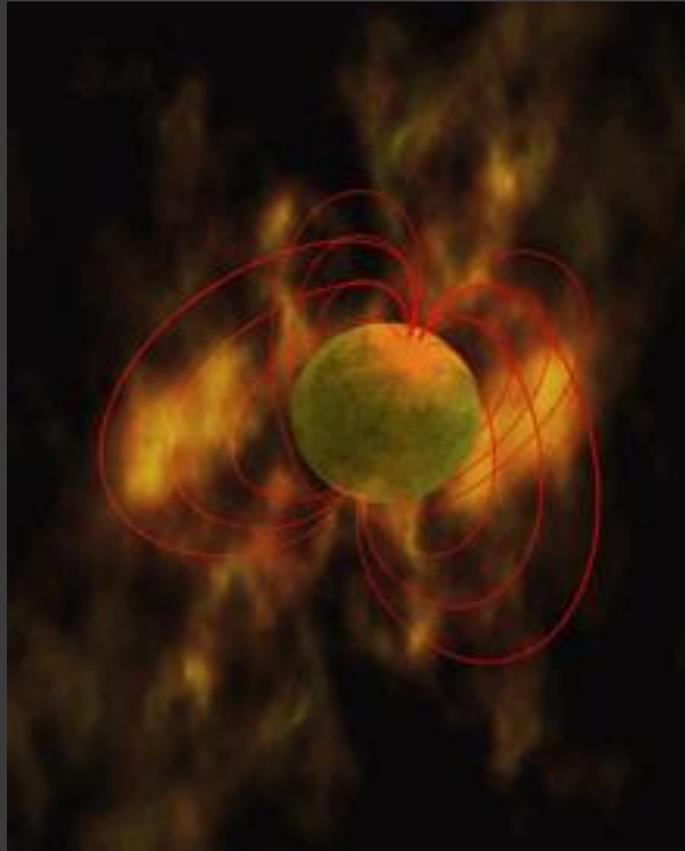


Stellare Magnetfelder



Francesco Prangs

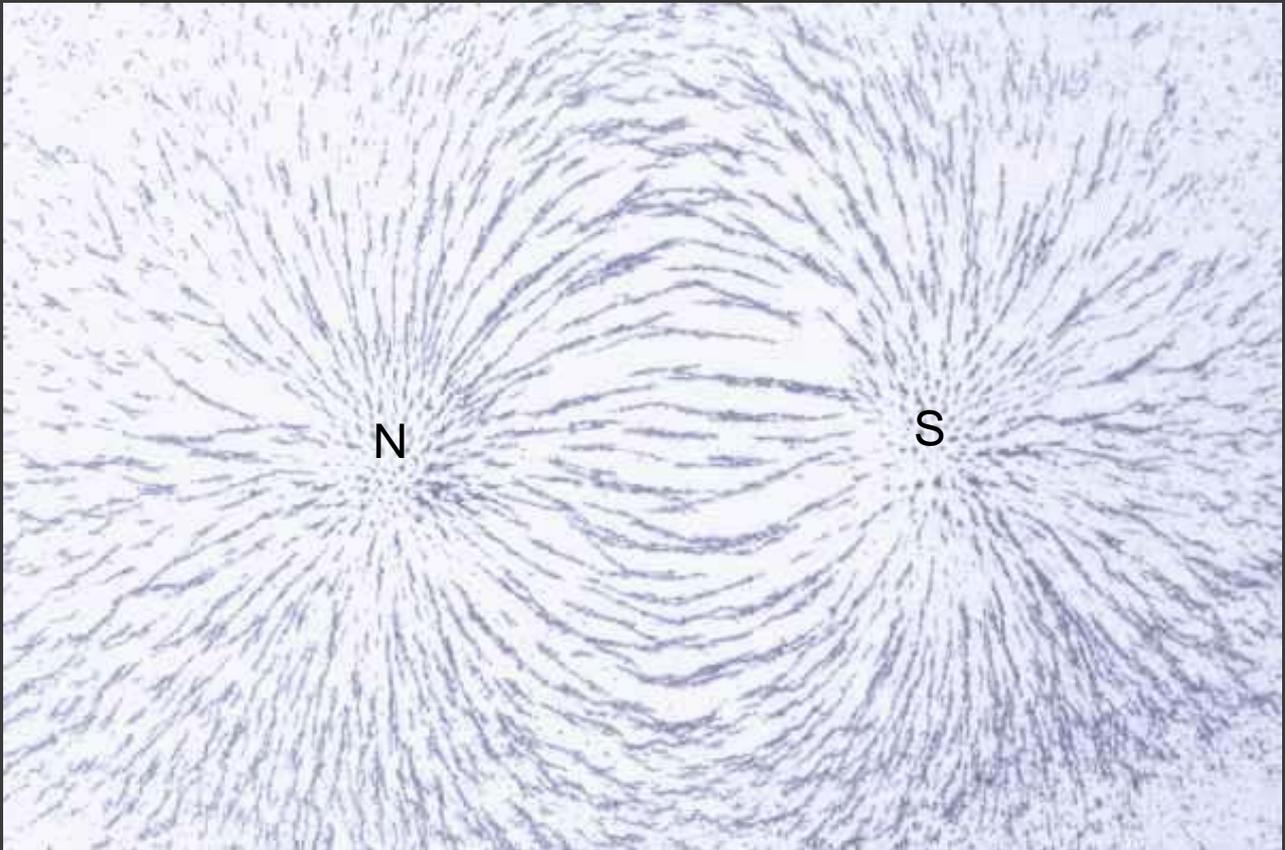
Inhaltsverzeichnis

- 1. Magnetfelder
 - 1.1 Magnetfelder allgemein
 - 1.2 Dipol und Multipol
- 2. Magnetfeld der Sonne
 - 2.1 Struktur der Sonne und die konvektive Zone
 - 2.2 Sonnenkorona
 - 2.3 Magnetfeld der Sonne allgemein
 - 2.4 Dynamomechanismus
 - 2.5 Loops
- 3. Magnetische Sterne
 - 3.1 Spektralklassen
 - 3.1.1 B Sterne und Ap Sterne
 - 3.2 Neutronensterne
 - 3.2.1 Magnetare
- 4. Quellen
 - 4.1 Textquellen
 - 4.2 Bildquellen

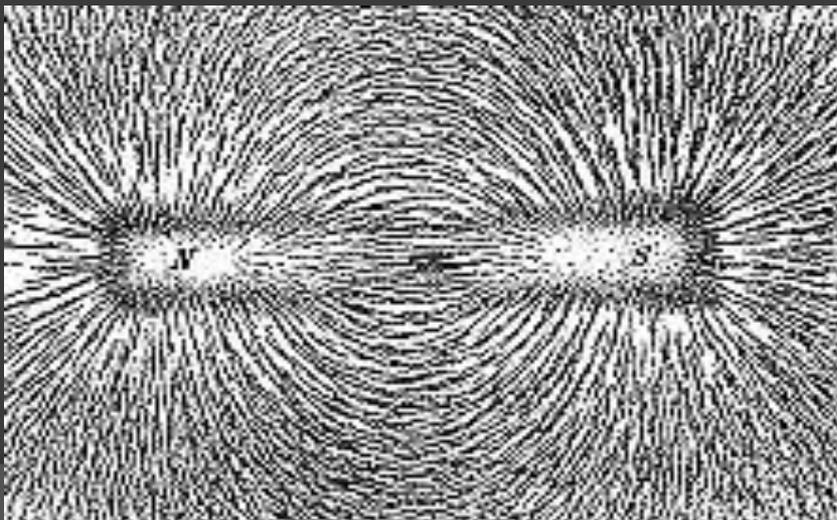
Magnetfelder Allgemein

Das Magnetfeld stellt einen Bereich bzw. ein Gebiet um einen magnetischen Verursacher dar. Zu den Verursachern zählen magnetische Materialien, Elektromagnete und zeitliche Änderungen eines elektrischen Feldes.

Ein Magnetfeld zeichnet sich an den sogenannten Feldlinien ab, diese beschreiben die Richtung und die Stärke des Feldes. Die Stärke eines Magnetfeldes wird in der magnetischen Feldstärke (H ; Einheit A/m) oder der magnetischen Flussdichte (B ; Einheit Gauß) angegeben.



Die linienartigen Ansammlungen von Metallspänen stellen die Feldlinien des unter dem Blatt befindlichen Magnetens und seines Magnetfeldes dar.



Dipol und Multipol

Ein Dipol beschreibt eine physikalische Anordnung zweier Pole, die einen Zweifachpol bilden.

