



Asamblea General

Distr.: General
25 de febrero de 1999
ESPAÑOL
Original: Inglés

Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Investigaciones nacionales sobre la cuestión de los desechos espaciales, seguridad de los satélites alimentados por energía nuclear y problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales

Nota de la Secretaría

Adición

Índice

	<i>Párrafos</i>	<i>Página</i>
I. Introducción	1-2	2
II. Respuestas recibidas de los Estados Miembros	1-32	2
Alemania	1-32	2

I. Introducción

1. El Secretario General, por nota verbal de fecha 17 de julio de 1998, invitó a todos los Estados Miembros a que proporcionaran información acerca de las investigaciones nacionales sobre los desechos espaciales, la seguridad de los satélites alimentados por energía nuclear y los problemas de la colisión de las fuentes de energía nuclear con los desechos espaciales.
2. El presente documento contiene la información proporcionada en las respuestas de los Estados Miembros que se recibieron entre el 30 de enero y el 23 de febrero de 1999.

II. Respuestas recibidas de los Estados Miembros*

Alemania

[Original: Inglés]

1. Alemania sigue firmemente empeñada en la realización de investigaciones sobre los desechos espaciales. Las actividades se realizan con financiación nacional o en virtud de contratos con el Centro Europeo de Investigaciones y Tecnología Espaciales y el Centro Europeo de Operaciones Espaciales (ESOC) de la Agencia Espacial Europea (ESA), que se financia con contribuciones de sus Estados miembros; la contribución de Alemania representa alrededor del 25%. Estas actividades relacionadas con los desechos espaciales en Alemania se concentran en el Instituto de Mecánica de Vuelo y Tecnología de los Vuelos Espaciales de la Universidad Técnica de Braunschweig (IFR/TUBS) y el Instituto de Investigación en Ciencias Aplicadas de Wachtberg-Werthhoven (FGAN). Se realizan también otras actividades de investigación, por ejemplo, en la industria espacial alemana.
2. Las secciones siguientes del presente informe, por lo tanto, se han organizado con arreglo a esa estructura; abarcan actividades de investigación relacionadas con los desechos espaciales sobre preparación de modelos, observaciones de radar y análisis de datos, así como otras actividades de investigación relacionadas con los desechos espaciales.
3. En el informe se describen las actividades realizadas desde la presentación del informe anterior (véase A/AC.105/680/Add.1, de 2 de febrero de 1998). Durante ese período, el Centro Espacial Alemán (DLR) organizó un seminario sobre la revisión de la estrategia nacional para los desechos espaciales, que se realizó el 22 de octubre de 1998. Las características principales de esta nueva estrategia son:
 - a) Coordinación de las actividades relacionadas con los desechos espaciales de las comunidades industrial y científica alemanas y de las actividades del DLR;
 - b) Elaboración de una contribución autónoma para una estrategia europea integrada sobre los desechos espaciales en la ESA, incluidas las entidades disponibles en Alemania;
 - c) Desarrollo de capacidad para realizar análisis de riesgos que afecten a intereses nacionales;
 - d) Elaboración de propuestas y recomendaciones para evitar o mitigar la creación de desechos;

* Las respuestas se reproducen en la forma en que se recibieron.

e) Diseño de metodologías de vigilancia para proyectos con financiación o subvenciones nacionales o gubernamentales orientados a evitar la generación de desechos, así como para asegurar el cumplimiento de los requisitos y los reglamentos internacionales;

f) Colaboración del DLR en la formulación de reglamentos y acuerdos internacionales, incluida la representación de los intereses de Alemania en comités internacionales (como el Comité de Coordinación de los Desechos Espaciales de la ESA, el Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos Espaciales (IADC) y la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos).

4. La estrategia nacional se presentó en la reunión anual del IADC. En la reunión participó una delegación encabezada por el DLR e integrada por cinco representantes de diversas instituciones de Alemania. Un experto de FGAN preside actualmente el Grupo de Trabajo 1 (Mediciones).

