



Einstein-Gymnasium
Neuenhagen b. Berlin

Entfernungsbestimmung von Galaxien unter Betrachtung der Rotverschiebung

Julia Maria Höhne
Einstein-Gymnasium Neuenhagen
Herr Hofschulz
Seminararbeit
Im Rahmen des Seminars Physikalische Grundlagen der Kosmologie
20.12.2019

Kurzfassung

Bei der Arbeit „Entfernungsbestimmung von Galaxien unter Betrachtung der Rotverschiebung“ geht es um den Themenkomplex, wie man mit Hilfe der kosmologischen Rotverschiebung die Entfernung der Galaxien schlussfolgern kann.

Zum Anfang habe ich mich über die Rotverschiebung im Allgemeinen und dem Hubble-Gesetz beschäftigt und die physikalischen Grundlagen der beiden Themen erarbeitet. Ich habe mich auch über Spektren und die quantenmechanischen Wirkungen informiert, da diese auch zum Verständnis dieses Projekts beigetragen haben.

Als es zur Suche um geeignete Software-Programme ging, hat mir mein Lehrer die Programme „Fitswork“ und „Visualspec“ vorgeschlagen, in welche ich mich erstmal einarbeiten musste. Die Aufnahmen der Spektren konnten in unserer schuleigenen Sternwarte getätigt werden und mit dem Teleskop Tec 140/980 APO und dem DADOS Spektrograph angefertigt werden.

Ein Großteil der Spektren stammt aus dem Internet von verschiedenen Quellen und wurden auch einzeln von mir ausgewertet und verglichen.

Der Vergleich mit den literarischen Werten spielt in dieser Arbeit auch eine große Rolle, um zu zeigen ob diese Ergebnisse und die Vorgehensweise richtig erfolgten.

Inhaltsverzeichnis

1	MOTIVATION	1
2	SPEKTREN	1
3	ROTVERSCHIEBUNG	2
4	HUBBLE-GESETZ.....	3
5	QUANTENMECHANISCHE WIRKUNGEN	4
6	AUFBAU UND SOFTWARE	5
7	VORGEHENSWEISE	5
8	BEISPIEL GALAXIE M31	6
8.1	BEARBEITUNGEN ZUM SPEKTRUM	6
8.2	RECHNUNG ZUR ENTFERNUNG.....	9
8.3	AUSWERTUNG.....	10
9	AUSWERTUNG WEITERE GALAXIEN	10
9.1	M82	10
9.2	NGC 5102	11
9.3	M51	11
9.4	M87	11
9.5	NGC 4125	11
9.6	NGC 4631	12
9.7	NGC 4552	12
9.8	NGC 5195	12
10	FAZIT	13
11	VERZEICHNISSE UND NACHWEISE	15
11.1	QUELLENVERZEICHNIS.....	15
11.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	16
	ANLAGEN	

1 Motivation

In dieser Arbeit möchte ich genauer auf das Thema der Entfernungsbestimmung von Galaxien eingehen. Hierbei möchte ich den Schwerpunkt auf die Rotverschiebung in Verbindung mit der Hubble-Konstante setzen, um die Entfernung ermitteln zu können.

Ich bin auf das Thema dieser Arbeit gestoßen, als ich das Buch „Eine kurze Geschichte der Zeit“ von dem Astrophysiker Stephen W. Hawking gelesen habe. Er schnitt die Grundlage zum Thema zwar nur kurz an, dennoch wollte ich aus dieser Textgrundlage mehr entwickeln und bin somit zu meinem angeführten Thema gelangt.

Mit Hilfe dieser Arbeit möchte ich auch versuchen, die Geschwindigkeiten der Galaxien bestimmen zu können. Ich werde mich hierbei auf selbstaufgenommene und bearbeitete Spektren und fremdbearbeitete Spektren beziehen.

2 Spektren

Spektren sind Aufnahmen von Lichtquellen, welche ihr emittiertes Licht aufgefächert, in den einzelnen Wellenlängen, darstellt. Auffällig für aufgenommene Spektren sind Absorptionslinien oder auch Fraunhofersche¹ Linien genannt. Dies sind dunkle Balken, die entstehen, weil bei der Lichtquelle, die Elemente, aus welcher die Lichtquelle besteht, bei einer gewissen Wellenlänge das Licht absorbieren, sodass die Quelle im angeführtem Beispiel kein Licht bei einer bestimmten Wellenlänge aussendet. Ein häufig benutzter Zusammenhang in diesem Bereich ist die Balmerreihe². Die Balmerreihe beinhaltet Energieübergänge für $n=2$, bei einem Wasserstoffatom, bei welchem verschiedene Wellenlängen absorbiert oder emittiert werden. Der Energieübergang auf die zweite Bahn ist im sichtbaren Lichtspektrum vorzufinden.³

¹ Vgl. [6].

² Vgl. [1], S. 25.

³ Vgl. [1], S. 25.

Durch die absorbierten Lichtwellen kann man bei einem sich entfernenden Objekt eine Verschiebung dieser Linie in den roten Bereich des elektromagnetischen Spektrums messen. Da das Universum stetig expandiert, bewegen sich die darin befindlichen Sterne auseinander, weil sich der Raum, in welchem sie sich befinden, größer wird. Somit muss das Licht, welches wir wahrnehmen, durch die vermeintliche Expansionsbewegung einen längeren Weg zurücklegen. Dies nehmen wir als Rotverschiebung wahr, weil die emittierten elektromagnetischen Wellen gestreckt werden und folglich ihre Frequenz abnimmt und sich somit auch die Wellenlänge λ erhöht.

3 Rotverschiebung

Im Allgemeinen lässt sich die kosmologische Rotverschiebung einer Quelle bei einer bestimmten Wellenlänge bestimmen, wenn man diese als Quotienten der Differenz zwischen der Wellenlänge aus dem Beobachtungssystem und derjenigen aus dem emittierenden System über der Wellenlänge aus dem Emittersystem nimmt. Daraus folgt die Gleichung:

$$z = \frac{\lambda(\text{obs}) - \lambda(\text{em})}{\lambda(\text{em})} \quad .^4$$

Aus der angegebenen Gleichung kann man schlussfolgern, dass bei weiter entfernten Galaxien das Spektrum mehr rotverschoben vorliegt, als bei näher liegenden Galaxien.⁵ Die resultierende Rotverschiebung, welche auf der Ursache der Expansion des Universums beruht, lässt sich aus der allgemeinen Relativitätstheorie herleiten.

Mit der Relativbewegung von Galaxien kann man bei naheliegenden Objekten, welche eine Entfernung von rund 100 Megaparsec besitzen, noch gut arbeiten und sollte diese in die Berechnung mit einfließen lassen.⁶

⁴ Vgl. [7], S. 17 f..

⁵ Vgl. [2], S.17.

⁶ Vgl. [5].

4 Hubble-Gesetz

Das Hubble-Gesetz, welches 1929 aufgestellt wurde, vereint die Faktoren: Lichtgeschwindigkeit c , die Rotverschiebung z , die Hubble-Konstante H_0 , und Distanz D . Die Gleichung sieht wie folgt aus:

$$c \cdot z = H_0 \cdot D \Leftrightarrow D = \frac{c \cdot z}{H_0}.$$

Zudem folgt der Zusammenhang:

$$v = c \cdot z.$$

Somit ergibt sich die umgewandelte Gleichung:

$$D = \frac{v}{H_0}.$$

Die erwähnte Hubble-Konstante ist in Wirklichkeit keine genaue Konstante. Zum Einem gibt es bis zum heutigen Tag keinen genauen Wert, da es Abweichungen in der Literatur gibt. So ist es üblich Werte zwischen $67 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$ und $73 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$ zu finden.⁷ Dies ist auf verschiedene Messweisen zurückzuführen. Zum Anderem ist die Konstante abhängig von der Distanz, so gilt diese Konstante als annähernd konstant, wenn das beobachtete Objekt in unserem lokalen Universum beheimatet ist. Es darf also nicht weiter als 400 Mpc entfernt liegen.⁸ Überschreitet das Objekt diese Grenze, gilt die Konstante als ungenügend und muss neu definiert werden.⁹

Der Effekt besteht darin, dass jeder Impuls eines geladenen Teilchens geändert wird, wenn es auf Materie trifft. Bei jeder Kollision mit einem Materieteilchen wird nun durch Absorption oder Emission ein Teil der Ladung in elektromagnetische Strahlung umgewandelt, sodass das Licht, welches wir auf der Erde empfangen können, ein anderes Energiepotenzial aufweist und somit in einen anderen Teil des Spektrums gelangt, dies zeigt das Beispiel der Balmerreihe. Diese Verschiebung versucht der Hubble-Parameter $H(t)$ auszugleichen. Zudem kann dieser Parameter auch zur Interpretation der Expansionsgeschwindigkeit des Universums in Betracht bezogen werden.¹⁰

⁷ In dieser Arbeit wird für H_0 der Wert $70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$ benutzt.

⁸ Vgl. [4].

⁹ Vgl. [3].

¹⁰ Vgl. [9], S. 55.

5 Quantenmechanische Wirkungen

Wie schon im Punkt „Spektren“ angeführt, existieren dunkle Linien bei Spektralaufnahmen. Diese Linien kann man anhand des Atommodells, welches Niels Bohr aufstellte, erklären. Geht man von einem Wasserstoff-Atom aus, so besitzt dieses in seinem Kern Neutronen, welche bei der Betrachtung vernachlässigt werden können, da sie elektrisch neutral sind, und ein Proton.¹¹ Um die positive Ladung auszugleichen muss sich in der Atomhülle ein Elektron befinden, um auf ein von außen betrachtet ungeladenes Verhältnis zukommen. Gelangt nun Energie, welche ein Stern vorläufig produzieren muss, auf eins dieser Wasserstoffatome, so nimmt das Elektron in der Hülle ein Energiequant, auch als Photon bezeichnet, auf. Bei dieser Absorption des Photons, welches genau die nötige Energie besitzt, um das Elektron auf eine äußere Elektronenbahn zu ziehen, fehlen genau die Lichtquanten, die in dem Bereich der dunklen Linien im Spektrum liegen.¹²

Dieser Effekt ist dennoch nicht von großer Dauer. Nach einer unbestimmbaren Zeit gelangen die Elektronen zurück auf ihr altes Energieniveau, weil jedes System den energieärmsten Zustand anstrebt. Diesen Energieverlust nennt man Emission. Hier senden die Elektronen das zuvor aufgenommene Photon wieder aus.¹³ In unserem Spektrum ist dies als heller erscheinender beziehungsweise kräftiger ausgeprägter Balken vorzufinden.

Um nun den Effekt der Absorption beschreiben zu können, muss man sich vor Augen führen, dass nur sehr selten das Photon in die Richtung des Betrachters wieder abgegeben wird. Somit bleibt für den Betrachter die fehlende Wellenlänge im Spektrum nicht sichtbar, dadurch entsteht eine schwarze Linie.

Generell kann man zu diesem Modell auch noch erwähnen, dass die benötigte Größe der Lichtquanten abhängig von der Elektronenbahn ist. Es gilt hierbei das Energieniveauschema für die benötigte Energie zu einer höheren Bahn.

Hier wird die Gleichung $E_n = -13,6 \text{ eV} \frac{1}{n^2}$ gebraucht. Daraus kann man schließen, dass desto kernferner die Bahn ist, umso kleiner ist die aufzuwendende Energie, um auf die nächst höhere Bahn zu gelangen.

¹¹ Vgl. [1], S. 23.

¹² Vgl. [1], S. 20 f.; 25.

¹³ Vgl. [8], S.196 f..

6 Aufbau und Software

Es werden drei Beobachtungselemente für die Spektralaufnahme benötigt. Zum einen wird in den durchgeführten Versuchen das Teleskop Tec 140/980 APO und zum Anderem ein DADOS Spektrograph benötigt. Zur Aufnahme der Spektren wird eine Spiegelreflexkamera an den Aufbau befestigt.

Der Spektrograph wurde grundsätzlich mit einem 900 Linien pro Millimeter Gitter ausgestattet.

Der Aufbau der Instrumente wird im nachfolgenden Bild gezeigt.

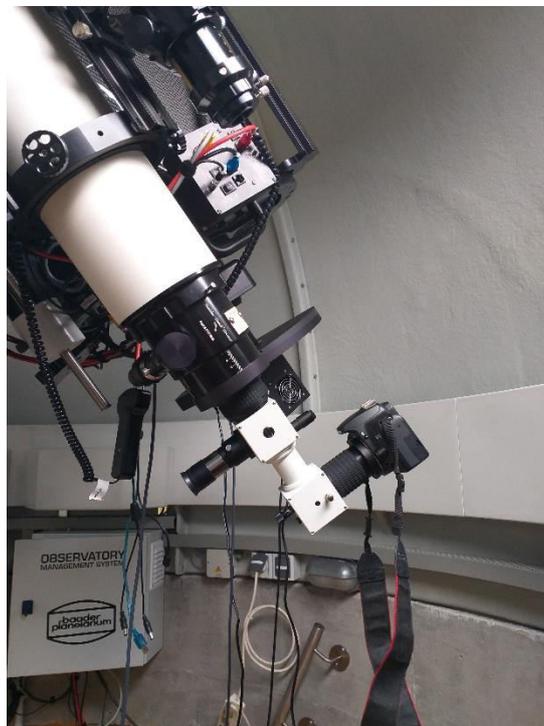


Abb.1: Aufbau der Instrumente [Höhne]

7 Vorgehensweise

Nach einer Belichtungszeit von 1-5 Minuten je Objekt, wurden die Spektren zunächst zugeschnitten und möglichst gerade ausgerichtet. Im folgenden Schritt wird das Programm „Fitswork“ benutzt. In diesem wird das Rohspektrum in ein schwarz-weißes Spektrum umgewandelt. Danach wird das Programm „Visualspec“ zur weiteren Bearbeitung genutzt.

In „Visualspec“ wird nun das Spektrum in ein Helligkeitsdiagramm umgewandelt und durch eine Kalibrierung durch Festlegen zweier charakteristischer Emissionslinien ein Intensitäts-Wellenlängen-Diagramm geformt.

Nun kann eine Wellenlänge abgelesen werden, z.B. die H α Linie, und mit der Gleichung:

$$z = \frac{\lambda(\text{obs}) - \lambda(\text{em})}{\lambda(\text{em})},^{14}$$

die Rotverschiebung ermittelt werden.

Nun wird mit der Gleichung: $v = c \cdot z$, die Geschwindigkeit der Galaxie ermittelt und ob sie sich auf uns zu bewegt oder entfernt.

Im letzten Schritt wird die Geschwindigkeit in die Gleichung:

$$c \cdot z = H^0 \cdot D \Leftrightarrow D = \frac{c \cdot z}{H_0},$$

eingesetzt, mit welcher die Entfernung berechnet werden kann.

8 Beispiel Galaxie M31

8.1 Bearbeitungen zum Spektrum

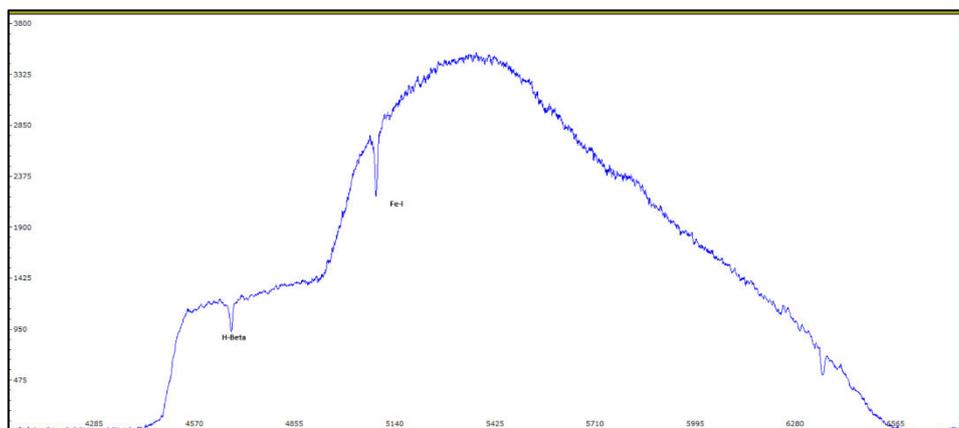


Abb. 2: Rohprofil Galaxie M31 in Ångström [Höhne]

Zuerst wird das aufgenommene Farbspektrum im Programm „Fitswork“ in ein schwarz-weißes Bild umgewandelt, um charakteristische Aufhellungen und Verdunklungen besser erkennen zu können. Zudem wird es in das richtige Format gebracht um bei „Visualspec“ mit den weiteren Schritten fortfahren zu können.

¹⁴ s. S. 7.

Zunächst wird das Rohspektrum in ein Rohprofil umgewandelt und durch eine Kalibrierung wird an der x-Achse nun die Wellenlänge in Ångström \AA angegeben. Die Kalibrierung geschieht durch ein Referenzspektrum des Mondes, welches zuvor ausgewertet wurde. Da keine Änderungen an den Einstellungen der Aufnahmen vorgenommen wurden, kann eine Pixelkalibrierung am vorliegendem Rohprofil der Galaxie durchgeführt werden.

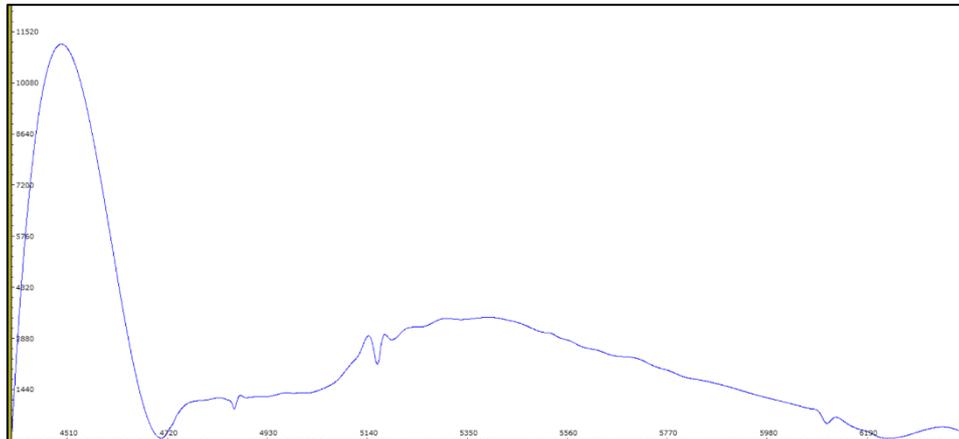


Abb. 3: Pseudokontinuum Galaxie M31 in Ångström [Höhe]

Folgend wird wie in Abbildung 4 dargestellt ein Pseudokontinuum erstellt, um eine Normierung vorbereiten zu können.

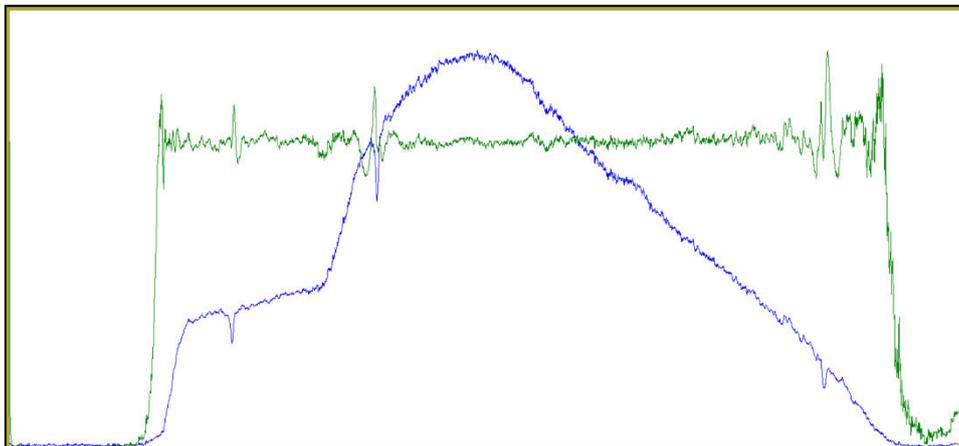


Abb. 4: Division Rohprofil durch Pseudokontinuum Galaxie M31 [Höhe]

Als nächstes wird das Rohprofil durch das Pseudokontinuum dividiert. Das grüne Profil beschreibt nun die Division. Weiterführend wird nun ein Bereich ausgewählt, welcher auf der Intensitätsskala bei „1“ liegen soll. Die Abbildung 5 zeigt die Normierung auf „1“ die bei der Andromeda Galaxie vorgenommen wurde.

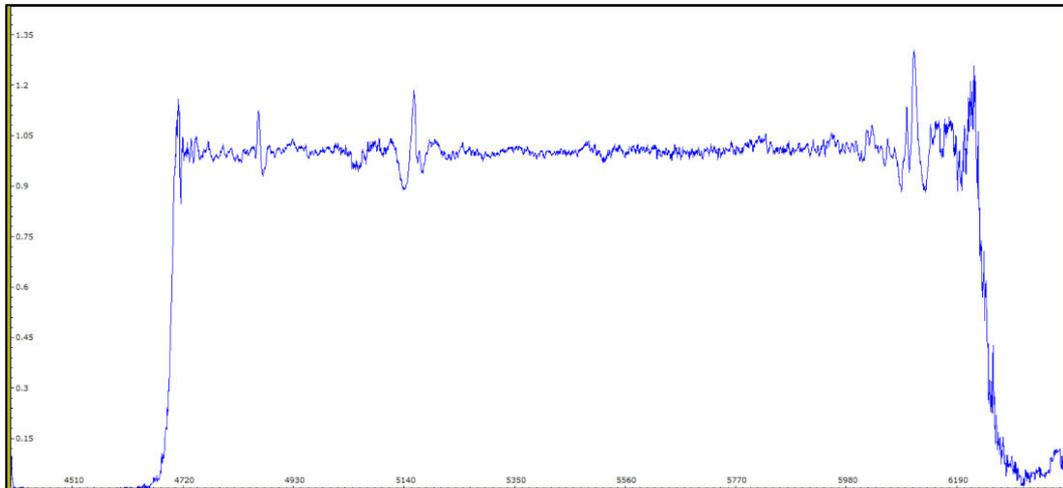


Abb. 5: normiertes Profil von M31 in Ångström auf „1“ [Höhne]

Nachfolgend wird nun noch ein synthetisches Farbspektrum erzeugt, um die charakteristischen Spektrallinien besser erkennen zu können. So kann man anhand des Farbspektrums besser erkennen in welchem Farbbereich des sichtbaren Lichts man sich befindet, um markante Stoffe zu finden und deren Wellenlänge zur nachfolgenden Rechnung der Entfernung nutzen zu können.

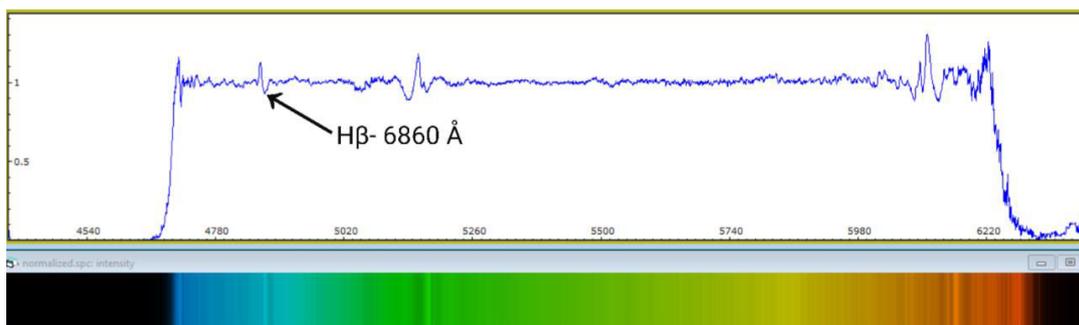


Abb. 6: Synthetisches Farbspektrum [Höhne]

8.2 Rechnungen zur Entfernung

Bestimmung der Rotverschiebung: H β -Linie

gegeben: $\lambda(em) = 486,133 \text{ nm}$ gesucht: z

$$\lambda(obs) = 486 \text{ nm}$$

Lösung: $z = \frac{\lambda(obs) - \lambda(em)}{\lambda(em)}$

$$z = \frac{486 \text{ nm} - 486,133 \text{ nm}}{486,0 \text{ nm}}$$

$$z = -2,735 \cdot 10^{-4}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit:

gegeben: $z = -2,735 \cdot 10^{-4}$ gesucht: v

Lösung: $v = c \cdot z$

$$v = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot -2,735 \cdot 10^{-4}$$

$$v = -81.993,23 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -81,99 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Bestimmung der Distanz:

gegeben: $v = -81,99 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ gesucht: D

Lösung: $D = \frac{v}{H_0}$

$$D = \frac{-81,99 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}}$$

$$D = -1,17 \text{ Mpc} = -3,615 \cdot 10^{22}$$

$$D = -3.820.949,16 \text{ Ly}$$

8.3 Auswertung

Die Galaxie M31 oder auch Andromedagalaxie genannt liegt 3.820.949,16 Lichtjahren laut der Rechnung von der Erde entfernt. Die Abweichung von dem literarischen Wert liegt bei rund 1,3 Millionen Lichtjahren, was durch die Rundungen in den Rechnungen verursacht wird. Somit entsteht eine Abweichung von rund 50,6%, diese scheint im ersten Moment sehr groß zu sein. Da M31 nicht sehr weit von der Milchstraße entfernt ist, ist folglich die Rotverschiebung auch minimal und nur schwer genau abzulesen. Die Negativität der Distanz und der Geschwindigkeit lässt sich aufgrund der kosmologischen Rotverschiebung, besser gesagt hier sogar der Blauverschiebung, erklären. Durch die Blauverschiebung erhält die Rechnung zur Kosmologischen Rotverschiebung ein negatives Vorzeichen, welches sich in den weiteren Rechnungen fortführt. Die negative Geschwindigkeit lässt sich deuten, indem sich die Galaxie auf den Betrachter zubewegt. Auch die negative Entfernung zeigt nur erneut auf, dass sich die Galaxie nicht entfernt, sondern nähert, da es sonst zu keinem sinnigen Ergebnis kommen kann, weil Distanzen und Geschwindigkeiten nie negativ ausfallen können.

9 Auswertung weiterer Galaxien

Die angeführten Referenzwerte der Galaxien stammen von Wikipedia, zudem sind alle Rechnungen der Galaxien und deren Spektren im Anhang nachzulesen.

9.1 M 82

Die Spiralgalaxie, welche im großen Bären anzufinden ist, liegt laut der Berechnung 9.462.934,966 Lichtjahre von der Erde entfernt. Diese Entfernung weicht mit 17,13% nicht allzu stark von den literarischen Werten ab. Da dies eine Galaxie ist, welche von selbst aufgenommen und ausgewertet wurde und so eine genauere Bestimmung der Wellenlänge möglich war.

9.2 NGC 5102

Bei der im Sternbild Zentaur gelegene Galaxie NGC 5102 wurde eine berechnete Entfernung von 11.45.183,61 Lichtjahren festgestellt, diese weicht rund 2,5 Millionen Lichtjahre, also 17,89%, von den prognostizierten Werten ab. Dies lässt sich durch die Form der Grafik erklären, da man diese nicht eindeutig genug auswerten kann und somit keine eindeutige Wellenlänge feststellen kann.

9.3 M 51

Die Whirlpool-Galaxie, welche im Sternbild Jagdhunde zu finden ist, ist laut Berechnungen rund 12 Millionen Lichtjahre entfernt, das entspricht einer Abweichung von 48,97%. Allerdings interagiert diese Galaxie mit der hier auch angeführten Zwerggalaxie NGC 5195, welche deutlich weiter entfernt ist. Somit kann man zu Erwägung ziehen, dass die Zwerggalaxie näher am echten Wert der Entfernung liegt, da sich die beiden Galaxien in einer Entfernung von rund 25 Millionen Lichtjahren von der Erde befinden sollen.

9.4 M87

Die Galaxie M87, welche im Sternbild Jungfrau anzufinden ist, liegt laut Berechnungen 59.401.754,57 Lichtjahre von der Erde entfernt. Zudem wurde eine Verschiebung in den roten Bereich des Spektrums gemessen, mit einem Wert von rund 0,004253. Mit literarischen Werten stimmt diese Berechnung noch recht gut überein, da eine Abweichung zum literarischen Wert von 11,05% entsteht, und kann somit als sinnig bewertet werden.

9.5 NGC 4125

Die Galaxie NGC 4125 liegt im Sternbild Drachen und für diese wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Entfernung von 57.051.527,35 Lichtjahren errechnet. Dieser Wert weicht rund 6 Millionen Lichtjahre von literarischen Werten ab, wodurch eine Abweichung von 13,56% entsteht. Dies kann erneut der Grund von der nicht exakt ablesbaren Wellenlänge der Grafik sein, wodurch sich die Differenz erschließen lässt.

9.6 NGC 4631

Die auch Walgalaxie genannte Galaxie NGC 4631, welche im Sternbild Jagdhunde gelegen ist, wurde mit einer Entfernung von 24.907.613,12 Lichtjahren berechnet. Dieses Ergebnis weicht rund 3 Millionen Lichtjahre von anderen Berechnungen ab, was einer prozentualen Abweichung von 11,04%. Der Grund ist der gleiche, wie für die anderen bereits erwähnten Galaxien. Diese Galaxie hat die beste prozentuale Abweichung zu Literaturwerten.

9.7 NGC 4552

Die elliptische Galaxie mit der Zweitbezeichnung M82 ist im Sternbild Jungfrau gelegen und hat eine berechnete Entfernung von 62.177.358,69 Lichtjahren. Diese Galaxie weicht rund 24,35% von Werten aus der Literatur ab. Dennoch bestehen Abweichungen unter demselben Problem der vorangegangenen Galaxien.

9.8 NGC 5195

Die mit der Whirlpool-Galaxie interagierende Zwerggalaxie weist in der Literatur Werte von rund 25 Millionen Lichtjahren auf. Die Berechnung in dieser Arbeit weicht 4,5 Millionen Lichtjahre, was 13,49% entspricht, ab, da eine Entfernung von 21.627.628,52 Lichtjahren errechnet werden konnte.

10 Fazit

Abweichungen der Ergebnisse

Galaxie	Art der Aufnahme	Ergebnis der Entfernungbestimmung	Literarische Werte	Prozentuale Abweichung
M31	Eigene Aufnahme	3.820.949,16 Ly	2.537.000 Ly	50,6%
M82	Eigene Aufnahme	9.462.934,966 Ly	11.420.000 Ly	17,13%
NGC 5102	Internet	11.495.183,61 Ly	14.000.000 Ly	17,89%
M51	Internet	12.758.364,33 Ly	25.000.000	48,97%
M87	Internet	59.401.754,57 Ly	53.490.000 Ly	11,05%
NGC 4125	Internet	57.051.527,35 Ly	66.000.000 Ly	13,56%
NGC 4631	Internet	24.907.613,12 Ly	28.000.000 Ly	11,04%
NGC 4552	Internet	62.177.359,69 Ly	50.000.000 Ly	24,35%
NGC 5195	Internet	21.627.628,52 Ly	25.000.000 Ly	13,49%

Die Galaxien in dieser Arbeit weichen im Durchschnitt rund 20,808% von den literarischen Werten ab.

Die bei der M51 benutzten Quelle gab die Wellenlänge schon vor, weswegen es dort auch zu einer starken Abweichung gekommen ist.

Generell kommt es teilweise zu starken Differenzen, da es recht schwer ist die exakte Wellenlänge anzugeben, da bei den recherchierten Spektren die Wellenlänge nur auf rund 5 Ångström abgelesen werden konnte. Bei den selbstaufgenommenen Spektren konnte mit einer Genauigkeit von 0,5 Ångström die Werte entnommen werden. Dadurch kann man nur eine Rundung angeben, welche das Ergebnis aber auch sehr stark verfälschen kann, da es sich die kosmologische Rotverschiebung im tausendstel Bereich befindet.

Durch schlechte Wetterbedingungen und der Jahreszeit musste ich auf mehrere selbstaufgenommene Spektren verzichten und auf Spektren aus dem Internet zurückgreifen, welche ungenauere Werte für die observierte Wellenlänge gaben.

Die Ergebnisse sind dennoch vergleichbar mit anderen errechneten Werten der Wissenschaft, da mit Abweichungen von rund 20% zu rechnen ist und auch teilweise noch Werte im Bereich von 30% als akzeptabel gelten. Nur die Galaxien M31 und M51 können als ungenügend gewertet werden, da beide errechneten Ergebnisse rund 50% von den literarischen Werten abweichen.

11 Verzeichnisse und Nachweise

11.1 Quellenverzeichnis

1. Brigitte Röthlein: Schrödingers Katze. Einführung in die Quantenphysik. München 12. Auflage 2018.
2. Dirk Rauter: Das Gravitationsfeld-Dipol-Universum – Ein Torus. Achse und Symmetrie-Ebene des Torus-Universums. Norderstedt 2016.
3. Dr. Andreas Müller: Hubble-Gesetz.
<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/hubble-gesetz/187>
[Stand: 10.04.2019].
4. Dr. Andreas Müller: Rotverschiebung.
<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/rotverschiebung/417>
[Stand: 10.04.2019].
5. Dr. Henneke Lütgerath: Kosmologische Rotverschiebung.
<https://www.leifiphysik.de/astronomie/kosmologie/kosmologische-rotverschiebung>
[Stand: 10.04.2019].
6. Julia Reinking: Spektren.
<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/spektren>
[17.10.2019].
7. Klaus Becker: Das beobachtbare Universum. Die Rotverschiebung in einer zukünftigen Epoche. Oberwesel 2018.

8. Norbert Kuhn, Thomas M Klapötke: Allgemeine und Anorganische Chemie. Eine Einführung. Heidelberg 2014.
9. Stephen Hawking: Eine kurze Geschichte der Zeit. New York 28. Auflage 2019.

