

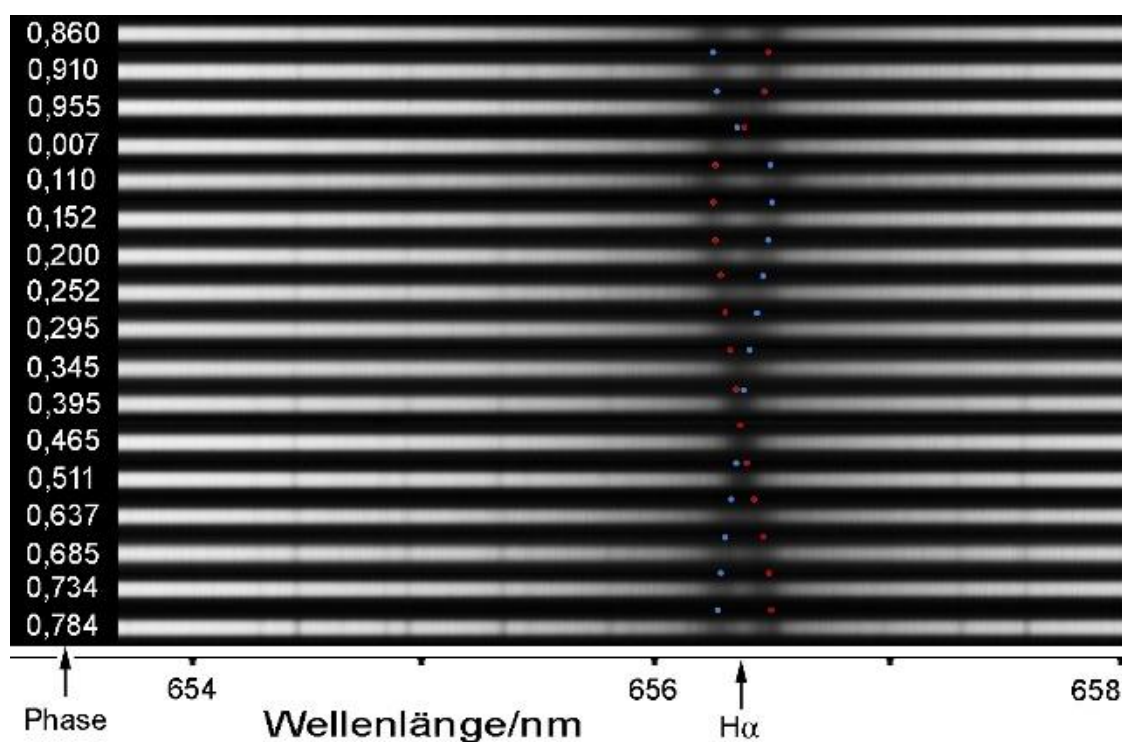
SPEKTRUM

Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie
in der Vereinigung der Sternfreunde e.V.

Journal of the Section Spectroscopy of the Society of German Amateur Astronomers

Nr. 56

1 / 2020



MIZAR

β AND δ CEP

ι ORI

Spektrum – Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde wird herausgegeben von der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde e.V. Es erscheint als PDF-Ausgabe oder auf Wunsch als Druckversion. Das Journal dient dem überregionalem als auch dem internationalen Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Astrospektroskopie besonders für Amateure. Dazu können Beiträge in Deutsch oder English publiziert werden. Senden Sie Ihre Beiträge, Auswertungen, Erfahrungen und Kritiken an **Spektrum** zur Veröffentlichung ein, damit andere Spektroskopiefreunde an Ihren Erkenntnissen teilhaben und davon lernen können.

Spektrum – Mitteilungsblatt der Fachgruppe Spektroskopie in der Vereinigung der Sternfreunde is issued twice a year by Fachgruppe Spektroskopie of Vereinigung der Sternfreunde e.V. (spectroscopy section of the German amateur astronomical society). The journal is published as a PDF or as a printed version on special request. The aim of the journal is to be a national and international communication especially for amateurs, on topics related to astronomical spectroscopy. Contributions are welcome in German or English. Please send your papers, results, experiences and reviews to **Spektrum** for publication. The community can then benefit from your experience.

Registriert bei der Deutschen Nationalbibliothek / Registered at Deutsche Nationalbibliothek: DNB 1013413024
ISSN 2363-5894

Die Fachgruppe Spektroskopie im Internet: spektroskopie.fg-vds.de

Die Vereinigung der Sternfreunde e.V. im Internet: www.vds-astro.de

Kontaktadresse (Redaktion, Bestellung gedruckter Ausgaben, Einsendung von Manuskripten)

Dr. Thomas Hunger
Weinbergstraße 12
D-01129 Dresden
thunger03@web.de

Hinweise für Autoren:

Nur durch Ihre Artikel wird Spektrum gefüllt. Die Redaktion behält sich vor, in Rücksprache mit den Autoren Beiträge zu kürzen, anzupassen oder zu ändern. Für die Inhalte der Artikel ist aber allein der Autor verantwortlich. Mit der Einreichung eines Beitrages erklärt der/die Autor(en) die Bereitschaft zur Publikation auch im Journal für Astronomie der VdS e.V.

Reichen sie Ihren Beitrag bitte elektronisch unter Berücksichtigung folgender Regeln ein:

Form des Textes: Senden sie vorzugsweise als unformatierten ASCII-Text. Tabellen mit Tabulatoren getrennt. Ein zusätzliches PDF des formatierten Gesamttextes ist anzuraten.

Aufbau der Artikel: Die Artikel benötigen einen Titel, eine vollständige Adressangabe des Autors / der Autoren, eine Kurzzusammenfassung, den klar gegliederten Artikel mit Einleitung und Zusammenfassung sowie eine vollständige Literaturangabe.

Abbildungen: Bitte getrennt vom Text senden. Empfehlenswert sind hochauflösende JPG, PNG und TIFF.

Hints for authors:

Your article will be edited to fit the style of Spektrum. The editor is responsible for editing the article in close collaboration with the author. The author is in charge of the content in all cases, however. The author(s) give(s) the permission for a further publication of the contribution in the journal of the VdS e.V. (Journal für Astronomie) right with its transfer to the editor of Spektrum. Please send your contribution via electronic mail considering the following rules:

Text: Prepare it as unformatted text (preferably ASCII). Tables: columns separated by tabs. A PDF printout of the whole document is highly recommended.

Article structure: Each article should include a title, an address line of the author(s), an abstract, a clear text body with introduction and conclusion and complete references.

Figures: Please send them separate from text. High resolution JPG, PNG or TIFF files are recommended.

Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Beiträge in dieser Ausgabe dürfen nicht ohne Genehmigung der Redaktion bzw. des Sprechers der Fachgruppe Spektroskopie in der VdS e.V. nachgedruckt, kopiert oder anderweitig weiterverwendet werden. Autorenbeiträge, die als solche gekennzeichnet sind, stellen nicht in jedem Falle die Meinung des Herausgebers oder der Redaktion dar.

Umschlagfoto: Spektren von Mizar A im Bereich der H α -Absorption in verschiedenen Phasen. Mehr Details im Beitrag von Rainer Anton im Heft.

Inhaltsverzeichnis / Content

<i>U. Thomas Hunger, Josefine Liebisch, Paula Hoyer, Christian Brock:</i> The Pulsators β und δ Cep – a Comparison under Didactic Aspects	4
<i>Herbert Pühringer:</i> Gibt es Dunkle Materie in unserer Milchstraße?	12
<i>Rainer Anton:</i> Spektroskopische Beobachtungen an Mizar A	17
<i>Siegfried Holt, Lothar Schanne:</i> Das Doppelsternsystem ι Orionis A	21
<i>Bernd Hanisch:</i> Versuch der spektroskopischen Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit sowie Berechnung des Durchmessers von Jupiter	26
Termine	29
Mitgliederverzeichnis (nur Mitglieder) / Register of members (members only)	30

Editorial

Liebe Leser des Spektrums,
liebe Fachgruppenmitglieder,

das seltsame Jahr 2020 wird nicht in Vergessenheit geraten: ein Virus hat unsere Gesellschaft aus den Angeln gehoben. Die ganze Tragweite ist bisher nur in Ansätzen sichtbar.

Die ASpekt20 wurde deshalb abgesagt, da sie nicht sinnvoll durchführbar erschien. Die Aussichten für die ASpekt21 sind leider auch noch ungewiss. Die Organisatoren haben daher entschieden, die Tagung aus dem Frühjahr in den September 2021 zu verlegen, einfach um mehr zeitlichen Abstand zu gewinnen.

Im Frühjahr haben langjährige Mitglieder der Fachgruppe ihren Austritt erklärt. Da die Sprecher die auslösende Situation unterschätzt haben, war ein Rücktritt nicht vermeidbar. Damit hat aber die Fachgruppe neben der schon länger andauernden Vakanz der Webseitenadministration nur einen kommissarischen Vertreter mehr bei der VdS. Insgesamt ist die Tätigkeit – gemessen an Diskussionen im Forum – aber schon länger merklich abgeklungen. Ideen und Freiwillige sind jedenfalls gefragt.

Mit dieser Ausgabe von Spektrum, für deren spätes Erscheinen ich um Nachsicht bitte, soll aber in diesen Zeiten folgendes in Erinnerung bringen: die Freude und Faszination an unserem gemeinsamen Interessensgebiet sind die Triebkräfte unserer Gemeinschaft, die es nach wie vor gibt!

Bleiben wir alle im Gespräch und vor allem gesund!

Mit sternfreundlichen Grüßen,
Ihr Thomas Hunger

Dear readers of Spektrum,
Dear members of the section group,

The strange year 2020 will not be forgotten: a virus has upended our society. The full impact is only partially visible so far.

The ASpekt20 was canceled because it did not seem sensible to carry out. Unfortunately, the prospects for ASpekt21 are still uncertain. The organizers have therefore decided to move the conference from the spring to September 2021, simply to gain more time.

During spring long-standing members of the specialist group announced their membership cancelation. Since the speakers underestimated the triggering situation, a resignation was unavoidable. However, this means that the specialist group only has an acting representative at the VdS, in addition to the long-standing vacancy of website administration. Overall, the activity - measured by discussions in the forum - has noticeably declined for a long time. In any case, ideas and volunteers are needed.

With this issue of Spektrum I would like to remind you of the following in these times: The joy and fascination of our common area of interest are the driving forces of our community, which still exist!

Please, also accept my apologies for the late publication.

Let's all keep the contacts and stay healthy!

Clear skies.
Yours Thomas Hunger

The Pulsators β und δ Cep – a Comparison under Didactic Aspects

U. Thomas Hunger^{+,++,0}, Josefine Liebisch⁺⁺, Paula Hoyer⁺⁺, Christian Brock⁺⁺

⁺ Weinbergstraße 12, 01129 Dresden, Germany, E-mail: thunger03@web.de

⁺⁺ Sternwarte Gönnsdorf, Weißiger Landstraße 6, 01328 Dresden, Germany

⁰ Volkssternwarte Drebach, Milchstraße 1, 09430 Drebach, Germany

Abstract

In this paper the prototype pulsators in the constellation of Cepheus, β and δ Cep, are studied both photometrically and spectroscopically. The main purpose was twofold: the investigation of the pulsations by amateur instrumentation and the study on the opportunities for incorporating it into the physics education in school. Good match to previous results reported in the literature was achieved. Photometry seems to be an excellent candidate for practical (home) work for pupils because the necessary equipment – camera and computer – is mostly accessible. Spectroscopy needs support of adequately equipped (public) observatories. Beside this restriction pupils can reproduce standard textbook knowledge by their own potentially offering a higher degree of motivation for natural science.

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden die beiden Pulsatoren im Sternbild Kepheus, β und δ Cep, die die Prototypen ihrer Sternklassen sind, photometrisch und spektroskopisch untersucht. Neben der Beobachtung mit Amateurmitteln lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung der Möglichkeiten für eine Einbindung in den Schulunterricht im Fach Physik. Gute Übereinstimmung mit Literaturangaben wurde erzielt. Die Photometrie scheint dabei der Kandidat für praktische (Haus-)aufgaben der Schüler zu sein, da die notwendige Ausrüstung – Kamera und Computer – meist verfügbar ist. Die Spektroskopie benötigt entsprechend ausgerüstete Sternwarten. Abgesehen von dieser Randbedingung sind Schüler in der Lage, das Lehrbuchwissen selbst zu reproduzieren, was die Begeisterung für Naturwissenschaften potenziell steigern kann.

Received: 2020-11-24, Revised: 2020-12-18, Accepted: 2020-12-31

1. Introduction

This combined photometric and spectroscopic study on the two prototype pulsating stars β Cep and δ Cep was initiated under the aspect of studying the opportunities for incorporating such kind of observations into the regular physics education at school [1]. It extends a previous combined study on δ Cep using the spectrograph DADOS in low-resolution mode [2]. Due to the close vicinity of β Cep and the observational opportunity of the full phase coverage in one night [3] it was chosen as an additional target. The constellation of Cepheus occurs circumpolar in mid Europe. Nevertheless, the most favorable observation time frame is from October till January to the high position at the sky during evening as an important boundary condition for training activities by pupils.

Both bright pulsating stars are the prototypes of their own variable star classes [4]. Especially the δ -Cepheids are well known standard candles for distance measurements towards the closest extragalactic systems due to their well-studied period-luminosity relation. They are

hence of extraordinary importance in educating our modern knowledge on our universe.

Both pulsations are driven by the κ -mechanism. The oscillation of δ Cep relies on opacity changes of He II and fully ionized helium with temperature and pressure. The interplay of the reduction of the radiation flux from the inner part of the star with the gravitational compression of the initially oscillating layer and vice versa leads to a periodic expansion and contraction of this layer. This oscillation propagates up to the surface of the star leading to a combined luminosity and radius change which is measurable as variations of brightness, effective temperature and radial velocity. The reader is referred to standard textbooks for more details [5].

The pulsation of β Cep is driven by the opacity relations of multiply ionized iron deeper in the star. Hence, the pulsation is faster than for the δ -Cepheids leading to less luminosity changes.

Both stars are still of scientific interest. A recently detailed study on δ Cep focuses on fine

adjustments of the relationship of radial and pulsation velocities which are of high interest for precise distance measurements [6]. β Cep as a hot early B-type star is studied under the consideration of rotation and magnetic field [7,8].

This paper is structured as follows: in section 2 the photometric observations and results are described in detail. Section 3 contains the spectroscopic setups, the observational results and the deduced parameters. A short discussion including didactic aspects and comparison with the literature follows. Finally, a summary and outlook conclude the paper.

2. Photometry

2.1 Method

The photometric observations were planned considering the later applicability for pupils' work (at school or home). Sophisticated instrumentation is hence of no primary choice. DSLR or similar cameras are usually in the reach of the learners. Smart phones were recently reported for reasonable astronomical observations, too. Due to the brightness of the target objects this instrumentation is sufficient.

In our case an unmodified Canon EOS 200D equipped with a Sigma 18-300 mm objective was used. The camera was mounted on a tripod. The focal length of 50 mm was chosen to cover the full constellation on Cepheus in one shot. The focus was set manually to a slight out-of-focus position to smear the star images over more pixels and to avoid saturation. The exposure time was set to 10 s at an ISO value of 200.

The images were stored in the RAW format to prevent any artifacts from compression algorithms. Most of the photometric observations were made parallelly to the spectroscopic sessions at Dresden-Gönnsdorf Observatory, Free-State of Saxony, Germany. The aperture photometry was made with FITSWORK [9]. The full pixel matrix was evaluated, no split into RGB was performed. The routine is described in ref. 2. There is no special treatment regarding neither dark and flat nor hot and dark pixel corrections. Extinctions effects were also not considered in detail. Therefore, only limited accuracy can be expected.

