For participants only
25 November 2005
Arabic
Original: English

لجنة استخدام الفضاء الخارجي
في الأغراض السلمية
اللجنة الفرعية العلمية والتقنية
الدورة الثالثة والأربعون
فيينا، ٢٠ شباط/فبراير-٣ آذار/مارس ٢٠٠٦
البند ٩ من جدول الأعمال المؤقت*
استخدام مصادر القدرة النووية في الفضاء الخارجي

حلقة العمل التقنية المشتركة بين الأمم المتحدة والوكالة الدولية للطاقة الذرية حول الأهداف والنطاق والسمات العامة لمعيار تقني محتمل لأمان مصادر القدرة النووية في الفضاء الخارجي
(فيينا، ٢٠-٢٢ شباط/فبراير ٢٠٠٦)

الوضع والاحتياجات فيما يتعلّق بالأمان النووي في الفضاء الخارجي: وجهة نظر مصمّم

ورقة عمل مقدّمة من فرنسا

مذكرة من الأمانة

١- عملا بالفقرة ١٦ من قرار الجمعية العامة ٩٩/٦٠ المؤرّخ ٨ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٥، سوف تتولّى اللجنة الفرعية العلمية والتقنية التابعة للجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية، بالاشتراك مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تنظيم حلقة عمل حول

* A/AC.105/C.1/L.283.

الأهداف والنطاق والسمات العامة لمعيار تقني محتمل لأمان مصادر القدرة النووية في الفضاء الخارجي، وذلك في فيينا خلال الفترة من ٢٠ إلى ٢٢ شباط/فبراير ٢٠٠٦.

٢- وقد أُعدّت ورقة العمل الواردة في مرفق هذه الوثيقة لغرض حلقة العمل التقنية المشتركة وفقا للجدول الزمني الاسترشادي لأعمالها، بصيغته التي اتّفق عليها الفريق العامل المعني باستخدام مصادر القدرة النووية في الفضاء الخارجي خلال اجتماعه لما بين الدورات المنعقد في فيينا في الفترة من ١٣ إلى ١٥ حزيران/يونيه ٢٠٠٥ (A/AC.105/L.260).

المرفق

الوضع والاحتياجات فيما يتعلّق بالأمان النووي في الفضاء الخارجي: وجهة نظر مصمّم

ورقة عمل مقدّمة من فرنسا

أولا- الوضع والسياق

١- من المرجّح أن يشهد المستقبل القريب مبادرات جديدة تستخدم مختلف نظم القدرة النووية ونظم الدفع. وفي حالة الاستعمال المكثّف للطاقة النووية في التطبيقات المدنية في الفضاء الخارجي، تجدر الإشارة إلى أنّ بلدانا عديدة ستكون معنية بالمخاطر الإشعاعية المحتملة. وبالفعل، فقد أثبتت التجربة السابقة، لسوء الحظ، أنّ بلدانا عديدة تتعرّض للآثار التي تترتّب عبر الحدود على حوادث المركبات الفضائية الحاملة لنظم نووية. وكأمثلة يمكن ذكر حوادث المفاعل SNAP-9A (تشتّت ١ كيلوغرام من بلوتونيوم^{238} (^{238}Pu) — ١٧ كيلو كوري)، والمفاعل "Cosmos 954" في عام ١٩٧٨ (الذي وقع في شمال كندا وتسبّب في تلوّث ٠٠٠ ٥٠ كيلومتر مربع، وفي انتشار أزيد من ٠٠٠ ٤ من شظايا الحطام — جرد إجمالي قدره ٨٥ كيلو كوري استُعيد منه ٥٠ كوري) والمفاعل "Cosmos 1402" في عام ١٩٨٣ (المحيط الهندي). كما أنّ احتمالات الخطر ما زالت قائمة لأنّ بعثة "CASSINI/Huygens" الأخيرة، على سبيل المثال، أسهم في نجاحها استخدام ثلاثة مولّدات كهربائية حرارية عاملة بالنظائر المشعة (مولّدات "RTG") تنطوي على ٢٨,٥ كيلوغراما من بلوتونيوم^{238} — ٠,٥ ميغاكوري).