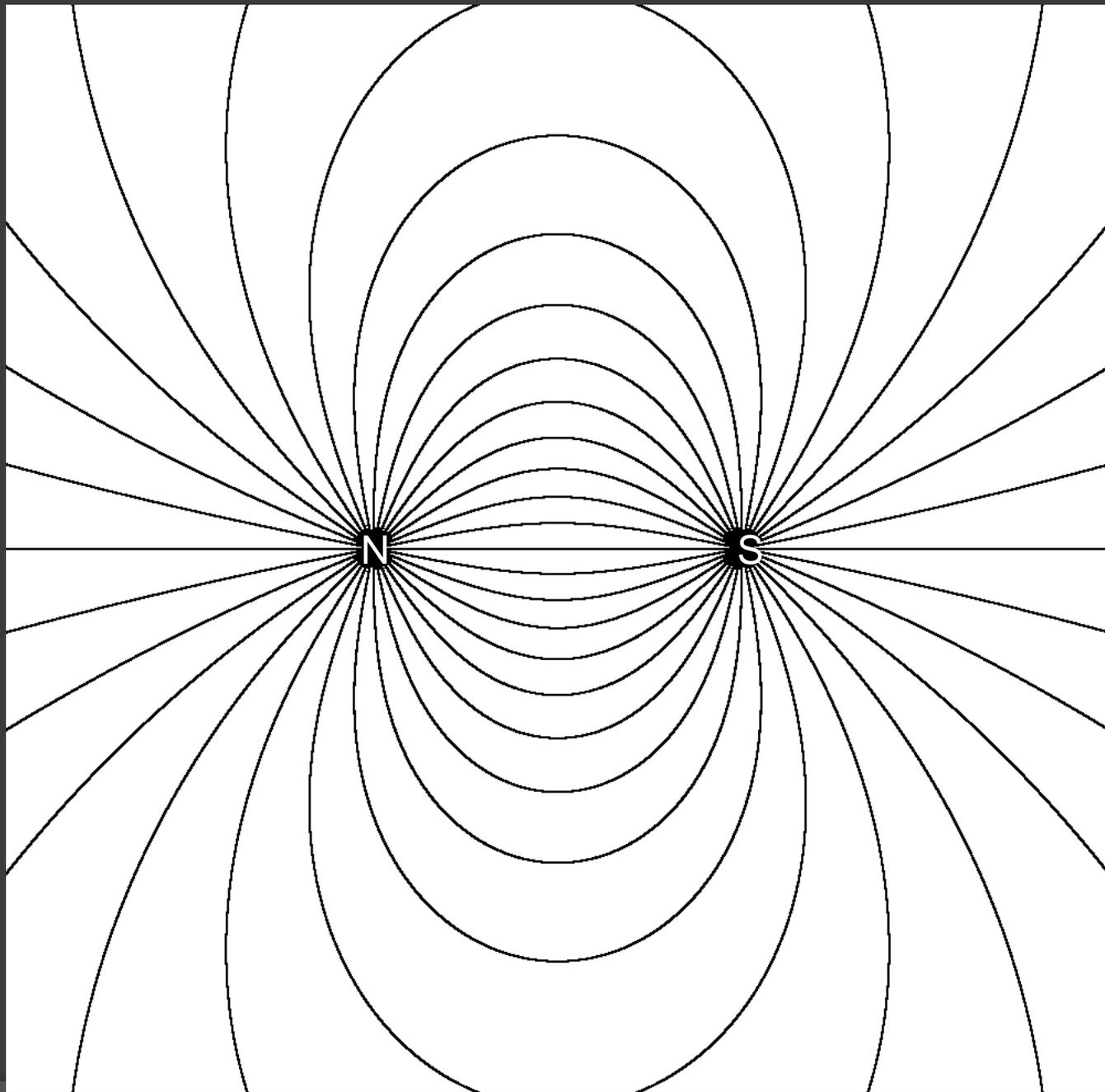
Aufgrund des Fehlens eines Monopols bei Magneten, geht man bei ihnen immer von einem Dipol aus. Gut zu erkennen ist dies am Beispiel eines normalen Stabmagnetens: Wenn man ihn in der Mitte durchschneidet, hat man keinesfalls zwei Monopole, sondern zwei Dipole. Dies kann man beliebig oft wiederholen, man kommt immer zum gleichen Ergebnis.

Quadrupol:

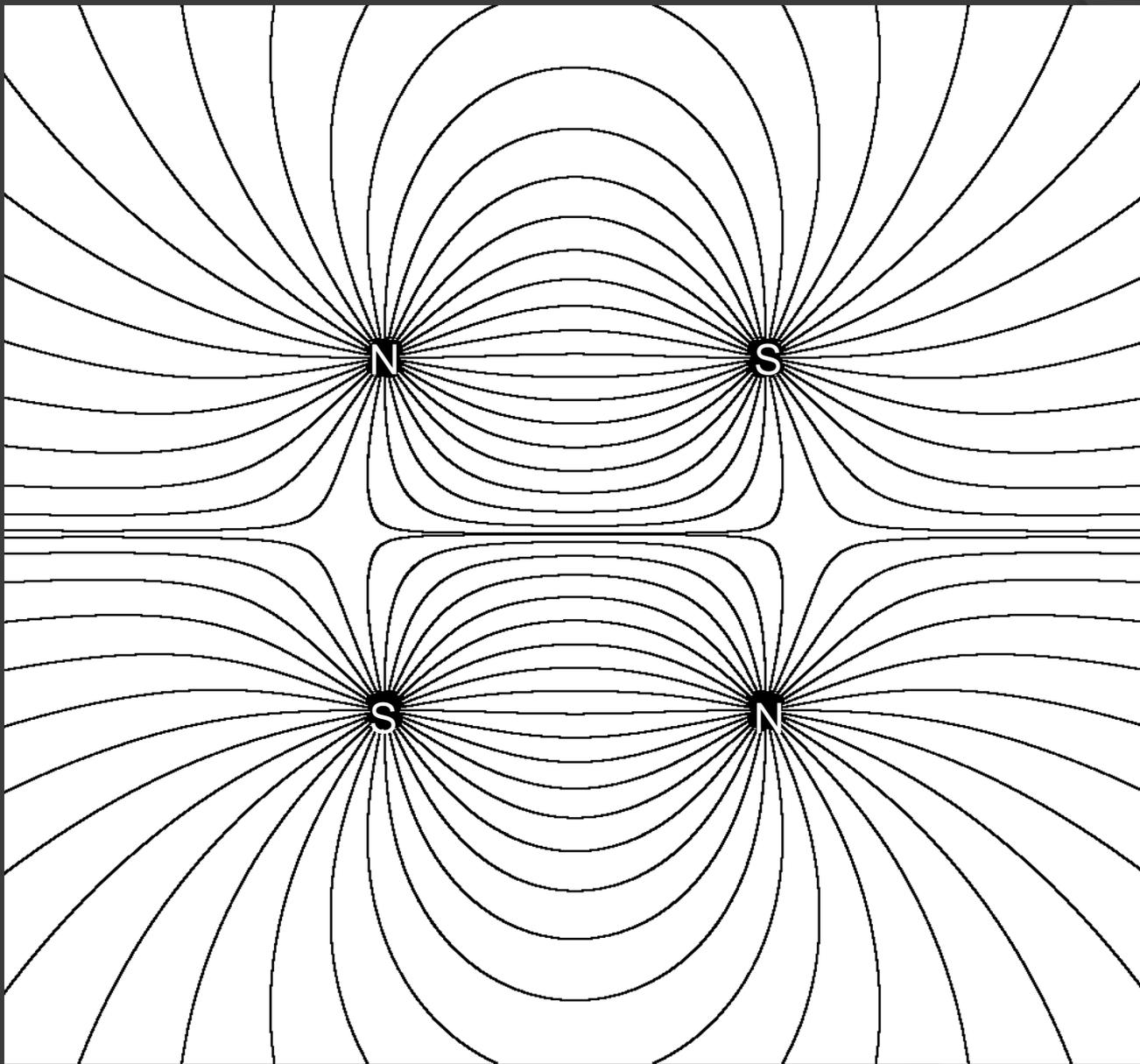
Bei einem magnetischen Quadrupol liegen zwei entgegengesetzt gerichtete Dipole vor, die aber im Bezug zueinander stehen.

