

# DAMPAK PERBEDAAN ROTASI PERMUKAAN TERHADAP MEDAN DIPOL MATAHARI

Suprijatno Jasman

*Bidang Penelitian Matahari dan Lingkungan Antariksa  
Puslitbang Pengetahuan Ionosfer LAPAN*

## Ringkasan

Medan magnet matahari merupakan sumber dari semua fenomena aktif yang terjadi di matahari. Adanya gerak rotasi diferensial akan memunculkan bintik di permukaannya. Medan magnet yang menembus keluar dari bawah permukaan matahari pertama-tama akan membentuk daerah aktif BMR (*bipolar magnetic region*) dengan polaritas medan magnet bipolar (positif-negatif).

Pergerakan dan perkembangan bintik dari lintang tengah menuju ekuator dan kutubnya, akan menyebabkan perubahan polaritas medan magnet di daerah kutub dan menetralkan medan di daerah ekuator. Siklus perubahan polaritas ini berlangsung selama 22 tahun.

## Abstract

*Solar magnetic field is the source of all active phenomena which occur in the sun. The appearance of sunspots in the solar surface is caused by the differential rotation of the sun. Magnetic field penetrate out of the solar surface, forming the BMR (bipolar magnetic region) with the positive-negative bipolar magnetic field polarity.*

*The movement and development of sunspots from the middle hemisphere toward the equator and polar region will change the polarity of the magnetic field of the pole and neutralize magnetic field in the equator region. The cycle of the reversing polarities is about 22 years.*

## 1. Pendahuluan

Matahari sebagai pusat tata surya merupakan bola gas panas yang bergaris tengah sekitar satu setengah juta kilometer dan berumur sekitar empat setengah milyar tahun. Sumber energi matahari yang merupakan sumber dari semua bentuk energi matahari yang dipancarkan, berada pada pusat matahari yang sangat panas dengan temperatur sekitar  $2 \times 10^6$  K, dengan jari-jari sekitar  $0.1 R_{\odot}$  ( $R_{\odot}$  adalah jari-jari matahari).

Suatu teori memperkirakan bahwa medan magnet matahari dihasilkan oleh proses dynamo matahari, yang merupakan interaksi antara gerak konvektif dan gerak rotasi yang tidak uniform. Ini tidak hanya disebabkan oleh gerak gas yang naik turun, tetapi juga oleh rotasi yang berubah sebagai fungsi kedalaman dan lintang.

Medan magnet matahari adalah sebuah dipol yang berupa medan magnet bipolar positif dan negatif, masing-masing di bagian kutub utara dan kutub selatan, di mana terjadi negatif di kutub utara dan positif di kutub selatan, dan berbentuk simetris terhadap sumbu matahari (poloidal). Garis-garis gaya medan poloidal berada pada suatu lapisan tipis dengan ketebalan  $0.1 R_{\odot}$  di bawah permukaan matahari (fotosfer), dan membentang antara  $+55^{\circ}$  lintang utara dan  $-55^{\circ}$  lintang selatan. Diperkirakan fluks total adalah  $8 \times 10^{21}$  maxwell (Babcock, 1961).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa polaritas medan magnet berubah setiap perubahan siklus (sekitar 11 tahun), dan kembali ke polaritas yang sama satu siklus

kemudian, yang berarti bahwa satu siklus medan magnet matahari berlangsung selama 22 tahun.

Makalah ini meninjau siklus medan magnet 22 tahun tersebut berdasarkan gerakan dan perkembangan bintik matahari setiap siklusnya.

## 2. Rotasi Diferensial

Seperti diketahui, matahari adalah sebuah bola gas plasma panas, dan oleh sebab itu matahari tidak berotasi sebagai benda tegar. Setiap lintang di matahari mempunyai kecepatan rotasi yang tidak sama, dan daerah ekuator berotasi paling cepat. Sudah lama diketahui bahwa rotasi matahari merupakan fungsi lintang; banyak model dan teori dikemukakan oleh para ahli untuk menjelaskan terjadinya variasi kecepatan rotasi tersebut.

