A

الأمم المتحدة

Distr.
GENERAL

A/AC.105/680/Add.1
2 February 1998
ARABIC
ORIGINAL: ENGLISH

الجمعية العامة

لجنة استخدام الفضاء الخارجي
في الأغراض السلمية

البحوث الوطنية المتعلقة بالحطام الفضائي

أمان السواتل العامل بوقود نووي

مشاكل اصطدام مصادر القوى النووية بالحطام الفضائي

مذكرة من الأمانة العامة

اضافة

١ - وجّه الأمين العام في ٧ آب/أغسطس ١٩٩٧ مذكرة شفوية الى جميع الدول الأعضاء يدعوها فيها الى تقديم عن البحوث الوطنية المتعلقة بالحطام الفضائي وأمان السواتل العاملة بوقود نووية ومشاكل اصطدام مصادر القوى النووية بالحطام الفضائي .

٢ - وتتضمن هذه الوثيقة المعلومات الواردة في الردود المتلقاة من الدول الأعضاء في الفترة بين ١ كانون الأول/ديسمبر ١٩٩٧ و ٣٠ كانون الثاني/يناير ١٩٩٨ .

المحتويات

الصفحة

الردود المتلقاة من الدول الأعضاء ٢

ألمانيا ٢

V.98-50631

الردود المتلقاة من الدول الأعضاء

ألمانيا

[الأصل : بالانكليزية]

واصلت ألمانيا مساهمتها في الأعمال المضطلع بها في اطار لجنة الأمم المتحدة لاستخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية بشأن الحطام الفضائي من خلال إعداد تقريرها عن الأنشطة التي اضطلعت بها في عام ١٩٩٦ ، الوارد في الوثيقة A/AC.105/659/Add.1 المؤرخة ٦ شباط/فبراير ١٩٩٧ ، وعرض عن الحطام الفضائي قدم أثناء دورة اللجنة الفرعية العلمية والتقنية لعام ١٩٩٧ .

وأصبحت وكالة الفضاء الألمانية (دارا) عضوا كاملا في لجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات لشؤون الحطام الفضائي (يادك) أثناء دورتها المعقودة في دارمشتات في آذار/مارس ١٩٩٧ . وقد انتقلت تلك العضوية الى المركز الألمانية لشؤون الفضاء الجوي ، الذي أنشئ في تشرين الأول/أكتوبر ١٩٩٧ باندماج وكالة "دارا" مع المؤسسة الألمانية لبحوث الفضاء الجوي . وعقد اجتماع "يادك" الرابع عشر يومي ٢٠ و ٢١ آذار/مارس ١٩٩٧ جنبا الى جنب مع المؤتمر الأوروبي الثاني المعني بالحطام الفضائي ، الذي نظمه المركز الأوروبي للعمليات الفضائية (الإيسوك) ، الذي شاركت في رعايته وكالة الفضاء الألمانية .[١] وشارك في ذلك المؤتمر عدد كبير من العلماء والخبراء القانونيين الألمان . وعقد اجتماع "يادك" الخامس عشر من ٩ الى ١٢ كانون الأول/ديسمبر ١٩٩٧ في هيوستون ، تكساس ، الولايات المتحدة الأمريكية . وحضر اجتماعي "يادك" المذكورين وفد ألماني أسهم في أعمال الأفرقة العاملة الأربعة : الفريق المعني بالقياسات ، والمعني بقاعدة البيانات البيئية ، والمعني بالبيئة ، والمعني بالتخفيف .

وحسبما ذكر في التقارير السابقة ، يضطلع بالأنشطة البحثية الألمانية المتعلقة بالحطام بتمويل وطني أو تمويل في اطار عقود مع المركز الأوروبي لبحوث تكنولوجيا الفضاء (إيستك) ومركز الإيسوك التابع لوكالة الفضاء الأوروبية (الإيسا) . وتتركز الأنشطة البحثية أساسا في : (أ) معهد ميكانيكا الطيران وتكنولوجيا التحليق الفضائي ، التابع لجامعة براونشفايغ التقنية (IFR/TUBS) ؛ و (ب) المؤسسة البحثية للعلوم التطبيقية في فاختبرغ - فيرتهوفن (FGAN) . ويرد في الفرعين ألف وباء أدناه عرض للنتائج الرئيسية لبحوث هاتين المؤسستين أثناء عام ١٩٩٧ ؛ أما الفرع جيم فيتضمن أنشطة بحثية اضافية اضطلعت بها معاهد ومؤسسات صناعية ألمانية .

ألف - نمذجة الحطام الفضائي وتخفيفه

كانت البحوث المتعلقة بنمذجة الحطام الفضائي في عام ١٩٩٧ ، مثلما كانت في الماضي ، أحد الجوانب الرئيسية لعمل معهد ميكانيكا الطيران وتكنولوجيا التحليق الفضائي بجامعة براونشفايغ .

وفي وكالة الفضاء الألمانية/المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي ، ثمة دراسة توشك على الانتهاء بشأن الجوانب الفعلية لمناقشة مشكلة الحطام الفضائي وتشمل مثلا مصادر اضافية للحطام الفضائي (قطيرات رورسات ، الجسيمات الناشئة عن تحلل السطح ، غبار/خبث أوكسيد الأولومينيوم (Al_2O_3) الناشئ عن تهدبات المحركات الصاروخية ذات الوقود الصلب) أو المباعدة الدنيا اللازمة بين مدار الدفق والمدار المتزامن مع الأرض .

وقام معهد ميكانيكا الطيران وتكنولوجيا التحليق الفضائي بجامعة براونشفايغ أيضا بوضع الإصدار لنموذج الحطام الفضائي ("ماستر") الخاص بالإيسا ، والذي يضم الآن خيارا لتقييم تدفق النيازك الطبيعية . وهذا النموذج متاح حاليا عن طريق الإيسا/الإيسوك بصيغته القائمة في أيار/مايو ١٩٩٧ . ويقوم المعهد أيضا ، منذ آب/أغسطس ١٩٩٧ ، باجراء بحوث حول عدة جوانب تحسين سيجري ادخالها على نموذج "ماستر" قبل الاصدار التالي ، المتوقع في عام ١٩٩٩ .

والى جانب هذا العمل ، يقوم المعهد ، بتكليف من الإيسا ، بإعداد دليل أوروبي للحطام الفضائي يتناول الجوانب العلمية والتقنية لتقييم الحطام الفضائي وتخفيفه .

١ - مجموعة المصادر الاضافية لنمذجة الحطام الفضائي

نظرا لوجود دلائل قوية على أن هناك مصادر أخرى ، الى جانب حوادث الانفجار والاصطدام ، تسهم بقدر ملحوظ في تدفق الحطام على هدف ما في مدار أرضي ، جرت دراسة العديد من الآليات الممكنة لانطلاق أجسام الحطام في المدار . ويعتقد في الوقت الحاضر أن المصادر المرجحة للحطام هي :

(أ) قطيرات سائل التبريد الفلزي المكون من الصوديوم والبوتاسيوم (NaK) المتأتية من قلوب المفاعلات النووية التي جرى تصريفها في مدارات تخزين على ارتفاع ٩٥٠ كم ؛

(ب) خبث أوكسيد الأولومينيوم والجسيمات الدقيقة المتأتية من تهدبات المحركات الصاروخية ذات الوقود الصلب ؛

(ج) الجسيمات المتأتية من تحلل السطح بسبب تأثيرات الأوكسيجين الذري ، بالاقتران مع الاشعاع فوق البنفسجي الأقصى المتصل بالتهشيش والحولقة الحرارية .

ومن هذه المصادر ، لا يحظى بقدر من الأهمية من حيث الشلشلة الاصطدامية سوى جسيمات سائل التبريد والأجزاء الكبيرة من جسيمات أوكسيد الألومينيوم ، المسماة بالخبث . أما حبيبات أكسيد الألومينيوم الغبارية ذات المقاس الميكروني وكذلك الجسيمات الناشئة عن تحلل السطح فلا تسهم إلا في تدفق الحطام الصغري الذي يعتبر مسؤولا عن المفعول المذكور .

ويقوم المعهد حاليا باستحداث طرائق نمذجة لكيفية نشوء كلا المصدرين ذوي الصلة ، من أجل تقدير أثرهما في بيئة الحطام الفضائي العالمي وتطورها .

(أ) قطيرات الصوديوم - البوتاسيوم

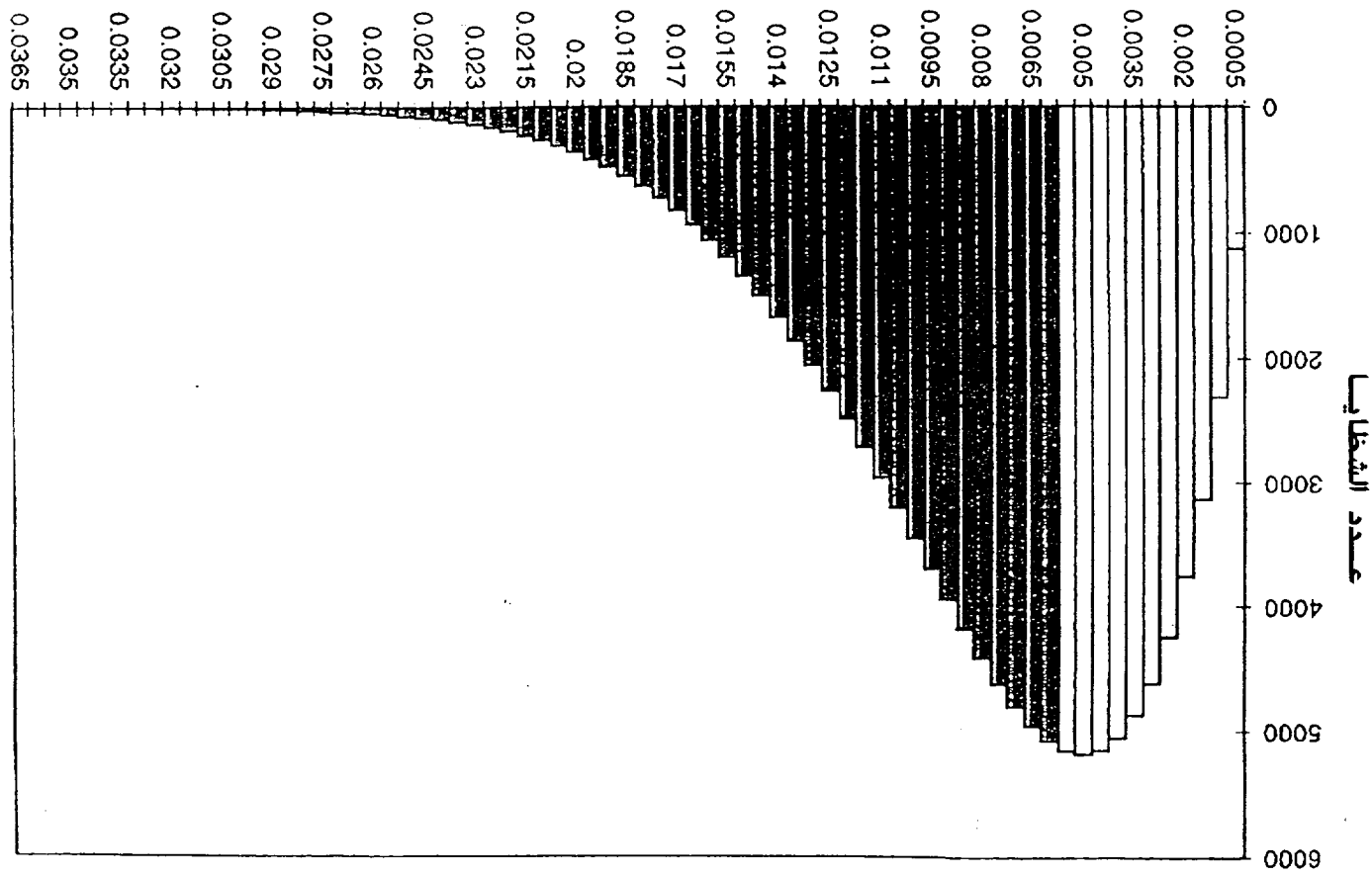
عثر على أول هذين المصدرين (وأشدهما فيما يبدو) ، وهو ما يسمى بقطيرات رورسات ، في سياق قياسات العينات برادارهيستاك . فقد اكتشف الرادار حشدا كبيرا من الأجسام في مدارات شبه دائرية بزاوية ميل قدرها ٦٥° على ارتفاع يقارب ٩٠٠ كم . وأجري فحص أشد تفصيلا لهذه الأجسام ، باستخدام مرصدي ميلستون هيل وغولدستون الراداريين وكذلك عمليات رصد بصرية ، تبين منه أن أقطارها تصل الى ٥ر٦ سم وأنها كروية الشكل وتظهر خصائص مماثلة للفلزات البراقة . ومن قياسات الاضمحلال أمكن استنتاج وجود قوام ذي كثافة تناهز ٩٠٠ كغ/م^{3} . وتمثل هذه الحقائق كلها مؤشرا على وجود قطيرات صوديوم - بوتاسيوم سائلة (NaK) خرجت من المفاعلات النووية لسواتل رورسات الروسية التي استعملت مزيج الصوديوم/البوتاسيوم (NaK) كمادة تبريد .

وتصرَّف تلك السواتل ، التي لم تعد تستعمل حاليا ، في مدار تخزين على ارتفاع ٩٥٠ كم ، أما الأجيال اللاحقة من سواتل رورسات فتلقي بقضبان وقودها من قلب المفاعل لضمان تحللها بالكامل لدى معاودتها دخول الغلاف الجوي لاحقا . ويحتمل أن يجري أثناء هذه العملية انطراح جزء كبير من سائل التبريد NaK في الفضاء . بل ان مؤثرات مثل الانفجار التكهفي داخل السيل المنطرح يمكن أن تؤدي حتى الى تكوُّن عدد غير قليل من القطيرات الصغيرة .[٢] وبسبب شدة انخفاض معدلات التبخر ، تشكل القطيرات المتكونة بهذه الصورة كريات فلزية تحتفظ بحجمها دون تغيير تقريبا طوال عمرها المداري .

والمشكلة هنا مشابهة للمشكلة التي تطرحها نمذجة التشظيات المدارية : اذ لا يمكن أن يخضع للتحقق بالقياس المباشر سوى الشريحة العليا من تشكيلة الأحجام . ومن ثم ، فان أي توزيع كتلي أو حجمي مستمد من نمذجة نظرية لعملية الطرح يظل يعاني من هامش تشكك كبير - خصوصا في هذه الحالة ، التي لا تكاد تتوفر فيها أي بيانات عن الشريحة الدنيا من تشكيلة الأحجام .

والمعطيات الأساسية لسائل التبريد NaK لا توفّر عادة الا للفواصل البارامترية التي لها بعض الأهمية في العمليات الدينامية - الحرارية ، كما أن التجارب الخاصة بدراسة مفعول ترذذ السوائل في الفراغ لم تجر حتى الآن الا على الماء . بيد أن وجود بعض أوجه التشابه بين الماء وسائل التبريد NaK ، خصوصا من حيث القوام ، الى جانب النقص العام في البيانات ، يسوغ فيما يبدو أن يؤخذ على الأقل بالخصائص الأساسية لبيانات التوزع الحجمي لقطيرة الماء في معالجة مشكلة سائل التبريد NaK . ومما يدعم هذا الافتراض بصورة اضافية أن ضغط بخار سائل NaK الساخن (٧٥٣° ك) يساوي ضغط بخار الماء في درجة حرارة الغرفة (٢٩٣° ك) .

الشكل ١ - التوزع الحجمي الاجمالي لقطيرات NaK حسبما نمذجت لمجموعة سواتل رورسات على ارتفاع يفوق ٨٠٠ كم



ومن هذا المنطلق ، تم اختيار توزع وايبول ، الذي جرت مواءمته ليناسب نقاط البيانات المقيسة بالرادار والفحص البصري من ناحية والكتلة الكلية من ناحية أخرى . ويمتاز هذا النهج على النماذج التي تستخدم قانونا أسيا للتوزع في أن تقديره لعدد الجسيمات الدقيقة المتولدة من تلك الحوادث أكثر

تحفظا . ويبدو أن هذا النهج معقول ، خصوصا بالنظر الى أن التبخر المداري يكون أكثر فاعلية في حالة القطيرات الدقيقة منه في حالة القطرات الكبيرة ، مما يعني أن القطيرات الدقيقة ستختفي في نهاية الأمر .

وعلى الرغم من هذه الافتراضات المتحفظة جدا ، يبلغ العدد الاجمالي للأجسام الناشئة عن سائل التبريد زهاء ٠٠٠ ١١٥ جسم في حوادث رورسات الخمس عشرة ضمن نطاق مدار التخزين الواقع على ارتفاع ٩٥٠ كم ، باستثناء الساتل C1900 الذي وصل الى مدار تخزين على ارتفاع ٧٥٠ كم فحسب . وتبلغ الكتلة الكلية زهاء ٥٤ كغ .

(ب) الخبث الألومينيومي المتأتي من المحركات الصاروخية ذات الوقود الصلب

المصدر الثاني لتكون الأجسام التي لها تأثير ذو شأن على بيئة الحطام هو التهدبات المدارية للمحركات الصاروخية ذات الوقود الصلب التي تستخدم في مناورات توضيع السواتل على المدار الانتقالي الى المدار الثابت بالنسبة للأرض أو على المدار الثابت بالنسبة للأرض .

ومع أن انطراح جسيمات أكسيد الألومينيوم (Al_2O_3) ذات الحجم الميكروني في سياق تهدبات المحركات الصاروخية ذات الوقود الصلب هو حقيقة معروفة يمكن استخلاصها بسهولة من ضخامة عدد الاضافات الألومينيومية في الشحنة ، فان انطراح أجسام خبيثة كبيرة نسبيا في مرحلة الاحتراق الكلي لم يكتشف الا مؤخرا . ومن ثم ، فالمشكلة الرئيسية في نمذجة عملية تكون خبث أكسيد الألومينيوم هذا هي عدم توفر بيانات موثوقة . اذ لا توجد حتى الآن سوى قياسات قليلة مأخوذة من التجارب الأرضية على المحركات الصاروخية ذات الوقود الصلب ومن عمليات الرصد الرادارية لأعمدة الصواريخ المعززة ذات الوقود الصلب في مركبات الاطلاق الصاعدة . كما أن البيانات المستمدة من تلك القياسات متضاربة تماما وتتغير تبعا لحجم المحرك واعتبارات الظروف المدارية .

ويقتصر التحقق من صحة الافتراضات النموذجية في المقام الأول على جزء صغير من الأجسام المتكونة التي تتجاوز عتبة الرصد الراداري البالغة زهاء ٦ مم من حيث القطر في المدار الأرضي المنخفض . ونتيجة لذلك ، لا تعطي النماذج الحالية سوى صورة تقريبية جدا لآليات تكون وانطراح الخبث الألومينيومي ، خصوصا من حيث التوزع الكتلي أو الحجمي .

ولكن بصرف النظر عن أي افتراضات نموذجية في النطاق الحجمي الأصغر ، تثبت بيانات القياس انطراح عدد هام من الأجسام الكبيرة عند كل إشعال لمحرك صاروخي ذي وقود صلب . وهذه الأجسام ، على نقيض حبيبات الغبار ، تسهم في التدفق الخلفي في نطاق حجمي يمكنه أن يلحق تلفا شديدا بهدف ما ، وقد تسهم أيضا في حدوث عملية شلشلة اصطدامية في المستقبل . ومن ثم ، يجب النظر الى الخبث الألومينيومي الناشئ عن تهدبات المحركات الصاروخية ذات الوقود الصلب في المدار كمصدر محتمل

للحطام الفضائي على أية حال . ويتعين أن تظهر التحليلات المقبلة الحد الأقصى المسموح به لتراكم جسيمات الخبث ، آخذة في الحسبان تأثير آليات غوران مثل السحب الجوي أو الضغط الاشعاعي الشمسي .

٢ - المباعدة بين المدار الثابت بالنسبة للأرض ومدار الدفن

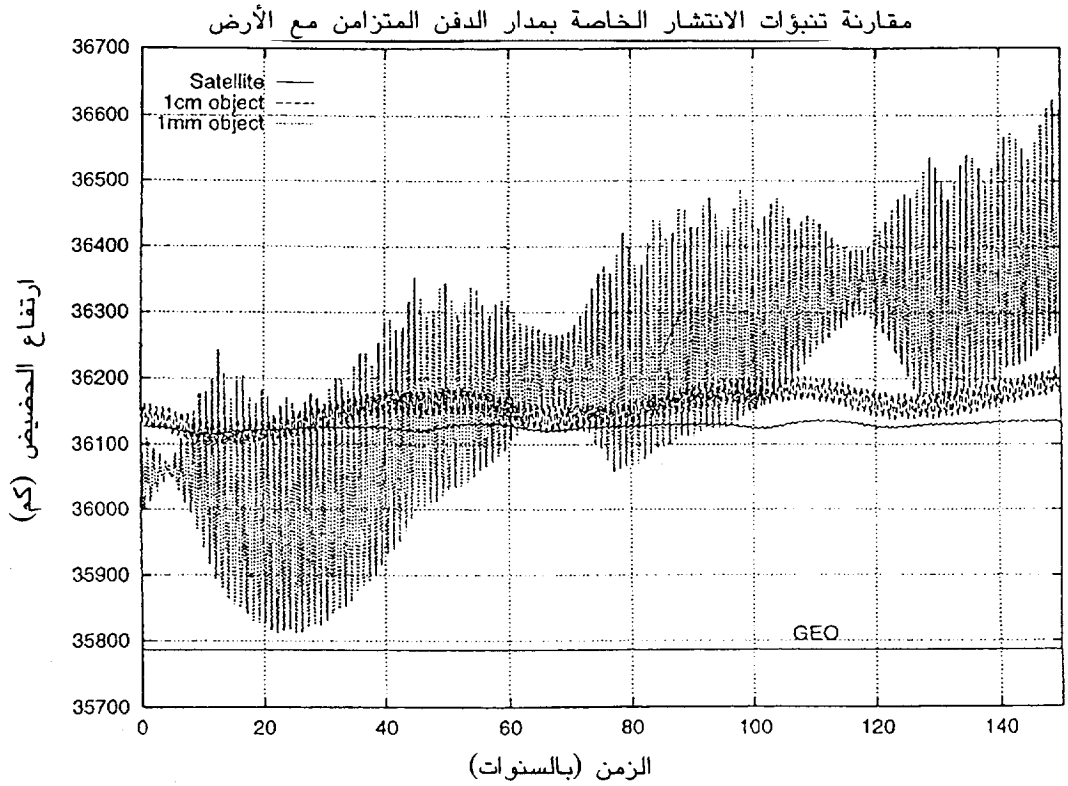
لا يجري في الوقت الحاضر إنزال المركبات الفضائية الموجودة في المدار المتزامن مع الأرض من ذلك المدار عند انتهاء عمرها التشغيلي ، ويعزى هذا في المقام الأول الى ضخامة مقدار الوقود الاضافي اللازم لمثل هذه المناورة . وبدلا من ذلك ، ترفع تلك المركبات الى مدار دفن يعلو قليلا عن المدار الثابت بالنسبة للأرض ، من أجل تقليل كثافة الجسم على الأقل ، ومن ثم تقليل احتمالات الاصطدام داخل المدار الثابت بالنسبة للأرض ذاته ، حيث تكثر الحركة .