٢- كما ينبغي التأكيد على أنّ احتمالات حوادث نظم القدرة النووية هي، نظرا للعدد الكلّي الذي أُطلق من هذه النظم حتّى الآن، في حدود ١٠$^{-٤}$ في السنة لكلّ نظام. ورغم أنّ هذه القيمة لا تنطبق على عدد كبير من النظم، فإنّه بالإمكان مقارنتها بالقيمة الحالية، وقدرها ١٠$^{-٦}$، المسموح بها كقيمة قصوى في تواتر أعطاب القلب لكل مفاعل/سنة من مفاعلات مولّدات الطاقة على سطح الأرض. وهذا ما يؤكّد أهمية الحاجة إلى تنفيذ برنامج شامل ودقيق لأمان مصادر القدرة النووية في الفضاء الخارجي ويبرّر هذا التنفيذ.

٣- وفي ضوء الاعتبارات الواردة أعلاه، يجب بالضرورة مراعاة الأمان في تصميم جميع النظم النووية في الفضاء. وبالفعل، فقد شكّلت جوانب الأمان (التحاليل والاختبار) دائما جزءا مهمّا من المشاريع والبرامج السابقة (مثل مشاريع وبرامج "SP100" و"Topaz"

و"Nerva"). لكنّ هذه التحاليل المعنية بالأمان قامت على أساس أهداف الأمان التي وضعها كلّ برنامج من البرامج النووية الفضائية دون الرجوع إلى أي إطار دولي. ولئن كانت أغلب قرارات التطبيقات النووية الأرضية تُتّخذ على المستوى الوطني ، فمن الضروري أن تراعى المصالح الدولية صراحة في حالة التطبيقات النووية الفضائية.

٤- وقد اقترحت لجنة استخدام الفضاء الخارجي في الأغراض السلمية (اللجنة) نهجا عاما أوليا في أول قرار اعتمدته الجمعية العامة بهذا الشأن في عام ١٩٩٢. ولئن كان بالإمكان التأكيد على بعض النقاط الهامة، مثل حظر استعمال نظير البلوتونيوم ^{239}Pu في المفاعلات الفضائية، فمن المسلّم به أنّ القرار الأوّل لم يتناول جميع الجوانب المعنية (مثل الدفع النووي) وليست له القوة القانونية الملزمة في الحقيقة. و لم تُحدَّد أيضا أي معايير كمية دولية للأمان في استعمال القدرة النووية في الفضاء، ولكن اللجنة وضعت بدلا من ذلك توصيات بشأن كيفية صوغ أهداف الأمان لمعالجة هذا الموضوع الهام.

٥- وبرامج الأمان الشاملة التي وُضعت للمشاريع السابقة تشكّل، فيما يبدو، سياسة عامة في مجال الأمان ونهجا متبعا في الأخذ به وتؤسّس نوعا من الثقافة العامة المتصلة بأمان القدرة النووية الفضائية. وكما هو الشأن بالنسبة لمولّدات الطاقة الموجودة على سطح الأرض، فإنّ فلسفة الأمان الجوهرية تتمثّل في تقليص المخاطر إلى أدنى حدّ قابل للتحقيق منطقيا.[أ] [ب] وعملا بمبدأ الدفاع المستميت (أي إقامة خطوط للدفاع وحواجز متعددة وما إلى ذلك)، تُرسم أهداف الأمان بما يكفل الصحة العمومية وحماية البيئة. إذ يجب أن تسهم هذه الأهداف في الخفض التام للمخاطر (تواتر مضاعفات) إلى حدود الصفر كلّما كان ذلك ممكنا بالوسائل التقنية والاقتصادية.

ثانيا- التطبيقات النووية في الفضاء والبيئة الطبيعية

٦- في البدء تجدر الإشارة إلى أنّ كلّ أهداف الأمان ذات الصلة بمولّدات الطاقة قد حُدّدت على أساس ما يتحمّله الجسم البشري من إشعاع طبيعي وصناعي (طبي). وينبغي التأكيد أيضا على أنّ البيئة الطبيعية في الفضاء تنطوي على مخاطر شديدة من الناحية الإشعاعية (حزام فان آلان، والأشعة الكونية المجرية، وأحداث الجسيمات الشمسية وما إلى ذلك). وهذا يعني أنّه ينبغي، في الحيّز البعيد من الأرض، مواءمة أهداف الأمان مع غياب البشر ومع الخلفية الطبيعة المختلفة. كما أنّه يثير أسئلة بشأن الجرعات المحدّدة، والحدّ الأدنى للإطلاق الذي ينبغي اعتماده في تقدير مخاطر الحوادث، وحدود الجرعات التي ينبغي توخّيها في ظروف التشغيل العادية. وهذه أمور تتعلّق بما يلي:

(أ) التسييب الإشعاعي لنظم الدفع النووية الحرارية التي سوف تُحدَّد لها، من خلال أهداف الأمان وبمراعاة الأثر المباشر على أدائها، مستويات مقبولة في مجال تآكل الوقود وتُرسَم لها قيم مناسبة لدرجات الحرارة التي يمكن للمعدات أن تعمل في إطارها؛

(ب) مستوى النشاط الإشعاعي في الدارة الرئيسية داخل نظام من نظم الدفع الكهربائية النووية (الاحتفاظ بنواتج انشطارية في الوقود، ودرجات الحرارة التي يمكن للمعدات أن تعمل في إطارها وما إلى ذلك)؛

(ج) الجرعات المقبولة بالنسبة لطواقم المركبات الفضائية؛

(د) التطبيقات الكوكبية التي من المزمع تحديد حيز (أو حدود موقع) لها فيما يتعلّق بالخلفية الطبيعية التي تصبح فيها مساهمة المفاعل الإشعاعية غير ذات شأن.

٧- ولكن ينبغي أن يكون حاضرا في الذهن أنّه بالإضافة إلى الحالات البعيدة عن الأرض، توجد مسائل أخرى هامة تتعلق بالأمان وترتبط بدخول النظم النووية الفضائية إلى الغلاف الجوي للأرض (عمداً أو خطأً). وجميع مسائل الأمان هذه ترتبط بنوع النظام النووي المعني وهي مشتركة بين الحالات المعيّنة التي قد تنشأ في كل مرحلة من مراحل البعثة، أي من مرحلة ما قبل الإطلاق إلى مرحلة التخلّص النهائي من نظام القدرة النووية. وفيما يلي مناقشة لهذه المواضيع.

ثالثا- معالم أمان محدّدة لنظم القدرة النووية العاملة في ظروف عمل عادية في الفضاء الخارجي

٨- فيما يتعلّق بظروف العمل العادية لمفاعل من المفاعلات الفضائية، يمكن إيجاز متطلّبات الأمان فيما يلي:

(أ) ينبغي إخلاء المفاعل من النواتج الإشعاعية إلى حين بلوغ مدار آمن للتشغيل؛

(ب) ينبغي تحديد مدارات التشغيل بما يكفل اضمحلال النواتج الإشعاعية إلى مسويات غير ذات شأن قبل إمكانية الدخول إلى الغلاف الجوي؛

(ج) ينبغي الإبقاء على المفاعل في الفضاء بعد استعماله.

ألف- المفاعل النظيف ومدار بداية التشغيل

٩- حتّى وإن كان التصميم الدقيق للمفاعلات يمنع الانطلاق والتشغيل غير المأذونين، فإنّ النقطة الأولى المذكورة أعلاه تؤكّد من ناحية على إطلاق مركبة فضائية ذات قلب نووي نظيف ولا تسمح من ناحية أخرى بالتشغيل إلا بعد النجاح في بلوغ المدار الآمن. ففي أوّل الأمر، ينبغي تحديد مدارات بداية التشغيل الآمنة التي ستُشكِّل جزءا من أهداف تحقيق الأمان. ثم لن يُسمح، بناء على التوصيات السابقة للجنة، إلا بالمفاعلات ذات وقود الأورانيوم الجديد. ولذلك فإنّ معظم المفاعلات الانشطارية المستخدمة في التطبيقات الفضائية قد صُمِّمت لاستعمال أورانيوم ٢٣٥ (^{235}U)، وخصوصا الأورانيوم الفائق التخصيب (٩٣ في المائة) نظرا لخاصية التراصّ لديه وبسبب مقتضيات الحدّ الأدنى للكتلة.

١٠- لكن على خلاف ذلك، وبما أنّ المفاعلات الفضائية تحمل كمية كبيرة من الأورانيوم الفائق التخصيب، فإنّ المسائل المتعلقة بضمان سلامة المفاعلات الموجهة للفضاء أثناء نقلها على الأرض وعند إطلاقها وبعد إطلاقها يجب أن تُعالج. ويتعيّن أن تظلّ هذه النظم تحت مراقبة الحكومات المستقرة ذات الالتزام الصارم بعدم الانتشار.

