Rollercoaster Sonne

Die Korona







NASA, easa/SOHO

http:// sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/ Movies/Bigone/Bigone.mpg

<u>Gliederung</u>

- 1. Sonnenaufbau
- 2. Photosphäre
- 5. Magnetfeld der Sonne
- 6. Die Korona



1. SONNENAUFBAU



2. PHOTOSPHÄRE



Technische Universität München

٦Π

2.1. Allgemeines

- Ursprung des sichtbaren Lichts
- wenige hundert Kilometer dick
- begrenzt die Konvektionszone
- Temperatur ca. 5800K

2.2. Granulen

- bilden die Oberflächenstruktur
- Zeitlich stark veränderlich
- Hierarchische Struktur
- Folge der konvektiven Bewegung

M. Castelli, O. v.d. Lühe, KIS



Pfeile kenzeichnen "Bright Points" mit hohem Magnetfeld

2.3. Konvektionsströme

• Ursache: Schwarzschildinstabilität

$$\frac{\partial \rho_{paket}}{\partial r} < \frac{\partial \rho_{umgebung}}{\partial r}$$

- Abnehmende Opazität -> Rekombination der Protonen und Elektronen führt zuTemperaturerhöhung ->geringere Dichte -> Auftrieb Absinken aufgrund umgekehrten Vorgangs
- schnellere Abwärts- als Aufwärtsbewegung
 - ->Druckgradient vom Zentrum zum Rand
 - ->Abbremsung des aufstrebenden Materials und horizontale Ablenkung
- Mit abnehmender Opazität sinkt der Strahlungsdruck, wodurch weitere Abbremsung erfolgt



Schwarzschildinstabilität [2]

Granulations-Hierarchie und konvektives Verhalten

3. MAGNETFELD DER SONNE

3.1. Der solare Dynamo

- Ort: Konvektionszone
- Energiequelle: Rotation und Fusionswärme
- Grundlagen:





Technische Universität Müncher



3.2. Parkermodell des turbulenten Dynamos

- Eingefrorenes Magnetfeld

 >diff. Plasmarot erzeugt
 toroidales Magnetfeld (1)
- Verformung der Feldlinien durch Konvektion (2)
- Ausdehnung beim Aufsteigen in rot. System führt zu Turbulenter Bewegung



- Diffusion in turbulenter Konvektion führt zur Rekonnektion der Feldlinien (3)
- => Es resultieren helikale Magnetfeldlinien und Flusschläuche (4)



Links aufsteigender, rechts absinkender Flusschlauch

3.3. Folgen und Erweiterung des Parkermodells

- Geschlossene Feldlinien und Flusschläuche innerhalb einer Granule
- Radiale Magnetfeldlinien nur zwischen Granulen
- Zur Beschreibung des Schmetterlingseffekts
 Erweiterung um Oszillation nötig





3.4. Sonnenflecken und Loops



[1]

3.4.1. Mechanismus

- Auftrieb durch geringere Dichte innerhalb des magnetischen Flusschlauches
- Rückstellkraft durch Verformung der Feldlinien
- Auftrieb > Rückstellkraft
 - -> Flusschlauch kann Photosphäre durchbrechen und , Loops bilden, deren Fußpunkte Sonnenflecken sind.

3.4.2. Bemerkungen

- Durchmesser: ca. 30000 km
- Lebensdauer: einige Tage bis Monate
- Magnetfeld: ca. 0,3 T
 ->Konvektion und damit
 Wärmetransport unterdrückt
- Umbra (Kern): Temperatur ca. 4000K
- Penumbra (Ring): Temperatur ca. 5200K, wird durch radial verlaufende Flusschläuche geheizt



Friedrich Woeger, KIS; Chris Berst and Mark Komsa, NSO/AURA/NSF



4. DIE KORONA

16

4.1. Allgemeines

- Thermisch stark
 strukturiert
- Magnetisches Plasma
- Temperatur: wenige
 millionen Kelvin
- Ionisationszustand: Saha-Gleichung

$$\frac{N_i}{N_0} = \frac{2}{n_e} \frac{(2\pi m_e kT)^{3/2}}{h^3} \frac{g'_i}{g_0} \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right)$$



http://www.planetarium-laupheim.de/ upload/bilder/ f02d3fe14de73e6908a178583e84dc76_Ko rona_Konrad.jpg

4.2. Koronaheizung

- Es existiert eine Vielzahl verschiedener Modelle
- Kein Modell kann die Struktur der Korona und Effekte in dieser alleine erklären
 - -> unterschiedliche Heizmechanismen dominieren in den verschiedenen Strukturen

4.2.1. Heizung durch Alfvèn-Wellen

- Alfvèn-Welle:
 - Dispersionslos
 - k II B, transversale
 - transversale Schwingung
 - Entstehung aufgrund Magnetfeldänderung



http://www.ss.ncu.**ëdu.t**w/~lyu/ResearchWorks/NewSu bstormOnsetModel/AlfvenWave3D_Fig1_273k.jpg_

