jugend forscht
schüler experimentieren

Projekttitel	**Ausdehnung des Krebsnebels M1 als Ergebnis der Supernova des Jahres 1054**
Wettbewerbsjahr	2023
Wettbewerbsname	Regionalwettbewerb Solingen
Bundesland	Nordrhein-Westfalen
Sparte	Jugend forscht
Fachgebiet	Geo- und Raumwissenschaften

Teilnehmer 1 / Gruppensprecher	**Ali Eren Varisli** (18 Jahre, 13.11.2004)
Teilnehmer 1 - Schule	Städt. Gymnasium, Wuppertal

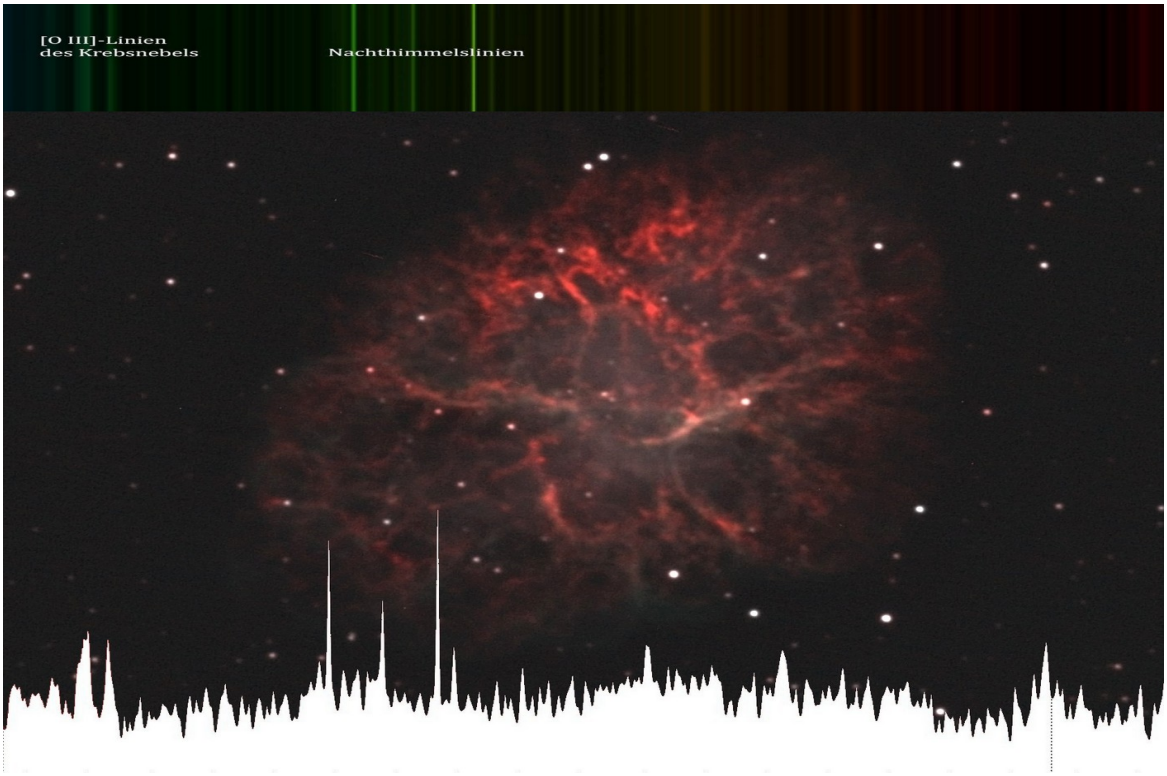
Erarbeitungsort	Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal
Projektbetreuer	Bernd Koch
Patent	Nein
Projekt mit Tieren	Nein
Projektnummer	99077
Standnummer	JG002
Finalisierte Version	Ja

Kurzfassung

Am Ende des Lebens eines mehr als acht Sonnenmassen großen Sterns endet die Energieerzeugung im Zentrum. Aufgrund des fehlenden Strahlungsdrucks stürzt infolge der Gravitation die äußere Hülle auf den Kern und wird daraufhin in Form einer Druckwelle in den Weltraum geschleudert, hier sichtbar als sogenannter Krebsnebel Messier 1. Zurück bleibt ein 30 Mal pro Sekunde rotierender Neutronenstern, ein Pulsar. Im Januar 2022 habe ich den Supernovarest im Rahmen eines schulischen Projekts fotografiert und durch Vergleich mit einer Aufnahme des Jahres 1909 den Zeitpunkt der Explosion berechnet. Das Resultat wurde im Kontext der historischen Daten diskutiert. Des Weiteren habe ich zur Berechnung der Expansionsgeschwindigkeit des Nebels ein Spektrum aus dem Jahr 2016 ausgewertet. Mit diesen astrofotografischen und spektroskopischen Ergebnissen ließen sich Entfernung und Ausdehnung des Krebsnebels bestimmen.