باء- المدارات العاملة

١١- وعلاوة على ذلك، وحالما يصبح قلب الأورانيوم البارد وغير الحرج في مداره، يجب أخذ الاحتياطات اللازمة إزاء المدارات التشغيلية عندما تتقرّر العودة إلى أحد المدارات الأرضية - بعثة رحلة العودة والتسارع بسبب جاذبية الأرض وما إلى ذلك - أو إزاء نظم الدفع الكهربائي النووي التي تظلّ خلال تسارعها في مدار أرضي لفترة طويلة. ونظرا لارتفاع النشاط الإشعاعي لقلب المفاعل، ينبغي أن تكون هذه المدارات التشغيلية مختلفة عن مدار بداية التشغيل ويجب أن تُحدَّد ضمن متطلّبات الأمان حسبما يكون مناسبا فيما يتعلّق بعمر المدار وبرصيد النشاط الإشعاعي للمفاعل (زمن النضوب).

جيم- التخلُّص النهائي

١٢- أخيرا، يجب أيضا تحديد مدارات معيّنة للتخلّص النهائي من المفاعلات الفضائية ومراعاة ارتفاع مخاطر النيازك/الحطام بسبب طول مدّة الإقامة في المدار. وسوف يُنظر في مسألة الحلول البديلة، مثل مدارات الإفلات إلى النظام الشمسي وإرسال نظام القدرة النووية إلى الشمس، التي قد تُقترح كتوصيات أمان في ضوء الحلّ الوسط بين تقليل المخاطر وبين الجدوى التقنية لإقامة احتياطي إضافي لازم من الطاقة (لتمديد عمر قلب المفاعل).

دال- الإشعاع الناجم عن نظم القدرة النووية

١٣- يتم عادة في نظام القدرة النووية إدراج درع مظلّل بدلا من إدراج درع بيولوجي (كما هو الشأن في التطبيقات النووية الأرضية). وبذلك يتمّ تقليص الإشعاع الناجم عن المفاعل إلى مستوى لا يُذكر بالنسبة للبيئة الطبيعية، ولكن من المهم، مع ذلك، الإشارة إلى أنّ اللوائح بشأن رسم حدود الجرعات هي أمر مطلوب لتنفيذ الرحلات المأهولة. وسوف يترتّب عن هذه الحدود أثر كبير في أداء النظم: أي تحديد نسبة الكتلة إلى الدفع لدى نظم الدفع الكهربائية الحرارية أو نسبة الكتلة إلى القدرة لدى نظم الدفع الكهربائية النووية.

رابعا- معالم محدّدة لأمان نظم القدرة النووية في ظروف الاصطدام التي تطرأ في الفضاء الخارجي

١٤- لقد سبق وذُكر أنّ مسائل الأمان تعتمد على مرحلة البعثة وترتبط ارتباطا وثيقا بنوع النظام النووي المعني. وفيما عدا حالة الإطلاق، التي ينبغي تناولها على حدة، يمكن تلخيص مختلف مراحل البعثة فيما يلي:

(أ) المدار الأرضي، الذي يتصل إمّا بمرحلة بداية التشغيل أو بمرحلة التشغيل (كما هو الشأن في رحلات العودة أو المرور البسيط أو المرور المتعدد قرب الأرض). وفيما يتعلّق بمرحلة بداية التشغيل، تجدر الإشارة إلى أنّ زمن الحقن القصير في نظم الدفع الكهربائية الحرارية (الدفع الشديد) من شأنه أن يقلّل من مخاطر الحوادث التي تشمل القلوب ذات النشاط الإشعاعي. أمّا نظم الدفع الكهربائية النووية ذات الدفع المنخفض فهي، على العكس من ذلك، تتطلّب فترات انتقال طويلة قرب الأرض عندما تكون حاملة لقلب ذي نشاط إشعاعي؛

(ب) حالات ما بين الكواكب حيث يمكن السماح بالحوادث المدارية غير المقبولة. وهذا يعني أنّه بالإمكان النظر مثلا في الهوامش الضيّقة للسفر في أعماق الفضاء، التي ترتبط بمعايير أمان مختلفة عن المعايير المعتمدة قرب الأرض. ومن ثم، فإنّ أهداف الأمان قد تختلف خلال عمر المفاعل، وهو ما يُعدّ نهجا مختلفا بالكامل عن النهج المعتمد بالنسبة لمولّد طاقة معياري؛

(ج) التطبيقات الكوكبية حيث تكون أهداف الأمان مختلفة أيضا عن أهداف الأمان الخاصة بمولّدات الطاقة الموجودة على الأرض وذلك بسبب اختلاف عدد الأفراد الذين قد يهمهم الأمر في حالة وقوع حادث من الحوادث، ونظرا لانعدام الغلاف الحيوي.