Multipol:

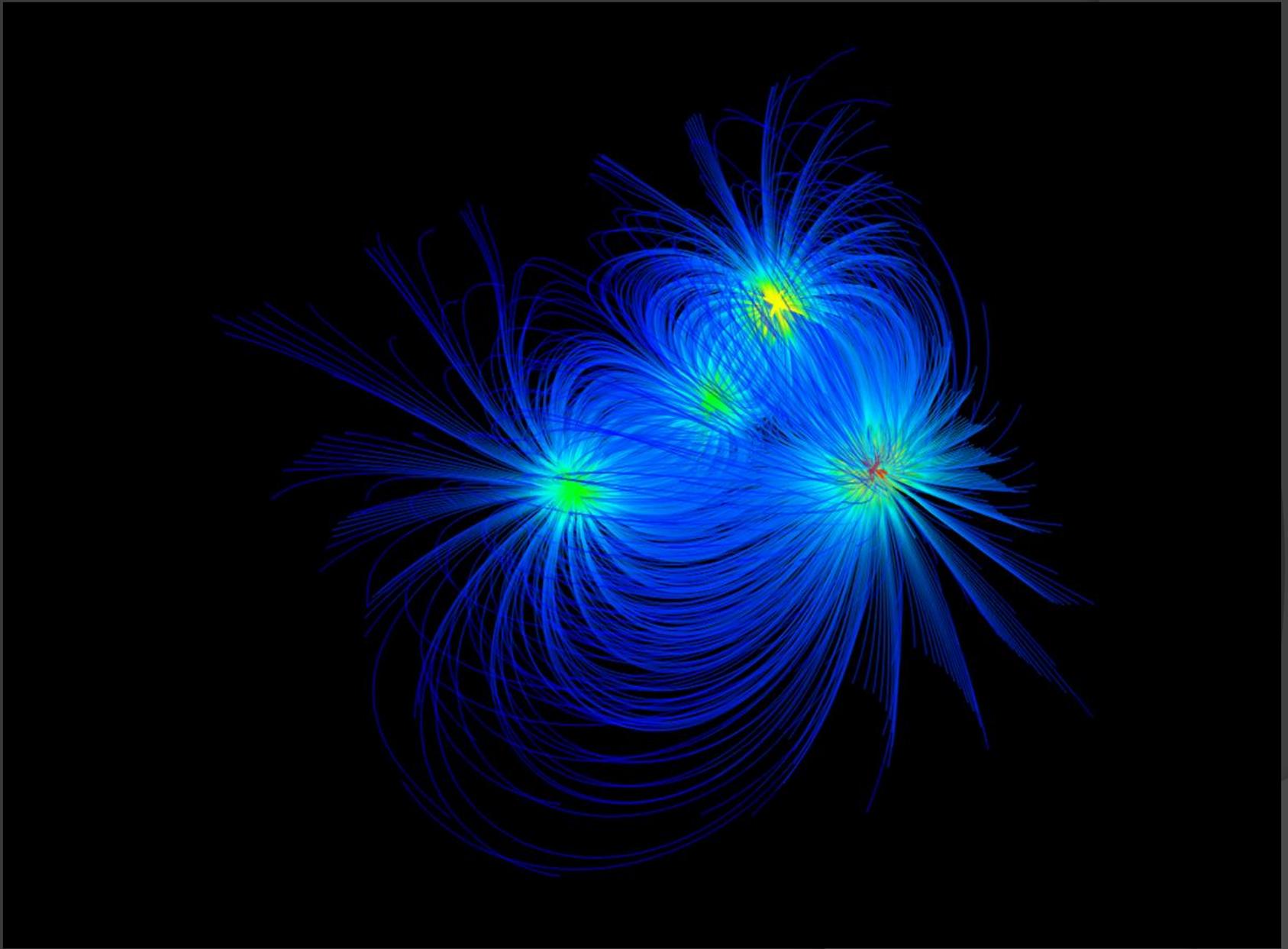
Ein Multipol besteht aus vielen verschiedenen Polen.



Magnetischer
Dipol



Beispiel für einen Quadrupol

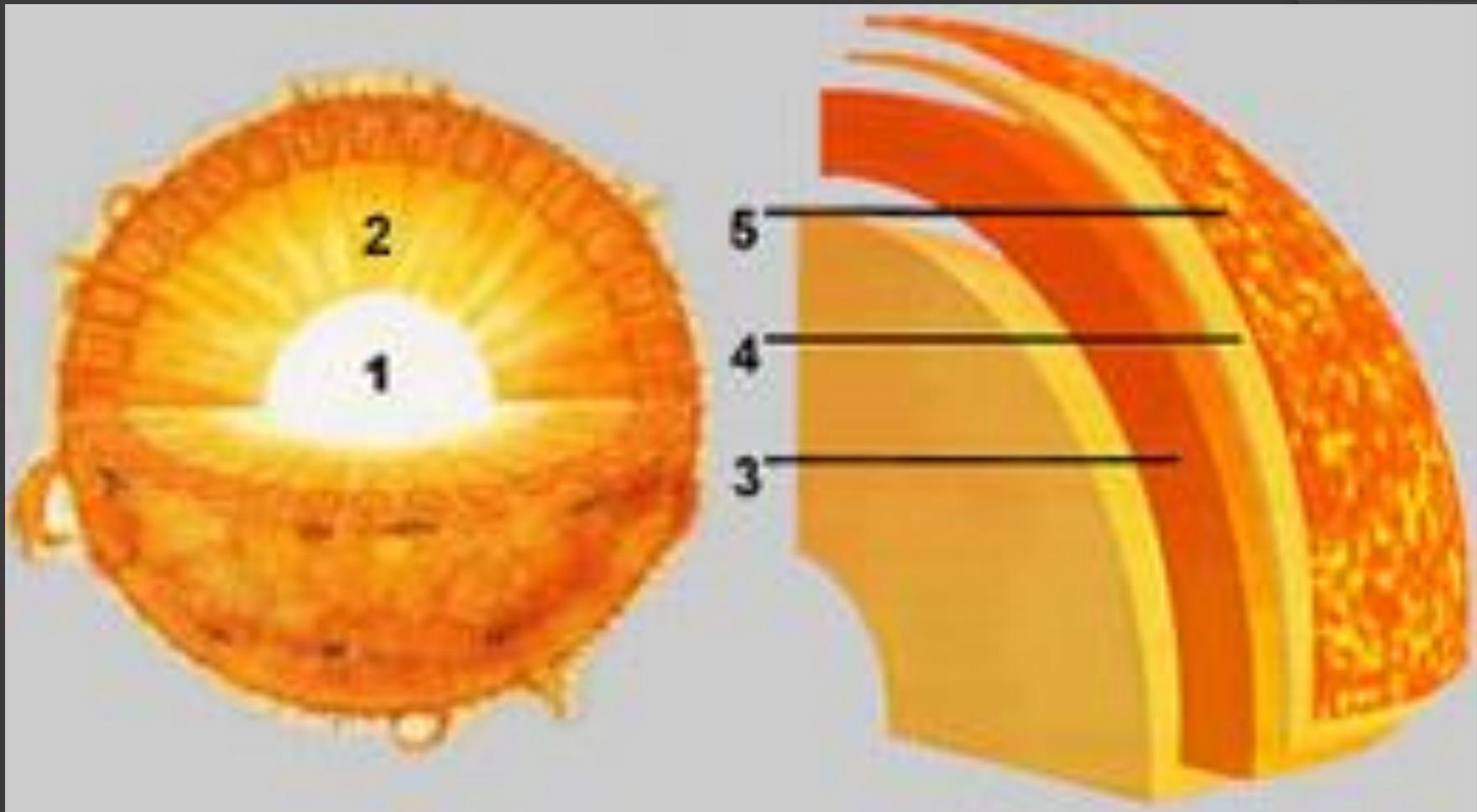


Beispiel für einen Multipol

Struktur der Sonne und die konvektive Zone

Die Sonne besteht aus sechs verschiedenen Teilen. Der erste Teil ist der Kern, der zweite die Strahlungszone, dann kommt die konvektive Zone, die Photosphäre, Chromosphäre und die Korona.

Im Kern findet die Fusion von Wasserstoff zu Helium statt, die Strahlung die dabei freigesetzt wird, wird über die Strahlungszone in die konvektive Zone weitergeleitet wo sie Gas erhitzt, welches dann nach oben steigt und wieder nach dem abkühlen absinkt. Aus der Photosphäre stammt das kontinuierlich sichtbare Lichtspektrum. Die Chromosphäre bildet den Übergang zur Korona. Die Temperatur sinkt auf ca. 4500K ab, schliesst aber bis zum Beginn der Korona an $\sim 30.000\text{K}$ an. Die Korona (1 bis 2 Millionen Grad) bildet einen, obwohl sie der äußerste Teil der Sonne ist, extrem heißen Teil der Sonne.