Reference stars for the magnitude difference measurements were chosen according to the recommendation of similar spectral types as of the variables. The reference star for δ Cep was HD 210855 having a spectral class F8 and a visual magnitude of $m_V = 5.20$ mag [10], 1 Cas

was taken for β Cep with a spectral class B0.5 and the magnitude $m_V = 4.80$ mag [10].

The later data processing and displaying was performed with Microsoft Excel. First, the observation date was converted into JD. With the ephemeris of the variables [11] the phase for each observation was calculated, see tab. 1. Finally, the light curves were plotted.

	Epoch [JD]	Period [d]
β Cep	2458912.5944	0.1905
δ Cep	2458914.5500	5.3663

Tab. 1: Ephemeris used in this investigation.

2.2 β Cep

Fig. 1 shows the light curve of β Cep. The brightness varies between 3.13 and 3.25 mag which fits well to observations reported for the V-band in ref. 12. The light curve is symmetric but shows deviations from being sinusoidal. Such behavior is reported in the literature and is pronounced for photometry bands redder than B [13] which contributes significantly in the RGB data used in the analysis.

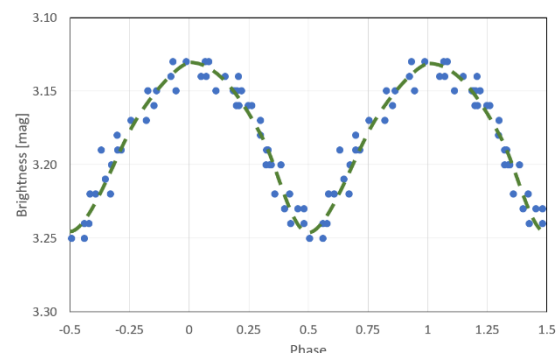


Fig. 1: Light Curve of β Cep. The phase plot is extended for more clarity. The green dashed line is only a guide to the eye.

2.2 δ Cep

Fig. 2 shows the light curve of δ Cep. The brightness varies between 3.3 and 4.2 mag. This is in good agreement to the results of ref. 2 and in order of V-band observations from AAVSO database [14]. The light curve is highly non-symmetric as known from standard textbooks.

However, there is plenty room for improvements of the photometric accuracy using the full set of correction methods mentioned above and increasing the number of reference stars.

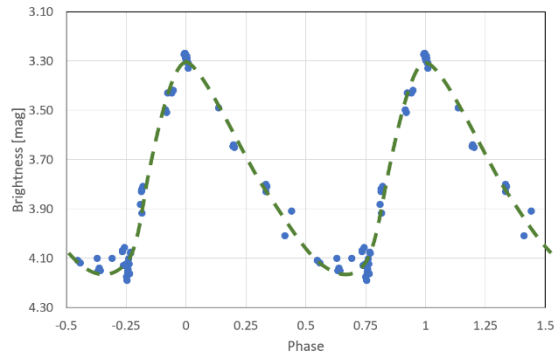


Fig. 2: Light Curve of δ Cep. The phase plot is extended for more clarity. The green dashed line is only a guide to the eye.

2. Spectroscopy

2.1 Method

The spectroscopic observations were mainly done at Dresden-Gönnsdorf Observatory utilizing a Meade 16" f/10 Schmidt-Cassegrain telescope equipped with a LHiRes III spectrograph (see fig. 3 left). Few additional observations were carried out at Drebach Observatory, Free-State of Saxony, Germany, using a 180/1600 mm refractor with the same LHiRes III (see fig. 3 right).



Fig. 3: Left: LHiRes III setup at 16" f/10 SC telescope at Dresden-Gönnsdorf observatory. Right: Setup at 180/1600 mm refractor at observatory Drebach.

The spectrograph was equipped with a 35 μm slit and a 2400 lines/mm grating. The CCD was a Nova402 equipped with a Kodak KAF402ME sensor having 9x9 μm^2 pixels. The mean resolution is $R \sim 10,000$ at $H\alpha$. The exposure time of every image was 900 s. The sensor was kept at $T = -20^\circ\text{C}$ throughout the observations.

All spectra were reduced using the ISIS software package [15]. After a dark correction and de-slanting, a coarse wavelength calibration was performed with the help of the internal Ne light source images taken before and after the spectra. The wavelength scale was later shifted using the telluric water lines which are always

present in the spectra. Finally, the telluric lines themselves were removed. The spectra were not treated with a separate flat because the position of the spectral stripe was chosen in a known donut free area of the camera and the later rectification procedure.

The spectra were then normalized with the help of the Python software package "algol_reduction" [16]. It is based on the comparison of a (synthetic) reference spectrum with the measured one. We chose spectra out of the "POL-LUX Database of Stellar Spectra" [17]. The parameters are shown in table 2.

	β Cep	δ Cep
T_{eff} [K]	29180	5750
[Fe/H]	0	-0.5
$\log g$	4.0	1.0
v_{rot} [km/s]	28	9

Tab. 2: Parameter for synthetic reference spectra taken out of POLLUX.

Additionally, the line strength – expressed as the equivalent width (EW) – of $H\alpha$ was analyzed over the pulsation cycle. As known from textbook the effective temperature is linked to the strength of spectral lines [5] which can then be used as a "thermometer". The line profiles were fitted with a sum of 2-3 individual Voigt profiles representing the line core and the wings. The use of the fitting parameters allows for analytical integration used for the EW determination.

3.2 β Cep

Fig. 4 exemplarily shows a spectrum of β Cep around the $H\alpha$ absorption line. Besides $H\alpha$ a few more additional lines are visible, most of them are telluric lines from earth's atmosphere. Two more photospheric lines remain: C II at 6578 and 6583. On the blue side of the spectra artifacts from the telluric line removal procedure are visible indicating an insufficient wavelength calibration. This systematic error is due to the only linear fit given by the two Ne lines in the field of view. The subsequently performed wavelength shift does not change the initial calibration error. However, all the further evaluations are not altered by those artifacts.

Fig. 5 shows all rectified spectra considered for the later radial velocity (RV) evaluation. Each spectrum is offset according to its phase. One clearly recognizes the movement of the stellar lines.

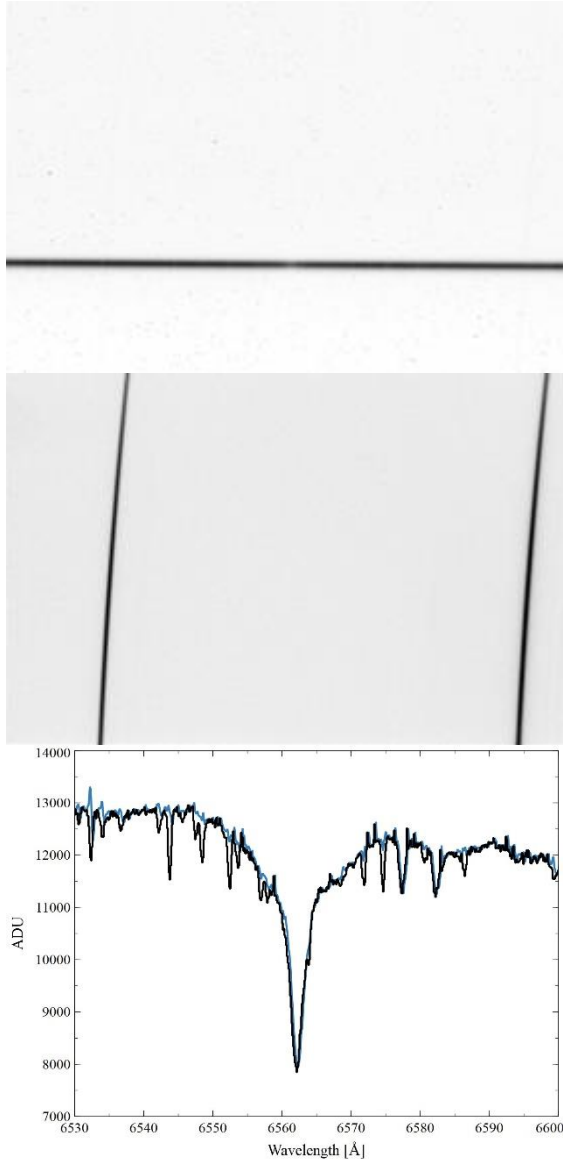


Fig. 4: Top: Spectrum image of the H α region of β Cep taken 2019-12-04, 20:58-21:13 CET, Dresden-Gönnsdorf observatory; Middle: Ne calibration light image; Bottom: Extracted raw profile (black) and post telluric lines removal combined with a wavelength shift (blue).

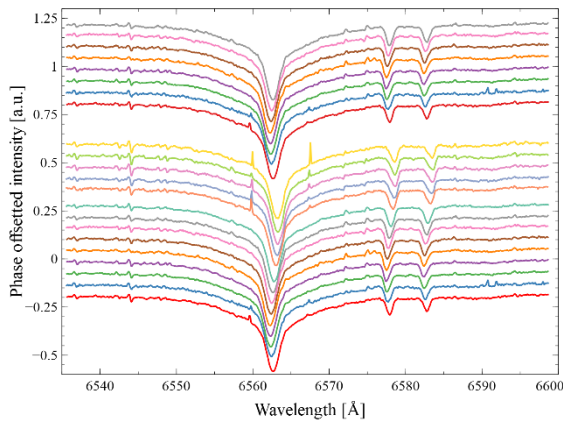


Fig. 5: Phase offset plot of all rectified and telluric line cleaned spectra considered for the later radial velocity evaluation. The spectra for phase smaller 0 and larger 1 are repeated for clarity.

Fig. 6 shows the measured RV taken from the H α absorption line minimum as a function of the phase. The wavelength of the minimum was measured by fitting a Gaussian to the absorption line core via the software package Origin [18]. The radial velocity data were barycentric corrected using the “rvc” function of IRIS [19].

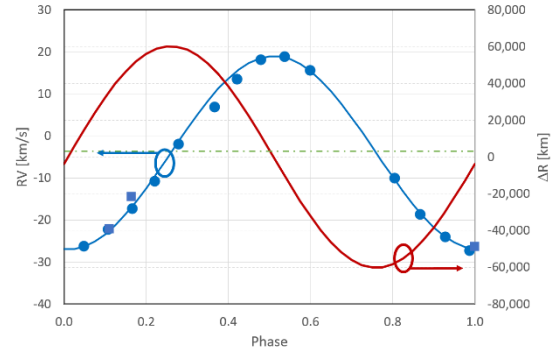


Fig. 6: H α radial velocity measurements. Blue dots: 2019-11-18, blue rectangles: 2019-12-04. Blue curve: sinusoidal fit of the measured data. Green dash-dotted line: constant offset. Red curve: deduced radius changes of the absorption line creating layer in the atmosphere of β Cep.

The RV follows a sinusoidal shape over the whole pulsation to a good extent. The radial velocity shows a constant offset of

$$v_0 = -(4 \pm 1) \text{ km/s}$$

in quite good consistence with the literature [20]. Due to a companion star the mean radial velocity varies over time.

By integrating the RV according to

$$\Delta R(t) = - \int_0^t (v_R(t') - v_0) dt' \quad (1)$$

with v_0 the constant offset, one gets the radius change ΔR of the absorptions line minimum creating layers in the stellar photosphere. Note the sign in eq. 1: the absorptions lines of the pulsating surface appear blue shifted when the star expands and vice versa. The red curve in fig. 6 shows the resulting sinusoidal oscillation with a radius change of 120,000 km. This result is consistent with ref. 3.

Fig. 7 shows the RV data deduced from the two C II lines. They scatter in most cases towards more positive RV values. Reasons for this behavior can be inadequate values for the rest wavelength (values from the line list file “luke.lst” of SPECTRUM [21] were taken), fitting errors due to asymmetric line shapes visible in the C II lines or effects associated with a different depth of creation. The analysis of this effect might be subject of a further study.

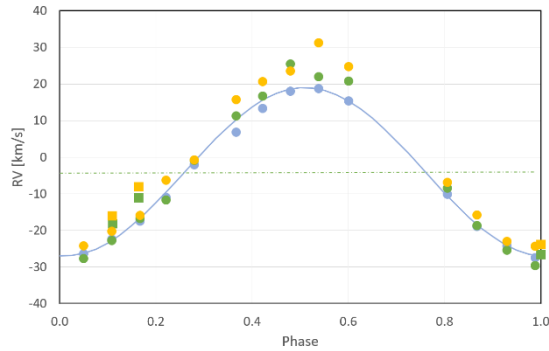


Fig. 7: Radial velocity values deduced for the ionized carbon C II lines at 6578 (green) and 6583 (yellow). The results from H α fig. 6 are shown for comparison reasons in light blue.

3.3 δ Cep

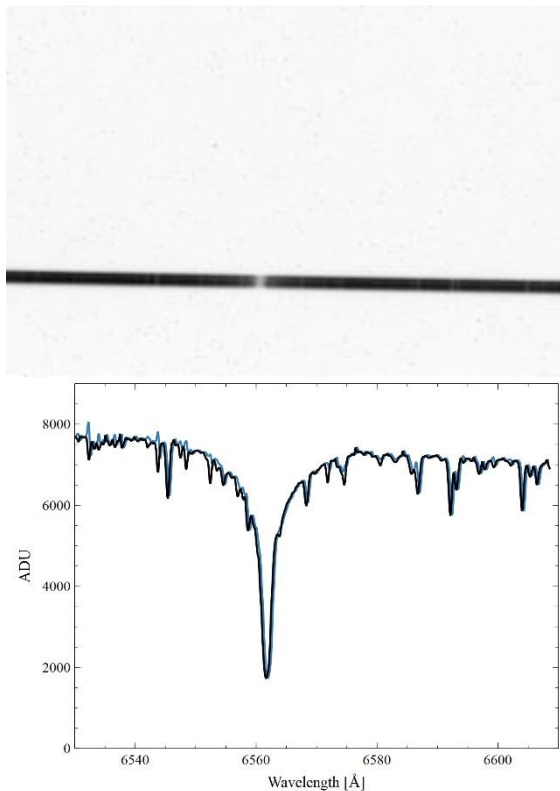


Fig. 8: Top: Spectrum image of the H α region of δ Cep taken 2019-10-23, 21:52-22:07 CET, Dresden-Gönnsdorf observatory; Bottom: Extracted raw profile (black) and post telluric lines removal combined with a wavelength shift (blue).

Fig. 8 displays a typical spectrum of δ Cep. It shows more absorption lines than β Cep from the previous section. This is typical for colder photospheres. As for β Cep artifacts after the telluric line removal remain on the blue side of H α .

To better identify the origin of the visible metal lines beside H α simulated spectra are shown in fig. 9. The spectra were synthesized with the

software package SPECTRUM by R.O. Gray [21]. The two model atmospheres ($T_{\text{eff}} = \{5500 \text{ K}, 6500 \text{ K}\}$; $\log g = 0.5$, $v_{\text{turb}} = 0$) were taken from Castelli and Kurucz [22].

