Studenten erforschen die Sonne

Ulrich v. Kusserow

Schon seit mehr als einem Jahrzehnt führen Studenten der Bremer Universität im Rahmen ihres physikalischen Fortgeschrittenenpraktikums unter Anleitung von Mitarbeitern der Olbers-Gesellschaft Beobachtungen und Untersuchungen über die magnetische Sonne in der Walter-Stein-Sternwarte durch (siehe Abbildung 1 links). Im Weißlicht, vor allem aber auch im Licht der so genannten H-α-Spektrallinie des Wasserstoffs können von ihnen Strukturen und Entwicklungen solarer Aktivitätsgebiete durch den Einsatz leistungsfähiger Teleskope beobachtet und erforscht werden. Spezielle Filter ermöglichen Aufnahmen mit Digital- oder CCD-Kameras insbesondere von Fleckengruppen, hellen Fackelgebieten und Flares sowie riesiger, langgestreckter Gaswolken auf der – hier als Filamente bezeichnet – oder über dem Sonnenrand – hier als Protuberanzen bezeichnet – (siehe Abbildung 1 rechts).

Die Abb. 2 und 3 zeigen von Studentengruppen erstellte Poster, auf denen unter anderem auch diese in der Sonnenatmosphäre beobachtbaren typischen Strukturen im Licht der H-α-Linie dargestellt sind.

Neben dem Erwerb von Kenntnissen im Umgang mit den Instrumenten, über unterschiedliche Beobachtungstechniken beim Einsatz der Teleskope sowie Kenntnissen über die typischen Sonnenphänomene sollen die Studenten im Rahmen dieses Praktikumsversuchs auch erste physikalisch-theoretische Grundlagen im Bereich der Plasma- und Sonnenphysik erlernen. Wesentliches Hilfsmittel der Astrophysik ist dabei die spektroskopische Analyse der von weit entfernten Himmelskörpern ausgesandten elektromagnetischen Strahlung. Um neben den Studenten aber auch interessierten Amateurastronomen Einblicke in diesen wichtigen Forschungsbereich zu ermöglichen, haben Mitarbeiter der Olbers-Gesellschaft in den vergangenen zwei Jahren mit Unterstützung auch auswärtiger Sternfreunde ein hochauflösendes Sonnenspektrometer gebaut (siehe Olbers-Nachrichten 4/2012, 2/2013, 4/2013 und

http://uvkusserow.magix.net/website#Artikel

im Internet). Mit Hilfe dieses Instruments können wir jetzt einzelne Absorptionslinien aus dem etwa 6.000 Linien umfassenden Sonnenspektrum genauer vermessen, interessante Sachverhalte analysieren, sich ergebende Fragestellungen beantworten.

Etwa 91% der Sonnenmaterie bestehen aus dem Element Wasserstoff. Neben anderen neutralen und elektrisch geladenen Partikeln absorbieren auch diese Atome an verschiedenen Stellen der Sonnenatmosphäre in unterschiedlicher Stärke Licht aus dem kontinuierlichen Spektrum der Sonne. So erscheinen an charakteristischen Stellen je nach Druck-, Temperatur- und Dichteverhältnissen mehr oder weniger dunkle und breite, in Geschwindigkeitsfeldern auf Grund des Dopplereffektes verschobene oder in Magnetfelder in mehrere Komponenten aufgespaltene Absorptionslinien.

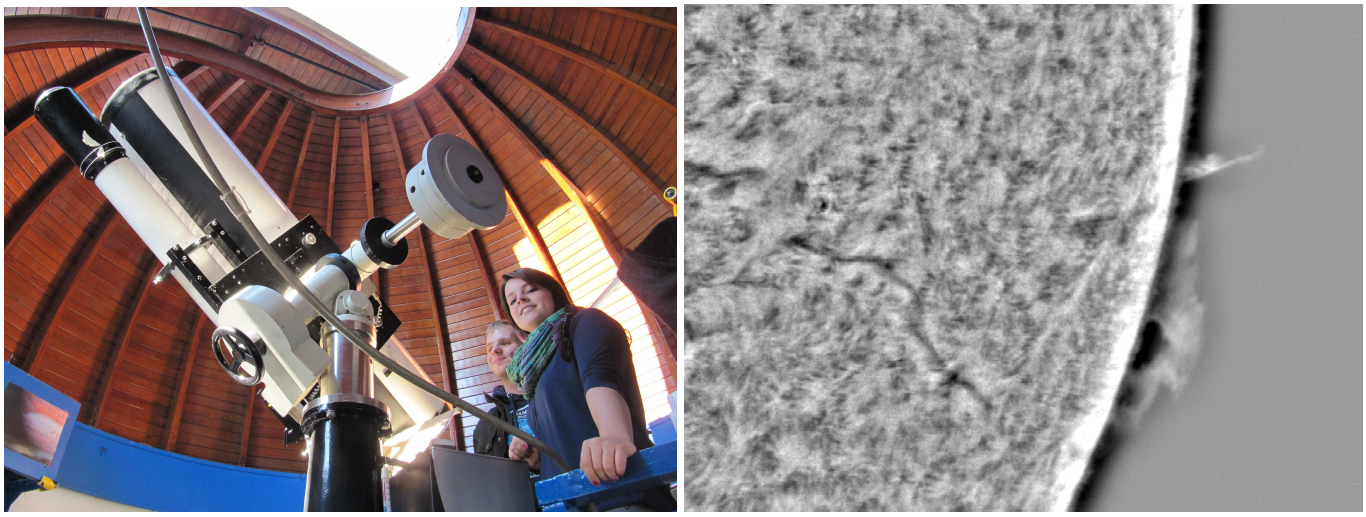


Abbildung 1:
links: Denise Hogrefe und Joschka Braun bei der Beobachtung der Sonne im Licht der H-α-Linie

rechts: Aufnahme von solaren Plasmawolken auf der Sonnenscheibe („Filamente“) und über dem Sonnenrand („Protuberanzen“)
© U. v. Kusserow; D. Hogrefe und J. Braun

