A

الأمم المتحدة

Distr.
LIMITED

الجمعية العامة

A/AC.105/C.1/L.213/Add.4
26 February 1997
ARABIC
ORIGINAL: ENGLISH

لجنة استخدام الفضاء الخارجي
في الأغراض السلمية
اللجنة الفرعية العلمية والتقنية
الدورة الرابعة والثلاثون
فيينا ، ١٧ - ٢٨ شباط/فبراير ١٩٩٧

مشروع تقرير اللجنة الفرعية العلمية والتقنية عن أعمال دورتها الرابعة والثلاثين

باء - تقرير اللجنة الفرعية التقني لعام ١٩٩٧

١ - أدرجت لجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية البند المتعلق بالحطام الفضائي في جدول أعمالها عام ١٩٩٤ بسبب ما يساورها من قلق لتأثير الحطام الفضائي في البيئة الفضائية وفي تشغيل المركبات الفضائية . واتفق على أهمية توفير أساس علمي وتقني متين للاجراءات التي ستتخذ في المستقبل بشأن خصائص الحطام الفضائي المعقّدة .

٢ - واتفقت اللجنة الفرعية على التركيز على تفهم جوانب البحث المتصل بالحطام الفضائي ، بما في ذلك تقنيات قياس الحطام ؛ والنمذجة الرياضية لبيئة الحطام ؛ وتحديد خصائص بيئة الحطام الفضائي ؛ والتدابير الرامية الى التخفيف من مخاطر الحطام الفضائي ، بما في ذلك اتخاذ تدابير ذات صلة بتصميم المركبات الفضائية للوقاية من الحطام الفضائي . وبناء على ذلك ، اعتمدت عام ١٩٩٥ خطة عمل متعددة الأعوام بشأن المواضيع المحددة التي ستقع تناولها خلال فترة الأعوام ١٩٩٦ - ١٩٩٨ . واتفق أيضا على تنفيذ خطة العمل هذه بمرونة حتى يتسنى التطرق الى جميع المسائل ذات الصلة بالحطام الفضائي .

٣ - وستوضع بنية تقرير اللجنة الفرعية وفقا للمواضيع المحددة التي تتطرق اليها خطة العمل خلال الفترة ١٩٩٦ - ١٩٩٨ . وسوف يتم سنويا ترحيل التقرير وتحديثه بما يستجد ، مما سيفضي الى تجميع النصائح والتوجيهات على أساس تراكمي ، من أجل ايجاد فهم موحد يمكن أن يكون أساسا لمزيد من مداولات اللجنة بشأن هذه المسألة الهامة . ويركز تقرير سنة ١٩٩٧ الاهتمام على نمذجة بيئة الحطام الفضائي وتقدير المخاطر .

٢ - نمذجة بيئة الحطام الفضائي وتقدير المخاطر

٢-١- نمذجة بيئة الحطام الفضائي

٢-١-١- المقدمة والمنهجية

٤ - توفر نماذج الحطام الفضائي وصفا رياضيا لتوزع الأجسام في الفضاء ، وحركة الأجسام وتدفقها ، والخصائص المادية للأجسام (منها مثلا الحجم والكتلة والكثافة والسمات الانعكاسية ، والحركة الذاتية) . ويمكن أن تكون هذه النماذج تحديدية في طابعها (أي أن كل جسم يوصف على انفراد وفقا لبارامتراته المدارية وخصائصه المادية) أو احصائية في نوعها (أي تحديد خصائص مجموعة استنادا الى عينة تشمل عددا من الأجسام) أو تجمع بين الاثنين (أي هجينة) . ويمكن تطبيق هذه النماذج على عمليات تقدير المخاطر والأضرار ، والتنبؤ بمعدلات كشف الحطام لدى أجهزة الاستشعار الأرضية ، والتنبؤ بمناورات المركبات الفضائية العاملة من أجل تلافي الارتطام ، والتحليل الطويل الأجل لفعالية تدابير التخفيف من مخاطر الحطام .

٥ - ويجب أن تأخذ نماذج الحطام الفضائي في الاعتبار مساهمة آليات تحديد المصدر التالية في مجموعة الأجسام الفضائية :

(أ) الاطلاق (بما في ذلك المراحل العليا من مركبة الاطلاق والحمولات والأجسام ذات الصلة بالبعثات) ؛

(ب) المناورات (لتفسير انفجارات محركات الصواريخ المزودة بالوقود الصلب) ؛

(ج) التحطم (الناجم عن الانفجارات والارتطامات) ؛

(د) انفصال مواد من السطوح (آثار العمر ، مثل رقائق الدهان) ؛

(هـ) المواد الناتجة عن تسرب (مثل المحلول المبرد لمصدر الطاقة النووية) .

٦ - ويجب أيضا أخذ آليات الغوران التالية في الاعتبار :

(أ) الاضمحلال في المدار بسبب السحب الجوي أو غير ذلك من الاضطرابات الجوية ؛

(ب) الاسترداد من المدار ؛

(ج) الاخراج من المدار .

ولا بد أن يتضمن أي نموذج للبيئة الحطامية كل هذه العناصر أو بعضها .

٧ - وتستخدم في نماذج الحطام الفضائي كل مصادر البيانات المتوفرة . وهي تشمل ما يلي :

(أ) البيانات التحديدية للأجسام التي يبلغ حجمها دسيمترا فأكبر في فهرس سواتل القيادة الفضائية بالولايات المتحدة والفهرس الروسي لمراقبة الفضاء ؛

(ب) البيانات الاحصائية بشأن الأجسام التي يبلغ حجمها دسيمترا ، المستمدة من الحملات الرادارية المخصصة في المدار الأرضي المنخفض ؛

(ج) البيانات الاحصائية بشأن الحطام الذي يقل مقاسه عن ميليمتر ، المستمدة من تحليل الطبقات السطحية المستردة ؛

(د) المحاكاة الأرضية لحالات الارتطام الفائق السرعة بأجسام ساتلية وصاروخية ؛

(هـ) المحاكاة الأرضية للتشظيات الناتجة عن انفجار .

