Ununterbrochene Sonnenwindbeobachtung mit SOHO CELIAS

Autor(en): **Aellig, M.R. / Hefti, S.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **54 (1996)**

Heft 273

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-898115

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Ununterbrochene Sonnenwindbeobachtung mit SOHO CELIAS

M. R. Aellig, S. Hefti

Die am 2. Dezember 1995 von Cape Canaveral mit einer Atlas/Centaur Rakete gestartete SOHO (für SOlar and Heliospheric Observatory) Raumsonde wird nach einer Reise von vier Monaten den sogenannten Lagrange-Punkt L1 erreicht haben und sich auf einen Halo-Orbit um diesen Punkt begeben. Im Lagrange-Punkt, der auf der Verbindungslinie von Sonne und Erde etwa 1.5 Mio. km von der letzteren entfernt liegt, heben sich die von diesen Himmelskörpern auf die Sonde ausgeübten Gravitationskräfte auf. Die Dauer der Mission ist auf 2 Jahre projektiert, wobei die für Kurskorrekturen mitgeführte Treibstoffmenge für 6 Jahre ausreicht. Falls nach zwei Jahren die meisten Sensoren noch funktionieren, ist eine Verlängerung der Mission möglich, sodass das Verhalten der Sonne eventuell während eines halben Aktivitätszyklus beobachtet werden könnte. Da die Raumsonde dreiachsenstabilisiert ist (sie muss sich zur Stabilisierung nicht um ihre eigene Achse drehen), können die Instrumente während der vollen Zeit die Sonne aus gleichbleibender Entfernung beobachten. Die als Eckpfeiler des ISTP (International Solar Terrestrial Program) von ESA und NASA gestartete SOHO-Mission wird die in und auf der Sonne stattfindenden astrophysikalischen Phänomene beobachten. Wegen ihrer Nähe kann die Sonne Hinweise auf Prozesse geben, die bei anderen Sternen nicht beobachtet werden können. Das Verstehen dieser Prozesse ist notwendig, um vergangene und kommende terrestrische Auswirkungen der Sonne zu erkennen und zu verstehen. Die Stärke der SOHO-Mission liegt nicht nur in der individuellen Überlegenheit der mitgeführten Instrumente gegenüber Vorgängermodellen auf anderen Missionen, sondern auch im Zusammenwirken der auf unterschiedlichen Prinzipien beruhenden Experimente vom gleichen Ort aus. So sind 70% der Messzeit für «joint operations» reserviert, bei denen verschiedene Instrumente gleichzeitig dasselbe Phänomen, z.B. ein besonders aktives Gebiet auf der Sonnenoberfläche, beobachten.

Die erste Gruppe der zwölf verschiedenen Experimente wird helioseismologische Messungen vornehmen. Dabei werden Oszillationen der Konvektionszone, die von 0.7 R_{Sonne} bis zur Photosphäre reicht, gemessen. Durch Beobachtung der Sonnenbeben kann auf die innere Struktur der Sonne geschlossen werden. So können indirekt die Temperatur, die Zusammensetzung, die Schichtung und die Dynamik des Inneren der Sonne bestimmt werden.

Die zweite Experimentgruppe besteht aus Teleskopen und Koronographen, die die Chromosphäre und die Korona im ultravioletten und im sichtbaren Bereich des Spektrums fernerkunden. Ein nicht zu unterschätzendes Problem stellt bei solchen Instrumenten die Verarbeitung der gewonnenen Bilder an Bord der Raumsonde dar. Da der Datenaustausch mit der Erde begrenzt ist, müssen die Bilder bereits durch die Instrumentenrechner komprimiert werden, ohne die relevante Information zu verlieren.

Die beiden Teilchenexperimente bilden die dritte Gruppe. Sie messen *in situ* die Element- und Isotopenkomposition, die Energieverteilung und den Fluss der von der Sonne wegströmenden, geladenen Teilchen.

Durch die Kombination dieser Resultate mit denjenigen der optischen Fernerkundung der Sonnenatmosphäre erwartet man Antworten auf Fragen, die auch nach Jahren der Forschung noch offen sind:

- Wie wird die Materie von der Photosphäre zur Korona transportiert und wie wird dabei ihre Zusammensetzung beeinflusst?
- Wie wird die Korona geheizt?
- Wie wird der Sonnenwind in der Korona beschleunigt?