Universität Bremen

Helio-Observation
Observation of the magnetic sun

Olbers-Gesellschaft Bremen eV
Walter-Stein-Sternwarte

Denise Hogrefe, Joschka Braun

Introduction

The Sun is the central star in our solar system, the source of power for a lot of important physical processes in the surrounding heliosphere, in the atmospheres and magnetospheres of the Planets. It determines the Space Weather around âžourâce star. Main objective of this lab experiment is to learn about important physical processes in the plasma Universe and to get to know astrophysical methods to observe the Sun. With the help of a powerful amateur telescope observations of the solar phenomena have been carried out in the light of the H-alpha hydrogen line. The use of a high-resolution spectrometer provided insights into parts of the solar spectrum. The results of the observations were secured by a non-cooled, respectively cooled CCD camera [1].

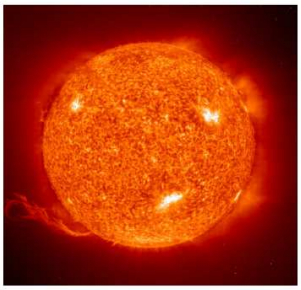


Image 1: photo of the sun, taken in ultraviolet light. You can see bright activity areas (source: [1])

Nuclear Fusion and the Plasma State

The source of energy of the Sun results from the fusion of hydrogen to helium. Main conditions for this fusion process are the combination of very high temperatures and pressures. This allows a near-homogeneous plasma state of matter, in which protons, ions and electron move more or less freely in the interior of stars. The rate of conductivity in the here quasi-neutral media is very high. Under these conditions the charged materia and the ubiquitous magnetic fields mostly move like beeing frozen into each other.

Solar dynamo

To explain the different observable phenomena in the atmosphere of the Sun, it is necessary to understand how the solar dynamo, which creates relatively strong solar magnetic fields (up to more than three thousand times the strengh of the Earth magnetiu field) works. Such a subtle dynamo process converts kinetic energy sutibly into electromagnetic energy. The generated solar magnetic fields structure are constantly changing. Initially meridionally aligned magnetic field lines azimuthally coil up nearly parallel to the solar equator because of differential rotation profiles in the Sun (the solar equator for example rotates with a considerable higher angular velocity than the solar poles). This induction process presumably takes place especially in the so-called tachocline, a boundary layer between the deeper radiative zone and the outer convective zone of the solar interior. Like a rising snake magnetic buoyancy lifts toroidal flux tubes to the surface of the Sun. Cooler and therefore dark sunspots are formed at the intersection points in the solar surface.
Initially toroidal field lines on the other hand will be converted back to poloidal field lines by the influence of convection and the Coriolis forces acting in the rotating interior of the Sun A lot of small-scale and turbulent magnetic field structures are reconstructed by a process called magnetic reconnection, in which magnetic field lines are cutted and instantly linked in a new way with a globally changed large-schale topology. Magnetic cages are formed by such processes, in which cooled plasma matter is compressed and forms huge solar gas clouds, named prominences. Magnetic reconnection converts magnetic energy back into kinetic energy, heats and accelerates matter. The release of stored magnetic energy in so-called flares and the ejection of huge amounts of solar plasma during coronal mass ejections into the interplanetary space are effected by these processes [2].

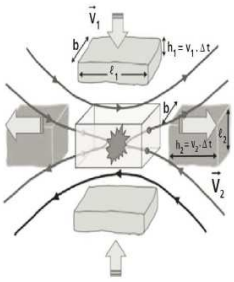


Image 2: a model of magnetic reconnection: a velocity field changes the magnetic fields (source:[2])

Telescopes

In order to take a view at the sun we used the following setup:

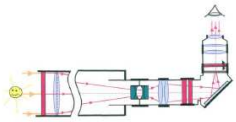


Image 3: Setup of the telescope used for pictures in H-alpha array.

This complex setup shows all elements which are used to get a view of the sun in H-alpha spectrum. The setup contained the following

- Energy protection filter: Reduces the intensity of the lightbeams and the energy entering the tubes of the telescope
- H-alpha filter:An interference Filter which is designed to observe the Sun in the H-alpha line of Hydrogen. It uses interference on plane-parallel plates
- Blockfilter:A filter to erase higher orders of the spectrum.

The system allows to take a direct view on the appearances of the different solar phenomena in the chromosphere (temperatures between 7000 and 10000 k) with bare eyes and with cameras.

Image 4: Students using the telescope to take a look at the sun, source: selfmade photos

Our observations

Sunspots

If you take a look at the sun with a white light projection, you can probably see sunspots. Sunspots (Image 5) are regions of intense magnetic activity where convection is inhibited by strong magnetic fields. Because of that the surface of sunspots is 2000 K cooler than the surrounding relatively quiet photosphere.

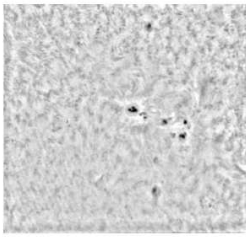


Image 5: A group of sunspots, pictured in H-alpha array, source: selfmade photos

observed sunspots are systematically counted with the relative sunspot number. The formula to calculate them is:

$$R=k(10g+s)$$

where s is the number of individual spots, g is the number of sunspot groups and k is a correction factor that varies with the resolution of the telescope. The activity of the sun varies over a cycle of eleven years. It is important to know how many sunspots are there, because sunspots host secondary phenomena (like prominences, see below)[2].