Kambry (1991) dan Yoshimura dan Kambry (1993) (dalam Kambry et al. ,1993) mencoba menerangkan penyebab rotasi diferensial matahari dengan memperkenalkan konsep momentum sudut permukaan matahari dan faktor koreksi kurva matahari. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa hantaran momentum sudut dalam arah radial harus diperhitungkan pada mekanisme pembangkitan rotasi diferensial. Selanjutnya dalam masalah pembangkitan rotasi diferensial pada arah latitudinal ini, Kambry et al. (1993) menentukan gerak meridional yang diturunkan dari pengamatan posisi bintik harian yang dihasilkan dari sketsa matahari hasil pengamatan NAO Jepang dalam kurun waktu 1943-1992 dan sketsa matahari SPD Watukosek-LAPAN dalam kurun waktu 1992-1993.

Hasil pengamatan kecepatan rotasi matahari dan gerak meridional untuk setiap interval lintang ditunjukkan pada tabel 2.1, di mana interval lintang diberikan setiap  $5^{\circ}$ .

Tabel 2.1

Kecepatan rotasi matahari dan gerak meridional setiap interval lintang  $5^{\circ}$

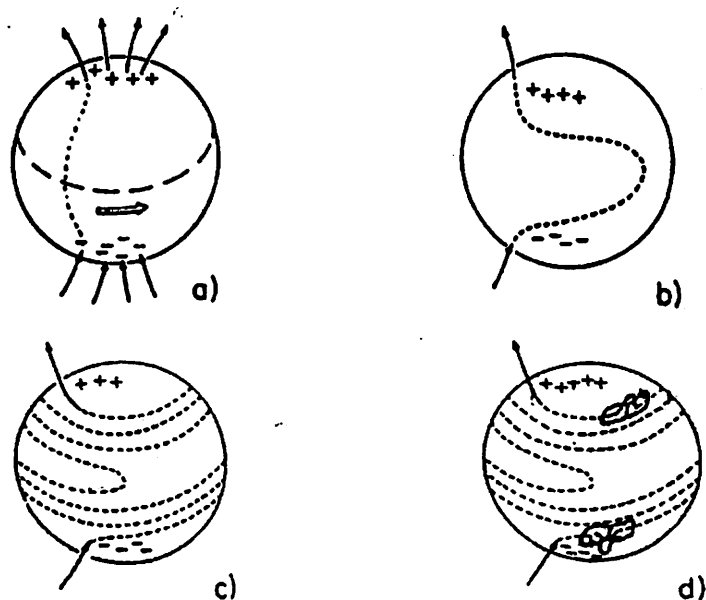
No.	Interval lintang (derajat)	Kecepatan rotasi (derajat/hari)	Gerak meridional (derajat/hari)
1	+35 s/d 40	13.272	-0.022
2	+30 +35	13.507	0.073
3	+25 +30	13.796	0.031
4	+20 +25	13.917	0.026
5	+15 +20	14.066	0.032
6	+10 +15	14.180	0.049
7	+5 +10	14.251	0.045
8	+0 +5	14.297	0.009
9	-5 0	14.341	0.002
10	-10 -5	14.302	0.020
11	-15 -10	14.185	0.010
12	-20 -15	14.103	0.005
13	-25 -20	13.933	0.004
14	-30 -25	13.780	0.019
15	-35 -30	13.621	0.004
16	-40 -35	13.456	0.054

Untuk gerak meridional tanda (+) berarti bergerak ke arah equator dan (-) ke arah kutub.

### 3. Pembentukan Bintik Matahari

Medan magnet matahari semula membentuk medan magnet poloidal. Adanya perbedaan kecepatan rotasi untuk berbagai lintang yang berbeda mengakibatkan garis-garis gaya medan magnet akan terpuntir. Garis medan pada lintang rendah (mendekati equator) akan terpuntir lebih cepat dibandingkan dengan garis medan yang berada pada lintang lebih tinggi. Perbedaan kecepatan rotasi inilah yang menyebabkan terbentuknya medan magnet toroidal, dengan garis-garis medan sejajar bidang ekuator. Dengan mengamati perbedaan rotasi lapisan fotosfer, Babcock (Foukal, 1990) mengetahui bahwa setelah selang 3 tahun, garis medan pada lintang rendah terpuntir sekitar  $5 \frac{1}{2}$  kali mengitari matahari, dan membuat medan magnetnya diperkuat menjadi beberapa ratus gauss.

