

Distr.: General  
3 November 2021  
Arabic  
Original: English



لجنة استخدام الفضاء الخارجي  
في الأغراض السلمية  
اللجنة الفرعية العلمية والتقنية  
الدورة التاسعة والخمسون  
فيينا، 7-18 شباط/فبراير 2022  
البند 8 من جدول الأعمال المؤقت\*  
الحطام الفضائي

## البحوث المتعلقة بالحطام الفضائي وأمان الأجسام الفضائية التي تحمل على متنها مصادر قدرة نووية والمشاكل المتصلة باصطدامها بالحطام الفضائي

مذكرة من الأمانة

أولاً - مقدمة

1- اتفقت اللجنة الفرعية العلمية والتقنية التابعة للجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية، في دورتها الثامنة والخمسين، على مواصلة دعوة الدول الأعضاء والمنظمات الدولية التي لها صفة المراقب الدائم لدى اللجنة، إلى تقديم تقارير عن البحوث المتعلقة بالحطام الفضائي وأمان الأجسام الفضائية المزودة بمصادر قدرة نووية على متنها والمشاكل المتصلة باصطدام تلك الأجسام بالحطام الفضائي والسبل التي يجري بها تنفيذ المبادئ التوجيهية لتخفيف الحطام الفضائي (الوثيقة A/AC.105/1240، الفقرة 109). وبناءً على ذلك، دُعيت الدول الأعضاء والمنظمات الدولية التي لها صفة مراقب دائم، في خطاب أُرسِل إليها في 11 آب/أغسطس 2021، إلى تقديم تقاريرها بحلول 11 تشرين الثاني/نوفمبر 2021، لكي يتسنى إتاحة المعلومات الواردة فيها للجنة الفرعية في دورتها التاسعة والخمسين.

2- وقد أعدت الأمانة هذه الوثيقة بالاستناد إلى المعلومات الواردة من خمس دول أعضاء هي ألمانيا والبرازيل والنمسا والهند واليابان، ومن الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة تكنولوجيا الفضاء في خدمة التطبيقات المجتمعية (كندا - أوروبا - الولايات المتحدة - آسيا) (منظمة كانبوس الدولية). وستتاح معلومات أخرى مقدمة من اليابان ومنظمة كانبوس الدولية، تشمل أرقاماً عن الحطام الفضائي، في شكل ورقة اجتماع عند انعقاد الدورة التاسعة والخمسين للجنة الفرعية.

\* A/AC.105/C.1/L.392



الرجاء إعادة استعمال الورق

261121 261121 V.21-08117 (A)



## ثانياً - الردود الواردة من الدول الأعضاء

### النمسا

[الأصل: بالإنكليزية]

[27 تشرين الأول/أكتوبر 2021]

تعد محطة قياس مسافات السواتل بالليزر التابعة لمعهد البحوث الفضائية بالأكاديمية النمساوية للعلوم إحدى المحطات الرائدة فيما يتعلق بتتبع الحطام الفضائي. وباستخدام ليزر 16 واط، يمكن اكتشاف الانعكاس المنتثر للسواتل أو أجسام الصواريخ التي توقفت عن التشغيل، ويمكن حساب المسافة بدقة تقارب مترا واحداً. وفي جلسات قياس مسافات الحطام الفضائي بالليزر من موضعين أو مواضع متعددة، تطلق محطة قياس مسافات السواتل بالليزر الكائنة في غراتس ليزر الحطام الفضائي بصورة نشطة، وتكتشف محطة أو أكثر من محطات قياس مسافات السواتل بالليزر (محطات ساكنة) في أوروبا الفوتونات المنعكسة. ويمكن لهذه القياسات أن تُدخل المزيد من التحسينات على التنبؤات المدارية. وخلال تجارب "التحديق والملاحقة"، يمكن اكتشاف أجسام فضائية ذات مدارات غير معروفة برؤية العين، ويُحسب المدار من اتجاهات التصوير وقياس المسافة إلى الجسم في غضون فترة مرور الجسم عبر الأفق نفسها. وبالتوازي مع قياس مسافات الحطام الفضائي بالليزر، تُسجل منحنيات ضوئية بالفوتونات المنفردة لأشعة الشمس التي يعكسها الحطام الفضائي. ومن واقع بيانات قياس مسافات الحطام الفضائي بالليزر ومنحنى الضوء، يمكن استخلاص استنتاجات هامة بشأن محور اللف وزمن الدوران. وفي عام 2020، كانت محطة غراتس لقياس مسافات السواتل بالليزر أول محطة تقيس المسافة بنجاح إلى أجسام الحطام الفضائي في وضوح النهار من خلال رؤية الأجسام على خلفية السماء الزرقاء.

### البرازيل

[الأصل: بالإنكليزية]

[18 تشرين الأول/أكتوبر 2021]

في 16 آب/أغسطس 2021، قُبلت البرازيل بصفة مراقب لدى لجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات والمعنية بالحطام الفضائي، وهي منتدى يتبادل فيه الأعضاء المعلومات عن الأنشطة المتعلقة ببحوث الحطام الفضائي، ويبسرون فرص التعاون في مجال بحوث الحطام الفضائي، ويستعرضون التقدم المحرز في الأنشطة التعاونية الجارية، ويستبينون الخيارات المتاحة لتخفيف الحطام. وأُتيحَت الفرصة للبلد للحضور بانتظام في الاجتماعات التي ينظمها فريقان عاملان تابعان للجنة التنسيق المشتركة (الفريق العامل 2 المعني بالبيئة وقاعدة البيانات، والفريق العامل 4 المعني بالتخفيف) على مدى سنتين. إلا أن وكالة الفضاء البرازيلية لم تقدم بعد قائمة تتضمن أسماء العلماء/الخبراء بالبلد المرشحين للانضمام إلى هذين الفريقين العاملين، وهي ليست عضواً بعد في لجنة التنسيق المشتركة. وما زال بإمكان الوكالة أن تقدم هذه القائمة لضمان مشاركة الخبراء في الاجتماع الكامل المقبل للجنة التنسيق المشتركة، المقرر عقده في جمهورية كوريا في الفترة من 6 إلى 10 حزيران/يونيه 2022.

### ألمانيا

[الأصل: بالإنكليزية]

[28 تشرين الأول/أكتوبر 2021]

تُجرى أنشطة بحثية بشأن المسائل المتصلة بالحطام الفضائي في ألمانيا في جميع الميادين ذات الصلة. ويشمل ذلك نمذجة بيئة الحطام الفضائي، ورصد الحطام الفضائي، وتطوير التكنولوجيا لأغراض

الرصد، وإجراء دراسات بشأن آثار الاصطدام الفائق السرعة على المركبات الفضائية، وحماية المنظومات الفضائية من ارتطام النيازك الدقيقة والحطام الفضائي، فضلا عن تكنولوجيات التصميم بغرض التلاشي. ويشترك الخبراء الألمان بنشاط في المحافل الدولية المعنية في ميدان بحوث الحطام الفضائي وأمان الفضاء، بما في ذلك لجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات والمعنية بالحطام الفضائي والأكاديمية الدولية للملاحة الفضائية، في أنشطة التوحيد الدولي في ميدان الحطام الفضائي، ومؤخرا أيضا في جوانب تنسيق حركة المرور في الفضاء. وتشارك الصناعة والأوساط الأكاديمية الألمانية أيضا في التطورات التكنولوجية الرامية إلى خدمة استدامة استخدام الفضاء الخارجي في الأمد البعيد وحماية الأرض.

