مابين شيطانين

يناقش بيرتون ريختر المكلَّل بجائزة نوبل بشائر الطاقة النووية وإشكالاتها

تشهد الطاقة النووية نهضةً تقودها حاجتان مترابطتان برابطة واهية: الأولى هي الحاجة لزيادة أكبر من الطاقة من أجل دعم النمو الاقتصادي على امتداد العالم، والثانية هي الحاجة إلى تخفيف الاحترار العالمي الناجم عن إصدار غازات الدفيئة بسبب حرق الوقود الأحفوري.

مع المزج الحالي لأنواع الوقود، نجد أن إنماء الاقتصاد يزيد من الإصدارات، وزيادة الإصدارات تؤدي إلى تغيّر المناخ، وفي نهاية المطاف سيؤدي تغيّر المناخ إلى الإضرار بالاقتصاد. أما الطاقة النووية فتقدّم أحد سبل الخروج من هذه الدورة.

يعطي العديد من نبوءات الطلب على الطاقة في القرن الحادي والعشرين الإجابة نفسها تقريباً. فعلى سبيل المثال، يبيّن المعهد الدولي لتحليل المنظومات التطبيقية (IIASA) في سيناريو النمو الوسطي أن الطلب الأولي على الطاقة يزداد بعامل مثلين بحلول منتصف القرن ومثلين آخرين تقريباً بحلول نهاية هذا القرن. وبحلول العام 2030، يخطِّط للبلدان النامية أن تتخطّى البلدان الصناعية في استخدامها الأساسي للطاقة. فالصين لوحدها ستتخطّى الولايات المتحدة باعتبارها أكبر مستهلك للطاقة في العالم، والنمو الاقتصادي في الصين والهند هو الآن أعلى مما افترضه سيناريو المعهد الدولي لتحليل المنظومات التطبيقية.

إن تقييدات التزويد بالطاقة تتجلّى الآن في اثنين من أصل ثلاثة أنواع للوقود الأحفوري. فأسعار النفط ارتفعت بشدة. ويزداد الطلب عليه بمعدلٍ وسطي يقارب 1.5 مليون برميل يومياً في العام الواحد، مما يستلزم ناتجاً يعادل إنتاج بلد آخر كالمملكة العربية السعودية كل عشر سنوات لمواكبة الطلب المتنامي.

هناك وافرٌ من الغاز الطبيعي، لكن ثمَّة تقييدات تتعلق بنقله. وأسعار الغاز الطبيعي ارتفعت أيضاً حيث وصلت حالياً إلى مستوى لا سابق له يعادل 9–10 دولارات لكل مليون BTU.

يُعدُّ الفحم الوقود الأحفوري الوحيد ذا المخزون الوافر. غير أن مشاكله خطيرة وتتعلق بالتلوث ويحتاج إلى معالجات تقنية باهظة الثمن من أجل التحكّم بمشاكل البيئة ذات العواقب الاقتصادية الواسعة النطاق.

القلق من الاحترار العالمي في تزايد، وحتى حكومة الولايات المتحدة أقرّت أخيراً بوجود مشكلة. وتتنبأ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ (IPCC)، فيما يخص استقرار الأحوال، بأن زيادة في ثنائي أكسيد الكربون الجوي إلى 750 جزءاً بالمليون ستحصل مع نهاية القرن، وسيستتبع ذلك زيادة في درجة حرارة الأرض ما بين 2 إلى 5 درجات مئوية، أقلّها عند خط الاستواء وأكثرها عند القطبين.

بالطبع يمكننا التأقلم مع هذه الزيادة إذا كانت عند حدودها الدنيا وكانت تحصل بلطف، أما إذا كانت عند حدودها العليا ورافقها عدم استقرار مناخي فإن الاختلالات الاقتصادية والاجتماعية ستكون حادة جداً.