Materi (plasma) dan medan magnet matahari berinteraksi erat sekali, sehingga medan magnet berada dalam keadaan "frozen in" atau terikat kuat dalam plasma. Peristiwa ini terjadi karena plasma dalam keadaan sangat terionisasi, sehingga mempunyai konduktivitas yang tinggi. Dalam keadaan frozen in maka medan magnet akan ikut terbawa oleh plasma berputar mengitari matahari. Keadaan garis medan magnet dari awal sampai ke keadaan beberapa kali rotasi diperlihatkan pada gambar 3.1.a - d.



Gambar 3.1a-d : Pembentukan medan toroidal dan sunspot (Noyes, 1982)

Parker (Sakurai, 1974) menggambarkan terbentuknya daya apung magnetik seperti berikut. Kondisi untuk kesetimbangan hidromagnetik diberikan oleh persamaan berikut,

$$-\nabla P + \frac{1}{c} j \times B + \rho g = 0 \quad (1)$$

dengan,

$P$  = tekanan

$j$  = kerapatan arus

$c$  = kecepatan cahaya

$B$  = medan magnet

$\rho$  = kerapatan masa per satuan volume

$g$  = percepatan gravitasi

secara umum  $|\rho g| \ll |-\nabla P|$ , gaya gravitasi dapat diabaikan, sehingga

$$-\nabla P + \frac{1}{c} j \times B = 0 \quad (2)$$

Kalau pergeseran arus ( $\delta D/\delta t$ ) diabaikan dalam salah satu persamaan Maxwell, akan terbentuk persamaan,

$$-\nabla P \times B = \frac{4\pi}{c} j \quad (3)$$

Bila persamaan (3) diisubstitusikan ke dalam persamaan (1) akan diperoleh

$$P = \frac{1}{4\pi} (\nabla \times B) \times B = \frac{1}{4\pi} (B \cdot \nabla) B - \frac{1}{4\pi} B^2 \quad (4)$$

Kalau garis-garis medan hampir paralel satu dengan lainnya, berarti bahwa  $(B \cdot \nabla) B = 0$ . Akibatnya persamaan diatas bisa diintegrasikan menjadi :

$$P + \frac{B^2}{8\pi} = \text{konstan} \quad (5)$$

Dengan mengasumsikan tidak ada medan magnet di luar tabung fluks magnetik, maka tekanan di dalam tabung fluks terdiri dari tekanan magnetik dan tekanan kinetik, yang didefinisikan masing-masing sebagai  $P_m$  dan  $P_i$ . Sedangkan tekanan di luar tabung fluks hanyalah tekanan kinetik gas  $P_e$ .

Kondisi kesetimbangan akan dinyatakan sebagai,

$$P_e = P_m + P_i$$

Dengan  $P_m = B^2/8\pi$  ②, dan akan selalu berharga positif, akibatnya  $P_i < P_e$ .

Kalau dianggap bahwa temperatur gas di dalam tabung fluks adalah sama dengan temperatur di luar tabung, maka bisa diambil kesimpulan bahwa,

$$\text{②}_i < \text{②}_e \text{ atau } N_i < N_e$$

Hal ini menunjukkan bahwa kerapatan plasma di dalam tabung fluks lebih rendah dari pada di luarnya. Jadi tabung fluks akan bereaksi sebagai gelembung dan cenderung untuk naik. Gaya yang menyebabkannya disebut gaya apung (magnetic bouyancy).

Jika puntirannya melewati ambang batas, fluks dengan kuat medan beberapa kilo gauss akan menjadi daerah magnetik bipolar (BMR : bipolar magnetic region). Tabung fluks berkembang membentuk suatu konfigurasi loop dengan medan-medannya preceding ( $p$ ) dan following ( $f$ ), menunjukkan konfigurasi medan magnet sunspot bipolar. Polaritas medan magnet  $p$  dan  $f$  adalah berlawanan. Harga polaritas  $p$  dan  $f$  untuk belahan matahari utara dan selatan selalu berlawanan, yaitu jika polaritas medan  $p$  positif di belahan utara, maka di sebelah selatan negatif. Dengan demikian,

jika polaritas medan  $f$  di belahan utara berharga negatif, maka di belahan selatan berharga positif. Seperti diketahui matahari berputar ke arah timur kalau dilihat dari bumi, sehingga posisi preceding akan berada lebih barat dari pada yang following.

