



Präsentationen der Professoren

[Interstellares Medium ①](#)

Weitere interessante Informationen

[Abenteuer-Universum ↗](#)

Inhalt

Überblick.....	2
Bestandteile des ISM	2
Thermisches Gas	3
Ionisiertes Gas.....	3
Neutrales Gas	4
Moleküle	4
Staubteilchen	5
Strahlungsfelder	6
Magnetfelder	6

Überblick

Das Universum ist fast leer: Die Abstände zwischen den Planeten sind gigantisch, aber noch gar nichts im Vergleich zu den Distanzen zwischen den Sternen oder gar zu den Distanzen zwischen den Galaxien. Gleichzeitig ist es aber im Universum auch nirgendwo vollkommen leer. Zwischen den Planeten existiert das interplanetare Medium, innerhalb der Galaxien das intergalaktische Medium, innerhalb der Galaxiehaufen das Intracustermedium und zwischen den Galaxiehaufen das interstellare Medium. Prinzipiell kann man sagen, dass es sich bei all diesen Medien praktisch um Vakuum handelt. Am dichtesten ist noch das interplanetare Medium: Außerhalb der Erdatmosphäre befinden sich auf jedem Kubikmeter 1 Million Teilchen. Das klingt viel, ist aber fast gar nichts: In nur 18g Wasser befinden sich 6×10^{24} Teilchen. Im interstellaren Medium befinden sich teilweise gar nur 100 Teilchen auf einem Kubikmeter. Die unterschiedlichen Namen (IPM, IGM, ICM, ISM) bezeichnen bloß die unterschiedliche Position im Weltraum. Allgemein bestehen alle diese Medien hauptsächlich aus Gasen und kleinen Staubpartikeln. In der Nähe von mehreren Himmelskörpern ist das Medium dichter, weil jedes Objekt auch mehr Material verlieren kann und in der Regel auch verliert. Deshalb ist das interplanetare Medium im Durchschnitt auch dichter, als das interstellare Medium.

Bestandteile des ISM

Im Gegensatz zum Intergalaktischen Medium, interplanetaren Medium und intracustermedium bezeichnet das interstellare Medium die gesamte Materie im Universum, also auch das interplanetare Medium, die Sterne und die Galaxien. Dennoch wird meistens nur das Medium außerhalb der Galaxien als interstellares Medium bezeichnet, weil man für jedes andere Medium schon andere Namen vergeben hat.

Neben Planeten und Sternen besteht das interstellare Medium hauptsächlich aus Gas und Staub. Es gehören aber auch hochenergetische Teilchen dazu, die Strömungen, Strahlungs- und Magnetfelder verursachen können. Durch unterschiedliche Energiedichten, wie zum Beispiel unterschiedliche Temperaturen kommt es zu Wechselwirkungen innerhalb des interstellaren Mediums. Am stärksten wirken sich die Entstehung von Sternen und die Anzahl von Supernovae auf das ISM aus.

Insgesamt ist das interstellare Medium sehr ungleichmäßig über das Universum verteilt. Die Temperaturen können zwischen 10 und 1 Million Kelvin schwanken, auch wenn der Großteil des ISM sehr kalt ist. Auch die Dichte des ISM ist sehr unterschiedlich: In der Nähe von Supernovaexplosionen, stellaren Winden und galaktischen Halos ist das ISM im Normalfall relativ dicht. Bei galaktischen Winden oder bei Orten der Sternentstehung ist es hingegen besonders dünn. Innerhalb der Milchstraße befinden sich 1 Milliarde Sonnenmassen ISM. Auch in der Nähe unserer Sonne gibt es viel ISM. Das liegt einerseits daran, dass sich die Sonne am Rand eines Supernovaüberrests befindet, andererseits sind auch der Orionnebel und die OB-Assoziation Scorpius-Centaurus nicht weit entfernt.

Thermisches Gas

Das interstellare Medium besteht zu großen Teilen aus Gas.

In der Nähe von Supernovae kann das Gas Temperaturen von bis zu einer Million Kelvin erreichen. Dann ist das Gas extrem dünn und strahlt im Röntgenbereich. Diese Temperatur behält das Gas jedoch nicht lange, weil es die Temperatur an seine Umgebung abgibt. Es kühlt sich auf 10.000K ab und leuchtet im sichtbaren oder im UV-Bereich. In diesem Zustand eignet sich das Gas ideal für die Sternentstehung.

Häufiger ist jedoch der Fall, dass das Gas schon lange keine Supernova erlebt hat, daher ist es kalt. Die Temperaturen schwanken zwischen 10K und 100K und man kann diese Gase nur im Radio- oder Infrarotbereich beobachten.