11.2 **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Aufbau der Instrumente [Julia Höhne].....	8
Abb. 2: Rohprofil Galaxie M31 in Ångström [Julia Höhne].....	10
Abb. 3: Pseudokontinuum Galaxie M31 in Ångström [Julia Höhne] .	11
Abb. 4: Division Rohprofil durch Pseudokontinuum [Julia Höhne]....	11
Abb. 5: normiertes Profil in Ångström auf „1“ [Julia Höhne].....	12
Abb. 6: Synthetisches Farbspektrum [Julia Höhne].....	12

Anlagen

Anlage A: Das Bohrsche Atommodell

Anlage B: Aufgenommene Spektren

Anlage C: Rechnungen zu den Entfernungen der Galaxien

Das Bohrsche Atommodell

Das Bohrsche Atommodell basiert auf der Vorstellung von Bahnen, welche um den Atomkern als Mittelpunkt liegen. Die Bahnen werden so beschrieben, dass die auf ihnen befindlichen Elektronen strahlungsfrei und mit konstanter Energie auf ihnen kreisen können. Bei einem Atom, in welchem alle Elektronen im unerregten Zustand sind, also keine zusätzliche Energie in der Form eines Photons aufgenommen haben, werden alle Schalen (Bahnen) der Reihe nach von Innen vollbesetzt. Die Anzahl der Elektronen Pro Bahn lässt sich mit folgender Formel ausrechnen:

$$e = 2n^2$$

e... Anzahl der Elektronen
n... Nebenquantenzahl

Für jede Bahn gilt ein unterschiedliches Energieniveau, wobei die erste Schale das niedrigste Energieniveau vorweist. Die Stabilität wird das Planksche Wirkungsquantum charakterisiert, welches auch als die Nebenquantenzahl n bekannt ist.

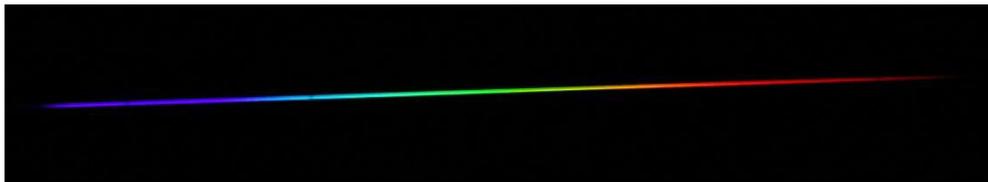
Auch die benötigte Energie eines Elektrons, innerhalb eines Atoms, welche benötigt wird, um auf die nächst höhere Elektronennahn zu gelangen lässt sich mit einer Gleichung darstellen. Für diesen Sachverhalt gilt die Gleichung:

$$E_n = -13,6eV \frac{1}{n^2} .$$

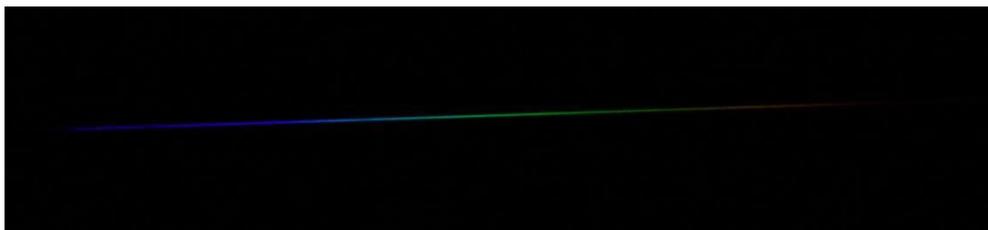
Aufgenommene Spektren



Rohspektrum vom Mond



Rohspektrum der Galaxie M31



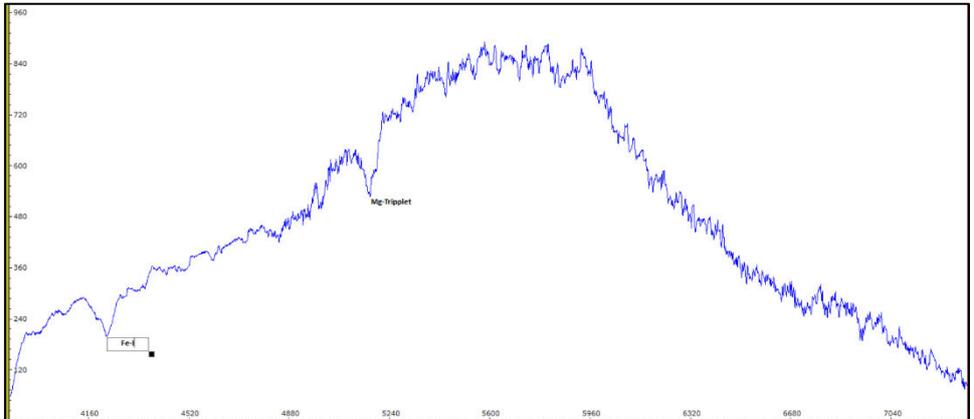
Rohspektrum der Galaxie M82



Rohspektrum der Galaxie

Rechnungen zu den Entfernungen der Galaxien

M82



Bestimmung der Rotverschiebung: Mg-Linie

gegeben: $\lambda(em) = 516,7 \text{ nm}$ gesucht: z

$\lambda(obs) = 517,05 \text{ nm}$

Lösung: $z = \frac{\lambda(obs) - \lambda(em)}{\lambda(em)}$

$$z = \frac{517,05 \text{ nm} - 516,7 \text{ nm}}{516,7 \text{ nm}}$$

$$z \approx 6,774 \cdot 10^{-4}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit:

gegeben: $z = 6,774 \cdot 10^{-4}$ gesucht: v

Lösung: $v = c \cdot z$

$$v = 299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6,774 \cdot 10^{-4}$$

$$v \approx 203.079,41 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 203,079 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Bestimmung der Distanz:

gegeben: $v = 203,079 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ gesucht: D

Lösung: $D = \frac{v}{H_0}$

$$D = \frac{203,079 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}}$$

$$D \approx 2,9 \text{ Mpc} = 8,95 \cdot 10^{22} \text{ m}$$

$$D = 9.462.934,966 \text{ Ly}$$

NGC 5102

Bestimmung der Rotverschiebung: H β -Linie

gegeben: $\lambda(em) = 486,1 \text{ nm}$ gesucht: z

$$\lambda(obs) = 486,5 \text{ nm}$$

Lösung: $z = \frac{\lambda(obs) - \lambda(em)}{\lambda(em)}$

$$z = \frac{486,5 \text{ nm} - 486,1 \text{ nm}}{486,1 \text{ nm}}$$

$$z \approx 8,229 \cdot 10^{-4}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit:

gegeben: $z = 8,229 \cdot 10^{-4}$ gesucht: v

Lösung: $v = c \cdot z$

$$v = 299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 8,229 \cdot 10^{-4}$$

$$v \approx 246.692 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 246,69 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Bestimmung der Distanz:

gegeben: $v = 246,69 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ gesucht: D

Lösung: $D = \frac{v}{H_0}$

$$D = \frac{246,69 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}}$$

$$D \approx 3,524 \text{ Mpc} = 1,087 \cdot 10^{23} \text{ m}$$

$$D \approx 11.495.183,61 \text{ Ly}$$

M51

https://stellarscenes.net/object_e/spectle/m51.htm

Bestimmung der Rotverschiebung: NII- Linie

gegeben: $\lambda(em) = 658,4 \text{ nm}$ gesucht: z

$$\lambda(obs) = 659 \text{ nm}$$

$$v = 299.792.458 \frac{m}{s} \cdot 4,084 \cdot 10^{-3}$$

$$v \approx 1.224.352,398 \frac{m}{s} = 1.224,35 \frac{km}{s}$$

Bestimmung der Distanz:

gegeben: $v = 1.224,35 \frac{km}{s}$ gesucht: D

Lösung: $D = \frac{v}{H_0}$

$$D = \frac{1.224,35 \frac{km}{s}}{70 \frac{km}{s \cdot Mpc}}$$

$$D \approx 17,49 Mpc = 5,3976 \cdot 10^{23} m$$

$$D \approx 57.051.527,35 Ly$$

NGC 4631

Bestimmung der Rotverschiebung: H β -Linie

gegeben: $\lambda(em) = 486,133 nm$ gesucht: z

$$\lambda(obs) = 487 nm$$

Lösung: $z = \frac{\lambda(obs) - \lambda(em)}{\lambda(em)}$

$$z = \frac{487 nm - 486,133 nm}{486,133 nm}$$

$$z \approx 1,783 \cdot 10^{-3}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit:

gegeben: $z = 1,783 \cdot 10^{-3}$ gesucht: v

Lösung: $v = c \cdot z$

$$v = 299.792.458 \frac{m}{s} \cdot 1,783 \cdot 10^{-3}$$

$$v \approx 534.529,95 \frac{m}{s} = 534,529 \frac{km}{s}$$

Bestimmung der Distanz:

gegeben: $v = 534,529 \frac{km}{s}$ gesucht: D

Lösung: $D = \frac{v}{H_0}$

$$D = \frac{534,529 \frac{km}{s}}{70 \frac{km}{s \cdot Mpc}}$$

$$D \approx 7,636 \text{ Mpc} = 2,357 \cdot 10^{23} \text{ m}$$

$$D \approx 24.907.613,12 \text{ Ly}$$

NGC 4552

Bestimmung der Rotverschiebung: Mg-Linie

gegeben: $\lambda(em) = 516,7 \text{ nm}$ gesucht: z

$$\lambda(obs) = 519 \text{ nm}$$

Lösung: $z = \frac{\lambda(obs) - \lambda(em)}{\lambda(em)}$

$$z = \frac{519 \text{ nm} - 516,7 \text{ nm}}{516,7 \text{ nm}}$$

$$z \approx 4,451 \cdot 10^{-3}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit:

gegeben: $z = 4,451 \cdot 10^{-3}$ gesucht: v

Lösung: $v = c \cdot z$

$$v = 299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 4,451 \cdot 10^{-3}$$

$$v \approx 1.334.376,231 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1.334,376 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Bestimmung der Distanz:

gegeben: $v = 1.334,376 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ gesucht: D

Lösung: $D = \frac{v}{H_0}$

$$D = \frac{1.334,376 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}}$$

$$D \approx 19,0625 \text{ Mpc} = 5,8826 \cdot 10^{23} \text{ m}$$

$$D \approx 62.177.359,69 \text{ Ly}$$

NGC 5195

Bestimmung der Rotverschiebung: Mg-Linie

gegeben: $\lambda(em) = 516,7 \text{ nm}$ gesucht: z

$$\lambda(obs) = 517,5 \text{ nm}$$

Lösung:
$$z = \frac{\lambda(\text{obs}) - \lambda(\text{em})}{\lambda(\text{em})}$$

$$z = \frac{517,5 \text{ nm} - 516,7 \text{ nm}}{516,7 \text{ nm}}$$

$$z \approx 1,5482 \cdot 10^{-3}$$

Bestimmung der Geschwindigkeit:

gegeben: $z = 1,5482 \cdot 10^{-3}$ gesucht: v

Lösung: $v = c \cdot z$

$$v = 299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,5482 \cdot 10^{-3}$$

$$v \approx 464.128,68 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 464,139 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Bestimmung der Distanz:

gegeben: $v = 464,139 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ gesucht: D

Lösung: $D = \frac{v}{H_0}$

$$D = \frac{464,139 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}}$$

$$D \approx 6,631 \text{ Mpc} = 2,046 \cdot 10^{23} \text{ m}$$

$$D \approx 21.627.628,52 \text{ Ly}$$

Quellen der Spektren

1: [Julia Höhne]

2: https://www.researchgate.net/figure/The-central-HST-STIS-spectrum-of-NGC-5102-from-its-central-pixel-is-shown-in-black_fig2_331109588

3: <https://www.cloudynights.com/topic/657532-spectrum-of-m87-nucleus/>

4: <https://www.inspirehep.net/record/1265825/plots>

5: <https://www.semanticscholar.org/paper/Searching-for-additional-heating-%3A-%5BO-II%5D-emission-Otte-Reynolds/aa15cffff6eb6640807287c11d7ff9da52bd9f28/figure/3>

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und Stellen, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das gleiche gilt auch für beigegebene Zeichnungen und Darstellungen.

Hoppegarten, 25.01.2020

Julia Höhne

Persönliche Unterstützung

Olaf Hofschulz, Lehrer, hat mich bei der Erstellung der Arbeit unterstützt. Er hat mir bei den Aufnahmen der Spektren geholfen.