

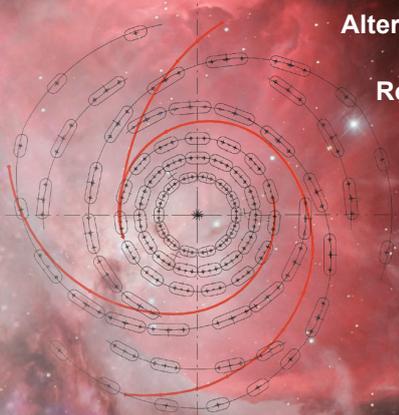


Mathematische Reise durch die Galaxie

Ist die Dunkle Materie
ein galaktischer Spuk?

Alternative Thesen und
Berechnung zur
Rotation der Galaxie

Joachim Schmitz



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Interstellare Materie im Fokus der Radioastronomie

Interstellare Materie liefert den Baustoff zur Sternentstehung und Planetenbildung. Die Summierung interstellarer Gase und Staubpartikel in der galaktischen Scheibe ergibt eine gewaltige Masse. Eine Bilanz dieser interstellaren Materie zeigt, dass deren Gravitation sehr wesentlich zur Stabilität der Galaxie beiträgt.



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Mathematische Reise durch die Galaxie

Die *Mathematische Reise durch die Galaxie* führt den Leser durch das Gravitationsfeld der Galaxie mit dem Zweck, deren Rotationsgeschwindigkeiten genauer zu analysieren. Worum geht es? Eines der gegenwärtig aktuellen Themen der Astrophysik betrifft die **Dunkle Materie**. Weil die **Rotationsgeschwindigkeiten** der Galaxie scheinbar nicht mit den physikalischen Gesetzen übereinstimmen, postuliert die Kosmologie die Existenz der Dunklen Materie. Demzufolge schildert die Astrophysik den Kosmos bestehend aus 15% bekannter Materie und 85% unbekannter „Dunkler Materie und Dunkler Energie“. Diese geheimnisvolle Substanz, deren Eigenschaften dem Astrophysiker nicht bekannt sind, wurde trotz gewaltiger Forschungsaufwendungen zu Lande, zu Wasser und im All bis auf den heutigen Tag nicht aufgespürt.

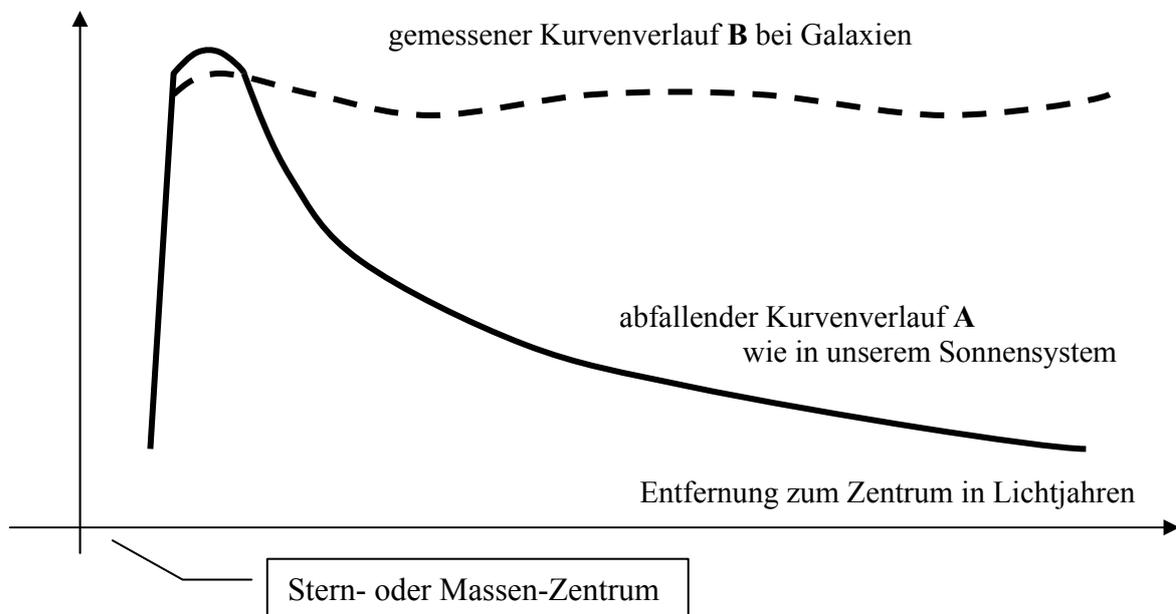
Unser Verständnis der dynamischen Abläufe in unserem Sonnensystem, in unserer Galaxis und darüber hinaus im Universum basiert auf dem Newton'schen Gravitationsgesetz. Das Gravitationsgesetz beschreibt die Kraft, mit der sich zwei Massen anziehen. Die Kraft heißt daher Massenanziehungskraft und ist abhängig von der Größe der Massen und ihrem Abstand.

$$F_z = G \cdot M_1 \cdot M_2 / R^2$$

Jeder Flugkörper, der von der Erde in den Weltraum startet, liefert einen Beweis für die Gültigkeit dieses Naturgesetzes. Nach diesem Gesetz gilt:

Je näher ein Flugkörper die Sonne umrundet, umso schneller ist seine Bahngeschwindigkeit. Umgekehrt gilt: Je weiter entfernt ein Flugkörper die Sonne umrundet, umso langsamer ist seine Bahngeschwindigkeit.

Rotationsgeschwindigkeit
in einer Galaxie



Die Gravitationskraft wird mit zunehmender Entfernung vom Massenzentrum immer schwächer, entsprechend dem Kurvenverlauf (A) in unserem Sonnensystem – siehe obige Abbildung. Die Rotationskurven für die Galaxie zeigen jedoch einen nahezu waagerechten Kurvenverlauf (B). Der Kurvenverlauf (B) bringt die Astrophysik in Erklärungsnot, da diese Charakteristik nicht mit dem Verlauf in unserem Sonnensystem übereinstimmt.

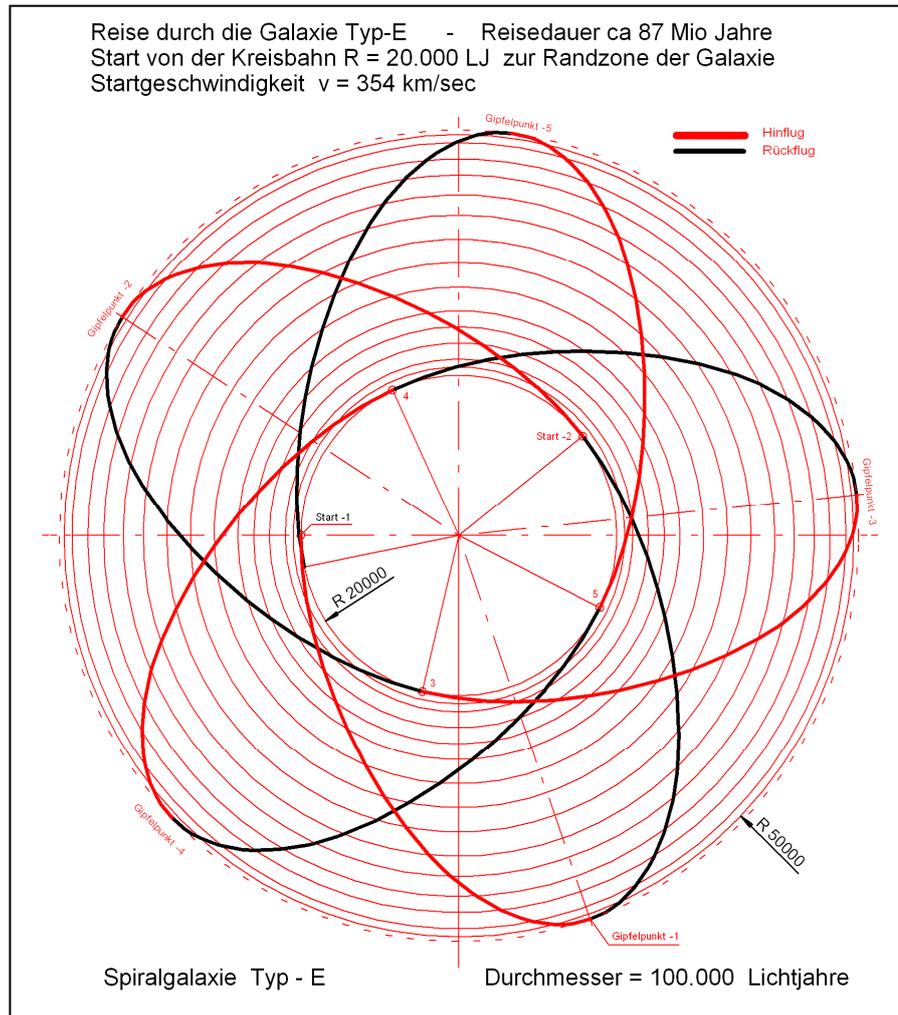


Galaktischer „Eiertanz“

Die konstruierte Flugbahn durch die Galaxie Typ-E zeigt ein Osterei beim „Eiertanz“. Die Flugbahnen ergeben sich, weil das Flugobjekt nach dem Rückflug zwar zum gleichen Ausgangsradius zurückkehrt, aber nicht auf seinem Ursprungsstartpunkt landet.

Flugobjekte in einer Galaxie, die von der Kreisbahn abweichen, folgen keiner elliptischen Kurve. Das gedehnte Kraftfeld der Galaxie verzerrt die Flugbahnen.

Dieses „gedehnte“ Kraftfeld wirkt in der gesamten Galaxie und zwingt Flugobjekte, die nicht auf Kreisbahnen umlaufen, zum „Eiertanz“.



Erkenntnis

Das Schwerefeld von Galaxien erzeugt Flugbahnen in der Form von Eierkurven. Die Kepler'schen Planetengesetze gelten für Ellipsen, aber nicht für Eierkurven.

Überschlagsberechnung der Massenanteile in der Milchstraße (Stand 2014/2015)

Auf der Reise durch die Galaxie haben die Forscher viele interessante Erkenntnisse gewonnen. Zu diesen Entdeckungen zählt insbesondere die **interstellare Materie**, die sich den Augen der optischen Teleskope entzieht, aber durch die Antennen der Radioastronomie sichtbar wird. Der Radioastronomie ist es in den letzten Jahrzehnten gelungen, in die dunklen Molekülwolken, die für sichtbares Licht unpassierbar sind, hineinzuschauen. In diesen Molekülwolken aus Wasserstoff und Helium werden Sterne „geboren“, und die eingebetteten Staubwolken liefern die erforderlichen Baustoffe für die Entstehung von Planeten. Die Astrophysik blickt auf diese Weise in die „kosmische Kinderstube“ und zeigt uns faszinierende Bilder wie aus den Kindertagen unseres Sonnensystems. Diese „Kinderstube“ ist zum Beispiel im *Spektrum der Wissenschaft* Ausgabe 2/14 – Physik Mathematik Technik „Das wechselhafte Leben der Sterne“ von Dr. Ralf Launhardt (Forscher am Max-Planck-Institut) sehr anschaulich beschrieben.