Bintik matahari bisa berdiri sendiri ataupun dalam grup-grup yang terdiri dari dua bintik atau lebih. Bintik-bintik ini terus berkembang mulai dari bentuk bintik kecil sampai mencapai luas bintik (kelompok bintik) yang paling besar/maksimum, dan kemudian mengecil lagi sampai akhirnya lenyap. Luas bintik (kelompok bintik) setiap saat dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelas yaitu, A, B, C, D, E, F, G, H dan J. Kelas E dan F merupakan kelas bintik yang ukurannya paling besar. Bintik (kelompok bintik) yang dapat mencapai kondisi kelas E atau F biasanya mempunyai kala hidup yang panjang, bisa mencapai puluhan hari.

#### 4. Posisi Pemunculan Bintik Matahari dan Siklus Matahari

Bintik matahari pertama-tama akan muncul di sekitar lintang  $\pm 35^\circ$ , baik belahan matahari utara maupun selatan, tempat di mana terdapat penyebaran bintik yang paling besar.

Menurut Babcock (Foukal, 1990) waktu yang diperlukan fluks magnet untuk mencapai suatu tingkatan kritis (magnetic bouyancy) adalah bertambah untuk fluks magnet yang berada makin ke arah equator. Sehubungan dengan ini pengamatan menunjukkan bahwa daerah pemunculan bintik bergeser terus menuju daerah lintang yang lebih rendah, ke arah equator. Bintik terakhir muncul sekitar  $\pm 10^\circ$ . Pergeseran pemunculan bintik matahari (sunspot latitude drift) dipelajari oleh G. Sporer sejak tahun 1800 dan disebut "Sporer law". Metoda paling umum untuk mengikuti siklus matahari adalah mengamati bagaimana jumlah bintik muncul di permukaan matahari yang berubah jumlahnya sesuai perubahan waktu, di mana jumlah bintik bervariasi dari hari ke hari dan dari tahun ke tahun. Jumlah bintik yang muncul di permukaan matahari dinyatakan dalam besaran bilangan sunspot ( $R$ ), yang secara umum diterima sebagai ukuran besaran aktivitas matahari dan dinyatakan dalam perumusan sebagai berikut,

$$R = k ( 10g + f ) \quad (6)$$

dengan,  $g$  = jumlah grup bintik

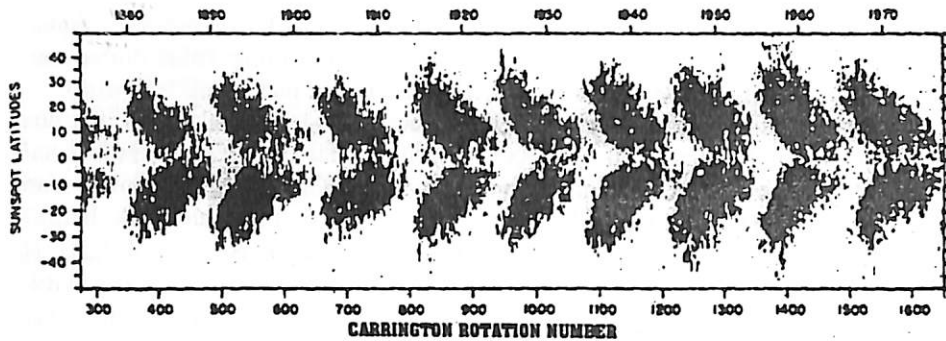
$f$  = jumlah total bintik

$k$  = konstanta yang bergantung pada teknik dan peralatan pengamatan.

Kebanyakan bintik muncul pada daerah  $\pm 15^\circ$  pada sekitar siklus maksimum. Dari pengamatan menunjukan bahwa bintik muncul dan hilang pada daerah lintang yang sama. Hal ini yang memungkinkan untuk dapat menentukan lama rotasi matahari untuk setiap lintang yang berbeda.

Periode suatu siklus matahari diawali dari keadaan jumlah bintik minimum ( $R = \text{minimum}$ ) sampai ke keadaan jumlah bintik minimum berikutnya. Hasil pengamatan menunjukan bahwa periode siklus matahari, lamanya rata-rata sekitar 11 tahun.

