عالم الذرّة

AECS AECS

مجلة دورية تصدر ست مرات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية السورية. وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذري والنووي وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.

AECS AECS

المدير المسؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذريّة

رئاسة هيئة التحرير

أ. د. عادل الحرفوش

أ. د. محمد قعقع

AECS AECS

أعضاء هيئة التحرير

أ. د. فواز كرد علي

أ. د. مصطفى حمو ليلا

أ. د. علي حينون

أ. د. توفيق ياسين

أ. د. نزار مير علي

أ. د. نجم الدين الشرابي

أ. د. زهير قطان

AECS AECS

المتابعة والتنسيق

حسان بقلة

التدقيق اللغوي

نوال الحلح

ريما سنديان

الإخراج الفني

بشار مسعود

نبيل إبراهيم

مهند البيضه

أمل قيروط

التنضيد الضوئي

هنادي كنفاني

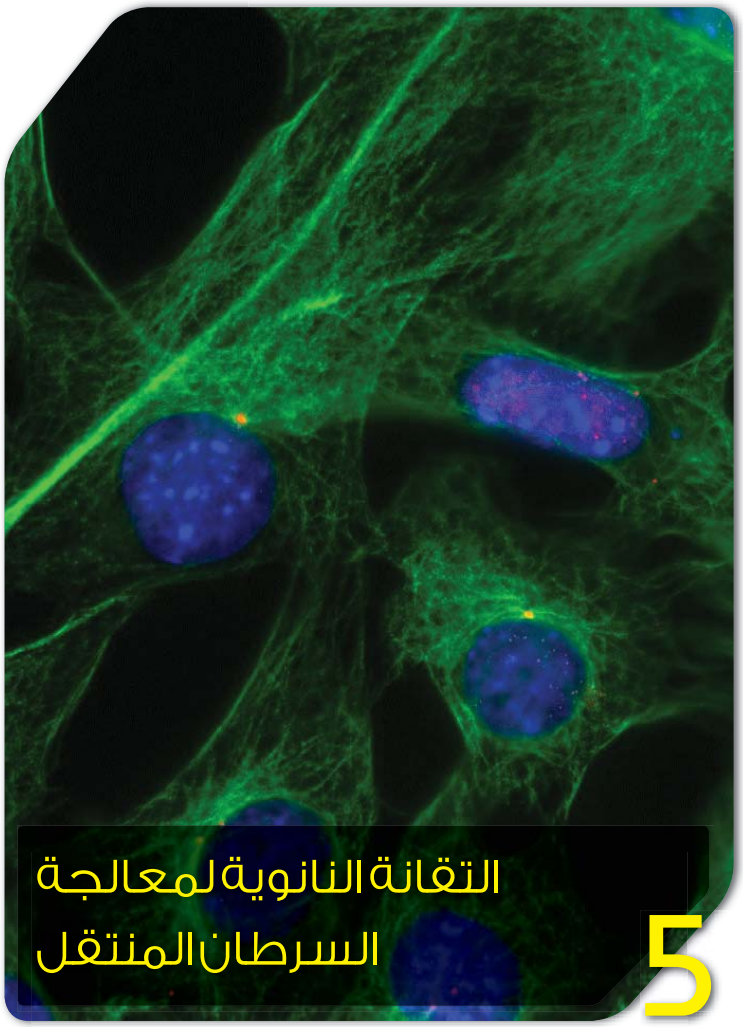
غفران ناوروز

التوزيع

عتيبة المنعم

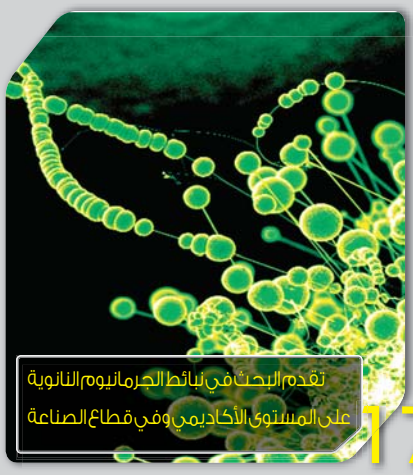
AECS AECS

المحتويات



التقانة النانوية لمعالجة السرطان المنتقل 5

مقـــالات



تقدم البحث في نبائط الجرمانيوم النانوية على المستوى الأكاديمي وفي قطاع الصناعة 17

لقد مكن السليكون الصناعة الإلكترونية لأنصاف النواقل من النهوض، لكنه لم يكن المادة الأولى المستعملة في مثل هذه النبائط.

جدل حول الطاقة النووية في فرنسا 25

أطلق حادث محطة فوكوشيما-داييشي في اليابان الجدل حول الطاقة النووية والسياسة الطاقية.

الآثار البيئية لتقانات المعلوماتية والاتصالات 32

تقانة الاتصالات والمعلوماتية (ICT) لها آثارها البيئية عبر تصنيع النبائط وتشغيلها وتجهيزات الشبكات والتخلص منها.

أخبار علمية

- مخاطر الأعشاب الطبيّة 40
- المنطقة شبه القاحلة القادمة 42
- النترينوات العقيمة 45
- في عمق مشكلة الحساسية 47
- توليد فوتونات مهتزة من الخلاء 50
- الفلور 52

ورقات علمية

- قياس تيار الانفراغ النبضي السريع ومعالجته في أجهزة البلازما المحرقية 60
- الإنتاج الروتيني للغاليوم67- والنحاس64- بلا حامل وبنقاوة عالية بآنٍ معاً 60
- عزل عزلات محلية من بكتريا Bacillus thuringiensis من التربة السورية 61
  وتوصيفها واختبار فعاليتها كمبيد حشري ضد بعض الآفات الحشرية
- تقصي تأثيرات زرع ذرات نحاس و قنويتها بطاقة في مجال الميغا إلكترون-فولت 61
  في تشكل السليكون المسامي
- تحديد محتوى اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم لبعض عينات الصخور اليمنية 62
- حساب توزع الاستطاعة في قضبان وقود مفاعل البحث منخفض الاستطاعة 62
  باستخدام الكود MCNP4C
- حساب معاملات الحجب الذاتي للعاكس العلوي في المفاعلات MNSR 62
- توصيف العيوب في السيليسيوم اللابلوري المهدرج الموضع على ركازات 63
  مختلفة باستخدام التقنيات السعوية

تقارير علمية

- تقصّي طفرات في مورثة مستقبل الأندروجين AR تسبب العقم عند الرجال 64
  في سورية باستخدام تقانة الـ PCR بالزمن الحقيقي
- تعقب الاختلافات الجسمية في زراعة الأجنة عند بعض أصناف القمح القاسية 64
  وذلك بتطبيق الإجهاد الملحي NaCl باستخدام تقانة AFLPs
- تأثير أشعة غاما في يرقات فراشة طحين البحر الأبيض المتوسط، 65
  Ephestia kuehniella مكتملة النمو، وصلاحية اليرقات المشعة لتربية الطفيل Bracon hebetor
- تحضير طبقات رقيقة من أكسيد الزنك المطعم بالألمنيوم وتوصيفها 65
- تعيين تركيز اليود في ملح الطعام باستخدام الإلكترود الأيوني الانتقائي 66
- دراسة تنوع الجنس Eryngium L. وتوزعه وتصنيفه في سورية وقابلية إكثاره في الزجاج 66
- دليل الموسوعات العالمية على الشبكة الدولية 67

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.
- يُكتب على ورقة مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف أو المترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.
- يُقدم المؤلف (أو المترجم) في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية "Key Words" (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز خمس عبارات باللغة الإنكليزية وترجمتها بالعربية.
- إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.
- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجمعة من مصادر عدة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول "تأليف، جمع، إعداد، مراجعة" وترفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.
- إذا تضمنت المادة صوراً أو أشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة "4") مرقمة حسب أماكن ورودها.
- يُرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية الذي تم نشره في أعداد المجلة (18-2).
- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أو غير كامل وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية (1، 2، 3) أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار وإذا وردت في نص معادلة أو قانون أحرف أجنبية وأرقام نكتب المعادلة أو القانون كما هي في الأصل الأجنبي.
- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة (★، +، x، ...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].
- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.
- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.
- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

الجمهورية العربية السورية
هيئة الطاقة الذرّية ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر
دمشق ـ ص.ب: 6091
هاتف: 6111926 11 (963+) ـ فاكس: 6112298 11 (963+)
E-mail: tapo@aec.org.sy

رسوم الاشتراك السنوي

- يمكن للمشتركين من خارج القطر إرسال رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري ـ فرع رقم 13 ـ مزة جبل ـ دمشق ـ ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012.

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية.

- يمكن للمشتركين من داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

مجلة عالم الذرّة ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية ـ دمشق ـ ص.ب: 6091 مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.

أو يدفع رسم الاشتراك مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة: دمشق ـ شارع 17 نيسان.

- **رسم الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س، للأفراد (300) ل.س، للمؤسسات (1000) ل.س.**
- **رسم الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً.**

سعر العدد الواحد

سوريا: 50 ل.س	**مصر: 3 جنيهات**
لبنان: 3000 ل.ل	**الجزائر: 100 دينار**
الأردن: 2 دينار	**السعودية: 10 ريالات**

وفي البلدان الأخرى: 6 دولارات

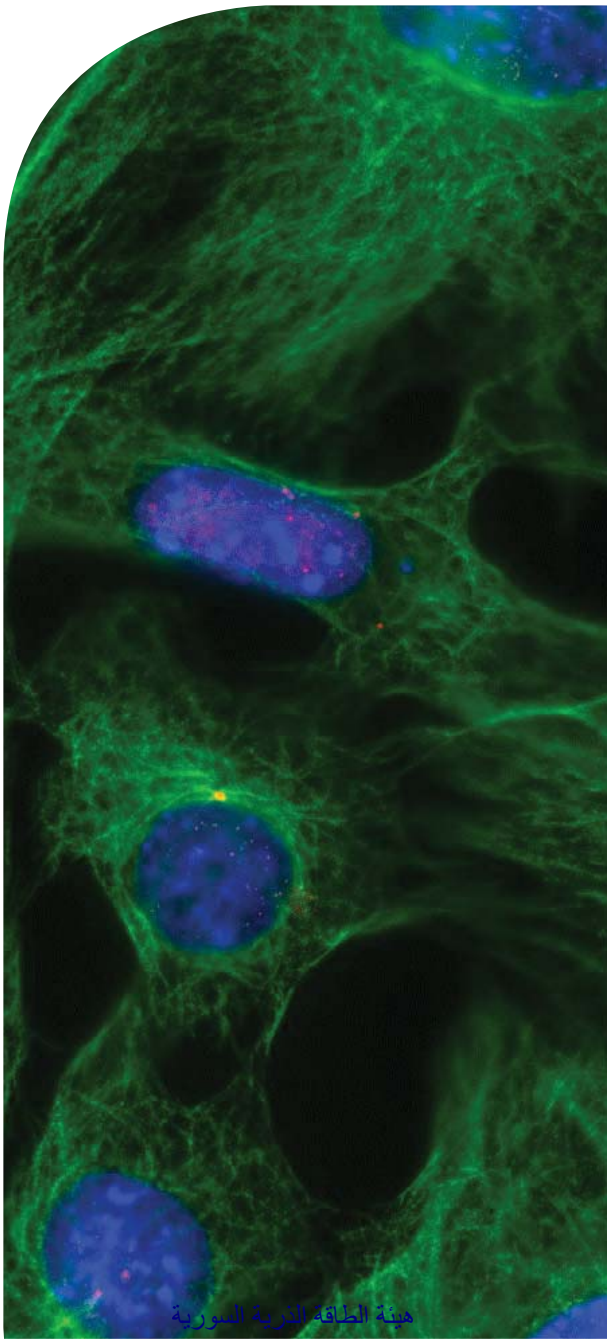
الإعلانات

تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها، للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية يرجى الكتابة إلينا أو الاتصال بنا وفق العنوان الوارد أعلاه.

يُسمح بالنسخ والنقل عن هذه المجلة للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع، أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح به إلا بموافقة خطية مسبقة من الهيئة.

التقانة النانوية لمعالجة السرطان المنتقل

تُعلّل الانتقالات (النقيليات) الغالبية العظمى من وفيات السرطان، والتحديات الأساسية لمعالجة الانتقالات تتمركز حول حجمها الصغير وتنوعها الكبير وانتشارها إلى الأعضاء المحيطة. للجزيئات النانوية منافع كامنة عديدة لتشخيص ومعالجة السرطان المنتقل (النقيلي) Metastatic Cancer ومعالجته تتضمن مقدرتها على نقل شحنات جزيئية معقدة إلى معظم نقاط الانتقالات كالرئتين، أو الكبد، أو العقد اللمفاوية، تماماً مثل استهداف مجموعات خلوية نوعية ضمن هذه الأعضاء. تلقي هذه الدراسة المرجعية الضوء على البحث والتحديات التي تواجه العلوم الهندسية المتكاملة في بيولوجيا السرطان والطب لتطوير أدوات علاجية مبنية على التقانة النانوية لعلاج الأمراض المنتقلة (النقيلية).



هيئة الطاقة الذرية السورية

الكلمات المفتاحية: ورم أولي *primary tumour*، سرطان منتقل *metastatic cancer*، خلية سرطانية *cancer cell*، تقانات نانوية *nanotechnologies*، جسيمات نانوية *nanoparticles*.

تعدُّ الانتقالات أو انتشار الخلايا السرطانية من ورم أولي Primary Tumour للشروع بأورام ثانوية في نقاط متباعدة عنه، من أهم التحديات الكبرى في علاج السرطان بأيامنا الحالية. فعندما يُكشف السرطان فإن الانتقالات تكون حصلت فعلاً عند الكثير من المرضى، وعلى سبيل المثال أكثر من 80% من مرضى سرطان الرئة المشخص فعلاً يظهرون أعراض مرض منتقل، وقليل من مرضى السرطان المنتقل يعالجون بمداخلات جراحية حيث الطرائق العلاجية الأخرى محدودة. ومن خلال مجمل أنماط السرطانات فإن مريضاً واحداً فقط من أصل خمسة مرضى مشخصين بسرطانات انتقالية يمكن أن يعيش أكثر من 5 سنوات.

ومع تطور علاجات السرطان فإن الكثير من الأدوية لا يمكن إيصالها إلى نقاط الانتقالات وهناك شك مخيم على فعالية هذه الأدوية بالوصول إلى هذه النقاط. والطرق التي يمكن أن تكون فعالة لمعالجة الأورام الكبيرة والتي تحوي توعية دموية جيدة يمكن ألاّ تكون مناسبة عندما نتعامل مع تجمعات صغيرة من خلايا خبيثة منتشرة (متبعثرة). وبما أن الآليات البيولوجية للانتقالات مازالت غير واضحة فقد أصبح جلياً أن مقاربات جديدة لعلاج الانتقالات يمكن أن تصبح ممكنة. فنحن نتوقع أن الإمكانيات المتنامية للتقانة النانوية وخاصة في استهداف الجزيئات وتحديدها ونقلها ستمكن من مقاربات جديدة لعلاج السرطانات حتى بعد تبعثرها وانتقالها.

واجهت التقانة النانوية مصاعب عديدة كي تصبح قابلة للتطبيق ولكن هذا ليس غريباً على الطب السريري. على سبيل المثال، يستخدم الدوكسوروبسين المحمل بمحافظ ليبوزومية Liposome-Encapsulated Doxorubicin على نطاق واسع لعلاج سرطان المبيض وبعض الأورام الصلبة مثل غرن كاربوزي karposis Sarcoma حيث يعالج سنوياً أكثر من 300000 مريض، كونه يؤمن حماية للمريض من السمية القلبية الناتجة عن الدواء غير المحمل بالمحافظ. ظهر جلياً أن الجزيئات البروتينية النانوية التي تحوي دواء مثل الـ Paclitaxel والتي تمت الموافقة على استخدامها في معالجة سرطان الثدي المنتقل تساعد في زيادة قبط الورم للدواء.

وأظهرت الجزيئات النانوية لأكسيد الحديد Ferumoxytol والتي ثبتت فعالية استخدامها لعلاج فقر الدم من منشأ نقص حديد أيضاً فعالية في الأطوار المبكرة لانتقالات العقد اللمفاوية في مرضى سرطانات البروستات والخصية. ومع أن الجيل الأول الذي يضم أكثر من 40 علاجاً نانوياً وصل للطب السريري فإننا نتوقع أن الجمل المستقبلية ستقدم إمكانيات جديدة بما في ذلك تطويراً في استهداف مناطق الانتقالات أو نقاطها والكشف عنها بشكل أبكر عبر تقنيات تصوير عالية الحساسية.

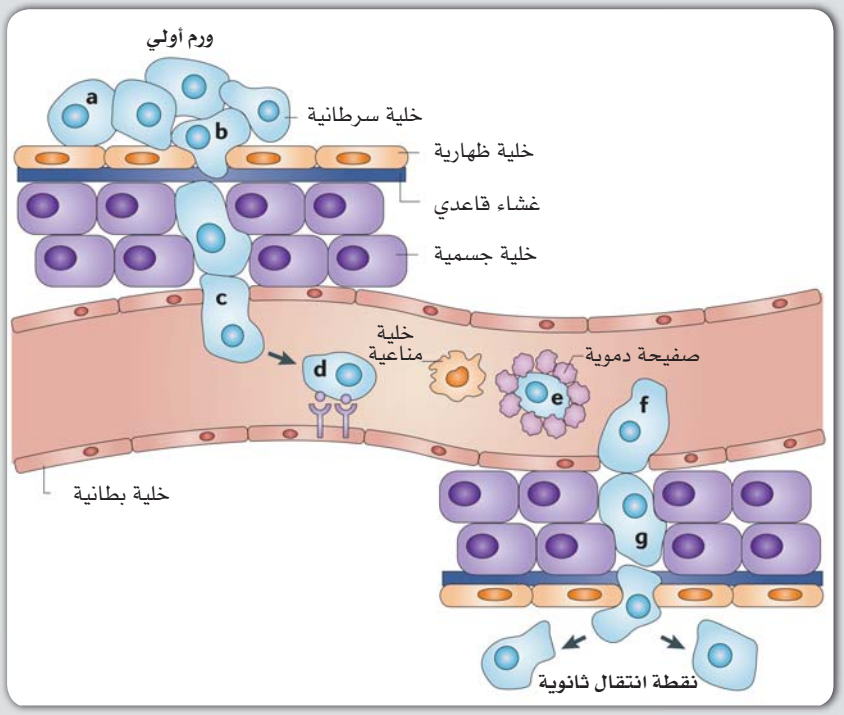
حالياً هناك مجموعة كبيرة من المقاربات العلاجية المعتمدة على المواد النانوية قيد التطوير، على سبيل المثال يمكن هندسة جزيئات نانوية وتصميمها للكشف عن منبه ما Stimulus مثل حالة ارتباط جزيئي أو تغيرات في تراكيز أيونية وتستجيب بإطلاق شحنات أو حتى تفكك أو تؤمن تغيرات كيميائية للدواء في الجسم الحي *In vivo*.

وبشكل أكثر أهمية، وإضافة إلى مقدرة الجزيئات النانوية لربط وظائف علاجية وزمر علاجية متعددة إلى خطة علاجية منفردة، فإن الجزيئات النانوية يمكن أن تستهدف نسجاً خاصة محددة وتصل إلى مناطق محددة ضمن الخلية أو حتى تستهدف خلايا خبيثة ورمية في الدوران (الشكلان 1، 2)، وبما أننا ندخل عالماً جديداً من أدوية السرطان الخاصة بكل شخص (شخصية) فإن المواد النانوية يمكن أن تؤمن خططاً علاجية تضمن إيصال علاجات خاصة، ولتحقيق هذه الأهداف يجب أن نأخذ بالحسبان وبدقة الآليات البيولوجية للانتقالات وتصميم مواد نانوية مناسبة لها.

آليات علاجية

تتنوع العلاجات بالجزيئات النانوية من حوامل Carriers جزيئات دوائية صغيرة وجزيئات بيولوجية كبيرة مثل جزيئات البروتينات، أو تلك المتداخلة مع الـ RNA الصغير (siRNA) إلى نواقل تستخدم بالتصوير وتحديد الامتصاص الحراري (الشكل 2). وتتضمن الفوائد الكامنة بتحميل جزيئات دوائية إلى جزيئات نانوية (أو بشكل بديل توصيل الأدوية وربطها على سطوح هذه الجزيئات النانوية) استهداف الأدوية لمناطق المرض مطلقة بذلك إمكانية تحرير الدواء في مناطق محددة في الجسم وبالتالي تغير بروفيل الحركية الدوائية للدواء مما يزيد من العمر النصفي للدواء في منطقة الورم. وهذه الإمكانيات يمكن أن تخفف بشكل كبير من تأثيرات الدواء في المناطق غير المستهدفة وتخفيض كمية الدواء الواجب حقنها.

تقدم الجزيئات النانوية إمكانيات إضافية مرتبطة بنقل المعقدات كحالة النقل الملازم لدواء معين مع جزيئات قادرة على تنظيم التوعية الدموية أو حقن مسبق لدواء مع الأنزيمات المنشطة له، أو حقن أدوية مناعية بالتزامن مع ربيطة استهداف، ويمكن استخدام عوامل عديدة تساعد في تحرير الدواء في المنطقة المستهدفة في مناطق دقيقة فيزيولوجياً أو بشكل آخر عوامل تنبيه



الشكل 1: مراحل انتقال الخلية السرطانية وفرص التدخل العلاجي.

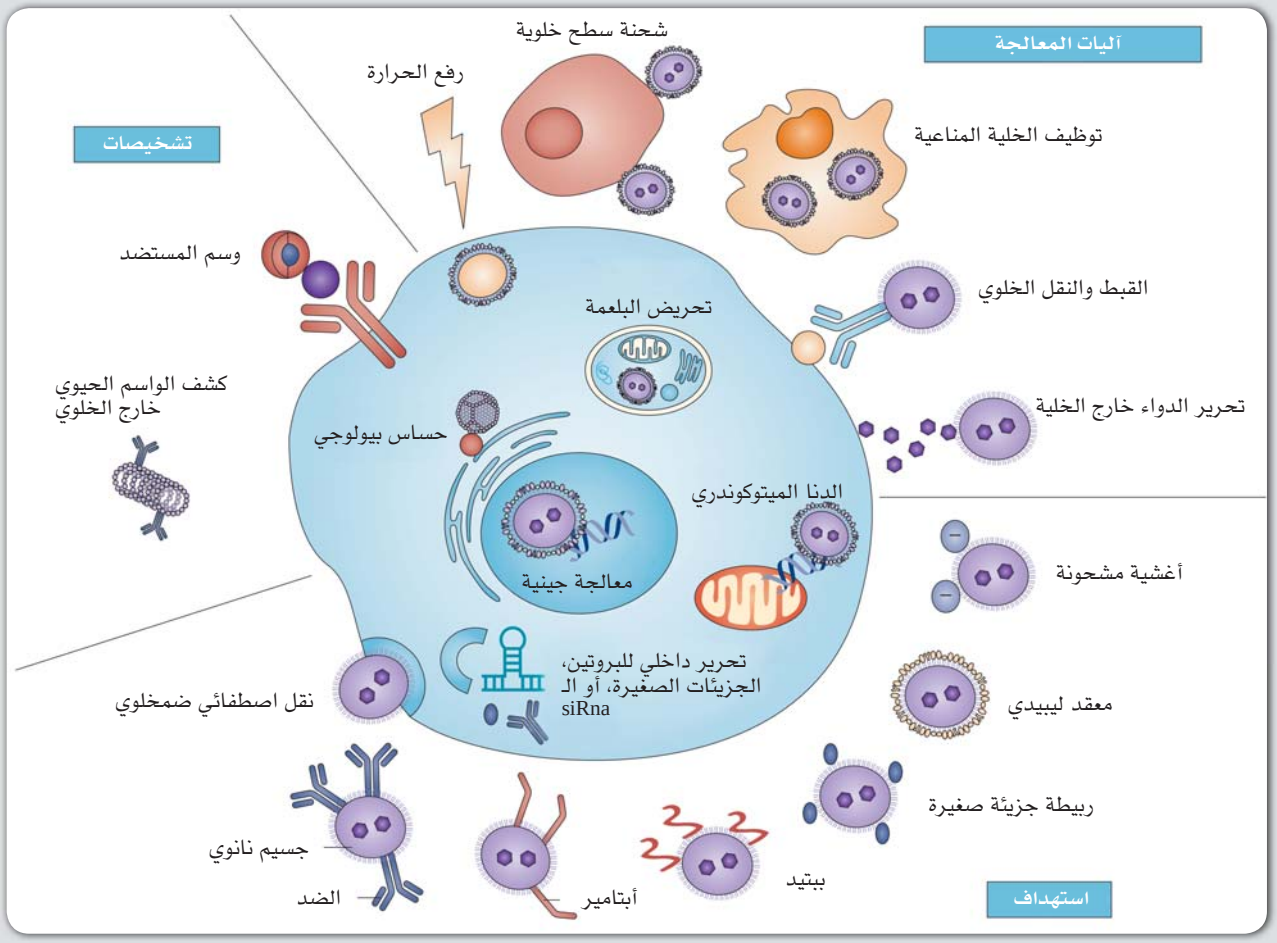
*يتطلب حدوث الانتقالات مراحل متعددة تكمن في كل منها فرصة تدخل علاجي جديدة. أولاً، تهاجر الخلايا المنتقلة من منطقة الورم الأولي، وليحدث ذلك يتناقص التصاق الخلايا السرطانية **(a)** مع الخلايا المجاورة، وتفتح طريقاً لها للهجرة **(b)** إلى الخلايا الجسمية المجاورة والغنية بالأوعية الدموية، وعندما تصبح الخلية السرطانية على تماس مع الأوعية تدخل مجرى الدم عندما تصادف منطقة ضعف في جدار الوعاء كما يحدث في بعض مناطق الكبد، أو نقي العظم، أو الكليتين. والدخول إلى الوعاء الدموي **(c)** أساسي في حال كون الوعاء الدموي متماسك البنية، فالخلية السرطانية تتسبب بانكماش الخلايا البطانية بتحرير مواد مثل عامل نمو البطاني الوعائي (VEGF) أو بموت الخلية البطانية، بتحرير جذور أكسجين نشيطة وعوامل تتضمن أنزيمات حالة للبروتينات مثل Matrix metalloproteinases. ويتحدد انتشار الخلايا السرطانية وتوزعها في الوعاء الدموي بالتدفق الدموي والتآثرات بين الخلايا السرطانية والأعضاء التي يمكن أن تتوطن بها. فالخلايا يمكن أن تحتبس في أوعية ضيقة دقيقة مثل تلك التي تلاحظ في الرئتين والكبد، ويمكنها أيضاً التعبير عن مستقبلات ترتبط بمناطق استقرار الخلايا المنتقلة **(d)** أو الصفيحات الدموية **(e)** التي تحمي الخلايا السرطانية من الجملة المناعية.*

*تستطيع الخلايا السرطانية الجولان لأكثر من ساعتين مما يقود للافتراض أنه ليس بالضرورة أن تستقر بالأوعية الأولى التي تصل إليها، وبعد الوصول لنقطة التمركز الثانية يمكن للخلايا السرطانية أن تخرج من الوعاء **(f)** عن طريق تباعد الخلايا البطانية أو موتها. وللتكاثر في المنطقة الجديدة فإنها تؤثر على هذه المنطقة محررة مركبات Pro-inflammatory وأنزيمات حالة للبروتينات مما يحرض الخلايا المجاورة على تحرير عوامل النمو Growth-Factors.*

خارجية مثل الأمواج فوق الصوتية، والضوء، أو حتى الأمواج الراديوية والحقول المغناطيسية.

لا يعتبر إدخال الأدوية في حوامل أو محافظ ونقلها المهمة الوحيدة للجزيئات النانوية فالعلاج الحراري (تسخين النسج بغرض قتل الخلايا الورمية) يمكن أن تزداد فعاليته بمواد نانوية منشطة والتي يمكن أن تكون متمركزة في النسيج المريض وذلك بتطبيق الحقول المغناطيسية أو تطبيق إضاءة تحت الحمراء أو حتى حقول الأمواج الراديوية، وكل واحد من هذه العوامل الخارجية المستخدمة له محاسنه ومساوئه، على سبيل المثال تستطيع الحقول الكهرطيسية أن تخترق النسج لأعماق كبيرة أكثر من 15 سم دون أن تفقد الكثير من طاقتها ولكنها عادة صعبة التركيز. وأيضاً فإن الأمواج فوق الصوتية المركزة العالية الشدة (HIFU) تخترق النسيج عميقاً ويمكن توجيهها إلى حجم صغير يبلغ عدة مليمترات مكعبة ولكن إمكانيات استخدامها تنخفض عندما يتعلق الأمر بالعظام أو الأعضاء الممتلئة بالغازات والفجوات.

تخترق الأشعة تحت الحمراء بطول موجة يتراوح من 750 إلى 1300 نانومتر النسج لأعماق تصل إلى 1 سم، ويتناقص اختراق الأمواج تحت الحمراء بشدة إذا كانت أطوال موجتها دون ذلك. ولهذا السبب فإن تطبيق الأشعة تحت الحمراء يكون مستخدماً بشكل أكبر في جروح جلدية سطحية خلال العمل الجراحي أو



الشكل 2: استراتيجيات المواد النانوية من وجهة نظر خلوية.

إمكانية استهداف الجزيئات النانوية للخلايا السرطانية (استهداف ثانوي) وتأثيرها على قبط هذه الجزيئات إلى مناطق محددة في الخلية (استهداف ثالثي). يلخص الشكل الآليات المتفردة للاستهداف والتشخيص والعلاج وهي خاصة بالخلايا السرطانية: siRNA.

باستخدام قسطرة ليزرية باضعة. أما الأمواج الراديوية التي تسخن جزيئات نانوية من الذهب فقد تولد الاهتمام بها مؤخراً حيث يكون تنبؤ الاختراق النسيجي بعمق ممكناً.

استهداف السرطان المنتقل

يمكن أن نقسم استهداف الجزيئات النانوية لنقاط أو الانتقالات أو أماكنها إلى مرحلتين: الاستهداف الأولي ويتضمن عملية توجيه الجزيئات النانوية للعضو أو الأعضاء التي تكمن بها الانتقالات، والاستهداف الثانوي هو عملية توجيه المواد النانوية بعد دخولها إلى الخلايا السرطانية وحتى إلى مناطق تمركز ضمن خلوية نوعية محددة في الخلية السرطانية. وهذا ما سنتعرض له لاحقاً بشيء من التفصيل.

الاستهداف الأولي (الوصول للعضو المستهدف)

تلعب عوامل عديدة أدوراً أساسية مهمّة في تحديد تموضع الجزيئات النانوية على العضو المستهدف مثل حجم الجزيئة، وشحنتها السطحية، وخصائصها الكيميائية والميكانيكية، هذا إضافة إلى طريقة حقنها. وقد قدمت دراسات عديدة معلومات مهمة فيما يخص كيفية تأثير هذه الخصائص على التوزع البيولوجي للجزيئات النانوية وآلية استخدامها. على سبيل المثال، فقط يمكن لجزيئات نانوية من أحجام محددة أن تكون قادرة على المرور دخولاً وخروجاً من الأوعية الدموية المثقبة في ظهارة الكبد أو في البيئة المحيطة والمغذية للورم. ويمكن أن تتسبب الشحنة السطحية للجزيئات أيضاً بالتوقف في أعضاء محددة، وتغيير تركيب المادة يمكن أن يبدل من البنية الفراغية

للجزيئات النانوية مثل المعقدات اللبيدية التي تتراكم في الكبد. وأخيراً فإن الانتقالات التي تهدد المريض تحصل غالباً في الدماغ، والكبد، والرئتين، والغدد اللمفاوية والعظام وسنركز على استهداف هذه الأعضاء.

يُعدُّ الدماغ العضو الأكثر تحدياً بالاستهداف بحقن جزيئات نانوية عن طريق الوريد حيث يكون الدماغ محمياً ببطانة من الخلايا الظهارية المترابطة مع بعضها بإحكام مكونة الحاجز الدموي الدماغي Blood Brain Barrier (BBB) الذي يسمح فقط بمرور بعض المواد من الدوران الدموي إلى السائل الدماغي الشوكي وهي بشكل عام جزيئات غازية مثل الأكسجين O_2 وثنائي أكسيد الكربون CO_2 ونواتج استقلابية مثل الغلوكوز وبعض الهرمونات وبعض الجزيئات الصغيرة المعتدلة الشحنة الكهربائية المنحلة بالدسم يمكن أن يتم عبورها من خلال الحاجز الدموي الدماغي. ومن ناحية أخرى فإن أمراض الجملة العصبية المركزية بما فيها أورام الدماغ والانتقالات يمكن أن تعطل تماسك الحاجز الوعائي الدماغي مما يتسبب بتغيير قدرة العقاقير الدوائية على الوصول إلى الدماغ.

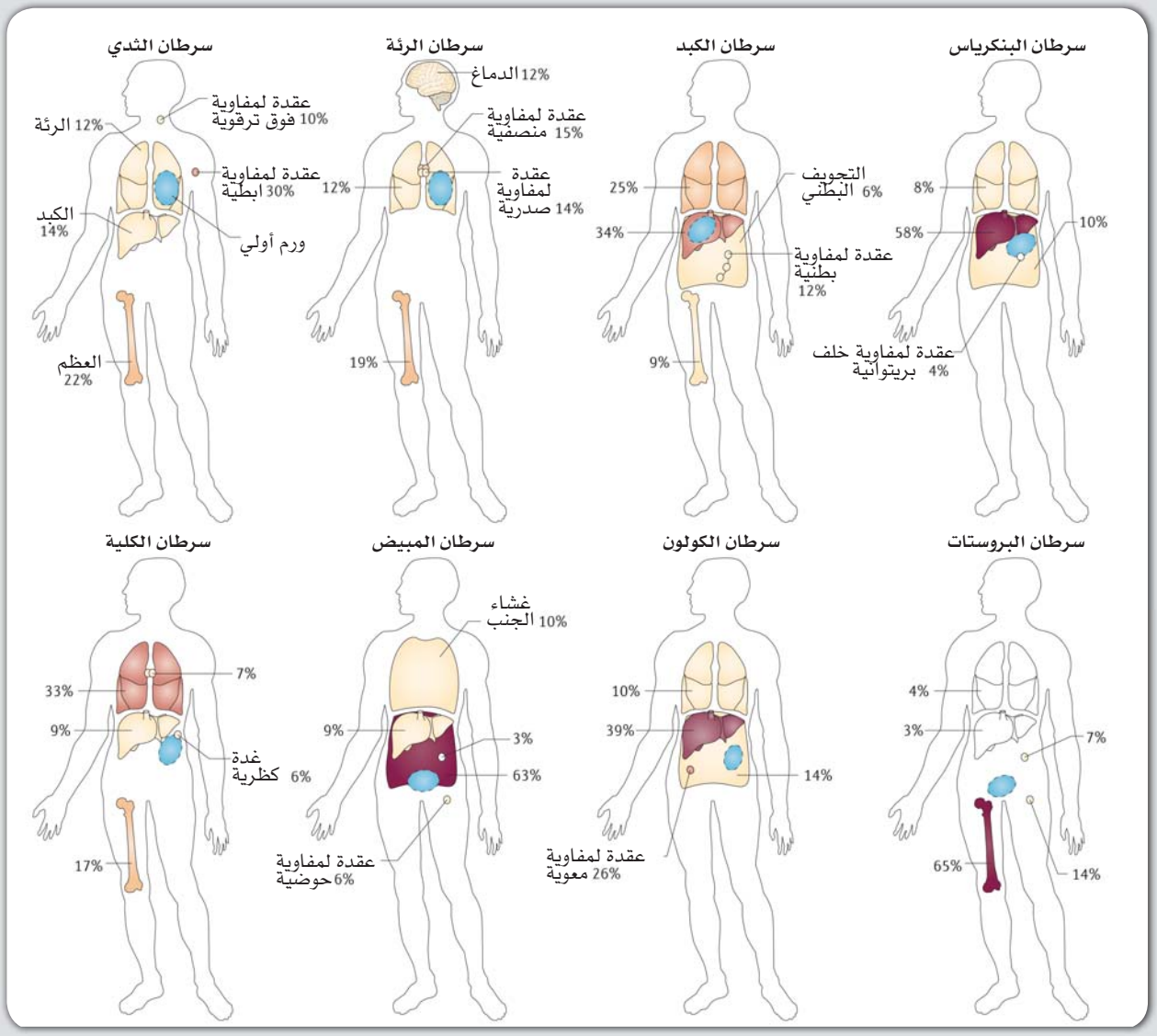
على خلاف الأعضاء الأخرى التي تسمح بقبط Uptake مواد من رتبة نانوية أعلى فقد لوحظ أن نقل الجزيئات عبر الحاجز الوعائي الدماغي يتطلب حجم جزيئات دون الـ 15 نانومتراً. بينما تستطيع الجزيئات بأحجام من 15-100 نانومتر المرور عبر الدماغ وبفعالية قبط تتناقص طرداً مع زيادة الحجم. وبتعديل سطح الجزيئة بأجزاء محبة للدسم Lipophilic مع إنقاص شحنة السطح يمكن للجزيئة العبور من خلال الحاجز الدموي الدماغي، ومثل هذه الجزيئات النانوية يمكن أن ترتبط مع الأبولي بروتين Apoliprotein E (ApoE). بعد تناولها جهازياً وهذه الجزيئات الحاملة للأبولي بروتين E يمكن أن تتوسط التوزع في الحاجز الدموي الدماغي.

وبشكل لافت للانتباه لوحظ أن الـ ApoE تسهل أيضاً نقل المعقدات النانوية المحملة بالـ siRNA إلى الخلايا الكبدية، وبربط الأضداد وحيدة النسيلة التي تستهدف مستقبلات الحاجز الدماغي الدموي إلى سطح جزيئات نانوية يزيد من القبط في النسيج البارانشيمي الدماغي. وقد ثبت أن الجزيئات النانوية تنقل إلى الدماغ بعد دخولها في خلايا ضمن الدوران. على سبيل المثال، فإن الجزيئات النانوية المغلفة بالسكر يمكن أن تتم بلعمتها من قبل الكريات البيض والبالعات ومثل هذه الخلايا تتجمع في نقاط تهديم في الحاجز الدماغي الدموي مرتبطة مع المرض وعندها المقدرة لترشح عبر الدماغ، وباستهداف هذه الخلايا ضمن الدوران يمكن للجزيئات النانوية أن تعبر إلى الدماغ حيث يمكنها التحرر بشكل نهائي. إن مقدرة الخلايا على الارتشاح للنسيج العميق وعبور الأغشية البيولوجية واستهداف نقاط المرض جعلت منها نواقل جذابة للجزيئات النانوية.

تتوزع العقد اللمفاوية التي تترابط مع بعضها بواسطة الأوعية اللمفاوية عبر الجسم كله وتلعب دوراً متكاملاً في الاستجابة المناعية، ويعتقد أن انتشار الخلايا السرطانية المتبعثرة عبر الشبكة اللمفاوية هو الطريق المهم في إحداث الانتقالات. فالأورام المجاورة للعقد اللمفاوية تشكل غالباً النقطة البدائية للانتقالات، ووجود الانتقالات في العقد اللمفاوية يعني سرعة انتقال أكبر وحظاً قليلاً للمريض بالبقيا. ولهذا السبب فإن العقد اللمفاوية قد استهدفت باستخدام التقانات النانوية الخلوية.

هناك خصائص محددة مترابطة مع نقل الجزيئات النانوية التفضيلي (وليس الحصري) للعقد اللمفاوية بعد الحقن الوريدي، والاستهداف يكون غالباً عملية غير مباشرة حيث يمكن للمستقبلات على سطح الكريات الدموية البيضاء أن تربط جزيئات نانوية وتنقلها بالتالي للعقد اللمفاوية كحلقة من سلسلة الاستجابة المناعية الطبيعية. وقد استخدمت استراتيجيات متعددة لزيادة قبط الكريات الدموية البيضاء للجزيئات النانوية في الدوران، فتغطية جزيئات نانوية من أكسيد الحديد بالكربوهيدرات مثل الديكستران Dextran ينجم عنه زيادة ملحوظة في تراكم الجزيئات النانوية في العقد اللمفاوية. ويزيد أيضاً ربط الأضداد وحيدة النسيلة بالبروتينات مثل الغلوبولين المناعي Immunoglobulin G (IgG) إلى سطح الجزيئة من تراكمها في الشبكة اللمفاوية. وعموماً يتم قبط الجزيئات المشحونة سلباً بزمن أسرع بكثير من تلك المشحونة إيجاباً أو غير المشحونة. وبشكل معاكس فإن تسلل بعض البوليميرات كالبولي إيتلين غليكول PEG على سطح الجزيئات النانوية يمكن أن يثبط القبط من قبل الكريات البيضاء مما يخفض ويقلل من تراكمها في العقد اللمفاوية.

يمكن أن يتم استهداف العقد اللمفاوية بطرق إدخال أخرى. فقد أوضح فريق بحث ياباني عام 2010 أن الجزيئات اللاكاتيونية (غير الموجبة) وذات الأحجام 6-34 نانومتراً عندما تصل إلى الرئة فإنها تنتقل بسرعة (أقل من ساعة واحدة) إلى العقد اللمفاوية المجاورة ويؤدي حقن جزيئات بأحجام أقل من 80 نانومتراً تحت الجلد أيضاً لنقلها للعقد اللمفاوية وبشكل لافت للاهتمام. أظهرت بعض الدراسات أن الجزيئات الحاوية على البولي إيتيلين غليكول PEG تظهر تراكماً زائداً في العقد اللمفاوية وهذه الجزيئات تميل للظهور في الدوران بعد ساعات عدة من الحقن.



