Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 64 (2006)
Heft: 337

Artikel: Radio-Beobachtung von SMART-1 auf seinem letzten perilunaren Orbit
Autor: Monstein, Christian
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897724

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Radio-Beobachtung von SMART-1 auf seinem letzten perilunaren Orbit

CHRISTIAN MONSTEIN

Fig. 1: 5m-Parabolspiegel automatisch positioniert auf den Mond mit sehr tiefer Elevation am Abend des 2. September 2006.

Das Hauptziel dieser ESA-Mission war es, einen neuartigen, solarelektrisch betriebenen Ionenantrieb und neue Navigations- und Kommunikationstechniken zu testen. SMART-1 war die zweite Sonde, welche diese Art von Antrieb verwendete (die erste war die amerikanische Sonde Deep Space 1). Nachdem SMART-1 auf eine Umlaufbahn um den Mond eingeschwenkt war, untersuchte diese ab Mitte November 2004 bis zum geplanten Impakt Anfang September 2006 die chemische Zusammensetzung der Mondoberfläche und suchte nach Wasser in Form von Eis. Ausserdem erhofft sich die Wissenschaft klärende Erkenntnisse über die Entstehung des Mondes vor rund 4,5 Milliarden Jahren. Einige Radioobservatorien versuchten zudem durch Beobachtung und Interpretation der Polarisation der Telemetriesignale Hinweise zu finden auf eine vermutete (Claudio Maccone) Ionosphäre des Mondes.

Die allerletzte Möglichkeit, in Europa Radiosignale dieses ESA-Forschungssatelliten SMART-1 vor seiner «Entsorgung» nachzuweisen, wollte ich unbedingt nutzten. Es war die ultimative Gelegenheit, SMART-1 zu registrieren vor seinem präzise geplanten Impakt auf der Oberfläche des Mondes am frühen Morgen des 3. September 2006 um 05:42:22 UT. Leider war zum Zeitpunkt des Impakts der Mond von Europa aus nicht mehr sichtbar, so musste ich mich eben auf den letzten zu beobachtenden Orbit konzentrieren. Einerseits wollte ich auf Grund der Dopplerverschiebung die Maximalgeschwindigkeit abschätzen und andererseits das Radioteleskop testen im Hinblick auf seine Grenzempfindlichkeit, denn das Sendersignal von maximal 5W im Abstand 384'000km verspricht nicht unbedingt eine hohe Empfangsfeldstärke. Es bestand auch begründeter Verdacht, dass die hohen elektromagnetischen Feldstärken eines nahen Mobilfunkumsetzers im Kilowattbereich den Empfänger durch Übersteuerung und Kreuzmodulation unempfindlich machen könnten für die doch recht schwachen Signale der Raumsonde. Für den Empfang dieser schwachen Signale musste die Empfangsantenne, welche tagsüber für die Beobachtung der Sonne vorgesehen ist, umgebaut werden. Die Kalibrationseinheit im Fokuspack wurde überbrückt, um das Eigenrauschen möglichst gering zu halten. Die Empfangseinheit bestand also nur noch aus einem Parabolspiegel mit 5m Durchmesser, einer breitbandigen logarithmisch-periodischen Dipolantenne und einem empfindlichen Vorverstärker, siehe Abbildung 1. Das um den Faktor 10'000 verstärkte Signal gelangte über ein spezielles, dämpfungsarmes Koaxialkabel in den Empfängerraum und sodann auf den Eingang des Kommunikationsempfängers AR5000, siehe Abbildung 2. Der Empfänger wurde dann so eingestellt, dass das Telemetriesignal im

Fig. 2: Kommerzieller Empfänger zum Empfang der Raumsonde auf 2235.100000MHz. Der eingestellte Offset von 12KHz kompensiert die aktuelle Dopplerverschiebung auf Grund der hohen Geschwindigkeit von SMART-1.