وفي الآونة الأخيرة، شرعت وكالة الفضاء الألمانية، من خلال المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي، في مبادرة لإدخال مزيد من التحسينات على جهود تخفيف الحطام الفضائي في مشاريع السوائل الصغيرة التي تُجرى في الجامعات ومعاهد البحوث، بدعم من المركز. وتكفل التغييرات المدخلة على العمليات الداخلية في وكالة الفضاء الألمانية تنفيذ شروط تخفيف الحطام الفضائي الصادرة عن المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي بوصفها شروطا إلزامية في المنح البحثية للبعثات الفضائية. وعلاوة على ذلك، ما برح الحوار مستمرا مع مبادرة السوائل الصغيرة التي أطلقتها الجامعات الألمانية. والهدف من هذا الحوار هو الحفاظ على مستوى عال من الاستدامة في الأنشطة الفضائية الآخذة في النمو بسرعة في الجامعات، ودعم تبادل المعارف وأفضل الممارسات في إطار الساحة الجامعية. وتقدم وكالة الفضاء الألمانية الدعم للمشاريع الجارية، ونظمت حلقات عمل يقدمها خبراء عبر الإنترنت تتعلق بمواضيع تخفيف الحطام الفضائي، وشرعت في دراسة استقصائية عن عمليات البعثات الفضائية في جامعات في ألمانيا. ومن المتوقع أن تظهر النتائج الأولى للدراسة الاستقصائية في نهاية عام 2021.

## القياسات

يلزم تنمية القدرات على توليد واستخدام بيانات الاستشعار من أجل ترسيخ الكفاءة الوطنية في مجال مراقبة الفضاء، على سبيل المثال، لأغراض وضع قائمة بالأجسام الفضائية وإجراء عمليات تحديد المدار. وقائمة الأجسام هذه هي العمود الفقري لعمليات التوعية بأحوال الفضاء. ولذلك، شرعت وكالة الفضاء الألمانية، من خلال برنامجها الوطني الممول من الوزارة الاتحادية الألمانية للشؤون الاقتصادية والطاقة، في تطوير الرادار الألماني التجريبي لعمليات المراقبة والتتبع الفضائية (GESTRA). وتولى تطوير هذا النظام معهد فراونهوفر للفيزياء العالية التردد وتقنيات الرادار. وهو نظام تجريبي لمسح وتحديد المعلومات المدارية للأجسام الفضائية الكائنة في مدار أرضي منخفض. وفي عام 2020، نُقل اثنان من واقيات الرادارات إلى موقع التشغيل وبدأ عملهما، وأجريت هناك أنشطة أخرى لإدماجها واختبارهما والتحقق من صلاحيتهما. ويمكن تشغيل النظام عن بعد بالكامل بواسطة المركز الألماني للتوعية بأحوال الفضاء (GSSAC). ويهدف الرادار الألماني التجريبي أيضا إلى أن يكون بمثابة منصة تجريبية لتشغيل الرادار من موضعين أو مواضع متعددة، وتوفير البيانات لمؤسسات البحوث في ألمانيا لإجراء مزيد من البحوث في هذا المجال.

وقد أنشأ المركز الألماني للتوعية بأحوال الفضاء قاعدة بيانات واستضافها وقام بتشغيلها منذ عام 2019 لجمع وتبادل القياسات الواردة من اتحاد المراقبة والتتبع الفضائيين (SST) التابع للاتحاد الأوروبي، الذي يعمل بمثابة المنصة الرئيسية لتبادل البيانات لمبادرة المراقبة والتتبع الفضائيين في الاتحاد الأوروبي. وكخطوة ثانية، شُرع في وضع قائمة أوروبية بسلائف الأجسام بالاستناد إلى قاعدة البيانات تلك.

وقد استبينت خيارات متعددة لزيادة أداء قياسات رادارات المراقبة الأرضية للحطام الفضائي. ويتمثل أحد الخيارات في استخدام رادارات مراقبة متعددة في مواقع منفصلة تعمل في تكوينات ثنائية ومتعددة. ومن المتوقع أن تؤدي هذه الشبكة من الرادارات ليس إلى زيادة حجم منطقة المراقبة فحسب، بل أن تؤدي أيضا

إلى قياسات أفضل للأجسام المفردة. وتجري حاليا دراسة لمواصلة تحليل أساليب التشغيل هذه من خلال التعاون بين معهدين من معاهد فراونهوفر.

وتتألف حاليا شبكة من التلسكوبات البصرية، تسمى شبكة التلسكوبات الروبوتية ذات الفتحة الصغيرة (SMARTnet)، من خمس محطات تلسكوبات. وتقع هذه المحطات في سويسرا والولايات المتحدة وإسبانيا وجنوب أفريقيا وأستراليا، ويقوم المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي بتشغيل المحطتين الكائنتين في جنوب أفريقيا وأستراليا. وينظم المركز هذه الشبكة بالتعاون الوثيق مع معهد علوم الفلك التابع لجامعة برن، سويسرا. وتتألف محطات التلسكوب من عدة تلسكوبات ذات فتحات تتراوح بين 14 سم و80 سم. وترصد الشبكة المنطقة الثابتة بالنسبة للأرض والمدارات ذات الصلة لدعم البحوث المتعلقة بتجنب الاصطدام وغير ذلك من المواضيع العلمية، وتشمل بيانات عن الأجسام التي يزيد حجمها عن 30 سم تقريبا الكائنة في مدارات متزامنة مع دوران الأرض. وقد اكتشفت بالفعل أجسام يقل حجمها عن 18,5 سم، وتم قياس مواقعها وحساب مداراتها. وتم أيضا حل تكتلات السوائل باستخدام نبضات رادارية واضحة بلا تشويش.

ويكف المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي أيضا على تطوير نظام معلومات بواسطة الفهرس الرئيسي للمعلومات التفاعلية للحطام، وهو قاعدة بيانات مدارية للأجسام الموجودة في مدار أرضي، وهو أمر محوري في هذا المشروع. وتعمل حاليا بكامل طاقتها وظائف رئيسية في هذا النظام، مثل ربط الأجسام ببعضها باستخدام ملاحظات مستمدة من أجهزة استشعار مختلفة (مثل SMARTnet)، لتوفر بذلك أول بيانات رصدية يجهزها النظام، وكذلك تحديد المدارات واستقراء المدارات. ويستطيع النظام أن يعالج أنواعا مختلفة من القياس، بما في ذلك قياس المسافات باستخدام الرادار والتقنيات الضوئية والليزر الساتلي. ويمكن أيضا دمج بيانات المدخلات المختلفة وضمها معا فيما يتعلق بالأجسام لكي تسفر عن حل أفضل لتحديد المدار. وعلاوة على ذلك، جار تطوير خوارزمية فحص كاملة للكشف عن حالات التقارب بين الأجسام. وتُبرمج جميع الخوارزميات بحيث يمكن معالجة بيانات الرصد المتعلقة بما يصل إلى 100 000 جسم أنيا. وتشمل مواضيع البحوث الجارية حاليا مقارنة دقة البرامج المختلفة لاستقراء المدارات، مثل البرامج العددية وشبه العددية، وكذلك استخلاص التخطيط الأمثل من قاعدة البيانات لتمكين أجهزة الاستشعار من إبقاء جميع الأجسام ضمن حدود دقيقة محددة.

