



# عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

## مجلة عالم الذرة

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

### المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

### هيئة التحرير

الدكتور عادل حرفوش

الدكتور زياد قطب

**NO. 100**

العدد 100 (تشرين الثاني / كانون الأول) 2005

- 1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.
- 2- 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.
- 3- 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.
- 4- 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.
- 5- 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.
- 6- إذا تضمنت المادة صوراً أو أشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالبر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة "4") مرقمة حسب أماكن ورودها.
- 7- 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 (2-18).
- 8- 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.
- 9- 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 [ ] .
- 10- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.
- 11- يرحي من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.
- 12- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
- 13- 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 الذرية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - دمشق : ص.ب : 6091

هاتف 6111926-11(+963) فاكس 6112289-11(+963)

E-mail: tapo@aec.org.sy

ISSN 1607-985X

### رسوم الاشتراك السنوي

يمكن للمترجمين تسليم رسم الاشتراك في مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة

(دمشق، شارع 17 نيسان) أو بحوالة على العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13، مزة جبل - دمشق

ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012

- الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س، للأفراد (300) ل.س،

للمؤسسات (1000) ل.س.

- 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 ريال وفي البلدان الأخرى: 6 دولارات

### الإعلانات

تود مجلة عالم الذرة 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 يرحي الكتابة إلينا أو الاتصال بنا وفق العنوان الوارد أعلاه.

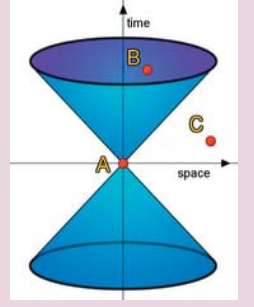
يُسمح بالنسخ والنقل عن هذه المجلة للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع، أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح به إلا بموافقة خطية مسبقة من الهيئة.

# المحتويات

## المقالات

5 أبرز فيزيائيي القرن العشرين ومكتشفاتهم

18 الفيزياء في الجامعة السورية وروادها الأوائل الراحلون



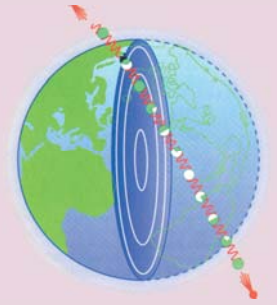
23 الفيزياء ومطاردة الذهب الأسود

تقنيات زلزالية وكهرطيسية مبتكرة تساعد شركات الطاقة في إيجاد مصادر جديدة للنفط والغاز.

28 النترينوهات: ظلال المادة

كان اكتشاف أن للنترينوهات كتلة وأن بإمكانها أن تتذبذب بين نكهات مختلفة أحد أهم الإنجازات في فيزياء الجسيمات في العقد الماضي، لكن لا يزال يوجد الكثير من الأمور التي لا نفهمها حول هذه الجسيمات الغامضة.

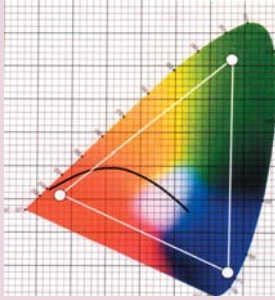
د. وارك



38 ثورة الإنارة بنبائط الحالة الصلبة

الأضواء الصادرة عن الحالة الصلبة والمبنية على الديودات المصدرة للضوء LEDs أكثر كفاءة وغنى من المصابيح المتوهجة التقليدية، وهي الآن على شفا تحويل الإنارة الكهربائية بشكل أبدي.

ن. نارندران



45 ارتياب درجة الحرارة العالية

هناك تجارب حديثة تكشف النقاب عن أن الآلية المسؤولة عن خواص الناقلية الفائقة في المواد التي يدخل النحاس في تركيبها هي في واقع الأمر أشد غموضاً مما كنا نتصور.

ت. تيموسك



## الأخبار العلمية

53 النيكل يظهر شكلاً مغناطيسياً جديداً

صنع الفيزيائيون شكلاً من النيكل لا وجود له في الطبيعة.

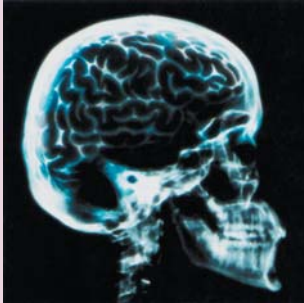
54 عدّ الإلكترونات واحداً فواحداً

قد تقضي قابلية الكشف عن الإلكترونات الفرادي في دارة ما إلى إعادة تعريف الأمبير.





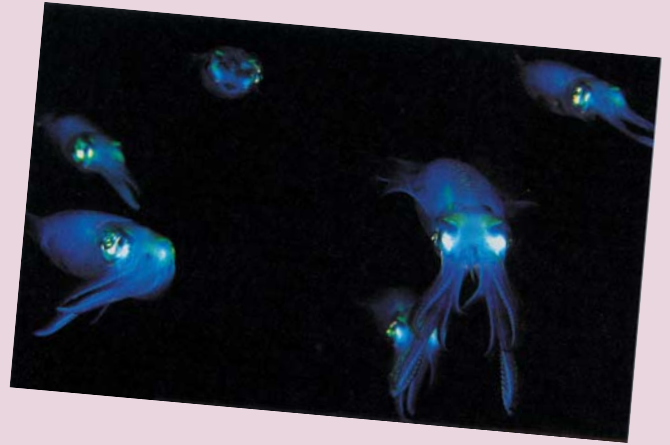
- 90 برنامج حاسوبي مجدولة الري باستخدام قراءات جهاز التشتت  
النتروني.
- 90 تأثير تركيز شوارد الليثيوم على الناقلية الكهربائية لأفلام  
بولي فينيل الكحول
- 91 تحديد الهيدروكربونات في حمض الفسفور النقي والتجاري  
باستخدام طريقة الكروماتوغرافيا الغازية وتشغيل جهاز  
Unicam Pro GC + Thermo Onix
- 91 تحضير مركب الـ ECD
- 92 تعيين الطلب الكيميائي للأوكسجين (COD) في العينات  
المائية
- 92 دراسة تطور الطلب على الطاقة والكهرباء وتحليل استراتيجية  
التوسع الأمثل لنظام التوليد الكهربائي في سورية (للفترة  
1999-2030)
- 93 دراسة الوصلات اللحامية لعينات فولاذية بطريقة اللحام  
بالقوس الكهربائي في وسط من الأرجون



### كتب حديثة

- 95 التركيز على النجوم  
تأليف: فريد واتسون  
عرض وتحليل: روبرت فان جينت
- 96 عوامل النمو  
تأليف: نيلز رول-هانسن  
عرض وتحليل: جارلند إي آلان

- 56 ماذا يدور في عقلك؟
- 60 يمكن للتأثيرات السامة أن تنتقل عبر الأجيال
- 61 مم يتألف الكون؟
- 63 محطّم الجسيمات يحظى بدماع جبار
- 66 صراع القدرة الكهربائية
- 67 الحياة البحرية في خطر بسبب التحول الحمضي في  
المحيطات
- 68 إعادة حساب احتياطات النفط المستقبلية



69 متى يُستنفذ النفط؟

70 الكوريوم

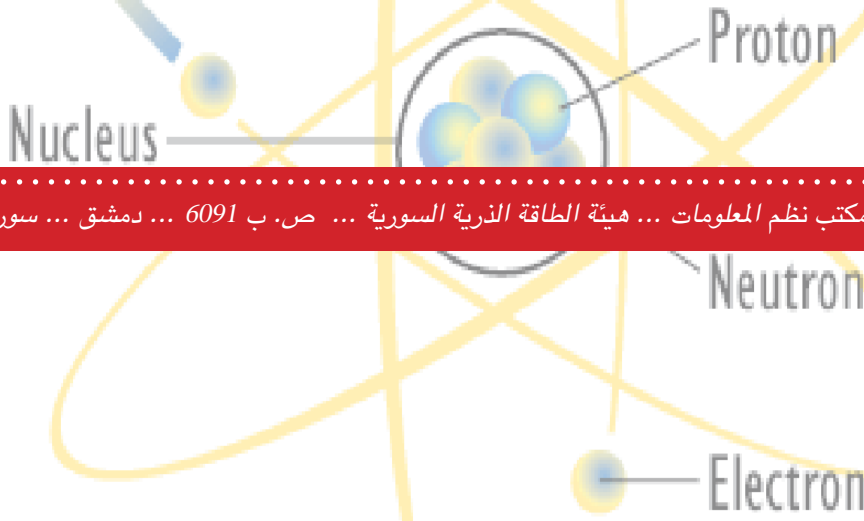
### ورقات البحوث

- 73 دراسة حركية تفاعل ضم رباعي كلور الكربون إلى  
الهكسن-1 المبدأ
- 79 نمذجة آليات حركية البلازما لليزر CuBr بإضافة غازي  
النيون والهيدروجين

### تقارير

- 89 ارتباط الإشعاع الشمسي الكلي بالوسطاء المناخية والجغرافية  
العامّة لمنطقة دمشق-سورية
- 89 انتقال بعض النكليدات المشعة الصناعية (السترونسيوم-  
85 والسيزيوم-137) والطبيعية (البوتاسيوم-40 والراديوم-  
226) من الحليب إلى مشتقاته

# أبرز فيزيائيي القرن العشرين ومكتشفاتهم



د. عماد خضير ... مكتب نظم المعلومات ... هيئة الطاقة الذرية السورية ... ص. ب 6091 ... دمشق ... سورية

والفيزياء الجيولوجية والفيزياء الكيميائية والفيزياء الحاسوبية والفيزياء الزراعية والفيزياء الاقتصادية والإلكترونيات والاتصالات ونظم المعلومات.

سنستعرض هنا في هذه العجالة أبرز مكتشفات الفيزياء في القرن العشرين وتحديداً تلك التي حصل مكتشفوها على اعتراف دولي بمنحهم جائزة "نوبل" للفيزياء.

## الفيزياء الكلاسيكية

استندت الفيزياء في مطلع القرن العشرين إلى أسس علمية راسخة في الترموديناميك والكهرباء والضوء والتحريك والقوى التجاذبية، وهي نظريات ومكتشفات استغرقت أكثر من ثلاثة قرون. واعتمدت الفيزياء الكلاسيكية على المبرهنات الحاسوبية والتجريبية عوضاً عن التنبؤات والمشاهدات، واقتصرت على العالم الجهري من حولنا من الرصاصة حتى المجرات.

التاسع عشر، "فاراداي" و"ماكسويل" و"هرتز" و"بولتزمان".

وأما في القرن العشرين فقد تميزت الفيزياء بتفرعها إلى شقين نظري وتجريبي وإن كمل كل منهما الآخر بشكل غير متزامن في كثير من الأحيان. فقد انصرف الفيزيائيون النظريون لتطوير النظريات التي تحاول تفسير المشاهدات التجريبية أو التنبؤ بنتائج مستقبلية، كما قاموا بحسابات نظرية مبنية

على نماذج معقدة جداً مستعنين بالحواسيب الآلية التي توازت مع تطور أعمالهم فازدادت سرعة ودقة منذ بدء عصرها في الثلاثينيات. وانشغل الفيزيائيون التجريبيون بتصميم تجاربهم بهدف سبر الظواهر الجديدة وتأكيد أو رفض توقعات الفيزيائيين النظريين التي طالما سبقتهم. كما برزت في القرن العشرين محاور بحثية عديدة تدرجت المبادئ والقوانين والنظريات الفيزيائية في سياق تطورها. فكانت ولادة الفيزياء الطبية والفيزياء الحيوية

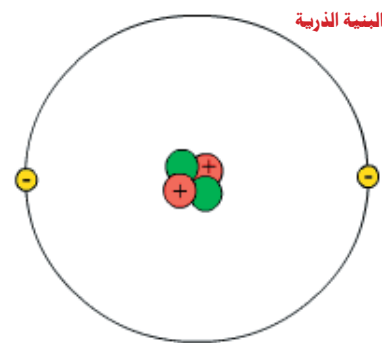
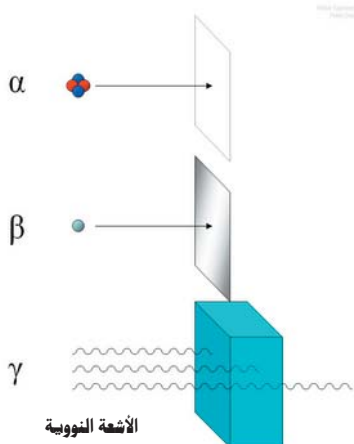
الفيزياء، من الكلمة اليونانية Phusikos ومعناها الطبيعة، هي علم فهم طبيعة العالم من حولنا. وتتعامل الفيزياء مع الإشعاع ومكونات المادة على مستوى الأجسام والبلورات والجزيئات والذرات والنوى والكواركات. ويحاول الفيزيائيون الوصول إلى وصف موحد لسلوك المادة والإشعاع وتأثيراتها.

ويتفق مؤرخو العلوم الفيزيائية على أن الثورة العلمية بدأت في القرن السادس عشر عندما طرح "كوبرنيكوس" نظرية دوران الأرض حول الشمس وما تلاه من أعمال "غاليليو" و"هيوجين" و"كيبلر" و"باسكال" في ذلك القرن. وقد تميز القرن السابع عشر بمكتشفات "نيوتن" و"أولر" و"لاغرانج" و"هاميلتون"، ثم أعقبته أعمال "يونغ" و"بويل" و"برنولي" و"جول" في القرن الثامن عشر. ومن أبرز مكتشفي القرن

"هندريك لورنتز" آليات إصدار الضوء بتطبيق معادلات ماكسويل على الشحنات الكهربائية في المادة. وبين "لورنتز" إمكانية تطبيق نظريته على فوتونات الإشعاع الناجم عن الحركة الاهتزازية في الذرات. وأعطى "لورنتز" تفسيراً لمفعول "بيتر زيمان" المتعلق بانقسام الخطوط الطيفية للهب الصوديوم عند تعرض اللهب لحقل مغنطيسي انطلاقاً من الحركة الاهتزازية للإلكترونات. ثم أوضح "يوهانز شتارك" تأثيراً مشابهاً لمفعول زيمان من خلال دراسة تأثير الحقول الكهربائية على إصدار الفوتونات، حيث لاحظ انقساماً طيفياً وانزياحاً دوبلرياً تبعاً لسرعة المصادر الضوئية كالذرات والنوى وعرفت هذه الظاهرة بمفعول شتارك.

#### الفيزياء الكمية والميكانيك الموجي

ظهر عدم جدوى المفاهيم الكلاسيكية الراسخة حين دراسة العالم المجري في مطلع القرن العشرين، إذ إن الفيزياء الكلاسيكية تفترض الاستمرارية في قيم الحركة والطاقة. وجاءت دراسة "ويليام فين" لإشعاع الجسم الأسود وملاحظته لطيف مستمر في التواترات وهو ما شدت عنه الإشعاعات الكمومية الصادرة عن الذرات، حيث لوحظت أطوال موجية



البنية الذرية

الذرية المستندة إلى مفهوم النواة الصغيرة جداً بالمقارنة مع الذرة، وجرى تصنيف مدى استقرار هذه النوى وعلاقة اللااستقرارية بإصدار أشعة  $\alpha$  أو  $\beta$  أو  $\gamma$ . أما "جوزيف طومسون" فقد بين في العام 1897 ومن خلال عمله في مجال أنابيب الانفراغ أن الأشعة الصادرة عن المهبط ليست هي في الواقع إلا إلكترونات، وقام في تجربة شهيرة بقياس نسبة كتلة الإلكترون إلى شحنته. وتابع "فيليب لينارد" دراسة خصائص الأشعة المهبطية من حيث الفلورة عند اختراقها رقائق معدنية، وقاس "روبرت ميليكان" لأول مرة وبدقة الشحنة الإلكترونية بطريقة قطرة الزيت، وهي إحدى أشهر التجارب المخبرية للمرحلة الجامعية في عصرنا، كما ساهم في الأعمال المتعلقة بالمفعول الكهروضوئي.

لقد ترافق طرح معادلات "ماكسويل" مع العديد من الاستفسارات التي بقيت دون إجابة ومنها: ما هو الوسط الذي تنتشر فيه الأشعة الكهرومغناطيسية؟ وما هي حوامل الشحنة الكهربائية المسؤولة عن إصدار الضوء؟ فقام "ألبرت مايكلسون" و"إدوارد مورلي" بإجراء تجربتهما الشهيرة (تجربة مايكلسون-مورلي) في تداخل الضوء التي بينت أن سرعة الضوء مستقلة عن حركة أيٍّ من مصدره أو راصده ودحضاً بذلك فكرة الأثير كوسط ينتشر فيه الضوء. كما درس

فمثلاً، أعطت معادلات "ماكسويل" توصيفاً مقبولاً للظواهر الكهرومغناطيسية بما فيها الإشعاع الضوئي والأمواج الراديوية المكتشفة من قبل "هرتز"، وفهمت الحركة الميكانيكية "النوتونية" لمكونات المادة على المستوى الجهري، وترسخت مفاهيم تحريك الأجسام من خلال صياغة "هاملتون"، ووضحت القوانين الأربعة في الترموديناميك جميع أشكال تحولات المادة والطاقة في النظم الترموديناميكية المعزولة والمغلقة والمفتوحة أو توازاناتها.

وقبل بداية القرن العشرين ظهرت مجموعة ظواهر فيزيائية لم تكن معروفة من قبل. ولعل أهم هذه الظواهر اكتشاف "وليام رونتنجن" مع نهاية القرن التاسع عشر (وتحديداً في العام 1895) أشعة لم يكن أحد يدرك ماهيتها فأسمها أشعة X. كذلك اكتشف "أنطوان هنري بيكريل" في العام 1896 النشاط الإشعاعي دونما فهم معمق لطبيعته وتفاعلاته مع المادة، وتقدم الزوجان "كوري" بالمعرفة في مجال النشاط الإشعاعي في السنوات اللاحقة من خلال أعمالهما في مجال الإشعاع النووي. كما بين "إرنيست رذرفورد" خطأ مفاهيمنا السابقة حول البنية الذرية مع طرحه نظرية النواة



ماري كوري

1901

Rontgen

اكتشاف الأشعة

السيئة

1902

Lorentz & Zeeman

مطافية الصوديوم

1903

Becquerel, Curie & Curie

النشاط الإشعاعي

اللتقائي

1904

Strutt, Raleigh

اكتشاف غاز الأرغون

1905

Lenard

الأشعة المهبطية

1906

Thomson

اكتشاف الإلكترون

1907

Michelson

استقلالية سرعة الضوء

ورفض فرضية الأثير

1908

Lippmann

التصوير الفوتوغرافي

المملون بالتداخل

1909

Marconi & Braun

إرسال راديوي قاري

1907 تقدير عمر الأرض

1906 نظرية المغنطة الحديدية

1905 النظرية النسبية الخاصة

1904 تجريب لخلية كهروضوئية

البريل اكتشافات الفيزياء الحديثة

1910

Van Der Waals  
معادلة حالة الغازات  
والسوائل

1911

Wien  
إشعاع الجسم الأسود

1912

Dalen  
اكتشاف منظمات  
آلية للإنارة

1913

Kamerlingh-Onnes  
إنتاج الهيليوم المميع

1914

Laue  
انعراج الأشعة السينية

1915

Bragg & Bragg  
الاصطاف الذري  
في البلورات باستخدام  
الأشعة السينية

1917

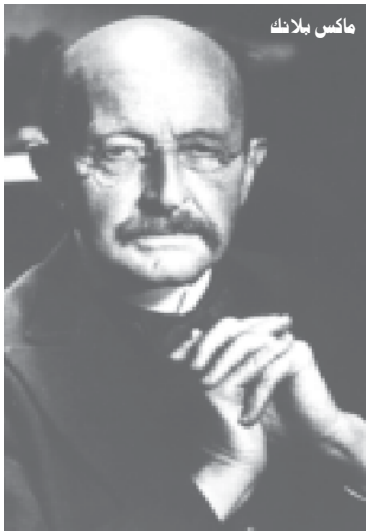
Barkla  
المخطوط الطيفية المميزة  
للأشعة السينية

1918

Planck  
تكميم اصدار الطاقة

1919

Stark  
انزياح دوبلر في  
الحقول الكهربائية



ماكس بلانك

طاققتها بأكثر من عشرة آلاف مرة من طاقة فوتونات الضوء، من خلال دراسة تبعثرها على جسيمات المادة. وقد وضع "تشارلز ويلسون" تجربة تبعثر فوتونات عالية الطاقة ساهمت في التحقق من تنبؤات "كومبتون".

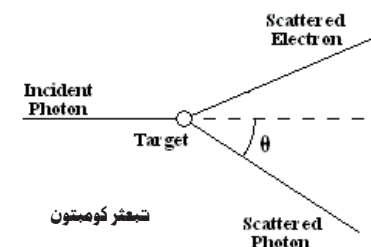
في العام 1923 اقترح "لوي دوبروي" أن الجسيمات المادية تبدي سلوكاً موجياً على غرار التفسيرات الجسيمية للإشعاع الضوئي من خلال الفوتونات، وطرح علاقات توصيف السلوك المزدوج وما يعرف بطول موجة دوبروي للجسيمات المتحركة.

المستوى الذري. لاحظ "بول ديراك" قصوراً في النظرية الكمومية من حيث صلاحيتها للسرعات الصغيرة فقط والطاقات المرافقة لإلكترونات التكافؤ وعدم تحقيقها لمتطلبات "أينشتاين" للأجسام المتحركة بسرعات كبيرة مقارنة لسرعة الضوء. كما وقد تلقى ميكانيك الكم مزيداً من الزخم من خلال عمل "ماكس بورن" في مجال التفسير الاحتمالي للتابع الموجي. وقدم "ولفغانغ باولي" مبدأه الشهير، "مبدأ الاستبعاد"، المستند إلى تناظر التوابع الموجية لجسيمات تمتلك سبيناً مساوياً لأعداد نصف صحيحة من الثابت  $\hbar$  سميت بالفيرميونات. أما البوزونات فهي الجسيمات التي تمتلك سبيناً مساوياً لأعداد صحيحة من الثابت المذكور. وصحّح كل من "بوليكارب كوش" و"ويليز لام" حسابات "ديراك" للزم المغنطيسي الإلكتروني وانقسام البنية الفائقة من خلال دراسة إشعاع نرة الهدروجين تجريبياً باستخدام طرق دقيقة جداً في التجاوب الترددي في المجال الراديوي.

لقد تعرّض ميكانيك الكم لاختبارات إضافية لدى تطبيقه على الظواهر الكهربائية من خلال نظرية الإلكتروديناميك الكومومي، حيث نسبت تفاعلات الجسيمات المشحونة إلى تبادل فوتونات افتراضية

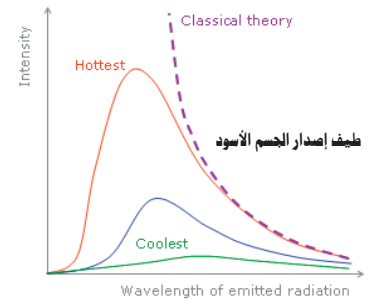
كما برهن "كلينتون دافيسون" تجريبياً على صحة فرضية دوبروي من خلال رصده انعراج الإلكترونات في البلورات بصورة مشابهة لانعراج الأمواج الضوئية على شبكة انعراج. وأكمل "جورج طومسون" الاختبارات التجريبية للطبيعة الموجية للإلكترونات عالية الطاقة من خلال دراسة انعراجها على رقائق معدنية. واستكملت في العام 1926 صياغة مفاهيم ومسلمات ميكانيك الكم من خلال طرح "إيروين شرودينغر"، المستفيد من أفكار "دوبروي" و"هايزنبرغ" في ميكانيك المصفوفات ومبدأ الارتياح للقياس المتزامن لبعض المقادير الفيزيائية، المعادلة الموجية التي تصف تطور تابع الحالة الكمومية.

هذا وقد شكل ميكانيك الكم ثورة علمية على أفكار الميكانيك الكلاسيكي السائدة حتى نهاية الربع الأول من القرن العشرين والتي تجسدت بالمدارات الكلاسيكية على

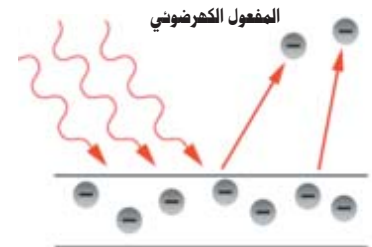


تبعثر كومبتون

محددة (مكممة) لهذه الإشعاعات. وعلى الرغم من أن قانون انزياح "فين" (باستخدام الإلكتروديناميك الكلاسيكي) أعطى وصفاً لتوزع التواتر وانزياح طول موجة الشدة الأعظمية بدلالة تغيرات درجة حرارة الجسم الأسود وأسهم بصورة مباشرة في تحديد درجة حرارة الشمس، إلا أنه لم يتوافق تجريبياً مع الأطوال الموجية القصيرة والطويلة في طيف الجسم الأسود على حدٍ سواء. ولقد استمرت مشكلة عدم تحقق نظرية إشعاع الجسم الأسود من أجل الأطوال الموجية القصيرة والطويلة بأن واحد إلى أن أدخل "ماكس بلانك" فكرة تكميم الطاقة الصادرة وبين أن كمّ الطاقة يتناسب عكساً مع طول موجة الإشعاع الصادر ومهدّ بذلك الطريق لولادة ميكانيك الكم.

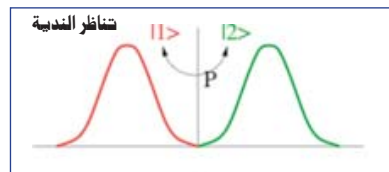


ثم وسع "أينشتاين" مجال تطبيق نظرية "بلانك" من خلال تفسيره للمفعول الكهروضوئي المكتشف في نهاية القرن التاسع عشر. وفي نفس الفترة، لاحظ "آرثر كومبتون" صحة طرح بلانك بالنسبة لفوتونات الأشعة السينية، والمقدّرة



المفعول الكهروضوئي



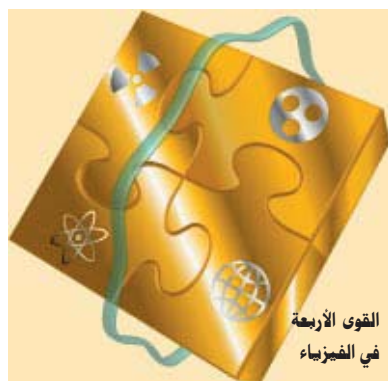


التناظر T الذي ينطوي عليه العديد من العمليات الطبيعية ومن المتوقع أن يبقى التناظر CPT محققاً بصورة دائمة.

أما "شيلدون غلاشو" و"محمد عبد السلام" و"ستيفن وانبرغ" فقد قدموا نظرية وصف التفاعلات الضعيفة والكهرطيسية بطريقة موحدة بحيث تشمل تناظر المضاريب الذي ينص على محافظة توابع الحقول الكهرطيسية على شكلها عندما تتضاعف المكونات الكهرطيسية بمضاريب كمومية.

وأعاد كل من "غيرهاردوس هوفت" و"مارتينوس فيلتمان" استنتاج النظرية الكهرطيسية تجنّباً لسعي بعض الحسابات نحو اللانهاية بطريقة مماثلة لحلول نظرية الإلكتروديناميك الكمومي المتعلقة بالتفاعل الكولوني عند مسافات قصيرة جداً.