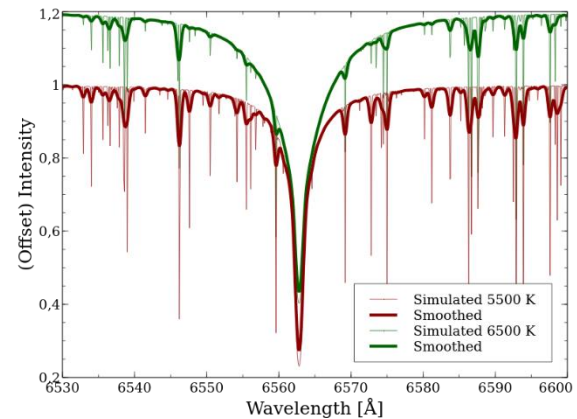


Fig. 9: Simulated spectra around H α for $T_{\text{eff}} = 5500 \text{ K}$ and 6500 K (thin lines). The spectrum 6500 K is offset for clarity. Thick lines: smoothed spectra (FWHM 0.6 Å) for ease comparison with the measurements.

Comparing the measured spectrum of fig. 8 with the simulated in fig. 9 reveals astonishing similarities. Unfortunately, most of the visible absorption lines are blends. Therefore, the further evaluation was restricted to H α only.

Fig. 10 shows all spectra of δ Cep gathered in this investigation. The spectra were treated as described above for β Cep. The rectified spectra are scaled by factor 1/3 and offset by their respective phase.

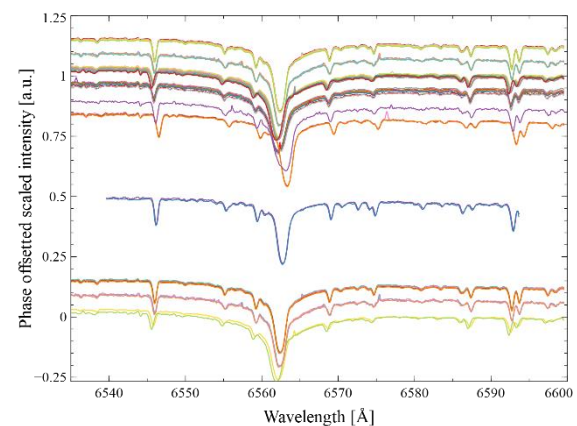


Fig. 10: Phase offset plot of all rectified and telluric line cleaned spectra considered for the later radial velocity evaluation. The spectra were scaled by factor 1/3. The spectra for phase larger 1 are repeated for clarity.

Fig. 11 shows the RV measurements of H α sampling the full pulsation sufficiently. The RV shows an offset of $-(16 \pm 3) \text{ km/s}$ representing the mean velocity of δ Cep towards the observer in good agreement with the literature [23]. The scatter of a single measurement can be estimated to be $< 5 \text{ km/s}$.

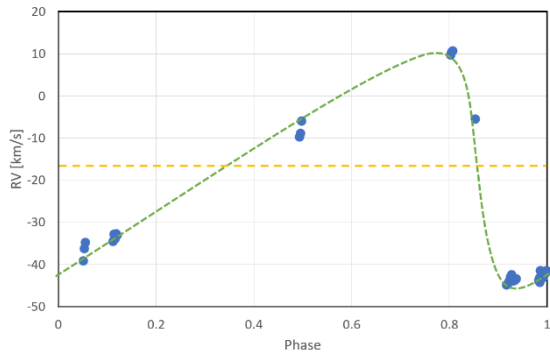


Fig. 11: Radial velocity (RV) measurements (blue dots) in dependence of the phase. The mean RV is shown yellow dashed. The green dashed line is guide to the eye only.

As easily recognizable the RV curve is highly unsymmetric. The radius variation is calculated from the RV approximated by linear segments as shown in fig. 12. This coarse approach allows only an estimate of the actual radius variation.

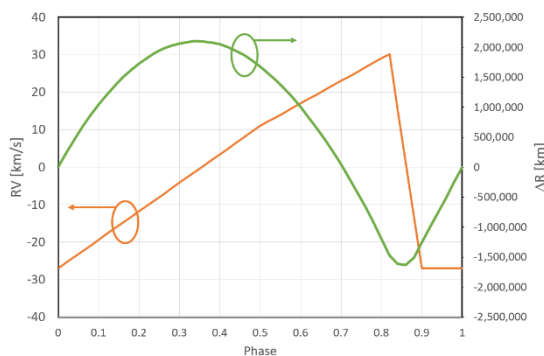


Fig. 12: Orange: RV approximation for the pulsation corrected by the constant offset. Green: Radius variation due to the pulsation.

The radius of δ Cep varies in the order of 3-4 Mio km. The comparison of the results gathered in this investigation with that reported in standard textbooks [5], shows an overestimation of the RV leading to a larger radius change in this coarse evaluation.

As commonly known the pulsation of δ Cep is linked not only to a tremendous radius change but also to a change of the effective temperature (and hence the spectral class). Fig. 13 shows the results of the EW analysis of $H\alpha$. The rectified spectra were fitted here with a sum of two Voigt profiles.

However, the rectification procedure relied on a synthetic spectrum representing the cooler phase of the pulsation introducing systematic errors in the hotter one. Therefore, the EW data presented here can be interpreted only qualitatively. The EW and hence the effective temperature are highest near the light curve maximum at phase 0. The maximum radius is reached

later at around ~ 0.35 , were the temperature and the brightness dropped significantly.

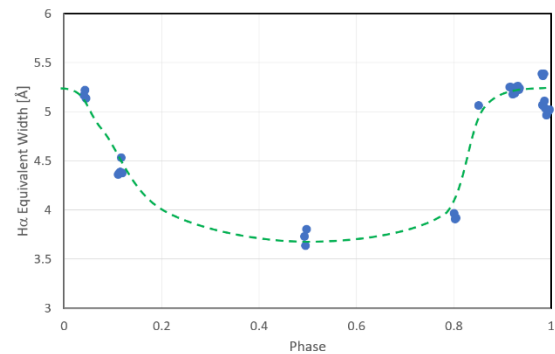


Fig. 13: Equivalent width of $H\alpha$ over the pulsation. The green dashed line is guide to the eye only.

4. Discussion

From a teacher's perspective the photometry of bright variable stars seems to be suitable for a relative ease inclusion into school lessons. Pre-requisite is at least a DSLR camera (or even a smart phone – but this was not tested here). The necessary software for data evaluation is freely available and easy to handle after at least a little tutorial. β Cep offers the opportunity of observing one complete pulsation cycle within one single night but at a low amplitude of $\Delta m = 0,1$ mag. "Opposite", δ Cep needs more time planning (and hence more observational luck for the pupils) but offers a higher amplitude of $\Delta m = 1$ mag. Here, more than one observation night is usually necessary.

The accuracy of the photometric results depends on the effort spent. Even in the case of the very rough approach used here the magnitude change is clearly demonstrable. This can be refined by applying more rigorous photometric techniques.

Spectroscopic observation needs – beside instrumentation – more time for preparation and evaluation. Thus, it is not considered for practical use during the regular physics education. Nevertheless, interested pupils should be encouraged to contact (public) observatories asking for opportunities of spectroscopic observation. The results gathered there can then be easily incorporated into the physics course. It is supposed that practical experience in both photometry or spectroscopy leads to a much higher level of motivation than simple textbook studies.

From an amateur astronomer's view point it is amazing to observe such fundamental stellar properties and get practical insights into astro-

physics. The overall match to the reported results in the literature is of astonishingly good quality. This opens the opportunity to extend the initial investigation towards other bright pulsators as well as for observational refinements of the two target stars.

5. Summary and Outlook

The two pulsating stars in the constellation of Cepheus, β and δ Cep, were studied both photometrically and spectroscopically. Main goal was the analysis whether and how both methods can be applied in the physics education at school using equipment accessible for pupils at home or – more demanding – at public observatories.

Light curves of pulsating stars are in the reach of homework whereas spectroscopic analysis usually needs contacts to well-equipped observatories. Once observations are performed covering the whole phase the systematic variation of the radius of the stars is clearly measurable by the pupils. It allows for a practical reproduction of textbook knowledge and opens motivating opportunities for physics education.

Acknowledgement

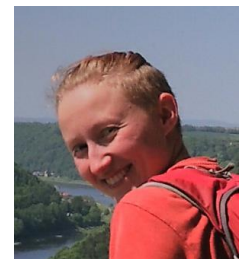
The authors thank the referee for his valuable inputs helping to improve the paper.

References

- [1] P. Hoyer, Pulsationsveränderliche Sterne – fotometrischer und spektroskopischer Vergleich von beta- und delta-Cephei, Wissenschaftliche Arbeit im Fach Physik - Lehramt an Gymnasien, TU Dresden, 2020
- [2] J. Liebisch, Spektrum – Mitteilungsblatt der VdS-FG Spektroskopie 58 (2018) 16
- [3] C. Netzel, Spektrum – Mitteilungsblatt der VdS-FG Spektroskopie 53 (2018) 26
- [4] N.N. Samus et al., AR 61 (2017) 80
<http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>
- [5] E. Böhm-Vitense, Introduction to Stellar Astrophysics, Vol. 1-3, Cambridge Univ. Press (1992)
- [6] N. Nardetto et al., A&A A73 (2017) 597
- [7] H.F. Henrichs et al., A&A A46 (2013) 14
- [8] M.E. Shultz et al., MNRAS 475 (2018) 5144
- [9] Fitswork, Versions 4.4.7
- [10] Stellarium, Version 0.19.1
- [11] <https://aavso.org/data-download>
[2020-03-06, 14:25 CET]
- [12] <https://www.aavso.org/LCGv2/>, search for “bet Cep”
[2020-12-22, 11:30 CET]
- [13] J. Stebbins, G.E. Kohn, AJ 120 (1954) 189
- [14] <https://www.aavso.org/LCGv2/>, search for “del Cep”
[2020-12-22, 11:50 CET]
- [15] C. Buil, ISIS, Version 5.9.7
- [16] C. Brock, Spektrum – Mitteilungsblatt der VdS-FG Spektroskopie 55 (2019) 6
- [17] A. Palacios A. et al., A&A A13 (2010) 516;
<http://npollux.lupm.univ-montp2.fr/>
- [18] „Origin Pro 2018b“ (Version b9.5.5.409)
- [19] C. Buil, IRIS, version 5.59
- [20] S.W. Fitch, AJ 158 (1969) 269
- [21] R.O. Gray, SPECTRUM,
<https://www.appstate.edu/~grayro/spectrum/spectrum.html>
- [22] F. Castelli, R.L. Kurucz, IAU Symp. No 210; ATLAS9 model atmospheres:
<http://www.oact.inaf.it/castelli/castelli/grids/gridp00k0odfnew/ap00k0tab.html>; ap00t5500g05k0odfnew.dat;
ap00t6500g05k0odfnew.dat
- [23] W.W. Shane, AJ 127 (1958) 573



Thomas Hunger has been fascinated by astronomy since he was in secondary school. During his physics studies he developed a special interest in star spectroscopy which lasts until these days. After relocation to Saxony, he observes in Drebach and Dresden-Gönnsdorf. He has been a member section group since 1998 and held various positions over 20 years.



Josefine Liebisch was an active member of Dresden-Gönnsdorf Observatory from 2016 to 2020. Beside activities in public outreach one of her observational interests is spectroscopy. In October 2020 she started studying Arboristics at Göttingen University. Contact to the local amateur astronomy society is created and will hopefully help continuing her observations.



Paula Hoyer studied Master of Education at University of Technology Dresden. Because of her interest in astronomy, she wanted writing her thesis on a topic related to observation. After contacting the active team of the Dresden-Gönnsdorf Observatory the pulsators were chosen as the thesis topic. Since autumn 2020 she lives near Leipzig and teaches physics at a high school.



During daytime **Christian Brock** programs algorithms to optimize cellular networks. At night he attends to visitors at the Dresden-Gönnsdorf Observatory, supervises students, does some visual observations by himself and cooperates in the Dresden spectroscopy group.

Gibt es Dunkle Materie in unserer Milchstraße?

Herbert Pühringer

Wiesenweg 4A, 5102 Anthering, Austria, E-Mail: pherby@gmx.de

Zusammenfassung

Ein Schüler wollte versuchen durch eigene Messungen von Wasserstoffwolken in den Spiralarmen unserer Milchstraße die Dunkle Materie nachzuweisen. Er konnte durch Unterstützung des Teams von Walter Gengel am Astroteiler Stockert diese Messungen durchführen. Mittels Dopplereffektes und mathematischen Formeln ist es ihm gelungen, die Geschwindigkeit von Spiralarmen bis 8 Kiloparsec vom Galaxienzentrum entfernt zu berechnen. Da sich die Dunkle Materie erst ab 15 Kiloparsec bemerkbar macht, konnte nur ein indirekter Beweis ihre Existenz bestätigen.

Abstract

A student of my Pluskurs Astronomy wanted to confirm the reality of Dark Matter in our Milky Way. He got the permission to use the Astroteiler Stockert, a radio telescope in Germany near Bonn. With these data he computed the velocity of the spiral arms of the Milky Way applying the Doppler law and some basic trigonometry. He only got the velocity of the spiral arms from the center of the Milky Way to our sun in distance of 8 kpc. But the effect of Dark Matter, unfortunately, can be seen only in the outer areas of our galaxy having distances larger than 15 kpc. Therefore, an indirect proof was necessary.

Received: 2020-07-25, Revised: 2020-08-25, Accepted: 2020-08-30

Ich besuchte den Weltkongress GHOU (Global Hands-on Universe) in Wien 2018 [1]. Hier wurde das Thema „Die Dunkle Materie in unserer Milchstraße“ von einigen Teilnehmer sehr ausführlich diskutiert: Kann man das messen? Wie kann man das messen? Kann ich das im Unterricht verwenden?

Ich war Lehrer für Mathematik, Sport und Informatik am Privatschulzentrum der Herz Jesu Missionare in Salzburg und leite derzeit für hochbegabte Schüler im Auftrag des Landesschulrates Salzburg den Pluskurs Astronomie. Derzeit habe ich 52 Schüler, die alle 14 Tage aus dem ganzen Bundesland Salzburg zu einem Nachmittagsunterricht zusammenkommen. Es gibt keinen festgelegten Lehrplan, sodass Schüler sich Projekte, die sie gerne durchführen möchten, selbst wählen können.

Ein Schüler wollte unbedingt versuchen, die Dunkle Materie in der Milchstraße nachzuweisen. Er wusste, dass Wasserstoffatome in einem angeregten Zustand ihr Elektron mit parallelem Spin zum Proton haben. Wenn das Elektron wieder in den Normalzustand (gegenläufiger Spin zum Proton) zurückfällt, wird eine 21-cm-Strahlung (entspricht rund 1420 MHz oder genauer $f_0 = 1420,40575177$ MHz [1]) frei. Diese Strahlung kann man mit Radioteleskopen messen. Diese Strahlung erzeugt Emissionslinien, die das Wasserstoffgas in den einzelnen Spiralarmen detektiert. Sie kann auch die Gas-

und Staubwolken in Richtung Milchstraßenzentrum durchdringen, sodass man mehrere Emissionslinien von verschiedenen Spiralarmen, die unterschiedliche Geschwindigkeiten aufweisen, bekommt. Auf Grund von Dopplerverschiebung (Gleichung 1) kann man die unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten zur Sonne messen und daraus die Rotationsgeschwindigkeit des Wasserstoffgases in verschiedenen Abständen zum Zentrum der Milchstraße berechnen. Sollten die Rotationsgeschwindigkeiten in den äußeren Bereichen der Milchstraße nach den Keplersgesetzen nicht abnehmen, so muss man eine zusätzliche nicht sichtbare Masse annehmen - die Dunkle Materie.