- 1.Kern
- 2.Strahlungszone
- 3.Konvektionszone
- 4.Photosphäre
- 5.Chromosphäre

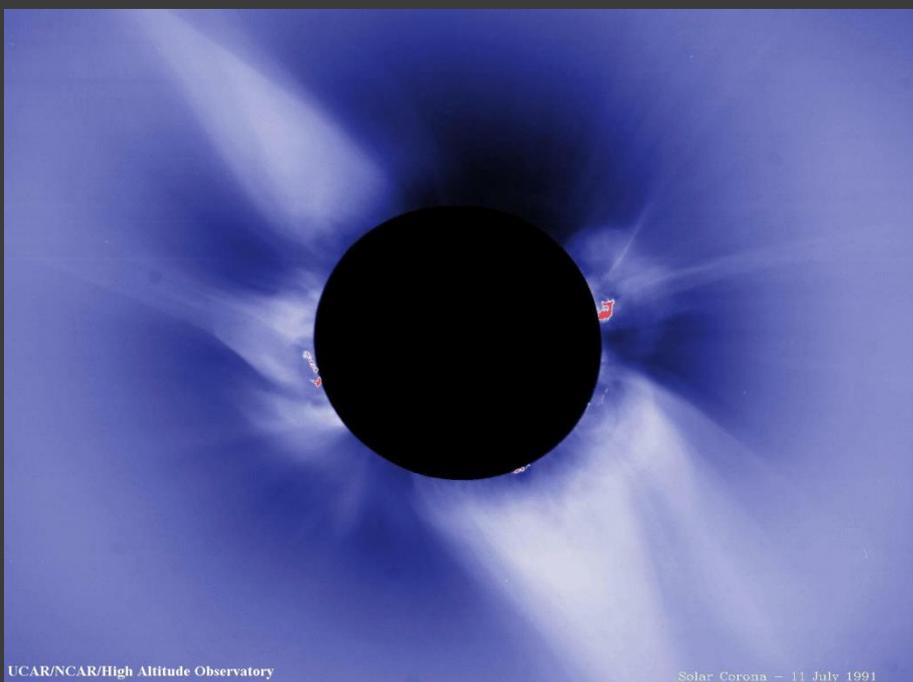
Sonnenkorona

Die Korona im Allgemeinen stellt die Atmosphäre der Sonne dar. Man unterscheidet die Sonnenkorona (engl. Solar Corona) in drei verschiedene Teile. Die „White-Light Corona“, die „Emission Line Corona“ und die „X-Ray Corona“.

Die White-Light Corona ist bei einer Sonnenfinsternis gut zu erkennen. In ihr spielen sich Ereignisse wie „Streamer“, „Plums“ und „Loops“ ab.

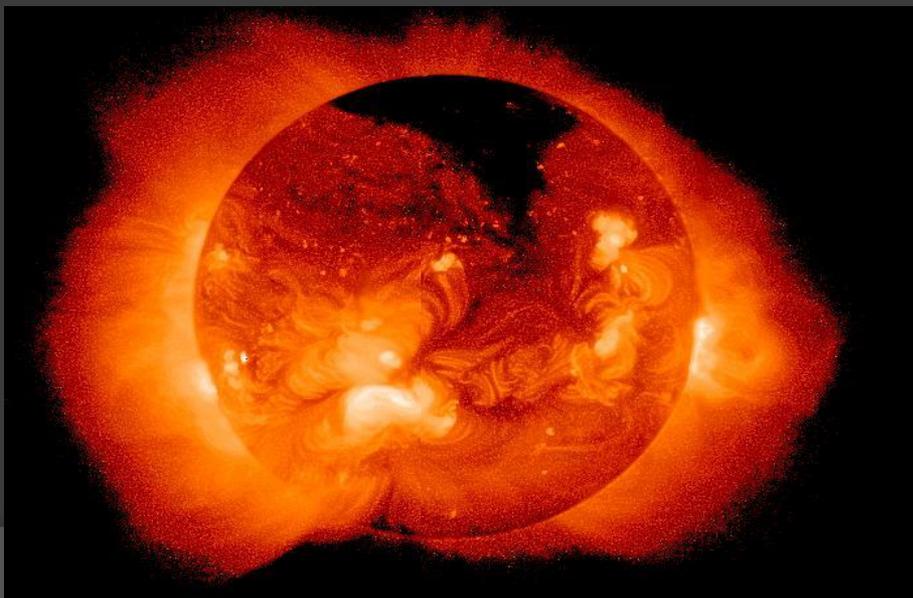
Die in der Emission Line Corona befindlichen Elemente werden von ihren Elektronen abgespalten, d. h. ionisiert. Wenn die Elektronen wieder von ihren Elementen eingefangen werden, wird Energie in Form von Licht frei.

Die X-Ray Corona erlaubt einen Blick auf die Korona, der keine Sonnenfinsternis benötigt. Dies liegt daran, dass die Photosphäre der Sonne kaum Röntgenstrahlen abgibt, die Korona hingegen sehr viel. Man benötigt jedoch einen Satelliten um diese Röntgenstrahlung aufnehmen zu können, da unsere Atmosphäre diese absorbiert (s.Folie 13).

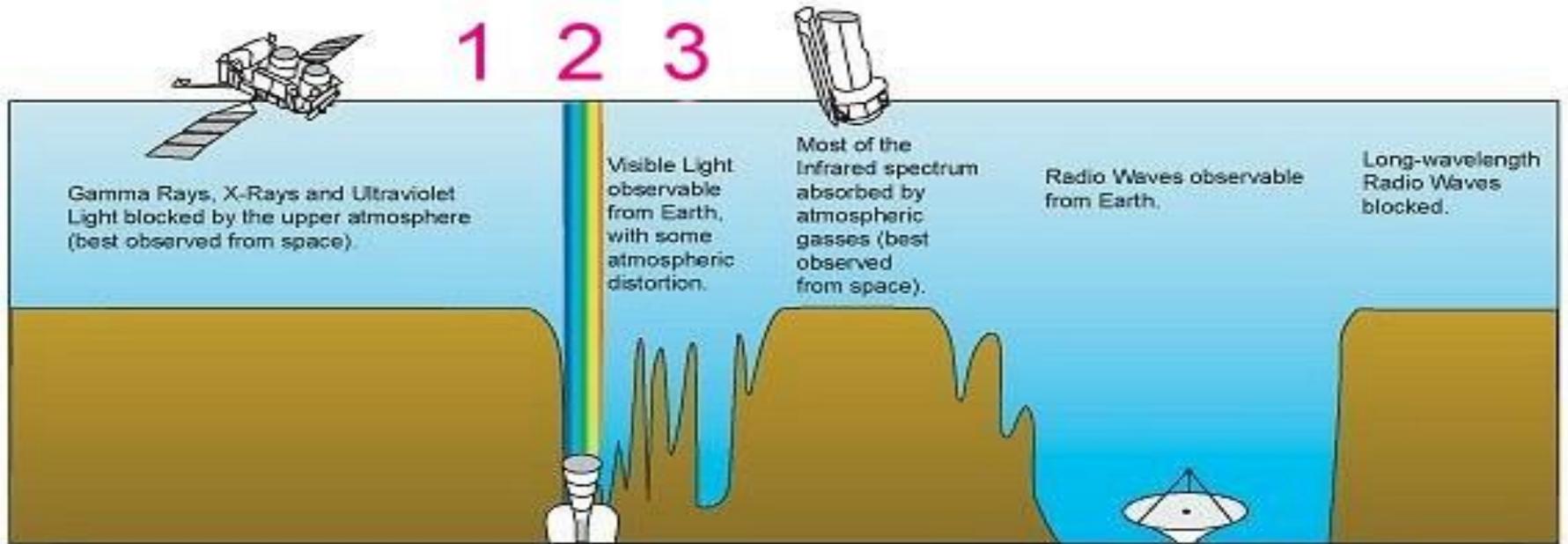
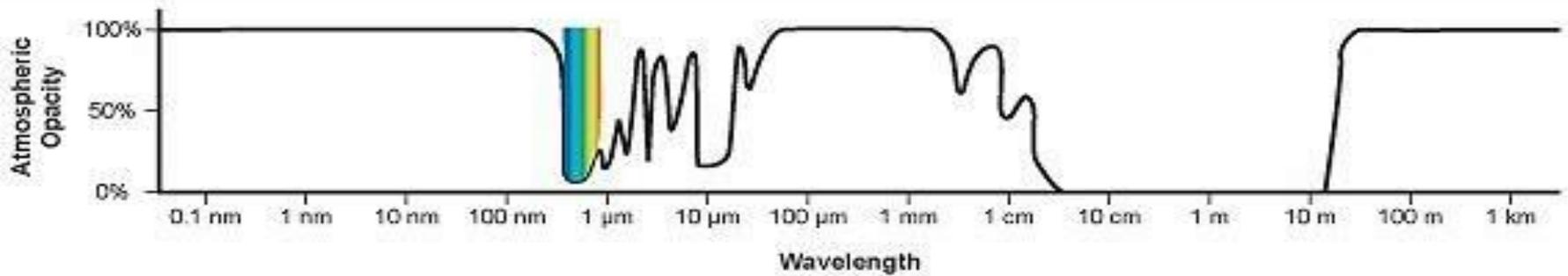


