температура, К				

2. Для определения температуры по профилю первой линии рекомендуется нижнюю границу участка регистрограммы установить 6550, а ширину 40 или 20, чтобы отчетливее был виден перегиб.

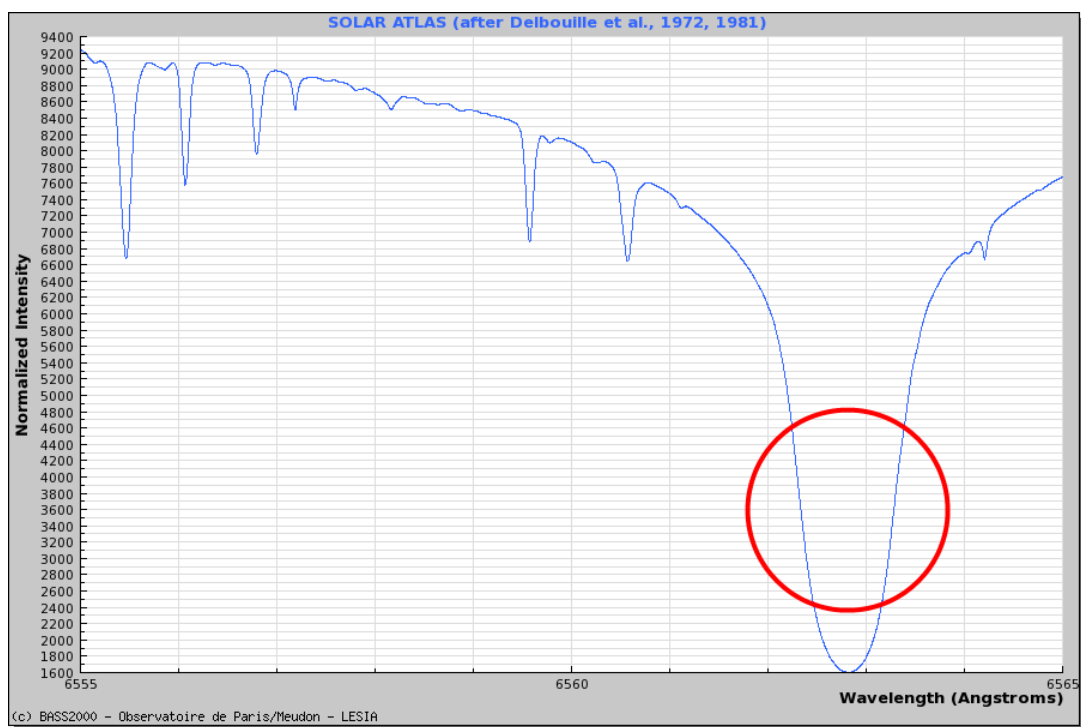


Рисунок 8 — Область перегиба (переход от выпуклой формы к вогнутой)

3. С помощью мыши определить длину волны в точке перегиба слева или справа.

4. Также поступить с другими линиями поглощения водорода в оптической области спектра. Занести результаты в таблицу и получить значения температуры, по среднему значению оценить температуру хромосферы.



### Задача 3.

По профилю регистрограммы солнечного спектра, представленной на рисунке 9, найти длину волны максимума интенсивности и по закону Вина вычислить температуру излучающего газа в модели абсолютно черного тела.

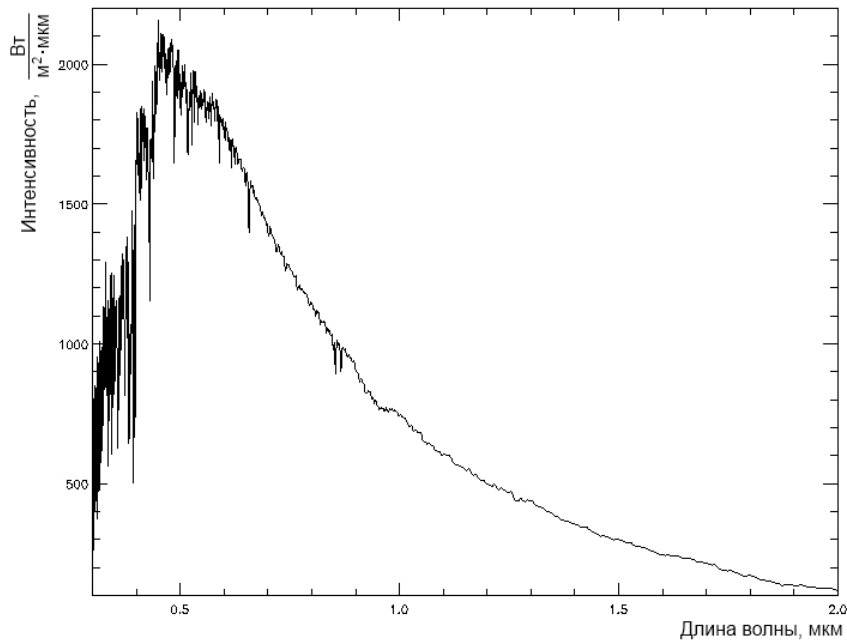


Рисунок 9 — Спектр Солнца, полученный вне земной атмосферы с ИСЗ

### ЛИТЕРАТУРА

1. Засов А. В., Постнов К. А. Общая астрофизика. — Фрязино, 2006.
2. Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии. — М., 2001.
3. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. — М., 2002.
4. Климишин И. А. Астрономия наших дней. — М., 1986.
5. Справочник по геофизике и космическому пространству. Под ред. С.Л.Валлея и МакГроу-Хилла — Нью-Йорк, 1965

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое спектр?
2. Перечислите виды спектров.
3. Что называют абсолютно черным телом?
4. Объясните распределение интенсивности излучения по длинам волн в спектре Солнца.
5. Каким образом можно определить температуру нагретого тела?
6. Объясните различие механизмов возникновения широких и узких линий поглощения в спектре Солнца.
7. Почему по ширине линий поглощения можно определять температуру поглощающей среды?
8. Охарактеризуйте физическую природу, строение и состав Солнца.