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{v}{c} \quad (1)$$

Da sich die Sonne nicht im Zentrum der Milchstraße befindet und dadurch eine Eigenbewegung hat, sind einige mathematische Kunstgriffe anzuwenden, um die Rotationsgeschwindigkeit der Spiralarme zu berechnen. Der Grundstein für die Berechnungen meines Schülers war der Vortrag von Gerrit Grutzeck vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie am 05. Mai 2019 im Rahmen der Spektroskopietagung ASpekt 19 auf der VEGA Sternwarte in Salzburg [2]. Sein Hauptproblem war: Wie weiß ich, welche Gasgebiete vermessen werden, da ja die Strahlung in der Sichtlinie nicht absorbiert wird? Wie weit ist das gemessene Objekt vom

Zentrum der Milchstraße entfernt? Gerrit Grutzeck erklärte, dass die größte Relativgeschwindigkeit immer dort gegeben ist, wo die Sichtlinie die Tangente an einer Kreisbahn bildet – die Bahngeschwindigkeit dieser Kreisbahn also direkt gemessen werden kann. Mit anderen Worten: Der gelbe Pfeil beim Punkt B in Abb. 1 ist am längsten (größte Relativgeschwindigkeit zu unserer Sonne), da der Geschwindigkeitsvektor nicht aufgespalten werden muss.

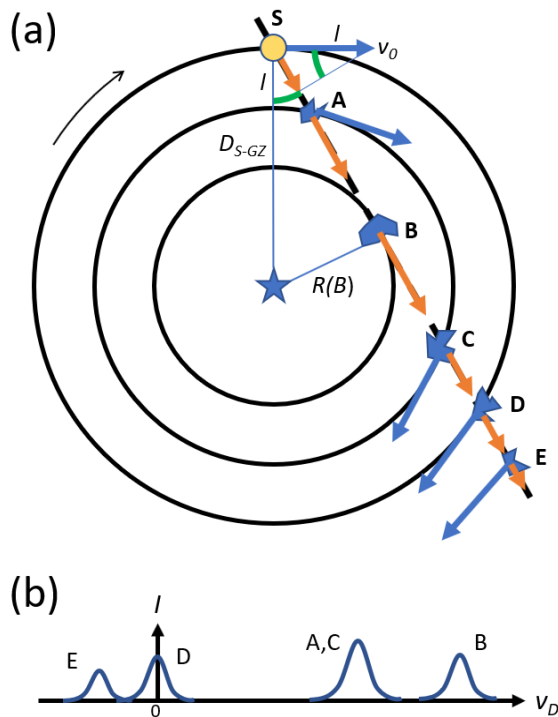


Abb. 1: (a) Geometrische Beziehungen auf der Sichtlinie von der Sonne „S“ zu Emissionsgebieten „A“, „E“ zur Bestimmung der Dopplergeschwindigkeiten v_D . Die Dopplergeschwindigkeit ist maximal für Gebiet „B“, wo die Sichtlinie gerade die Tangente an der Kreisbahn mit Radius $R(B)$ bildet. Das entsprechende Intensitäts-Geschwindigkeitsdiagramm ist in Teil (b) schematisch gezeigt. (Pühringer, Hunger, nach Ref. [3,4]).

Wo muss ich das Signal von B im Radiospektrum, d.h. der Messung, suchen? Die höchste Relativgeschwindigkeit ist dort, wo die höchste Abweichung der Frequenz zu 1420 MHz ($= f_0$) auftritt, also genau in B. Gleichzeitig kann die Entfernung von B zum galaktischen Zentrum über einfache Geometrie am rechtwinkligen Dreieck ermittelt werden:

$$R(B) = D_{S-GZ} \cdot \sin l \quad (2)$$

Dabei ist $R(B)$ der gesuchte Abstand, D_{S-GZ} der Abstand Sonne zum Galaktischen Zentrum und l der Winkel zwischen B und dem galaktischen Zentrum. Die Entfernung der Sonne zum Zentrum der Milchstraße beträgt 26.000 Lj [5].

Wie kann ich jetzt die tatsächliche Geschwindigkeit des Punktes B bezogen zum Zentrum

der Galaxie berechnen? Dazu benötige ich die tatsächliche Bahngeschwindigkeit v_0 der Sonne um das Zentrum der Milchstraße (220 km/s [6]). Daraus ergibt sich die relative Geschwindigkeit v_{RS} der Sonne in Bezug auf Richtung B:

$$v_{RS} = v_0 \cdot \sin l \quad (3)$$

Die Bahngeschwindigkeit des Gebietes B v_B ergibt sich damit aus der gemessenen Dopplergeschwindigkeit v_D zu

$$v_B = v_D - v_{RS} \quad (4)$$

Diese Möglichkeit der Tangentenmessung ist aber nur bis maximal 90° möglich, darüber hinaus gibt es keine Tangenten an Kreisbahnen mehr.

Nun wollten wir die Theorie in die Praxis umsetzen. Den Flug von Salzburg nach Köln-Bonn hat der Verein PROTALENTE Salzburg gesponsort. Walter Gengel und Team erwarteten uns schon am Astroteiler Stockert (Abb. 2).



Abb. 2: Astroteiler Stockert (Quelle: [6])

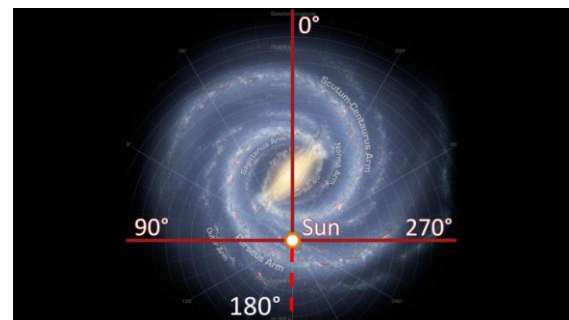


Abb. 3: Galaktisches Koordinatensystem. Die Ebene der Milchstraße ist die galaktische Breite 0°. (Quelle [7])

Was uns überraschte: bei den Radioastronomen gibt es eine ganz andere Koordinateneinteilung als bei den übrigen Astronomen. Von der Erde aus gesehen zum Zentrum der Milchstraße sind es 0°. Dann wird in der Milchstraßenebene nach Norden als galaktische Länge weitergezählt (Abb. 3). In der Milchstraßenscheibe ist die galaktische Breite immer 0°. Wenn außerhalb der Milchstraße ein Objekt an-

gepeilt werden soll, dann muss auch die galaktische Breite angegeben sein. Der Schüler durfte nach einer kurzen Einführung die Messungen selbst vornehmen (Abb. 5). Wir haben von 0° bis 20° in 2° Intervallen und von 20° bis 180° in 5° Intervallen gemessen.



Abb. 4: Blick auf den Sternenhimmel mit markierten Messpositionen. (Bildquelle ist ein Screenshot aus Stellarium). Die Koordinaten sind in galaktischer Länge und Breite angegeben.

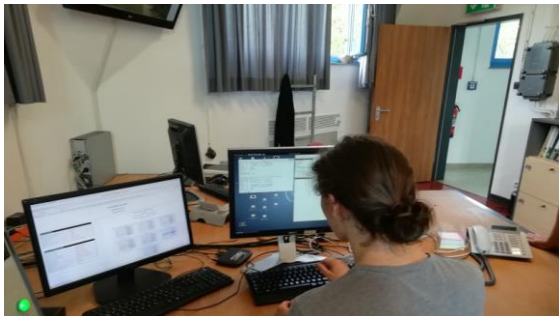


Abb. 5: Blick auf den Arbeitsplatz während der Beobachtung.

Eine Einzelmessung bei einer Position bestand aus 778 Einträgen. Jeder Eintrag entspricht einem Frequenzkanal rund um 1420 MHz. Die Bandbreite eines Einzelkanals entspricht ca. 5 MHz. Insgesamt haben wir Messungen an 91 Positionen durchgeführt, das sind in Summe 70798 Einträge. Pro Eintrag haben wir jedoch nur zwei Werte für die weitere Auswertung verwendet: die Frequenz des Kanals und die Intensität des Gesamtsignals. Die Polarisationsinformationen haben wir nicht weiter betrachtet.

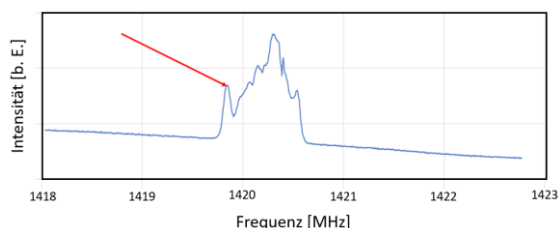


Abb. 6: Radiospektrum als Gesamtintensität über Frequenz bei Länge 20° und Breite 0° . Der rote Pfeil markiert die Grenzfrequenz, die zur Bahngeschwindigkeitsbestimmung für diese Länge benutzt wurde.

Zur Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Zentrum der Milchstraße nahmen wir entsprechend Cathy Horellou und Daniel Johansson [3] zu jedem Winkel jeweils das erste Maximum der Intensität bei der absolut niedrigsten Frequenz (siehe Abb. 6, roter Pfeil), also der Frequenz, die der Tangentenbedingung entspricht. Damit konnten wir gemäß Gl. (4) die Bahngeschwindigkeit des beobachteten Gebietes bestimmen und über Gl. (2) seine Entfernung zum galaktischen Zentrum.

Abb. 7 zeigt das Ergebnis dieser Auswertung. Die waagrechte Achse des Diagrammes ist die Entfernung und die senkrechte Achse ist die tatsächliche Geschwindigkeit. Man sieht, dass die Geschwindigkeit mit dem Abstand zum Zentrum stark ansteigt und dann aber fast gleich bleibt bei ca. 220 km/s.

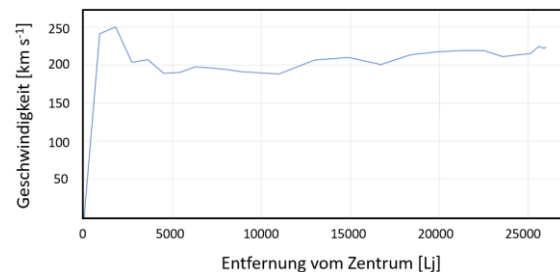


Abb. 7: Rotationsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand zum galaktischen Zentrum.

Der Schüler suchte ein Diagramm von Profis, um zu vergleichen. Er fand eines (siehe Abb. 8) und war sehr enttäuscht. Dieses Diagramm zeigte, dass die Dunkle Materie erst bei der doppelten Entfernung Galaxienzentrum-Sonne nachzuweisen ist. Wir konnten aber mit unserer Methode nur bis zur Sonne die Lage der Objekte und deren Geschwindigkeit berechnen. Bemerkenswert ist aber trotzdem, dass wir den relativen steilen Abstieg der Umlaufgeschwindigkeit und die ungefähre Konstanz bei 220 km/s nachgemessen haben. Zu diesem Zeitpunkt ist leider die Corona-Pandemie aufgetreten und die Schüler waren verständlicherweise dann mit ganz anderen Dingen beschäftigt.

So setzte ich die Untersuchungen allein fort. Ich wollte die Dunkle Materie indirekt beweisen und die Frage beantworten, ob ich Spiralarme erkennen und ihre Lage berechnen kann. Dazu im Folgenden wieder die dazugehörige Mathematik mit den Verkomplizierungen, da es keine Tangentenmessungen mehr sind.

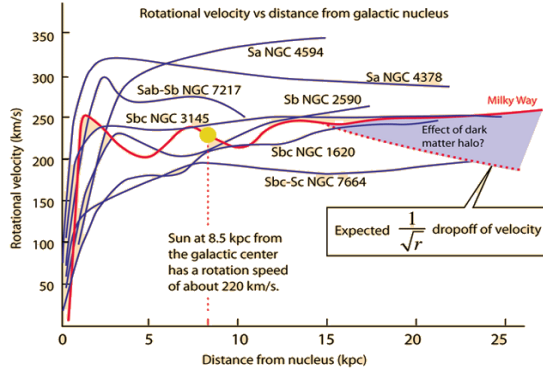


Abb. 8: Umlaufgeschwindigkeiten für verschiedene Galaxien. Quelle: [8]

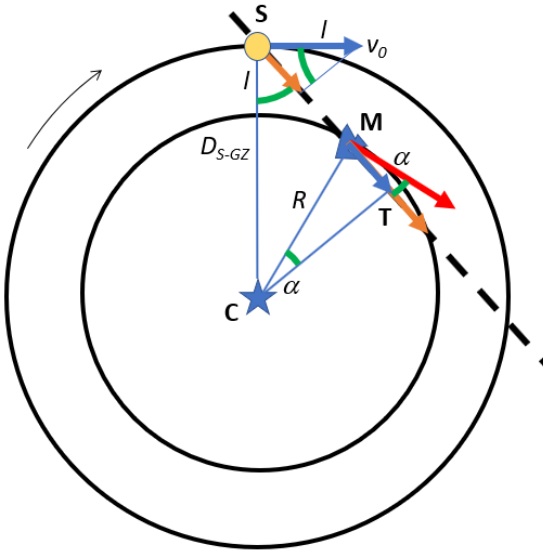


Abb. 9: Geometrische Beziehungen zur Bestimmung der Position von M. Details im Text. (Pühringer, Hunger nach Ref. [3])

Zunächst wird das Dreieck, bei dem M ein Eckpunkt ist, betrachtet. Es ergibt sich für die Geschwindigkeit v des Gebietes M

$$\begin{aligned} (v_D + v_{RS}) &= v \cdot \cos \alpha & \text{mit} \\ v_{RS} &= v_0 \cdot \sin l \end{aligned} \quad (5)$$

In den Dreiecken SCM und CTM gilt für den gesuchten Abstand R

$$D_{S-GZ} \cdot \sin l = R \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

Mit Gl. 5 ergibt sich

$$R \cdot (v_D + v_{RS}) = v \cdot D_{S-GZ} \cdot \cos l \quad (7)$$

damit nach Umstellen

$$\begin{aligned} R &= \frac{v \cdot D_{S-GZ} \cdot \cos l}{(v_D + v_{RS})} = \\ &= \frac{v \cdot D_{S-GZ} \cdot \cos l}{(v_D + v_0 \cdot \sin l)} \end{aligned} \quad (8)$$

Die gemessenen bzw. vorgegebenen Größen sind die Dopplergeschwindigkeit v_D , die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne um das galaktische Zentrum v_0 und der Beobachtungswinkel l , die galaktische Länge. Um aber den Abstand R wirklich bestimmen zu können, muss aber auch die tatsächliche Geschwindigkeit des Messpunktes v bekannt sein.

Mit der Annahme, dass die Umlaufgeschwindigkeit mit $v = 220$ km/s konstant ist, kann ich die Lage der Spiralarme berechnen. Wenn R_{SM} die Entfernung Sonne zum Messobjekt ist, dann gilt mit dem Kosinussatz

$$R^2 = R_0^2 + R_{SM}^2 - 2 \cdot R_0 \cdot R_{SM} \cdot \cos l \quad (9)$$

Durch Umformen ergibt sich die Lösung der quadratischen Gleichung

$$R_{SM\pm} = \pm \sqrt{R^2 - R_0^2 \cdot \sin^2 l} + R_0 \cdot \cos l \quad (10)$$

Damit lassen sich aus allen Messungen die Frequenzen der einzelnen Intensitätspeaks auswerten, siehe Abb. 10. Um die Einzelmessdaten darstellen zu können, nehme ich für jedes Gebiet M eine Koordinatentransformation (R_{SM}, l) in kartesische Koordinaten (x, y) gemäß

$$x = R_{SM} \cdot \cos l \quad (11)$$

$$y = R_{SM} \cdot \sin l \quad (12)$$

vor. Ich habe alle Maxima aus jeder Winkelmessung ausgewertet, was ein beträchtlicher Arbeitsaufwand darstellte. Die gesamten Einzelgebiete kann ich nunmehr mittels Excel darstellen, siehe Abb. 11.