← White-Light Corona

Emission Line Corona →



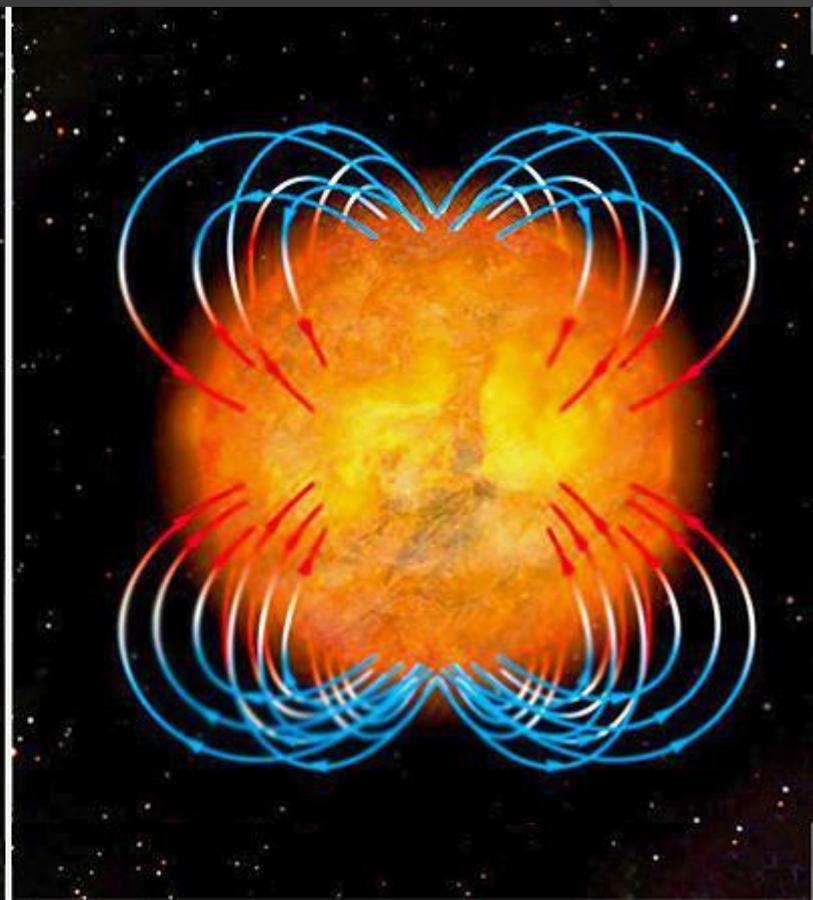
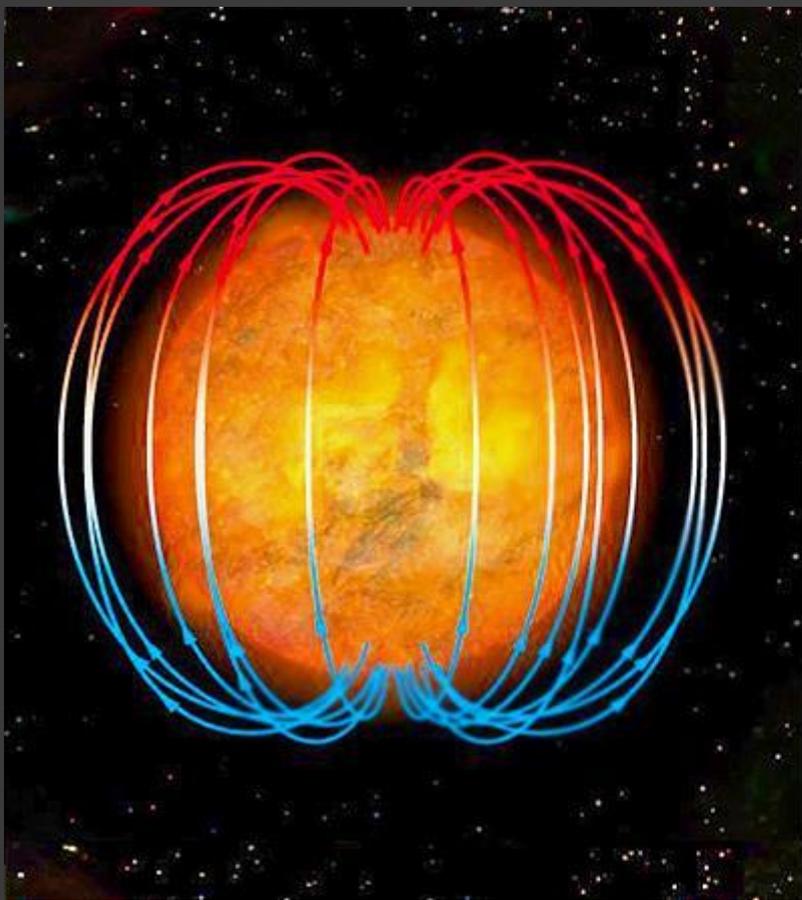
← X-Ray Corona



Man erkennt wie die verschiedenen Wellenlängen durchgelassen oder absorbiert werden. Man sieht, dass Röntgenstrahlen komplett absorbiert werden und ein Satellit benötigt ist um sie aufzunehmen.

Magnetfeld der Sonne allgemein

Das Magnetfeld der Sonne beschreibt im Ausgangszustand einen Dipol, welcher sich vom Nordpol zum Südpol erstreckt. Durch Einwirken des Dynamomechanismus verändert sich dieses Dipolfeld zu einem Multipolfeld.



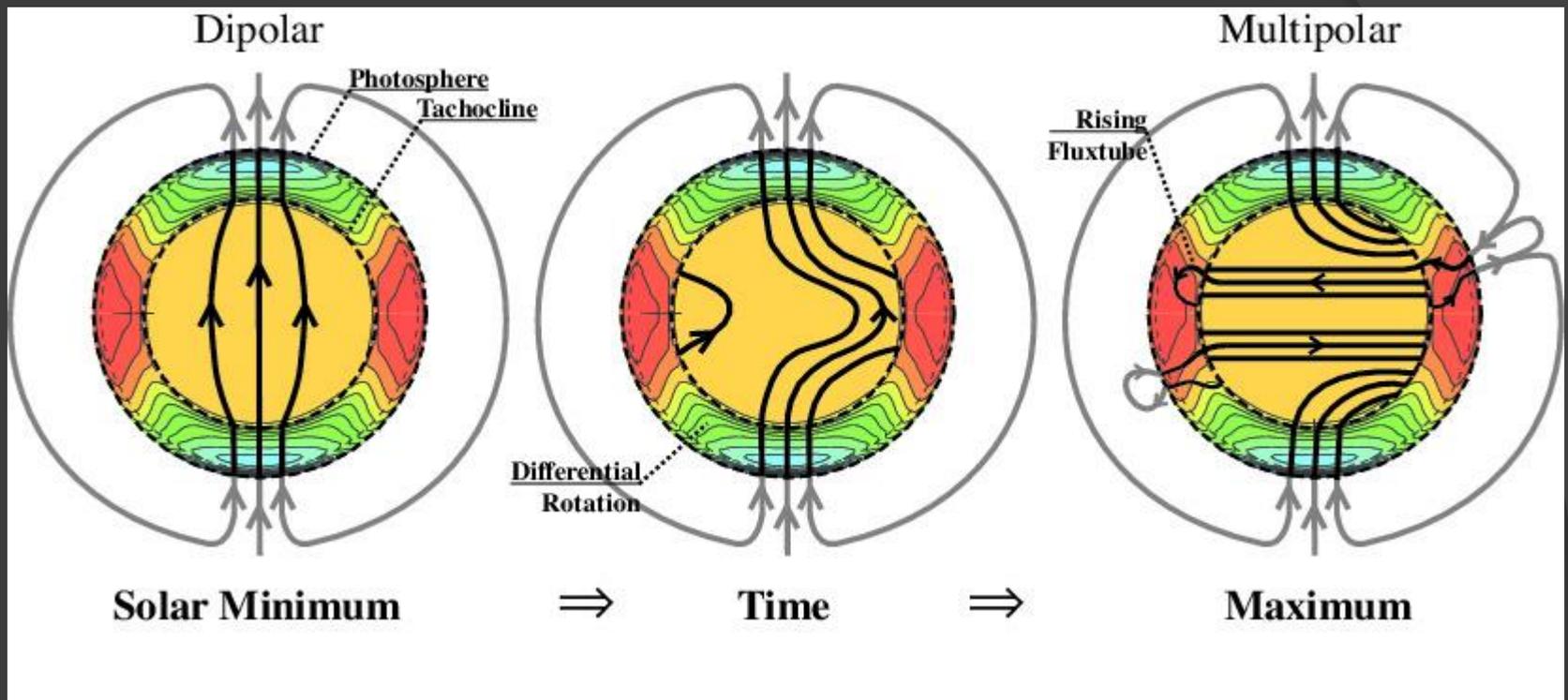
Links: Dipolfeld der Sonne
Rechts: Quadrupolfeld

Dynamomechanismus der Sonne

Der Dynamomechanismus beschreibt eine Umpolung des Magnetfeldes der Sonne durch unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeiten des Äquators und der Pole der Sonne. Davon sind ebenfalls die Zonen zwischen diesen Teilen der Sonne betroffen. Die Rotationsgeschwindigkeit nimmt vom Äquator bis zu den Polen also stetig ab.