وسيتولى مشروع آخر، في جامعة براونشفايغ التقنية، تقييم المجالات الوظيفية الأساسية لنظام التوعية بأحوال الفضاء. والهدف الرئيسي للمشروع هو فهم مدى ملاءمة طرائق مختارة لتحديد المدارات. ولهذا الغرض، وضعت معايير للجودة فيما يتعلق بفهرس بيانات المدارات. وسيُتحقق من جودة الفهرس المعد بإجراء عدد كبير من عمليات المحاكاة.

وقد قام المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي بتركيب تلسكوب كبير في جنوب ألمانيا من نوع Ritchey-Chrétien يبلغ قطره 1,75 متر لرصد وتحليل أجسام الحطام الفضائي الصغيرة التي يبلغ حجمها بضعة سنتيمترات. وقد تم تجهيز التلسكوب بأربع بؤر من طراز ناسميت (Nasmyth) ومسار كوعي. وإضافة إلى ذلك، يمكن استخدامه كأحد أجهزة إرسال الليزر أو أجهزة استقبال الفوتونات المشتركة في حملات قياس المسافات بالليزر من موقعين. وبصفة عامة، يعمل التلسكوب كمنصة لتطوير تكنولوجيات بصرية ليزرية جديدة ومبتكرة لتطبيقات أمان الفضاء لجميع المدارات الأرضية، بما يشمل ارتفاع المدار الأرضي المنخفض جدا. وستكون بؤرة تركيز تكنولوجيا الليزر المنقّدة في نطاق الطول الموجي الليزري الآمن للعين.

وقد طور المركز الألماني لشؤون الفضاء الجوي نظاما مدمجا يعمل آليا لقياس مسافات السوائل بالليزر، يوفر دقة قياس المسافات بالليزر بمقدار بضعة سنتيمترات في البيانات الموضوعية المستمدة من السوائل المجردة بعكسات ارتجاعية. ولهذه البيانات تطبيقات عديدة في الجيوديسيا أو رصد الأرض أو تشغيل السوائل أو رصد

السوائل التي خرجت من الخدمة. وقد طُور عنصر مُناظر في المدار قائم على تصميم عاكس ارتجاعي خزفي غير حراري، ويمكن أن يستخدمه مشغلو السوائل كأحد حلول رصد حركة المرور الفضائية بواسطة الليزر.

وفي مجال جزيئات الحطام الصغيرة جدا، يعكف معهد إرنست ماخ (Fraunhofer EMI) التابع لمعهد فراونهوفر لديناميات العالية السرعة على دراسة مفهوم جهاز متكامل منخفض الموارد لكشف الاصطدام، لحساب وكالة الفضاء الأوروبية. ويجري تطوير مفهوم جهاز الكشف الموقعي هذا بغرض جمع البيانات في المدار عن الحطام الفضائي الذي يقل حجمه عن 0,1 مم، أي ارتطامات الجسيمات التي قد تكون لها آثار كبيرة على المنظومات الفضائية ولكن يصعب رصدها من الأرض.

### النمذجة وتقييم المخاطر في المدار وعلى الأرض

تمثل الهدف الرئيسي لمشروع في جامعة برونشفايغ التقنية في المساهمة في تعريف نظام تصنيف للاستخدام المستدام للبيئة الفضائية بالإحالة إلى احتمالات الاصطدام المتزايدة في المدارات الأرضية المنخفضة. وتتسم هذه التحقيقات بأهمية خاصة في الوقت الحاضر، بالنظر إلى أن سياسات التخفيف القائمة ليست مصممة خصيصا لإدارة الأعداد الاستثنائية الهائلة من الأجسام المتوقعة مع دخول التشكيلات الساتلية الضخمة.

وتساهم ألمانيا أيضا إسهما كبيرا في البحوث المتعلقة بآثار الاصطدامات في المدار وارتطام الحطام الفضائي من خلال معهد إرنست ماخ التابع لمعهد فراونهوفر لديناميات العالية السرعة. وتُجرى محاكاة تجريبية للاصطدامات الفائقة السرعة باستخدام معجلات الغازات الخفيفة والأدوات التشخيصية العالية السرعة في الحدود الحالية للاختبارات الأرضية. وجرى مؤخرا اختبار مكونات المركبات الفضائية، مثل هيكل البلاستيك المقوى بألياف الكربون، والمواد الشفافة، وأوعية الضغط، ومحركات الوقود الداسر للإينزال من المدار، ليس لتقييم آثار الضرر وحدود التصميم الكمية فحسب، بل أيضا لاشتقاق نماذج لتقييم عواقب ارتطام الحطام الفضائي على مستوى المنظومة. وتُستكمل تجارب الارتطام، التي تجرى أساسا بموجب عقد مع وكالة الفضاء الأوروبية، بعمليات محاكاة عددية لتوسيع نطاق بارامترات ظروف الاصطدام وإجراء تجارب عددية على مستوى المركبات الفضائية. وتوضع أكواد متخصصة لمنظومات التدفقات السائلة (hydrocodes) وطرائق العناصر المتفرقة لحساب حركة الجسيمات ويجري تطبيقها على عمليات محاكاة معقدة للاصطدامات الفائقة السرعة في معهد إرنست ماخ التابع لمعهد فراونهوفر. ومن الأمثلة على هذه الأخيرة مشروع DEM-O الجاري، الذي تدعمه وكالة الفضاء الألمانية. ويوضح المشروع مدى ملاءمة استخدام إحدى طرائق العناصر المتفرقة لمحاكاة تأثير اصطدام فائق السرعة. وباستخدام نماذج قائمة على الجسيمات، يمكن محاكاة سيناريوهات اصطدامات فائقة السرعة بدقة، ولا سيما التشظي الناتج عن هذه الاصطدامات. والطبيعة المتفرقة لهذه الطريقة يمنحها ميزة متميزة لنمذجة تشظي السوائل في المدار وتحطمها بالمقارنة بأكواد منظومات التدفقات السائلة التقليدية. وينصب التركيز الحالي على تحسين نمذجة الاصطدامات الثانوية التي تحدث داخل ساتل ما بعد وقوع اصطدام فائق السرعة مباشرة.

وقد تزايدت المخاوف خلال العقد الماضي بشأن ما تشكله عودة شظايا المركبات الفضائية المتبقية إلى الغلاف الجوي من مخاطر على الأرض، مما أدى إلى اضطلاع الأوساط الفضائية بأنشطة عديدة مثل تطوير أدوات محاكاة العودة إلى الغلاف الجوي وتحسينها والتحقق من صلاحيتها، فضلا عن إجراء البحوث المتعلقة بالتصميم بغرض التلاشي. والغرض من المجموعة الأولى من الأنشطة هو زيادة الثقة في التنبؤات العددية بمخاطر العودة إلى الغلاف الجوي، في حين أن النوع الثاني من الأنشطة يرمي إلى تطوير تقنيات جديدة لتصميم المركبات الفضائية غالبا ما ستحسن سلوك التلاشي بشكل كبير.