وليس من المبالغة وصف ميكانيك الكم وتوسعاته في المجالات الإحصائية والنسبوية والكهرطيسية بأنه أحد أهم مكتشفات القرن العشرين في الفيزياء. ويبقى السؤال المطروح للقرن الحادي والعشرين: هل يمكن توحيد القوى الفيزيائية بحيث تشمل القوى النووية القوية وقوى الثقالة الطويلة المدى؟

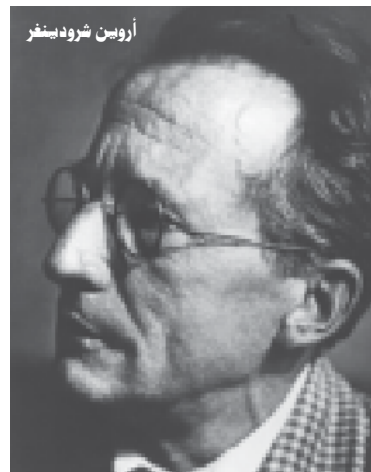


الإلكتروديناميك الكمومي من تفسير المشاهدات التجريبية التي رصدها "كوش" و"لام" بدقة متناهية مما أكسبها لقب أكثر النظريات دقة، واستفيد منها في شرح الظواهر الفيزيائية عند الطاقات العالية مثل إنتاج الأزواج من حقل مكم، كما شكلت نواة نظرية الحقول للتفاعلات النووية القوية والمعروفة بنظرية الكروموديناميك الكمومي.

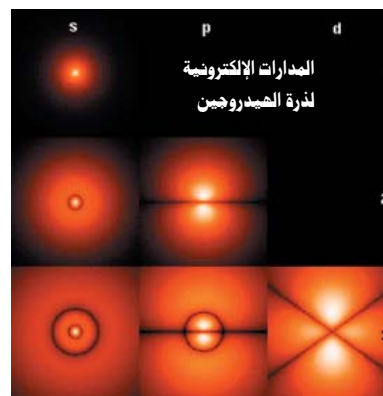
لقد دُرست تناظرات التوابع الموجية والحقول في ميكانيك الكم ونظرية الحقل الكمومية، وعُزيت خاصة التناظر عند التبدل بين الجسيمات المتماثلة إلى مبدأ باولي في الاستبعاد. ودُرست شذوذ تناظرات التحولات الفضائية (أو تناظر الندية "P") من قبل "تسانغ لي" و"تشن يانغ" نتيجة لانعكاس جملة الإحداثيات، وهي العملية التي توصف بالتناظر الندية للتابع الموجي في التحولات المشعة التي تتصف بها التفاعلات الضعيفة. وقد حث عمل "لي" و"يانغ" مجموعة من الأعمال المتعلقة بإثبات النظرية، فبرزت نتائج لا انحفاظ الندية في التفاعلات الضعيفة التي تصف تفكك  $\beta$  وتفكك  $\pi$  إلى  $\mu$ .

وقد برز تناظر آخر في ميكانيك الكم مرتبط بتبديل الجسيمات بمضاداتها وهو ما عرف بالتناظر الشحني "C". وتبيّن أيضاً أن التحولات المشعة لا تحفظ أيّاً من التناظرين "C" أو "P" على حدة، ولكن طريقة كسر التناظر في الشحنة والإحداثيات معاً نجم عنها انحفاظ التناظر المركّب "CP".

ويذكر أن هذا المبدأ لم يصمد كثيراً، إذ بيّن "جامز كرونين" و"فال فيتش" أن تفكك الميزون يكسر هذا التناظر المركّب. فقاما بتوسيع تركيب التناظر ليشمل التناظر تحت عملية انعكاس الزمن وهو



تبعاً لنظرية الاضطراب الكمومية. وكانت الفرضيات المبكرة في هذا المجال تفترض تبادل فوتون وحيد، ولكن هذا التفسير لم يدم طويلاً نتيجة للأعمال التي قام بها "توموناغا" و"جوليان شوينغر" و"ريتشارد فايمان" والتي تمخضت عن تعديل كمون كولون الكهربائي في المسافات القصيرة جداً من خلال النظر إلى الشحن النقطية على أنها مجرد تكتلات من الجسيمات والجسيمات المضادة، وأن العزم المغنطيسي الفعال لهذه الشحنات غير ثابت. وتمكنت حسابات نظرية



1920

Guillaume

لاتمدد خليطة النيكل

1921

Einstein

المفعول الكهرطيسي

1922

Bohr

مدارات الإلكترون والبنية الذرية

1923

Millikan

قياس شحنة الإلكترون

1924

Siegbahn

البنية الطيفية الإلكترونية ومطابقة الأشعة السينية

1925

Franck &amp; Hertz

عكسية المفعول الكهرطيسي

1926

Perrin

تحقق من الحركة البراونية

1927

Compton, Wilson

تبعثر الفوتونات كوانتياً واكتشاف الحجرة الضبابية

1928

Richardson

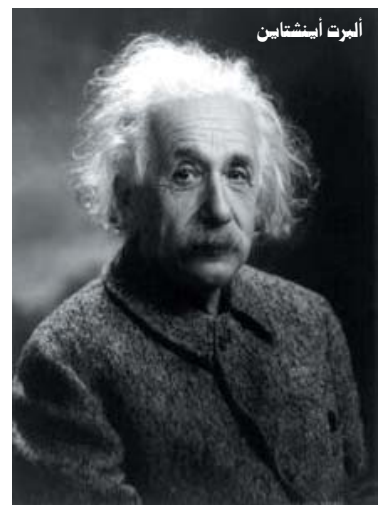
إصدار الإلكترونات حرارياً



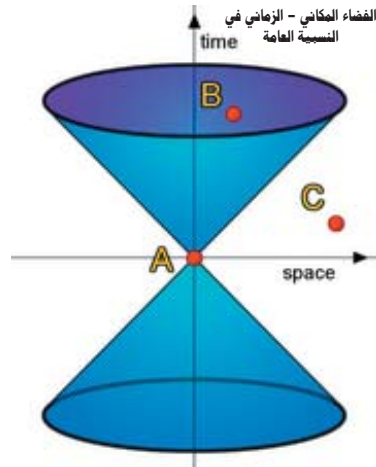
## الفيزياء النسبية

شكّلت النظرية النسبية حلقة الربط بين أصغر الأشياء وأكبرها في عالمنا. ففي حين عبّرت النظرية النسبية الخاصة التي طرحها "ألبرت أينشتاين" في العام 1905 عن علاقة الطاقة والكتلة  $E=mc^2$ ، فقد ربطت النظرية النسبية العامة التي طرحت بعد عقد من الزمن (في العام 1917) بين قوى الثقالة ومفاهيم الزمان والمكان. ونجمت عن النظرية النسبية الخاصة حسابات الكتل الفعالة للجسيمات العالية الطاقة والتحويلات الطاقية في التفكك الإشعاعي وتنبؤ ديراك بوجود الجسيمات المضادة والعزم المغنطيسية للإلكترونات والبنية الدقيقة للأطياف الذرية. أما النظرية النسبية العامة، فقد شكّلت أساساً للحسابات الكونية بما فيها خصائص الثقوب السوداء.

ويمكن أن تبسّط مفاهيم النظرية النسبية الخاصة بأمرين: ثبات سرعة الضوء C في الخلاء وعدم تغير قوانين الفيزياء بالنسبة لجميع الراصدين في الجمل العطالية. أما النظرية النسبية العامة فتتطوي على نظرية هندسية لتحذب الفضاء الزماني والمكاني بوجود الكتلة والطاقة وما يرافق هذا التحذب من تأثير



ألبرت أينشتاين



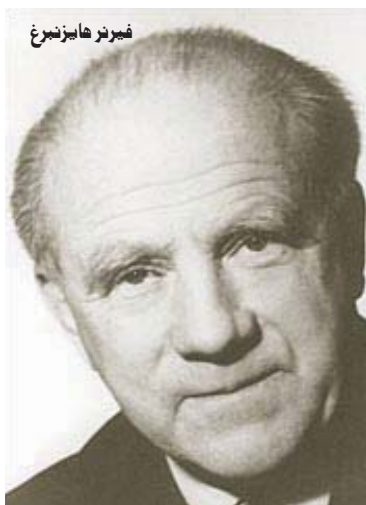
على حركة الجسيمات الحرة وفوتونات الضوء. وكون النظرية عامة، بالمقارنة مع النظرية الخاصة، فهي لا تشترط أن تكون حركة الراصدين منتظمة.

هذا وتبدو النظرية الكمومية المعنية بالعالم المجهرى من مرتبة الأبعاد الذرية والنووية في تناقض مع النظرية النسبية العامة التي تصف منظومات كونية من مرتبة أبعاد المجموعة الشمسية. وقد طرحت نظرية الأوتار، بانتظار براهين تجريبية، أفكاراً متعلقة بتمثيل المواضع الزمانية والمكانية بالأوتار وحيدة البعد بدلاً من النقاط العديمة الأبعاد، وتُعزى لهذا التمثيل خصائص وترية كالاهاتران والتوتر. ويذكر من بين نظريات توحيد الميكانيك الكوموي والنسبية العامة نظرية الثقالة الكمومية التي جرى تطويرها على مدى نصف قرن دونما إثباتات تجريبية وبراهين دامغة وربما بانتظار أن تشكل محور تطور الفيزياء في القرن الحالي. وكان ديراك قد قدّم صياغة معدّلة لميكانيك الكم عُرفت بالميكانيك الكوموي النسبوي تأخذ بعين الاعتبار النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين. وفعلاً، اكتشف كارل أندرسون عام 1932 الجسيم المضاد للإلكترون، والمعروف بالبوزترون، وهو الذي تنبأ ديراك بوجوده.

## الفيزياء النووية

تختلف النوى باختلاف عدد البروتونات، وكان رذرفورد أول من رصد البروتون في تجربة تبعثر جسيمات ألفا على نواة النتروجين. ولكنه وجد أن كتلة البروتونات في النواة الذرية لا تزيد عن نصف كتلة النواة التي تضمها. فبرزت الحاجة لكشف الجسيمات الأخرى، المعتدلة كهربائياً، المكونة للنوى الذرية. وولدت الفيزياء النووية مع كشف حقيقة النواة الذرية المؤلفة من بروتونات ونيوترونات.

وما إن اكتشفت النيوترونات عام 1932 من قبل "جامز تشادويك" حتى استثمرها "إنريكو فيرمي" لتحريض تفاعلات نووية قادرة على إنتاج نظائر مشعة صناعية. وقد وجد فيرمي أن إبطاء النيوترونات يزيد من احتمال حدوث التفاعلات النووية دون أن يابيه طبيعة النوى الداخلة في التفاعلات من حيث كونها خفيفة أو ثقيلة. فقام "إرنيست لورنس" ببناء أول مسرع حلقي للبروتونات بالاعتماد على الحقل المغنطيسي ومهدّ بذلك الطريق أمام استخدام الجسيمات المشحونة، غير البروتونات، كمحرضات للتفاعلات النووية وذلك أسوة بالنيوترونات المعتدلة كهربائياً.



فيرميرهاينزبرغ

1929

De Broglie

ازدواجية السلوك  
جسيم - موجة  
للإلكترونات

1930

Raman

مطابقة جزيئية

1932

Heisenberg

ارتياب القياس المتزامن

1933

Schrodinger, Dirac

ميكانيك الكم  
النسبوي

1935

Chadwick

اكتشاف النيوترون

1936

Hess, Anderson

اكتشاف الإشعاع  
الكوني والبوزترون

1937

Davison & Thomson

انعراج الإلكترونات  
السريعة في البلورات

1938

Fermi

تفاعلات نووية  
محفزة بالنيوترونات  
الحرارية



ليزر مخبري

هذه المصائد فأتاحت بذلك للعلماء إمكانية التعامل مع نرة محددة من خلال إشارات ليزرية وميكروية. وشهدت المراحل المتقدمة من هذه الأبحاث إبطاء حركة الذرات في هذه المصائد إلى درجات حرارة من رتبة ميكروكلفن فيما أضحى يُعرف بتكتف بوز أينشتاين. وقد استُخدمت لهذا الغرض تقنية التبريد الليزري المبتكر من قبل "ستيفن شو" و"كلود تانوجي" و"ويليام فيليبس" والمعتمدة على التعامل مع الذرات من خلال صدمها بحزم فوتونات الليزر الأمر الذي فتح الأفق أمام تكنولوجيا قياس نري عالية الدقة.

وشهد النصف الثاني من القرن العشرين تطوير مطيافية ليزرية دقيقة قادرة على قياس الانتقالات بين السويات الذرية والجزيئية في المجال الميكروي. ودرس "ألفريد كاستلر" إمكانية إثارة الإلكترونات باستخدام ضوء مستقطب وساهمت هذه التقنيات في توجيه سبينات السويات الأساسية للذرات.

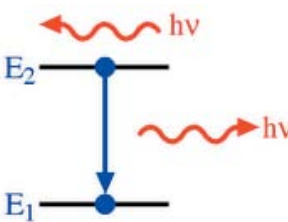
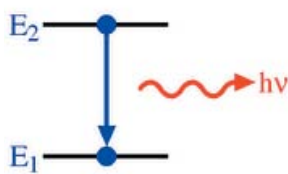
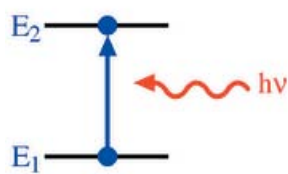
#### فيزياء البنية النووية

أدرك العلماء أنه، من حيث المبدأ، لا يمكن الاكتفاء بمعرفة خصائص الجسيمات الأولية وتوصيف التفاعلات فيما بينها لتكوين صورة واضحة عن سلوك المنظومات المؤلفة من هذه الجسيمات. واستقر الرأي النظري على استحالة

وشهد الربع الأخير من القرن العشرين فورة مذهلة في الأبحاث النظرية والتطبيقية المتصلة بالليزر.

وقد حقق "نيكولاس بلو ميرغين" و"آرثر شاولر" مطيافية ليزرية دقيقة للذرات والجزيئات. وتابع أعمالهما "كاي سيفبان" بتطوير مطيافية نرية وجزيئية مستندة للإلكترونات المصدرة من مدارات عميقة نتيجة تعرضها لأشعة X، وعرفت هذه المطيافية باسم مطيافية إلكترونات "أوجيه" ووجدت تطبيقاتها التحليلية في عدة مجالات في الفيزياء والكيمياء.

وفرت تفاعلات الحقول الكهرطيسية والإلكترونات المدارية معلومات في غاية الأهمية حول بنية السويات النووية. فطور "نورمان رامزي" طرقاً دقيقة مستندة إلى الذرات الحرة وابتكر "ولفغانغ بول" المصائد الذرية المؤلفة من حقول كهربائية ومغناطيسية. وكان "هانز ديميلت" أول من عزل الذرات والبوزترونات بواسطة



آليات الامتصاص والإصدار التلقائي والقسري الفوتوني

وابتكر "جون كوكروفت" و"إرنيست والتون" نمطاً جديداً من مسرعات الجسيمات المشحونة والمستندة إلى حقول كهربائية في غاية الشدة لتسريعها بين فروق في الكمون على التسلسل. ودرس "أوتو شتيرن" الخصائص المغناطيسية للنوى فقام بقياس العزم المغناطيسي للبروتون وذلك انطلاقاً من أهمية الخصائص المغناطيسية للنوى. وتابع "أيزيدور رابي" ما بدأه "شتيرن" من تحديد العزم المغناطيسية للنوى وذلك باستخدام تقنية تجاوب في المجال الراديوي وتمكن من تحقيق دقة أكبر بمرتبتين في القياس على الأقل.



مسرع كوكروفت وهالتون

#### فيزياء الليزر والمطيافية

طور "تشارلز تاونس" أول ميزر في العام 1958 على خلفية الأعمال النظرية التي لخصها "نيكولاي باسوف" و"ألكسندر بروخورف". واكتشف في العام 1960 مفعول الليزر، وبنى "زهوريس ألفيروف" أول ليزر نبضي يعمل على تقنية أنصاف النواقل في العام 1970. وتتنوع أصناف الليزر وأضحت تطبيقاتها منتشرة في مختلف العلوم الأساسية والتطبيقية والطبية والصناعية والعسكرية. تطورت تقنيات ومواد تحقيق الفعل الليزري وتضخيمه

1939

Lawrence

تطوير أول مسرع حلقي لإنتاج النظائر المشعة

1943

Stern

الخصائص المغناطيسية للبروتون

1944

Rabi

تقنية التجاوب الراديوي لقياس الخصائص المغناطيسية للنوى

1945

Pauli

مبدأ الاستبعاد

1946

Bridgman

تطوير تقنية توليد ضغوط عالية

1947

Appleton

انعكاس الأمواج الراديوية في الغلاف الجوي العلوي

1948

Blackett

الحجرة الضبابية

1949

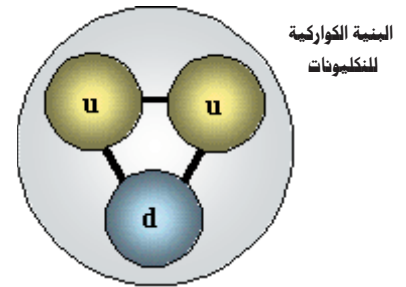
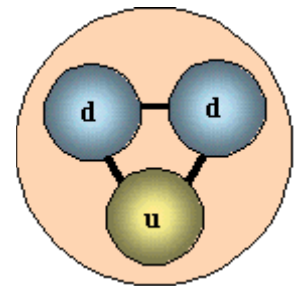
Yukawa

التنبؤ بالميزونات بي

التعامل مع المنظومات المعقدة المؤلفة من عدد كبير من الجسيمات وضرورة اللجوء لاختزالها إلى نماذج نظرية مبسطة تغطي الصفات الرئيسية لمكوناتها وتفاعلاتها.

وكانت النكليونات أولى المنظومات المعقدة المؤلفة من كواركات وغلونات. وتبعتها النوى الذرية المؤلفة من بروتونات ونيوترونات، فالجزيئات المؤلفة من ذرات والبلازما المؤلفة من ذرات وجزيئات. وكان النموذج النووي الطبقي أول النماذج التي حاولت توصيف بنية النواة الذرية، وتم اقتراحه في مطلع الأربعينيات من القرن العشرين من قبل "ماريا ماير" و"يوهانس جنزين". واستعيرت البنية الطباقية الذرية للإلكترونات باعتبار أن النكليونات الخارجية على الأقل بالنسبة للنوى شبه الكروية تملأ سويات طاقة يتحكم بها التزاوج المداري السبيني ضمن التآثر النووي بطريقة مشابهة للإلكترونات التكافؤية.

لقد نجح النموذج الطبقي في تفسير استقرار النوى السحرية التي تضم أعداداً سحرية من البروتونات أو النيوترونات، وتناول "نيلز بور" بالبحث النووي غير السحرية (وغير الكروية) مستخدماً نموذجاً المسمى



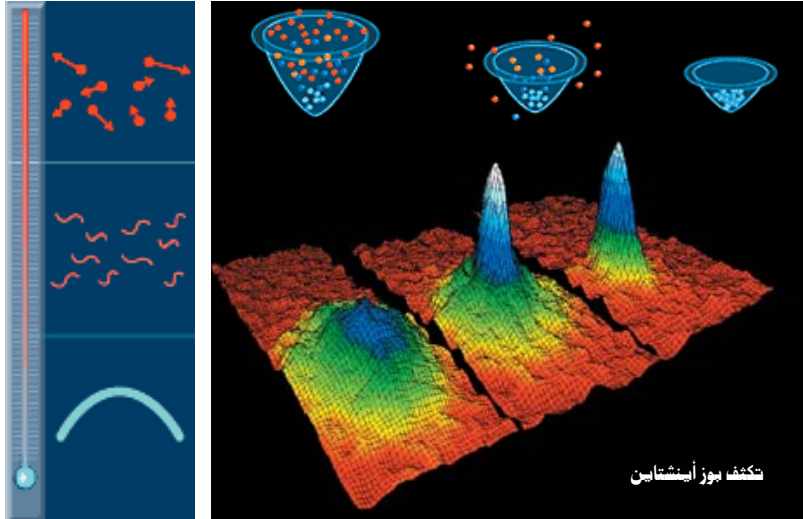
البنية الكواركية للنكليونات

بالقطرة السائلة لشرح ظواهر تشوه النوى وإثارتها وصولاً للانحطاط النووي. وشكلت هذه المواضيع أيضاً مجال عمل "جامز رينوارتر" و"آج بور" و"بن مولتسون" في شرح درجات الحرية الدورانية للنوى اللاكروية. وطرحت النماذج الحسابية المبسطة والواصفة لتفاعل البوزونات (أزواج النكليونات) النووية.

لقد حرّضت دراسات البنية النووية الحاجة لمطيافية نووية سرعان ما انبرى لها العديد من الكيميائيين ونذكر منهم "هارولد أوري" مكتشف الديتريوم و"أودين ماكيلان" و"غلين سيبورغ". وكان لاكتشاف تقنية التزامن من قبل والتر بوته عام 1954 الأثر الأكبر في وضع دراسات المطيافية النووية وخاصة في مجال سلاسل التفاعلات النووية وتفكك النوى ودراسة خصائصها المغناطيسية.

#### فيزياء الجسيمات والفلك

وجد "فيكتور هيس" عام 1912 أن الأشعة الكونية الواصلة إلى الغلاف الجوي للكرة الأرضية من أعماق الفضاء الخارجي تتسم بصفة اختراقية عالية. وقد دُرست خصائص جسيمات الأشعة الكونية من خلال رصد مساراتها ضمن حقل مغناطيسي شديد، وهي الطريقة التي



تكشف بوز أيشتاين

اتبعتها "أندرسون" لدى اكتشافه للبيوترون (الإلكترون المضاد). وقد بين أندرسون بالتعاون مع "بلاكيت" (مطور الحجرة الضبابية لكشف الجسيمات) أن فناء الإلكترون وجسيمه المضاد، البيوترون، سيولد أشعة غاما. وبقيت الأشعة الكونية توفر المصدر الوحيد للجسيمات عالية الطاقة على الرغم من تواضع الشدة الجسيمية بالمقارنة مع ما أصبح متوفراً لاحقاً من المسرعات. وقد اكتشفت الميزونات في العام 1937 وحددت كتلتها بأنها أكبر بـ 200 مرة من كتلة الإلكترون ولكنها أصغر من كتلة البروتون بـ 10 مرات. وكشف "سيسيل باول" في العام 1946 وجود عدة أنواع من الميزونات مثل الميزون  $\pi$  الذي يتفكك إلى الميون  $\mu$ .



تمثيل نظرية الحقل الكمومي

1950

Powell

تصنيف الميزونات

1951

Cockroft & Walton

مسرع جسيمات مشحونة

1952

Bloch, Purcell

التجاوب المغناطيسي والقياسات الدقيقة

1953

Zernike

مجهر تباين الطور

1954

Born, Bethe

الميكانيك الموجي الإحصائي وتقنية التزامن

1955

Kusch & Lamb

تحديد العزم المغناطيسي للإلكترون والبنية الدقيقة لطيف الهيدروجين

1956

Shockley, Bardeen, Brattain

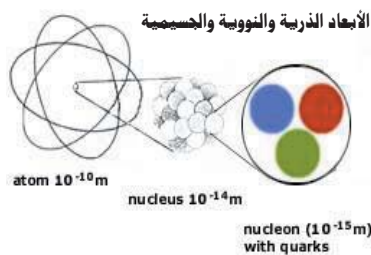
تطوير أنصاف النواقل واكتشاف الترانزستور

1957

Lee, Yang

إنحفاظ الندية





الأبعاد الذرية والنووية والجسيمية

atom  $10^{-10}m$   
nucleus  $10^{-14}m$   
nucleon ( $10^{-15}m$ )  
with quarks

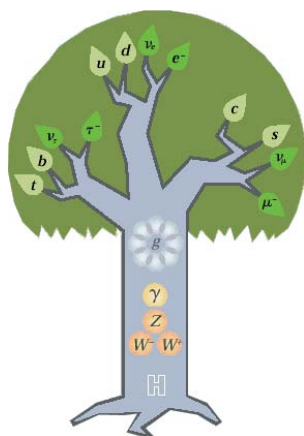
هادرونات وتبين لاحقاً أنها مؤلفة من كواركات. وبرهن تجريبياً على البنية الكواركية للنكليونات من قبل "جيروم فريدمان" و"هنري كندال" و"ريتشارد تايلور" عند دراستهم تبعثراً غير مرن لإلكترونات عالية الطاقة على النكليونات. واستكمل "بيرتون ريختر" و"سامويل تينغ" تصنيف جيلمان باكتشاف الكوارك فتنة قصير العمر. واستكملت الصورة حول حوامل القوى الكهروضعيفة وهي الفوتونات وبوزونات W وجسيم Z وحوامل القوى النووية القوية بين الكواركات وهي الغلونات. وبرهن تجريبياً على وجود W و Z في العام 1983 من قبل "كارلو روبيا" و"سيمون فان ديرمير" من خلال تطوير مصادم للبروتونات بمضاداتها.

وعلى صعيد الفيزياء الفلكية، كانت أبرز مكتشفات القرن العشرين توصيف "هانز بيث" في العام 1967 لحلقة الاندماج الهيدروجيني المحررة للطاقة في العديد من الكواكب (كالشمس). وقد سبق ذلك اكتشاف النجوم النيوترونية في العام 1964 من قبل "أنتوني هيويش" و"مارتن ريلي" من خلال تطوير آلية لت تركيب إشارات راديوية من عدة مجاهر فلكية بغية زيادة مقدرة الفصل وتسجيل النبضات الراديوية الصادرة عن النجم النابض.

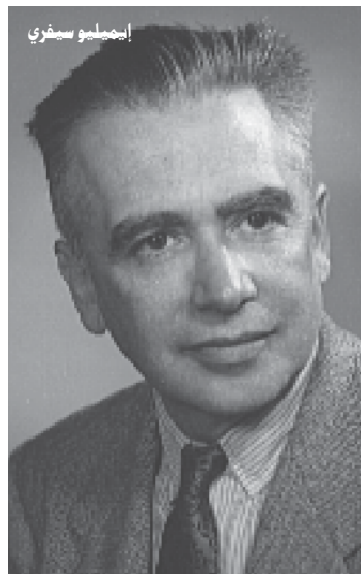
وكان "روبرت ويلسون" قد رصد في العام 1960 لأول مرة خلفية إشعاعية من

الفوتوغرافية ومنظومات الكشف الإلكترونية. وتحقق تنبؤ ديراك بوجود النترينو  $\nu$  في العام 1957 من خلال تجربة "كوان" و"فريدريك رينس" في دراسة التفاعلات الضعيفة مثل تفكك  $\beta$  أو الميزون  $\pi$ .