5. Alemania apoya enérgicamente las actividades de las Subcomisiones de Asuntos Científicos y Técnicos y de Asuntos Jurídicos de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos que tienen por objeto finalizar el informe que contiene los resultados del plan de trabajo plurianual sobre desechos espaciales. El informe debe ser aprobado en el período de sesiones de 1999 de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos para su presentación a la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (UNISPACE III), a la conferencia intergubernamental y al Foro Técnico. La delegación de Alemania a UNISPACE III, y también los expertos alemanes que asistan al Foro Técnico, estarán dispuestos a contribuir activamente al examen del informe y a las ulteriores deliberaciones sobre nuevos exámenes de la cuestión de los desechos espaciales en la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos.

1. Actividades de investigación para la preparación de modelos sobre desechos espaciales

6. En 1998, el IFR/TUBS trabajó principalmente en dos estudios en marcha para la ESA relacionados con los desechos espaciales. Ambos estudios se concentraron en el Modelo de Referencia Terrestre de Meteoroides y Desechos Espaciales (MASTER) de la ESA.

a) Perfeccionamiento del modelo MASTER

7. Como se señaló en el documento anterior (véase A/AC.105/680/Add.1), el modelo MASTER de la ESA¹ es objeto de actualización respecto de los desechos no provenientes de fragmentación hasta un tamaño de 1 mm. Esta actualización es necesario debido a que diversas mediciones y observaciones indican que los desechos artificiales no provienen exclusivamente de procesos de fragmentación. Los residuos más grandes del encendido de motores de cohetes de combustible sólido, la denominada “escoria”, así como las pequeñas gotas de refrigerante (sodio-potasio (NaK)) liberadas de los reactores nucleares agotados² en el espacio han sido detectados por instalaciones terrestres de radar³. El tamaño de estos objetos varía entre más de unos 5 mm. hasta varios centímetros de diámetro. Según el espectro de inclinación de los objetos detectados y las densidades espaciales conexas se puede esperar una contribución sustancial de estas fuentes. En la gama de tamaños más pequeños, se considera que los productos de emisión más pequeños provenientes del encendido de motores de cohetes de combustible sólido y las partículas generadas por la degradación de las superficies, así como por eyecciones⁴ resultantes del impacto de pequeños objetos primarios, contribuyen al entorno de desechos artificiales de pequeño tamaño.

8. La sección sobre meteoritos de fondo del modelo MASTER, que originalmente se basó en el enfoque Divine/Staubach, se ha vuelto a diseñar y se la ha suplementado con un modelo de corriente de meteoritos^{5, 6}. En el gráfico 1 se indican las mejoras generales del modelo en términos de la fuente de los desechos y la gama de tamaños consideradas.

Gráfico 1

Perspectiva general de la actualización del modelo MASTER y de las fuentes de desechos no provenientes de fragmentación que se examinaron

9. Según la estructura del modelo MASTER, las fuentes distintas de la fragmentación se han definido utilizando una resolución espacial elevada desde 200 km de altitud (órbita terrestre baja (LEO)) hasta la región de la órbita geosincrónica (GEO). Durante la etapa de desarrollo del modelo, todas las fuentes se trataron con un enfoque semideterminista. De esta forma se generaron objetos individuales, que se describen como un conjunto de elementos en órbita clasificados por época de generación y por masa y tamaño. En la etapa siguiente del proceso, todos los objetos se extrapolaron a una época común, la denominada “época de referencia”. El modelo se publicará oficialmente en el último trimestre de 1999.

10. Una consecuencia de la extensión del MASTER es una mayor complejidad del programa y, por lo tanto, también una mayor demanda de adquisición de datos de entrada y de visualización de datos de salida. El resultado es que el MASTER está pasando de ser un programa de línea de comando a ser una aplicación de avanzada operada con sistema de menú.

