

## СПЕКТРАЛНИТЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА СЛЪНЦЕТО КАТО ТЕМА ЗА ЛАБОРАТОРНА РАБОТА В ШКОЛИТЕ ПО КОСМИЧЕСКА ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Алексей Стоев<sup>1</sup>, Пенка Стоева<sup>1</sup>, Сергей Кузин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт за космически изследвания и технологии, БАН

<sup>2</sup>Физически Институт "Лебедев", РАН, Москва, Русия  
e-mail: penm@abv.bg, stoev52@abv.bg, kuzin@mail1.lebedev.ru

*Ключови думи:* Спектри, физика на Слънцето, обучение по космическа физика и астрономия

**Резюме:** Основната цел при обучение на ученици в школите по космическа физика и астрономия е да бъдат запознати с актуалното състояние на науката в съответните направления. Този процес се осъществява ефективно, когато ученикът успява по време на обучението да се запознае и усвои методите и средствата, използвани в процеса на научно познание.

В настоящата работа е представена една идея за лабораторна работа по астрофизика, която може да се осъществи първоначално с готови публикувани данни, а по-късно да бъде реализирана с данни, получени от самостоятелно наблюдение на самия ученик.

Основните цели на работата са:

- да се идентифицират спектралните линии на водорода в регистрограмата на слънчевия спектър, за да се направи извод за химическия състав на Слънцето;
- по ширината на спектралните линии да се определи температурата на абсорбиращия газ на хромосферата;
- по максималния интензитет на спектъра на Слънцето и въз основа на закона на Вин, да се определи температурата на излъчващия газ на фотосферата.

## SOLAR SPECTRAL OBSERVATIONS AS A THEME OF LABORATORY WORK OF THE COSMIC PHYSICS AND ASTRONOMY SCHOOLS

Alexey Stoev<sup>1</sup>, PenkaStoeva<sup>1</sup>, Sergey Kuzin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
e-mail: penm@abv.bg, stoev52@abv.bg, kuzin@mail1.lebedev.ru

**Keywords:** Spectra, Solar physics, space physics and astronomy education

**Abstract:** The main purpose of training students in space physics and astronomy schools is to get acquainted with the current state of science in the respective fields. This process takes place effectively when the student succeeds in acquiring skills in the methods and tools used in the process of scientific knowledge.

In the present work is presented an idea for laboratory work on astrophysics, which can be done initially with already published data, and later on be realized with data obtained from students' own observations.

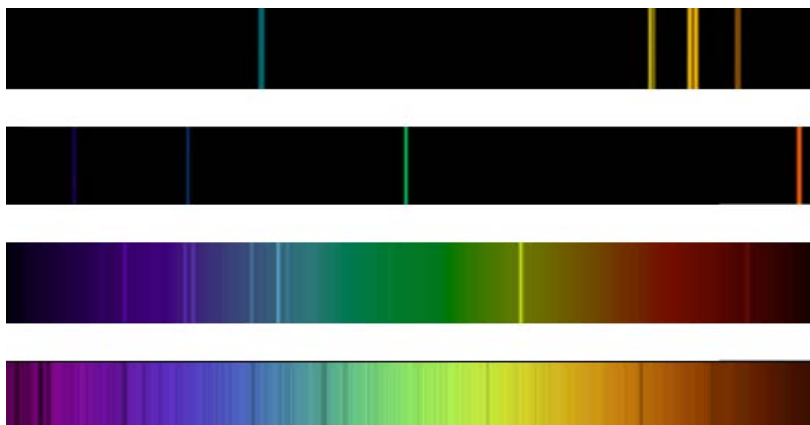
The main objectives of the work are:

- to identify the hydrogen spectral lines in the Solar spectrum to infer the chemical composition of the Sun;
- to determine the temperature of the absorption gas of the Chromosphere using the width of the spectral lines;
- to determine the temperature of the emission gas of the Photosphere using the maximum intensity of the Solar spectrum and based on Wien's law.