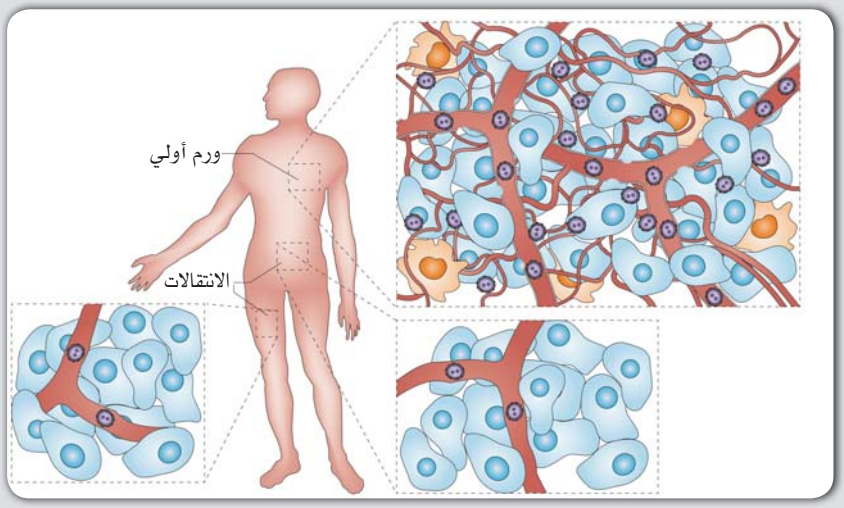
الشكل 3: انتشار الانتقالات في الأعضاء المختلفة.

تنبئ طبيعة الجريان الدموي عن أماكن الانتقالات في قرابة ثلثي السرطانات. مثلاً يتدفق الدم من الجملة المعدية المعوية عبر الوريد البابي الكبدي إلى الكبد، حيث تنجز عمليات نزع السمية والاستقلاب. باتباع هذا المجرى، فإن معظم سرطانات الكولون والمستقيم والبنكرياس تنتقل للكبد.

وفي مثل هذه الحالة، فإن الجزيئات النانوية المغنطيسية التي ترتبط بألفة عالية مع الربائط يمكن استخدامها لإزالة الخلايا السرطانية الجوالة، وتستطيع المواد النانوية البوليميرية أن تكنس وتزيل بقايا الخلايا من الدوران. ويمكن استخدام بعض المواد التي تبقى بالدوران لفترات طويلة (مثل بعض المشائج البوليميرية العصوية وغير الكروية) لمثل هذه التطبيقات. النسبة المئوية تشير إلى تواتر الانتقالات إلى أعضاء محددة لنمو سرطاني.

يُعدُّ الكبد موقعاً متكرراً للانتقالات. فهذا النسيج الكبدي يتمتع بتوعية دموية جيدة ومعدل قص (انسياب السوائل بين سطحين متوازيين) منخفض وقابلية وصول عالية للأوعية الشعرية مما يجعله يؤمن أرضية خصبة للخلايا السرطانية.

ويعتقد باحثون كثيرون أن استهداف الكبد عملية بسيطة لأن عوامل عديدة محقونة يمكن أن تتراكم في هذا العضو. ومع ذلك أوضحت دراسات حديثة تهدف لإيصال الـ siRNA إلى الخلايا الكبدية وجوب إجراء تصميم دقيق للجزيئة كي تستطيع المرور



الشكل 4: أثر تزايد النفوذ والاحتباس.

هذا الأثر يُمَكِّن المواد النانوية من التراكم وأن تكون محتبسة في الورم. يظهر ورم أولي كبير مع انتقالاته الثانوية. تستطيع الجزيئات النانوية التي تدور في الدم التراكم بكميات كبيرة في الورم الكبير ذي التوعية الدموية الجيدة بالنزوح من الأوعية الدموية الضعيفة في منطقة الورم وتحتبس الجزيئات في الورم بسبب التدفق اللمفي الضعيف والقليل الفعالية.

الانتقالات الصغيرة (أقل من 100 مم^3 حجماً) تكون ضعيفة التوعية الدموية وصعبة الوصول من قبل الجزيئات النانوية ولهذا هناك حاجة لطرق استهداف بديلة.

عبر النوافذ الموجودة في ظهارة الكبد، وبشكل عام فإن الجزيئات النانوية المحقونة بالوريد تتراكم في خلايا كوبفر Kopfer النشطة والتي تتموضع ضمن الأوعية الدموية الكبدية وقربها ولهذا فإنها لا تصل إلى الخلايا الكبدية.

مؤخراً أصبح الاستهداف الفعال عبر خلايا كوبفر الظهارية للخلايا الكبدية سهلاً، وذلك عن طريق ربط الـ ApoE لسطح جزيئة عندما تكون ضمن الدوران، أو بربط بعض الكاربوهيدرات مثل الـ N-acetylgalactosamine (GalNAc) لسطح الجزيئة. وهذا مثال يوضح كيف أن استهداف العضو والخلية يكونان غالباً مترابطين. وهناك اختبار سريري يجري حالياً باستخدام جزيئات نانوية لبيدية مثل حوامل الـ siRNA لاستهداف سرطان الكبد وانتقالاته.

يمكن للتوعية الدموية في الورم، كما في الكبد، أن تحوي نوافذ وثقوباً ومع ذلك فإن أبعاد هذه النقاط تكون أكبر، إذ تصل حتى 600 نانومتر في الورم مقارنة مع أقل من 200 نانومتر في الكبد. وأكثر من ذلك، فإن النزح اللمفي من الورم يكون غالباً غير فعال ونتيجة لذلك فإن بعض الأورام الصلبة ستظهر أثر الزيادة في النفاذية مع الاحتباس حيث يمكن أن تتراكم المواد النانوية في الورم وتبقى به (الشكل 4). وهذا الأثر متبع في العلاجات المباشرة التي تستخدم جزيئات كبيرة موجهة لمركز الورم، ولكن هناك محدودية لهذا الاستخدام حيث إنها تكون موجودة في أورام بحجم أكبر من 100 مم^2 مما يعيق استخدامها لاستهداف أورام صغيرة أو انتقالات ورمية لا تحوي أوعية دموية.

هناك سهولة كبيرة في الوصول إلى الرئتين عن طريق الاستنشاق (الشهيق)، أو بشكل غير مباشر عن طريق الحقن الوريدي. ويمكن تصميم جزيئات بأحجام مكروية (أقل من 5 مكرون)، ووضعها ضمن سائل رذاذ منخفض الكثافة (أقل من 0.4 غرام/سم^3) وبذلك يمكن أن تتوضع بعد استنشاقها في الرئتين لفترات زمنية طويلة. وبشكل بديل يمكن استهداف الرئتين بالحقن الوريدي حيث تبيّن أنه أكثر فعالية عند استخدام جزيئات بقطر أكبر من 300 نانومتر.

تميل الجزيئات بقطر أقل من ذلك للتوضع في الرئتين خلال زمن يمتد من ساعة إلى ساعتين بعد إدخالها، وبعدها يمكن أن يكشف عنها في أعضاء أخرى. وهذا يفسر بكون الجزيئات بأقطار كبيرة تحتبس فيزيائياً في شبكة الأوعية الشعرية الدقيقة المعقدة ضمن الأسناخ الرئوية. وبكلا طريقتي الحقن سواءً الوريدي أو الحقن ضمن القصبات، فإن الجزيئات النانوية الكاتيونية (الموجبة) تميل للتراكم بتراكيز عالية وزمن بقاء أطول في الرئتين أكثر بكثير من الجزيئات النانوية التي تحمل شحنات سالبة أو تلك المعتدلة الشحنة الكهربائية. وافترض لتفسير ذلك ارتباط الجزيئات الموجبة الشحنة بالكريات الدموية الحمراء وبروتينات المصل مما يجعلها غير قادرة على مغادرة الرئتين بسبب حجم المعقد المتشكل

الكبير. وأظهرت آخر الأبحاث أنه بعد حقن جزيئات نانوية بقطر 300 نانومتر لاستهداف مستقبلات اللامينين Laminin التي تظهر فرط تعبير في انتقالات الميلانوما فإن الجزيئات النانوية تستقر وتتوضع في الرئتين (عند الجرذ).

تلعب التوعية الدموية الجيبية Sinusoidal في نقي العظم دوراً في تسهيل هجرة طلائع الخلايا الدموية ودوران الخلايا السرطانية. إن غالبية الانتقالات السريرية في سرطان البروستات الممكنة التشخيص (القابل للكشف)، وانتقالات سرطان الثدي تكون موجودة في العظم مما يفترض أن العظام تلعب دوراً فعالاً في إمداد الخلايا السرطانية ونموها وبقياها.

يمكن أن ينجم عن الانتقالات العظمية التي غالباً ما تحدث وبأعداد كبيرة تهتكاً وتآكلاً في بنية العظم مما يكون له مضاعفات كالكسور العظمية وفرط كلس الدم والانضغاطات العصبية. ومازالت عملية استهداف العظام بالجزيئات النانوية في مراحلها الأولى والمواد التشخيصية الحالية بما فيها الجزيئات الصغيرة وبعض البروتينات تستهدف الهيدروكسي أباتيت Hydroxyapatite وهو المركب المعدني المعقد الحاوي على الكالسيوم والذي يشكل بحدود 50% من بنية العظم. أظهرت بعض المركبات مثل البيسفوسفونات Bisphosphonate والتي استخدمت لعلاج تخلخل العظام وترققها والانتقالات العظمية مقدرة على زيادة تراكم الجزيئات النانوية وتجمّعها في العظم. والجزيئات النانوية التي تستهدف نقي العظم يمكن أن تستخدم الظهارية التجاويفية لزيادة توزع العوامل والأدوية التي تستهدف الخلايا السرطانية بشكل مباشر.

بعد أن تصبح الجزيئات النانوية الموجهة بجوار العضو المستهدَف، يشكل توجيهها للخلايا الخبيثة تحدياً إضافياً آخر. يُوضَّح هذا باستخدام مقاربات مختلفة: المقاربة المهمة هي استخدام قوة موجبة خارجية مثل الحقول الكهرطيسية لتركيز الجزيئات النانوية من أكسيد الحديد أو الأمواج الصوتية التي تقود لتحديد تموضع الفقاعات المكروية. وحديثاً تم تطوير جملة إشارة نانوية فعالة تُطلق فيها المادة النانوية المستخدَمة سلسلة تفاعلات بيولوجية موضعية، والتي بدورها توظِّف وتَستخْدِم جزيئات نانوية أخرى في نقطة المرض.

وهذه الإمكانية لتضخيم الإشارة الموضعية يمكن أن تكون مهمة ولها خصوصية لتحديد تموضع الانتقالات وعلاجها. وهناك آلية أخرى لتوجيه الجزيئات النانوية لنقطة المرض باستخدام الجزيئات النانوية ذاتية التحريك والتي يمكنها التحرك بشكل ذاتي.

الاستهداف الثانوي (الخلية السرطانية)

يشكل استهداف الخلية السرطانية المنتقلة، سواءً كانت عابرة من ورم أولي أو مندسة في مجموعة خلوية سليمة غير سرطانية، تحدياً استثنائياً. وعلى عكس الاستهداف الأولي والوصول للعضو، فإن الاستهداف الثانوي يتضمن نقلاً وتوطيناً دقيقاً لجزيئة أو دواء إلى النمط الخلوي النوعي (الشكل 2، 3). ويمكن أن يتطلب ذلك بعض الخصوصية الكيميائية التي تمكن الجزيئة النانوية من الارتباط مع مناطق محددة موجودة على سطح الخلية السرطانية.

تستطيع الخلايا السرطانية، سواء أكانت منتقلة أم جزءاً من الورم الأولي أن تنظم جزيئات محددة في سطح الخلية وفي عوامل يتم إفرازها، ويمكنها حتى التعبير عن بروتينات خلال التطور الجنيني فقط. فالخلية المنتشرة والمنتقلة من الورم ستعبر عن بروتينات داخلية سطح غشائية مماثلة لنقطة منشئها والتي تختلف عن مكان انغراسها الجديد. على سبيل المثال، تتميز الخلية السرطانية البنكرياسية المنتقلة عن الخلايا الكبدية وبشكل صارم بفضل منشئها البنكرياسي وهذه الخصائص مكنت الباحثين من استهداف الخلايا السرطانية دون غيرها وبالتالي التقليل من الآثار الجانبية الممكنة من استهداف بروتينات يمكن التعبير عنها من قبل نمط خلوي محدد وهي ليست محصورة بالخلية السرطانية.

يمكن أن تختلف الاستراتيجيات المستخدمة لاستهداف خلايا محددة عن تلك المتبعة لاستهداف عضو. ويجب أن يأخذ الباحث بالحسبان ألفة ارتباط الجزيئة النانوية مع الجزيئات المعنية بالدراسة، وأيضاً خصوصية الارتباط ونوعيته والتأثيرات المناعية. فالأضداد الحاملة للدواء أو الأضداد الموسومة بنظير مشع أو الحاملة للبوليمير أصبحت موجودة في الطب السريري وشائعة الاستخدام لاستهداف السرطان. فعلى سبيل المثال، الدواء Tositumomab الموسوم باليود-131 (^{131}I-Tositumomab) هو علاج تشاركي يتضمن ضد نوعي موسوم CD-20 لاستهداف لمفوما الخلية B الجريبية Follicular B Cell Lymphoma. واستخدمت الربائط المشتقة من الأضداد في جمل توزع دوائي نانوي مختلفة.

وبشكل مماثل، يمكن لببتيدات قصيرة بما فيها تلك الحاوية على مناطق ارتباط RGD، IKVAV أن ترتبط بجزيئات نانوية وتستطيع أن تزيد من ارتباطها إلى نمط خلوي محدد في نسيج ما.

تستخدمُ الطرائقُ العالية المردود (مثل Phage-Display و Ribosome display) التطور في الزجاج والاصطفائية في الحي للكشف عن ربائط استهداف كالأضداد والببتيدات وربائط

الحموض النووية مثل الأبتاميرات Aptamers. إن الـ Pegaptanib، وهو أبتامير مضاد عوامل توعية دموية، يستعمل في معالجة التنكس البقعي. ومع ذلك فإن الأبتاميرات لم تستخدم في معالجة السرطان.

وتستطيع الحموض النووية الببتيدية (PNAs) الارتباط بألفة عالية إلى سلاسل الـ DNA المتممة، ويسمح جسم الببتيد بتغيير تساهمي Covalent باستهداف الربائط وحوامل الفلورة. لقد استُعمل الـ PNAs في استهداف الجينات سليفة النقيلي الانتقالية Pro-metastatic وتثبيط تعبيرها.

وما زالت مناطق الارتباط الجزيئية الصغيرة، مثل مستقبل الفولات Folate والتي تظهر فرط تعبير في السرطانة الفموية البشرية Human Oral Carcinoma، وسرطان الثدي المنتقل، وسرطان الكولون والمستقيم البشري وغيرها من السرطانات قيد البحث لإظهار ألفة الجزيئات النانوية المغلفة بحمض الفوليك Folic Acid.

يمكن استخدام بعض الخلايا مثل البالعات الضخمة Macrophages التي تـزدرع بشكل روتيني الجزيئات ببعض المواد، مثل الديكستران، الذي يجمع عديد السكريد الشحمي Lipopolysaccharides الذي يتم التعبير عنه على سطح البكتيريا. فالجسيمات البلعمية تميل لتندمج مع الجسيمات الحالة، وهذا يقود لتفكك المحتويات. وهكذا فالاستراتيجيات يجب أن تستخدم للسيطرة على طريق أخذ المواد وقبطها.

ومن جهة أخرى، فالمسلك الذي تمر عبره الجزيئات النانوية للخلية يمكن هندسته بحيث تتأثر إلى حد بعيد مناطق محددة في الخلية التي يتحرر بها الدواء. وهذا بحد ذاته مجال ناشئ وحديث ويمكن أن يتطور لمجال مستقل من الاستهداف الثالثي Tertiary targeting، وذلك لأن الشكل داخل الخلوي للجزيئة يمكن أن يحدد فعالية الدواء المُمَحْفَظ Encapsulated drug. فالالتقام الخلوي المعتمد على الكلاترين Clathrin-dependant endocyto-sis، وهو أحد أهم المسارات المحددة المعالم بدقة في القبط الخلوي للدواء، ينتج عنه مبدئياً دخول الدواء إلى مسار الجسيم الحال. وهـذا النمط من الالتقام الخلوي يمكن أن يحرض بالبروتين ترانسفيرين Transferrine أو ربائط المستقبلات Glycosylated receptors.

تحبس الليزوزومات أو الجسيمات الحالة مكوناتها معزولة عن الوسط الخلوي وهي غنية بالأنزيمات الحالة التي يمكنها حل محتوياتها، ولهذا فإن وسط الجسيمات الحالة يمكنه هضم الجزيئات النانوية والشحنة المرافقة وهدمها أو ربما تثبيط وظيفة الدواء وذلك بمنعه من الوصول للسيتوبلاسما والنواة. ولتجاوز الجسيمات الحالة فإن الجزيئة النانوية يمكن أن تتم هندستها كي تندلع خارج الجسيمات الداخلية أو كي تدخل الخلية عبر مسارات غير الجسيمات الحالة، وإحـدى الآليات المقترحة لتعطيل الجسيمات الحالة هي أثر البروتون–إسفنجة Proton-Spongeeffect حيث تحرض الجزيئات النانوية التي تحمل على سطحها مجموعات موجبة على الانحلال الأوسموزي عبر تحميض الجسيم الداخلي.

إن القبط Uptake عبر الالتقام الخلوي المعتمد على الكافيولين Caveolin-dependent endocytosis، والـذي يمكّن من تجاوز الجسيمات الحالة، يمكن أن ينجز بوساطة جزيئات نانوية مطلية أو مغطاة Coated بحمض الفوليك Folic acid، بالكوليسترول، أو بالألبومين. أما عملية الاحتساء المكروية Micropinocytosis وهي عملية غير معروفة وغير مفهومة تماماً وفيها يتم تشكُّل كهيفات Caveoles تكون متميزة وأكبر حجماً تختلف عن الحويصلات المطلية المغطاة بالكلاترين Clathrin أو الكافيولين Caveolin، ويمكن تشكيلها ببعض الببتيدات التي تخترق الخلية (تدخل الخلية) والمواد المماثلة لليبيدات (شبه الليبيدية).

النواقل (الحوامل) النانوية العلاجية

تشتق النواقل النانوية من منشأ بيولوجي عضوي ولاعضوي لمواجهة مجموعة كبيرة من الآليات والأهداف البيولوجية وفهمها. وتكوِّن المواد البوليميرية والليبيدية غالبية النواقل النانوية المستخدمة لغاية أيامنا هذه وذلك عائد لخصائصها التي تمكنها من إضافة الشطر المستهدف Targeting moieties كالأضداد، وقدرتها على التفكك تحت ظروف خاصة إضافة لقدرتها على حمل كمية كبيرة من الدواء. وهناك مجموعة من المواد الجديدة ذات القدرة الكامنة بوصفها عوامل نقل تتضمن أقفاص أوريغامي الدناوية DNA Origami cages، وجزيئات نانوية نوعية للبالعات، وجزيئات نانوية مغنطيسية، وجزيئات نانوية ذهبية، وأنابيب كربون نانوية مفعلة، ومشائج عصوية Worm-like، وجزيئات سيليكا، وفيروسات نباتية معدلة وراثياً، والألماس النانوي وغيرها. إن هذه الوفرة من الخيارات تخلق بالحقيقة تحدياً جديداً للمهندسين الذين تُوكَل إليهم مهمة تحديد التوليفة المناسبة من المواد التي تقدم العلاجات الأكثر فعالية. فمن الليبوزومات والتراكيب البوليميرية إلى جزيئات أكسيد الحديد والفيروسات النباتية

المعدلة، مواد وطرائق متنوعة أثبتت وجودها وفعاليتها في استهداف الانتقالات.

تكوِّن المواد البوليميرية الفئة الكبرى من الحوامل لنقل حمولة دوائية، وتحت أنماط نواقل متنوعة بما فيها جزيئات الحدقة أو القشرة Core-shell التي تتضمن غالباً مادة تحيط بالحمولة الدوائية المشحونة عن طريق تشكل قوى لاتساهمية. والمثال اللافت للاهتمام هو الجزيئات النانوية المتفككة بيولوجياً على ركيزة الـ (PLGA) أو Polylactic-co-glycolic acid التي تصنع من مواد مرخصة من قبل الغذاء والدواء الأمريكية FDA والتي يدخل بتركيبها عقاقير كارهة للماء (غير منحلة بالماء Hydrophobic).

المذيلات أو المشائج البوليميرية هي جزيئات غير مترابطة تتضمن مجموعة بوليميرات مشاركة Co-polymers، وسلسلة بوليمير مفردة تندمج بها أكثر من مجموعة من الجزيئات (المتطابقة) المتماثلة. والمشيجة البوليميرية البسيطة تحوي بوليميرات عديدة متقابلة الزمر تحاكي منطقتي الذيل والرأس من المذيلة وهذه المشائج الذاتية تحيط بجزيئة دواء منحلة بالماء (محبة للماء).

الجزيئات النانوية البوليميرية بأحجام مضبوطة وأشكال تم تشكيلها وإنتاجها بحيث تسمح بالارتباط الخلوي، وتفادي الاندخال مما يسمح لخلية ما بنقل حمولة دوائية لنقطة ثانية من التوزيع مما ينشأ عنه شحنة محملة على ظهر الخلية. يمكن أن تستخدم البوليميرات التي تبقى بالدوران أوقات طويلة لاستهداف الخلايا السرطانية الجوالة (الشكل 1، 2). والجزيئات النانوية الهلامية المائية Hydrogel والمعروفة أيضاً بالجيل النانوي هي عبارة عن شبكات بوليمير محب للماء تنتبج عند تماسها مع الماء في وسط سائل. والهلام النانوي يمكن هندسته ليرتبط سواءً بشكل تساهمي أو لاتساهمي مع جزيئات دواء أو ربائط استهداف يمكن لها أن تنكمش (يصغر حجمها) أو تنتبج (يزداد حجمها) استجابة لبعض العوامل كالحرارة أو الحموضة (pH).

تُعدُّ الليبيدات جزيئات صغيرة مزدوجة الألفة وتستطيع أن تنتظم ذاتياً على شكل حويصلات (طبقة مضاعفة من الليبيدات وليبوزومات)، أو على شكل مشائج Micelles أو جزيئات غير متبلورة Lipoplexes. هذه النواقل يمكن تعديلها للنقل المستهدف للمواد العلاجية المنحلة أو غير المنحلة بالماء. مع إمكانية تعديل الحجم، ومقدرة النقل، وإمكانيات الاستهداف، وتستطيع الليبوزومات مقرونة مع ربائط الاستهداف (مثل ببتيدات ارتباط الإنتغرين Integrin)، أن تتراكم في الأوعية الدموية في الورم خلال مرحلة تشكل هذه الأوعية، وتوصل بالتالي الشحنة الدوائية العلاجية. وقد تم تطوير صيغ وتراكيب دوائية حساسة للحرارة والـ pH للسيطرة على تحرير الحمولة الدوائية وتم إنتاج مواد شبيهة بالليبيدات تستطيع تكوين جزيئات Lipoplex غير متبلورة بتقانات تشاركية لبعض التطبيقات مثل نقل جزيئات siRNA وتوزيعها.

استخدمت الجزيئات النانوية الذهبية في العلاجات الاستئصالية الحرارية Thermoablative اعتماداً على أشكال وبنى من الذهب (أشكال عصوية، كروية، صدفية) تستجيب عند التعرض للأشعة تحت الحمراء بتحرير الطاقة على شكل حرارة تتسبب بتخثر التوعية الدموية في الورم ويمكن مشاركة هذه الخاصية لزيادة المفعول العلاجي لطرق الاستهداف الأخرى.

ويمكن استخدام الجزيئات النانوية الذهبية كأدوات توصيل تربط الكثير من أنماط الربائط، ونشير أخيراً إلى أن أنماطاً أخرى من المواد النانوية مثل الجزيئات النانوية (حديد) وأنابيب كربونية أو كريات نانوية كربونية Buky balls استخدمت لنقل المواد العلاجية وغالباً بربطها بجزيئة الدواء للسطوح الخارجية أو بإملاء (تعبئة) الناقل حيث أمكن ذلك.

الاستجابة البيولوجية للمواد النانوية

تظهر الأنماط المختلفة من المواد خصائص مختلفة فيما يتعلق بالتوزع البيولوجي، والتوافقية، والتفكك، والدوران، ولا يمكن الاعتماد على مؤشر واحد بأن يكون العامل الأهم والشرطي لمعالجة فعالة للسرطان. فالدراسات الحديثة أشارت إلى السايتوكينات التي يزداد ضبطها بعد تناول جزيئات نانوية موجبة الشحنة. إن تنشيط جملة المتممة Complement كان مترافقاً مع حقن الجزيئات النانوية.

كما تفعِّل الجزيئات ذات الشحنة السطحية الموجبة سبيل المتممة الكلاسيكي، في حين تفعِّل الجزيئات سالبة الشحنة السبيل البديل (Lectin). واللافت للانتباه أن تراكيز مختلفة من الـ PEG على سطح الجزيئة النانوية تؤثر على سبل تفعيل جملة المتممة. فتترافق التراكيز المنخفضة من الـ PEG مع المسار الكلاسيكي في حين تترافق التراكيز العالية مع التفعيل المنخفض لمسار اللكتين Lectin. ويلعب حجم الجزيئة دوراً في هذه العملية، فكلما ازداد حجم الجزيئات النانوية ازداد مدى تسهيل عملية الطهاية Opsonization، وفي حالات عديدة تلاحظ استجابات بيولوجية متباينة لحقن الجزيئات النانوية، كالالتهابات أو تفعيل جملة المتممة ويمكن أن نتعامل مع هذه الظواهر بإعطاء أدوية قبل العلاج أو بعده. في محاولة لتحسين التوافقية البيولوجية للجزيئات

النانوية في الحي *In vivo*، تم تطبيق مقاربة تقليد بيولوجي هجين (محاكاة)، حيث تموه الجزيئات النانوية بتغليفها بغشاء كريات الدم الحمراء من منشأ طبيعي (تعرف بأشباح الكريات الحمراء)، أو بتحميل الجزيئات فيزيائياً في خلايا جذعية، وبذلك يتم تجنب التصفية من قبل الجملة الشبكية البطانية واستخدام مسارات طبيعية لاستهداف السرطان. وهذه مقاربة مختلفة تستخدم فيها الأغشية الخلوية على أنها واسطة نقل لبناء الجزيئات النانوية باستخدام أجزاء مستهدفة تكون بشكل طبيعي موجودة على سطح الغشاء الخلوي مع التوافق البيولوجي للمواد البيولوجية المصدر. وإذا استفدنا من نماذج النقل الطبيعية في الجسم (خلايا، بروتينات معقدة) فهذا يشكل مقاربة جديدة واعدة لنقل الجزيئات النانوية لمناطق محددة في النسج.

مازالت سمية المواد النانوية قيد الاختبار. ويوضح التحليل الدموي الذي يتبع الحقن أن أثر المواد النانوية يعتمد على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد المستخدمة، بما في ذلك كما أسلفنا حجم الجزيئة، والشحنة، وربائط الطلاء. وعلى سبيل المثال، فإن القلوب نصف الناقلة Semiconductor للنقط الكمومية Quantum dots يمكن أن تكون ذات سمية ولكن بعض الطلاءات البوليميرية تخفف الأثر السمي في الجسم الحي *In vivo*.

وتظهر جزيئات الذهب النانوية سمية قليلة في نسج الثدييات ولكنها لا تتفكك بشكل طبيعي في الجسم الحي ويمكن أن تتراكم في الأعضاء إلا إذا زركش سطحُها بمواد منسلة Stealth مثل الـ PEG. ويمكن بهندسة دقيقة لحوامل الدواء تخفيض كمية المواد الغريبة إلى حدٍّ كبيرٍ سواءً الدواء أو الجزيئة النانوية التي يتم حقنها للمريض.

الكشف والتشخيص

أصبحت معالجة الأمراض المنتقلة تعتمد وبشكل متزايد على تقنيات التصوير والتشخيص. وتتطلب بعض الوسائل العلاجية كالمعالجة الإشعاعية المباشرة تحديداً دقيقاً لتموضع الورم وتكون قرارات المعالجة مبنية على فهم انتشار المرض ومعرفته. وأدوات التشخيص كتطبيق مواد التصوير الإشعاعي، ومساعدات التصوير للجراحين والحساسات التي يتم تنشيطها بشكل جزيئي، كل هذا يشكل حقلاً فعالاً ونشيطاً للبحث لدى مهندسي علم المواد على المستوى النانوي.

إن الكثير من الإثارة في هذا المجال ناجم عن الخصائص المتفردة للمواد التي تلحظ على المستوى النانوي. على سبيل المثال، إن خصائص الفلورة لمواد التصوير العالية الثباتية الضوئية، مثل النقط الكمومية، تظهر فقط عندما تكون البلورات نصف الناقلة مصنعة بأبعاد نانوية. وبالنسبة لمرضى السرطان الذين يظهرون الانتقالات، فإن العمل في هذا المجال فيه إمكانية تخفيض السمية وزيادة جودة ونوعية الإشارة للعوامل المستخدمة بالتصوير، وجعل الانتقالات واضحة خلال المداخلة الجراحية، وتؤمن حساسات جزيئية للمساعدة في مجالات شتى من معايرة المعالجة الكيميائية للسرطان وحتى تحديد درجة الخباثة.

وفي مجال التصوير بالتجاوب المغنطيسي MRI، هناك جزيئات نانوية من أكسيد الحديد (SPIONs) تؤمن أعلى وضوح بتراكيز منخفضة أكثر بكثير من الغادولينيوم Gadolinum، وهو الأكثر استخداماً بوصفه عامل إظهار في التصوير بالتجاوب المغنطيسي. وإذا ما تم تغليف مثل هذه الجزيئات بالدكستران Dextran الذي يتركز بالعقد اللمفاوية فإنها تستخدم لكشف سرطان العقد اللمفاوية عند مرضى سرطان البروستات. كما تمت دراسة جزيئات أكسيد الحديد النانوية المستهدفة بعد تغطيتها ببيتيد RGD في الجسم الحي لإظهار تشكل أوعية دموية في بعض الأورام (Integrin αv β3 positive Tumor).

تم التحري عن الجزيئات النانوية واستكشافها من أجل استهداف عوامل الإظهار المعتمدة على الغادولينيوم Gadolinum. وعلى سبيل المثال، يمكن للفلرينات fullerenes الكربونية النانوية المحشوة بالغادولينيوم والليبوزومات المحمَّلة بالغادولينيوم أن تغير من الحركية الدوائية وتموضع الغادولينيوم.

حديثاً دخلت الجزيئات النانوية من السيليكا Silica الاختبارات السريرية للكشف عن الانتقالات في العقد اللمفاوية عند مرضى الميلانوما Melanoma باستخدام التصوير بالإصدار البوزيتروني PET. وهناك جزيئات نانوية ثنائية الغرض في التشخيص وهي تلك التي تجمع بين مزايا طريقتي التصوير معاً. وتستطيع تأمين محاسن تقنيات مختلفة مثل إظهار معلومات تشريحية مهمة عن تباين النسج الرخوة بالتجاوب المغنطيسي مع الحساسية العالية والمعلومات الوظيفية التي تقدمها الـ PET والأمثلة تتضمن الجزيئات النانوية لأكسيد الحديد الموسوم نظيرياً لكلتا التقنيتين.

يعتمد التصوير المقطعي المحوسب للأورام على عناصر إظهار تتضمن غالباً جزيئات صغيرة مع عمر نصف قصير في الجسم. ويمكن أن يقود إملاء هذه العناصر وشحنها بالجزيئات النانوية إلى إطالة فترة المكوث في الجسم مما يساهم في تقليل الجرعة المطلوبة وتأمين المرونة اللوجيستية للأجهزة السريرية. فبعض التقنيات المنخفضة الحساسية كالتصوير المعتمد على

الإصدار الفوتوني SPECT يمكن تطويرها وتحسين الأداء بحقن جزيئات نانوية بجرعات أعلى من عوامل الإظهار مثل الجزيئات النانوية للبيرفلوروكاربون الموسوم بالإنديوم In- labeled per fluo-rocarbon.

تستخدم الجزيئات النانوية لتصوير البنية الدقيقة وتخطيط حدود الورم باستخدام تقنيات مثل تصوير الأورام المقطعي البصري المتناسق OCT Optical Coherence Tomography.

استخدمت أصناف مختلفة من المواد النانوية بالإضافة لاستخدامها في التشخيص للمساعدة بالاستئصال الجراحي وتحديد الخلايا السرطانية في الدم، والكشف عن مناطق الورم، وتم تصنيع مواد نانوية بصرية تصدر أطيافاً من الضوء المرئي إلى الأشعة تحت الحمراء. وتم قولبتها لاستهداف بعض الربائط وتم تطويرها لتطبيقات التشخيص في الجسم الحي، واستخدمت النقط الكمومية بفعالية لمتابعة الخلايا المنتقلة والتمييز بين الخلايا في أورام غير متجانسة في الجسم الحي.

وتُعدُّ الحساسات النانوية واعدة بالكشف المبكر عن السرطان والانتقالات مما يحسن من تقديرات تصور المريض لما سيحدث وذلك بالإنقاص من محدودية الكشف وتمييز خصوصية الواسمات البيولوجية. وانخفضت الحساسية إلى مستوى جزيئة واحدة، وتم الوصول لذلك باستخدام مواد نانوية تتمتع بخصائص إلكترونية وبصرية متفردة. على سبيل المثال، استخدمت أنابيب كربونية نانوية أحادية الجدار Single-walled لقياس جزيئات منفردة من جذور الأكسجين الفعال وتركيز أدوية العلاج الكيميائي للأورام بالوقت الحقيقي.

وتمكن الجزيئات النانوية المستخدمة في تقنية رنين سطح البلازمون المركز LSPR Localized Surface Plasmon Resonance والأسلاك النانوية من الكشف عن الواسمات الورمية وبروتينات أخرى بحساسية عالية من خلال التغيرات في الإلكترونات السطحية. وتطورت المخططات باستخدام الجزيئات النانوية لكبت الفلوروفور Flurophore مثل البوليمير المتفلور طالما لم يرتبط به بروتين نوعي محدد.

يهتم البيولوجيون حالياً بالواسمات البيولوجية المرضية المهمة في أصناف جزيئية متنوعة. فمثلاً، تم اكتشاف الـ microRNA-141 والمستضد الورمي الجنيني Carcinoembryonic antigen بوصفها واسمات تقدير الإنذار في سرطان الكولون والمستقيم المنتقل. ويؤشر العثور على الساركوزين Sarcosine، وهي جزيئة صغيرة ناتج استقلاب، إلى وجود انتقالات في سرطان البروستات. وعندما تقترن بأجهزة تعتمد على حجوم مكروية من السوائل (اعتماداً على حجوم من مرتبة النانولتر من الدم في أجهزة مقايسة الواسمات البيولوجية) فإن المواد المصممة النانوية ستسمح ربما بالتقليل من الإجراءات الراضة للكشف عن السرطان في مراحل مبكرة.

التقانة النانوية لكبت الانتقال، آفاق مستقبلية

هناك حاجة كبيرة لاستراتيجيات جديدة لمعالجة المشكلة المعقدة للسرطان المنتقل، والذي يُعدُّ حالياً غير قابل للشفاء لحدٍّ بعيدٍ. تقدم المواد النانوية أدوات لها محاسنها وفوائدها وقد بدأت الآن تصبح حقيقة في الطب السريري. ولتاريخه، فإن معظم المعالجات بالتقانة النانوية مركزة على معالجة الأورام الأولية، ولكن من المهم تقوية فعالية التقانة النانوية لمكافحة انتشار السرطان في كل مرحلة من عملية الانتقال.

والآليات البيولوجية التي تقود –بطريقة نوعية– كل خطوات الانتقالات المعروفة (تشكل الأوعية الدموية، ودخول الوعاء، ودوران الخلايا الورمية وتجوالها، والتسرب، والنمو في أماكن ثانوية) يمكن أن يتم التصدي لها بالعلاجات النانوية.

إن الميزات الخاصة التي تجعل من بنية معينة ذات قدرة على الشروع بالانتقالات يمكن أيضاً أن تساهم في إيجاد تدخل علاجي واستهداف نوعي. وعلى الرغم من هذه التطورات، فالحاجة لبحث إضافي مازالت قائمة لتطوير طرائق فعالة لإيصال الجزيئات النانوية المستهدفة إلى مناطق الانتقالات وخاصة في العظام والدماغ والبيئة المحيطة المغذية للورم.

وبما أن معلوماتنا عن بيولوجيا السرطان أصبحت أكثر تكاملاً فإنه من المهم وبشكل متزايد للأطباء السريريين والبيولوجيين والمهندسين أن يناقشوا أفكارهم حول تشخيص السرطان المنتقل وعلاجه وأن يطوروا طرائق علاج نانوية تهدف لتحقيق ذلك بالعلاجات المناسبة مما يحسن وضع مرضى السرطان المنتقل.

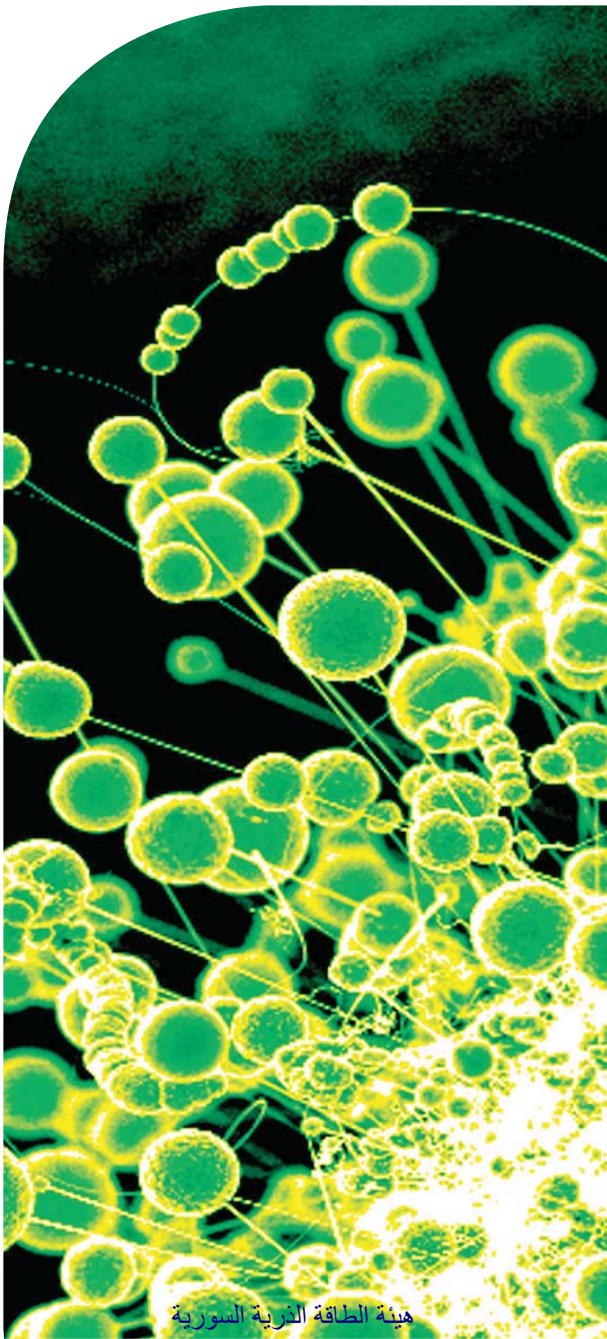
آفي شرويدر وآخرون.

نُشر هذا المقال في *Nature Reviews, Vol 12, January 2012*، ترجمة **د. غسان عليا**، هيئة الطاقة الذرية السورية.

تقدم البحث في نبائط الجرمانيوم النانوية على المستوى الأكاديمي وفي قطاع الصناعة

لقد مكن السليكون الصناعة الإلكترونية لأنصاف النواقل من النهوض، لكنه لم يكن المادة الأولى المستعملة في مثل هذه النبائط. ففي أثناء خمسينيات القرن الماضي، وبعيد ولادة الترانزستور، كادت تكون كل نبائط الحالة الصلبة تصنع بشكل خاص من الجرمانيوم. واليوم، فإن إحدى الطرائق الرئيسية لتحسين أداء الترانزستورات هي زيادة حركية حامل الشحنة ضمن قناة النبيطة. وهذا ما دفع جماعة البحث في نبائط الحالة الصلبة أن تعود وتحقق في الجرمانيوم بوصفه مادة ذات حركية عالية. إن الترانزستورات القائمة على الجرمانيوم لها القدرة على العمل بسرعات عالية، بمتطلبات طاقة منخفضة، وقد يؤهلها ذلك للاستعمال في تقانة أنصاف نواقل غير قائمة على السليكون في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: جرمانيوم ذو حركية عالية *high mobility germanium*، تكامل الجرمانيوم على السليكون *integration of germanium on silicon*، عازل البوابة *the gate dielectric*، نبائط نانوية من الجرمانيوم *germanium nanodevices*.



إن الرؤية التنبؤية التي وضعها غوردن مور G.Moore في عام 1965، والتي مفادها بأن عدد الترانزستورات على جُذاذة دارة متكاملة سيتضاعف كل سنتين، لا تزال تشكل الفكرة التي توجه صناعة أنصاف النواقل. ومع كل جيل جديد للتقانة، ليست عملية التصنيع فقط هي التي تصبح اقتصادية أكثر، بل الترانزستورات بحد ذاتها تصبح أصغر وأسرع، كما أنها تتطلب طاقة أقل. فبينما احتوى المعالج المكروي الأول على 2300 ترانزستور، فإن أحدث المعالجات المكروية اليوم تتكون من أكثر من بليون ترانزستور، تعمل بسرعة أكبر من سرعة الترانزستورات الأولى بـ 50000 مرة.