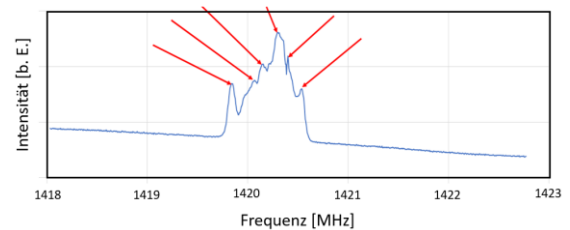


Abb. 10: Markierung der Intensitätsmaxima, die für die Strukturbestimmung der Galaxis herangezogen werden. Gezeigt ist das Spektrum bei $l = 20^\circ$ und $b = 0^\circ$. Die roten Pfeile markieren die ausgewerteten Intensitätsmaxima.

Ich habe nur die linke Seite der Galaxie vermessen, daher sind auch nur Messpunkte auf der linken Seite dargestellt. Deutlich erkennbar ist die zentrale Ausbauchung (engl. bulge) der Milchstraße. Weiterhin sind konzentrische Strukturen ersichtlich – die Spiralarme.

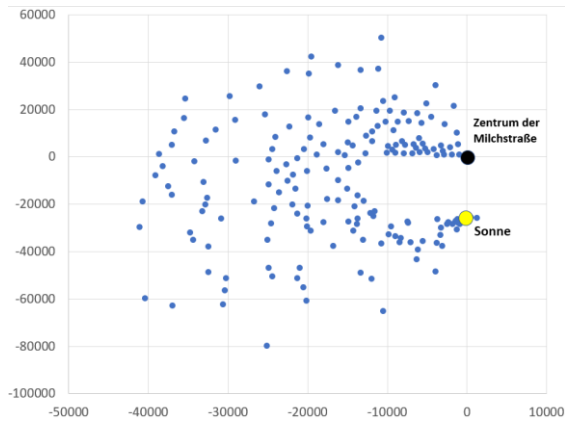


Abb. 11: Räumliche Position der gemessenen Einzelgebiete (blaue Punkte). Durch die Beschränkung der Beobachtungsrichtung ist nur ein Halbraum beobachtet worden. Achseneinheit ist Lj.

Im Vergleich zur Literatur zeigt sich keine Querstellung des Bulge. Das ist nicht verwunderlich, da die zentrale Annahme der konstanten Umlaufgeschwindigkeit in dieser Zentrumsnähe sicher nicht stimmt. Dadurch wird die Entfernungsmessung verfälscht und folglich auch die Koordinaten (x,y) .

Wer sich noch näher über unser Projekt informieren möchte, kann folgendem Link folgen: <https://stargate.cosy.sbg.ac.at/phoberbert/VEGA/tutorials.htm>

An dieser Stelle nochmals ein herzliches Dankeschön an Walter Gengel und seinem Team vom Astroteiler Stockert e.V. für die hervorragende fachliche und persönliche Unterstützung vor Ort und Protalente-Salzburg, einem Verein zur Förderung hochbegabter Schüler/innen in Salzburg, danke für die finanzielle Unterstützung.

Literatur

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/HI-Linie/>
- [2] Gerrit Grutzeck, Vortrag „Eine Einführung in die Radioastronomie mit Schwerpunkt Spektroskopie“, ASpekt19, 5.5.2019, VEGA Sternwarte, Salzburg
- [3] Cathy Horellou, Daniel Johanson, „Hands on Radio Astronomy – Mapping the Milky Way“, <http://www.euhou.net/docupload/files/radiosweden.pdf>
- [4] Stellarium Screenshot modifiziert und https://de.wikipedia.org/wiki/Galaktisches_Zentrum#/media/Datei:Galactic_longitude.JPG
- [5] privates Foto
- [6] <https://www.festungen.info/content/festungen-ab-1945/astroteiler-stockert/>
- [7] modifiziert https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galactic_longitude.JPG
- [8] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Astro/velcurv.html>
- [12] <https://www.astronews.com/news/artikel/2015/06/1506-010.shtml>



Herbert Pühringer ist pensionierter Lehrer und unterrichtete Mathematik, Sport und Informatik am Privatschulzentrum der Herz Jesu Missionare in Salzburg. Er leitet seit 12 Jahren den Pluskurs Astronomie für hochbegabte Schüler im Land Salzburg und ist Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Astronomie auf der VEGA Sternwarte des Museums Haus der Natur in Salzburg. Dort ist er auch Leiter der Jugendgruppe Astronomie.

Spektroskopische Beobachtungen an Mizar A

Rainer Anton

24161 Altenholz, Germany, E-Mail: rainer.anton@ki.comcity.de

Zusammenfassung

Die periodische Linienaufspaltung des spektroskopischen Doppelsterns Mizar A wurde systematisch mit einem Eigenbau-Spaltspektrographen vermessen und die Variation der Radialgeschwindigkeiten der Komponenten bestimmt. Dabei wurden kleine Unterschiede der Absorptionstiefen der aufgespaltenen Linien den beiden Komponenten mit etwas verschiedenen Massen zugeordnet.

Abstract

The periodic splitting of spectral lines of the spectroscopic double star Mizar A was measured with a home-made slit spectrograph, from which the variation of the radial velocities of the components was determined. Small differences of the absorption depths of the split lines were attributed to the components with slightly different masses.

1. Einleitung

Mizar, einer der hellen Sterne im Schwanz des großen Bären, auch bekannt als ζ Ursae Majoris, ist einer der berühmtesten Doppelsterne, und dies aus mehreren Gründen: Da ist zunächst natürlich der augenfällige Begleiter Alkor in 11,8 Bogenminuten Entfernung. Darüber hinaus ist er aber auch selbst ein Doppelstern, bestehend aus den Komponenten A (ζ^1) und B (ζ^2) mit einem Abstand von 14,4 Bogensekunden und Helligkeiten von 2,22 bzw. 3,88 mag. Damit nicht genug, sind A und B selbst spektroskopische Doppelsterne, die also in üblichen Teleskopen nicht getrennt werden können, die sich aber in ihren Spektren verraten. Mizar A ist der erste dieser Art, bei dem schon um 1887 in Harvard periodische Aufspaltungen von Linien beobachtet und als Doppler-Verschiebung von zwei Komponenten gedeutet wurden. Die Geschichte der Erforschung des Systems wird z. B. bei Wikipedia beschrieben [1]. Später konnte das Paar auch interferometrisch getrennt werden, und die Ergebnisse führten zusammen mit spektroskopischen Untersuchungen zu sehr präzisen Bestimmungen der Bahnelemente, zuletzt 2011 [2]. Demnach variiert der Abstand der Komponenten Aa und Ab zwischen etwa 2,2 und 10,4 Milli-Bogensekunden mit einer Periode von 20,5385 Tagen. Die Massen betragen nominell das 2,222- bzw. 2,238-fache der Sonne, jedoch ist die Differenz von etwa 0,7 % mit einer Unsicherheit von gut 1 % behaftet. Die individuellen Leuchtkräfte und Spektralklassen (A2Vp) werden als gleich angenommen. Für einen Amateur mit Interesse an Spektroskopie ist es reizvoll, die periodischen Veränderungen bei Mizar A selbst zu beobachten.

2. Experimentelles

Im März und April 2020 konnte ich bei anhaltend gutem Wetter fast allabendlich Spektren in mehreren Phasen der Bahnbewegung aufnehmen. Der Spektrograf ist ein Eigenbau mit Spalt und Gitter (1800 Linien/mm). Die Kamera (QHY178M, Pixelgröße 2,4 μm) erfasst einen Wellenlängenbereich von 25 nm, der von ca. 380 bis 700 nm verstellt werden kann. Die Spaltbreite wurde als Kompromiss zwischen Belichtungszeiten und Auflösung ($R = \lambda/\Delta\lambda$) eingestellt und kontrolliert anhand von Neon- bzw. Xenon-Linien von einem Glimmstarter. Bei R -Werten von nominell 17.000 bis knapp 20.000 und Belichtungszeiten um 4 Sekunden an meinem 25 cm-f/6-Newton wurden aus jeweils einigen hundert Aufnahmen die besten überlagert, um das Rauschen zu reduzieren. Die meisten Spektren wurden im Bereich der $H\alpha$ -Linie von Wasserstoff bei 656,28 nm, einige auch bei $H\beta$ (486,14 nm) und im Bereich von Ca II K/H bei 393,37 bzw. 396,85 nm aufgenommen.

Die Abbildung 1 zeigt eine Zusammenstellung von mehreren Spektren bei $H\alpha$, geordnet und markiert mit der jeweiligen Phase. Diese ist definiert als Zeitabschnitt in der Umlaufbahn zwischen zwei Periastron-Durchgängen bei 0 bzw. 1. Ein solcher Nullpunkt (Epoche) lag zum Beispiel beim Julianischen Datum JD = 2454536,9904 (das war am 11.3.2008 gegen 11:45 UT) [2]. Aus der Zeitdifferenz zum Aufnahmedatum und der Periodendauer wird die aktuelle Phase berechnet. In der stark gespreizten Darstellung sieht man die wechselnde

Aufspaltung des Kerns der $H\alpha$ -Absorption, die ansonsten sehr breit ist, wie es typisch ist für Sterne der Spektralklasse A. Die Flanken reichen noch weit über den hier gezeigten Bereich hinaus. Die blauen und roten Punkte zwischen den Spektren dienen nur der Augenführung. Es fällt hier schon auf, dass die zeitliche Änderung der Aufspaltung ungleichförmig ist - dazu später mehr. Außer der $H\alpha$ -Linie gibt es noch zahlreiche schwächere, aber scharfe Absorptionslinien, die die Aufspaltungen nicht mitmachen. Diese stammen nicht vom Stern, sondern von Wassermolekülen in der Erdatmosphäre. Die unterschiedlichen Intensitäten spiegeln Änderungen im Wettergeschehen wider. Anhand der bekannten Wellenlängen sind sie aber hilfreich bei der Kalibration der Spektren.

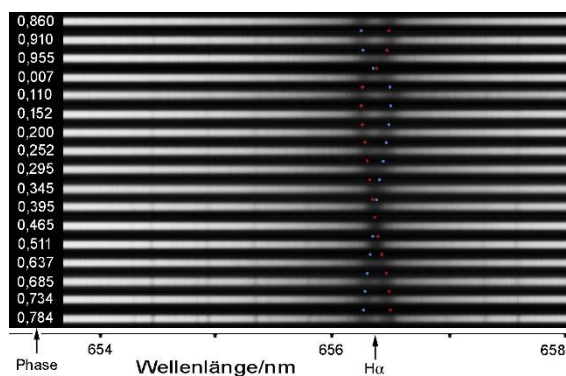


Abb. 1: Spektren von Mizar A im Bereich der $H\alpha$ -Absorption in verschiedenen Phasen. Die zeitlichen Änderungen der Aufspaltung des Linienkerns sind mit blauen bzw. roten Punkten zur Augenführung markiert. Die schwachen, aber scharfen Absorptionslinien stammen von H_2O in der Erdatmosphäre.

In der Abbildung 2 sind Intensitätsprofile von einigen repräsentativen Spektren bei verschiedenen Phasen zusammengestellt. Es ergab sich, dass die Peaks bzw. Mittelpunkte zwischen den Peaks innerhalb der Messfehler praktisch genau mit der Labor-Wellenlänge von $H\alpha$ bei 656,279 nm (markiert mit einer roten Linie) zusammenfallen, was heißt, dass scheinbar keine Dopplerverschiebung und damit Radialgeschwindigkeit des Systems Aa-Ab als solchem vorliegt, wobei der Fehlerbereich etwa ± 2 km/s umfasst. Jedoch werden Radialgeschwindigkeiten üblicherweise auf die Sonne bezogen. Mit einer heliozentrischen Korrektur folgt ein Wert von etwa $-(6,0 \pm 2)$ km/s. Dieser liegt im Bereich von Literaturwerten, je nach Autor von -5,6 bis -7,4 km/s [1-3]. Das Minus-Zeichen bedeutet, dass sich das System auf uns zu bewegt.

3. Analyse

In der Abbildung 3 sind die nach [2] berechneten zeitlichen Verläufe der Radialgeschwindig-

keiten der Komponenten Aa und Ab aufgetragen (blau bzw. rot), bezogen auf die Systemgeschwindigkeit. Die etwas eigentümlichen Kurvenformen beruhen auf der großen Exzentrizität (0,5415) und der Orientierung der wahren Bahn im Raum. Das erklärt den zeitlich ungleichförmigen Verlauf der Linienaufspaltung in der Abbildung 1.

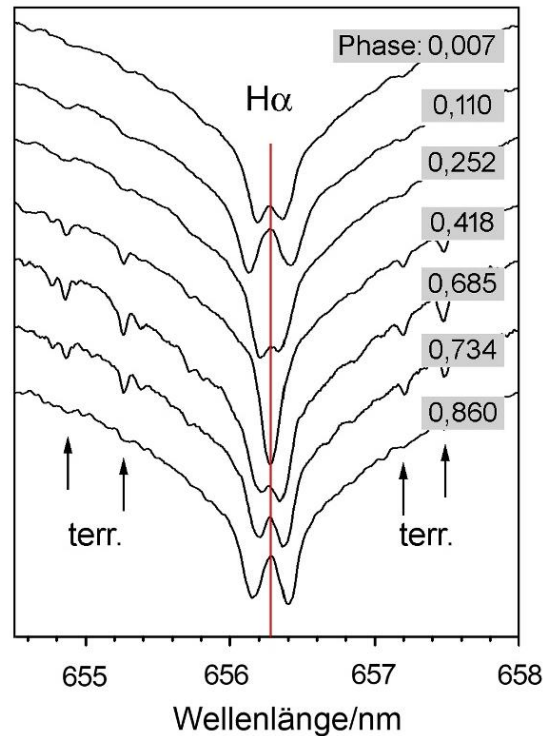


Abb. 2: Intensitätsprofile von einigen Spektren in verschiedenen Phasen. Die rote Linie markiert die Labor-Wellenlänge von $H\alpha$. Pfeile deuten auf einige auffällige terrestrische Linien. Die Absorptionspeaks der beiden Komponenten unterscheiden sich etwas in der Tiefe und „pendeln“ umeinander.

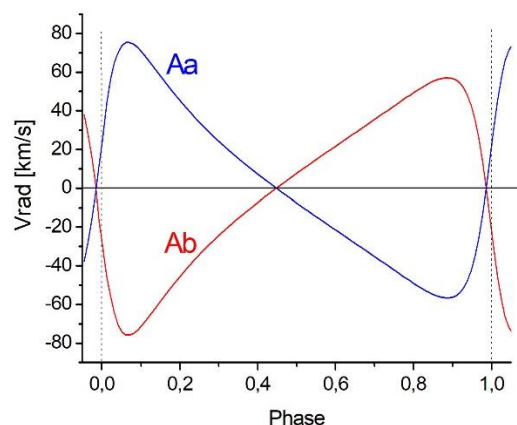


Abb. 3: Berechnete Radialgeschwindigkeiten von Aa und Ab, bezogen auf die Systemgeschwindigkeit, als Funktion der Phase [2]. Bei den Maxima der Kurven (bei 0,071 und 0,889) bewegen sich die Komponenten gegenläufig in Richtung der Sichtlinie, bei den Nullstellen (bei 0,451 und 0,985) senkrecht dazu. Das Periastron liegt dagegen etwas versetzt.