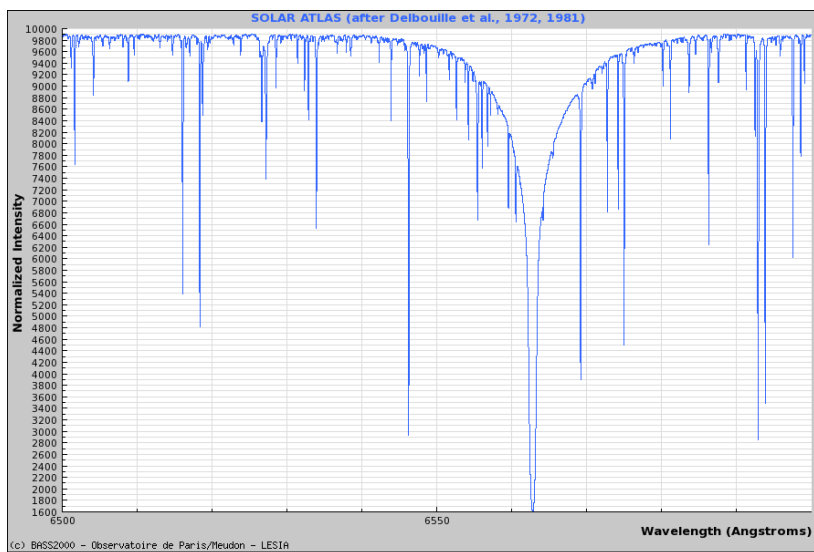
## Въведение

Спектрометричните данни са основният източник на информация за космическите обекти. Проучването на емисионните и абсорбционните спектри дава информация за химичния състав на източника, радиационния механизъм на излъчване, температурата и друга информация.

Спектър се нарича зависимостта на интензивността на излъчването от дължината на вълната, представена графично. Първоначално са били получени спектри на фотографски плаки (Фиг. 1). С развитието на технологиите за приемане на електромагнитни вълни станало възможно получаването на регистрограми на спектрите (Фиг. 2).



Фиг. 1. Фотографии на спектри (отгоре надолу - натрий, водород, хелий и слънчева абсорбция)

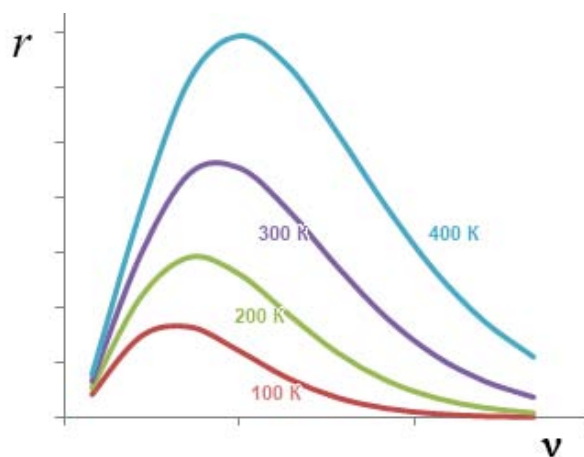


Фиг. 2. Регистрограма на абсорбционния спектър

Ако тялото излъчва като абсолютно черно (т.е. напълно абсорбира всички видове радиация, попадащи върху него), тогава са изпълнени законите за топлинно излъчване.

**Закон на Вин.** Максималният интензитет е при дължина на вълната  $\lambda = b/T$ , където коефициентът  $b = hc/4,965.k = 2,9.10^{-3} mK$ .

Тази зависимост се използва за оценка на температурата на отдалечените от нас източници, намиращи се в космическото пространство. Така че, определената температура се нарича цвят, като за сиви тела съвпада с истинската. Сивото тяло не абсорбира радиацията напълно, като интензивността на абсорбцията зависи от температурата, но не зависи от честотата.