لقد أنجزت صناعة أنصاف النواقل في العقد الماضي ابتكارات عديدة للمساعدة في مواصلة تلبية قانون مور. فعلى سبيل المثال، استعملت عقدةُ تقانة 90 نانومتر[1]، في عام 2003، هندسة الانفعال لتزيد من أداء ترانزستورات السليكون أكثر. إن تطبيق انفعال لقناة السليكون يحسّن حركية حاملات الشحنة بشكل ملحوظ، وهذا يترجم مباشرة إلى زيادة في تيار الدفع drive current. وتبعاً لذلك، فإن القضية الأساسية لترقّي العازل dielectric scaling في ثنائي أكسيد السليكون عولجت، في عام 2007، وذلك بإدخال مَكْدَس[2] بوابة gate stack معدنية مُبتَكَر ذي عامل ترقّي أو عامل تضاعف scaling factor مرتفع (κ–مرتفعة[3]) إلى تقانة العقدة 45 نانومتر. هذه الترانزستورات السليكونية ذات البوابات المعدنية والـ κ العالية، كان أكسيد البوابة الكهربائية فيها أدنى سمكاً بصورة ملحوظة (TOXE)[4]، إضافة إلى تدرّجية[5] أو قابلية للترقّي scalability وأداء أفضل، من التقانة القائمة على SiO_2 ذات العقدة 65 نانومتر السابقة.

لقد حصل مؤخراً اهتمام ملحوظ في مجتمع نبائط الحالة الصلبة في بحثها عن استعمال مواد غير السليكون تتمتع بحوامل شحنة ذات حركية عالية، لتحل محل قناة الترانزستورات الحالية القائمة على السليكون. إن زيادة حركية حامل الشحنة يمكن أن تحسن تيار دفع الترانزستور الذي يمكن استعماله لتحسين أداء النبيطة أو ليحافظ على الأداء ويقلل استهلاك الطاقة. يتمتع الجرمانيوم بأعلى حركية من النوع P من بين كل المواد نصف الناقلة المعروفة، لذا فهو خيار جذاب بوصفه بديلاً للسليكون في تطبيقات منطق الطاقة المنخفضة في المستقبل. إن الجرمانيوم ليس جديداً على صناعة أنصاف النواقل. فالترانزستور والدارة المتكاملة، التي طورت في عام 1947 وعام 1958 على الترتيب، هي القواعد الأساسية لصناعة أنصاف النواقل التي تبلغ اليوم 260 بليون دولار أمريكي، وهي على الأغلب يتم تجاهلها حيث أجريت الدراسات الأولية الرائدة على الجرمانيوم بدلاً من السليكون، الذي يهيمن على سوق أنصاف النواقل. وفي الحقيقة، فإن السنوات الأولى لصناعة الحالة الصلبة تكاد تكون قد تضمنت بشكل خاص ديود الجرمانيوم وتقانة الترانزستور الوصلي الثنائي القطبية. ولم يهيمن السليكون على مواد الصناعة إلا منذ منتصف ستينيات القرن الماضي، بعد اكتشاف عملية تهميد العازل SiO_2 وترانزستور مفعول الحقل المكون من التركيبة المستوية معدن–أكسيد–نصف ناقل (MOSFET).

شهد الاهتمام بنبائط الجرمانيوم في العقد الماضي انبعاثاً جديداً حيث استأنفت جماعة البحث دراسة هذه المادة التي تتمتع بحركية عالية علَّها تكون بديلاً محتملاً لتقانة MOSFET السليكونية السائدة. يستنطق الكاتب في هذا المقال تاريخ الصناعة والبحث الأكاديمي والتقدم الحديث فيهما وذلك فيما يخص استعمال مواد قناة من الجرمانيوم على أنها بديل لترانزستورات MOSFET القائمة على السليكون من النوع p (PMOS). يمكن أن يقود هذا البحث إلى بنى هندسية لترانزستورات لاسليكونية، قائمة على البنية معدن–أكسيد– نصف ناقل المكمِّلة (CMOSs) من المجموعة III-V/Ge منخفضة الطاقة.

مواد القناة اللاسليكونية ذات الحركية العالية

يلخص الشكل 1 خريطة (منظراً) للمواد نصف الناقلة بإظهار العلاقة بين حركيتي الإلكترون والثقب الجرميتين، وفرجة الطاقة من أجل السليكون والجرمانيوم، والعديد من المواد نصف الناقلة من مركبات المجموعة III-V. تعد فرجة الطاقة وسيطاً مهماً لاختيار مادة ترانزستور ما لأنها تؤثر على كل من فلطية التغذية التي يمكن

1 تعرف عقدة التقانة بأنها القواعد الأساسية للعملية التي يحكمها أصغر معلم مطبوع في صفيف متكرر. وبموجب خارطة طريق التقانة العالمية لأنصاف النواقل، تشير تقانة 45 nm نانومتر إلى حجم الترانزستورات في الجذاذة. (المترجم).

2 المكدس وجمعها مكادس هو مجموعة من التماسات المتحركة والثابتة، معزول بعضها عن بعض تُشكَّل معاً لتدمج في المرحِّل أو القاطع. (المترجم).

3 تعني مادة ذات ثابت عزل κ كبير بالمقارنة مع ثابت عزل ثنائي أكسيد السليكون. وتستعمل في تصنيع أنصاف النواقل حيث تحل محل عازل البوابة الذي هو من ثنائي أكسيد السليكون. (المترجم).

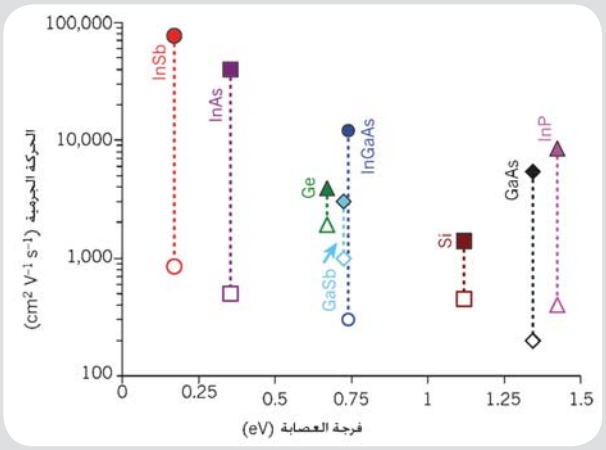
4 TOXE مختصر يعني وسيطاً يمثل السمك الكهربائي للأكسيد، يمكن حساب قيمته من قياس السعة، بدلالة الفلطية v، هناك وسيط آخر TOXE يمثل السمك الفيزيائي للأكسيد، وهو السمك الخفيض وقياس بأخذ صورة بالمجهر الإلكتروني النافذ TEM (المترجم).

5 التدرّجيّة: صفة مرغوبة في منظومة ما تشير إلى قابليتها إما لاستيعاب مقادير متنامية من وظيفة ما بأسلوب رشيق أو أن تصبح موسّعة بسهولة. (المترجم).

أن تعمل عليها النبيطة وعلى تدرّجيّة scalability النبيطة أو قابليتها للتوسّع. فمثلاً، إذا كانت فرجة الطاقة كبيرة جداً، فإن فقدان المعدن الذي يتمتع بدالة عمل ملائمة يمنع فلطية عتبة النبيطة من أن تكون صغيرة بالقدر الكافي كي تسمح بالعمل على فلطية تغذية منخفضة. وعلى النقيض من ذلك، إذا كانت فرجة الطاقة صغيرة جداً، فإن سلوك النبيطة سيصبح متردياً، وذلك بسبب تيارات التسرب في حالة الفصل[6] off-state leakage currents الناتجة عن الإصدار الحراري التقليدي وعن العبور النفقي من عصابة إلى عصابة. وعليه فإن فرجة الطاقة الصغيرة جداً أو الكبيرة جداً سوف تؤثر على تدرجية الترانزستور.

يبين الشكل 1 أن حركية الإلكترون (النوع n) في المواد III-V تؤمن ميزة كبيرة عن تلك التي للسليكون، مع مواد عديدة تبدي حركية من النوع n تساوي أكثر من 10000 cm^2V^{-1} s^{-1}. لقد حصل تقدم ملموس على مدى السنوات القليلة الماضية في تحقيق الجدوى لمواد القناة في المجموعة III-V بوصفها بديلاً للسليكون في تطبيقات المنطق ذي الطاقة المنخفضة. ولقد حصلت اختراقات أساسية عديدة، نذكر منها مكاملة هذه المواد على ركازة من السليكون أو دمجها، وتطوير سطح بيني لعازل البوابة ذي نوعية جيدة مع ثخن فعال ومتدرّج للأكسيد، وكثافة حالات سطحية منخفضة (Dit)، وآثار قناة قصيرة مُسَيْطَر عليها. وفوق ذلك، فإن ترانزستورات InGaAs قد برهنت أن لها أرباح تيار دفع أكبر من أحدث مثيلاتها من السليكون عند فلطيات تغذية منخفضة، نظراً لارتفاع حركية حاملات شحنتها. تعزز هذه النتائج الاقتراح الذي مفاده أن مكاسب الحركية الأساسية التي نحصل عليها من استعمال مواد المجموعة III-V للقناة يمكن أن تؤمن أداء بارزاً وتحسيناً في استهلاك الطاقة على نبائط السليكون في عقد تقانة المستقبل.

إن أحد التحديات الأساسية التي واجهها الباحثون الذين يدرسون مواد قناة بديلة هي تعريف حل للترانزستورات PMOS، الذي يمكن أن يعزز أداء النبيطة إلى مستوى أعلى بشكل ملموس من ترانزستورات PMOS السليكونية المتكلّفة الأحدث في الوقت الحاضر. ورغم أن حركية الإلكترون في العديد من مواد المجموعة III-V يمكن أن تكون عالية جداً، مع ترانزستورات MOSFETs من النوع n (NMOSs) مصنوعة من مواد تفوق نبائط NMOS من السليكون بشكل ملحوظ، فإن حركية الثقوب المقابلة تكون أخفض بصورة ملحوظة من حركية الإلكترون. إن هذا الاختلاف المبين



الشكل 1- منظر لحركية أنصاف النواقل.

خريطة للحركية الجرمية بدلالة فرجة العصابة للسليكون والجرمانيوم، ولمواد متعددة من المجموعة III-V. تشير الرموز الممتلئة إلى الإلكترونات، وتشير الرموز الفارغة إلى الثقوب. يقدم الجرمانيوم أعلى حركية ثقوب بين المواد نصف الناقلة المعروفة.

في الشكل 1، من أجل مواد متباينة من المجموعة III-V، ينشأ من كون كتلتها الفعالة في عصابة التكافؤ أكبر بشكل ملحوظ من كتلة الإلكترون الفعالة، وأن معدل تبعثر حاملاتها في النقل الثقبي أعلى مما هو للإلكترونات. ونظراً للتصميم المبني على CMOS الحالي لتقانة المنطق، التي تستعمل كلاً من ترانزستورات NMOS و PMOS، فإن الباحثين بحاجة إلى إيجاد طرق لتحسين أداء نبائط PMOS اللاسليكونية، بحيث يصبح ربح أداء المعالج المكروي أعظمياً.

بناء على المعطيات في الشكل 1، فإن معظم المواد الواعدة لصنع نبائط PMOS في هندسة CMOS المستقبلية المبنية على III-V هي ليست مادة مبنية على III-V. والجرمانيوم، من بين كل المواد نصف الناقلة المعلومة، له الحركية الأعلى، والتي تقارب ضعفي حركية أفضل المواد من النوع p المبنية على III-V. وزيادة على ذلك، فإن تقانة CMOS اللاسليكونية ستكون هدفاً للاستعمال عند فلطيات تغذية منخفضة. ولن يكون للتسرب من عصابة إلى عصابة بالعبور النفقي وبالإصدار الإلكتروني الحراري (الترميوني) أي تأثير على النبائط المبنية على الجرمانيوم، عند فلطية التغذية المنخفضة 0.5 V وذلك نظراً لكبر فرجة عصابة الجرمانيوم، البالغة 0.67 eV، بالنسبة لفلطية التغذية. ولكي يواجه الباحثون قابلية نجاح الجرمانيوم بوصفها

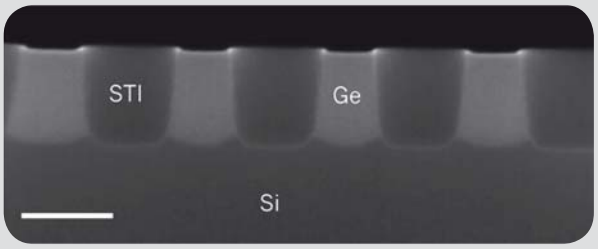
[6] هي قيمة التيار اللازم لإبقاء النبيطة فعالة عندما لا تكون في وضع التشغيل. (المترجم)

مادة لقناة المستقبل، فقد قاموا بدراسة مجالات أساسية متعددة منها المكاملة (الدمج) اللامتجانسة للجرمانيوم على ركازة من السليكون، واستعمال هندسة نبائط MOSFET والبئر الكمومي التقليدية، ومخطط تهميد عازل بوابة مناسب على الجرمانيوم، ونقل حوامل الشحنة وأداء القناة القصيرة للجرمانيوم. ويأتي تفصيل كل واحد منها أدناه.

الدمج (المكاملة) اللامتجانس للجرمانيوم على السليكون

كي تكون التقانة القائمة على الجرمانيوم متوافقة مع عملية تصنيع CMOS التقليدية الجارية اليوم، فإن مكاملة الجرمانيوم على ركازة من السليكون تعد أمراً حتمياً. بدمج قناة ترانزستور الجرمانيوم على رقاقة من السليكون، يمكن لهذه المادة الجديدة أن تدخل في برنامج CMOS السليكوني السائد، فتحذف بذلك الزيادة الكبيرة في تكاليف الصنع التي سيصاحبها تطوير أنواع جديدة من الركازات اللاسليكونية. لكن تحديات إنماء المواد في تطوير تقانة دمج كهذه تعد أساسية لأن ثابت الشبيكة للجرمانيوم أكبر من نظيره في السليكون بـ 14%. إن أي إنماء للجرمانيوم على السليكون سيبدأ بالاسترخاء مباشرة في أغلب الأحوال من خلال تشكيل انخلاعات سوء المواءمة، إن العدد الهائل من العيوب المتشكلة في طبقة رقيقة كهذه من الجرمانيوم سوف يقلل حركية حاملات الشحمة بشكل ملحوظ ويزيد التسرب في الوصلة، الأمر الذي يجعل عمل الترانزستور مستحيلاً.

لتسوية عدم التوافق الشبيكي الكبير بين مادتي الجرمانيوم والسليكون، يمكن إنماء طبقة سميكة حاجزة من Si_xGe_{1-x} بين ركازة السليكون وطبقة الجرمانيوم الفعالة، والتي تنخفض كثافة العيوب فيها بشكل كبير بمثل هذه العملية. تؤمن تقنية الحجز بالإنماء هذه وسيلة لبناء نبائط جرمانيوم على ركازة من السليكون وعلامة دالة على خواصها الكهربائية (مثل الحركية، ونسبة تيار حالة الوصل إلى تيار حالة الفصل، وسرعة حاملات الشحنة) مقابل الترانزستورات من نوع MOSFET التقليدية من السليكون. يكون ثخن الطبقات الحاجزة عادة مكرومترات عدة وتشكل مادة Si_xGe_{1-x} التي يكون تركيبها إما متدرجاً بصورة تدريجية أو متغيراً فجأة في بضع خطوات تلائم عدم التوافق الشبيكي. كما أنه من الممكن إنماء الجرمانيوم على السليكون مباشرة، بالرغم من أن الجرمانيوم ينبغي أن يُنَمّى على شكل طبقة سميكة جداً كي تكون كثافة العيوب السطحية فيها منخفضة بصورة معقولة. لقد دُرِست



الشكل-2 دمج الجرمانيوم على السليكون.

صورة بالمجهر الإلكتروني الماسح لمقطع عرضي لإنماء الجرمانيوم على السليكون باستعمال عملية الأسر بالنسبة الباعية. شريط المقياس يساوي 0.25 µm.

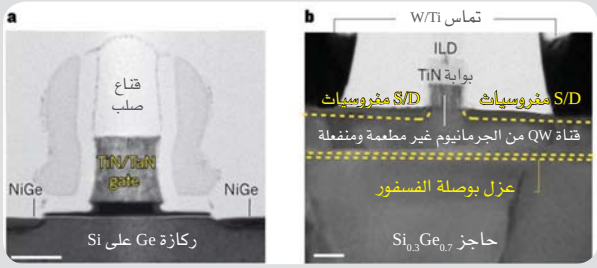
تقنيات إنماء مختلفة مثل التنضيد بالحزمة الجزيئية (MBE)، والترسيب من البخار الكيميائي في خلاء فائق، والترسيب من البخار الكيميائي (CVD)، من أجل إنماء الجرمانيوم على ركازات من السليكون.

ورغم أن تقنيات الحجز بالإنماء من أجل دمج الجرمانيوم على السليكون قد أحدثت تقدماً كبيراً في السنوات الأخيرة، فهناك حاجة لمزيد من البحث والتطوير قبل أن يصبح مشروع تصنيع الجرمانيوم على السليكون ممكناً. وفي الوقت الحاضر، فإن أفضل منظومات حواجز SiGe سمكها مكرومتروات عدة؛ لذا فإن إنماؤها يستغرق وقتاً طويلاً، الأمر الذي يزيد من تكاليف العملية. ولمواجهة هذه المسألة جرى التحقيق في بدائل عديدة. لقد دُرست حديثاً عملية الأسر للنسبة الباعية من أجل إنماء طبقات حاجزة من الجرمانيوم و SiGe ضمن خنادق ضيقة من الأكسيد منسوخة على ركازات من السليكون. تحاول هذه التقنية أن تعزل الانخلاعات المسننة على امتداد الجدران الجانبية للأكسيد، وهي عملية يمكن أن تؤدي إلى تخفيض كبير في سمك الطبقة الحاجزة. فعلى سبيل المثال، يُظهر عملٌ حديث (الشكل 2) أنه عند إنماء الجرمانيوم مباشرة على السليكون وفق خنادق عرضها 200 nm، يمكن الحصول على سطح من الجرمانيوم عالي الجودة عندما يصل سمك الجرمانيوم إلى 250 nm، وهو أرق بشكل واضح من الأبعاد الحاجزة التي كان قد أعلن عنها عدد من الباحثين من أجل إنماء بطانة من الجرمانيوم على السليكون. وفضلاً عن ذلك، هناك العديد من التقنيات البديلة التي استخدمت في البحث والتمحيص في مسألة دمج الجرمانيوم على السليكون نذكر منها: الربط على الرقائق wafer bopnding، والتكثّف condensation والتنضيد من الطور السائل الجانبي lateral liquid phase epitaxy.

أساليب بناء ترانزستورات MOSFET ونبيطة البئر الكمومي

لقد ركز البحث في النبائط بشكل رئيسي على موضوعين مختلفين في فن البناء يمكن بناؤهما على هذه الركازات العملية من الجرمانيوم وهما: ترانزستورات مفعول الحقل MOSFETs ذات البنية معدن–أكسيد–نصف ناقل التقليدية، وترانزستورات مفعول الحقل QWMOSFETs القائم على البئر الكومي. بإنماء طبقة سميكة من الجرمانيوم مباشرة على ركازة السليكون أو الطبقة الحاجزة S_iXGe_{1-x}، يمكن استعمال سطح الجرمانيوم المسترخي في الأعلى كي نعالج و نصنّع ترانزستورات MOSFET تقليدية (الشكل 3a). تستعمل هذه النبائط أجساماً مطعمة من النوع n وتعمل بتشكيل طبقة منقلبة من النوع p بالأسلوب نفسه السائد في ترانزستورات MOSFET من السليكون. وفي المقابل، لقد ركزت كمية كبيرة من أبحاث النبائط على ترانزستورات QWFET (الشكل 3b). وفي هذه الحالة، تُنمّى طبقة رقيقة من الجرمانيوم بصورة تكون فيها منفعلة انفعالاً ثنائي المحور بالنسبة للطبقة الحاجزة من Si_xGe_{1-x}، وتعمل طبقة الجرمانيوم هذه عمل قناة النبيطة. تغطى طبقة الجرمانيوم بحاجز علوي إما من Si_xGe_{1-x} أو من السليكون، بحيث تكون إزاحات عصابةُ التكافؤ على الجانبين قادرة على حصر (حجز) حاملات الشحنة من الثقوب حصراً كمومياً في الجرمانيوم. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استعمال تقنيات تطعيم للتعديل كي نزوّد البئر الكمومي بثقوب تبقى غير مطَعَّمة، لأن أي طُعْم مؤيَّن سوف يأخذ مكاناً له في الطبقة الحاجزة Si_xGe_{1-x}.

وعلى خلاف بُنى MOSFET من الجرمانيوم، التي تتطلب إنجازاً كاملاً للترانزستور من أجل التوصيف الكهربائي لحركية الثقوب في الطبقة المنقلبة، فإن حركية منظومة الثقوب الثنائية البعد في بنية بئر كمومي من الجرمانيوم يمكن تعيينها حالاً وبسهولة بعد الإنماء باستعمال قياسات هول. إن قياسات هول هذه تعطينا قياساً مباشراً لحركية القناة الثنائية البعد الأصيلة في مادة معطاة. إن بُنى بئر الكمون التي جرى توصيفها بواسطة قياسات هول تتمتع بطبقات حاجزة علوية كبيرة، الأمر الذي يسمح للحالات السطحية والمصائد البَيْسطحية أن تتباعد كثيراً عن القناة، وبذلك تحذف تدهور الحركية عن هذه المصادر. وعلى النقيض من ذلك، فإن ترانزستوراً بُني باستعمال بنية بئر كمومي كهذا ينبغي أن يتمتع بعازل بوابة ذي تدرجية عالية ultra-scaled gate dielectric يكون قريباً جداً من البوابة من أجل أن يكون قابلاً للتدرج مثل ترانزستورات السليكون الحالية. يمكن ملاحظة تدهور الحركية في قناة الترانزستور ما لم تُهندس وصلة العازل البينية بصورة



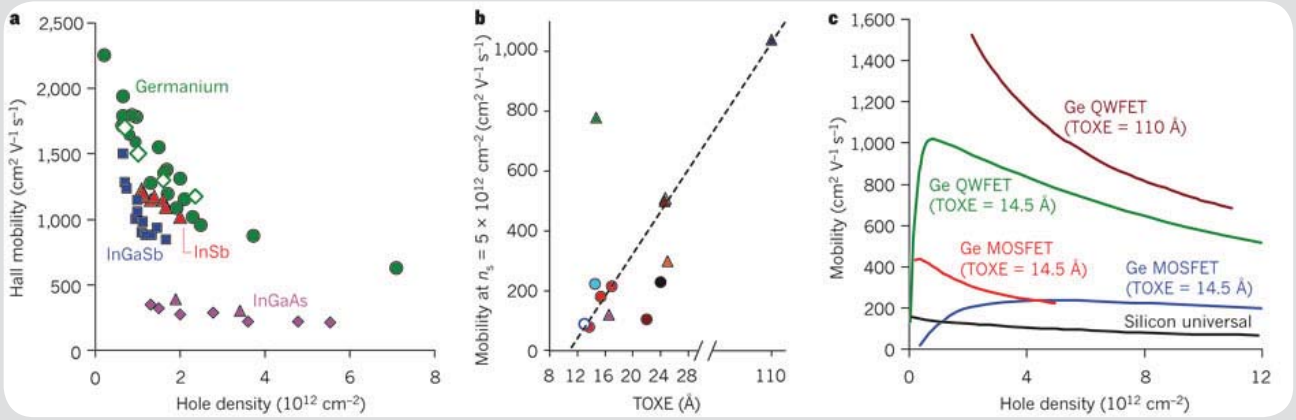
الشكل-3 البنيتان الهندسيتان الأساسيتان لنبيطتي جرمانيوم.

لقد ركز البحث في نبائط الجرمانيوم في المقام الأول على بنيتين هندسيتين للنبائط هما: ترانزستور الجرمانيوم من النوع MOSFAET، المبين في الجزء (a) من الشكل، وترانزستور الجرمانيوم من النوع QWFET، المبين في الجزء (b) من الشكل. يجري التيار في ترانزستور الجرمانيوم MOSFET (a) بين التماسين NiGe. يجري التحكم بجريان التيار بتطبيق فلطية على إلكترود البوابة TiN/TaN. وقد أُشير إلى القناع الصلب المستعمل في نقش إلكترود البوابة. يجري التيار في ترانزستور الجرمانيوم QWFET المبين في الشكل (b) بين التماسين W/Ti اللذين يمسان منطقتي المصدر والمصرف (S/D) المغروستين في النبيطة. ينتقل التيار الجاري بين منطقتي المصدر والمصرف عبر قناة البئر الكمومي (QW) من الجرمانيوم غير المطعّم والمتوتّر (المنفعل) ذي الحركية العالية، ويُعدل بتطبيق توتر على البوابة TiN. إن الطبقة العازلة، وهي وصلة الفسفور، تكبح تيار التسرب في حالة الفصل الطفيلي في الطبقة الواقية $Si_{0.3}Ge_{0.7}$. كما أن العازل بين الطبقات ILD مبين على الشكل. شريط القياس يساوي 50 nm في (a)، ويساوي 100 nm في (b).

مثالية، بدون تأثير من تبعثر يعود إلى هالات المصائد البَيْسطحية. وفي هذا المعنى، تكون حركية هول جزءاً حيوياً من المعلومات لأنه يمثل الحركية الأعلى المحتملة التي يمكن الحصول عليها في ترانزستور تدرّجي مصنوع من بنية بئر كمومي كهذا. إن قياس حركية هول لبنى متنوعة للبئر الكمومي من النوع p من الجرمانيوم ومن المجموعة III-V (الشكل 4a) تبين أن الجرمانيوم يتمتع بأعلى حركية ثقوب من بين كل منظومات الثقوب الثنائية البعد.

عازل البوابة

إن اكتشاف مجموعة عطا الله atalla للأبحاث مخططَ تهميد العازل SiO_2 المستقر على السليكون بكثافة منخفضة جداً للمصائد البيسطحية في مختبرات بل عام 1959، ربما كان الاكتشاف الأهم



الشكل -4 حركية نبائط الجرمانيوم علامة مميزة

a، العلاقة بين حركية هول وكثافة هول لمنظومات بئر كمومي متوتر توتراً ثنائي المحور وقائمة على InSb (مثلثات حمراء)، وعلى InGaAs (معينات قرنفلية ومثلثات قرنفلية)، وعلى InGaSb (مربعات زرقاء)، وعلى جرمانيوم (دوائر خضراء ومعينات خضراء). يتمتع الجرمانيوم بأعلى حركية ثقوب ثنائية البعد بين منظومات بئر الكموم المعروفة. b، العلاقة بين الحركية عند كثافة للحاملات $ns = 5\times10^{12}\ cm^{-3}$ وبين الـ TOXE من أجل نبائط الجرمانيوم في الأدبيات. هذه المعطيات تسلط الضوء على مشكلة تخفيض الحركية عندما يُخَفَّض مقياس الـTOXE. أشير لنبائط بئر الكموم بمثلثات، وأشير لنبائط MOSFET بدوائر. المعطيات المستعملة في الشكل مأخوذة من مصادر متعددة من الأدبيات، حيث تشير الألوان المختلفة للمثلثات والدوائر إلى المصادر المختلفة. c، العلاقة بين الحركية وكثافة الثقوب من أجل أحدث نبائط MOSFET من الجرمانيوم ذات القناة الطويلة (المنحني الأزرق والمنحني الأحمر)، ونبائط QWFET (المنحني الأخضر والمنحني البني). إن حركية السليكون العالمية قُدّمت كنقطة مرجعية. أكبر حركية لوحظت في نبائط QWFET تنشأ من تبعثر شوائب مختَزَلة وانفعال (توتر) ثنائي المحور.

في فيزياء نبائط أنصاف النواقل منذ الاختراع الأول للترانزستور. وبعد ذلك، فإن عملية عازل البوابة ذات النوعية العالية كانت تستعمل لتصنيع أول ترانزستور من نوع ترانزستور مفعول الحقل (FET). لقد كان ترانزستور مفعول الحقل من نوع MOS والمعروف باسم MOSFET أكثر قابلية للتدرّج من الترانزستور الثنائي القطبية الوصلي BJT، واستمر حتى أصبح اللبنة الأساسية في بناء الدارة المتكاملة، وفي تصنيع المعالج المكروي. لكن خلافاً للسليكون فإن الأكسيد الطبيعي للجرمانيوم غير مستقر ويتفكك بسهولة إلى أكاسيد فرعية عديدة من النوع Ge_yO_x، فيها كثافة عالية من الروابط المتدلية عند السطح البيني. إن حالات المصائد البَيْسطحية هذه، والتي لا يمكن تهميدها بالهدروجين باستعمال طريقة التلدين بغاز التشكيل التقليدي conventional forming gas anneals، يمكن أن تُخَفِّض بشكل ملحوظ أداء ترانزستور MPSFET. تصبح الحركية الذاتية العالية لحاملات الشحنة في الجرمانيوم مخفّضة بشكل كبير بسبب تبعثر الحاملات الناشئ عن هذه المصائد. وفضلاً عن ذلك، فإن حالات المصائد البَيْسطحية هذه سوف تخفّض أيضاً تيار التسرب في حالة الفصل وتجعل لإغلاق النبيطة المبنية على الجرمانيوم عتبة فرعية، فتؤثر بذلك كثيراً على تدرّجية النبيطة.

لقد كان التحدي لإيجاد عازل بوابة عالي الجودة على الجرمانيوم، مع كثافة للمصائد البيسطحية تضاهي أحدث ما توصلت إليه تقانة السليكون، يشكل المشكلة الأساسية في صناعة أنصاف النواقل لأكثر من خمسين عاماً. وخلافاً للسطح البيني بين السليكون وثنائي أكسيد السليكون Si/SiO_2 عالي الجودة، والذي يمكن إنماؤه حرارياً ثم تهميده باستعمال تقنيات التلدين، فإن الأبحاث الجارية على عازل البوابة في الجرمانيوم واجهت تحديات أكبر. ولا يمكن اكتساب الأداء الجيد من الجرمانيوم ذي الحركية العالية إلا باكتشاف سطح بيني كهذا بين العازل والبوابة. بدأت الدراسات المبكرة لنبائط MOSFET من الجرمانيوم بالبحث في ترسيب ثنائي أكسيد السليكون SiO_2 على الجرمانيوم المبني على ترسيب البخار كيميائياً. وقد دلت هذه الدراسات الأولية التي حاولت أن ترسب عازلاً من SiO_2 على الجرمانيوم، في درجات حرارة منخفضة، على وجود حالات مصائد بيسطحية، خفضت بشكل ملحوظ حركية حاملات الشحنة. لقد ركزت الأعمال التي أعقبت ذلك على الإنماء الحراري لـ GeO_2 وGeON، الذي حسّن كثافة المصائد البيسطحية بشكل أفضل من تلك التي تستعمل عملية ترسيب البخار الكيميائي، لكنها تظل غير محققة النوعية

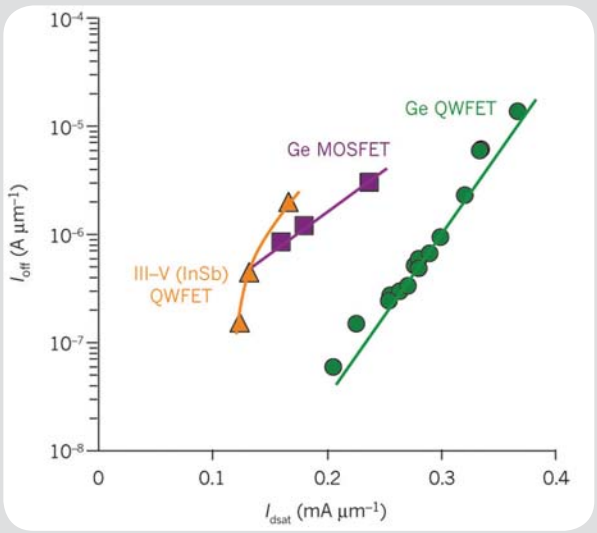
السائدة للسطح البيني Si/SiO_2. وبدلاً من هذه الطرائق التي شُكل فيها سطح بيني للعازل مباشرة على الجرمانيوم، فقد دُرس استعمال طبقة تغطية من السليكون التنضيدي، لتحريك السطح البيني للعازل إلى خارج الجرمانيوم. والفائدة الرئيسية لهذه التقنية هي أن تقنيات عازل السليكون التقليدي يمكن استخدامها بنجاح أكبر، إذ إن أكسيد البوابة لم يعد يجري تشكيله على الجرمانيوم بصورة مباشرة.

طرأ تجدد واضح، في السنوات القليلة الماضية، على البحث في عوازل للجرمانيوم في مجتمع نبائط أنصاف النواقل، صاحبه تقدم بارز على جبهات عدة. لقد مكّن العمل الذي جرى حديثاً على الإنماء الحراري المباشر لأكسيد الجرمانيوم GeON باستعمال تقنية أكسدة ونترجة الأوزون من الحصول على كثافة مصائد بيسطحية منخفضة وأقل تخفيض ممكن في حركية حاملات الشحنة في ترانزستورات MOSFET المصنوعة من الجرمانيوم. ونظراً لأن درجة الحرارة وضغط O_2 يجري ضبطهما بعناية أثناء الإنماء، مثلما تُضبط عمليات الإحماء بالنترجة اللاحقة، فقد أظهرت العوازل القائمة على GeO_2 مؤخراً كثافة مصائد بيسطحية منخفضة. وبدلاً من ذلك، فالترانزستورات المشكلة باستعمال تقنيات تكاثف الجرمانيوم، والتي يكون فيها عازل البوابة ثنائي أكسيد السليكون SiO_2 الذي ينشأ أثناء التكاثف، قد أبدت حركية معقولة في القناة. وفضلاً عن ذلك، فإن السطح البيني وتوصيف ترانزستورات لنبائط الجرمانيوم تكون عوازل البوابة فيها قائمة على غطاء من السليكون قد برهنت أيضاً مميزات جيدة للسعة بدلالة الفلطية capacitance-voltage characteristics مع كثافة منخفضة للمصائد البيسطحية. تكون حاملات الشحنة من نوع الثقوب الثنائية البعد في مكادس بوابات هذه النبائط، محصورة بالسطح البيني Ge/Si نظراً لوجود إزاحة في عصابة التكافؤ تبلغ 400-meV تقريباً بين هاتين المادتين. وبالإضافة إلى ذلك، فالمواد التي يكون فيها عازل البوابة κ مرتفعاً مثل HfO_2 وZrO_2 قد اندمجت بنجاح في مكادس بوابات جرمانيوم كهذه من دون تخفيض في خواص السطح البيني. وقد حقق الباحثون مميزات سعة–فلطية واعدة باستعمال مكادس بوابات ذات κ عالية وطبقة ثنائية مثل LaON/ HfO_2 وAl_2O_3/TiO_2. هذه الدراسات الحديثة تبين بوضوح تقدماً مهماً في المجال، مبرهنة أن السطوح البينية العازلة ذات النوعية الجيدة يمكن هندستها على الجرمانيوم. بيد أنه قبل إمكانية وضع مكادس بوابات على الجرمانيوم كهذه في حيز الاستعمال العملي في تقانة قابلة للتصنيع تحل محل السليكون، يبقى ثخن العازل، الذي يؤثر بقوة في تدرّجية الترانزستور وفي أدائه، مشكلة أساسية تحتاج إلى حل.

أحدث الطرائق والتقانات في صناعة ترانزستورات السليكون فيها مكادس بوابات ذات ثابت عزل κ عالٍ وTOXE أقل من 14 •. توجد فائدتان للعازل المترقّي scaled dielectric هما: الكهراكديات تكون أفضل ما يؤدي إلى تحسّن التدرّجية؛ وسعة البوابة تكون أعلى ما يؤدي إلى مزيد من الشحنة وتيار الدفع. العلامة المميزة التاريخية للمعطيات التي سجلت لأفضل نبائط الجرمانيوم مبينة في الشكل 4b. ومع أنه يمكن تحقيق سطوح بينية جيدة للعازل وبحركية عالية على الجرمانيوم، فإن هذه النبائط كلها تقريباً تكاد تتمتع بـ TOXE أكبر من تقانة السليكون السائدة اليوم بصورة ملحوظة. إن النبائط المبنية بمثل مكادس بوابات كهذه ستكون لها تدرجية وكثافة شحنة في حالة الوصل منخفضتان بشكل ملحوظ، فتسقط بذلك أي كسب في الأداء متوقع من تحسين الحركية على السليكون. ولما كانت TOXE مترقّية في مكادس بوابات الجرمانيوم هذه، فالحركية تتناقص بصورة ملحوظة. يؤكد هذا الاكتشاف التحدي الرئيسي الذي يجب مواجهته إذا أريد للجرمانيوم أن يصبح تقانة ناجحة. ينبغي أن يتركز البحث في عازل الجرمانيوم على إيجاد طرائق جديدة لتوسيع مكدس البوابة أثناء الحفاظ على حركية عالية للحاملات. لقد حصلت في السنة الماضية تحسينات كبيرة على هذه الجبهة في الدراسات باستعمال غطاء من السليكون وطبقات انتقال من GeO_x بين الجرمانيوم والعازل الذي له ثابتة عزل κ عالية.

نقل حاملات الشحنة وأداء القناة القصيرة

يتضمن الشكل 4c مقارنة النقل ذي القناة الطويلة في نبائط الجرمانيوم، مبيناً الحركية وكثافة الحاملات من أجل أحدث ما توصلت إليه التقانة في نبائط MOSFET وQWFET ذات القناة الطويلة. تبدي كل هذه النبائط مكاسب ملموسة في الحركية بالنسبة لحركية السليكون العالمية. تكون حركية ترانزستور البئر الكمومي QWFET المصنوع من الجرمانيوم عند TOXE مترقية ذات 14.5 •، أعلى من حركية ترانزستور MOSFET المصنوع من الجرمانيوم بأربع مرات تقريباً. تنشأ مكاسب الحركية هذه من التقليل من تبعثر الشوائب (نظراً لأن قناة البئر الكمومي غير مطعمة) كما تنشأ أيضاً من التحسين في الحركية (نظراً للانفعال الثنائي المحور). وعند TOXE أكبر، كأن تكون 110 •، فقد أمكن الوصول إلى حركيات ثقوب أعلى، بلغت أكثر من $1000cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ من أجل كثافة حاملات (n_s) تبلغ $5\times10^{12}cm^{-2}$، في ترانزستور البئر الكمومي المصنوع من الجرمانيوم. إن التحسينات الإضافية في الحركية، في هذه الدراسة، تحققت باستعمال حاجز SiGe ذي



الشكل-5 أداء القناة القصيرة لنبائط غير سليكونية من النوع p

العلاقة بين تيار التسرب في حالة الفصل (I_{off}) وتيار الدفع في حالة الإشباع (I_{dsat}) عند فلطية تغذية تبلغ 0.5 V من أجل أحدث نبائط من QWFET من الجرمانيوم ذات قناة قصيرة، وMOSFET من الجرمانيوم، وQWFET من المجموعة III-V (InSb). تتمتع النبيطة MOSFET من الجرمانيوم بأعلى أداء لنبيطة ذات قناة قصيرة من النوع p من أي بنية لنبيطة غير سليكونية.

تركيز أخفض للجرمانيوم كي يمنح انفعالاً ثنائي المحور أعلى في ترانزستور البئر الكمومي QWFET من الجرمانيوم.

رغم ما قد أحرز من تقدم بحثي في مدى سمك العازل على الجرمانيوم والحفاظ على حركية أعلى من حركية السليكون بصورة ملحوظة، إلا أن هناك عناصر مفتاحية أخرى عديدة ضرورية من أجل نبائط من الجرمانيوم ذات قناة قصيرة وأداء عالٍ. من هذه العناصر غرس (زرع) المصدر– المصرف ومخططات التماسات للتخفيف من مقاومة التماس الطفيلية أثناء إبقاء تأثيرات القناة القصيرة. ومن الناحية التقليدية، فإن النقل على التفرع في حاجز SiGe قد خفض بشدة تيار تسرب حالة الفصل في ترانزستورات QWFET، رغم أن تقدما قد حصل حديثاً في التخلص من مساهمته في التسرب الطفيلي. يحتوي الشكل 5 على أحدث المعطيات لنبائط الجرمانيوم ذات القناة القصيرة، وهو يبين العلاقة بين تيار الدفع في حالة الإشباع (I_{dsat}) وتيار التسرب في حالة الفصل (I_{off}) مقيسة عند توتر تغذية يساوي 0.5 V. تبين هذه المعطيات أن ترانزستورات QWFET من الجرمانيوم لها تقريباً ضعف تيار الدفع في حالة الإشباع لترانزستورات MOSFET من الجرمانيوم وترانزستورات QWFET من III-V.

التوقعات

إن صناعة أنصاف النواقل مستمرة في تحسين أداء الترانزستور، ولكن طرأ حديثاً تأكيد متنامٍ على تخفيض استهلاك الترانزستور للطاقة أيضاً. وتحقيقاً لهذه الغاية، كان هناك ازدياد في البحث عن مواد ذات حركية عالية لاستعمالها كقناة في الترانزستور. إن بنية هندسية من النوع CMOS قائمة على مواد غير السليكون وتعتمد على مواد ذات حركية عالية يمكن أن تؤدي إلى تخفيض ملموس في استهلاك الطاقة في الوقت الذي تحافظ فيه على الأداء. ورغم أن الترانزستورات ذات القناة من النوع n القائمة على مواد من III-V ذات الحركية العالية قد أبدت مكاسب ملموسة في الأداء مقارنة مع أحدث أنواع الترانزستورات المماثلة لها من السليكون، فإن الترانزستور المقابل من النوع p لم يُعرض بعد. بيد أن هناك أفقاً جديداً في الأبحاث الجارية على الجرمانيوم، الذي يتمتع بحركية ثقوب هي أعلى من أي حركية لمادة نصف ناقلة معروفة. وقد أُحرِز تقدم كبير في البحث من قبل الصناعة والأوساط الأكاديمية في مجالات رئيسية عديدة كما في دمج (تكامل) الجرمانيوم على السليكون، وتوليد عازل بوابة بنوعية عالية على الجرمانيوم، ودراسة نبائط MOSFET وQWFET من الجرمانيوم والنقل في قناتها الطويلة والقصيرة. إن هذه النتائج الحديثة مشجعة، ويبقى مجتمع نبائط أنصاف النواقل متحمساً بأن الجرمانيوم يمكن أن يكون خياراً ناجحاً لقناة من النوع p بالنسبة لبناء CMOS لاسليكونية في المستقبل.