eingebauten Lautsprecher gut zu hören war. Bei dieser Methode wird das empfangene Signal mit einer ähnlichen Frequenz derart gemischt, dass die Differenzfrequenz im hörbaren Bereich liegt. Die Demodulationsart nennen die Profis CW (continuous wave), das Empfangs-Prinzip nennt man auch Heterodyne-Empfänger. Dieses so entstandene Audiosignal wurde nun einer handelsüblichen Soundkarte in einem PC zugeführt und mit dem Freeware-Programm SpectrumLab als Spektrum visualisiert und gleichzeitig als wav-Datei auf dem Harddisk des PC gespeichert. Das ergab eine beachtliche Datenmenge von etwa 12 Megabyte Daten alle 10 Minuten. Immer wenn die Audiofrequenz auf Grund der starken Dopplerverschiebung drohte aus dem hörbaren Bereich herhauszufallen, wurde am Empfänger eine geringe Frequenzkorrektur von jeweils etwa 5KHz vorgenommen, so dass das empfangene Signal im Lautsprecher wieder hörbar sowie im Online-Spektrum von SpektrumLab sichtbar wurde. Das Online-Spektrum wurde gewonnen durch eine Fouriertransformation des Audiosignales. In diesem Fall wurde das Audiosignal mit 11.025KHz abgetastet (entspricht gemäß Nyquist 5.51KHz Bandbreite) und in 16'384 Frequenzbins transformiert. Dies ergab eine Frequenzauflösung von etwa 0.673Hz, ideal zum Nachweis von monochromatischen Signalen wie eben eines Transpondersignales des Raumfahrzeuges SMART-1. Der grosse Vorteil der Fouriertransformation besteht auch darin, dass im Frequenzbereich (anders als im Zeitbereich) durch Integration gemäss der Radiometergleichung das Signal zu Rauschverhältnis SNR verbessert werden kann. Die qualitative Verbesserung des SNR geht mit der Wurzel aus der Anzahl Integrationen. Zu Beginn habe ich 10 Spektren zusammengefasst, am Ende der Messung, als SMART-1 hinter den Bäumen am Horizont verschwand und das Signal immer schwächer wurde, habe ich 32 Spektren integriert. Damit konnte das von Natur aus schlechter werdende SNR wieder um Faktoren verbessert werden.

Die Antenne wurde während der gesamten Beobachtungsdauer automatisch computergesteuert dem Mond nachgeführt. Zum Glück war der Antennenöffnungswinkel von etwa 1.6 Grad deutlich grösser als die Summe aus Monddurchmesser und Bahndurchmesser des Raumfahrzeuges. Es währe nämlich zu aufwändig gewesen, die Antenne dem Raumfahrzeug nachzuführen als eben nur dem Mond selbst. Wie konnte ich nun beweisen, dass das empfangene Signal wirklich von SMART-1 stammte und nicht irgendeine lokale elektronische Störung war? Dies war sehr einfach, indem ich von Zeit zu Zeit das Teleskop ein bis zwei Grad vom Mond wegbewegte und feststellte, dass das Signal verschwand. Umgekehrt, sobald ich das Teleskop wieder auf die aktuelle Mondposition brachte, erschien das Signal wieder laut und deutlich. Der zweite Beweis war natürlich die Korrektheit der empfangenen Frequenz von 2235.100000 +/- Dopplerverschiebung. Überraschend für mich war insbesondere die Sauberkeit des beobachteten Spektrums. Rund um das erwartete Signal war perfektes Rauschen und keinerlei Störsignale aufzunehmen, vergleiche auch Abbildung 3. Das ist eine wirkliche Rarität in der heutzutage stark durch Mobilfunk, Radio, Fernsehen, Radar, Pager etc. elektromagnetisch verseuchten Umgebung.

