

## 12. Unsere Milchstraße

### 12.1 Das weiße Band am Himmel und die Position unseres Sonnensystems

Blickt man im Gebirge in einer mondlosen Nacht an den Himmel, so fällt einem unmittelbar ein weißlich schimmerndes Band auf, das sich quer über den Himmel erstreckt. Es ist nicht überall gleich breit und wird auch an einigen Stellen von dunklen Streifen durchzogen. Wenn man es mit einem kleinen Feldstecher betrachtet, so sieht man, dass es aus sehr vielen Einzelsternen besteht. Dieses Band wird "unsere Milchstraße" oder auch Galaxis genannt. Da unser Planetensystem Teil der Milchstraße ist, können wir ihre Gestalt nicht direkt sehen, sondern müssen sie aus vielen Beobachtungen erschließen.

Heute ist die Gestalt unserer Milchstraße recht gut bekannt (siehe Abb. 12.1). Sie ist annähernd eine Scheibe mit einem Radius von ca. 50.000 Lj und einer Dicke von ca. 3.000 Lj, außer in der Mitte der Scheibe, wo die Galaxie eine kugelförmige Verdickung hat. Unsere Sonne liegt etwa bei zwei Drittel des Scheibenradius. Um die Galaxie erstreckt sich noch bis in große Entfernungen eine sog. Korona.

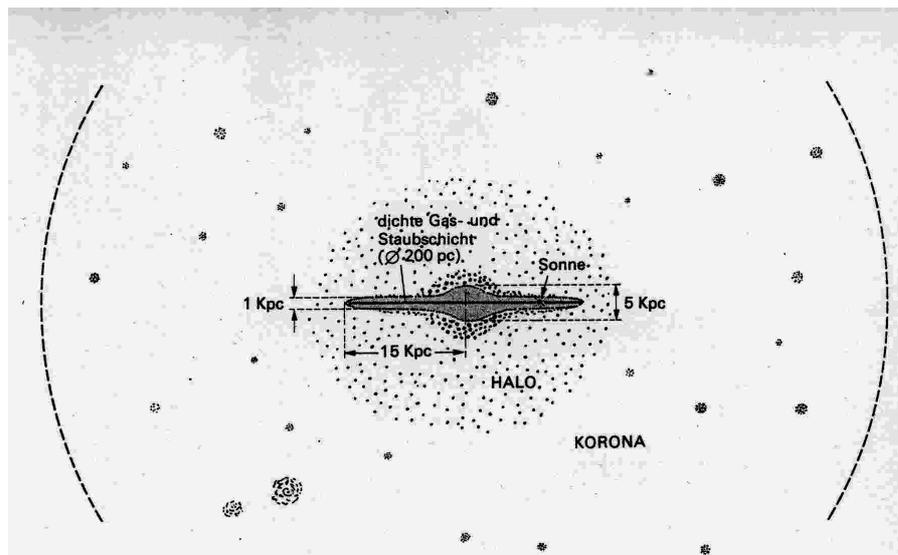


Abb.12.1: Schematisches Bild unserer Milchstraße. (1 kpc  $\cong$  3000 Lj)

Ein außergalaktischer Beobachter, der von "oben" auf die Scheibe schaut, würde eine Spiralstruktur erkennen, wie sie z.B. der Andromedanebel in Abbildung 12.2 zeigt.

Unsere Galaxie ist also eine riesige rotierende Scheibe mit spiralförmigen Armen oder eine Art riesiger Strudel, der auch die Sonne und ihre Planeten mit sich zieht. Unser Sonnensystem bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 220 km/s um das Zentrum der Milchstraße und braucht 200 Millionen Jahre für einen Umlauf. Seit seiner Entstehung vor 4.5 Milliarden Jahren hat unser Planetensystem das galaktische Zentrum schon 20 mal umrundet.

Wie konnte man nun zu diesen Erkenntnissen gelangen?

Bereits im 18. Jahrhundert widmete sich William Herschel (1738 – 1822) der Untersuchung der Struktur unserer Milchstraße. Er war auch der erste, der bei der Beobachtung von Nebeln mit selbstgebaute Spiegelteleskopen Einzelsterne entdeckte und

daraus den Schluss zog, dass es sich bei diesen Nebeln um eigenständige, fremde Sternsysteme, i.a. andere Galaxien handeln müsse.

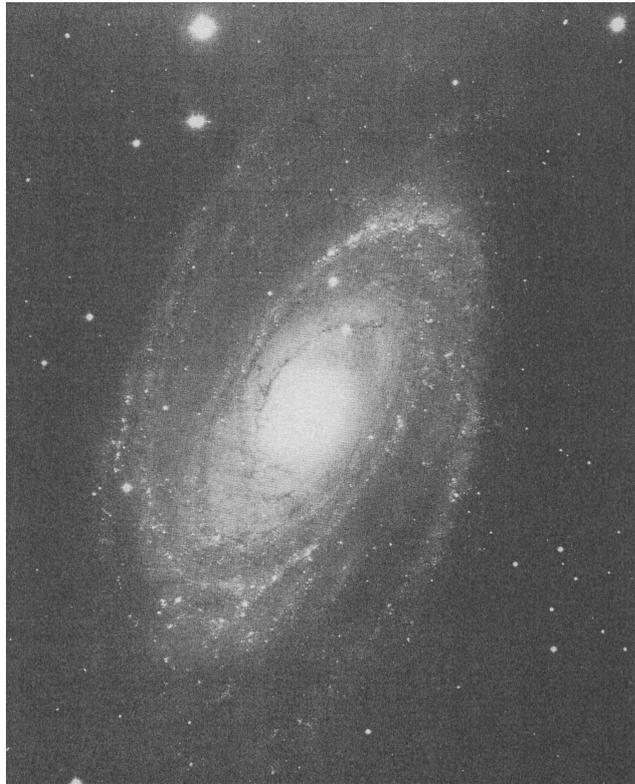


Abb. 12.2: Andromedanebel (M31)

Noch um 1900 waren sich die Astronomen sehr sicher, dass unser Sonnensystem sich in unmittelbarer Nähe des Zentrums aller Sterne befinden müsse. Diese Erkenntnis hatte man aus Sterndichtemessungen gezogen, so dass wir wieder einmal der Mittelpunkt des Universums zu sein glaubten. In den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts verbesserten sich die Beobachtungsmöglichkeiten entscheidend. Zunächst wurde im Jahre 1914 auf dem Mount Wilson in Kalifornien in 1800 m Höhe ein 1,5 m Spiegelteleskop aufgestellt, an dem Harlow Shapley, ein junger ehrgeiziger Astronom von knapp 30 Jahren seine Arbeit aufnahm. Er wählte für seine Untersuchung nicht Fixsterne, sondern Kugelsternhaufen aus, die aus  $10^4$  -  $10^6$  Einzelsternen bestehen. In diesen Kugelsternhaufen beobachtete er u.a. Sterne, die in ihrer Helligkeit periodisch schwanken, sog. Pulsationsveränderliche, aus deren Eigenschaften er die Entfernungen der Kugelsternhaufen bestimmen konnte.

### **Astronomische Entfernungsbestimmungen durch Sternhelligkeitsmessungen**

Die direkt beobachtbare Helligkeit  $I$ , die sog. scheinbare Helligkeit, ist von 2 Faktoren abhängig: von der Entfernung  $r$  und von der Leuchtkraft  $L$ . Die Leuchtkraft ihrerseits hängt von der Oberflächentemperatur und der Größe der Oberfläche des Sterns ab.

Versuch:

Die Abhängigkeit der Helligkeit von der Entfernung kann mit in einem Experiment gezeigt werden: Eine Glühbirne wird bei fester Spannung betrieben. Ihre Strahlungsleistung  $I$  wird

mit einer Thermosäule gemessen. Bei Verdopplung der Entfernung  $r$  geht die gemessene Strahlungsleistung auf  $\frac{1}{4}$  des Ausgangswertes zurück. Daraus ergibt sich, dass  $I \sim 1/r^2$  ist.



Abb. 12.3: Apparatur zur Messung der Abhängigkeit zwischen scheinbarer Helligkeit und Entfernung. Links die Lichtquelle, rechts die Thermosäule, deren Abstand variiert werden kann.

Bei diesem Verfahren braucht man Sterne, deren Leuchtkraft bzw. absolute Helligkeit bekannt ist. Nun gibt es Sterne, die im HRD (siehe Abb. 11.5) oberhalb der Hauptachse stehen – d.h. Riesensterne, deren Leuchtkraft periodisch schwankt. Das ist darauf zurückzuführen, dass sich sowohl der Radius als auch die Oberflächentemperatur periodisch ändern, der Stern also pulsiert, und zwar mit einer Periode von einigen Tagen.

1908 entdeckte Henrietta Leavitt bei Untersuchungen von Cepheiden in der Kleinen Magellanschen Wolke, einem am südlichen Sternhimmel mit bloßem Auge sichtbaren extragalaktischen System, dass bei diesen Sternen eine Abhängigkeit zwischen mittlerer Helligkeit und Periode existiert:

**Je größer die Periode, desto heller die Sterne.**

Kann man also bei einem dieser Sterne die Entfernung über eine unabhängige Messung bestimmen, so kennt man die Leuchtkräfte aller in Abhängigkeit von ihrer Periode. Dies gelang Shapley im Jahre 1918 bei Cepheiden in Kugelsternhaufen, deren Entfernung bekannt war.

Man misst also die Periode  $P$  und kennt damit die Leuchtkraft  $L$  bzw. die absolute Helligkeit. Bestimmt man ferner die mittlere scheinbare Helligkeit, so kann man aus diesen Größen die Entfernung  $r$  berechnen.

Aus seinen Messungen an Kugelsternhaufen unserer Milchstraße zog Shapley folgende Schlüsse:

- Die Kugelsternhaufen sind ungefähr innerhalb einer Kugel angeordnet.
- Unsere Sonne ist weit vom Zentrum dieser Kugel entfernt.
- Das Zentrum dieser Kugel liegt - von unserem Planetensystem aus gesehen - in Richtung des Sternbilds "Schütze".

Shapley hatte bei seinen Untersuchungen auch das Glück des Tüchtigen. Die meisten Kugelsternhaufen liegen außerhalb der galaktischen Scheibe im sog. Halo und ihre

Beobachtung wird nicht bzw. kaum durch die interstellare Lichtabsorption, die man erst um 1930 entdeckte, verändert. Nach Berücksichtigung der interstellaren Absorption ergab sich, dass das Zentrum der Kugelsternhaufen mit dem Schwerpunkt der Scheibe unserer Milchstraße zusammenfällt.

Nachdem auf dem Mount Wilson Anfang der zwanziger Jahre ein 2,5 m Spiegelteleskop installiert worden war, konnte man eindeutig zeigen, dass der Andromedanebel und etliche weitere Nebel mit einer Spiralstruktur extragalaktische Systeme waren. Somit stand fest: Unsere Galaxie hat keine Sonderstellung, sie ist eine von etwa 100 Milliarden anderer Galaxien.

## 12.2 Die Massenverteilung unserer Galaxie, Dunkle Materie

In unserem Planetensystem haben wir die Masse der Sonne mit Hilfe des 3. Keplerschen Gesetzes bestimmt. Dafür brauchten wir nur von einem Planeten (z.B. der Erde) die Werte für die Umlaufzeit und den Abstand zur Sonne. Mit der gleichen Methode kann man die Masse der Milchstraße bestimmen, wobei jedoch jetzt die Sonne die Rolle des umlaufenden Himmelskörpers übernimmt. Aus der Umlaufzeit der Sonne um das Zentrum und ihrem Abstand zum Zentrum errechnet man für die Masse des Teils der Galaxis, die von der Sonne umkreist wird, einen Wert von ca.  $100 \cdot 10^9$  Sonnenmassen.

Diese Masse ist hauptsächlich in den sichtbaren Sternen konzentriert. Die interstellare Materie, d.h. die Materie im Raum zwischen den Sternen, besteht im wesentlichen aus Wasserstoff und Helium im schon von der Sonnenoberfläche bekannten Massenverhältnis 3:1. Etwa ein Prozent der interstellaren Materie besteht aus Staubteilchen mit Durchmessern von 1 bis  $0,1 \mu\text{m}$ , die für die Absorption und Streuung des Lichts eine wesentliche Rolle spielen.

Wenn man die Masse der Galaxis außerhalb des von der Sonne umrundeten Teils untersuchen will, wendet man das Keplersche Gesetz auf solche Sterne an, die das Zentrum in größerem Abstand als die Sonne umkreisen. Heute gibt man für den sichtbaren Bereich unserer Milchstraße, der aus dem Zentrum, der Scheibe und dem Halo besteht, eine Masse von  $9 \cdot 10^{11}$  Sonnenmassen an.

Untersucht man nun den im wesentlichen nicht sichtbaren Bereich am Rande der Galaxie, indem man das Keplersche Gesetz auf die wenigen in diesem Bereich noch sichtbaren Sterne anwendet, so findet man, dass die von diesen Sternen gemessene Masse der umkreisten Galaxie immer noch kräftig zunimmt. Das bedeutet, dass auch in Bereichen, wo praktisch keine Sterne sichtbar sind, noch Masse und damit Materie vorhanden ist. Man nennt sie die "Dunkle Materie", da man sie nicht sehen kann. Dunkle Materie tritt auch bei einer Reihe von anderen Messungen im Universum auf (z.B. den Gravitationslinsen). Man schätzt heute, dass die Masse der Dunklen Materie etwa 10 mal größer ist als die der sichtbaren. Die Zusammensetzung dieser Materie ist noch nicht geklärt. Es könnte sich um erloschene und damit nicht mehr sichtbare Sterne handeln. Auch noch nicht bekannte Teilchen, sog. WIMPs (weakly interacting particles), könnten für die Dunkle Materie verantwortlich sein. Die Untersuchung der Dunklen Materie ist heute eines der spannendsten Forschungsgebiete.

### 12.3 Schwarzes Loch im Zentrum

Es gilt heute als sicher, dass sich im Zentrum unserer Milchstraße ein Schwarzes Loch befindet. Was ist darunter zu verstehen?

Ein Schwarzes Loch ist ein Himmelskörper, der so schwer und so klein ist, dass selbst Licht von seiner Oberfläche nicht entweichen kann. Auf der Erde definieren wir die Entweichgeschwindigkeit folgendermaßen: Es ist diejenige Geschwindigkeit, die ein Körper haben muss, damit er die Erdanziehung überwinden kann.

**Versuch:**

Ein Tennisball wird mit verschiedenen Anfangsgeschwindigkeiten nach oben geworfen. Je größer die Anfangsgeschwindigkeit, desto höher liegt der Umkehrpunkt seiner Flugbahn. Bei einer Anfangsgeschwindigkeit von mehr als 11,2 km/s würde ein Körper nicht mehr zur Erde zurückkommen, was Raketenexperimente bestätigt haben.

Da die Lichtgeschwindigkeit wesentlich größer als die Entweichgeschwindigkeit ist, kann man von der Erdoberfläche ausgesandtes Licht im Weltraum beobachten. Die Entweichgeschwindigkeit hängt vom Radius und von der Masse des astronomischen Objekts ab. Je größer die Masse und je kleiner der Radius, desto größer ist die Entweichgeschwindigkeit. Schwarze Löcher nennt man solche Objekte, an deren Oberfläche selbst die Lichtgeschwindigkeit zum Entweichen zu klein ist: Das Licht kehrt wie ein hochgeworfener Tennisball zurück. Nach außen erscheint also das Schwarze Loch dunkel, daher die Bezeichnung.

Auch wenn solche Objekte ziemlich exotisch scheinen, sind die Bedingungen für ihre Bildung recht gewöhnlich. Jeder Stern, der am Ende seines Brennens eine Masse von mehreren Sonnenmassen hat, wird zu einem Schwarzen Loch. Die Schwerkraft zieht die Masse zu einer winzigen, hochverdichteten Kugel zusammen. Der Radius eines Schwarzen Lochs mit einer Masse von  $10 M_{\text{Sonne}}$  ist dann kleiner als 30 km. (Zum Vergleich: Der Radius der Sonne ist etwa 1.000.000 km!)

Wie kann man nun solche winzigen unsichtbaren Objekte erkennen?

An den Wirkungen auf andere Himmelskörper. Man hat z.B. das Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße dadurch gefunden, dass sichtbare Sterne in dieser Gegend sich auf gekrümmten Bahnen bewegen, einige auf Ellipsenbahnen um ein "Nichts". Aus den Bahnparametern hat man - wieder über das 3. Keplersche Gesetz - auf die Masse des Schwarzen Lochs zurückgeschlossen: 2 Millionen Sonnenmassen. Das Schwarze Loch war vermutlich früher kleiner. Seine Masse ist im Laufe der Zeit auf Kosten seiner Umgebung gewachsen, indem das Schwarze Loch wie ein "kosmischer Staubsauger" umgebende Materie, Gas oder Sterne, in sein Gravitationsfeld gezogen und "verschluckt" hat. Bei solchen Prozessen wird u.a. Röntgenstrahlung ausgesandt, wodurch sich auch ein Schwarzes Loch verraten kann.

Wegen des extrem starken Schwerefeldes auf der Oberfläche eines Schwarzen Lochs ergeben sich viele aufregende Phänomene, die bisher allerdings erst theoretisch untersucht worden sind.

## 12.4 Biographie: Harlow Shapley (1885 – 1972)

Geboren wurde er im mittleren Westen der USA, in Nashville, Missouri. In diesem landwirtschaftlich beherrschten Gebiet begann seine Schulzeit in einer Dorfschule mit nur einem Klassenzimmer. Mit 15 Jahren besuchte er eine Wirtschaftsschule und wurde anschließend Zeitungsreporter. Als er sich 1907 entschloss, an der University of Missouri zu studieren, wollte er sich eigentlich für Journalismus einschreiben. Da er jedoch keinen echten Studiengang erkennen konnte, begann er mehr oder weniger zufällig mit dem Astronomiestudium. Nach dem Bachelor- (1910) und Master-Examen (1911) wechselte er nach Princeton, wo der junge Henry Norris Russell (1877 – 1957) vor kurzer Zeit Leiter des Astronomy Departments geworden war. Die



Zusammenarbeit mit Russell während der Zeit seiner Doktorarbeit war sehr fruchtbar und brachte einen neuen Zweig in der Astronomie der Doppelsterne hervor. Nach seiner Promotion im Jahre 1914 wechselte der tatendurstige junge Astronom an das Mount Wilson Observatorium in Kalifornien, wo das damals größte Teleskop der Welt (1,5 m Spiegel) für seine Beobachtungen zur Verfügung stand. Hier verschoben sich seine Interessen von den Bedeckungsveränderlichen zu den Kugelsternhaufen, mit deren Hilfe er seinen größten wissenschaftlichen Beitrag leistete: die Entdeckung der Dimensionen unserer Milchstraße und der Lage ihres Zentrums.

Da Shapley nicht nur ein ausgezeichnete Astronom, sondern auch ein hervorragender Lehrer und Autor mit angeborenen Talenten für die Verwaltung war, bot man ihm 1920 die Stelle des Direktors am Harvard College Observatory in Cambridge (Mass.) an. Ein solches Angebot schlug er selbstverständlich nicht aus, so dass Harvard sein akademisches Zuhause für den Rest seines Lebens wurde. Er modernisierte das Observatorium, errichtete eine neue Außenstation in Südafrika und gründete an der Harvard Universität die "graduate school of astronomy", die zu einem großen Erfolg wurde.

Auch wenn ihm in Harvard nicht mehr die großen Spiegelteleskope zur Verfügung standen, gab er seine aktive Erforschung der galaktischen und extragalaktischen Objekte nie ganz auf. Nach dem 2. Weltkrieg jedoch wurden ihm so viele Ämter zugetragen, dass seine vielen Verpflichtungen ihm kaum noch Zeit für eigene Beobachtungen und kreative Arbeit ließen. Nach seinem Eintritt in den Ruhestand im Jahre 1952 blieb er noch 4 Jahre als Research Professor und danach als Dozent und Autor tätig.

Shapley war einer der beiden Kontrahenten, die 1920 in der National Academy of Sciences in Washington ein Streitgespräch führten, das später als "die große Debatte" in die Geschichte der modernen Kosmologie eingegangen ist. Es wurde um die "Skalierung des Universums" gerungen, wobei die Größe unserer Milchstraße und die Existenz extragalaktischer Objekte zentrale Punkte waren. Auch wenn Shapley mit seiner Meinung, dass alle astronomischen Objekte zu unserer Milchstraße gehörten, später widerlegt wurde, so war doch seine Abschätzung der Größe und Form unserer Galaxis richtig.

Quellen:

Nature, Vol. 240, pp 429-430 (1972)

[http://antwarp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/shapley\\_obit.html](http://antwarp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/shapley_obit.html)

[http://antwarp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/cs\\_why.html](http://antwarp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/cs_why.html)