Seperti diuraikan sebelumnya bahwa awal dari siklus matahari, bintik matahari muncul di daerah lintang sekitar  $\pm 35^\circ$ , menjelang akhir siklus bintik muncul di dekat equator sekitar lintang  $\pm 10^\circ$ . Penyebaran pemunculan posisi bintik sepanjang siklus 11 tahun ternyata akan membentuk suatu diagram yang biasa disebut sebagai diagram kupu-kupu, karena selubung yang menutupi/mencakup lokasi pemunculan bintik (lintang versus waktu) untuk kedua belahan matahari (hemisphere) sebelah utara dan selatan menyerupai bentuk kupu-kupu (gambar 4.1).



Gambar 4.1 : Diagram kupu, diagram yang menunjukkan sebaran pemunculan bintik matahari, tahun 1880 s/d 1970 (Zirin, 1988)

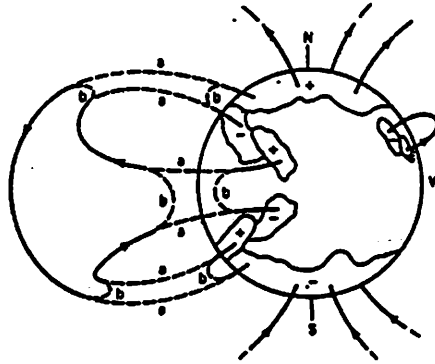
### 5. Perubahan/Pembalikan Polaritas Medan Magnet

Bintik matahari yang terbentuk di daerah aktif BMR, yaitu preceding sunspot (*p*) dan following (*f*) selama kala hidupnya terus berkembang. Hasil pengamatan para peneliti seperti Kambry et al. (1993) menunjukkan bahwa preceding sunspot akan bergerak ke arah equator, sedangkan following sunspot bergerak ke arah kutub.

Garis-garis gaya medan magnet bisa meluas memasuki daerah korona. Bergabungnya garis-garis medan tersebut dengan garis-garis medan dari daerah aktif lain dan garis medan dipole luar, akan membentuk suatu fluks magnet yang besar seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.1. Suatu segmen loop besar garis-garis medan yang berasal dari daerah-daerah aktif berbeda akan terbentuk. Pembentukan dan pemisahan segmen terjadi di mana bagian *a* akan diganti oleh bagian *b*, dan selanjutnya loop besar dengan intensitas medan rendah akan lepas melalui korona ke luar menuju ruang antar planet. Bagian-bagian loop yang tidak lepas akan saling menghubungkan antara satu dengan lainnya dan saling menetralsisir, membentuk garis medan dengan arah meridional. Melalui suatu proses yang belum jelas mereka akan tenggelam lagi untuk membentuk medan dipole yang baru.

Jumlah total fluks magnet polaritas *f* muncul pada satu belahan matahari tertentu selama satu siklus jauh lebih besar dibandingkan dengan medan dipol awal. Jumlah daerah aktif BMR yang terbentuk bisa mencapai  $3 \times 10^3$ , yang masing-masing mempunyai fluks  $10^{21}$  maxwell, sedangkan fluks yang dibutuhkan untuk menggantikan medan dipol awal hanyalah sebesar  $16 \times 10^{21}$  maxwell, untuk terbentuknya medan dipol baru dengan polaritas yang berlawanan (Babcock, 1961).

Karena posisi sunspot following terletak lebih dekat ke arah kutub, maka ada suatu penyebaran khusus medan magnet following ke daerah kutub. Sekitar setengah waktu perjalanan dari pada siklus matahari sudah cukup untuk fluks medan magnet dengan polaritas berlawanan "bercampur/menyusup ke dalam daerah polar untuk membalikkan/mengubah polaritas medan magnet. Peristiwa yang sama juga akan berlangsung untuk daerah kutub lainnya. Waktu yang diperlukan untuk proses perubahan polaritas medan magnet tersebut dari positif ke negatif atau sebaliknya adalah sekitar satu siklus sunspot (sekitar 11 tahun). Oleh karena itu untuk mengubah polaritas medan magnet positif ke positif kembali atau dari negatif ke negatif akan diperlukan waktu dua siklus (sekitar 22 tahun). Dengan kata lain bisa disebutkan bahwa siklus medan magnet matahari berlangsung 22 tahun.