من المتأخر جداً منع بعض الاحترار العالمي لكن الحدّ من أثره يتطلّب الابتعاد عن أنواع الوقود التي أساسها الكربون. لقد دفعت ظاهرة الاحترار العالمي أشهر المختصين البيئيين إلى إعادة التفكير في معارضتهم للطاقة الكهربائية النووية. والسؤال الذي يطرح نفسه هو أي الشيطانين يفضلون معايشته، الاحترار العالمي أم الطاقة النووية؟

جيمس لَفلوك (مختصٌّ بيئيٌّ وكاتب فرضية غايا Gaia الشعبية) مع آخرين غيره، انحاز إلى جانب الطاقة النووية. فحينما تتوجه المصلحة الذاتية الاقتصادية والمصلحة الذاتية البيئية في الاتجاه ذاته، فإن الأمور تبدأ بالتحرّك في ذاك الاتجاه، وهما الآن تتجهان نحو الحاجة إلى طاقة خالية من الكربون على نطاق واسع. وتشكّل الطاقة النووية واحداً من مثل هذه الحلول.

وفي الوقت الذي لا تستطيع الطاقة النووية فيه أن تكون الحل التامّ، فإنها يمكن أن تكون جزءاً مهماً من الحل إذا تمكّنت من طمأنة الناس بأنها آمنة، وأن النفايات المشعة يمكن التخلص منها بأمان، وأن خطر انتشار الأسلحة النووية لن يزداد ازدياداً مهماً نتيجة التوسع الكبير في استخدامها.

احتمال نمو الطاقة الكهربائية النووية

هنالك 440 مفاعلاً نووياً في العالم تزوِّده بنسبة 16% من الطاقة الكهربائية. يقع 250 مفاعلاً منها في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD وتزوِّدها بنسبة 24% من طاقتها الكهربائية. وتُعدُّ فرنسا البلد الذي يحظى بأكبر حصة من الطاقة الكهربائية إذ تحصل على 78%. وبالنسبة لأي مختصٍّ بيئي، ينبغي أن يُنظَر إلى فرنسا كأنموذجٍ للعالم. إذ إن شدة ثنائي أكسيد الكربون لديها (غاز ثنائي أكسيد الكربون لكل وحدة من الناتج المحلي الإجمالي) هي الأقل في العالم. فلو كانت شدة غاز ثنائي أكسيد الكربون في العالم بأكمله منخفضة (مثلما هي الحال في فرنسا) لكانت إصدارات هذا الغاز قد تقلصت إلى النصف ولتباطأ الاحترار العالمي إلى حدٍّ كبير.

إن إسقاطات نمو الطاقة النووية ليست مؤكدة بسبب التكاليف الغامضة، علاوة على المشاكل الثلاث المحتملة المذكورة آنفاً وهي السلامة والتخلص من النفايات وخطر الانتشار.

السلامة: لقد جرى تصميم الجيل الجديد من مفاعلات الماء الخفيف بحيث يكون أبسط تشغيلاً وصيانةً من الجيل السابق كما صُمِّم بمنظومات سلامة مستكينة.

ويمكن ضمان سلامة المنظومات النووية من خلال منظومة تفتيش وتنظيم قوية. وبدون ذلك تزداد المخاطر. فما من صناعة يمكن الوثوق بأنها تنظم نفسها عندما تمتد عواقب إخفاق ما فيها إلى ما وراء حدود إيذاء تلك الصناعة لوحدها.

معالجة الوقود المستنفد: إذا نُظر بصورة منفردة إلى العناصر الأساسية الثلاثة للوقود المستنفد، لابد أن يكون هنالك مشكلة صغيرة.

لا توجد صعوبة مع اليورانيوم بمفرده، الذي يؤلِّف معظم الوقود المستنفد، فهو ليس مشعّاً بما يكفي ليشكل قلقاً. فهو يحوي من اليورانيوم-235 أكثر مما يحويه الخام الطبيعي، وبذلك يمكن أن يكون مُدخَلاً للتخصيب، أو حتى يمكن أن يُعاد إلى المناجم التي جاء منها.

كما لا توجد صعوبة علمية أو هندسية مع تشظّيات الانشطار وهي المكوّن الثاني الأكثر وفرة. فغالبيتها الواسعة يجب أن تُخزَّن لبضع مئات من السنين فقط.