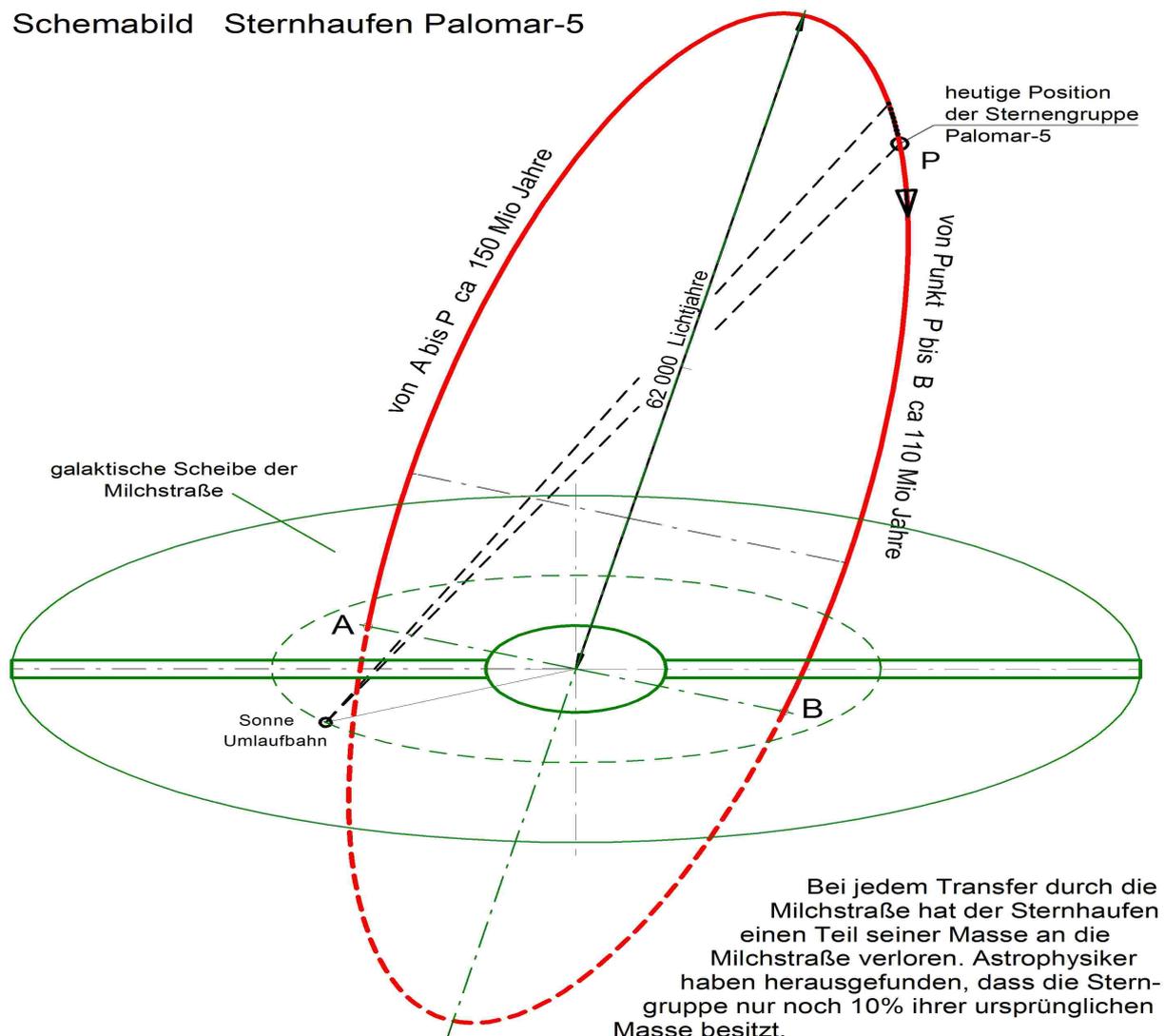


Massenbestimmung aus der Umlaufbahn des Sternenhaufens Palomar-5

In den vergangenen zehn Jahren hat der *Sloan Digital Sky Surveys (SDSS)* den Nordhimmel sehr präzise kartographiert. Aus diesen aktuellen Daten hat nunmehr im Jahr 2015 ein internationales Forscherteam unter der Regie der Universität Bonn die *Masse der Galaxis* aus dem Bahnverlauf des *Sternenhaufens Palomar-5* berechnet. Diese Forschungsstudie verfolgte einen anderen Lösungsweg. Es ist deshalb sehr interessant, die Ergebnisse der internationalen Studie mit den Berechnungen des Buches „*Mathematische Reise durch die Galaxie*“ zu vergleichen.

Vor ca 150 Millionen Jahren hat die Sternengruppe Palomar-5 die Scheibe der Milchstraße (im Punkt A) durchquert und befindet sich gegenwärtig (im Punkt P) ca 75.000 Lichtjahre von unserem Sonnensystem entfernt in der nördlichen galaktischen Polregion. Die Sternengruppe ist weitere ca 110 Millionen Jahre unterwegs bis sie im (Punkt B) wiederholt in die Scheibe der Milchstraße eintaucht. Dabei bildet sich ein Sternenschweif (ähnlich wie der Gasschweif eines Kometen).

Schemabild Sternhaufen Palomar-5



Der **Sternhaufen Palomar-5** umfasst ca. 5000 Sonnenmassen und bewegt sich auf einer exzentrischen Bahn, die fast senkrecht zur galaktischen Ebene unserer Milchstraße verläuft. Es ist eine besondere technisch-wissenschaftliche Leistung, aus dem Bahnsegment des Sternenhaufens den Verlauf einer exzentrischen Umlaufbahn von ca. 350 Millionen Jahren herzuleiten. Vorteilhaft ist, dass der Sternhaufen sich außerhalb der Milchstraßenscheibe bewegt und die „Leuchtspur seines Sternenschweif“ eine Teilstrecke seiner Flugbahn verrät.



Berechnung der galaktischen Masse

Die Berechnung erfolgt nach geometrisch-mathematischen Verfahren der Ingenieurwissenschaft unter Anwendung der Vis-Viva-Gleichung (siehe Excel-Tabelle) und ohne Dunkle Materie.

Die Umlaufzeiten sind abhängig von der Gesamtmasse der Galaxie. Es gilt allgemein: je größer die galaktische Masse, umso schneller muss der Sternhaufen die Milchstraße umrunden. Dies gilt gleichermaßen für einzelne Sterne.

aus der ersten **Bahnstudie von 2005** sind bekannt:

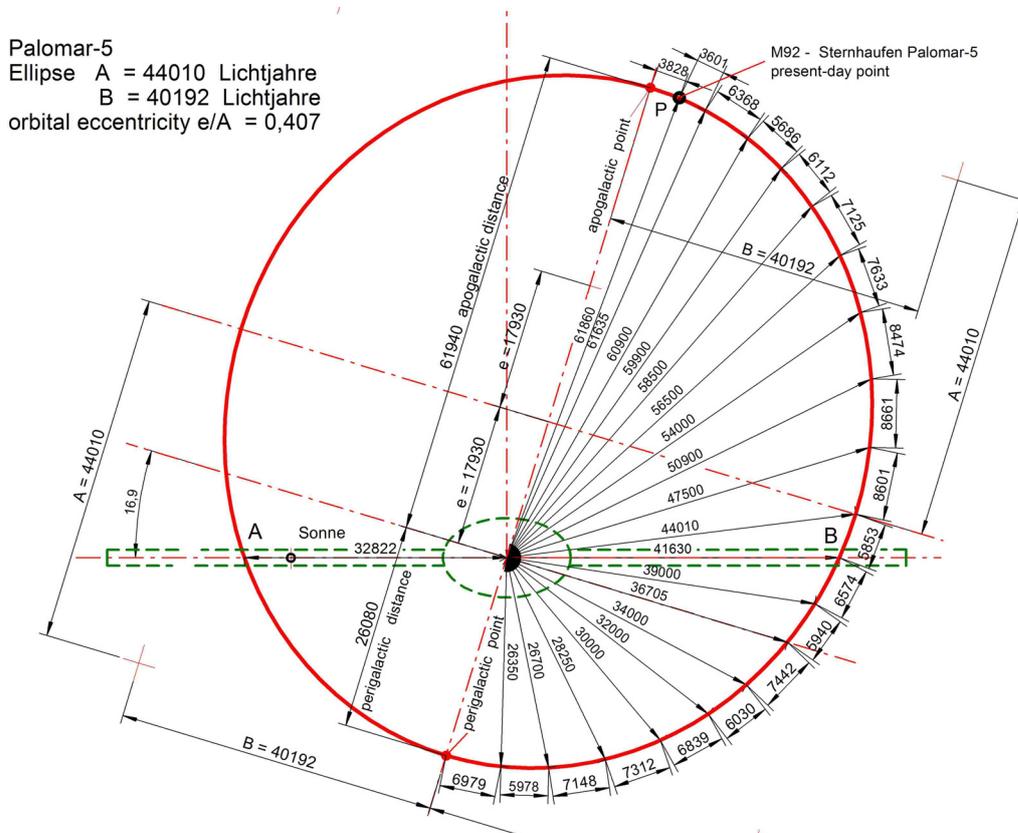
- die Durchquerung der Milchstraße erfolgte vor 150 Millionen Jahren;
- in 110 Millionen Jahren wird die Milchstraße wiederholt passiert;

aus der zweiten **Bahnstudie von 2015** sind bekannt:

- Parameter der elliptischen Bahngeometrie;
- der gegenwärtige **Bahnpunkt P** des Sternhaufens ist ca. 61.300 Lichtjahre vom Zentrum entfernt
- Beschleunigung im Bahnpunkt P: $a_p = 0,81 \times 10^{-10} \text{ m/sec}^2$ Toleranz +/- 0,14
- Bahngeschw. in Punkt B (transverse velocity of palomar-5) $v = 253 \text{ +/- } 16 \text{ km/sec}$

Abb. Ellipse-Sternhaufen-Palomar-5 / 2015

Auf Basis der Ellipsen-Parameter (*große Halbachse A / kleine Halbachse B und Excentrizität*) ist die Umlaufbahn hier alternativ mit Hilfe eines Computer-Programms (CAD) maßstäblich in den Dimensionen von Lichtjahren konstruiert und berechnet. Die Computer-Konstruktion (siehe Abbildung) liefert eine ausreichend hohe Genauigkeit der Bahngeometrie und ermöglicht so die Berechnung der Umlaufzeiten.



Das Zentrum der Galaxie ist gleichzeitig ein Brennpunkt der elliptischen Umlaufbahn. Der gravitative Einfluss der galaktischen Scheibe wird aufgrund der großen Distanz vernachlässigt. Dieser Einfluss wird jedoch zunehmend größer, wenn der Sternhaufen sich der Scheibenebene der Milchstraße nähert und diese schließlich passiert.

Forschungsstudie über die **Masse-Leuchtkraft-Relation** von Galaxien gestützt auf aktuelle Daten des Spitzer-Weltraum-Teleskopes

Die Masse einer Galaxie wird entweder über die Rotationsgeschwindigkeit ihrer Sterne ermittelt oder mittels optischer Verfahren, welche die Leuchtkraft der Galaxie messen. Hoher Staubanteil in den Galaxien reduziert jedoch die Leuchtkraft und verfälscht so das Ergebnis, wie aktuelle Messungen im Weltall zeigen.

Das **Spitzer-Weltraum-Teleskop** hat die schwache Infrarotstrahlung von Staubwolken detektiert, die nur außerhalb unserer Erdatmosphäre messbar ist. Die Forscher Stacy S. Mc Gaugh und Federico Lelli und James M. Schombert haben diese Daten ausgewertet und kommen zum überraschenden Ergebnis: **Galaxien enthalten deutlich mehr Masse als bisher angenommen.**

Die amerikanische Studie heißt „**The Radial Acceleration in Rotationally Supported Galaxies**“ und ist submitted am 19. September 2016. Die Masse-Leuchtkraft-Relation wird durch die Studie neu bewertet und stellt die Erfordernis der Dunklen Materie infrage.

Start am 25. August 2003

Startmasse 750 kg

Kühlflüssigkeit 250 ltr.