بيد أنّ التدابير المعيارية، كما هو الشأن بالنسبة لمولّدات الطاقة، ينبغي أن تؤخذ في الحسبان فيما يتعلّق بالحوادث الشائعة المتمثلة في فقدان مادة التبريد وبالمسائل ذات الصلة بإدارة النفايات وما إلى ذلك. أضف إلى ذلك أنّ وجود مولّدات "RTG" على سطح القمر هو أمر يبرز للعيان أنّه لم يعد بالإمكان الآن إقصاء فكرة إيجاد كوكب لتخزين النفايات الأرضية التي تنبعث منها أشعة ألفا تخزينا نهائيا، وأنّ الأمر سوف يتطلّب قواعد تنظيمية محدّدة.

١٥- وأخيرا، فإنّ الشروط في مجال موثوقية البعثة قد تتجاوز في بعض الحالات أهداف الأمان. وبالفعل، فإنّ بعض المكوّنات الزائدة عن اللزوم وضرورة إبقاء نظام القدرة النووية قيد العمل من أجل ضمان نجاح البعثة سوف يسهمان أيضا في كفالة الأمان.

ألف- الحوادث في المدار الأرضي

١٦- الوقاية من مخاطر حوادث العودة إلى المدار تعني منع احتمالات عودة الجسم إلى المدار وهو ساخن إشعاعيا بعد بداية التشغيل. وهذا الأمر يمكن أن يتحقّق إذا قلّلت المدارات التشغيلية ومسارات التحليق المستقرة بما فيه الكفاية من احتمال نشوء تلك الحالات. كما أنّ الاحتفاظ بالقدرة على التحكّم في النظام حتى في ظروف الاصطدام من شأنه أن يسهم أيضا في الحدّ من المخاطر. ومرة أخرى يجدر بالإشارة أنّ مثل هذا النّسق التشغيلي المُخفَّض قد يكون من الأهداف المهمة في مجال تحقيق موثوقية البعثة. والإبقاء على نظام الدفع الكهربائي الحراري أو الكهربائي النووي "قابلا للمناورة" يعني ضمان حدّ أدنى من الدفع في حالة حدوث ضرر في قلب المفاعل (كانسداد أحد عناصر الوقود، وتعطّل جهاز مراقبة النشاط الإشعاعي وما إلى ذلك). كما أنّه يعني توافر مكوّنات الدعم (المضخّة التوربينية، والمبرّد المنقسم وما إلى ذلك) في حالة حدوث عطب في نظام التحويل.

١٧- وعلى خلاف مولّدات الطاقة الموجودة على سطح الأرض، لا توجد إمكانية للاحتواء/الحبس بالنسبة للمفاعل الفضائي. وهذا يعني، أولا، وجوب الحفاظ أثناء الحادث على سلامة المفاعل كأفضل ما يكون الحفاظ، ثم ضرورة تصميم المفاعل بحيث يظلّ آمنا حتى في هذه الحالات. وكمثال على ذلك، يجب أن يظلّ النشاط الإشعاعي في كل الحالات تحت المراقبة وأن تتسنّى إزاحة الحرارة عن قلب المفاعل في حالة فقدان مادة التبريد. والتحكّم في النشاط الإشعاعي يشمل ما يلي:

(أ) معامل فراغ سلبي لتفادي سرعة بلوغ الحرجيّة في حالة فقدان مادة التبريد؛

(ب) معامل قوة سلبي كلّي للحدّ ذاتيا من التفاعل الانشطاري في كلّ الظروف التي تنطوي على تغيّرات في الحرارة (حتى لا يبلغ المفاعل الحرجيّة بسرعة)؛

(ج) توسيع مفعول دوبلر بما فيه الكفاية للحدّ من ارتفاع حرارة الوقود ومنع انصهار القلب في حالة نشوء حادث افتراضي (حادث الدخول في التفاعلية). وتجدر الإشارة إلى أنّ بعض المفاعلات الفضائية هي مفاعلات صغيرة وسريعة وأنّ وجود طيف نوتروني سريع يفضي في كثير من الأحيان إلى مقادير منخفضة جدّا لمعاملات دوبلر، لكنّ استعمال وقود الأورانيوم يتيح من ناحية أخرى هامشا هاما فيما يتعلّق بالحرجيّة السريعة (بيتا ~ ٦٥٠ في المائة ألف)؛[ج]

(د) تقدير أثر الإشعاع الفضائي الطبيعي في سلسلة التفاعل الانشطاري (مثل التقلّبات الناجمة عن التدفق الشمسي +p أثناء أحداث الجزيئات الشمسية)؛