رافي بيلاريسستي *Ravi Pillarisetty* من مجموعة أبحاث وتقانة وتصنيع المكونات الإلكترونية، مؤسسة إنتل، هيلسبورو، الولايات المتحدة الأمريكية.

نُشر هذا المقال في ***Nature, vol 479, 17 November 2011***، ترجمة **د. محمد قعقع**، رئاسة هيئة التحرير.

جدل حول الطاقة النووية في فرنسا

بعض المعطيات والتعليقات – وجهة نظر الجمعية الفرنسية للطاقة النووية (SFEN)

أطلق حادث محطة فوكوشيما-داييشي في اليابان الجدل حول الطاقة النووية والسياسة الطاقية. وتبدو لنا بعض التحليلات المتعلقة بهذا الحادث كاريكاتورية وبدون أية أسس موضوعية، بشكل خاص فيما يتعلق بالمحاسن الاستراتيجية والاقتصادية للطاقة النووية، من حيث أمانها وتأثيرها البيئي، وأيضاً مسألة إدارة النفايات النووية المرتبطة بها... الخ. نعرض هنا، وبشكلٍ مختصر، بالمقابل، بعض المعطيات والاستنتاجات الرقمية، على هيئة تعليقات يظهر لنا أن الأخذ بها بعين الاعتبار سيكون مفيداً من أجل إطلاق حوار جيد متعدد الجوانب.

هيئة الطاقة الذرية السورية

الكلمات المفتاحية: طاقة نووية *nuclear energy*، محطة فوكوشيما داييشي *Fukushima Daiichi central*، حادثة تشرنوبل *Chernobyl accident*.

وبدايةً، أدلة إجمالية: الطاقة النووية هي إجابة عن مسألتين كبيرتين -طاقية ومناخية- يجب على العالم مواجهتها.

لم يخفِ الحادث النووي لمفاعل فوكوشيما–داييشي في اليابان الأسباب التي تدعو إلى القيام بتنمية معزّزة للطاقة النووية على الصعيد العالمي.

فمن 5.6 مليار نسمة، عدد سكان كوكب الأرض حالياً، سيزداد إلى 9 مليارات نسمة في العام 2050. وهذا ما سيُحدث ارتفاعاً كبيراً جداً في الطلب على الطاقة: بدايةً، بكل تأكيد، من أجل التواؤم مع النمو السكاني، وأيضاً من أجل تحسين سبل الوصول للطاقة للسكان الأكثر حرماناً.

يعيش حالياً حوالي 4 مليارات نسمة في ظروف حياتية غير مريحة، أو في عوزٍ طاقيٍّ، حتى أن 1.5 مليار منهم، لم يحصلوا بعد على الطاقة الكهربائية! وهذا يعني حتى لو كنا نحن (الدول الغنية = مليار نسمة بالمجمل) قد نجحنا في التقليل وبشكلٍ كبيرٍ من استهلاكنا للطاقة، فسوف يجب على العالم في الأحوال كافة إنتاج كميات أكبر من الطاقة خلال العقود القادمة، بشكلٍ خاص، على شكل طاقة كهربائية.

هذا، وإن مصدرنا الأساسي للطاقة، وهو الوقود الأحفوري (نفط، فحم حجري وغاز، حوالي 85% من الطاقة العالمية) هو في طريقه للنضوب بشكلٍ متسارع. ضمن هذه الشروط، فإن ما يمكن أن تقدّمه الطاقة النووية، سيكون قادراً على تأمين إنتاج متواصل وبكميات هائلة من الطاقة الكهربائية، وهذا ما يبدو مهمّاً من أجل المساهمة في إرضاء الحاجات العالمية. وبذلك يبدو عملاً غير مسؤولٍ صرف النظر عن هذه المسألة، والقول بأن أحداً لا يستطيع أن يتنبأ ماذا سيكون عليه الوضع الطاقي لكوكب الأرض خلال السنوات الـ 20، والـ 30، والـ 50 القادمة.

وبقدر ما تتم تنمية موارد الطاقة النووية (في البلدان التي تمتلك مقومات القيام بذلك)، بقدر ما يكون الابتزاز أقلّ أهمية حول مخزونات الوقود الأحفوري، التي تُعدُّ ضرورية من أجل سير الحركة الاقتصادية في البلدان الفقيرة. وبعيداً عن موضوع الضمانة، للمؤونة وما تمثله، تبدو الطاقة النووية كعاملٍ مهدئ للمخاوف الطاقية العالمية، وكعنصرٍ لضبط أسعار المواد الأولية الطاقية.

إن الطاقة النووية، التي هي على عكس الوقود الأحفوري، غير مصدرة، بشكلٍ فعليٍّ لغاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2، ستكون من جهةٍ أخرى كردٍ على مسألة بيئية كبرى، ستواجهها الإنسانية: ألا وهي ظاهرة الاحترار المناخي.

نجاعة الطاقة النووية تجاه الاحترار المناخي

من أكثر من 30 مليار طن من غاز CO_2 التي يتم إطلاقها سنوياً، بفعل النشاطات البشرية، والتي ترتبط بإنتاج الطاقة، من الواجب "اختصارها" إلى مقدار النصف، أي ما يعادل 15 ملياراً من أجل الحدّ من حدوث اضطراب للمناخ، بمعدلات دراماتيكية خطيرة. فإذا جرى تطوير القدرات المتعلقة بالطاقة النووية منفردة خلال السنوات العشرين القادمة (مضاعفتها أو تطويرها بنسب أكبر من القدرات الحالية)، فسيكون بإمكانها تقليص حوالي 5 إلى 6 مليارات. وهذا ليس كلّ الحلّ لهذه المشكلة، ولكن ذلك سيُعدُّ بمثابة خطوة كبيرة باتجاه الوضع الذي نصبو إليه! (حالياً، يُستعاض بالطاقة النووية عن استخدام محطات الوقود الأحفوري، وهذا ما يسمح بتجنب حدوث انبعاثات لغاز CO_2 باتجاه الغلاف الجوي بحوالي 2.3 مليار طن في السنة).

وعلى الرغم من الإجراءات المتخذة (على أثر بروتوكول كيوتو (Kyoto)، المتضمن ضريبة الكربون..)؛ فإن الزيادة في انبعاثات غاز CO_2 قد بلغت حالياً مستويات مقلقة. فبدلاً من خفض الانبعاثات نحو 15 مليار طن، كقيمة ملائمة، نجد أن الارتفاع يُقارب 40 مليار طن من الانبعاثات السنوية. ومن أجل كبح أو فرملة قيمة هذا الارتفاع بشكلٍ معاكس، تبدو مساهمة الطاقة النووية عاملاً حاسماً. ومن دونها، سيصبح العالم، إذن، على خطى منحى الميل السيئ وتفاقم ظاهرة الدفيئة (البيت الزجاجي)، وهذا ما يُعدُّ خطأً بيئياً كبيراً.

أكدت سيناريوهات التنبؤ الطاقي التي تعرضها المنظمات الدولية الكبرى (الوكالة الدولية للطاقة، المجلس العالمي للطاقة): أنه ضمن الفرضية التي بموجبها تتم تنمية الطاقة النووية بالشكل الأكبر (بشكلٍ موازٍ مع الطاقات المتجددة)، سيتم السيطرة على ظاهرة الاحترار المناخي بشكلٍ أفضل. لن تكون الطاقة النووية الحلّ الكلّي إزاء ظاهرة الاحترار المناخي، ولكن بدونها لن يكون الحلُ واضحاً.

الثلاثي الفعّال: الاعتدال في استهلاك الطاقة + الطاقات المتجددة + الطاقة النووية

إن السيناريوهات التي تستبعد مستقبلاً الطاقة النووية من المزيج الطاقي العالمي، تستند على مستوىً عالٍ جداً من الاستهلاك الطاقي، وتنمية الطاقات المتجددة بشكلٍ أسّي من أجل سد العجز في ميزان طاقة الكوكب. واستناداً إلى حقائق فنية واقتصادية واجتماعية للعالم المعاصر، تبدو هذه الفرضيات كلياً غير واقعية، ويُخشى من أنها ستبدّد الأمنيات الخيّرة. إذ

يجب ألا يستند المستقبل الطاقي والمناخي لكوكب الأرض على سيناريوهات تبدو كتصورات وهمية.

فكما تظهر الدراسات المعدّة من قبل المنظمات الدولية، لمواجهة التحدي الطاقي والمحافظة على المناخ، هناك ثلاثة إجـراءات إضافية يجب أخذها بعين الاعتبار: الاقتصاد في استهلاك الطاقة، وتنمية الطاقات المتجددة، وتنمية الطاقة النووية. وفي حال استبعاد أيٍّ من هذه الإجراءات الثلاثة، لن يكون النظام أبداً على سوية الرهانات.

ولهذا السبب، من السخف تبنّي حرب الطاقات ووضع الطاقات المتجددة وجهاً لوجه مقابل الطاقة النووية. وهذا لن يكون على أشكال بدائل بل كعملية جمعية يجب تبريرها. لأنه استناداً إلى الوضع العالمي، فإن الجمع بين الطاقات المتجددة والطاقة النووية فقط هو الذي يسمح بإدارة بديل وحيد بمقياسٍ كافٍ استبدال الطاقات الأحفورية بالطاقات غير المصدرة لغاز CO_2.

وإذا ما أردنا أن ننقل لأطفالنا عالماً يمكن العيش فيه، إلى حدٍّ ما، سيكون التحدّي الفعلي والصحيح هو الخروج من "كلّ ما هو أحفوري". وإن المثابرة بشكلٍ فاعلٍ في هذا المنحى، تفترض أن تأخذ الطاقة النووية مكانها كاملاً ضمن الحزمة الطاقية لمجتمع الغد.

مخازين اليورانيوم: لقرون أم لعدة آلاف من السنين

تُعدُّ الموارد العالمية لليورانيوم كافية من أجل القيام بأعمال تنمية مستدامة للطاقة النووية تمتد لعدة قرون. وإن هؤلاء الذين يعلنون عن نفاذ مخزونات اليورانيوم لم يبذلوا الجهد اللازم لوضع الجمهور بصورة هذه المسألة!

تُقدَّر كمية الموارد المعروفة بحوالي 6.3 مليون طن (من: "اليورانيوم 2009، موارد وإنتاج وحاجة"، تقرير OCDE-AEN و AIEA). يمثل هذا المخزون استمرارية لمدة تزيد عن 100 سنة باعتماد المعدل الحالي للاستهلاك المقدر من قبل النادي النووي العالمي.

ويجب أن يضاف إلى هذا الرقم الموارد الأخرى غير المحدّدة، كتلك التي بيّنت الاستكشافات وجودها، والتي لم يتم الأخذ بها بعين الاعتبار حتى هذا اليوم لأسباب تتعلق بالريبة أو الشك: تمّ تقديرها بحوالي 10.3 مليون طن. يستطيع إجمالي كلا الصنفين من الموارد، أي 16.6 مليون طن من اليورانيوم، أن يضمن فترة عمل زمنية من مرتبة 250 سنة لمنشآت النادي النووي العالمي.

وباستخدام هذه الكميات في المفاعلات النووية من الجيل الرابع –مفاعلات فائقة التوليد بنترونات سريعة، والتي سيكون لها قدرة ريعية أكبر بحوالي 60 مرة من المفاعلات الحالية من الجيلين الثاني والثالث– ستستطيع الموارد العالمية لليورانيوم المحدّدة حالياً تغذية مفاعلات النادي النووي العالمي لعدة آلاف من السنين.

الأمان: الطاقة النووية ذات محصلة أفضل مقارنةً بالمصادر الكبيرة الأخرى لإنتاج الكهرباء

لا يستطيع أيّ مصدرٍ من المصادر الكبيرة المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية (فحم حجري، نفط، غاز، طاقة كهرومائية، طاقة نووية) أن يتمتع بمخاطر صفرية. ولهذا يجب إذن أن تُقيّم بشكلٍ عبر المقارنة من خلال طرح سؤال أساسي، يقوم بطرحه كلّ تجمعٍ إنساني من أجل تحقيق الحصول على الطاقة الكهربائية، ألا وهو: ما هي الطاقة الأقلّ خطراً على الحياة والصحة العامة لعموم الناس؟ أظهرت الحصيلة العالمية التي تمّ إعدادها في نهاية فترة امتدت لخمسين عاماً من الاستثمار لهذه الطاقات، وبدون أدنى التباس، بأنها الطاقة النووية.

وبشكلٍ آخر، يمكن شرح هذه المعاينة من خلال الدراسة التي قامت بها الأكاديمية الفرنسية للطب "تقييم مخاطر الخيارات الطاقية على الصحة" (التوصية الصادرة بتاريخ 1/7/2003) التي تتضمن، بأنه من بين الوسائل الكبرى لإنتاج الطاقة الكهربائية كافة، كانت الطاقة النووية "الوسيلة ذات التأثير الأقلّ على الصحة لإنتاج 1 كيلو واط ساعي". ورغم أن دراسات عديدة قد أكدت صحة هذه النتيجة (انظر الملاحظة 1)، فقد أخذت هذه التقييمات بعين الاعتبار، على وجه الدقة، حادثة تشيرنوبل (تقديرات عدد القتلى من مرتبة 4000 ضحية مع ظهور أعداد كبيرة جداً من الأمراض الناجمة عن الحادثة). إن الأخذ بعين الاعتبار للحادث النووي لمفاعل فوكوشيما–دايشي لن يغيّر شيئاً من نتائج هذه المقارنات.

وبدون الدخول في تفاصيل الإحصائيات، يتبيّن أن الحوادث الناجمة عن استثمار الطاقات الأحفورية والطاقة الكهرومائية (الهيدروليكية) تكلّف سنوياً بين 12000 و15000 قتيلاً من بين العمال وعموم الناس المدنيين (بدون حساب الأمراض وضحايا حوادث المرور). لا شيء من ذلك تحدثه الطاقة النووية، والتي تبدو مخاطرها عند مستوى أقلّ بكثير، مع عددٍ محدودٍ من الحوادث النووية المميتة التي قد تطال عدة أشخاص فيما يتعلق بحالة المفاعلات النووية التي تعتمد على التقانة الغربية، ومع أضرار

صحية محدودة نسبياً، قد تصيب فقط عمال مناجم اليورانيوم (أنظر المراجع في الملاحظة 1).

إن هذه "الخطورة" الأقلّ للطاقة النووية بالمقارنة مع الطاقات التقليدية الأخرى تعود لسببين رئيسين:

- إن عمليات المعالجة والنقل في حالة الطاقة النووية تتم مع مواد، تُعدُّ بالتأكيد خطيرة جداً، ولكنها بحجوم صغيرة إلى حدٍّ كبيرٍ بالمقارنة مع تلك المرتبطة بالطاقات الأحفورية: حيث يتم على سبيل المثال التعامل مع كميات مكدسة بملايين الأطنان من الفحم الحجري أو النفط، بينما في حالة الطاقة النووية ومن أجل إنتاج كمية مكافئة من الكهرباء، لسنا بحاجة سوى لبضع مئات الكيلو غرامات من اليورانيوم. إن هذا الفرق الشاسع في المقياس قد قلص بشكلٍ كبيرٍ من مجال العمليات الواجب القيام بها، كما سمح بالسيطرة بشكلٍ أفضل على المخاطر المرتبطة بمختلف مراحل هذا الحقل الطاقي.
- إن مخاطر الطاقة النووية تتجلى بشكلٍ شبه حصري من خلال التعرض للأشعة (حتى إذا لم نستبعد مخاطر تفاعلات الانفجار التي يمكن أن تحدث ضحايا مباشرة في بعض المخابر أو المصانع، ولكن هذه الحالة تبقى نادرة الحدوث).

إن المنظمة المكلفة بالوقاية من هذا النشاط الإشعاعي هي، في معظم الحالات، قادرة على التعامل بفاعلية أكبر، وتكون قادرة بشكل أفضل على السيطرة على الحوادث، بالمقارنة مع المخاطر المتعددة المرتبطة بالتعامل مع الطاقات التقليدية. يمكن إرجاع هذه المخاطر المتنوعة بشكلٍ أساسي إلى أربعة أنماط من الحوادث التي يمكن أن تكون ذات مخاطر كبيرة: حوادث غازات المناجم، والانفجارات، والحرائق وانهيارات السدود. تزداد المخاطر الناجمة عن حوادث هذه الطاقات بشدة مع زيادة كميات المواد المستخرجة والمعالجة أو التي يتم نقلها، وهذا ما يتطلب إشراك أعداد كبيرة جداً من الأشخاص، وإجراء أنماط عديدة من العمليات.

ومع الأخذ بعين الاعتبار لهذه الحقائق الفنية، وبدون تجاهل الأخطار المرتبطة باستخدام الطاقة النووية، فإن الجمعية الفرنسية للطاقة النووية (SFEN) لم تستبعد أبداً إمكانية حصول حوادث نووية خطيرة عند القيام بأعمال الإنشاء –كما أنه ليس باستطاعتنا إلا أن نقيّم التصريحات التي صنّفت الطاقة النووية كطاقة جانبية، ذات مخاطر "غير آمنة"، وكخطر "غير مقبول ولا يمكن حسابه" بالمقارنة مع المخاطر التي يمكن أن تحدثها الطاقات الأخرى، إلا بأنها آراء مبالغ فيها وسلبية. وبكل تأكيد يمكن لحادث نووي خطير أن يجبر آلاف الأشخاص من السكان في جوار النطاقات المّصابة بملوثات إشعاعية على إخلاء منازلهم. ولكن مثل هذه الحالات تبقى حوادث نادرة بشكلٍ كبير. كما يجب عدم إضاعة الفرصة في تقييم الحصيلة النهائية، من حيث صحة الأفراد وأمنهم.

في الحقيقة، أدى استخدام الطاقة النووية لأغراض إنتاج الكهرباء إلى حدوث أعداد أقلّ من القتلى خلال خمسين عاماً من الاستثمار بالمقارنة مع بقية المصادر الأخرى لإنتاج الطاقة الكهربائية، التي يمكن أن تُحدث خلال عام واحد فقط، العدد ذاته، وفقاً لمتوسطات إحصائية. وعلى ضوء هذه المعاينة، يمكن القول بأن التنمية العالمية للطاقة النووية، المستبدلة بشكلٍ جزئي خلال السنوات الخمسين المنصرمة، بدلاً من الطاقات الأحفورية، قد شكلت تقدماً حقيقياً من أجل أمان عموم الأفراد وصحتهم.

ماذا يمكن فعله للتخلص من النفايات النووية

إن الفكرة التي وفقاً لمضمونها "لا نعلم ماذا نفعل" للتخلّص من النفايات المشعّة هي فكرة خاطئة تماماً. ففي فرنسا، تتم إدارة أنماط النفايات كافة، وفقاً لطرائق وإجراءات محدّدة بدقة، تأخذ بعين الاعتبار ميزاتها الخاصة، علماً بأن ثلثي هذه النفايات ناتجة عن برامج إنتاج الكهرباء انطلاقاً من استخدام الطاقة النووية، أما الثلث الباقي فيعود للقطاع الصحي والبحث العلمي والصناعة والدفاع الوطني.

وسواءً تمّ تخزين النفايات النووية بشكلٍ دائم أو تمّ تكديسها في مواقع مؤقتة، يبقى المبدأ الفني الذي يتحكّم بعملية إدارة هذه النفايات واحداً: وهو طمرها بشكلٍ مستقرٍ في بنيات كتيمة. إن إدارة هذه النفايات لفترات طويلة في فرنسا، استناداً لهذه التقانات، قد أظهر أن النفايات النووية لم تحدث أية أضرار معنوية على الأفراد أو البيئة.

إن أكثر من 90% من النفايات (متوسطة، ضعيفة، ضعيفة النشاط الإشعاعي جداً بأعمار نصف قصيرة) تتبع لخطوات متسلسلة تقود إلى عمليات تخزين نهائية ضمن ثلاثة مراكز مكرّسة لهذا الغرض: المانش (Manch) وسولين (Soulaines) ومورفيه (Morvilliers). ومن أجل النفايات النووية ذات عمر النصف الطويل، هناك مركزان متوقعان: تخزين تحت سطح الأرض من أجل النفايات ذات النشاط الإشعاعي الضعيف؛ والتخزين ضمن طبقات جيولوجية عميقة من أجل النفايات المتوسطة والعالية النشاط الإشعاعي (تخزين قابل للاسترجاع). ووفقاً للقانون، سيتم وضع هذا التخزين موضع الخدمة في عام 2025.

إن حجم النفايات ذات النشاط الإشعاعي العالي (رماد وقود اليورانيوم) محدود جداً: أقلّ من 3000 م^3 في الوقت الحالي (إجمالي الإنتاج منذ بداية إطلاق البرنامج النووي الفرنسي)، وهذا ما يعادل جناحاً واحداً بطبقتين. إن وضع هذه النفايات على شكل كتل أو ألواح ممزوجة مع الزجاج (خلائط زجاجية) في حاويات مصنوعة من الفولاذ، يُمكّن من استرجاعها وإعادة عملية تخزينها ضمن خلايا أو معاقل خاصة يمكن إدارتها في داخل طبقة جيولوجية مستقرة وكتيمة على عمق 500-400 م.

وهناك توافق دولي قد تمّ إقراره بأن هذا التخزين الجيولوجي سيسمح بعزل النفايات النووية عن الغلاف الحيوي لزمن تكون عنده قيمة النشاط الإشعاعي لهذه النفايات قد تراجعت إلى مستويات مهملة. إن السيناريوهات كافة، بما فيها الفرضيات الأكثر تشاؤماً، قد أظهرت أن مثل هذا التخزين يقدم ضمانة قوية جداً بأن هذه النفايات لن يكون لها أية مخاطر غير مقبولة على النسل والأجيال القادمة.

الاستقلال الوطني واستيراد اليورانيوم

لا وجود للغاز، ولا للنفط ولا للفحم الحجري، ومن أجل كنس تأثير هذا العوز في الموارد الطاقية عن سطح الأراضي الفرنسية، قرّرت فرنسا خلال عام 1970 المضي قدماً في المجال النووي من أجل إنتاج ما يلزمها من الطاقة الكهربائية. وبفضل هذه الطاقة أصبح هذا البلد قادراً على إنتاج ما يحتاج إليه من التيار الكهربائي بوسائله الذاتية بدون أية معوقات خارجية.

وضمن منظور دولي يسيطر عليه ندرة مواد الوقود الأحفوري وارتفاع أسعارها، فقد شكّلت الطاقة النووية، بالنسبة لفرنسا، خياراً استراتيجياً رئيساً. وهذا ما وضعها في مأمن من مخاطر"اضطرابات الأسعار" والمطبات، والأزمات، ومخاطر الحظر، التي يمكن أن تؤثر على الأسواق الدولية للطاقة، وتضمن لها الاستقلال في هذا القطاع الأساسي، الذي يتمثل بقطاع إنتاج الطاقة الكهربائية.

ندرك في بعض الأحيان وجود تعارض مع فكرة الاستقلال هذه بذريعة أن اليورانيوم المستخدم لتغذية مفاعلاتنا النووية، هو مادة مستوردة. في الحقيقة، وبتدخل المجموعة الدولية لقطاع الطاقة النووية (Areva) ووساطتها، فقد حصلت فرنسا على حقوق الملكية لمخازين مهمّة جداً من اليورانيوم في أمريكا، وأفريقيا وآسيا. تُعدُّ مجموعة (Areva) حالياً المنتج العالمي الأول لليورانيوم، حيث تقوم بإدارة هذه الموارد الموجودة فوق أراضي ثلاث قارات واستثمارها، وهذا ما يشكل محفظة نقود لمخازين مملوكة للدولة من مرتبة 225 ألف طن، أي ما يعادل استهلاكاً لمدة 35 عاماً للنادي الوطني لقطاع إنتاج الطاقة الكهرونووية بشكله الحالي. يجب أن يُضاف إلى هذا المورد المتوافر بشكل حر مخازين اليورانيوم الموجودة فوق أراضينا، المكافئة لمدة ثلاث سنوات من الاستهلاك. كما يجب التذكير بأهمية مخازين اليورانيوم المستنفد والبلوتونيوم اللذين يمكن إعادة استحضارهما بعد عمليات إغناء وإعادة معالجة. يمثل هذا المخزون مكمناً طاقياً هائلاً قادراً بشكل جيد على استئناف تزويد هذا البلد بالحاجات من الطاقة الكهربائية لفترة زمنية تمتد لما بعد هذا القرن (انظر الملاحظة 2).

إن هذا الوضع سيضمن لفرنسا السيطرة الكاملة على موارد اليورانيوم والمؤونة من الوقود لتشغيل مفاعلاتها النووية، وذلك في ظل سيادة كاملة وعلى المدى البعيد جداً. نستطيع القول إذن، وبشكلٍ مشروع، إن استقلال فرنسا تدعمه الطاقة النووية في مجال إنتاج الطاقة الكهربائية.

مصلحة اقتصادية جيدة من أجل فرنسا

وإضافة لهذا الاستقلال، تبدو الطاقة النووية كمصلحة اقتصادية جيدة جداً من أجل فرنسا. وبدايةً، وباعتبارنا نتحدث بلغة الاقتصاد، فإن العنصر الأول الأساسي الذي يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار (والذي غالباً ما يمرّ بصمت) هو أن الطاقة النووية تسمح لفرنسا بإقامة اقتصاديات هائلة فيما يتعلق بمصاريفها الخارجية. فلو أن فرنسا لم تمتلك أي برنامج نووي، لكان واجباً عليها بالتالي شراء الوقود من الخارج –في حالة الغاز– الضروري لإنتاج 80% من الكهرباء التي تحتاج إليها، وهذا ما سيكلفها ضمن الظروف الحالية للسوق ما بين 20 إلى 25 مليار يورو كلّ سنة. ونستطيع تخيل هذا المبلغ، أيضاً، كرقم فلكي خيالي لمثل هذه الفاتورة في حالة أكثر احتمالاً لارتفاع أسعار الغاز في المستقبل. وما هذا إذن سوى ابتزاز حقيقي للثروة الوطنية يتكرّر سنوياً، والذي استطاعت فرنسا تجنّبه بفضل الطاقة النووية (انظر الملاحظة 3). وهنا تكمن المصلحة الأساسية الواجب أخذها بعين الاعتبار عندما نرغب بتقييم منعكسات الطاقة النووية على اقتصاد البلد (ويجب أن نتمنى على هؤلاء الذين يقومون برفع الدعاوى على الاقتصاد النووي في فرنسا أن يأخذوا بعين الاعتبار اخيراً هذا العامل الرئيس في مبرّراتهم). ومن المنعكسات المباشرة التي يجب الإشارة إليها أنه بدون الطاقة النووية سيصبح الميزان التجاري لفرنسا، الذي يعاني منذ عدة سنوات من عجز ثقيل، في وضعٍ من الصعب تحمله، وهذا ما سيمثّل إفقاراً للبلد.

وبفضل هذا الخيار، أصبحت فرنسا المصدر العالمي الأول للتجهيزات والخدمات النووية، برقم تعاملٍ من مرتبة 6 مليارات يورو كمتوسط سنوي. تُعدُّ المنتجات المُصدَّرة هذه كأحد عوامل الربح الأكثر أهمية لميزاننا التجاري، والسند الداعم داخل حدودنا لعدة آلاف من الوظائف.

كما تمثّل الطاقة النووية من أجل مستهلكي الطاقة الكهربائية في فرنسا مصلحةً عظيمةً! باعتبار أن كلفة الإنتاج للكيلو واط الساعي الواحد باستعمال الطاقة النووية تُعدُّ أكثر تنافسية (أقل بمقدار 5% إلى 25% بالمقارنة مع إنتاج كيلو واط ساعي واحد باستعمال الفحم الحجري والغاز)، وهذا ما سيسمح للمستهلكين، بشكلٍ خاص بتحقيق الأرباح من طاقة كهربائية بسعرٍ جيد، مع نفقات أقل بحوالي 35% بالمقارنة مع تلك للمتوسط الأوربي. ففي عام 2009، على سبيل المثال، كان سعر الكيلو واط الساعي الواحد في فاتورة المواطنين الفرنسيين 11.4 سنتيم (جزء بالمئة) من اليورو، مقابل 17.6 في إسبانيا، و 22.3 في ألمانيا، و 24.6 في الدانمارك و 25.2 في إيطاليا. (المصدر: يوروستات Eurostat). ويمكن ملاحظة ذات الفروقات من أجل أسعار التعرفة للشركات.

تجدر الإشارة إلى أن كلفة إنتاج الكيلو واط الساعي الواحد تتضمن، على العكس مما يؤكده البعض، مجمل العمليات المرتبطة بالسلسلة النووية، بما في ذلك، بشكلٍ خاص، جزءاً كبيراً للنفقات الخاصة بالبحث والتطوير (R&D) (برسم القطاع المدني)، الذي يقدر بحوالي 10% من كلفة الحصول على كيلو واط ساعي واحد، ومن ضمن ذلك كلف التنبؤات والنفقات المرتبطة بمعالجة الوقود المستخدم، وعمليات تخزين النفايات وعمليات تفكيك المنشآت النووية في المستقبل، التي تقدر بنحو 20% من كلفة إنتاج الكيلو واط الساعي الواحد (المصدر: المكتب البرلماني لتقييم الخيارات العلمية والتقنية OPECST).

إن كلف تفكيك المفاعلات النووية والمنشآت الأخرى ليست مؤجلة لتقوم الأجيال القادمة بدفعها مستقبلاً، وذلك على العكس من فكرة رائجة بشدة. فهناك تنبؤات تتم بشكلٍ سنوي من قبل شركة كهرباء فرنسا (EDF)، والمفوضية الفرنسية للطاقة الذرّية (CEA)، والمجموعة الدولية لقطاع الطاقات النووية والمتجددة (AREVA)، من أجل مواجهة النفقات المستقبلية. وهذا يعني أنه عندما نسدد حالياً فواتيرنا الكهربائية، نكون قد قمنا بدفع نفقات عمليات التفكيك المستقبلي للمفاعلات، والمصانع والمنشآت النووية الأخرى، بالإضافة إلى نفقات عمليات إدارة النفايات النووية المرتبطة بها. وبذلك، لن نترك للأجيال القادمة فيما بعد أية ديون يجب دفعها. أظهرت التنبؤات التي قامت بها شركة كهرباء فرنسا حتى هذا التاريخ وجود كلف بقيمة حوالي 30 مليار يورو، خاضعة للتأمين بشكلٍ تصاعدي (وفقاً لمتطلبات القانون حول النفايات الصادر بتاريخ 28 حزيران/يونيو 2006)، على شكل التزامات مالية، والتي كانت بقيمة 15 مليار يورو في عام 2010. وترتفع الكلف الإجمالية وفقاً للتنبؤات المعدة من قبل المفوضية الفرنسية للطاقة الذرّية (CEA)، والمجموعة الدولية لقطاع الطاقات النووية والمتجددة (AREVA)، إلى 10 مليارات يورو. يتم إعادة تقييم هذه التنبؤات، من سنةٍ إلى أخرى وبمعدل تخميني معتمد من مؤسسات المجتمع المدني والـ OPECST.

إن المنافسة الاقتصادية للطاقة النووية ليست ثمرة مساعدات مستترة مستمدة سراً توضع في فم المكلفين. إن المساعدات التي تقدمها الدولة لشركة كهرباء فرنسا قد تمّ إيقافها في عام 1982، و من خلال مبيعاتها من الكهرباء، لا تحتاج الشركة أية مساعدات حكومية. يتم تمويل الصناعة النووية بشكل ذاتي منذ 30 عاماً، وتُعيد الشركة إلى المكلفين أكثر بكثير مما دفعوه من كلفة (على شكل ضرائب عن الأرباح وضرائب محلية عن التجهيزات).

على قاعدة التقلبات الطاقية والمناخية المؤثرة على أسواق الوقود الأحفوري، من المحتمل أن نجد درجة المنافسة التي تتمتع بها الطاقة النووية قد تعزّزت بشكل ملموس، وتمّ الإقرار بها بشكل شرعي على المسرح العالمي، ومن ضمنه فرنسا التي ليس لديها سوى خيار الإفادة منها.

الخروج من الطاقة النووية = تراجع ثلاثي

تستند سيناريوهات الخروج من الطاقة النووية على فرضيات التوفير في الطاقة وتنمية الطاقات المتجددة، التي تبدو بالنسبة لنا غير واقعية كلياً. وهذا ما سيُحدث خلال العقود القادمة وبشكلٍ لا يمكن تفاديه تراجعاً كبيراً إلى حدٍّ ما، وهذا ما يبدو غير مقبول في لحظة يتجه فيها الجميع نحو تقليص الانبعاثات من غاز CO_2.

تراجع استراتيجي. ستفقد فرنسا عند خروجها من الحظيرة النووية استقلالها الذي ضمنته هذه الطاقة، وستصبح كدولة رافدة للسوق الدولي للغاز، الذي تسيطر عليه وتتحكم به الدول الثلاث المنتجة الأولى في العالم، ألا وهي روسيا وإيران وقطر. إن حالة الارتباط هذه ستكون بمثابة حاجز أو عائق في الاتجاه الصحيح

باعتبار أن بلدنا سيعتمد مستقبلاً على جزء كبير من مؤونته من الكهرباء على المواد الأولية التي هي بدورها على طريق النضوب، والتي ستتجه أسعارها بكل تأكيد نحو الارتفاع، والتي ستصبح من حيث ضمانة الوفرة من قليلٍ إلى أقلّ في خضم أسواق مضطربة.

تراجع اقتصادي. سيقوم الفرنسيون بدفع فواتير الكهرباء بأسعارٍ أعلى. ويجب عليهم كلّ عام تسديد فاتورة غازية بقيمة مليارات عديدة من اليورو. إن هذا الابتزاز للثروة الوطنية سيتضمن، من ناحية أخرى، حالةً من تشتت حقيقي لقدراتنا الاقتصادية. كما سيُخسِّر البلد حسنة التنافسية المرتبطة بالطاقة النووية، وبذلك يجب عليه ضمان التأقلم مع أسعار جديدة لكل كيلو واط ساعي واحد من طاقات بأسعار أكثر ارتفاعاً بشكل واضح. في الوقت ذاته، سيصبح من الصعوبة بمكان تحصيل تلك الفاتورة بقيمة 6 مليارات يورو وإدخالها كلّ عام من خلال عمليات التصدير للتجهيزات والطاقة الكهرونووية.

تراجع بيئي. أخيراً، وبعد أن نجحت فرنسا في وضع نظام لإنتاج الكهرباء لا يقوم عملياً بإصدار أية غازات لها تأثير سلبي على البيئة، سيعود هذا البلد إلى نظام بائد يقذف خلاله كلّ عام ملايين الأطنان من غاز CO_2 باتجاه الغلاف الجوي، وهذا ما سيؤدي لتفاقم ظاهرة الاحترار المناخي!

لا نرى ماذا ستجني فرنسا بخروجها من الحظيرة النووية، ولكن ما نراه جيداً هو كلّ ما ستخسره!

ملاحظات:

① إن نتائج الأمان للطاقة النووية ليست موضع خلاف، وهذا ما تمّ استخلاصه من كلّ الدراسات والتحقيقات الصادرة منذ عدة سنوات حول هذه المسائل. يمكن أن نستشهد بشكل خاص بدراسات أخرى قامت بها الأكاديمية الفرنسية للطب، بعنوان: «الحوادث العنيفة في القطاع الطاقي»، وهي من إصدارات معهد بول شيريه (Paul Scherrer)، سويسرا، 1998؛ ودراسة بعنوان «تحليل اقتصاديات خيارات متنوعة لتوليد الطاقة الكهربائية: آخذين بالاعتبار التأثيرات الصحية والبيئية»، إعداد نيلس ستارفيلد (Nils Starfelt) وكارل–ايريك ويكدال 2010 (Carl-Erik Wikdahl)؛ ودراسة خارجية منفذة منذ 1995 من قبل المفوضة الأوربية والمُحدَّثة بشكل دوري، حول الأضرار الصحية والبيئية، تقارن بين مختلف أنماط الطاقة. نستشهد أيضاً بالدراسات الوبائية –التي يوجد منها حالياً أكثر من 100 دراسة، والقائمة في بلدان عديدة في جوار 200 موقع نووي والتي لم تُظهِر، لدى السكان المجاورين والبيئة، أية أضرار صحية يمكن أن تُعزى إلى المحطات النووية (مفاعلات أو مصانع مرتبطة بحلقة اليورانيوم). وفي فرنسا، التحقيق الأكثر حداثة عن مثل هذا النمط قد تمّ حول موقع تريكستان (Tricastin) (المنشور في العام 2010).

② نؤكد أنه بالنسبة لمزودي اليورانيوم فإن شركة كهرباء فرنسا (EDF) لا تتوجه فقط لمجموعة (Areva) بل أيضاً إلى مجموعات وبلدان أخرى منتجة، في وسط من القلق فيما يخصّ تنويع مزوّديها.

③ فيما يتعلق باليورانيوم المستورد من أجل تشغيل مفاعلاتنا النووية الـ 58، يجب أن تتأرجح أسعاره من سنة إلى أخرى بين 600 و900 يورو.

فرانسيس سورين.

نُشر هذا المقال في ***RGN, 20 Mai 2011***، ترجمة **د. زهير قطان**، هيئة الطاقة الذرية السورية.

الآثار البيئية لتقانات المعلوماتية والاتصالات

تؤثر الثورة الرقمية في البيئة على مستويات عدة. وبصورة مباشرة أكثر، فإن تقانة الاتصالات والمعلوماتية (ICT) لها آثارها البيئية عبر تصنيع النبائط وتشغيلها وتجهيزات الشبكات والتخلص منها، وإن كانت تؤمن أيضاً طرقاً تخفف من استخدام الطاقة، من خلال البنى الذكية والعمل عن بعد، على سبيل المثال. وفي مستوى نظام أوسع، فإن تقانات ICTs تؤثر في النمو الاقتصاديً وتسبب تغيراً تقنياً واجتماعياً. إن الإدارة المباشرة لآثار التقانات ICTs أكثر تعقيداً من مجرد إنتاج نبائط فعالة، نظراً لارتفاع السعر الطاقي لعملية التصنيع، والانتشار المتزايد للنبائط اللازم أخذها في الاعتبار.

هيئة الطاقة الذرية السورية

الكلمات المفتاحية: تقانات المعلوماتية والاتصالات information & communication tecnology، آثار ICT البيئية ICT environmental impacts، تقييم دورة حياة (المنتج) Life cycle assessment.

من أكثر أوجه تقانة المعلوماتية والاتصالات ICT لفتاً للنظر سرعة نجاحها وتبنيها. فمنذ ثلاثين عاماً مضت، كان تدفق المعلومات يتم بواسطة التسليمات البريدية، والهواتف الأرضية وبالبث التلفزيوني، في حين أن لدينا الآن عالماً مترابطاً دولياً عبر نبائط متنوعة من الهواتف الذكية إلى شاشات العرض المسطحة الكبيرة. فالنجاح التقني في ICT ينعكس في قانون مور Moors's law الذي يلاحظ أن عدد الترانزستورات التي يمكن أن تحشر في دارةٍ متكاملة يتضاعف كل 18 شهراً: ولقد أصبح قانون مور نبوءة حقيقية: فصناعة أنصاف النواقل تسعى جاهدة إلى المحافظة على التقدم بمعدل مور. ومع أن ICT تعتمد حالياً على الدارات المتكاملة المبنية على قاعدة السيليكون، فإن التقنيات الجديدة على المدى المنظور تشمل مواد مثل الجرمانيوم والكربون، وأساليب بناء جديدة مثل ترانزستورات fin field-effect transistors (fin FETs)، ونماذج مفاهيمية جديدة كالحوسبة الكمومية.

وستجادل قلةٌ بأن ICT تحوِّل المجتمعات والاقتصاديات حول العالم. وإن ICT مثال «التقانة ذات الهدف العام»، بمعنى أنها تتآثر مع التقانات الأخرى وتعززها. ومع أن المضامين الاقتصادية والاجتماعية للـ ICTs قد نوقشت وجرى تحليلها كثيراً فإن المضامين البيئية لقيت اهتماماً أقل بكثير. وما تزال تتآثر ICT في الأساس مع المسائل البيئية. ولتسويغ هذا التوكيد، لنعتبر أولاً كيف تفاعلت الثورات التقنية السابقة، مثل الآلات البخارية، والآلة الانفجارية والكهرباء، وأعادت من حيث الأساس بناء التآثرات الإنسانية مع البيئة. ومن ناحيةٍ أخرى، فإن الآلات والكهرباء زادت إلى حدٍّ كبير مردود أداء التخديم الطاقي. وفي الوقت ذاته، تُعدُّ التقانة عنصراً مفتاحياً (أساسياً) في آلة النمو الاقتصادي التي تقود الاستعمال المتزايد للتقانة.

لننظر مثلاً، في استبدال السيارات (أوتوموبيلات) بالخيل في القرن العشرين. فالسيارات أكثر فاعلية من الأحصنة من حيث الأثر البيئي في المسافة المقطوعة، ولكن أداءها الوظيفي والراحة الأكبر التي توفرها وكذلك تكلفتها الأخفض يعني أن تستعمل السيارات أضعاف مرات استعمال الخيول. وبالرغم من التحسينات الأساسية في فاعليتها والتخفيضات من إصداراتها خلال القرن العشرين، تبقى التحديات البيئية المرافقة للسيارات دون حل. وإن الدرس الأساسي هنا، أو العبرة، هو أن زيادة مردود التقانة لا تؤدي بالضرورة إلى إنقاص أثرها البيئي.