Nach der eigentlichen Messarbeit habe ich ein Programm WAV2FITS geschrieben, welches die gespeicherten wav-Dateien wieder in den PC einliest, erneut fouriertransformiert mit denselben Parametern wie während der Beobachtung, dann aber als FITS-Dateien erneut abspeichert. FITS-Dateien sind nämlich einfacher auszuwerten, weil es beliebig viele verschiedene Programme dafür auf dem Web zu finden gibt, Beispiel JavaViewer, siehe Abbildung 3. Ein weiterer Vorteil von FITS-Dateien besteht darin, dass auch die Achsen (Zeit und Frequenz) sowie weitere Beobachtungsparameter mitgespeichert werden können. Eine derartige FITS-Datei beschreibt also eine Messung idealerweise vollständig. Jede FITS-Datei der gesamt 4-stündigen Beobachtung wurde nun analysiert und Punktweise die Zeit sowie die zugehörige Frequenz des dopplerveschobenen Signals in eine EXCEL-Datei übertragen. Zu jedem Zeitpunkt musste noch die am Empfänger eingestellte Frequenzverschiebung von bis zu +/- 23KHz dazuaddiert werden, um die effektive Empfangsfrequenz zu erhalten. Anschliessend wurde die ermittelte gemessene Frequenz in Beziehung gesetzt zur bekannten Sendefrequenz von SMART-1 und multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit, um die Dopplergeschwindigkeit zu erhalten in Richtung Mond-Erde bzw. weg von der Erde. Der erhaltene Wert

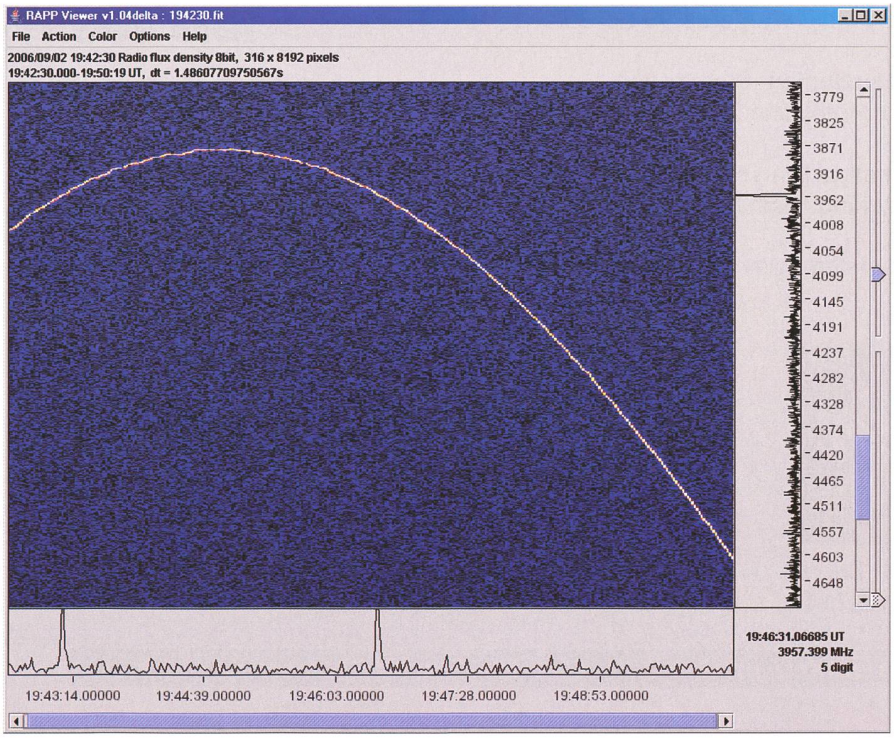

Fig. 3: Bildschirmausdruck eines Zeit-Frequenzdiagramms mit ausgeprägter Dopplerverschiebung um 19:45UT. Die x-Achse zeigt die Messzeit in UT, die y-Achse die empfangene sowie heruntergesetzte (Heterodyne-Empfänger) Signalfrequenz in Hertz. Die effektive Empfangsfrequenz ist die Summe aus dieser Audiofrequenz und der am Empfänger eingestellten Frequenz von 2235.112000MHz. Die Spektren wurden erzeugt durch Abtasten des Audiosignales mit einer PC-Soundkarte und anschliessender Fourier-Transformation der gespeicherten wav-Datei. Blau ist das Hintergrundrauschen von Teleskop und Weltall, weiss das detektierte Signal der Raumsonde SMART-1.