Es beginnt mit einem normalen, fast vertikalen Poloidalfeld, welches sich durch die erhöhte Rotationsgeschwindigkeit des Äquators im mittleren Bereich der Sonne zu verziehen beginnt. Die Horizontalkomponente wird immer weiter in die Horizontale getrieben und verdichtet sich immer stärker, bis sie einen Punkt erreicht wo die Magnetkraft so stark ist, dass es nicht mehr weiter komprimiert werden kann und Bündel von Magnetfeldlinien ("Loops" s. Folie 18) aus dem Inneren der Sonne austreten.

Die Loops expandieren bis sich dadurch wieder das vorherige Dipolfeld gebildet hat. Nur haben Nord- und Südpol ihre Plätze getauscht. Dies passiert erneut und nach insgesamt 22 Jahren ist die Sonne wieder in ihrem Ausgangsstadium.



Dynamomechanismus der Sonne:

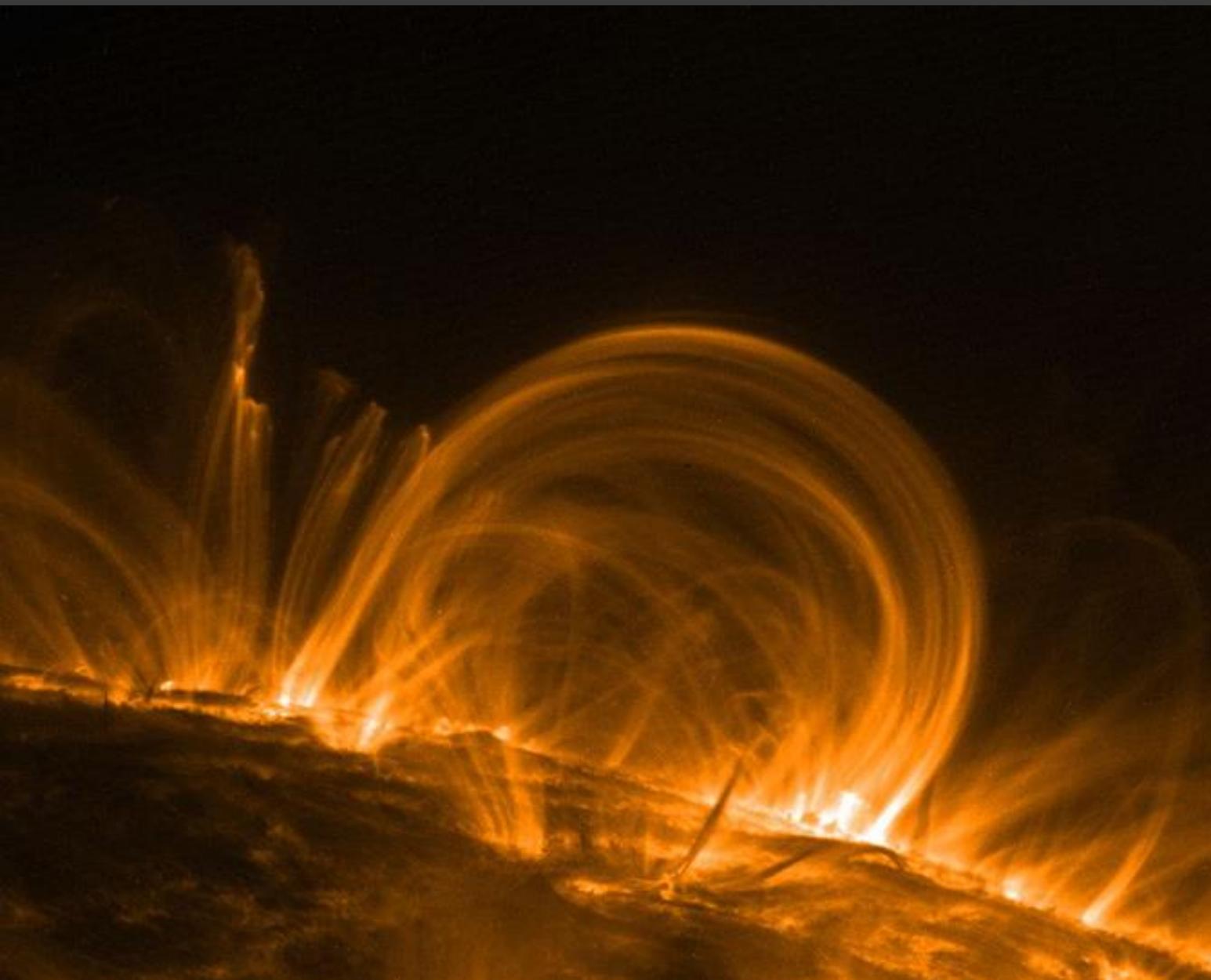
Links: normales Dipolfeld, Ausgangsstadium.

Mitte: ostwärts gerichtete Verzerrung des Magnetfeldes durch die verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten.

Rechts: Verdichtung der Feldlinien durch immer weitere Rotation der Sonne und Ausbrüche von Loops.

Loops

Die Loops entstehen durch den Dynamoeffekt (s. Folie 16). Die Loops treten an vielen verschiedenen Stellen auf, dadurch bildet sich der Multipol auf der Sonne. Die Loops haben eine Flussdichte von ca. 1000G. An den Austrittsstellen bilden sich die sogenannten Sonnenflecken, diese sind im Gegensatz zum Rest der Sonnenoberfläche nur 4.200K heiß, wodurch sie im Kontrast zum Rest der Oberfläche als dunkel erscheinen. Der Loop expandiert dann immer weiter und bildet mit anderen Loops wieder das Dipolfeld der Sonne.



Der
Bogen
in der
Mitte
des
Bildes
ist ein
Loop

Die Spektralklassen

Die Ordnung von Sternen in verschiedenen Spektralklassen beruht auf dem unterschiedlichen Aussehen ihrer Lichtspektren. Die Spektralklassen teilen sich in sieben Grundklassen O, B, A, F, G, K und M, in drei Klassen für braune Zwerge L, T und Y und in drei Klassen für durch Nukleosynthese entstandene chemisch besondere rote Riesen R, N und S.

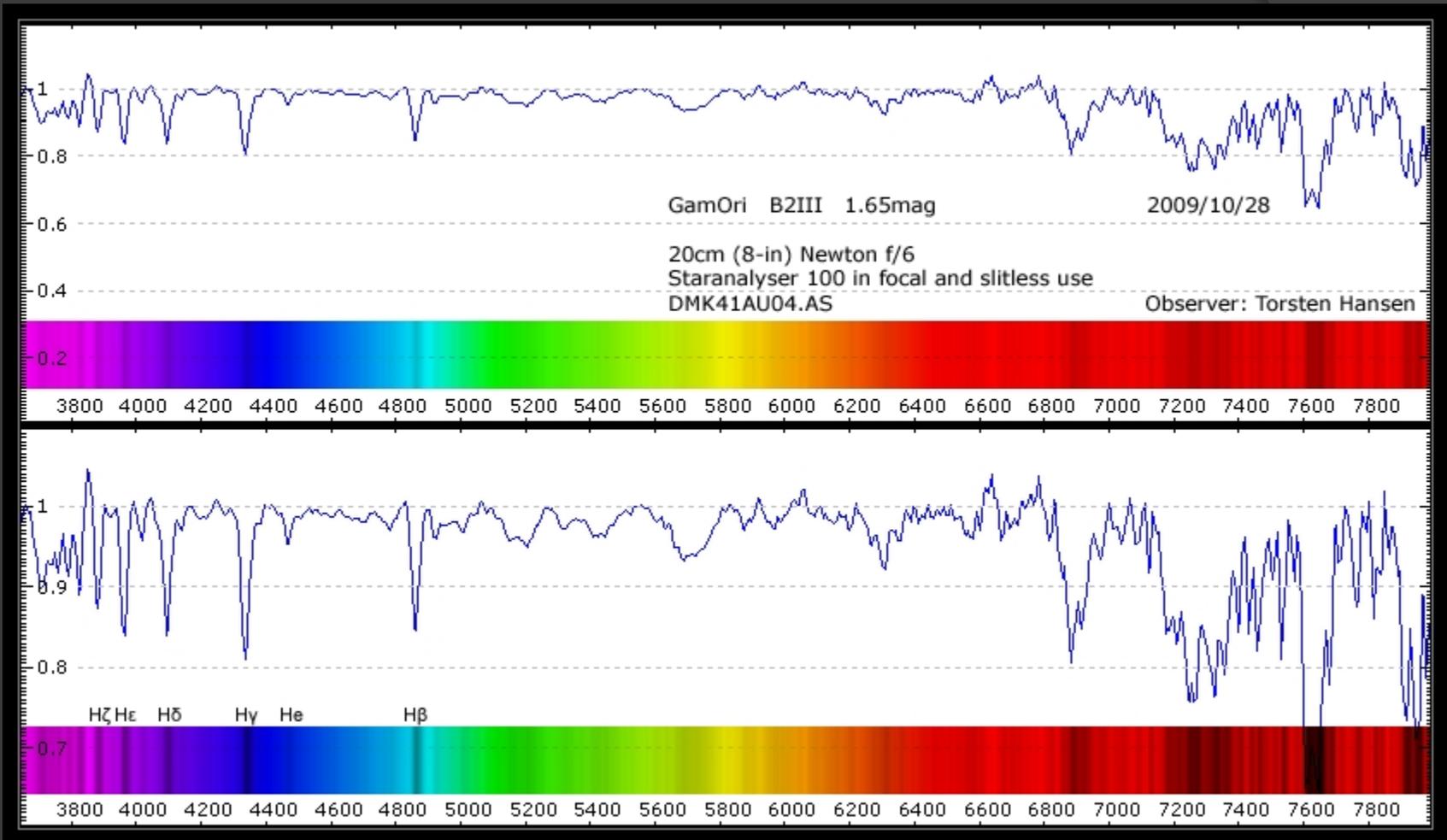
Klasse	Charakteristika	Farbe	Temperatur der Oberfläche in K	Beispiele
O	Ionisiertes Helium	Blau	30.000-50.000	Mintaka (δ Ori)
B	Neutrales Helium	Blau-weiß	10.000-28.000	Rigel, Spica
A	Wasserstoff, Calcium	Weiß	7.500-9750	Wega, Sirius
F	Calcium, andere Metalle	Weiß-Gelb	6.000-7.350	Polarstern
G	Calcium, Eisen, andere Metalle	Gelb	5.000-5.900	Sonne
K	Starke Metalllinien	Orange	3.500-4.850	Acturus
M	Titanoxid	Rot-orange	2.000-3.350	Beteigeuze