تتآثر ICTs مع المسائل البيئية في مستوياتٍ مختلفة للنظام. يصف الشكل 1 أربعة أنواع من التآثرات. ولعل أكثر التآثرات مباشرةً وأسهلها فهماً هو الطبقة الفيزيائية، التي تظهر في أصغر دائرةٍ في الشكل 1. ففي هذا المستوى، جَسَّدت ICT فيزيائياً، في بنية تحتية ومجموعةٍ من النبائط التي لها تأثيرات بيئية عند تصنيعها وتشغيلها والتخلص منها. وفي المستوى الثاني، يمكن أن تُستخدَم ICTs لخفض التأثير البيئي من التطبيقات مثل الأبنية الأنيقة، والعمل عن بعد واستمثال التصنيع. وبتوسيع حافات النظام، تسهم ICTs في النمو الاقتصادي وتحوّل نمط الاستهلاك. وفي مستوى النظام الأوسع، تكون ICTs جزءاً أساسياً من التقارب التقاني–الحيوي– النانوي– الإنسالي والمعلوماتي Info-nano-robotics-bio technological convergence الذي يعتقد البعض أنه سيغير الصناعة والمجتمع. وإن سعة إدراك مستويات النظام المختلفة وإدارتها تتناقص مع تزايد حدود النظام، لأن المستويات الأعلى تُعدُّ أنظمة معقدة.

أناقش هنا الطرق المختلفة التي تؤثر بها ICTs في البيئة. يضعُ المجتمع أكثر التأكيدات على الآثار المباشرة لتجهيزات ICT، وهكذا تُكَوِّنُ هذه الآثار جانباً كبيراً من هذا المقال. كما سأناقش نتائج مستويات النظام الأعلى، لأن هذه حسب اعتقادي، أكثر أهمية إلى حدٍّ كبيرٍ من الآثار المباشرة، رغم إعارتها اهتماماً قليلاً نسبياً.

الشكل 1: مستويات نظام التآثر ما بين ICT والبيئة.

تبين الدائرة الداخلية التأثيرات المباشرة لتجهيزات ICT والبنية التحتية. وتمثل الدائرة الثانية التطبيقات البيئية لـ ICTs مثل العمل عن بعد. وتشير الدائرة الثالثة إلى التأثيرات على الاستهلاك، المترتبة على النمو الاقتصادي وتغيرات المنتجات. وتمثل الدارة الخارجية تغيرات مجتمعية وتقانية أكبر تتأثر بـ ICTs.

تقييم النتائج البيئية

يمكن أن تُعدّ الاستمرارية رد فعل اجتماعي على الأنشطة الإنسانية التي لها تأثيرات عالمية. فمحاولة الصراع مع الأنظمة الأكبر قادت إلى تطوير طرائق لفهم العلاقات العامة بين التقانة والبيئة والمجتمع. وكما نوقش في المقدمة، فإن المستويات المختلفة للتآثر تشمل مستويات مختلفة من التعقيد. وتُطَوَّرُ الأساليب الجديدة لتوصيف أوجه المعضلة المختلفة. وليس من المدهش، أن تتناقص درجة التحديد واليقين مع تزايد مستويات النظام.

ويمكن استخدام الطرائق التقليدية في تحليل الطاقة والبيئة لتوصيف المستوى الأول للتأثيرات المباشرة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن الحصول على المعرفة العميقة من الأساليب الأحدث، مثل تحليل تدفق المواد material flow analysis (MFA)، وتقييم دورة حياة المنتج life-cycle assessment (LCA). فالأول MFA هو الأسلوب العام لقياس تدفق الموارد والإصدارات في الأنظمة الصناعية والطبيعية، في حين أن الثاني LCA هو تخصيصٌ وامتدادٌ لـ MFA المصمّم لقياس تدفق دورة حياة المنتج أو الخدمة. وتتضمن LCA كذلك تقييماً للأثر يهدف إلى توصيف المفاضلة وتعيينها بين التأثيرات البيئية المختلفة. ويمكن ضم كلا هذين الأسلوبين إلى أساليب التنبؤ لتقدير الاتجاهات في التأثيرات العيانية، وكلاهما يواجه التحدي المتمثل في تحليل سلاسل الإنتاج المعقدة والمتغيرة بسرعة والمنتجات.

والشكل الأكثر انتشاراً وشعبية من LCA، وهو «طريقة عملية–الجمع Process Sum method»، يُنشىء نموذجاً من الأسفل للأعلى bottom-up model لتدفقِ المواد من مرفقٍ إلى آخر. فتعقيدات وخصوصيّات المعلوماتية في سلاسل تجهيز ICT تنتج في مستوى معطيات المرفق غير المتاحة للعديد من العمليات، مثل تنقية المواد الكيميائية المستخدمة في صناعة أنصاف النواقل. وتعني هذه الفجوات في المعطيات أن طريقة عملية الجمع تقلّل من تقدير التأثيرات البيئية. وفي كل الأحوال يمكن أن تتصدى طرائق LCA البديلة لفجوات المعطيات هذه. وإن دخلَ–وخرج LCA الاقتصادي Economic input-output LCA (EIOLCA) على سبيل المثال، هو وصفٌ شموليٌّ للاقتصاد القائم على مصفوفة من الصفقات التجارية والاقتصادية بين القطاعات. ولهذا ميزةُ عدم استبعاد عملياتٍ في سلسلة التجهيز ولكن له سيئة تجميع عمليات مكررة، وأحياناً مختلفة في قطاعاتٍ مفردةٍ، تنتج في خطأ تحبيب خشن coarse-graining error. ويهدف LCA الهجين إلى استخدام العمليتين كلتيهما، أي أسلوب الجمع وأسلوب EIOLCA في آن معاً، لتقليل ضعفهما إلى الحد الأدنى، ولكن هذا لم يعتمد حتى الآن على نطاقٍ واسعٍ.

إن المنافع البيئية لتطبيقات ICT المعينة مثل العمل عن بعد والأبنية الذكية، وأنظمة النقل الذكية، يمكن أن توصف بضم نماذج للطاقة، واستعمال المواد والتقانة وسلوك المستخدم. إن التحدي الرئيس هنا هو التعامل مع «الآثار الردّية» «rebound effects» التي تحدث عند تبني تقانةٍ ما (مثل تبني مركبةٍ ذات مردود عال للوقود)، أو ممارسة (للعمل عن بعد، مثلاً)، تنتج عنه آثارٌ إضافيةٌ غير مباشرة. يحدث أثر ارتداد اقتصادي عندما يؤدي تغيير التقانة إلى مدّخرات نقدية تُصرف فيما بعد في زيادةِ استخدام المنتج أو في شراءِ سلع أخرى مركّزة بيئياً. ويحدث أثر ردّي آخر عندما يؤدي توفير الوقت إلى تغير سلوكي يُحدث تأثيراً أكبر، مثل زيادة القيادة من غير عمل للعاملين عن بعد increased non-work driving by teleworkers.

والمستويان الثالث والرابع للنظام أكثر تعقيداً. ويمكن أن تطبق طرقٌ منهجية (انضباطية) مختلفة لتفحص قطعةٍ أو جزءٍ من النظام. فإسهامات ICTs في النمو الاقتصادي تكون مباشرة، بدلالة الناتج الاقتصادي لقطاعات ICT، وأيضاً تكون غير مباشرة، من ناحية دفع النمو في قطاعاتٍ أخرى. وقد استكشف الاقتصاديون آثار الـ ICT في النمو الاقتصادي باستعمال نماذج تقليدية محدثة للنمو neoclassical growth models. ومن الأمثلة الإضافية عن الطرق الانضباطية تفحص آثار ICT على الهيئة الحضارية (المدنية) من خلال عدسة (رؤية) التخطيط المدني، ودراسةِ التغير الاجتماعي من خلال علم الاجتماع البيئي environmental sociology. والطرق المنهجية المختلفة التي يمكن تطبيقها متعددة جداً ويصعب إعادة تعدادها هنا إلا أني أورد ملاحظتين عاليتي المستوى حول تحدي فهم المضامين الشمولية للـ ICTs؛ أولاً: يمكن أن تعطي محاولةُ دمج الطرق الانضباطية (النظامية) disciplinary approaches ثماراً من ناحيتي التطوير المنهجي وإعطاء أفكارٍ لإدارة المستقبل. ثانياً إذا علمنا تعقد النظام، فهناك العديد من الأسئلة المهمّة تقع خارج نطاق المنظور الكمي أو النمذجة المتوقعة. وفي التحرك إلى الخارج من خلال مستويات النظام في الشكل 1 يحدث الانتقال من أنظمة تحتية أصغر، يمكن نمذجتها بمصداقيةٍ نسبيةٍ، إلى أنظمةٍ معقدةٍ بعيدة جداً عن المصداقية.

تركز معظم الجهود في تقدير وإدارة النتائج البيئية للـ ICTs على التأثيرات المباشرة لمكونات ICTs الصلبة. ويهتم المجتمع حالياً في المقام الأول باحتمال التعرض للمواد المؤذية، وباستعمال الطاقة، ولذلك سأقوم بدراسة هذين الموضوعين بتفصيل أكبر.

التعرض للمواد المؤذية

لعرض العلاقة ما بين ICT والتعرض للمخاطر، يلاحظ أولاً أن الوظيفة المحترمة للـ ICT الحديثة تُنال باستعمال مواد دخيلة متنوعة ومواد عالية النقاء في كلٍّ من المنتجات والمواد المساعدة في الصناعة. إذا أخذنا في الاعتبار المجال الواسع للمواد المستخدمة فليس مستغرباً أن يكون في بعضها احتمال للخطر.

من المهم التفريق بين الخَطَر risk والمخاطَرَة hazard. فالخطر يميّز التأثيرات الصحيّة العيانية، في حين أن المخاطرة (أو الأذيات) تركز على احتمال الأذى. ينجذب العلميون والمهندسون عموماً نحو منظور (وجهة نظر) الخطر، ولكن قطاع الجمهور، (عموم الناس) وعلى وجه الخصوص المنظمات غير الحكومية، تأخذ في الأغلب بوجهة النظر المبنية على المخاطرة التي تقسم العالم إلى مواد مقبولة وأخرى غير مقبولة. وتتجه سياسة الناس نحو المواد المؤذية (الخطرة) في ICTs بما فيها المواد المحظور طمرها في مكبات النفايات أو المواد المستعملة في اللحم التي تقوم على الرصاص وهي سياسة مبنية على منظور المخاطر، لأن خطرها يفتقر إلى الفهم وإلى مزيد من الدراسة.

يتركز الاهتمام الأول للصناعة في التعرض للكيميائيات المساعدة المستعملة في عمليات التقانة العالية، وخصوصاً في أثناء تصنيع أنصاف النواقل. ففي تشغيل نبائط (تجهيزات) ICT، يكون الهاجس الرئيس هو التعرض لمعوقات (مثبطات) اللهب المُبَرْوَم brominated flame retardants (BFRs) التي تضاف إلى ألواح احتواء الدارات في الإلكترونيات بزعم أنها تحسن الأمان من الحريق.

استحوذ احتمال التعرض الذي يعقب التخلص من نبائط ICT على الاهتمام الأكبر، مع التركيز على ثلاث مواد: هي المعادن وBFRs والمركبات المتولّدة أو المستعملة، خلال دورة إعادة التصنيع. ويُظهر الجدول 1 قائمةً بجرد المعادن الثمينة والمؤذية في منظومة حاسوب له سطح مكتب. فبالإضافة إلى المعادن الثمينة مثل النحاس والذهب والفضة، هناك مواد مؤذية مثل الرصاص والكادميوم. تتحرر المواد المؤذية، أو تتولّد، بعد الطرح بثلاث طرقٍ، هي: التسرب من مكبات أو مقابر النفايات، ومن الترميد، ومن إعادة الاستعمال (التدوير). فألواح الدارات، وشاشات أنابيب الأشعة المهبطية، تُفشل اختبارات الجهة الرقابية البيئية لاحتمال التسرّب من مكبات النفايات بالرغم من شح الشواهد بأن التسرّب من مكب النفايات بوجود أنظمة معالجة الراشح تسبب درجة واضحة من الخطورة. وفي بعض الأحيان ترمَّدُ نبائط ICT حين تكون ممزوجة من غير قصد مع جريانات النفايات البلدية (المحلية)، كيفما اتفق، محرّكة المعادن (الفلزات) المؤذية ومحوِّلة BFRs إلى مركباتٍ مؤذيةٍ مثل الديوكسينات المُبَرْوَمَة، والسوائل الملتهبة العديمة اللون. وتعتمد الدرجة التي تبلغها نتائج الاحتراق، من حيث الإصدارات المؤذية، على إدارة التلوث في المحرقة.

والسبب الثالث في الإصدارات التي تعقب التخلص هو إعادة الاستعمال (التدوير). فعندما يحصل التدوير في مرافق تجري مراقبتها بشكلٍ مناسب تُبذل الجهود للتأكد من أمان العاملين وعامة الناس على حدٍّ سواء. وهناك كمية ضخمة من تجهيزات ICT لا تُدوّر في مرافق ملائمة، ولكنها، في كل الأحوال، تعالج بصناعةٍ غير رسمية (أو في الخفاء) في العالم النامي. وبكلفةٍ عماليةٍ منخفضة ومن دون ضوابط بيئية، يُوَلِّدُ تدويرُ المعادن الثمينة (استرجاعها) من نبائط ICT، بعض الفائدة بدلاً من تحمل التكلفة الصافية عند مقابلتها بتكلفة العمالة المرتفعة والضوابط البيئية المشددة. تؤدي هذه الحالة الاقتصادية إلى نماءِ صناعة الإلكترونيات غير الرسمية في أجزاء متعددة من

المعدن	الكمية (g)
ألمنيوم	680-960
انتموان*	2.4-18.0
زرنيخ	0.06
بزموت	0.23
كادميوم*	3.3
كروم	0.05
نحاس	2.640 – 1.370
فريت (خام حديدي)	480
ذهب	0.67-0.39
إنديوم	0.04
رصاص*	1.370-620
نيكل	30.0-4.5
بلاتين	0.92
فولاذ صلب	8.880-7.300
فضة	2.60-0.86
قصدير (تنك)	67
زنك (توتياء)	21

* أكثر الفلزات (المعادن) خطراً

الجدول 1: كميات المعادن الثمينة والمؤذية في حاسوب مكتبي في شاشة أنبوب الأشعة المهبطية.

العالم النامي مثل الصين، والهند، وأفريقيا. فالنحاس يُستعاد في الغالب من الأسلاك الكهربائية بالحرق المفتوح للعوازل التي تصنع عادةً من الـ (PVC)، والتي يطلق حرقها الديوكسينات، والسوائل اللهوبة وغيرها من الكيماويات السامة. ويُسترجع الذهب في ألواح الدارات المطبوعة بمعالجتها بطريقة التعدين المائي hydrometallurgical باستعمال السيانيد والحمض دون رقاباتٍ بيئية. وهناك شاهد مُثبت أن التدوير غير الرسمي في العالم النامي يسبب تلوثاً جدياً للبيئة.

وتأخذ استجابة المجتمع لهذه المخاوف الخطرة بالدرجة الأولى شكلَ حصرٍ أو تقييدٍ لاستعمال هذه المواد وإقامة نظم الاسترجاع وإعـادة التدوير للإلكترونيات. وأشهر تشريعات المواد تلك التي جاءت في التوجيه الإداري للتقييد الأوربي للمواد المؤذية الذي يحظرُ استعمال ست مواد، هي: الرصاص، والزئبق والكادميوم، والكروم السداسي، والباي فينيلات المتعددة البرمَنة (PBBS)، وأخيراً الإيتير الداي فينيل المتعدد البرمنة (PBDE) في كثيرٍ من التطبيقات الإلكترونية. وكان من المفترض لمثل هذه القيود والإلزامات أن تخفف من المخاطر، لكنها لا تحل معظم موضوع التلوث الذي ينتج من التدوير غير الرسمي في البلدان النامية. وأحد الأسباب هو أن المواد المؤذية مثل العضوية الطيارة والسيانيد تنتجُ من عملية إعادة التدوير فضلاً عن المحتويات السامة للمنتجات. والسبب الثاني هو أن صعوبات الفرض (الإجبار) تعني أن تصدير الإلكترونيات المنتهية حياتها سيستمر حتى عندما يكون التشريع موجوداً.

والسبب الثالث هو أن نبوءات تحليل تدفق المواد العالمي global MFA تشير إلى أنه بحلول 2016-18 ستولِّدُ الدول النامية نفاياتٍ إلكترونيةٍ أكثر مما يولِّدها العالم المتقدم. وأن معظمها سيكون محتمل التدوير في الخفاء. فالأهداف الخلاقة (للإنجازات المخترعة) التي انبعثت عن العمليات الاجتماعية (جعل المحتويات أقل سميةً وأكثر تدويراً) يجب أن تُفحص من منظورٍ أكثر منهجيةً.

استخدام الطاقة

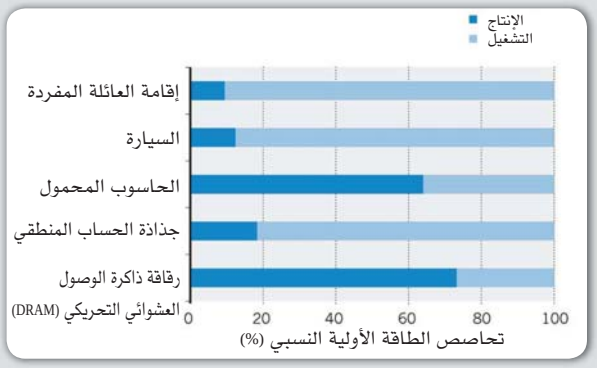
لقد أصبح تأثير عتاد حواسيب ICT في الطاقة وفي المناخ في ظل إجراءات أمنية متزايدة. فطريقة دورة الحياة التي تقدمت مناقشتها تكون حاسمة عندما يفحص (يمتحن) استعمالُ الطاقة لـ ICT، لأن طور الإنتاج يمكن أن يكون أكثر أهمية بالنسبة لـ ICT منه في التقانات الأخرى، مثل المَرْكَبات والمباني. فمن أجل المنتجات المزوّدة بقابس، أو بخزان وقود، تكون الطاقة المستعملة في أثناء التشغيل أكبر كثيراً من تلك المستخدمة في أثناء التصنيع. فمثلاً، في بيتٍ عادي في ميتشيغان تبلغ الطاقة التي تستعملُ عندما يكون مسكوناً 91% من الطاقة المستهلكة، في حين أن 9% فقط تستعمل في المواد والبناء.

وبالمثل، فإن 88% من الطاقة التي تستهلك في سيارةٍ نموذجيةٍ تنسب إلى الوقود المستخدم لسياقتها. فالسيطرة (الهيمنة) لطور الاستعمال تدعم التأكيد التقليدي على ضرورة تحسين المردود التشغيلي للطاقة.

وفي حالة نبائط ICT، تشكل الطاقة المستخدمة في أثناء التصنيع الجزء الأكبر. وفي مستوى المُرَكَّبات، يُظهر تقييم دورة الحياة LCA أن ما لا يقل عن 1.2 Kg من الوقود الأحفوري يلزم لتصنيع 2 غرام من جذاذة (شيبة) ذاكرة الوصول العشوائي التحريكي؛ وهي نسبة تساوي 1/600 مقارنة بالنسبة 1/1 أو 1/2 في حالة البضائع المصنّعة الأخرى. ويعود استعمال الطاقة المرتفع إلى معايير النقاء المتشددة المطلوبة لمعالجة مواد أنصاف النواقل، وللمحافظة على البيئة. فمن أجل رقاقةٍ (شيبةٍ) (DRAM) يذهب ما لا يقل عن 73% من استخدام طاقة العمر إلى التصنيع، مع ذهاب 27% فقط للاستخدام خلال التشغيل. وفي جذاذات المنطق الحسابي، تنعكس الأدوار، فتتجاوز طاقة التشغيل البالغة (82%) إلى حدٍّ بعيدٍ الطاقة المستعملة خلال التصنيع (18%) فقط. يلاحظ أن التقديرات في المثالين أقل من الإسهامات الطاقية في تنقية الكيماويات والغازات لتصنيع أنصاف النواقل، حيث لا تتوفر لها المعطيات الدقيقة إلى حدٍّ كبيرٍ. ويشير تحليل مواد مختارة مستعملة في صناعة أنصاف النواقل إلى أن الطاقة المستخدمة تتزايد بسرعة مع ازدياد النقاء.

ففي حاسوبٍ محمولٍ نموذجي، تبدي LCA الهجينة أن 64% من طاقة العمر يستعمل خلال التصنيع، وأن 36% فقط يستعمل في التشغيل. ويرجع هذا في جزء منه إلى أن تصنيع الحواسيب شديد استهلاك الطاقة، وفي جزء آخر لأن سرعة انتهاء مدة الاستعمال تقود إلى أن شراء الحواسيب أكثر في الغالب من شراء كثيرٍ من المنتجات الأخرى ذات القابس. ويبيّن الشكل 2 نسبة طاقة التصنيع إلى طاقة دورة الحياة التشغيلية في حالة نبائط ICT ومنتجاتٍ أخرى.

تشير سرعة النجاح التقني في ICTs إلى أن التقييم البيئي يجب أن يأخذ في الاعتبار التغير المؤقت. وتطرح إحدى طرق تقييم تأثيرات النجاح التقني هذه السؤال التالي: كيف يتغير



الشكل 2: أجزاء الطاقة المستخدمة في إنتاج مختلف المنتجات وفي تشغيلها.

تفترض الأرقام العائدة للجذاذة (DRAM) (لرقاقة ذاكرة الوصول العشوائي-التحريكي)، ولجذاذة الحساب المنطقي، وللحاسوب المحمول، أن حياتها تمتد لثلاث سنوات، وأنها من التي تستعمل منزلياً لمدة ثلاث ساعات في اليوم ولسبعة أيام في الأسبوع. إن الطاقة المستعملة لتشغيل جذاذة المنطق والسيارة وبيت العائلة تتجاوز الطاقة المستعملة في الإنتاج، في حين تكون طاقة الإنتاج هي الغالبة في حالة جذاذة الـ DRAM والحاسوب المحمول.

التأثير البيئي في واحدة العمل الوظيفي مع الزمن؟ الإجابة العامة هي أنها تنخفض مع الزمن. فمثلاً انحدر استعمال الكهرباء في الـ MHz، في تصنيع المعالج المكروي لسطح المكتب، من 0.028 kWh MHz^{-1} في العام 1995 إلى 0.001 kWh MHz^{-1} في عام 2006، نتيجة لتحسين عمليات التصنيع. وتناقص أيضاً، وبشكل مثير، استعمال الطاقة الكلّي في العمل الوظيفي، وكذلك تراجع التزويد بسلسلة المواد المستعملة في التصنيع. وهذه الاستنتاجات لا تضم، على كلّ حال، التزايد الشديد في متطلبات نقاوة المواد المستعملة في تصنيع أنصاف النواقل؛ لأن النقاوة الأعلى يمكن أن تزيد من استعمال الطاقة.

على العموم، لا يكفي أخذ التأثير البيئي في الاعتبار منسوباً للفاعلية. وكما جرت المناقشة في المقدمة، فمردود السيارات، مثلاً، تحسّن مع مرور الزمن على نطاقٍ واسع وتوافق تحسنه مع اتساع استعمال السيارات السريع الذي جلب تحدياتٍ بيئيةٍ جديدةٍ لم تُحَلّ حتى الآن. وأحد بدائل قياس الوظيفة هو فحص نزعات في التأثير البيئي المنسوبة لمنتجٍ نموذجيٍّ واحدٍ. وبما أن أجيال المنتجات الأحدث تملك مهام وظيفية إضافية، فإنه لمن دواعي التثقف المقارنة بتأثر الأجيال اللاحقة. وهنا يعرب "المنتج النموذجي" فقط عن "النسبة إليه"، كمنتجٍ يمثل قطعةً من التقدم التكنولوجي؛ فالتأثّر الصافي من التبنّي الإضافي يمثّل عاملاً منفصلاً. ولإتمام قياس الوظيفة (الكهرباء في الميغاهرتز) التي سبق ذكرها، يمكننا أيضاً تعقب الكهرباء اللازمة لتصنيع الأجيال المتعاقبة لمعالجات مكروية لحاسوب سطح مكتب نموذجي. فالكهرباء المستعملة المقيسة بهذه الطريقة منسوبةً إلى معالج مكروي نموذجي لم تتغير منذ العام 1995 وحتى العام 2006. أدّت زيادة الوظيفة –معالج أسرع– إلى حذف ربح المردود في الميغاهرتز MHg. يبيّن هذا المثال أن التقدم في المردود في واحدة الوظيفة لا يُنبىء بالضرورة عن النجاح في اتجاه إدارة التأثيرات البيئية الصرفة.

غالباً ما يركز استعمال LCA على مستوى المنتج. ومع أن دراسة المنتج تزوّدُ بمعلوماتٍ عن التأثيرات البيئية النسبية لمختلف مراحل دورة الحياة، فإنها لا تتوجه للإجابة عن السؤال عن هذه التأثيرات على المستوى الجهري macro-level impacts. وللتوجه إلى التأثيرات الصرفة، هناك سيل من الأدبيات التي تقيّم استخدام ICT الكلي للكهرباء في التجمعات المختلفة. فمثلاً، إن كاواموتو والمشاركين معه جمعوا حواسيب وطابعات وناسخات وفاكسات وشبكات الخطوط ونبائط العمل في المكاتب الأمريكية مع معطيات كلّ نبيطةٍ عند استعمالها للكهرباء، ووجدوا أن استهلاك الكهرباء في العام 2000 في معدات الحساب وشبكات الخطوط في مكاتب الولايات المتحدة كان 74 Twh، أو 2% من استعمال الكهرباء على المستوى الوطني. وهناك تحليل مشابه، يغطّي 15 نوعاً من النبائط تشمل التلفزيونات والحواسيب والهواتف والأدوات السمعية، بيّن في العام 2002 أن الإلكترونيات في منازل الولايات المتحدة الأمريكية تستهلك 147 Twh من الكهرباء، أو نحو 4% من استعمال الكهرباء الوطني. وبإهمال اختلاف سنوات الدراسة، يؤدي ضم النتيجتين إلى افتراض أن نبائط ICT في المكاتب والمنازل تشكل نحو 6% من استعمال الكهرباء في الولايات المتحدة. والطاقة التي استعملت لصناعة هذه النبائط تنتظر التقييم حتى الآن، ولا توجد أرقام مؤقتة في هذا الاتجاه من نفقات الطاقة العامة التي تحكمها تغيرات الملكية والاستعمال.

إن استجابة المجتمع للطاقة التي تستعملها الـ ICTs ركّزت بالدرجة الأولى على تحسين مردود الطور العمليّاتي (التشغيلي) للنبائط (معايير Energy Star standards) المعرّفة من وكالة حماية البيئة الأمريكية من أجل الحواسيب وشاشات العرض، على سبيل المثال. فقد استجاب صنّاع المُرَكّبات والنبائط بإنجاز تقدم ملحوظٍ في تحسين مردود الطاقة التشغيلية. ولكن ليس واضحاً

حتى الآن مدى جودة إدارة الطاقة الصرفة المستعملة خلال دورة حياة النبيطة. يُضاف إلى هذا أن هناك انتشاراً مستمراً لنبائط ICT جديدة في السوق ترافق النهضة الأخيرة للهواتف الذكية والحواسيب الشخصية وأجهزة التلفزة ذات الشاشة المسطّحة. فحقيبة نبائط ICT في الاستعمال في تزايدٍ مستمر، وعليه فإن الآثار المخفضة للمنتجات الفردية يمكن ألاّ تؤدي إلى تخفيض تأثير الحقيبة بأكملها.

إدارة مستقبل التأثيرات المباشرة

إن المعالجة على المستوى النانوي، التي كانت رائدة في صناعة أنصاف النواقل، قد تحوّلت إلى صناعة بتقانة نانوية. وإذا علمنا استعمالها الممكن في المنتجات اليومية مثل الأنسجة والدهانات والبنية التحتية، فإن نطاق إنتاج الجسيمات النانوية يمكن أن يكون أكبر بمراتب في القيمة من أنصاف النواقل لوحدها. وتقانة أنصاف النواقل هي أيضاً الأساس في صناعة الوحدات الفوتوفلطية (الفولطيات الضوئية) التي تجاوز نموها صناعة الـ ICT إلى حدٍّ بعيدٍ. وقد طورت مواد جديدة وعمليات تصنيع لكلّ هذه التطبيقات. فما هي المسائل الاستراتيجية لتقييم وإدارة التأثيرات البيئية المباشرة لهذه التقانات الجديدة؟

تؤدي متابعة تزايد الوظيفة إلى استخدام أكبر للمواد الغريبة، وبذلك فالمخاوف من احتمال التعرض للأخطار ستستمر على ما أعتقد. وتظهر مسائل جديدة، مثل تأثيرات الجسيمات النانوية على الصحة وعلى الأنظمة البيئية. إن إدراك الجماهير للمخاطر يسعى للهيمنة على استجابة المجتمع، ولكن هذه النزعة بحاجةٍ لموازنتها بأعمال أكثر تقوم على أسسٍ علميةٍ بأن لها مخاطر متوقعة.

إن الهدوء منذ السبعينيات الذي يعود إلى قلة الموارد، عاد مؤخراً إلى الظهور. ففي حالة الإلكترونيات، نجد التركيز على "المعادن المهمّة" مثل التنتاليوم والإنديوم والروثنيوم. عانت المعادن المهمّة من القيود المفروضة على الإمداد عن الاحتياطيات المحدودة أو من المشاكل الجيوسياسية، أو من صعوبات في إعادة التدوير.

ركّزت استجابة المجتمع لإدارة التأثيرات البيئية لـ ICTs على الإرشادات مثل التخلص من المواد السامة، وتزايد إعادة التدوير، وتحسين المردود الطاقي. وكما سبق العرض والمناقشة، قادت متابعة هذه الاستكشافات إلى نجاحٍ ولكن دون حلّ التحديات البيئية. وفي المستقبل، ستتطلّب مواجهة المشكلات البيئية، التي قد تبرز أمام ICTs، تركيزاً أوسع يأخذ في الاعتبار دورات الحياة، والنماء والتقدم التقاني.

الآثار غير المباشرة

إن الآثار البيئية المباشرة لنبائط ICTs والبنية التحتية مهمّة، ولكن يجب ألا تصرفنا عن المضامين البيئية الشاملة العميقة الأثر لـ ICTs. فالتطبيقات المفيدة بيئياً تحتاج للتطوير وللدفع نحو الأمام. وقد حصلت نجاحات في بعض المجالات مثل الرقابة المستمثلة لعمليات التصنيع، إلا أن أكثر هذه النجاحات قد حصلت بآليات السوق لا عن دارسة بيئية مقصودة ومتعمدة. تجري استثمارات الناس في سبيل فهم واستعمال ICTs لأهداف بيئية واهنة مقارنة بتلك التي بذلت في عصر التقانات الصناعية، مثل المحركات والأبنية والطاقة والبنى التحتية للطرقات.

وبالتوجه إلى ما وراء التطبيقات، يجب عدم إهمال تآثرِ ICTs مع النمو الاقتصادي، والتقدم التقاني والمجتمعي. فتاريخ السيارات يعلّم درساً حيّاً مفاده: أن تحسين التقانة لا يؤدي بالضرورة إلى خفض التأثيرات البيئية. وفي الحقيقة، في اقتصادٍ مؤسسٍ على نموٍ مستمرٍ متجذرٍ في التقدم التقني، يمكن أن يكون العكس صحيحاً. وإن فهم تآثر الـ ICTs مع الأنظمة الاقتصادية والاجتماعية يقدم تحدياتٍ منهجيةٍ مهمّةٍ بين حقول الدراسة. وإن التشبث بمثل هذه التعقيدات يقع في قلب الاهتمامات المنبعثة من المجتمعات الحديثة بهدف الحفاظ على سلامة البيئة.

إيريك وليامز؛ معهد غوليسانو لحماية البيئة، ومعهد روتشستر للتقانة. نيويورك، الولايات المتحدة.

نُشر هذا المقال في ***Nature, Vol 479, 17 November 2011***، ترجمة **د. مصطفى حموليلا**، عضو هيئة التحرير.

أخبار علمية

أخبار علمية

مخاطر الأعشاب الطبيّة

لا تخلو النباتات التقليدية المعتَمَدَة في المعالجات الطبيّة من بعض الأخطار. ومن الضروري أن يكون الأطباء والمرضى على علم بآثارها الجانبية المحتملة؛ هذا ما يقوله ماساتومو ساكوراي ***Masatomo Sakurai*** *.*

يترافق العديد من الأدوية الحديثة بتحذيرات عن الآثار الجانبية، ويحْذَر بعض المرضى، بشكل يمكن فهمه، من استعمال هذه الأدوية. فهناك ميلٌ لدى الناس إلى استعمال الأدوية العُشبية بوصفها مصدراً طبيعياً وبالتالي هي أكثر أماناً للصحة من المواد الكيميائية الصنعيّة برأيهم. وفي اليابان، يَصِفُ الأطباء بشكل متزايد الأدوية العُشبية في حين يتحقق العلماء أكثر فأكثر من نجاعتها.

ومع أن آلية عمل العلاج العُشبي تتّصف بأنها لطيفة وتسبّب بشكل نموذجي آثاراً جانبية أكثر اعتدالاً مقارنة بالأدوية الحديثة، إلا أنها قد تكون خطيرة. وتتفاوت الأحداث غير المناسبة لهذه الآثار الجانبية بين حالات ثانوية (مثل الضيق المَعِدي وفقدان الشهية) وحالات خطيرة (مثل ذات الرئة الحشوية أو السرطان الكلوي) وقد تصل إلى الموت. ووفقاً لوزارة الصحة اليابانية، فقد تسبّبت الأدوية العُشبية في سنتين فقط، بين عامي 1994 و1996، في عشر وفيات على الأقل في اليابان. وتُعدُّ مشكلة التأثيرات الجانبية للأعشاب شائعة أكثر ما تكون في آسيا ولكنها تحت السيطرة (مراقبة).

مشكلة حادة

أول تقرير نُشر في اليابان عن الآثار الجانبية الناتجة من ابتلاع الأدوية العُشبية كان عام 1989، وذلك من خلال وصفة يابانية تقليدية تسمّى syo-saiko-to وصفت بأنها مفيدة لصحة الكبد (وتُسمّى بالصينية xiao-chai-hu-tang). وبعد مضي أكثر من 11 سنة، وجِد أن 35 حالة مرضية ناجمة عن التأثيرات الجانبية كانت على علاقة بوصفة syo-saiko-to، ومن ضمنها ثماني وفيات. ولأن أغلب هذه الحالات حصلت في مستشفيات وعن طريق أطباء غير متخصّصين في طب الأعشاب، فقد ساد الاعتقاد عموماً بأن سبب هذه الوفيات يمكن نسبه إلى قلة المعرفة لدى من يقوم بإعطاء هذه الوصفات.

على أية حال، تكشف تقارير طبيّة حديثة أن الوصفات العُشبية يمكن أن تسبّب تأثيرات جانبية حتى لو تمّ وصفها من قِبل ممارسين ذوي خبرة في الطب التقليدي. ومع أنه ليست هناك وفيات ارتبطت بالوصفات العُشبية التي نُشرت تقارير عنها منذ العام 2000، إلا أن هناك تأثيرات جانبية أخرى. ففي السنوات السبع التي سبقت العام 2009، رَصَدَ مركز طب الأعشاب التقليدية الياباني، ومقره في مستشفى كاشيما روساي Kashima Rosai في كاميسو Kamisu 503، حالات حصلت بفعل التأثيرات الجانبية من أصل 2530 وصفة، تفاوتت فيها الأعراض بين ضعف الشهيّة و26 حالة اضطراب كبدي –نصفها بسبب تناول أدوية عُشبية (4 في كلّ 1000 حالة). هذا وقد رَصَدَ قسم طب الأعشاب في جامعة كيتاساتو Kitasato في طوكيو نسباً مماثلة: 21 حالة ضررٍ كبديٍّ نجمت عن 20271 وصفة على مدى تسع سنوات (تعادل تقريباً واحداً في كلّ 1000 حالة).

يُستخدم جذر عُشبة البيش Aconite *لمعالجة نزلات البرد ولكنه يمكن أن يسبِّب خفقاناً للقلب وتسرعاً لجريان الدم.*

وعبر اليابان، تتمثّل معظم التأثيرات الجانبية الشائعة الناجمة عن الوصفات العُشبية في آلام معوية سبّبتها على الأغلب جذورُ تُسمّى Rehmannia وعُشبة Ephedra، وفي ارتكاسات تحسّسية مثل الطفح الجلدي، والتي يمكن أن يكون سببها أعشاب مختلفة عديدة. تتضمّن التأثيرات الجانبية الأكثر خطورة ذات الرئة الحشوية التي تؤثر في 1/25000 من المرضى الذين يأخذون أيّ علاجٍ عشبيٍّ وأكثر هذه المستحضرات العُشبية شيوعاً هي وصفة syo-saiko-to التي تحتوي على جذور Scutellaria. فهذا الجذر، من بين مجموعة أخرى من الجذور، يمكن أن يسبّب أيضاً اختلالاً في وظائف الكبد، وهي الحالة التي تؤثر على ما نسبته 1-5 أشخاص من أصل كلّ 10000 شخص يتناولون أدوية عُشبية، وتشمل هذه النسبة بشكل خاص النساء اللواتي تجاوزن الخمسين من العمر. فالاختلال الوظيفي الكلوي وكذلك سرطان المنظومة البولية يمكن أن ينجما عن استهلاك حمض أرِستولوشيك (خلاصة نباتية) aristolochic acid –الذي ينتج من جنس نبات من فصيلة الزراوندية يُسمّى Aristolochia man-shuriensis الذي يُستخدم في وصفة guan-mu-tong.

هذا وقد أدّت وصفات عُشبية شائعة أخرى إلى نتائج غير مرغوبة. فأكثر من 3% من الناس يستهلكون عرق السوس الذي يُضاف إلى ثلاثة أرباع الوصفات العُشبية اليابانية، التي تتسبّب بتطور حالة مرضية تُسمّى فرط الألدوستيرونيّة الكاذب pseudo-hyperaldosteronism، وهي حالة تتضمن نقص بوتاسيوم الدم hypokalaemia (أي سويات بوتاسيوم منخفضة)، وتشنجات، وأوديما oedema (ارتشاح سائل في النسيج الخلوي)، وارتفاع ضغط الدم وزيادة الوزن. فالأدوية التي تحتوي جذور Bupleurum يمكن أن تمنح بعض الناس رغبة شديدة في التبول وشعوراً بتبول غير مكتمل، مع وجود دم في البول، وهذه هي أيضاً أعراض التهاب المثانة، أي أحد أشكال التهاب المثانة البكتيري. وعلى أية حال، يُعتقد بأن الحالات المرتبطة بجذور Bupleurum يمكن أن تنجم عن حساسية مفرطة للعُشبة، نظراً لعدم وجود مؤشرات تدلّ على التهاب بكتيري.

ويمكن أن تكون التأثيرات الجانبية إلى حدٍّ ما بمثابة إنذار يمنع الاستخدام الخاطئ للأعشاب ويحدّد ما إذا كان الأطباء مدربين بشكل صحيح في مجال استعمال الأعشاب والوصفات العُشبية. فعلى سبيل المثال، تحتوي عُشبة Ephedra على الإيفدرين ephed-rine، وهو منبّه يستعمل في أغلب الأحيان في طب الأعشاب وينبغي ألا يوصف لمرضى الأوعية الدموية.

ولسوء الحظ، ليس بالإمكان التنبؤ بكل التأثيرات الجانبية، حتى لو تمّ وصفها من قِبل أطباء على سوية جيدة من التدريب. ومع ذلك، نذكر هنا بعض النصائح العملية والبسيطة التي يمكن أن تساعد في منع حدوث حالات خطيرة من التأثيرات الجانبية:

أولاً: المبادرة إلى فحص الدم لمراقبة الكبد ووظائف الكلى قبل الوصفة الأولى، والمواظبة على ذلك فيما بعد كلّ ثلاثة أشهر. وسيمكّن هذا الاختبار من الكشف المبكر عن أي اختلال وظيفي، قد لا يظهر قبل 12 شهراً. ثانياً: قياس ضغط دم المريض مرة واحدة كلّ أسبوعين على الأقل، وهذا يساعد على اكتشاف الحالة المرضية التي تُعرف باسم فرط الألدوستيرونيّة الكاذب pseudohy-peraIdosteronism. ثالثاً: إطلاع المريض على الأعراض المبكرة للتأثيرات الجانبية للمعالجة، مثل الحمى والأوديما وضيق التنفس، التي ربما تتطوّر إلى حالات أكثر خطورة، وإخبار المرضى بأنه في حال حدوث هذه الأعراض يجب عليهم أن يتوقفوا عن تناول الأدوية العشبية وإعلام الطبيب الذي أعطى الوصفة.

وتُعدُّ مسألة بناء المنظومة التعليمية أمراً بالغ الأهمية للبلدان التي تسعى نحو تحسين عوامل أمان الوصفات العُشبية ونجاعتها. وقد بادرت اليابان إلى جعل ذلك إلزامياً لطلاب الطب وذلك بإعطائهم دروساً في ممارسة طب الأعشاب، وقد تخرّجت الدفعة الأولى من الأطباء وفق هذا النظام عام 2008. والأكثر أهمية من ذلك أن الأطباء والباحثين والمسؤولين في اليابان والصين وكوريا الجنوبية ينبغي أن يعملوا معاً لتقرير الاسم الشائع لكلّ نبتة ووضع قواعد دولية ناظمة لاستعمال الوصفات العُشبية من أجل الوصول إلى الاستغلال الأمثل والمشاركة في المعلومات حول التأثيرات الجانبية المحتملة.

