

Sternentstehung

Von der Molekülwolke zum T-Tauri-Stern

Von

Benedict Höger

Inhaltsverzeichnis

1. Unterschied zwischen Stern und Planet
2. Sternentstehung
 - 2.1 Wo entsteht ein Stern?
 - 2.2 Unterschied HI und HII
3. Verdichtung
 - 3.1 Jeanissches Kriterium
 - 3.2 Kühlungsmechanismus
 - 3.3 HI-Linie
 - 3.4 Kräfte
4. T-Tauri-Stern
 - 4.1 Was ist ein T-Tauri-Stern?
 - 4.2 Akkretionsscheibe
 - 4.3 Jet
 - 4.4 Phasen
 - 4.5 Ende der Entstehung
 - 4.6 Hydrostatisches Gleichgewicht
5. Quellen

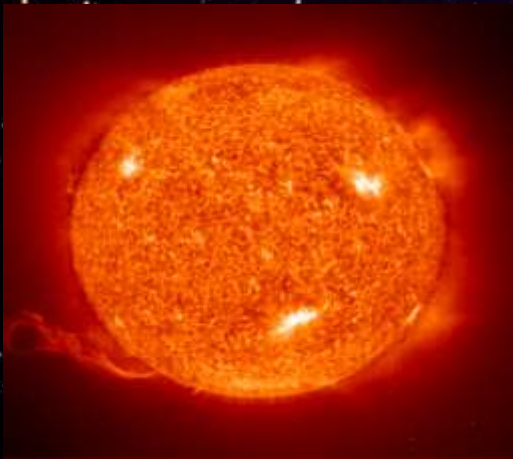
Unterschied Stern/Planet

• Stern

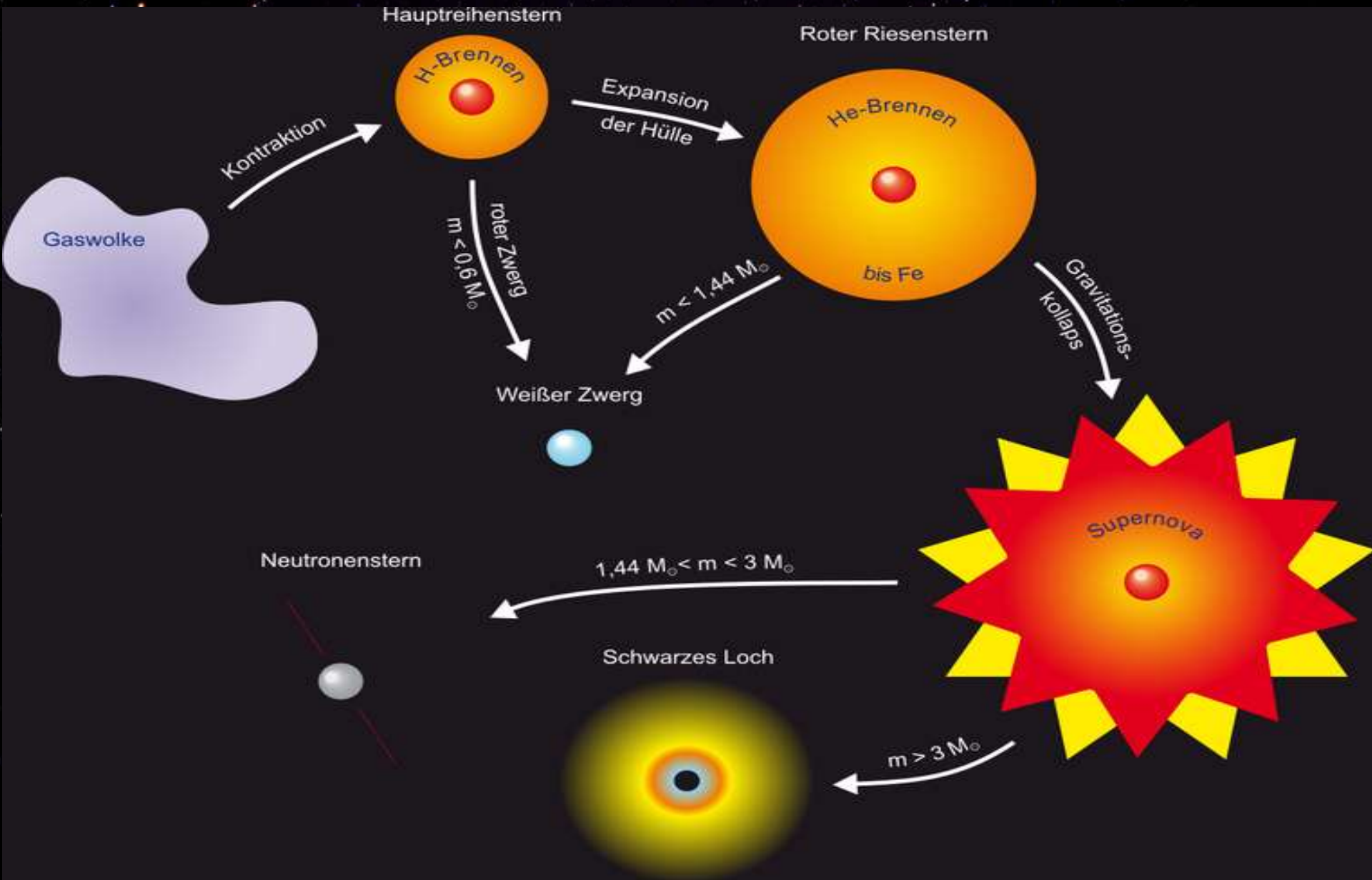
• Planet

- leuchtet von selbst
- Betreibt Kernfusion
- Besitzt eine größere Masse

- Wird von Sternen angestrahlt
→ Reflektiert das Licht
- Besitzt nur einen heißen Kern
→ kühlt langsam aus
- Besitzt eine kleinere Masse



Sternentwicklung



Wo entsteht ein Stern

Was muss gegeben sein damit ein Stern entsteht?

- Sterne entstehen in interstellaren Wolken
 - Die Temperatur muss sehr niedrig sein
 - Die Wolke muss eine ausreichende Dichte haben
 - Wolke sollte Staub enthalten
- Gut geeignet sind H I-Gebiete
- Weniger gut sind H II-Gebiete

Unterschied HI und HII

HI-Gebiete

- Wasserstoff liegt nicht ionisiert vor
- Sind meistens kalt



HII-Gebiete

- Wasserstoff liegt ionisiert vor
- Sind sehr heiß



Verdichtung

- Interstellare Materie sammelt sich in riesigen Wolken an
 - Innerhalb einer Galaxie
 - Meist in den Spiralarmen
- Wolke kollabiert durch ihre eigene Gravitation
 - Wichtig dafür:
 - Effektiver Kühlungsmechanismus
 - Dichte der Wolke
 - Dies erkannte auch James Jeans



Jeans'sches Kriterium

- James Jeans erkannte, dass die Kontraktion einer Wolke abhängig ist von der:

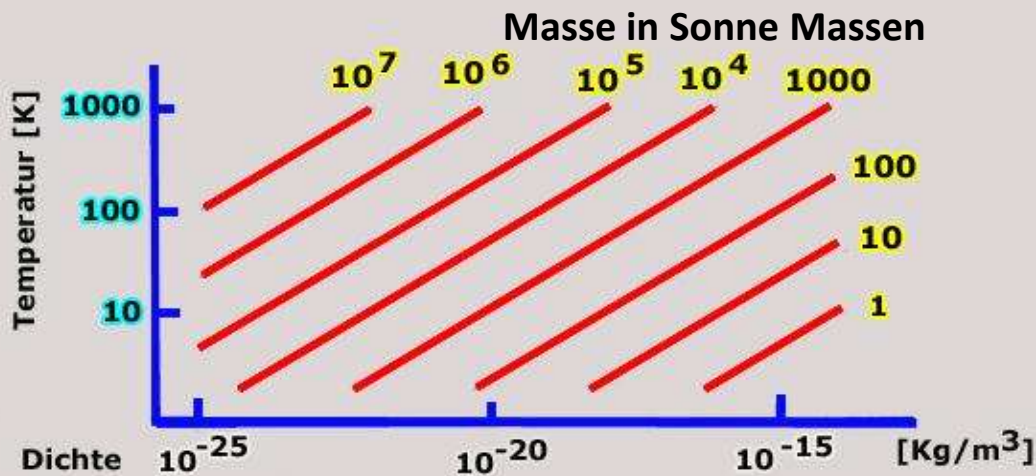
- Temperatur (T)
- Dichte (p)

$$r_G = \sqrt{T/p}$$

r_G = Grenzradius

$$m_G = \sqrt{T^3/p}$$

m_G = Grenzmasse



- Wolke kollabiert wenn
 - Der Grenzradius
 - Oder
 - Die Grenzmasse überschritten werden

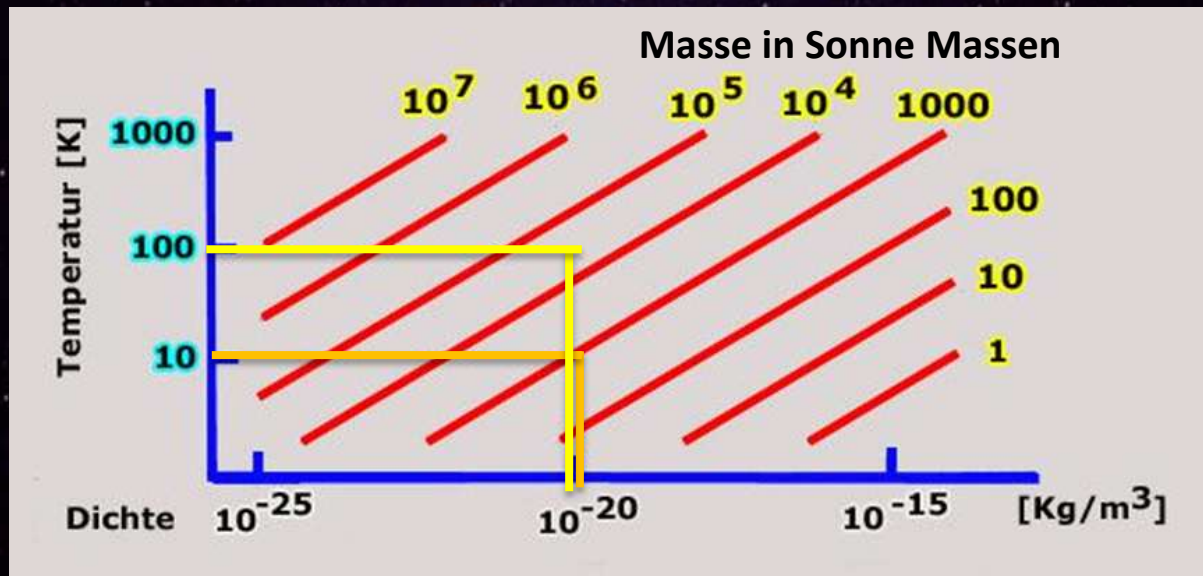
Jeanisches Kriterium

- Beispiel 1:

- Temperatur der Wolke: 10 K / Dichte der Wolke: 10^{-20} Kg/m^3
→ Es werden 1000 Sonne Massen benötigt damit die Wolke kollabiert

- Beispiel 2:

- Temperatur der Wolke: 100 K / Dichte der Wolke: 10^{-20} Kg/m^3
→ Es werden nun schon 10.000 Sonnen Massen benötigt damit die Wolke kollabiert



Kühlungsmechanismus

- Wolke sollte relativ kühl sein, damit sie kollabiert
 - Gut sind ca. 10-20 [K] kalte HI-Gebiete
- Trotzdem weisen die Wasserstoffmoleküle noch Wärmebewegung auf
 - Bei Verdichtung der Wolke immer stärker
 - Durch ansteigende Temperatur
- Jetzt kommen die Staubteilchen zum Einsatz:



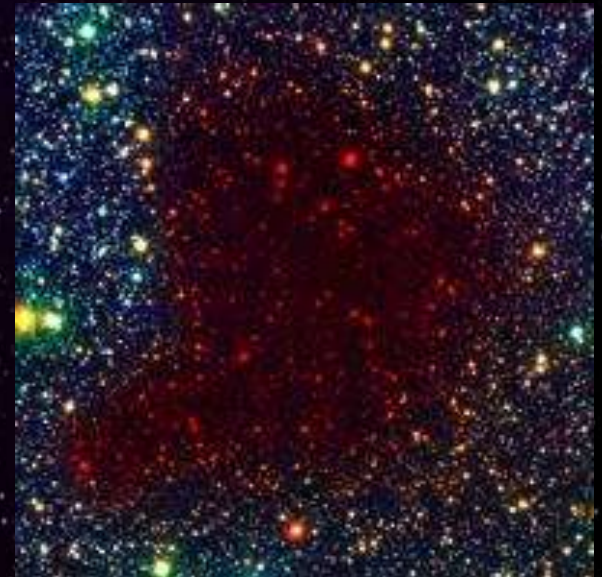
Kühlungsmechanismus

- Staubteilchen kollidieren mit Molekülen
 - Moleküle geben ein Teil ihrer Energie an Staubteilchen ab
 - Die Staubteilchen strahlen die Wärmeenergie im niedrigen Infrarotbereich wieder ab
- Gleichzeitig ist die Wolke durch die Staubteilchen sehr opak gegen Interstellare Strahlung



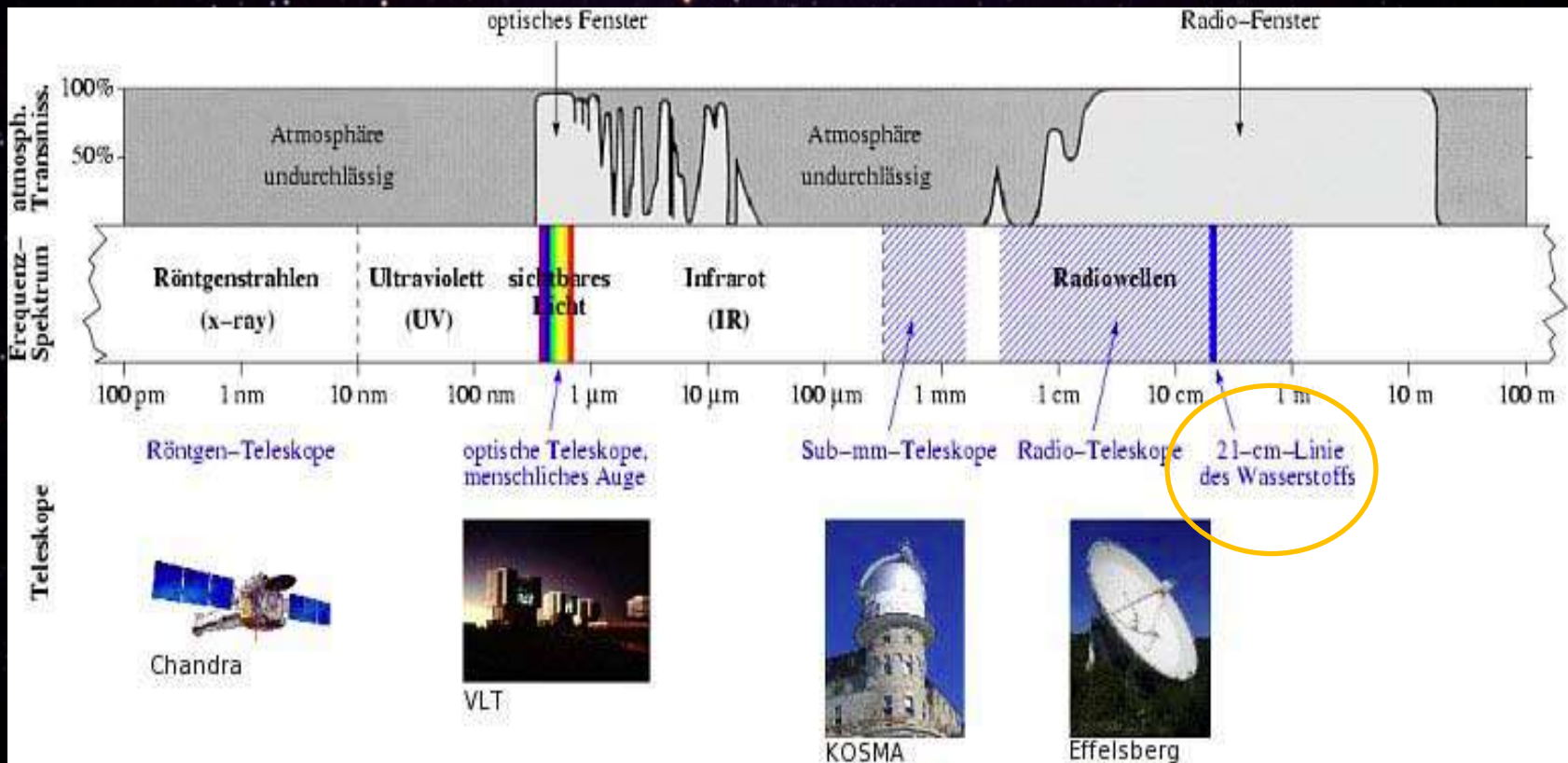
← sichtbares
Licht

Infrarot →
Licht



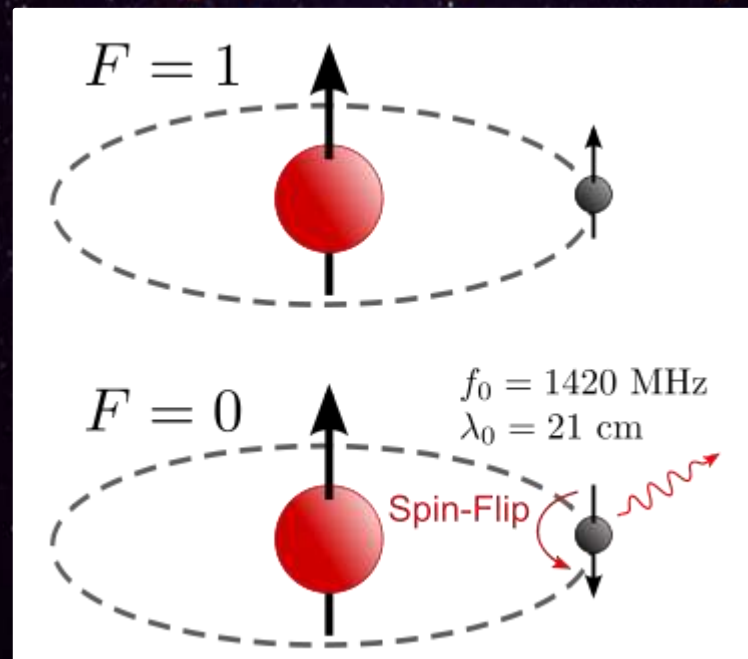
HI-Linie

- Wird auch Wasserstofflinie oder 21-cm-Linie genannt
- Charakteristische Radiostrahlung des neutralen Wasserstoffs
- Spielt in der Radioastronomie eine wichtige Rolle



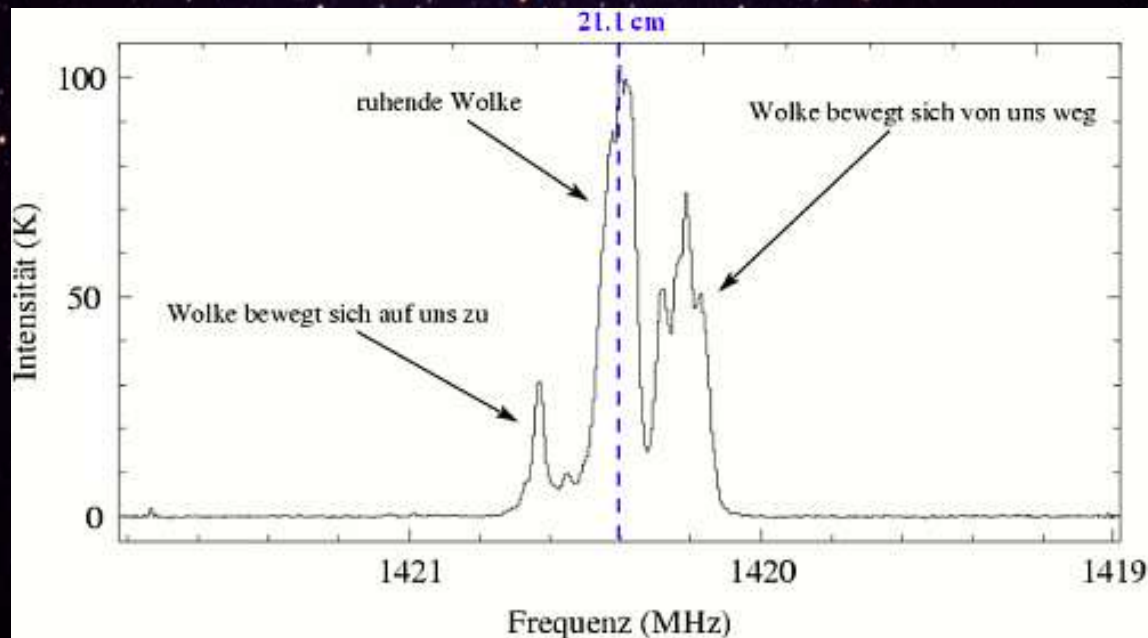
HI-Linie

- In interstellarer Materie sind Wasserstoffatome im Grundzustand ($F=0$)
- Durch Kollision werden manche Atome in den Zustand $F=1$ versetzt
 - Beim Übergang von $F=1$ zurück nach $F=0$ entsteht die HI-Linie
 - Dadurch wird ein Energiebeitrag frei, der einer Frequenz von 1420 MHz entspricht



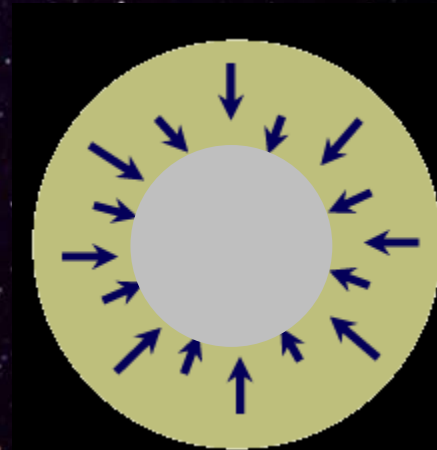
HI-Linie

- Die HI-Linie des Wasserstoffs ist wichtig für die Bestimmung von:
 - Geschwindigkeit
 - Temperatur
 - Teilchendichte
 - Magnetfelder
- Darüber hinaus gibt sie Auskunft über Struktur und Kinematik von Galaxien



Gravitation

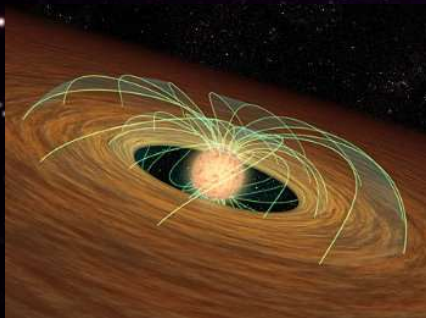
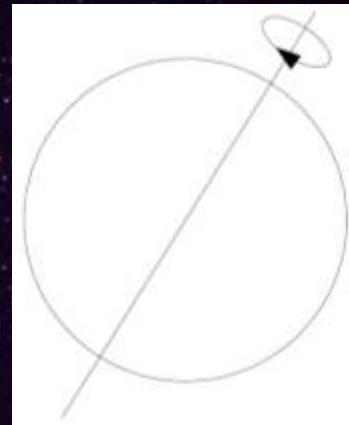
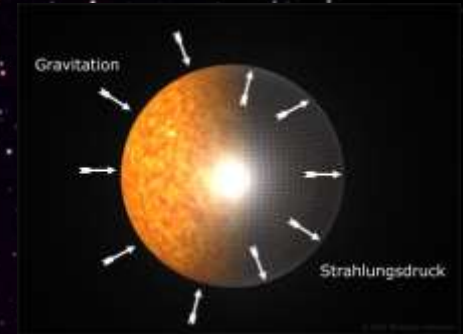
- Obwohl uns die Gravitationskraft nicht so bewusst wird, spielt sie im ganzen Universum eine sehr wichtige Rolle
- Die Gravitation ist die Kraft die bewirkt dass der Stern in sich zusammen fällt
 - Der Kollaps kann bis zu einer Teilchendichte von $10^9 \text{ Teilchen/cm}^3$ von den anderen Kräften (Rotation, Strahlungsdruck und Magnetfeld) gebremst werden.
 - Danach erfolgt der Kollaps



Weitere Kräfte

- Die Wolke kann jedoch nicht ungehindert kollabieren, denn es gibt noch andere Kräfte:

- Geringer Strahlungsdruck
- Rotation
- Magnetisches Feld



- Alle diese Kräfte hindern den Stern ungehindert zu kollabieren
 - Wirken entgegen der Kollision

Strahlungsdruck

- Der geringe Strahlungsdruck entsteht durch die Eigenschaft, dass sich warme Körper ausdehnen und kalte Körper sich zusammenziehen
- Die Veränderung kann man mit diesen Formeln berechnen:

$$\Delta V \approx V_0 3\alpha \Delta T$$

$$V_1 = V_0 (1 + \alpha \Delta T)^3$$

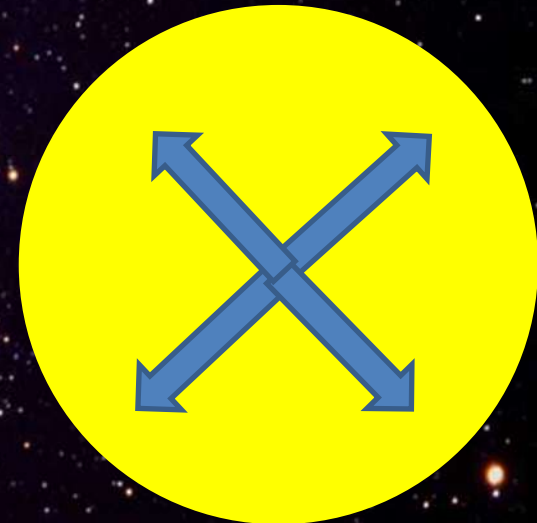
ΔV = Volumendifferenz

V_0 = Anfangsvolumen

α = Längenausdehnungskoeffizient

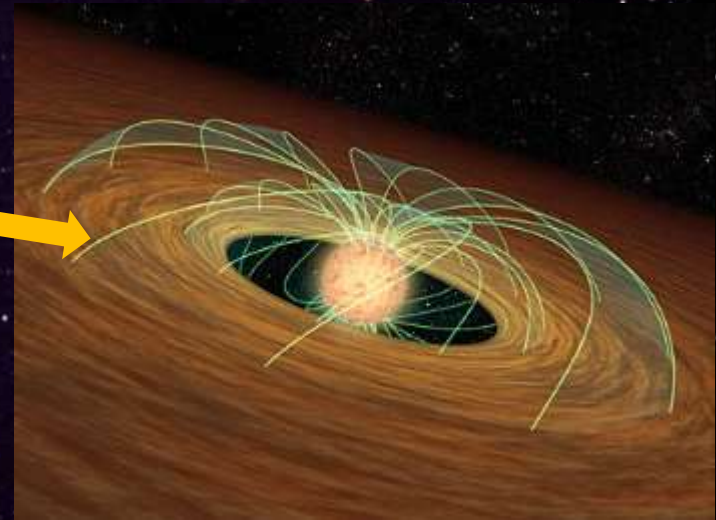
ΔT = Temperaturdifferenz

V_1 = Endvolumen



Magnetfeld

- Das Magnetfeld ist sehr wichtig für die Protosterne denn es hat eine wichtige Aufgabe:
 - Es bremst die Rotationsgeschwindigkeit
- Wenn kein Magnetfeld da wäre würde sich der kollidierende Stern zu schnell drehen und auseinander fliegen
- Magnetfeld wird von der Rotation mitgedreht
- Durch Sternenwinde die dem Magnetfeld folgen wird das Drehmoment abgebremst



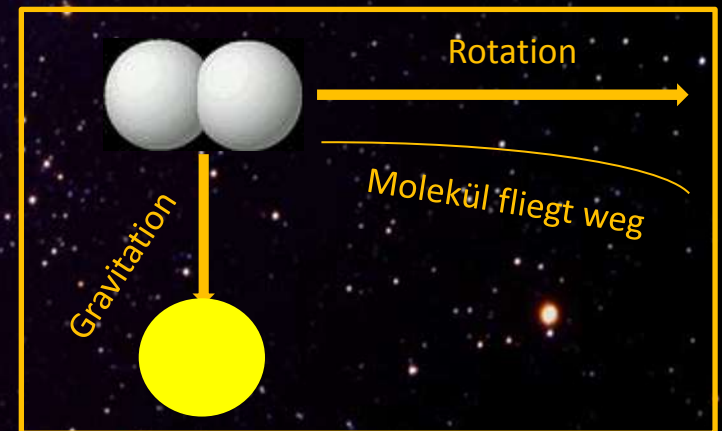
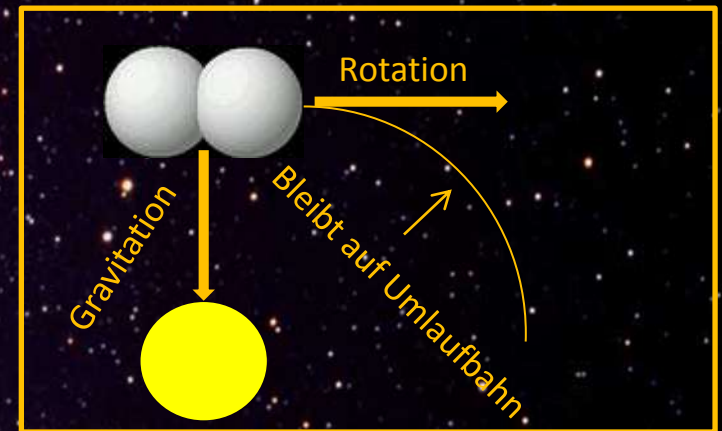
Rotation

- Schon die Molekülwolke rotiert
 - Wird auf den Stern übertragen
- Wenn sich die Wolke zu stark dreht würden die Atome wegfliegen

Um von einer Masse die Bewegungsrichtung zu ändern wird Kraft benötigt

Die Gravitation wirkt entgegen der Rotation
Und hält die Masse auf der Bahn

Wenn die Rotation jedoch zu schnell ist, reicht die Gravitation nicht mehr aus um das Molekül in der Bahn zu halten



Übergang

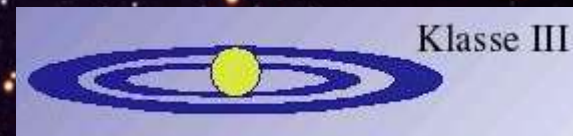
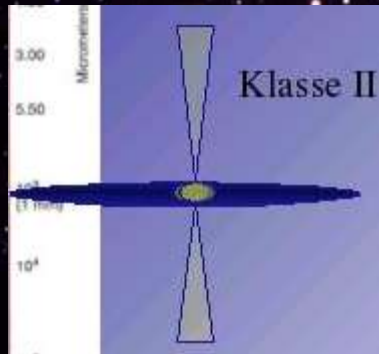
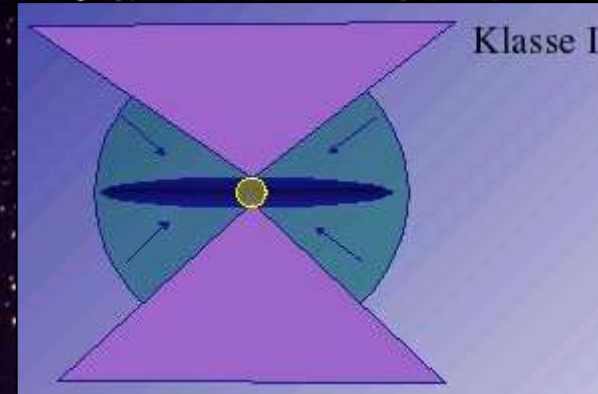
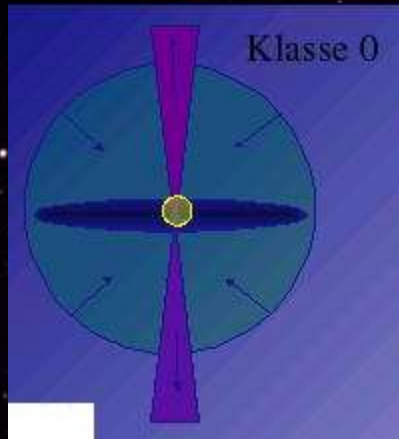
- Letzten Endes kollabiert die Wolke doch
- Wir machen weiter mit dem Szenario, dass sich jetzt ein massearmes Objekt bilden wird, der sogenannte T-Tauri-Stern

T-Tauri-Stern



Phasen

- Die Entwicklung massearmer Protosterne selbst unterteilt man nochmals in vier einzelne Phasen



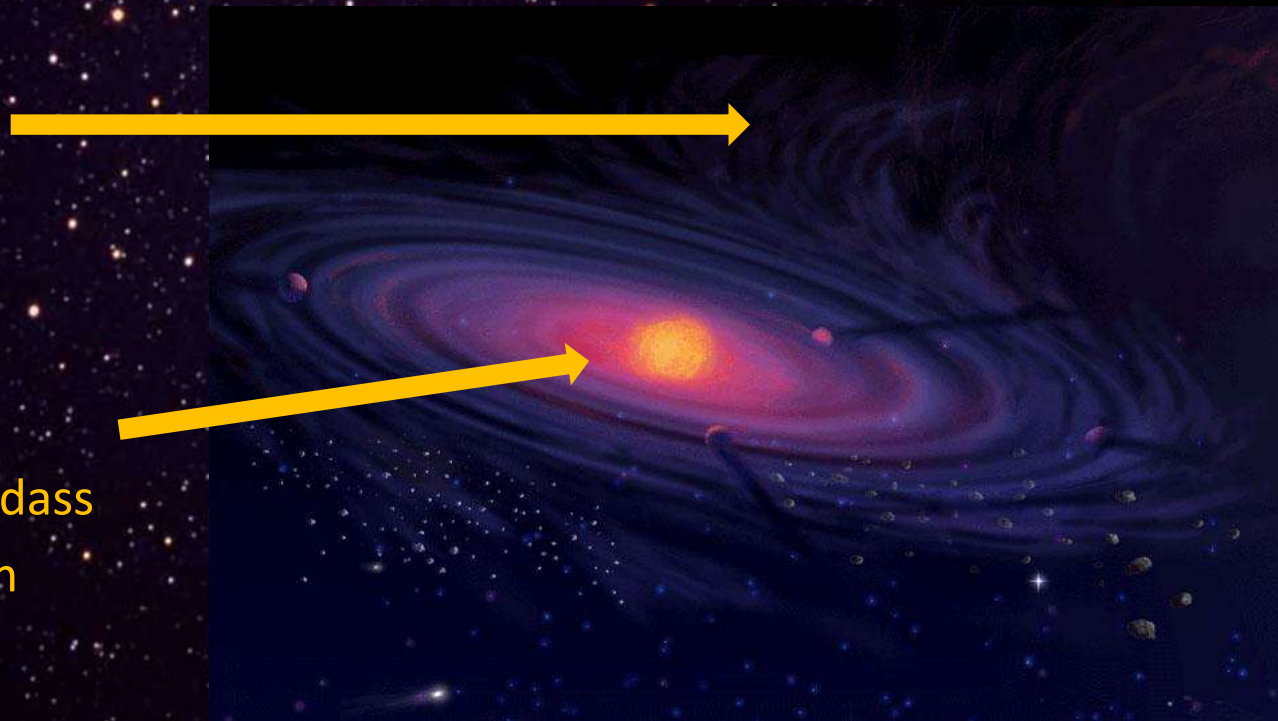
Vor den einzelnen Phasen werden oft noch wichtige Informationen gezeigt

Akkretionsscheibe

- Entsteht durch die Rotation der Wolke
- Wenn der Stern kleiner wird nimmt auch die Rotationsgeschwindigkeit zu (Drehimpulserhaltung)
- Wird später zur Protoplanetaren Scheibe wo Planeten entstehen können
 - Es kann ein Planetensystem entstehen

Scheibe ist nach außen aufgeweitet und kalt

innen ist sie sehr heiß, sodass Staubteilchen sublimieren



Jet

Was ist ein Jet?

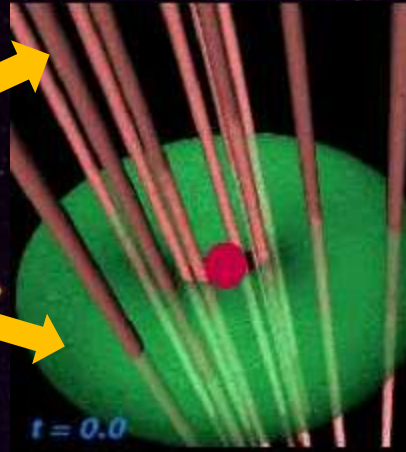
- Jets sind bipolare Ausstöße von ionisiertem und molekularem Gas
 - Damit ein Jet entsteht muss eine Akkretionsscheibe vorhanden sein die ihn mit Materie versorgt
 - Von dem Magnetfeld und der Rotation erhält er die Energie
- Sie schleudern auf gegenüberliegender Seite Gas aus
- Außerdem können sie eine Länge von weniger als 0.01 Lichtjahren und eine Geschwindigkeit von 100 km/s erreichen



Jet

Wie entstehen Jets?

Magnetfeld
Rotation



Magnetfeld wird von
der Rotation
mitgenommen

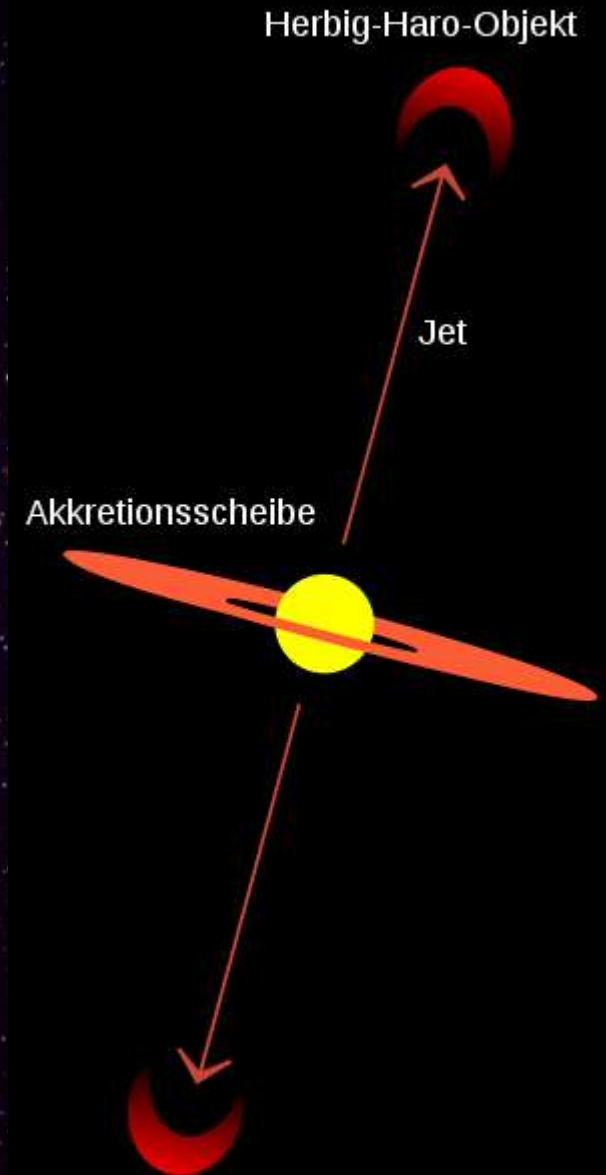
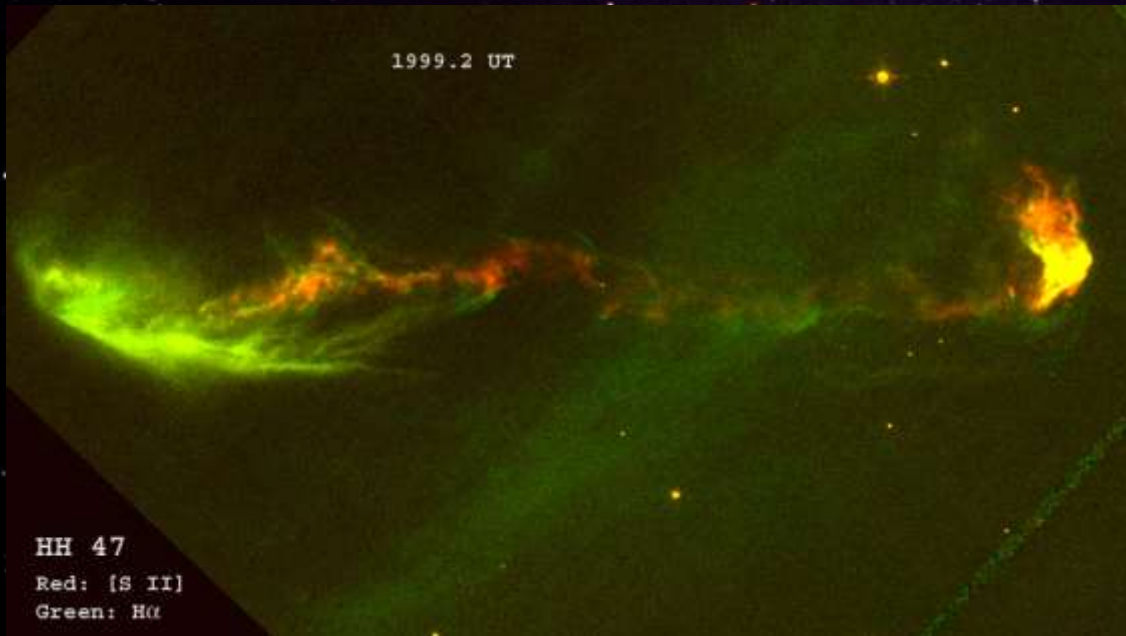


Magnetischer
Druck wird so groß
dass Teilchen
mitgenommen
werden und
vertikal zur
Scheibe
ausgestoßen
werden



Herbig-Haro-Objekt

- Herbig-Haro-Objekte sind leuchtende Nebel
 - Entstehen wenn Jets auf interstellare Materie trifft
- Leben bestenfalls nur ein paar tausend Jahre



Phase 0

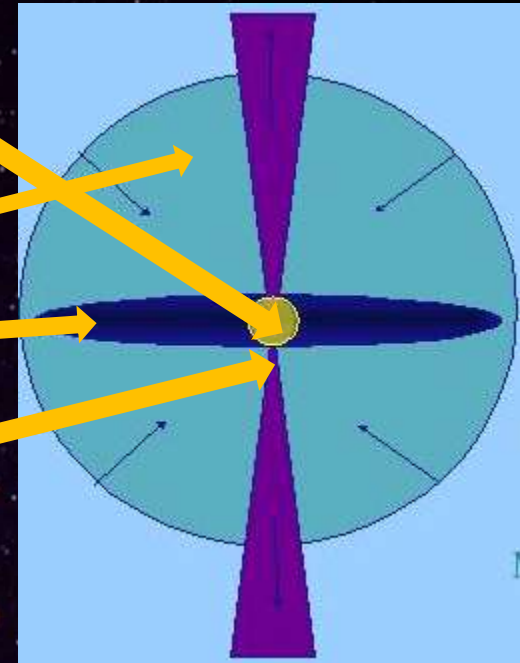
- Die Phase 0 umfasst die ersten 10.000 Jahre der Verdichtung

Im Zentrum ist eine noch massearme Verdichtung

Die meiste Masse ist noch in der Hülle

Durch die Rotation hat sich schon eine Scheibe gebildet

Immer wieder treten Jets aus



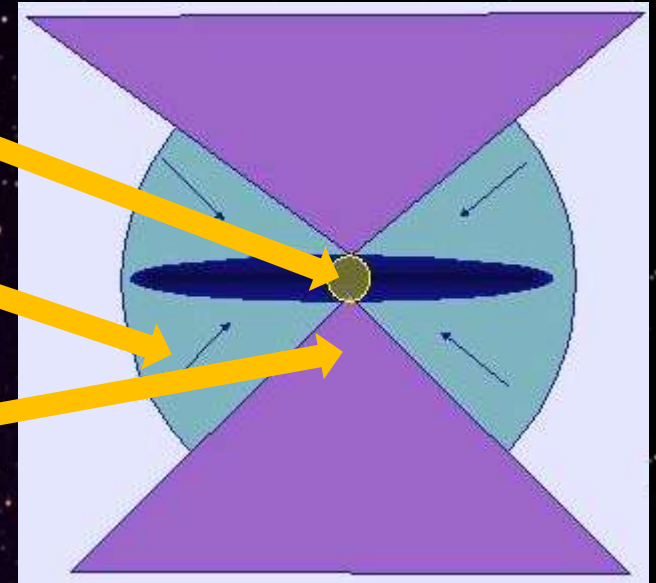
Phase 1

- In Phase 1 ist das Objekt ca. 100.000 Jahre alt

Der Kern im Zentrum hat nun mehr Masse als die Hülle

Immer mehr Masse der Hülle fliegt auf den Kern

Die Jets haben nur einen größeren Austrittswinkel als in Phase 0



Phase 2

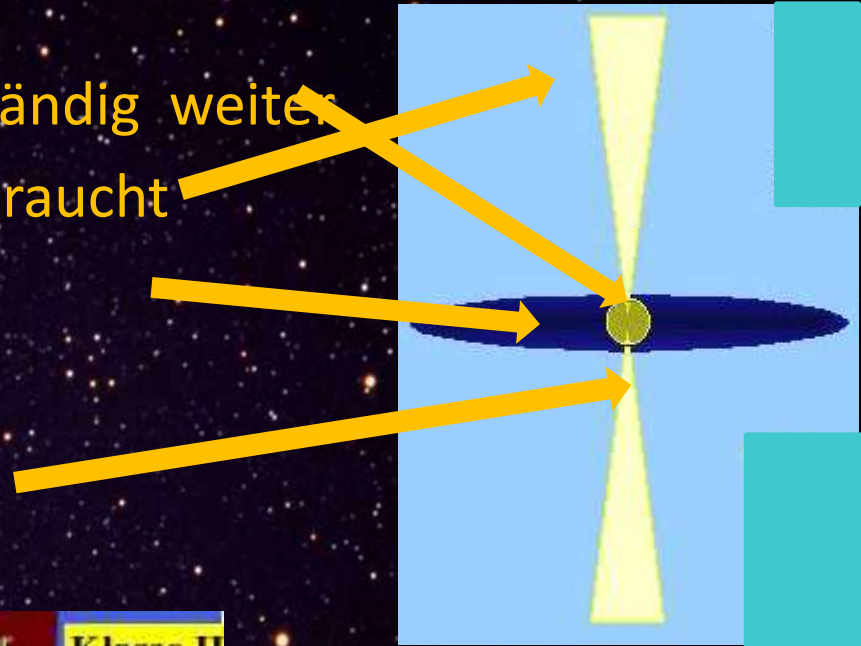
- Der Stern ist nun 1.000.000 Jahre alt und wird CTTS genannt

Der Kern im Zentrum wächst ständig weiter

Die Hülle um den Stern ist verbraucht

Die Akkretionsscheibe versorgt
den Stern weiter mit Materie

Immer wieder werden Jets
ausgestoßen



Phase 3

- Nach 10.000.000 Jahren ist der Stern ein WTTS

Der Kern im Zentrum nimmt (fast)
gar nicht mehr an Masse zu

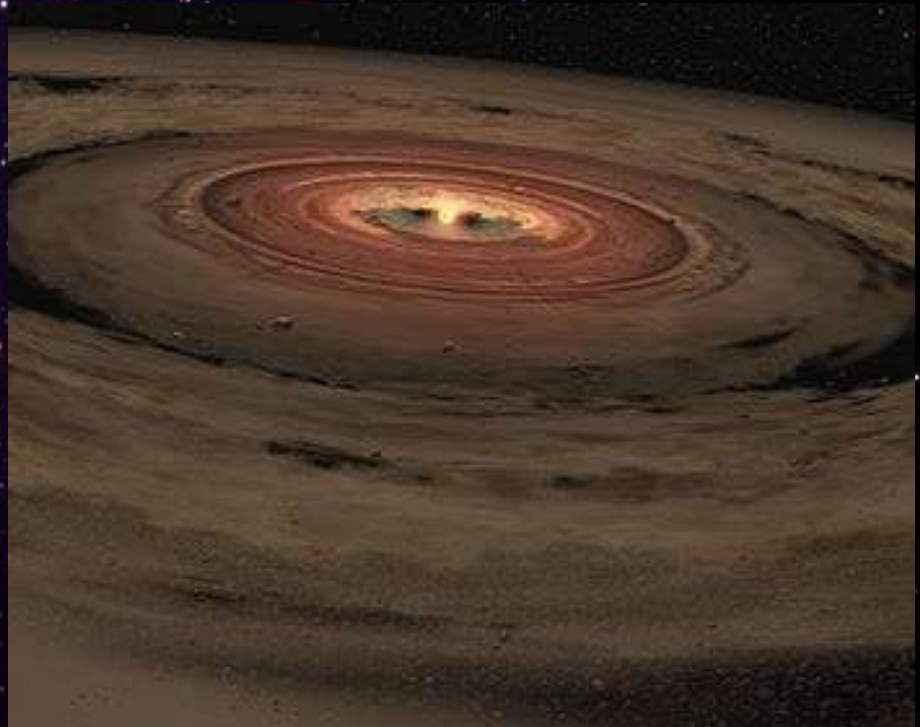
In der protoplanetaren Scheibe
können sich Planeten bilden

Es treten keine Jets mehr aus



Was ist ein T-Tauri-Stern?

- T-Tauri-Sterne nennt man die Sterne in Phase 2 und Phase 3
 - Phase 2 = Classical T-Tauri-Stern (CTTS)
 - Phase 3 = Weak T-Tauri-Stern (WTTS)
 - bis 3 Sonne Massen
 - Kontrahiert noch
 - Vorstufe zum Hauptreihenstern
 - Noch kein Hydrostatisches Gleichgewicht



Ende der Entstehung

- Die Entstehungsphase ist nun zu Ende
- Der Stern ist jetzt ein Hauptreihenstern
 - Er beginnt mit Kernfusion



Aus Anfangs vier Wasserstoff Protonen entsteht über mehrere Prozesse ein Heliumkern

Wasserstoffbrennen

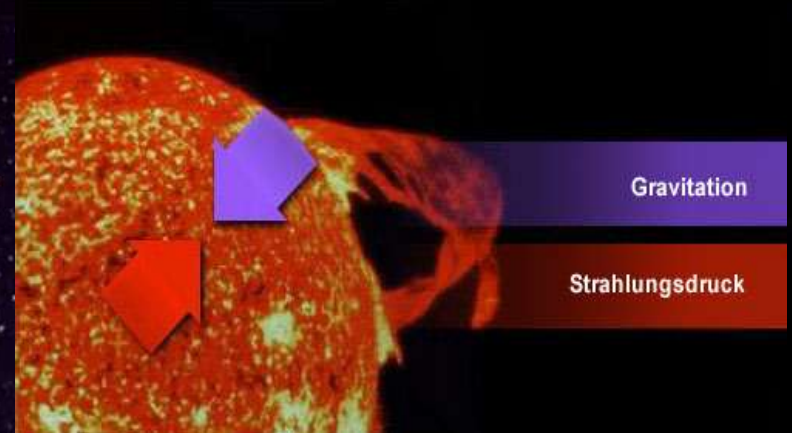
- Die vier Wasserstoffprotonen wiegen jedoch mehr als der Heliumkern
 - Vier Wasserstoffprotonen > ein Heliumkern
 - Die frei werdende Masse wird in Energie umgewandelt
- Die frei werdende Energie kann man mit Einsteins „Masse Äquivalenz“
($E = m * c^2$) berechnen

Mehr dazu im Vortrag von Finn Jaenkel auf:

<http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/massi/Sternentwicklung.pdf>

Hydrostatisches Gleichgewicht

- Nun ist das Objekt ein Hauptreihenstern, denn er betreibt Kernfusion und ist im Hydrostatischen Gleichgewicht
- Hydrostatisches Gleichgewicht:
 - Strahlungsdruck = Gravitationsdruck
 - Allgemein: Kraft = Gegenkraft
- Bei T-Tauri-Sternen war noch kein Hydrostatisches Gleichgewicht weil es nur wenig Strahlungsdruck gab
- Die Folge war das er kollabierte



Quellen Texte

- 1.Folie:
-->
- 2.Folie:
-->
- 3.Folie:
-->www.sternwarte.de/astro/faq/detail.asp?ID=7
- 4.Folie:
--><http://www.astronomia.de/index.htm>?<http://www.astronomia.de/sternent.htm>
- 5.Folie:
--><http://abenteuer-universum.de/sterne/sternentwick.html>
- 6.Folie:
--><http://de.wikipedia.org/wiki/H-I-Gebiet>
--><http://de.wikipedia.org/wiki/H-II-Gebiet>
- 7.Folie:
--><http://www.astronomia.de/index.htm>?<http://www.astronomia.de/sternent.htm>
--><http://abenteuer-universum.de/sterne/sternentwick.html>
- 8.Folie:
--><http://abenteuer-universum.de/sterne/sternentwick.html>
- 9.Folie:
-->
- 10.Folie:
--><http://abenteuer-universum.de/sterne/sternentwick.html>
- 11.Folie:
--><http://abenteuer-universum.de/sterne/sternentwick.html>
- 12.Folie:
--><http://de.wikipedia.org/wiki/HI-Linie>
- 13.Folie:
--><http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen-SpinFlip.svg>
-->http://www.tls-tautenburg.de/research/eike/vorles/entstehung_sterneEG02.pdf
- 14.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/s062.pdf>
- 15.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Kräfte")

Quellen Texte

- 16.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Kräfte")
- 17.Folie:
--><http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeausdehnung>
- 18.Folie:
--><http://de.wikipedia.org/wiki/T-Tauri-Stern>
- 19.Folie:
-->
- 20.Folie:
-->
- 21.Folie:
-->
- 22.Folie:
-->
- 23.Folie:
-->http://de.wikipedia.org/wiki/Protoplanetare_Scheibe
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Bildung einer Scheibe")
- 24.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/massi/thilomittagP.pdf>(Seite 6 und 17)
- 25.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Entstehung von Jets")
- 26.Folie:
--><http://de.wikipedia.org/wiki/Herbig-Haro-Objekt>
- 27.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Klasse 0")
- 28.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Klasse 1")
- 29.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Klasse 2")
- 30.Folie:
--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(Seite "Klasse 3")

Quellen Texte

- 31.Folie: --><http://de.wikipedia.org/wiki/T-Tauri-Stern>
- 32.Folie: --><http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffbrennen>
- 33.Folie: --><http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffbrennen>
- 34.Folie: --><http://www.lehrer-online.de/763901.php>
-->http://hera.ph1.uni-koeln.de/~ossk/Einfuehrung_Astronomie/Sternentstehung.pdf

Quellen Bilder

alle Folien(außer erste):

--><http://4.bp.blogspot.com/-7EwoQgR1dao/UDAWM9Vzjdl/AAAAAAAAAC0/o7zFORXZiZl/s1600/sternenhimmel.jpg>

1.Folie:

--><http://www.ralf-schoofs.de/blog/wp-content/uploads/2009/01/t-tauri1-785x523.jpg>(Hitergrund)

2.Folie:

-->

3.Folie:

--><http://ah8892.bplaced.net/Astronomie%20Website/Bilder/Sonne/sonne.gif>(linkes Bild)

--><http://bilder.4ever.eu/data/674xX/natur/weltall/%5Bbilder.4ever.eu%5D%20planet%20erde,%20universum%20125509.jpg>(rechtes Bild)

4.Folie:

--><http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/46/Sternentwicklung.png/762px-Sternentwicklung.png>(Vordergrund)

5.Folie:

-->

6.Folie:

--><http://www.astronews.com/news/bilder/2008/0809-014.jpg>(linkes Bild)

-->http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7a/Nursery_of_New_Stars_-_GPN-2000-000972.jpg/220px-Nursery_of_New_Stars_-_GPN-2000-000972.jpg(rechtes Bild)

7.Folie:

--><http://abenteuer-universum.de/star/orion.jpg>(linkes Bild)

-->http://www.der-koos.de/pics/adlernebel_kl.jpg(rechtes Bild)

8.Folie:

--><http://abenteuer-universum.de/star/jeans1.gif>(rGFormel)

--><http://abenteuer-universum.de/star/jeans2.gif>(mGFormel)

--><http://abenteuer-universum.de/star/jeans.jpg>(Diagramm)

9.Folie:

--><http://abenteuer-universum.de/star/jeans.jpg>(Diagramm)

10.Folie:

--><http://abenteuer-universum.de/star/starbirth1.jpg>(unteres Bild)

11.Folie:

--><http://www.astronews.com/news/bilder/2008/0809-014.jpg>(linkes Bild)

--><http://www.astronews.com/news/bilder/2008/0809-014c.jpg>(rechtes Bild)

Quellen Bilder

12.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/s062.pdf>(unteres Bild(Seite 5))

13.Folie:

--><http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/96/Hydrogen-SpinFlip.svg/374px-Hydrogen-SpinFlip.svg.png>(mittleres Bild)

14.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/staff/sbritzen/s062.pdf>(unteres Bild(Seite 9))

15.Folie:

--><http://www.fornoff.homepage.t-online.de/Qastro/4Sterne/Sternentwicklung2.gif>(rechtes Bild)

16.Folie:

-->http://www.joern-lenhardt.de/benny/artikel_gfx/se_gravsd.jpg(rechtes oberes Bild)

--><http://de.academic.ru/pictures/dewiki/114/rotation.png>(rechtes mittleres Bild)

--><http://www.2-0.scienceticker.info/wp-content/uploads/2006/07/stern-magnetfeld-bremsse.jpg>(linkes mittleres Bild)

17.Folie:

-->

18.Folie:

--><http://www.2-0.scienceticker.info/wp-content/uploads/2006/07/stern-magnetfeld-bremsse.jpg>(rechtes Bild)

19.Folie:

--><http://www.chemiekiste.de/Chemiebox/Formeln/H2.gif>(rechtes Bild(Molekül))

20.Folie:

-->

21.Folie:

--><http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b0/TTauriStarDrawing.jpg/220px-TTauriStarDrawing.jpg>(Vordergrund)

22.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img17.jpg>(alle Bilder("Klassen"))

23.Folie:

-->http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e8/Protoplanetary_disk.jpg(rechtes unteres Bild)

24.Folie:

--><http://www.sterne-und-weltraum.de/fm/912/thumbnails/Jets.jpg.757407.jpg>(rechtes unteres Bild)

Quellen Bilder

25.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/Bericht.html>(alle Bilder("Entstehung von Jets"))

26.Folie:

-->http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7d/HH_object_diagram_de.svg/300px-HH_object_diagram_de.svg.png(rechtes Bild)

-->http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/86/HH47_animation.gif

27.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img18.jpg>(rechtes oberes Bild)

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img23.jpg>(unteres Bild)

28.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img19.jpg>(rechtes oberes Bild)

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img23.jpg>(unteres Bild)

29.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img20.jpg>(rechtes oberes Bild)

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img23.jpg>(unteres Bild)

30.Folie:

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img22.jpg>(rechtes oberes Bild)

--><http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/public/hvalder/img23.jpg>(unteres Bild)

31.Folie:

-->http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/67/AA_Tauri.jpg/350px-AA_Tauri.jpg(unteres Bild)

32.Folie:

--><http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/archive/7/78/20091128230006IFusionintheSun.svg/180px-FusionintheSun.svg.png>(alle Bilder)

33.Folie:

-->

34.Folie:

-->http://www.lehrer-online.de/dyn/pics/763901-764261-1-4_hydrostatisches_gleichgewicht.jpg(rechtes oberes Bild)

Ende