Kosten 450 Mio. US\$

Hauptspiegel

Durchmesser 85 cm

Messung im Infrarot:

Wellenlänge 3 μm

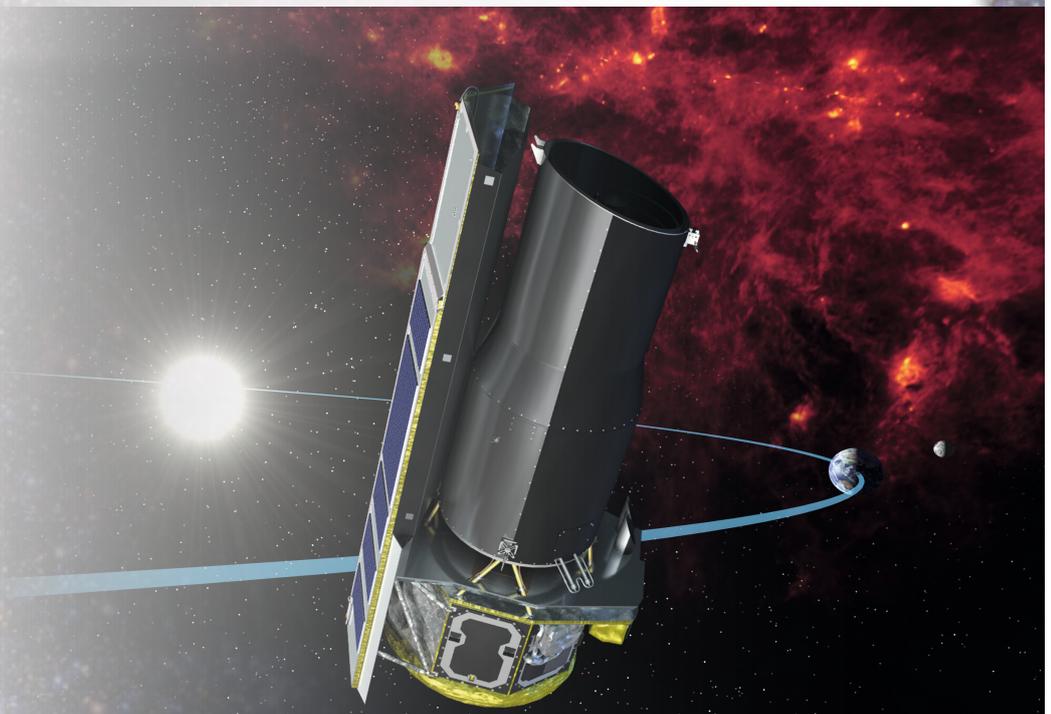
bis 180 μm

am 15. Mai 2009 war das

Kühlmittel aufgebraucht

– seitdem eingeschränkter

Betrieb möglich



Spitzer-Weltraum-Teleskop / NASA



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Eine Delta II Heavy-Rakete brachte das Teleskop in eine Umlaufbahn um die Sonne, die der Erdumlaufbahn entspricht. Spitzer folgt der Erde auf ihrem Weg um die Sonne mit zunehmender Entfernung von seinem Startplaneten. Der Orbit wurde wegen der deutlich kälteren Umgebungstemperatur von **minus 238° Celsius** (ca. 35° Kelvin über dem absoluten Nullpunkt) gewählt. Da auch das Teleskop Wärme abstrahlt und die Empfindlichkeit des Detektors erheblich reduziert, wurde der Tubus zusätzlich gekühlt. Das mitgeführte Kühlmittel (flüssiges Helium) senkte die **Betriebstemperatur auf ca. 5,5° Kelvin** (-267,5°Celsius). Ein mit Solarzellen bestückter Schild liefert die erforderliche Energie und schützt den Tubus gleichzeitig vor unerwünschter Sonneneinstrahlung. Neben der technischen Verfügbarkeit ist die Nutzungsdauer des Teleskops grundsätzlich durch den Vorrat an Kühlmittel beschränkt, weshalb auch der ungewöhnliche Orbit gewählt wurde.

Galaxien und Sterne emittieren Strahlung nicht nur im optisch sichtbaren Lichtspektrum, sondern ebenso hochenergiereiche Röntgen- und Gammastrahlung sowie **schwache Infrarot-Strahlung** von **kalten Objekten im Weltraum**. Die schwache Infrarot-Strahlung kann unsere Erdatmosphäre nicht durchdringen, ist aber messbar in einer Umgebung nahe dem absoluten Temperatur-Nullpunkt (3° Kelvin bzw. -270° Celsius). Solche Messungen sind nur möglich mit Teleskopen, die im Weltraum stationiert sind. Da bereits die geringe Erdwärme-Strahlung die Infrarot-Messungen stören bzw. beeinflussen würde, hat die NASA das **Spitzer-Weltraum-Teleskop** auf eine Umlaufbahn abseits der Erde geschickt.

Das **Spitzer-Teleskop** hat in der Zeit von 2003 bis 2009 sehr erfolgreich umfangreiche Daten von Galaxien gesendet, die Teleskope auf der Erdoberfläche nicht erfassen können. Die Forscher haben die gemessenen Radial-Beschleunigungen der vergangenen 30 Jahre mit den Spitzer-Daten abgeglichen und finden eine deutlich hohe Übereinstimmung bei der Korrelation von Rotationskurven und normaler (baryonischer) Materie. Salopp gesagt, haben die Forscher die Mess-Skala für die Massenbestimmung neu geeicht bzw. neu definiert. **Der neuen Skalierung zufolge ist deutlich mehr Masse in den Galaxien vorhanden als bisher berechnet wurde.** Die Studie hat einen sehr hohen Stellenwert, da das Ergebnis die Existenz der Dunklen Materie infrage stellt.

Masse-Leuchtkraft-Relation

Die Autoren haben laut ihren Angaben ca. zehn Jahre an der oben genannten Forschungsstudie gearbeitet, und es ist ihnen gelungen, die Masse-Leuchtkraft-Relation (analog zur Tully-Fisher-Relation) neu zu definieren.

Es gibt einen Zusammenhang von Masse und Leuchtkraft. Danach gilt: viel Leuchtkraft bedeutet viel Masse und umgekehrt. Die Leuchtkraft (oder Lichtintensität) wird mit zunehmendem Abstand „R“ generell um den Faktor $1/R^2$ kleiner. Unter Einbeziehung der Objekt-Entfernung ist die Masse-Leuchtkraft-Relation (M/L-Relation) ein in der Astronomie übliches Verfahren, um insbesondere die Massen von Galaxien zu bestimmen.

Die bisherige M/L-Relation enthält weitgehend nur die optische Leuchtkraft und einen geringen Anteil von Gas und Staub. Das Spitzer-Infrarot-Teleskop hat den Anteil von „kalten Objekten“ in den Galaxien sehr genau und umfangreich aufgespürt, und mit den Daten des Infrarot-Detektors haben die oben genannten Forscher die **Masse-Leuchtkraft-Relation** von Sternen und Galaxien **neu bestimmt**. Der Forscher Federico Lelli hat es so formuliert: *“The key is that near-infrared light emitted by stars is far more reliable than optical-light for converting light to mass.”*

Hohe Rotationsgeschwindigkeiten

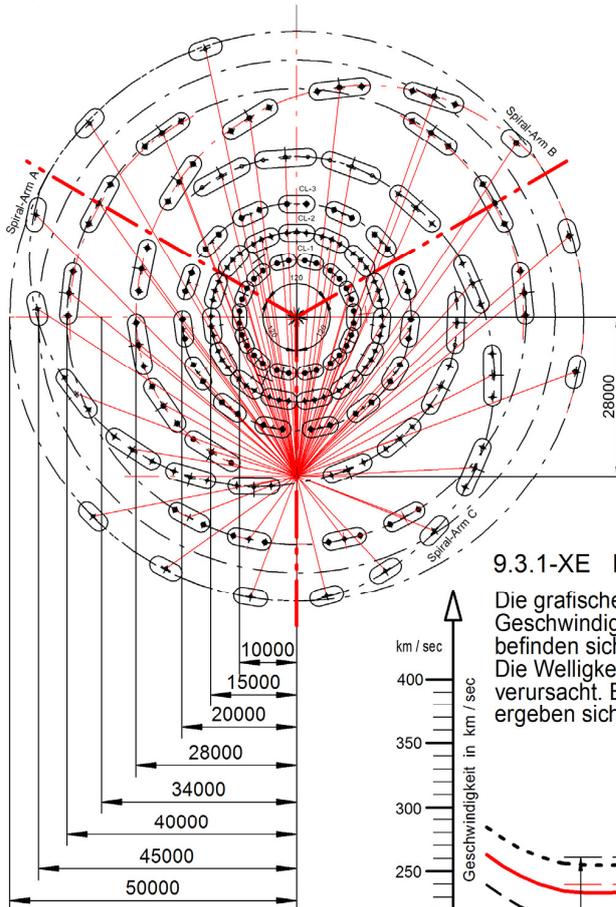
Nach den physikalischen Gesetzen deuten hohe Rotationsgeschwindigkeiten auf eine große Masse. Mit den optischen Teleskopen ist bisher im Lichtspektrum **keine ausreichende Masse** erkennbar, um die hohen Rotationsgeschwindigkeiten in den Galaxien zu erklären. Die Masse von intergalaktischem Gas und Staub wird in der astronomischen Fachliteratur gegenwärtig als zu gering geschätzt und wäre damit auch nicht ausreichend vorhanden. Wie die aktuellen Messungen im Infrarot-Spektrum zeigen, liegt der Gas- und Staub-Anteil jedoch wesentlich höher.



Abb. 5.4-XE

In dem Buch "Mathematische Reise durch die Galaxie" sind die Zusammenhänge von Masse und Rotations-Geschwindigkeit mittels Vektor-Additions-Verfahren berechnet. Autor Joachim Schmitz / Cuvillier Verlag 2014 / ISBN 978-3-95404-663-8

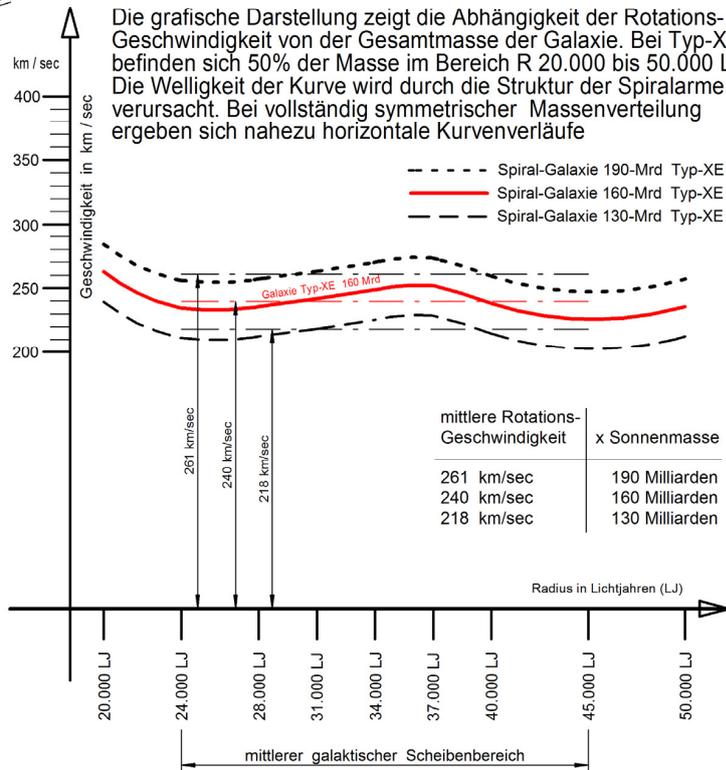
Die Abbildung zeigt das Galaxie-Modell. Das Berechnungs-Modell hat drei Spiralarme, die im Winkel von $3 \times 120^\circ$ angeordnet sind. Die Massen sind angenähert rotations-symmetrisch verteilt.