11. Se está desarrollando una interfaz gráfica para los usuarios, que proporciona un marco para los datos binarios del MASTER. El usuario se comunicará sólo a través de esta interfaz

y los datos binarios del MASTER se procesarán en el fondo. La interfaz del MASTER ofrece los siguientes servicios (véase el ejemplo en el gráfico 2):

- a) Una interfaz ergonómica e intuitiva para pasar todos los datos de entrada necesarios a las aplicaciones MASTER;
- b) Ejecución del modelo MASTER (aplicación analítica y técnica);
- c) Presentación y distribución gráficas de los resultados del modelo MASTER en pantalla o en dispositivos de impresión;
- d) Ayuda en línea para el usuario.

Gráfico 2

Interfaz gráfica del usuario de MASTER

b) Extensión del modelo MASTER para predecir detecciones de desechos

12. El objetivo principal del estudio es el desarrollo y la aplicación de un programa informático modular para la predicción de tasas recíprocas y características de detección estadística de objetos por debajo del umbral del Catálogo de Satélites de la Comandancia Espacial de los Estados Unidos (USSPACECOM) y para la predicción de tiempos de adquisición y característica de paso de objetos del Catálogo determinista. Se podrán hacer predicción para sistemas de observación tanto ópticos como de radar con limitaciones de sistema afines, así como para instalaciones terrestres y espaciales. Los métodos matemáticos

(para análisis estadísticos y deterministas) dieron lugar a tasas recíprocas o predicción de adquisiciones para un campo visual de sensor determinado (y pantallas de alcance/tasa de alcance en el caso de los sistemas de radar). Sobre la base del modelo de funcionamiento del sistema específico del sensor, las tasas recíprocas se transforman luego en tasas de detección y en umbrales de tamaño de detección para un nivel de probabilidad determinado, suponiendo forma, material y propiedades superficiales predefinidas de los objetos blanco.

13. El sistema resultante, el Programa de pronóstico de observaciones ópticas y de radar (PROOF), es sumamente modular. Incluye interfaces con la población del modelo MASTER actualizado (para análisis estadísticos) y con un archivo del Catálogo en una fecha determinada (para análisis deterministas, con datos en formato de dos líneas y entradas únicas para cada objeto). El sistema informático tiene capacidad para verificar contribuciones individuales a la población del modelo MASTER (por ejemplo, pequeñas gotas de NaK) en relación con datos de mediciones existentes (por ejemplo, Haystack o COBEAM). El programa permite también prestar asistencia en la planificación de sistemas de observación y campañas.

14. El programa PROOF, que examina:

- a) Todas las fuentes conocidas de partículas con objetos de diámetro superior a 1 μm (el entorno definido por la población del MASTER actualizado, y por el Catálogo de la USSPACECOM en el caso de objetos de tamaño más grande);
- b) Altitudes entre 150 km (sub LEO) y 38.000 km (super GEO);
- c) Sistemas ópticos y de radar, tanto terrestres como en el espacio;

será publicado oficialmente en el último trimestre de 1999.

2. Observaciones de radar y análisis de datos de desechos espaciales y meteoritos

15. En 1998, las actividades relacionadas con los desechos espaciales y los meteoritos en el Instituto de Investigación de Física de Alta Frecuencia (FHP) del FGAN se realizaron principalmente en el marco de tres contratos de estudio ESA/ESOC:

- a) Técnicas de radar avanzadas para la observación de desechos espaciales (febrero de 1995-septiembre de 1998);
- b) Rastreo cooperativo de desechos (abril de 1997-julio de 1998);
- c) Desarrollo de algoritmos para la detección de desechos de tamaño medio con radar (abril de 1997-julio de 1999);