Jugend forscht 2023

Ausdehnung des Krebsnebels M1 als Ergebnis der Supernova des Jahres 1054



Teilnehmer: Ali Eren Varisli - ali.eren.varisli@gymvoh.de

Entstehungsort: Städtisches Gymnasium Vohwinkel, Nocken 6, 42329 Wuppertal

Betreuer: Bernd Koch – Bernd.Koch@astrofoto.de, Schülerforschungszentrum Wuppertal am Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Jung-Stilling-Weg 45. 42349 Wuppertal

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung....1
2 Einleitung....2
3 Methode....2
3.1 Astrospektroskopie....2
3.1.1 Energiestufenmodell....2
3.1.2 Verbotene Linien....2
3.1.3 Dopplerverschiebung....3
4 Arbeitshypothese....3
5 Versuchsdurchführung....4
5.1 Material....4
5.1.1 Teleskop....4
5.1.2 Spektograf....4
5.2 Bestimmung des Datums der Supernova SN1054....5
5.2.1 Aufnahme einer Deep Sky Aufnahme des Krebsnebels....5
5.2.2 Zusammenfassung der Auswertung und Diskussion der Bestimmung der Zeit der Supernova SN1054....6
5.3 Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Krebsnebels....7
5.3.1 Auswertung des Spektrums aus dem Jahr 2016....7
5.3.2 Diskussion des Ergebnisses....10
5.4 Berechnung des Durchmessers des Krebsnebels....10
5.4.1 Berechnung des Durchmessers des Krebsnebels mithilfe der vorherigen Versuchsergebnisse....10
5.4.2 Diskussion des Wertes für die Fläche des Krebsnebels....10
6 Fazit....11
7 Danksagung....12
8 Abschlusserklärung....12
9 Anhang....12

1 Kurzfassung

Am Ende des Lebens eines mehr als acht Sonnenmassen großen Sterns endet die Energieerzeugung im Zentrum. Aufgrund des fehlenden Strahlungsdrucks stürzt infolge der Gravitation die äußere Hülle auf den Kern und wird daraufhin in Form einer Druckwelle in den Weltraum geschleudert, hier sichtbar als sogenannter Krebsnebel Messier 1. Zurück bleibt ein 30 Mal pro Sekunde rotierender Neutronenstern, ein Pulsar. Im Januar 2022 habe ich den Supernovarest im Rahmen eines schulischen Projekts fotografiert und durch Vergleich mit einer Aufnahme des Jahres 1909 den Zeitpunkt der Explosion berechnet. Das Resultat wurde im Kontext der historischen Daten diskutiert. Des Weiteren habe ich zur Berechnung der Expansionsgeschwindigkeit des Nebels ein Spektrum aus dem Jahr 2016 ausgewertet. Mit diesen astrofotografischen und spektroskopischen Ergebnissen ließen sich Entfernung und Ausdehnung des Krebsnebels bestimmen.

2 Einleitung

Der Krebsnebel entstand aus der Supernova SN 1054, bei welcher sich ein massereicher Stern am Ende seines Schalenbrennens in einen roten Überriesen aufblies, dessen äußere Schale in sich zusammenstürzte, als ihm der Treibstoff ausging und zum Ereignis der Supernova führte. Aufgrund des rapiden Kollapses der äußeren Sternhülle wurden alle inneren Gase des Sterns in die unmittelbare Umgebung abgegeben. Diese sind die Nebelstrukturen, die wir heute beobachten können. Der Kern des Sterns wurde ebenfalls von diesem Ereignis betroffen. Hier entstanden während der Implosion des Sterns Neutronen, die die Implosion in der Kernregion zwar stoppten, es aber nicht verhindern konnten, dass die magnetischen Felder und die Rotation des Kerns zusammenbrechen. Dies führte dazu, dass sich der ehemalige Kern in einen Neutronenstern, genauer gesagt einem Pulsar verwandelte, welcher mit einer Drehgeschwindigkeit von ca. 33,5 ms rotiert und Licht aus seinem magnetischen Nord- und Südpol emittiert.

Im vergangenen Jahr habe ich mich bereits im Rahmen eines Projektkurses am Carl-Fuhlrott-Gymnasium in Wuppertal mit dem Krebsnebel M1 und seinem Pulsar PSR B0531+21 beschäftigt, welcher das Produkt der Supernova SN 1054 ist. Hierbei habe ich vor allem versucht, das Datum der Supernova anhand des Vergleichs mit einer alten Aufnahme aus dem Jahr 1909 und meiner eigenen Aufnahme aus dem Jahr 2022, welche ich im Rahmen des Kurses aufgenommen und ausgewertet habe, zu ermitteln. Daraufhin habe ich beschlossen, diese Erkenntnisse im Rahmen eines Jugend Forscht Projekts zu vertiefen. Hierfür wollte ich ursprünglich ein Spektrum des Krebsnebels aufnehmen, um daraus die Ausbreitungsgeschwindigkeit zu ermitteln. Da dies jedoch aufgrund der Wetterlage im Forschungszeitraum nicht möglich war, habe ich von meinem Betreuer, Bernd Koch, ein Spektrum aus dem Jahr 2016 zur Verfügung gestellt bekommen, welches er selber spektroskopiert hat. Aus diesen Datensätzen habe ich schließlich erfolgreich Werte für das Datum der Supernova SN1054, der Ausbreitungsgeschwindigkeit und dem Durchmesser des Nebels berechnet, welche jedoch ein wenig von den aktuellen Literaturwerten abweichen.

3 Methode

3.1 Astrospektroskopie

Bei der Astrospektroskopie untersucht man die Spektrallinien von Planeten, Sternen und Gasnebeln. Bei diesen handelt es sich um Licht, welches in seine Bestandteile zerlegt wird und dadurch Ausschluss über die Eigenschaften des spektroskopierten Objekts geben kann.