ومع تحقيق شدات أكبر للجسيمات المسرعة، أمكن توليد حزم ثانوية من النترينو. وأظهرت تجارب "ليون ليدرمان" و"ميلفين شوارتز" و"جاك ستينبرغ" أن النترينو المرافق لإصدار الميون  $\mu$  في تفكك البيون  $\pi$  مختلف عن النترينو المرافق لإصدار الإلكترون في تفكك  $\beta$ ، وسمي النوع الأول نترينو الميون  $\nu_\mu$  والثاني نترينو الإلكترون  $\nu_e$ . وأضحت خارطة الجسيمات الأولية المعروفة للفيزيائيين تشمل الإلكترون e والميون  $\mu$  والنترينو  $\nu$  المرافق لكليهما ومضاداتها وهي جميعاً لبتونات ليس لها بنية داخلية ولا تتفاعل وفق القوى النووية القوية كما هو حال النكليونات والبوزونات والهيبيرونات. وقد أُلحق "مارتن بيرل" بخارطة الجسيمات الأولية في مطلع السبعينيات الليبتون تاو  $\tau$  والذي يرافقه نترينو التاو  $\nu_\tau$ . وصنف "موري جيلمان" الجسيمات الخاضعة للتفاعلات النووية وأسمائها



شجرة عائلة الجسيمات الأولية النووية



إيغور سيجري

وكان "هيدكي يوكاوا" في العام 1935 قد افترض أن القوى النووية هي المسؤولة عن ترابط البروتونات والنوترونات في النواة الذرية. وأجرى تحليلاً مشابهاً للقوى الكهروضعيفة من حيث حوامل القوى، الميزونات  $\pi$  في هذه الحالة بالمقارنة مع الفوتونات في الحالة الكهروضعيفة. واكتُشف بعد ذلك العديد من الجسيمات الأولية إما عن طريق دراسة الأشعة الكونية مستفيداً من التقدم في مجال الكواشف والإلكترونيات، وإما عن طريق مسرعات الجسيمات بمزيد من الطاقة الحركية حيث بلغت طاقة الجسيمات المسرعة في منتصف الخمسينيات عدة مليارات من الإلكترون فولط.

وقد قام "أوين تشامبرلين" و"إيميليو سيغري" باكتشاف البروتون المضاد في العام 1955. ومع زيادة إضافية في طاقة الجسيمات في الفترة اللاحقة، تمكن "روبرت هوفستادتر" من كشف البنية الكهروضعيفة للنكليونات من خلال تبعثر إلكترونات عالية الطاقة عليها.

وتوالت اكتشافات الميزونات ومضاداتها في كواشف الألواح

1958

Cherenkov, Frank, Tamm

تقنية كشف

الجسيمات ومفعول تشيرينكوف-فايفوف

1959

Chamberlain & Segre

اكتشاف البروتون

المضاد

1960

Glaser

تطوير الحجرة الفقاعية

1961

Hofstadter, Mossbauer

الخصائص الكهروضعيفة

للنكليونات والامتصاص

التجاوي لأشعة غاما

1962

Landau

تطوير نظرية الهيليوم

السال

1963

Wigner, Mayer & Jensen

تطوير مبادئ التناظرات

النورية وتطوير النموذج

الطبيقي النووي

1964

Townes, Basov, Prokhorov

تطوير الإلكترونيات

الكهروضعيفة ومبادئ

الليزر والميزور

1965

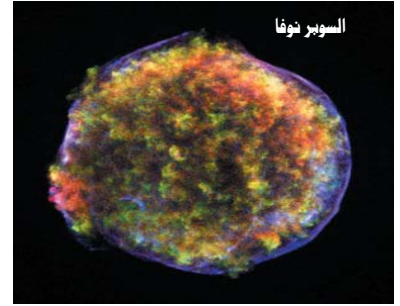
Feynman, Schwinger,

Tomonaga

الإلكتروديناميك

الكهروضعيفة





الإشعاع الكوني في المجال الميكروي من الطيف الكهرطيسي. ودرس كل من "سابوامانيان تشاندرا سينمار" و"ويليام فاولد" التفاعلات النووية الحاصلة في النجوم وتشكيل العناصر الثقيلة من خلال رصد الانفجارات في المستعرات (السوبرنوفات). وإثباتاً لطروحات النظرية النسبية العامة قبل 60 عاماً، اكتشف عام 1974 الإشعاع الثقالي من قبل "راسل هلصه" و"جوزيف تايلور".

#### الفيزياء الجزيئية والبلازمية

شكلت الجزيئات المؤلفة من ذرات، التحدي الجديد المتعلق بالمسائل المتعددة الأجسام. وبصورة شبه مطلقة، قام بالعمل في هذا المجال الكيميائيون مع بعض الاستثناءات. فقد وضع "يوهان فان در فالس" معادلة حالة الجزيئات في الغازات مع الأخذ بعين الاعتبار التفاعلات بين الجزيئات. وشكل هذا الطرح أساس دراسات تكثيف الغازات إلى سوائل. ودرست حركة الجسيمات الصغيرة في الماء في الربع الأول من القرن العشرين من قبل "جان بيرين"،



وشكلت هذه الدراسة البرهان التجريبي للنظرية الإحصائية لأينشتاين الخاصة بالحركة البراونية وتحققت من القوانين الحاكمة لتوازن الجسيمات المعلقة في السوائل وتحت تأثير الجاذبية.

وقد لاحظ "فينكاتا رامان" احتواء الضوء المتبعثر على الجزيئات على مكونات منزاحة بتواترها عن تواتر الضوء الوحيد اللون الساقط على الجزيئات. وفسر هذه الانزياحات وفق آليات ربح أو خسارة طاقة للجزيئات نتيجة لتغير حركتها الدورانية أو الاهتزازية. وما لبثت مطيافية رامان أن أصبحت أحد أهم مصادر المعلومات عن البنية الجزيئية وتحريكها. وعرفت البلازما بأنها الحالة الغازية للمادة والتي تصادف فيها حالة شديدة التأين للذرات أو الجزيئات. وبالمقارنة مع دراسة الغاز الجزيئي أو الذرات المعتدلة، فقد أضافت البلازما التفاعلات الكهرطيسية بين الأيونات الموجبة على مستوى أول وبين الأيونات والإلكترونات الحرة على مستوى آخر، فأضافت بذلك قدراً كبيراً من التعقيد في الدراسات وذلك بالمقارنة مع حالة الغازات الجزيئية أو الذرات المعتدلة كهربائياً. وتطورت أساليب البلازما بنوعها الحارة والباردة وانبثق علم فيزياء البلازما المعني بدراسة المظاهر التشغيلية والتشخيصية والاستثمارية للبلازما. ومن أهم مكتشفات القرن العشرين ما قام به "هانز ألفين" من الكشف عن نوع جديد من الحركة الجماعية عرفت بالأمواج الهيدرومغناطيسية والتي تلعب الدور الرئيسي في توصيف سلوك البلازما المخبرية وتلك المتشكلة في الغلاف الجوي الأرضي والكون على حدٍ سواء.

#### فيزياء علم المواد

تتميز البلورات باصطفاف منتظم للذرات، وقد لاحظ "ماكس فون لاوه" انعراج الأشعة السينية أثناء عبورها الأجسام الصلبة البلورية بطريقة مشابهة لانعراج الضوء أثناء عبوره شبكة الانعراج. وصادف في هذه الحالة أن توافق طول موجة الأشعة السينية مع الأبعاد الفاصلة بين الذرات في الأجسام البلورية. واستخدمت هذه التقنية لقياس الأبعاد الفاصلة بين الذرات وتحليل الاصطفافات الهندسية للذرات في بعض البلورات البسيطة من قبل "هنري براغ" وابنه "لورانس براغ" في العقد الأول من القرن العشرين.

وفي الثلاثينيات من القرن العشرين درس "بيرسي بريدجمان" الميزات البلورية والكهربائية والمغناطيسية والحرارية للبلورات تحت ظروف ضغط عال، وتعرف على التحولات الطورية التي يعانها العديد من هذه البلورات وما يرافق ذلك من تغيرات حادة في الاصطفافات الهندسية لذراتها عند ضغوط محددة.

وبعد ذلك استثمرت النترونات البطيئة بصورة مشابهة لفوتونات الأشعة السينية. وسلط "كليفورد شول" الانتباه على تقنية الانعراج النتروني لدراسة البنية البلورية، وتحديد العزوم المغناطيسية للذرات. وطور بعدئذ "بيرترام بروك هاوس" مطيافية نترونية ثلاثية المحاور بغية دراسة الأنماط الاهتزازية (الفونونات) المثارة في الشبكة البلورية والأنماط المغنونية magnon في الشبكة المغناطيسية. وطور "جون فان فليك" نظرية الأفعال الحلقية في البلورات حول الخصائص المغناطيسية لمركبات المعادن الانتقالية التي كانت محط اهتمام العاملين في مجال الليزر والجزيئات البيولوجية.

1966

Kastler

دراسة التجاويز الهوتونية في الذرات

1967

Bethe

تطوير نظرية التفاعلات النووية

1968

Alvarez

اكتشاف السويات التجاويزية في الجسيمات الأولية

1969

Gell-Mann

تصنيف الجسيمات الأولية وتفاعلاتها

1970

Alfven, Neel

اكتشاف الهيدروديناميك المغناطيسي والمغناطيسية المضادة

1971

Gabor

تطوير الهولوجرافيا

1972

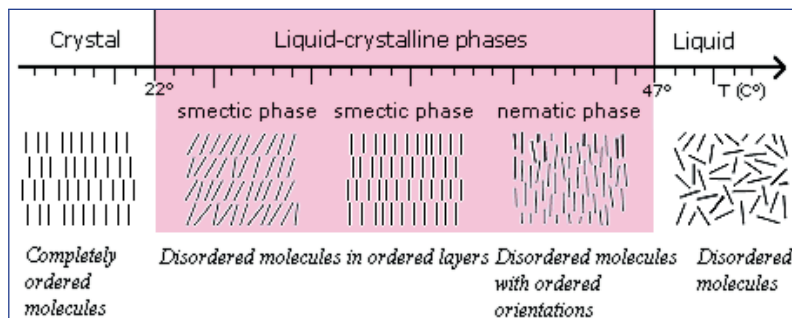
Bardeen, Cooper, Scieffer

نظرية الناقلية الفائقة

1973

Esaki & Giaever, Josephson

اكتشاف ظاهرة النفق في أنصاف النواقل والنواقل الفائقة ومفعول جوزيفسون



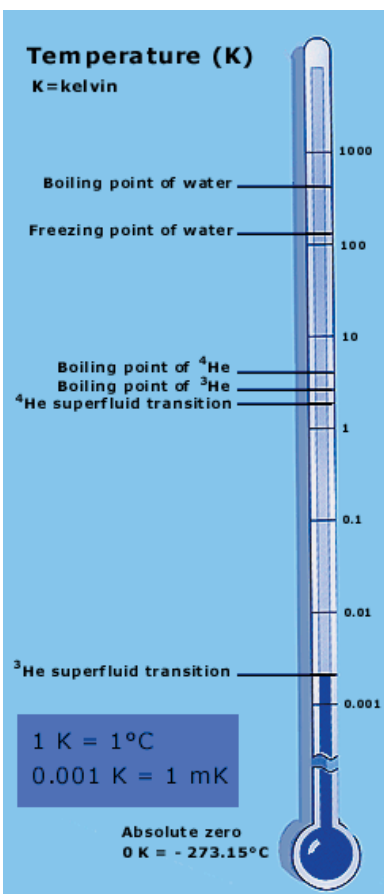
الحرارة المنخفضة من قبل "بيوتر كابتيسا" في العشرينيات والثلاثينيات من القرن العشرين. واكتشف "ديفيد لي" و"دوغلاس أوشيروف" و"روبرت ريتشاردسون" ثلاثة أطوار مختلفة للسائل الفائق للنظير  $^3\text{He}$ ، وقدروا أن درجة حرارة التحول أقل بألف مرة من تلك المميزة للنظير  $^4\text{He}$ .

وبين "أوين ريتشاردسون" عام 1928 أن إصدار الإلكترونات من النواقل وأنصاف النواقل عند تسخينها لدرجات حرارة مرتفعة جداً وتحت شروط تخلية عالية إنما يحدث نتيجة للإثارة الحرارية ولا توجد أية تداخلات مثل التفاعلات الكيميائية مع الغاز المحيط.

#### فيزياء أنصاف النواقل والناقلية الفائقة

تحدد البنية الإلكترونية للأجسام الصلبة خواصها الكهربائية والمغناطيسية والضوئية والحرارية والميكانيكية. فلقد اكتشفت الناقلية الفائقة مبكراً في القرن العشرين وتحديداً في العام 1911 من قبل "كاميرلنخ أونس" حينما لاحظ انخفاض المقاومة الكهربائية للزئبق لقيمة تقل عن جزء من مليار من القيمة الطبيعية، وذلك عند تبريده إلى ما دون درجة الحرارة الانتقالية  $T_c$  والمقدرة بـ 4 K. ولكن بقيت آلية الناقلية الفائقة لفترة طويلة بعد ذلك غير مفهومة حتى مطلع الستينيات من القرن العشرين حينما صاغ "جون باردين" و"ليون كوبر" و"روبرت شريفر" نظريتهم المستندة إلى

السائل وشرح ظاهرة الميوعة الفائقة والإشارات الروتونية وظواهر صوتية مختلفة. وقد أجري العديد من التجارب لإنتاج ودراسة ظواهر في درجات



وقد قام بحساب تأثيرات الترابط الكيميائي على الذرات وشرح أثر درجة الحرارة على المغنطة. وقد وضع "لويس نيل" النماذج الرئيسية الواصفة للمغناطيسية الحديدية والمغناطيسية الحديدية المضادة التي تبديها بعض المواد نتيجة لتوجه عزوم ذراتها المغناطيسية وذلك نظراً لأهمية هذه المواد في تقنيات الانعراج النتروني.

واستمر العمل في مجال الاصطاف الهندسي للذرات في البلورات الصلبة، وطرح "كينيث ويلسون" نظرية إعادة الاستنظام التي ربطت بين الظواهر الحرجة والتحويلات الطورية، وكان لهذا الاكتشاف أثره التطبيقي في نظريات الحقول ضمن فيزياء الجسيمات الأولية.

واستمرت البلورات السائلة اهتمام العلماء كصنف خاص جداً من المواد المتمتعة بخواص فريدة ذي أفق واسع في التطبيقات التقنية. ويذكر من هذه المواد ذات الخواص الفريدة السلاسل البوليميرية والهيليوم السائل، وشكل هذا الأخير محور عمل العديد من العلماء في مجال تعميم النظم البسيطة إلى نظم معقدة. فقد طور "بيير جيل غين" نظرية توصيف سلوك البلورات السائلة وتحويلات الطورية باستخدام الميكانيك الاحصائي، كما وصف اصطاف وتحريك السلاسل البوليميرية.

وجرى تميمع غاز الهيليوم من قبل "هيكه أونز" الذي درس خصائص المادة عند درجات الحرارة المنخفضة. واستفيد من تميمع الهيليوم لفصل نظيره  $^4\text{He}$ ، الذي يتحول إلى سائل عند درجة الحرارة 3.2 K، بينما يبقى النظير  $^3\text{He}$  بشكل غازي حتى درجة الحرارة 3.2 K. وقد طبق "ليف لاندوا" أفعال متعدد الأجسام على الهيليوم

1974

Ryle, Hewish  
تطوير الفيزياء  
الفلكية واكتشاف  
النجم النباض

1975

Bohr, Mottelson,  
Rainwater  
تطوير نظرية بنية  
النواة الذرية

1976

Richter, Ting  
اكتشاف جسيم أولي  
ثقليل ودراسة المادة  
الباريونية

1977

Anderson, Mott,  
Van Vleck  
البنية الإلكترونية  
للنظم المغناطيسية

1978

Kapitza, Wilson  
تطوير فيزياء درجات  
الحرارة المنخفضة

1979

Glashow, Salam,  
Weinberg  
توحيد القوى  
الكهرطيسية والضعيفة

1980

Cronin, Fitch  
انكسار التناظر في  
تفكك الميزونات

1981

Bloembergen &  
Schawlow, Siegbahn  
لتطوير المطيافية  
الليزرية والإلكترونية

1982

Wilson  
الانتقالات الطورية

1983

Chandrasekhar, Fowler  
العمليات الفيزيائية  
في ولادة النجوم وتشكل  
العناصر الكيميائية  
في الكون

1984

Rubbia, Meer  
اكتشاف حوامل التفاعل  
الضعيف

1985

Kalizing  
مفعول هول الكومومي

1986

Ruska, Binnig & Rohrer  
تصميم أول مجهر  
إلكتروني والمجهر  
النفاقي الماسح

1987

Bendorz, Muller  
الناقلية الفائقة في  
المواد السيراميكية

1988

Lederman, Schwartz,  
Steinberger  
اكتشاف نترينو ميون  
والبنية المضاعفة  
للببتونات

1989

Ramsey, Dehmelt & Paul  
تطوير الحقل المهتز  
وتطوير تقنية المصادم  
الأيونية

شبكة الإنترنت

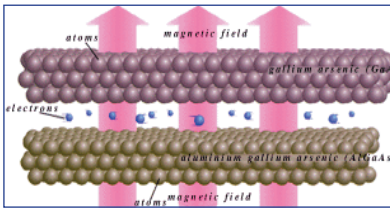
الحادي والعشرين. وشكلت مسرعات الجسيمات أدوات مهمة لعلماء المواد والكيميائيين والأطباء والصيدالة من خلال توفير آلية سبر وبحث مهمة جداً لا يمكن الاستغناء عنها. ولا تغفل إسهام الفيزياء في تطوير الاتصالات من خلال اكتشاف الألياف الضوئية وتقانة المعلومات من خلال تطوير بروتوكول الأنترنت www ووسائط التخزين من خلال تطوير الشرائط المغنطيسية والأقراص الضوئية والليزرية.

هذا، وقد ابتكر القاطع الشمسي الآلي المستخدم في المنارات البحرية من قبل "تليز غوستاف دالين" في العقد الأول من القرن العشرين. وقد استند في مبدأ عمله على امتصاص الحرارة وتخزينها في هيئة استطاعة ميكانيكية مما سمح بتصميم قاطع آلي لفصل غاز إنارة المنارة وإعادة وصله دونما تدخل بشري. وجاء اكتشاف "غابرييل ليبمان" لتقنية التصوير الفوتوغرافي الملون باستخدام تقنية تداخل الضوء القصير الأمد نظراً لاحتياج هذه التقنية لفترة تعرض طويلة نسبياً وبذلك تم الاستغناء عنها لصالح طرق تصوير فوتوغرافي أكثر سرعة.

أمّا المجهر الضوئي فقد استخدم في دراسة العينات البيولوجية في مطلع القرن العشرين. وكان لاكتشاف المجهر الإلكتروني في عام 1932 من قبل "أرنست روسكا" الأثر البالغ الأهمية على العديد من العلوم الأخرى. حيث أدرك العلماء تفوقه على المجهر

العازل والناقل (تحول موت) بدلالة المكونات والمؤثرات الخارجية.

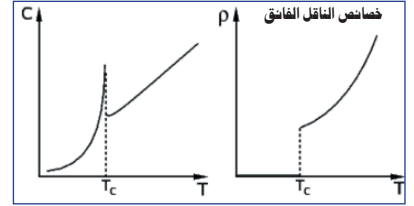
أمّا عصر الإلكترونيات فقد بدأ في منتصف الخمسينيات من القرن العشرين مع تطوير أول ترانزستور من قبل "وليام شوكلي" و"جون باردين" و" والتر براتين" بالاعتماد على نظرية حركية الإلكترونات في أنصاف النواقل والأنواع المانحة والمستقبلة للإلكترونات. بعد فترة وجيزة طور "ليو إيساكي" الديود النفقي ذي المقاومة التفاضلية السالبة، ورافق تلك الفترة تطوير وصلة جوزفسون. واكتشف "كلاوس كليترينغ" في العام 1985 مفعول هول المكتم الذي دفع بتقنيات القياس أشواطاً بعيدة. وطور "دانييل تسوي" و"هورست شتورم" فهنا لمفعول هول من خلال دراسة المفعول ضمن حقول كهربائية مكافئة لأجزاء من الشحن الإلكترونية.



ولاحظ "رودولف موسباور" في نهاية الخمسينيات أنه يمكن إثارة بعض النوى من خلال امتصاصها لأشعة غاما الصادرة من الذرات. وسمحت هذه التقنية بتحديد دقيق جداً (انطلاقاً من التكميم الطاقوي) للبنية الإلكترونية والمغنطيسية للعديد من المواد ضمن ما عرف لاحقاً بمطيافية موسباور.

### الفيزياء التطبيقية والتكنولوجية

حفزت الفيزياء في القرن العشرين الكثير من التطور التقني من خلال العديد من التجهيزات والأدوات المبتكرة. ونذكر مثلاً اكتشاف الترانزستور الذي بدأ ثورة في مجال الإلكترونيات، والليزر الذي لا تكاد تطبيقاته تنضب حتى يومنا هذا في مطلع القرن



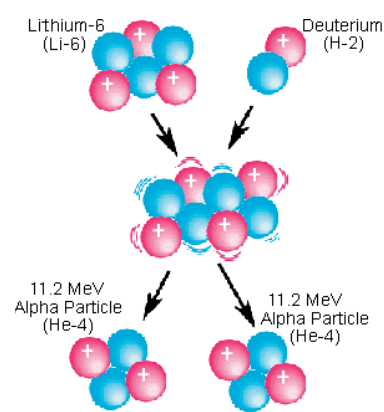
فكرة الأزواج الإلكترونية وخفض طاقتها بقيمة محددة عبر مشاركة تشوه الشبكة البلورية نفسها عند تحرك الأزواج في النواقل.

وقادت هذه النظرية المبنية على ميكانيك الكم إلى أعمال مهمة في مجال الدارات الإلكترونية الفائقة الناقلة والمكونات الإلكترونية الفائقة الناقلة. فقام "بريان جوزفسون" بتحليل انتقال حوامل الناقلة الفائقة بين معدنين فائقي الناقلة عبر طبقة رقيقة جداً من مادة ناقلة. وقد وجد أن الطور الكومومي الذي يحدد خواص النقل عبر "وصلة جوزفسون" هو تابع مهتز بدلالة الجهد المطبق على الوصلة. وقد استغلّت هذه العلاقة في العديد من التطبيقات المهمة كأدوات قياس دقيقة جداً نظراً لربط الجهد والتواتر. وابتكر "إيفار جيافر" وبمساهمة من قبل "ليوايساكي" خصائص الوصلة النفقية وهي المكون الإلكتروني المبنى على الناقلة الفائقة.

وعلى مدى أكثر من 75 سنة تلت اكتشاف الناقلة الفائقة، ساد الاعتقاد بأن هذه الظاهرة محكومة بدرجات حرارة منخفضة بين 4K و 20K إلى أن بين "جورج برنوز" و"ألكسندر مولر" أن أكسيد النحاس يمكن أن يكون مادة فوق ناقلة حتى الدرجة 35K في حال زرع كميات صغيرة من الباريوم. وسرعان ما وجدت بعض المخابرات إمكانية تحقيق الناقلة الفائقة عند درجات حرارة تصل إلى 100K.

ودرس "نيفيل موت" شروط الناقلة الإلكترونية في الأجسام الصلبة وصاغ القواعد التي تحدد نقطة التحول بين





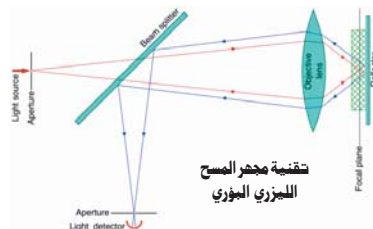
تفاعل نووي

وتسجل مساهمة "كارل فيريناندبروان" (مكتشف راسم الأشعة المهبطية) بصمتها من خلال الذرات المهتزة التي مكّنت ماركوني من تحقيق أول اتصال راديوي عبر المحيط الأطلسي في العام 1951. وقد برهن "إدوارد أبلتون" على فرضية بقيت سائدة لفترة من الزمن مفادها أن الأمواج الراديوية والمشابهة بطبيعتها للأمواج الضوء تعاني من انعكاسات على طبقات الغلاف الجوي للكرة الأرضية مما يسمح لها بالوصول لمسافات بعيدة جداً.

وفي مجال الفيزياء النووية وفيزياء الجسيمات، تطلب العلماء تجهيزات علمية لإجراء تجارب داعمة أو داخضة لنظرياتهم. فطور "كوكروفت" المسرع الجسيم الخطي المعتمد على الحقول الكهربائية وطور "لورنس" المسرع الحلقي المعتمد على الحقول المغنطيسية. وأسهم عدد من العلماء في تقنيات

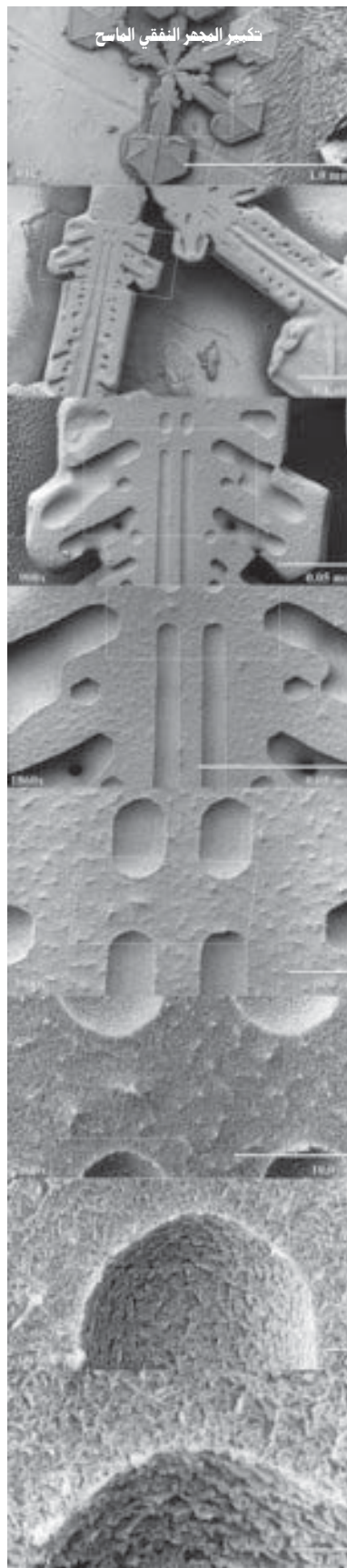


الضوئي لاعتماده على الخاصة الموجية للإلكترونات العالية الطاقة المميزة بأطوال موجية قصيرة مما أدى إلى تحقيق تكبير وميّز resolution أفضل. ثم طورت تقنيات المجاهر فاستخدم المجهر السيني في العام 1950 ومجهر الأيونات الحقلية FIM في العام 1951 لدراسة التوضعات الذرية للنتوءات المعدنية كتقنية تحليلية في علم المواد. واكتشف مجهر المسح الليزري البؤري CLSM في العام 1953 الذي سمح ببناء صورة ثلاثية الأبعاد للعينات السميكة. وطور المجهر النفقي الماسح STM في العام 1981 مما سمح بالنقاط صور لسطوح النواقل بدقة ميز تساوي 2Å وهي من مرتبة الأبعاد الذرية. واكتشف في العام 1986 مجهر القوة الذرية AFM القادر على عزل ذرة وحيدة.