Фиг. 3. Зависимостта на максималния интензитет  $r$  на излъчване на абсолютно черно тяло от температурата му (абсцисата показва честотата на вълните)

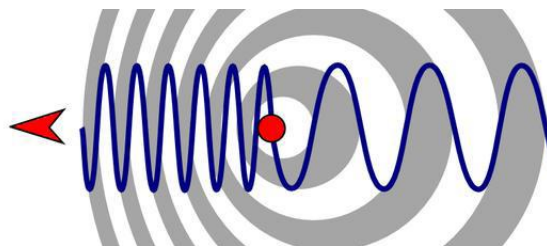
**Закон на Стефан – Болцман.** Мощността на излъчената радиация от единица повърхност на черното тяло е пропорционална на четвърта степен на абсолютната температура  $\epsilon = \sigma T^4$ , където  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ .

Законът се използва за оценка на температурата на черно тяло с известна яркост (така наречената ефективна или радиационна температура).

Слънцето излъчва като абсолютно черно тяло, следователно по максимума на интензивността може да се определи температурата на излъчващия слой, ако при това светлината не е изпитвала абсорбция в самата атмосфера на Слънцето или в атмосферата на Земята. Ето защо, действителното разпределение на интензитета на светлината по дължината на вълната е много различна от тази на абсолютно черно тяло. Следователно, определянето на температурата на Слънцето по закона на Вин или Стефан – Болцман е свързано с определени проблеми.

Съвременният поглед върху структурата на Слънцето е както следва: Енергията се произвежда в ядрото благодарение на ставащите там термоядрени реакции. Енергията минава презлъчевата зона на трансфер под формата на електромагнитно излъчване. В следващия слой енергията стига до фотосферата чрез конвекция. Във фотосферата светлината се излъчва към околното космическо пространство. В хромосферата се образува линеен абсорбиционен спектър. По този начин, изучавайки абсорбцията на светлината, изследваме хромосферата - тънка (до 10 000 km), почти невидима част от атмосферата, граничеща с фотосферата отдолу и короната отгоре. В хромосферата температурата на газа се увеличава с увеличение на височината над фотосферата. Средната температура на фотосферата може да бъде определена от ширината на абсорбиционните линии на водорода и хелия - основни газови компоненти на фотосферата.

В лабораторни условия водородът произвежда достатъчно ясни и тънки линии на излъчване и абсорбция, тъй като температурата и скоростта на неговите молекули са доста ниски. Но при високи температури се проявява ефектът на Доплер - промяна в дължината на вълната на светлината вследствие на високата скорост на излъчващия атом към или от наблюдателя. Ефект оказва и движението на спектрографа. Енергията на фотона се определя и от нейната честота. Ето защо, атом водород, може да абсорбира светлина само със строго определени честоти.



Фиг. 4. Ефект на Доплер

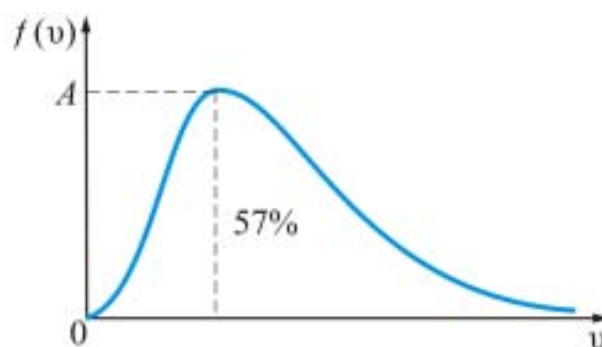
По този начин, чрез измерване на ширината на абсорбционната спектрална линия, ние можем да определим най-малката и най-голяма скорост на водороден атом, както и скоростта на движение на радиационния приемник.