3.1.1 Energiestufenmodell

Das Energiestufenmodell beschreibt den inneren Aufbau von Atomen und gliedert die Atomhüllen nach Ernest Rutherford's Kern-Hülle-Modell in Energiestufen. Hierbei werden die Atomhüllen als Energiestufen gesehen, die eine Hierarchie zwischen den Elektronen eines Atoms bilden. Diese können bspw. durch Ionisierungsenergie aus dem Atom gerissen werden. Wenn sie jedoch Energien unter der Ionisierungsenergie zugeführt bekommen, können sie für einen kurzen Moment auf eine höhere Energiestufe gelangen, auf welchen sie jedoch instabil sind und deshalb nur sehr kurz verweilen. Diese Vorgänge nennt man Emission. Sie beinhalten viele Informationen, wie bspw. über die Zusammensetzung des Atoms. Diese kann man erlangen, indem man Licht spektroskopiert und die einzelnen Spektrallinien analysiert, die einem Auskunft über die unterschiedlichen Emissionen geben.[1]

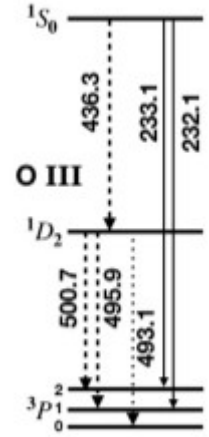


Abbildung 1: Energiestufen der verbotenen [OIII]-Linien

1 https://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch

3.1.2 Verbotene Linien

Manche Übergänge im Energiestufenmodell werden als verbotene Übergänge bzw. verbotene Linien (engl. forbidden lines) bezeichnet. Diese Übergänge sind zwar nicht physikalisch unmöglich, können jedoch nicht unter Laborbedingungen nachgestellt werden und treten in der Natur sehr selten auf. Die verbotenen Linien, welche besonders wichtig für meine Forschung sind einfach ionisierter Stickstoff bzw. [NII] und zweifach ionisierter Sauerstoff [OIII]. Hierbei ist der zweifach ionisierte Sauerstoff für mich von größter Bedeutung, da meine Messung an der dopplerverschobenen [OIII] Linie des Nebels sein wird. Diese ist im sichtbaren Spektrum grundsätzlich primär bei einer Wellenlänge von 5007Å und sekundär bei einer Wellenlänge von 4959Å erfassbar.[2]

3.1.3 Dopplerverschiebung

Die Dopplerverschiebung beschreibt die observierbare Veränderung von Signalen, die relativ von der Bewegung zwischen eines Beobachters und eines Signalursprungs abhängig zu sein scheinen. Diese manifestiert sich in der Spektroskopie auch als Rot- und Blauverschiebung in Sternspektren. Hierbei bewegt sich ein rot verschobenes Objekt von uns weg, während sich ein blau verschobenes Objekt auf uns zu bewegt.
Bereits in den 1910er Jahren bemerkte der U.S. amerikanische Astronom Vesto Slipher eine mysteriöse Aufspaltung in den Spektrallinien des Krebsnebels und vermutete, dass dies an der Aufspaltung und Verschiebung von Molekülen und Atomen in einem statischen elektrischen Feld im Weltall lag (Stark-Effekt). Der Astronom Roscoe Frank Sanford hatte jedoch eine etwas andere Theorie, die besagte, dass dieses Phänomen auch an entgegengesetzten Dopplerverschiebungen liegen könnte, die zwischen Geschwindigkeiten von -600 bis -1000 km/s und 1620 bis 1750 km/s liegen. [3]
Dies ist heute die gängige Erklärung für dieses Phänomen, welches sich bis heute bewährt hat.
Aus diesem Ansatz werde ich im Laufe der Arbeit mithilfe des Programms BASS die Rot- und Blauverschiebung in einem Spektrum des Krebsnebels das Zentrum als ruhend annehmen, um dadurch die Geschwindigkeitskomponente des Sterns in radialer Richtung zu bestimmen.[4]

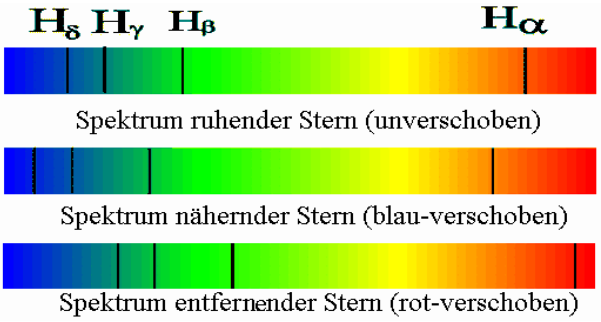


Abbildung 2: Rot-Blau-Verschiebung veranschaulicht an einem Sternspektrum

4 Arbeitshypothese

Bei meinen Berechnungen erwarte ich grundsätzlich keinen großen Unterschied zu den Literaturwerten, da sich die von mir gemessenen Parameter des Krebsnebels in den letzten Jahren nicht fundamental geändert haben. Dennoch denke ich, dass es zu gewissen Abweichungen kommen kann, da beispielsweise die Parameter zur Berechnung der Fläche auf zwei Schülerexperimenten/ Schülerauswertungen beruhen und dadurch selber Messungenauigkeiten beinhalten. Aus diesem Grund würde mich vor allem bei dem berechneten Durchmesser kein hoher Abweichungswert vom Literaturwert wundern. Das Experiment zur Berechnung des Explosionsdatums der Supernova und die Auswertung des bereitgestellten Spektrums sollten wiederum nicht sehr weit von den Literaturwerten liegen und maximal eine Abweichung von 10 % bis 15 % besitzen.

2 https://faculty.up.edu/lulay/EGR491/Notes-AtomicSpectroscopy.pdf
3 *Spectrum of the Crab Nebula*. In: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. Band 31,Nr.180, 1919,S.108–109,bibcode:1919PASP...31..108S
4 https://www.leifiphysik.de/optik/wellenmodell-des-lichts/versuche/rot-und-blauverschiebung

5 Versuchsdurchführung

5.1 Material

5.1.1 Teleskop

Die Aufnahme des Krebsnebels, durch welche ich den Zeitpunkt der Supernova SN1054 datiert habe, ist das 0,51m Planewave-Teleskop am CFG, welcher grundsätzlich aus einem CDK20 Astrografen mit einer 3147mm langen Brennweite und einer GM4000 HPS II GOTO Montierung besteht.