16. Los objetivos principales de estas actividades son:

- a) Investigación de técnicas mejoradas de observación de desechos y reunión de datos;
- b) Desarrollo y aplicación de técnicas eficientes y sumamente automatizadas, y de algoritmos para procesamiento de datos, detección de desechos y meteoritos y análisis;
- c) Apoyo para establecer una interfaz singular y claramente definida entre los resultados de las mediciones y las predicciones de los modelos.

a) **Observaciones con radar y análisis de datos de meteoritos**

17. Las evaluaciones de sensibilidad revelaron que el Radar de Seguimiento y Obtención de Imágenes (TIRA) de banda L tiene actualmente capacidad para detectar esferas de 2 cm en la faja de 1.000 km, utilizando estrategias de detección óptimas y teniendo en cuenta todas

las modificaciones y mejoras en el procesamiento de las señales y el equipo propuestas y ejecutadas en el marco de los contratos de estudios de la ESA^{7, 8, 9}.

18. El sistema TIRA del FGAN-FHP se utiliza principalmente para investigar técnicas y métodos de clasificación e identificación de naves espaciales y aeronaves. En cierta medida, el sistema TIRA se utiliza también para detectar meteoritos, observar sus colas de ionización y determinar su flujo. Estas colas tienen una longitud de unos 10 km y están situadas a unos 100 km de la superficie. El conocimiento de sus flujos es necesario para evaluar el riesgo para los satélites operacionales que puede plantear una gran corriente de actividades de la lluvia de meteoritos de Leonid prevista para el 17 de noviembre de 1999; la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América predice un aumento en el flujo de fondo por un factor de 10.000-30.000. El angosto haz de la antena del sistema TIRA separa de la corriente un flujo comparativamente pequeño de meteoritos. Por lo tanto, habrá que tener capacidad para detectar aún los meteoritos muy pequeños, que son más numerosos que los más grandes, para lograr un número estadísticamente significativo de detecciones durante el tiempo de medición. En 1997 fracasó un intento de observar los meteoritos de Leonid dirigiendo la antena en forma perpendicular a la corriente¹⁰. Los meteoritos de tamaño tan pequeño como los que se necesitan causan colas de ionización de baja densidad de electrones en las que penetran la ondas de entrada. Como las colas de ionización tienen un radio inicial de varias longitudes de onda para el TIRA, las ondas reflejadas por electrones únicos son canceladas en gran medida por la interferencia¹¹. Esta es la razón de que los radares que usan longitudes de ondas cortas como el TIRA pierdan los meteoritos pequeños requeridos, aun si se utiliza una antena reflector grande de 34 m de diámetros y una alta potencia de transmisión de 1,5 MW.

19. En 1998, uno de los objetivos principales fue desarrollar una modalidad de observación alternativa. Esto se realizó en el marco del contrato de estudio ESA/ESOC sobre el desarrollo de algoritmos para la detección con radar de desechos de tamaño medio (abril de 1997-julio de 1999).

i) *Observación del flujo de meteoritos*

20. Como alternativa a una visión perpendicular de la corriente de meteoritos, en 1998 se estudió la posibilidad de una visión en la dirección de la corriente. También en este caso, la antena se mueve para compensar la rotación de la Tierra. Se demostró en teoría¹² que las partículas que producían una densidad de línea de electrones de $1.74 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$, correspondiente a una masa muy pequeña de aproximadamente 3 μg , se podían detectar a una distancia de 100 km, que es suficiente para producir una tasa horaria razonable separada por el haz del radar, aun cuando el corte vertical es más pequeño que en la modalidad de operación perpendicular. Los algoritmos de detección fueron objeto de mejoras y de una mayor automatización.