Ionisiertes Gas

Man bezeichnet ein Element als ionisiert, wenn es weniger Elektronen als normalerweise hat. Im interstellaren Medium besteht der Großteil des Raumes aus diesem ionisierten Gas. Es handelt sich dabei oft um Überreste von Supernovae, die durch Winde, Ionisationsfronten und stellare Windbubbles verteilt werden. Stellare Windbubbles sind Winde, die das interstellare Medium wegschieben und dabei einen Raum erzeugen, der besonders wenig ISM beinhaltet. Besonders viel ionisiertes Gas befindet sich in einem Bereich des Himmels, der Cygnusregion genannt wird. Man kann dieses Gas am besten mit Radioteleskopen erkennen.

Warmes ionisiertes Gas (WIM)

Das warme interstellare Medium hat eine Temperatur von ungefähr 1000K. Es kommt vorwiegend in HII-Regionen vor.

Heißes ionisiertes Gas (HIM)

In der Nähe von Sternen wie unserer Sonne oder im galaktischen Halo kann das Gas Temperaturen von einer Million Kelvin erreichen. Im North polar spur, wo sich die Wirkung gleich mehrerer Supernovae überlagert, kann sich das Gas sogar auf mehrere Millionen Kelvin aufheizen. Noch heißer ist das Gas unserer Galaxie nur im galaktischen Zentrum oder in der Nähe von Supernovaresten. Außerhalb unserer Galaxie gibt es weitere, noch heißere, Quellen.

HII-Regionen

HII-Regionen sind Regionen, in denen sich viel ionisierter Wasserstoff befindet. Die Temperaturen befinden sich zwischen 8000K und 10.000K, deshalb strahlen diese Regionen auch stark im UV-Bereich. Diese HII-Regionen kommen vor allem in den Spiralarmen von Spiralgalaxien vor. Oft entstehen an diesen Orten neue Sterne. Die HII-Regionen sind jedoch gerade an deren Grenzen sehr instabil. Der ionisierte Wasserstoff zerfällt oder verdichtet sich. Spuren schwerer Elemente kühlen die HII-Regionen ab.

Neutrales Gas

Der Großteil der Masse des interstellaren Mediums nehmen neutrale, also nicht ionisierte Gase ein. Dabei unterscheidet man zwischen kaltem neutralem Gas (CNM), das nur Temperaturen zwischen 10 und 100K hat, und warmen neutralem Gas (WNM), das von der UV-Strahlung und der Röntgenstrahlung abgeschirmt ist, sodass es um einiges wärmer ist.

Neutraler Wasserstoff

Ein großer Teil der Stoffe im interstellaren Medium besteht aus neutralem Wasserstoff. Dieser Stoff wird beispielsweise bei Supernovaexplosionen an das interstellare Medium abgegeben. Bei einer einzigen Supernovaexplosion entstehen 10.000 Sonnenmassen neutraler Wasserstoff. Der Wasserstoff kann sich bis zu 340pc von der galaktischen Ebene entfernen und dabei schalen- und filamentartige Strukturen entwickeln. Er leuchtet mit einer Helligkeit von 10^{51} Erg, außerdem kann man ihn anhand von Effekten, wie dem Lyman-Alpha-Wald beobachten: Wenn sich eine Wolke aus neutralem Wasserstoff vor einem Stern befindet, kann man die Spektrallinien von Wasserstoff beobachten. Dadurch erkennt man, dass sich dort der neutrale Wasserstoff befinden muss. Es gibt auch Gebiete, in denen sich kein Wasserstoff befindet. Diese Gebiete bezeichnet man als HI-Löcher. Meistens ordnen sie sich ringförmig um HII-Regionen an und haben einen Durchmesser von 100 – 1000pc. Insgesamt enthält ungefähr 1% des interstellaren Mediums keinen Wasserstoff. Das liegt daran, dass 10^3 bis 10^7 Sonnenmassen Wasserstoff von einer Supernovaexplosion weggeschleudert worden sind. Bis der Wasserstoff wieder zurückkommt, dauert es zwischen 2,5 und 30 Millionen Jahre.

Moleküle

Das häufigste Molekül im ISM ist H_2 , gefolgt von CO. Besonders viel CO gibt es im Zentrum der Milchstraße. Das erkennt man daran, dass sich die Objekte im Zentrum aufgrund der Gravitation vom CO besonders schnell bewegen. Außerdem gibt es große Molekülwolken (GMC) aus CO, in denen sich 4 – 6 Sonnenmassen CO über 50 – 200pc verteilen. Solche Molekülwolken können sich zu Sternen verdichten.

[Die Verdichtung der Molekülwolken zu Sternen im Skriptum über die Sternentwicklung](#) ⓘ

Staubteilchen

Staubteilchen sind quer über das interstellare Medium verteilt. An ihnen können sich sowohl komplexe Moleküle, als auch Strahlungsfelder bilden. Bei der Beobachtung von Sternen können sie lästig sein, weil sie oft nur manche Lichtwellen durchlassen.

[Der Effekt von Dunkelwolken bei der Beobachtung wird im Instrumenteskriptum beschrieben](#)



Abb. 10.1.: Das Zodiakallicht

In unserem Sonnensystem sorgt warmer Staub für das Zodiakallicht. Dieser Effekt wurde bereits im Sonnensystems-kriptum beschrieben. Der Infrarotsatellit COBE hat Staub in unserer Milchstraße entdeckt. In unserer Milchstraße ist der Staub sehr kühl. Seine Durchschnittstemperatur beträgt nur 18K. Es gibt sogar Staubteilchen, die eine Temperatur von nur 5K haben. Es gibt aber auch Staub in unserer Milchstraße, der sich durch Strahlungsfelder aufgeheizt hat und dadurch wärmer ist. Auch außerhalb unserer Milchstraße gibt es jede Menge Staub, beispielsweise in der großen Magellan'schen Wolke. Auch in der Spiralgalaxie M31 gibt es viel Staub. Der hat sich aber keinesfalls spiralförmig sondern ringförmig angesammelt und das, obwohl kein Staub aus den Begleitgalaxien kommt. Es gibt zwei Ringe, einer befindet sich 10kpc vom Zentrum entfernt, der zweite erstreckt sich zwischen 14 und 22kpc um das Zentrum der Galaxie herum. Man vermutet deshalb, dass sich M31 von einer Balkenspiralgalaxie in eine Ringgalaxie entwickeln könnte. Insgesamt haben die Staubteilchen in M31 eine Masse von 3×10^7 Sonnenmassen. Wenn man das Universum im Infrarot beobachtet, kann man erkennen, dass der gesamte Hintergrund nur aus Staub besteht.

Strahlungsfelder

Die Strahlungsfelder bestehen hauptsächlich aus den elektromagnetischen Wellen, die ein Stern produziert. Dementsprechend sind in einem Strahlungsfeld sehr viele Lichtteilchen (Photonen) enthalten. Die Photonen der Röntgen- und UV-Strahlung sind dafür verantwortlich, dass sich das Gas auch in kühleren Teilen des interstellaren Mediums ionisiert. Die Strahlungsfelder sorgen auch für die größten lokalen Unterschiede innerhalb des ISM. Zum Beispiel existiert dort wo mehr Sterne sind, mehr Strahlung und dort wo mehr Strahlung existiert befinden sich mehr Ionisationsgebiete. Durch diese Auswirkungen auf die Eigenschaften des interstellaren Mediums kann man auch Strahlungsfelder außerhalb unserer Galaxie besser verstehen. In der nachfolgenden Tabelle ist die Strahlung unserer Milchstraße in W/kpc^2 aufgeschlüsselt. Es fällt auf, dass die Summe nicht unbedingt die Summe der aufgezählten Faktoren ist. Das liegt daran, dass es noch weitere Faktoren gibt, die der Übersichtlichkeit wegen, weggelassen wurden.

Input	Strahlung	Stellare Winde	Supernovae	Summe
Stoßheizung		6×10^{30}	2×10^{31}	3×10^{31}
ISW	2×10^{30}	2×10^{30}	6×10^{30}	1×10^{31}
HII-Regionen	2×10^{32}	3×10^{30}	2×10^{31}	2×10^{32}
HI-Gas	3×10^{31}	1×10^{29}	6×10^{31}	1×10^{32}
Summe	3×10^{33}	2×10^{31}	1×10^{32}	

Insgesamt vermutet man, dass sich die kosmische Strahlung ungefähr gleichmäßig über die Milchstraße verteilt. Sie bleibt durchschnittlich 10-Millionen Jahre in der Milchstraße, bevor sie diese verlässt. Dabei leuchtet sie mit 10^{41}erg/s . Bei der Wechselwirkung mit dem Gas im ISM entstehen kleine neutrale Teilchen, die sogenannten Pionen. Sie führen dazu, dass die Quanten, aus denen die Strahlung entsteht, zerstört werden.

Außerhalb der Milchstraße kommt die Strahlung von überall her. Man kann diese Strahlung am besten außerhalb der Erdatmosphäre beobachten. Mit Hilfe von air-shower-arrays, Myonendetektoren und Čerenkovstrahlung kann man die Strahlung aber auch innerhalb der Erdatmosphäre indirekt messen.

Magnetfelder

Magnetfelder befinden sich praktisch überall: Die stärksten Magnetfelder befinden sich in der Nähe von Supernovaüberresten, aber auch bei anderen rotierenden Himmelskörpern entstehen Magnetfelder aufgrund des Dynamoeffektes. Im Radiobereich hat man sogar ein ganz großes Magnetfeld beobachtet, das sich über die gesamte Galaxie erstreckt. Wie dieses Magnetfeld entstanden ist, ist jedoch ungeklärt. Auch außerhalb der Galaxie hören die Magnetfelder noch lange nicht auf. Im galaktischen Halo existieren Magnetfelder, die bis zu 10kpc von der Galaxie entfernt sein können. Man hat schon intergalaktische Magnetfelder entdeckt, die weit von jeder Galaxie entfernt sind. Insgesamt kann man feststellen, dass die Zahl der Magnetfelder mit zunehmender Materiedichte auch zunimmt. Die Energiedichte in Magnetfeldern ist durchschnittlich.