Abbildung 3: Bild des 0.51m Planewave-Teleskops

Abbildung 4: Bild der GM4000 HPS II GOTO Montierung

Abbildung 5: Bild des CDK20 Astrografen

5.1.2 Spektograf

Bei dem von genutzten Spektrografen handelt es sich um einen Spaltspektrografen mit einem 900 L/mm Gitter und den Spaltbreiten 25 µm, 35 µm und 50 µm . Dieses wird von dem Baader Planetarium hergestellt und kann ganz allgemein Licht in seine Bestandteile zerlegen und Spektren erzeugen, welche dann anschließend ausgewertet werden können. Das Licht gelangt durch das Guiding Port des Spektrografen in das innere des Spektrografen und wird dort von einem Spiegel gegen ein Spaltplättchen reflektiert, welches das Licht dann in ein Spektrum zerlegt.

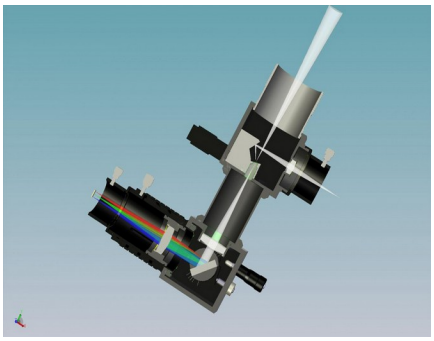


Abbildung 6: Aufbau eines DADOS-Spaltspektrografen

Abbildung 7: Farbiges Spektrum des Krebsnebels

5.2 Bestimmung des Datums der Supernova SN1054

5.2.1 Aufnahme einer Deep Sky Aufnahme des Krebsnebels

Um das Datum der Supernova SN1054 zu bestimmen, habe ich den Krebsnebel im Rahmen meiner Projektarbeit „Neutronensterne und Schwarze Löcher: Endstadien der Entwicklung massereicher Sterne“ mit einem Forschungspartner astrofotografiert. Während dieser habe ich 104 Lightframes mit jeweils 60s Belichtungszeit, 15 Darkframes mit ebenfalls 60s Belichtungszeit, 35 Flatframes mit jeweils 25s Belichtungszeit und 26 Darkframes für Flatframes mit jeweils 2s Belichtungszeit aufgenommen und gestackt.
Das Ergebnis habe ich mithilfe von Photoshop hinsichtlich einer Tonwertkorrektur und einer Korrektur der atmosphärischen Dispersion bearbeitet, was schlussendlich zum Erhalt folgendes Bildes führte:

Abbildung 8: Gestacktes und bearbeitetes Bild des Krebsnebels M1 vom 10.01.2022

5.2.2 Zusammenfassung der Auswertung und Diskussion der Bestimmung der Zeit der Supernova SN1054

Um mithilfe dieses Bildes das Datum der Supernova SN1054 zu ermitteln, habe ich zusätzlich eine Referenzaufnahme des Krebsnebels vom U.S. - amerikanischen Astronom George Willis Ritchey aus dem Jahr 13.10.1909 betrachtet, und durch den Vergleich der beiden Aufnahmen die Ausbreitungszeit einzelner besonders prägnanter Nebelfilamente genutzt, um eine allgemeine Ausbreitungszeit zu berechnen. Hierfür habe ich folgende 10 Filamente näher betrachtet:

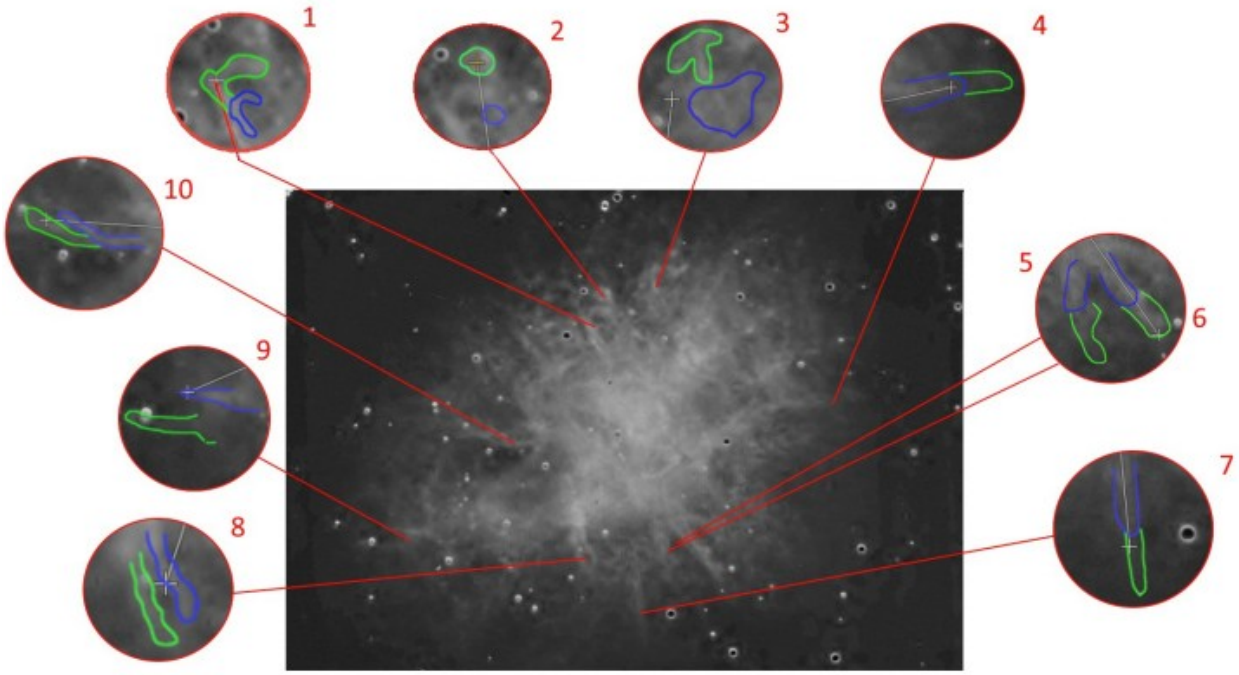


Abbildung 9: Ausbreitung des Krebsnebels vom 13.10.1909 bis 10.01.2022 anhand 10 Filamente, wobei es sich bei den blau umrandeten Filamenten um die Filamente aus dem Bild von 1909 und bei den grün umrandeten Filamenten um die Filamente aus dem Bild von 2022 handelt