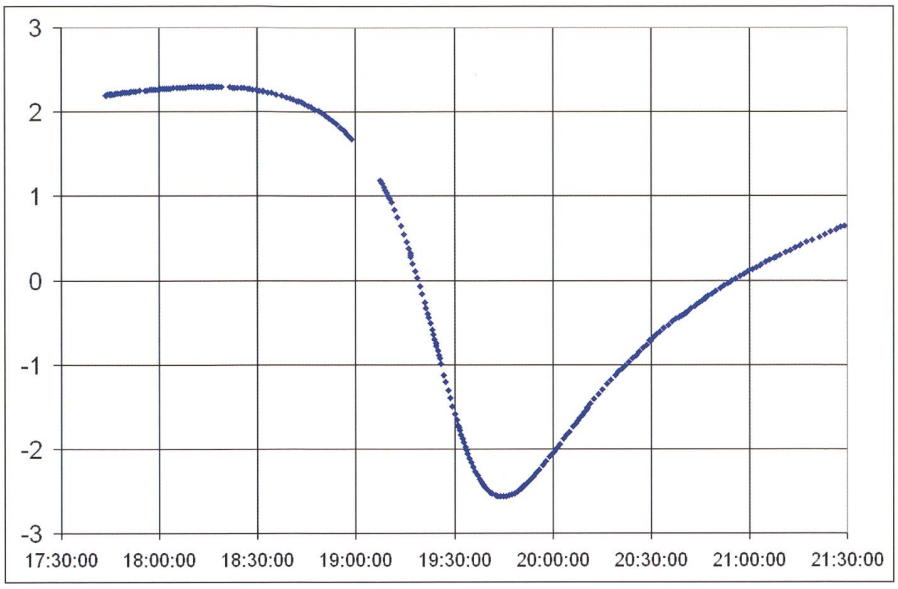

Fig. 4: Auswertung der Fourierspektren über die ganze beobachtete Zeit des 2. September. Die x-Achse beschreibt die Messzeit in UT (universal time), die y-Achse zeigt den Geschwindigkeitsanteil in Richtung Erde ausgedrückt in km/sec. Die Maximalgeschwindigkeit beträgt etwa 2.5km/sec.

Nützliche Webadressen im Zusammenhang mit dieser Beobachtung:
ESA: http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=1
ETH: http://www.astro.phys.ethz.ch/rapp/status/status_nf.html
Allgemein: http://de.wikipedia.org/wiki/SMART-1

von bis zu 2.5km/sec ist etwas grösser als der von der ESA in den Medien publizierte Wert von 2km/sec. Das kann verschiedene Ursachen haben, die es noch abzuklären gilt. Ein wunder Punkt ist sicher die mangelhafte Kalibration der Abtastfrequenz in der Soundkarte. Dieser Fehler ist derzeit noch nicht bekannt und muss noch untersucht werden.

Insgesamt war der Versuch sehr erfolgreich verlaufen, die Resultate müssen noch weiter ausgewertet werden. Es hat sich auch gezeigt, dass mit vergleichsweise wenigen Mitteln Raumsonden erfolgreich beobachtet werden können. Wenn man bedenkt, wie stark das empfange Signal war mit bis zu 30dB über dem Rauschen, so muss es möglich sein, mit viel kleineren Antennen aus dem Konsumer- oder Amateurbereich erfolgreiche Empfangsversuche durchzuführen. Das scheint mir ein ideales Betätigungsfeld zu sein für studentische Praktikumsversuche oder Übungen im Zusammenhang mit Astronomie oder im Physikunterricht.

CHRISTIAN MONSTEIN
ETHZ Institute of Astronomy
Scheuchzerstrasse 7, SEC-D3
CH-8092 Zürich

Ihr Partner für Teleskope und Zubehör

Grosse Auswahl
Zubehör, Okulare, Filter

Telradsucher
Astro-CCD-Kameras, Astro-Software

Sternatlanten, Sternkarten
Astronomische Literatur

Günstige Preise
Beratung, Heimlieferung, Service

Ausstellungsraum

MEADE
BRESSER
Tele Vue
ANTARES
AOK
Sky-Watcher
LEICA
Kowa
PENTAX
FUJINON
STARLIGHT XPRESS

Zumstein FOTO DIGITAL

Casinoplatz 8 3011 Bern
Tel. 031/3112113 Fax 031/3122714

Internet http://www.zumstein-foto.ch E-Mail astro@zumstein-foto.ch