ii) *Resultados de las mediciones*

21. A raíz de la experiencia negativa de las observaciones de los meteoritos de Leonid hechas en 1997, el 12 y 13 de agosto se ensayó durante 15 horas la teoría de la visión en la dirección de la corriente mediante una campaña de mediciones para el máximo anual pronosticado de la lluvia de meteoritos Perseid. El número de detecciones concordó con el número pronosticado de la tasa horaria medida por otros observadores y en base a consideraciones geométricas, y confirmó la teoría. Alentados por estos resultados, los investigadores realizaron una nueva campaña de medición de la lluvia de meteoritos de Leonid los días 17 y 18 de noviembre durante unas 12 horas. En razón de las predicciones

incorrectas del tiempo del flujo máximo, el número de detecciones fue inferior al previsto. En el gráfico 3 se muestran 4 de los 5 últimos ecos de una detección de un total de 17 pulsaciones consecutivas de la campaña de medición de meteoritos de Perseid. Los valores absolutos de las muestras de señales recibidas se trazan para cada impulso en relación con el número de la muestra para un intervalo de muestreo de 2 μ s. Se utilizaron una longitud de impulso de 500 μ s y una repetición de impulsos de 13,75 ms. Evidentemente, las interferencias se produjeron poco antes de la extinción.

Gráfico 3

Ecos de radar de cuatro impulsos consecuentes

b) Técnicas de radar para análisis de fragmentación y de daños de desechos espaciales más grandes

22. El sistema TIRA se ha utilizado para facilitar el análisis del problema cuando se producen eventos inesperados, como la colisión de desechos con un satélite operacional que provoca fragmentación y daños. En el marco de los contratos de estudio se realizaron observaciones con el radar de obtención de imágenes de banda L y banda Ku y los resultados

de los análisis se están utilizando para apoyar el examen de las causas y la magnitud de los daños. Como ejemplos de actividades en 1998 se puede citar la observación y el análisis del satélite avanzado de observación de la Tierra (ADEOS), lanzado por el Organismo Nacional de Actividades Espaciales del Japón en 1996. El satélite, que tuvo un presupuesto de unos 1.000 millones de dólares de los Estados Unidos, se diseñó para una vida útil de más de 3 años. Sin embargo, debido a un desperfecto del sistema de alimentación de energía, el ADEOS está fuera de servicio desde el 30 de junio de 1997.

23. En virtud del contrato relacionado con las técnicas de radar avanzadas para la observación de desechos espaciales, ESA pidió al FGAN que midiera y analizara varias pasadas del ADEOS con su sistema TIRA. Para examinar las causas del desperfecto se calcularon una serie de imágenes de radar con una resolución de 25 cm. En los gráficos 4 y 5 se dan ejemplos de las imágenes de radar calculadas. Esas imágenes muestran claramente el cuerpo principal del ADEOS con una dimensión aproximada de 4 m x 4 m x 7 m. El dispersímetro montado por la NASA, una característica del ADEOS, también es visible. Todas las imágenes de radar muestran también varios dispersantes al final del brazo del panel solar. El panel solar tiene una longitud de 24 m, una anchura de 3 m y un espesor de sólo 0,5 m. Está fijado al brazo por rigidizadores de fibra de carbono, que también deberían ser visibles en las imágenes de radar. La falta de esos centros de dispersadores en las imágenes, junto con el número de dispersadores observados al final del brazo hacen suponer que el panel solar ya no está fijado al brazo, sino que se ha desplazado hacia su extremo. Este supuesto está apoyado por información del Organismo Nacional de Actividades Espaciales (los sensores en el panel solar registraron aumentos de la temperatura y vibraciones).

Gráfico 4

Imagen de radar del satélite avanzado de observación de la Tierra

Gráfico 5

Movimiento intrínseco del satélite avanzado de observación de la Tierra

24. Para estudiar el movimiento intrínseco del ADEOS se desarrolló un modelo tridimensional sencillo de la retícula. Se determinó que el ADEOS tiene un período de rotación de más de 800 segundos alrededor del brazo y un período de rotación de más de una hora alrededor del cuerpo principal.

c) **Participación en la campaña de ensayo para verificar la funcionalidad de la base de datos de reingreso del Comité Interinstitucional de Coordinación en materia de Desechos**