Von diesen 10 Filamenten habe ich sowohl für das Jahr 1909, als auch für das Jahr 2022, die Abstände zum Pulsar in der Mitte des Krebsnebels gemessen und durch deren Differenz, die im Sachkontext für die Ausbreitung von 1909 bis 2022 steht, den zeitlichen Abstand jedes Filaments zur Supernova ermittelt. Hieraus ließ sich dann schlussendlich das Explosionsdatum für jedes der 10 Filamente berechnen. Diese habe ich gemittelt und kam auf einen Wert von ca. 1014 AD mit einer Standardabweichung von 245 Jahren und einer Abweichung vom Literaturwert von ca. 3,7 %. Da es sich bei näherer Betrachtung jedoch bei einem der Filamente um einen Ausreißer handelte, dessen Messwerte sich fundamental von den Messwerten der anderen Filamente unterschied, habe ich die Werte dieses Filaments entfernt und die Rechnung erneut durchgeführt. Diesmal kam ich auf einen Wert von 1088 AD mit einer Standardabweichung von ca. 113 Jahren und einer Abweichung vom Literaturwert um ca. 3,2 %.

5.3 Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Krebsnebels

5.3.1 Auswertung des Spektrums aus dem Jahr 2016

In dem eigentlichen praktischen Teil dieser Arbeit habe ich ein Spektrum des Krebsnebels analysiert, welches mir von meinem Projektleiter Bernd Koch zur Verfügung gestellt wurde und von ihm im Jahr 2016 aufgenommen wurde. Ursprünglich war geplant, dass ich selber ebenfalls Spektren des Krebsnebels aufnehme und diese mit Herrn Kochs Spektrum vergleiche. Diese Aufnahmen konnten jedoch aufgrund der schlechten Wetterbedingungen im Winter 2022/2023 nicht zustande kommen. Bei dem mir zur Verfügung gestellten Spektrum handelt es sich um folgendes Spektrum:

Abbildung 10: Spektrum des Krebsnebels aus dem Jahr 2016 mit aufgespaltenen [OIII]- Linien

Dieses rohe Spektrum habe ich unter der Betreuung von Herrn Koch zuerst bearbeiten und kalibrieren müssen, um das Spektrum sinnvoll zu interpretieren. Hierbei habe ich das Spektrum mit einem Vergleichsspektrum des Astronomen Christian Buil Wellenlängenkalibriert. Daraufhin habe ich das Spektrum auf 1 normiert und geglättet.

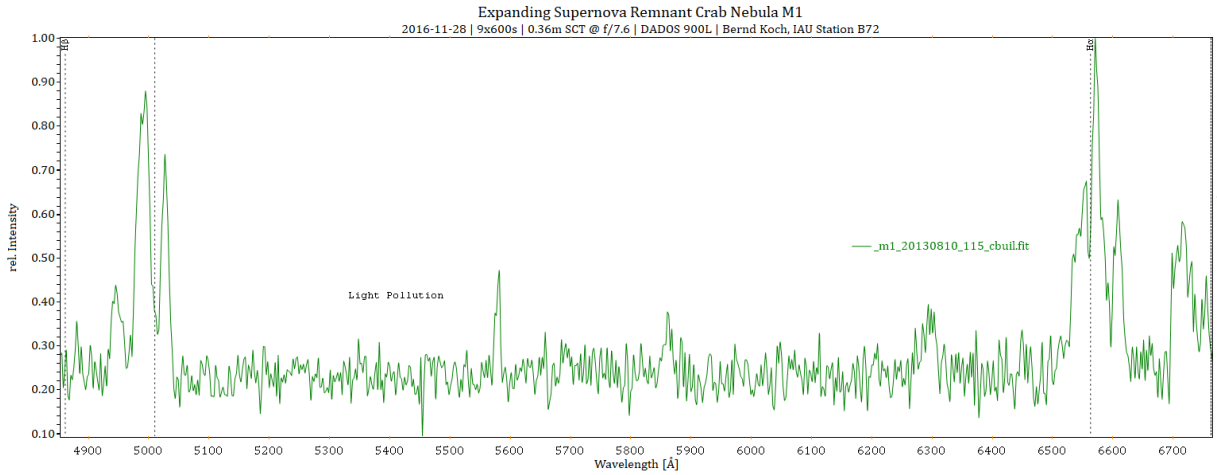


Abbildung 11: Referenzspektrum des Astronomen Christian Buil

Nach der Bearbeitung stach vor allem die [OIII]-Linie ins Auge, welche sich auf einer Wellenlänge von ca. 5007 Å diesem Wellenlängenbereich Dopplerverschoben sichtbar macht.

