

Particle kinematics in solar flares

observations and theory

Doctoral Thesis

Author(s):

Battaglia, Marina

Publication date:

2008

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005752776>

Rights / license:

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

Diss ETH No. 18094

Particle kinematics in solar flares: observations and theory

A dissertation submitted to

ETH Zürich

for the degree of
Doctor of Sciences

Presented by

Marina Battaglia

Dipl. Phys. ETH
born October 23, 1979
citizen of Trans (GR)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Arnold O. Benz, examiner
Prof. Dr. C. Marcella Carollo and
Dr. Lyndsay Fletcher, co-examiners

Zürich, 2008

Abstract

This thesis is devoted to the study of particle acceleration and propagation processes in solar flares.

Solar flares are amongst the most powerful and energetic activity phenomena our Sun exhibits. They release energy of the order of 10^{32} erg in seconds to minutes. In the process, electrons and protons are accelerated to relativistic energies, making flares very efficient particle accelerators. The most compelling observational signatures of flares can be found in X-rays and extreme ultra-violet wavelengths. Due to atmospheric absorption, those wavelengths can only be studied from space. Since the beginning of the space age, countless flares have been observed by satellites.

The present work is largely based on observations by the Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI), an X-ray satellite which has been observing the Sun since February 2002. It is a NASA mission with substantial Swiss hardware and software contribution.

Using RHESSI observations of flares of different intensity, a deeper understanding of the particle transport and energy transport processes in flare loops, as well as the acceleration site and acceleration mechanism is sought. The time evolution of images and spectra is studied along with the quantitative relations between X-ray sources observed in the corona (coronal sources) and from the chromosphere (footpoints). The spectral relations found between coronal sources and footpoints are compared to the so-called “intermediate thin-thick target model”, which was based on observations by the satellite Yohkoh. We show that the spectral relations between coronal sources and footpoints observed with RHESSI cannot be explained by the intermediate thin-thick target model. In a next step, return currents in the flare loop were considered. With this extension to the existing model, the spectra of the coronal source and the footpoints, as well as the relations between them can be explained, indicating the

importance of return currents in flare loops.

In a second part, observations of so-called “pre-flares” are presented. This earliest phase of a flare cannot be explained by the standard flare model of chromospheric evaporation which involves energy transport and deposition in the chromosphere by beams of accelerated electrons. In pre-flares, an increase in density and emission measure is observed, indicating that chromospheric evaporation is occurring. However, no observational signatures of fast electrons are found. We show that if energy is transported by means of thermal conduction instead of an electron beam, the observations can be explained.

Zusammenfassung

Diese Dissertation widmet sich der Teilchenbeschleunigung und -propagation in solaren Flares¹.

Solare Flares gehören zu den gewaltigsten und energiereichsten Aktivitätsphänomene unserer Sonne. Sie setzen innerhalb von Sekunden bis Minuten Energie der Grössenordnung 10^{32} erg frei. Dabei werden Elektronen und Protonen bis auf relativistische Energien beschleunigt, was Flares zu sehr effizienten Teilchenbeschleunigern macht. Die stärkste Emission von Flares wird in Ultraviolett- und Röntgenwellenlängen beobachtet. Aufgrund der atmosphärischen Absorption ist eine Beobachtung dieser Wellenlängen jedoch nur vom Weltraum aus möglich. Seit Beginn des Raumfahrtzeitalters wurden unzählige Flares von Satelliten in diesen Wellenlängen beobachtet.

Die vorliegende Arbeit basiert zum grössten Teil auf Beobachtungen des Röntgensatelliten RHESSI (Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager), der seit Februar 2002 kontinuierlich die Sonne beobachtet. RHESSI ist eine NASA Mission mit Schweizer Beiträgen zu Hard- und Software.

Basierend auf RHESSI Beobachtungen von Flares unterschiedlicher Intensität soll in den folgenden Kapiteln ein tieferes Verständnis von Teilchentransport und -beschleunigung in Flares erreicht werden. Wir untersuchen die Zeitevolution von Bildern und Spektren, sowie die quantitativen Beziehungen zwischen Röntgenquellen in der Korona (koronale Quellen) und chromosphärischen Fusspunkten. Die quantitativen Beziehungen zwischen Spektren von koronalen Quellen und Fusspunkten werden mit dem sogenannten “intermediate thin thick target model” verglichen. Dieses Modell wurde auf Basis von Beobachtungen des Satelliten Yohkoh entwickelt. Es wird gezeigt, dass die RHESSI Beobachtungen nur

¹ im Deutschen wird manchmal der Begriff “Sonneneruption” verwendet

erklärt werden können, wenn der “return current” berücksichtigt wird. Wenn sich ein Strom von Elektronen entlang von magnetischen Feldlinien von der Korona zur Chromosphäre bewegt wird erwartet, dass sich ein Rückstrom in entgegengesetzter Richtung ausbildet. Die Beobachtungen und das erweiterte Modell zeigen wie wichtig dieser “return current” ist.

In einem zweiten Teil werden Beobachtungen von sogenannten “Pre-flares” präsentiert. Diese früheste Phase eines Flares kann nicht mit dem klassischen Modell der Chromosphärischen Evaporation erklärt werden, in welchem die Chromosphäre durch das Auftreffen hochenergetischer Elektronen aufgeheizt wird und heisses Gas die magnetischen Bögen füllt. In Pre-flares wird ein Anstieg der Dichte und des Emissionsmasses beobachtet, was auf das Vorhandensein von Evaporation hinweist. Allerdings werden keine Signaturen von hoch-energetischen Elektronen beobachtet. Wir zeigen, dass Energietransport in Form von Wärmeleitung anstelle schneller Elektronen diese Beobachtungen erklären kann.