١٨- وفيما يتعلّق بالتغلّب على حوادث فقدان مادة التبريد وإزاحة حرارة النضوب، فإنّ نظم الدفع النووية الحرارية ونظم الدفع الكهربائية الحرارية تختلف من حيث مستوى كثافة طاقة قلب المفاعل لديها:

(أ) نظم الدفع النووية الحرارية ذات الكثافة العالية للطاقة تنطوي غالبا على صهاريج مضغوطة بمواد التبريد و/أو أجهزة أمان نشطة إضافية أكثر مما تنطوي عليه مولّدات الطاقة الموجودة على الأرض. وبخلاف نظم الدفع الكهربائية الحرارية، فإنّ إزاحة حرارة النضوب في نظم الدفع النووية الحرارية تتطلّب أيضا الأخذ باحتياطات محدّدة حيال ما ينجم من دفع متبق؛

(ب) فيما يخص نظم الدفع الكهربائية الحرارية ذات الكثافة المنخفضة للطاقة، يظلّ بالإمكان إزاحة الحرارة غير الفاعلة، ولا يمكن في هذه الحالة توقّع سوى ظواهر تحويل الحرارة الناقلة أو الإشعاعية، كما هو الشأن بالنسبة لتصاميم المفاعلات ذات الحرارة الفائقة، التي جرى تشغيلها في الماضي.

باء- سيناريوهات أخرى لحوادث محتملة

١٩- ينبغي وضع معايير وشروط أمان كافية لضمان تناول مخاطر النيازك على وجه التحديد في تصميم وتشغيل مصادر القدرة النووية الفضائية. وبالفعل، يمكن أن تتسبّب النيازك في حوادث فقدان مادة التبريد أو في ضرر جزئي يلحق بدورة التحويل (المضخة التوربينية أو بالأخص مبرّد نظم الدفع الكهربائية الحرارية أو ما إليهما). ويجب تصنيف هذه

السيناريوهات على سلّم أحداث ترتبط فيه نتائج هذه السيناريوهات واحتمالاتها بكتلة النيزك وحجمه. وينبغي التأكيد على أنّ التطبيقات الكوكبية معنية هي أيضا.[د]

خامسا- مسائل الأمان الرئيسية أثناء إطلاق نظم القدرة النووية

٢٠- أولا وقبل كلّ شيء، من المهم إدراك أنّ النظم العاملة بالنظائر المشعة "RTG" والنظم القائمة على المفاعلات (نظم الدفع النووية الحرارية ونظم الدفع الكهربائية الحرارية) لن يكون لها نفس الرصيد الإشعاعي الأولي. إذ بطبيعة الحال سوف تتم مواجهة بعض الكوريات في المفاعل العامل بالأورانيوم، لكن أوكسيد البلوتونيوم^{٢٣٨} ($^{238}PuO_2$) الصافي يفرز بضع مئات من الكيلو كوريات بالنسبة للبعثات القائمة على نظم "RTG". ويُظهر الجدول أدناه بعض الأمثلة عن الأرصدة المعيارية الخاصة بالمركبات الفضائية النموذجية المزوّدة بنظام عامل بالنظائر المشعة "RTG" ومفاعل وبعض الأمثلة عن الحوادث، لكلا النوعين من نظم القدرة النووية (بالكوريات).

بعثة ذات مولّد "*RTG*" (كاسيني)	بعثة ذات مفاعل	حادث مولّد من نوع "*RTG*" مفاعل *SNAP-9*	حادث المفاعل "*Cosmos 954*"	تشرنوبل
~٥٠٠ كيلوكوري	بعض الكوريات	١٧ كيلوكوري	٨٥ كيلوكوري (كمية محتملة) ٥٠ كيلوكوري (كمية مستعادة)	>ميغاكوري

٢١- ولكنّ غياب النشاط الإشعاعي الأولي في نظم القدرة النووية القائمة على المفاعلات يقابله في الميزان خطر الحرجيّة. فبالفعل، إذا كانت سلامة نظم "RTG" عند الدخول إلى الغلاف الجوي للأرض هي من الأمور التي يمكن توخّيها، فإنّه ينبغي وضع معايير وشروط أمان محدّدة لضمان أن يظلّ المفاعل في حالة خمول عندما تطرأ الحوادث (لمنع الحرجيّة غير المتوقّعة). ويمكن ذكر نهجين بهذا الشأن:

(أ) كما هو معمول به حاليا على منصات الإطلاق، يمكن تنفيذ أمر بإتلاف نظام القدرة النووية من أجل تفادي مسارات التحليق التائه ومنع أي خطر محتمل في أن يبلغ قلب المفاعل الحرجيّة. ويمكن تطبيق هذا الخيار في الإتلاف/التبديد على مفاعلات الأورانيوم التي تنطوي، من ناحية، على مستوى منخفض للنشاط الإشعاعي ولا يسعها، من ناحية أخرى، أن تصبح حرجة إذا كانت نظم الإتلاف تستطيع أن تضمن تبديد عناصر وقود قلب المفاعل نفسها. وبوسع أجهزة الدعم والأجهزة غير الفاعلة أن تكفل عزل عناصر الوقود وأن تمنع التشكيلات الحرجة. ولكن لما كانت المفاعلات الفضائية تنطوي على أورانيوم فائق

الخصوبة بالأساس، فإنّ هذا الخيار قد يكون غير مقبول في سياق الجوانب المتصلة بالانتشار؛[ه]

(ب) يجب في كل الأحوال تأمين مراقبة تفاعلية قلب المفاعل من خطر فيضان أو رضم القلب. وثمة عدّة حلول محتملة منها نُظم الأمان الامتصاصية المحدّدة والشحن في المدار وتسميم قلب المفاعل، ولكنّ هذه الحلول يترتّب عنها أثر كبير في أداء النظم الكلية.

سادسا- معالم أمان محدّدة أخرى لنظم القدرة النووية في الفضاء الخارجي

٢٢- يجب التّشديد أيضا على بعض خصائص الأمان المحدَّدة الكامنة في استخدام النظم النووية في الفضاء:

(أ) يجوز تنفيذ بعض عمليات النقل والعمليات التكنولوجية بوجود مفاعل مشحون بالوقود النووي؛

(ب) سوف يتعيّن على المفاعل أن يعمل في إطارين (الأرض والفضاء) من دون حدود موقعية. وهذا ما يجعل تعريف معايير الأمان أكثر تعقيدا. وعلى وجه الخصوص، تكون حدود تسييب المواد المشعة أثناء الاختبار الأرضي للنماذج الأولية لنظام من نظم الدفع النووية الحرارية بمثابة قيد يحدّ من مستوى الدفع لدى محرك من محركات الوحدة؛

(ج) عامل انعدام الوزن في عمليات التحليق ما بين الكواكب يجعل الحمل الحراري الطبيعي بالنسبة لإزاحة الحرارة عن قلب المفاعل (الأمان غير الفاعل) صعبا وهو بذلك قد يشكّل قيدا يحدّ من كثافة قوة قلب المفاعلات الموجودة في نظم الدفع الكهربائية النووية؛