ومن السهولة بمكان بناء حاويات قوية تصمد في المدة المطلوبة (إذا كان المصريون قد استطاعوا بناء أهرامات صمدت 6000 سنة، الأجدر بنا أن نكون قادرين على القيام بما يوازي ذلك على أقل تقدير).

مشكلة الوقود المستنفد تأتي بصورة أساسية من نسبة الواحد بالمئة الأخيرة التي تتألَّف من البلوتونيوم والأكتينيدات الثانوية والنبتونيوم والأمريسيوم والكوريوم. وبالنسبة لبعض مكوّنات هذا المزيج تكون سمّيتها عالية وأعمارها طويلة.

هنالك وسيلتان شائعتان لحماية الناس من هذه المادة ألا وهي: عزلها عن الغلاف الحيوي للأرض لمئات آلاف السنين، أو إتلافها بالقصف النتروني.

يُمثِّل العزل المبدأ الذي ترتكز إليه منظومة "الدفعة الواحدة" الخاصة بالوقود النووي التي تناصرها الولايات المتحدة لأسباب تتعلق بمنع انتشار الأسلحة النووية. لكن في عالم يتعاظم فيه اتساع برنامج الطاقة النووية، لا أعتقد أن منظومة "الدفعة الواحدة" عملية.

تكمن مشكلة هذه الطريقة في تركيبةٍ من التقبُّل الشعبي، الذي أتركه للسياسيين، ومن تقييدات تقنية. وتأتي المشكلة التقنية من الحرارة التي تتولَّد في سنوات التخزين الأولى البالغة 1500 سنة تقريباً، الأمر الذي يحدُّ من كثافة المادة التي يُستطاع وضعها في مستودع ما. ونشير إلى أنه ليس من الصعب التعامل مع الحرارة التي تتولَّد مبكراً من تشظّيات الانشطار. إذ إن اضمحلال البلوتونيوم-241 إلى الأمريسيوم-241، الذي يضمحل فيما بعد إلى نبتونيوم-237 يمثِّل المصدر الرئيسي للحرارة خلال السنوات الألف الأولى أو نحو ذلك. وتحدِّد الحدود المسموح بها في درجة حرارة صخور المستودع الناجمة عن هذا المصدر مقدارَ استيعاب ذلك المستودع.

المشكلة الفنية الثانية هي العمر الإشعاعي المديد. هنا تجعل سلسلة الاضمحلال ذاتها للبلوتونيوم إلى أمريسيوم إلى نبتونيزم عمرَ المكوّن ذي الإشعاعية المديدة عند حدّه الأعظمي، الأمر الذي يستدعي عزله عن الغلاف الحيوي للأرض لمئات آلاف السنين.

لنأخذ مثالاً من الولايات المتحدة، فإذا كان للطاقة النووية أن تبقى عند نسبة الـ 20% المخططة في تلبية حاجات الكهرباء حتى نهاية القرن، فإن الوقود المستنفد في سيناريو "الدفعة الواحدة" سيحتاج إلى تسعة مستودعات ذات سعة تعادل جبل يوكا. وإذا ازداد عدد المفاعلات في الولايات المتحدة بحلول منتصف القرن إلى 300 مفاعل، كما توقعته الدراسة التي أُجريت في معهد ماساتشوستس للتقانة، فسيكون على الولايات المتحدة أن تفتح جبل يوكا جديداً كل ست أو سبع سنوات. وهذا بحدّ ذاته يشكّل تحدياً، ما دمنا لم نستطع فتح المستودع الأول. وفي عالم الاستخدام الموسَّع للطاقة الكهربائية النووية، فإن منظومة "الدفعة الواحدة" لا تبدو عملية.

ثمَّة بديل لمنظومة "الدفعة الواحدة " يتمثّل في منظومة لإعادة معالجة تفصل المكونات الرئيسية، وتعالج كل واحد من هذه المكوِّنات بصورة مناسبة، وتقوم بإجراءٍ مخصصٍ نوعي لمعالجة المكوّن الذي يُسبِّب مخاطر طويلة الأمد. وتتمثل أرقى منظومات إعادة المعالجة تطوراً في المنظومة الفرنسية. حيث يصنع الفرنسيون وقوداً أكسيدياً خليطاً (أو MOX اختصاراً) عن طريق فصل البلوتونيوم من الوقود المستنفد، ومن ثمَّ مزجه بكمية مناسبة من اليورانيوم، وهذا اليورانيوم الناتج يرسل إلى منشأة تخصيب.