Prominences

A solar prominence is a large, gaseous feature, that extend over the photosphere into the suns corona (Image 7). Inactive prominences may last for a few days up to months. They develop in the surroundings of old sunspot activity regions and have a shapes like loops or hedges.
There are eruptive prominences as well. They break apart and very often coronal mass ejection occur. These events take place for a few minutes or hours and eject a lot of materia. Eruptive prominences are a result of magnetic reconnetion.

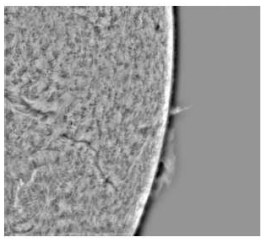


Image 7: A prominence in the east of the sun, source: selfmade photos

Spectrum

During the experiment a spectrum of the sunlight was taken by using a spectrometer (Image 8). The observed absorption spectrum is i. a. characteristic for thetype of materia in the solar surface. The rotation of the sun can also be detected with the well-known Doppler effect.

Image 8: Line spectrum shows absorption lines within wavelengths of the green light of the sun. source: selfmade photos

Results

The experiment showed us some important aspects of the research in plasmaphysics. We got to konw a lot of details about the processes in the sun by using a relatively huge telescope which we learned to handle. We also got an overview of the solar spectrum by using a newly built spectrometer.

Literature

1. http://www.tore24.ch/assets/images/sonne_1_.gif (Date: 7.5.2014; 20:50)
2. U.v.Kusserow (2013): Magnetischer Kosmos - To B or not to B, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
3. Nachrichten der Olbers-Gesellschaft Nr. 226, Juli 2009, Bremen
4. Solar And Heliospheric Observatory (SOHO): http://sohowww.nascom.nasa.gov/

Abb. 2: Poster von Denise Hogrefe und Joschka Braun in englischer Sprache

Helio-Observation

Die Beobachtung der magnetischen Sonne

Hendrik Freiheit & André Fabian Müller

Durchgeführt am Do. 22 Mai 2014

Zusammenfassung

In diesem Versuch wurden zum einen Bilder und Filmsequenzen solarer Aktivitätsgebiete mit einem H-Alpha Filter an einem Refraktor (Öffnung 13.5 cm und Brennweite 4 m) aufgenommen. Im Licht der Wasserstofflinie ist der Verlauf starker Magnetfeldstrukturen in der Umgebung von Sonnenflecken und solaren Gaswolken (Protuberanzen) zu erkennen. Zum anderen wurden hochauflösende Spektren sowohl in der Umgebung der H-Alpha Linie als auch im Bereich erdatmosphärischer, sowie solarer Absorptionslinien erstellt. Durch Vergleich der Spektren am linken und rechten Sonnenrand sollte die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne - im Bereich des Äquators - abgeschätzt werden.

Beobachtung der Sonne im H-Alpha Licht

Aufbau

Es wurde sowohl ein Energiefilter (UV-Filter) an der Teleskopspitze befestigt, um den gesamten Linsenapparat zu schützen, sowie ein sehr schmalbandiges Filter (0.6 Å um die H-Alpha Linie des Wasserstoffes) mit anschließendem Block-Filter, um Interferenzen des H-Alpha Filters zu unterdrücken, am Ende des Teleskops angebracht.

Beobachtungen

Da die Sonne zu 91.2 % aus Wasserstoffplasma besteht, können mit Hilfe des H-Alpha Filters sehr gut die magnetischen Strukturen der Sonne verfolgt werden.

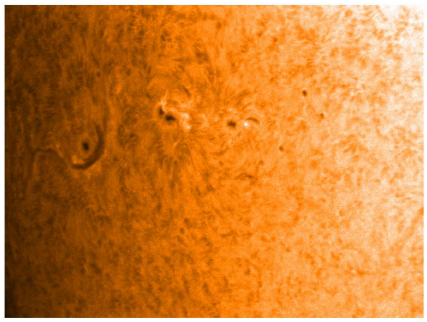


Abbildung 1: Auf dieser eingefärbten H-Alpha Aufnahme sieht man einige Sonnenflecken und am Rand des Aktivitätsgebiets solare Gaswolken, die in Magnetfeldkäfigen hängen.

Sonnenflecken entstehen durch aufsteigende gebündelte Magnetfeldstrukturen. Da die Sonne aus Plasma besteht (frei bewegliche ionisierte Atome und Elektronen), welches eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit besitzt, ist das Plasma an die Magnetfeldlinien gebunden [1]. Der Grund dafür ist, dass sich durch eine Verschiebung der Magnetfeldlinien ein Induktionsstrom ergäbe, welcher die Feldlinien auf ihren Ausgangspunkt zurückführen würde. Die Sonnenflecken erscheinen dunkel, da die Temperatur in einem Sonnenfleck mit etwa 4000 K deutlich niedriger als die etwa 5800 K auf der restlichen Oberfläche ist. Der Grund ist hier auch, dass das kalte Plasma an ein Magnetfeldbündel gebunden ist und die heiße Materie nicht in den Magnetfeldkäfig eindringen kann.
Ein weiteres Phänomen, welches im H-Alpha Licht beobachtet werden kann, sind Protuberanzen [2]. Protuberanzen bestehen aus in Magnetfeldkäfigen eingelagerter Plasmamaterie, die ständig nach und ab geführt wird. Am Sonnenrand sehen diese im H-Alpha Licht aus wie in Abb. 2 rechts und in Abb. 3, auf der Sonnenoberfläche hingegen erscheinen sie als dunkle Filamente, wie in Abb. 2 links dargestellt.