لقد شرح "دينيس غابور" فكرة الهولوجرافيا المنطوية على تصوير ثلاثي الأبعاد باستخدام تقنية تداخل الضوء. وساهم اكتشاف الليزر في مرحلة لاحقة في تحقيق ترابط أكبر مطلوب في عملية التداخل. وابتكر كل من "غيردبينغ" و"هيرتس روهرر" طريقة مستحدثة لالتقاط صور فوتوغرافية غاية في الدقة لأسطح الأجسام الصلبة، وذلك بالاستفادة من مفعول النفق الإلكتروني مما سمح بتصوير الذرات السطحية فرادى.

لقد شهد القرن العشرين ثورة حقيقية في مجال الاتصالات الراديوية، حيث نجح "غوغليمو ماركوني" بإرسال إرشادات راديوية لبضعة كيلومترات.



1990

Friedman, Kendall, Taylor  
تطوير البنية الكواركية للبروتونات والنترونات

1991

De Gennes  
تعميم رتبة النظم الصغيرة للبلورات السائلة والبوليميرات

1992

Charpak  
تطوير الحجرة التناسبية متعددة الأسلاك

1993

Hulse & Taylor  
لاكتشاف نياض جديد

1994

Brockhouse, Shull  
تطوير المطيافية النيوترونية والانعراج النيوتروني

1995

Perl, Reines  
لاكتشاف الليبون تاو وتسجيل النيوترون

1996

Lee, Osheroff & Richardson  
أطوار السائل الفائق

1997

Chu, Tannoudji & Phillips  
التبريد الليزري للذرات



1998  
Laughlin, Tsui & Stromer  
تجزئ الشحنة  
الإلكترونية

1999  
Hooft & Veltman  
استنظام النظرية  
الكهرضعيفة

2000  
Alferov & Kroemer,  
Killby  
تطوير أنصاف  
نواقل للإلكترونيات  
الضوئية واكتشاف  
الدارات المتكاملة

2001  
Cornell, Ketterle,  
Wieman  
تكتشف بوز أينشتاين

2002  
Davis & Koshiba,  
Giacconi  
تسجيل نترينو الأشعة  
الكونية

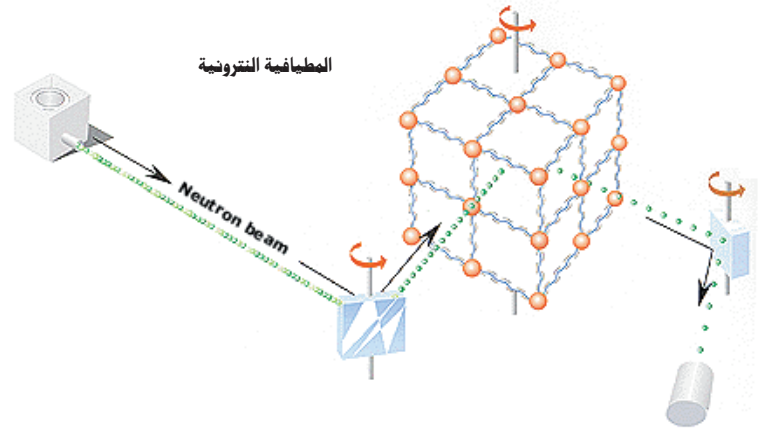
2003  
Abrikosov, Ginzburg,  
Leggett  
نظرية الناقلية الفائقة  
والسائل الفائق

2004  
Gross, Plitzer, Wilczek  
نظرية التفاعلات القوية

2005  
Glauber, Hall &  
Hansch  
النظرية الكمومية  
للترايط الضوئي والمطيافية  
الليزرية



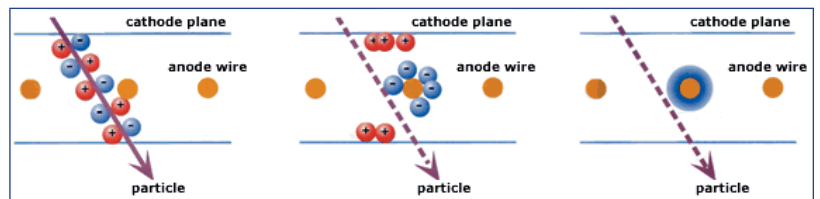
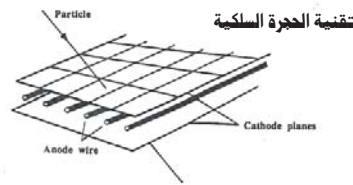
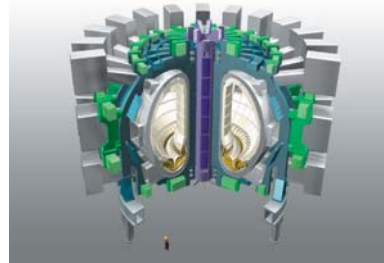
المجهر الإلكتروني



هذا ويعتقد بأن أبحاث الاندماج النووي وتطبيقه في مجال توليد الطاقة الكهربائية سيشكل أحد أهم محاور الفيزياء التطبيقية في القرن الحادي والعشرين مع البدء بتشييد أحدث المفاعلات الاندماجية ITER في فرنسا حيث يعول العلماء على التحول من الطاقة الانشطارية إلى الطاقة الاندماجية.

كشفت الجسيمات النووية. وبدأ "بافل تشيرينكوف" في العام 1958 بطرح نظرية إصدار الضوء على طول مسار الجسيمات المشحونة عندما تتجاوز سرعتها في الأوساط سرعة الضوء. وكان لرصد مسارات الجسيمات المتفاعلة فيما بينها أهمية في فهم دقيق للحوادث المرافقة للتفاعلات.

مفاعلات اندماج نووي



استخدمت المستحلبات التصويرية في طلائع التجارب من أجل جسيمات ذات طاقة منخفضة. وكان "تشارلز ويلسون" أول من ابتكر فكرة لرصد مسارات الجسيمات عرفت بحجرة ويلسون أو الحجرة السلكية. ثم جاء اختراع الحجرة الفقاعية من قبل "دونالد غلازر" للاستخدام في حالة الجسيمات ذات الطاقة العالية وتجارب المسرعات. واستخدمت الحجلات الفقاعية الحاوية على الهيدروجين السائل في معظم تجارب فيزياء الطاقات العالية حتى منتصف الثمانينيات عندما استبدلت بمنظومات كشف إلكترونية ساهم في بنائها "جورج شاربك" من خلال دراسة آليات التأين في الغازات.

# الفيزياء في الجامعة السورية وروادها الأوائل الراحلون

أ. د. عبد الله واثق شهيد  
أ. د. مكّي الحسني الجزائري

## المرحلة الأولى (1919-1946)

بدأ تدريس الفيزياء في التعليم العالي في المعهد الطبي العربي منذ تأسيسه في عام 1919. وقام بتدريسها فيه الدكتور جميل الخاني أستاذ الأمراض الجلدية في المعهد. كان ينشر ما يضعه من مصطلحات الفيزياء (علم الطبيعة)، أو يرى تغييره منها، في مجلة المعهد، ومجلة مجمع اللغة العربية (المجمع العلمي العربي سابقاً)، ليتلقى آراء زملائه والمعنيين بالفيزياء والعلوم الأساسية بما وضع. أُلّف لطلاب الطب (والصيدلة ضمناً) كتاباً سماه "القطوف النيرة في علم الطبيعة"، نشره في عام 1930، وضمّ فيه إلى الفيزياء ما يحتاج إليه تعليمها من الرياضيات. يقع الكتاب في أكثر من 1150 صفحة، ألحق به فهرس بالمصطلحات المستخدمة فيه بلغت زهاء 1500 مصطلح.

فالدكتور جميل الخاني كان أول من درس الفيزياء للطلاب الجامعيين باللغة العربية في سوريا. وانتخب في عام 1942 عضواً في مجمع اللغة العربية. إلا أن الأستاذ عز الدين التنوخي، عضو مجمع اللغة العربية منذ تأسيسه في عام 1919، درس الفيزياء في التعليم العالي (دار المعلمين العليا) ببغداد. فهو من أولئك الرواد السوريين الراحلين، وهو - على ما يبدو - أول من أدخل مصطلح "الفيزياء" في كتابه "مبادئ الفيزياء" المنشور في بغداد في عام 1927، بينما اختار الدكتور الخاني لهذا المصطلح "علم الطبيعة".

ليس فيما وصلنا عن تعليم الفيزياء، في المستوى الجامعي في تلك الأيام، ما يدل على ما عاناه المؤلفون أو المدرسون في غير التعريب ووضع المصطلحات، ذلك لأنهما كانا همهم الأكبر، أما أساليب نقل المعرفة إلى طلابهم فقد غيّبها ذلك الهمُّ ونجاة الطلاب، كما تشهد بذلك دراساتهم المنشورة في مجلة المعهد الطبي العربي.

بدأ التعليم العالي في سوريا معرباً مع قيام الدولة العربية في بلاد الشام، في أوائل القرن الماضي، ورافق تدريس الفيزياء في نشأته وتطوره. وقد يكون عرض تطور تعليم الفيزياء في الجامعة السورية في مراحل متميزة مفيداً. وهذه المراحل هي:

**المرحلة الأولى:** تعليم الفيزياء في المعهد الطبي العربي، وتمتد من تاريخ إحداث المعهد في عام 1919، إلى إحداث كلية العلوم في عام 1946، التي تولت منذ ذلك التاريخ تدريس الفيزياء في جميع فروع الجامعة السورية، بما في ذلك المعهد الطبي العربي.

**المرحلة الثانية:** وهي مرحلة تأسيس كلية العلوم بأقسامها الخمسة: الرياضيات والفيزياء والكيمياء وعلم الحيوان وعلم النبات (تأخر إحداث قسم الجيولوجيا عنها قليلاً من تاريخ إحداث كلية العلوم، وحتى تاريخ تخريج أول فوج من طلابها في عام 1950). في هذه المرحلة يكون المؤسسون قد أنهوا تجربتهم الأولى في تعليم مواد الدرجة الجامعية الأولى (الإجازة) في جميع الفروع. ويُستحسن تقسيم هذه المرحلة إلى فترتين:

**فترة تأسيس:** تبدأ مع افتتاح الكلية عام 1946، وتنتهي بانتهاء السنة الثانية 1947-1948.

**فترة الإجازة:** تبدأ مع السنة الثالثة للكلية، وتنتهي بتخريج الفوج الأول في عام 1950.

**المرحلة الثالثة:** تبدأ في العام الدراسي 1950-1951، وتنتهي في عام 1959 مع تطبيق نظام التعليم العالي الجامعي في مصر في عهد الجمهورية العربية المتحدة، وحلول جامعة دمشق محل الجامعة السورية.

**المرحلة الرابعة:** بعد العام 1959، وسوف نقتصر في عرض تعليم الفيزياء في التعليم العالي على ما أنجزه الراحلون.

## المرحلة الثانية : فترة التأسيس (1946-1948)

جاء توسيع الجامعة السورية في طليعة إنجازات الحكومة الوطنية بعد الاستقلال، فافتتح في 17 تشرين الثاني من عام 1946 بدمشق المعهد العالي للمعلمين وكلية العلوم والآداب. وعملت الكليات بإشراف المعهد في إعداد وتكوين مدرسين للتعليم الثانوي كانت قد اشتدت الحاجة إليهم. واتخذ المعهد مقراً له مبنى معهد الحقوق الذي أصبح اليوم مقراً لوزارة السياحة.

كان على أربعة من خريجي الجامعات والمدارس الفرنسية الانتقال من التعليم الثانوي ليؤسسوا كلية العلوم، وهم الأساتذة توفيق المنجد وأنطون جناوي في الفيزياء، ونادر النابلسي في الرياضيات، وعبد الحليم سويدان في العلوم الطبيعية، يرفدهم الدكتور مجدي الشوا خريج الجامعات الألمانية في الكيمياء.

كان على هؤلاء الخمسة النهوض بمهام التعليم الجامعي في كلية العلوم الحديثة، بعد أن مضى على تخرجهم من الجامعات أكثر من عقد من الزمن. وكان عليهم استعادة ما تعلموه وإعداد دروسهم باللغة العربية، وعونهم الوحيد من المراجع، في هذه المرحلة، الكتب التي كانت مراجعهم في الجامعات التي درسوا فيها. حال الأساتذة في هذه التجربة الصعبة كحال طلابهم: كلهم يتعلمون، وعليهم جميعاً أن ينجحوا، الطلاب في التعلم والأساتذة في التعليم. هذه الظروف (أو هذا الجو) فريدة في تاريخ التعليم الجامعي في سوريا، ومنه تعليم الفيزياء، وستبقى فريدة. لقد هيأت لفرض التواضع العلمي على الأستاذ، أو لنشأته وظهوره في أبهى صورته، فالأستاذ وطلابه يتعاونون لفهم أفضل لما يُلقى عليهم مما أعد من مادة الدرس، وما يثير في نفوسهم من تساؤلات يتوجه بها إليهم عامة، وإلى النابهين منهم خاصة. فهَيئت أيضاً البيئة المواتية لتكوين شخصية الطالب العلمية: العمل الجاد الذي يؤهله للمشاركة والإبداع، والثقة بالنفس التي عززها توجه أستاذه إليه، والتواضع العلمي الذي نماه فيه تواضع أستاذه فرفعه خلقاً إلى مصافه في الريادة. لقد كانوا جميعاً أساتذة وطلاباً رؤاد فجر جديد، ومنهج تربوي مبدع خلاق.

**1- كان الأستاذ توفيق المنجد عميد كلية العلوم ومؤسسها ورئيس قسم الفيزياء، يُلقى دروسه في إحدى قاعات المعهد. وتأخر تدريس الجزء العملي من الفيزياء عدة أشهر، تم في أثنائها إعداد الجناح الجنوبي الغربي من الطابق الثاني في الكتلة الحميدية ليكون مقراً لإدارة كلية العلوم، ولخبر الدروس العملية في الفيزياء، ولتدريس الرياضيات والفيزياء. كان ذلك الجناح هو أول ما استُصلح من الكتلة الحميدية واستخدمته الجامعة السورية.**

درّس الأستاذ توفيق المنجد في كلية العلوم الحرارة والضوء والميكانيك الفيزيائي، في السنة الأولى 1946-1947، وأضاف إليها في السنوات التالية تدريس مادة (مقرر) الضوء في الصفوف المتقدمة.

وأعدّ تجارب الفيزياء العملية للسنة الأولى أو الصف الأول(1)، وأصول تجارب الضوء في السنوات الأخرى. كان الأستاذ المنجد يُعدّ دروسه ويقدمها للطلاب مكتوبة بعد إلقاء الدرس، فيملئها عليهم أحدهم، إذ لم تكن وسائل الطباعة على (الحرير) متاحة في السنوات الأولى من حياة الكلية. وضع مصطلحات مادتي (مقرري) الحرارة والميكانيك الفيزيائي في السنة الأولى، وقد لا يكون الجديد فيها كبيراً إذا ما قورنت بمصطلحات الفيزياء العملية والضوء، التي لم يستفد في وضعها من مصطلحات الفيزياء في التعليم الثانوي. كما رعى تنمية حب المطالعة والبحث لدى الطلاب، وتابعتها بعناية من خلال الوظائف التي كان يكلف طلابه تأديتها بالاستعانة بالمراجع الأجنبية (الفرنسية)، في مكتبة الجامعة (في التكية السليمانية). وكانت الوظائف مسائل لا يمكن معالجتها وحلها دون الرجوع إلى تلك المراجع والغوص فيها. وكانت لذلك هي الوسيلة المثلى لفهم الدرس، والتقدم خطوات في كشف غوامضه. كانت الوظيفة شهرية تستنزف في كل شهر طاقات الطالب بحثاً وتقليباً، واستعان عليها الطلاب تدريجياً، بالتجمع في حلقات. تضم الواحدة منها طالبين أو ثلاثة، وضمت بعضها أربعة طلاب. كان الأستاذ المنجد يجمع الوظائف ويقرأها جيداً ويحدد يوماً لمناقشة ما توصلوا إليه من حلول. كان متواضعاً في النقاش يستمع جيداً ويثني على ما يراه نيراً من الأفكار ويشجع. والأستاذ توفيق المنجد درّس في فرنسا، وأجرى بحوثاً، ونشر في مجلة أكاديمية العلوم، وقد يكون الوحيد في مزاوله البحث العلمي بين أبناء جيله من الموفدين.

**2- الأستاذ أنطون جناوي: درّس في السنة الأولى 1946-1947 الرياضيات للفيزيائيين، ثم انتقل في السنة الثانية إلى تدريس الكهرباء. وكان يكلف كل مجموعة من الطلاب ترجمة فصول من الكتاب الذي اعتمده للتدريس من بين المراجع التي تتلمذ عليها، ويراجع الترجمة بنفسه، ثم يجيز تناقلها بين الطلاب. أوفد بعدئذٍ لتحضير الدكتوراه، وعاد بعد حصوله على الدكتوراه إلى تدريس الكهرباء أيضاً. ويعدّ هو والأستاذ توفيق المنجد والمهندس وجيه السمان من أساتذة التعليم الثانوي الذين درسوا في فرنسا، وعادوا إلى الوطن قبل الحرب العالمية الثانية، ودرّسوا في الثانويات السورية، وقد أُلّف مع الأستاذ المنجد وهاشم الفصيح سلسلة كتب للفيزياء والكيمياء لاقت رواجاً وشهرة في المدارس الثانوية، وأكسبتهم خبرة ومراناً في التعليم باللغة العربية. لم يستقر الأستاذ الجناوي في القسم طويلاً، إذ أوفد مرة ثانية إلى فرنسا، فاستقر فيها ولم يعد.**

## المرحلة الثانية : فترة الإجازة (1948-1950)

**3- الأستاذ الدكتور إسحق الحسيني: درس في ألمانيا وتعاقد مع كلية العلوم للتدريس فيها، وقد خصّ بتدريس الحرارة والترموديناميك.**

(1) . أتبع التعليم في الكلية نظام الصفوف الذي وضعه ساطع الحصري، ثم تحول فيما بعد بشبه حركة انقلابية إلى نظام الشهادات الفرنسي.

## المرحلة الثالثة (1950-1959)

**6- الأستاذ وجيه السَّمان:** نرَّس في فرنسا في المدرسة المركزية للفنون والصناعات، وتخرَّج فيها مهندساً في الكهرباء والميكانيك في عام 1937. وأصبح أستاذاً للرياضيات والفيزياء في ثانوية حلب، ثم في ثانوية دمشق حتى عام 1946. وأسست عندئذ كلية الهندسة في حلب، فصار أستاذاً فيها ثم عميداً. وفي آذار 1951، سُمِّي مديراً عاماً في مؤسسة كهرباء دمشق.

وفي عام 1958 أصبح وزير الصناعة في الإقليم الشمالي من الجمهورية العربية المتحدة، فأسس هذه الوزارة الجديدة. ثم أصبح أستاذاً في كلية الهندسة بجامعة دمشق بين عامي 1961 و1969. وكان عضواً في المجلس الأعلى للعلوم منذ عام 1959، ومقرر لجنة النشر العلمي فيه، ثم أصبح رئيساً لـ لجنة المُقررين في المجلس بين عامي 1961 و1964. وانتُخب رئيساً لجمعية الفيزيائيين السوريين (1955-1974) والاتحاد العلمي السوري (1956-1976) وانتُخب عضواً في مجمع اللغة العربية بدمشق في عام 1967. وأدار المكتب الهندسي الاستشاري بدمشق في عامي 1965 و1966.

ألَّف كتابي الفيزياء للسنتين الأخيرتين من الدراسة الثانوية. وطُبِع الثاني منهما طبعات عدة. وبقي يدرِّس في المدارس الثانوية منذ تأليفه في عام 1946 حتى تغيير منهاج الدراسة عام 1958.

ترجم مع أساتذة آخرين موسوعة في الفيزياء صدَّرت بالفرنسية في ثمانية أجزاء. ونشَر الترجمة المجلس الأعلى للعلوم بين عامي 1964 و1973. ونشرت وزارة التعليم العالي الجزء الأخير في عام 1982. ترجم مع أستاذه آخرين كتاب الفيزياء الحديثة للجامعات في الإنكليزية، وطبعت جامعة دمشق هذه الترجمة عدة مرات. ترجم كتاب إلكترونيات الدقة من الإنكليزية، وطبع في جزأين في عامي 1983 و1984. وترجم لوزارة الثقافة كتابين في تبسيط العلوم هما: "الصواريخ والأقمار الصناعية"، وقصة "الذرة". كما ترجم لها سبعة كتب صغيرة في الميدان نفسه.

أدار مجلة "رسالة العلوم" التي أصدرها الاتحاد العلمي السوري (1957 - 1964)، ونشر فيها مقالات كثيرة. ونشر مقالات أخرى في "مجلة العلوم" (بيروت) وفي "مجلة المعرفة" (دمشق). وحوت مجلة "مجمع اللغة العربية" بدمشق مقالات كتبها في المصطلحات.

ألقي عدداً كبيراً من المحاضرات في موضوعات علمية مختلفة، وأحدث في إذاعة الكويت.

اشترك في ترجمة المعجم العلمي الكبير الذي أصدرته دار نشر ماكروهيل الأمريكية وكان رئيس الأساتذة الذين قاموا على تصحيح المعجم الهندسي الذي أعدّه اتحاد المهندسين العرب.

كان عضواً في الوفدين السوريين اللذين حضرا مؤتمر الأمم المتحدة في ميدان استعمال الطاقة الذرية في أغراض سلمية وقد عُقد في جنيف عام 1955 وفي فيينا 1965.

كان يمتاز بسلاسة أسلوبه ووضوح أفكاره في كتابة محاضراته. وضع الكثير من مصطلحات الترموديناميك، وكان ميلاً فيها إلى النحت فوضع المتسدرجة والمتسضغطة...، ثم طوّر كثيراً مصطلحاته، فعاد عن بعضها كعودته من المتسضغط إلى المتساوي الضغط، وعرب بعضها كالأنثروبية عوضاً عن الاستحالة... كان واسع الثقافة متواضعاً، يشجع طلابه على النقاش والنقد حتى في الامتحانات. لم يُقدّم أحد من الأساتذة على تدريس الترموديناميك أثناء وجوده في القسم، وهو يُعدّ من المؤسسين ذوي الفضل. عاصر وهو طالب في ألمانيا نشأة الفيزياء الحديثة وميكانيك الكم، ونقل بعض الأفكار إلى المعيدين، وكان أول من تحدث في الكلية عن التابع (الدالة) الموجي، والتابع الخاص وقيمه الخاصة، وعن فلسفة الفيزياء الحديثة وتطورها في أوائل القرن العشرين.

**4- الأستاذ مأمون الكناني:** درس الفيزياء في جامعة السوربون في فرنسا وحالت ظروف الحرب دون عودته مباشرة إلى الوطن. درّس الكهرباء عامة في كلية العلوم، ثم اختص بتدريس الكهربائية الساكنة، أو التيار المستمر والمغناطيسية في شهادة الفيزياء العامة، وحاول القيام بترجمة سلسلة كتب "بروها" وبدأ بترجمة كتابه في الكهرباء بجزأيه الكهرباء الساكنة والمغناطيسية. كان شديد الولع بما يدرّس وشديد الإعجاب ببروها. تمتع في ترجماته بالدقة العلمية ورصانة الأسلوب، فشارك في وضع معجم مصطلحات الكهرباء والإلكترونيات في مجلدين لوزارة الدفاع، في لجنة ضمت من الأساتذة الجامعيين الدكتور عبد الرزاق قدورة والأستاذ سعيد الأفغاني. بقي رئيساً لقسم الفيزياء أكثر من عقد من الزمن. ألّف أمالي مسهبة في تجارب الفيزياء وفي حل المسائل. أحب الأستاذ الكناني التعليم، وأحب طلابه وكانوا يرون فيه رمزاً لتدريس الفيزياء في الكلية، وبقي في ذاكرة الطلاب بعد تركه الكلية عقداً من الزمن على الأقل. رشح نفسه لعضوية البرلمان في إحدى الدورات الانتخابية.

**5- الأستاذ فتحي قدورة:** درس في إنكلترا وحصل على درجة الماجستير. تعاقبت معه الكلية على التدريس في قسم الفيزياء، فدرّس الميكانيك الفيزيائي، وطور تعليم الفيزياء العملية، فوضع مجموعة كبيرة من التجارب، وأسس مكتبة القسم، وتبنى التعاون مع الطلاب في شراء ما يتلف من الأدوات والتجهيزات الرخيصة. حَبَّب الطلاب بالفيزياء العملية التجريبية، وقربها إليهم، وكسر حاجز الخوف من عواقبها، وأزره في ذلك الأستاذ طاهر تريبدار. شجع زملاءه وطلابه على استخدام المراجع الإنكليزية وتحسين معارفهم اللغوية، ويسر شراء المراجع العلمية والتدريسية لزملائه من إنكلترا. تمتع بحب زملائه وطلابه واحترامهم، وساعده ذلك على نشر أسلوبه في التعليم القائم على التعاون مع طلابه وزملائه.

كان الأستاذ فتحي قدورة رياضياً وشجع زملاءه على ممارسة الرياضة (كرة المضرب). ترك التعليم بعد مغادرته سوريا، والتحق بإدارة البنك العربي في الأردن.



### المرحلة الرابعة ( بعد العام 1959 )

**8- الأستاذ الدكتور طاهر تريبدار:** ولد في حمص عام 1922 وحصل على البكالوريوس في العلوم من جامعة فؤاد الأول في القاهرة عام 1947.

انتقل من التعليم الثانوي إلى كلية العلوم للتدريس في قسم الفيزياء، في عام 1949 فقام بتدريس الفيزياء في بعض فروع السنة الأولى، وبتدريس المقرر العملي في الفيزياء، وطور تجارب السنتين الأولى والثانية، وتعاون مع الأستاذ فتحي قدورة في تطوير تدريس الفيزياء التجريبية والفيزياء عامة وفق الأسلوب أو المنهج التعليمي الأنكلوسكسوني، وكان قد أدخل هذه المدرسة الأستاذ جميل العلي في الرياضيات، ففتحي قدورة في الفيزياء. وأُفد طاهر التريبدار إلى إنكلترا لتحضير الدكتوراه في الضوء عام 1958، وبعد عودته إلى القسم في عام 1961 اختص بتدريس الضوء الهندسي والطبيعي، وتابع تطوير الجزء العملي في الفيزياء. والدكتور تريبدار من أكثر زملائه تاليفاً وترجمة، ألف كتباً في الضوء الهندسي وفي الاهتزازات والأمواج وترجم كتب الأحيولة الضوئية والفيزياء النظرية وغيرها. فكانت لذلك مساهمته في التعريب ووضع المصطلحات كبيرة جداً، وقد ترك أكثر من أربعة آلاف بطاقة مصطلح في الفيزياء عامة، وفي الضوء والفيزياء العملية خاصة. جذب مع الأستاذ فتحي قدورة انتباه الطلاب إلى ميزات المدرسة الأنكلوسكسونية في التعليم، وبخاصة منهم أولئك الذين لم تطب نفوسهم للمدرسة الفرنسية المفرطة، في بعض الأحيان، في التنظير وفي الاعتماد على الرياضيات. شغل منصب عميد كلية العلوم ومنصب رئيس قسم الفيزياء لمدة تقارب عشر سنوات وعمل في الموسوعة العربية زهاء ثلاثة عشر عاماً، وترك التدريس في عام 1996 وتوفي في عام 2002. كان طاهر تريبدار طيباً إلى أبعد الحدود، عفيف النفس واللسان، وكان مثلاً في التواضع ونكران الذات، كما كان قدوة في العمل الأكاديمي الجاد المخلص الدؤوب.