٨ - وهذه النماذج مقيدة بندرة البيانات المتوفرة للتثبت من العلاقات المستخلصة . ويجب أن تستند النماذج الى السجلات التاريخية لخصائص السواتل ونشاط الاطلاق والتحطم في المدار ؛ واضافة الى ذلك ، لا توجد سوى بيانات محدودة بشأن رد فعل مواد المركبات الفضائية على الارتطام والتعرض للبيئة المدارية . وعلاوة على ذلك ، يجب وضع افتراضات رئيسية عند تطبيق هذه النماذج للتنبؤ بالبيئة في المستقبل . وبوجه خاص ، سيكون لسيناريوهات حركة سير الأجسام في المستقبل وتطبيق تدابير التخفيف تأثير رئيسي في نتيجة التنبؤات استنادا الى هذه النماذج . ويجب العمل باستمرار على تحديث نماذج الحطام الفضائي والتثبت من صحتها حتى تتجسد فيها التحسينات المدخلة على مضمون وحجم مجموعات بيانات الرصد وبيانات التجارب .

٩ - ويمكن أن تكون النماذج البيئية على شكلين : إما على شكل نماذج متفرقة تمثل مجموعة الحطام في شكل مفصل ، وإما كأسلوب تقريبي هندسي ، على شكل دوال التوزع . ويمكن أن تكون النماذج ذات طابع قصير الأمد (تعنى باطار زمني أقصاه عشرة أعوام) أو طويلة الأمد (تعنى باطار زمني يتجاوز عشرة أعوام) . وعند اعداد جميع هذه النماذج ، يقع تمثيل مجموعة الحطام الأولية في نقطة انطلاق زمنية محددة ثم تنشر زمنيا على أساس تدريجي مع مراعاة آليتي المصدر والغوران والاضطرابات المدارية ذات الصلة .

١٠ - وترد في الجدول -- أدناه مقارنة للخصائص الملازمة للنماذج .

٢-١-٢- النماذج القصيرة الأمد

١١ - النماذج القصيرة الأمد التالية متوفرة في الأوساط العلمية والهندسية :

(أ) **"ايفولف"** EVOLVE : هذا النموذج استحدثه مركز جونسون للفضاء التابع لوكالة "ناسا" لتزويد التنبؤات القصيرة الأمد والمتوسطة الأمد لبيئة المدار الأرضي المنخفض باستخدام النطاقات المصدرية الواسعة ونماذج حركية مفصلة ، استنادا الى الأساليب التحديدية لانتشار المجموعة ؛

(ب) **"اوردم ٩٦"** - ORDEM 96 هو نموذج هندسي شبه تجريبي استحدثه مركز جونسون للفضاء التابع لوكالة "ناسا" . وهو يقوم على عمليات رصد مستفيضة عن بعد وموقعية ويستخدم لدعم تصميم وتشغيل مكوك الفضاء التابع للولايات المتحدة والمحطة الفضائية الدولية ؛

(ج) **"ماستر"** - MASTER هو نموذج بيئي شبه تحديدي وضعته وكالة الفضاء الأوروبية ، ويقوم على تفريد ثلاثي الأبعاد للكثافات الفضائية والسرعات العابرة . وهذا النموذج قابل للتطبيق على ارتفاعات تتراوح بين المدار الأرضي المنخفض والمدار الثابت بالنسبة للأرض ، مقدما تقديرات بيئية في الأمد القصير . وتتوفر صيغة من نموذج ماستر أقل تفصيلا ، وذلك على شكل هندسي . وكلا النموذجين هما من استحداث جامعة براونشفايغ التقنية في ألمانيا ؛

(د) **"ايديس"** - IDES هو نموذج شبه تحديدي للبيئة يستند الى نماذج مفصلة بشأن خصائص السير والسواتل من أجل توفير تنبؤات قصيرة الأمد وطويلة الأمد لبيئة الحطام الفضائي . وهذا النموذج من استحداث وكالة بحوث الدفاع "ديرا" فارنبورو DERA Farnborough ؛

(هـ) **نازارنكو** - Nazarenko نموذج استحدثه مركز البرامج العلمية (فرنسا) ، وهو نموذج عشوائي شبه تحليلي للتنبؤ في الأمد المتوسط والطويل ببيئة الحطام في المدار الأرضي المنخفض . موفرا الكثافة الحيزية وتوزعات السرعة . ويقوم النموذج على بيانات فهرس الولايات المتحدة والفهرس الروسي .

اسم النموذج	المصدر	الفترة التطورية	النموذج الهندسي المتوفر	الحجم الأدنى (مم)	النظام المداري
"تشين"	"ناسا"	طويلة الأمد	غير متوفر	١ سم	المدار الأرضي المنخفض
"تشيني"	"ايسا"	طويلة الأمد	غير متوفر	١ سم	المدار الأرضي المنخفض
"ايفولف"	"ناسا"	طويلة الأمد وقصيرة الأمد	غير متوفر	١٠ر٠ مم	المدار الأرضي المنخفض

اسم النموذج	المصدر	الفترة التطورية	النموذج الهندسي المتوفر	الحجم الأدنى (مم)	النظام المداري
"ايديس"	"ديرا"	قصيرة الأمد وطويلة الأمد	غير متوفر	٠ر١ مم	المدار الأرضي المنخفض
"لوكا"	جامعة براونشفايغ التقنية	طويلة الأمد	غير متوفر	١ مم	المدار الأرضي المنخفض/ المدار الأرضي المتوسط
"ماستر"	"ايسا"	قصيرة الأمد	متوفر	٠ر١ مم	المدار الأرضي المنخفض/ المدار الثابت بالنسبة للأرض
"نازارنكو"	وكالة الفضاء الروسية	قصيرة الأمد	غير متوفر	٠ر٦ مم	المدار الأرضي المنخفض
"أوردم ٩٦"	"ناسا"	قصيرة الأمد	متوفر	٠ر١ مم	المدار الأرضي المنخفض
SDM/STAT	"ايسا"	طويلة الأمد	غير متوفر		المدار الأرضي المنخفض/ المدار الثابت بالنسبة للأرض

٢-١-٣- النماذج الطويلة الأمد

١٢ - ان نطاق النمذجة الطويلة الأمد لبيئة الحطام الفضائي هو التنبؤ الطويل الأمد (الى أجل أقصاه ١٠٠ عام) لعدد الأجسام حسب دالة الزمن والارتفاع وحجم الجسم . وهذه التوقعات هامة لتقدير مدى الحاجة الى تقنيات التخفيف من الحطام ومدى فعاليتها .