ماساتومو ساكوراي: *هو باحث متخصص في الطب الشرقي والوخز بالإبر وطب الأعشاب في مركز أبحاث الطب الشرقي في جامعة كيتاساتو في طوكيو، اليابان.*

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 480, 29 December 2011***. ترجمة ***حسان بقلة***، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

المنطقة شبه القاحلة القادمة

يعد الجفاف من أكثر المشاكل الملحة التي يسبِّبها تغير المناخ، وهي لا تحظى إلا بقدر قليل من الاهتمام، كما يقول جوزيف روم ***Joseph Romm*** .

ما هو تأثير الاحترار العالمي البشري المنشأ anthropogenic الذي سيضر معظم البشر في العقود القادمة؟ أعتقد أن الجواب هو زحف الجفاف أو ديمومته فوق أجزاء كبيرة صالحة للسكن أو أراضٍ صالحة للزراعة حالياً –بالإضافة إلى أن التغيير الشديد في المناخ سوف يهدد الأمن الغذائي وقد يدوم لقرون عديدة.

من التوقعات الرئيسة في علم المناخ أن العديد من أجزاء العالم سيواجه جفافاً أطول وأصعب، ويعود السبب في ذلك للتأثيرات التآزرية للجفاف والاحترار وذوبان الثلوج.

ومن المتوقع تغيّر أنماط هطول الأمطار، الأمر الذي سيؤدي إلى توسع المناطق المدارية الجافة. ما هي كمية الأمطار التي سنحصل عليها في حالة الطوفانات الشديدة، التي تؤدي إلى جريان مياه الأمطار فوق سطح الأرض بدلاً من تخفيف الجفاف. إن الاحترار يسبِّب التبخر الشديد، وحينما يجف سطح الأرض، تقوم الطاقة الشمسية بتجفيف التربة، مما يؤدي إلى ارتفاع أكبر في درجة حرارة الجو. لذلك، وعلى سبيل المثال، تم تدوين العديد من سجلات درجات الحرارة في الولايات المتحدة للقصعة الغبارية Dust bowlification * في ثلاثينيات القرن الماضي. وفي عام 2011، شهدت ولاية تكساس التي ضربها الجفاف صيفاً يُعدُّ الأشد قد تم تسجيله لولاية أميركية. وأخيراً، يُتوقع أن يشهد العديد من المناطق ذوبان الثلوج بصورة مبكرة، ولذا، لن يتم تخزين سوى كميات قليلة من المياه في قمم الجبال لفصل الصيف الجاف. وإضافة إلى الاختلافات المناخية الطبيعية، مثل دورة النينو والنينا el Nino-la Nina، فإن هذه العوامل ستشدّد الجفاف الفصلي أو الجفاف الطويل الذي يدوم عقداً كاملاً. ومع أن النماذج لا تتفق مع تفاصيل محددة، غير أن اتجاهات الجفاف واضحة.

وقد اعتدتُ أن أسمي ملتقى هذه العمليات على الموقع الإلكتروني (Climate Progress.org) بالتصحر "desertification"، إلى أن أشار

فرّ مئات الآلاف من القصعة الغبارية التي حدثت في الولايات المتحدة في عام 1930، ومن المتوقع أن يدفع الجفاف للمزيد من الهجرات.

عليّ بعض القرّاء بأن العديد من الصحاري ذات تنوع حيوي كبير وهو ليس وفق ما قمنا بتسميته. إذ تُعدُّ القصعة الغبارية التعبير الأكثر دقة ووضوحاً، وخصوصاً بالنسبة للأمريكيين، حيث إن العديد منهم ما يزال يعتقد أن التغير المناخي سيؤثر فقط على مناطق بعيدة جداً في أزمان بعيدة جداً. إن الجفاف سيضرب العالم لمدة طويلة، لكن ما يثير الدهشة أنه سوف يضرب قريباً جداً قلب الولايات المتحدة بشدة. وإن الجفاف القادم يجب أن يكون المحرك الرئيس –إذا لم يكن بالفعل هو المحرك الرئيس– في سياسات المناخ. ومع ذلك يبدو أن البعض من صناع السياسة والصحفيين يدركون هذه القصعة الغبارية وتأثيرها الفعلي والمدمر على الأمن الغذائي. إن ذلك يبدو مفهوماً إلى حدٍّ ما، لأن معظم الأبحاث الأساسية مقتبسة من مقالة مؤرخة في عام 2007

** اسم أطلق عام 1935 على منطقة في جنوب أواسط الولايات المتحدة، أصيبت بقحط وعواصف ترابية أدت إلى نقص الأمطار لفترة طويلة صاحبها تفكك التربة وهلاك النباتات الطبيعية.*

بعنوان "*تقرير التقييم الرابع للجنة الحكومية حول التغير المناخي (IPCC)*". إن زيادة الوعي العام والتركيز العلمي على إمكانية التأثيرات الحادة للجفاف كانت الخطوة الأولى في إثارة العمل في هذا الاتجاه.

الكابوس الأمريكي

لقد سمعت أول مرة عن هذه الأخطار في حديث لعالم المناخ جوناثن أوفربيك Jonathan Overpeck من جامعة أريزونا في توكسون في عام 2005، إذ أشار إلى الدليل الظاهر للعيان بأن درجات الحرارة والأمطار السنوية كانت تسير في اتجاهين متعاكسين في كثير من المناطق، وطرح سؤالاً حول ما إذا كنا في بداية ظهور عصر جفاف جليدي شديد.

لم تكن تلك الفكرة جديدة، إذ إنه بالرجوع إلى عام 1990، توقع علماء من معهد كودارد التابع لناسا لدراسات الفضاء في نيويورك جفافاً شديداً وقاسياً سيحدث في الولايات المتحدة، وسيتكرر بعدها كل 20 سنة أو أكثر، ومن الممكن أن يصبح هذا الجفاف ظاهرة يمكن حدوثها كل عامين في منتصف هذا القرن.

لقد بدأت الأحداث بتأكيد هذه التنبؤات المقلقة، مثل انخفاض كميات الثلوج، وذوبان الثلوج المبكر، ونقص في التدفق النهري في الفصل الجاف في الغرب الأمريكي. وما تُنبِّئ به منذ أكثر من عقدين، تم قياسه الآن. وفي معظم مناطق الروكيز الشمالية Rockies تحدث ذروة الأمطار السنوية التي تجري في الأنهار قبل ثلاثة أو أربعة أسابيع مما كانت عليه قبل نصف قرن. وقد اقترنت الحرارة والجفاف بالأثر الكبير لنوع تدميري مثل نباح الخنافس bark beetles. ولقد ساعد الاحترار على موت الغابات والتعرض لخطر الحرائق الهائلة.

وقد أظهر سجلٌّ في علم المناخ القديم يعود تاريخه إلى القرون الوسطى، جفافاً دام لعقود عديدة. لكن الجفاف الشديد الذي تواجهه الولايات المتحدة هذا القرن سيكون حاراً جداً وأسوأ من أي جفاف مرت به: لقد كانت العقود الأخيرة أشد حراً من العقد الأكثر جفافاً في أسوأ جفاف شهدته الولايات المتحدة منذ 1200 عام.

ومن المتوقع حدوث حالات أشد حراً، فوفقاً لتقرير برنامج البحث للتغير المناخي العالمي في الولايات المتحدة في عام 2009، فإن الاحترار فوق خطوط العرض الوسطى من اليابسة كالولايات المتحدة القارية، من المتوقع أنه سيكون أعلى من المعدل المتوقع للاحترار العالمي. معظم الجزء الداخلي من الولايات المتحدة يعاني من ارتفاع بين 5 و6 درجات مئوية في مسار الانبعاثات الحالية (أي، العمل كالمعتاد) بنهاية القرن، مع حدوث جزء كبير من ذلك الاحترار في منتصف القرن.

قدّر تحليلٌ في عام 2007 للتنبؤات المناخية الـ 19 مستوياً من الجدب مشابهة لتلك الموجودة في قصعة الغبار (المناطق شبه القاحلة) والتي من الممكن أن تمتد من ولاية كانساس إلى ولاية كاليفورنيا في منتصف هذا القرن. ومما زاد الأمور سوءاً أن المناطق المعرضة لخفض إمدادات المياه المنخفضة، مثل نيفادا، كانت قد شهدت ازدهاراً سكنياً ضخماً في العقد الماضي، بالإضافة إلى أن الاستخدام المفرط للمياه الذي كان شائعاً في هذه المناطق أدى إلى استنفاد مخزونات المياه الجوفية.

بالطبع، لم تكن الولايات المتحدة وحدها تواجه مثل هذه المشاكل، فمنذ عام 1950 زادت النسبة المئوية العالمية للمناطق الجافة بحوالي 1.74% من مساحة الأرض الكلّية في العقد الواحد. وقد سلّطت الدراسات الأخيرة الضوء على ظروف الجفاف الشديدة بمنتصف القرن في أكثر المناطق المأهولة بالسكان على الكرة الأرضية، مثل جنوب أوربا، وجنوب شرق آسيا، والبرازيل، والمنطقة الجنوبية الغربية للولايات المتحدة، وأجزاء كبيرة من أستراليا وإفريقيا. إن ظروف القصعة الغبارية سوف يُتوقَّع لها أن تزداد سوءاً لعقود عديدة، وستستمر إلى حدٍّ كبير لألف عام بعد توقف الانبعاثات. لم يتم تجاهل مفهوم الجفاف من قبل تقرير *التقييم الرابع للّجنة الحكومية حول التغير المناخي (IPCC)* ومجموعات علمية أخرى، حتى إنه توجد اتفاقية في الأمم المتحدة لمكافحة التصحر. لكن لا يبدو أن هذه الأخطار المتراكمة قد تم إدراكها من قبل الشعب أو من قبل صناع السياسة. هذا وتبقى الأسئلة الرئيسة بحاجة إلى إجابات بشكل مثالي في تقارير مُعدّة من قبل منظمات كالأكاديمية الوطنية الأمريكية للعلوم أو تقرير *التقييم الرابع للّجنة الحكومية حول التغير المناخي (IPCC)*.

أسئلة لم تتم الإجابة عنها

إن أكثر أمر ملح هو ما الذي سيحدث للأمن الغذائي العالمي في حال أصبحت ظروف القصعة الغبارية هي المعيار لكل من الدول المصدرة والمستوردة للغذاء؟ إن الجفاف الحاد والواسع الانتشار سيحدث في الوقت الذي يهدد فيه ارتفاع مستوى البحر واقتحام المياه المالحة بعضاً من الدلتات الزراعية الأغنى في العالم، مثل تلك الموجودة في النيل وGanges. في هذه الأثناء، فإن تحمّض المحيط ocean acidification، والاحترار والصيد الزائد للسمك قد يستنفد بشدة الغذاء المتاح من البحر.

ما هي الآثار المترتبة على تشكل قصعة الغبار بالنسبة لتوليد الطاقة؟ بعد الزراعة فإن توليد الطاقة هو المسؤول عن معظم عمليات سحب المياه العذبة. وإن الاستراتيجيتين الرئيستين لتوليد مياه إضافية صالحة للشرب وهما تنقية المياه القذرة وتحلية مياه البحر، تستهلك كل منهما طاقة بكثافة. ومن الضروري أن تخفض أنظمة

آنذاك والآن: خبزت الشمس الترب الجافة محدثة سحباً من الغبار في عام 1930 (إلى اليسار)، والولايات المتحدة في الوقت الحاضر (إلى اليمين).

الطاقة المستقبلية من انبعاثات غازات الدفيئة ومن استعمال المياه. وقد تحتاج منشآت الطاقة الحرارية، ومن ضمنها الطاقة النووية، إلى تحويلها من أنظمة التبريد الرطبة أو التبخيرية إلى تقانات التبريد الجافة التي لسوء الحظ تميل لأن تكون أقل كفاءةً.

ومن منظور بيئي، ماذا ستكون تأثيرات تشكل القصعة الغبارية على دورة الكربون العالمية؟ ففي السنوات الست الماضية شهد الأمازون جفافين من النوع الذي تُوقّع حدوثه مرة كل 100عام، ومن الممكن أن يكون كل منهما قد أطلق الكثير من ثنائي أكسيد الكربون الناتج من موت الحياة النباتية كما هو الحال بالنسبة للولايات المتحدة وما تصدره من احتراق الوقود الأحفوري في سنة واحدة. وإن زيادة تكرار الحرائق الهائلة تهدد أيضاً بزيادة انبعاثات الكربون. عندما لا يمكن حماية البيئة، ماذا سيكون تأثير ذلك على التنوع البيئي؟

وفي الوقت نفسه، فإن نماذج الجفاف ينبغي تحسينها. فهم يخططون بنجاح للتغيرات الهيدرولوجية (في توزع المياه) التي شوهدت في جنوب غرب الولايات المتحدة والجفاف الملاحظ على المستوى العالمي، لكن التوقعات الإقليمية يمكن أن تكون متغيرة بشكل مقلق. توقعت بعض النماذج زيادة في الأمطار في شرق إفريقيا، في حين توقعت أخرى توقعاً صحيحاً أن الاحترار في المحيط الهندي في عام 2010 سيؤدي إلى الجفاف في المنطقة، كالجفاف المدمر الذي حصل هذا العام في الصومال. تحتاج النماذج إلى دقة أعلى وفهم أفضل لهطول الأمطار، ودرجة حرارة سطح البحر والآثار المترتبة على الغطاء النباتي.

إن التكيف الإنساني مع الجفاف الشديد الطويل الأمد هو أمر صعب أو مستحيل. ومن ناحية تاريخية، تم التخلي عن أول تكيّف مع تشكل قصعة الغبار. إن أصل كلمة صحراء أتى من الكلمة اللاتينية desertum وتعني «المكان المهجور». خلال حقبة قصيرة الأجل نسبياً التي سادت فيها قصعة الغبار في الولايات المتحدة، قامت آلاف العائلات بالهروب من المنطقة. نحن بحاجة لأن نخطط كيف سيتعامل العالم مع الهجرات الكبيرة من الجفاف، والنمو المتزايد للمناطق ذات الأراضي غير الصالحة للزراعة في وسط البلدان المأهولة بالسكان والمناطق الزراعية العالمية. إن إطعام حوالي 9 بلايين شخص في منتصف القرن القادم في مناخ آخذ بالتدهور بشكل سريع، قد يكون أعظم تحدٍّ يواجهه الجنس البشري.

ليست هذه التنبؤات هي أسوأ الحالات للسيناريوهات: فهي تفترض انبعاثات غازات الدفيئة من أعمال اعتيادية. بإمكاننا الاعتقاد بأن النماذج متشائمة كثيراً، لكن بعض التغيرات، مثل التوسع في المناطق المدارية تحدث بشكل أسرع مما تنبأت به النماذج. نحن نحتاج بشكل واضح إلى متابعة سياسات تخفيف انبعاثات غازات الدفيئة الشديدة بشكل فوري، ووضع مسألة قصعة الغبار باعتبارها أولوية عالمية بالغة الأهمية.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature, Vol 478, 27 October 2011***.
ترجمة **نسرين شحادة**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

النترينوات العقيمة

يدلّ تحليل معلومات النترينوات على وجود أنواع إضافية أخرى تضاف إلى الأنواع الثلاثة المعروفة. وإذا ما أُكد ذلك، فإن وجود هذه الجسيمات الإضافية سيكون له تأثير واضح على الفيزياء الفلكية وعلم الكون.

النترينوات هي ثاني أكثر الجسيمات وفرة في الكون بعد الفوتونات. ومع ذلك فالقليل معروف عنها وخاصة كتلها وأنواعها. في دراسة نُشرت في physical review letters، قام كوب Kopp وزملاؤه بتحليل كلّ المعلومات المتوفرة حول النترينو واقترحوا إمكانية وجود أنواع أخرى إضافة إلى الثلاثة (النشيطة) التي تتفاعل مع المادة عن طريق التفاعلات الضعيفة، وهي نترينو الإلكترون ونترينو الميون ونترينو تاو. ووفقاً لاقتراحهم، فإن هذه النترينوات الإضافية سوف تتفاعل عن طريق الثقالة وليس بالتفاعلات الضعيفة، وبالتالي ستكون "عقيمة". سيكون لهذه النترينوات تأثير كبير على الفيزياء الفلكية وعلم الكون من خلال اختلاطها مع النترينوات النشيطة وتفاعلاتها مع الثقالة.

لقد حُدّد عدد النترينوات النشيطة بثلاثة من خلال قياسات عرض الجسيم الأولي المعروف بالبوزون Z^0 المنجزة بالمصادم بوزيترون–إلكترون الكبير (LEP) في سيرن (CERN) قرب جنيف في سويسرا. يتوسط البوزون Z^0 التفاعل الضعيف، وبالتالي يمكن أن يضمحل إلى كلّ الكواركات والليبتونات التي تتفاعل عن طريق التفاعل الضعيف (الكواركات والليبتونات عائلتان من الجسيمات الأولية تتضمن الثانية منهما النترينو). يتناسب عرض Z^0 طرداً مع عدد قنوات اضمحلال الجسيم وعكساً مع زمن حياة Z^0. وبالتالي، فإن أيّة أنواع إضافية من النترينوات ستكون عقيمة، أي لن تتفاعل بطريقة التفاعل الضعيف ولن تؤثر على عرض Z^0.

ولكن كيف يمكن البحث عن النترينوات العقيمة؟ إحدى الطرق تكمن في البحث عن دليل كوني للنترينوات العقيمة من خلال تأثيراتها الثقالية على تشكيل المجرّات وعلى تطور الكون. ولكن هذه التقنية تفترض أننا نعرف كثافة النترينوات العقيمة في الكون والنموذج التابع للكثافة. والطريقة المباشرة هي البحث عن التقلّبات بين النترينوات النشيطة والعقيمة.

رُصدت تقلّبات النترينو خلال تحول النترينو من نوع إلى آخر، وتظهر هذه التحولات إذا كان هناك اختلاط بين أنواع من النترينوات، أي إذا كان نوع من النترينوات مؤلفاً من تركيب خطي من الكتل المختلفة للنترينو. (حالياً، يمكن قياس الكتل والاختلاط للكواركات الأساسية والليبتونات وإن كانت لا تزال غير مفهومة). في حال اختلاط نترينوين –مثلاً، الاختلاط بين نترينو ميون ونترينو إلكترون– يكون احتمال تحول نترينو ميون (ν_μ) إلى نترينو إلكترون (ν_e) معطى بـ

$$\mathbf{P}(\upsilon_\mu \rightarrow \upsilon_\mathbf{e}) = \sin^2(2\theta)\sin^2(1.27\Delta\mathbf{m}^2\mathbf{L}/\mathbf{E}).$$

حيث θ، تُقدَّر بالراديان وتصف الاختلاط بين نترينو ميون ونترينو إلكترون؛ Δm^2 فرق مربعي كتلتي النترينوين وتُقدَّر بمربع الإلكترون فولت؛ L المسافة المقطوعة من قبل نترينو ميون مقدرة بالكيلومتر؛ و E طاقة نترينو ميون مقدرة بالغيغا إلكترون فولت.

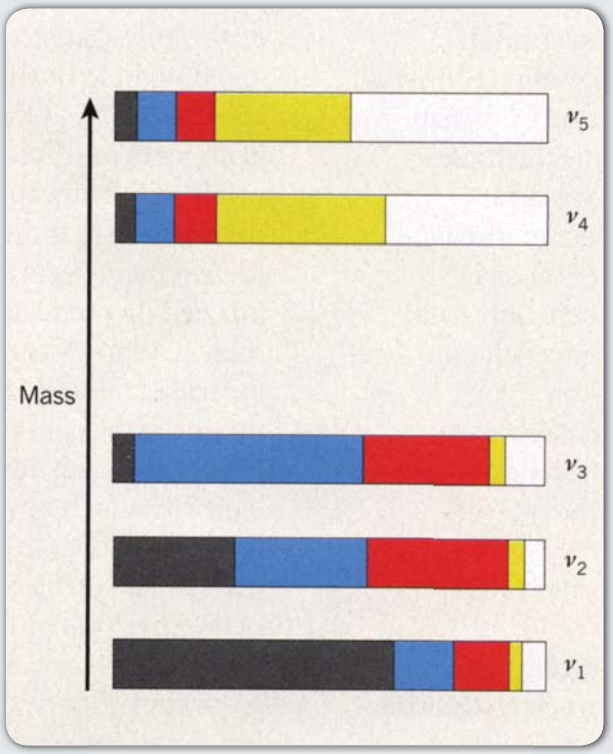
إن عدد كتل النترينو المختلفة يساوي بشكل عام عدد أنواع النترينو، وبالتالي فإن اختلاط ثلاثة نترينوات يستلزم ثلاث كتل للنترينو وقيمتين مستقلتين لـ Δm^2، واختلاط خمسة نترينوات يستلزم خمس كتل للنترينو وأربع قيم مستقلة لـ Δm^2. لوحظت تحولات النترينو عند قيمة لـ Δm^2 تعادل 7×10^{-5} إلكترون فولت مربع عن طريق كواشف تقيس تدفق النترينوات من الشمس وتجارب تقيس تدفق نترينوات المفاعلات النووية بعد اجتيازها مسافات بعيدة. واكتشفت التحولات عند Δm^2 حوالي 2×10^{-3} إلكترون فولت مربع بواسطة كواشف تقيس تدفق النترينوات من الجو وتجارب تُقاس فيها نترينوات جسيم المسرّعات بعد اجتيازها مسافات بعيدة. بالإضافة إلى هذه المشاهدات التي تؤكد تقلّبات النترينو، هناك أيضاً دليل لتقلّبات عند Δm^2 تساوي تقريباً 1 إلكترون فولت مربع مكتشفة من مسافة قصيرة من المسرّع وتجارب نترينو مفاعل. وعلى

أية حال، فإنه من غير الممكن شرح القيمة الثالثة لـ Δm^2 باستخدام ثلاث كتل للنترينو، وبالتالي لابد من افتراض كتل إضافية.

حاول كوب وزملاؤه في دراستهم ملاءمة المعلومات العالمية لتقلّب النترينو مع نماذج نظرية تتضمن أربع كتل مختلفة للنترينو (ثلاثة نترينوات نشيطة وآخر عقيم) وخمس كتل مختلفة للنترينو (ثلاث منها نشيطة واثنتان عقيمتان (الشكل 1)). ووجدوا أن نترينو عقيماً واحداً غير كافٍ لتفسير المعلومات العالمية، ولكن استخدام نترينوين عقيمين كافٍ لإظهار توافق شامل ومقبول. (وهناك ملاءمات أخرى نوقشت في مواقع أخرى). تتمتع ملاءمة كوب وزملائه باستخدام نترينوين عقيمين بميزة إضافية تكمن في سماحها بانتهاك تناظر ندّية الشحنة لليبتونات –التي بموجبها تتصرف الجسيمات والجسيمات المضادة مثل أخيلة مرآة بعضها لبعض– أو باختلاف بين تقلّبات النترينو وتقلّبات النترينو المضاد. مثل هذا الانتهاك لندّية الشحنة يمكن أن يساعد في تفسير عملية r، حيث تتولّد فيها العناصر الثقيلة من خلال تفاعلات نووية تتطلّب أسر نترونات سريعة (لذا سُمّيت r من rapid)، فضلاً عن إنتاج العناصر الثقيلة في التدفقات المفاجئة للنترينو الناجمة عن الانفجارات النجمية المعروفة بالمستعر الفائق، أي أن ملاءمة كوب وزملائه قبلت بسيادة المادة للكون بدلاً من المناصفة مع المادة المضادة.

هل هذا يعني أن النترينوات العقيمة موجودة ؟ قبل البدء بالإجابة علينا الإشارة –رغم الكفاءة الجيدة لملاءمة كوب وزملائه– إلى وجود عدم توافق في المعلومات: الأول بين ظهور وغياب تجارب التقلّب (تقيس تجارب الظهور ظهور نوع ثانٍ من النترينو، في حين تقيس تجارب الغياب غياب النترينو الأول)؛ والثاني عدم التوافق بين المعلومات الناجمة عن الملاءمات الشاملة لتقلّب النترينو ومعلومات علم الكون التي تقيس الكتلة الكلّية للنترينو في الكون (كتلة النترينو لأفضل ملاءمة لكوب وزملائه هي 1.7 إلكترون فولت، في حين تضع معلومات علم الكون حدّاً للكتل أصغر من 0.7 – 1.5 إلكترون فولت). ويكون عدم التوافق الأخير مهمّاً بشكل خاص لأنه، كما يقول كوب وزملاؤه، «يجب أن تشير مبرّرات وجود النترينو العقيم إلى انحراف عن صورة علم الكون المعياري».

في المستقبل، سيكون من الضروري فحص هذا الدليل على وجود النترينوات العقيمة باستخدام تجارب جديدة ومحسّنة. في الحقيقة، جرى التخطيط للعديد من التجارب أو حتى إنها تُجرى سلفاً في الولايات المتحدة وأوربا وآسيا بخصوص النترينوات العقيمة والكتل من رتبة 1 إلكترون فولت. ويشمل ذلك التجارب التي

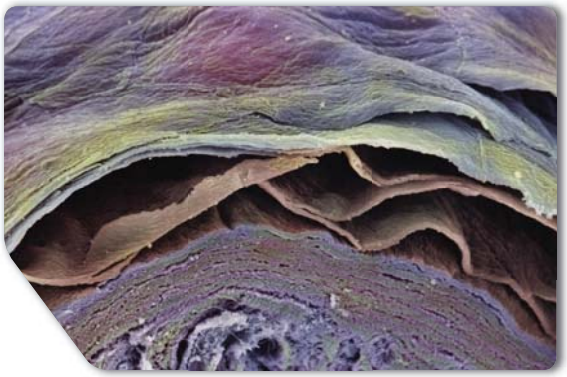


الشكل1- خماسية النترينو. أفضل نموذج ملاءمة لمعلومات النترينو العالمية المحلّلة من قبل كوب وزملائه، الذي استخدم خمسة أنواع من النترينو (ثلاثة منها نشيطة واثنان عقيمان) وخمس كتل مختلفة للنترينو (ν_5، ν_4، ν_3، ν_2، ν_1) التي سُطرت هنا ولكن ليست على تناسب فيما بينها. رُسمت الأجزاء من النترينوات الثلاثة النشيطة التي تساهم في الكتل المختلفة بالرمادي (نترينو إلكترون) وأزرق (نترينو ميون) وأحمر (نترينو تاو)، في حين رُسم النوعان الآخران من النترينوات العقيمة باللونين الأصفر و الأبيض.

تستخدم منابع النترينو الإشعاعية وتجارب نترينو المفاعل وتجارب نترينو المسرّع وحتى تجربة مكعب الثلج في القطب الجنوبي التي تكشف نترينوات الجو عند طاقة عالية جداً (10^{12} إلكترون فولت). وفيما إذا تأكد وجودها، سيكون للنترينوات العقيمة تأثير كبير على الفيزياء النووية وعلى فيزياء الجسيمات وعلى الفيزياء الفلكية وعلى علم الكون. وسيكون علينا التسليم بأن التفاعل الضعيف للجسيمات سوف يؤثر بقوة على سلوك الكون.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature, Vol 478, 20 October 2011***.
ترجمة **د. محمد خير صبرة**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

في عمق مشكلة الحساسية



لقد فتح التركيز على عدم الانتظام في الدفاعات الجلدية تفكيراً جديداً في آلية حدوث الحساسية.

ترتيب طبقات الجلد السليم مقارنة بطفح الأكزيما يمين الصورة

لاحظت ألان إرفن Alan Irvine، وهي اختصاصية أمراض جلدية في كلية Trinity في دوبلن Dublin في خريف 2005، شيئاً غير عادي في مجموعة من مرضى السماك العادي ichthyosis vul-garis، وهو مرض جلدي حرشفي جاف. وقد كانت إرفن تعمل مع عالم الوراثة إروِن ماك لين Irwin McLeran في جامعة Dundee في المملكة المتحدة الذي عرفت مجموعته حديثاً طفرتين في المورثة المسؤولة عن الاضطراب الوراثي. إلا أن ملاحظة إرفن الجديدة أشارت إلى شيء أكبر بكثير: تفسير ثوري جديد عن مسببات أمراض الحساسية.

وقد كشفت إرفن أن كثيراً من مرضى السماك كانوا مصابين بالأكزيما وذلك مقارنة مع العامة. والسؤال هل يمكن أن يكون جلدهم متصدعاً؟ حقاً، هل يمكن لعيوب النسيج الظهاري أن تكون مسؤولة عن التحسُّسات الأخرى أيضاً مثل الربو، والالتهاب التحسّسي وتحسُّسات الغذاء، وليس النظام المناعي المكتسب الخاطئ كما كان الاعتقاد السائد؟ وبينما يعتبر التكهنان غير مرتبطين ببعضهما يمكن أن تجتمع العيوب في كليهما لتسبب الحساسية، والفكرة في أن النسيج الظهاري يعتبر لاعباً أساسياً يمكن أن تفسر ظواهر عديدة تشمل سبب تعرض المصابين بالأكزيما الشاملة atopic eczema لمجموعة من التحسُّسات الأخرى. وقد استُهدِف النسيج الظهاري بأساليب جديدة في معالجة الحساسية. وقد وصف ستيفان هولجت Stephen Holgate، وهو معالج وباحث في الربو في جامعة ساوثمبتون في المملكة المتحدة، ذلك الأمر "بالصبي الجديد على الساحة".

الطفرات السائدة

إن النظرة التقليدية للتحسُّسات تنطلق من أن لدى بعض الأشخاص ميلاً موروثاً لتطوير حساسيات متعددة. وهي ظروف تعرف بفرط الحساسية– حيث تسيطر استجابة مناعية معينة على نشاط الخلايا المناعية Th2 ونوع من الأجسام المضادة يدعى أمينوغلوبيولين immunoglobulin. على كل حال، وقبل عقد مضى، بدأ ظهور التلميحات بأن ذلك لا يمثل الصورة كاملة.

إحدى هذه التلميحات أتت نتيجة أبحاث في مرض جلدي نادر يُدعى متلازمة نيثرتون Netherton syndrome. ويعاني مصابو هذا المرض من جلد هش حرشفي المظهر عرضة للتشقق، كما يطورون فرط حساسية عنيفاً ومنتشراً. ومتلازمة نيثرتون هذه هي حالة وراثية وحيدة المورثة متنحية تسبِّبها طفرات في المورثة SPINK5. وتشفِّر الصيغة الطبيعية لـ SPINK5 لبروتين يمنع نشاط بعض إنزيمات تحليل البروتين الجلدية (إنزيمات تقطع البروتينات)، وتتجلى الحاجة إلى هذه الإنزيمات في التجديد اليومي للجلد، ولكن إذا نشطت بصورة مبكرة جداً كما يحدث في متلازمة نيترتون فإنها تحطم الطبقات الأكثر يفوعاً من الجلد قبل نضجها. كما تُنتِج البكتريا والأحياء الأخرى في الوسط إنزيمات تحلل بروتين (بروتيناز) مثل الذي يوجد في حبوب الطلع وما ينتج عنها من مضاعفات لدى من يعانون من الربو، وعثّ الغبار المنزلي وإنزيماتها المحلّلة للبروتيز Derp I وDerp II تخرب النسيج الظهاري.

وفي عام 2001 بيَّن فريق من مركز Wellcom Trust Center for Human Gentics في أكسفورد، المملكة المتحدة، أن نوعاً

من SPINK5 يترافق بشدة مع الأكزيما والربو في عائلات فرط الحساسية التي ليس لديها متلازمة نيثرتون مما أوحى للباحثين بأن تكون التقرحات في الحواجز الظهارية بسبب تأهب مسبق لدى الناس للأكزيما، وأن فرط التحسس يمكن أن يكون تالياً.

وكانت الانطلاقة بعد ثلاث سنوات لتشمل فريق McLean's في Dundee وفريق Irvine في Dulbin، حيث ركزت أعمالهم على مورثة الفلاغرين filaggrin "FLG" التي تحتاجها خلايا التقرن keratino-cytes في تشكيل وترطيب الطبقة الخارجية غير النفوذة من الجلد طور التقرن stratum corneum.

تحول هذه النظرية السبب من المناعة المكتسبة إلى المناعة الأصلية الفطرية.

واحد في المئة من الأوربيين الشماليين مصابون بالسماك الناتج عن طفرات في المورثة FLG وواحد من كل عشرة من هؤلاء يحمل لواقح متباينة، ويحمل نسخة طافرة ونسخة طبيعية. وقد لاحظت إرفن أنه بالرغم من أن حاملي التباين غير مصابين بالسماك الواضح إلا أن لهم أكفاً في غاية التجعد وجلداً غير عادي الجفاف مشيراً إلى أنه أكثر هشاشة من العادي. وقد قارنوا 50 طفلاً مصاباً بالسماك مع 200 من السليمين ووجدوا مترافقاً شديد الوضوح بين طفرات FLG والأكزيما.

أكثر من عمق الجلد

تقول إرفن في عمل لاحق أن مرضى الأكزيما الذين يحملون طفرات FLG يصابون بشكل أكثر شدة من الأكزيما، كما أنهم أكثر عرضة لتطوير سلاسل أخرى من التحسّس، وهذه ظاهرة تُدعى الشمول الزاحف atopic march. إن اكتشاف الترافق القوي بين طفرات الفيلاجرين مع الربو كان مفاجأة خاصة حيث لا يعبَّر عن الفيلاجرين في الرئة. أضف إلى ذلك أن سارة براون Sa ra Brown، متخصّصة في الجلد وزميلة ماكلين أيضاً في Dundee، وجدت ترافقاً قوياً بين طفرات الفيلاجرين والحساسية للفول السوداني. لم يكشف الفيلاجرين في الأحشاء ولكن وجد في بطانة الفم وفي الجلد أيضاً.

ما سبق ذكره، إضافة إلى الاكتشافات الأخرى التي تشمل العلاقة بين فرط الحساسية ونوع نادر من الخلل الجلدي يُسمّى

متلازمة تقشر الجلد، يتوافق مع الفكرة القائلة في أن التحسسات تنطلق من أدمة راشحة. وعلى الرغم من ضعف فهم الآلية الدقيقة، يُعتقَد أن الجلد الراشح يسمح للمُحسّس (المادة المحسسة) بالنفاذ إلى الجسم وشحن النظام المناعي لرد فعل تحسُّسي. وقد اختبر هذا المفهوم ببحث حديث باستخدام الفئران. والفئران التي تفتقد إلى الفيلاجرين لها جلد جاف متقشر رقيق بشكل غير طبيعي ومُثقب. وإذا دهن جلدها بألبيومين البيض (وهو بروتين متوفر في بياض البيض) طورت رد فعل تحسسي عام IgE له ولا يحدث ذلك في الفئران الطبيعية.

لقد أفاد متخصّصو الجلد باستمرار أن الأكزيما هي أساساً مرض جلدي وأن التأثيرات على كامل الجسم هي تأثيرات ثانوية، كما يقول براون. وقد اكتُشف هذا المجال في السنوات القليلة الماضية وامتدت فكرة الظهارية المعيبة إلى التهاب الأنف التحسسي rhinitis (البطانية الأنفية المثقبة) وإلى الحساسيات الغذائية (بطانة الأحشاء الراشحة).

المحير في هذه النظرية هو تحويل اللوم من الاستجابة المناعية المكتسبة إلى الذاتية. وخلايا الأدمة التي اعتقد لأمد طويل أنها مجرد حاجز سلبي أمام الغزاة. تظهر الآن لاعباً. ولا تشكل خلايا

التقرن keratinocytes ضادات antigens فقط للخلايا المناعية، وهي تفرز أيضاً سايتوكينات cytokines مثل thymic (TSLP) stromal lymphopoietin الذي يقود زحف التحسُّس الشامل وكذلك سيتوكينات أخرى تنشر الـ Th2 –الاستجابة المناعية السائدة. وتقول إرفن إن الأدمة تكون شديدة الفعالية المناعية، وهي ليست مجرد لبنات خاملة وملاطاً بينها.

مضاعفات الربو

خلال مناقشات الباحثين برزت فكرة اعتبار النظام المناعي المكتسب الدافع الأوحد للحساسية. ومنذ 20 عاماً أو ما يقاربها، تراكم حجم متنامٍ من الأعمال ليبيّن أن ظهارية المجاري الهوائية تبدو أكثر هشاشة في مرضى الربو. وبيَّن فريق هولجت في ساوثمبتون أن الوصلات المتينة، وهي المعقدات الكثيفة للبروتين التي تساعد على ربط الخلايا ببعضها في الظهارية لا تتجمع بالصورة المناسبة في المجاري الهوائية لمرضى الربو. كما وجدت مجموعات أخرى أن العيوب المختلفة في معقدات البروتين الأخرى المشمولة في ارتباطات الخلايا الظهارية ذات صلة بالربو وأن ظهارية المجاري الهوائية في المصابين بالربو يصعب تصحيحها بعد الضرر.

إضافة إلى ذلك، بينت الدراسات على الخلايا الرئوية الظهارية أن العديد من محرّضات عامة للربو تخرب أيضاً الروابط الخلوية، وخاصة تلك المأخوذة من مرضى الربو. ويكون تأثير بعض المركبات المحسّسة أنها تحرّض النظام المناعي. وإن محسس حَلم الغبار المنزلي المتمثل بالبروتيز Der p II، على سبيل المثال، يتفاعل مع مستقبلات خلايا المناعة الذاتية المسمّاة مستقبلات Toll-like، مُطلقة "إشارة خطر" تجذب اهتمام رد فعل المناعة المكتسبة. وإذا أضفت إلى ذلك ضعف الظهارية، كما يقول هولجت، تصبح أمام عاصفة تامة.

مجال للمعالجة، ضبط الدفاعات

يبحث الأكاديميون وشركات الأدوية حالياً في معالجات تدعم تمامية الظهارية لمعالجة التحسّسات. وعلى سبيل المثال يبحث إرون ماك لين Irwin McLean وزملاؤه في جامعة Dundee المملكة المتحدة عن جزيئات صغيرة يمكن أن تطلق إنتاج الفيلاجرين وربما مكونات أخرى من آليات الحواجز الجلدية لمرضى الأكزيما. كما يبحثون أيضاً في عقاقير يمكن أن تساعد الخلايا الظهارية على "تجاهل" ما يطلق عليه اسم الطفرات المبهمة nonsense لجين أو مورثة FLG. هذه الطفرات هي أكثر الطفرات شيوعاً بإعاقة طريق ترجمة الشفرة الوراثية إلى بروتين.

بعض أنواع المضادات الحيوية المسمّاة aminoglycosides معروفة في جعل الخلايا قادرة على القراءة من خلال الطفرات المبهمة والعقاقير التي تعتمد على أسلوب القراءة هذه هي تحت التجارب لمعالجة أمراض وراثية أخرى، مثل التليف الكيسي cystic fibrosis. وقد مُنح ماك لين وزملاؤه براءة اختراع تغطي استعمال عقاقير القراءة النافذة read-through بما فيها aminoglycosides مثل المضادات الحيوية المنتهية البراءة كالجنتامايسين gentamicin لمعالجة السماك والحالات الشاملة الأخرى.

سوف تمكن مثل هذه العقاقير الخلايا من تجاوز الطفرات المبهمة وبالتالي استعادة إنتاج الفيلاجرين. وستساعد المعالجة الجلد على تطوير بنية طبيعية وأكثر قوة، إلا أن الجنتامايسين له تأثيرات جانبية ضارة مما يدفع الفريق إلى البحث عن بديل من عقاقير القراءة النافذة متبعين عدداً من المؤشرات في نماذج مزارع الخلايا والحيوان.

طريقة أخرى لدعم الظهارية هي مساعدتها على تصليح نفسها. وظهارية المجاري الهوائية في مرضى الربو معروفة بعجزها في التصليح الذاتي، إلا أن تجارب مزارع الأنسجة تقترح تحسين قدرتها على التوالد استجابة لعوامل النمو. وتختبر مجموعة هولجت في جامعة ساوثمبتون في بريطانية أمان وفعالية عامل النمو (KGF) في مرضى الربو. ويوجد KGF في الجلد وفي بطانة الأحشاء حيث يشجع نمو الخلايا التي تساعد في ترميم الضرر والحفاظ على قوة النسيج. وتقترح أعمال باحثين آخرين في ليل وباريس، فرنسا، على نماذج ربو الجرذان أن KGF قادر على خفض الالتهاب والارتشاح في ظهارية المجاري الهوائية، وكذلك جعلها أكثر مقاومة للتخريب الذي تحدثه المحسّسات.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature,Vol 479, 24 November 2011***.
ترجمة **د. نجم الدين شرابي**، عضو هيئة التحرير.

توليد فوتونات مهتزة من الخلاء

تمّ تجريبياً إثبات مفعول كازيمير الديناميكي dynami-cal Casimir effect، وهو توليد فوتونات من الخلاء الكمومي المحرَّض بجسم مسرَّع، وذلك باستعمال دارة فائقة الناقليّة تحاكي مرآة متحركة.

تتنبأ النظرية الكمومية بأن خلاء الفضاء وسط مثير لجسيمات افتراضية تظهر وتختفي باستمرار. تُنتج هذه الترجّحات الخوائيّة ظواهر قابلة للقياس، مثل مفعول كازيمير Casimir effect، الذي ينشأ من الضغط الذي تمارسه فوتونات افتراضية على أجسام مستقرة. في العام 1970، افترض جيرالد مور Gerald Moore أن الأجسام الخاضعة لحركة مسرَّعة سوف تُنتج فوتونات حقيقية من ترجّحات الخلاء الكمومي –وهو مفعول كازيمير الديناميكي. وفي مجلة "Nature Vol 479, 2011"، أشار ولسون Wilson ومجموعته إلى الإثبات التجريبي الأول لمفعول كازيمير الديناميكي، باستعمال دارة فائقة الناقلية تحاكي مرآة مهتزّة.

تعدِّل الأجسام المسرّعة ترجّحات الخلاء الكمومي مسبّبة إصدار أزواج فوتونية من الخلاء وتبدّد الطاقة الحركية للأجسام. تساوي الطاقة المتبدّدة في حركة الجسم الطاقة الكهرمغنطيسية المشعّة الكليّة، كما هو متوقّع حسب قانون انحفاظ الطاقة. كان متوقّعاً أن يحدث مفعول كازيمير الديناميكي، بشكله الأصلي، عندما تخضع مرآة ميكانيكية مفردة لحركة مسرَّعة في الخلاء. ثم توسَّع ذلك إلى تشكيلات يكون فيها معدل إنتاج الفوتونات معزَّزاً، على سبيل المثال، يحدث ذلك في تجويفات متشكلة بوساطة مرآتين متوازيتين، حيث يهتز موقع إحداهما مع الزمن.