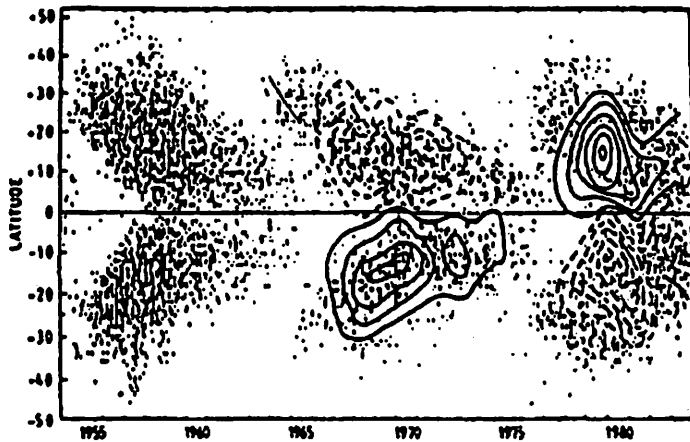


Gambar 5.1 : Proses penetralan dan pembalikan polaritas (Babcock, 1961)

Bentuk kontur-kontur medan magnet rata-rata radial hasil pengamatan Mt. Wilson Observatory (Stix, 1989) seperti diperlihatkan pada Gambar 5.2, menunjukkan bahwa polaritas medan magnet siklus bintik matahari ke 20 (1965-1976) adalah sebagai berikut :

- di belahan matahari sebelah utara polaritasnya negatif,
  - di belahan matahari sebelah selatan polaritasnya positif,
- sedangkan pada siklus ke 21 (1976-1986) :
- di belahan matahari sebelah utara polaritasnya positif,
  - di belahan matahari sebelah selatan polaritasnya negatif.

Hasil pengamatan koutur medan magnet tersebut menguatkan penelitian bahwa siklus medan magnet berlangsung selama 22 tahun.



Gambar 5.2 : Pengamatan polaritas medan magnet pada diagram kupu-kupu (Stix, 1989)

- Titik-titik : bintik matahari
- Garis tebal : polaritas positif
- Garis putus : polaritas negatif

## 6. Kesimpulan

Karena ada perbedaan gerak rotasi untuk lintang-lintang berbeda di matahari, hal ini menimbulkan terbentuknya medan magnet toroidal. Perbedaan arah rotasi tersebut mengakibatkan tabung fluks magnet menjadi terpuntir. Dengan adanya gaya apung selanjutnya terbentuk bintik matahari dengan medan magnet bipolar. Pemunculan bintik dari awal siklus sampai berakhirnya siklus bergeser dari lintang tinggi ke lintang rendah, di mana following sunspot lebih cenderung bergerak ke arah kutub, sedangkan preceding sunspot bergerak ke arah equator. Medan magnet following akan membalikkan polaritas medan kutub-kutubnya, sedangkan medan magnet preceding dari kedua belahan matahari bertemu dan saling menetralkan.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penyebab adanya periode (siklus) magnet matahari 22 tahun dan fenomena-fenomena aktif lainnya (bintik matahari, flare, prominens dan lainnya) tidak lain adalah adanya perbedaan rotasi permukaan matahari.

Medan magnet merupakan sumber terjadinya fenomena-fenomena aktif di matahari. Dua siklus sunspot diperlukan agar matahari kembali mempunyai medan magnet kutub yang sama. Hasil dari pada periode 22 tahun disebut/dikenal sebagai Siklus Hale (Hale Cycle).

## Daftar Pustaka

- Babcock, H.W., 1961, *Astrophysical Journal*, 582-584  
Foukal, P.V., 1990, *Solar Astrophysics*, John Wiley & Sons Inc, 38  
Kambry, M.A., Sinambela, W., Setiahadi, B., Admiranto, A.G., Paramita, L.P., 1993, Proceeding Program Penelitian Dirgantara LAPAN, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, 55-65  
Noyes, R.W., 1982, *The Sun Our Star*, Harvard University Press, 112  
Sakurai, K., 1974, *Physics of Solar Cosmic Rays*, University of Tokyo Press, 67  
Stix, M., 1989, *The Sun*, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 303  
Zirin, H., 1988, *Astrophysics of the Sun*, Cambridge University Press, 305