١٣ - واضافة الى مصادر الحطام الفضائي التي تؤخذ في الاعتبار عند نمذجة مجموعة الحطام الراهنة ، لابد من أن تؤخذ في الاعتبار الارتطامات بين أجسام كبرى (يزيد مقاسها على ١٠ سم) . وفي الوقت الحاضر ، ليس للارتطامات بين الأجسام الكبرى دور هام في ارتفاع عدد الأجسام ، ذلك أن احتمالات حصولها قليلة جدا . ولكن ، يمكن أن يزداد في المستقبل خطر الارتطامات التفاعلية لما يدعى الارتطامات المدمرة ، أي الارتطامات التي تولد شظايا كبرى . ويعتبر خطر الارتطامات التفاعلية هذه فيما بين جميع أجسام المجموعة تناسبيا مع مربع عدد الأجسام . وبالتالي ، اذا ارتفع في المستقبل عدد الأجسام على النحو الذي ارتفع به في الماضي (بنسبة مئوية ما سنويا على أساس خطي) ، ارتفع خطر الارتطامات التفاعلية .

١٤ - ومن أجل تقدير نتائج الارتطامات بين أجسام كبرى ، من الضروري أن تتوفر نماذج تحظم موثوق فيها بشأن الارتطامات من هذا النوع . ولكن ، من الصعب جدا محاكاة ارتطامات تحصل في المدار دون توفر بيانات اختبارية لأغراض التثبت . وبالتالي ، تضمن النماذج قدرا معينا من عدم اليقين بمحاكاة الارتطام .

١٥ - والى جانب نمذجة مجموعة الحطام الموجودة ، تحتاج النمذجة الطويلة الأمد الى بعض الافتراضات التي تصف أنشطة التحليق الفضائي في المستقبل بما في ذلك آليات توليد الحطام ، من حيث الجوانب التالية مثلا :

(أ) عدد عمليات الاطلاق في المستقبل والمدارات المتصلة بها ؛

(ب) عدد الحمولات وحجمها في كل عملية اطلاق تجرى في المستقبل ؛

(ج) عدد الأجسام ذات الصلة بالبعثات في المستقبل (البنى الانسيابية ، والارتجة الخ) ؛

(د) عدد انفجارات المركبات الفضائية والمراحل الصاروخية العليا في المستقبل .

١٦ - وكل هذه البارامترات خاضعة لتغيرات مع الزمن تعود الى جوانب تقنية/علمية ومالية وسياسية . وبالتالي يضاف قدر آخر من عدم اليقين الى عدم اليقين الذي هو ناجم عن النموذج الرياضي ذاته (نماذج التحطم الخ) .

١٧ - وقد استحدث عدد من النماذج لغرض النمذجة الطويلة الأمد للبيئة الحطامية . وفيما يلي تحديد لخصائصها بايجاز :

(أ) "تشين" ، "تشيني" : استحدث نموذج "تشين" في جامعة براونشفايغ التقنية في ألمانيا بموجب عقد حكومي . وتقوم وكالة ناسا الأمريكية منذ عام ١٩٩٣ بصون هذا النموذج وتحسينه . أما "تشيني" ، الذي يمثل امتدادا أوروبيا لنموذج "تشين" ، فتستخدمه الايسا . ويقدم هذا النموذج ، وهو نموذج تحليلي من نوع "صندوق الجسيمات" ، وصفا لمجموعة الجسيمات وشظايا الارتطام حتى ارتفاع قدره ٠٠٠ ٢ كم باستخدام ٤ خانات استبانة ارتفاعية في المدار الأرضي المنخفض و ٥ فئات كتلة . و "تشيني" هو برنامج حاسوبي فائق السرعة (قرابة ١٠ ثوان لمحاكاة تغطي ١٠٠ سنة) . وهو يتيح تحديد الاتجاهات النسبية المقترنة بسياسات معينة لتخفيف المخاطر . والقدرة الاستبانية لنموذج "تشين" محدودة بسبب نوع خانات الاستبانة المستخدمة .

(ب) "ايفولف" : استحدثت هذا النموذج وكالة ناسا . وهو نموذج شبه تحديدي ، أي أن الأجسام الحطامية توصف منفردة بواسطة مجموعة من البارامترات . والى جانب قدرته على نمذجة بيئة الحطام الحالية ، يمكن استخدامه في تقصي الخصائص التطورية المستقبلية حسب الممارسات المختلفة لتخفيف المخاطر باستخدام تقنيات مونت كارلو . وتستخدم لهذا الغرض بيانات نماذج البعثات . ويتسم هذا النموذج ، بفضل منهجيته ، بدرجة جيدة من الموثوقية والقدرة على الاستبانة فيما يتعلق بالارتفاعات المدارية وأحجام الأجسام .

(ج) **النسق المتكامل لدراسة تطور الحطام (ايدس)** : استحدث هذا النسق في قسم الفضاء بوكالة البحوث الدفاعية (ديرا) في فارنبورو بالمملكة المتحدة . ويجري فيه محاكاة البيانات التاريخية حتى عام ١٩٩٦ . وتستخدم في تحليل السيناريوهات المستقبلية نماذج حركية ونماذج استباقية لمحاكاة البيئة ، كيما تؤخذ في الاعتبار التفاعلات المحتملة داخل مجموعة السواتل .