إحدى المشاكل الجسيمة لدى كشف تأثير كازيمير الديناميكي المُحرَّض بوساطة منظومات ميكانيكية متحركة هي أن الطاقة المتبدّدة والإشعاع المتعلّق بها صغيران إلى حدّ الإهمال. ومن بين المتطلبات الأخرى، أن تجري الحركات بسرعة قريبة من سرعة الضوء. وبسبب هذه الصعوبات، اقتُرِح العديد من المنظومات المتشابهة من أجل رصد هذا المفعول، وأولها كان وسطاً ضوئياً لاخطياً تتغيّر قرينة انكساره بسرعة مع الزمن.

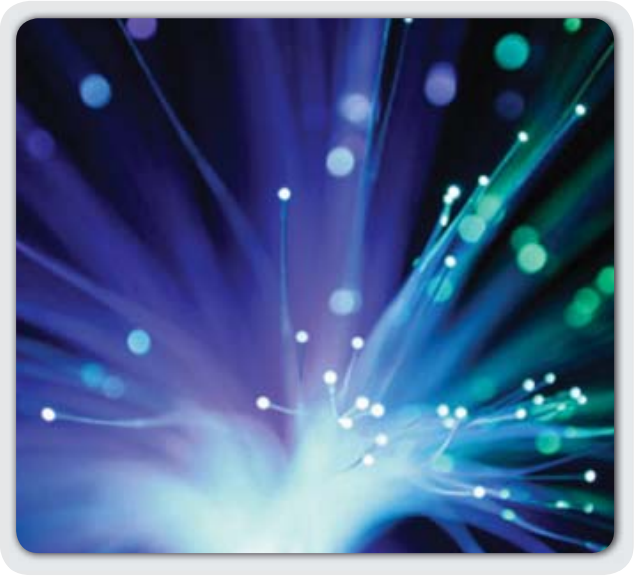
وفي واحدة من التجارب المنشودة، تمّت محاكاة المرآة المتحركة بجدار طبقي نصف ناقل، تتعدل ناقليته دورياً بوساطة ليزر خارجي. يشبه هذا التركيب إلى حدٍّ كبيرٍ مرآة مهتزة حقيقية. تقوم تجربة ولسون ومجموعته على اقتراح آخر، وتتألف من دليل موجي في إحدى نهايتيه سكويدة (نبيطة تداخل كمومي فائقة) (SQUID – super conducting quantum interference device)وهي مقياسُ مغنطيسيّةٍ حساسٌ جداً. في هذه المقاربة، يعدِّل تدفّقُ مغنطيسي تابع للزمن مخترق السكويدة الحقلَ الكهرطيسي في الدليل الموجي، بالضبط كما لو استُبدِل بالـ SQUID مرآة متحركة. ولأنه لا يوجد جسم كبير في حالة حركة، فإن السرعة الفعّالة للمرآة الخياليّة يمكن أن تكون ناتجة عن جزء جوهري من سرعة الضوء.

وحتى بدون مفعول كازيمير الديناميكي، يمكن للفوتونات أن توجد عند أي درجة حرارة محدودة، ويجب أن تكون هذه الفوتونات

مُميَّزة عن الفوتونات المحرّضة بالحركة المتولّدة من الخلاء. أعدَّ ولسون ومجموعته منظومتهم المشابهة قدر الإمكان لحالة الخلاء –عدد الفوتونات الحرارية المتبقية في مثل هذا الوسط البارد صغير جداً– عن طريق تبريد أجهزته إلى درجة حرارة منخفضة جداً (أقل من 50 ملّي كلفن تقريباً). وللحصول على فوتونات كازيمير الحراريّة، قام الباحثون بضخّ المنظومة بتدفق مغنطيسي متغيّر مع الزمن خلال السكويدة، ثم قاموا بقياس شدة وتردد الإشعاع المتولّد عند النهاية المفتوحة من الدليل الموجي، بوصفه تابعاً لقوّة حقل المضخّة وزمنه.

كشف ولسون ومجموعته عن إشعاع محرّض بالحركة كان طيف طاقة موجته المكروية عريضة العصابة متناظراً تقريباً عند نصف تردّد المرآة الخياليّة المهتزّة. يكون الطيف المقيس متسقاً مع طيف فوتونات كازيمير الديناميكية، المتولّدة في أزواج تُجمَع ترددّاتها إلى تردّد المرآة المهتزّة. وأكثر من ذلك، وجدوا أن شدة الفوتون المقيس مقابل قوة المضخة تقارن بشكل معقول مع التوقعات النظرية. إضافة إلى رصد نشوء الفوتونات الحقيقيّة، قاس ولسون ومجموعته التعالقات الفوتونية عند منفذ خرج منظومتهم. ولفعل ذلك، قاموا بشطر إشارة فوتون الخرج إلى سلسلتيْ تحليل منفصلتين وكشفوا التعالقات النوعيّة. تُعدّ مثل هذه التعالقات بصمة للطبيعة الكمومية لعملية توليد الفوتونات وسِمَة مميّزة أخرى لمفعول كازيمير الديناميكي.

المشكلة الكمومية في هذه القياسات هي أنّ الفوتونات قد تكون متولّدة بوساطة عمليات زائفة قد تحاكي مفعول كازيمير الديناميكي. أخذ ولسون ومجموعته بعين الاعتبار عدداً من تأثيرات منتظمة كهذه. على سبيل المثال، اللاخطية في الخواص الكهرطيسية لحامل الدليل الموجي و/أو اللاخطية في إلكترونيات السكويدة التي من المحتمل أن تولِّد فوتونات عند منفذ الخرج بوساطة عملية تُعرف بالتحويل الخفضي الوسيطي paramet-ric down-conversion. ولكن يؤكد الباحثون أن مستويات طاقة المضخة المستعملة في تجربتهم هي أقل بكثير من تلك المستويات المطلوبة كي تحدث عمليات لاخطية كهذه. وحتى في غياب الآليات اللاخطية الزائفة، فإن الفوتونات المحرّضة بالحركة يمكن أن تكون مُنشَّطة، ليس بوساطة ترجّحات خوائيّة كمومية، ولكن بوساطة ضجيج غير مضبوط في الأجهزة (على سبيل المثال، الضجيج الحراري). على أية حال، قاس الباحثون تدفق فوتون الخرج عند



درجتيْ حرارة (50 و 250 ملّي كلفن) وكانوا قادرين على التحقّق من أنّ الإشارات قد تمّت السيطرة عليها بوساطة ترجّحات كمومية وليست حراريّة.

سيؤثر إثبات ولسون ومجموعته لمفعول كازيمير الكمومي، إلى جانب جهود نظريّة وتجريبيّة مستمرة، بقوة على الفيزياء الأساسيّة. وسيقدّم ولسون ومجموعته إثباتات محسوسة عن خلق الجسيمات في كون متمدّد وتبخّر الثقوب السوداء من بين أشياء أخرى.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***Nature, Vol 479, 17 November 2011***.
ترجمة **علي غانم**، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

نافذة على عناصر الجدول الدوري

الفلور

الرمز:	F
العدد الذرّي:	9
الكتلة الذرّية النسبية:	18.9984032 (5)
درجة انصهاره:	-219.62 °C
درجة غليانه:	-188.12 °C
الكثافة:	1.696 g·L
حالات الأكسدة:	-1

الفلور عنصر كيميائي رمزه F وعدده الذرّي 9، وهو العنصر الأخف في عمود العناصر الهالوجينية في الجدول الدوري، وله نظير مستقر وحيد، الفلور-19. وفي درجة الحرارة والضغط الجوي النظاميين، يكون الفلور على هيئة غاز بلون أصفر فاتح ومكون من جزيء ثنائي الذرّة، F_2. يندر وجود الفلور في النجوم مقارنة مع العناصر الخفيفة الأخرى، ويكون الفلور أكثر شيوعاً في القشرة الأرضية، وترتيبه فيها الثالث عشر من حيث الوفرة العنصرية.

يشكل الفلوريت fluorite أهم فلزات الفلور، وقد وصّف هذا الفلز بداية في العام 1530، على ضوء رائحته. وقد اشتق اسم الفلز من الفعل اللاتيني fluo، وذلك بسبب إضافة فلز الفلوريت إلى الفلزات المعدنية من أجل تخفيض درجة حرارة انصهارها. وقد اقتُرح ليصبح الفلور عنصراً كيميائياً في العام 1811، وسُمِّي "فلور fluorine" تيمناً بمصدر الفلز. ذهب العديد من الكيميائيين ضحية الفلور في حوادث حصلت خلال محاولاتهم عزل العنصر. وفي العام 1886 نجح الكيميائي الفرنسي هنري مواسان Henri Moissan بعزله بطريقة التحلّل الكهربائي، وما تزال هذه الطريقة مستخدمة في الصناعة. يتمثل الاستعمال الرئيسي للفلور في تخصيب اليورانيوم الذي تم تطويره في مشروع مانهاتن.

يُعدُّ الفلور العنصر الأكثر كهرسلبية، ويشكل مركبات ثابتة، الفلوريدات، مع جميع العناصر باستثناء الهليوم والنيون. وبسبب صعوبة الحصول على الفلور العنصري، فإن الغالبية العظمى من الفلور التجاري لا يمكن إرجاعها إلى العنصر الحر. يُعدُّ حمض فلور الماء المفتاح الوسيط لصناعة كيمياء الفلور البالغة ميزانيتها 13 بليون دولار أمريكي. ورغم أن HF هو حمض ضعيف، غير أنه يأكل الزجاج ويُعدُّ أخطر من الحموض القوية التقليدية. تُعدُّ فلوريدات المعادن الخفيفة مركبات أيونية (أملاح)، أما فلوريدات المعادن الثقيلة فتشكل مركبات جزيئية طيارة. وتنحصر الاستعمالات الأهم للفلوريدات اللاعضوية في صناعة الفولاذ وفي تنقية الألمنيوم.

تنزع مركبات الفلور العضوية إلى استقرار كيميائي وحراري، وتكون كارهة للماء، وهي تُستعمل بشكل أساسي في مجال غازات التبريد (الفريون). وبالرغم من الحظر الشديد على مركبات الكلوروفلوروكربون التقليدية، التي تدمر الأوزون، ما تزال بديلاتها من مركبات الهدروكلوروفلوروكربون والهدروفلوروكربون حاوية على الفلور. يُعدُّ متُعدّد رباعي فلور الإتيلين (التفلون) البوليمير الفلوري الأكثر أهمية في تطبيقات العزل الكهربائي والتجهيزات ذات المقاومة الكيميائية، وكذلك في أسقف المدرجات وحاويات الأغذية.

لا يُعدُّ الفلور عنصراً أساسياً في الثدييات، غير أنه يحمي الأسنان من النخر. كما يتنامى استعماله في صناعة الأدوية، وأهم الأمثلة على ذلك عقار الليبيتور Lipitor وعقار البروزاك Prozac.

مميزاته

خصائصه الفيزيائية (عند وجوده بكميات كبيرة)

تزيد كثافة الفلور الغازي حوالي 1.3 ضعفاً عن كثافة الهواء، ويتحول الفلور عند (-188.1) درجة مئوية إلى سائل ذي لون أصفر ساطع، وهذه درجة حرارة مشابهة لدرجات حرارة انصهار الأكسجين والنتروجين. يتصلب الفلور عند درجة حرارة تبلغ (-219.6) درجة مئوية عبر بنية مكعبة، ويُسمّى الفلور بيتا. يكون هذا الطور شفافاً ولياً وعلى هيئة جزيئات عديمة الانتظام. وفي الدرجة (-227.5) يتحول الفلور إلى طور صلب–صلب ذي بنية وحيدة الميول تُسمّى الفلور ألفا. يكون هذا الطور عاتماً وذا طبقات مغلقة من الجزيئات. وبشكل عام، تكون الحالة الصلبة للفلور أكثر تشابهاً مع الأكسجين من تشابهها مع الهالوجينات الأخرى.

يمكن ملاحظة لونه فقط عندما يُركَّز الغاز في أنبوب طويل ويُنظر إليه عبر محور الأنبوب. ويبدو شفافاً عند النظر إليه من جانب أنبوب زجاجي عادي أو إذا ما سُمِح له بالانطلاق عبر الجو العادي. يتمتع غاز الفلور برائحة حادة مميزة حتى عندما يكون تركيزه منخفضاً إلى ما يقارب 20 جزءاً من بليون جزء.

نظائره

يوجد الفلور في الطبيعة على هيئة نظير مستقر وحيد، الفلور-19، مما يجعله وحيد النظير ووحيد النواة. غير أنه جرى تصنيعُ 17 نظيراً مشعاً للفلور بأعداد كتلية بين 14 و18 وبين 20 و31. ويُعدُّ الفلور-18 الأكثر ثباتاً بعمر نصف قدره 109.77 دقيقة، وهو أيضاً النظير الأخف وغير المستقر المحتوي على عددين فرديين من البروتونات والنترونات.

تتفكك النظائر الخفيفة للفلور-14 والفلور-15 والفلور-16 بوساطة الأسر الإلكتروني، ويتفكك النظيران ^{17}F و^{18}F ويصدران بوزيترونات. تتفكك كافة النظائر الأثقل من ^{19}F مصدرة إلكترونات، ويتفكك بعضها بالإصدار النتروني.

خصائصه الذرّية والجزيئية

تشتمل ذرّة الفلور على 9 بروتونات و9 إلكترونات، مرتبة وفق التوزع الإلكتروني التالي $[He]\ 2p^5\ 2s^2$، أي يمتلك الفلور إلكتروناً واحداً أقل من النيون. تنفصل إلكترونات الطبقة الخارجية نسبياً بعضها عن بعض، وبالتالي لا يحجب أي منها الآخر عن النواة. لذا، فهي تخضع نسبياً لشحنة نووية فعّالة جداً. وبسبب ذلك، يكون الفلور غير قابل للتأيّن ويمارس جذباً لإلكترون إضافي من أجل الحصول على ترتيب إلكتروني شديد الاستقرار، كما في حالة النيون.

تتطلب عملية تأيين جزيء الفلور (الطاقة اللازمة لخلع إلكترون والحصول على F^+) إلى طاقة قيمتها 1.681 كيلو جول، أي أكبر من الطاقة التي يحتاجها أي عنصر آخر باستثناء النيون والهليوم. وتبلغ قيمة الألفة الإلكترونية للفلور (الطاقة المتحررة عند ضم إلكترون لتشكيل F^-) ما مقداره 328 كيلو جول لكل جزيء، أي أكبر مما يحرره جزيء أي عنصر آخر باستثناء الكلور.

وبالرغم من احتواء الذرّة المنفردة للفلور إلكتروناً عازباً، فإن كافة الإلكترونات في جزيء الفلور تكون متزاوجة. وبسبب ذلك، يكون الفلور العنصري ممانعاً للتمغنط. وعلى عكس ذلك، يكون عنصر الأكسجين، المجاور له في الجدول الدوري، قابلاً للتمغنط. لم تتوفر نتائج الدراسات المغنطيسية حول الفلور قبل عام 1999، ويعود ذلك إلى صعوبة التعامل مع الفلور الغازي وإلى ضرورة تنقية الفلور من أية آثار للأكسجين القابل للمغنطة. ونظراً لكون إلكترونات الطبقة الخارجية في ذرّة الفلور موجودة في سوية ثانوية طاقية ثانية، فليس بإمكان الإلكترونات القفز إلى طبقة d ثانوية. وهذا ما يجعل الفلور وحيداً في تحقيق رابطة مرتبتها 1 تماماً؛ وللمقارنة مع الهالوجين التالي، الكلور، حيث يمكن لأحد إلكتروناته القفز إلى الطبقة الثانوية 3d، نجد أن مرتبة رابطته تساوي 1.12 تقريباً.

نشاطه الكيميائي

تسيطر على كيمياء الفلور نزعته إلى اكتساب إلكترون، فهو العنصر الأكثر كهرسلبية ومؤكسد قوي. فالفلور الغازي فعّال جداً مع المواد الأخرى بسبب قدرته على الأكسدة، مما يقود إلى روابط قوية مع الذرّات الأخرى، وبسبب الضعف النسبي للرابطة فلور–فلور.

غالباً ما تكون التفاعلات مع الفلور سريعة أو انفجارية. وبشكل عام، هناك العديد من المواد غير الفعّالة كيميائياً، مثل مسحوق الفولاذ أو الشظايا الزجاجية وألياف الأسبستوس، إلاّ أنها تتفاعل مع الفلور الغازي المبرد. فالخشب وحتى المياه تحترق بوجود شعلة من الفلور، دون الحاجة لقادح.

تتفاعل جميع المعادن القلوية بعنف مع الفلور، وتتفاعل المعادن

الوفرة في المنظومة الشمسية		
الكمية النسبية	العنصر	العدد الذرّي
4,800	Carbon	6
1,500	Nitrogen	7
8,800	Oxygen	8
1	Fluorine	9
1,400	Neon	10
24	Sodium	11
430	Magnesium	12

القلوية الترابية معه بدرجة حرارة الجو العادي غير أنها لا تنشر الحرارة بمثل ما تنشره تفاعلاته مع المعادن القلوية. يتفاعل الفلور بشكل انفجاري مع الهدروجين، أي بطريقة مشابهة لتفاعله مع المعادن القلوية. يمكن للغازات النبيلة الخفيفة، الكزينون والكريبتون، أن تتفاعل مع الفلور تحت ظروف خاصة ويمكن للأرغون أن يرتبط مع فلور الهدروجين. أما النتروجين، وبسبب روابطه الثلاثية الشديدة الاستقرار، فإن ارتباطه مع الفلور يتطلب انفراغاً كهربائياً ودرجات حرارة عالية.

أصله ووجوده

في الكون

من وجهة نظر علماء الكون، إن وجود الفلور في الكون نادر ولا يتعدى 400 جزء من بليون جزء. ففي النجوم، يكون مصير أي كمية تتشكل من الفلور الزوال عبر اندماج نووي: فيتم ذلك إما مع الهدروجين ليتشكل الأكسجين والهليوم، أو مع الهليوم ليتشكل النيون والهدروجين. يوضح الجدول التالي وفرة الفلور في المنظومة الشمسية مقارنة مع بعض العناصر الأخرى.

في الأرض

يُعدُّ الفلور العنصر الشائع الثالث عشر في القشرة الأرضية، ويُقدّر بين 600 و700 جزء من مليون جزء من كتلة القشرة. وبسبب فاعليته، فإنه يوجد على هيئة أيونات الفلور بدلاً من وجوده كعنصر. ويوجد ثلاثة فلزات بصفتها مصادر لصناعته: فلوريت fluorite وفلورابتيت fluorapatite وكريوليت cryolite.

الفلوريت (CaF_2)، المسمّى أيضاً فلورسبار أو أزرق جون، هو المصدر الرئيس لتجارة الفلور. وهناك العديد من الدول التي تنتج الفلوريت، حيث توفر الصين أكثر من نصف الطلب العالمي، وتُعدُّ المكسيك البلد الثاني في إنتاجه. كانت الولايات المتحدة في القرن العشرين تنتج غالبية هذا الفلز غير أنها أغلقت آخر مناجمها في العام 1995. وقد انخفض إنتاجه في المملكة المتحدة إلى درجة أنها أصبحت تستورده من الخارج في ثمانينيات القرن الماضي.

الفلورابتيت ($Ca_5(PO_4)_3F$)، ويستخرج مع فلزات الأباتيت الأخرى نظراً لمحتواه من الفسفات، ويستعمل غالباً لإنتاج الأسمدة. يرتبط معظم الفلور الموجود في الأرض مع هذا الفلز، غير أنه يُطرح مع النفايات بسبب ضعف تركيزه (3.5%).

الكريوليت (Na_3AlF_6)، وهو الفلز الأقل وفرة بين الفلزات الثلاثة، غير أنه الأكثر تركيزاً بعنصر الفلور. فقد استعمل مباشرة في إنتاج الألمنيوم.

قصته

اشتقت كلمة الفلور من مصطلح لاتيني يعبّر عن المصدر الأساسي للفلز، فقد ذُكر فلز الفلوريت لأول مرة عام 1529 ووصف بأنه الصاهر، كون إضافته تساعد في صهر الفلزات. اقترح هيمفري ديفي Humphry Davy الاسم "فلور" معتمداً على اسم "حمض الفلور fluoric acid"، وأضاف النهاية –ine بالتشابه مع الهالوجينات الأخرى.

في العام 1886، أعلن الفرنسي هنري مواسان Henri Moissan عن عزله للفلور العنصري. وفي العام 1906، أي قبل شهرين من وفاته، حصل مواسان على جائزة نوبل للكيمياء بسبب عزله للفلور وتصنيعه قوس الفرن الكهربائي. وبين ثلاثينيات القرن الماضي وأربعينياته، صنعت شركة ديبون DuPont كميات كبيرة من المركبات العضوية الفلورية. وبمتابعة اختبارات مركبات الكلوروفلوروكربون، بصفتها مواد مُبرِّدة، من قبل الباحثين في شركة جنرال موتورز، قامت شركة ديبون بتطوير كبير لإنتاج الفريون-12. شكل الفريون-12 ثورة في السوق، وبسرعة كبيرة حلّ استعماله محل المبرّدات القديمة الأكثر سميّة، وتطور الأمر إلى تصنيع برادات المطبخ.

وفي العام 1938، جرى اكتشاف متعدد رباعي فلورو الإتيلين (التفلون) polytetrafluoroethylene (PTFE) صدفة من قبل روي بلانكت Roy Plunkett عندما كان يتعامل مع غاز رباعي فلورو الإتيلين، إذ إنه لاحظ فقداً في الوزن. وبتنظيف وعاء التجربة لاحظ وجود رقاقات بيضاء من مولود بوليميري عالمي جديد. ولدى إجراء التجارب عليها لاحظ أنها مستعصية على التآكل ومقاومة لدرجات الحرارة أكثر من أي مادة بلاستيكية أخرى. وفي العام 1941 ظهر المنتج بشكله التجاري.

وفي مشروع مانهاتن، أنتجت الولايات المتحدة كميات كبيرة من الفلور لاستعماله في فصل اليورانيوم. فاستعمل سداسي فلوريد اليورانيوم الغازي لفصل اليورانيوم-235، بصفته متفجراً نووياً مهمّاً، عن اليورانيوم-238 عبر عملية الطرد المركزي ومحطات الانتشار. ونظراً لإطلاق سداسي فلوريد اليورانيوم كميات قليلة من الفلور

المسبب للتآكل، فقد صنعت محطات الانتشار من مواد خاصة. كما طليت جميع الأنابيب بالنيكل، وصنعت الوصلات والأقسام المتحركة من مادة التفلون.

طور روبير غور Robert Gore في العام 1969 استعمالات عديدة لـ (PTFE). ففي سبعينيات القرن الماضي وثمانينياته تطورت مفاهيم تؤكد دور مركبات كلوروفلوروالكربون في تدمير طبقة الأوزون. وفي العام 1996، حَظَرت معظم الدول استعمال هذه المركبات في عمليات التبريد، وتوقف الاتّجار بها. ومع ذلك، يتابع الفلور دوره في التبريد: فقد طوِّرت مركبات هدروكلوروفلوروالكربون hydrochlorofluoocarbons (HCFCs) وهدروفلوروالكربون hydrofluorocarbons (HFCs)، بصفتهما بدائل للمبرّدات السابقة.

تطبيقاته الصناعية

بلغت تجارة مركبات الفلور ما قيمته 13 بليون دولار سنوياً حسب إحصائيات الأعوام 2006 وحتى 2008. وبالنسبة لما مضى، تنامت هذه الصناعة في أعقاب ذلك بنسب مئوية سنوية قليلة، ويتوقع استمرار نموها في المستقبل.

استعمال الفلوريدات العضوية

إن إضافة مباشرة لـ 3 كغ من فلوريد الكالسيوم، CaF_2، إلى طنٍ من الفولاذ يُخفِّض من درجة حرارة الانصهار ومن اللزوجة (يسهل سيولة المائع)، ويعود ذلك الفعل إلى أيونات الفلور التي تساعد في إزالة الكبريت والفسفور من الفولاذ، إلاّ أن الحاجة لإضافات أخرى مثل الكلس تبقى قائمة.

يستعمل فلوريد الكالسيوم بشكل أساسي للحصول على حمض فلور الماء، الذي يُعدُّ وسيطاً كيميائياً لمعظم المركبات المحتوية على الفلور. وتتضمن الاستعمالات الأساسية المباشرة لـ HF كلاً من تنقية الفولاذ وتحطيم الألكانات في الصناعات البترولية وتنميش الزجاج.

يُستعمل ثلث كميات الـ HF (أي سدس الفلور المستخرج منجمياً) لتخليق الكريوليت الصنعي (سداسي فلورو ألومينات الصوديوم) وثلاثي فلوريد الألمنيوم. أما سليكات الفلور فهي المركب المهم التالي للفلوريد اللاعضوي المتشكل من HF. تستعمل هذه المادة لفلورة المياه. وهناك مركبات فلورية عضوية أخرى تصنع بكميات معتبرة، نذكر منها ثلاثي فلوريد الكوبالت وثنائي فلوريد النيكل (المستعمل في الإلكترونيات) وفلوريد الليثيوم (بصفته صاهراً) وفلوريد الأمونيوم (المستعمل لحالات عدة).

يشكل المركبان CaF_2 وMgF_2 مادتين مهمّتين في مجال البصريات، إذ يُستعمل ثنائي فلوريد الكالسيوم الصنعي في تشكيل العدسات ونوافذ المطياف بسبب قدرته على تمرير طيف عريض جداً من الضوء، وقد استُعمل أيضاً في صناعة تجهيزات أنصاف النواقل لغاية العام 2005، غير أنه لا يصلح لتمرير الأمواج فوق البنفسجية البعيدة الشائعة الاستعمال حالياً.

غازات التبريد

تقليدياً، تُعدُّ مركبات الكلوروفلوروكربون chloroflorocarbons (CFCs) كيماويات عضوية مفلورة مسيطرة. ويتم التعرف إليها من خلال منظومة عدٍّ تشرح جزيئاتها كمية الفلور والكلور والكربون والهدروجين. استُعمل مصطلح الفريون تعبيراً جمعياً لـ CFCs ومشابهاً لمصطلح "جزيئات مهلجنة". تستعمل R بصفتها علامة تجارية بادئة محايدة، وتتضمن الصيغة الشهيرة CFCs المصطلح R-11 (ثلاثي كلورو فلورو ميتان trichlorofluoromethane) وR-12 (ثنائي كلورو ثنائي فلورو ميتان dichlorodifluoromethane) وR-114 (1،2- ثنائي كلورو رباعي فلورو إيتان 1,2-dichlorotetrafluoroethane).

تنامى إنتاج CFCs بقوة في ثمانينيات القرن الماضي، بداية من أجل تبريد الهواء وتكييفه، ومن ثم بصفتها مواد لدفع الصواريخ، وكمحلّات أيضاً. ونظراً لحظر تصنيع هذه المواد فقد انكمشت هذه الصناعة بشكل مثير. تخدم مركبات الهدروكلوروفلوروكربون (HCFCs) والهدروفلوروكربون (HFCs) الآن بصفتها بدائل للمبرّدات CFCs. وتتضمن هذه المواد المسيطرة الآن المركبات الثلاثة التالية: R-22 (كلوروثنائي فلورومیتان chlorodifluoromethane) وR-141b (1،1-ثنائي كلورو -1- فلورو إيتان 1،1-dichloro-1-fluoroethane) و R-134a (1،1،1،2- رباعي فلورو إيتان 1،1،1،2-tetrafluoroethane)، ويُعدُّ هذا المركب الأخير أساسياً في الاستعمال.

بوليميرات مُفلوَرة

تشكل البوليميرات المفلورة وزنياً أقل من 0.1% من جميع البوليميرات المصنّعة، غير أنها أكثر تكلفة ونمواً من متوسط تكلفة ونمو بقية البوليميرات. ويقدر مردودها المادي بين 2.5 و3.5 بليون دولار سنوياً. يشكل المركب (متُعدُّد رباعي فلورو إتيلين (PTFE) polytetrafluoroethylene) بين 60 و80% وزناً من الإنتاج العالمي للبوليميرات المفلورة، ويُستعمل المصطلح تفلون في بعض الأحيان للدلالة على هذا البوليمير الأخير.

يُعدُّ العزل الكهربائي التطبيق الأهم لمادة التفلون، وذلك بسبب خاصيته المهمّة في العزل الكهربائي وعدم قابليته للاشتعال. ويُستعمل أيضاً في العمليات الكيميائية، حيث وجود الحاجة لتفادي

التآكل. يقاوم التفلون الفعل الكيميائي لكافة العناصر الكيميائية باستثناء المعادن القلوية.

توجد بوليميرات فلورية أخرى لها خصائص مشابهة للتفلون PTFE، وذلك من حيث المقاومة الكيميائية العالية والعزل الكهربائي الجيد، وهي سهلة الاستعمال في الحصول على أشكال معقدة، غير أنها أغلى من التفلون وأقل مقاومة للحرارة. فيُعدُّ بروبيلن الإتيلين المفلور fluorinated ethylene propylene (FEP) ثاني أهم منتجات البوليميرات المفلورة. ويخدم استعماله لإنتاج غشائين من بوليميرين مفلورين، وبخاصة من أجل استبدال زجاج الخلايا الشمسية.

كما توجد مواد لاصقة مفلورة مشابهة للمطاط مكونة من خلائط ذات روابط متصالبة من البوليميرات المفلورة. أما الفيتون Viton فهو مثال شهير في هذا المجال، ويُعدُّ استعماله في تشكيل حلقات مقاومة كيميائياً تطبيقاً أساسياً له.

خافضات التوتر السطحي المفلورة

إن خافضات التوتر السطحي المفلورة هي جزيئات عضوية مفلورة، وتُستعمل بشكل أساسي في تصنيع المنفرات اللونية stain repellents وفي منفرات الماء الثابتة durable water repellent (DWR)، وقد بلغت تجارة هذه المواد أكثر من بليون دولار في العام 2006، وهي مواد كيميائية مكلفة، وتقارن تكلفتها بتكاليف الكيماويات الصيدلانية.

أهم استعمالات غاز الفلور

يوجد في مجموعة الدول السبع الصناعية 11 شركة لإنتاج غاز الفلور، وقد بلغت كمية الإنتاج فيها حوالي 17000 طن سنوياً. يكون سعر الفلور رخيصاً نسبياً، حوالي 7 دولار عندما يباع على هيئة سداسي فلور اليورانيوم أو سداسي فلور الكبريت. وبسبب صعوبة تخزين الفلور الغازي والتعامل معه، فهو أغلى من ذلك بكثير.

إن الاستعمال الأهم للفلور الغازي هو في تصنيع سداسي فلور اليورانيوم، المستخدم في إنتاج الوقود النووي. وللحصول على هذا المركب، تتم بداية معالجة ثنائي أكسيد اليورانيوم بحمض فلور الماء، وذلك لإنتاج رباعي فلور اليورانيوم. تتم فلورة هذا الأخير بتعريضه المباشر لغاز الفلور من أجل الحصول على سداسي الفلور. إن الوجود الطبيعي للفلور على هيئة نظير وحيد يجعله مفيداً في تخصيب اليورانيوم، وذلك لأن جزيئات سداسي فلور اليورانيوم ستختلف فقط باختلاف كتل نظيري اليورانيوم-235 واليورانيوم-238. تُستعمل هذا الاختلافات الكتلية لفصل اليورانيوم-235 عن اليورانيوم-238 بوساطة الانتشار والطرد المركزي. إذ يُستعمل سنوياً حوالي 7000 طن من غاز الفلور من أجل هذا التطبيق.

هذا، وتوجد استعمالات عديدة أخرى في مجال العزل الكهربائي وفي مجال الإلكترونيات، وذلك بعد تصنيع مركبات شديدة العزل الكهربائي، مثل سداسي كلور الكبريت وسداسي فلور الرينيوم والتنغستين، على التوالي. ولغاز الفلور أهمية أيضاً في تصنيع هالوجينات الفلور المستعملة كمحفزات كيميائية في مجال التصنيع الصيدلاني.

إنتاج غاز الفلور

لا يزال مصنّعو غاز الفلور يستعملون طريقة التحلّل الكهربائي التي استعملها مواسان، مع بعض التعديلات في تصميم الخلية.

التصنيع بالتحلّل الكهربائي

تُصنَّع سنوياً آلاف الأطنان من الفلور العنصري بوساطة التحلّل الكهربائي لفلوريد البوتاسيوم في حمض فلور الهدروجين:

$$HF + KF \rightarrow KHF_2$$

يُصهر خليط بنسبة KF/2HF تقريباً في الدرجة 70 °C ليتحلّل في درجة حرارة بين 70 و130 °C. يقوم ثنائي فلور البوتاسيوم بزيادة الناقلية الكهربائية للمحلول مما يؤدي إلى تشكل أنيونات ثنائي الفلور، التي تحرر الفلور عند المصعد. وإذا تحلل HF كهربائياً لوحده فسيتحرر الهدروجين عند المهبط وتبقى أيونات الفلور في المحلول. وبعد التحلّل الكهربائي سيبقى فلور البوتاسيوم في المحلول.

$$2\ HF_2^- \rightarrow H_2\uparrow + F_2\uparrow + 2\ F^-$$

تستعمل العمليات الجديدة الفولاذ ليقوم بدور المصعد والكربون بدور المهبط في هذا التصنيع، وتكون الفولطية في هذه الحالة بين 8 و12 فولطاً.

تداول غاز الفلور

يُخزَّن غاز الفلور في أسطوانات من الفولاذ طُلي سطحها الداخلي بطبقة من فلوريد معدن مقاوم للتآكل. وللحصول على تخزين آمن، يجب أن تظل درجة الحرارة أقل من 200 °C. وفوق هذه الدرجة يتطلب التخزين استعمال النيكل. تُصنع صمامات التحكم من مادة النيكل، كما تُصنع الأنابيب الناقلة للفلور من النيكل أو من المونيل (خليطة من النيكل والنحاس).

استعمالاته الحيوية

لا يُعدُّ الفلور عنصراً ضرورياً للثدييات والبشر، إنما قد تفيد كميات ضئيلة منه في تقوية العظام، غير أن ذلك يحصل فقط عن طريق إجراء صنعي.

العناية بالأسنان

يؤدي تماس أيونات الفلور مع الأسنان إلى الحدّ من تسوسها من خلال تشكل فلور الأباتيت على سطحها. يتكون ميناء السن جزئياً من طبقة معدنية، مما يجعله أكثر مقاومة للنخر. وتعمل طريقة العناية بالأسنان عن طريق التماس المباشر فقط. وإن أيونات الفلور الداخلة إلى الجسم عن طريق البلع لا تقدم أي فائدة للأسنان.

تستعمل في معاجين الأسنان مواد عديدة منها فلور الصوديوم وفلور القصدير والأكثر شيوعاً هو أحادي فلور فسفات الصوديوم. تخضع عملية فلورة المياه إلى تحكم بكمية الفلور المضاف إلى مصادر المياه العامة بهدف التقليل من تسوس الأسنان.

في مجال الصيدلة والزراعة

هناك العديد من الأدوية المحتوية على الفلور. فبسبب الاستقرارية العالية للرابطة كربون–فلور، يتم تصنيع العديد من الأدوية المفلورة بهدف تجنب تفككها ورغبة في إطالة عمر نصفها، مما يسمح بزيادة الفترة الزمنية بين إعطاء الجرعة ودخولها في طور الفعالية. ومن بين الأدوية التي سوقت خلال الخمسين سنة الفائتة، هناك ما بين 5 إلى 15% منها قد حوت الفلور، كما أن وجود الفلور في الأدوية يتزايد مع مرور الزمن. وبالإضافة إلى المواد الصيدلانية، إن حوالي 30% من المركبات المستعملة في الزراعة تحتوي على الفلور.

المواد السامة والصنعية والطبيعية

استعملت أسيتات فلور الصوديوم بصفتها مبيداً، وهي فعّالة بشكل أساسي في حالة استعمالها كمبيدات للثدييات. إن أسيتات الفلور مشابهة للأسيتات التي تملك دوراً محورياً في دورة كريبس (وهي جزء مفتاحي في تحولات الخلية). تقوم أسيتات الفلور بإيقاف دورة كريبس وتسبب حرمان الخلية من الطاقة. وجدت مواد فلورية عضوية مصنعة حيوياً في متعضيات مكروية وفي النبات، ولكن ليس في الحيوان.

في مجال الفحوصات الدقيقة

يتم في عملية التصوير بالإصدار البوزتروني PET scanning استعمال مركبات تحتوي على الفلور-18، وهو نظير مشع يصدر بوزترونات، وذلك لأن عمر النصف للفلور-18، البالغ حوالي 110 دقائق، يُعدُّ طويلاً بالمقارنة مع مصدرات البوزترن المرجعية. ومن هذه المركبات نذكر 2-deoxy-2-(18F)ßuoro-D-glucose، المعبّر عنه تجارياً بـ 18F-FDG. ففي عملية التصوير، وبعد حقنه في الدم، يمكن لهذا المركب أن يندخل إلى النسج المحتاجة للغلوكوز، مثل الدماغ وغالبية أنماط الأورام السرطانية. وهكذا يمكن استعماله كواسطة لتشخيص ومعالجة سرطانات الرئتين والثدي.

يتكون الفلور الطبيعي من نظير وحيد، الفلور-19. وتستعمل مركبات الفلور بسهولة في تقانة التجاوب المغنطيسي (NMR)، وذلك بسبب أن الفلور-19 يمتلك سبيناً نووياً قيمته ½، وهو عزم مغنطيسي كبير، مما يسمح له بإجراء القياسات بسرعة، وقابلة للمقارنة بالتأثير العائد للهدروجين-1.

في أبحاث سوائل التنفس

تتمتع سوائل فلور الكربون بقدرة عالية على احتواء الغازات المنحلة فيها، فبإمكانها احتواء مزيد من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون. ولهذا السبب، فقد جذبت هذه السوائل الاهتمامات المتعلقة بحالات التنفس البشري. وهناك تطبيقات أخرى تتضمن الغطس العميق في البحار والرحلات الفضائية.

في التوقيت الزمني

نظراً لاحتواء المياه الجوفية على أيونات الفلور، فإن الأجسام العضوية مثل العظام المندملة في الأتربة ستمتص هذه الأيونات عبر الزمن. وهكذا، يكون من الممكن تعيين العمر النسبي لجسم ما من خلال مقارنة كمية الفلور مع ما يوجد في جسم آخر وجد في الموقع نفسه. ومع ذلك، إذا لم يُعرف العمر لجسم ما، فيمكن أن يعبَّر عن الأعمار بصيغة أحدث أو أقدم من الأجسام الأخرى المقارنة معها.

مخاطره

الفلور الغازي والفلور الأيوني

يُعدُّ الفلور العنصري غاية في السمّية. فعندما يزيد تركيزه على 25 جزءاً من مليون جزء، يسبّب الفلور إثارات شديدة عند ملامسته للعيون، أو دخوله في مجرى التنفس أو إلى الرئتين والكبد والكليتين. وعندما يصل تركيزه إلى 100 جزء من مليون جزء فإنه يشكل خطورة على عيون البشر وحاسّة الشم لديهم.

وعندما تكون الفلوريدات منحلة فهي متوسطة السمّية. ففي حالة فلور الصوديوم، تتراوح الجرعة القاتلة للإنسان البالغ بين 5 و10غ، وهو ما يعادل المجال 32 و64 ملغ من الفلور العنصري لكل كيلو

غرام واحد من وزن الجسم. والجرعة التي تؤدي إلى تأثيرات صحية غير ملائمة هي حوالي عُشْر الجرعة المميتة. وإن استهلاك زيادة من الفلوريد بشكل متواصل يؤدي إلى مرض عظمي في العمود الفقري يعاني منه الملايين في الهند والصين.

وعبر الزمن، تبيَّن أن حالات التسمُّم بالفلور ناجمة عن اندخال طارئ للمبيدات الحاوية فلوريدات لاعضوية. كما أدى سوء استعمال الفلور في تنقية المياه إلى حالات تسمم متعددة، بما في ذلك حادث ألاسكا الذي تأذى منه حوالي 300 شخص وتوفي واحد منهم.

مشاكله البيئية في الجو

جرى تنظيم إنتاج واستعمال مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) والبروموفلوروكربون (BFCs) بدقة عبر اتفاقات دولية، أي ما سُمّي "بروتوكول مونتريال" بسبب تدميرها لطبقة الأوزون. إن ذرّات الكلور والبروم المنطلقة من هذه الجزيئات هي التي تسبب الخطر، وليس الفلور. وإن الاستقرار المتأصل لهذه الجزيئات المهلجنة تماماً (أي أنها جزيئات غير قابلة للاحتراق ومفيدة)، هو ما يجعلها قابلة للوصول إلى الطبقات الجوية العليا، قبل أن تخضع للتفكك، ومن ثم تحرر الكلور والبروم اللذين يهاجمان الأوزون في هذه الارتفاعات. هناك أدلة تشير إلى أن حظر تصنيع هذه المركبات قد بدأ يعطي نتائجه، أي أن هناك توقف لتدمير طبقة الأوزون وأنها بدأت تستعيد عافيتها.

تسبِّب جميع غازات CFCs و HFCs احتراراً كونياً أكثر بـ 4000 وحتى 10000 مرة مما يسبِّبه ثنائي أكسيد الكربون.

مركباته

يوجد الفلور بحالة أكسدة (1-) في جميع المركبات باستثناء الفلور العنصري، حيث ترتبط ذرّتا الفلور مع بعضهما وتكون بحالة أكسدة صفرية. يشكل الفلور مع العناصر الأخرى إما روابط مشتركة قطبية أو روابط أيونية.