25. En los últimos años, el FGAN desarrolló técnicas de radar y métodos de análisis para observar el reingreso de objetos espaciales de alto riesgo. El objetivo era proporcionar al Ministerio Federal del Interior de Alemania predicciones fidedignas de las ventanas de reingreso (tiempo y trayectoria terrestre), estimaciones de la altitud de un objeto y evaluaciones de riesgos. El FGAN (con financiación basada en un contrato del DRL), estaba por lo tanto bien calificado para participar en la campaña de ensayo, cuyo objetivo principal era verificar la funcionalidad de la base de datos de reingreso del IADC. Esta base de datos había sido desarrollada y aplicada por GMV S.A. de Madrid, en virtud de un contrato de la ESA. Como objeto del ensayo se seleccionó el satélite alemán Inspektor (objeto 25.100). El satélite fue observado en todo el mundo; a partir de conjuntos de observaciones ópticas y de radar de elementos orbitales se estimaron la vida en órbita y las ventanas de reingreso (tiempo y lugar), y estas estimaciones se almacenaron en la base de datos de reingreso con fines de comparación.

26. Entre el 27 de octubre y el 1 de noviembre de 1998, el FGAN realizó un total de 20 observaciones de radar del objeto 25.100, calculó conjuntos de elementos orbitales y estimó la vida en órbita y las ventanas de reingreso. Todos los resultados fueron almacenados en la base de datos de reingreso. El 1 de noviembre de 1998, a las 09.06 tiempo universal coordinado (UTC), se realizó la última medición (la última órbita visible para el sistema TIRA) unas 12 horas antes de la desintegración. En base a esos datos se calculó una ventana de reingreso de $2138 \pm 2,1$. Un análisis posterior al evento realizado por la ESA y la NASA dio una ventana de reingreso de 1949 ± 2 horas.

3. Otras actividades de investigación relacionadas con los desechos espaciales

27. A continuación se indican algunas otras actividades de investigación relacionadas con los desechos espaciales que se realizaron en virtud de contratos de la ESA durante el período del informe, además de las mencionadas más arriba:

- a) El mejoramiento del telescopio Zeiss de 1 m (Carl Zeiss, Jena) en el Observatorio Teide de las Islas Canarias (España);
- b) Modelos de materiales avanzados para simulaciones de impactos a hipervelocidad por el Instituto Ernst-Mach (EMI) de Friburgo, para determinar los parámetros dinámicos de diversos materiales;
- c) Investigación del fenómeno de los impactos a hipervelocidad en naves presurizadas (EMI);
- d) Estudios del EMI sobre el posible reforzamiento del blindaje contra impactos en zonas muy expuestas de la Instalación Orbital Columbus (COF), módulo europeo de la Estación Espacial Internacional;
- e) Mejoramiento de la base de datos y sistema de información de la ESA para la caracterización de objetos en el espacio (DISCOS) por eta_max en Braunschweig;
- f) Modelos avanzados de desintegración de naves espaciales durante el reingreso, por Hypersonic Technology Göttingen.

28. Además de las actividades realizadas por Alemania en virtud de contratos de la ESA, las actividades con financiación nacional que se describen a continuación se centraron fundamentalmente en los análisis de riesgos conexos, el estudio de los efectos de la degradación y las contribuciones al IADC.

29. EMI está investigando el daño causado por el impacto de micrometeoritos y partículas de desechos en los espejos de orientación de grano grueso de las terminales de comunicaciones en órbita con altitudes de 700 km y 1.400 km y una inclinación de 48° E. Se calculó el grado máximo de daño para estas órbitas, así como la probabilidad de destrucción total por el impacto de una partícula solitaria.

30. En la Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule de Aquisgrán, se están realizando ensayos de referencia de varios códigos de computadora existentes para análisis de riesgos. Además, se está preparando el establecimiento de un servidor para reunir y distribuir resultados de ensayos, programas de computadora y fórmulas de diseño. Esta labor es una contribución al Grupo de Trabajo 3 (Protección) del IADC.