يجري تزجيج تشظّيات الانشطار والأكتينيدات الثانوية من أجل وضعها نهائياً في المستودع. ويبدو أن للزجاج المستخدم في التزجيج عمراً يمتد لعدة مئات الآلاف من السنين في غضار المستودع الفرنسي المقترح.

يَحلُّ وقود موكس MOX، إلى جانب التزجيج جزءاً من المشكلة وليس المشكلة كلها. ويبقى السؤال الثاني المطروح هو كيف نتخلص من وقود موكس MOX المستنفد. وتتمثّل الخطة في الإبقاء عليه دون معالجة إلى حين نشر مفاعلات سريعة الطيف على نطاق تجاري. فهذه المفاعلات تحرق مزيجاً من البلوتونيوم واليورانيوم-238، وتستطيع حرق جميع الأكتينيدات الثانوية من حيث المبدأ.

يمكن إيجاد نوع من برنامج إعادة تدوير مستمر يستخدم فيه البلوتونيوم الناتج عن وقود موكس MOX المستنفد لتسيير المنظومة السريعة الطيف، ثم تُعاد معالجة الوقود المستنفد من هذه المنظومة، وهنا يعود جميع البلوتونيوم والأكتينيدات في وقود جديد وهكذا دواليك. من حيث المبدأ، لا شيء سوى تشظّيات تُرسل إلى المستودع، وهذه الأخيرة لا تحتاج إلاّ إلى تخزين يطول بضع مئات من السنين. صحيح أن هذا الأمر يبدو شيئاً جيداً من حيث المبدأ، لكنه بحاجة إلى عمل كثير قبل وضعه في حيز التطبيق.

منع الانتشار النووي: يشكّل منع انتشار الأسلحة النووية هدفاً مهمّاً للمجتمع الدولي وقد يصبح تحقيق هذا الهدف أكثر تعقيداً في عالم توسَّع فيه برنامج الطاقة النووية ليشمل عدداً أكبر من البلدان. وتوجد فرص تحويل المادة المستخدمة إلى أسلحة في كلتا نهايتي دورة الوقود المستنفد؛ أي في مرحلة تخصيب اليورانيوم-235، وفي مرحلة إعادة معالجة الوقود المستنفد. وكلما ازداد عدد أماكن القيام بهذا العمل، كلما أصبحت مهمة الرصد أصعب.

انبعثت برامج خفيّة لتطوير أسلحة نووية من كلتا نهايتي دورة الوقود. فالباكستان وجنوب إفريقيا اللتان أخضعتا طوعاً أسلحتهما لبرنامج تحت إشراف الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، كانتا قد صنعتا أسلحتهما من النهاية الأمامية لدورة الوقود. وكانت ليبيا قد سلكت هذا الطريق إلى أن تخلت مؤخراً عن محاولتها.

هنالك شكوك حول نوايا إيران. أما الهند وإسرائيل وكوريا الشمالية فقد حصلت على مادة أسلحتها من النهاية الخلفية لدورة الوقود باستخدام مفاعلات الماء الثقيل المعدّلة لإنتاج البلوتونيوم اللازم.

هذا، ويختلف مستوى التعقيد التقني لهذه البلدان من مستوى منخفض جداً إلى مستوى عالٍ جداً، وفي النهاية استطاعت جميعها النجاح. ونشير إلى أن العلم الكامن وراء الأسلحة النووية معروف جيداً، ولا يبدو أن التقانة أمرٌ تصعب إجادته من خلال تطوير داخلي أو اقتناء غير مشروع.

يجب أن يكون واضحاً للجميع أن السبيل الوحيد للحدّ من الانتشار النووي لدى بلدان العالم يكون عبر الاتفاقات الدولية المُلزِمة التي تتضمن التفتيش الفعّال كرادع وفرض العقوبات الفعّالة عندما يخفق الرادع.