**9- الدكتور أدهم السَّمَان:** وُلِدَ في حماة في عام 1924 وترعرع فيها. انتسب في عام 1946 إلى جامعة بيروت الأمريكية لدراسة اللغة الإنكليزية، وانتقل في خريف عام 1946 إلى دمشق للدراسة في كلية العلوم المحدثة لدى افتتاحها. تردد في بداية دراسته الجامعية ما بين الفيزياء والطب ثم استقر على دراسة الطب تلبية لرغبة والده. وبعد حصوله على شهادة دراسة عالية في الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا، أرسله والده إلى فرنسا ليتابع فيها دراسة الطب، فعاد هناك، في جامعة ستراسبورغ، إلى الفيزياء التي استحوذت عليه. وبعد أن حصل على الإجازة في العلوم الفيزيائية، تابع دراسته في الفيزياء النووية وحصل على دكتوراه الدولة في العلوم الفيزيائية في عام 1958، وكلف للتدريس في دكتوراه الحلقة الثالثة في جامعة

كان أديباً عالماً مولعاً بالتراث العربي خبيراً به، مُطَّلِعاً على الأدب الفرنسي والإنكليزي قارئاً لهما. وكان مُحدِّثاً بارعاً، وأستاذاً مُوقَّراً.

**7- الأستاذ الدكتور عدنان المحاسب:** من طلاب الفوج الأول من كلية العلوم، تخرج في عام 1950 وعين معيداً في القسم ثم أُفد إلى فرنسا لتحضير الدكتوراه في الفيزياء، وعاد إلى القسم في عام 1958. كان من خيرة طلاب الكلية وخريجها. رافقت هوايته الفنية التشكيلية تطور معارفه العلمية، فساعدت في تحسين التعبير عن فكره العلمي في مرحلتي التعلم طالباً والتعليم أستاذاً، وشارك في معارض للتصوير الزيتي. وهو أول من ألف في ميكانيك الكم في سوريا، ونشرت جامعة دمشق كتابه "الميكانيك الكوانتي" في عام 1966. شارك في تطوير الفيزياء التجريبية (عملي الفيزياء) في جميع مستوياتها وخاصة الفيزياء الذرية، كما شارك في تأليف بعض كتب الفيزياء. ودرّس الفيزياء في كليات العلوم والهندسة.

ولئن كانت اللغة العربية هي لغة التدريس فإن بعض المواد (المقررات) كانت تدرّس باللغة الفرنسية، فقد كان يشارك عدد من الأطباء الفرنسيين زملاءهم السوريين التدريس في المعهد الطبي العربي، وكانت المواد التي يدرسونها تتغير بتغير الأطباء الفرنسيين واختصاصاتهم. كما كان السوريون من أعضاء هيئة التدريس يشاركون زملاءهم الفرنسيين في نشر البحوث باللغة الفرنسية، في الدوريات الفرنسية المحكمة. وكان الطلاب يشاركون أساتذتهم في بحوثهم التي ينشرونها في مجلة المعهد الطبي، ويضعون المصطلحات، ويفذون ما يضعه غيرهم من الأساتذة والمختصين على صفحات مجلة المعهد. وهذا كله يعني أن طلاب المعهد الطبي العربي كانوا يتقنون اللغتين العربية والفرنسية.

أما في كلية العلوم المحدثة، فكانت تلقى على الطلاب مادة باللغة الفرنسية في كل فرع من فروع الكلية: في الرياضيات والفيزياء والكيمياء وعلم الحيوان، وعلم النبات، والجيولوجيا. وكانت غالباً مادة الصوت هي المادة التي تلقى باللغة الفرنسية، في شهادة الفيزياء العامة (في نظام الشهادات)(2)، وكان يلقيها أحد الأساتذة الفرنسيين في الجامعة اليسوعية ببيروت. ويفترض أن يكون مستوى الطلاب في اللغة الفرنسية يؤهلهم لفهم دروس المادة وتقديم امتحاناتها. هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن قيام الطلاب بترجمة ما كان يكلفهم بعض أساتذتهم ترجمته، من كتب جامعية في الفيزياء من اللغة الفرنسية، يدل على أن نسبة هامة منهم، وهم الذين شاركوا في الترجمة، تتقن الفرنسية أو تكاد. وكذلك الأمر في عودتهم إلى المراجع الفرنسية في المكتبة لإعداد الوظائف ولكتابة أطروحة أو رسالة في نهاية الدراسة، يكون قبولها من الأستاذ المشرف شرطاً لتخرج الطالب.

(2) . حل محل نظام ساطع الحصري في عام 1947-1948، وكان على الطالب بعد إجاز امتحانات السنة الأولى بنجاح أن يعد في كل سنة من السنوات الثلاث المتبقية شهادة دراسة عالية في الفيزياء. وأخرى في الكيمياء وثالثة في الميكانيك العقلي.

الولايات المتحدة الأمريكية، فبقي فيها حتى آخر عام 1964؛ وهناك حصل على درجة دكتوراه في هندسة المفاعلات النووية من جامعة فلوريدا. وبعد عودته إلى سوريا عُيِّن مُدرِّساً في قسم الفيزياء من كلية العلوم بجامعة دمشق في عام 1965. فدرَّس عدة مواد: الميكانيك والاهتزازات، والضوء والحرارة. وفي عام 1970 رُقِّي إلى رتبة "أستاذ مساعد". ثم أُعير إلى جامعة الجزائر مدة أربع سنوات عام 1975. وفي عام 1976 رُقِّي إلى رتبة "أستاذ".

وفي سنة 1979 بدأ يشارك في نشاط "هيئة الطاقة الذرية السورية" التي أُحدثت في عام 1978. فمُسِّمٍ عضواً في "اللجنة العلمية الاستشارية"، ورئيساً لـ "دائرة المفاعلات"، وذلك إضافةً إلى عمله الجامعي. وشارك أثناء عمله في الجامعة وفي هيئة الطاقة الذرية في عدة مؤتمرات علمية عُقدت في سوريا وخارجها؛ فقد شارك في مؤتمر تطور التعليم العالي الذي عقد في دمشق.

وشارك في مؤتمر الطاقة النووية الأول الذي أقامته في دمشق وزارة الكهرباء.

وقام سنة 1982 بجولة دراسية (نظمتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية) تتعلق باستعمال مفاعلات الأبحاث، وذلك في النمسا وهنغاريا وتشيكوسلوفاكيا وألمانيا الديمقراطية والاتحاد السوفيتي.

وحضر في البرتغال سنة 1983 دورة تدريبية على استعمال مفاعلات الأبحاث. كما حضر سنة 1984 دورة مماثلة في الهند. وفي سنة 1981 شارك مع زميليه في هيئة الطاقة الذرية (الدكتور إبراهيم عثمان والدكتور مكي الحسني) في وضع مشروع قانون الوقاية من الإشعاع، الذي يجب أن تخضع لأحكامه جميع المنشآت السورية التي لها صلة بالإشعاع الذري أو النووي.

- أَلَّف كتاباً في الميكانيك نشره ديوان المطبوعات الجزائري عام 1978.
- وأَلَّف كتاباً في الميكانيك الفيزيائي نشرته جامعة دمشق سنة 1981.
- وكان قُبيل وفاته في عام 1995 يُعدُّ كتاباً في فيزياء الطاقة، ولكن أتاه اليقين قبل إكماله.

- كان من أوائل الزملاء في قسم الفيزياء الذين أشرفوا على طلاب الماجستير.

- ترجم مع زميلين آخرين كتاب "الفيزياء النظرية" في جزأين، وهو من تأليف كومبانييتس.

- ترجم عدداً من المقالات نُشرت في "مجلة العلوم" التي تُصدرها "مؤسسة الكويت للتقدم العلمي".

- وكان يلقي - حيناً بعد حين - محاضرات علمية عامة، في النادي العربي أو المركز الثقافي العربي.

- كان يحب اللغة العربية ويجيدها؛ وهذا أمر يستحق الذكر في أيامنا هذه... ومما يُذكر أيضاً أنه كان يجيد الإنكليزية كتابةً وتحدّثاً.

ستراسبورغ في العام 1958-1959. عمَل بعدئذٍ باحثاً زائراً طوال عام 1960 في المركز الأوروبي للفيزياء النووية في جنيف، ثم عاد إلى الوطن في عام 1961 وعُيِّن مدرّساً في كلية العلوم بجامعة دمشق وارتقى فيها إلى وظيفة أستاذ، وثابر على العطاء الذي لم يتوقف عن تطويره وتحسينه في التعليم والبحث والتأليف والتعريب إلى أن توفاه الله في دمشق، إثر مرض عضال، في الثاني من شهر آذار من عام 1997. نشر بحثاً عدداً في الفيزياء النووية في أثناء تحضيره للدكتوراه، وفي المركز الأوروبي للفيزياء النووية في جنيف بسويسرا، وفي المركز الوطني للبحوث العلمية في فرنسا الذي كان يعمل فيه بصفته أستاذاً أبحاث في العام الجامعي 1966-1967.

أَلَّف كتاباً في الضوء الهندسي، وآخر في الكهروستاتيكية للإجازة في العلوم الفيزيائية، نشرتهما جامعة دمشق. ونشر في مجلة "عالم الذرة" عدة مقالات من تأليفه.

نال في وطنه جائزة الدولة للعلوم في عام 1965، وتولى وكالة الشؤون العلمية في كلية العلوم، ورئاسة تحرير مجلة "عالم الذرة" التي تصدرها هيئة الطاقة الذرية السورية، مدة عامين. وظل مستشاراً علمياً للهيئة منذ عام 1979 حتى وفاته.

اجتمع فيه شغفه بالفيزياء ولوعه باللغة العربية، وسعة اطلاعه على آدابها، وإتقانه اللغتين الفرنسية والإنكليزية فتدفق عطاؤه غزيراً في التعريب فكان رائداً فيه بحق. بدأ توجهه إلى الترجمة والتعريب في عام 1962 حينما شارك في ترجمة مؤلف فلوري وماتيو الموسع في الفيزياء العامة والتجريبية، الذي نشره المجلس الأعلى للعلوم في ثمانية أجزاء. وترجم منذ عام 1978 كتباً قيمة لأئمة الفيزياء في القرن العشرين، وشارك في نقل معجم "مصطلحات العلوم والتكنولوجيا" لماكروهيل من الإنكليزية إلى العربية، كما شارك في مسيرات نهضة التعريب في سوريا ومصر ولبنان والجزائر والكويت، وفي تعريب التعليم في الجامعات، وفي تطوير التعليم العالي، وفي نقل الثقافة العلمية. ووضع هذا كله بين أيدي جماهير غفيرة من الأمة العربية بلغة سهلة فصيحة، في الكتب التي ترجمها وفي بعض الدوريات العربية، حتى لا يكاد يخلو عدد من مجلتي "العلوم الكويتية" و "عالم الذرة" السورية مما يؤلف أو يترجم.

كان أدهم السَّمَّان عالماً، قوي الذاكرة، سريع البديهة، واسع الاطلاع والثقافة، قومي الاتجاه في حياته وفلسفته الاجتماعية، صادقا ونزيهاً، كريم الخلق، مرهف الإحساس وفيّاً للعلم والناس.

**10- الدكتور حسن كُنَيْش:** وُلد في مدينة الزبداني سنة 1933، وفيها نشأ وترعرع.

حصل على "إجازة في العلوم الرياضية والفيزيائية" من جامعة دمشق سنة 1959. وفي هذه السنة أوفد إلى موسكو للتخصص في مجال المفاعلات النووية. وبعد بضعة أشهر من إقامته هناك - أمضاها في تعلُّم مبادئ اللغة الروسية - علم أن هذا الاختصاص غير مُتاح للأجانب، فأعيد إلى الوطن. وفي عام 1960 أوفد إلى

# الفيزياء

## و

# مطاردة الذهب الأسود

تقنيات زلزالية وكهرطيسية مبتكرة تساعد شركات الطاقة في إيجاد مصادر جديدة للنفط والغاز

بقلم: ديفيد مونك



عمل باهظ التكاليف \_ تستعمل شركات الطاقة تقانات علمية في محاولة منها لتجنب حفر آبار "جافة" مكلفة.

الكلمات المفتاحية: تقنيات زلزالية، تقنيات كهرطيسية، قبة ملحية، مصادر جديدة للنفط والغاز.

مصادر جديدة للنفط والغاز. وما زال الكثير من النفط متروكاً في الأرض، مع تلبية الطلب للصناعة الذي يقدر بنحو 29 بليون برميل سنوياً. ولكن الإنتاج من الحقول الراهنة في هبوط مستمر، كما ارتفعت كمية الاحتياطيات المكتشفة حديثاً إلى الذروة في العام 2000.

ويمكن تلبية بعض الزيادة في طلب الطاقة العالمي المتوقع حدوثه خلال العقود القليلة المقبلة من خلال أشكال طاقة متجددة رابنة وجديدة، وربما، من خلال الطاقة النووية. ولكن لا يمكن تلبية كل هذه الزيادة بالتأكيد. وسيظل الكثير منها يستمد من النفط والغاز وأنماط أخرى من الوقود الأحفوري. ولتأمين هذا الإمداد، يجب على صناعة الطاقة جعل الاستكشاف الزلزالي أكثر كفاءة وتطوير مسابر استكشاف أخرى، مثل الإشارات الكهرطيسية ذات التواتر المنخفض.

تنبأ الجيولوجي لودغر مينتروب L. Mintrop في العام 1924 بأن الصخور الموجودة تحت رقعة من الأرض في أوكاراد بتكساس لا بد أنها تحتوي ملامح جيولوجية على هيئة قبة ملحية (بمعنى كتلة من الملح غالباً ما تحبس بداخلها هيدروكربونات). وكان هذا التنبؤ مهماً لأن مينتروب توصل إليه عن طريق إرسال أمواج إلى عمق الأرض وتسجيل ارتداداتها، حيث كانت تلك المرة الأولى التي استُخدم فيها الصوت للبحث عن احتياطيات نפט أو غاز. وقد حصل على البراءة من خلال حفر لاحق، ولا يزال مبدأ تقنيته مُستخدماً من قبل شركات الطاقة في البحث عن احتياطيات جديدة من النفط والغاز دون الحاجة للقيام بحفر آبار مكلفة في الأرض.

ولكن، تحتاج شركات الطاقة إلى تطوير تقنيات سبر أفضل إذا ما أرادت استغلال كامل طاقة خزاناتها الراهنة وإيجاد



ترولة trawling لأجل النفط



الشكل 1

تقوم هذه السفينة الزلزالية الحديثة، المشغلة بواسطة استكشاف PGS بالبحث عن النفط تحت قاع المحيط باستخدام هواء مضغوط على شكل نبضات صوتية ترسل ضمن الماء ومن ثم مراقبة الأمواج المنعكسة باستعمال صفيحة من المكاشيف. ويمكن مشاهدة مصادر الهواء المضغوط عند مؤخرة السفينة تماماً في حين تشاهد سلسلة المكاشيف مذيلة خلف الأثر الذي أحدثه السفينة الجارية. ويمكن لهذه المذيلات التي تتباعد عن بعضها البعض بمسافة تصل إلى 100 متر أن تمتد إلى مسافة تقدر بنحو 6 - 9 كيلو مترات، كما يمكنها أن تتألف من نحو 1000 من المكاشيف الفردية المتجاورة. وفي السفينة يتم إجراء القياس في البحر بمعدل مرة واحدة كل 6 ثوان وبشكل منهجي لمدة بضعة شهور.

ذبذبات جيدة



الشكل 2

أربع شاحنات Vibe تخلق منبعاً زلزالياً أحادياً في عملية تفتيش عن مخزونات نفطية جديدة. تُرفع عجلات كل شاحنة عن الأرض بواسطة مضخات هيدروليكية، الأمر الذي يجعل الشاحنة تستقر على صفيحة واسعة من المعدن (تبدو واضحة للعيان بين العجلات). وبعدها يجري حريك كتلة ضخمة ضمن الشاحنة نحو الأعلى والأسفل، فتنقل الطاقة المتولدة عن ذلك إلى الصفيحة المعدنية ومن ثم عبرها إلى الأرض على شكل موجات صوتية. وبتكرار هذه السيرة في مواقع عديدة من الصحراء يستطيع الجيوفيزيائيون بناء صورة تفصيلية جيولوجية المنطقة تحت السطحية. تجري مراقبة وضع كل شاحنة حتى حدود 2 سم باللجوء إلى قياسات GPS بمعدل مرة واحدة كل ثانية.

## استقصاء الخزونات

تشكلت خزانات النفط والغاز الحالية عبر ملايين السنين، نتيجة لاستقرار المتعضيات الدقيقة على قيعان البحار الرملية ومن ثم اندماجها لاحقاً بطبقات الرمل والطيني. وقد أدت الضغوط المرتفعة ودرجات الحرارة العالية المتولدة إلى تكسير هذه المتعضيات إلى مكوناتها الهيدروكربونية التي ما لبثت أن ارتفعت نحو السطح عبر ركيزة من الصخور الرسوبية، لتتجمع في صدوع الطبقات الأرضية أو ضمن مصائد على شكل قباب ملحية.

ويتطلب كشف تلك المخزونات توليد موجة صوتية في نقاط على سطح الأرض (أو في نقاط قريبة من السطح) وتسجيل الانعكاسات المتعددة التي تحدث كلما تجاوزت الموجة حدوداً فاصلة بين أنماط مختلفة من الصخر تحت هذا السطح. وبافتراض أننا نستطيع تحديد سرعة الصوت تحت الأرض، فإن زمن وصول كل واحدة من الموجات المنعكسة يمددنا بقياس لعمق الحد المعني للصخور، كما تزودنا سعة الموجة ببعض المؤشرات التي تتعلق بتبدل نمط الصخر تحت السطحي. ومن خلال هذين النمطين كليهما من البيانات يمكننا أن نولد صورة للبنية تحت السطحية

تظهر فيها مواقع التصدعات والمصائد، وبالتالي مقدار الإمدادات الهيدروكربونية المحتملة.

وعلى الرغم من بساطة هذه التقنية الزلزالية من حيث المبدأ إلا أنها تطرح من خلال التطبيق عدداً من المشاكل الرئيسية. وتنشأ هذه المشاكل على الأقل جزئياً من السلم الشديد الانحدار لعمليات الاستكشاف ومن القياسات العالية الحساسية التي تنفذ فوق مناطق واسعة وخلال فترات طويلة من الزمن غالباً ما تتم في بيئات شديدة التحدي. ففي الاستكشافات البعيدة عن الشاطئ مثلاً: تستطيع سفينة زلزالية واحدة أن تتكفل بسحب نحو (10000) مكشاف منتشر فوق منطقة مساحتها نحو (10 كم<sup>2</sup>) (الشكل 1)، وتنتج بضعة بلايين من القياسات المتعددة في غضون شهور قليلة. إن إجراء هذه التجربة في بحر الشمال الذي يعد واحداً من أكثر البيئات البحرية المعروفة جفاءً إنما يتضمن التعامل مع ربح هوجاء بسرعة 63 - 74 كيلو متراً في الساعة ومع أمواج عاتية بلغ أشد علوها 15 متراً. وعلى الأرض قد تكون التحديات صعبة كما في الماء تماماً. وعلى سبيل المثال، فإن شركة النفط (Apache) التي أعمل لصالحها قامت مؤخراً بتقييم 1000 كم<sup>2</sup> من الصحراء المصرية مستخدمة نحو 3 ملايين مكشاف فردي وما يكفي من كبلات الربط للاتفاف حول الأرض مرتين.



الشكل 3

يستطيع الجيوفيزيائيون تحديد البئر المثالي وحساب المسار الأفضل للبئر النفطي من خلال محاولة تمثيل مفترض لحقيقة ما هو موجود تحت سطح الأرض. تُسَقَط صورة ما تحت سطح الأرض (التي جُمِعَت من معطيات زلزالية، وغيرها) على جدار ينظر إليه الباحث عبر منظار رؤية مزدوج ثلاثي الأبعاد. يُرسم مسار وضع رأس الباحث بواسطة أداة على المنظار، ويجري تعديل الوضع النسبي لكل واحد من الأشياء الموجودة في الصورة لمعادلة هذه الحركة. وبهذه الطريقة يمكن للباحث أن يتجول عبر الصورة. يُمثّل الخط الأبيض البئر النفطي الجديد المفترض والذي يستطيع الباحث تعديل مساره باستعمال تلفون مركب. أما الكرة الصفراء الواقعة في الزاوية اليمنى السفلية فتمثل الحزان المستهدف. في حين تمثل الخطوط الأرجوانية الآبار الموجودة فعلياً. وتمثل البقع الخضراء والبيضاء في أعلى الصورة الجانب السفلي لسطح الأرض (مستمداً من معلومات الساتلايت). وأخيراً، تمثل الأنساق البرتقالية والصفراء على الجدار التبدل الجيولوجي عبر المنطقة.

توفير أدوات لتعزيز اكتساب المعلومات الجيوفيزيائية ومعالجتها، ولأنّ تقنية معالجة المعلومات أصبحت حرفة غاية في التعقيد، فإن هذه المرحلة من العمل يمكن أن تستغرق بضعة شهور على الرغم من المقدرات الحاسوبية الهائلة المتوفرة.

لقد أدى تفسير جميع هذه المعطيات إلى تطوير تقنيات تصوير خاصة ثلاثية الأبعاد لصناعات النفط والغاز. وليس مستغرباً أن نسبح علماء الجيوفيزياء العاملين في شركات النفط يتحدثون عن "فيض" في محاكاة افتراضية حقيقية للجيولوجيا تحت السطحية (الشكل 3). وعلى سبيل المثال، فإن هذه المحاكيات تسمح للباحثين برسم أفضل مسار للبئر عبر الأرض، بالرغم من تعقيد هذه المهمة بسبب تعدد تضاريس الصخور وتنوعها بشكل كبير. وغالباً ما يسلك مسار البئر اتجاهها شاقولياً وكذلك أفقياً، وفي بعض الأحيان فإنه قد يعود مجدداً باتجاه السطح قبل بلوغه الهدف المنشود الذي غالباً ما يكون على بعد عدة كيلومترات من المكان الذي يلتقي فيه البئر مع السطح.

ويظل التحدي الرئيس هو الحاجة لتوليد أمواج صوتية قوية نستطيع اكتشافها عند سطح الأرض بعد انعكاسها عن تغيرات رهيقة لخصائص صخور تقع تحت سطح الأرض بمقدار 8 كم. ومع أن المتفجرات ما تزال تستعمل في بعض التجارب الشاطئية، فإن معظم الشركات تميل لاستخدام معدّات هدروليكية لهزّ الكتل الضخمة بطريقة محكمة تولّد طيفاً ضوئياً واسعاً من تواترات يمكن أن تنتشر عبر الأرض (الشكل 2). أما بعيداً عن الشاطئ فقد حلت محل الانفجارات منذ وقت بعيد مدافع هواء مضغوط صديقة للبيئة تولّد فرقعات ضغط عالٍ في الماء.

وثمة تحدّي رئيس آخر يتمثّل في ضمان مكشافات عالية الحساسية بما يكفي لتسجيل موجات الصوت المنعكسة ذات الطاقة المنخفضة جداً. وبعيداً عن الشاطئ استعملت الهدروفونات (المسماع المائي)، وهي نباتات تبنى عادة من مواد كهربية ضغطية piezoelectric تولّد تياراً كهربائياً عند تعرضها لإجهاد ميكانيكي. ويستطيع كل مسماع مائي (هدرفون) اكتشاف تغيرات ضغط مكافئة للعمق المائي المتغيّر حتى بأقل من سُمك قطعة من الورق.

أما على الشاطئ، فإن المكشاف التقليدي المفضل هو المسماع الأرضي ذو الوشيعية والذي يحوي على مغنطيس يتحرك ضمن وشيعية استجابة للاهتزازات الصوتية ويولّد تياراً في هذه الوشيعية. من جهة أخرى، بدأت الشركات في الوقت الحاضر تستعمل محساسات sensors مبنية على منظومات ميكانيكية كهربائية مكروية (MEMS) لإجراء قياسات على سطح الأرض وفي قاع المحيط على حدّ سواء. وفي قلب هذا المسماع الأرضي المبنى وفق MEMS تقبع شبيبة chip صغيرة من السليكون تتحرك بشكل يتعلق بشريحة السليكون التي طبعت منها الشبيبة. ويمتاز جهاز الإحساس هذا بصغر حجمه وخفة وزنه بالمقارنة مع المسماع الأرضي، لذا فهو يقدم فائدة كبيرة عندما تدعو الحاجة لاستعمال آلاف النبات في سياق الاستكشاف. إضافة لذلك، فإن الاستجابة التواترية لنبائط MEMS هذه تمتاز بالثبات من أجل جميع التواترات المهمة في الاستكشافات الزلزالية.

وأما التحدي المهم الآخر في استكشافات النفط والغاز فإنه يتمثّل في كمية البيانات الضخمة المتعلقة بالاستكشاف التي يجب معالجتها (التعامل معها). وفي الواقع، أصبحت صناعة الاستكشاف الزلزالي وعن جدارة واحدة من أكثر مستعملي السعة الحاسوبية في العالم، حيث يأتي ترتيبها بعد الصناعة العسكرية وصناعة تنبؤات الطقس مباشرة. ومع أن الجهة الصانعة للشبيبات الميكروية المتمثلة في شركة (Texas Instruments) كانت قد أنشئت بالأصل كفرع لشركة زلزالية تعرف باسم (International Geophysical Services) بهدف

طراً تحسين حديث آخر على التقنية الزلزالية التقليدية من خلال قياس أمواج القص shear waves أو الأمواج (S) التي تنتج عند ارتداد موجة الصوت إلى خارج السطح. وتكون هذه الأمواج مستعرضة وتنتج من اهتزازات ذرات الصخرة الواقعة في الزوايا الصحيحة بالنسبة لاتجاه انتشار الموجة. وتتولد مثل هذه الأمواج بالإضافة لما نعتبره عادة أمواجاً صوتية أي الأمواج الانضغاطية Compressional waves أو الأمواج (P) الناتجة عن اهتزاز الذرات على طول اتجاه انتشار الموجة. ويسلك كلا النمطين من الأمواج طرقاً مختلفة ضمن السائل الأمر الذي يُمكننا أحياناً من تقرير وجود النفط أو الغاز من خلال مقارنة أزمان الوصول وسعات الأمواج (P) أو (S) المنعكسة.

وتمتلك شركات الاستكشاف ومنذ زمن طويل معلومات كثيرة عن ما يحمله قياس أمواج الصوت P وS، من معانٍ. لكن تنفيذ القياس يتطلب استعمال أكثر من محساس sensor واحد على السطح. الأمر الذي جعل استعمال مثل هذه التجارب الزلزالية في الماضي أكثر كلفة. أما اليوم، فقد تمّ تقليص هذه التكاليف الزائدة بشكل يعتد به (على سطح الأرض على الأقل) من خلال استخدام تقانة MEMS في بناء المحساسات بحيث أصبحت فوائدها هذه التقنية في بعض الأحيان تتفوق على عبء النفقة الإضافية الصغيرة.