In den Spektren habe ich die Minimum-Positionen mit jeweils einer Gauß-Funktion angepasst. Verglichen werden diese mit dem Wert, den ich aus einem Spektrum nahe der Nullstellen der Radialgeschwindigkeiten bestimmt hatte. Aus den Verschiebungen lassen sich die individuellen Radialgeschwindigkeiten V_{rad} gemäß der Doppler-Formel

$$\Delta\lambda/\lambda = V_{rad}/c \quad (1)$$

mit c als Lichtgeschwindigkeit berechnen. Das Vorgehen ergab eine gute Übereinstimmung mit einem geschätzten Fehler von etwa ± 4 km/s.

Den Spektren kann man aber auch direkt die Differenzen der Radialgeschwindigkeiten, d. h. die Relativgeschwindigkeiten aus den Peak-Abständen entnehmen. Sie belaufen sich maximal auf immerhin um die 150 km/s. Der Vergleich mit berechneten Werten ist in der Abbildung 4 zu sehen. Die mittlere Abweichung der Messwerte von den berechneten beträgt ca. ± 6 km/s.

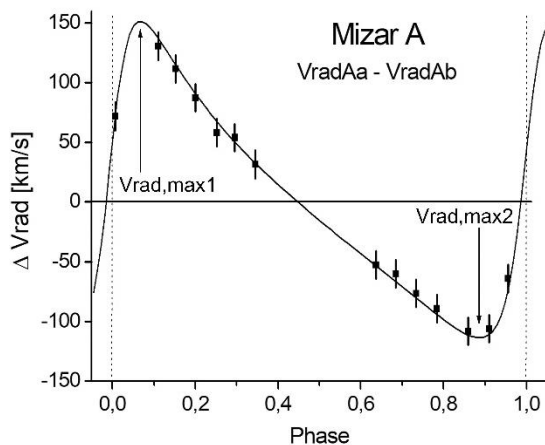


Abb. 4: Vergleich der gemessenen Differenzen der Radialgeschwindigkeiten von Aa - Ab (mit Fehlerbalken) mit den nach [2] berechneten.

Bei den Maxima in den Abbildungen 3 und 4 bewegen sich die Komponenten gegenläufig in Richtung der Sichtlinie, bei den Nullstellen senkrecht dazu. Die Periastron-Durchgänge bei den Phasen 0 und 1 liegen dagegen etwas versetzt, u. a. wegen der Exzentrizität und Neigung der Umlaufbahnen. Dabei sind die Steigungen der Kurven sehr steil. Hier ändern sich die Radialgeschwindigkeiten merklich schon innerhalb weniger Stunden. Im Bereich der Nullstellen konnten dagegen wegen der Linienbreite keine Aufspaltungen gemessen werden.

4. Diskussion und Fazit

Die Abbildung 5 veranschaulicht diese Relationen anhand der scheinbaren Bahn des Begleiters um den Hauptstern, wie sie am Himmel erscheint (bzw. bei ausreichender Auflösung erscheinen würde). Die Phasen von Periastron, der eigenen Beobachtungen und der Maxima und Nullstellen der Radialgeschwindigkeiten sind an der Bahn markiert. Die große Exzentrizität bewirkt eine starke Variation der Geschwindigkeit längs der Bahn, und aufgrund der Neigung im Raum erscheint sie perspektivisch stark gestaucht. Die Maxima und Nullstellen der Radialgeschwindigkeiten liegen nicht an den vertikalen bzw. horizontalen Tangenten der scheinbaren Bahn, was oft in schematischen Darstellungen des Systems suggeriert wird.

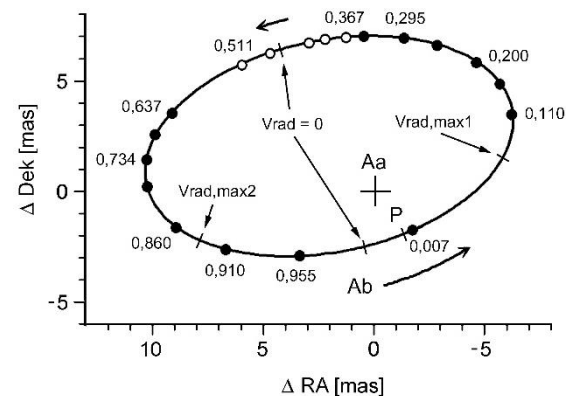


Abb. 5: Die scheinbare Bahn von Ab um Aa als Hauptstern (Kreuz), berechnet nach [2]. P bezeichnet das Periastron. Kreise mit Zahlen markieren die Phasen der eigenen Beobachtungen. Bei den Phasen mit offenen Kreisen konnte die H α -Linie nicht aufgelöst werden. Die Längen der Pfeile oben links bzw. unten rechts deuten die Variation der Bahngeschwindigkeit an. Die Phasen der maximalen Radialgeschwindigkeiten und der Nullstellen sind ebenfalls eingezeichnet.

Schon in den Spektren in der Abbildung 2 fiel auf, dass die beiden Komponenten nicht ganz identisch sind. Nach Referenz [2] ist die Masse der Komponente Aa etwas größer als von Ab. Entsprechend ist die Amplitude der Radialgeschwindigkeit von Aa (blaue Kurve in Abb. 3) etwas kleiner als die von Ab (rote Kurve). In den Spektren wandert die Absorptionslinie von Aa in den Phasen von etwa -0,96 bis 0,45 zu größeren Wellenlängen (in der Abb. 1 markiert mit blauen Punkten), d. h. Aa bewegt sich von uns weg, während das Umgekehrte für Ab gilt (rot markiert). Im weiteren Verlauf wechseln die Verhältnisse dann wieder. Das heißt, dass die etwas weniger tiefe Absorption bei H α (siehe Abb. 2) der etwas schwereren Komponente Aa zuzuschreiben ist.

Aus dem kleinen Unterschied der Absorptionsstärken bei H α kann man allerdings nicht ein-

deutig schließen, welche Komponente die hellere oder schwächere ist. Dazu ist der erfasste Wellenlängenbereich zu klein. Einen Hinweis ergab jedoch der Vergleich mit Spektren bei $H\alpha$, $H\beta$ und im Bereich der Ca-H- und K-Linien, die ich bei der Phase 0,91 aufgenommen habe. (Dieser Zustand ist ähnlich wie bei der Phase 0,86, der in der Abb. 2 dargestellt ist, nur ist die Aufspaltung von $H\alpha$ etwas geringer). Wie bei $H\alpha$ zeigen auch $H\beta$ sowie die meisten Metalllinien in der Umgebung von H8 und $H\epsilon$ ähnliche Intensitätsverhältnisse: rotseitig etwas tiefere Absorption als blauseitig. Dies wird in der Abbildung 6 gezeigt.

Bei der Ca II-K-Linie scheint zwar auf den ersten Blick das Verhältnis umgekehrt zu sein, doch wird dies vorgetäuscht durch die Überlagerung mit einer ebenfalls aufgespaltenen, benachbarten Fe-Linie. Die Ca II-H-Linie überlappt sowohl mit der breiten $H\epsilon$ -Linie als auch mit einer Fe-Linie, so dass eine Entfaltung unsicher ist. Die Aufspaltung der H8-Linie ist zwar angedeutet, aber das Intensitätsverhältnis nicht gut genug messbar (die Aufspaltung ist bei diesen kurzen Wellenlängen entsprechend der Doppler-Formel deutlich kleiner als z.B. bei $H\alpha$).

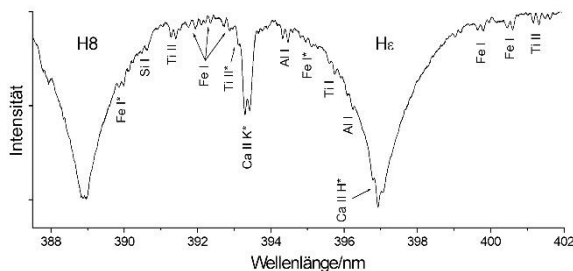


Abb. 6: Spektrum von Mizar A im Bereich der Ca II-H- und K-Linien bei der Phase 0,91. Außer den breiten und intensiven Linien von Wasserstoff $H\epsilon$ und H8 gibt es zahlreiche scharfe Doppellinien von neutralen (I) und ionisierten (II) Metallen mit qualitativ ähnlichen Intensitätsverhältnissen wie bei $H\alpha$.

In der Literatur wird die Möglichkeit ungleicher Helligkeiten der Komponenten auch beschrieben, doch wegen der Fehlermargen praktisch

nicht ernst genommen [3]. Der in [2] diskutierte kleine Unterschied in den Massen konnte hier mit den einfachen Mitteln eines Amateurs natürlich nicht verifiziert werden. Vielleicht bedeutet aber die Korrelation mit den Absorptionstiefen, dass der Helligkeitsunterschied real ist, wenn auch sehr klein.

Verweise

- [1] <https://wikipedia.org/wiki/mizar>
- [2] Behr, B. B., Andrew T. C., Hajian, A. R., McMillan, R. S., Murison, M., Meade, J., Hindsley, R., "Stellar Astrophysics with a Dispersed Fourier Transform Spectrograph. II. Orbits of Double-Lined Spectroscopic Binaries", The Astronomical Journal, 142:6 (2011).
- [3] Hummel, C. A., Mozurkevich, D., Armstrong, J. T., Hajian, A. R., Elias II, N.M., Hutter, D. J., "Navy Prototype Optical Interferometer Observations of the Double Stars Mizar A and Matar", The Astronomical Journal, 116:2536 (1998)



Rainer Anton hat sich schon in seiner Schulzeit für Astronomie interessiert, und später Physik und Astronomie studiert. Während eines Aufenthalts in den U.S.A. um 1980 hat er sich einem lokalen Amateurastronomie-Club angeschlossen und ein 10inch-Spiegelteleskop gebaut, das er auch heute noch für Messungen an Doppelsternen und für allgemeine Spektroskopie mit einem ebenfalls selbst gebauten Spektrographen benutzt. Außerdem ist er Mitglied im Verein „Internationale Amateur-Sternwarte“, der ein Observatorium in Namibia betreibt. Er hat seine Beobachtungen in mehreren Artikeln u. a. in „Sky & Telescope“, „Sterne und Weltraum“, im „VdS-Journal für Astronomie“ oder im „Journal of Double Star Observations“ veröffentlicht.

Das Doppelsternsystem ι Orionis A

Siegfried Holt⁺, Lothar Schanne⁺⁺

⁺ Schulberg 252, 8323 St. Marein, Austria, E-Mail: holdsiegfried@gmail.com (Corresponding author)

⁺⁺ Nordertorstraße 41, 26725 Emden, Germany, E-Mail: l.schanne@gmx.de

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird das binäre System ι Orionis, 44 Orionis, HD37043, untersucht. Mit dem bestehenden Datensatz wird der Orbit möglichst genau bestimmt. Auch Variationen in Linien sollen näher untersucht werden. Die Linien C III 4647/50/51 und 5696 zeigen um das Periastron Variationen in der Intensität. Ursache könnten Wechselwirkungen zwischen den Systemen sein. Wir zeigen in dieser Arbeit, dass auch mit den Mitteln des Amateurs gute Ergebnisse bei der Bestimmung von Orbitalelementen erzielt werden können.

Abstract

This article examines the binary system ι Orionis, 44 Orionis, HD37043. With the existing data set the orbit is determined as exactly as possible. Variations in the lines are also examined more closely. The lines C III 4647/50/51 and 5696 show variations in intensity around the periastron. The cause could be interactions between the systems. This work shows that good results can be achieved with the means of the amateur.

1. Einleitung

ι Orionis, 44 Orionis, HD37043 [1], ist ein stark exzentrisches binäres O9 III + B1 III System. Während der Periastronpassage kommt es zu Wechselwirkungen zwischen den Komponenten [2]. Ziel dieser Arbeit ist es in einem ersten Schritt, den Orbit möglichst gut zu bestimmen und zukünftig Variationen von Linien rund um das Periastron zu untersuchen. Von besonderem Interesse sind die C III Linien 4647/50/51 und 5696. Diese C III Linien reagieren besonders empfindlich auf gravitative Einflüsse [3].

2. Aufnahme der Messdaten

Als Aufnahmeinstrument kommt ein Schiefspiegler mit 300 mm Öffnung zum Einsatz. Der Echelle Spektrograph „FLISES“ [4] ist thermisch stabilisiert, um Einflüsse während der Integrationszeit möglichst gering zu halten. Gespeist wird der Spektrograph mit einer 50 μ m Faser, welche über die EasyFiber [5] mit dem Teleskop verbunden ist.

Die mittlere Auflösung $\lambda/\Delta\lambda$ beträgt 16.000. Die Dispersion beträgt 0,12 Å/Pixel. Als Kamera ist eine Moravian 1600 mit einer Pixelgröße von 9x9 μ m² im Gebrauch. Der für dieses Projekt eingestellte Wellenlängenbereich ist 3940 Å bis 8200 Å. Kalibriert wird mit einer ThAr-Lampe. Mit dieser Lampe ist gewährleistet, dass für den gesamten Messbereich genügend Linien zur Verfügung stehen. Das Licht der Kalibrierlampe

wird mit einer 200 μ m Faser über die Einkopplung [5] in die Objektfaser geleitet. Somit hat das Kalibrierlicht denselben Weg durch den Spektrographen wie das Objektlicht!

Die Dateneduktion erfolgt in ESO-MIDAS [6] mit dem Kontext BACHES. Die Routine kann die Objekt- und Kalibrierdaten in einem „Schuss“ verarbeiten.

3. Bestimmung der Orbitalelemente der Primärkomponente mit SpecRave

Im Windows-Programm SpecRave von Roland Bücke [9] werden nach dem Einlesen der Spektren die Spektrallinien manuell identifiziert (d.h. einem Element/Ion bzw. einem elektronischen Übergang wird eine spezifische Labor-Wellenlänge zugeordnet) und anschließend die reale Wellenlänge durch eine Anpassung einer Gauß-Funktion an die Linie bestimmt. Mit den bekannten Größen Beobachtungszeitpunkt, Koordinaten des Objekts und Koordinaten des Beobachters werden vom Programm die baryzentrisch korrigierten Radialgeschwindigkeiten ermittelt und aus der Zeitserie der Radialgeschwindigkeiten die Orbitalelemente berechnet.

Dies ist sicherlich die bequemste Methode, hat allerdings den Nachteil, dass nicht überprüft wird, ob die verwendeten Spektrallinien auch wirklich geeignet sind. Das Programm fittet die Spektrallinien als Gaußprofil und berechnet damit die Linienminima. Verändern sich allerdings

die Linienprofile phasenabhängig (was bei diesem SB2-Sternsystem zu erwarten ist), gehen diese Variationen in die gemessenen Linienminima ein und verschlechtern das Rechenergebnis für die Orbitalelemente, was am berechneten Phasenplot und den RMS (root mean square, mittlere Abweichung der berechneten von der gemessenen Radialgeschwindigkeit) erkennbar ist. Aus Gründen, die im nächsten Abschnitt erläutert sind, wurden für die Auswertung nur die drei Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592 verwendet. Das Ergebnis der Orbitalelementeberechnung mit SpecRave ist in Tab. 1 zu finden.

4. Ermittlung der Radialgeschwindigkeiten mit MIDAS und Bestimmung der Orbitalelemente der Primärkomponente mit mehreren Programmen

Die zweite Art der Auswertung ist die „harte Tour“. Dabei wurden in allen 34 aufgenommenen Spektren die 22 markantesten Spektrallinien mittels des Programmsystems ESO-MIDAS grafisch dargestellt und unter Anwendung des Befehls `center/gauss` die Wellenlängen der Linienminima durch Gauß-Profil-Anpassung bestimmt. Dabei wurden zuerst lediglich die Minima der helleren Komponente ι Ori Aa ausgemessen.

Diese Minima wurden in einem Tabellenkalkulationsprogramm zusammen mit dem Messzeitpunkt, dem zugehörigen Julianischen Datum (JD), der mit dem Befehl `compute/bary` berechneten baryzentrischen Korrektur und der Laborwellenlänge der Linie (aus [7] entnommen) eingetragen und daraus die baryzentrisch korrigierte Radialgeschwindigkeit RV (radial velocity) für den Messzeitpunkt und jede betrachtete Spektrallinie berechnet. So ergibt sich für jede Spektrallinie eine Zeitserie der baryzentrisch korrigierten RV bestehend aus jeweils 34 Einzelwerten. Dabei zeigte sich, dass die RV der drei Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592 am besten übereinstimmen, wohingegen die RV der anderen Linien vom Mittelwert dieser Linien unterschiedlich stark abweichen (siehe Tab. 1 im Anhang).

Mit dem Programm SBS (Spectroscopic Binary Solver, [8]) wurde die Zeitserie der RV-Mittelwerte der drei genannten Linien hinsichtlich Periode und Epoche untersucht. Die Periode ergibt sich zu 29,134 d und das JD des Periastrons zu $T_0=2458521,63$. Mit diesen beiden Werten konnten dann die Phasen zu den jeweiligen Messzeitpunkten (als JD) berechnet werden. Damit ließen sich nun Phasenplots für die RV der einzelnen Linien erstellen und mit dem Phasenplot der Mittelwerte der drei „guten“ Linien

vergleichen. Beispielhaft sind in den Abb. 1 bis 3 die Phasenplots für die Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592, sowie die H β -Linie und die He I 4388-Linie dargestellt.

Es zeigen sich deutliche Abweichungen für die H β - und die He I 4388-Linien, die folgende Systematik folgen: Im Phasenbereich 0 bis 0,35 sind die Abweichungen positiv, danach zwischen 0,35 und 1 negativ. Dies hängt vermutlich an Linienprofiländerungen, die durch das Spektrum der Sekundärkomponente verursacht werden, welches immerhin mit 12% zum gemessenen Summenspektrum beiträgt. Bei Phase 0,35 (entsprechend $RV \approx 25$ km/s, entspricht der Systemgeschwindigkeit) liegen die beiden Sterne projiziert auf unserer Sichtlinie hintereinander, so dass die Spektrallinien beider Sterne genau übereinander fallen und deshalb das Minimum der Summe beider Linien keine Verschiebung erfährt. Unter einer Phase von 0,35 bzw. darüber überlagert die Spektrallinie der Sekundärkomponente auf verschiedenen Seiten die Spektrallinie der helleren Primärkomponente und ändert dadurch das Linienprofil des gemessenen Summenspektrums mit einer entsprechenden Verschiebung des Minimums. Dieser Effekt ist an fast allen überprüften Spektrallinien in unterschiedlichem Maße zu sehen, je nachdem, wie groß der Helligkeitsunterschied der beiden Komponenten in der jeweiligen Linie ist.

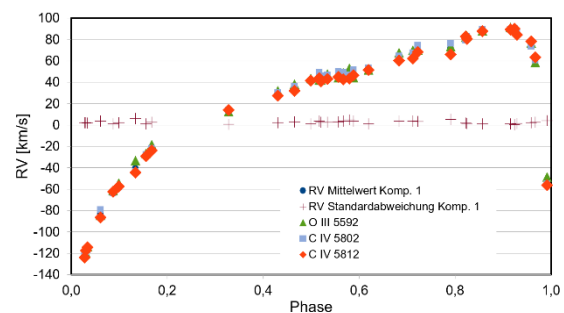


Abb. 1: Phasenplot der Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592 und des daraus gebildeten Mittelwerts. Die mittlere Standardabweichung beträgt 2,6 km/s.

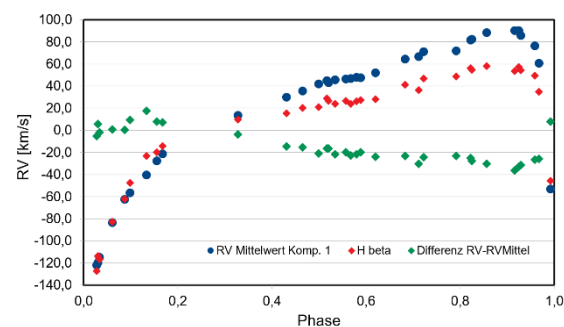


Abb. 2: Phasenplot der H β -Linie im Vergleich zum Mittelwert der drei Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592.

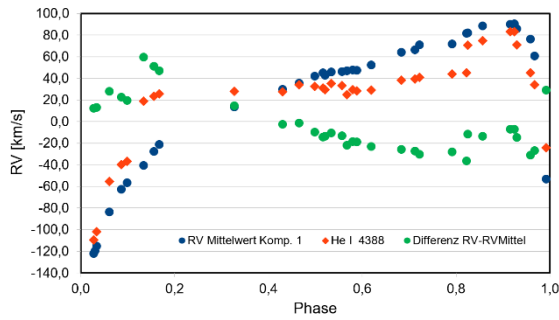


Abb. 3: Phasenplot der He I 4388-Linie im Vergleich zum Mittelwert der drei Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592.

Aus diesen Gründen wurde entschieden, die Bestimmung der Orbitalelemente der Primärkomponente nur mit dem Mittelwert der RV der Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592

durchzuführen. Diese optimierende Berechnung erfolgte mit drei unterschiedlichen Programmen:

1. SBS (Spectroscopic Binary Solver, [8]),
2. SpecTSA von Roland Bücke [9] und
3. SpecRave von Roland Bücke [9].

SBS ist ein Programm, welches auch von der professionellen Astronomie verwendet wird. Dabei zeigte sich, dass SBS die beste Anpassung der Messwerte an die berechneten Orbitalelemente gelang, erkennbar am günstigsten RMS und den Phasenplots. Insgesamt ist der Unterschied der Ergebnisse der drei Programme ausgesprochen gering, wie der Blick auf Tabelle 1 zeigt, die auch den Vergleich mit den Literaturwerten [2] erlaubt. Zur Bedeutung der Orbitalelemente siehe [10].

	Marchenko 2000	SpecRave	SBS	SpecTSA
Periode P [d]	29,13376	29,1031	$29,1341 \pm 0,0064$	$29,1016 \pm 0,002$
T_0 [JD]	2451121,158	2458696,580	$2458521,5168 \pm 0,086$	$2458696,503 \pm 0,058$
K_1 [km/s]	$111,9 \pm 2,5$	112,2	$112,73 \pm 1,14$	$111,9 \pm 2,0$
γ [km/s]	$31,3 \pm 1,2$	24,5	$23,58 \pm 0,43$	$25,2 \pm 0,6$
Exzentrizität e	$0,764 \pm 0,007$	0,748	$0,746 \pm 0,005$	$0,742 \pm 0,007$
ω [°]	$130,0 \pm 2,1$	124,0	$122,52 \pm 0,66$	$123,4 \pm 1,2$
$a \sin(i)$ [km]	$2,8898 \cdot 10^7$	$2,981 \cdot 10^7$	$3,0038 \cdot 10^7 \pm 3,62 \cdot 10^5$	-
RMS [km/s]		2,4	2,2	8,5

Tab. 1: Ergebnisse der Orbitalelementeberechnung für die hellere Komponente ι Ori Aa

	Marchenko 2000		Diese Arbeit	
	ι Ori Aa	ι Ori Ab	ι Ori Aa	ι Ori Ab
Periode P [d]	29,13376 (fixed)		$29,1377 \pm 0,0065$	
T_0 [JD]	$2451121,658 \pm 0,046$		$2458521,516 \pm 0,090$	
K_1 [km/s]	$111,9 \pm 2,5$	$195,7 \pm 4,3$	$115,1 \pm 1,2$	$180,3 \pm 2,4$
γ [km/s]	$31,3 \pm 1,2$	$20,4 \pm 2,1$	$23,85 \pm 0,61$	$33,94 \pm 1,49$
Exzentrizität e	$0,764 \pm 0,007$		$0,7556 \pm 0,0060$	
ω [°]	$130,0 \pm 2,1$		$125,29 \pm 0,55$	$305,29 \pm 0,55$
$a \sin(i)$ [km]	$2,8898 \cdot 10^7$	$5,062 \cdot 10^7$	$3,02 \cdot 10^7 \pm 5,2 \cdot 10^5$	$4,73 \cdot 10^7 \pm 7,5 \cdot 10^5$
$m \sin^3(i)$ [M_{sol}]	15,0	8,5	$13,34 \pm 0,85$	$8,52 \pm 0,55$
RMS [km/s]			3,4	

Tab. 2: Ergebnisse der Orbitalelementeberechnung mit SBS für beide Komponenten ι Ori Aa und Ab im Vergleich zu den Literaturwerten

5. Bestimmung der Orbitalelemente der Sekundärkomponente ι Ori Ab

Nachdem nun die Zuordnung der Messzeitpunkte zur Phase gelungen war, wurden in einem zweiten Anlauf die bedeutend schwächeren Linien der weniger hellen Komponente ι Ori Ab gesucht. Wir wurden im Phasenbereich 0,86 bis 0,13 fündig. Hier waren, insbesondere zwischen 0,95 und 0,05 bestimmte Linien beider Systemkomponenten voneinander getrennt bzw. als Schulter auf der Linie der Primärkomponente klar erkennbar: He II 6678, H α 6563,

He I 5876, He I 5016, He I 4922, H β 4861, He I 4713, He I 4471, He I 4388 und He I 4026.

Ein Beispiel ist in Abb. 4 gezeigt. Bei Phase 0,028 ist auf der langwelligen Seite bei 4927 Å die schwächere Linie der Sekundärkomponente deutlich von der Linie der Primärkomponente bei 4921 Å separiert. Bei Phase 0,323 liegen beide Linien übereinander. Bei Phase 0,857 bzw. 0,924 erscheint die schwächere Linie der Sekundärkomponente als Schulter auf der linken, kurzwelligen Seite der Linie der Primärkomponente.

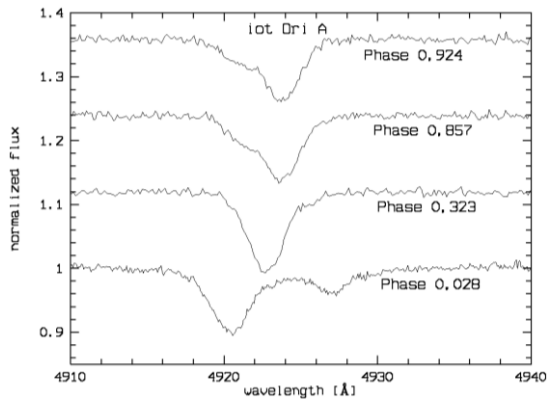


Abb. 4: Plots der He I 4922 Linie bei unterschiedlichen Phasen.

Die Minima der schwachen Linien der zweiten Komponente ι Ori Ab wurden – soweit erkennbar – mit MIDAS gemessen, daraus die baryzentrisch korrigierten Radialgeschwindigkeiten berechnet und für jedes Messdatum ein Mittelwert gebildet. Diese Mittelwerte sind Tab. 1 im Anhang mit dem Messzeitpunkt gelistet. Mit diesen Werten und den Radialgeschwindigkeiten der Primärkomponente wurde wiederum das Programm SBS benutzt und für beide Sterne die Orbitalelemente ermittelt. Das Phasendiagramm ist in Abb. 5 gezeigt.

Die Ergebnisse sind in Tab. 2 im Vergleich mit den Literaturwerten aufgelistet. Glaubt man den ausgewiesenen statistischen Fehlern der Rechenergebnisse, stellen unsere Orbitalelemente eine Verbesserung der Literaturwerte dar.

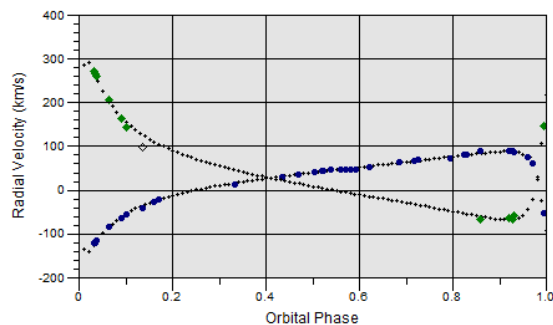


Abb. 5: Phasendiagramm als Screenshot aus SBS als Auswertungsergebnis für beide Sterne ι Ori Aa und Ab. Blaue Messpunkte = Primärkomponente, grüne Messpunkte = Sekundärkomponente.

6. Ausblick

Ziel ist es in Zukunft, die Anzahl von Messdaten am Periastron zu erweitern: zum einen werden die Orbitalelemente verbessert und zum anderen Linien auf Variationen während der Periastron-Passage untersucht. Hier werden speziell die schon erwähnten C III-Linien 4647/50/51

und 5696 beobachtet. Ferner sind die Gründe für die Abweichungen der Radialgeschwindigkeiten vieler Linien zu C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592 genauer zu untersuchen.

Mit dem nun bestehenden Datensatz kann der Zeitpunkt für das Periastron in den nächsten Beobachtungsperioden gut vorausberechnet werden. Ziel ist die Periastron-Passage (Phasenbereich 0,85 bis 1,15) lückenlos mit Beobachtungen abzudecken.

Danksagung

Wir danken Herrn Ulrich Waldschläger für die Messung und Überlassung des Spektrums vom 21.3.2020.

Literatur

- [1] Überblick siehe https://en.wikipedia.org/wiki/Iota_Orionis
- [2] S. V. Marchenko et al., MNRAS 317 (2000) 333
- [3] T. Shenar et al., ApJ 809 (2015) 135
- [4] D. Sablowski, Spektrum – Mitteilungsblatt der FG Spektroskopie in der VdS 46 (2014) 10
- [5] S. Hold, VdS Journal für Astronomie 51 (2014) 131
- [6] ESO-MIDAS <http://www.eso.org/sci/software/esomidas/>
- [7] C. E. Moore, A Multiplet Table of Astrophysical Interest, Part II Finding List, Contributions from the Princeton University Observatory, No. 20, 1945
- [8] D. O. Johnson, Spectroscopic Binary Solver, JAD 10 (2004) 3, im Internet unter kostenlos erhältlich http://www.shelyak-instruments.com/Web/sbs/JAD10_3.zip
- [9] <https://astro.buecke.de/software.html>
- [10] L. Schanne, VdS Journal für Astronomie, 30 (2009) 14

Anhang

LfdNr	Julianisches Datum JD	RV [km/s]	
		Primärkomponente	Sekundärkomponente
1	2458542,375	66,43	
2	2458548,302	90,05	-65,195
3	2458553,295	-62,50	162,351
4	2458555,302	-27,72	
5	2458560,313	13,32	
6	2458563,311	29,84	
7	2458564,326	35,42	
8	2458565,300	42,02	
9	2458566,328	45,80	
10	2458567,290	46,90	
11	2458857,268	42,94	
12	2458858,322	46,37	
13	2458859,243	47,38	
14	2458870,288	60,78	
15	2458872,236	-115,03	259,505
16	2458886,291	45,04	
17	2458889,291	52,17	
18	2458892,282	71,09	
19	2458894,293	71,82	
20	2458895,279	82,14	
21	2458898,311	85,86	-59,328
22	2458901,265	-119,69	267,170
23	2458903,250	-56,54	144,231
24	2458904,268	-40,60	98,437
25	2458905,250	-21,33	
26	2458917,257	47,82	
27	2458920,284	64,18	
28	2458924,334	81,44	
29	2458925,331	88,42	-66,388
30	2458927,302	90,29	-65,651
31	2458928,305	76,26	
32	2458929,263	-53,30	146,215
33	2458930,316	-122,03	272,574
34	2458931,290	-83,41	206,685

Tab. 1: Einzelmessungen mit Beobachtungszeitpunkten (Julianisches Datum JD) und gemessenen baryzentrisch korrigierte Radialgeschwindigkeiten der helleren Primärkomponente ι Ori Aa (Mittelwert der Radialgeschwindigkeiten aus den 3 Linien C IV 5812, C IV 5802 und O III 5592) und der Sekundärkomponente ι Ori Ab (verschiedene Linien wie in Abschnitt 5)



Seit seiner Jugend beschäftigt sich **Siegfried Hold** mit Astronomie. In den letzten 10 Jahre ist die Spektroskopie, und damit der Einblick in die physikalischen Vorgänge der Sterne, in den Mittelpunkt gerückt. Der Bau eines Echelle-Spektrographen und die Auswertung der damit gewonnenen Daten bilden einen vorläufigen Höhepunkt.