نحن، في مجتمع العلوم والتقانة، نستطيع إعطاء الدبلوماسيين أدوات محسَّنة تجعل الرصد الذي يواكب الاتفاقات أسهل وتجعل التدخل أقل سفوراً. وتشكّل هذه الضمانات التقنية جوهر المنظومات المستخدمة في تبيُّن الانتشار في أبكر مرحلة ممكنة. ويجب على هذه الضمانات كشف سرقات وتحوّلات المادة القابلة للاستخدام في الأسلحة، بالإضافة إلى تحديد المنشآت الخفيّة التي يمكن أن تُستخدم لصنع المواد المستخدمة في صنع الأسلحة.

لم يحظَ تطوير ضمانات تقنية متقدِّم بالكثير من التمويل مؤخّراً، ويجب تنفيذ برنامج منسّق دولياً لتطويرها. أما مقاومة الانتشار النووي ورصده فينبغي أن يكون جزءاً أساسياً في تصميم جميع المفاعلات ومحطات التخصيب الجديدة، ومنشآت إعادة المعالجة ومواقع صنع الوقود.

هنالك تقانات لم تنتشر بعد، لكن بإمكانها إعطاء نتائج حقيقية في مجالات حدِّيّة. فلا يجب أن ينتظر المرء طويلاً كي يرى فيما إذا كان اليورانيوم-235 ضمن الحدود المصرَّح بها في أي منشأة تخصيب. وهنالك مسألة يتكرر الرجوع إليها الآن وهي المقاومة النسبية للانتشار في منظومة الدفعة الواحدة لدورة الوقود وذلك بالمقارنة مع مختلف استراتيجيات إعادة المعالجة.

لقد أجرى فريق دولي من الخبراء تحليلاً لصالح وزارة الطاقة في الولايات المتحدة، ووثّقوه في تقريرهم لشهر تشرين الثاني/نوفمبر 2004، "إنه تقييم لخصائص مقاومة الانتشار فيما يخصُّ وقود مفاعلات الماء الخفيف". تعطي المنهجية المبتكرة في هذا التحليل درجة خطورة لكل طور من أطوار دورة الوقود النووي ثم تجمل الأخطار مع مرور الزمن.

ومن الملاحظ أن ضروب الدفعة الواحدة وإعادة المعالجة جميعها أعطت الدرجة ذاتها تقريباً. فالخطورة المتزايدة أثناء الطور الذي يتوافر فيه البلوتونيوم في سيناريوهات إعادة المعالجة، تتوازن مع الخطورة المتناقصة للتحويل أثناء التخصيب، حيث يتطلّب الأمر تخصيباً أقل، وكذلك حاجز الإشعاعية المتزايد بعد الحرق الثاني، والصعوبة المتزايدة في صنع السلاح من مادة تتزايد تفكُّكاً.

لا يجب قراءة هذه الدرجات كقياسات بالغة الدقة. فكل ما تقوله في الحقيقة للناس الحسّاسين هو أن الدفعة الواحدة ليست تلك التي تختلف عن إعادة المعالجة.

لقد اقترح المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرّية السيد البرادعي والرئيس الأمريكي جورج بوش أن عولمة دورة الوقود النووي بدأت تُدرس بشكل جدِّي. وفي سيناريو العولمة، يوجد بلدان يحدث فيها التخصيب وإعادة المعالجة، وهذه البلدان هي البلدان المورِّدة. أما باقي البلدان فهي بلدان مستخدِمة. فالبلدان المورِّدة تصنع الوقود النووي وتسترجع الوقود المستنفد، من أجل إعادة المعالجة، فاصلة مكوناته إلى مكونات يجري التخلّص منها وأخرى تدخل في وقود جديد.

إذا ما جرى تنفيذ مثل هذا المخطط كما ينبغي، فسيكون هناك فوائد ضخمة للبلدان المستخدِمة، وخصوصاً البلدان الصغيرة. إذ لن تضطر إلى إقامة منشآت تخصيب، ولن تضطر إلى معالجة الوقود المستنفد أو التخلّص منه.