### ما بعد التقنيات الزلزالية

ومع أن المعلومات الزلزالية كانت العنصر الرئيس لاستكشافات الغاز والنفط لعدة سنوات، ثمة خواص جيولوجية أخرى نافعة مثل المسامية والنفاذية والكثافة والتي يستحيل قياسها بشكل مباشر باستخدام الصوت. ويمكن دراسة بعض من هذه الخواص من خلال قياس قابلية المقاومة resistivity، لأن طبقات الصخر المشبع بالهدروكربون غالباً ما تبدي قابلية مقاومة أكبر من المواد المجاورة لها، وينطوي هذا العمل على تدوين سجل أداء في أثناء إنزال الجيوفيزيائيين أداة إلى قاع بئر وإجراء قياسات قابلية مقاومة متواصلة مع تأكيد رفع هذه الأداة إلى خارج الحفرة. ومن خلال توفيرها مقاطع عرضية لطبقات الصخر يمكن لهذه القياسات تأكيد الموقع الدقيق لطبقات الهيدروكربون المحتملة.

إن التوصل لإنجاز هذه القياسات دون اللجوء أولاً إلى حفر بئر سوف يقلل مخاطر الحصول على آبار جافة. ويمثل تطوير مثل هذه التقانة غير المؤذية تحدياً حقيقياً. وعلى سبيل المثال، وفي إحدى هذه التقانات التي تسمى السبر الكهروطيسي بمنبع بحري فعّال يجري إنزال هوائي antenna ثنائي القطب الكهربائي وعالي الطاقة من قارب والسماح له بالهبوط إلى قرب قاع البحر. يقوم الهوائي

لقد اقتصر استعمال التقنيات الزلزالية الأساسية التقليدية على تحديد البنى تحت السطحية التي يمكن أن تحوي نفطاً (غازاً) إلا أن هذه التقنيات لا تُخبر الباحثين ما إذا كان النفط موجوداً أم لا بشكل قاطع. ويُعزى ذلك كله إلى أن الأمواج المنعكسة تحمل معلومات محدّدة. وعلى سبيل المثال، فإن سعة الأمواج لا تمدّنا مباشرة بمعلومات عن الكثافة المطلقة للصخرة التي قد انعكست عنها الأمواج بل تمدّنا فقط بمعلومات عن تغيّرات كثافة الصخرة وسرعة الموجة ضمن تخوم كل صخرة.

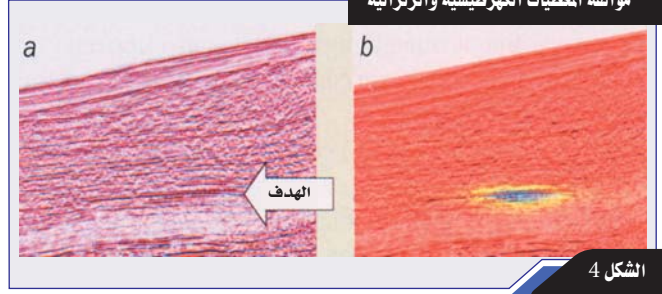
ونتيجة لذلك، كان لزاماً على الشركات أن تحفر بئراً للتأكد من وجود النفط، وغالباً ما يتبيّن جفاف هذه الآبار. ولسوء الحظ، فإن كمّيات ضخمة من المال تهدر في مثل هذه العمليات. كما تتجاوز كلفة حفر بئر ماء عميق 50 دولاراً للمتر الواحد لأن معدّات الحفر باهظة التكاليف والصيانة ولأن العمل يستغرق شهوراً أو حتى سنوات لحفر بئر واحدة. وفي المناطق التي لا توجد فيها آبار نفط، ربما تكون فرصة نجاح عملية الحفر هذه أقل من 50%. لذا، فإن أية معلومات يمكن أن تقلل خطر الإخفاق تلقى كل ترحيب.

ولكن، مع تقدم التكنولوجيا، استطاع علماء الجيوفيزياء نشر أعداد كبيرة من المكاشيف ومن ثم صنع صور واضحة جداً. ويستطيع الباحثون الآن بوساطة المنابع الزلزالية والمكاشيف التي تنتشر فوق السطح فحص نفس النقطة من الأرض باستعمال أمواج صوتية منعكسة ضمن مجال معين من الزوايا. ولقد أتاح لهم ذلك حساب موقع السطح العاكس بكثير من الدقة وبالتالي توجيه آبارهم نحو الهدف بفعالية أكبر بالإضافة إلى أشياء أخرى.

وبالإضافة لاهتمام شركات الطاقة بتحديد مواقع مخزون النفط والغاز باستعمال المعطيات الزلزالية في المقام الأول، فإنهم يستعملون الآن هذه المعطيات لمراقبة كيفية تبدل توزيع الهيدروكربونات ضمن المخزون مع مرور الزمن، الأمر الذي سمح لهم لاحقاً بتحسين إنتاج الآبار بحيث مكّنهم من استخراج آخر قطرة من النفط من مستودعه. وفي الوقت الحاضر، تُجري شركة BP تجارب زلزالية دائمة على قاع بحر الشمال حول حقل (Valhall) على أمل الحصول بنتيجتها على معلومات كل بضعة شهور. وغالباً ما يشار إلى مثل هذه التجارب المكررة باسم الزلزالية رباعية الأبعاد خلافاً للتصوير ثلاثي الأبعاد الساكن الذي يستعمل حتى الآن. وحتى زمن قريب، ظل استعمال التقانة رباعية الأبعاد (4D) مقتصرًا على شركات نفط أساسية لكنها تُستثمر الآن من قِبَل شركات مستقلة أصغر.



## مواصفة المعطيات الكهرومغناطيسية والزلزالية



الشكل 4

تظهر الصورتان معطيات جيوفيزيائية لأسفل قاع المحيط في المياه العميقة البعيدة عن الساحل الغربي لأفريقيا. إن معطيات الصورة (a) هي زلزالية بحتة. ويتولد الخط المشار إليه باللون الأحمر بوساطة طبقة مواد تعكس بقوة موجات الصوت ولكنها لا تعني بالضرورة وجود الهيدروكربونات. وبالمقابل، جُمعت الصورة (b) من مواصفة بيانات زلزالية وكهرومغناطيسية. تظهر الساحة الزرقاء أن المنطقة يمكن أن تحتوي على النفط أو الغاز.

## مقاربة جمعية

بالإضافة إلى سعيها إلى تحسين التقنيات الكهرومغناطيسية، فإن صناعة الطاقة أيضاً تسعى إلى تبسيط تحليل المعلومات التي تجمعها باستخدام هذه التقنيات. ويتم التأويل الشائع لمثل هذه المعلومات باستعمال توليفة نمذجة مباشرة forward modelling، بمعنى إقامة موديل model للأرض ثم حساب كيفية استجابته للإشارات الكهرومغناطيسية - والانقلاب الجيوفيزيائي - في محاولة لتحديد قابلية مقاومة الأرض بشكل مباشر من المعطيات التي تم جمعها. وعلى الرغم من أن هذه التقنيات يمكن أن تؤمن قياسات دقيقة لقابلية المقاومة تحت قاع البحر، فإن ضخامة القدرة الحاسوبية Computational power اللازمة لإحداث الانعكاس الجيوفيزيائي تحد من سرعة تأويل المعلومات. وتتطلع الصناعة الآن نحو تقنيات تصوير أسرع باستعمال إجراءات روتينية حاسوبية معقدة أصبحت مألوفة في مجال المعطيات الزلزالية خلال العقود الأخيرة من الزمن.

إن صناعة النفط والغاز هي صناعة غير عادية من حيث مقدرتها على تحويل معلومات علمية إلى "خط أساسي bottom line" ناجح بسرعة عظيمة. وعند اتخاذ القرار الأولي للاستكشاف في منطقة جديدة يمكن في بعض الأحيان جمع المعلومات الزلزالية، ومعالجتها وتأويل نتائجها وحفر البئر لاحقاً في غضون شهر. وتعني الفوائد التجارية لهذه المعطيات الأخيرة أن شركات الطاقة طوّرت بنفسها ومع مرور الزمن عدداً من التقانات المبنية على الفيزياء. وقد أصبح استكشاف الهيدروكربون خلال العقود الماضية الأخيرة صناعة بحد ذاتها. وبذلك نأت شركات الطاقة بنفسها شيئاً فشيئاً عن مجموعات تنميتها.

وتُنجز معظم بحوث الجيوفيزياء الأساسية والتطوير في الوقت الحاضر من قبل شركات خاصة بخدمات الاستكشاف مثل شركتي Schlumberger و Haliburton المتعددة الجنسيات، بالإضافة لعدد من الشركات الصغيرة الأخرى أو الجامعات. وغالباً ما تعمل شركات الاستكشاف مع مجموعات أكاديمية في إطار تعاون ضخم يرعاها منتجو النفط والغاز.

ويبدو أن هذا النمط من التعاون قد أصبح شائعاً أكثر بعد أن غدت التقانة أكثر أهمية لازدهار صناعات النفط والغاز. ومن دون مثل هذه التقانة فإن العالم سوف يتقدم بصعوبة نحو إشباع شهيته المتزايدة للطاقة.

نشر هذا المقال في مجلة Physics World July 2005.

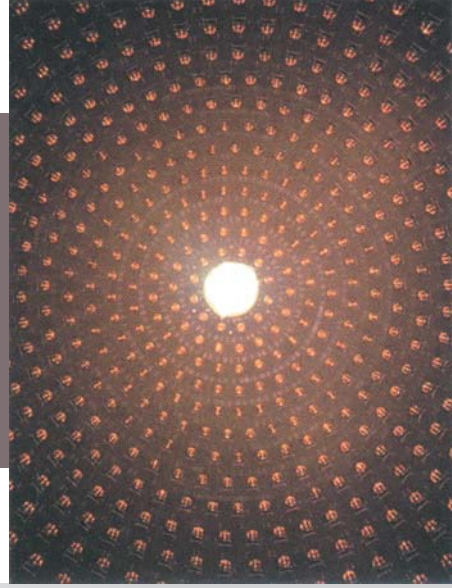
وتحت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

بإرسال إشارة كهرومغناطيسية منخفضة التواتر تتراوح قيمتها بين بضع عشرات من الهرتزات إلى بضعة هرتزات فقط إلى صفيحة مستقبلة مثبتة في قاع البحر. ومن خلال تحريك الهوائي وتسجيل الإشارة المتغيرة في كل مستقبل (متلقي) يمكن للباحثين رسم مخطط ثلاثي الأبعاد للحقل الكهربائي المحلي. وقد يشير وجود أي طبقات مقاومة تحت أرض البحر إلى طبقات هيدروكربونية محتملة يجري تحديدها من خلال التأثير الذي تمارسه في شكل الحقل (الشكل 4).

لقد استخدمت هذه التقنية لما ينوف عن 20 سنة من قبل الأكاديميين لدراسة تضاريس جيولوجية مثل دراسة سلاسل المتون ridges وسط المحيط، بيد أنها لم تُستخدم بشكل واسع في صناعة الطاقة، ويُعزى ذلك على الأقل جزئياً إلى أن هذه المقاربة مُعدّة خصيصاً للمياه العميقة. ولما كان الهواء الموجود فوق الماء يعمل أيضاً كطبقة مقاومة، فإن وجوده بلا شك سيترك أثراً في القياسات الجيولوجية لما تحت السطح وبخاصة عندما يكون سطح الماء قريباً نسبياً من قاع البحر. إلا أن البحث الجاري في كل من الجامعات والصناعة سيجعل هذه التقانة صالحة للاستعمال في المياه الضحلة. وتتضمن هذه الأبحاث محاولة قياس الإشارة التي تتدخل في القياس، بالإضافة إلى دراسة التأثيرات الناتجة عن تبديل الإشارة المرسل.

وتجري أيضاً بحوث لتوسيع هذه التقنية بحيث تصبح صالحة للاستعمال على الأرض. ونقصد بشكل خاص أعمال أنطون زولوسكي A. Ziolkowski وزملائه في جامعة أدنبرة الذين قاموا بتطوير تقنية تتضمن وضع هوائي على سطح الأرض أو بقربه ثم قاموا بقياس الإشارة في نقاط عديدة من السطح. ولكن ينطوي هذا العمل على استغراق للوقت لأن الهوائي والمكاشيف تحتاج إلى تحريك بين كل مجموعة قياسات وأخرى.

# النتريـنوهات: ظلال المادة



سوف يسعى المكشاف MiniBooNE في فرميلاب لكشف نـتريـنوهات الإلـكترون في حزمة من نـتريـنوهات الميون.

## ملخص

كان اكتشاف أن للنتريـنوهات كتلة وأن بإمكانها أن تتذبذب بين نكهات مختلفة أحد أهم الإجازات في فيزياء الجسيمات في العقد الماضي، لكن لا يزال يوجد الكثير من الأمور التي لا نفهمها حول هذه الجسيمات الغامضة.

## الكلمات المفتاحية

المادة المضادة، تذبذب النـتريـنو، النـتريـنو الشمسي، حالات النكهة.

بقلم

ديف وارنك

لقد قطعت فيزياء النـتريـنو شوطاً بعيداً خلال السنوات الثلاثين الماضية وثبت أن النـتريـنوهات ذات سحر أسر، مثلها مثل الكواركات والغلوونات وسائر الجسيمات الأولية الأخرى، بعد أن كانت مجرد فكرة اقترح فيزيائيو الجسيمات إدخالها لتفسير نقص شيء ما فضلاً عن تفسير وجود شيء ما. وبالفعل قد يكون بإمكان النـتريـنوهات أن تفسر إحدى أكبر أحاجي الفيزياء: من أين أتت المادة في الكون؟

لقد بدأ الكون، حسب نموذج الانفجار العظيم Big Bang، منذ 13.7 مليار سنة وكان مجرد منطقة صغيرة من الطاقة الخالصة التي توسعت وتبردت فأوجدت الكون الذي نراه اليوم. وتوجد بين النجاحات العديدة لهذا النموذج، على أية حال، مشكلة فاضحة واحدة على الأقل: تطغى المادة على الكون الذي لا يحتوي إلا على القليل من المادة المضادة. تسمح قوانين الفيزياء بتحول الطاقة إلى مادة ولكنها تتطلب أن تنتج كميات مساوية لها تقريباً من المادة المضادة خلال هذه العملية.

لقد أصبح الآن واضحاً أن جواب هذه الأحجية يمكن أن يأتي من جهة غير متوقعة هي: سلوك النـتريـنوهات. أما كيف وصلنا إلى هذا الاستنتاج المذهل فهي حكاية رائعة، وكما هو الحال غالباً في العلم، تبدأ القصة بمسألة مختلفة تماماً الاختلاف.

## ولادة النترينو

المتحدة يتابع فكرة استخدام النترينوهات كمسبر. فقد كان الفلكيون يعتقدون لعقود من الزمان أن مصدر الطاقة الأكثر احتمالاً في الشمس وفي النجوم الأخرى هو الاندماج النووي الحراري، لكن لم يكن يتوفر أي برهان مباشر على ذلك. واعتقد ديفيس أن بإمكانه رصد تفاعلات الاندماج مباشرة بكشف النترينوهات التي تولدها هذه التفاعلات.

تتحول في تفاعلات الاندماج الأساسية في الشمس أربعة بروتونات إلى نواة هليوم - 4 مصدره اثنتين من البوزترونات واثنتين من النترينوهات الإلكترونية خلال العملية. ولهذه النترينوهات مدى واسع من الطاقات ويفلت عدد هائل منها من الشمس دون أن يتأثر مع أي شيء مندفعاً نحو الأرض بسرعة قريبة من سرعة الضوء. لكن هذا الاحتمال الضعيف إلى أقصى حد للتأثر مع المادة هو بالضبط ما يجعل كشف النترينوهات عسيراً جداً.

عالج ديفيس هذه المسألة باستخدام تقنية مأخوذة من الكيمياء الراديوية كان قد اقترحها بونتيكورفو B. Pontecorvo من مخبر تشوك ريفر في كندا في عام 1946 حيث جمع كتلة كبيرة من نترات هدف يمكن، بين الفينة والأخرى، أن يحدث فيها تفاعل نووي يقده نترينو شمسي. وقد اختار ديفيس نظيراً للكور كهدف تمكن من الحصول عليه بسعر مقبول كان عبارة عن 600 000 لتر من سائل التنظيف. يمكن للنترينوهات من الشمس أن تتفاعل عندئذ مع الكور فتنتج نترات الأروغون المشعة التي يمكن "جمعها" وعدّها واحدة واحدة. فمن معرفة احتمال أن يقده نترينو التفاعل يمكن استنتاج تدفق النترينوهات الشمسية.

أعلنت النتائج الأولى لهذه التجربة الجريئة عام 1968 وفاجأت الجميع تقريباً. لقد كشف فريق ديفيس نحو 30% فقط من النترينوهات التي تنبأت بها النماذج الشمسية المتاحة، وبالذات تلك التي طورها باهكول J. Bahcall وزملاؤه. في البداية كان الباحثون يشكّون فيما إذا كان عدد قليل من نترات الأروغون يمكن بالفعل أن يُرى في مثل هذا الحجم من السائل، ولكن بعد اختبارات صارمة بدا أن التجربة لم تكن مخطئة. ومع ذلك لم يأت البرهان الحقيقي على أن "مشكلة النترينو الشمسي" كانت هنا لتبقى إلا بعد عشرين سنة عندما أكّدت تجربة كاميوكاند Kamiokande في اليابان نتائج ديفيس. وقد تقاسم ديفيس والناطق باسم كاميوكاند، كوشيبا، من جامعة طوكيو جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2002 لعملهما الرائد في الفيزياء الفلكية للنترينوهات.

كانت تجربة كاميوكاند تتألف من عدة آلاف الأطنان من الماء النقي في صهريج عميق تحت الأرض، كان في الأصل

يعود تاريخ النترينوهات إلى الثلاثينيات من القرن العشرين حين لاحظ الباحثون أن هناك طاقة كما لو أنها تختفي حين تتفكك نواة ذرية إلى نواة أخرى وإلكترون. وعثر باولي على "علاج يأس" لتفسير الوضع، بأن اقترح أن الطاقة الناقصة يحملها جسيم ثالث يصدر أثناء التفكك. قد لا يبدو هذا للقارئ الحديث شيئاً ثورياً بصورة خاصة، لكن في أيام باولي لم يكن يوجد سوى جسيمين معروفين - الإلكترون والبروتون - ولذلك فإن إدخال جسيم ثالث كان أمراً في منتهى التطرف.

من المفهوم أن باولي كان في البداية ممانعاً لنشر الفكرة، حتى أنه اعتذر فيما بعد لكونه تنبأ بجسيم كان يعتقد باستحالة كشفه (لو أن النظريين الحديثين كانوا فقط مهتمين مثله!). وكانت هذه الاستحالة بسبب أن "النترينوهات"، كما سماها فيرمي، لم تكن تمتلك شحنة كهربائية وأنها لا تتأثر إلا بشكل ضعيف مع المادة الأخرى. ولحسن الحظ تبين أن باولي كان على خطأ وقد عاش حتى شهد كيف مُنح راينز F. Reines وكوان C. Cowan جائزة نوبل في العام 1953 لكشفهما النترينوهات.

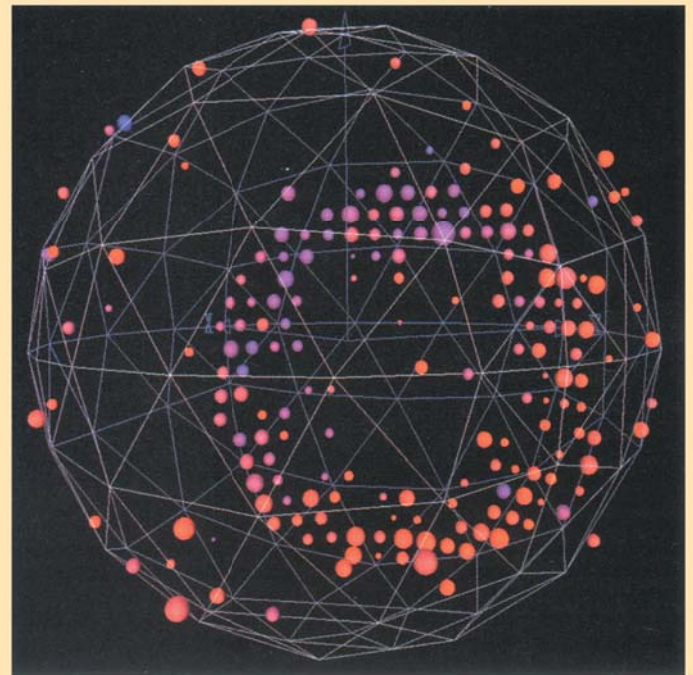
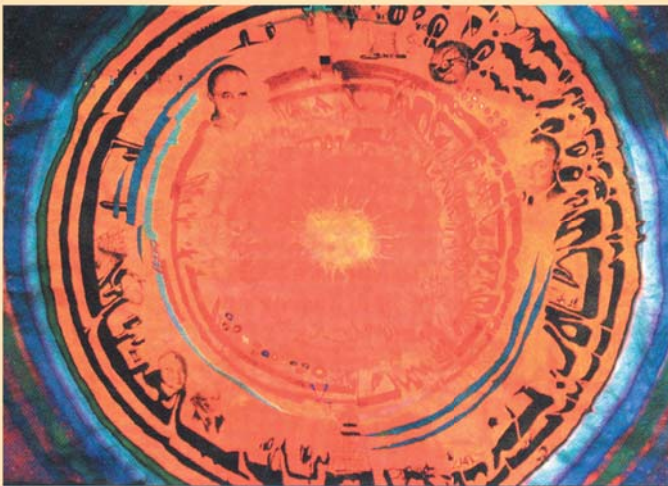
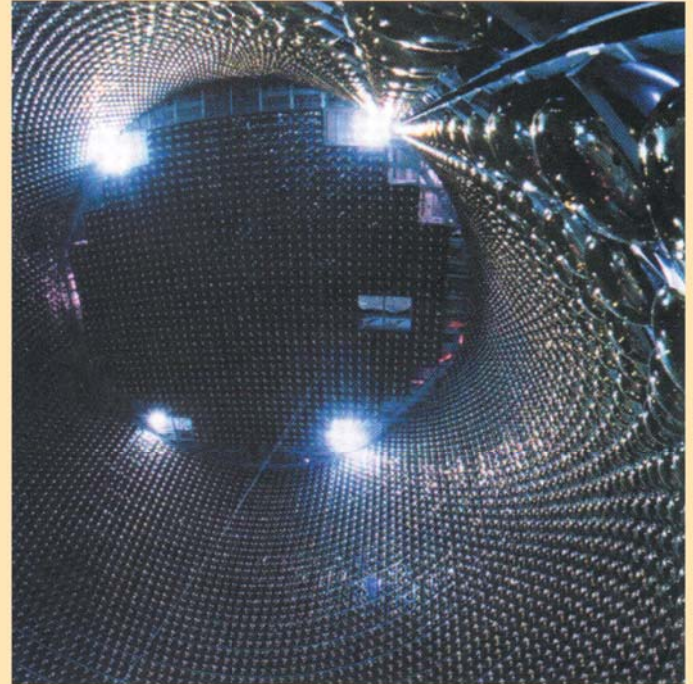
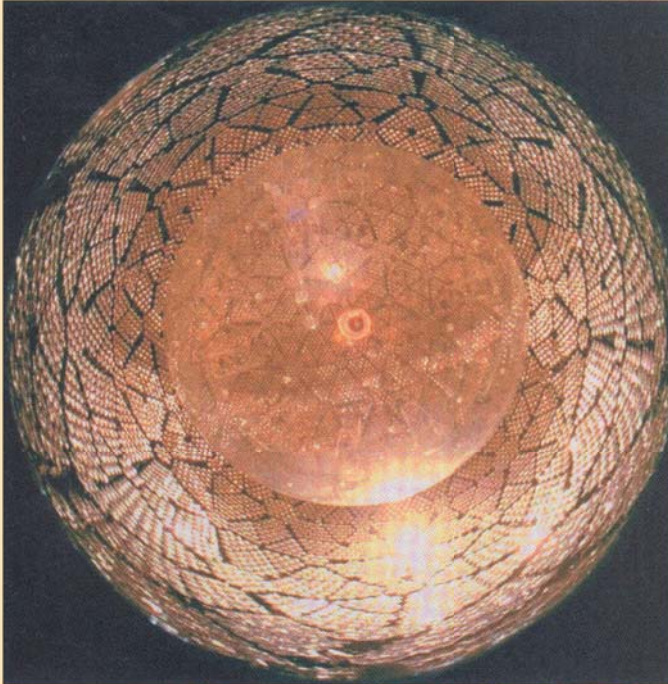
لكن هذا المجال الناشئ من فيزياء الجسيمات لم يقف، بالطبع، عند هذا الحد. لقد تابعنا فاكشفنا البوزترون (الإلكترون المضاد) والبيون والميون وجسيمات أخرى جديدة عديدة. ومع الميون أتى نترينو آخر  $\nu_e$  وجد أنه مختلف عن نترينو الإلكترون الذي اقترحه باولي ( $\nu_e$ ). وبعد ذلك، بعد اكتشاف اللبتون تاو في العام 1975، بدا ظاهراً أنه توجد "نكهة" ثالثة للنترينو: نترينو التاو،  $\nu_\tau$  الذي كُشف أخيراً في العام 2000 بواسطة التجربة DONUT في مخابر فيرميلاب في الولايات المتحدة.

وفي تلك الأثناء كان حشد الجسيمات الشديدة التأثير مثل البروتونات والبيونات قد رُتب بواسطة نموذج الكواركات. وقد أوصلنا هذا، بتضافره مع عدد من الجسيمات الأخرى التي أمكنها أن تفسر القوى بين الجسيمات الأولية، إلى صورة لفيزياء الجسيمات بسيطة، وفعالة جداً، تدعى النموذج العياري Standard Model. وقد اعتبرت النترينوهات في البداية في هذا النموذج أنها معدومة الكتلة نهائياً وأنها تتأثر فقط عبر التأثير الضعيف بتبادل الجسيمات "Z" و"W". لكن تبين أن الواقع هو أكثر تعقيداً من هذا بقليل.

## مشكلة مع الشمس

في الستينيات من القرن العشرين، وبينما كان فيزيائيو الجسيمات الآخرون يتحرون كل هذه الجسيمات المكتشفة حديثاً، كان ديفيس R. Davis في مخبر بروكهاغن الوطني في الولايات





عيون تحت الأرض - لا تتأثر النترينوهات مع المادة إلا نادراً (يسقط أكثر من 65 بليون نترينو من الشمس في كل ثانية على كل سنتيمتر مربع فيك، ولكن عدداً قليلاً منها فقط ستتأثر مع جسمك خلال حياتك كلها) لدرجة أن كشفها يتطلب تجارب ضخمة موضوعة عميقاً تحت الأرض.

تمثل الصور ابتداءً من الصورة العلوية إلى اليسار وباتجاه عقارب الساعة: أنابيب المضاعفات الفوتونية التي يبلغ عددها 10 000 أنبوب في المكشاف SNO في كندا؛ داخل المكشاف سوبركاميوكاند في اليابان؛ حلقة شيرينكوف التي يسببها تفاعل النترينو في المكشاف MiniBooNE في فرمبلاي في الولايات المتحدة؛ وأخيراً لوحة على جدران كهف MINOS.