Трябва да се каже, че температурата на газа зависи и от средната кинетична енергия на неговите молекули.

$$mv^2/2 = 3/2kT$$

Броят на атомите, имащи специфична стойност на проекционния вектор на скоростта по линията на зрението, се изразява със зависимостта на Максвел. Броят на атомите, които имат най-вероятната големина на проекцията на скоростта по лъча на зрение, която се определя от температурата на средата, е максималната стойност на графиката на разпределението на атомите по скорост. Разширението поради ефекта на Доплер върху профила на спектралната линия, от най-много атоми, имащи вероятната скорост, съответства на точката на инфлексия (интензитет приблизително 3000).

Чрез измерване на дължината на вълната  $\lambda$  в нивото на инфлексия на линейния профил, както и чрез измерване на дължината на вълната  $\lambda_0$ , съответстваща на минималния интензитет в спектрален линеен профил, може да се получи най-вероятната скорост  $u$  на атомите на абсорбиращия газ, съгласно формулата на Доплер  $\lambda = \lambda_0(1 - u/c)$ .



Фиг. 5. Графика на разпределението на молекулите на светещия газ по модула на тяхната скорост

За изпълнение на лабораторната работа се използва сайтът на Парижката обсерватория, съдържащ версия на атласа на слънчевия спектър, достъпен на адрес: [http://bass2000.obspm.fr/solar\\_spect.php](http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php).

За изпълнението на работата се изисква персонален компютър с връзка към Интернет.

### Ред за изпълнение на лабораторната работа

#### Задача 1.

1. Създайте електронна таблица за изчисляване на дължините на вълните от серията Balmer за водорода, при което, използвайки формулата на Balmer, да се изчислят дължините на вълните на линиите на водорода в оптичната област на спектъра (от около 600 nm до 300 nm).

$$1/\lambda = RH(1/2^2 - 1/n^2), \text{ където } n = 3, 4, 5, 6,$$

където  $RH = 10967759,3 \text{ m}^{-1}$  — константата на Ридберг за водорода.

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

3. В диалоговия прозорец "Дължина на вълната" в линия Start Wavelength въведете 6500. Това е долната граница на ъгловата спектрална област на Слънцето ( $1\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ).

4. В линията на диапазона на дължината на вълната въведете 100. Това е максималната ширина на спектъра в ангстрьоми.

5. Натиснете ОК.

Прозорецът на регистъра на слънчевия спектър в обхвата от дължини на вълните от 650 nm до 660 nm ще се появи в прозореца. Линията на абсорбиране в слънчевата атмосфера с висока температура ясно се различава от абсорбционните линии в земната атмосфера (при ниска температура) по значителната им ширина.

6. Преместете курсора на мишката до най-ниската точка на минимума на регистрограмата и натиснете левия бутон. Дължината на вълната се показва в горната част на прозореца.

7. Сравнете получения резултат с данните от електронната таблица с резултатите от изчисленията, използвайки формулата Балмер.

8. Като промените долната граница на регистрационния прозорец, намерете други широки абсорбционни линии. Направете заключение за състава на абсорбиращ газ.

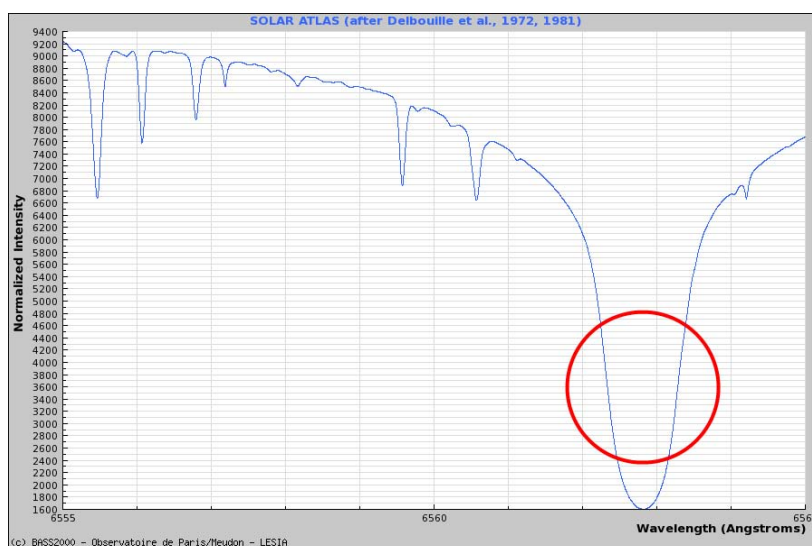
### Задача 2.