وأحد أوجه القصور الرئيسية في أدوات محاكاة العودة إلى الغلاف الجوي المستخدمة حاليا هو إغفال التشظي الحراري الميكانيكي، أي تحطم الأجسام العائدة قبل بلوغ مرحلة الانصهار في المكونات الهيكلية. وقد تناول

نشاط بحثي مؤخرا هذا الموضوع في إطار تعاون بين الأوساط الأكاديمية والصناعة بين معهد النظم الفضائية التابع لجامعة شتوتغارت (IRS) وشركة غوتينغن لتكنولوجيا سرعة الصوت المضاعفة (HTG) Göttingen GmbH. وقد قامت شركة غوتينغن بوضع وتنفيذ نموذج جديد للتشظي الحراري الميكانيكي لأغراض أدوات تحليل العودة إلى الغلاف الجوي. وفي معهد النظم الفضائية التابع لجامعة شتوتغارت، اخترعت مجموعة جديدة تماما لإجراء اختبارات نفق الرياح البلازمية مقترنة بأحمال ميكانيكية إضافية محكمة. وخلصت تلك التجارب الجديدة باستخدام الإمكانيات التشخيصية الحديثة في معهد النظم الفضائية التابع لجامعة شتوتغارت (المسح التصويري، والتحليل الطيفي بتقنية Echelle) لإلقاء نظرة متعمقة على ظواهر التحطم عند أخذ الأحمال الحرارية الميكانيكية في الاعتبار. ويمكن لطريقة العناصر المحددة الجديدة التي طورتها شركة غوتينغن لتكنولوجيا سرعة الصوت المضاعفة أن تمهد الطريق لإجراء تحليل حراري ميكانيكي شامل يمكن استخدامه في أكواد تحليل العودة إلى الغلاف الجوي. وتُظهر نتائج الحالات المختبرة ضرورة أخذ التفاعل القوي بين الأحمال الميكانيكية والحرارية في الاعتبار للحصول على عمليات محاكاة موثوقة للعودة إلى الغلاف الجوي.

ويركز نشاط بحثي آخر في جامعة براونشفايغ التقنية على التحقيق في إمكانية الحكم علميا على التحليل الأولي لما يقع من حوادث تشظي في مدار الأرض بعد وقت قصير من اكتشافها. وثمة أهمية خاصة لعدد الأجسام المطلقة ضمن فئة معينة من الحجم وتوزيع جزيئات الحطام على مدارات أخرى. وهذا يزيد من خطر اصطدام الأجسام النشطة في المناطق المدارية المقابلة، بحيث يصبح تقييم المخاطر وتطورها الزمني، أي مدة بقاء الجزيئات الناجمة عن التشظي، ذا أهمية. والهدف من المشروع هو وضع منهجية لتحليل أي واقعة تشظي جديدة تحليلا علميا فور العلم بها وتقييم المخاطر المرتبطة بها.

## الهند

[الأصل: بالإنكليزية]

[31 تشرين الأول/أكتوبر 2021]

قامت المؤسسة الهندية لأبحاث الفضاء بمشاريع لإنشاء مرافق رصد مخصصة لتتبع ورصد الأجسام الفضائية. وسيقام رادار وتليسكوب بصري في إطار شبكة "نترا" لتتبع الأجسام الفضائية وتحليلها (NETRA) لأغراض تتبع الأجسام الكائنة في مدار أرضي منخفض والأجسام الكائنة في مدار أرضي متزامن مع دوران الأرض، على التوالي. وستستخدم أيضا المرافق الموجودة، مثل رادارات تتبع الأجسام المتعددة في سربهاريكوتا والتلسكوبات المزمع إقامتها في إطار مبادرة القياس الضوئي لمسافات السوائل بالليزر والاتصالات البصرية، لأغراض رصد الحطام الفضائي في المدار الأرضي المنخفض وفي المدار الأرضي المتزامن مع دوران الأرض، على التوالي.

وما فتئت المؤسسة الهندية لأبحاث الفضاء تجري بحوثا لتحسين التنبؤ بعودة الأجسام الفضائية إلى الغلاف الجوي، ونمذجة التشظي عند العودة إلى الغلاف الجوي وتحليله. وتشارك المؤسسة بنشاط في حملات التنبؤ السنوية بعودة الأجسام التي تنظمها لجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات والمعنية بالحطام الفضائي. وتبذل حاليا جهودا لزيادة تعزيز المنهجيات الموجودة لتجنب اصطدام الموجودات الفضائية بالحطام الفضائي، أي تحليل قرب الأجسام الفضائية وتحليل تجنب الاصطدام أثناء الإطلاق.

وأُنشئ مركز مراقبة في إطار شبكة "نترا" لتتبع الأجسام الفضائية وتحليلها لتجهيز معلومات الرصد المستمدة من مرافق رصدية مختلفة من أجل وضع قائمة وطنية بالحطام الفضائي. ومن المقرر إنشاء مرافق مخصصة للبحوث المتعلقة بالحطام الفضائي في مركز المراقبة.

ولا يوجد لدى المؤسسة الهندية في الوقت الراهن أي أجسام فضائية تعمل بالطاقة النووية يمكن أن تشكل تهديدا للأمان في الفضاء الخارجي. وإذا تقرر استخدام جسم فضائي من هذا القبيل في أي بعثة مقبلة، فإن المؤسسة الهندية ستتناول المسائل المتعلقة بالأمان على نحو يتماشى مع المبادئ التوجيهية المقبولة دوليا.

## اليابان

[الأصل: بالإنكليزية]

[29 تشرين الأول/أكتوبر 2021]

## لمحة عامة

يشمل هذا التقرير الأنشطة المتصلة بالحطام التي تضطلع بها أساسا الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي، بناء على طلب مكتب شؤون الفضاء الخارجي.

وقد اضطلعت الوكالة اليابانية بالأنشطة التالية المتعلقة بالحطام في عامي 2019 و2020:

- (أ) نتائج تقييم التقارب والبحوث بشأن التكنولوجيا الأساسية من أجل التوعية بأحوال الفضاء؛
  - (ب) البحوث بشأن تكنولوجيا رصد الأجسام في المدار الأرضي المنخفض والمدار المتزامن مع دوران الأرض وتحديد مدارات هذه الأجسام؛
  - (ج) نظام قياس الحطام المتناهي الصغر في الموقع؛
  - (د) تطوير خزان وقود داسر مركب؛
  - (هـ) الإزالة النشيطة للحطام.
- وترد معلومات إضافية في الأقسام أدناه.

## وضع الأنشطة الحالي

## نتائج تقييم التقارب والبحوث بشأن التكنولوجيا الأساسية من أجل التوعية بأحوال الفضاء

تتلقى الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي بانتظام من مركز العمليات الفضائية المشتركة إشعارات بشأن التقارب. وفي عام 2020، نفذت الوكالة اليابانية مناورتين لتجنب اصطدام مركبة فضائية ذات مدار أرضي منخفض بحطام فضائي. وقد انخفض عدد مناورات تجنب الاصطدام بالحطام مقارنة بما كان عليه في عام 2019، منذ أن أدخل مركز العمليات الفضائية المشتركة معايير جديدة لتحديد الوقائع التي تنطوي على خطورة عالية. وقد أدركت الوكالة اليابانية، بوصفها مشغلا للسواتل، أن خطر التقارب الذي يشكله الحطام الفضائي ما زال مرتفعا، مع تدهور البيئة الفضائية عاما بعد عام.