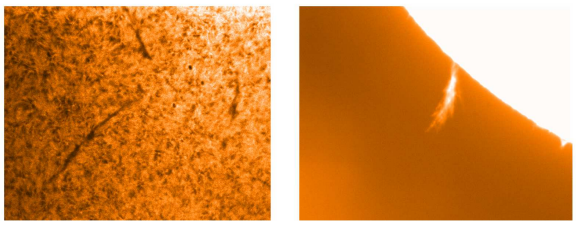


Abbildung 2: Links: Ein Filament auf der Sonnenscheibe im H-Alpha Licht (Dunkle Linie). Rechts: Eine Protuberanz am Sonnenrand.

Literatur

[1] Vermisste Sonnenflecken, Ulrich v. Kusserow
http://www.magix-website.com/mpfo18/50/961/9614AC803BDE11DF872923FFD9EF15EF.pdf eingesehen am 30.05.14

[2] Beobachtbare Sonnenphänomene, Ulrich v.Kusserow
http://www.magix-website.com/mpfo13/50/ADF/AE2F8A90574711DF9C43A999579D6B93.pdf eingesehen am 30.05.14

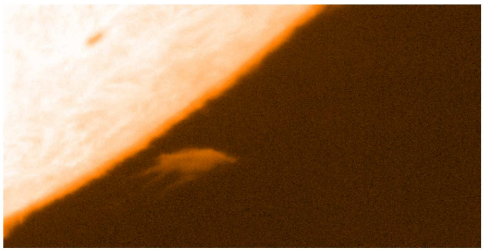


Abbildung 3: Eine Protuberanz und zusätzlich einen einsamen Sonnenfleck im H-Alpha Licht, sowie spritzförmig aufwallende Plasmajets, sogenannte Spikulen am Sonnenrand.

Messung der Sonnenrotation mittels des Dopplereffekts

Aufbau

Es wurden mit einem Spektrometer das Sonnenspektrum - wie in Abb. 4 zu sehen - im Bereich von etwa 6250-6400 Å , mit einer maximalen Auflösung von $\Delta\lambda \approx 0.1$ Å aufgenommen. Hierzu wurde mit dem Teleskop eine Abbildung der Sonne auf einen Schirm geworfen. Durch Löcher im Schirm wurde das Spektrum der Sonne am linken, wie am rechten Sonnenrand gemessen.

Abbildung 4: Spektrum im Bereich von 6250-6400 Å am linken Sonnenrand.

Theorie

Die Sonne unterliegt einer differentiellen Rotation, die Umlaufzeit der Sonne beträgt an den Polen etwa 35 Tage, am Äquator jedoch etwas weniger als 27 Tage [1]. Auf Grund der Rotation der Sonne ist das Spektrum des Lichts, welches vom linken Sonnenrand auf die Erde trifft, relativ zu dem des rechten Sonnenrandes wegen des optischen Dopplereffekts verschoben.
Es gilt:

$$f' = \frac{f}{1-\frac{v}{c}} \quad \Rightarrow \quad \lambda' = (1-\frac{v}{c})\cdot\lambda\,.$$

Da an einem Sonnenrand Dopplerverschiebung in positive, am anderen Sonnenrand jedoch in negative Richtung auftritt, ergibt sich für die auf der Erde messbare Verschiebung, sowie die Rotationsgeschwindigkeit:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= (1+\frac{v}{c})\cdot\lambda - (1-\frac{v}{c})\cdot\lambda \\ &= \lambda\cdot\frac{2v}{c} \\ \Leftrightarrow \quad v &= \frac{c}{2}\cdot\frac{\Delta\lambda}{\lambda}.\end{aligned}$$

Ergebnis

Für die Messung dieser Dopplerverschiebung wurde die Lage zweier Eisenlinien (Fe I) des Emissionsspektrums bei etwa $\lambda \approx 6302$ Å gemessen, in deren direkter Umgebung sich ebenfalls zwei terrestrische O_2-Absorptionslinien befinden, welche keinerlei Verschiebung unterliegen sollten. Auf Grund der Verschiebung ergibt sich eine Rotationsgeschwindigkeit von $v \approx 950\,\frac{m}{s}$, diese stimmt bis auf einen Faktor 2 mit der tatsächlichen Rotationsgeschwindigkeit am Äquator von $v \approx 2000\,\frac{m}{s}$ überein. Erklärungen für diese Abweichung sind etwa, dass nicht exakt am Sonnenrand gemessen wurde, sondern leicht in Richtung des Sonnenzentrums verschoben. Eine andere Fehlerquelle ist, dass die Lage des Sonnenäquators nicht genau bestimmt wurde. Zusätzlich wurde die CCD-Kamera nicht ausreichend gekühlt, was zu rauschärmeren Spektren geführt hätte, worin man wahrscheinlich die terrestrischen O_2-Absorptionslinien besser hätte erkennen können.
Bei unseren Messungen eignet sich jedoch die Lage der terrestrischen Linien nicht als Referenz, die diese auf Grund von Rauschen verbreitert sind, beziehungsweise kaum oder gar nicht zu erkennen sind, weshalb einzig die Position der Linien auf den Aufnahmen als Referenz genutzt wurde.

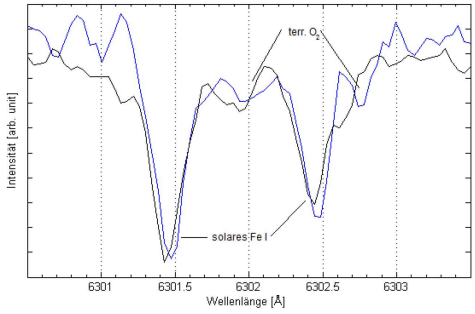


Abbildung 5: Intensitätsauftragung des Sonnenspektrum am linken bzw. rechten Rand. Es sind bei 6301.5 Å und 6302.5 Å Fe I-Linien der Sonne zu erkennen, welche leicht verschoben erscheinen. Die terrestrischen Sauerstoff-Absorptionslinien bei 6302 Å und bei 6302.8 Å sind auf Grund von Rauschen nur schlecht bzw. gar nicht zu erkennen.

