

Schlussbericht zu Vorhaben 50 OC 0105

1. Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die Weltraummissionen SOHO, Ulysses und Chandra sind in ihrer operationellen Phase. An Bord befinden sich Instrumente des Instituts für Experimentelle und Angewandte Physik (IE-AP) der Universität Kiel, deren Messdaten der solaren und galaktischen kosmischen Strahlung sowohl für die wissenschaftliche Auswertung als auch für den reibungslosen Missionsbetrieb aufbereitet werden sollen.

1.2 Voraussetzungen

Nach dem erfolgreichen Verlauf der Primärmissionen von Ulysses (Start Oktober 1990), SOHO (Start Dezember 1995) und Chandra (Start Juli 1999) befinden sich alle drei Raumsonden in der Verlängerungsphase ihrer Mission. Die Instrumentenpakete Ulysses/COSPIN, SOHO/COSTEP und Chandra/EPHIN sind voll funktionsfähig. Nur Chandra/EPHIN zeigt ab November 2003 bei bestimmten Ausrichtungen zur Sonne Überhitzungserscheinungen, die auf die Degradation der thermischen Isolierung des Satelliten zurückzuführen sind.

Die Datenüberdeckung bei allen drei Missionen bis zum Ende des Vorhabens im Dezember 2008 ist ausgezeichnet, so dass eine Fülle wissenschaftlicher und technischer Missionsdaten vorliegen, die aufbereitet, dargestellt und mit den Beobachtungsdaten anderer Instrumente korreliert werden können. Sie dienen auch als Vergleichsmessungen für theoretische Modelle, die mit analytischen und numerischen Methoden die Teilchenausbreitung in der Heliosphäre beschreiben.

1.3 Planung und Ablauf

Ulysses: KET an Bord von Ulysses befindet sich zum Ablauf des Vorhabens im nominalen Betriebsmodus. Alle Detektoren arbeiten zuverlässig, wenn sich auch – bedingt durch Temperaturschwankungen zwischen Perihel bei 1,4 AE und Aphel bei 5,2 AE – die Amplituden der Signale aus Cerenkov-Detektoren und Szintillationszählern leicht verändern. Hinzu kommen Strahlungsschäden, die bei 18 Jahren Betrieb im Weltraum unvermeidlich sind, und die auch die Halbleiterdetektorsignale beeinflussen. Die Programme der bodenseitigen Datenauswertung berücksichtigen diese Veränderungen. Im Verlauf der langen Missionszeit wurden einige Anomalien in den technischen Messdaten beobachtet, wie z.B. Änderungen in den Versorgungsspannungen und Detektor-Leckströmen, die aber zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung in der Qualität der wissenschaftlichen Daten führten. Eine kurzgefasste Übersicht des Missionsverlaufs ist in Tabelle 1 aufgelistet.

Bedingt durch den allmählichen Leistungsabfall der Raumsondenstromversorgung aus dem Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG) steht keine elektrische Leistung für die Versorgung der Heizelemente mehr zur Verfügung. Mit dem Einfrieren des Hydrazin-Treibgases, das zur Lageregelung von Ulysses benötigt wird, ist jederzeit zu rechnen. Auch steht nur noch eine geringe Menge Hydrazin zur Verfügung. Das Missionsende steht unmittelbar bevor.

Tabelle 1: Ulysses Meilenstein-Liste

Milestone	Date
Ulysses Launch	6 Oct. 1990
Jupiter Fly-by	Feb. 1992
1 st South Polar Pass (solar minimum, $A > 0$)	Jun. – Nov. 1994
1 st North Polar Pass	Jun. – Sep. 1995
End of prime mission, extended mission starts	Oct. 1995
2 nd South Polar Pass (solar maximum)	Sep. 2000 – Jan. 2001
2 nd North Polar Pass	Sep. – Dec. 2001
Jupiter distant encounter	Jun. 2004
ESA's SPC approves mission extension until March 2009	14 Nov. 2007
3 rd South Polar Pass (solar minimum, $A < 0$)	Nov. 2006 – Apr. 2007
3 rd North Polar Pass	Nov. 2007 – Mar. 2008
X-band transmitter failure	15 Jan. 2008
S-band downlink at 1024 bps, real time and tape recorder data transmitted to 70 m ground stations	15 Jan. – 31 May 2008
S-band downlink at 512 bps, only real time data transmitted to ground stations (data gaps result)	since 31 May 2008

SOHO: COSTEP befindet sich zum Ablauf des Vorhabens im nominalen Betriebsmodus. Alle Detektoren arbeiten zuverlässig bis auf Rauschen in den EPHIN-Detektoren A und E sowie in den LION-Detektoren T1D1p+e und T2D2p.

Das Rauschen in Detektor A macht sich seit etwa 2007 bemerkbar und wird verursacht durch hohe Temperaturen. Als Front-Detektor ist er direkt hinter der Aperturfolie angeordnet, deren thermische Eigenschaften sich im Verlauf der Mission auf Grund von UV-Bestrahlung und Sonnenwindaufprall verändert haben. Die hohe Rauschrate führt zu einer erhöhten elektronischen Totzeit, auf die bei der Bestimmung der Teilchenintensitäten korrigiert werden muss.

Das Rauschen in Detektor E ist seit 1996 bekannt. Sein nachteiliger Effekt wurde per Telekommando am 31.10.1996 und per Software Upload am 13.3.1997 gemildert. Detektorrauschen ist ein typisches Fehlverhalten, für welches Gegenmaßnahmen schon beim Instrumentenentwurf eingeplant wurden.

Das LION Teleskop hatte keine Vorkehrungen getroffen, so dass nur die Detektoren T1D2p+e und T2D1p noch wissenschaftliche Daten liefern. Es wird vermutet, dass Streulicht von den Oberflächen anderer Instrumente an Bord von SOHO das Detektorrauschen erhöhen.

Eine kurzgefasste Übersicht des Missionsverlaufs ist in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: SOHO Meilenstein-Liste

Milestone	Date
SOHO Launch	2 Dec. 1995
SOHO on station (L1)	Apr. 1996
End of prime mission, extended mission starts	Apr. 1998
SOHO lost in space	25 Jun. 1998
SOHO attitude recovery	16 Sep. 1998
SOHO end of hibernation	Oct. 1998
COSTEP/EPHIN data used for space weather forecast (supporting STS Atlantis mission)	13. Feb 2008
SOHO Bogart Mission (from 2 months after launch of NASA's SDO Mission up to 2012)	29 May 2008
ESA's SSAC and SPC approve mission extension until December 2009	Nov. 2008 / Feb. 2009

Chandra: EPHIN befindet sich zum Ablauf des Vorhabens nicht mehr im nominalen Betriebsmodus. Durch Degradation der Thermaleigenschaften des gesamten Satelliten sind die EPHIN Temperaturen weit über die spezifizierte Grenze von 35 °C gestiegen. Je nach Ausrichtung auf ein fernes Röntgenobjekt kann die Temperatur am EPHIN durch Sonneneinstrahlung so weit steigen, dass schon +50 °C gemessen wurden, wobei die Temperatur am Frontdetektor noch höher sein kann, da keine Temperatursensoren in Detektornähe angebracht wurden, um elektromagnetische Störungen zu vermeiden.

Im Verlauf der Mission musste zuerst der Photomultiplier zum Registrieren der Szintillatorsignale G ausgeschaltet werden, dann der Frontdetektor A (siehe Tabelle 3). Die Funktion als Warnmelder vor erhöhter Strahlung wird durch Umprogrammieren der bordseitigen RADMON-Software immer noch erfüllt. Wissenschaftliche Auswertung der Daten ist aber nicht mehr möglich, da mit Abschalten des Frontdetektors keine Unterscheidungsmöglichkeit mehr besteht zwischen Elektronen, Protonen und schwereren Kernen der kosmischen Strahlung.

Tabelle 3: Chandra Meilenstein-Liste

Milestone	Date
Chandra Launch	23 Jul. 1999
First EPHIN high voltage anomaly due to high temperature caused by degraded thermal blankets	18 Nov. 2003
End of prime mission, extended mission starts	Sep. 2004
Turn off EPHIN anti-coincidence scintillator G	18 Dec. 2007
Turn off EPHIN detector A	9 Dec. 2008
NASA plans/approves extended mission until September 2014, see FY 2010 budget, posted:	7 May 2009

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Arbeitsgruppe Extraterrestrische Physik am Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel ist seit Beginn der experimentellen Welt- raumforschung mit Ballonen, Forschungsraketen, Erd-Satelliten und Raumsonden in der Mes- sung von energiereichen Teilchen an vorderster Front tätig. Auswahlgremien von DLR, ESA und NASA haben dies immer wieder bestätigt, indem sie Instrumente der Arbeitsgruppe auf ihren Missionen einsetzten, u. a. AZUR, DIAL, Helios, ISEE, Ulysses, Galileo, SOHO, Chandra, LDEF, Mir, ISS, STEREO, MSL.

Das Kieler Elektronenteleskop KET kombiniert mehrere Messmethoden zur Bestimmung von Teilchentyp und Teilchenenergie: Erzeugung von Elektron-Photon-Schauern, Erzeugung von Cerenkov-Licht, gleichzeitige Messung von Energieverlust und Restenergie (dE/dx-E- Methode) und Setzen von Diskriminatorschwellen.

Die COSTEP Teilchenteleskope EPHIN (Electron Proton Helium Instrument) und LION (Low-energy ION telescope) benutzen zur Identifizierung der Teilchenarten und Bestimmung ihrer Energie die bekannte Energieverlust-Restenergie-Methode, erweitert um Magnetfelder und Absorptionsfolien zur sauberen Trennung von Elektronen und Protonen im kritischen Energiebereich < 1 MeV. Die Energieabgabe wird gemessen mit Halbleiterdetektoren der neuesten Generation: passivierte Ionen-implantierte planare Silizium-Detektoren (PIPS Detek- toren).

Das EPHIN Reservemodell wurde mit geringen Abänderungen eingesetzt als Strahlungsmoni- tor für das Röntgenteleskop auf Chandra.

Einschlägige Fachliteratur findet sich in Fachzeitschriften wie Space Science Reviews, Astro- nomy and Astrophysics, Astrophysical Journal, Solar Physics, Journal of Geophysical Re- search, Annales Geophysicae, Nuclear Instruments and Methods, und anderen, sowie in zahl- reichen Fachbüchern.

Vielfältige Informationsdienste aus dem Internet wurden genutzt, u. a.

- NIST Physical Reference Data (<http://physics.nist.gov/PhysRefData/contents.html>)
- Space Environment Information System (<http://www.spennis.oma.be/spennis/>)
- Coordinated Data Analysis Web (http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/istp_public/)
- SolarSoft (<http://www.lmsal.com/solarsoft/>)
- CME catalogue (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/index.html)
- Solar observations (<http://bass2000.obspm.fr/home.php>)

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Durch Kollaborationen und die Einbindung in die Experiment-Konsortien unter europäischer oder amerikanischer Führung wurde eine enge Zusammenarbeit mit vielen Institutionen not- wendig, u. a.

- NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, USA
- NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA
- NASA Marshall Space Flight Center, Huntsville, Alabama, USA
- ESA/ESTEC, Noordwijk, Holland

- University of Chicago, Chicago, Illinois, USA
- University of Turku, Turku, Finland
- Saint Patrick's College, Maynooth, Irland
- Universidad de Alcala, Madrid, Spanien
- Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau, Deutschland
- Space Research Institute, Moscow, Russland

2. Eingehende Darstellung

2.1 Das erzielte Ergebnis

Ulysses: Die KET Missionsdaten, die in der Laufzeit dieses Vorhabens empfangen wurden, werden wissenschaftlich ausgewertet mit folgenden Forschungszielen:

- Bestimmung der radialen und Breiten-Gradienten der galaktischen kosmischen Strahlung
- Untersuchung der korotierenden Regionen (Corotating Interaction Region, CIR) zum Verständnis der interplanetaren Beschleunigung
- Beobachtung solarer Ereignisse aus mehreren räumlichen Positionen (Multipoint Observations) zur Untersuchung der Beschleunigungs- Ausbreitungsprozesse für energiereiche Teilchen
- Untersuchung der 27-Tage-Modulation (Recurrent Modulation)
- Beobachtung von gebündelten Elektronenstrahlen aus der Jupitermagnetosphäre (Jovian Jets) und die Implikationen für Ausbreitungsmodelle

Die letzten Telekommandos an KET wurden im Mai 2008 gesendet. Sie dienten der letztmaligen Bestimmung des Untergrundes in den Zählraten der 14 wissenschaftlichen Messkanäle und zur Verifizierung des gesunden Instrumentstatus.

Die KET Missionsdaten werden der wissenschaftlichen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt durch das ESA Ulysses Archiv in: <http://helio.esa.int/ulysses>

SOHO: Mit wenigen Ausnahmen werden die COSTEP Daten lückenlos empfangen (Level-0 Daten) und aufbereitet zu Level-1 und Level-2 Daten. Die Ausnahmen sind:

- ESR-Perioden (Emergency-Sun-Reacquisition)
- Hibernation
- Keyhole Perioden

Bei Verlust der Orientierung schaltet die Raumsonde automatisch alle Experimente ab und konzentriert sich auf die Erlangung einer stabilen Lage mit den Sonnenpaneelen ausgerichtet auf die Sonne (ESR). Der Kontakt zur Bodenstation bleibt dabei erhalten. Die Dauer des Datenverlustes kann Stunden bis Tage betragen. Der totale Verlust der Raumsonde im Weltraum 1998 dauerte 3 Monate (Hibernation). Der drohende Ausfall des Ost-West-Motors der Hochgewinnantenne im Mai 2003 führte zu der strategischen Entscheidung, die Antenne auf einer Position zu parken, die für eine Hälfte der hoch-elliptischen Bahn günstig ist. Die angemessene Ausrichtung während der anderen Bahnhälfte wird erreicht, indem der ganze Satellit 180 Grad um seine X-Achse gedreht wird. Es bleibt aber ein Bereich der Bahn übrig, der Datenempfang nur für 70-Meter Bodenstationen erlaubt. Da diese nicht häufig genug und dann nur