## التكنولوجيا الأساسية للتوعية بأحوال الفضاء

يحدد نظام التحليل الحالي في المركز الفضائي تسوكوبا التابع للوكالة اليابانية مدار الأجسام الفضائية باستخدام جهاز استشعار راداري مقام في مركز كاميسايبارا للحراسة الفضائية وأجهزة استشعار بصري مقامة في مركز بيساي للحراسة الفضائية، وهو يتنبأ بحالات التقارب الشديد باستخدام أحدث جداول المواقع المدارية للسواتل التابعة للوكالة اليابانية، ويحسب احتمالات الاصطدام بينها.

وفي الوقت الحاضر، يمكن لرادار جديد تابع لمركز كاميسايبارا للحراسة الفضائية جار تطويره حاليا أن يتتبع الحطام الفضائي الأصغر حجما من الحطام الذي يستطيع الرادار القديم تتبعه. وعلى وجه الخصوص، سيغطي الرادار الجديد ارتفاعات تتراوح بين 500 و800 كيلومتر، وهي الارتفاعات التي تدور فيها غالبية سواتل المدارات الأرضية المنخفضة التابعة للوكالة اليابانية. وتعكف الوكالة أيضا على تجديد التلسكوبين من

العيارين 1,0 متر و0,5 متر للحفاظ على قدرتهما الحالية على رصد الأجسام الموجودة في مدار أرضي متزامن مع دوران الأرض. وإضافة إلى ذلك، تعكف الوكالة على تطوير نظام تحليل جديد قادر على معالجة حجم بيانات أكبر مما يعالجه النظام الحالي، وسيتمكن تشغيله عن طريق عمليات آلية قدر الإمكان.

ويشار إلى أن الرادار القديم في مركز كاميسايبارا للحراسة الفضائية أُوقف تشغيله في آب/أغسطس 2020 استعداداً لتشغيل الرادار الجديد. وسيتاح في عام 2023 النظام الجديد للتوعية بأحوال الفضاء، بما يشمل رادار مركز كاميسايبارا للحراسة الفضائية الجديد.

وقد استحدثت الوكالة اليابانية أيضاً أدوات تساعد في تخطيط مناورات تجنب الحطام حالما تتلقى الوكالة رسالة بيانات تفيد بوجود تقارب من مركز العمليات الفضائية المشتركة. واستناداً إلى الخبرات المكتسبة، أمكن تبسيط جميع إجراءات مناورات تجنب الحطام وخفض أعباء عملها. وفي آذار/مارس الماضي، أصدرت الوكالة أداة للمساعدة على تجنب المخاطر تسمى RABBIT متاحة مجاناً لجميع مشغلي السواتل.

### البحوث بشأن تكنولوجيا رصد الأجسام في المدار الأرضي المنخفض والمدار المتزامن مع دوران الأرض وتحديد مدارات هذه الأجسام

عادة ما تُرصد الأجسام في المدار الأرضي المنخفض بواسطة نظام رادار بصورة رئيسية، ولكن الوكالة اليابانية شرعت منذ فترة في تطوير نظام بصري لخفض تكاليف تشييد نظم الرادارات وتكاليف تشغيلها. وتم تطوير جهاز استشعار مكمل كبير يستخدم أشباه الموصلات المصنوعة من أكسيد فلزي (CMOS) لرصد المدار الأرضي المنخفض. وتحليلات البيانات التي يوفرها جهاز الاستشعار المذكور المزود بتكنولوجيات معالجة الصور بالاستناد إلى صفائف البوابات القابلة للبرمجة ميدانياً، تمكن من اكتشاف الأجسام الكائنة في مدار أرضي منخفض التي يبلغ حجمها 10 سم أو أقل. ومن أجل زيادة فرص رصد الأجسام في المدارات الأرضية المنخفضة والمدارات المتزامنة مع دوران الأرض، أنشئ في أستراليا موقع للرصد عن بعد، علاوة على مرصد جبل نيوكاسا في اليابان. ويتوافر تلسكوب من عيار 25 سم وأربعة تلسكوبات من عيار 18 سم لاستخدامهم في مختلف الأغراض. وسُنشأ موقع آخر للرصد عن بعد في غرب أستراليا، سيمكن من إجراء عمليات دقيقة لتحديد المدارات وتقدير ارتفاعات الأجسام الكائنة في مدار أرضي منخفض باستخدام البيانات المستمدة من كلا الموقعين في أستراليا.

### نظام قياس الحطام المتناهي الصغر في الموقع

جهاز رصد الحطام الفضائي عبارة عن جهاز استشعار للحطام المتناهي الصغر في الموقع يركز على الحطام الذي يتراوح حجمه بين واحد من المليون (ميكرو) متر إلى واحد من الألف (ملي) متر والذي يتحرك في مدار على مسافة أقل من 1 000 كيلومتر. وقد أجريت تجربة طيران مؤخراً باستخدام مركبة النقل من نوع H-II المسماة KOUNOTORI (HTV-5). والمعلومات المستمدة من القياسات الفعلية لأجسام الحطام الصغير هذه ضرورية لفهم الكميات الهائلة من الحطام الصغير الموجودة في مدارات قريبة من الأرض فهما سليماً، لأن هذا الحطام أصبح عامل خطر مهيمناً في المدار.

وتتمثل الخصائص الفريدة لجهاز رصد الحطام الفضائي في بساطة نظام الكشف فيه الذي لا يحتاج إلى أي معايرة خاصة قبل الطيران، بالإضافة إلى سهولة تعاونه مع أجهزة الاستشعار الأخرى. ويتألف جهاز الرصد من منطقة للكشف عن الحطام ومناطق الدارات. وتُصنَع منطقة للكشف عن الحطام من مادة بوليميد رقيقة جداً، وهناك الآلاف من خيوط الشبكة الموصلة على نطاق 50 ميكرومتراً القادرة على كشف قطر الحطام المتصادم الذي يتراوح حجمه من 100 ميكرومتر إلى بضعة مليمتترات.



وتتعاون الوكالة اليابانية مع المكتب المعني ببرنامح الحطام المداري التابع للإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا) لتطوير نظام جديد لقياس الحطام المتناهي الصغر في الموقع من أجل فهم عدد أجسام الحطام الصغيرة التي تدور على مسافة نقل عن 1 000 كيلومتر.

### تطوير خزان وقود داسر مركب

يُصنع خزان الوقود الداسر عادة من سبائك التيتانيوم ذات النوعية الفائقة نظراً لخفة وزنها وتوافقها الكيميائي الجيد مع الوقود الداسر. إلا أن درجة انصهار تلك السبائك عالية إلى حدٍ يمنع تلاشي الخزان أثناء عودته إلى الغلاف الجوي، مما يشكل خطراً على الناس على الأرض.

وقد أجرت الوكالة اليابانية بحثاً على مدى عدة سنوات بهدف تطوير خزان مبطن بالألمنيوم ومغلف بمركبات كربونية ينصهر في درجات حرارية أدنى. وكجزء من دراسة الجدوى، أجرت الوكالة اختبارات أساسية شملت اختباراً لمعرفة ما إذا كانت بطانة الألومنيوم متوافقة مع وقود الهيدرازين الداسر، فضلاً عن اختبار تسخين بالقوس الكهربائي.