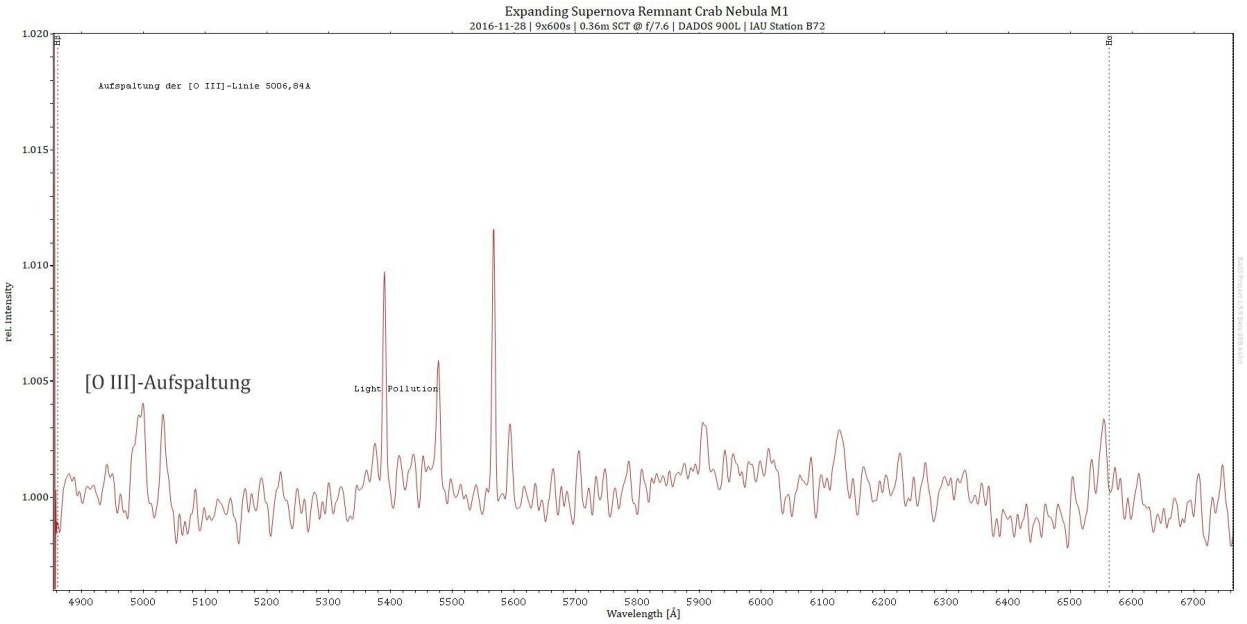


Abbildung 12: Spektrum des Krebsnebels M1. An der aufgespaltenen [O III]-Linie 5006,84A wurde die Expansion gemessen

Diese Stelle hat sich besonders gut für die Messung der Geschwindigkeit angeboten, da die [OIII]-Linie gut erkennbar ist, auch wenn sie dopplerverschoben ist. Mit folgendem Tool des Programms BASS konnte ich die Wellenlängen-Achse in die Dopplerverschiebungs-Achse umwandeln:

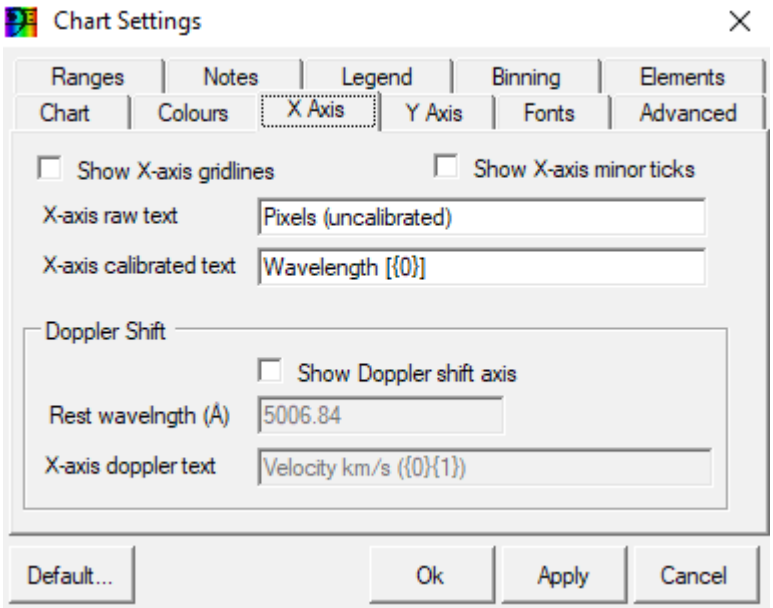


Abbildung 13: Tool zum Anzeigen der Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der Dopplerverschiebung

Das Ergebnis der Umwandlung sieht man im folgenden Spektrum:

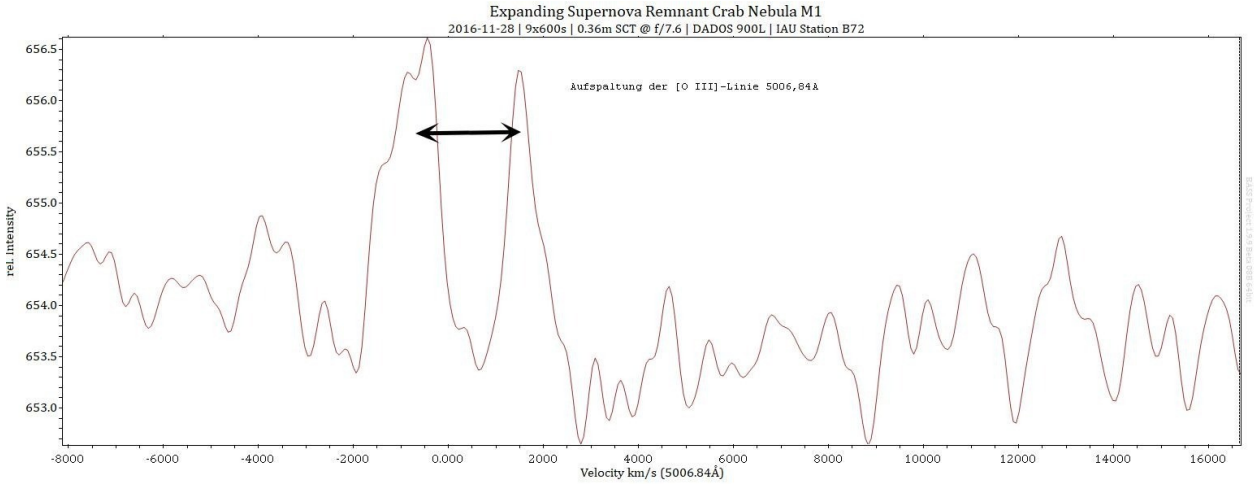


Abbildung 14: Dopplerprofil des Spektrums bezogen auf die [O III]-Linie 5006,84A

Um, hieraus die Expansionsgeschwindigkeit des Nebels zu berechnen, habe ich jeweils 10 Messungen an der Blauverschiebung am linken Maximum und an der Rotverschiebung am rechten Maximum durchgeführt, um daraus zwei Mittelwerte berechnet:

Blauverschiebung (links)	Rotverschiebung (rechts)
|445,6|	1468,5
|594,8|	1689,8
|597,4|	1535,4
|908,7|	1683,3
|500,1|	1597,6
|574|	1745,5
|383,3|	1251,3
|317,1|	1352,5
|352,2|	1371,9
|480,6|	1644,4

Abbildung 15: Messungen der dopplerverschobenen Geschwindigkeit an den blau- und rotverschobenen Peaks des Spektrums bei [OIII]

Mittelwert für die Blauverschiebung: 515,27 km/s
mit einer Standardabweichung von ca. 170,25 km/s

Mittelwert für die Rotverschiebung: 1534,02 km/s
mit einer Standardabweichung von ca. 166,99 km/s

Hierbei sind die Werte der Blauverschiebung negativ, da sich diese auf den Beobachter (Erde) bewegen. Diese sind aber im Kontext der Berechnungen als positive Zahlen anzusehen.

Aus den Werten der Rot- und Blauverschiebung kann man nun die Expansionsgeschwindigkeit berechnen, indem man den Mittelwert der beiden Werte bildet:

$$(1534{,}02\,km/s + 515{,}27\,km/s)/2 = 1024{,}65\,km/s \approx 1025\,km/s$$

5.3.2 Diskussion des Ergebnisses

Nach der Bearbeitung des Spektrums erhielt ich für die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Krebsnebels einen Wert von ca. 1025 km/s. Beim Abgleich mit dem Literaturwert von ca. v = 1500km/s zur Berechnung der Abweichung:

$$Abweichung = 1 - \frac{Experimentiell\,ermittelter\,Wert}{Literaturwert}$$

kommt man auf eine Abweichung von ca. 31,7%. Dies ist eine relativ große Abweichung vom Literaturwert, welche wahrscheinlich an einem Messfehler des Spektrums, einem Bearbeitungsfehler während des Normierens oder einem Messfehler der Geschwindigkeit nach der fertigen Bearbeitung des Spektrums liegt. Hierbei ist es schwer eine genaue Ursache hierfür zu finden, da es theoretisch eine Mischung aus all den genannten Gründen sein könnte. Dennoch sollte man mit diesem Ergebnis weiterarbeiten können, jedoch dennoch bedenken, dass die Akkuratheit der zu berechnende Fläche des Nebels darunter leiden könnte.

5.4 Berechnung des Durchmessers des Krebsnebels

5.4.1 Berechnung des Durchmessers des Krebsnebels mithilfe der vorherigen Versuchsergebnisse

Nach dem experimentellen Ermitteln des Explosionszeitraums der Supernova SN 1054 und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Krebsnebels M1 kann man nun mit der Formel für die Strecke $s = v * t$ den Radius des Krebsnebels und dadurch seinen Durchmesser berechnen, da die Strecke, die man durch diese Formel ermittelt, die Strecke der Ausbreitung des Nebels in eine Richtung ist. Hierbei muss der Krebsnebel jedoch modellhaft als eine Scheibe betrachtet werden, deren Radius in jede Richtung auf einer Ebene gleich ist, obwohl dies in der Realität nicht der Fall ist. Beim Einsetzen der Geschwindigkeit v = 1025 km/s und der Ausbreitungszeit der Supernova, welche sich aus der Differenz von 2022 und dem ermittelten der Explosion 1088 berechnet und t= 934 Jahre = 29454624000s ergibt sich für den Radius:

$$s = 1025\,km/s * 29454624000\,s$$

$$s = 30190989600000\,km \approx 3{,}19\,Lj$$

5.4.2 Diskussion des Wertes für die Fläche des Krebsnebels

Somit beträgt der Radius des Krebsnebels bei dieser Modellannahme ca. 3,19 Lj und der Durchmesser ca. 6,38 Lj. Nach Literaturwert umfasst der Krebsnebel jedoch ca. 11 Lj.
Durch die Berechnung der Differenz mithilfe der Formel:

$$Abweichung = 1 - \frac{Experimentiell\,ermittelter\,Wert}{Literaturwert}$$

kommt man auf eine Abweichung von ca. 42 %.