شيرينكوف Cerenkov يمكن كشفه بواسطة أنابيب المضاعفات الضوئية المفرطة الحساسية الموضوعة حول الصهريج.

وفي العام 1989 أكد فريق كاميوكاند أن تدفق النترينوهات من الشمس كان بالفعل أقل بكثير من المتوقع. لكن فيزيائيي الجسيمات التجريبيين لم يأبهوا كثيراً للأمر، إذ كان لا يزال

مبنياً لتحري تفكك البروتونات. لكن مصمميها أدركوا أن التجربة يمكن كذلك أن تتمكن من كشف النترينوهات السريعة جداً الآتية من الشمس والتي تتأثر مع الإلكترونات بواسطة تفاعلات التبعثر. بإمكان هذه الإلكترونات أن تسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء المحلية في الماء، فيسبب ذلك إصدارها المكافئ الضوئي للأزيز الصوتي - وهو توهج ضوء أزرق يدعى إشعاع

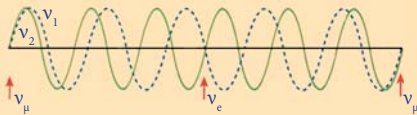
المؤثر 1: تذبذبات النترينو النظرية

لو كان للنترينوهات كتلة لأصبحت هوية نترينو معين معقدة بعض الشيء. والسبب في ذلك أنه إضافة إلى حالات "نكهة" نترينو الإلكترون ( $\nu_e$ ) والميون ( $\nu_\mu$ ) والتاو ( $\nu_\tau$ ) التي لها تأثيرات ضعيفة محددة تماماً، للنترينوهات مجموعة أخرى من الحالات، يُشار إليها بالرموز  $\nu_1$  و  $\nu_2$  و  $\nu_3$  - لها كتل محددة تماماً. وكل نترينو معين يظهر إما كنترينو  $\nu_e$  أو  $\nu_\mu$  أو  $\nu_\tau$  إذا كان القياس حساساً للتأثيرات الضعيفة، أو كنترينو  $\nu_1$  أو  $\nu_2$  أو  $\nu_3$  إذا كان القياس حساساً للكتلة. ومن المحتمل أن تكون هاتان المجموعتان متماثلتين، ولكن في الحالة العامة، تكون "ممتزجة" وبكلمة أخرى، نترينو  $\nu_e$  هو جزئياً  $\nu_1$  وجزئياً  $\nu_2$  وجزئياً  $\nu_3$ ، والشيء ذاته يصبح بالنسبة إلى  $\nu_\mu$  و  $\nu_\tau$ .

إذا أخذنا بالاعتبار المزج بين حالتين نترينو اثنتين فقط كمثال، فإن هذا المزج يمكن أن يوصف بدلالة زاوية مزج واحدة  $\theta$ .

$$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \nu_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

تُنتج التفاعلات الواقعية حالات نكهة: مثلاً تولد التفاعلات النووية الحرارية التي تحدث في الشمس  $\nu_e$  فقط. ولكن حالات الكتلة هي التي تنتشر عبر الفضاء. فإذا أخذنا الحالة الأيسر عندما  $\theta = 45^\circ$ ، أفادتنا المعادلة السابقة أن  $\nu_e = \nu_1 - \nu_2$  وأن  $\nu_\mu = \nu_1 + \nu_2$ . فإذا تذكرنا أن الجسيمات يمكن أن توصف كذلك كأموح، يعني ذلك أن أمواج  $\nu_1$  و  $\nu_2$  تهتز متعاكسة في الطور في حالة  $\nu_e$  بينما هي متفقة في الطور في حالة  $\nu_\mu$ . فلو كان لكل من  $\nu_1$  و  $\nu_2$  كتلة مختلفة عن الأخرى، لكان لكل منهما طول موجي يختلف عن الآخر، ولتغير فرق الطور بينهما مع الزمن أو مع المسافة.



فإذا بدأنا بحزمة نقية من  $\nu_\mu$  (اليسار)، لأصبحت الموجتان  $\nu_1$  و  $\nu_2$  متعاكستين في الطور تماماً بعد حين ولظهرتا مثل  $\nu_e$  (في الوسط) ثم لا تلبثان أن تعودا إلى  $\nu_\mu$  حين تستمر الحزمة في الانتشار (اليمين). وتعتمد السرعة التي تتغير فيها الهوية على الفرق بين الطولين الموجيين الذي يعتمد بدوره على الفرق بين مربعي كتلتي  $\nu_1$  و  $\nu_2$ :  $\Delta m_{12}^2 = m_2^2 - m_1^2$ . وفي الحقيقة يعطى احتمال إيجاد  $\nu_\mu$  في حزمة  $\nu_\mu$  كانت في البداية نقية، طاقتها  $E$ ، بعد أن قطعت مسافة  $L$  بالعلاقة:

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left\{ 1.27 \frac{\Delta m^2 L}{E} \right\}$$

وحين تسير النترينوهات في الفضاء الخالي يعتمد نقص التدفق  $\nu_\mu$  الكلي (والزيادة المقابلة في التدفق  $\nu_e$ ) على مقدار المزج  $\theta$ . ولكن، وبما أن  $\nu_e$  تعاني من تأثيرات في المادة مختلفة اختلافاً طفيفاً مقارنة مع  $\nu_\mu$  أو  $\nu_\tau$ ، فيمكن أن تزداد التذبذبات حين يمر النترينو عبر الشمس أو الأرض. وتضم التجارب الواقعية أيضاً النترينوهات الثلاثة وهذا يمكن أن يؤدي إلى "تذبذبات فوق تذبذبات" وهذه سيكون لها شأن في التجارب المستقبلية (انظر النص). وتتطلب تذبذبات النكهات الثلاث وسطاء أخرى ينبغي قياسها أكثر مما في حالة النكهتين الموصوفة هنا: وهي ثلاث زوايا مزج ( $\theta_{12}$  و  $\theta_{23}$  و  $\theta_{13}$ )، وفرقا كتلة مستقلان ( $\Delta m_{23}^2$  و  $\Delta m_{12}^2$ ) ووسيط إضافي آخر هو  $\delta$ ، وهو الذي يمكن أن يُنتج فروقاً في تذبذبات النترينوهات والنترينوهات المضادة.

يوجد إمكان أن مشكلة النترينوهات الشمسية لم تكن ناشئة من النترينوهات وإنما من النماذج الشمسية ذاتها. وكان هذا بسبب أنه كانت تسيطر على تدفق النترينوهات، الذي قاسه ديفيس وقاسته تجارب كاميوكاند، نترينوهات عالية الطاقة من تفاعل جانبي صغير يتضمن تفكك البور-8. ويعتمد معدل هذا التفاعل بصورة حاسمة على درجة حرارة قلب الشمس، ولذلك فإن خطأ صغيراً في درجة الحرارة يمكن أن يفسر تدفقات النترينوهات المنخفضة المشاهدة في كلتا التجربتين. ولذلك وجب علينا أن نؤكد أن كل النترينوهات الشمسية تم إيقافها وليس تلك العالية الطاقة فقط.

وهذا الأمر تطلب تجربتين جديدتين دعيتا SAGE و GALEX اتبعتا فكرة تجربة ديفيس الأساسية، لكنهما استخدمتا الغاليوم عوضاً عن الكلور كذرات هدف. وبسبب الكيمياء الأكثر تعقيداً التي تضمنتها هاتان التجربتان فقد كان إجراؤهما أكثر صعوبة، لكن في أوائل التسعينيات حصلنا في النهاية على الجواب: كان هناك نقص في النترينوهات المنخفضة الطاقة أيضاً. لم تكن المشكلة في النماذج الشمسية - بل كانت شيئاً آخر.

تذبذبات النترينو

إذا لم تكن النماذج الشمسية ولا التجارب على خطأ فما هو مصدر مشكلة النترينو الشمسي إذن؟ أحد الحلول التي اقترحها بونتكورفو في العام السابق لذلك الذي حصل فيه ديفيس على نتائجه الأولى كان أن النترينوهات يمكن أن تتغير من نكهة إلى أخرى خلال رحلتها من الشمس إلى الأرض (انظر المؤثر 1). وبما أن التجارب الموجودة كانت حساسة بصورة عامة للنترينو الإلكتروني وليست حساسة لنترينوهات الميون أو التاو، فإن هذا يمكن أن يفسر لماذا لم نكشف سوى نحو ثلث النترينوهات الشمسية.

لكن كانت توجد مشكلة كبيرة في فكرة تذبذب (أو تقلب) النترينو هذه؛ فهي تتطلب أن تكون للنترينوهات كتلة، وهو ما لا تملكه في النموذج العياري. وكان هذا في ذلك الوقت أفقاً مثيراً لأنه كان يعني أن النترينوهات يمكن أن تفسر "المادة الخفية" التي يظن أنها تهيمن على الكون. إننا نعرف الآن أن كتل النترينوهات صغيرة جداً لدرجة أنها لا يمكن أن تكون معظم هذه المادة الغريبة غير المضيئة (ومع ذلك، فهناك تقريباً المقدار نفسه من كتلة النترينوهات مثل مقدار المادة المرئية في الكون). لكن لا تزال هذه الكتل الصغيرة جداً للنترينوهات ذات أهمية عظيمة لأنه يمكن أن تكون ناشئة من آلية مختلفة اختلافاً أساسياً عن الطريقة التي تتولد بها كتل الجسيمات الأخرى - ونعني بذلك آلية هغز Higgs.

تحتوي نظرية تذبذب النترينو على عدد قليل من الوسطاء: كتل الحالات الثلاث للنترينو  $\nu_1$  و  $\nu_2$  و  $\nu_3$  (انظر المؤثر 1)، أو على الأصح تحتوي على الفرقين المستقلين بينهما  $\Delta m_{23}^2$  و  $\Delta m_{12}^2$ ، وعلى ثلاث





تسير النترينوهات الناتجة لدى تأثر الأشعة الكونية مع النوى في الجو العلوي عبر الكرة الأرضية كما لو أن هذه الكرة غير موجودة تقريباً، وهذا يعني أن عدد النترينوهات التي تمر عبرك من "الأعلى" يساوي عدد تلك التي تمر "من الأسفل". ولكن المكشاف سوبركاميوكاند في اليابان وجد في عام 1998 أن نسبة نترينوهات الإلكترون إلى نترينوهات الميون الأتية من جانبي الأرض المتقابلين كانت مختلفة، وهذا ما يمكن تفسيره إذا كانت النترينوهات تغير نكهتها لدى عبورها الأرض (تمثل الدوائر دوراً واحدة من هذا التذبذب). وكان هذا أول برهان على وجود أن يكون للنترينوهات كتلة.

وعلى أية حال فإن المكشاف سوبركاميوكاند رأى، بالنسبة إلى الأحداث التي تأتي من الأعلى، النسبة المتوقعة: 2 إلى 1 بين نترينوهات الميون والإلكترون، بينما رأى بالنسبة إلى الأحداث التي تأتي من الأسفل نترينوهات ميون أقل. وقد أكدت ذلك فيما بعد تجارب Soudan II وMACRO وبيّنت أن الطبيعة تحقق بالفعل الشرط الأول من تذبذب النترينوهات: وهو وجود كتلة للنترينوهات. ولكن ماذا بشأن الشرط الثاني حول تغير نكهة النترينوهات؟

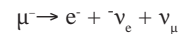
### حل مشكلة النترينو الشمسي: SNO وكامالاند

كان تبيان أن النترينوهات يمكن أن تغير نكهتها هو الغرض الرئيس من مرصد سدبوري للنترينوهات Sudbury Neutrino

"زوايا مزج" mixing angles:  $\theta_{12}$  و  $\theta_{23}$  و  $\theta_{13}$  وعلى وسيط حاسم يدعى الطور  $\delta$ . قد يكون قياس هذا الطور أحد المفاتيح الرئيسة للإجابة على اللغز: لماذا يحتوي الكون على مادة أكثر مما يحتويه من المادة المضادة. ولكن قبل أن يتمكن الفيزيائيون من استكشاف هذا الإمكان لا يزال علينا أن نحدد فيما إذا كانت تذبذبات النترينو مجرد رياضيات ظريفة أو أنها فيزياء حقيقية. وبصورة خاصة نحتاج لقياس فرق الكتلة وزوايا المزج.

وفي الوقت الذي كان يُبحث فيه عن برهان على تذبذبات النترينو بدأت تتكشف مشكلة منفصلة في تجارب تفكك البروتون؛ فتفكك البروتون يمكن أن لا يمكن أن يحدث، لكن المؤكد أنه نادر الحدوث جداً (يعتقد أن عمر البروتون هو على الأقل  $10^{32}$  سنة). لذلك كان على التجارب أن تتنبه إلى عمليات في مكاشيفها يمكنها أن تخفي أو حتى تقلد تفكك البروتون.

إن أكبر مصدر لمثل أحداث الخلفية هذه هي النترينوهات من الأشعة الكونية وهي جسيمات عالية الطاقة تضرب جو الأرض باستمرار قادمة من مصادر في مجرتنا وما وراءها. تهيمن البيونات على حطام هذه التصادمات، وهي تتفكك إلى ميونات ونترينوهات الميون وفق تفاعلات مثل:  $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$  حيث  $\bar{\nu}_\mu$  هو النترينو المضاد. ثم تتفكك الميونات نفسها إلى إلكترونات ومزيد من النترينوهات حسب التفاعل:



ينبغي إذن أن تُنتج هذه العملية حدثين "جويين" ميون - نترينو مقابل كل حدث إلكترون - نترينو. وعلى أية حال، ولدهشة الباحثين العاملين في المكشاف الشبيه بكاميوكاند والذي يدعى تجربة إيرفاين ميشيغان بروكهاغن (IMB) وفريق كاميوكاند نفسه، لم تشاهد التجريبتان هذه النسبة، بل شاهدتا، عوضاً عن ذلك، العدد نفسه تقريباً من كلا نوعي النترينو. وقد ظن عدد من الفيزيائيين في البداية، كما ظنوا في مسألة النترينو الشمسي، أن "شذوذ النترينو الجوي" هذا كان عائداً ببساطة لمشكلة في التجارب أو ربما لنماذج توليد النترينو الجوي. لكن في العام 1998 أُنقذ مكشاف أكبر كثيراً من كاميوكاند يدعى سوبركاميوكاند SuperKamikande، الجميع تقريباً أن الشذوذ الجوي يجب أن يكون كامناً في النترينوهات نفسها.

تمّ هذا الاكتشاف بسبب أن سوبركاميوكاند كان قادراً على مقارنة الأحداث التي تأتي "نزولاً" من الجو مع الأحداث التي تأتي "صعوداً" من الأسفل، أي التي تنشأ من التآثرات في الجو في الجانب الآخر من الكوكب (الشكل 1). والفارق الوحيد ذو الأهمية بين هذين الصنفين من النترينو هو المسافة التي قطعها كل منهما، أما إذا كانت النترينوهات معدومة الكتلة فلا يكون بينها فارق.



لأنها تستطيع تحطيم الديترونات وتحرير النترونات التي لا يمكن تمييزها عن تلك الناتجة من تفاعلات التيار المعتدل. والطريقة الوحيدة للتحكم بهذه الخلفية هي بناء المكشاف من مواد مختارة على وجه الخصوص في غرفة نظيفة عملاقة - غرفة نظيفة على عمق كيلومترين تحت الأرض في منجم مفعم بالنشاط وقدر جداً.

وبمجرد أن أنجز كل هذا في العام 1999 بدأ المرح بالفعل، لأن المكشاف لا يقول "ها، لقد سجلت نترينو - أضف واحداً إلى قائمة التيار المشحون!". فالمشكلة هي أنك لا تستطيع قياس استجابة المكشاف مباشرة لكي تلتقط أحداث النترينوهات الشمسية القليلة - نحو 10 كل يوم - من بين عشرات الأحداث كل ثانية الآتية من عمليات الخلفية. لا بد إذن من أن نجد في فهم سلوك المكشاف انطلاقاً من المبادئ الأولية باستخدام مصادر ضوئية ومشعة وعمليات محاكاة حاسوبية. وبمجرد أن ينجز هذا الجهد يصبح من السهل تعرّف إشارات النترينو بالفعل.

لقد أثبتت النتائج التي أعلن عنها في العامين 2001 و2002 التنبؤ القائل بتذبذب النترينو إثباتاً جميلاً. فقد تطابق عدد أحداث التيار المعتدل مع توقعات النماذج الشمسية بدقة كاملة مما بين أن تدفق النترينوهات الكلي قد حدد فعلاً. ولكن معدل تفاعل التيار المعتدل بين أن نحو ثلث هذه النترينوهات فقط هي نترينوهات إلكترون حين تصل إلى الأرض، وهذا ما برهن على أن النترينوهات تغير نكهتها في طريقها.

وقمنا في العام 2004 بتحسين هذا القياس وذلك بإضافة طنين من الملح إلى الماء الثقيل، وهذا يسهل كثيراً كشف النترينوهات من أحداث التيار المعتدل. ولكننا، لكي نتأكد تماماً من أن النترينوهات الشمسية تغير بالفعل نكهتها، نقوم الآن بتكرار التجربة مرة أخرى. وسوف نكون قادرين، في هذه المرة، على كشف أحداث التيار المعتدل بصورة مستقلة عن أحداث التيار المشحون وذلك باستخدام صفيحة من مكاشيف النترون الحساسة جداً. هذا سوف يجعل المكشاف أكثر حساسية بالنسبة إلى المزج بين نترينوهات الإلكترون والميون (وبالتالي تحسين قياس الزاوية  $\theta_{12}$ )، بينما يجعلنا في الوقت نفسه متأكدين تماماً بأن قياسنا الأولين لم يكونا خطأً.

وهكذا، فإن نتائج سوبركاميوكاند حول النترينوهات الشمسية في العام 1998 قد بينت أن للنترينوهات كتلة، في حين أنه بعد سنوات قليلة بين SNO أن النترينوهات يمكن أن تغير نكهتها. فهل يبرهن هذا أن تذبذبات النترينو تحدث؟ ليس تماماً، لأن عدداً من النماذج الأخرى المقترحة يمكنها كذلك أن تفسر هذه المعطيات، ابتداءً من خواص جديدة للنترينوهات وانتهاءً بآثار أبعاد إضافية. ولحسن الحظ فإن مجموعة يابانية أخرى كانت قد اقترحت في

Observatory (SNO) في كندا، الذي بني بفضل تعاون واسع بين فيزيائيي كندا والولايات المتحدة والمملكة المتحدة (والذي كنت جزءاً منه منذ العام 1988). والمرصد SNO هو مكشاف شيرينكوف مائي مثل كاميوكاند، ولكنه يستخدم الماء الثقيل  $D_2O$  عوضاً عن الماء العادي. والديترونات،  $D$ ، في الماء الثقيل هي الأضعف ترابطاً من بين كل النوى، وهذا يعطي المرصد SNO الفرصة لرصد تفاعلات مختلفة تعرضها النترينوهات الشمسية.

أولى هذه العمليات هي تفاعل التيار المشحون  $v_e + D \rightarrow p + p + e^-$  الذي يكشف بواسطة رصد فوتونات شيرينكوف من الإلكترون المرتد،  $e^-$ ، ذي الطاقة العالية. وهذا التفاعل حساس لنترينوهات الإلكترون فقط، وهذا جيد لأنها النوع الوحيد الذي تولده التفاعلات النووية في قلب الشمس. ولكن ماذا يحدث إذا كانت هذه النترينوهات تتذبذب أثناء طريقها من الشمس إلى الأرض؟

هنا يدخل التفاعل الثاني، تفاعل التيار المعتدل:  $v_x + D \rightarrow p + n + v_x$ . ويرصد هذا التفاعل بواسطة النترونات الصادرة،  $n$ ، وهو مستقل عن نكهة النترينو الوارد،  $v_x$ ، وهو لذلك يوفر طريقة لاستنتاج تدفق النترينوهات الكلي التي تصدرها الشمس. فلو لم تكن هناك تذبذبات النترينو لكان التدفق المستتجان من تفاعل التيار المشحون ومن تفاعل التيار المعتدل متساويين، أما تذبذبات النترينو فتؤدي إلى تخفيض معدل التيار المشحون ولا تؤثر على معدل التيار المعتدل. ونتيجة لذلك فإن بإمكان المرصد SNO أن يحدد فيما إذا كانت النترينوهات تغير نكهتها أم لا بغض النظر عن تفاصيل النماذج الشمسية. والتأثر الثالث هو تفاعل تبعثر الإلكترون نفسه الذي سبق أن رصده مكشافا كاميوكاند  $v_x + e^- \rightarrow v_x + e^-$  والذي يتحسس قليلاً لكل نكهات النترينو ولكن لا يتيح مقارنة واضحة بينها.

ليس بناء تجربة مثل المرصد SNO بالمهمة السهلة. فالأمر يحتاج أولاً إلى 1000 طن من الماء الثقيل الذي لا يوجد عادة في محلات بيع الخردة. ولحسن الحظ تستخدم الشركة أونتااريو هيدرو كميات كبيرة من الماء الثقيل في مفاعلاتها النووية وقد قبلت أن تعيرنا كمية تكفي لمفاعل بشرط أن نعيدها لها (تبلغ قيمتها مئات الملايين من الدولارات). وينبغي بعد ذلك حفر تجويف ضخم على عمق كبير لوضع المكشاف. ومرة ثانية قادنا الحظ السعيد جداً إلى شركة مناجم النيكل INCO التي كانت متساهلة إلى أقصى الحدود مع حفنة من الفيزيائيين يقومون بأعمال غريبة في منجمها الذي يدرّ ربحاً وفيراً. وأخيراً، وبعد تأمين عدة ملايين من الدولارات لتمويل هذا كله نصل إلى الجزء الصعب: بناء المكشاف نفسه.

تنشأ الصعوبة بسبب تفاعلات الخلفية الطبيعية التي يمكن أن تشبه إشارات النترينو. فأشعة غاما الآتية من التفكك المشع لليورانيوم والتورنيوم الموجودين في كل مكان هي مشكلة خاصة

العام 1994 تجربة ذكية جداً تدعى كاملاند KamLAND أقرت الدليل النهائي على تذبذبات النترينو.

كاملاند هو مكشاف كبير مبني في تجويف كاميوكاند القديم الذي يستفيد من مفاعلات اليابان النووية التي تعدّ مصادر قوية لنتريونات الإلكترون (يأتي نحو 30% من طاقة اليابان من المحطات النووية لتوليد الكهرباء). وبالصدفة فإن هذه المفاعلات تقع على البعد المناسب من فيزياء النترينوهات؛ فهي قريبة بصورة كافية لكشف النترينوهات المضادة الصادرة عنها، ولكنها بعيدة بصورة كافية أيضاً بحيث إن تذبذبات النترينو ينبغي أن تنقص عدد نترينوهات الإلكترون المضادة التي تُكشف نقصاً محسوساً.

وتبين أحدث النتائج من كاملاند المنشورة في الصيف الفائت بوضوح ليس فقط كبت التدفق الذي تمّ كشفه، وإنما تبين تشوهاً في الطيف كتابع للطاقة أيضاً، وهذا هو بالضبط ما يتنبأ به نموذج التذبذبات. والحجة المفحمة الحقيقية كانت تكمن، على أية حال، في أن الكبت هو أقل بكثير من ذلك المشاهد بالنسبة إلى النترينوهات الشمسية لأن تذبذبها يتغير لدى مرورها عبر مادة الشمس الكثيفة. وهذا هو بالضبط ما يتوقع بالنسبة إلى نموذج تذبذبات النترينو ولكن ليس بالنسبة إلى أي من النماذج الأخرى، وهو يبدو أنه الدليل النهائي اللازم لإقرار أن النترينوهات تتذبذب بالفعل. وهو يتيح لنا، إضافة إلى ذلك، أن نقيس  $\Delta m_{12}^2$  بدقة، وهذا، بضمه إلى قياسات النترينو الشمسي، يحدد قيم وسطاء تذبذب النترينو.

### تجارب المسار الطويل

إذا كان بإمكان التجارب الأرضية مثل كاملاند رصد تذبذبات النترينو التي رؤيت في الأصل في تجارب النترينو الشمسي فهل توجد تجارب أرضية تستطيع كشف التذبذبات التي ترى في النترينوهات الجوية؟ الجواب هو نعم، ولكنه يعني أن علينا أن نصنع نترينوهاتنا الخاصة العالية الطاقة، وهذا يحتاج إلى مسرّع.

كانت فكرة صنع حزمة من النترينوهات موجودة منذ اكتشاف نترينو الميون في بداية الستينيات. ونقطة البدء هي إرسال حزمة من البروتونات إلى هدف معين لتوليد البيونات التي تتفكك بعدئذ لتولد حزمة من الميونات ونترينوهات الميون. فإذا أوقفنا الميونات قبلاً أمكن لها كلها، ما عدا القليل منها، أن تتفكك، وتبرز بذلك حزمة مؤلفة من نترينوهات الميون لوحدها تقريباً. ويمكن إجراء نوعين من التجارب يمثل هذه الحزمة. أولاً، يمكن البحث عن نقصان في تدفق نترينوهات الميون عن القيمة المتوقعة كتابع للطاقة أو المسافة. وثانياً، يمكن البحث عن وجود نترينوهات الإلكترون أو التاو في الحزمة لم تكن موجودة فيها لدى توليدها.

وللتجارب من هذا النوع الأخير تاريخ طويل، لكننا نعرف الآن أنها كانت تبحث في المكان الخطأ. فقد كان الباحثون، الذين كان يسوقهم رأي نظري مسبق حول أن كل زوايا المزج يجب أن تكون صغيرة، كما يسوقهم اعتقاد بأن كتل النترينوهات يجب أن تكون كبيرة لدرجة تكفي لتفسير المادة الناقصة في الكون، يبحثون عن زوايا مزج صغيرة وعن فروق كتلة كبيرة. ولكننا نعلم الآن من نتائج تذبذب النترينوهات الشمسية والجوية ونترينوهات المفاعلات أن علينا أن نبحث عن فروق كتلة صغيرة وعن زوايا مزج كبيرة. وقد صُمم جيل جديد من التجارب للقيام بهذا بالضبط.

أولى هذه التجارب، وتدعى K2K، أعطت نتائجها الأولى في العام 2000. تنتج حزمة البروتونات في المخبر KEK الواقع في شمال طوكيو وتطلق حزمة نترينوهات الميون على عمق 250 كم تحت اليابان إلى المكشاف سوبركاميوكاند. وقد وجدت هذه التجربة، بصورة مؤكدة، نترينوهات ميون قليلة جداً، بالضبط كما يمكن أن يُتوقع إذا كان شذوذ النترينوهات الجوية تسببه فعلاً تذبذبات النترينو.

وهناك عدد من أمثال هذه التجارب ذات المسار الطويل الأخرى قيد البناء أو التخطيط. أولاًها، وتدعى MINOS، سوف تطلق حزمة شديدة من نترينوهات الميون من فرميلاب بالقرب من شيكاغو إلى مكشاف في منجم سودان في مينيسوتا (على بعد 735 كم). يتألف المكشاف MINOS، بخلاف مكاشيف شيرينكوف المائية، من مسعر حديدي كبير بوجود حقل مغنطيسي يستطيع أن يتتبع اندفاع الجسيمات المشحونة لدى عبورها المكشاف ويقيسه. ولذلك بإمكان MINOS إجراء قياسات أدق لطيف طاقة الميونات الناشئة من التآثرات مع نترينوهات فرميلاب، ويتيح إذن تحديداً أكثر دقة للطاقة التي تكون التذبذبات عندها أعظمية. وهذا سوف يتيح لنا إجراء قياسات أفضل للمقدار  $\Delta m_{23}^2$  غير المعين حالياً إلا بصورة تقريبية.

