

Absolute positions of solar X-ray and gamma-ray sources

Doctoral Thesis

Author(s):

Fivian, Martin D.

Publication date:

2005

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005089157>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 16058

Absolute Positions of Solar X-ray and Gamma-ray Sources

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

MARTIN D. FIVIAN
Dipl. Phys. ETH Zürich

born August 16, 1963
citizen of Koeniz BE

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Arnold O. Benz, examiner
Dr. Alex Zehnder, co-examiner
Prof. Dr. Ralph Eichler, co-examiner

2005

Abstract

Solar flares have first been discovered over 150 years ago and a rich and complex set of observations have been acquired since. A flare can be understood as a sudden brightening from white light to X-rays and Gamma-rays including phenomena of longer wavelength of up to 10 km. Within minutes, a huge amount of energy of up to 10^{33} ergs is released and electrons are accelerated to hundreds of MeV. Yet, it is unclear how this amount of energy, which is believed to be stored in the magnetic field of the solar corona, can be released within such a short period of time and why a significant fraction of this energy appears to result in accelerated particles. The Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) is imaging X-ray and Gamma-ray sources with an unprecedented spatial and energy resolution providing a new access to understand particle acceleration and explosive energy release.

Solar hard X-ray bremsstrahlung from energetic electrons accelerated in the impulsive phase of a flare is observed to be primarily from the footpoints of magnetic loops. Standard magnetic reconnection models predict increasing separation of the footpoints during the flare as longer and larger loops are produced. If the reconnection process results in accelerated electrons, the hard X-ray footpoints should show this motion. The motion is only apparent; it is due to the hard X-ray emission shifting to footpoints of neighboring newly reconnected field lines. The velocity of footpoint separation reflects the rate of magnetic reconnection and should be roughly proportional to the energy deposition rate in the footpoints; and therefore, the separation of the footpoints should be roughly proportional to the total deposited energy for a given time interval.

Unlike for soft X-rays and longer wavelength emissions, focusing optics are not (yet) feasible at hard X-rays and Gamma-rays. For RHESSI, a Fourier-transform imaging technique has been implemented using nine bi-grid collimators combined with Germanium detectors mounted on a rotating spacecraft. In order to have a spatial resolution of 2.3 arc seconds (for the finest grid) and to precisely correlate with observations at other wavelengths, two precise aspect systems are implemented; the Solar Aspect System (SAS) and the Roll Angle System (RAS).

The SAS yields sub-arc second knowledge of the radial pointing with respect to the sun center and the RAS provides precise knowledge on the roll angle of the rotating spacecraft. The combined SAS/RAS aspect system provides a knowledge of the absolute pointing with an accuracy of 1 arc second.

This thesis describes the design, calibration, and performance of the aspect system of RHESSI. The reconstruction of the aspect solution is presented and the measured positions of hard X-ray and gamma-ray sources are justified. For two X-class flares, the positions of the footpoints is measured as a function of time and is correlated with the total deposited energy. The implications of this correlation on the dimensional measures of the reconnection region is discussed.

Zusammenfassung

Sonnenflares wurden bereits vor 150 Jahren entdeckt und eine reiche Fülle von Beobachtungen von grosser Komplexität wurden seither gesammelt. Ein Flare kann heute verstanden werden als eine plötzliche Intensivierung von optischem Licht bis Röntgenstrahlung und Gammastrahlung, wobei auch Phänomene von grösseren Wellenlängen von bis zu 10 km zu beobachten sind. Eine riesige Menge von Energie von bis zu 10^{33} ergs wird innerhalb Minuten freigesetzt und Elektronen werden auf hunderte von MeV beschleunigt. Es ist bis heute unklar wie diese Menge von Energie, die vermutlich im magnetischen Feld gespeichert ist, innerhalb eines so kurzen Zeitraumes freigesetzt werden kann und warum ein signifikanter Teil dieser Energie in beschleunigte Teilchen umgewandelt wird. Der "Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager" (RHESSI) bildet Röntgen- und Gammaquellen mit einer beispiellosen räumlichen und energetischen Auflösung ab. Dies ermöglicht einen neuen Zugang, um die Beschleunigung von Teilchen und die explosionsartige Freisetzung von Energie zu verstehen.

Solare Bremsstrahlung im Röntgenbereich, die durch beschleunigte Teilchen während der impulsiven Phase eines Flares erzeugt wird, wird hauptsächlich in den Fusspunkten von magnetischen Loops (Bögen) beobachtet. Standard Modelle von magnetischer Reconnection (eine Umkonfigurierung der magnetischen Feldlinien) sagen eine zunehmende Distanz zwischen den Fusspunkten voraus. Falls dieser Prozess der magnetischen Reconnection Teilchen beschleunigt, dann sollte eine Bewegung der Fusspunkte im Röntgenbereich beobachtet werden können. Diese Bewegung ist aber nur scheinbar. Sie rührt daher, dass sich die Röntgenemission zu benachbarten, neu verbundenen Feldlinien verschiebt. Die Geschwindigkeit der zunehmenden Distanz der Fusspunkte spiegelt die Rate der magnetischen Reconnection wider und sollte daher mehr oder weniger proportional zur Energierate sein, welche in den Fusspunkten deponiert wird. Die Distanz zwischen den Fusspunkten sollte daher eine Proportionalität zur totalen Energie zeigen, welche während eines gegebenen Zeitintervalls deponiert wird.

Im Gegensatz zur weichen Röntgenstrahlung und Strahlung von grösseren Wellenlängen können harte Röntgen- und Gammastrahlung (noch) nicht mit

fokussierender Optik abgebildet werden. RHESSI benutzt eine Methode der räumlichen Fouriertransformation. Neun Kollimatoren mit Doppelgittern sind gepaart mit Germanium-Detektoren und sind auf einem rotierenden Satellit installiert. Um eine räumliche Auflösung von 2.3 Bogensekunden (für den Kollimator mit der kleinsten Gitterkonstanten) zu erreichen und um mit Beobachtungen von anderen Wellenlängen genau korrelieren zu können, sind zwei präzise Aspektsysteme implementiert worden; zum einen das “Solar Aspect System” (SAS, solares Aspektsystem) und zum anderen das “Roll Angle System” (RAS, Rollwinkelsystem). Das SAS misst die Ausrichtung des Teleskopes relativ zum Sonnenzentrum mit einer Genauigkeit im sub-Bogensekundenbereich und das RAS liefert genaue Kenntnis des Rollwinkels des Satelliten. Das kombinierte SAS/RAS-Aspektsystem liefert Kenntnis der absoluten Ausrichtung des Teleskopes mit einer Genauigkeit von einer Bogensekunde.

In dieser Doktorarbeit wird das Design, die Kalibration und die Genauigkeit des Aspektsystems von RHESSI beschrieben. Die Rekonstruktion der momentanen Lage und Orientierung des Teleskopes (aspect solution) ist präsentiert und die Messung der Position der harten Röntgen- und Gammastrahlungsquellen wird gerechtfertigt. Für zwei Flares der X-Klasse werden die Positionen der Fusspunkte als Funktion der Zeit gemessen, und diese werden mit der totalen deponierten Energie korreliert. Die Implikationen dieser Korrelation auf die räumlichen Ausmasse des Reconnections-Gebietes wird diskutiert.