مركباته اللاعضوية

فلور الهدروجين

يرتبط الفلور مع الهدروجين مشكلاً فلور الهدروجين (HF) أو، في بيئة من المحلول المائي، يشكل حمض فلور الماء. إن نمط الرابطة H-F هو واحد من ثلاثة إمكانات لتشكُّل الرابطة الهدروجينية (تشكيل تجمعات جزيئية فيما بينها). تؤدي الرابطة الهدروجينية هذه إلى ارتفاع اللزوجة في الطور السائل وإلى ضغط أقل في الطور الغازي. يتمتع هذا المركب إلى حدٍّ ما بمواصفات مشابهة لخصائص الماء. فلا يغلي فلور الهدروجين تحت الدرجة 20 °C، على عكس هاليدات الهدروجين الأثقل التي تغلي بين الدرجة 85- °C و35- °C. وعلى عكس حموض الهاليدات الهدروجينية، مثل حمض كلور الماء، يكون فلور الهدروجين حمضاً ضعيفاً في المحلول المائي.

يستطيع فلور الهدروجين الجاف بسهولة حلّ فلوريدات المعادن المنخفضة الشحنة. يمكن أن ينحل العديد من البروتينات والهدروكربونات في HF الجاف، ويمكن استرجاعها منه.

فلوريدات المعادن

تتماثل فلوريدات المعادن مع فلوريدات الهالوجينات الأخرى لكنها تكون أكثر تأيناً. تظهر فلوريدات المعادن توجهات عديدة ترتكز على شحنة المعدن. فالمعادن ذات رقم الأكسدة +3 أو أقل تنحو لتشكل فلوريدات أيونية، والمعادن ذات رقم الأكسدة +5 أو أكثر تنحو إلى تشكيل روابط تشاركية مع الفلور: جزيئات بوليميرية أو منفردة. ويؤدي هذا التنوع بالربط إلى تضمينات فيزيائية: فقد تكون الفلوريدات المعدنية صلبة أو سائلة أو غازية في درجة الحرارة العادية.

فلوريدات لا معدنية

تكون ثنائيات الفلور اللامعدنية مركبات طيارة ولا تخضع عادة للقاعدة الثمانية للربط. فعلى سبيل المثال، يكون لثلاثي فلور البور ستة إلكترونات فقط حول ذرّة البور المركزية. ومع ذلك، تتبع فلوريدات عناصر الدور الثاني، السابقة للفلور، القاعدة الثمانية: رباعي فلوريد الكربون وثلاثي فلوريد النتروجين وثنائي فلوريد الأكسجين.

هناك العديد من الحموض اللاعضوية المهمّة الحاوية على الفلور، وهي غالباً ما تكون قوية جداً بسبب الكهرسلبية العالية للفلور. فمثلاً، يُعدُّ حمض فلور الأنتيموان ($HSbF_6$) مركباً فوق حمضي وهو أقوى الحموض المعروفة على الإطلاق.

مركباته مع الغازات النبيلة

الغازات النبيلة ليست فعّالة كيميائياً بشكل عام، لأن طبقاتها الخارجية مكتملة الإلكترونات، وهو ما يجعلها شديدة الاستقرار. وحتى ستينيات القرن الماضي، لم يتم التعرف إلى روابط كيميائية مع أي من الغازات النبيلة. إلاّ أنه في العام 1962 استعمل نيل بارتليت Niel Bartlett سداسي فلوريد الألنيوم ليتفاعل مع الكزينون، وسَمّى المركب الناتج سداسي فلورو بلاتينات الكزينون. وفي نهاية العام 1962 تمّ إجراء تفاعل مباشر بين الكزينون والفلور لتشكيل ثنائي ورباعي فلوريد الكزينون. ومنذ ذلك التاريخ بذل الكيميائيون جهوداً مكثفة لتشكيل مركبات أخرى لفلوريدات الغازات النبيلة.

مركباته العضوية

تُعرّف المركبات الفلورية العضوية بأنها المركبات التي تحتوي على رابطة كيميائية بين الفلور والكربون. إن هذه الرابطة هي الأقوى بين روابط الكيمياء العضوية، وهي شديدة الاستقرار. يحلّ الفلور محلّ الهدروجين في المركبات الهدروكربونية حتى في درجة الحرارة العادية. تُصنّع المركبات الفلورية العضوية بوساطة تفاعلين مباشرين مع غاز الفلور، يمكن أن يكونا تفاعلين خطرين، أو بوساطة مواد مفلورِة مثل سداسي فلوريد الكبريت.

تُستعمل بعض المركبات الفلورية العضوية، مثل فلور الميتان، في عمليات تصنيع أنصاف النواقل. كما توجد مركبات أخرى فلورية عضوية مثل: رباعي فلور الإيتان (R-134a) وثنائي كلوروفلورو الميتان (R-12)، بصفتهما مبرِّدين، ومتُعدّد رباعي فلور الإيتيلين (التفلون).

جزيئات صغيرة

تتمتع مشتقات الألكانات alkanes (مركبات هدروكربونية ذات روابط أحادية) المفلورة بكثافات عالية ودرجات انصهار وغليان عالية، كما أنها تتمتع أيضاً باستقرار حراري وكيميائي أعلى مما تتمتع به أسلافها الهدروكربونية.

وعلى العكس من ذلك، تؤدي فلورة الهدروكربونات الحاوية روابط ثنائية (الألكنات alkenes) أو روابط ثلاثية (الألكينات alkynes) إلى تشكل جزيئات يمكن مهاجمتها بسهولة كبيرة، ويشكل ثنائي فلورو الأستيلين difluoroacetylene، الذي يُعدُّ متفجراً حتى في درجة الحرارة العادية، المثال الأوضح في هذا السياق.

إن استبدال ذرّات الهدروجين بهالوجينات أخرى بالاشتراك مع الفلور في المركبات الهدروكربونية يعطي مركبات كلوروفلوروكربونية (CFCs) أو بروموفلوروكربونية(BFCs). (أما إذا بقيت بعض ذرّات الهدروجين في المركب فإنها تعطي HCFCs). تتعلق خصائص هذه المواد بعدد ذرّات الهالوجين وهويته. فبشكل عام، تكون درجات حرارة الغليان أكثر ارتفاعاً عند مشاركة ذرّات هالوجينية، لأن تنوع قدّ الهالوجينات المختلفة وشحناتها يسمحان بزيادة التجاذب البين جزيئي.

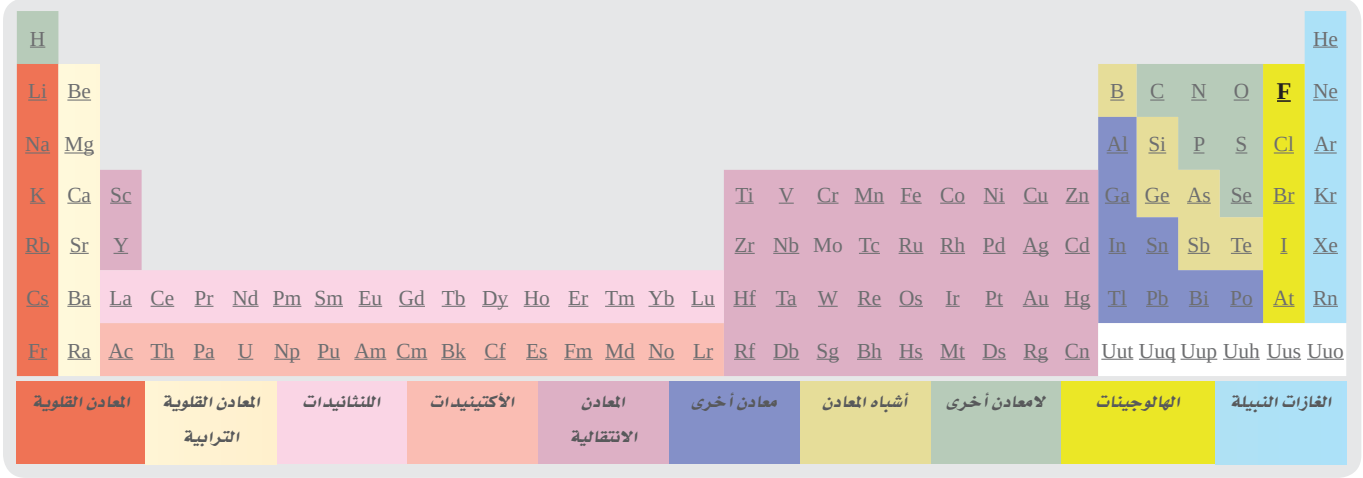
بوليميراته

إن البوليميرات المفلورة هي بوليميرات عضوية (مواد بلاستيكية) تحتوي على الفلور. فمتعدد رباعي فلوروإتيلين (PTFE، التفلون) هو مجرد سلسلة بوليميرية خطية بسيطة متكررة الوحدات البنيوية: $-CF_2-$. أي أن التفلون، PTFE، هو عبارة عن سلسلة من ذرّات الكربون الأحادية المترابطة عبر سلسلة طويلة، حيث يرتبط جانبَي كلّ ذرة كربون بذرّتي فلور. فهو لا يحوي الهدروجين، ويتمتع هذا البوليمير باستقرار كيميائي وحراري متميز.

هناك بوليميرات فلورية عديدة أخرى أكثر تعقيداً بنيوياً من PTFE. إنها، وبشكل عام، تتمتع بخصائص مشابهة لخصائص التفلون، لكنها أقل منه من ناحية الثبات الحراري والكيميائي، في حين أنها أكثر سهولة في المعالجة (درجة انصهارها أقل).

إعداد: **د. عادل حرفوش**، رئيس هيئة التحرير.

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه



ورقات علمية

قياس تيار الانفراغ النبضي السريع ومعالجته في أجهزة البلازما المحرقية

Measurement and Processing of Fast Pulsed Discharge Current in Plasma Focus Machines

د. شريف حواط، د. محمد العاقل

قسم الفيزياء

ملخص

يقود تيار الانفراغ الكهربائي النبضي السريع كل العمليات الفيزيائية في جهاز البلازما المحرقية، وبدورها كل العمليات الفيزيائية في التمحرق تؤثر على الشكل الموجي للتيار. وهكذا يكون الشكل الموجي لتيار الانفراغ المؤشر الأكثر أهمية في أداء البلازما المحرقية. يؤكد هذا أهمية القياس والمعالجة والتفسير الصحيح للشكل الموجي لتيار الانفراغ. تنشر هذه الورقة العلمية قياس تيار الانفراغ النبضي السريع بواسطة وشيعة روغوفسكي، في نمطين مختلفين: محولة التيار، نمط "I"، ونمط مشتق التيار "Idot". نوقشت معالجة وتفسير الشكل الموجي للتيار المسجل للحصول على معلومات مفيدة حول العمليات الفيزيائية في جهاز البلازما المحرقية. تملك محولة التيار مع عدد كبير من اللفات ونهاية من أجزاء الواحد أوم تواتر استجابة عالياً جداً ضرورياً من أجل منطقة وهدة التيار الحادة عندما يتجاوز dI/dt المقدار 2×10^{11} A/s. على أية حال تكون الإشارة مليئة بالضجيج في منطقة وهدة التيار. نوقشت طرق عديدة لاستخلاص وهدة التيار من الضجيج وعرضت أمثلة حول كيف تؤثر مرشحات التواترات المنخفضة على الإشارات. وصفت أيضاً وشيعة مشتق التيار dI/dt، وشيعة روغوفسكي في النمط Idot، مع لفات قليلة منتهية بواسطة 50-Ohm. يحذف تكامل الشكل الموجي الرقمي 1GSa/s مركبات الضجيج العالية التواتر، ومع ذلك يظهر الشكل الموجي المستخلص خواص زاوية حادة دالة على الاحتفاظ بخواص الزمن القصير. هذا يجعل الوشيعة dI/dt أشمل من محولة التيار. اختبرت الوشيعة ذات اللفات السبع بنموذج لي ووجدت لتكون مناسبة لقياس تيار انفراغ البلازما المحرقية.

الكلمات المفتاحية: قياسات التيار النبضي Pulsed Current Measurements، بلازما محرقية Plasma Focus، وشيعة روغوفسكي Rogowski coil، نموذج لي Lee Model code.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: Journal of Fusion Energy.

الإنتاج الروتيني للغاليوم-67 والنحاس-64 بلا حامل وبنقاوة عالية بآنٍ معاً

Routine simultaneous production of no-carrier-added high purity ^{64}Cu and ^{67}Ga

د. عبد الحميد الريس، ياسر عيلوطي

قسم الكيمياء

ملخص

أنجزت الطريقة الروتينية لإنتاج النحاس-64 الخالص (الخالي من الحامل)، بالطلي الكهربائي لحامل الهدف النحاسي بطبقة من الذهب، ومن ثم ترسيب طبقة من الزنك-68 المخصب بسمك مثالي. قذف هدف الزنك-68 المخصب بحزمة من البروتونات طاقتها 23.5MeV عند التيار 250μA. التفاعلات النووية الرئيسية المولدة هي ^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga و ^{68}Zn(p,αn)^{64}Cu. تم تطوير طريقة الفصل الكروماتوغرافية المؤتمتة جزئياً لإنتاج $^{64}CuCl_2$. أنتج 600 mCi من النحاس-64 عند نهاية الفصل الكيميائي. كانت النقاوة النيكلودية الإشعاعية للنحاس-64 أكبر من 98% وهي مطابقة لمتطلبات دساتير الأدوية الأوربية والأمريكية. إن النقاوة الكيميائية الإشعاعية وتركيز النشاط الإشعاعي مناسبان لوسم مختلف المتمخلبات لإنتاج الصيدلانيات المشعة المستخدمة في التشخيص والعلاج.

الكلمات المفتاحية: نحاس-64 ^{64}Cu، حامل الهدف Targetry، إنتاج النظائر المشعة Radioisotope production، كروماتوغرافيا التبادل الأيوني Ion exchange chromatography.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: Nucheaonika.

عزل عزلات محلية من بكتريا Bacillus thuringiensis من التربة السورية وتوصيفها واختبار فعاليتها كمبيد حشري ضد بعض الآفات الحشرية

Isolation and characterization of native Bacillus thuringiensis Isolates from Syrian soil and testing of their insecticidal activities against some insect pests

د. حسان أمونة، مهند حربة، عماد أدريس، د. حياة مكي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

وجدت بكتريا الـ (Bt) *Bacillus thuringiensis* في 12.5% من عينات التربة التي جمعت من مناطق مختلفة في سوريا. ووجد أن خمساً وعشرين عزلة من بكتريا الـ Bt ذات سمية عالية ضد يرقات فراشة الطحين (*Ephestia kuehniella* Zeller) وفراشة درنات البطاطا (*Phthorimaea operculella* Zeller) ودودة ثمار التفاح (*Cydia pomonella* L.) التي تتبع لرتبة حرشفية الأجنحة (Lepidoptera)، ولكنها غير سامة ضد يرقات البعوض (*Culex quinquefesitus*) من رتبة ثنائية الأجنحة (Diptera). وقد تبين من خلال الفحص بالمجهر الضوئي أن كل تلك العزلات منتجة للبروتينات المتبلورة ذات الشكل الثنائي الهرمي والمكعب. جرى تحديد أنماط المورثات للبروتين المتبلور (*cry* genes) الموجودة في تلك العزلات بواسطة تفاعل البوليميرز المتسلسل (PCR) باستخدام مجموعة من المرئسات العامة والمميزة لعدد كبير من أنماط تلك المورثات المسجلة في دراسات سابقة. تبين أن كل العزلات المحلية تحتوي على نمطين على الأقل من تلك المورثات وهما *cry1* و *cry2*. إضافةً إلى ذلك فقد تم تأكيد إنتاج تلك العزلات للبروتينات المشفرة لتلك المورثات وذلك من خلال ترحيل المستخلص البروتيني لها على هلامة الأكريلاميد (SDS-PAGE). جرى تحديد التركيز القاتل النصفي (LC_{50}) لمزيج الأبواغ مع البروتينات المتبلورة لـ 25 عزلة ضد يرقات فراشة الطحين حيث تراوحت قيمتها ما بين 8.4 إلى 97.6 ميكروغرام/غرام، وتبين من خلال ذلك أن سمية بعض العزلات المحلية أعلى من سمية السلالتين المرجعيتين *Bt kurstaki* HD-73 و *Bt kurstaki* HD-1 والتي كانت 46 و20.8 ميكروغرام/غرام على التتالي. إضافةً إلى ذلك فقد بينت نتائج تحليل النمط المصلي أن أربع عزلات من أعلى العزلات سميةً تتبع للنمط المصلي kurstaki. تتضمن هذه الدراسة أول عملية عزل وتوصيف لعزلات محلية من بكتريا الـ Bt في سوريا. بعض تلك العزلات أظهرت سميةً عالية ولذلك يمكن استخدامها في التطبيقات العملية لمكافحة بعض الآفات الحشرية المهمة في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: Bacillus thuringiensis، Ephestia kuehniella، Zeller، تربة soil، سورية Syria.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: *Turkish Journal of Agriculture and Forestry. Vol 35, No 4, 2011.*

تقصي تأثيرات زرع ذرات نحاس و قنوينها بطاقة في مجال الميغا إلكترون-فولت في تشكل السليكون المسامي

Investigation of MeV-Cu implantation and channeling effects into porous silicon formation

د. مثنى أحمد، د. منذر نداف
قسم الفيزياء

ملخص

زُرعت شرائحُ من السليكون ذات التوجه (111) بأيوناتٍ من النحاس بطاقةٍ مقدارها 2.5 ميغا إلكترون-فولت في الاتجاهات العشوائية والقنوية باستخدام المسرع الأيوني في هيئة الطاقة الذرّية السورية. جرى تقصي تأثير اتجاه الزرع في طريقة تشكل السليكون المسامي باستخدام التنميش الإلكتروكيميائي وذلك بواسطة تقنيات المجهر الالكتروني الماسح والإصدار الضوئي. كشفت تقنية المجهر الإلكتروني الماسح عن أن أبعاد المسامات المتشكلة وشكلها وكثافتها تتأثر بشكلٍ كبيرٍ باتجاه الحزمة الأيونية المزروعة. وهذا بدوره يؤثر في سلوك الإصدار الضوئي للسليكون المسامي المتشكل.

الكلمات المفتاحية: حزم أيونية Ion beam، زرع أيوني Implantation، قنوية Channeling، سليكون مسامي Porous silicon، إصدار ضوئي Photoluminescence.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B 269, 2474-2478 (2011).*

تحديد محتوى اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم لبعض عينات الصخور اليمنية

Determination of uranium, thorium and potassium contents of rock samples in Yemen

د. عبد الرحمن عبد الهادي
قسم الكيمياء

وداد القاضي، عنايات الزين
قسم الفيزياء، جامعة دمشق

ملخص

جرى تحديد محتوى اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم في 16 عينة مأخوذة من مناطق مختلفة من اليمن باستخدام ثلاث طرائق تحليلية مختلفة: مطيافية غاما γ-spectrometry والتحليل بالتنشيط النتروني INAA وتقنية الأشعة السينية المتفلورة XRF. كانت تراكيز الثوريوم واليورانيوم والبوتاسيوم تتراوح بين 272 ± 9810 إلى 1.3 ± 3.6 ppm، 40 ± 1072 إلى 0.7 ± 1.2 ppm، 1 ± 11 إلى 0.05 ± 0.26% على التوالي.

الكلمات المفتاحية: *U, Th, K*، مطيافية غاما *γ-spectrometry*، *XRF*، *INAA*، صخور *rock*، اليمن *Yemen*.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*.

حساب توزع الاستطاعة في قضبان وقود مفاعل البحث منخفض الاستطاعة باستخدام الكود MCNP4C

Calculation of the power distribution in the fuel rods of the low power research reactor using the MCNP4C code

د. سعدو الظواهرة، د. قاسم خطاب
قسم الهندسة النووية

ملخص

استخدمت في هذه الورقة طريقة مونتي كارلو، باستخدام الكود MCNP4C، لحساب التوزع الفراغي للاستطاعة في قضبان وقود المفاعل السوري (MNSR). لتنظيم نتيجة الكود MCNP4C إلى الاستطاعة الحرارية الاسمية المستقرة، تم تعريف معامل التناسب الملائم لحساب توزع الاستطاعة بدقة. وجد أن الاستطاعة الأعظمية للقضيب المفرد كانت في الحلقة الثانية وبلغت 105 واط. كما وجد أن الاستطاعة الأصغرية كانت في الحلقة التاسعة وبلغت 79.9 واط. وقد بلغت قيمة الاستطاعة الكلية لقضبان الوقود 30.9 كيلوواط. تتوافق هذه النتيجة بشكل جيد مع الاستطاعة الاسمية المدونة في تقرير الأمان للمفاعل التي تساوي 30 كيلوواط. أخيراً، حُسب معاملا ذروة الاستطاعة، واللذان يمكن تعريفهما بالنسبة بين الاستطاعة الأعظمية والوسطية والنسبة بين الاستطاعة الأعظمية والأصغرية فوجد أنهما مساويان لـ 1.18 و 1.31 على التوالي.

الكلمات المفتاحية: *حساب توزع الاستطاعة calculation power distribution*، *منخفض الاستطاعة low power*، *MCNP4C*، *عوامل ذروة الاستطاعة peak power factors*.

● نشرت هذه الورقة في مجلة: *Annals of Nuclear Energy, 2011*.

حساب معاملات الحجب الذاتي للعاكس العلوي في المفاعلات MNSR

Calculation of the self-shielding factors for the upper reflector in MNSRs

د. محمد البرهوم
قسم الهندسة النووية

ملخص

تم في هذه الورقة تقدير معاملات الحجب الذاتي لمفاعلات المنبع النتروني الصغير (MNSR). وخلافاً لحالة الوُقود النووي فإن قيم هذه المعاملات في حالة عاكس المفاعلات MNSR أكبر من الواحد. تتم تعبئة صينية العاكس العلوي بطرائق مختلفة وهي: التعبئة القطرية التراكمية من الداخل إلى الخارج (IORC)، والتعبئة القطرية المفردة من الداخل إلى الخارج (IORS)، والتعبئة القطرية التراكمية من الخارج إلى الداخل (OIRC)،

والتعبئة القطرية المفردة من الخارج إلى الداخل (OIRS)، والتعبئة الشاقولية المفردة (ASM)، والتعبئة الشاقولية التراكمية (ACM). يتم استخدام وحدة التفاعلية الحجمية في العاكس العلوي في المفاعلات MNSR عند استخدام طريقة التعبئة القطرية التراكمية من الخارج إلى الداخل (0.003877 مك/سم^3)، بينما تصل إلى الحد الأقصى في حالة التعبئة المحورية التراكمية وهو 0.01607 مك/سم^3. لا يؤثر وجود العاكس العلوي سلباً على أمان المفاعلات MNSR.

الكلمات المفتاحية: مفاعلات MNSR، عاكس علوي (UR) Upper Reflector، وقود Fuel، معاملات الحجب الذاتي Self-shielding factors، تفاعلية حجمية Volumetric reactivity، ملء Filling.

• *نشرت هذه الورقة في مجلة: Progress in Nuclear Energy.*

توصيف العيوب في السيليسيوم اللابلوري المهدرج الموضع على ركازات مختلفة باستخدام التقنيات السعوية

Characterization of defects in hydrogenated amorphous silicon deposited on different substrates by capacitance techniques

د.رامي درويش

قسم الفيزياء

بيريه روكا كاباروكاس

مخبر فيزياء السطوح البينية والأفلام الرقيقة، مدرسة البوليتكنيك، فرنسا

ملخص

جرى توصيف أفلام من السيليسيوم (السليكون) اللابلوري المهدرج موضعة على ركازات من السيليسيوم البلوري وزجاج الكورنينغ باستخدام مختلف التقنيات السعوية. جرت دراسة توزع السويات المحلية وبعض الخصائص الإلكترونية من خلال تغير سعة ديودات شوتكي بدلالة كل من: درجة الحرارة، وتردد القياس، والانحياز العكسي، والمطيافية الانتقالية للمصائد العميقة. أظهرت نتائجنا أن توزع سويات العيوب ضمن الفجوة يتعلق بنوع الركازة. وجدنا أن الأفلام الموضعة على ركائز من السيليسيوم البلوري تُظهر وجود عيب موجب الشحنة أو شبه مسترخٍ معتدل الشحنة وسوية بينية واحدة، بينما الأفلام الموضعة على ركائز من الزجاج تظهر وجود سوية بينية وثلاثة أنواع من سويات العيوب العميقة: موجب أو معتدل شبه مسترخٍ، معتدل الشحنة وسالبها.

الكلمات المفتاحية: سيليسيوم لابلوري مهدرج Amorphous silicon، سويات العيوب defect states، ركازة substrate، سعة Capacitance، مطيافية انتقالية للمصائد العميقة DLTS.

• *نشرت هذه الورقة في مجلة: Thin Solid Films.*

تقارير علمية

تقصّي طفرات في مورثة مستقبل الأندروجين AR تسبب العقم عند الرجال في سورية باستخدام تقانة الـ PCR بالزمن الحقيقي

Screening for mutations in the androgen receptor gene (*AR*) causing infertility in Syrian men using real-time PCR

د. عمّار مدنيّة، إيفاد غوري
قسم الطب الإشعاعي، دائرة البيولوجيا الطبية

د. غالية أبو الشامات، د. محي الدين عيسى
جامعة دمشق، كلية العلوم، قسم علم الحياة الحيوانية

د. مروان الحلبي
جامعة دمشق، كلية الطب، قسم النسج والجنين

ملخص

استخدمنا تقانة الـ PCR بالزمن الحقيقي، ومسابر متفلورة نوعية لتحري 14 طفرة نقطية مسببة للعقم الذكري في مورثة مستقبل الأندروجين *AR*، وقمنا بقراءة سِلسِلة الـ DNA لتأكيد وجود الطفرات. تألّفت عينة الدراسة من 110 رجالٍ يعانون من انعدام النطاف في السائل المنوي غير انسدادي المنشأ، وليس لديهم زيوغ صبغية أو طفرات حذف دقيقة في الموقع AZF. اكتشفنا طفرة *AR* جديدة عبارة عن حذف للحمض الأميني Leu57 بوصفه سبباً محتملاً للعقم الذكري. إضافة إلى ذلك، وجدنا مريضين يحملان الطفرة Ala474Val ومريضاً واحداً يحمل الطفرة Pro390Ser، حيث تشير نتائجنا إلى أن هذه الطفرات هي واسمات مهمة لتشخيص العقم الذكري المجهول السبب في المجتمع السوري وعند شعوب حوض البحر الأبيض المتوسط عموماً.

الكلمات المفتاحية: العقم الذكري المجهول السبب Idiopathic male infertility، مورثة مستقبل الأندروجين androgen receptor gene، طفرات نقطية point mutations.

تعقب الاختلافات الجسمية في زراعة الأجنة عند بعض أصناف القمح القاسية وذلك بتطبيق الإجهاد الملحي NaCl باستخدام تقانة AFLPs

Detection of somaclonal variation in some durum wheat cultivars induced by NaCl application using of AFLPs

د. باسل صالح، د. محمد عماد الدين عرابي، انتصار قره جولي، أمينة شعيب
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

جرى استخدام تقنية الـ AFLPs لتعقب التنوع الوراثي الناجم عن تطبيق الإجهاد الملحي، وذلك عند أربعة طرز وراثية من القمح القاسي (Triticum turgidum L. var. du-rum) من أجنة مستزرعة على وسط أساسي من MS. جرى استخدام 6 أزواج من مرسّمات الـ AFLP PCs في هذه الدراسة. تم تحليل النتائج عند تراكيز مختلفة من N aCl (0, 50, 100, 150, 200 & 250 mM) لكل طراز وراثي. تم حساب النسبة المئوية للتعددية الشكلية العائدة للاختلافات الجسمية بشكلٍ عام لكل طراز وراثي بشكلٍ منفصل تحت التراكيز السالفة الذكر من NaCl. أظهرت المعطيات أن أعلى نسبة مئوية للتعددية الشكلية قد لوحظت عند الطراز شام5، بينما أدناها عند شام1. لوحظ أن النسبة المئوية للتعددية الشكلية لم ترتبط بالعدد الكلي للحزم التي تم كشفها باستخدام الأزواج المختلفة من مرسّمات AFLP PCs. في الدراسة الحالية، أشرنا إلى حث إنتاج الاختلافات الجسمية الناجمة عن استخدام NaCl عند كالوس القمح القاسي وتعقبها باستخدام تقنية الـ AFLP. يمكن استخدام هذا الاختلاف، كأداة فعالة في انتخاب الكالوس للصفات المرغوبة كتحمل الملوحة.

الكلمات المفتاحية: AFLPs، اختلافات جسمية somaclonal vari-ation، قمح wheat.

تأثير أشعة غاما في يرقات فراشة طحين البحر الأبيض المتوسط، Ephestia kuehniella مكتملة النمو، وصلاحية اليرقات المشعة لتربية الطفيل Bracon hebetor

Effects of gamma radiation on the Mediterranean flour moth, Ephestia kuehniella, mature larvae and acceptability of irradiated larvae by Bracon hebetor females

د. محمد منصور
قسم الزراعة

ملخص

عرضت يرقات العمر الخامس المكتملة النمو لفراشة طحين البحر الأبيض المتوسط Ephestia kuehniella، لجرعات من أشعة غاما تراوحت مابين 50 و350 غراي بفارق 50 غراي بين الجرعة والأخرى، ودرس تأثير التشعيع في قدرة هذه اليرقات على التعذر والوصول إلى طور الحشرة الكاملة. درس أيضاً، إضافة إلى ذلك، تأثير التشعيع في سرعة تطور اليرقات المشعة إلى عذارى وفراشات وقبول هذه اليرقات من قبل إناث الطفيل اليرقي Bracon hebetor. أظهرت النتائج أن حساسية يرقات فراشة طحين البحر الأبيض المتوسط للأشعة المؤينة قد تزايدت مع زيادة الجرعة الإشعاعية، فقد انخفضت النسبة المئوية للتعذر معنوياً عند الجرعة 100 غراي وتوقف كلياً عند جرعة 350 غراي، كما تأثر ظهور الفراشات بشكل مشابه فجرعة 100 غراي أثرت سلباً في ظهورها، وأدت جرعة 300 غراي إلى توقف ظهورها بشكل كامل. أثر التشعيع أيضاً بشكل سلبي في سرعة تطور اليرقات إلى عذارى وفراشات، ففي حين تحول أكثر من 98% من يرقات الشاهد إلى عذارى خلال عشرة أيام من المعاملة، انخفضت هذه النسبة إلى نحو 79% في اليرقات المعرضة لجرعة 50 غراي وأقل من 4% في اليرقات التي تعرضت لجرعة 100 غراي، كما تأثر معدل ظهور الفراشات بشكل مشابه، ففي حين تحول ما يزيد عن 97% من يرقات الشاهد إلى فراشات خلال 20 يوماً من تاريخ التشعيع، انخفضت هذه النسبة إلى نحو 53 و2 و0 (صفر)% في اليرقات التي تعرضت لجرعة 50 و100 و150 غراي على التتالي، كما أثر التشعيع في نسبة الذكور إلى الإناث، إذ ازدادت هذه النسبة مع زيادة الجرعة الإشعاعية، وأدت الجرعة 250 غراي إلى موت جميع الإناث قبل ظهورها (جميع الفراشات الناتجة كانت ذكوراً). إضافة إلى ذلك، لم يؤثر التشعيع سلبياً في رغبة إناث الطفيل B. hebetor في التطفل على اليرقات المعاملة، فنسبة التطفل في اليرقات المشعة كانت مشابهة لتلك الموجودة في يرقات الشاهد.

الكلمات المفتاحية: يرقات مكتملة النمو mature larvae، تشعيع Irradiation، فراشة الطحين Ephestia kuehniella، برغون Bracon hebetor.

تحضير طبقات رقيقة من أكسيد الزنك المطعم بالألنيوم وتوصيفها

Preparation and characterisation of Al-doped ZnO thin films

د. معين سعد، د. عمار قسيس، فراس نونو
قسم الفيزياء

ملخص

جرى تحضير طبقات رقيقة من أكسيد الزنك المطعم بالألمنيوم باستخدام تقنية الرشرشة بالأمواج الراديوية المدعومة بالحقل المغنطيسي، وتم تغيير وسائط التحضير (ضغط العمل، استطاعة الأمواج الراديوية المولدة للبلازما، درجة حرارة الركازة). جرى توصيف الطبقات ضوئياً وكهربائياً من خلال قياس نفوذيتها ومقاومتها. إضافة إلى ذلك، جرى استخدام مطيافية انعراج الأشعة السينية على الطبقات المحضرة من أجل دراسة خصائصها البنيوية.

نتيجة لهذه الدراسة حُددت شروط التوضيع المناسبة لتحضير الجزء العالي الناقلية من طبقة النافذة في الخلايا الشمسية.

الكلمات المفتاحية: رشرشة sputtering، طبقات رقيقة thin films، ZnO، مقاومة كهربائية electrical resistance، انعراج الأشعة السينية x-ray diffraction.

تعيين تركيز اليود في ملح الطعام باستخدام الإلكترود الأيوني الانتقائي

Determining Of Iodide Concentration In Salt Using Iodide Ion Selective Electrode

زينب حريري
قسم الكيمياء

ملخص

هناك دراسات علمية عديدة بحثت في موضوع تعيين تركيز اليود أو اليودات في عينات ملح الطعام منها: الطريقة الأيدومترية، طريقة المطيافية الضوئية، الطريقة الترسيبية، طريقة الكروموتوغرافيا الغازية، الطريقة الكمونية التفاضلية، طريقة الإلكترود الأيوني التفاضلي الذي يعتمد على تفاعل الأكسدة والإرجاع. أما تقنية الإلكترود الانتقائي الأيوني لليود فقد تم من خلالها تعيين اليود في عينات مياه جوفية فقط.

لذلك سعينا في هذا العمل إلى تعيين تركيز اليود في عينات ملح الطعام المراقبة وملح الطعام الميودن باستخدام تقنية الإلكترود الانتقائي لليود. وقد رسم المنحني المعياري لليود وفق المبدأ العام للطريقة، وقد أعطى نتائج مستقرة بالنسبة لعينات ملح الطعام المراقبة التي تحتوي على تركيز معين من أيون اليود، وكمية محددة من محلول معدّل القوة الأيونية. كما درست خطية هذه الطريقة وحساسيتها فكانت مساوية لـ $50mg.L^{-1}$ و $0.2\ mg.L^{-1}$ على التوالي.

عند تطبيق هذه الطريقة على عينات ملح طعام ميودن محتوية على تركيز معين من اليودات لم تعط نتائج منطقية أبداً. مما اضطرنا إلى تحويل اليودات الموجودة إلى أيون اليود بتفاعل أكسدة وإرجاع باستخدام مرجع مناسب في وسط حمضي.

رسم المنحني المعياري لليودات المرجعة إلى أيون اليود، الذي أعطى نتائج مرضية بالنسبة لعينات ملحية ميودنة، وبارتياب نسبي جيد 3%.

الكلمات المفتاحية: إلكترود أيوني انتقائي لليود Iodide Ion Selective Electrode، إلكترود مرجعي Reference Electrode، عينات ملح الطعام الميودن Iodinate Table Salt Samples، عينات كلور الصوديوم المراقبة Control Salt Samples، تفاعل أكسدة وإرجاع Oxidation - Reduction Reaction، محلول معدّل القوة الأيونية Ion Strength Adjustment Buffer Solution.

دراسة تنوع الجنس Eryngium L. وتوزعه وتصنيفه في سورية وقابلية إكثاره في الزجاج

Study of diversity, distribution and characterization of Eryngium species in Syria and their ability for propagation in vitro

د. بسام الصفدي، د. دانا جودت، زهير أيوبي، حسام الفاعوري، رنا الياس
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

جرى توصيف أنواع الجنس Eryngium النامية في سورية باستخدام التحاليل الشكلية والجغرافية والجزيئية (IRAP و APD)، كما درست التعددية الشكلية للمورثة RBCL باستخدام تقنية التيلنغ وسلسلة الدنا. إذ تم تحديد ثمانية أنواع تنمو في سورية. وجدت الأنواع E. glomeratum، E. campestre، E. falcatum في المناطق الجبلية، أما النوعان E. creticum و E. desertorum فقد وجدا في بيئات مختلفة: الجبال، البيئات الملحية شبه الصحراوية، وهذا يدل على مدى تأقلمهما الواسع وتحملهما للإجهادات اللاحيوية.

وكان النوع E. maritimum هو النوع الوحيد الذي وجد في الشواطئ الساحلية الرملية مما يدل على تأقلمه مع البيئات الرملية، الملحية والرطبة. كما أظهرت التقنيتان المعتمدتان على التفاعل التسلسلي للبوليراز أن النوعين E. pussilum وE. billardieri كانا الأكثر بعداً عن كافة الأنواع الأخرى، حيث وجد النوع E. pussilum في منطقة لفتايا التي تعد منطقة مستنقعات وهي مشابهة للموطن المثالي للـ Eryngium الأمريكي. بينما كان النوعان E. glomeratum وE. campestre هما الأكثر قرابة حيث وجدا بشكل رئيسي في المناطق الجبلية تلتهما الأنواع E. Desertorum، E. falcatum، E. creticum. وقد أثبتت الدراسة الحالية فعالية تقنية التلنغ TILLING ودقتها باستخدام جهاز الـ DHPLC في كشف الطفرات، وإمكانية استخدام هذه التقنية في الكشف عن التعددية الشكلية لمورثة معينة ضمن أنواع نباتية. ويبدو هذا واضحاً من تطابق نتائج تحليل DHPLC وسلسلة الدنا، حيث إن النوع E. Billardieri كان مشابهاً للنوع E. maritimum (الشاهد لهذا الاختبار) على مستوى المورثة المختبرة RBCL، في حين اختلفت الأنواع الأخرى E.glomeratum وE .campestre وE. creticum

selnfeh– وDaara– E.creticum عن النوع الشاهد بطفرة نقطية واحدة أو أكثر.

كما دُرست قابلية هذه الأنواع للإكثار في الزجاج، وكانت بذور النوع E. pussilum الأفضل في الإنبات في الزجاج بنسبة وصلت إلى حوالي 90%، في حين لم تنبت بذور النوع E. mar-itimum. أما بالنسبة لقدرة الأنواع المدروسة على تشكيل كالوس فقد تبين إمكانية الحصول على الكالوس من كافة الأنواع المدروسة باستثناء النوع E. pussilum حيث لم نحصل على كالوس في أي من الأوساط المدروسة. وقد تراوح متوسط حجم الكالوس بين 1 سم^3 عند النوع E. billardiere، إلى 4.3 سم^3 عند النوع E. glom-eratum. تباينت أنواع الجنس Eryngium في قدرتها على تجديد النباتات من الكالوس. وكان أكثرها قدرة على تشكيل السويقات (organogenesis) هما النوعان E. Creticum وE. glomeratum حيث بلغ متوسط عدد السويقات النامية على قطعة الكالوس المزروعة حوالي 5 سويقات في حين جاء النوع E. falcatum ثالثاً بمتوسط 2.5 سويقة وكان أقلها عدداً هو النوع E. campestre بمتوسط سويقة واحدة في حين لم يلاحظ أي تجديد في النوع E. desertorum. هذا وقد بلغ متوسط النسبة المئوية للنباتات التي جرت أقلمتها ووصلت إلى مرحلة النضج الكامل حوالي 76% في 5 من الأنواع المدروسة والتي كانت لديها القدرة على تشكيل كالوس وتجديد نباتات في الزجاج.

الكلمات المفتاحية: RAPD، IRAP، DHPLC، Eryngium، زراعة أنسجة tissue culture، إكثار propagation، تيلنغ Tilling، سلسلة sequencing.

دليل الموسوعات العالمية على الشبكة الدولية

Guide to International Encyclopedias on Internet

ناظم سخيطة
مديرية العلاقات والتدريب

ملخص

تمت دراسة 102 موسوعة إلكترونية متوفرة عبر الشبكة الدولية، معظمها مجانية بالكامل أو تتطلب الاشتراك والنسخة الإعلانية لها بالمجان.

رتبت الموسوعات ابتداءً من الموسوعات المشهورة عالمياً، كالموسوعة البريطانية، والأمريكية والكندية، ومن ثم الموسوعات العلمية كالموسوعة الطبية، وعلوم الحاسوب، والعلوم التطبيقية، والهندسية، وبعد ذلك الموسوعات ذات الصفة العامة الثقافية والتاريخية، والجغرافية، وغيرها، مضافاً لها الموسوعات العربية المتوفرة على الشبكة الدولية.

كما تم عرض تفصيلي للموسوعة الكيميائية لتوضيح مدى الأهمية والسهولة والسرعة والدقة في الحصول على المعلومات من الموسوعات الإلكترونية عبر الشبكة الدولية.

وتم إلحاق الدراسة بالفهرس الموضوعي للموسوعات حيث تم ربط الموضوع برقم الموسوعات التي تغطيه عبر الدليل الأساسي للدراسة.

وفي نهاية الدراسة عرضت بعض المواقع المحددة التي تعتبر ذات أهمية للاطلاع عليها والاستفادة منها. وهذه الدراسة قابلة للتحديث بشكل مستمر لمتابعة الجديد والحديث من العلوم.

الكلمات المفتاحية: الموسوعات Encyclopedias، الإنترنت Internet.

Aalam Al-Zarra

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and the different applications of the atomic energy.

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Director General of A.E.C.S.

Editors-In-Chief

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Kaaka

Members of Editing Committee

Prof. Dr. F. Kurdali

Prof. Dr. M. Hamo-Leila

Prof. Dr. A. Hainoun

Prof. Dr. T. Yassin

Prof. Dr. N. Mirali

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. Z. Kattan

Distribution

Otaiba Moneim

Typesetting

Hanadi Kanafani

Gofran Nowruz

Artistic Layout

Bashar Masoud

Nabil Ibrahim

Mouhannad Al-baidah

Amal Kirot

Language Audit

Nawal AL-Halah

Rima Sendyan

Follow-up & coordination

Hassan Bakleh

http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية