

Distr.: General
20 November 2008
Arabic
Original: English

الجمعية العامة



لجنة استخدام الفضاء الخارجي
في الأغراض السلمية

البحوث الوطنية المتعلقة بالحطام الفضائي، وبأمان الأجسام الفضائية
التي توجد على متنها مصادر قدرة نووية، وبمشاكل اصطدامها
بالحطام الفضائي
مذكّرة من الأمانة

المحتويات

الصفحة

٢	أولاً- مقدّمة
٢	ثانياً- الردود الواردة من الدول الأعضاء
٢	ألمانيا
١٣	اليابان



أولاً - مقدمة

- ١- رأت الجمعية العامة، في قرارها ٩٠/٦٣ المؤرخ ٥ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٨، أن من الضروري أن تولى الدول الأعضاء مزيداً من الاهتمام لمشكلة اصطدام الأجسام الفضائية، بما فيها الأجسام الفضائية التي تستخدم مصادر القدرة النووية، بالحطام الفضائي وللجوانب الأخرى المتصلة بالحطام الفضائي، ودعت إلى مواصلة البحوث الوطنية بشأن هذه المسألة لاستحداث تكنولوجيا محسّنة لرصد الحطام الفضائي وجمع البيانات المتعلقة به ونشرها، كما رأت أنه ينبغي تزويد اللجنة الفرعية العلمية والتقنية التابعة للجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية بأقصى ما يمكن توفيره من معلومات بهذا الشأن، ووافقنا على أن التعاون الدولي ضروري للتوسّع في وضع الاستراتيجيات المناسبة والميسورة التكلفة للتقليل من أثر الحطام الفضائي على البعثات الفضائية في المستقبل إلى الحد الأدنى.
- ٢- واتفقت اللجنة الفرعية، في دورتها الخامسة والأربعين، على أن تستمر البحوث المتعلقة بالحطام الفضائي وعلى أن تتيح الدول الأعضاء لجميع الأطراف المهتمة نتائج تلك البحوث، بما فيها المعلومات عن الممارسات التي أثبتت فاعليتها في التقليل إلى الحد الأدنى من تكوّن الحطام الفضائي (A/AC.105/911، الفقرة ٩١). ودعا الأمين العام الحكومات، في مذكرة شفوية مؤرخة ٥ آب/أغسطس ٢٠٠٨، إلى أن تُقدّم أي معلومات عن هذه المسألة بحلول ٣١ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٨، كي يتسنى عرض تلك المعلومات على اللجنة الفرعية العلمية والتقنية في دورتها السادسة والأربعين.
- ٣- وقد أعدت الأمانة هذه الوثيقة استناداً إلى معلومات وردت من ألمانيا واليابان.

ثانياً - الردود الواردة من الدول الأعضاء

ألمانيا

[الأصل: بالإنكليزية]

- ١- في ألمانيا، تغطي الأنشطة البحثية المتعلقة بمسائل الحطام الفضائي، بصورة عامة، جوانب مختلفة تشمل تكنولوجيا رصد الحطام الفضائي ونمذجة بيئة الحطام الفضائي وبحوث الفيزياء الصدمية من أجل تحسين فهم ظواهر وتكنولوجيات الارتطام الفائق السرعة وحماية النظم الفضائية من الحطام الفضائي والحد من تكوّن الحطام الفضائي في المستقبل.

- ٢- ويتم توفير التمويل إما مباشرة من خلال الميزانية الوطنية التي تخصصها ألمانيا للفضاء أو عن طريق وكالة الفضاء الأوروبية (الإيسا). وتُبين الأنشطة الألمانية المنفّذة في إطار عقود الإيسا في تقرير الإيسا ذي الصلة.
- ٣- وترد أدناه معلومات عن أنشطة البحث ذات التمويل الوطني التي شُرع فيها ونُفذت في ألمانيا عام ٢٠٠٨.

اختبارات نفق الهواء المتصل بعودة المركبات ومقارنات نموذج "أورسات" وأداة "سكاراب"

- ٤- واصلت شركة هايرشال تكنولوجي غوتنغن (HTG) الألمانية والإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا) التابعة للولايات المتحدة الأمريكية تعاونهما في إطار مشروع يهدف إلى المقارنة بين برنامجين لمحاكاة العودة إلى الغلاف الجوي هما: نموذج التحطيم الحراري الهوائي للمركبات الفضائية العائدة إلى الغلاف الجوي (سكاراب) الذي طوّرتَه شركة غوتنغن، وأداة تحليل إمكانية عدم تحطّم المركبات الفضائية ومركبات الإطلاق العائدة إلى الغلاف الجوي (أورسات) التي طوّرتها وكالة ناسا. وقد بدأ هذا التعاون منذ عام ١٩٩٨. وأكدت الدراسات أن الأداتين كليهما تقدّمان نتائج متطابقة تقريبا فيما يتعلق بعودة الأجسام ذات الشكل البسيط (أي الكرة أو الصندوق أو الاسطوانة). ومع ذلك، بيّنت تحليلات أُجريت على سائل معقد اختلافات كبيرة بين المخاطر الأرضية الفعلية والمتوقعة.
- ٥- ويهدف المشروع إلى تحسين معرفة سلوك المواد خلال عودة المركبة الفضائية إلى الغلاف الجوي، مما يفسح المجال لتنبؤات أكثر دقة فيما يتعلق بعمليات التشظّي.
- ٦- وركّز المشروع على الأنشطة التالية، التي تمّ تحديدها بوصفها أهم مصادر عدم اليقين:

- (أ) وضع نهج أكثر واقعية للنمذجة وتحسين تحليل التدمير الهوائي الحراري لعناصر البلاستيك المقوى بألياف الكربون خلال العودة. ونُفذت اختبارات في مرفق نفق الهواء ذي التسخين القوسي التابع للمركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي في كولونيا لدراسة تدمير المواد في ظروف العودة إلى الغلاف الجوي؛
- (ب) تحسين الدينامية الهوائية الحرارية لعناصر البناء التي تغيّر شكلها بفعل الدينامية الهوائية الحرارية (أجسام جوفاء أو على شكل صندوق تتحرك في اتجاهات عشوائية).

وأُجريت اختبارات في مرفق الهواء الخلائي المفرط الصوت في غوتغن، ألمانيا، لدراسة التسخين الهوائي الحراري في ظروف العودة إلى الغلاف الجوي؛

(ج) مقارنة عمليات التشطّي في سائل اختبارات عامة مبسّط في إطار نموذج "أورسات" وأداة "سكاراب" تمّ بنتيجتها إعادة المقارنة بين النموذج والأداة.

اختبارات نفق الهواء لتقييم تدمير المواد

٧- نشأت ضرورة إجراء اختبارات تجريبية على المواد من تحليلات نموذج "سكاراب" التي أُجريت في السابق على عودة المركبات الفضائية إلى الغلاف الجوي، قبل التعرف على آلية التدمير الجوي الحراري والبيانات المادية المقابلة الخاصة بالمواد المقاومة للحرارة، بما في ذلك مواد مثل سباتك الإنفار والنحاس، والمواد الزجاجية-الخرزية، وكتل البلاستيك المقوّى بألياف الكربون. ولذلك، استُخدم مرفق نفق الهواء ذي التسخين القوسي في كولونيا لإجراء تجارب التدمير المادي في ظروف العودة إلى الغلاف الجوي.

٨- وكشفت تلك التجارب أن البلاستيك المقوّى بألياف الكربون يحترق ببطء شديد نتيجة تفاعل كيميائي مع الأكسجين الذري الناتج عن التدفق، لكنه يُدمّر في درجات حرارة سطحية عالية جدا (ما يزيد على ٢ ٠٠٠ كلفن)، مما يضمن تبريدا إشعاعيا فعالا. وهكذا، فإن البلاستيك المقوّى بألياف الكربون يقاوم الحرارة العالية جدا لحماية مكونات المركبة الفضائية. واستُخدمت النتائج في نموذج "سكاراب"، ولكن بصورة أولية فقط على أساس الآلية المعيارية للتدمير المادي للمعادن. ولم تُنفذ آليات التدمير الكيميائي، كالأكسدة على سبيل المثال.

٩- ويزداد استخدام الهياكل النخرورية المصنوعة من البلاستيك المقوّى بألياف الكربون في البعثات الساتلية. ومن الأمثلة المألوفة على ذلك بعثة الساتل العلمي التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية وهي البعثة المعنية بحقل جاذبية الأرض وبنبات حالة دوران المحيطات (GOCE) وبعثة الساتل الراداري الألمانية "TerraSAR-X"، لكن البلاستيك المقوّى بألياف الكربون يُستخدم أيضا في المكونات الكبيرة للمراحل العليا من الساتل "آريان ٥". ومن أجل تحسين فرص تدمير عناصر البناء هذه عند عودة المركبة إلى الغلاف الجوي، ثمة حاجة إلى إجراء المزيد من الاختبارات. ولا يمكن تنفيذ آليات تدمير جديدة في نموذج "سكاراب" للحد من أوجه عدم اليقين الرئيسية في التنبؤات الخاصة بالمخاطر الأرضية عند عودة المركبة الفضائية إلا على أساس نتائج هذه الاختبارات.

١٠- وأجريت اختبارات على التدمير المادي في مرفق نفق الهواء ذي التسخين القوسي في كولونيا. فقد تم اختبار أربع عشرة عينة من المواد واختبر تدفق حراري في ظروف العودة إلى الغلاف الجوي. وأظهرت المقارنات مع نموذج "سكاراب" أن الظروف المستخدمة في نفق الهواء مماثلة للظروف الحقيقية على ارتفاع ٥٣,٦ كيلومترا وبسرعة تبلغ ٣,٦ كم في الثانية. ووصل التدفق في الجدار البارد المناظر إلى نحو ١,٤ ميغاوات في المتر المربع.

١١- وجاءت سبع عينات من شظيرة الألومنيوم النخرولية ذات الصحائف المكونة من البلاستيك المقوى بألياف الكربون في واجهتها، وهي عينات تمثيلية لمكيف عمليات الإطلاق المزدوجة سيلدا لحمولة نظام "آريان ٥"، والذي قدمته وكالة الفضاء الأوروبية.

١٢- وجاءت ثلاث عينات أخرى من مشروع البعثة المعنية بمحل جاذبية الأرض وبثبات حالة دوران المحيطات (GOCE). ومرة أخرى، كانت هناك عينة واحدة من شظيرة الألومنيوم النخرولية التي تكوّن صحائف واجهة مصنوعة من البلاستيك المقوى بألياف الكربون وتستخدم في الألواح الشمسية لبعثة "GOCE". وقدمت العينتان الأخريان وشركة "ألينيا سباتسيو" الإيطالية وهما عبارة عن مواد كربونية خاصة مستخدمة في أداة مقياس التدرج في بعثة "GOCE".

١٣- أما العينات المادية الأربع المتبقية فقد شملت محوراً نخرولياً من الألومنيوم ومزودة بصحائف واجهة مصنوعة من راتنج الألياف الزجاجية/الإيبوكسي، وسبيكة بسيطة من التيتانيوم، ونفس السبيكة مغلقة بالبلاستيك المقوى بألياف الكربون لتمثيل خزانات الضغط العلي المصنوعة من التيتانيوم والمغلقة بالبلاستيك المقوى بألياف الكربون - وهي خزانات مستخدمة في المراحل الخمس العليا لآريان ٥، ونموذج نحاسي من جزأين، نصفه مغلف بسبيكة من النيكل والكروم، يُستخدم للبحوث الوسيطية على السطح.

١٤- وكان السلوك التدميري لجميع نماذج الألومنيوم النخرولية المغلفة بالبلاستيك المقوى بألياف الكربون أو بصحائف الألياف الزجاجية متشابهاً. أما الحدث التدميري المتميز فكان فشل صحيفة الواجهة الأولى. ولوحظت مجموعة واسعة من حالات الفشل. فيما تبين أن مادة الكربون ذات مقاومة كبيرة جداً. ولم يتدمر نموذج التيتانيوم البسيط؛ وبعد الاختبار، لم تظهر على النموذج سوى طبقة أكسيد نفيذة. بيد أن سبيكة التيتانيوم نفسها قد تدمرت عندما غُلفت بالبلاستيك المقوى بألياف الكربون. ولم يظهر أي ضرر على طلاء النموذج النحاسي المكون من النيكل والكروم.

١٥- ولمقارنة نتائج القياس مع عمليات المحاكاة العددية، استُخدم نموذج "سكاراب" في طريقة تجريبية جديدة لنفق الهواء. وكان الهدف الرئيسي لعمليات المحاكاة التي تجرى بنموذج "سكاراب" هو استنساخ ظروف نفق الهواء، خصوصا تدفق الحرارة الذي استُخدم في اختبارات مرفق نفق الهواء ذي التسخين القوسي في كولونيا.

١٦- واستُخلصت الاستنتاجات العامة التالية من التجارب المقارنة:

(أ) بينت نتائج نموذج "سكاراب" والقياسات المأخوذة من مرفق نفق الهواء ذي التسخين القوسي في كولونيا نفس التوقعات العامة المتعلقة بالتدمير (أي عدم تدمير التيتانيوم، ومعدل تدرية البلاستيك المقوى بألياف الكربون، وسلسلة تدميرية لهياكل شطائر الألومنيوم النخرؤية المقوّاة بألياف الكربون)، وبعض أوجه التشابه فيما يخص التبدلات في درجات الحرارة؛

(ب) وكانت هناك اختلافات كبيرة في التفاصيل المتعلقة بتبدل درجات الحرارة نتجت عن أوجه قصور في تحليل نموذج "سكاراب". فعلى سبيل المثال، لم يكن هناك وجود لعمليات تدمير كيميائية (مثل أكسدة السطح والتذرية)، وكان هناك خطأ في السطح الإشعاعي للنماذج المكونة من طبقات؛

(ج) ينبغي قياس كمية الحرارة المفقودة بسبب التوصيل الحراري إلى حاوي النموذج.

اختبارات نفق الهواء في التسخين الجوي الحراري

١٧- عادة، لا يكون لمعظم السوائل وأجزاء المركبات الفضائية شكل أيرودينامي. وتكون كل مواقف الطيران ممكنة مبدئيا خلال العودة إلى الغلاف الجوي. وفي معظم الحالات، تكون المكونات الساتلية على شكل اسطوانات جوفاء (أنابيب)، وصناديق، ودعامات بها كثير من التقاطعات أو لوحات وهياكل ذات جدران رقيقة.

١٨- وفيما يتعلق بهذه الأجسام ذات الأشكال غير الأيروديناميكية، لا تتوافر إلا كمية محدودة من البيانات التجريبية التي يمكن استخدامها للتحقق من أساليب التحليل العددي، وهذا هو السبب في أن الاختبار التجريبي من جميع زوايا الهبوب ضروري.

١٩- ونظرا لأن معظم هذه الأجسام غير حادة، يمكن حساب معاملات القوة الأيرودينامية بما يكفي من الدقة على أساس نظرية نيوتونية معدلة. بيد أن حساب توزع التدفق الحراري وما يقابله من تدفق حراري عام على كامل الجسم لا يزال يسبب مشاكل

كبيرة. يُضاف إلى ذلك أن الأجسام الجوفاء، رغم أنها مفتوحة ومتمايلة، يمكن أن تسمح بالتدفق الداخلي على ارتفاعات معينة، فمن الصعب جدا تحليل هذا التدفق عدديا. ومع ذلك، يشيع استخدام هذه الأجسام كثيرا كمكونات للمركبات الفضائية.

٢٠- وأتاحت اختبارات انتقال الحرارة التي أجريت على ٢٢ جسما ذات أشكال مختلفة مجموعة من البيانات القيّمة عن العلاقة بين معدل التسخين الكامل للجسم وزاوية الهبوب.

٢١- ولأغراض الاختبارات، وُضعت الأجسام في مجموعتين: المجموعة ألف والمجموعة راء: استُخدمت أجسام المجموعة ألف لاختبار زوايا الهبوب بين ناقص ٩٠ وزائد ٩٠ درجة واستُخدمت المجموعة راء لاختبار النماذج المتناوبة. وشملت المجموعتان أجساما صلبة وجوفاء.

٢٢- وتمت مقارنة نتائج اختبارات الأجسام الصلبة والجوفاء، التي تسمح أيضا بالتدفق الداخلي والتسخين الداخلي. وبالمقارنة مع جسم صلب مشابه في منطقة الواجهة، فإن الجسم الأجوفا الذي يتجه تجويفه باتجاه التدفق شهد دفق تسخين داخلي كبير وزاد معدل التسخين زيادة كبيرة. وعندما تمت زيادة زاوية الهبوب، نقص التدفق والتسخين الداخليين فيما زاد التسخين الخارجي بسبب تعرض منطقة خارجية أكبر للتدفق. وأدى الجمع بين الأثرين المتناقضين إلى تراجع سلس في تغير معدل التسخين يتناسب مع تغير زاوية الهبوب.

٢٣- وقورنت نتائج مختارة لتدفقات التسخين على الأجسام الصلبة مع التحليل بنموذج "سكاراب". ويُسهّل اعتماد زاوية الهبوب المنمطة على معدلات التسخين التنبؤ به على نحو معقول بوسائل نموذج "سكاراب". ومن المقرر إجراء مقارنة أكثر تفصيلا مع أسلوب التحليل بنموذج "سكاراب" في إطار عملية التحقق من النسخة 3.1L الجديدة من نموذج "سكاراب"، التي يجري تطويرها حاليا.

مقارنات أداة "أورسات" ونموذج "سكاراب"

٢٤- من أجل تحسين تنسيق وتكليف نظم البرمجيات الحاسوبية لنموذج "أورسات" وأداة "سكاراب" في الظروف الحقيقية لعودة المركبات الفضائية إلى الغلاف الجوي، استُخدم ساتل اختبارات مبسط لمقارنة نتائج المحاكاة العددية لعمليات وتنبؤات التشطّي. وتبيّن أن مثل هذه المقارنات كانت صعبة جدا في الماضي، على الأقل فيما يتعلق بالسواتل المعقدة.

٢٥- وقد طُور ساتل الاختبارات بالتعاون بين فريقين من ناسا وشركة غوتنغن. وبلغ وزنه نحو ٤٠٠ كيلوغرام ولم يكن بالضرورة نموذجا واقعا بل كان هدفه الرئيسي هو

المساعدة في تحديد هوية عمليات التدمير المختلفة التي تحدث أثناء العودة إلى الغلاف الجوي، مما أدى إلى نتائج مختلفة على الأرض.

٢٦- ويكمن الفرق الرئيسي بين "أورسات" و"سكاراب" هو في معالجة التشظي. ففي نموذج "أورسات"، افترض أن الارتفاع الذي يحدث عنده التكسر هو ٧٨ كيلومترا. ففي ذلك الارتفاع، أطلقت جميع الأجسام النموذجية في اتجاه التدفق، وجرى تحليلها بشكل منفصل. وفي أداة "سكاراب"، تم تحليل توصيلة (ربط) الشبكة السابقة التجهيز من أجل تحديد الشظايا التي لم تعد متصلة لأنها كانت قد ذابت وامترجت بأجزاء أخرى من المركبة الفضائية. وقد تم تحليل الشظايا المنفصلة على حدة. وأدى النهج المستخدم في إطار "أورسات" إلى حدث تشظ واحد ولحظي على ارتفاع ٧٨ كيلومترا، في حين أن النهج المستخدم "سكاراب" تسبب في نظام تشظ أكثر استمرارا بلغ ذروته على ارتفاع ٦٠-٨٠ كيلومترا.

٢٧- وبينت نتائج تحليلات "أورسات" و"سكاراب" التي أجريت على الساتل المخصص للاختبارات توفقا جيدا فيما يتعلق بالمسار. وكان للآثار المتروكة على الأرض أشكال متشابهة وكانت متباعدة بحوالي ٧٠ كيلومترا على طول اتجاه المسار.

٢٨- كما أظهرت مقارنات القدرة على البقاء درجة كافية من التوافق. إلا أن المثير للدهشة هو أن أداة "أورسات" توقعت أن يبقى عدد أكبر من الشظايا على حالها مما توقعه نموذج "سكاراب"، كما توقعت أداة "أورسات" منطقة خسائر أكبر من المنطقة التي توقعها "سكاراب".

٢٩- وبينت مقارنة تفصيلية للشظايا التي بقيت على حالها أن الاختلافات الرئيسية من حيث المخاطر الأرضية تعود إلى التشظيات المختلفة لصندوق البطارية. أما في حالة "أورسات"، حيث وقع التشظي على ارتفاع ٧٨ كيلومترا، فإن جميع المكونات الداخلية تفرقت على شكل شظايا منفصلة ولم تتأثر خلال العودة إلى الغلاف الجوي. وأدى ذلك إلى عدد أكبر من المصدمات. وفي حالة "سكاراب"، ظلت مكونات البطارية الداخلية مرتبطة ببعضها البعض وبقيت كما هي في شكل شظية واحدة. وأدى العدد الأكبر للشظايا التي حدثت من الارتطام بالأرض في حالة "أورسات" إلى زيادة كبيرة في المخاطر الأرضية. وبصفة عامة، كان السيناريو هو أن يبدو أن أحدهما كان أكثر ترجيحاً من الآخر.

٣٠- ومن غير الممكن حتى الآن تحديد ما إذا كانت نتائج "أورسات" أو "سكاراب" تجسد بشكل أفضل العملية الحقيقية لتشظي المركبات الفضائية عند العودة إلى الغلاف الجوي. ولا بد من إجراء المزيد من الأبحاث، خصوصا فيما يتعلق بالتأكد من صحة برامج

محاكاة العودة إلى الغلاف الجوي أو تحسين التحقق منها، وذلك من خلال مراقبة الأحداث الحقيقية عند العودة إلى الغلاف الجوي.

تحسين اختبار الارتطام الفائق السرعة

تطوير مسرّع للمحاكاة، في أحد المختبرات، وأثر ارتطام جسيمات الحطام الفضائي في نظام الملليمتر بسرعة ١٠ كيلومترات في الثانية

٣١- يهدف المشروع إلى تقييم وتحسين أداء مرافق الاختبارات في معهد إرنست ماخ في ألمانيا لمحاكاة الارتطامات الفائقة السرعة للحطام الفضائي على هياكل ومكونات المركبات الفضائية في نظام الملليمتر بسرعة تصل إلى حوالي ١٠ كيلومترات في الثانية. ومن أجل محاكاة الارتطامات الفائقة السرعة، يستخدم معهد إرنست ماخ تقنية مدفع الغاز الخفيف، التي تجعل من الممكن إطلاق جسيمات متعددة دون تغيير خصائصها الفيزيائية. وثمة هدف آخر للمشروع هو خفض تكلفة إجراء مثل هذه التجارب من خلال خفض أحمال مدافع الغاز الخفيف.

٣٢- وفي بداية المشروع، وضعت تقديرات للقيود التي تعيق أداء المدفع من خلال استخدام نظريات تحليلية، وتم تحديد التحسن الذي يمكن تحقيقه في الأداء عن طريق إحداث تغييرات هندسية من خلال عمليات محاكاة عددية. وقد تبين أن تحسين الأداء يحتاج إلى المزيد من ضغط الغاز الخفيف. وبينت الاختبارات على التعديلات الهندسية المدخلة على مدفع من عيار ٤ ملم، وهو مدفع غاز خفيف على مرحلتين (يسمى "Baby LGG")، إمكانية تحسين دورة التسارع. والأهم من ذلك أن إعادة تصميم الجزء الخاص بالضغط العالي قد أدى إلى جزء أطول ذي شكل مقعر.

٣٣- وخلال الأشهر الستة الأولى من فترة الإبلاغ، وضعت اللمسات الأخيرة على العمل التحضيرية لأنبوب الإطلاق وتم شراء المواد المطلوبة. ويجري إنتاج جزء جديد للضغط العالي. وتم تغيير مانع التسرب بين جزء الضغط العالي وأنبوب الإطلاق. وأجريت محاكاة عددية للتركيب لعرض وظيفة الأنبوب.

المدفع الثنائي: مفهوم جديد للمسرّع

٣٤- في بداية عام ٢٠٠٨، بدأ مشروع جديد في معهد إرنست ماخ يقوم على مفهوم جديد للمسرّع من أجل المحاكاة التجريبية لأثر الارتطام الفائق السرعة للحطام الفضائي. وفي هذا المشروع، تم اختبار جدوى المفهوم الجديد للمسرّع، المعروف باسم "مفهوم المدفع

الثنائي". والهدف من هذا المفهوم هو تحريك الجسيمات المليمترية بسرعة أكبر مما هي عليه في مدفع الغاز الخفيف، ولكن بطريقة تتيح إعادة الإنتاج وتقليص التآكل. واستند المفهوم إلى تقنية مدفع الغاز الخفيف، لكن الهدف من المدفع الثنائي هو زيادة سرعة الجسيمات باستخدام كباسين تردديين في أنبوبين موجهين بشكل متواز، وموصولين ببيت البارود نفسه ويؤديان إلى أنبوب إطلاق واحد.

٣٥- ومن خلال الجمع بين المعايير التشغيلية على نحو مناسب، يصبح نبض الضغط عند مدخل أنبوب الإطلاق أكثر اتساعاً مما هو عليه في مدفع غاز خفيف تقليدي. ومن خلال "تشكيل نبض الضغط" هذا، وبسبب الجزء الذي يتيح تسارعا أكثر فعالية، يمكن للمقدوف أن يصل إلى سرعات أعلى. وكذلك، لا يتم تجاوز حدود الضغط الحرجة.

٣٦- وتُجرى بحوث عن أداء وتصميم مفهوم المدفع الثنائي.

موقف ألمانيا بخصوص تدابير التخفيف من الحطام الفضائي فيما يتعلق بالاقتصاد والاستدامة

٣٧- يهدف تحليل موقف ألمانيا فيما يتعلق بتدابير تخفيف الحطام الفضائي الخاصة بالاقتصاد والاستدامة إلى دعم الموقف الوطني من هذه التدابير في سياق المناقشات العلمية والتقنية التي تؤثر على الاقتصاد والاستدامة. كما يهدف إلى دعم موقف وفد ألمانيا في وكالة الفضاء الأوروبية وفي اللجان الدولية مثل لجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات والمعنية بالحطام الفضائي واللجنة الفرعية العلمية والتقنية التابعة للجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية.

٣٨- والتحليل المقدم أدناه أكثر تفصيلاً رغم أنه يستند إلى تحليلات التكاليف والفوائد التي أُجريت من قبل في إطار المشروع المعنون "خدمات متكاملة بشأن الحطام الفضائي". ويتعمق التحليل بالنظر إلى عدد من الجوانب منها الاعتبارات التاريخية لتدابير التخفيف من الحطام الفضائي والتي أُخذت بالفعل في الحسبان في تصميم وتشغيل المركبات الفضائية، وكذلك بالنظر إلى الحكم على المقترحات المتعلقة بإزالة الحطام من الفضاء.

٣٩- وتتيح المؤلفات ذات الصلة معلومات مفصلة عن أساسيات نماذج تحديد التكلفة وانطباق النماذج البيئية للحطام الفضائي لتحديد خطر فقدان المركبة الفضائية. وقد درست نماذج تحديد التكلفة المتاحة، واستخدم استناداً إلى هذه الدراسة نموذج معدل لتقدير تكلفة الأضرار الناجمة عن الارتطام الفائق السرعة في جميع البعثات الساتلية السابقة.

٤٠- واستنادا إلى بيانات تدفق الجزئيات المقدّمة في إصدار عام ٢٠٠٥ لبرامجية النموذج المرجعي للنيازك والحطام الفضائي (المعروف أيضا باسم "نموذج ماستر-٢٠٠٥")، يمكن تحديد تأثير بيئة الحطام الفضائي والتطور الزمني للخطر بالجمع بين تقديرات تكاليف السواتل وتحليلات المخاطر. والغرض من التحليل المنهجي لتأثير الارتطامات الفائقة السرعة على البعثات الساتلية السابقة هو تقدير التطور الزمني للتهديد الذي يشكله الحطام الفضائي على البعثات الفضائية وتكاليف المخاطر الناجمة عنه فيما يخص مشغلي السواتل. وإجمالا، تم التمهيد في نتائج التحليلات التي أجريت على ٣ ٨٩٣ ساتلا. وحُدّد العمر التشغيلي لجميع السواتل بسبع سنوات. وأخذت في الحسبان كل المدارات ذات الصلة والأبعاد المختلفة للسواتل. وافترض أن البارامترات الأخرى، مثل تصميم أبعاد جدار الساتل وعدد وأنواع الحمولات، متطابقة لجميع السواتل. وقُدّرت التكاليف فيما يخص كل ساتل بحسب كتلته في "بداية عمره". وباستخدام برامجية ماستر - ٢٠٠٥، كوّنّت قاعدة بيانات كبيرة لبيئة تدفق الجزئيات لكل ساتل. واستنادا إلى معادلات الأضرار في الهياكل الجدارية، أُجري تحليل لمعرفة الجزئيات المرتطمة القادرة على اختراق جدار الساتل. كما حددت احتمالات الفشل فيما يتعلق بكل ساتل. وأخيرا، فقد حسبت تكاليف الخطر حسب تكاليف الساتل واحتمال الفشل.

٤١- وتشير تلك التكاليف إلى الخسارة المحتملة التي يمكن أن يتعرض لها المستثمر من فشل مهمة الساتل قبل الأوان بسبب الأضرار الناجمة عن ارتطام الجسيمات. وتشير الخسارة الناجمة عن استهلاك الساتل إلى تكاليف الخسائر الناجمة عن ارتطام الجسيمات بالساتل. ومن خلال جمع تلك التكاليف، يمكن تحديد مجموع الخسائر الاقتصادية الناجمة عن الأضرار في نقطة زمنية معينة. أما المحاكاة فهي معقدة جدا، لأنها تتطلب تحليلا للمخاطر يتعين تنفيذه على نحو ٤ ٠٠٠ ساتل ويشمل تحديد توزيع النظام الفرعي واحتمال الفشل وتقديرات التكاليف. وتتراوح تكاليف الأضرار الإجمالية بين ٢٠٠ مليون و٧٠٠ مليون دولار أمريكي، بحسب نموذج تقدير درجة الخطر المختار. ويتطابق ذلك مع قيمة فقدان ما بين ساتلين و خمسة سواتل. وبما أنه كان من الضروري تبسيط تعريف ضعف السواتل إلى حد كبير، فينبغي فهم الأرقام على أنها تقدير لترتيب حجم الأضرار. ويتبين من العمل أن تحليل المخاطر والتكاليف بشأن تفاعل الحطام الفضائي مع عدد كبير من السواتل أمر ممكن.

٤٢- وكجزء من المشروع، أُجريت دراسة للنصوص ذات الصلة اقترحت خلالها أساليب مختلفة لإزالة الحطام من الفضاء. واستندت تلك الأساليب أساسا إلى تغيير الموقع المداري للأجسام الفضائية أو إخراجها من المدار باستخدام تكنولوجيا الليزر أو تكنولوجيا الحبل

الفضائي أو باستخدام روبوتات. وهناك قائمة من المقترحات المعروفة، لكن لم يجر تقييم كل اقتراح على حدة.

تطبيق المبادئ التوجيهية الوطنية الخاصة بتخفيف الحطام الفضائي على البعثات الفضائية الألمانية

برنامج رصد وتحليل البيئة*

٤٣- برنامج رسم الخرائط البيئية والتحليل البيئي (EnMAP) هو بعثة ألمانية تستخدم ساتلا ذا نطاق طيفي فائق الاتساع يضم ما يزيد على ٢٠٠ قناة في مدى طيفي واسع يتراوح بين ٤٢٠ و ٤٥٠ نانومتراً، وذا استبانة أرضية عالية تبلغ ٣٠ متراً. وسيُحمل برنامج "EnMAP" على متن سائل صغير بُني باستخدام أحدث تكنولوجيا المنصات وسيُرسل إلى مدار يقع على بُعد نحو ٦٥٠ كيلومتراً فوق سطح الأرض. وتعلق المهام الرئيسية لبعثة "EnMAP" بتحديد بارامترات المنظومة البيئية الأحيائية وكذلك المتغيرات الفيزيائية الحيوية والكيميائية الحيوية والجيوكيميائية على الصعيد العالمي. وسوف يتيح برنامج "EnMAP" أيضاً إجراء تحليلات للكوارث الطبيعية وتلوث الأراضي والمياه. وسوف تُستخدم بيانات البعثة لإعداد خدمات تجارية وعملية في المستقبل.

٤٤- ويجري تقييم إمكانية تطبيق المبادئ التوجيهية الوطنية المتعلقة بتخفيف الحطام الفضائي، المستمدة من المدونة الأوروبية لقواعد السلوك الخاصة بتخفيف الحطام الفضائي، على احتياجات برنامج "EnMAP". ويشمل العمل تحليل تدابير انتهاء العمر التشغيلي (ولا سيما تحليل عملية التخميل وتنفيذ مناورات التخلص) وتدابير سلامة العودة (وبخاصة تقييم احتمال بلوغ الحطام المنبعث من المركبة الفضائية سطح الأرض، ودراسة ما يتصل بذلك من مخاطر على الأشخاص والممتلكات في الأرض، وتقييم احتمال خطر إلحاق تلوث ضار ببيئة الأرض) (A/AC.105/918، الفقرات ٤-٧).

المركبات الخاصة باختبار التكنولوجيا (*Technologie Erprobungs Träger*)

٤٥- يهدف برنامج المركبات الخاصة باختبار التكنولوجيا إلى إيجاد تكنولوجيات جديدة يمكن تطبيقها على مشاريع الفضاء. وهو يُركّز على إجراء عروض إيضاحية أثناء الطيران

* يمكن الاطلاع على الوثيقة الأصلية التي قدّمتها ألمانيا بالإنكليزية على الموقع الشبكي لمكتب شؤون الفضاء الخارجي التابع للأمانة العامة (<http://www.unoosa.org/oosa/natact/sdnps/2008/index.html>).

وعلى اختبار المكونات والنظم الفرعية الخاصة بالمركبات الفضائية من أجل الاستخدام في جملة أمور منها توليد الطاقة والتوجيه والملاحة والمراقبة.

٤٦- ويتيح المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي فُرصاً لاختبار تكنولوجيات جديدة أثناء الطيران على منصات وسواتل مختلفة. ويستند البرنامج إلى استخدام الساتل الصغير "TET"، وهو ساتل ألماني الصنع يزن نحو ١٢٠ كيلوغراماً وتبلغ قدرة حمولته زهاء ٥٠ كيلوغراماً.

٤٧- وسيطلق المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي ساتلاً من نوع "TET" في مدار أرضي منخفض. ومن المقرر أن تستغرق البعثة سنة واحدة. وإضافة إلى تجميع النظام وتوحيده واختباره، سيُشغّل المركز الساتل وسيقدّم كل البيانات المجمعة إلى المستخدمين المهتمين.

٤٨- وسوف تُدرس في إطار برنامج "TET" إمكانية تطبيق المبادئ التوجيهية الوطنية المتعلقة بتخفيف الحطام الفضائي، المستمدة من المدونة الأوروبية لقواعد السلوك الخاصة بتخفيف الحطام الفضائي، على احتياجات المشروع. وسينصبّ التركيز بوجه خاص على التدابير الوقائية (مثل الأجسام المتعلقة بالبعثات، والتشظّي) وتدابير انتهاء العمر التشغيلي (مثل التخميل والإزالة من المدار والتخلص) وسلامة العودة (A/AC.105/918، الفقرات ٨-١١).

اليابان

[الأصل: بالإنكليزية]

١- ركّزت الأنشطة المتعلقة بدراسة الحطام الفضائي في اليابان، التي اضطلعت بها أساساً الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي وجامعة كيوشو، على المجالات المعروضة أدناه.

رصد الحطام الفضائي من الأرض

٢- تُستخدم المقارِب البصرية بانتظام لرصد الأجسام الموجودة في المدار الأرضي التزامني وتحديد خصائصها المدارية. والبحوث جارية من أجل وضع برامجية يمكنها أن ترصد تلقائياً الأجسام الصغرى الموجودة في المدار الأرضي التزامني. أما الأجسام الموجودة في مدار أرضي منخفض فترصد باستخدام مقارِب رادارية. وتجري حالياً بحوث لتحسين رصد الأجسام الموجودة في مدار أرضي منخفض، باستخدام مقارِب بصرية تعقبية فائقة السرعة.

وعلاوة على ذلك، رُصدت المنحنيات الضوئية الخاصة ببعض المركبات الفضائية وحُللت خصائص حركتها الاهتزازية (A/AC.105/918، الفقرة ٢).^(١)

أدوات النمذجة والتحليل

٣- ويجري تطوير نموذج تطور بيئة الحطام الموجود في المدار الأرضي المنخفض، الذي وضعتة جامعة كيوشو والوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي وأداة دعم معايير تخفيف الحطام. كما يجري تطوير أداة لتحليل خطر اصطدام الحطام. وحتى الآن، لم تكن هناك إمكانية إلا لتحليل احتمال ارتطام الحطام، لكن يجري الآن أيضا تقدير مخاطر حصول أضرار باستخدام معادلات الحد الباليستي.

نماذج تطور الحطام المداري

٥- تخطط جامعة كيوشو للإسهام، بالنيابة عن الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي، في "بند عمل" عنوانه "فوائد إزالة الحطام النشط على مجموع الحطام في المدار الأرضي المنخفض"، ضمن بنود عمل الفريق العامل ٢ التابع للجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات والمعنية بالحطام الفضائي. ويهدف الفريق العامل إلى التوصل، من خلال بند العمل هذا، إلى توافق في الآراء فيما يتعلق باستقرار وعدم استقرار مجموع الحطام المداري في المدار الأرضي المنخفض حاليا. وستجرى دراسة بارامترية عن آثار إزالة الحطام النشط ومقارنة النتائج التي يتم الحصول عليها باستعمال أدوات مختلفة. وتجرى الدراسة بقيادة الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء في الولايات المتحدة الأمريكية (ناسا) ويشترك فيها باحثون من وكالة الفضاء الإيطالية والمركز الوطني البريطاني لشؤون الفضاء والمؤسسة الهندية لأبحاث الفضاء والوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي. وستقدّم النتائج الأولى قبل حلول موعد الاجتماع القادم للجنة التنسيق المقرر عقده في نيسان/أبريل ٢٠٠٩.

٦- وأوصت الأوساط الفضائية الدولية بوضع المركبات الفضائية القديمة الموجودة في مدار أرضي تزامني في مدارات منحرفة على ارتفاعات أعلى، حتى لا يتداخل مسارها مع مسار المركبات الفضائية العاملة. وخلال السنوات الثماني الماضية، وُضع ما يزيد على ٨٠ في المائة من المركبات الفضائية القديمة الموجودة في مدار أرضي تزامني في مدار جديد فوق

(١) يمكن الاطلاع على الوثيقة الأصلية التي قدّمتها اليابان بالإنكليزية على الموقع الشبكي لمكتب شؤون الفضاء الخارجي التابع للأمانة العامة (<http://www.unoosa.org/oosa/natact/sdnps/2008/index.html>)

الارتفاع الاسمي للمدار الأرضي التزامني. غير أن بعض هذه المركبات الفضائية لم يتمكن من الوصول إلى الارتفاع الذي أوصت به لجنة التنسيق.

٧- وتنبأت جامعة كيوشو بما سيكون عليه حجم مجموع الحطام المداري في نظام المدار الأرضي التزامني للمائة سنة القادمة عن طريق حسابات تستند إلى الممارسات الحالية للتخلص من الحطام الفضائي. وأشارت هذه التوقعات إلى ضرورة بذل جهود من أجل صون المدار الأرضي المتزامن تشمل: ضمان أن يكون التخلص من الحطام الفضائي بعد انتهاء المهام مطابقاً لتوصيات الأوساط الفضائية الدولية، واعتماد إجراءات لحفظ جميع الأجسام الصاروخية والمركبات الفضائية بعد انتهاء مهمتها على نحو آمن. كما ساعدت التوقعات المستقبلية في تحديد المسائل التقنية المتصلة بوضع المركبات الفضائية القديمة (التي انتهى عمرها) في مدارات منحرفة على ارتفاعات أعلى وهي: الصعوبة في تقييم استهلاك الوقود (بقايا الوقود)، وغياب موثوقية النظام فيما يتعلق بالمركبات الفضائية التي انتهى عمرها (التي تعرّضت لأعطال).

٨- وتخطط جامعة كيوشو والوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي لوضع نموذج شامل لدراسة الانتقال من المدار الأرضي المنخفض إلى المدار الأرضي التزامني بهدف حساب جميع الأجسام التي تدور حول الأرض. وبناء على هذه الخطة، بدأت جامعة كيوشو بتطوير نموذج المدار الأرضي التزامني الخاص بها بحيث يكون مستندا إلى تقنيات نمذجة أكثر واقعية من التقنيات المعتمدة في نموذج المدار الأرضي المنخفض.

اختبار الارتطام المفرط السرعة

٩- أُجريت اختبارات على الارتطام المفرط السرعة على صفائح الألومنيوم وصفائح البلاستيك المقوى بألياف الكربون باستخدام مدافع الغاز الثنائية المراحل التي طورتها جامعة توهوكو في اليابان وجامعة بادوفا في إيطاليا. وخلال الاختبارات، تم رصد سلوك انكسار الهدف بواسطة كاميرا عالية السرعة. وكانت هناك اختلافات في حجم الضرر وفي سحب الحطام بين سبائك الألومنيوم وسبائك الألومنيوم المقوى بألياف الكربون والقائمة على مادة الإبوكسي. وعرضت الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي مدافع غاز ثنائية المراحل لتعزيز الحصول على بيانات اختبارية إضافية.

١٠- كما استُخدم جهاز ارتطام ذي شحنة مُشكّلة في اختبارات الارتطام المفرط السرعة، التي تشمل استخدام مقذوفات يزيد وزنها على غرام واحد وتسير بسرعة تزيد على

١٠ كيلومترات في الثانية. وتم وضع نظام لإزالة الطائرات في حالة حصول حادث كبير لاصطدام طائرة.

اختبار ارتطام السواتل الصغرى

١١- تعاونت جامعة كيوشو مع مكتب برنامج الحطام المداري التابع لناسا بشأن مجموعة من اختبارات الارتطام بسواتل صغرى. واستُعمل لتلك الاختبارات كهدفين ساتلان صغيران مغطيان بعازل متعدد الطبقات ومزودان بلوحة للطاقة الشمسية. وكانت أبعاد الساتلين الصغيرين ٢٠ سنتيمترا × ٢٠ سنتيمترا × ٢٠ سنتيمترا وكتلة كل منهما تقارب ١٥٠٠ غرام. وأجريت اختبارات الارتطام للتحقق من أجزاء اللوحتين الشمسييتين وأجزاء العازل المتعدد الطبقات. ثم قورنت نتائج هذه الاختبارات مع نموذج ناسا المعياري للتفكك. وبلغت سرعة الارتطام حوالي ١,٧ كيلومتراً في الثانية؛ ونسبة الارتطام الحركي لكتلة الساتل في التجربتين حوالي ٤٠ جول/غرام. والتقطت صور لعمليات الارتطام من كاميرا فائقة السرعة قدمتها هيئة الإذاعة اليابانية. وسوف تُستخدم النتائج في تحسين فهم الأجسام التي لها نسبة عالية من المساحة إلى الكتلة وفي تحسين نماذج التفكك من أجل نمذجة أفضل لبيئة الحطام المداري.

١٢- ومن المهم معرفة المزيد عن أشكال الشظايا من أجل تحسين عملية تقدير نسبة المساحة إلى الكتلة من كل شظية. ومع ذلك، فمن المهم أيضاً إجراء تقييم موثوق لاحتمال عدم اختراق المركبات الفضائية مثل محطة الفضاء الدولية. وقد حُلَّت جميع الشظايا التي جمعت من اختبارات الارتطام السابقة (A/AC.105/918) على أساس أبعادها المتعامدة الثلاثة، "س" و"ص" و"ع" إذ يمثل البُعد "س" أطول بُعد، ويمثل البُعد "ص" أطول بُعد في المستوى عمودي على البُعد "س" ويمثل البُعد "ع" أطول بُعد في المستوى عمودي على البُعدين "س" و"ص" معاً. ويمكن ملاحظة مجموعتين من توزيع الشظايا هما المجموعة س/ص مقابل المجموعة ص/ع أما الشظايا التي تكون فيها القيم س/ص أكبر فتمثل بإبرة والشظايا التي تكون فيها القيم س/ص أصغر فتمثل بطبق. ويمكن أن يكون للشظايا التي تكون فيها القيم س/ص أصغر طائفة واسعة من القيم ص/ع ويمكن أن تكون صندوقية الشكل (عندما تكون القيم ص/ع أصغر)، وإبرية الشكل (عندما تكون القيم ص/ع أكبر)، وذات شكل طبقي (عندما تكون القيم ص/ع متوسطة).

الحبل الكهرودينامي لتسريع اضمحلال المركبات الفضائية غير المستعملة في المدار

١٣- إن تخفيف حجم الحطام الناشئ وحده لا يكفي للحفاظ على البيئة المدارية، لأن ردود فعل متسلسلة من الارتطامات بين الكتل الحطامية الموجودة قد رُصدت بالفعل في مناطق مدارية معينة. وأفضل سبيل لتحسين تلك البيئة هو إزالة الأجسام الكبيرة من المناطق المدارية العالية الكثافة. وقد يكون من بين الحلول التقنية لضمان أن تُنفذ مهام الإزالة هذه بطريقة فعالة من حيث التكلفة استخدام نظام الحبل الكهرودينامي، الذي يبطئ حركة الأجسام الفضائية غير المستعملة ويقلص عمرها المداري. وقد اضطلعت الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي بأنشطة البحث والتطوير المتعلقة بنظم الحبل الكهرودينامي. وتوجّه الجهود الحالية إلى تطوير نظام صغير للحبل الكهرودينامي بهدف إجراء عرض في المدار باستخدام سائل صغير.

معدل نجاح بعثة الحبل الكهرودينامي في الإزالة النشطة للحطام

١٤- حددت لجنة التنسيق "الفوائد والمخاطر المحتملة لاستخدام الحبال الكهروديناميكية في تغيير الموقع المداري للمركبات الفضائية التي تدور في مدار أرضي منخفض" من بين بنود عملها. ومع أن الحبل رقيق فهو طويل بما يكفي لتكون المساحة التي يغطيها واسعة ويصبح بالتالي عرضة لجسيمات صغيرة. وقد يكون ذلك أضعف نقطة في نظام الحبل في مواجهة الحطام المداري. ومن أجل التغلب على هذه النقطة الأضعف، اقترح نظام واعد يُربط فيه حبلان بعقد تشكّل حلقات تتساوى في بعدها عن بعضها البعض. وللمشاركة في بند العمل هذا، طورت جامعة كيوشو نموذجاً رياضياً لتقييم احتمال بقاء نظام الحبل المزدوج.

١٥- وقامت جامعة كيوشو بعد ذلك بتمديد النموذج الرياضي المذكور أعلاه حالما تم الانتهاء من بند العمل المذكور أعلاه. ويمكن للنموذج الناتج أن يوفر نسبة نجاح قصوى للبعثة يمكن أن يتوصل إليها نظام الحبل المزدوج بعد وضع اللمسات الأخيرة عليه بغض النظر عن عدد الحلقات. وتستخدم جامعة كيوشو النموذج الجديد لتقييم نسبة نجاح مهمة نظام الحبل الكهرودينامي الذي اقترحتة الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي. وستُنشر معلومات إضافية عن هذا الموضوع في مجلة "أدفانس إن سبيس ريسيرش".