Spiral-Galaxie BX28 - Typ E / XE
 Durchmesser 100.000 Lichtjahre
 Radius zum Zentrum = 28.000 LJ

9.3.1-XE Rotations-Geschwindigkeiten für Spiral-Galaxie

Die grafische Darstellung zeigt die Abhängigkeit der Rotations-Geschwindigkeit von der Gesamtmasse der Galaxie. Bei Typ-XE befinden sich 50% der Masse im Bereich R 20.000 bis 50.000 LJ. Die Welligkeit der Kurve wird durch die Struktur der Spiralarme verursacht. Bei vollständig symmetrischer Massenverteilung ergeben sich nahezu horizontale Kurvenverläufe



Eine Galaxie mit dem Durchmesser $D = 100.000$ Lichtjahren und einer mittleren Rotations-geschwindigkeit $v_m = ca. 225 \text{ km/sec}$ hat demzufolge eine Masse von **ca. 140 Milliarden Sonnenmasse** (Sonnenmasse = $2 \times 10^{30} \text{ kg}$). siehe obiges Diagramm Abb.9.3.1-XE



Flache Rotationskurven können physikalisch und geometrisch nur verstanden werden, wenn ausreichend Materie in der galaktischen Scheibe vorhanden ist. Dabei ist es völlig gleichgültig, ob die Materie im sichtbaren Lichtspektrum oder im Infrarot-Spektrum erkennbar ist. In der Sachliteratur variieren die Angaben über die erforderliche Masse der Milchstraße von 200 Milliarden bis 1000 Milliarden Sonnenmasse. Diese Schätzungen zeigen, wie groß die Unsicherheit bei diesen Daten gegenwärtig noch ist. Ein wesentlicher Parameter für die Masse von Spiralgalaxien sind die Rotationsgeschwindigkeiten. Nach heutiger Kenntnis der Astrophysik beträgt die Umlaufgeschwindigkeit unserer Sonne um das galaktische Zentrum ca. 220 bis 260 km/sec.

Das **Diagramm 9.3.1-XE** entstammt den Berechnungen im Buch „*Mathematische Reise durch die Galaxie*“ und zeigt die Relation von galaktischen Massen und Rotationsgeschwindigkeiten. Es gibt mehr und mehr wissenschaftliche Erkenntnisse, die darauf hindeuten, dass in den Galaxien ausreichend Materie vorhanden ist. Dies wird auch deutlich anhand der folgenden Massen-Bilanz.

Die folgende **Massen-Bilanz** basiert auf einem Artikel im *Spektrum der Wissenschaft, Ausgabe 2/14 – Physik Mathematik Technik – Das wechselhafte Leben der Sterne* – von Dr. Ralf Launhardt (Forscher am Max-Planck-Institut Heidelberg). Aus den astronomischen Angaben in diesem Artikel ist es möglich, die folgende Materie-Bilanz unserer Galaxis (Milchstraße) zu erstellen.

Zitat:

*Allein in unserer Galaxie gibt es **mindestens 100 Milliarden Sterne**. Das Gas in der Milchstraße besteht zu 70 Prozent aus Wasserstoff, zu 29 Prozent aus Helium und nur zu einem Prozent aus schweren Elementen. Etwa die Hälfte davon ist relativ gleichmäßig und mit **einem Atom pro Kubikzentimeter** extrem dünn verteilt. Der Rest formt Wolken, die immerhin etwa 200-mal dichter sind, so dass sich einzelne Wasserstoffatome zusammenfinden und zu Molekülen verbinden können. Diese Molekülwolken füllen aber bloß 0,3 Prozent des gesamten Raums, und Sterne entstehen nur in den dichten Wolkenkernen. Erstaunlicherweise scheint die Verteilung der Sternmassen nicht von Wolke zu Wolke zu variieren, sondern relativ universell zu sein. Massearme Sterne entstehen immer sehr viel häufiger als massereiche. Auf 20 sonnenähnliche Sterne kommen etwa 100 leichte Exemplare mit nur 0,1 Sonnenmassen – aber nur ein einziges Schwergewicht mit zehnfacher Sonnenmasse. Zitat Ende*

Aus obigen Angaben im Spektrum der Wissenschaft (Stand 2014) ergibt sich folgende

Bilanz der galaktischen Massen:

Masse im Zentrum bis Radius 20.000 LJ	70,0 Milliarden x Sonnenmasse	50,0 %
sichtbare leuchtende Materie (Sterne)	35,0 Milliarden x Sonnenmasse	25,0 %
Masse der interstellaren Gase *)	8,4 Milliarden x Sonnenmasse	6,0 %
Masse der Molekülwolken	4,8 Milliarden x Sonnenmasse	3,4 %
Masse galaktischer Staub *)	5,8 Milliarden x Sonnenmasse	4,1 %
Masse ausgeglühte Sterne	4,7 Milliarden x Sonnenmasse	3,4 %
Fehlertoleranz, unklar, nicht detektiert ?	11,3 Milliarden x Sonnenmasse	8,1 %
<hr/>		
Gesamtmasse der Galaxis	140 Milliarden x Sonnenmasse	100 %

*) Die Massen addieren sich, wenn die Dichte des interstellaren Gases (**1 Atom / cm³**) und die Molekülwolken (ca. **200 Atome / cm³**) auf das riesige Volumen der galaktischen Scheibe hochgerechnet werden. Die Literaturangaben zur durchschnittlichen Staubdichte sind sehr different. Die Spitzer-Daten zeigen, es gibt mehr Masse in Form von Staub als bisher angenommen. In der obigen Bilanz wurde die Staubdichte in der galaktischen Scheibe mit **0,03 Silizium-Molekül / cm³** angenommen. Die durchschnittliche Staubdichte ist ein Schätzwert, da hierzu bislang zu wenig fundierte Daten vorliegen.

Im Themenheft **Gravitation und Interstellare Materie** ist die Berechnung der Massenbilanz tabellarisch detailliert aufgeführt.



Intergalaktische Gase aus Wasserstoff und Sauerstoff – jenseits der sichtbaren Galaxis

Der sichtbare Bereich unserer Milchstraße hat einen Durchmesser von ca. 100.000 Lichtjahren und enthält **140 bis 170 Milliarden Sonnenmasse**. Die Ausdehnung unserer Galaxis entspricht etwa **1/25** der Entfernung bis zu unserem galaktischen Nachbarn, der Andromeda-Galaxie, die ca. 2,5 Millionen Lichtjahre von unserer Milchstraße entfernt ist.

Wir verlassen den sichtbaren Bereich der Milchstraße und erreichen den galaktischen Halo – so bezeichnen die Astronomen die kugelförmige **Plasmawolke**, welche die Galaxis umhüllt. Diese „kosmischen Wolken“ enthalten Millionen Grad **heiße ionisierte Sauerstoff-Atome**, welche im energiereichen Strahlenspektrum ferner Sterne Spuren hinterlassen. Der galaktische Halo ist finster und leer und nicht sonderlich interessant, aber hochempfindliche **Weltraum-Teleskope**, die im Röntgenbereich messen, haben diese heißen Plasma-Gase sichtbar gemacht und liefern erstaunliche Erkenntnisse.

Amerikanische Forscher haben die Messdaten des Weltraum-Röntgen-Teleskop Chandra der NASA ausgewertet und folgende Studie veröffentlicht: (siehe Seite 7)

“A huge reservoir of ionized Gas around the Milky Way: accounting for the missing mass?”

Ein großes Reservoir von ionisiertem Gas umhüllt die Milchstraße: Kann es die fehlende Masse ersetzen?

Autoren: A.Gupta, S.Mathur, Y.Krongold, F.Nicastro and M.Galeazzi

amerikanische Studie / published 09. August 2012 / The Astrophysical Journal Letters 756:L8

Isoliert betrachtet ist die amerikanische Studie nicht besonders spektakulär, handelt es sich doch lediglich um **heiße Sauerstoff-Atome**, die dort verloren im finsternem Vakuum in einer Gasdichte kleiner als **1/1000 Atom/cm³** unterwegs sind. Interessant wird die amerikanische Studie jedoch in Zusammenhang mit einer Studie des Heidelberger Max-Planck-Instituts (MPI).

Die Heidelberger Astronomen haben genau in diesem sphärischen Halo der Milchstraße gezielt Sterne aufgefunden gemacht und deren Geschwindigkeit gemessen. Die Rotationsgeschwindigkeit von Sternen ist von der Stärke des Gravitationsfeldes abhängig, und so ist es möglich, aus diesen Parametern die galaktische Gesamtmasse annähernd zu ermitteln.

Ergebnis:

Die Heidelberger Astrophysiker haben die Rotationsgeschwindigkeit von **2400 Sternen** innerhalb eines Durchmessers von 400.000 Lichtjahren erforscht und beziffern die Gesamtmasse in diesem näherungsweise kugelförmigen Volumen auf etwa **400 Milliarden Sonnenmasse**.

- *Forschungsbericht des MPI für Astronomie Jahrgang 2010 – siehe Seite 5*

Wenn die sichtbare Scheibe unserer Galaxis innerhalb des Durchmessers von 100.000 Lichtjahren **140 bis 170 Milliarden Sonnenmasse** enthält, dann sind in dem sphärischen Halo außerhalb der sichtbaren Spirale **ca. 240 Milliarden Sonnenmasse** vorhanden!

Wie ist es möglich, dass in dem kosmischen Raum aus heißen Plasma-Gasen die 1,5-fache Masse der sichtbaren Milchstraße vorhanden ist? Zwar befinden sich in diesem Raum die Kleine und Große Magellansche Wolke, aber davon abgesehen, zeigen die optischen Teleskope außerhalb der sichtbaren Galaxie einen dunklen, kosmischen leeren Raum.

Wie groß ist die Gas-Dichte aus super heißen Sauerstoff-Wasserstoff-Plasma in diesem Halo?

Aktuelle Forschungen beziffern die galaktische Dichte im sphärischen Bereich der Milchstraße auf **0,01 bis 0,0001 Atome/cm³**. Es ist jedoch extrem schwierig, die durchschnittliche Dichte in diesem kosmischen Raum verlässlich zu bestimmen. Das zeigen auch die Angaben, die um das 100-fache differieren und daher wenig brauchbar sind.

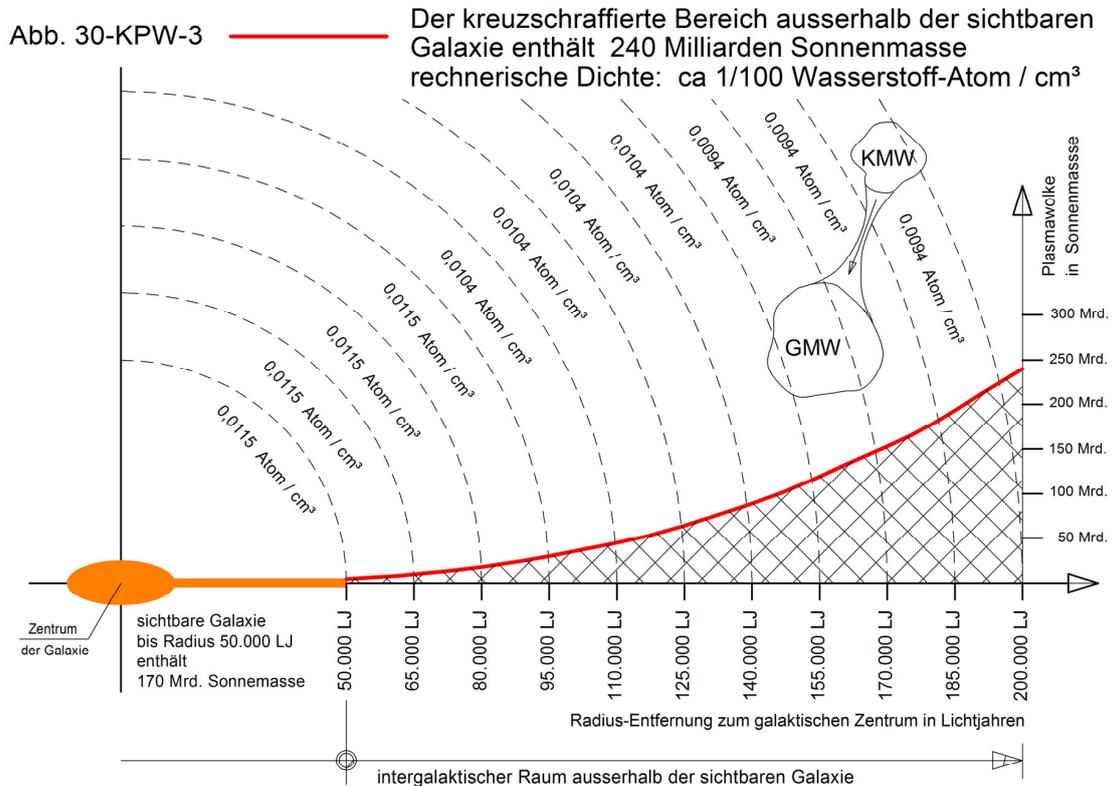
Lösungsweg: Berechnung der Gas-Dichte

Die nachfolgende Berechnung ermittelt die durchschnittliche Gas-Dichte, wenn 240 Milliarden Sonnenmasse in dem scheinbar leeren galaktischen Halo vorhanden sind.