Abb. 3: Poster von Hendrik Freiheit und André Fabian Müller in deutscher Sprache

Bekanntlich bewegen sich die in der heißen Atmosphäre der Sonne besonders häufig anzutreffenden ionisierten, das heißt einfach positiv geladenen Wasserstoffatomkerne unter Einwirkung der magnetischen Lorentzkraft auf Spiralbahnen um die solaren Magnetfeldlinien. Dort, wo starke Magnetfelder anzutreffen sind, häufen sich die ionisierten Wasserstoffatome, die durch den Einfang eines Elektrons wieder neutralisiert werden können. Beim dabei erfolgenden Rücksprung der Elektronen von der 3. auf die 2. Bahn des Wasserstoffatoms wird die rote H-α-Linie aus der so genannten Balmer-Serieausgesandt, allerdings häufig nicht unbedingt wieder in Richtung des Beobachters. Das kontinuierliche Sonnenspektrum erscheint deshalb an dieser Stelle mehr oder weniger stark verdunkelt.

Aufnahmen von Sonnenphänomenen im Licht der H-α-Wasserstofflinie ermöglichen tiefe Einblicke in die zugrundeliegende Topologie magnetischer Feldstrukturen, in den Verlauf der solaren Magnetfeldlinien in Bereichen der Chromosphäre und niedrigeren Korona der Sonne, wo die Temperaturen der Materie zwischen etwa 7.000 °C und 10.000 °C liegen. Wasserstoff ist ja das hier mit Abstand am häufigsten anzutreffende Atom, und wenn es ionisiert wird, orientiert es sich verstärkt entlang der Magnetfelder, sendet von hier auch die starke Wasserstofflinie aus. Protuberanzen über dem Sonnenrand erscheinen hell, weil sie die H-α-Strahlung emittieren (s. Abb. 1b). Filamente vor der Sonnenscheiben erscheinen demgegenüber dunkler, weil sie das in tieferen Schichten der Sonnenatmosphäre ausgesandte H-α-Licht absorbieren und mehr oder weniger gleichverteilt in alle möglichen Richtungen, aber deutlich weniger genau in Richtung zum Beobachter auf der Erde wieder reemitieren.

Nach dem Uwe GROßKOPF, Florian KRAUSE und Ulrich v. KUSSEROW notwendige, vorbereitende und besonders umfangreiche „Justierarbeiten“ durchgeführt hatten (siehe folgenden Artikel von Uwe GROßKOPF) ist es den Studenten Hendrik FREIHEIT und André Fabian MÜLLER jetzt gelungen, die Verschiebung einzelner Spektrallinien des Sonnenspektrums auf Grund des Dopplereffektes anhand der mit unserem Spektrometer gewonnenen Daten nachzuweisen (siehe weiteren Artikel von Hendrik FREIHEIT und André Fabian MÜLLER). Sie können damit größenordnungsmäßig die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne abschätzen. Nach Beseitigung technischer Fehlerquellen werden die demnächst bei der Olbers-Gesellschaft forschenden Studenten sehr viel genauere Ergebnisse erzielen. Die Sonne rotiert an ihrem Äquator mit einer Geschwindigkeit von etwa zwei Kilometern pro Sekunde.

Vorbereitung der Dopplerverschiebungs-Messung mit dem Olbers-Spektrometer

Uwe Großkopf

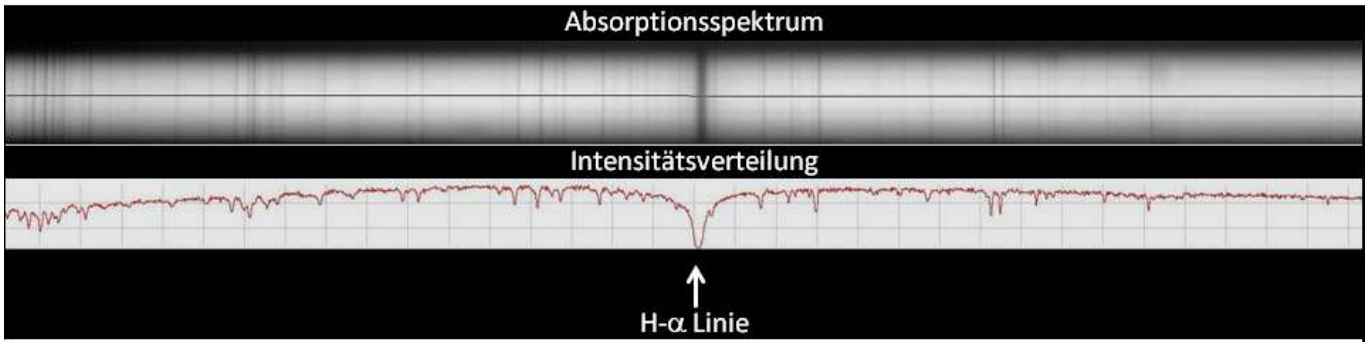


Abb. 4a : Solare Absorptionslinien und Intensitätsverteilung im Bereich der H-α-Linie des Wasserstoffs
© U. Großkopf, F. Krause und U. v. Kusserow

Die Studenten der Universität Bremen nehmen gerne das Angebot an, bei der Olbers-Gesellschaft einen Praktikumsversuch zur Sonnenphysik zu unternehmen. Hier kommt man einmal in ein ganz anderes Labor, in dem es um viel Sonnenschein geht. Bisher haben die Studenten bei uns die Sonne mit unterschiedlichen Teleskopen und Filtern ins Visier genommen und damit die verschiedenen Schichten der Sonnenatmosphäre und ihre Strukturen untersucht, identifiziert und in Zusammenhang mit ihren Kenntnissen zur Sonnenphysik gebracht. Zusätzlich dazu können sie jetzt auch mit unserem neuen 1m-Czerny-Turner-Spektrometer das Sonnenlicht vermessen und die Besonderheiten bei einer Vielzahl von Spektrallinien im Sonnenlicht analysieren, die uns Aufschluss geben über die Beschaffenheit der Sonne.