Braune Zwerge

Klasse	Charakteristika	Farbe	Temperatur der Oberflächd in K	Beispiele
L		Rot	1.300-2.000	VW Hyi
T		Rot	600-1.300	Ind Ba
Y		Infrarot	200-600	

Durch Nukleosynthese entstandene, chemisch besondere rote Riesen

Klasse	Charakteristika	Farbe	Temperatur der Oberfläche in K	Beispiele
R	Cyan, Kohlenmonoxid	Rot-orange	3.500-5.400	S Cam
N	Mehr Kohlenstoff als Klasse R	Rot orange	2.000-3.500	T Cam
S	Zirkonoxid	Rot	1.900-3.500	R Lep



Eine Diagramm zu 2 Lichtspektren

B Sterne und Ap Sterne

Die Kategorie B Sterne haben, wie die O Sterne, keine konvektive Zone und nur ein schwaches Dipol-Magnetfeld im Bereich von 10G. Jedoch gibt es Fälle, bei denen diese Sterne ein sehr starkes Dipol-Magnetfeld von bis zu 20kG haben. Die Ap und Bp Sterne weisen besonders stark ausgeprägte Scharflinienförmige Spektren des Chrom, Mangan und Siliziums auf. Diese Ap Sterne verfügen ebenfalls über ein Magnetfeld im Bereich von einigen kG, ebenfalls als Dipol.

Neutronenstern

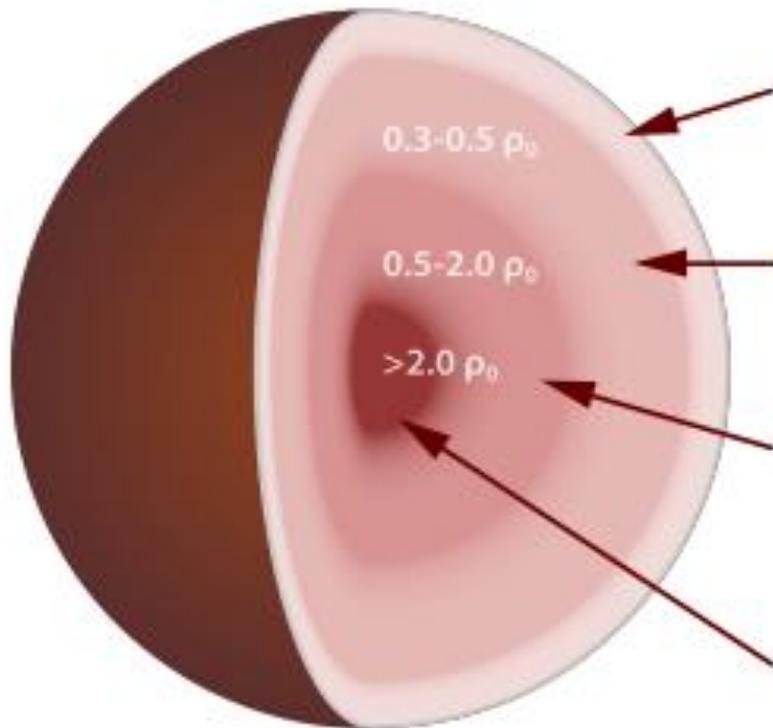
Ein Neutronenstern ist ein Himmelskörper, welcher zum größten Teil aus Neutronen besteht. Er geht aus einem gestorbenen Stern hervor und ist somit ein toter Stern. Nur Sterne mit einer Masse von mehr als 1,44 Sonnenmassen können ein Neutronenstern werden.

Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten, was passiert wenn ein Stern „stirbt“. Wenn z.B. ein roter Riese stirbt, stößt er seine äußere Hülle ab, und nur sein Kern bleibt über, dieser bildet dann einen weißen Zwerg. Eine Gravitation bedingte Verdichtung wird von der sogenannten „electron-degenerate pressure“ verhindert.

Sollte jedoch die Masse des Sternes größer als 1,44 Sonnenmassen und kleiner als 3 sein, dann kollabiert der Stern aufgrund seiner Gravitation und die Atome werden so stark aneinander gepresst, dass die Elektronen in den Kern eindringen und sich Protonen und Elektronen zu Neutronen verbinden.

Ein weiteres Kollabieren wird dann durch die sogenannte „Neutron-degenerate pressure“ aufgehalten. Sollte jedoch ein Stern drei Sonnenmassen oder mehr haben, wird auch diese Kraft überwunden und ein unendlicher Kollaps setzt ein, immer und immer wieder. Dadurch entsteht ein schwarzes Loch, denn es besteht keine Kraft mehr, die stark genug ist die Gravitation aufzuhalten.

Neutronensterne zeichnen sich durch ihr extrem starkes Magnetfeld und ihre extrem hohe Rotationsgeschwindigkeit aus. Der bisher schnellste, gemessene Neutronenstern rotiert mit 1122 Umdrehungen pro Sekunde, die schnelle Rotation lässt sich auf den Pirouetteneffekt (Drehimpulserhaltung, s. Folie 27) zurückführen. Ihr extrem starkes Magnetfeld resultiert aus dem Gesetz der Elektrodynamik (s. Folie 28), daraus entstehen durchschnittlich Magnetfelder der Stärke von ca. 10 Milliarden Gauß (die Sonne hat $B \sim 10$ Gauß).



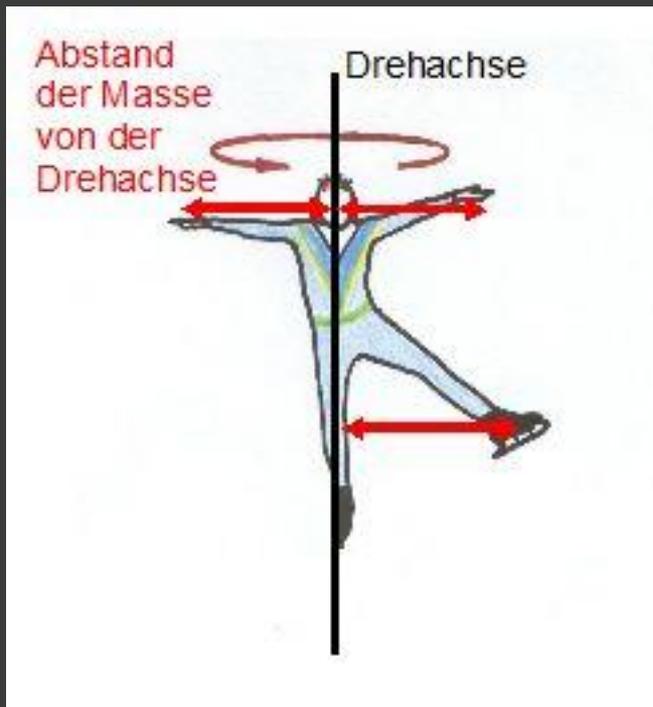
äußere Kruste 0.3-0.5 km
Ionen, Elektronen

innere Kruste 1-2 km
Elektronen, Neutronen, Kerne

äußerer Kern ~ 9 km
**Neutron-Proton Fermiflüssigkeit
wenige % Elektron Fermigas**

innerer Kern 0-3 km
Quark Gluon Plasma?