(د) **المرفق الطويل الأمد لتحليل الارتطام (لوكا)** : استحدث "لوكا" ، وهو برنامج حاسوبي شبه تحديدي ، في جامعة براونشفايغ التقنية لاجراء تحليل مفصل للسيناريوهات المستقبلية ، خصوصا اذا كان الأمر يتطلب درجة عالية من الاستبانة فيما يتعلق بالارتفاع المداري ودرجة الميل . ويجمع هذا البرنامج بين مزيتين هما علو درجة الاستبانة الحيزية ومعقولية الوقت الحاسوبي اللازم . ومن أجل حساب احتمالات الارتطام المرتبطة بالزمن ، استخدمت أداة خاصة ، تبين ازدياد احتمالات الارتطام عند درجات الميل الأعلى (كما في حالة القرب من المناطق القطبية ، مثلا) .

(هـ) **النهج العشوائي/النموذج شبه التحديدي** : استحدث في جامعة بيزا الايطالية ، بموجب عقد مع الايسا ، برنامجان للنمذجة الطويلة الأمد ، هما "النهج العشوائي" (STAT) و "النموذج شبه التحديدي" (SDM) . ويستخدم هذان النموذجان مجموعة الأجسام الأولية ذاتها وكذلك ذات الافتراضات الخاصة بالمصدر والغوران . ففي النموذج شبه التحديدي ، تستخدم مدارات مجموعة فرعية ممثلة من الأجسام الحطامية من أجل حساب معدلات الارتطام ورسم خرائط استباقية لمواقع تلك الأجسام . وتختزن الكثافات الحيزية في خانات استبانة ارتفاعية وكتلية مرتبطة بالزمن . ويمكن تحليل آثار سياسات الاطلاق في تطور مجموعة الأجسام بواسطة دراسات بارامترية . ونموذج "النهج العشوائي" ، الذي يقوم على فكرة "صندوق الجسيمات" ، يمثل بديلا للنموذج شبه التحديدي يتسم بالكفاءة في استخدام وقت الحاسوب . وهو يرتكز الى منظومة من المعادلات التفاضلية غير الخطية المترابطة والمتكاملة عدديا .

١٨ - ويمكن تلخيص النتائج الرئيسية المستخلصة من نماذج الحطام الطويلة الأمد المذكورة أعلاه كما يلي :

(أ) يمكن لعدد جسيمات الحطام أن ينمو في المستقبل بصورة لا يمكن السيطرة عليها اذا استمر التحليق الفضائي على ما كان عليه في الماضي ، وذلك بسبب تزايد عدد الارتطامات التي ستحدث بين الأجسام الأكبر حجما ؛

(ب) تمثل شظايا الانفجارات ، في الوقت الحاضر ، المصدر الرئيسي للحطام الفضائي . وبعد نقطة زمنية معينة ، قد تصبح شظايا الارتطام هي المهيمنة بين أجسام الحطام ؛

(ج) في حال حدوث المرحلة الثانية من هذا التطور سينشأ ما يسمى بتأثير الشلشلة الارتطامية . وهذا يعني أن شظايا الارتطام ستؤدي الى زيادة عدد الارتطامات اللاحقة . وعند ذلك ، سيزداد عدد الأجسام ازديادا أسيّا .

١٩ - ونتائج نماذج الحطام الطويلة الأمد لا تتوافق كليا . أما الاتجاهات والمناحي الأساسية المتحصل عليها من تلك النماذج فتتفق فيما بينها .

٢٠ - وتكون احتمالات الارتطام بين الأجسام الأكبر حجما منخفضة في البداية . ومن ثم ، يلزم تحليل عدد من العمليات الأحادية باستخدام تقنيات مونت كارلو ، أو استعمال نهوج القيمة الوسطى للحصول على اتجاهات ومناح موثوقة . والنماذج المذكورة أعلاه تراعي ذلك الأثر .

٢-٢- عمليات تقدير مخاطر الحطام المداري

٢-٢-١- مقدمة

٢١ - تتضمن عمليات تقدير المخاطر مدى احتمال وقوع أي حادثة ، وكذلك النتائج المترتبة على تلك الحادثة . ويمكن تقييم احتمال الارتطام بين المركبات الفضائية العاملة وأجسام الحطام المداري بالاستعانة بنماذج لبيئة ذلك الحطام . وكثيرا جدا ما ترتطم المركبات الفضائية في المدار الأرضي المنخفض بجسيمات صغيرة جدا (أقل من ١٠٠ ميكرون) بسبب ضخامة عدد تلك الجسيمات ، ولكن آثار تلك الارتطامات تكون عادة طفيفة بسبب صغر كتل تلك الجسيمات وطاقتها الحركية . وبما أن عدد الأجسام الحطامية الكبيرة أصغر من تلك ، فان احتمال الارتطام يتناقص بسرعة مع تزايد حجم الأجسام . بيد أن شدة الارتطامات بين الأجسام الكبيرة تزداد .

٢٢ - والعوامل الرئيسية في احتمالات الارتطام هي الكثافة الحيزية للأجسام الفضائية المعنية ومتوسط سرعتها الارتطامية النسبية على طول المدار (الارتفاع ودرجة الميل) ، ومساحة المقطع المستعرض للجسم الفضائي ، ومدة التحليق . وتتوقف آثار الارتطام على كتلة وتركيبة كل من الأجسام المعنية . وفي حين أن احتمال حدوث ارتطام بين جسم موجود على المدار ونيزك ما لا يتوقف أساسا على الارتفاع فان احتمال حدوث ارتطام بين الأجسام المدارية يتوقف الى حد بعيد على الارتفاع ، فاحتمالات الارتطام في المدار الأرضي المنخفض تزيد بوجه عام على احتمالات الارتطام في المدار الثابت بالنسبة للأرض .

٢-٢-٢- عمليات تقدير مخاطر الارتطام في المدار الأرضي المنخفض

٢-٢-٢-١- المنهجية

٢٣ - تجرى عمليات تقدير المخاطر على المركبات الفضائية الموجودة في المدار الأرضي المنخفض بصورة روتينية منذ الستينيات . ويستخدم نموذج بواسون Poisson في الحالات التي يقع فيها عدد كبير من الحوادث المستقلة ويكون احتمال وقوع كل حادث صغيرا . وتنطبق معايير الاستقلالية هذه على الحطام الفضائي الاصطناعي وعلى النيازك الصغرى ، باستثناء حالات التحطم القريبة العهد أو حالات العواصف النيزكية .

٢٤ - ولحساب احتمال حدوث أثر سطحي نتيجة للارتطام بحطام فضائي ، يلزم استخدام نموذج لبيئة النيازك/ الحطام الفضائي (M/OD environment) ومعرفة هيئة المركبة الفضائية ومعلومات أساسية عن البعثة . أما حساب احتمال حدوث اختراق و/أو تعطل بسبب الحطام الفضائي فيتطلب معرفة مفصلة بهيئة المركبة الفضائية ، بما في ذلك :

(أ) الأبعاد الجيومترية للنظم الفرعية الهامة ؛

(ب) مدى قدرة كل نظام فرعي على مقاومة الاختراق ، أو معادلة الحد القذفي لذلك النظام ؛

(ج) بيانات عن قدرة كل نظام فرعي على تحمل الضرر .

٢٥ - واستنادا الى هذه المعلومات يمكن للبرنامج الحاسوبي أن يحسب ما يلي :

(أ) احتمال حدوث آثار ناشئة عن الحطام الفضائي بالنسبة لجسيمات من حجم معين ؛

(ب) احتمال افضاء الارتطام الى الاضرار بنظام فرعي معين ؛

(ج) احتمال حدوث الضرر كدالة لموقع النظام الفرعي ؛

(د) التمييز بين الضرر الناشىء عن الحطام الاصطناعي والضرر الناشىء عن النيازك الصغرى .

٢-٢-٢-٢- نتائج عمليات تقدير المخاطر

٢٦ - تستخدم عمليات تقدير المخاطر في المدار الأرضي المنخفض بصورة روتينية لتعزيز أمان العمليات الفضائية . وفي الحالات التي تشتمل على تحليق بشري في الفضاء ثبت أن لعمليات تقدير المخاطر فائدة قصوى في ضمان أمان العمليات المكوكية . وقد جرت العادة أن يعاد تنظيم البعثات المكوكية كلما دلت عملية تقدير المخاطر قبل التحليق على أن مخاطر الحطام الفضائي تبلغ حدا غير مقبول .

٢٧ - وتستخدم عمليات تقدير المخاطر حاليا لتحديد موقع ونوع الدروع الواقية من الحطام الفضائي الكفيلة بحماية طاقم المحطة الفضائية الدولية وكذلك أهم النظم الفرعية الموجودة على متنها .

٢٨ - وتستخدم عمليات تقدير المخاطر أيضا في تصميم المركبات الفضائية غير المأهولة . كما يستعان بها في تحديد مواضع الدروع لحماية النظم الفرعية الهامة ، وكذلك في تصميم نظم مجموعات سواتل الاتصالات الكبيرة .

الجدول .. - الفاصل الزمني بين الصدمات التي تصيب السواتل التي تبلغ مساحة مقطعها المستعرض ١٠٠ متر مربع

ارتفاع المدار	الأجسام ار ٠ - ٠ر١ سم	الأجسام ١ - ١٠ سم	الأجسام > ١٠ سم
٥٠٠ كم	١ - ١٠ سنوات	٣٥٠ - ٧٠٠ سنة	١٥ ٠٠٠ سنة
١ ٠٠٠ كم	٣ر٠ - ٣ سنوات	٧٠ - ١٤٠ سنة	٢ ٠٠٠ سنة
١ ٥٠٠ كم	٧ر٠ - ٧ سنوات	١٠٠ - ٢٠٠ سنة	٣ ٠٠٠ سنة

٢-٢-٣- عمليات تقدير مخاطر الارتطام في المدار الثابت بالنسبة للأرض

٢٩ - ليس معروفا في الوقت الحاضر عدد الأجسام الفضائية الموجودة في نظام المدار الثابت بالنسبة للأرض وقربه الا فيما يتعلق بالمركبات الفضائية وصواريخ المراحل العليا . ونتيجة لقلة عدد هذه الأجسام واتساع توزعها الحيزي وانخفاض متوسط سرعاتها النسبية (٥٠٠ م/ث) فان احتمال حدوث ارتطام في المدار الثابت بالنسبة للأرض يقل كثيرا عن احتمالاته في المدار الأرضي المنخفض . كما أنه مع تزايد عدد المركبات الفضائية وصواريخ المراحل العليا المتروكة في المدارات الواقعة فوق المدار الثابت بالنسبة للأرض أو دونه فان عدد الأجسام السليمة غير القابلة للسيطرة التي تمر عبر نظام ذلك المدار يتزايد بمعدل بطيء جدا . وتوجد في المدار الثابت بالنسبة للأرض امكانيات ارتطام خاصة بسبب شدة قرب المركبات الفضائية العاملة في مسارات طولية مختارة ، ولكن يمكن التغلب على أخطار الارتطام هذه بواسطة اجراءات التحكم في المركبة الفضائية . كما أن قلة عدد الأجسام الكبيرة قرب المدار الثابت بالنسبة للأرض يتيح التنبؤ بالاقترابات اللصيقة بين المركبة الفضائية العاملة والحطام الفضائي في وقت كاف للقيام بمناورة لتفادي الارتطام .