Mit dem Spektrometer lassen sich nun konkrete physikalische Parameter der Sonnenoberfläche quantitativ bestimmen. Zunächst haben wir uns vorgenommen, dass wir und die Studenten die Dopplerverschiebung messen, die durch die Sonnenrotation

Abb. 4b,c: Uwe Großkopf, Florian Krause und Ulrich v. Kusserow bei Vorbereitungsarbeiten am Spektrometer
© U. Großkopf, F. Krause und U. v. Kusserow

hervorgerufen wird. Später möchten wir dann auch andere Veränderungen an den Spektrallinien detektieren und vermessen, die durch Elementvorkommen, Strukturvariationen, Druck, Temperatur, Ionisationsgrad oder Magnetfelder hervorgerufen werden.

Doch jetzt gilt es erst einmal, das Spektrometer optimal einzustellen und die Dopplerverschiebung zu messen. Das Spektrometer ist über einen 15m langen Lichtleiter an den Zeiss-Refraktor in unserer Walter-Stein-Sternwarte gekoppelt, um eine optische Verbindung zu dem in der Olbers-Bibliothek befindlichen Spektrometer zu schaffen. Wir benutzen teleskopseitig als Haltevorrichtung für den Lichtleiter die Sonnenprojektionsvorrichtung, ersetzen aber die Metall-Projektionsfläche durch eine weiße Kunststofffläche, die Löcher enthält, in die der Lichtleiter geführt wird.

Für die Dopplermessung ist es vorteilhaft, mindestens zwei Löcher zu haben, einmal für den linken Sonnenrand und einmal für den rechten Sonnenrand. Die Löcher müssen aber auch wirklich senkrecht zur Projektionsfläche gebohrt sein, denn der Eintrittswinkel darf für den Lichtleiter nicht zu groß sein, sonst kommt im Spektrometer kein Licht an. Das mussten wir neulich mit den Studenten feststellen, so dass wir die Dopplermessung nur mit einer Lochhalterung durchführen konnten, indem wir das Sonnenbild durch Weiterführung des Teleskops entsprechend positionierten. Wollen wir nun über die Dopplermessung die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne an deren Äquator ermitteln, müssen wir wissen, wo der Äquator im Sonnenbild verläuft. Wir haben uns da dann an den Sonnenflecken orientiert und auch Satellitenbilder mit eingetragenen Gradnetz zu Rate gezogen.

Das Spektrometer muss nun möglichst optimal eingestellt sein. Das bedeutet, dass die Spektrallinien scharf abgebildet werden müssen und auch senkrecht im Bild zu sehen sind. Dafür kann man beim Spektrometer den Eintrittsspalt hin- und herbewegen, wobei der Eintrittsspalt im Brennpunkt des Kollimatorspiegels liegen muss. Außerdem muss man den Lichtkegel des Lichtleiters optimal auf den Spalt abbilden, damit dieser gleichmäßig beleuchtet wird. Dies erreicht man durch Verschieben des Lichtleiters in der spektrometerseitigen Halterung. Das gestaltet sich alles ein wenig schwierig, denn die gekühlte *Atik*-Kamera, die wir für die Aufnahme der Spektren verwenden, ist keine Videokamera, die Live-Bilder liefert. Die kürzeste Belichtungszeit ist eine Sekunde und das Foto muss dann noch vom Computer ausgelesen werden. Wir können aber wohl auch nur einen Teil des Bildes auslesen, wenn wir diesen vorher markiert haben. Das Spektrometer einstellen können wir aber auch mit unserer *DMK 41* Kamera, die Live-Bilder liefert und eigentlich für H-alpha-Filme und Fotos oder für Planetenfotos gedacht ist. Als Lichtquelle nimmt man da am besten eine Energiesparlampe (Quecksilberdampf-Lampe), da diese helle Emissionslinien liefert. Die Absorptionslinien des Sonnenspektrums sieht man mit der *DMK 41* allerdings auch, aber nur etwas verrauscht. Hat man nun mit der *DMK 41* das Spektrometer optimal eingestellt, gibt es noch ein Problem, da wir für die Aufnahme der Spektren die *Atik*-Kamera nehmen. Die Bildebene der *Atik*-Kamera liegt aufgrund ihrer anderen Gehäuseabmessungen sicherlich an anderer Stelle. Die *Atik*-Kamera muss also dementsprechend versetzt montiert werden, die Spektrometereinstellung bleibt aber ansonsten dieselbe. Hier hilft auch eventuell ein Blick in die Datenblätter der Kameras, denn dort steht auch meistens, wie weit der CCD-Chip von der Außenkante entfernt ist.