Aufbau eines Neutronensterns
(über den genauen Aufbau wird
noch Spekuliert)

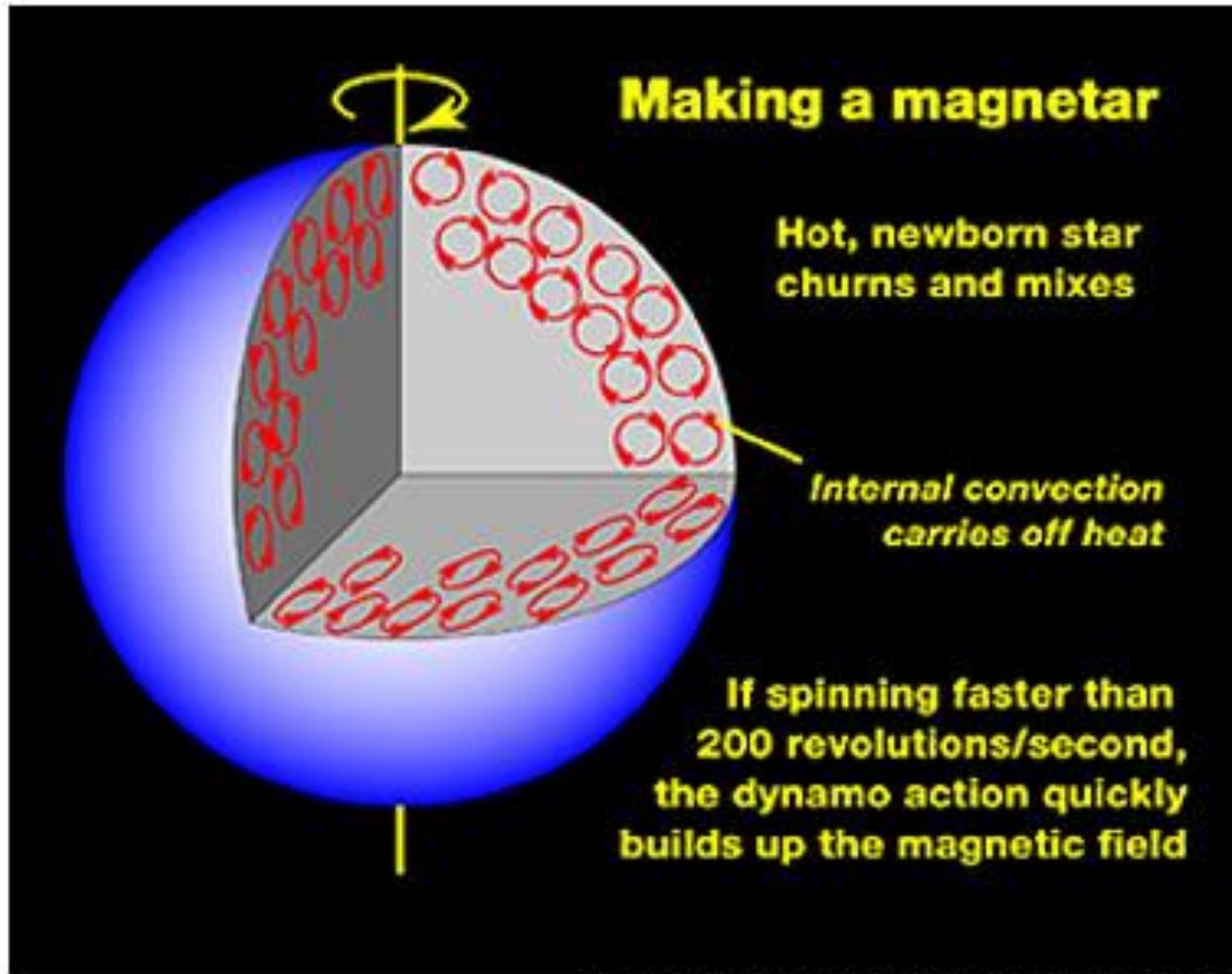


Der Pirouetteneffekt beschreibt die Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit eines Objektes, durch seine Verkleinerung bzw. durch die Verringerung des Abstandes seiner Masse zu seiner Drehachse. Der Mann im Bild dreht sich zuerst langsam mit ausgebreiteten Armen, zieht jedoch dann seine Arme ein, verkleinert seine Größe und zieht seine Masse an die Drehachse heran und dreht sich somit schneller.

Das Gesetz der Elektrodynamik beschreibt, dass das Produkt aus Sternenquerschnitt und Magnetfeld nach dem Kollaps eines Sterns konstant bleibt. Das bedeutet, dass ein Objekt, welches einen Vorläuferstern mit einem starken Magnetfeld und einem großen Sternenquerschnitt hat, später im verkleinerten Zustand ein enormes Magnetfeld hat.

Magnetare

Ein Magnetar ist ein Neutronenstern mit einem immensen Magnetfeld, man geht von Werten im Bereich des 1.000-fachen des Magnetfeldes eines normalen Neutronensterns aus. Ein Magnetar entsteht unter der Voraussetzung, dass eine Rotationsperiode von unter 10ms (das sind 100 Umdrehungen in der Sekunde) vorliegt, da dann die Konvektionszone ebenfalls mit 10ms rotiert, und dass der Vorläuferstern ein starkes Magnetfeld besaß. Die Notwendigkeit eines starken Magnetfeldes des Vorläufersterns lässt sich wieder auf das Gesetz der Elektrodynamik zurückführen (s.Folie 28). Rotiert der gesamte Stern schneller, so setzt ein Dynamo-Effekt ein, welcher die enorme kinetische Energie in Magnetfeldenergie verwandelt. Magnetare haben typischer Weise einen Durchmesser von ca. 20km.



Dave Dooling, NASA Marshall Space Flight Center

Ein Modell eines Magnetars
(über den Aufbau wird ebenfalls noch
spekuliert)

Textquellen

http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_magnetic_field

<http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetismus>

<http://sonnen-sturm.info/umpolung-der-sonne-abgeschlossen/>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Dipol>

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412899/christian_bruns

[http://de.wikipedia.org/wiki/Korona_\(Sonne\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Korona_(Sonne))

<http://www.astronews.com/news/artikel/2000/09/0009-021.shtml>

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/193025/michael_henrichs.pdf

http://de.wikipedia.org/wiki/Sternatmosph%C3%A4re#Atmosph.C3.A4ren_bei_anderen_Sternen

<http://www.astronomie.de/das-sonnensystem/die-sonne/basiswissen/photosphaere/>

<http://www.astronomie.de/das-sonnensystem/die-sonne/basiswissen/chromosphaere/>

<http://solarscience.msfc.nasa.gov/corona.shtml>

http://www.dokuplanet.de/system/sonne_02.html

<http://www3.mpifr-bonn.mpg.de/staff/mmassi/corone1.pdf>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Spektralklasse>

<https://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.35-mar84/messenger-no35-29-32.pdf>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ap-Stern>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetar>

Bildquellen

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d6/Magnetar-3b-450x580.gif/220px-Magnetar-3b-450x580.gif>

http://www.mec-castrop-rauxel.de/bilder/gru12_03.jpg

<http://physik.li/beispiele/eFeldlinien/DipolM1P1.gif>

<http://physik.li/beispiele/eFeldlinien/QPolP1P1M1M1.gif>

http://mindseye.no/wp-content/uploads/2010/09/feldlinjer-multipol-3d-highres_cropped.png

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/Magnet0873.jpg/222px-Magnet0873.jpg>

http://previews.figshare.com/229655/preview_229655.jpg

<http://p5.focus.de/img/fotos/origs274619/825367701-w961-h541-o-q75-p5/quadrupole.jpg>

<http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Ecl1991a.jpg>

http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/green_line_corona.jpg

http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Yohkoh_920508.jpg

http://physik.ph-gmuend.de/denkwerkstatt-physik/files/mechanik/gestoerte_nachtruhe/images/eiskunst1achse.jpg

http://physik.ph-gmuend.de/denkwerkstatt-physik/files/mechanik/gestoerte_nachtruhe/images/Eiskunst2achseoT.jpg

http://www.dokuplanet.de/system/Images_system/sonne_02.1.jpg

http://www.aau.telebus.de/Ver_7/user/Torsten_Hansen/Spektren5/Gamori20091028w.jpg

http://www.aip.de/gallery/solar_system/Sun/coronaloop_trace_big.jpg

http://4.bp.blogspot.com/_ecYJ8b9I3us/TGMHHS9FiNI/AAAAAAAAAFXw/K11yxd7vsms/s1600/CME_EIT_C2_2002_prev.jpg

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/497603/ribes1-2.jpeg>

<http://solomon.as.utexas.edu/~duncan/formation.jpg>