- Verkippung der mag. Flusschläuche
 - -> Magnetfeldänderung (Scheroszillation)
 - -> Anregung von vertikalen Scher-Alvèn-Wellen
- Thermalisierung in der Korona
 -> Heizeffekt



4.2.2. Drift-Wellen (universally unstable mode)

- Getrieben durch Gradienten der Plasmaparameter
- Niederfrequente Wellen
- Instabilität hat in den verschiedenen Modellen eine unterschiedliche Ursache (z.B.: Dichte, kin. Bewegung)
- Die Folge ist eine wachsende Amplitude der Drift-Welle
- starke Anisotropie (Heizung fast nur senkrecht zu B)



4.2.3. Koronaheizung durch Plasmanadeln (spicules)

- Diskrete Koronaheizung
- Massenfluss zwei Größenordnungen höher als beim Sonnenwind
- 2 Klassen:

Spicule I:

Spicule II:

•Durchmesser 500km •Geschw. v= 20km/s

Geschw. v=(50-100)km/s •Lebensd. T= 5-10min Lebensd. T~100s

Typ II kann Korona heizen





www.sciencemag.org/cgi/content/full/331/6013/55/DC1 Supporting Online Material for "The Origins of Hot Plasma in the Solar Corona";

Verlauf der Spiculen und Auswirkung auf die Korona

- Beschleunigung Aufheizen eines Großteils des Spikulenmaterials auf Temperaturen von 0,1 MK bis 0,8 MK
- Aufstreben des Materials in Höhen von ca. 10-20 Mm, gefolgt von Abkühlung und zurücksinken auf einer parabolischen Bahn
- Zugleich wird ein geringerer Teil auf Temperaturen von mind. 1-2MK aufgeheizt und erzeugen koronale Spiculen, die schnell aufwärts strömen.
- Heizmechanismus und Ursache der starken Strömung ist derzeit unbekannt.





[8]

4.2.4. Rekonnektion als Beschleunigungsmechanismus

Ausgangspunkt:

 $\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times (\overrightarrow{v} \times \overrightarrow{B}) + \eta \nabla^2 \overrightarrow{B}$

- Ausbildung einer stromtragenden Grenzschicht bei zwei aufeinandertreffenden Magnetfeldern
- Diffusion und Plasmawiderstand führen zu Instabilitäten
 - -> Energieabsenkung durch Rekonnektion





- resistive Plasmadiffusion in die Grenzschicht
- Beschleunigung entlang der Feldlinien
- Problem:

Solare Vorgänge laufen schneller ab als bei diesem Modell möglich



- Zusätzlich Umwandlung der Magnetfeldenergie in thermische Energie durch Schockwellen
- Plasmafluss in Grenzschicht hauptsächlich über stehende Wellen
- Problem:

Keine Simulation verhielt sich derart (in 30 Jahren!)

Das Rekonnektionsmodell der Sonne nach Shibata



- Petschek-Modell
- Äußere Magnetfeldlinie führt zu Verformung des Magnetfelds des Flares
 ->Rekonnektion
- Nach unten gerichteter Jet trifft auf das Magnetfeld des Flares
 - -> Schock
 - -> Abbremsung
 - -> Strahlungsemission
- Nach oben gerichteter Jet heizt thermisch

28

Quellen

- [1] Hannu Koskien und Rami Vainio ;Lectures on Solar Physics From the Core to the Heliopause; <u>http://theory.physics.helsinki.fi/~sol_phys/</u>
- [2] Robert F. Wimmer-Schweingruber; Physik VI, Plasmaphysik und extraterrestrische Physik Teil II – Extraterrestrische Physik; <u>http://www.ieap.unikiel.de/et/people/wimmer/teaching/Phys_VI/ Phys_VI_teil_2.pdf</u>
- [3] Hardi Peter, Rolf Schlichenmacher, Markus Roth; Vom Kern zur Korona; Physik Journal 6 (2007), 3, S.35-41
- [4] Bernd Heber, Wolfgang Dröge, Berndt Klecker, Gottfired Mann; Die Sonne als Teilchenbeschleuniger; Physik Journal 6 (2007), 3, S.43-49
- [5] Michel Rieutord, Francois Rincon; The Suns Supergranulation; Living Rev. Solar Phys., 7, (2010), 2, <u>http://www.livingreviews.org/lrsp-2010-2</u>
- [6] David B.Jess et al.; Alven Waves in the Lower Solar Atmosphere; Science 323 (2009), S1582-1585

- [7] J. Vranjes, S. Poedts; Drift waves in the corona: heating and acceleration of ions at frequencies far below the gyrofrequency; Mon. Not. R. Astron. Soc. 408, S. 1835–1839 (2010)
- [8] De Pontieu et al.; The Origins of Hot Plasma in the Solar Corona; Science 331 (2011), S.55-59
- [9] Richard Fitzpatrick; Plasma Physics;

http://farside.ph.utexas.edu/teaching/plasma/380.pdf