Ist die *Atik*-Kamera montiert, ist das Spektrometer aufnahmebereit. Allerdings muss noch die USB-Schrittmotorsteuerung für die Gitterdrehung an den

Computer angeschlossen werden. Hinzu kommt aber nun noch, dass die *Atik*-Kamera eine Schwarz-Weiß Kamera ist, wir das Spektrum also nicht farbig sehen können. Da das Spektrum aufgrund der relativ hohen Auflösung auch noch ziemlich gespreizt ist (ca. 50 cm – 80 cm in der Bildebene), hat man kaum Chancen zu erkennen, welchen spektralen Ausschnitt das Spektrometer gerade zeigt. Wir müssen also eigentlich eine komplette Kalibrierkurve aufnehmen, damit wir wissen, bei welcher Gitterstellung (Schrittmotorstellung) wir welchen Ausschnitt des Spektrums sehen.

Wir haben uns dann zunächst für einen anderen, leicht abgewandelten Schritt entschieden. Wir haben als Kalibrierlampe eine Neonglimmlampe, von der wir das Spektrum kennen, genommen. Der spektrale Bereich, in dem wir die Dopplerverschiebung messen wollen, liegt bei 630 nm, wo sich zwei Eisenlinien der Sonne und zwei Sauerstofflinien aus der Erdatmosphäre befinden (die Sauerstofflinien unterliegen dann nicht der Dopplerverschiebung, weil sie von der Erdatmosphäre stammen). Die 630 nm liegen auch im spektralen Bereich der Neon-Kalibrierlampe und farblich gesehen sind wir da im roten Spektralbereich. Wir müssen also vor das Teleskop einen roten Filter davor schrauben, dann können wir mit dem Spektrometer nur den roten Spektralbereich detektieren und wissen grob, wo wir sind im Spektrum. Wir nahmen dafür den Energieschutzfilter von der H-alpha-Ausrüstung, dessen Transmissionskurve wir kennen. Die Bandbreite des Filters schließt bekanntlich die H-alpha-Linie mit ein. Das ist eine markante Absorptionslinie bei ca. 656 nm, weil sie verhältnismäßig breit ist. Mit Hilfe der Charakteristik der Transmissionskurve des Filters zusammen lässt sich diese Linie dann auffinden und wir sind dann schon nahe dran an den 630 nm der Eisenlinien. Jetzt lassen wir das Spektrometer an der Stelle im Spektrum stehen und stöpseln unseren Lichtleiter um auf die Neon-Kalibrierlampe. Da sieht man dann auf unserem Bildausschnitt drei Emissionslinien im typischen Abstand. Dieses Trio können wir dann anhand der bekannten Emissionskurve der Neon-Kalibrierlampe identifizieren. Nun müssen wir „nur“ die Gitterstellung so verändern, das im Bild das Quintett derjenigen Emissionslinien erscheint, die um die 630 nm liegen. Dazu müssen wir allerdings vorher wissen, in welcher Richtung wir denn das Gitter drehen müssen, damit wir von 656 nm nach 630 nm gelangen, also zur kurzwelligen Seite. Das hatten wir glücklicherweise schon vorher einmal ausprobiert mit der Neon-Kalibrierlampe (bei Dieter *Goretzki* hätten wir das allerdings auch nachlesen können). Wenn wir das Gitter auf diese Weise nun in die richtige Stellung gebracht haben, können wir wieder umstöpseln auf das Teleskop und mit der Dopplermessung beginnen.

Die *Atik*-Kamera muss für die spektrale Aufnahme gekühlt werden, um das Rauschen zu vermindern. Die Temperatur lässt sich mit der Kamerasoftware einstellen. Nach Gebrauch der Kamera sollte man sie per Softwareregulierung allmählich wieder erwärmen lassen.

Welche Belichtungszeit wir für die spektralen Aufnahmen benötigen, müssen wir ausprobieren, das kann zwischen 5 – 30 sec liegen. Für die Aufnahmen müssen die Studenten auch ein wenig Aerobic betreiben, denn der Lichtleiter muss während der Aufnahme ständig geschüttelt werden, um die Lichtmoden zu mischen. Das Schütteln des Lichtleiters bewirkt, dass sich der Krümmungsradius des Lichtleiters ständig ändert und sich so die optischen Wege ständig ändern. Dadurch wird ein störendes Speckle-Muster in der spektralen Aufnahme verhindert.