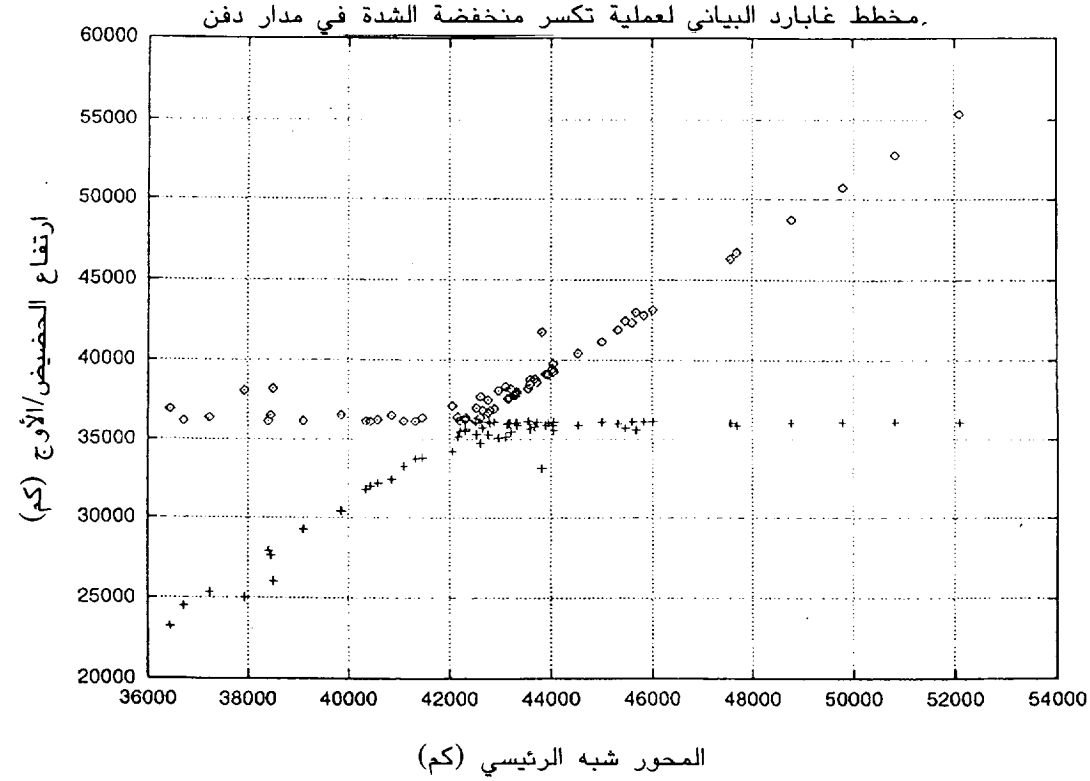
وفي سياق تزايد الحاجة الى توافق آراء دولي بشأن هذا الاجراء ، نشأ تساؤل عن المسافة الدنيا المطلوبة بين مدار الدفن والمدار الثابت بالنسبة للأرض منعا لانسياق المركبة المهجورة عائدة الى منطقة حساسة كالمدار الثابت بالنسبة للأرض . ويبدو أن المناقشة رست مؤخرا على اعتماد مسافة قدرها ٣٠٠ كم كانت بعض المؤسسات الدولية مثل الإيسا والاتحاد الدولي للمواصلات السلكية واللاسلكية (الآيتيو) قد اعتمدتها ، كما يوصي بها دليل "ناسا" الخاص بتخفيف الحطام الفضائي .

وقد أظهرت عمليات محاكاة تطور المدار على المدى الطويل ، التي أجريت في معهد ميكانيكا الطيران وتكنولوجيا التحليق الفضائي (IFR) أن تغير ارتفاع الحضيض بسبب التأثيرات الاضطرابية يظل في العادة صغيرا فيما يخص الأجسام التي تزيد مقاسها على ١ سم (انظر الشكل ٢ ، الجزء العلوي) . ولا يؤدي ضغط الاشعاع الشمسي الى انزياح ذي شأن في ارتفاع الحضيض الا للجسيمات التي لا يزيد مقاسها على أجزاء من المليمتر ، ولكن هذه الجسيمات لا يمكن أن تنشأ الا عن حادث اصطدام في مدار الدفن ذاته . بيد أن الطاقة الحركية المتحررة في هذه الحالة تلقي بالشظايا في مجموعة متنوعة من المدارات المختلفة ، التي قد تكون شديدة اللامركزية خصوصا في حالة الجسيمات الصغيرة جدا (انظر الشكل ٢ ، الجزء الأسفل) . وبما أنه لا توجد بتاتا أي فجوة يمكن أن تحمي المدار الثابت بالنسبة للأرض من التداخل مع حطام التشظي الصغير هذا فلا يمكن على أية حال حل هذه المشكلة في سياق إبعاد مدار الدفن .

ومع أن مدار الدفن ذاته يبدو مستقرا نسبيا ، فيتعين على المرء ألا يأخذ في الحسبان اضطرابات المدار فحسب . فالى جانب المدار الثابت بالنسبة للأرض ذاته ، يوجد فوقه حيز عملياتي لا بد من ابقائه خاليا من الحطام لأغراض مناورات الازاحة أثناء مرحلة توضيع الساتل في مداره . وعلاوة على ذلك ، يتعين على المرء ، كما هو الحال بالنسبة لجميع الاعتبارات التقنية ، أن يراعي هامش أمان معقولا في تحديد المسافة الدنيا التي يتم التوصل اليها استنادا الى المتطلبات الأساسية السالفة الذكر .

الشكل ٢ - تغيرات المدار الناشئة عن الاضطرابات (في الأعلى)، ومدارات التشظي الناشئة عن اصطدام منخفض الشدة في مدار دفن متزامن مع الأرض (في الأسفل)





وفي هذا السياق ، يبدو أن مسافة الـ ٣٠٠ كم المقترحة تمثل ، بالنسبة للسواتل السليمة على الأقل ، حلا وسطا جيدا بين متطلبات الأمان ومتطلبات الاقتصاد .

٣ - التشكيلات الكبيرة وأثرها في احتمالات الاصطدام

نظرا لاستحداث تشكيلات ساتلية تجارية كبيرة في المدار الأرضي المنخفض ، جرت مناقشة تأثير مثل هذا العدد الضخم من السواتل على الفضاء وعلى بيئة الحطام الفضائي . وتركز الاهتمام في المقام الأول على احتمالات الاصطدام الداخلي في حالة حدوث تشظ داخل التشكيلة من ناحية وعلى أثر ذلك الاصطدام في التطور الاجمالي للحطام من ناحية أخرى .

وتبين الدراسات التي أجريت في معهد ميكانيكا الطيران وتكنولوجيا التحليق الفضائي (IFR) أن أولى هاتين المشكلتين تبدو ضئيلة الأهمية . فمن الطبيعي أن كل أفراد التشكيلة يعمل في نطاق الارتفاع ذاته ، وكثيرا ما يكون ذلك في مستويات مدارية متعددة شبه قطبية تتطاور في صعود مستقيم وتتقاطع في الميول الشديدة . ومع ذلك ، فإن احتمال اصطدام أفراد التشكيلة فيما بينها يعتبر ضعيفا جدا بسبب تحكم المحطات الأرضية تحكما فعالا في الساتل أثناء عمره التشغيلي واستراتيجيات إنزاله المعتزم فيما بعد . وحتى في حالة تشظي أحد أفراد التشكيلة نتيجة لاصطدامه بأحد أجسام الحطام الخلفي فإن ما تحدثه سحابة التشظي هذه من تدفق اضافي نحو بقية سواتل التشكيلة يقل عدة مرات عن مقدار التدفق الخلفي .[٣]

أما المشكلة الثانية ، وهي أثر التشكيلات في التطور الاجمالي للحطام ، فهي أشد حدة بكثير . فالتشكيلات المعتزم اطلاقها مستقبلا تضم ما يصل الى عدة مئات من السواتل ، ومن ثم فهي ستسهم اسهاما ذا شأن في المساحة التراكمية داخل المدار ضمن نظام ارتفاعها . كما أن معظم هذه التشكيلات سيعمل على ارتفاع ٧٠٠ - ١ ٤٠٠ كم ، وهي المنطقة التي تضم حتى في الوقت الحاضر أعلى كثافة من الأجسام . ومن ثم يزيد احتمال حدوث اصطدام يعقبه تحلل كامل للهدف الى درجة عالية نسبيا .

ومن سبل إبقاء عدد حوادث الاصطدام متدنيا ، في بيئة تتسم بارتفاع احتمالات وقوع تلك الحوادث ، خفض المحصلة الاجمالية لعاملي المساحة والزمن . وفي حالة اطلاق سواتل جديدة ، كما في حالة التشكيلات المعتزمة في المدار الأرضي المنخفض ، تزداد المساحة ، فلا يتبقى سوى بارامتر وحيد قابل للضبط هو وقت المكوث في المدار . وقد اتفقت غالبية الشركات التي تعتزم اطلاق مثل هذه التشكيلات على ادراج اجراء الانزال عند نهاية العمر في خطط نظمها . ولكن حتى في الحالة المثلى التي يتسنى فيها ازالة كل ساتل مطلق بعد انتهاء عمره التشغيلي تزداد احتمالات الاصطدام ازديادا كبيرا بسبب كثرة السواتل العاملة التي تضاف باستمرار الى الأعداد الموجودة أصلا . وتؤكد عمليات المحاكاة التي أجريت باستخدام برامجيات الإسقاط الطويلة الأمد هذه النتائج ، إذ تتنبأ فيما يتعلق بالتشكيلات بزيادة أسرع في كثافة تواجد الأجسام الصغيرة .

٤ - السمات الجديدة لنموذج الحطام الفضائي "ماستر-١٩٩٧"

التغير الأكثر وضوحا بالقياس الى صيغة ما قبل الاصدار هو تطبيق واحد من أعقد النماذج النيزكية المتاحة حاليا في بيئة برامجيات "ماستر" بالاستفادة من نظرية ديفاين/شتاوباخ . ونطاق التطبيقات الذي تتيحه حزمة "ماستر" حاليا لا يشمل فحسب تقييم تدفقات الأجسام الحطامية الاصطناعية حتى مقاس ١ر٠ مم على أي ساتل مستهدف ، مثلما كان الحال في السابق ، بل يشمل أيضا تحديد التدفق الخلفي للنيازك الطبيعية .(٤)

وبما أن النيازك الطبيعية عموما أقل كتلة فقد خفضت عتبة الكتلة الداخلية بالنسبة لهذا المصدر من ١٠-١٣ كغ (ق = ٤ر٢٤٣ × ١٠-٦ م) . ولم تدرج في تطبيق حزمة "ماستر" من بين فئات النيازك التي صنفها شتاوباخ سوى المصادر الأساسية والكويكبية ومصادر الفئة ألف ، لأن مساهمة الفئتين باء وجيم تافهة ضمن النطاق الكتلي الذي يزيد على ١٠-١٣ كغ .

وعلاوة على ذلك ، جرى تحديث الأجسام المرجعية للفرع الخاص بالحطام في حزمة ماستر حتى تاريخ ٣١ آذار/مارس ١٩٩٦ .

٥ - دليل الإيسا لتخفيف الحطام الفضائي

الغرض من هذا الدليل هو توفير معلومات تقنية عن حالة الحطام الفضائي وارشادات حول كيفية تفادي تكوّن الحطام الفضائي لدى تصميم المركبات الفضائية وتخطيط البعثات الفضائية مستقبلا . والمراد من هذا الدليل أن يكون قابلا للاستخدام في هذه الأغراض ضمن نطاق الإيسا وكذلك في تخطيط الأبحاث الفضائية .(٥)

الشكل ٣ - الفصول الرئيسية للدليل

موجز دليل تخفيف الحطام **بالصيغة المنقحة في ١٨ أيلول/سبتمبر ١٩٩٧**
١ - تعريف المصطلحات ، والمختصرات المستخدمة
٢ - تحديد نطاق مبادىء الإيسا التوجيهية بشأن تخفيف الحطام
٣ - الوضع الحالي لبيئة الحطام الفضائي والنيازك
٤ - تقدير احتمالات الارتطام والتدفقات الناشئة عن الاصطدامات
٥ - تطورات بيئة الحطام الفضائي في المستقبل
٦ - التدابير التخفيفية
٧ - تخميل المركبات الفضائية ومركبات الاطلاق عند نهاية عمرها
٨ - انزال المركبات الفضائية والمراحل الصاروخية العليا واعادة ادخالها الى الغلاف الجوي
٩ - تفادي الاصطدامات على المدار (بالنسبة للمدار الأرضي المنخفض)
١٠ - تكنولوجيا التدريع على المدار
١١ - الخاتمة

والدليل ، في حد ذاته لا يتسم بطابع الضبط التنظيمي . ولكن اذا ما أريد استحداث ضوابط تنظيمية في أوروبا بوثائق أخرى فيمكن الاشارة الى فقرات الدليل ذات الصلة . وثمة نهج من هذا القبيل بدأ تنفيذه فعلا ويتمثل في صوغ وثيقة "التعاون الأوروبي بشأن التوحيد القياسي في ميدان الفضاء" (ECSS) ، حيث ترد فقرات أولية بشأن الحطام الفضائي ويمكن أن تدرج فيها لاحقا اشارات الى الدليل .

ويجري طبع الدليل كناتج لبرامجية ارتكازية . وتتحكم البرامجية في نص الدليل وكذلك سائر المواد البيانية مثل الرسوم البيانية والتخطيطية والجداول ، الخ . وباجراء تغييرات في بارامترات البرامجية الارتكازية ، يمكن تحديث الدليل بسهولة تبعا لتغيرات التكنولوجيا والبيئة . وتتطلب البرامجية الارتكازية مجموعة من الرموز الحاسوبية مثل "ماستر" و "تشيني" ، الخ ، وهي تنتج المخططات البيانية الواردة في الدليل (أو الصيغ المحدثة لها) بطريقة تحرير آلية . ويعتزم اصدار طبعة في صورة كتاب سائب الأوراق من أجل تحديث النسخ الموجودة لدى جميع المستعملين .

باء - الرصد الراداري لأجسام الحطام الفضائي والنيازك والتحليلات الخاصة بها

يستخدم نظام رادار التتبع والتصوير (تيرا) ، الذي استحدثه معهد بحوث فيزياء الترددات العالية بالمؤسسة البحثية للعلوم التطبيقية ، في المقام الأول في تقصي الطرائق والتقنيات تصنيف المركبات الفضائية والطائرات وتحديد هويتها . وبالاضافة الى ذلك ، يستخدم نظام "تيرا" الى حد ما في الحصول على بيانات راداية عن الحطام الفضائي والنيازك .[٦]،[٧]،[٨] واستحدثت لهذا الغرض بصفة رئيسية ثلاثة أنساق تشغيل : أولها نسق تشغيل تتبعي من أجل قياس أجسام مختارة في المدارات الأرضية المنخفضة وفي المدارات المتزامنة مع الأرض وفي المدارات الانتقالية الى المدار الثابت بالنسبة للأرض ؛ وثانيها نسق تشغيل متعدد الحزم من أجل جمع بيانات عن كثافة تواجد أجسام الحطام الاصطناعي في أحجام فضائية محددة ؛ وثالثها نسق تشغيل متعدد الحزم مع تعويض دوران الأرض من أجل الحصول على معلومات عن تدفق النيازك أثناء فترات النشاط الرئيسية للسيول النيزكية .

ويتألف نظام "تيرا" من رادار تتبعي في نطاق ترددي ضيق ورادار تصويري عالي الاستبانة . ويدعم هذين الرادارين هوائي اهليليجي الشكل قطره ٣٤ مترا . وقد استحدثت طرائق وخوارزميات لتحليل بصمات الرادار ذي النطاق الترددي الضيق ، ولحوسبة الصور الرادارية المستمدة من بيانات راداية عالية الاستبانة ، ولتقدير الخصائص الفيزيائية للحطام الفضائي ، مثل الحجم والشكل والأبعاد والحركة الذاتية والكتلة والمدار والعمر المداري . ويجري تحسين وتنقيح هذه الطرائق والتقنيات باستمرار من أجل تتبع وتصوير الحطام الفضائي المتوسط الحجم (١-٥٠ سم) والنيازك .

وفي عام ١٩٩٧ ، جرى تنفيذ الأنشطة المتعلقة بالحطام الفضائي والنيازك في معهد بحوث فيزياء الترددات العالية بالمؤسسة البحثية للعلوم التطبيقية ، بصفة رئيسية ، ضمن اطار ثلاثة عقود دراسية أبرمت مع مركز "الايسوك" التابع للإيسا ، وتتناول :

(أ) التقنيات الراداية المتقدمة لرصد الحطام الفضائي (شباط/فبراير ١٩٩٥ الى أيلول/سبتمبر ١٩٩٨) ؛

(ب) تتبع الحطام تعاونيا (نيسان/أبريل ١٩٩٧ الى تموز/يوليه ١٩٩٨) ؛

(ج) استحداث خوارزميات لكشف الحطام المتوسط الحجم بالرادار (نيسان/ابريل ١٩٩٧ الى تموز/ يوليه ١٩٩٩) .

والأغراض الرئيسية لهذه الأنشطة هي :

(أ) تقصي تقنيات محسنة لرصد الحطام وجمع البيانات ؛

(ب) استحداث وتنفيذ تقنيات وخوارزميات فعالة وعالية التأتمت لمعالجة البيانات وكشف أجسام الحطام والنيازك وتحليلها ؛

(ج) دعم عملية انشاء وصلة حاسوبية واضحة التحديد بين نتائج القياس وتنبؤات النمذجة .

١ - الرصد الراداري وتحليل البيانات

يكشف التقييم الدقيق للحساسية أن رادار "تيرا" العامل في النطاق الترددي L قادر في الوقت الحاضر على كشف كريات مقاسها ٢ سم على مسافة قدرها ٠٠٠ ١ كم ، باستخدامه استراتيجيات كشف مثلى وبأخذه في الاعتبار كل ما اقترح ونفذ في اطار عقود الإيسا الدراسية من تعديلات وتحسينات في الأجهزة وفي تقنيات معالجة الاشارات . وفي عام ١٩٩٦ ، أمكن تحقيق زيادة كبيرة في القدرة على الكشف في اطار تجربة على رادار ثنائي المحطة ، استخدم فيها أكبر مقراب لاسلكي قابل للتوجيه في العالم (ذي فتحة قطرها ١٠٠ م) موجود في منطقة بادمونسترآيفل - ايفلسبيرغ ، ويشغّله معهد ماكس بلانك للأرصاد الفلكية الراديوية كمستقبل ثانوي ذي حساسية عالية جدا .(٩)

وفي ٢٦/٢٥ تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٩٦ ، تم بنجاح تنفيذ بعثة COBEAM-1/96 ، التي أنتجت زهاء ١٥٠ جيغابت من البيانات الرادارية الخام مما يوفر رصدا مستمرا على مدار الساعة وحددت العتبة في المقراب بـ٩ مم على مسافة ٠٠٠ ١ كم . وقد انتهي من تحليل بيانات COBEAM في أيلول/سبتمبر ١٩٩٧ .(١٠) وكانت النتائج في معظم الجوانب متفقة الى درجة معقولة مع النتائج المتأتية من أجهزة استشعار أخرى (مثل رادار هيستاك) ومع تنبؤات النماذج . وأولي اهتمام خاص لفئتين فرعيتين من بيئة الحطام لا تأخذهما النماذج البيئية بعين الاعتبار في الوقت الحاضر ، وهما : قطيرات NAK (التي يفترض أنها تسربت من سائل تبريد مستخدم في مفاعل قوى نووية على متن سواتل رورسات) وزمرة أجسام الحطام الناشئة عن تكسّر ساتل PEGASUS/HAPS (في حزيران/يونيه ١٩٩٦) .