Im **Diagramm 30-KPW-3** ist das Raumvolumen aufgeteilt in zehn **kugelförmige Schalen** mit definierter Gas-Dichte. Die Aufteilung in Schalen-Segmente zeigt den Massen-Zuwachs mit zunehmender Entfernung vom galaktischen Zentrum und ermöglicht die schrittweise Berechnung. Das Raumvolumen kann beliebig fein unterteilt werden, was dann sinnvoll ist, wenn die Dichte sehr variabel ist. Für jedes Schalen-Segment wurde die jeweilige Masse berechnet:

$$\text{Masse} = \text{Volumen} \times \text{Dichte} \quad (\text{Berechnungs-Tabelle siehe Seite 4})$$



Innerhalb eines Radius von 200.000 Lichtjahren beträgt das kugelförmige Raumvolumen ohne den Raumanteil der sichtbaren Galaxie: $V_{\text{Halo}} = 28,282 \times 10^{69} \text{ cm}^3$

Das absolute Atomgewicht von Wasserstoff beträgt: $1,6735 \times 10^{-27} \text{ kg}$
 oder ausgeschrieben in Kommastellen:
 abs. Atomgew. Wasserstoff = 0,000 000 000 000 000 000 000 000 001 6735 kg
 Das absolute Atomgewicht von Sauerstoff beträgt: $26,7760 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Der kosmische Raum ist so riesig, dass diese Atome sich zu einer gewaltigen Masse addieren.

Die **kreuz-schraffierte Diagrammfläche** (s. Abb. 30-KPW-3) zeigt, wieviel Masse sich in dem galaktischen Halo-Bereich aufsummiert, wenn die Wasserstoff-Dichte ca. 0,01 Atom/cm³ beträgt. Diese kaum messbare Dichte ergibt eine Masse von ca. **240 Milliarden Sonnenmasse** mit einem erheblichen Gravitationspotential. Laut der amerikanischen Studie beträgt der Sauerstoff-Anteil im galaktischen Plasma ca. 10 Mrd. Sonnenmasse. Generell ist jedoch Wasserstoff das vorherrschende Element im Kosmos und mit einem Anteil von ca. 97 % überall vorhanden. In einem Plasma ist auch Wasserstoff ionisiert – dem Atom fehlt das Elektron. Das bedeutet, bei sehr geringer Dichte ist der ionisierte Wasserstoff nahezu transparent und im elektromagnetischen Spektrum kaum nachweisbar. Diesem Sachverhalt zufolge würde das Gewichtsverhältnis von Sauerstoff zu Wasserstoff ca. 10 zu 230 Milliarden betragen. Der Gewichtsanteil des Sauerstoffs ist mit 4,35 % relativ hoch, weil Sauerstoff 16-fach schwerer als Wasserstoff ist.

Magellansche Wolke

Die Große Magellansche Wolke (GMW) und die Kleine Magellansche Wolke (KMW) sind Satelliten-Galaxien am Südhimmel unserer Milchstraße. Die große Wolke saugt von der kleinen Wolke Materie ab, und die Milchstraße entzieht ihrerseits Materie aus dem Satelliten-System.



Seit Galilei wurden die Teleskope stetig verbessert, und zu Anfang des 20sten Jahrhunderts war die technische Entwicklung der Teleskope dann soweit fortgeschritten, dass die Astronomie die Grenzen der Milchstraße erstmalig optisch überwinden konnte.

Edwin Hubble (1889-1953)

Der amerikanische Astronom **Edwin Hubble** untersuchte in den 1920er Jahren den Andromeda-Nebel am Mount-Wilson-Observatorium mit dem damals größten Spiegel-Teleskop (Durchmesser 2,54 Meter). Hubble gelang es 1925, im Andromeda-Nebel körnige Strukturen nachzuweisen und seine Entfernung zu ermitteln. Hubble erbrachte den Nachweis: der **Andromeda-Nebel ist eine Galaxie außerhalb der Milchstraße**. In der Folge erwiesen sich viele weit entfernte, schwach leuchtende Nebelfelder als Galaxien. Die heutigen Teleskope zeigen den Astronomen, dass der Kosmos angefüllt ist mit Milliarden von Galaxien. Galaxien sind stabile kosmische Gebilde, die sich in der Ausdehnung, Leuchtkraft, Masse, Struktur und Alter teilweise deutlich unterscheiden.



Feuerrad-Galaxie M 83 (southern pinwheel galaxy) im Sternbild Wasserschlange
15,2 Millionen Lichtjahre entfernt – hellstrahlende Galaxie in den südlichen Breiten

Entstehung der Galaxien

Hubble hatte angenommen, dass zuerst elliptische Galaxien entstanden sind und sich dann daraus Spiralgalaxien entwickelt haben. Die Hubble-Klassifizierung beginnt daher mit elliptischen Galaxien, die sich dann verzweigt in Spiralgalaxien mit mehreren Spiralarmen und Balkenspiralen mit zwei Spiralarmen. Die aktuellen astronomischen Erkenntnisse zeigen jedoch, dass elliptische Galaxien mehrheitlich alte Sterne enthalten, während in den Spiralgalaxien vorwiegend junge Sterne angesiedelt sind. Das nach Hubble benannte **Weltraum-Teleskop** ermöglicht den heutigen Astronomen einen Blick in die „**Kinderstube der Sterne**“ und so wissen wir: Sterne entstehen bevorzugt dort, wo ausreichend interstellare Materie wie Wasserstoff, Helium und Staub vorhanden ist. Die Spiralarme der Galaxien sind dynamische, örtlich verdichtete Gebiete, in denen zahlreiche junge Sterne beheimatet sind. Die Spiralarme sind gleichsam die „**Disco-Meile der Jungsterne**“, die dort mit viel „Feuerwerk“ Party feiern.

Diese Erkenntnis ist nicht ganz unwichtig für die Strukturbildung der Spiralarme, da ihre Sternbevölkerung eine begrenzte Lebensdauer hat. Das bedeutet, wenn nicht genügend interstellare Materie verfügbar ist, geht in der „Disco-Meile das Licht aus“! Nach zwanzig bis hundert Millionen Jahren erlischt dann auch die Spiralstruktur. Es sei denn, die nachfolgende Sternengeneration hat wieder genügend Stoff (Interstellare Materie), und die Party beginnt erneut.



Abb. GW-01 Verdichtung einer galaktischen Wolke

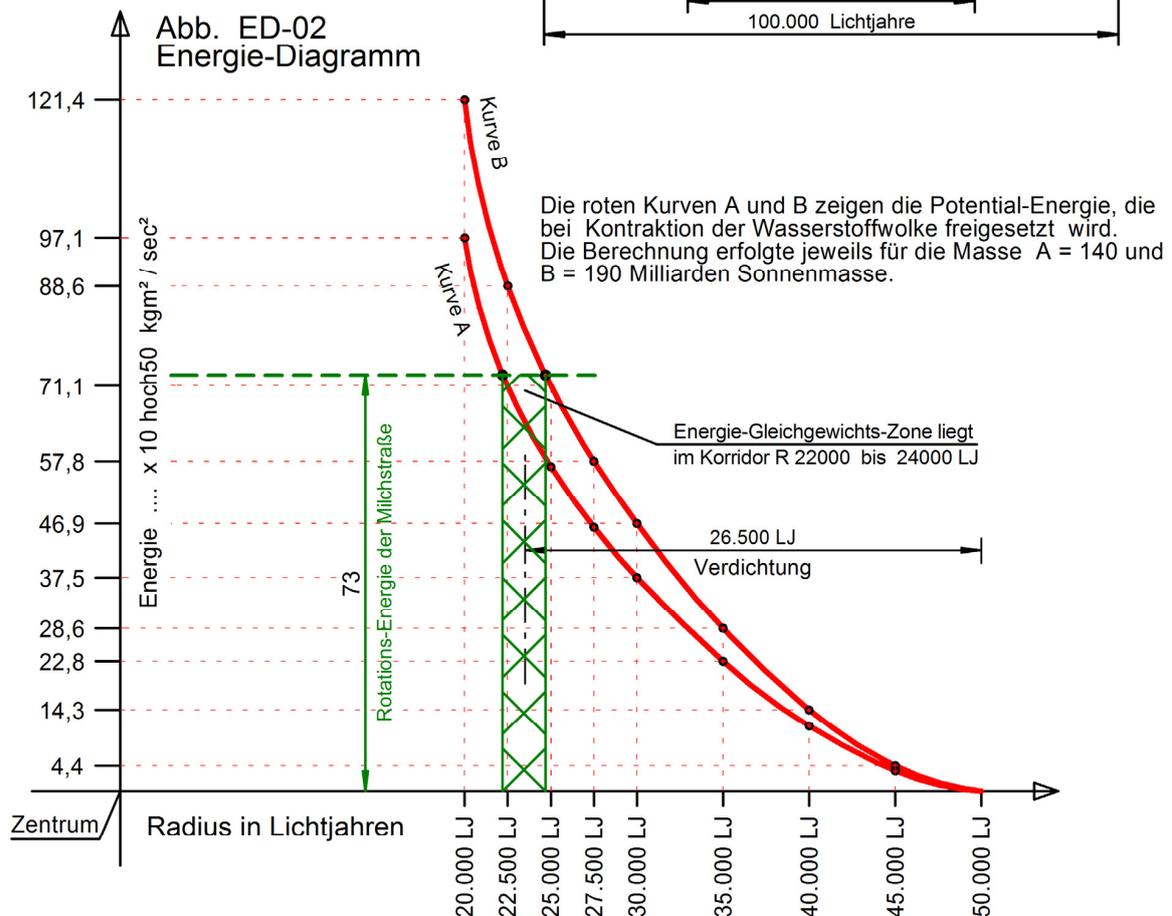
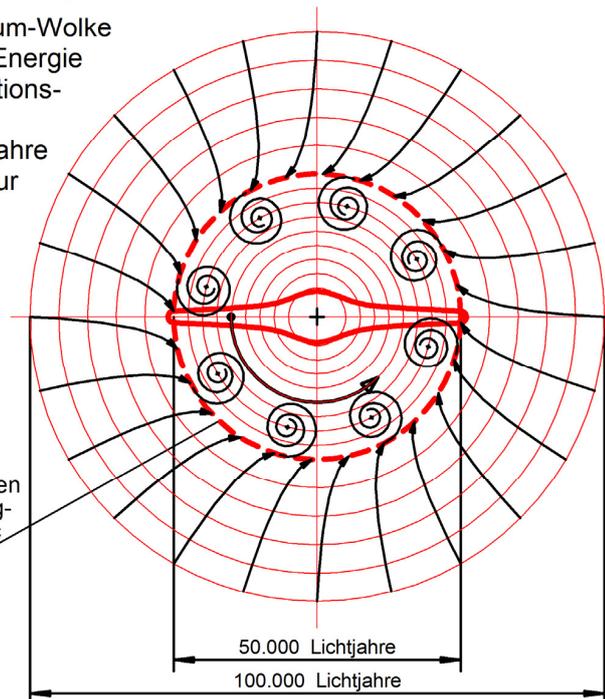
Bei der Kontraktion einer Wasserstoff-Helium-Wolke wird potentielle Energie freigesetzt. Diese Energie wird mit zunehmender Verdichtung in Rotations-Energie umgewandelt.