في البلدان الصغيرة، لن تكون إقامة مثل هذه المنشآت مجدية اقتصادياً على المقاييس الصغيرة، كما أنه قد لا تتاح مواقع جيولوجية مناسبة لإنشاء مستودع فيها. ونظير هذه الفوائد، ربما تتخلى البلدان المستخدِمة عن فكرة الوصول المحتمل إلى المادة القابلة للاستخدام في الأسلحة من كلتا نهايتي دورة الوقود.

إذا نجحت هذه الطريقة، لا بد من خلق نظام دولي يمكّن البلدان المستخدِمة من وصول مكفول للوقود الذي تحتاجه. ولن يكون هذا بالأمر السهل، وسيحتاج إلى طقم متنوع من البلدان المورِّدة جغرافياً وسياسياً.

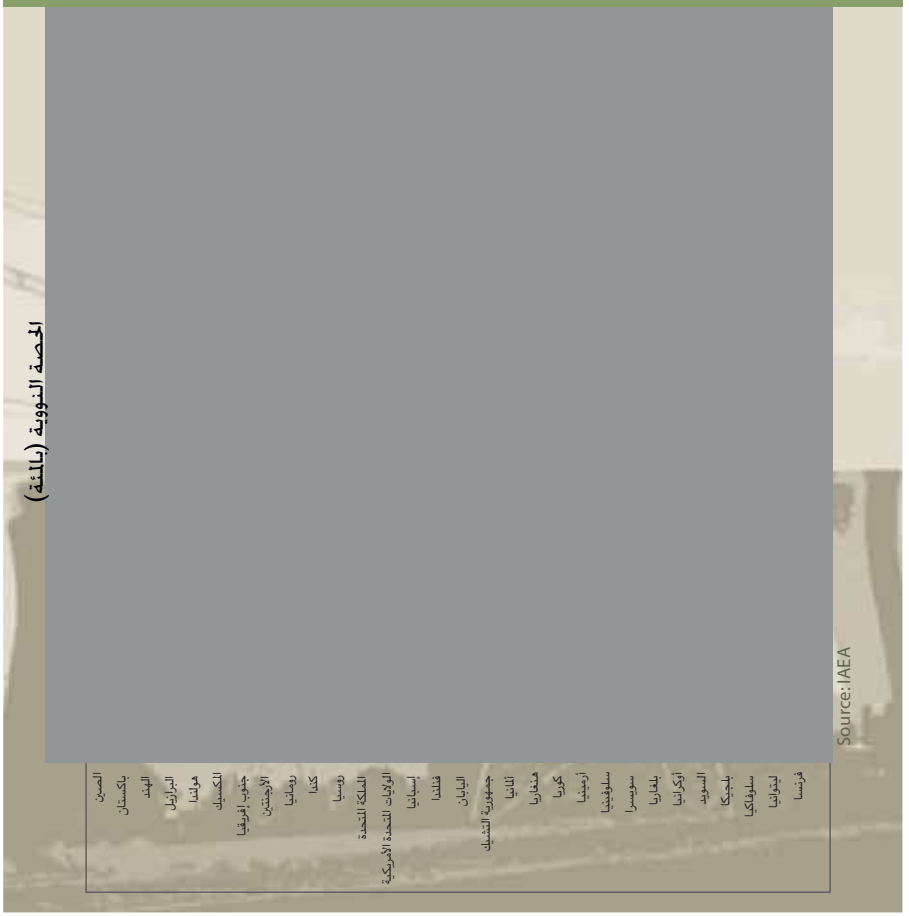
سيكون تقليص خطورة الانتشار النووي من النهاية الخلفية لدورة الوقود أكثر تعقيداً. فمن الأهمية بمكان القيام بذلك لأننا رأينا من مثال كوريا الشمالية السرعة الكبيرة التي يستطيع بها بلدٌ ما التنصُّلَ من أي اتفاق دولي وتطوير أسلحة، إذا توافرت المادة. فقد انسحبت كوريا الشمالية من معاهدة عدم الانتشار النووي بإخطارٍ قصير، وطردت مفتشي الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، وعاودت معالجة الوقود المستنفد من مفاعل يونغبيون، وهكذا استحوذت البلوتونيوم اللازم لتصنيع القنبلة في فترة قصيرة.