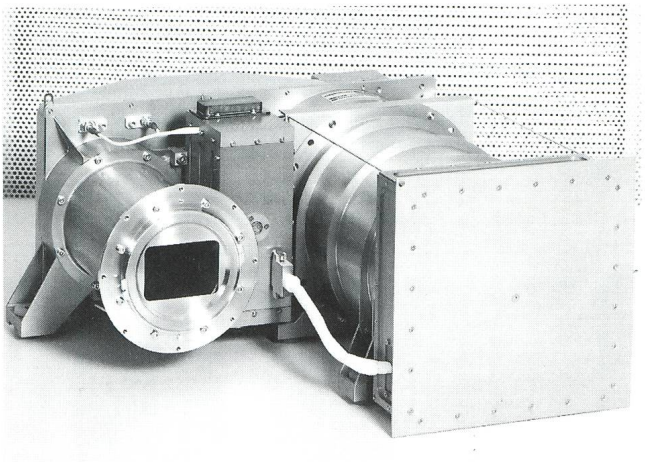
Eines der beiden Teilchenexperimente, CELIAS, an dem die Universität Bern wesentlich beteiligt ist, soll hier detaillierter beschrieben werden. CELIAS ist die Abkürzung für Charge, ELement and Isotope Analysis System. Der Sonnenwind, ein mit Überschallgeschwindigkeit von der Sonne wegströmendes Plasma, wird auf seine Zusammensetzung in bezug auf die Ladung und die Masse untersucht.

Die isotopische Zusammensetzung des Sonnenwindes ist die gleiche wie in der Konvektionszone der Sonne, d.h. es tritt auf dem Weg von der Konvektionszone ins interplanetare Medium keine isotopische Fraktionierung ein. Die Konvektionszone ist das grösste und isotopisch wohl am wenigsten veränderte Reservoir von protosolarem Material. Um die Entwicklung des frühen Sonnensystems zu verstehen, ist die Kenntnis der Isotopenverhältnisse im protosolaren Nebel, aus dem unsere Sonne durch Gravitationskollaps hervorgegangen ist, sehr wichtig. CELIAS wird gewisse Isotopenverhältnisse erstmals bestimmen.

Frühere Missionen haben gezeigt, dass auf dem Weg von der Photosphäre bis ins interplanetare Medium eine Elementfraktionierung stattfindet, bei der Elemente mit tiefem erstem Ionisationspotential bevorzugt werden. Um die verschiedenen Modelle dieses Prozesses zu verifizieren, müssen für Elemente wie C, S und P die Elementhäufigkeiten im Sonnenwind genau bekannt sein. Diese und weitere Elementhäufigkeiten wird CELIAS messen.

Aussagen über das Quellgebiet des Sonnenwindes sind auch mit Hilfe der Ladungszustände der Sonnenwindionen möglich, denn je heisser das Quellgebiet ist, desto höher ionisiert sind die Ionen. Eisen wird 6- bis 16-fach ionisiert sein, und aus dem relativen Verhältnis der Ladungszustände kann auf die Temperatur in der Korona geschlossen werden.

Nebst dem Sonnenwind wird CELIAS erstmals den Energiebereich zwischen schnellem Sonnenwind und langsamen «solar energetic particles» untersuchen. Der Ausbruch von hochenergetischen Teilchen kann mit den von SOHO beobachteten Flares korreliert werden. Ebenfalls bei höheren Energien als der Sonnenwindenergie werden die interstellaren Pick-up-Ionen detektiert. Das interstellare Neutralgas durchdringt unser Sonnensystem und wird



Figur 1: Das integrierte SOHO/CELIAS Flugzeitmassenspektrometer CTOF. Links ist die erste Quadrupollinse des Eintrittsystems zu sehen. Rechts daneben befindet sich das Hochspannungsgerät, das die Ablenkspannung von maximal 15 kV für den Kugelkondensator liefert. Rechts davon befindet sich die Flugzeiteinheit. Sie enthält die Detektoren und die zugehörige Elektronik und befindet sich auf dem Potential der Nachbeschleunigung von maximal 30 kV. Um eine möglichst gute thermische Isolation der Raumsonde zu erreichen, werden alle Instrumente mit einer speziellen Folie verkleidet. Die Träger für diese Folie sind oberhalb der Flugzeiteinheit zu sehen.

durch solare EUV-Strahlung und Ladungsaustausch mit dem Sonnenwind nach und nach ionisiert. Nur Elemente mit hohem erstem Ionisationspotential wie He und Ne erreichen die Erdbahn. Nach der Ionisation werden diese Teilchen vom Sonnenwind radial weggetragen, sind aber etwa doppelt so schnell. Mit Hilfe der Pick-up-Ionen können die Element- und Isotopenverhältnisse des interstellaren Windes für He und Ne angegeben werden.

Das CELIAS-Experiment soll die Zusammensetzung des Sonnenwinds bestimmen. Es besteht aus drei Massenspektrometern, die alle eine Flugzeitmessung vornehmen. Die drei Sensoren unterscheiden sich in ihrem Energiebereich und in der Massenauflösung. Das CTOF-Experiment, eine Abkürzung für «charge time-of-flight», misst den typischen Sonnenwind und zeichnet sich durch eine hohe Ladungsauflösung aus. Der Energiebereich von CTOF ist 0.1-50 keV/e, der Massenbereich 3-60 amu. Das MTOF-Experiment (mass time-of-flight) kann durch seine hohe Massenauflösung Isotope im Sonnenwind nachweisen. Das STOF-Experiment (suprathermal time-of-flight) misst Ionen mit Energien von 20-1000 keV/e. Dieser Bereich wurde bisher von keinem Massenspektrometer abgedeckt. Beim Entwurf der Sensoren wurde darauf geachtet, dass sich die Energie-und Massenbereiche teilweise überlappen, so dass ein Quervergleich der Resultate möglich ist.

Das Messprinzip sei am Beispiel von CTOF (charge-time-of-flight) beschrieben. Das integrierte Instrument ist in Figur 1 abgebildet. Ein Sonnenwind-Ion trifft auf das Eintrittssystem des Sensors. Hier wird das Verhältnis von Energie zu Ladung, E/q, des Ions mit Hilfe eines Kugelkondensators bestimmt. Zudem wird das Ion von einem ionenoptischen Linsensystem auf die Kohlenstoffolie fokussiert und mit maximal 30 kV beschleunigt. Das Ion wird beim Durchgang durch die etwa 100 Atomlagen dicke Kohlenstoffolie umgeladen. Selbst hochgeladene Ionen wie Fe^{14+} verlassen die Folie in den meisten Fällen einfachgeladen oder neutral. Zudem werden Sekundärelektronen erzeugt, die mittels eines elektrostatischen Spiegels zu einer Mikrokanalplatte (MCP) gelenkt werden. Die MCP detektiert die Elektronen und erzeugt den Startpuls: von jetzt an ist die Stoppuhr für die Flugzeitmessung eingeschaltet. Das Ion selbst wird durch den Elektronen-Spiegel nicht gestört und fliegt weiter Richtung Ende der Flugstrecke. Im Falle von CTOF ist dort ein Festkörperdetektor montiert, der wiederum zwei Aufgaben erfüllt: einerseits werden auf seiner Oberfläche wieder Sekundärelektronen ausgelöst, die analog zum Startpuls einen Stoppuls erzeugen. Dadurch ist die Flugzeit und damit die Geschwindigkeit des Ions im Flugzeit-System bekannt. Zusammen mit dem vorher bestimmten E/q kann nun das Verhältnis von Masse zu Ladung des Ions, m/q, bestimmt werden. Allerdings sind dabei die Nachbeschleunigung sowie der Energieverlust des Ions in der Folie zu berücksichtigen. Der Festkörperdetektor misst zudem die Energie des Ions, womit auch seine Masse bestimmt ist. Auch hier ist an den Energieverlust in der Folie zu denken und zu berücksichtigen, dass die Genauigkeit des Energiesignals empfindlich von der Energie abhängt. Deshalb werden die Ionen nachbeschleunigt, da ohne diese zusätzliche Energie das Signal des Festkörperdetektors unbrauchbar wäre. Mit drei Messungen können also die drei Grössen Energie, Masse und Ladung bestimmt werden, die das Ion vollständig charakterisieren. Damit liefert der Sensor eine in-situ-Bestimmung der Sonnenwind-Zusammensetzung. Da SOHO dreiachsenstabilisiert ist, müssen die Eintrittsysteme eine grosse Winkelakzeptanz aufweisen, was besondere Anforderungen an die Ionenoptik stellt. Zudem müssen sie eine hohe mechanische Präzision und Festigkeit aufweisen und Hochspannungen bis zu 12 kV aushalten können. Als Beispiel kann hier STOF angeführt werden. Bei diesem Sensor besteht das Eintrittsystem aus 17 Zylinderkondensatoren, deren Platten einen mittleren Radius von 600 mm haben. Die benötigte und erreichte mechanische Genauigkeit von 1/100 mm im Radius erforderte fertigungstechnische Kunstgriffe, insbesondere weil die Kondensatorplatten aus Gewichtsgründen nicht vollständig aus Metall gebaut werden konnten. Die Spannung an den Platten beträgt maximal ±3 kV, was ein elektrisches Feld von 2 Mio V/m ergibt. Um zu verhindern, dass UV des Sonnenlichts auf die Kohlenstoffolie scheint und damit einen unerwünschten Startpuls auslöst, mussten die Eintrittsysteme geschwärzt werden. Mit CuS und Mattgold wurden Beschichtungen gefunden, die eine genügende UV-Unterdrückung gewährleisten und hochspannungsfest sind.

Auch die CELIAS-Daten werden an Bord vorverarbeitet, um die Datenmenge klein zu halten. Der Computer klassifiziert jede Messung und berechnet Histogramme, die anstelle der einzelnen Messwerte übermittelt werden. Der Datenfluss beträgt auf diese Weise etwa 8.5 GByte pro Jahr. Die Eintrittsysteme von CELIAS wurden am Physikalischen Institut der Universität Bern entwickelt und gebaut. Alle drei Sensoren wurden in Bern geeicht.

Die ersten Rohdaten sind bereits gewonnen worden und man darf darauf hoffen, dass sich viele der offenen Fragen mit Hilfe der SOHO-Daten beantworten lassen.

MATTHIAS R. AELLIG, SIMON HEFTI
Physikalisches Institut
Universität Bern