Masseteilchen benötigen ca 60 Millionen Jahre vom äusseren Radius $R = 50.000$ LJ bis zur Gleichgewichtszone $R = 23.500$ LJ.

In dieser Zone werden Geschwindigkeiten von 230 bis 265 km/sec erreicht.

Die lange Zeitdauer einhergehend mit zunehmender Verdichtung bewirkt die Rotation des gesamten Systems.

in dieser Zone erreichen Teilchen Geschwindigkeiten bis 265 km/sec



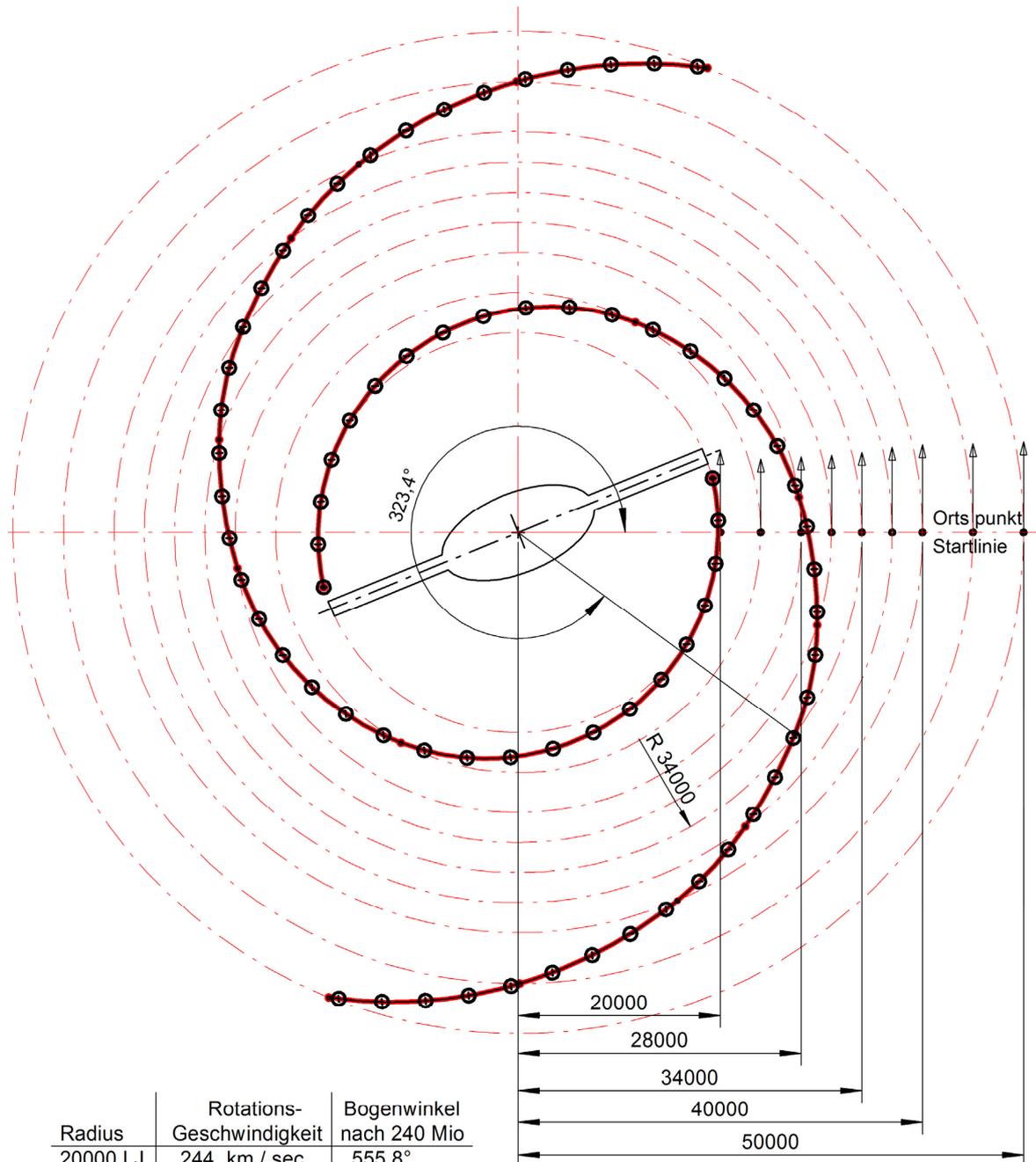
Aus welcher Quelle wird die hohe Rotationsenergie gespeist?

Berechnet man die Rotationsenergie unserer Milchstraße, so wird deutlich, dass die erforderliche hohe Rotationsenergie nicht in einem Drehimpuls ihrer ursprünglichen, riesigen Molekülwolke enthalten ist. Die Molekülwolke ist Teil eines expandierenden Universums. Es ist daher völlig unklar, ob die Molekülwolke rotiert und, wenn ja, wie hoch ihre Umdrehung ist.



Die **Abb. BS-24** zeigt eine Balkenspirale nach Ablauf von 240 Millionen Jahren. Die zweiarmige Spirale ist konstruiert aus den berechneten Rotationsgeschwindigkeiten einer Galaxie mit einem Durchmesser von 100.000 Lichtjahren (siehe auch Diagramm 9.3.1 - XE).

Abb. BS-24 Balkenspirale nach 240 Millionen Jahren



Der Schnittpunkt aus Radius und Bogenstrahl ergibt den Ortspunkt nach Ablauf von 240 Millionen Jahren. Verbindet man die Ortspunkte so ergibt sich eine spiralförmige Bahnkurve. Die Darstellung zeigt eine Balkenspirale mit zwei symmetrisch angeordneten Spiralarmen.

Für die Formgebung ist weniger die Ausdehnung der Galaxie entscheidend als die Massenverteilung: hier sind ca. 50% im Zentrum und 50% in der Scheibe angesiedelt. Sehr auffällig ist die Ähnlichkeit der Kurven-Geometrie mit der **Whirlpool-Galaxie M 51**. Die Geometrie der



zweiarmigen Bahnkurve **Abb. BS-24** ist kein Zufallsprodukt, sondern ein charakteristisches Abbild, vergleichbar mit einem „*galaktischen Fingerabdruck*“.



Whirlpool-Galaxie / Messier-Katalog Nr. 51 / im Sternbild Jagdhunde

Spiralgalaxien sind mehrheitlich junge Galaxien

Astronomische Forschungen haben ergeben, dass der Anteil an elliptischen Galaxien in älteren Galaxiehaufen ca. 75 % beträgt. Bei jungen, weit entfernten Galaxiehaufen liegt der Anteil der elliptischen Kategorie bei ca. 30 %. *In jungen Galaxiehaufen finden sich demnach deutlich mehr Spiralgalaxien.* Diese Untersuchungen von Harvey Butcher und August Oemler aus dem Jahr 1978 werden so gedeutet, dass zuerst Spiralgalaxien entstanden und sich daraus elliptische Gebilde entwickelt haben. Diese Chronologie wird durch Modellrechnungen bestätigt.

Das geometrische *Bananen-Modell* (Abb. SE-02) beschreibt die Entwicklung der Gaswolke bis zur Spiral-Entstehung durchgängig und *energetisch* plausibel. Die thermische Energie und die Rotationsenergie werden aus dem Gravitationspotential gespeist, das bei der Kontraktion der Gaswolke freigesetzt wird. Der galaktische Gashaufen wird stabilisiert, wenn Gravitation und Fliehkraft einen dynamischen Gleichgewichtszustand erreichen. Es entsteht eine *kosmische Zentrifuge* mit den typischen Wirbelstrukturen von Tornados oder Hurricans. Interessant ist, dass die kurzlebigen, leuchtstarken Sterne die strahlende Hauptrolle spielen, während die langlebigen Sterne den galaktischen Hintergrund ausleuchten. Die sehr leuchtstarken massereichen Sterne verbrennen ihre Substanz in einem gigantischen Feuerwerk und haben daher eine begrenzte Lebensdauer von 10 bis ca. 50 Millionen Jahren.

Wenn ausreichend *interstellare Materie* vorhanden ist, entstehen in den Spiralarmlen stetig neue Sterne. Es ist ein Staffellauf aus hellstrahlenden Fackeln, die in ihrer Gesamtheit die Spiralstrukturen sichtbar machen.

Interstellare Materie ist der *Humus*, der neue Sterne hervorbringt und so den *Lebenszyklus der Spiralgalaxien* in Gang hält oder neu entfaltet. Galaxien mit wenig interstellarer Materie sind Auslaufmodelle, die sich in strukturlose elliptische Systeme wandeln, oder sie verschmelzen mit anderen Galaxien und erhalten so neuen Rohstoff, der ihnen ein neues kosmisches Gesicht gibt.

Nach einer Bauzeit von 15 Jahren und Kosten von 1,5 Milliarden Dollar ist es im Jahre 2011 gelungen, ein sieben Tonnen schweres Messinstrument (AMS-02) mit dem letzten *Space Shuttle* zur Internationalen Weltraumstation zu schicken. Der *Alpha-Magnet-Spektrometer* (AMS-02) umkreist seitdem an Bord der Weltraumstation die Erde in einer Höhe von 400 km und erforscht dort die kosmische Gammastrahlung. Das Universum produziert beständig extreme Energie-Strahlung u.a. durch Super-Novae-Explosionen oder Jet-Streams von Schwarzen Löchern.

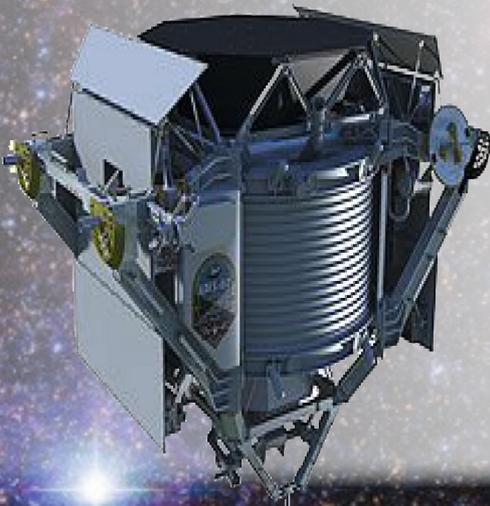


*Space Shuttle
beim Start
vom Weltraum-
Bahnhof der NASA
- Kennedy Space
Center - Florida*

Das Universum ist gleichsam ein *kosmischer Teilchen-Beschleuniger*, der die Strahlung „direkt frei Haus“ an den Alpha-Magnet-Spektrometer auf der Weltraumstation liefert. Wenn elektrisch geladene Teilchen auf den Detektor treffen, werden ihre Flugbahnen durch die starken Permanent-Magneten des Spektrometers gekrümmt und in den Spurdetektoren aufgezeichnet.

Die gemessenen Daten werden zur Erde gesendet und dort analysiert. Aus den charakteristischen Flugbahnen ermitteln Teilchenphysiker Energie und Ladung der kosmischen Strahlung und suchen gezielt nach Dunkler Materie.

Gemäß kosmischen Theorie-Modell entstehen Anti-Materie-Teilchen, wenn hochenergiereiche Teilchen mit interstellaren Staub und Gas in galaktischen Magnetfeldern wechselwirken. Die kosmische Strahlung beträgt bis zu 1000 GeV (GeV = Giga-Elektronenvolt) und erreicht Werte, die vielfach größer sind als die Teilchen-Energien, die im derzeit weltgrößten Teilchenbeschleuniger, dem LHC in Genf, erzeugt werden können. Der AMS-Detektor erfasst energiereiche Photonen, Elektronen, Positronen, Protone, Anti-Protone (-) und Atomkerne. Die am AMS-Projekt forschenden Physiker sind auch am unterirdischen Teilchen Beschleuniger, dem LHC, führend beteiligt.