Wir haben die Sonne spektroskopiert

Hendrik Freiheit und André Fabian Müller

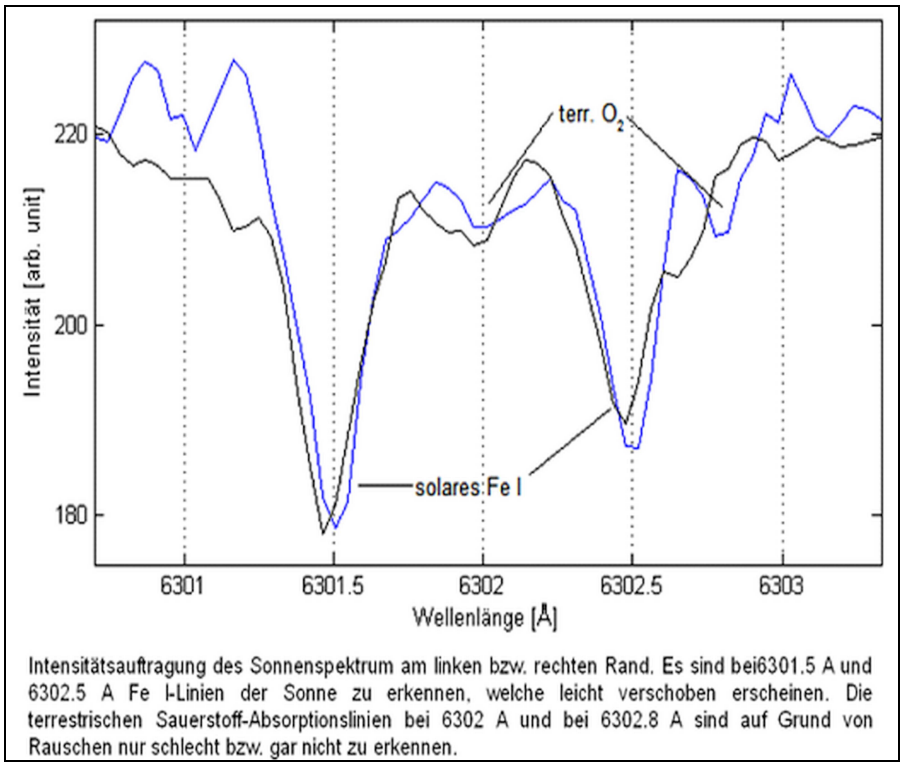
Bei diesem Praktikumsversuch ist es uns gelungen, die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne in der Nähe des Äquator, allerdings nicht direkt am Sonnenrand, größenordnungsmäßig zu bestimmen. Hierzu mussten wir uns anhand der Lage der Sonnenfleckenstrukturen auf beiden Hemisphären der Sonne orientieren, wie näherungsweise der Sonnenäquator verläuft. Über einen Lichtleiter wurde das Licht jeweils von Positionen in der Nähe des linken und rechten Sonnenrandes des vom Teleskop auf einen Schirm projizierten Sonnenbildes in den im benachbarten Raum stehenden Spektrografen geleitet. Dieses Gerät spaltet das einfallende Licht wie ein Prisma, allerdings mit sehr viel größerer Auflösung, in seine spektralen Bestandteile auf. Es entstehen Absorptionsspektren vom linken und rechten Sonnenrand (siehe auch Abb. 5b). Diese beiden Spektren wurden mit einer gekühlten CCD-Kamera registriert und auf relative Verschiebung zueinander untersucht. Die Skalierung des Spektrum, also die Wellenlängenzuordnung der einzelnen Absorptionslinien, erfolgte mit Hilfe eines mit einer Neonlampe gewonnenen Vergleichsspektrums (siehe Abb. 5c).

Aufgrund der Sonnenrotation tritt der optische Dopplereffekt auf. Die solaren Spektrallinien des sich von uns wegbewegenden rechten Sonnenrandes sind

Abb. 5a: André Fabian Müller und Hendrik Freiheit bei der Vorbesprechung zur Spektralanalyse mit Uwe Großkopf

rot-, das heißt zu längeren Wellenlängen hin verschoben. Die des sich auf uns zu bewegenden linken Randes sind demgegenüber blau-, das heißt zu kürzeren Wellenlängen hin verschoben. Wie in unserem Poster (Abb. 3) ersichtlich ist, konnten wir aus der relativen Verschiebung der beiden Spektren zueinander die ungefähre Rotationsgeschwindigkeit der Sonne in Äquatornähe, allerdings leider nicht ganz am Rand berechnen. Die tatsächliche Rotationsgeschwindigkeit beträgt etwa 2.000 m/s. Unsere Messungen ergaben allerdings einen nur etwa halb so großen Wert. Die deutliche Abweichung lässt sich gut dadurch erklären, dass unsere Messungen nicht genau genug am Sonnenäquator und auch nicht am Sonnenrand erfolgten. Bei zukünftig notwendigen Messreihen müsste die CCD-Kamera darüber hinaus noch stärker gekühlt werden, um durch Unterdrückung des Rauschens die Vergleichbarkeit mit unverschobenen terrestrischen Absorptionslinien zu gewährleisten.

Uns hat das Thema dieses Praktikumsversuchs sehr gefallen. Es hat viel Spaß gemacht, einen ersten Einblick in die komplexe Plasmaphysik zu bekommen. Wir haben das erste Mal ein größeres Teleskop eigenständig bedienen können. Trotz schlechter Seeing-Bedingung war es interessant, die unterschiedlichen Sonnenphänomene zu beobachten. Es war spannend, in mühsamer Arbeit selbst Spektren aufzunehmen und auszuwerten. Ein bisschen stolz sind wir darauf, dass wir bei der Olbers-Gesellschaft das erste Mal mit spektroskopischen Methoden nachweisen konnten, „dass sich die Sonne tatsächlich dreht“.



Intensitätsauftragung des Sonnenspektrum am linken bzw. rechten Rand. Es sind bei6301.5 A und 6302.5 A Fe I-Linien der Sonne zu erkennen, welche leicht verschoben erscheinen. Die terrestrischen Sauerstoff-Absorptionslinien bei 6302 A und bei 6302.8 A sind auf Grund von Rauschen nur schlecht bzw. gar nicht zu erkennen.

Abb. 5b : In der Intensitätsverteilung erkennbare Dopplerverschiebung der Spektrallinien des neutralen Eisens

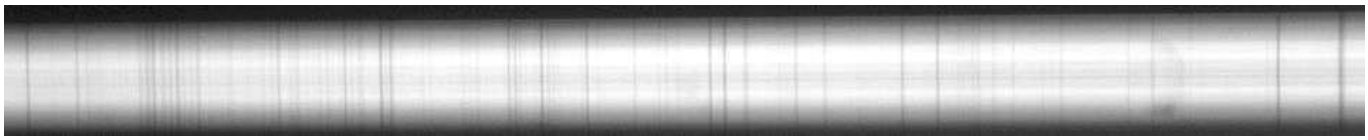


Abb. 5c: Absorptionsspektrum im Bereich der vermessenen Eisenlinien vom linken Sonnenrand
© U. v. Kusserow; A. Fabian Müller und H. Freiheit (2)