1. На втория лист на електронната таблица създайте таблица за изчисляване на температурата на абсорбиращия газ.

Таблица 1. Препоръчителен тип таблица за определяне на температурата на абсорбиращия газ

№ на спектралната линия	H <sub>α</sub>	H <sub>β</sub>	H <sub>γ</sub>	H <sub>δ</sub>
Дължина на вълната в избрания участък				
Дължина на вълната при минимална интензивност	6562,805	4861,317	4340,463	4101,683
Скорост по формулата на Доплер				
Маса на атома H, кг	1,67E-27	1,67E-27	1,67E-27	1,67E-27
Температура, K				

2. За да определите температурата по профила на първия ред, препоръчваме да зададете долната граница на регистрограмата на 6550 Å и ширината до 40 Å или 20 Å, така че да може да се види ясно.



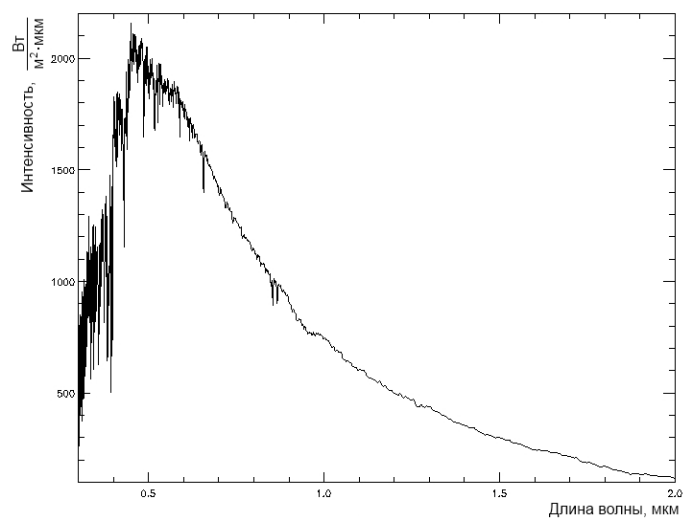
Фиг. 6. Областта от регистрограмата, избрана при изследването

3. Използвайте мишката, за да определите дължината на вълната в точката на наклона от ляво или от дясно.

4. Направете така и с други абсорбционни линии на водорода в оптичната област на спектъра. Запишете резултатите в таблица и получите температурните стойности. По средната стойност изчислете температурата на хромосферата.

### Задача 3.

От профила на регистрограмата на слънчевия спектър, показан на Фиг. 9, открийте дължината на вълната на максимума на интензитета и изчислете температурата на излъчващия газ в модела на абсолютно черно тяло, съгласно Закона за Вин.



Фиг. 7. Спектър на Слънцето, получен извън земната атмосфера с ИСЗ

Контролни въпроси:

1. Какво е спектър?
2. Избройте видовете спектри.
3. Какво наричаме абсолютно черно тяло?
4. Обяснете разпределението на интензивността на излъчване по дължината на вълната в спектъра на Слънцето.
5. По какъв начин може да се определи температурата на нагрятото тяло?
6. Обяснете различията в механизмите на възникване на широки и тесни линии на поглъщане в спектрите на Слънцето.
7. Защо по ширината на линията на поглъщане може да се определи температурата на поглъщане на средата?
8. Разкажете и обяснете физическата природа, строежа и състава на Слънцето.

### Благодарности

Работата е реализирана с финансовата поддръжка на Министерството на образованието и науката по Проект „Въвеждане на изследователски подход в обучението по астрономия, космическа физика и в подготовката за олимпиади по физика и астрономия“, 2017–2019 г.

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