إن البلدان المورِّدة التي ينبغي أن تستعيد الوقود المستنفد من أجل معالجته، لا يحتمل أن تفعل ذلك بدون إيجاد حلٍّ لمشكلة التخلص من النفايات. ففي عالم يتعاظم فيه اتساع برنامج الطاقة الكهربائية النووية، سيكون هنالك كمية هائلة من الوقود المستنفد المتولِّدة في جميع أرجاء العالم. وتتوقع الإسقاطات، المذكورة سابقاً إنتاج أكثر من تيراواط كهرباء بكفاءة نووية يتولَّد عنها أكثر من 20 ألف طن من الوقود المستنفد في العام.

يحتوي هذا الوقود المستنفد على 200 طن من البلوتونيوم والأكتينيدات الثانوية، و 800 طن من تشظّيات الانشطار. ولا تستطيع دورة وقود الدفعة الواحدة التعامل معها دون الحاجة إلى مستودع جديد من مقاس جبل يوكا كل عامين أو ثلاثة أعوام. إن إعادة المعالجة باستخدام إعادة التدوير المستمر في مفاعلات سريعة يمكنها أن تتعامل مع هذا السيناريو. وهنا لا يلزم إلاّ إرسال تشظّيات الانشطار إلى مستودع ما، ولا يحتاج ذلك المستودع لاحتواء تلك التشظّيات إلاّ لبضع مئات السنين فقط بدلاً من بضع مئات آلاف السنين.

بالخلاصة، تشكّل الطاقة النووية مكوناً مهمّاً لاستراتيجية تعطي العالم مصادر الطاقة التي يحتاجها للتنمية الاقتصادية و تقلص في الوقت ذاته استهلاك أنواع الوقود الأحفوري التي تسبِّب انبعاثاتها غاز الدفيئة. إذا كان لهذا أن يحدث على نطاق واسع، فإن ذلك سيتطلّب تحقيق تقدُّم على الصعيدين الفيزيائي والسياسي للعلوم والتقانة.

حصص الكهرباء النووية
في أرجاء العالم 2004



بإمكاننا، على الصعيد الفيزيائي، إنتاج مفاعلات أفضل نوعاً وأكثر سلامة، وإيجاد وسائل أفضل من الحالية للتخلص من الوقود المستنفد، وإقامة تقانة ضمانات أفضل. ويمكن إنجاز هذا بصورة أفضل ضمن سياق دولي لتوزيع التكلفة ولخلق إجماع تقنيٍّ دولي حول ما يجب عمله. وعندها ستكون البلدان أكثر ارتياحاً بما تتمخض عنه هذه التنميات، إذا كانت جزءاً منها.

وبينما يمكن إجراء التطوير الفيزيائي في أفضل صورة فيما لو جرى ضمن سياق دولي، فإن التطور العلمي والتقاني السياسي لايمكن أن يتم إلّا دولياً. ولعل الوكالة الدولية للطاقة الذرّية هي المكان الأمثل للشروع بذلك، وقد اتُّخذت خطوات الحبو الأولى الآن. وإنني أتطلّع قدماً لخطوات أكبر على كلا الصعيدين في المستقبل.

يعمل بيرتون ريختر في مركز المسرّع الخطي التابع لجامعة ستانفورد، حيث خدم كمدير للمركز في الفترة ما بين 1984–1999. مُنح جائزة نوبل للفيزياء للعام 1976 بالاشتراك مع صموئيل سي تينغ تقديراً "لعملهما الرائد في اكتشاف جسيم أولي ثقيل من نوع جديد". بريده الإلكتروني: bricher@slac.stanford.edu

هذا المقال مأخوذ من خطابه الذي ألقاه في المنتدى العلمي للوكالة الدولية للطاقة الذرّية، أيلول/سبتمبر 2005. لمزيد من المعلومات، يمكنكم زيارة موقع الوكالة الدولية للطاقة الذرّية على العنوان www.iaea.org، ويمكنكم الحصول على الرسوم البيانية والجداول التي رافقت خطابه على العنوان: www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/PDFplus/2005/SF__Presentations05/Session1/BRichter__IAEA__Session__1.pdf