Alpha-Magnet-Spektrometer (AMS-02)

An dem weltweiten AMS-Projekt sind in Deutschland maßgeblich beteiligt die RWTH Aachen, das Karlsruher Institut für Kernphysik, das Forschungszentrum Jülich und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Laut einer Mitteilung der RWTH Aachen wurden innerhalb von fünf Jahren ca. **90 Milliarden geladene kosmische Teilchen** aufgezeichnet. Nach fünf Jahren intensiver Forschung hat Professor Dr. Stefan Schael von der RWTH Aachen in einer Pressemitteilung vom 08.12.2016 folgendes dazu berichtet.

Zitat:

*Helium ist nach Wasserstoff das zweithäufigste Element im Universum. AMS hat in den letzten fünf Jahren **3,7 Milliarden Helium-Ereignisse** aufgezeichnet. Zu den großen offenen Fragen der Physik gehört die Frage, warum wir kein Anti-Helium im Universum beobachten. Wenn das Universum aus dem Nichts durch einen Urknall entstanden ist, muss am Anfang genausoviel Materie wie Antimaterie vorhanden gewesen sein. Deshalb hat AMS in seinen Daten auch nach Anti-Helium-Kernen gesucht. **Die Beobachtung eines einzigen Anti-Helium-Kerns in der kosmischen Strahlung würde bereits das gesamte Weltbild der modernen Physik verändern.***

Zitat Ende

Ob nun ein einziger Anti-Helium-Kern das physikalische Gebäude der modernen Physik zum Einsturz bringt, ist sicher überspitzt formuliert – es deutet aber an, dass das kosmologische Theoriemodell samt der mysteriösen Dunklen Materie auf einem bröckeligen Fundament steht.



Der weiße Kreis auf dem Foto der Weltraumstation kennzeichnet den Alpha-Magnet-Spektrometer

Das kosmologische Standard-Modell (Λ -cold-dark-matter) basiert auf der Relativitätstheorie, und demzufolge besteht das Universum zu **70%** aus **Dunkler Energie**, zu **25%** aus **Dunkler Materie** und zu **5%** aus **baryonischer** (bekannter) **Materie**. Baryonische Materie sind alle Atome unseres Perioden-Systems mit ihren Bausteinen aus Protonen, Neutronen, Elektronen bis zu den Quarks.

Die Entwicklung des Universums vom Urknall bis zur Gegenwart basiert auf physikalischen Gesetzen, welche die funktionalen Abhängigkeiten beschreiben. Diese hochkomplexen Prozess-Abläufe werden mit angenommenen Parametern durch Computer-Simulationen moduliert und mit astronomischen Beobachtungen verglichen. Das kosmologische Modell enthält u.a. Parameter, welche die Masse des Universums über die Dichte beschreiben: $Masse = Dichte \times Volumen$. Ob das Universum expandiert oder ob die Gravitation irgendwann dominiert und alle Materie wieder in sich zusammen stürzt (big crunch), ist letztlich wesentlich von dem Dichte-Parameter abhängig. Diese Frage beschäftigt die Kosmologie nunmehr seit über hundert Jahren.



Max-Planck-Teleskop entdeckt umgekehrten Compton-Effekt

Sunjajew-Seldowitsch-Effekt

Der Max-Planck-Satellit hat bei der Vermessung der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung (CMB) erstmalig nachgewiesen, dass energieschwache Photonen bei der Durchquerung von Plasmawolken energetisch aufgeladen werden. Dabei wird die Strahlungsfrequenz der Photonen erhöht. Die ionisierten – teilweise mehrere Millionen Grad heißen – Gase haben vagabundierende Elektronen freigesetzt, die nunmehr einen Teil ihrer Energie an die Photonen abgeben. Diesen Effekt haben die russ. Physiker*) **Sunjajew und Seldowitsch** 1969 vorausgesagt. Es ist der umgekehrte Compton-Effekt, da in diesem Fall die Elektronen Energie an die Photonen übertragen.

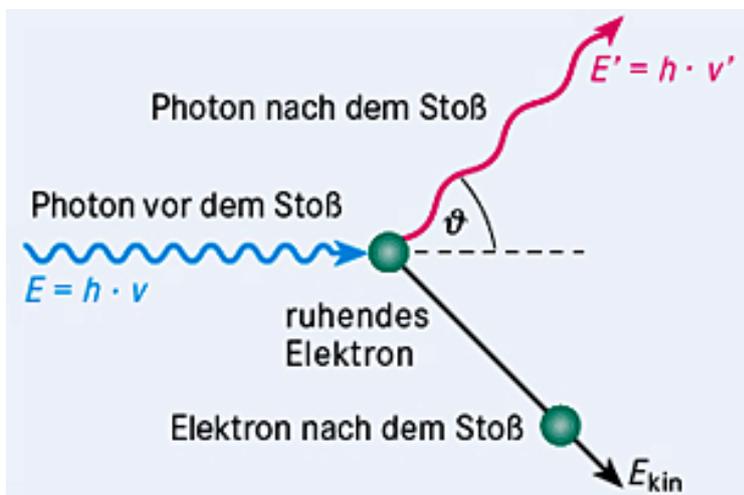
*) man findet auch die Schreibweise: **Sunyaev-Seldowitsch**

Wenn Plasmawolken – wie die Messungen des Max-Planck-Satelliten zeigen – einen **Sunjajew-Seldowitsch-Effekt** erzeugen, dann gibt es auch den **umgekehrten Fall des Compton-Effektes**.

Der Sunyaev-Seldowitsch-Effekt ist weniger bekannt, deshalb zäumen wir das Pferd von hinten auf und betrachten zunächst den Compton-Effekt. Wenn energiereiche Photonen (also Strahlung) kalte Molekülwolken passieren, entsteht bei Begegnung mit deren Elektronen eine Streustrahlung, bei welcher die Photonen einen Teil ihrer Energie an die Elektronen abgeben. Dieses Ereignis bezeichnen Physiker als Compton-Effekt.

Compton-Effekt – Lichtstreuung

Der Compton-Effekt entsteht, wenn Gamma-Strahlung mittlerer Energie auf die äußere Hülle eines Atoms trifft und dabei ein Elektron herauslöst. Das Atom wird durch den Verlust eines Elektrons ionisiert. Das Gamma-Quant verliert einen Teil seiner Energie an das Elektron und ändert durch den Stoß seine Bewegungsrichtung, es wird gestreut. Infolge des Stoßes verringert die Gamma-Strahlung ihre Frequenz. Die Strahlung ist jetzt langwelliger und hat weniger Energie. Das gestreute Gamma-Quant kann je nach Energiepotential mehrfache Compton-Effekte auslösen.



Die Strahlungsenergie von Licht-Photonen ist proportional zu ihrer Frequenz.

Energie: $E = h \times \text{Frequenz}$

h = Plancksche Wirkungsquantum

Der Compton-Effekt wurde bei zahlreichen Experimenten nachgewiesen und ist absolut unstrittig. Unklar ist aber die Wirkung des Compton-Effektes bei extrem geringer kosmischer Gasdichte. Das ist vergleichbar mit der Kollisionswahrscheinlichkeit bei einer Verkehrsdichte nahe Null. Es gibt darüber zwar theoretische Abhandlungen, die sind aber schwer zu bewerten. Labor-Experimente helfen hier auch nicht weiter – da Experimentierkästen in kosmischen Dimensionen nicht verfügbar sind.

Aber halt – der Max-Planck-Satellit hat diesen **Experimentierkasten** mitsamt Plasmawolke jetzt erstmalig entdeckt! Wir tauschen die Plasmawolke gegen eine kalte Molekülwolke und haben statt des Sunjajew-Seldowitsch-Effektes einen Compton-Effekt.



Compton-Effekt erzeugt Rotverschiebung

Wenn Lichtphotonen gestreut werden, geben sie Energie ab und verringern ihre Frequenz, diese Frequenz-Änderung wird im Spektrum als „**Rotverschiebung**“ erkennbar. Strahlung, die viele Milliarden Jahre im Universum unterwegs war, hat ihre Energie durch Raumdehnung, aber teilweise auch durch Streuung abgegeben. Ein extrem hoher Rotverschiebungs-Faktor enthält sehr wahrscheinlich auch einen **Energieverlust durch Streuung**. Diese Wahrscheinlichkeit ist umso größer, je weiter die Strahlungsquelle entfernt ist. Nach der Urknall-Theorie war das Universum vor Milliarden Jahren zum Zeitpunkt der Lichtemission wesentlich kleiner und hatte demgemäß eine deutlich höhere Dichte. Die MPI-Studie berichtet, dass die Plasmawolke bei den Photonen eine „**Blauverschiebung**“ erzeugt. Aus diesen Erkenntnissen darf gefolgert werden, dass energiereiche Photonen-Strahlung durch kalte, kosmische Wasserstoff-Molekül-Wolken „**rotverschoben**“ wird.

Rotverschiebungen im elektromagnetischem Spektrum werden üblicherweise als Doppler-Effekt gewertet und demzufolge als Expansion des kosmischen Raumes interpretiert. Diese Deutung führt bisher bei extrem weit entfernten Objekten, z.B. bei Quasaren, zu widersprüchlichen Ergebnissen bei deren Emissions- und Absorptionslinien. Die Differenzen können möglicherweise Messfehler sein oder mit dem Compton-Effekt in Zusammenhang stehen.

Die Expansion des Universums wird üblicherweise anhand der Rotverschiebung gemessen.

Da der Compton-Effekt gleichfalls eine „**Rotverschiebung**“ bewirkt, müsste dessen Einfluss herausgerechnet werden, weil ansonsten das Ergebnis verfälscht wird. Der Energie-Verlust durch den Compton-Effekt ist von der Gas-Dichte und von der Distanz abhängig. Gegenwärtig fehlen Erkenntnisse, um diese Einflussgröße zu beziffern. Solange hier keine Klarheit besteht, sind aber alle Ergebnisse, die Überlichtgeschwindigkeit aus extremen Rotverschiebungs-Werten ableiten, zumindest fragwürdig. Der Compton-Einfluss könnte auch die Ursache für die gemessenen, differenten Werte der „Hubble-Konstante“ sein.

Differenzen bei der „Hubble-Konstante“

aus Messungen des Planck-Satelliten haben die Astrophysiker folgenden Hubble-Wert ermittelt:

Hubble-Wert: $H_0 = 67 \text{ km/sec Mpc}$

aus den Messdaten der Weltraum-Teleskope *Spitzer* und *Chandra* ergab sich folgender Wert:

Hubble-Wert: $H_0 = 72 \text{ bis } 73 \text{ km/sec Mpc}$

Der Begriff „Hubble-Konstante“ ist missverständlich, da der Wert nur bis zu einer bestimmten Entfernung proportional ist und dann zusätzliche, kosmologische Parameter einfließen. Grundsätzlich wird aber aus dem Hubble-Parameter die Zeitachse bis zum Urknall berechnet. Der Knall geschah aktuell vor 13,7 Milliarden Jahren – diese Zahl ist aber nicht in „*Stein gemeißelt*“.

Dem Fritzchen aus Castrop-Rauxel ist eigentlich egal, ob der Urknall vor 13,7 Milliarden oder vor 15,8 Milliarden Jahren geschah – viel wichtiger ist, ob seine Mathe-Aufgaben richtig sind?! Der Astrophysiker hat da eine andere Sichtweise, denn solange die theoretischen Kosmologie-Modelle **nicht** mit den Beobachtungsergebnissen übereinstimmen, steckt irgendwo ein Fehler im System. Hier hat Fritzchen es leichter, er macht einfach eine rechnerische Gegenprobe! Und das hat Fritzchen inzwischen auch gelernt, wenn die Gegenprobe nicht stimmt, ist irgend etwas verkehrt.