31. El DLR ha organizado un seminario nacional para informar a los que trabajan en la esfera de los desechos espaciales sobre la estrategia nacional, los eventos a corto plazo (como el reingreso de la estación espacial Mir y las lluvias de meteoritos de Leonid), la situación de la labor relativa al Manual de la ESA sobre mitigación de los desechos espaciales, la labor de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos y la labor del IADC. Un representante de la reaseguradora Bayerische Rück ofreció un panorama general e información básica sobre los seguros y reaseguros en el sector comercial del espacio.

32. Alemania es miembro del IADC, donde está representada por el DLR, que aporta contribuciones permanentemente al Comité de Coordinación en forma de intercambio de información, preparación de actividades en los grupos de trabajo y coordinación de la delegación alemana. El DLR ha tomado la iniciativa de establecer una página del IADC en la Internet. La delegación alemana a la 16a. Reunión del IADC, celebrada en Toulouse del 3 al 6 de noviembre de 1998, consistió de cinco delegados, uno de los cuales preside el Grupo de Trabajo 1 (Mediciones). El documento de posición del DLR sobre desechos espaciales, en el que se describe la estrategia nacional mencionada más arriba, también se presentó a la Reunión.

Notas

- ¹ J. Bendisch and others, "The consideration of non-fragmentation debris in the MASTER Model", paper presented at the forty-ninth Congress of the International Academy of Astronautics, held in Melbourne, Australia, in 1998 (IAA.6.3.04).
- ² C. Wiedemann and others, "Debris modelling of liquid metal droplets released by RORSATs", paper presented at the forty-ninth Congress of the International Academy of Astronautics, held in Melbourne, Australia, in 1998 (IAA.6.3.03).
- ³ T. J. Settecerci, E. G. Stansbery and M. J. Matney, "Haystack measurements of the orbital debris environment", paper presented to the thirty-second Scientific Assembly of the Committee on Space Research, held at Nagoya, Japan, in 1998 (to be published).
- ⁴ J. C. Mandeville and M. Rival, "Review and selection of a model for ejecta characterization", Technical Report 452200/01 under European Space Technology Research Centre contract (Toulouse, Centre d'études et de recherche de Toulouse/Office national d'études et de recherche aérospatiales, 1996).
- ⁵ N. Divine, "Five populations of interplanetary meteoroids", *Journal of Geophysical Research*, vol. 98 (1993), pp. 17,029-17,048.
- ⁶ P. Staubach, "Numerische modellierung von Mikrometeoriden und ihre Bedeutung für interplanetare raumsonden und geozentrische Satelliten", thesis presented at the University of Heidelberg, Germany, April 1996.
- ⁷ L. Leushacke and others, "Radar detection of mid-size space debris", final report No. 6-94, ESA/ESOC contract No. 10182/92/D/IM (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, November 1994).
- ⁸ L. Leushacke, "First FGAN/MPIfR Cooperative Debris Observation Campaign: experiment outline and first results", *Proceedings of the Second European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 17-19 March 1997* (ESA SP-393).
- ⁹ L. Leushacke, "Mid-size space debris measurements with the TIRA system", *Proceedings of the Forty-eighth International Astronautical Congress, Turin, 1997*.
- ¹⁰ J. Rosebrock, "Beobachtung des Leonidenstroms 1997", *FGAN-FHP Jahresbericht 1997* (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, 1997), pp. 87-92.
- ¹¹ D. W. R. McKinley, *Meteor Science and Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1961, p. 233.
- ¹² J. Rosebrock, "Radarreflexionen an unterkritischen Ionisationsschläuchen von Meteoriten bei Sicht in den Radianten", *FGAN-FHP Jahresbericht 1998* (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, 1998).