Wenn man den Durchmesser des Nebels jedoch mit den genauen Literaturwerten berechnet, wobei die Ausbreitungszeit des Nebels ab der Supernova im Jahr 1054 bis zu meiner Aufnahme am Anfang des Jahres 2022 ca. 968 Jahre und die Ausbreitungsgeschwindigkeit ca. 1500 km/s beträgt, erhält man folgenden genaueren Wert für den Durchmesser des Krebsnebels:

$$s = 1500\,km/s * 30526848000\,s$$
$$s = 4{,}5790272\text{E}13\,km \approx 4{,}84\,Lj \quad .$$

Wenn man nun die Abweichung zwischen dem genaueren Literaturwert und dem von mir experimentell ermittelten Wert berechnet, kommt man auf eine Abweichung von ca. 34%, welche etwas geringer als die vorherige Abweichung ist.

Obwohl der von mir ermittelte Wert des Durchmessers des Krebsnebels nicht komplett dem Literaturwert gleicht und mit ca. 34 % beachtlich von ihm abweicht, denke ich, dass das Ergebnis sich dennoch sehen lassen kann. Dieser Wert beruht auf zwei weiteren Messungen bzw. Auswertungen, die größtenteils aus Schülerhand angefertigt wurden und deshalb einige Fehler enthalten können, welche sie auch höchstwahrscheinlich tun, da jeder der zuvor berechneten Werte eine gewisse Abweichung zu den Literaturwerten hatte. Sei es das etwas unklare Spektrum des schwer zu spektroskopierenden Objekts oder Messungenauigkeiten bei der Ermittlung des Explosionszeitraums der Supernova SN1054. Dennoch ist der Wert mit einer knapp über 30 % prozentigen Abweichung ein Aussage gebendes Ergebnis, welches die gesamte Vorarbeit entlohnt.

6 Fazit

Alles in allem ist die Projektarbeit meinen Erwartungen entsprechend verlaufen. Auch wenn es teilweise zu etwas großen Abweichungen von den Literaturwerten kam. Es war schade, dass sich für mich keine spektroskopischen Messungen des Krebsnebels angeboten haben, da es schön gewesen wäre, diese Erfahrung während dieser Projektarbeit zu sammeln. Nichtsdestotrotz bin ich dennoch im Großen und Ganzen zufrieden mit dem, was ich in dieser Arbeit erreicht habe und werde den Krebsnebel, mit welchem ich nun seit etwas mehr als einem Jahr ziemlich tiefgründig beschäftigt habe, in kommender Zeit im Auge behalten und, falls möglich, sogar dennoch Spektroskopieren, damit ich vielleicht noch mehr über dieses Objekt Erfahren kann, welches als Nachwirkung des Ende eines Sterns dennoch als ein Zeichen für Hoffnung und Leben steht und unsere Galaxie in den kommenden Jahrtausenden mit Mineralien versorgen wird.

7 Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei Herrn Bernd Koch , der dieses Forschungsprojekt begleitet hat und mir stets mit Anregungen und Hilfestellungen zur Seite stand, bedanken. An zweiter Stelle bedanke ich mich am Carl-Fuhlrott-Gymnasium, dessen Projektkurs es überhaupt möglich gemacht hat, dass ich von Jugend Forscht erfahre und daran Teilnehme und am Gymnasium Vohwinkel, welches es mich auf die wissenschaftlichen Angebote an anderen Schulen aufmerksam gemacht hat und den Besuch des CFGs gefördert hat.

8 Abschlusserklärung

Hiermit versichere ich, Ali Eren Varisli, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

_____

[Datum, Unterschrift]

9 Anhang

Abbildungsverzeichnis

1.Abbildung: Energiestufen der verbotenen [OIII]-Linien, Quelle: https://astro.uni-bonn.de/~deboer/ism-entd/ism-entd.html.....2

2.Abbildung: Rot-Blau-Verschiebung veranschaulicht an einem Sternspektrum, Quelle: Joachim Herz Stiftung 3

3.Abbildung: Bild des 0.51m Planewave-Teleskops, Quelle: Bernd Koch.....4

4.Abbildung: Bild des CDK20 Astrografen, Quelle: https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarzglas-optik.....4

5.Abbildung: Bild der GM4000 HPS II GOTO Montierung, Quelle:https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarzglas-optik.....4

6.Abbildung: Aufbau eines DADOS- Spaltspektografen, Quelle: https://www.baader-planetarium.com/de/spektroskopie/dados-spalt-spektrograf/dados-spalt-spektrograf.html.....4

7.Abbildung: Farbiges Spektrum des Krebsnebels, Quelle: Eigenes Bild.....4

8.Abbildung: Gestacktes und Bearbeitetes Bild des Krebsnebels M1 vom 10.01.2022, Quelle: Eigenes Bild.5

9.Abbildung: Ausbreitung des Krebsnebels vom 13.10.1909 bis 10.01.2022 anhand 10 Filamente, wobei es sich bei den blau umrandeten Filamenten um die Filamente aus dem Bild von 1909 und bei den grün umrandeten Filamenten um die Filamente aus dem Bild von 2022 handelt, Quelle: Eigenes Bild.....6

10.Abbildung: Spektrum des Krebsnebels aus dem Jahr 2016 mit aufgespaltenen [OIII]- Linien, Quelle: Bernd Koch.....7

11.Abbildung: Referenzspektrum des Astronomen Christian Buil, Quelle: http://www.astrosurf.com/buil/index.html.....7

12.Abbildung: Spektrum des Krebsnebels M1. An der aufgespaltenen [O III]-Linie 5006,84A wurde die Expansion gemessen, Quelle: Eigenes Bild.....8

13.Abbildung: Tool zum Anzeigen der Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der Dopplerverschiebung, Quelle: Eigenes Bild.....8

14.Abbildung: Dopplerprofil des Spektrums bezogen auf die [O III]-Linie 5006,84A, Quelle: Eigenes Bild…9

15.Abbildung: Messungen der dopplerverschobenen Geschwindigkeit an den blau- und rotverschobenen Peaks des Spektrums, Quelle: Eigenes Bild.....9