Hinweis

Die Berechnung der galaktischen Masse ist im Themenheft I kurz dargestellt und stimmt im Wesentlichen überein mit der Berechnung der *Bonner Studie 2015* von Dr. *Andreas Küpper* (siehe Themenheft II). Wenn sie jetzt die Massen-Bilanz als Gegenprobe berechnen, sind die Werte ebenfalls stimmig – für Dunkle Materie bleibt nur der „**Katzenstich**“ im Toleranzbereich.

Ach ja, die Dunkle Materie besiedelt den sphärischen Raum, der die Galaxie umhüllt. Wenn das so ist, dann schauen Sie jetzt in die *Heidelberger MPI-Studie von 2010* und die *amerikanische Studie von 2012* von A. Gupta u.w. *Forschern* (siehe Themenheft IV). Wenn Sie die Rechnungen verfolgen, stellen Sie fest: **Dunkle Materie schrumpft auf einen Stellenwert im Toleranzbereich.**



Aktuelle Studien zu Galaxien und Interstellarer Materie

Studie - 01

Die *Heidelberger Bahnstudie Palomar-5* von 2005, beschrieben unter dem Titel „*Galaktische Streiflichter*“ in einer Ausgabe der Max-Planck-Forschung (4/2005). (Originalveröffentlichung im *Astrophysical Journal* 626, 128-144, 2005: *A comprehensive model for the Monoceros tidal stream* von Penarrubia J.; D. Martinez-Delgado; Dr. H.-W. Rix (MPI); und weitere Forscher, u.a. Dr. Eva K. Grebel (MPI))

Studie - 02

Die *Bonner Bahnstudie Palomar-5* von 2015, von Dr. Andreas Küpper mit Prof. Dr. Pavel Kroupa als Doktorvater (Universität Bonn) und weiteren Forschern erstellt unter dem Titel: „*Globular cluster streams as galactic high-precision scales – the poster child Palomar-5*“

Studie - 03

Forschungsbericht MPI - 2010 „*Die Milchstraße – gewogen und für leichter befunden*“

Autoren: Xue, Xiang-Xiang; Rix, Hans-Walter; van den Bosch, Frank; Bell, Eric; Kang, Xi

Der Forschungsbericht 2010 des Max-Planck-Instituts für Astronomie ist hier zusammenfassend gekürzt wiedergegeben und stellenweise wörtlich übernommen.

Eine Gruppe von Astronomen hat unter der Leitung des *Max-Planck-Instituts für Astronomie* die Geschwindigkeit von Sternen in den Außenbereichen der Milchstraße gemessen und daraus den bislang genauesten Wert für die Gesamtmasse der Galaxis innerhalb einer Kugelsphäre mit dem Radius = 200.000 Lichtjahren abgeleitet.

Die Astronomen erhielten einen Wert von $4,0 \times 10^{11}$ (= 400 Milliarden) *Sonnenmassen* mit einer Genauigkeit von etwa 20 Prozent.

Studie - 04

Die Studie mit dem Titel „*The Radial Acceleration in Rotationally Supported Galaxies*“ datiert vom 21. September 2016

Die Studie basiert auf Daten des *Spitzer-Weltraum-Teleskopes*, das die Infrarot-Strahlung sehr kalter Objekte (bis -270° Celsius) von 2004 bis 2009 vermessen hat. Die Studie wurde am 9. November 2016 im Journal „*Physical Review Letters*“ publiziert, siehe website arXiv:1609.05917v1 (19 Sep 2016) McGaugh and co-authors F.Lelli, M. Schombert

Autoren: Stacy S. Mc Gaugh und Federico Lelli / Department of Astronomy der Case Western Reserve University Cleveland und James M. Schombert / Department of Physics der University of Oregon

We report a correlation between the radial acceleration traced by rotation curves and that predicted by the observed distribution of baryons. The same relation is followed by 2693 points in 153 galaxies with very different morphologies, masses, sizes, and gas fractions. The correlation persists even when dark matter dominates. Consequently, the dark matter contribution is fully specified by that of the baryons. The observed scatter is small and largely dominated by observational uncertainties. This acceleration relation is tantamount to a natural law for rotating galaxies.

Studie - 05

Hubble finds giant Halo around the Andromeda Galaxy / released May 7, 2015

Scientists using NASA's Hubble Space Telescope have discovered that the immense halo of gas enveloping the Andromeda galaxy, our nearest massive galactic neighbor, is about six times larger and 1000 times more massive than previously measured. The dark, nearly invisible halo stretches about a million light-years from its host galaxy, halfway to our Milky Way galaxy, one of the most common types of galaxies in the universe.



Studie - 06

“A huge reservoir of ionized Gas around the Milky Way: accounting for the missing mass?”

Autoren: A.Gupta^{*)}, S.Mathur, Y.Krongold, F.Nicastro and M.Galeazzi

amerikanische Studie / published 9. August 2012 / The Astrophysical Journal Letters 756: L8

*) Astronomy Department, Ohio State University, Columbus OH 43210, USA

ABSTRACT

Most of the baryons from galaxies have been “missing” and several studies have attempted to map the circumgalactic medium (CGM) of galaxies in their quest. We report on X-ray observations made with the *Chandra X-Ray Observatory* probing the warm-hot phase of the CGM of our Milky at about 10^6 °K. We detect OVII and OVIII absorption lines at $z = 0$ in extragalactic sight lines and measure accurate column densities using both $K\alpha$ and $K\beta$ lines of OVII. We then combine these measurements with the emission measure of the Galactic halo from literature to derive the density and the path length of the CGM. We show that the warm-hot phase of the CGM is massive, extending over a large region around the Milky Way, with a radius of over 100 kpc. The mass content of this phase is over 10 billion solar masses, many times more than that in cooler gas phases and comparable to the total baryonic mass in the disk of the Galaxy. The missing mass of the Galaxy appears to be in this warm-hot gas phase.

(engl. billion = eine Milliarde)

Die Mehrzahl der Baryonen von Galaxien gelten als nicht auffindbar, und mehrere Studien haben versucht, das sphärische Medium (CGM) der Galaxien zu erfassen. Wir berichten über die Messung von Röntgenstrahlung mit dem Chandra-Röntgen-Teleskop, welche das über eine Million Grad Kelvin heiße Plasma unserer Milchstraße erforscht. Wir untersuchen die $z = 0$ Absorptionslinien von Sauerstoff (OV II und OVIII) in den außergalaktischen Sichtachsen und messen die Säulendichte von ionisiertem Sauerstoff. Dann haben wir diese Messungen kombiniert mit Emissionswerten aus der Literatur über das galaktische Halo, um die Dichte und die Ausdehnung des sphärischen Mediums (CGM) zu bestimmen. Wir zeigen, dass das heiße Plasma-Medium sich massiv über die Milchstraße in einem Radius über 100 kpc ausdehnt. Die Masse des Plasma enthält mehr als 10 Milliarden Sonnenmassen, ein Vielfaches der kalten Gase und ist vergleichbar mit der gesamten baryonischen Masse in der galaktischen Scheibe.

Anmerkung

$z = 0$ bedeutet *Rotverschiebung* = Null; das Strahlen-Spektrum liegt im Nahbereich der Milchstraße; 100 kpc = 326.000 Lichtjahre; engl. billion = eine Milliarde

Studie - 07

“The rotation of the hot gas around the Milky Way” author Edmund J. Hodges-Kluck et.al.

published 27. April 2016 – The Astrophysical Journal Letters 822,21

The gaseous halo of our Milky Way Galaxy is spinning in the same direction and at a similar speed as the galaxy’s disk, which contains stars, planets gas, and dust, according to a team of Astronomers using data from ESA’s *XMM-Newton X-ray Observatory*.

“This flies in the face of expectations. People just assumed that the disk of the Milky Way spins while this enormous reservoir of hot gas is stationary – but that is wrong” said lead author Dr. Edmund Hodges-Kluck, from the University of Michigan.

„Die Rotation des heißen Gases welches die Milchstraße umgibt.“

Das Gas der Milchstraße rotiert in der gleichen Richtung und mit ähnlicher Geschwindigkeit wie die galaktische Scheibe bestehend aus Sternen, Planeten und Staub etc.

Anmerkung:

Diese Beobachtung ist sehr wesentlich, denn es ist ein deutlicher Hinweis, dass das heiße Gas eine sehr hohe Verweilzeit in diesem Raum hat – von wahrscheinlich mehr als hundert Millionen Jahren.



Studie - 08

Spinnennetz-Galaxie MRC 1138-262

Die Beobachtung der **Spinnennetz-Galaxie** erfolgte mit dem Australia Telescope Compact Array (ATCA) und dem Karl Jansky Very Large Array (VLA) in den USA unter internationaler Beteiligung von 19 Instituten und 22 Wissenschaftlern.

Die Studie ist getitelt: "***Molecular gas in the halo fuels the growth of a massive cluster galaxy at high redshift***" und wurde 2016 in der Zeitschrift **Science** 345, Seite 1128-1130 publiziert.

Summary

The largest galaxies in the Universe reside in galaxy clusters. Using sensitive observations of carbon-monoxide, we show that the Spiderweb Galaxy – a massive galaxy in a distant proto-cluster – is forming from a large reservoir of molecular gas. Most of this molecular gas lies between the proto-cluster galaxies and has low velocity dispersion, indicating that it is part of an enriched intergalactic medium. This may constitute the reservoir of gas that fuels the widespread star formation seen in the earlier ultraviolet observations of the Spiderweb Galaxy. Our results support the notion that giant galaxies in the clusters formed from extended regions of recycled gas at high redshift.

Studie - 09

Plasma-Gashülle um die Andromeda-Galaxie

Es gibt eine Studie über die Andromeda-Galaxie, die im *Astrophysical Journal*, 25. April 2014 arXiv: 1404.6540 publiziert wurde: von Nicolas Lehner, J. Christopher Howk and Bart. P. Wakker; Die Studie trägt den Titel:

Evidence for a massive, extended circumgalactic medium around the Andromeda Galaxy

Beweis für ein massives, ausgedehntes cirkumgalaktisches Medium um die Andromeda-Galaxie.

Studie - 10

Lange Brücke aus heißem Gas

siehe Bericht des MPI < ***Hot diffuse gas between pairs of merging clusters as seen by Planck*** >

Der Planck-Satellit hat zwischen den **Galaxiehaufen Abell 399** und **Abell 401** eine heiße Gasbrücke aufgespürt. Die beiden Galaxiehaufen sind eine Milliarde Lichtjahre von unserem Sonnensystem entfernt, und die Gasbrücke erstreckt sich auf eine beachtliche Länge von ca. zehn Millionen Lichtjahren. Diese Strecke ist 100-fach länger als der Durchmesser unserer Milchstraße. Wenn das schwache Licht der kosmischen Hintergrundstrahlung auf seinem Weg durch das Universum Galaxien oder Galaxiehaufen passiert, dann interagieren die schwachen Licht-Photonen mit Gasen, die **80 Millionen Grad** heiß sind.

Der Planck-Satellit hat außerdem erstmalig den „**inversen Compton-Effekt**“ entdeckt. Wenn energieschwache Photonen (wie z.B. die Mikrowellen-Hintergrundstrahlung) heiße Gase passieren, erhalten die Photonen dadurch einen Energieschub bzw. ein „Aufputzmittel“ und verschwinden dadurch aus dem Frequenzbereich der Hintergrundstrahlung.

Studie - 11

Mathematische Reise durch die Galaxie / Joachim Schmitz

ISBN 978-3-95404-663-8 / Cuvillier Verlag Göttingen

Galaxien sind kosmische Gebilde, die durch das Gleichgewicht aus Gravitation und Fliehkraft dynamisch stabilisiert werden. Das Buch beschreibt diese physikalischen Zusammenhänge und verdeutlicht die Unterschiede zwischen einer zentrisch wirkenden Gravitation wie in unserem Sonnensystem und einem galaktischen Gravitationsfeld, bei dem die Masse ähnlich einer Diskus-Scheibe flächig verteilt ist. Anschließend begibt sich der Leser auf eine „Reise durch die Galaxie“.