ويتوقع أن يشهد تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٩٩ انسيالا نيزكيا كبيرا لكوكبة الأسَد ، تتنبأ وكالة ناسا بأنه سيؤدي الى ازدياد التدفق الخلفي بمقدار ٠٠٠ ١٠ الى ٠٠٠ ٣٠ مرة ، ويمكن أن يسبب أخطارا على السواتل العاملة . واستنادا الى الخبرة المكتسبة من عمليات رصد كوكبة الأسد في عام ١٩٩٦ ، جرى تخطيط وتنفيذ حملة رادارية لرصد المستوى السنوي الأقصى حوالي ١٧ تشرين الثاني/نوفمبر ١٩٩٧ . وسوف تستخدم البيانات المجموعة في تحسين مخطط التجارب وفي تيسير عمليات وضع الخوارزميات اللازمة لتقدير التدفق النيزكي الوافد .

٢ - مقارنة القياسات الرادارية بتنبؤات النماذج

كيما تكون بيانات قياس الحطام مفيدة في التوثق من صحة نموذج "ماستر" الخاص بالإيسا ، استهلت مناقشات لتحديد وتنفيذ وصلة حاسوبية وحيدة بين النماذج والقياسات . وأثناء اجتماع مشترك بين الايسوك/ الإيسا وجامعة براونشفايغ التقنية وشركة إيتا-ماكس الفضائية والمؤسسة البحثية للعلوم التطبيقية ، خلص المشاركون الى أن أي توسيع مناسب لنموذج "ماستر" من أجل معالجة هذه المشكلة إنما يتعين اجراؤه بالتعاون مع خبراء النماذج وخبراء أجهزة الاستشعار .

٣ - الرصد الراداري وتحليل مشكلة السواتل المختلة الأداء

في حالات وقوع أحداث غير متوقعة ، مثل اصطدام الحطام بساتل عامل أو أي خلل آخر ، جرى استخدام نظام "تيرا" للمساعدة على تحليل هذه المشكلة . وفي اطار عقود الدراسات ، أجريت عمليات رصد باستخدام رادارات التصوير العاملة بنطاقي التردد L و Ku ، وتستخدم نتائج التحليل لدعم عملية فحص أسباب التلف ومقداره . ومن أمثلة ذلك في عام ١٩٩٧ رصد وتحليل الساتل CERISE (الذي أصابه تلف نتيجة لاصطدامه بحطام ناشىء عن مرحلة صاروخية عليا من طراز أريان) وساتل ADEOS (وهو لوح شمسي تلف نتيجة لإجهاد ميكانيكي) وساتل SPOT-3 (الذي تعرض لفقد طاقته الكهربائية نتيجة للدوران العشوائي) .

٤ - التنبؤات الخاصة بعودة أجسام فضائية شديدة المخاطر الى الغلاف الجوي

الهدف من هذا النشاط هو تزويد وزير الداخلية الاتحادي ، لدى عودة أجسام فضائية شديدة المخاطر الى الغلاف الجوي ، بتنبؤات موثوقة بشأن نوافذ العودة (الوقت والمسار الأرضي) وبتقديرات لارتفاع الجسم ومخاطره . وفي اطار اتفاقات التعاون ، يقوم معهد بحوث فيزياء الترددات العالية بالمؤسسة البحثية للعلوم التطبيقية بتزويد الايسوك/الايسا ببيانات رادار تتبعي عن الأجسام الفضائية الشديدة المخاطر دعما للتنبؤات الأوروبية الخاصة بعودة الأجسام . وبغية اختبار الاجراءات والخوارزميات الموجودة جرى رصد ساتل LEWIS الأمريكي باستخدام رادار "تيرا" في أيلول/سبتمبر ١٩٩٧ .

جيم - أنشطة بحثية أخرى

اضطلع بأعمال أخرى في ميدان الوقاية من النيازك والحطام . وتستمر البحوث التي استهلت في السنوات الماضية بمعهد إيرنست ماخ . ويقوم المعهد أيضا ، بمقتضى عقد مبرم مع الإيسا ، بدراسة تأثير الارتطام الفائق السرعة على المركبات المضغوطة ، خصوصا السواتل . وثمة بحوث أخرى يقوم بها المعهد ويجري الاضطلاع بها في اطار عقود من الباطن مسندة الى برامج تابعة للإيسا وتستهدف :

فيما يتعلق ببعثة كاسيني/هويغنز ، جرت محاكاة تأثيرات ارتطام الحطام على نظام الوقاية الحرارية (TPS) من خلال تجارب مختبرية ؛ وفيما يتعلق بالعنصر الأوروبي في المحطة الفضائية الدولية (ISS) وهو مرفق كولمبوس المداري (COF) ، استخدمت عينات في اجراء تجارب خاصة بالارتطام الفائق السرعة من أجل تقوية الدروع المضادة للارتطام في المواضع الشديدة التعرض .

وفي الأشهر الأخيرة ، استهلت في المعهد دراسة ممولة وطنيا لمحاكاة تأثير التحلل على السطوح البصرية للمحطات البصرية الخاصة بسواتل الاتصالات .

الحواشي

(1) K.-U. Schrogl, "Second European Conference on Space Debris", space Policy, No. 3 (1997), P. 265.

(2) C. Wiedemann and P. Wegener, "Internal report on new space debris sources; RORSAT droplet generation" (IFR/TUBS, 1997), unpublished.

(3) S. Theil, "Vergleich der Ausfallwahrscheinlickeit unterschiedlicher Satellitenkonstellationen zu Navigationszwecken durch deterministische Untersuchung des Kollisionsrisikos", diploma thesis (IFR/ TUBS, 1996), unpublished, German only.

(4) "MASTER Software User Manual", postscript documentation distributed with the MASTER software, available through ESOC, Darmstadt, Germany.

(5) D. Rex, H. Klinkrad and J. Bendisch, "The ESA Space Debris Mitigation Handbook", Proceedings of the Second European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 17-19 March 1997 (ESA SP-393).

(6) K. Magura and D. Mehrholz, "Measurement and analysis techniques for satellite observations used at FGAN-FHT", FGAN-FHP, Technical Report, 8-93 (Wachtberg-Werthhoven, December 1993).

(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 and D. Mehrholz, "Determination of physical characteristics of space debris, final report No. 6-95, DARA contract No. 50 ST 9003 (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, July 1995).

(9) 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).

(10) L. Leushacke, "Mid-size space debris measurement with the TIRA system", Proceedings of the Forty-eighth International Astronautical Congress, Turin, 1997.

— — — — —