٣٠ - وعدد أجسام الحطام المداري التي يقل قطرها عن متر واحد والواقعة قرب المدار الثابت بالنسبة للأرض ليس معروفا على وجه الدقة . وقد تم استبانة عمليتي تحطم - واحدة تتعلق بمركبة فضائية وواحدة تتعلق بصاروخ عالي المرحلة - وثمة شواهد على امكانية حدوث مزيد من عمليات التحطم . بيد أن حركة هذا الحطام سوف تضطرب فتصبح مداراته مائلة ، مما يقلل من وقت مكوثه في المدار الثابت بالنسبة للأرض ، ولكن مع زيادة سرعة ارتطامه النسبية في الوقت نفسه . وفي كثير من الحالات تتناثر شظايا الحطام جانبيا من حيث الارتفاع والميل . ويلزم اجراء عمليات قياسات اضافية للحطام الفضائي الموجود في المدار الثابت بالنسبة للأرض قبل أن يتسنى اجراء تقديرات أكثر دقة للمخاطر . كما قد يلزم استحداث تقنيات جديدة لحساب احتمالات الارتطام لكي تؤخذ في الاعتبار الطبيعة غير العشوائية للاضطرابات اللصيقة في المدار الثابت بالنسبة للأرض .

٣١ - وليست هناك آلية طبيعية لازالة السواتل الموجودة في المدار الثابت بالنسبة للأرض . ومن ثم فان المركبات الفضائية العاملة معرضة لأن يصيبها ضرر من المركبات الفضائية غير الخاضعة للسيطرة . ويقدر احتمال ارتطام بالنسبة للسواتل العاملة ، في الوقت الحاضر ، بنحو $١٠^{-٥}$ سنويا .

٢-٢-٤- عمليات تقدير المخاطر الخاصة بالحطام الفضائي العائد (الى الغلاف الجوي)

٣٢ - يقتصر تقدير المخاطر في هذا السياق على العودة غير المحكومة من المدار الأرضي .

٣٣ - ويبلغ عدد الحالات المعروفة لعودة أجسام فضائية مفهرسة أكثر من ١٦ ٠٠٠ حالة في قرابة ٤٠ سنة . ولم يبلغ عن وقوع أي أضرار أو اصابات ذات شأن نتيجة لذلك . ويمكن أن يعزى هذا الى حد بعيد الى شدة اتساع المحيطات والى قلة الكثافة السكانية في كثير من مناطق العالم . وفي السنوات الخمس الأخيرة شهد كل اسبوع تقريبا عودة جسم ذي مقطع مستعرض قدره متر مربع واحد أو أكثر الى الغلاف الجوي للأرض ، وثمة معلومات عن وجود بضعة شظايا باقية .

٣٤ - واحتمال العودة لا ينشأ بفعل الاصطدام الميكانيكي فحسب ، ولكن بفعل تلوث البيئة الكيميائي أو الاشعاعي أيضا . وقد يتأتى الضرر الميكانيكي من الأجسام التي تتحمل التسخين الايروديناميي . ويتوقف هذا الاحتمال على خصائص المدار الأخير وشكل الجسم وخواصه الفيزيائية .

٣٥ - وينبغي لعملية تقدير مخاطر عودة جسم ما أن تشمل شكل ذلك الجسم ، وتحليل الارتفاع الذي يحدث عنده التحطم الايروديناميي ، وتحديد المكونات التي يمكن أن تبقى بعد العودة ، ونمذجة هذه المكونات ، وحساب المساحة الكلية لمنطقة سقوط الشظايا .

٣٦ - وليس هناك توافق في الآراء على الصعيد الدولي بشأن الاصابات البشرية الناشئة عن عودة الأجسام الفضائية الى الغلاف الجوي . ويرد في البند رقم ١٤-١٧٤٠ ، المعنون "المبادىء التوجيهية واجراءات التقدير الخاصة بالحد من الحطام الفضائي" ، من معايير الأمان المعتمدة لدى وكالة ناسا احتمال اصابة قدره $١٠^{-٥}$.

٣٧ - وأشارت اللجنة الفرعية الى أنها ستركز في دورتها الخامسة والثلاثين على البند الأخير من خطة عملها المتعددة السنوات ، وهو تدابير تخفيف مخاطر الحطام الفضائي . واتفقت على أنه من المستصوب دعوة الأكاديمية الدولية للملاحة الفضائية ، من خلال لجنتها الفرعية المعنية بالحطام الفضائي ، الى اعداد ورقة عمل شاملة بشأن ممارسات تخفيف المخاطر المستعملة حاليا ، وعن التدابير المقترحة لتخفيف مخاطر الحطام الفضائي .

٣٨ - سيجري استكمال الباب التالي أثناء الدورة الخامسة والثلاثين للجنة الفرعية العلمية والتقنية :

٣ - تدابير تخفيف مخاطر الحطام الفضائي

٣-١- الحد من تزايد الحطام مع مرور الزمن

٣-١-١- تفادي الارتطام بالأجسام ذات الصلة بالبعثات الفضائية

٣-١-٢- تحسين السلامة الهيكلية للأجسام الفضائية (منع الانفجار ، الخ)

٣-١-٣- اخراج الأجسام الفضائية من مداراتها واعادتها اليها

٣-٢- استراتيجيات الحماية

٣-٢-١- التدريع

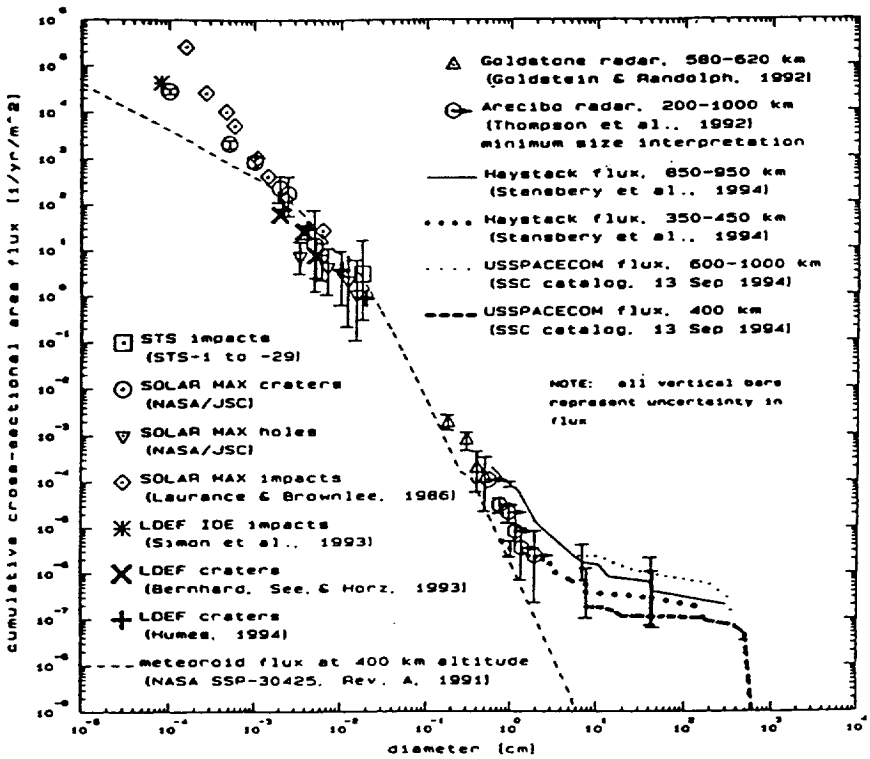
٣-٢-٢- تفادي الارتطام

٣-٣- فعالية تدابير تخفيف المخاطر

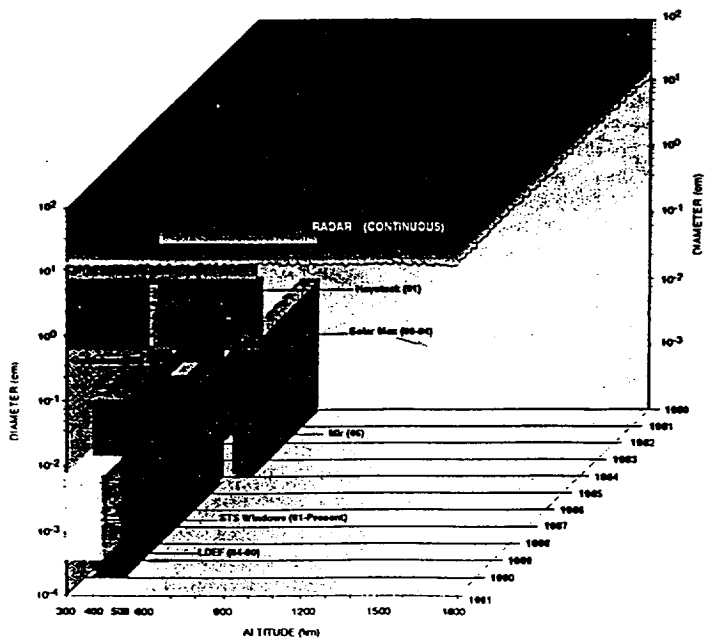
٤ - الأشكال

٣٩ - الأشكال الأول الى الثامن الواردة أدناه هي صيغ أولية ، وسوف تدرج في التقرير التقني النهائي للجنة الفرعية بشأن الحطام الفضائي .

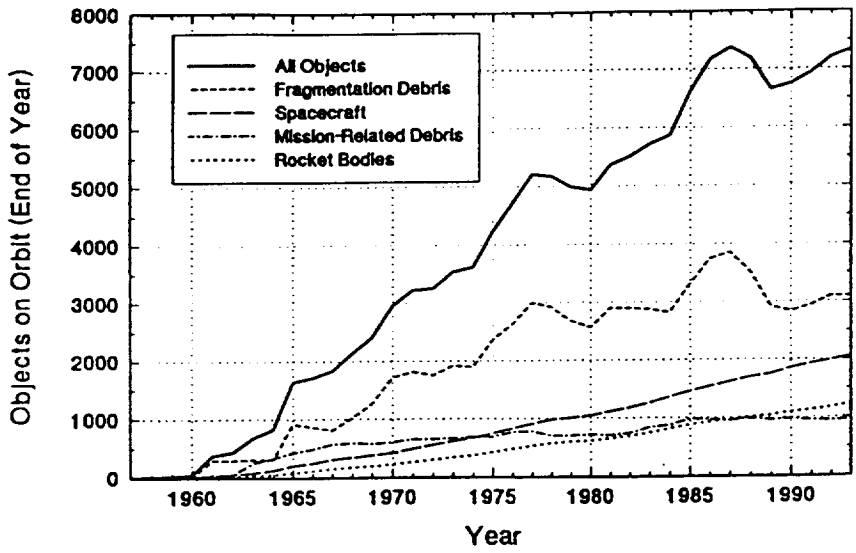
الشكل الأول - المقدار التقريبي لدفق أجسام الحطام المقيسة في المدار الأرضي المنخفض ، حسب أحجامها



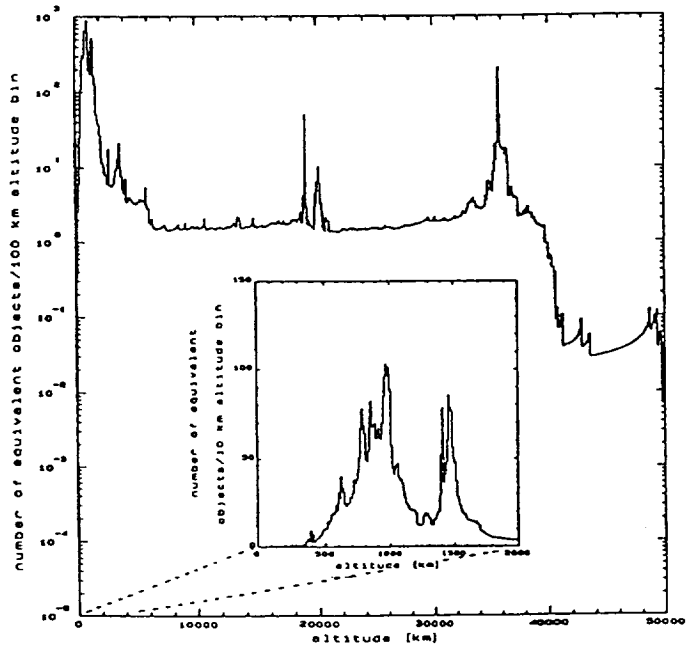
الشكل الثاني - البيانات المحددة لخصائص الحطام المداري : القطر مقابل الارتفاع مقابل السنة



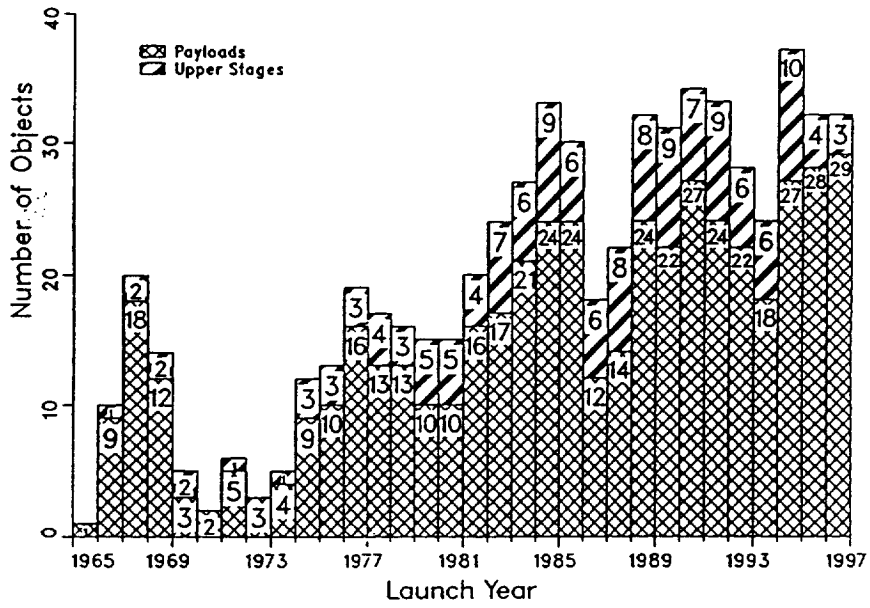
الشكل الثالث - عدد الأجسام المفهرسة الموجودة على المدار ، مصححا باحتساب تأخر الفهرسة



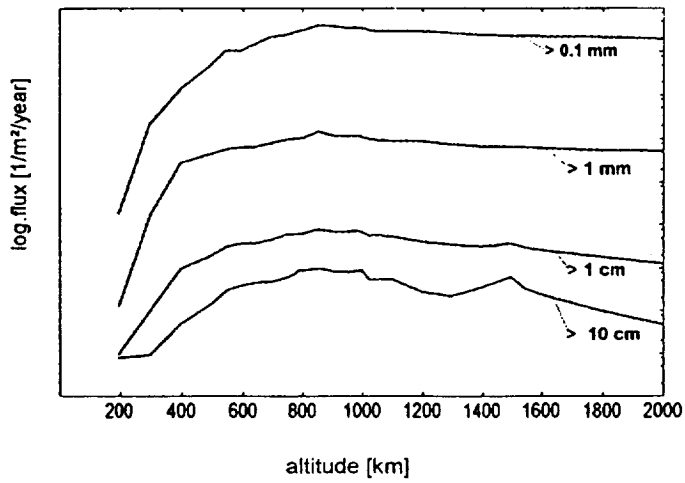
الشكل الرابع - توزع السواتل في المدار الأرضي



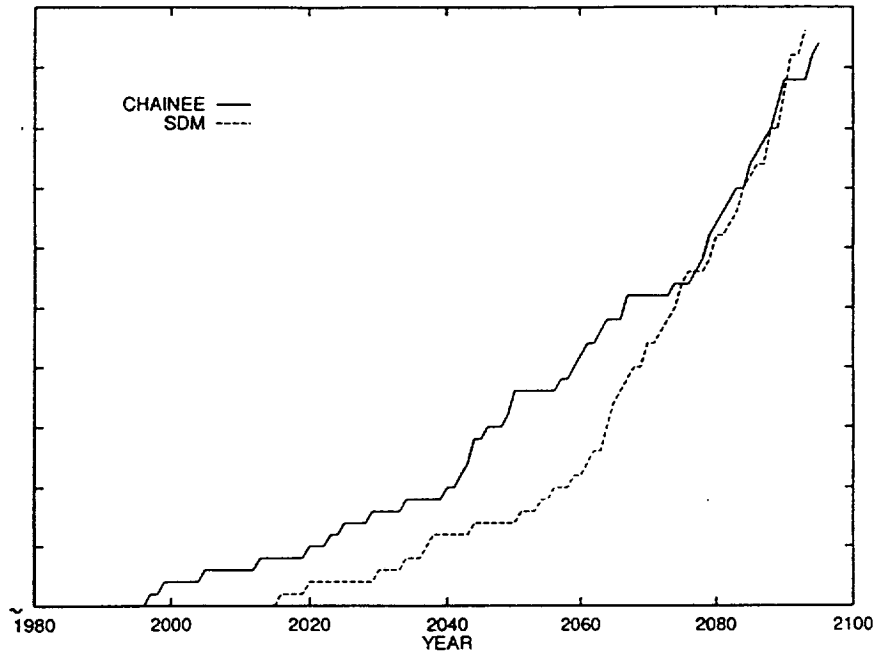
الشكل الخامس - الحمولات وصواريخ المراحل العليا المطلقة الى المدار الثابت بالنسبة للأرض



الشكل السادس - دفق الأجسام في المدار الأرضي المنخفض



الشكل السابع - العدد التراكمي للارتطامات المدمرة



الشكل الثامن - عدد الأجسام المقدر بنماذج المحاكاة ، بافتراض استمرار الأمور على ما هي عليه