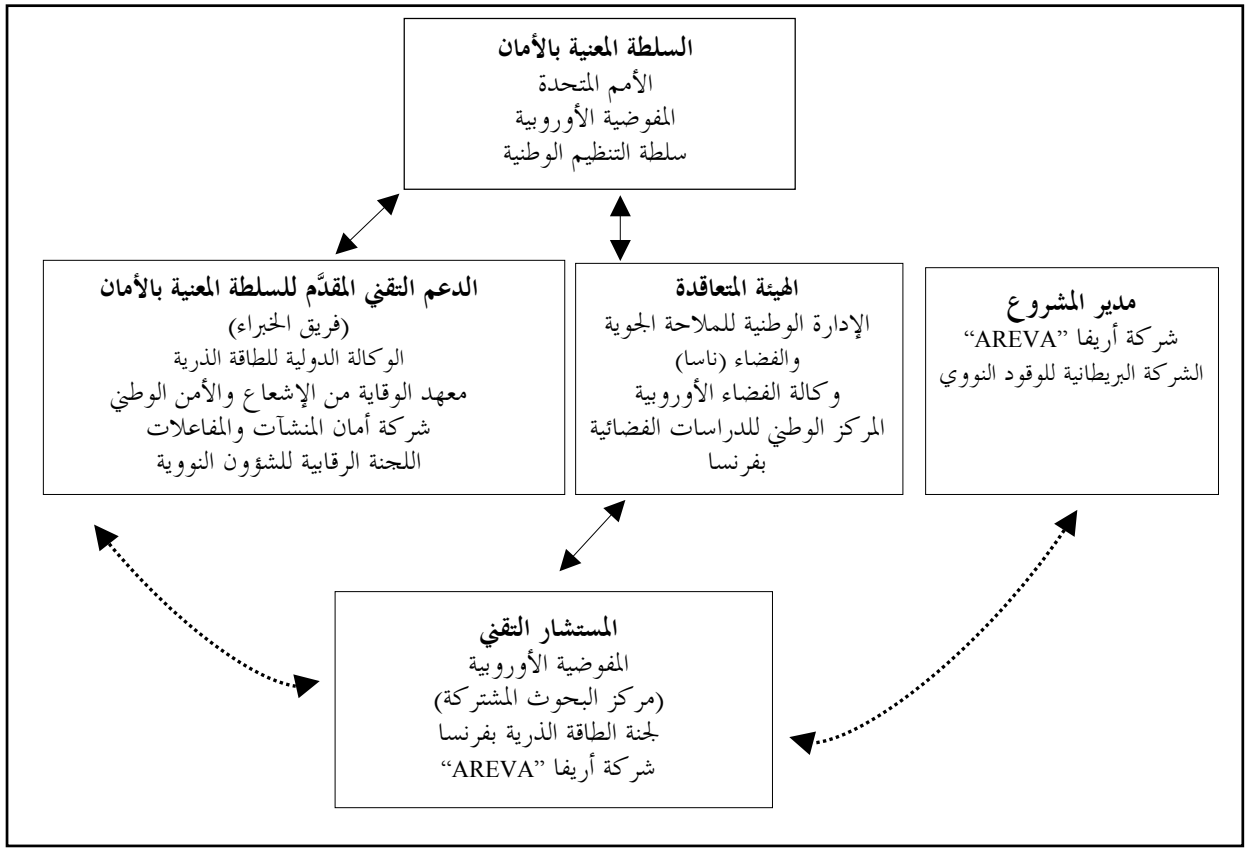
(د) إنّ تأخّر وصول إشارات التحكّم بسبب المسافات البعيدة جدّا عن الأرض قد يزيد من صعوبة إدارة حوادث التفاعليّة. وإن كان هذا الأمر قد استُبين كمسألة من مسائل الأمان، فإنّه يتعيّن وضع بعض معايير الأداء الخاصة بأجهزة النظام للقياس من بعد والتحكّم في المفاعل.

سابعا- الإطار القانوني لتحديد أهداف الأمان

٢٣- قد تُساعد أهداف الأمان في تحديد ما إذا كان أحد نظم القدرة النووية الفضائية آمن بما فيه الكفاية. ومن ثم، فإنّ وضع توصيات ومبادئ توجيهية بشأن الأمان قد يساعد

الهيئة المعنية بالأمان على اتخاذ القرار. ومن المهم إذاً في حالات استخدام هذه النظم تحديد الأطراف التي تتّخذ القرار (إمّا المُشغّل أو المنظِّم أو المصمِّم أو الجمهور أو وزير من الوزراء) والأطراف التي تتحمّل المسؤولية القانونية (السلطة المتعاقدة مثلا).

٢٤- ولئن كان معظم القرارات يُتّخذ على المستوى الوطني عندما يتعلّق الأمر بالتطبيقات النووية الأرضية، فمن الضروري أن تراعي المصالح الدولية في حالة التطبيقات النووية الفضائية لأنّ البلدان المشاركة ينبغي أن تهتم أكثر بالآثار التي تترتّب عبر الحدود عن حوادث نظم القدرة النووية الفضائية. وتعرض الأرقام التالية مثالا، يستند إلى التطبيقيات الأرضية، عن الأطراف التي يجوز لها أن تكون فاعلة في عملية استعراض الأمان وإجراءات الموافقة المتعلقة بالتطبيقات الفضائية:



الحواشي

(أ) *Regulatory Practices and Safety Standards for Nuclear Power Plants: proceedings of an International Symposium on Regulatory Practices and Safety Standards for Nuclear Power Plants*, International Atomic Energy Agency, Proceedings Series (Vienna, IAEA, 1989).

(ب) M. S. El-Genk, ed., *A Critical Review of Space Nuclear Power and Propulsion: 1984-1993* (New York, American Institute of Physics Press, 1994).

(ج) S. Bernard and others, “Conceptual design of the MAPS NTP cargo shuttle based on a PBR”, paper prepared for the 13th Symposium on Space Nuclear Power and Propulsion, Albuquerque, New Mexico, 1996.

(د) European Space Agency, *Lunar Nuclear Power System (LunPS) Studies* (1998).

(هـ) E. Rigaut and X. Raepsaet, “First studies on the Optimized Propulsion Unit System OPUS within the current Nuclear Space Program in CEA”, paper presented to the Space Nuclear Conference, San Diego, California, 5-9 June 2005.