وبعد صنع واختبار نموذج الخزان الهندسي الأقصر EM-1، صنعت الوكالة خزان EM-2 كامل الحجم. وشكّل الخزان EM-2 مطابقاً لشكل الخزان العادي، الذي يتضمن جهازاً لإدارة الوقود الداسر. وأجري اختبار للضغط باستخدام الخزان EM-2، واختبار للاهتزاز (في ظروف رطبة وجافة)، واختبار للتسرب الخارجي، واختبار لدورة الضغط، واختبار لضغط الانفجار، وأظهرت جميعها نتائج جيدة. واكتمل بذلك استعراض التصميم الحاسم.

ويتسم خزان الوقود الداسر، المصنوع من تركيبة من المواد، بقصر مدة صنعه كما أن تكلفته أقل من تكلفة خزان الوقود الداسر المصنوع من التيتانيوم. ويجري حالياً تقييم تجريبي وتحليلي لإمكانية تلاشيئه أثناء عودته إلى الغلاف الجوي.

### الإزالة النشيطة للحطام

نظمت الوكالة اليابانية لاستكشاف الفضاء الجوي برنامجاً بحثياً ووضعت هيكلته بهدف تنفيذ بعثات منخفضة التكلفة للإزالة النشيطة للحطام. وتتناول أنشطة البحث والتطوير الخاصة بالتكنولوجيا الرئيسية للإزالة النشيطة للحطام المواضيع الرئيسية الثلاثة التالية: الالتقاء بالأجسام غير المتعاونة، وتكنولوجيا اصطياح الأهداف غير المتعاونة، وتكنولوجيا إخراج الأجسام من المدار لإزالة أجزاء الحطام الفضائي الكبيرة السليمة. وتتعاون الوكالة اليابانية مع الشركات اليابانية الخاصة من أجل تنفيذ عمليات إزالة نشيطة للحطام منخفضة التكلفة على أساس تجاري، وهي تعمل على توفير هذه التكنولوجيات الرئيسية الضرورية لهذا الغرض.

وتتولى الوكالة أيضاً قيادة برنامج عرض إزالة الحطام تجارياً. ويتألف البرنامج من مرحلتين ويهدف إلى تحقيق أول عملية إزالة نشيطة للحطام في العالم بالشراكة مع مؤسسات القطاع الخاص. وخلال المرحلة الأولى من البرنامج، من المقرر أن تُعرض التكنولوجيات الرئيسية في هذا المجال، مثل الالتقاء بالأجسام غير المتعاونة وعملية التقارب وفحص جاهزية المرحلة الثانية من مركبة الإطلاق H-IIA، في السنة المالية اليابانية 2022. وخلال المرحلة الثانية، من المقرر أن تُعرض عملية الإزالة النشيطة للحطام وعودة المرحلة الثانية من مركبة الإطلاق H-IIA إلى الغلاف الجوي، بعد السنة المالية اليابانية 2025. وقد وقع الاختيار على شركة أستروكال اليابان لتكون الشريكة في المرحلة الأولى من خلال مسابقة أجريت في شباط/فبراير 2020.

## ثالثاً - الردود الواردة من المنظمات الدولية الوكالة الدولية للطاقة الذرية

[الأصل: بالإنكليزية]

[1 تشرين الثاني/نوفمبر 2021]

توفر الوكالة الدولية للطاقة الذرية الدعم للفريق العامل المعني باستخدام مصادر القدرة النووية في الفضاء الخارجي، التابع للجنة الفرعية العلمية والتقنية، بغرض تيسير تنفيذ إطار الأمان الخاص بتطبيقات مصادر القدرة النووية في الفضاء الخارجي، الذي اشتركت في وضعه الوكالة الدولية للطاقة الذرية والفريق العامل.

وفي حالة وقوع اصطدام بمركبة فضائية تحمل على متنها مصدراً للقدرة النووية، مما قد يؤدي إلى عودة هذا المصدر إلى الغلاف الجوي للأرض، فإن لدى الوكالة برنامجاً نشطاً في مجال التأهب للطوارئ النووية والإشعاعية والتصدي لها.

وتتعهد الوكالة الإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ، الذي ييسر تطوير وصون القدرات والترتيبات المتعلقة بالتأهب للطوارئ النووية والإشعاعية والتصدي لها، ويستند إلى الصكوك القانونية الدولية.

ومن خلال اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بالتصدي للطوارئ الإشعاعية والنووية، تقوم الوكالة ومكتب شؤون الفضاء الخارجي، إلى جانب منظمات أخرى، بتعهد الخطة المشتركة للمنظمات الدولية للتصدي للطوارئ الإشعاعية، التي توفر آلية للتنسيق وتوضح أدوار وقدرات المنظمات الدولية المشاركة. وتحدد الخطة فهما مشتركا كيفية تصرف كل منظمة أثناء أي عملية تصدي وكيفية اتخاذ كل منها ترتيبات للتأهب لمواجهة أي طارئ نووي أو إشعاعي.

### منظمة تكنولوجيا الفضاء في خدمة التطبيقات المجتمعية (كندا - أوروبا - الولايات المتحدة - آسيا) (منظمة كانيوس الدولية)

[الأصل: بالإنكليزية]

[29 تشرين الأول/أكتوبر 2021]

#### لمحة عامة

تقترح منظمة كانيوس الدولية على اللجنة الفرعية العلمية والتقنية أن تشرع في إجراء دراسات نظامية لمعالجة مشكلة تأثير التشكيلات المتعددة السوائل ذات المدار الأرضي المنخفض على المهام التقليدية التي تُجرى في الفضاء الخارجي ومن الفضاء، على السواء (في إطار ولاية اللجنة).

واستناداً إلى نتائج هذه الدراسات، التي يجذب القيام بها، يمكن تزويد القوى الفضائية الرائدة على الصعيد الوطني بتدابير حقيقية لاستبعاد أو تخفيف آثار التداخل المادي وتداخل الطاقة الناجمين عن التشكيلات الساتلية الضخمة على المنظومات الفضائية التقليدية.

وفي الأجل القصير، يمكن أن يرتبط هذا النوع من التدابير بعدد من الإجراءات التي يتخذها مشغلو السوائل للتشكيلات الساتلية ذات المدار المنخفض من فئات الميكرو والنانو والبيكو متر، كما يلي: وضع سطح داكن للسوائل، ووضع واقيات شمسية، ورفض استخدام مواد عاكسة غير جامدة على الأجزاء المواجهة لاتجاه النظير من السوائل الصغيرة للحد من الوهج؛ وتغيير وضعية المركبة الفضائية الصغيرة من أجل تجنب إسقاط الضوء المنعكس من المعدات الموجودة على متن المركبة، مع ضمان توافر معلومات التقييم الفلكي عموماً بأعلى دقة ممكنة.

وعلى المدى الطويل، يمكن، في إطار المعاهد والأفرقة العاملة التابعة للجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية، وضع واقتراح تدابير إضافية لإزالة أو تخفيف آثار التداخل المادي وتداخل الطاقة الناجمين عن التشكيلات الضخمة على المنظومات الفضائية التقليدية، فضلا عن الحد من خطر الاصطدامات في المدار وتكوّن الحطام الفضائي.

#### تدابير التخفيف على المدى القريب

- 1- بالنسبة لمشغلي السواتل:
  - (أ) حجب السطح؛
  - (ب) وضع واقيات الشمس؛
  - (ج) ضبط الاتجاه لتجنب التوهجات المسقطّة على مواقع المراصد الأرضية الرئيسية؛
  - (د) رصد التحكم بالسواتل في حدود القدرة لضمان الانعكاس الفعال والتنبؤ الأقصى للأسطح المصقولة المواجهة لاتجاه النظر في اتجاه المراصد الأرضية.

#### 2- بالنسبة للمراصد:

- (أ) المعالجة اللاحقة للصور لتحديد البيكسلات المتأثرة المرتبطة بمسار الساتل ونمذجتها وانتقاصها وإخفائها؛
- (ب) تعهد تقويمات فلكية دقيقة لسلاسل التشكيلات بأكملها، وفي المرافق التي يمكن فيها عمل ذلك، إغلاق مصاريع التلسكوبات الأرضية لفترة الثواني المحيطة بمرور الساتل المتوقع؛
- (ج) تجنب التصويب عندما يكون ذلك ممكنا.

#### معلومات أساسية

خلال السنوات القليلة الماضية، أنشئت ونشرت عدة تشكيلات متعددة السواتل في مدارات أرضية منخفضة بشكل نشط، أساسا بواسطة شركات خاصة ومملوكة للحكومة في الولايات المتحدة الأمريكية وبريطانيا العظمى وكندا والصين وبلدان أخرى.

ومن الأمثلة المحددة على ذلك التشكيلات الشهيرة من السواتل الصغيرة التجارية للاتصالات الفائقة السرعة والسعة والإنترنت الفضائي (Starlink و OneWeb)، واستشعار الأرض عن بعد (Flock)، وإنترنت الأشياء (SpaceBEE)، ونظم تعريف المركبات الآلية (Lemur-2).

وتعكف الشركات على وضع السواتل في المدار بوتيرة غير مسبوقّة لبناء "تشكيلات ضخمة" من سواتل الاتصالات في مدار أرضي منخفض. وتشير بعض التقديرات إلى أن أكثر من 100 000 ساتل يمكن أن تدور حول الكوكب بحلول عام 2030.

وبشكل عام، عُرض الوضع الحالي "لكثافة الأعداد" في المدارات القريبة من الأرض في مقال كتبه مؤخرًا آرون بولي ومايكل بايرز في منشور *Nature* للتقارير العلمية على الإنترنت. وتبين النتائج التي توصلنا إليها أن عدد السواتل النشطة والمتوقّفة عن النشاط الموجودة في المدار الأرضي المنخفض زاد بأكثّر من 50 في المائة، ليصل إلى حوالي 5 000 ساتل في غضون سنتين (حتى 30 آذار/مارس 2021).

وشركة سبيس إكس وحدها في سبيلها لإضافة 11 000 سائل آخر في سياق بناء تشكيلات ستارلينك الضخمة التابعة لها، وقد قدمت بالفعل طلبات لترخيص 30 000 سائل آخر لدى لجنة الاتصالات الاتحادية. وهناك خطط مماثلة لدى الآخرين، بما في ذلك شركة غوانغ الصينية المملوكة للدولة التي تملك 13 000 سائل، ووان ويب (6 372)، وأمازون (3 236)، وتليسات (شبكة لايت سبيد: 298). ونظام الحوكمة (المراقبة) الحالي لمدار الأرض المنخفض، وإن كان يتغير ببطء، غير مجهز للتعامل مع المنظومات الفضائية المتعددة السوائل.

ففي غضون فترة قصيرة، ستستمر العملية في النمو. لذلك، مثل الفطر بعد المطر، ما برحت التشكيلات المدارية المذكورة المتعلقة بالإنترنت الفائق السرعة والسعة، وإنترنت الأشياء، واستشعار الأرض عن بعد، ونظم تحديد الهوية الآلية، أخذة في الظهور في العامين الماضيين.

ووفقا لعرض إيضاحي قدمته كندا في الدورة الثامنة والخمسين للجنة الفرعية العلمية والتقنية، بشأن القياسات الفوتومترية الفضائية لتشكيلة ستارلينك المدارية التي جُمعت من خلال بعثة "سائل رصد الأجسام القريبة من الأرض"، يتوقع أن يكون في المدار في السنوات العشر القادمة ما يصل إلى 10 000 سائل صغير (أي سواتل من فئة ميكرو ونانو وبيكو وفيمتو متر).

### المسائل الرئيسية

تكمن التهديدات والمخاطر الجديدة الناشئة التي تتصل بصورة مباشرة أو غير مباشرة بمشكلة الحطام الفضائي، في بُعدين منفصلين.

البعد الأول هو تداخل الطاقة (المعلومات) من التشكيلات المتعددة السوائل ذات المدار المنخفض مع الأنشطة الفضائية الروتينية (اليومية)، التي ترتبط بعمل النظم الساتلية التي تكفل الاستقرار الاستراتيجي والأمن الدولي.

وهذه، أولا وقبل كل شيء، عبارة عن نظم وطنية (روسيا والصين والولايات المتحدة) ودولية (الاتحاد الأوروبي) كائنة في مدارات عالية للاتصالات الفائقة السرعة والسعة ونقل البيانات، ومكونات معلوماتية لنظم الإنذار بالهجمات الصاروخية والدفاع المضاد للقذائف، إلى جانب التحكم في النظم الكائنة في الفضاء القريب من الأرض، ونظم الاستخبارات الاستراتيجية ذات الارتفاع المنخفض (مراقبة الامتثال للمعاهدات) والاتصالات الخاصة التي تجري لصالح الإدارات العسكرية وشبه العسكرية.

ويجري التداخل مع عمليات الرصد الفلكية من الأرض، وهي تتصل مباشرة بالإنذار من الهجمات الصاروخية، والدفاع المضاد للقذائف، ونظم مراقبة الفضاء، بالنظر إلى أن المرافق البصرية الأرضية تسهم في أداء المهام الدفاعية.

ولذلك، يستحيل استبعاد التداخل الراديوي الناجم عن التشغيل غير المنقطع للاتصالات الساتلية العسكرية والمدنية في نطاقات التردد Ku و Ka (من 22 غيغاهرتز) و V (60 غيغاهرتز). وإضافة إلى ذلك، يوجد خطر عالمي لا ضابط له يتهدد الأمن المادي والمعلوماتي في قطاع الفضاء، ناشئ عن جميع التشكيلات المتعددة السوائل المذكورة أعلاه، ولا يقتصر على الاتصالات السلكية واللاسلكية.

أما البعد الثاني فهو خطر النمو المتوالي في عدد الحطام الفضائي المرتبط بالتكثيف الملحوظ في استخدام السواتل الصغيرة (فئة الميكرو متر) والمنتاهية الصغر (فئات النانو والبيكو والفيمتو متر) في سياق استخدام التحكم الآلي فيها بالاستناد إلى التكنولوجيات الميكروية/النانوية والذكاء الاصطناعي.

والمواجهات المتبادلة التي تتطوي على مخاطر محتملة لهذه المركبات الفضائية الصغيرة في إطار "أسراب" التشكيلات الموجودة على مسافات حرجة والتهديد باحتمال حدوث اصطدامات نتيجة الخروج عن

السيطرة أو أخطاء في التحكم، ستُجبر (بل أُجبرت بالفعل) مشغلي الأجسام الفضائية الكبيرة ذات المدار المنخفض (مثل سواتل الاستطلاع الاستراتيجية الفريدة والمكلفة أو محطة الفضاء الدولية) على اللجوء إلى المناورة الدفاعية المتكررة، مع كل ما يترتب على ذلك من عواقب، من بينها تعطيل أداء المهام المستهدفة أو استهلاك موارد الطاقة بالبعثة.

### الجهود المبذولة في هذا الصدد

في الدورة الثامنة والخمسين للجنة الفرعية العلمية والتقنية، أعربت بعض الوفود عن قلقها البالغ إزاء وضع تشكيلات كبيرة وتشكيلات ضخمة من السواتل والآثار المترتبة على ذلك، ورأت في هذا الصدد أن اللجنة الفرعية ينبغي أن تتناول هذا الموضوع على سبيل الأولوية بغية الحد من تكوّن الحطام الفضائي (A/AC.105/1240، الفقرة 98).

وبالنظر إلى أن لجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية ما برحت تنتظر في مشكلة الحطام الفضائي لسنوات عديدة، بما يشمل عمل محاولات لتنظيم مستوى الحطام في المدار القريب من الأرض باتخاذ تدابير خاصة على الصعيدين الوطني والدولي، فإن الجهود المبذولة لاستحداث معايير موصى بها وإنشاء مؤسسات متخصصة تابعة للأمم المتحدة لحل مشكلة التداخل والأخطار التي تتهدد الأنشطة الفضائية اليومية في الأمد البعيد نتيجة ظهور تشكيلات متعددة السواتل في مدار منخفض، غالباً ما لن تسفر على ما يبدو عن تأثير بناء.

### تعديلات مقترحة

بدلاً من ذلك، وفي إطار الولاية التقليدية الحالية بموجب البند 8 من جدول أعمال اللجنة الفرعية (وفقاً لقرار الجمعية العامة 92/75)، بشأن البحوث المتعلقة بالحطام الفضائي وأمان الأجسام الفضائية المزودة بمصادر قدرة نووية على متنها والمشاكل المتصلة باصطدام تلك الأجسام بأجسام اصطناعية المنشأ، ينبغي أن يستعاض عن عبارة "المزودة بمصادر قدرة نووية على متنها" تحديداً بعبارة "التشكيلات المتعددة السواتل ذات المدار المنخفض" أو أن تضاف هذه الأخيرة إلى الولاية.

### الأساس المنطقي للتعديلات المقترحة

أولاً، لم تُطلق أجسام فضائية مزودة بمصادر قدرة نووية على متنها، على الأقل خلال العامين الماضيين. والاستثناء هو مصادر طاقة النظائر المشعة المستخدمة في البعثات الفضائية الطويلة الأجل (بين الكواكب عادة).

وعلى المدى القصير، لا تشكل هذه الأجسام تهديداً واضحاً كالتشكيلات المتعددة السواتل ذات المدار المنخفض، لا من وجهة نظر الاصطدامات في المدار، ولا من وجهة نظر عواقب هذه الاصطدامات على بيئة الأرض والفضاء.

ثانياً، لم تطرح اللجنة الفرعية مشكلة تأثير التشكيلات المتعددة السواتل ذات المدار المنخفض على كفاءة الرصد الفلكي والأنشطة الفضائية الروتينية في مختلف جوانبها، على السواء، بما في ذلك ضمان الاستقرار الاستراتيجي والأمن الدولي.

وقد أجرت الجمعية الأمريكية للملاحة الفضائية دراسات حديثة عن العنصر الأول في الولايات المتحدة بدعم من المؤسسة الوطنية للعلوم (حلقاً العمل SATCON1 و STACON2، المعقودتان في

تموز/يوليه 2020 وتموز/يوليه 2021) لتقليل الآثار السلبية لتشكيلات السواتل على علم الفلك والسماء ليلا؛ إلا أن العنصر الثاني تم تجاهله في أبحاث المحللين.

وفي الحالات التي اقترحت فيها تدابير محددة لتوجيه كل من المراصد ومشغلي السواتل حالياً ومستقبلاً (حين يتوصل المجتمع الدولي إلى فهم أكثر تفصيلاً لآثار التشكيلات المتعددة السواتل ذات المدار المنخفض على عمليات الرصد الفلكية وسبل التخفيف من هذه الاصطدامات)، لم يُنظر في هذه التدابير في شكل مفتوح، فيما يتعلق بحالة تأثير التشكيلات المتعددة السواتل ذات المدار المنخفض على استقرار الأنشطة الفضائية (الاتصالات العالمية، ونقل المعلومات، وعمليات الاستطلاع من الفضاء، والمكونات الفضائية لنظم الدفاع المضاد للقذائف ونظم الإنذار المبكر، والوعي بأحوال مجال الفضاء). وعلاوة على ذلك، فإن الاستخدام المهيم لمناطق مدارية معينة من جانب قلة مختارة من البلدان قد يؤدي أيضاً إلى استبعاد جهات فاعلة أخرى منها بحكم الواقع، مما ينتهك معاهدة المبادئ المنظمة لأنشطة الدول في ميدان استكشاف واستخدام الفضاء الخارجي، بما في ذلك القمر والأجرام السماوية الأخرى (معاهدة الفضاء الخارجي).

### التوصيات المقترحة

لا يمكن النظر في جميع المسائل والتحديات المذكورة أعلاه ومعالجتها بطريقة منسقة إلا من خلال وضع قوانين متعددة الأطراف، سواء في إطار الأمم المتحدة أو لجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات والمعنية بالحطام الفضائي أو عملية مخصصة، وليس بطريقة غير منسقة من خلال قوانين وطنية مختلفة.

إلا أنه لا توجد قواعد دولية ملزمة بشأن جوانب أخرى من التشكيلات الضخمة. وفي عام 2007، أشارت لجنة التنسيق المشتركة بين الوكالات والمعنية بالحطام الفضائي، التي تمثل حالياً 13 وكالة فضائية، إلى أن العودة المباشرة للغلاف الجوي في نهاية العمر التشغيلي للسواتل مستصوبة، ولكنها أوصت فقط بإزالة السواتل من المدار في غضون 25 عاماً. وهذا مبدأ توجيهي غير مقبول بالنسبة للتشكيلات الضخمة التي تتكون من آلاف السواتل ذات فترات التشغيل القصيرة. وهو يغفل أيضاً مشكلة مواضع السواتل، حيث ينشأ عن السواتل الكائنة على ارتفاعات أعلى احتمالات أكبر نسبياً بالاصطدام حين تكون الجداول الزمنية المقررة لإزالتها من المدار طويلة جداً.

وبغض النظر عن وجود محفل لوضع القوانين، تتطلب التشكيلات الضخمة تحولاً في وجهات النظر والسياسات: من النظر إلى السواتل الفردية إلى تقييم منظومات قوامها آلاف السواتل، والقيام بذلك في إطار فهم لحدود بيئة الأرض، بما في ذلك مداراتها.

ولذلك، بناء على ما تقدم، تقترح منظمة كانيوس على اللجنة الفرعية أن تشجع في إجراء دراسات نظامية لمشكلة تأثير التشكيلات المتعددة السواتل ذات المدار الأرضي المنخفض على المشاكل التقليدية القابلة للحل في الفضاء الخارجي ومن الفضاء الخارجي.