2004 begann sich **Lothar Schanne** zunehmend für Astronomie zu interessieren. Nach anfänglichen Versuchen mit kleineren Teleskopen und Montierungen sowie der Astrofotografie baute er 2007 eine eigene Sternwarte mit einem C14-Teleskop auf, damit er sich der zwischenzeitlich entdeckten astronomischen optischen Spektroskopie ausgiebig widmen konnte. Nach der Verwendung seines Selbstbau-Spektrographen („Mäusevilla“) kaufte er einen der ersten LHIRES III-Spektrographen von Shelyak und arbeitete mit diesem Arbeitspferd jahrelang bis aus privaten Gründen die Sternwarte aufgeben wurde. Parallel entwickelte und baute er Echelle-Spektrographen, hielt als Referent Vorträge, führte Spektroskopiekurse durch und unterstützte Schüler in Sachen Astrospektroskopie. Ein Höhepunkt war die Herausgabe des Buches „Astrophysikalische Instrumentierung und Messtechnik für die Spektroskopie“ im Jahr 2018.

Versuch der spektroskopischen Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit sowie Berechnung des Durchmessers von Jupiter

Bernd Hanisch

Am Bahnhof 8a, 15326 Lebus, Germany, E-Mail: bernd.hanisch1@gmx.de

Zusammenfassung

Während meines diesjährigen Sternwartenaufenthaltes in Sohland vom 12.-16. September 2020 unternahm ich den Versuch, mittels Spektroskopie die Rotationsgeschwindigkeit an der äquatornahen Oberfläche des Planeten Jupiter zu bestimmen sowie unter Verwendung der aus der Literatur bekannten Rotationsperiode daraus dessen Durchmesser zu berechnen.

Abstract

During my last visit at the observatory in Sohland (2020 September 12th-16th) I tried to measure the rotation velocity of Jupiter by means of spectroscopy of the reflected surface light close to the equator. Additional I deduced the radius of the planet based on the rotation period from the literature.

Received: 2020-10-30, Accepted: 2020-11-10



Abb. 1: Der Autor am 14"-MEADE LX 200 f/10 der Sternwarte Sohland mit Spektrograf LHIREs III; Foto: Wolfram Fischer

Als Instrumentarium für dieses Vorhaben diente ein unlängst von der französischen Firma

Shelyak Instruments erworbener Spaltspektrograf LHIREs III mit einem 2400 Linien/mm-Gitter sowie einem Auflösungsvermögen im Bereich der H-Alpha-Linie von ca. 17000. Dieser Spektrograf wurde am 14"- MEADE LX 200 f/10 der Sternwarte angebracht. Zur Detektion des Spektrums fand eine CCD-Kamera STF 8300 M der Firma SBIG Anwendung. Die gesamte Messanordnung zeigt Abbildung 1.

Einen Ausschnitt aus dem mit dieser Apparatur gewonnenen Jupiterspektrum zeigt Abbildung 2. Zunächst ist festzustellen, dass die in diesem Spektralbereich sichtbaren Linien unterschiedliche Orientierungen aufweisen. Alle Linien, welche eine Orientierung wie jene mit der grünen Pfeilmarkierung aufweisen, gehören **nicht** zum Jupiter, sondern resultieren aus dem Wasserdampf der Erdatmosphäre. Die Linien mit einer deutlichen Schrägstellung nach rechts (wie die mit dem roten Pfeil markierte Linie oder H α) resultieren aus dem an der Jupiteratmosphäre reflektierten Sonnenlicht. Nur diese Linien sind zur Bestimmung der Bewegungsabläufe der Jupiteroberfläche und damit zur Ermittlung der Rotationsgeschwindigkeit brauchbar.

Aus der Schrägstellung dieser Linien lässt sich folgendes ableiten: Die Position der Linie am oberen Rand des Spektrums besitzt eine geringere Wellenlänge als die Position der Linie am unteren Rand des Spektrums, da das kurzwelligere Ende des Spektrums in Abbildung 2 auf der linken Seite liegt. Aus dem Doppler-Effekt lässt sich ableiten, dass der obere (kurzwelligere) Rand des Jupiterspektrums jene Region der Atmosphäre repräsentiert, die sich auf uns zu bewegt, während der untere (langwelligere)

Rand des Spektrums den sich von uns wegbe-
wegenden Atmosphärenbereich zeigt. Abbil-
dung 3 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

Zur Ermittlung der Rotationsgeschwindigkeit
des Jupiters in der Äquatorregion muss die Dif-
ferenz der Wellenlänge einer vom Jupiter stam-
menden Spektrallinie vom oberen zum unteren
Rand des Spektrums ermittelt und mit Hilfe der

Doppler-Formel in eine Geschwindigkeit umge-
rechnet werden. Zu berücksichtigen ist ferner,
dass aufgrund der Bauart des Spektrografen in
Littrow-Anordnung die Linien flächenhafter Ob-
jekte auch ohne Bewegungsprofil leicht ge-
krümmt sind und somit auch die Wasserlinien
nicht exakt senkrecht im Spektrum angeordnet
sind.

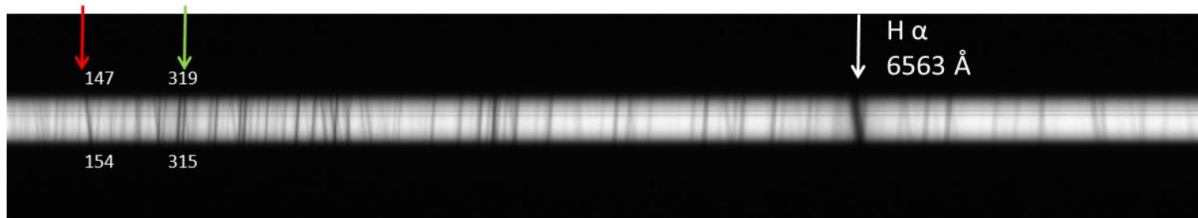


Abb. 2: Spektrum des Jupiters im roten Bereich von ca. 6450 Å (linker Rand) bis 6590 Å (rechter Rand), aufgenommen am 15.09.2020 von 21:43-21:46 Uhr MESZ in der Sternwarte Sohland/Spree von Bernd Hanisch. Die Zahlen oberhalb und unterhalb des Spektrums bezeichnen exemplarisch die Pixelpositionen einer Jupiterlinie (roter Pfeil) und einer Wasserlinie (grüner Pfeil) an den Rändern des Jupiters.

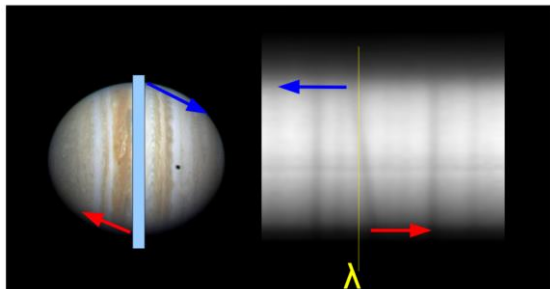


Abb. 3: Schrägstellung der Spektrallinien durch die Rotation des Jupiters in der Äquatorebene, Bildquelle: aus Shelyak Instruments, LHIRES III User Guide, DC 0004A, Dec. 2006, S. 38

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, ergibt sich zwi-
schen oberem und unterem Spektrenrand eine
Verschiebung der Jupiterlinien um insgesamt
11 Pixel (7 Pixel aus der Jupiterlinie und 4 Pixel
aus der nicht rotationsbedingt schräg gestellten
Wasserlinie in gegenläufiger Richtung).

Die Dispersion des Spektrografen beträgt im
Bereich der H-Alpha-Linie 0,075 Å/Pixel. Somit
entsprechen 11 Pixel einer Wellenlängendiffe-
renz von 0,825 Å. Gemäß der Dopplerformel

$$c \cdot \Delta\lambda / \lambda = v_{rot} \quad (1)$$

mit $\Delta\lambda$ als Wellenlängendifferenz einer Linie
vom oberen zum unteren Spektrenrand in Å, λ
als Ruhewellenlänge der Spektrallinie in Å, c die
Lichtgeschwindigkeit in km/s, v_{rot} die Rotations-
geschwindigkeit des Jupiters in km/s, ergibt sich
für die in Abbildung 2 rot markierte Linie bei
6464 Å zunächst eine Geschwindigkeit von:

$$0,825 \text{ Å} / 6464 \text{ Å} \times 299792 \text{ km/s} = 38,3 \text{ km/s.}$$

Die tatsächliche Rotationsgeschwindigkeit des
Jupiters im Äquatorbereich ergibt sich nun aus
 $\frac{1}{4}$ dieses Wertes, weil:

- sich der auf uns zu und sich von uns weg-
bewegende Jupiterrand gemeinsam gemes-
sen wird, daher Division durch den Faktor 2,
und
- es sich bei Planeten um reflektiertes Son-
nenlicht handelt und somit der Doppler-Ef-
fekt zweifach zu berücksichtigen ist, daher
nochmalige Division durch den Faktor 2.

Somit lässt sich aus dem in Abbildung 2 darge-
stellten Spektrum anhand der Linie bei 6464 Å
eine Rotationsgeschwindigkeit an der Jupiter-
oberfläche von

$$38,3 \text{ km/s} / 4 = 9,56 \text{ km/s}$$

ableiten. Unter Annahme einer Rotationsperi-
ode des Jupiters von 9 h 55 min 30s (35730 s)
[1] ergibt sich aus der ermittelten Rotationsge-
schwindigkeit von 9,56 km/s gemäß der Formel

$$D = P / \pi \cdot v_{rot} \quad (2)$$

mit D dem gesuchten Durchmesser des Jupi-
ters in km, P der Rotationsperiode in s, v_{rot} der
ermittelten Rotationsgeschwindigkeit in km/s
ein Äquatordurchmesser von 108830 km.

Verglichen mit den Literaturwerten aus [1] von
12,56 km/s für die Rotationsgeschwindigkeit am
Äquator bzw. einem Äquatordurchmesser von
142984 km sind die aus dem Spektrum ermit-
telte Werte jedoch zu gering.

Im Rahmen einer Fehleranalyse ist u.a. folgen-
des zu berücksichtigen:

1. Die Positionierung des Spektrografenspaltes in die Äquatorebene des Jupiters war möglicherweise nicht optimal. Die Rotationsgeschwindigkeit nimmt zum Pol hin ab.
2. Die genaue Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit müsste an mehreren Linien unter Bildung des Mittelwertes erfolgen.
3. Aufgrund der momentan sehr südlichen Deklination des Jupiters und der damit einhergehenden großen Luftunruhe in Horizontnähe sind die Messungen prinzipiell nicht sehr genau.

Dennoch komme ich zu dem Schluss, dass sich dieses Experiment durchaus gelohnt hat. Ich werde es unter besseren Bedingungen noch einmal wiederholen.

Literatur:

[1] [https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(Planet\)#cite_ref-daten_1-1](https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(Planet)#cite_ref-daten_1-1)

Bernd Hansich ist als Chemiker im Bereich Chemikaliensicherheit/Gefahrstoffüberwachung beim Land Brandenburg beschäftigt. Verschiedene spektroskopische Analysenverfahren begleiten ihn tagsüber während seiner beruflichen Tätigkeit. In den Nächten spektroskopiert er seit 37 Jahren zunächst mit verschiedenen Objektivprismenspektrographen, später aber auch mit den Gitterspektrographen DADOS und LHIRES schwerpunktmäßig 20 ausgewählte Be-Sterne. In der Volks- und Schulsternwarte „Bruno H. Bürgel“ in Sohland an der Spree ist er seit 45 Jahren Gastbeobachter.

Your Fachgruppe still needs you!

Administrator (m/w/d) für die Fachgruppenwebseite gesucht!

Seit über einem Jahr ist Webmasterposten verwaist! Dies ist an der Aktualität der Webseite für alle sichtbar. Bitte überdenke, ob Du nicht für die Fachgruppe aktiv tätig werden willst.

Bei Interesse bitte bei Gerrit Grutzeck melden.

Bitte vormerken:

ASpekt21

Jahreskonferenz der Fachgruppe Spektroskopie in der VdS e.V.

Annual Conference of Section Spectroscopy of German Amateurastronomical Society VdS e.V.

**17.-19. September 2021 oder 24.-26. September 2021,
Johanneum Gymnasium, Lübeck, Germany**

SARS-CoV-2 macht die Planungen nach wie vor schwierig. Deshalb lag der genaue Termin zum Redaktionsschluss noch nicht fest.

Zu dieser Tagung laden wir alle spektroskopisch interessierten Astronomen ein, insbesondere EinsteigerInnen und junge Kolleginnen und Kollegen. Eine VdS-Mitgliedschaft ist nicht nötig. Mit Vorträgen, Workshops und einer Poster- und Gerätesession aus dem Teilnehmerkreis (Vortragsanmeldungen beim Tagungsteam) tauschen wir uns aus und besprechen offene Fragen zur Spektroskopie.

Konferenzsprachen / Conference Languages: Deutsch and English

Erstmals werden wir neue digitale Wege ausprobieren, um neben dem Präsenztreffen vor Ort weitere Teilnahmemöglichkeiten anzubieten.

Detaillierte Informationen folgen in Kürze / Detailed information will follow soon:

<http://spektroskopie.vdsastro.de/konferenz.html>

Anmeldung / Registration: aspekt@sternwarte-luebeck.de

unter Angabe von

Name und vollständiger Postadresse mit PLZ, Ort, Straße, Hausnummer, Land, E-Mail-Adresse

Für junge Teilnehmer (Schüler, Studenten) haben wir wie bisher einen Hilfsfond eingerichtet, mit dem wir auf Anfrage einen vertraulichen Zuschuss anbieten können.

VEGA 2021

International Spectroscopy Symposium for Amateurs

in Salzburg, Austria

October 28 - October 30 or 31, 2021

Conference Language: English

Info: <https://www.astrophoto.at/VEGA/index.html>

Nur für Mitglieder der Fachgruppe Spektroskopie in der
Vereinigung der Sternfreunde e.V.

For members of the Section Spectroscopy
of the Society of German Amateur Astronomers only.

Besuchen Sie / Visit

<http://spektroskopie.vdsastro.de>

**und werden Sie Mitglied. Einfach per Mail an den Sprecher
der Fachgruppe.**

**and become a member by sending an e-mail to the spokes-
man of the section.**