وهناك تجربة أخرى ذات مسار طويل تدعى CNGS ما زالت قيد البناء في أوروبا حيث ستطلق نترينوهات الميون من المركز سيرن في جنيف إلى مخبر غران ساسو Gran Sasso الوطني بالقرب من روما (على بعد 730 كم). وسيجري المكشافان الكبيران اللذان بينيان في غران ساسو - وهما OPERA و ICARUS - قياسات دقيقة للغاية لمسارات الجسيمات. فإذا رُصدت نترينوهات التاو في الحزمة تمكن فريق CNGS من تأكيد تنبؤ رئيس لنماذجنا الحالية حول تذبذبات النترينو - وهو أن شذوذ النترينو الجوي يسببه بصورة رئيسة تذبذب نترينوهات الميون إلى نترينوهات التاو.

أعتقد أن إدينغتون Eddington هو الذي قال أن أي شيء منسجم مع كل المعطيات التجريبية الموجودة يجب أن يكون خطأ،

### قياس الزاوية $\theta_{13}$ : الخطوة التالية في الحكاية

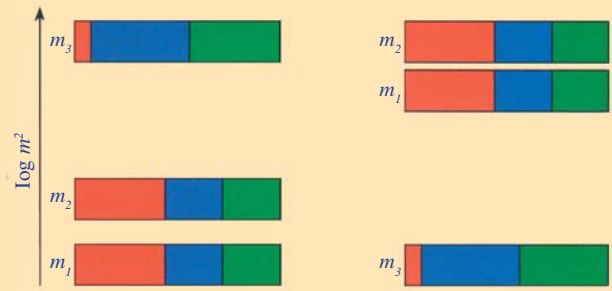
أين نقف إذن بالنسبة إلى قياسات وسائط تذبذب النترينو؟ لقد قاست تجارب النترينو الشمسي والتجربة كاملاند الزاوية  $\theta_{12}$  فوجدتها مساوية نحو  $32^\circ$  وقاست الفرق  $\Delta m_{12}^2$  فوجدته مساوياً  $8 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$ . ووضعت قياسات تجارب تذبذب النترينو الجوي حداً للزاوية  $\theta_{23}$  يساوي تقريباً  $45^\circ$ . (أي أن النترينوهات تتذبذب بأكثر ما يمكن) وقاست كذلك  $\Delta m_{23}^2$  فوجدته مساوياً  $2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ . وهذا يدع زاوية المزج الثالثة  $\theta_{13}$  غير معينة.

يلزمنا كذلك أن نعرف أكثر قليلاً عن حالة كتلة النترينو. فمع وجود ثلاث كتل مختلفة يوجد فرقان كتليان فقط، وبما أننا قسنا فرقين كتليين فيمكن الظن أن الأمر أنجز كله، ولسوء الحظ ليس الأمر بهذه البساطة. والسبب في ذلك هو أننا لا نعرف مسبقاً ترتيب حالات الكتلة لأن تذبذبات نترينو الخلاء vacuum neutrino - التي قسناها تعتمد على مربع فروق الكتلة وهي لذلك مستقلة عن إشارتها. ولكن مفاعيل المادة، مثل تلك الموجودة بالنسبة إلى النترينوهات التي تفلت من داخل الشمس الكثيف، تعتمد على إشارة الفرق الكتلي. ولذلك فنحن نعرف من تذبذبات النترينوهات الشمسية أن  $\nu_2$  أكبر كتلة من  $\nu_1$ . ولكن بما أننا لم نشاهد أية مفاعيل للمادة في تذبذبات النترينوهات الجوية، لأن الكرة الأرضية ليست كثيفة لدرجة كافية، فهناك ترتيبان محتملان باقيا (الشكل 2).

إن هدف الجيل التالي من التجارب المخطط إجراؤها هو تعيين  $\theta_{13}$  والتراتب الكتلي. فنحن أصبحنا نعرف من تجارب مسارات أقصر من كاملاند أن الزاوية  $\theta_{13}$ ، بخلاف الزاويتين الأخريين، صغيرة. وتخطط تجارب جديدة لتقضي  $\theta_{13}$  فيما يسمى التذبذبات الثانوية sub-leading التي تنشأ حين تؤخذ مفاعيل النترينوهات الثلاثة كلها بالحسبان. ويمكن لهذه التذبذبات أن تولد تموجات صغيرة فوق صورة التذبذب الأصلي، وتسبب الظهور الإضافي لنترينوهات الإلكترون في حزمة أرضية من نترينوهات الميون. وقد اقترحت تجارب تذبذب مفاعلات ومسرعات جديدة تستخدم مكشافاً قريباً ومكشافاً بعيداً بهدف تحسين الحساسية للكبت الضئيل ولاحتمالات الظهور الصغيرة ولقيم أصغر للزاوية  $\theta_{13}$ .

وتقدم تجارب المسار الطويل مثل التجربة MINOS بعض الحساسية لهذه المفاعيل من المرتبة الثانية، ولكننا، لتحسين معرفتنا الحالية تحسيناً ملموساً، ستلزمنا تجهيزات جديدة كلياً تستخدم حزم نترينوهات أكثر شدة. وتبنى أولى هذه التجارب ذات "الحزمة الفائقة"، وتدعى T2K، حالياً في اليابان وسوف تتضمن إطلاق حزمة نترينوهات ذات شدة لم يسبق لها مثيل عبر 295 كم من الصخور من المنشأة JPARC على الشاطئ الشرقي للبلاد نحو

ترابعية الكتل



الشكل 2

يدلنا معدل تذبذب النترينوهات من نكهة إلى أخرى (أي من نترينوهات الإلكترون إلى نترينوهات الميون أو التاو) على الفرق بين مربعات حالات النترينو الكتلية:  $\Delta m_{ij}^2 = m_j^2 - m_i^2$ . ولكن بالنسبة إلى التذبذبات في الخلاء فلا بد يدلنا هذا المعدل على إشارة الفرق الكتلي، ولذلك فإن التجارب الموجودة تتيح لنا ترتيبين ممكنين لكتل النترينوهات (الممثلين على اليسار وعلى اليمين). يوضح هذا الشكل أيضاً كيف تمتزج حالات النكهة،  $\nu_x$ ، لتصبح حالات الكتلة،  $\nu_i$ ، (يشير الأحمر إلى حالة نكهة إلكترونية، والأزرق إلى نكهة ميونية والأخضر إلى نكهة تاوية). والقطعة الحمراء الصغيرة في الحالة الكتلية  $m_3$  تبين أن الشكل يفترض  $\theta_{13}$  غير معدومة.

لأن بعض المعطيات هي خطأ بصورة مؤكدة تقريباً. ولذلك فكون واحدة من التجارب - LSND في لوس ألاموس - لا تتسجم مع صورة النترينو المذكورة هنا يريح أولئك الذين يرغبون في الاعتقاد بتذبذبات النترينو.

ففي عام 1996 ادعى فريق LSND مشاهدة ظهور نترينوهات الإلكترون في حزمة من نترينوهات الميون، وهذا يستدعي زاوية مزج صغيرة وقيمة كبيرة نسبياً للمقدار  $\Delta m_{12}^2$ . ومع أن تجربة أخرى ذات حساسية ماثلة تدعى KARMEN في مخبر رنرفورد أبلتون في المملكة المتحدة لم تجد دليلاً على هذا الأثر، فإن نتائج تجربة مكرسة لهذا الغرض تدعى MiniBooNE تنتظر بفارغ الصبر. يقع مكشاف التجربة MiniBooNE في فيرميلا ب وهو سوف يقضي وجود نترينوهات إلكترون في حزمة من نترينوهات الميون التي ينتجها مسرع بروتونات فيرميلا ب. فإن لم تجد التجربة MiniBooNE أي أثر فسوف يتنافس الجميع، ما عدا إدينغتون، الصعداء ويصدق صورة تذبذبات النترينوهات الثلاثة التي رسمتها التجارب الحالية. ومن ناحية أخرى، إذا أثبتت التجربة MiniBooNE نتيجة التجربة LSND فسوف نكون فعالاً في عالم غريب جداً وينبغي أن تكون عندئذ ظاهرة المزج أعقد بكثير من فهمنا الحالي.



## المستقبل الأبعد: مصنع النترينوهات

ما هي إذن علاقة كل هذا بفائض المادة عن المادة المضادة في الكون، وهو ما سبق أن وعدنا بإيضاحه. قد يكون مفتاح الأمر في الوسيط  $\delta$ . إذ يتطلب توليد عدم تناظر بين المادة والمادة المضادة أن تكون قوانين الفيزياء مختلفة بالنسبة إلى المادة عما هي عليه بالنسبة للمادة المضادة. وإن قيمة مختلفة عن الصفر للوسيط  $\delta$  يمكن أن تؤدي بالفعل إلى اختلافات في تذبذبات النترينوهات والنترينوهات المضادة. ويمكن عندئذ لمفعول في الكون الأولي يدعى توليد اللبتونات leptogenesis أن يؤدي إلى عدم توازن بين المادة والمادة المضادة. لكن مفعول توليد اللبتونات يتعلق بوسطاء لا يمكن قياسها على الأرض، ولذلك ينبغي علينا أولاً أن نقيس  $\delta$  ثم نولي الثقة لنظريتنا لكي نجد النموذج الصحيح للربط بين وتوليد اللبتونات.

الفكرة الأساسية بسيطة: نبدأ بحزمة من نترينوهات الميون ونقيس احتمال تحولها إلى نترينوهات الإلكترون، ومن ثم ننتقل إلى حزمة من نترينوهات الميون المضادة ونقيس احتمال التحول إلى نترينوهات الإلكترون المضادة عند الطاقة نفسها وطول المسار نفسه. وسوف يشير أي اختلاف إلى أن  $\delta$  ليس صفراً بشرط أن تمرر النترينوهات المضادة عبر كرة أرضية من مادة مضادة وجعلها تتأثر مع مكشاف من مادة مضادة. ولكن هذا يفوق ميزانية العلوم لمعظم الدول، ولذلك علينا أن نقيس كلا النترينوهات والنترينوهات المضادة بواسطة مكشاف مصنوع من المادة العادية ونصحح بحذف الفروق غير الهامة الناشئة من هذا (وهذا يحد من حساسية التجربة).

قد تكون تجارب الحزمة الفائقة للنترينوهات حساسة لقيم  $\delta$  القريبة من  $\pi/2$  أو  $3\pi/2$  حيث يكون انتهاك ندية الشحنة CP أكبر ما يكون (انظر المؤطر 2)، أما لتحديد هذه الزاوية بالفعل فإننا نحتاج إلى حزم نترينوهات أشد و"أنقى". وتجري الآن دراسة جدوى في المركز CERN لمعرفة ما إذا كان بالإمكان التوصل إلى هذا باستخدام حزم من نوى غير مستقرة تتفكك بإصدار أشعة بيتا وتنتج حزماً صافية من نترينوهات الإلكترون أو نترينوهات الإلكترون المضادة.

والخطة الأكثر طموحاً هي بناء "مصنع نترينوهات" يمكنه إنتاج حزم نترينوهات نقية وشديدة جداً يمكن إطلاقها لمسافة آلاف الكيلومترات عبر الكرة الأرضية إلى مكاشيف بعيدة. هذه الآلة ستصنع بيونات تتفكك إلى ميونات مثلما يحدث في تجارب المسار الطويل العادية. ولكن سيكون بإمكانها بعدئذ أن تسرع هذه الميونات وتكسبها طاقات عالية بحيث تنتج حزمة نترينوهات مسددة ذات طاقة معروفة معرفة جيدة حين تتفكك. وسيتيح لنا هذا

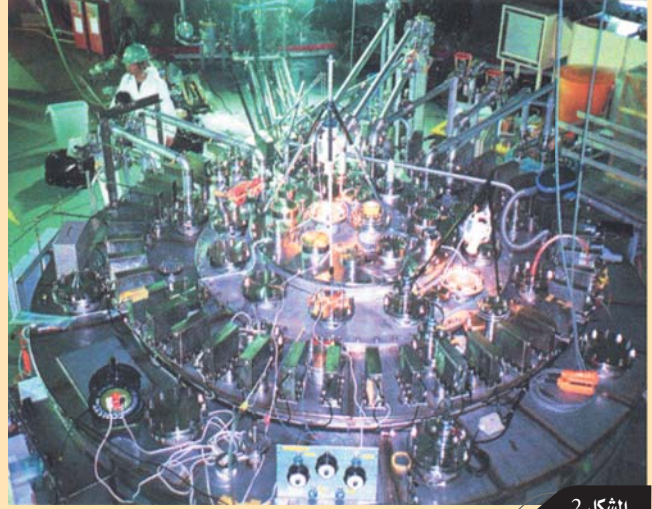
بين الفيزيائي الروسي أندريه ساخاروف في العام 1967 أنه لكي يتم الانتقال من حالة ابتدائية تهيمن عليها الطاقة إلى الكون الذي نراه اليوم والذي تهيمن عليه المادة لابد من تحقيق ثلاثة شروط: الأول: يجب أن تُنتج قوانين الفيزياء كميات مختلفة من المادة والمادة المضادة، والثاني: يجب ألا يكون عدد الباريونات، مثل النترونات والبروتونات، محفوظاً. والثالث: لا يمكن أن يكون الكون في توازن حراري. ويبدو أن تحقيق الشرطين الأخيرين سهل، أما الشرط الأول - الذي يعرف كذلك بانتهاك ندية الشحنة CP - Charge-parity violation - فقد تبين أن حله أكثر صعوبة.

لقد رُصد، في الواقع، الانتهاك CP في العام 1964 في تفككات الكاؤونات المعتدلة وحسيماتها المضادة، وأدخلت آلية في النموذج العياري لتفسيرها. وقد أكد مؤخراً رصد تفككات الميزونات B المعتدلة أن هذا التفسير البسيط الأنيق يطبق بصورة أكثر عمومية، وهذا نصر للفيزياء النظرية. لكن مقدار الانتهاك CP الذي يولده النموذج العياري أصغر بكثير، بعدة مراتب كبر، من أن يفسر الزيادة المرصودة للمادة في الكون، مما يجبرنا على أن نستنتج أنه لابد من وجود عملية أخرى تنتهك CP.

تقدم فيزياء النترينو إحدى أكثر الإمكانيات جاذبية لهذا. وتفتح الآفاق حول إمكان أن تكون النترينوهات هي أول مثال معروف على ما يسمى جسيم ماجورانا Majorana - وهو جسيم مادي هو ذاته جسيمه المضاد. وإحدى نتائج هذا يمكن أن تكون عملية تعرف باسم توليد اللبتونات leptogenesis والتي بواسطتها يمكن أن يكون الانتهاك CP في تفككات نترينوهات ثقيلة جداً في الكون الأولي قد خلق زيادة في المادة عن المادة المضادة. ويمكن لهذا بدوره أن يكون ذا علاقة بطور الانتهاك CP، المسمى  $\delta$ ، الذي يمكن رصده في تجارب تذبذب النترينو.

سوبركاميوكاند في الغرب. ولن يسبب نوع التذبذبات التي ترى في النترينوهات الشمسية أية آثار ذات شأن عند الطاقات والمسافات التي تتضمنها التجربة، ولذلك فإن أية نترينوهات إلكترون ترى في حزمة نترينوهات الميون ستكون إشارة إلى التذبذبات المعدلة بواسطة الزاوية الثالثة  $\theta_{13}$ .

وهناك تجربة جديدة أخرى تدعى NOvA يخطط لها في فرميلاب وسوف تستخدم الحزمة نفسها المستخدمة في التجربة MINOS، ولكن هذه التجربة ستكون عند طاقات أعلى ومسارات أطول من التجربة T2K، ويؤمل أن تتيح رصد مفاعيل المادة وتمكّننا من تحديد التراتبية الكتلية.



الشكل 2

تتألف منشأة كاملاند في اليابان من مكشاف تحت أرضي كبير يستطيع دراسة النترينوهات التي تولدها المفاعلات النووية الموجودة على بعد 100 كم عنه.

الحالية للتمويل المفرط في التنافس. وينبغي علينا لذلك أن نكون حريصين على عدم خنق روح المغامرة والفضول التي تؤدي إلى ما هو جديد تماماً. وليس من الضروري، لدى تصميم التجارب الخشبية من مجازفة عدم الحصول على ما كنا نبحت عنه، فالتجارب تجرى لهذا بالضبط.

قد تبدو تذبذبات النترينو نزوة شاذة لميكانيك الكم، لكنها يمكن أن تساعدنا على فهم فيزياء الجسيمات في مستوى أعمق بكثير. ومن المفارقات أن صغر كتل النترينوهات البالغ يجعل الكثير من النظريين يعتقدون أنها تفتح نافذة على الفيزياء عند طاقات أعلى بكثير مما تستطيع مسرعاتنا بلوغه. وقد يساعد مزج النترينوهات، الذي يمكن من حيث المبدأ قياسه بدقة أكبر من مزج الكواركات الأكثر شيوعاً، على تفسير أحجية لماذا توجد ثلاثة أنواع من كل الجسيمات أولاً. وكتلة النترينوهات ذات أهمية في فهمنا للكون ككل، وأكثر من ذلك، ربما تكون النترينوهات قد ولدت كل المادة التي صنعنا منها. وليست هذه بالمكافأة السيئة من صهرج سائل التنظيف وبعض الخلفيات المخلفة في تجربة تفكك البروتونات.

أن نقيس تذبذبات النترينو بحساسية أفضل بعدة مراتب كبر من أية تجربة أخرى يجري التخطيط لها علماً أن صعوبة تنفيذ هذا المشروع وكلفته كبيرتان جداً.

هناك صعوبة رئيسة تكمن في إيجاد طريقة لجمع وتسريع الميونات قبل أن تتفكك. فالتقنيات الموجودة المتضمنة "تبريد" الجسيمات بواسطة إنقاص انتشارها الزاوي أو الطاقية بطيئة جداً لا يمكن استخدامها بالنسبة إلى الميونات (التي تتفكك بسرعة إلى جسيمات أخرى). وقد أدى هذا إلى تجربة دولية رئيسة تدعى (MICE Muon Ionization Cooling Experiment) في مخبر رذرفورد أبلتون سوف تختبر نوعاً جديداً تماماً من التبريد (انظر مجلة Physics World عدد نيسان ص 5). وإن التطورات التقنية، مثل التجربة MICE، يجب أن تمكن من بناء مصنع نترينوهات في وقت قريب أمل أن يكون قبل إحالتي إلى التقاعد بعد نحو عشرين سنة.

### المكافأة

لقد اكتشفت إن تذبذبات النترينو. ولكن الجدير بالذكر أن كلا الرصدين المؤكدين حول تذبذبات النترينو أتيا من تجارب كانت قد بُنيت في البداية للبحث عن شيء آخر. وفي الواقع حين اقترح بول ديفيس تجربته أصلاً اعتقد معظم الناس أنها مضيعة للوقت (حتى أن أحد المراجعين قارنها بمحاولة قياس بعد القمر بالوقوف على سلم ومد الذراع إلى الأعلى!).

ويُشكك كثيراً في أن ديفيس كان بإمكانه تأمين الموارد اللازمة لبناء التجربة أصلاً ولو شاء لفعل ذلك ضمن المنظومة

نشر هذا المقال في مجلة Physics World, June, 2005

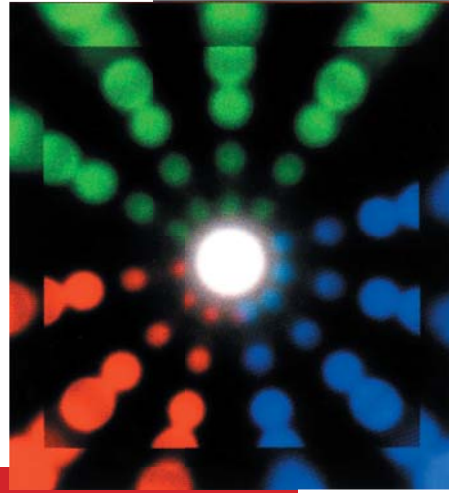
وتمتم ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.

الأضواء الصادرة عن الحالة الصلبة والمبنية على الديودات المصدرة للضوء LEDs أكثر كفاءة وغنى من المصابيح المتوهجة التقليدية، وهي الآن على شفا تحويل الإنارة الكهربائية بشكل أبدى.

# ثورة الإنارة بنبائط الحالة الصلبة

بقلم: نادراجان نارندران

مدير بحوث، مركز أبحاث الإنارة، معهد رنيسلر للبولي تكنيك، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.



مستقبل مشرق – تستخدم الديودات المصدرة للضوء LEDs الآن في البنايات، والمصابيح الأمامية وحجرات الطائرات.

## الكلمات المفتاحية

ديود مصدر للضوء، ديودات عضوية مصدرة للضوء، إنارة بالحالة الصلبة، ديودات مصدرة للضوء الأبيض.

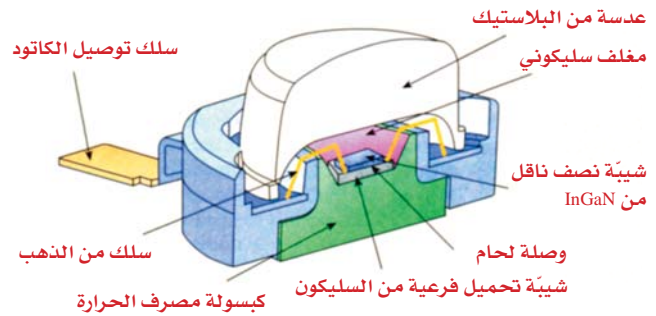
إن منابع الحالة الصلبة ليست كالمنابع المتوهجة الموجودة حالياً التي تعطي ضوءاً ساكناً في الزمان والمكان، بل تستطيع أن تولد ضوءاً يتغير في اللون والشدة والتوزيع بناءً على حاجة الإنارة وزمانها. وقد يمكننا ذلك، على سبيل المثال، من إضاءة فسحات معيشتنا وتزيينها بجدران وأسقف متألقة، مما يجنبنا الحاجة إلى تجهيزات ضوئية ثابتة لا مبرر لها. وعلاوة على ذلك، فإن الإنارة بنبائط الحالة الصلبة تستهلك طاقة أقل بـ 50% من المنابع التقليدية، وتقل أيضاً نفايات البيئة وتلوثها.

على مدى السنوات المئة والخمس والعشرين الماضية، كنا قادرين على أن نضيء الضوء متى احتجنا إليه وأينما احتجنا إليه بمجرد تحريك مفتاح. ولقد بدأت هذه الثورة عندما اخترع توماس أديسون أول مصباح إنارة كهربائي تجاري في عام 1879، ولم يطرأ عليها سوى تغييرات طفيفة منذ ذلك الحين. ويرجع السبب في ذلك، بصورة جزئية، إلى أن التقانات الجديدة جميعها اتبعت النهج القديم ذاته المتمثل في توليد كرة من الضوء الأبيض المستقر صادرة عن حاويات زجاجية هشة مملأ بالغاز ومزودة في أطرافها بقلنسوات (أغطية) معدنية. بيد أن هذا قد يتغير قريباً مع بزوغ فجر ثورة الإنارة الديودية المتمثل في الإنارة بنبائط الحالة الصلبة.



## كيف يعمل الديود المصدر للضوء LED

هذا الديود LED (ويُدعى نجمة لوكسيون Luxeon Star) صنعته شركة Lumileds. وهو واحد من أعلى الديودات LEDs في العالم سطوعاً، له خرج ضوئي يصل حتى 120 لومن. شكله السداسي يسمح لعدة وحدات بالوصل ويُغذى بتركيبة مرصوصة مغلقة ليعطي خرج ضوء أعظمي بوحدة المساحة، لكن مكوناته الأساسية هي نفسها كما في معظم منابع الديودات LED. فهناك شبيبة من نصف ناقل موضوعة ضمن عاكس وموصولة إلى سلكين ينقلان التيار إلى الوصلة p-n. ويتم جمع الضوء الخارج من الشبيبة بواسطة عاكس مُسلط في اتجاه واحد (نحو الأعلى في هذا الشكل). وللتغليف encapsulation الشفاف عدة وظائف: فهو يؤمن الحماية للشبيبة نصف الناقلة، كما يساعد على زيادة استخلاص الضوء عن طريق تخفيض التباين بين قرينة انكسار الشبيبة والعاكس، وكذلك يلعب دور عدسة تساعد على زيادة تشكيل للحزمة.



الشكل 1

كيف يعمل الديود المصدر للضوء LED

## حلم الحالة الصلبة

الماضي، كانت مصنوعة من فسفيد زرنيخيد الغاليوم (GaAsP). وكانت هذه النبائط تصدر ضوءاً أحمر منخفض السطوع، كما كانت في الأغلب تستعمل كعارضات رقمية في الحاسبات البدائية. ورغم أن كفاءة الديودات المصدرة للضوء تنامت بصورة مطردة خلال الأعوام الثلاثين التالية إلا أن خرج الضوء من ديودات مصدرة للضوء مبنية على الغاليوم، بما فيها نبائط فسفيد الغاليوم (GaP) وزرنيخيد الغاليوم ألمنيوم (AlGaAs)، بقيت منخفضة وكانت تقتصر على اللون الأحمر والطرف الأخضر من الطيف، مما يعني أن هذه النبائط كانت تستعمل كمكاشيف: مثل أضواء الوصل والفصل on/off في المعدات الإلكترونية.

لم يبدأ الاهتمام باستخدام الديودات LEDs لأغراض الإضاءة قبل أوائل التسعينيات من القرن الماضي، وذلك عندما طور باحثون لدى هيولت باكارد ديوداً مصدراً للضوء عالي السطوع مبنياً على فسفيد الغاليوم والأنديموم والألمنيوم (AlInGaP)، وكانت هذه النبائط ساطعة بسبب إمكان تنميتها على ركازات شفافة لا تمتص الضوء. وبعد ذلك مباشرة طور شوجي ناكامورا Sh. Nakamura الذي يعمل لدى شركة الصناعات الكيميائية نيتشيا في اليابان، أول ديود مصدر للضوء الأزرق عالي السطوع على نطاق تجاري مستخدماً مواد تبريد الغاليوم (انظر Physics World، شباط عام 1998، ص 31-35). وتابع ناكامورا العمل لتطوير "ديودات مصدرة للضوء الأبيض وديودات مصدرة للضوء الأخضر ذات كفاءة عالية مبنية على تبريد الغاليوم.

واليوم، تمتد الديودات LEDs لتشمل كل المجال المرئي، باستخدام

بدأ حلم الإنارة الفعالة من الحالة الصلبة بالظهور منذ أربعين عاماً من اليوم الذي أصبحت فيه الديودات المصدرة للضوء (LEDs) الوحيد اللون واقعا تجارياً. وفي حين يولد المصباح المتوهج الضوء عن طريق فتيل من التنغستين إلى درجة عالية جداً، فإن الديودات المصدرة للضوء تعتمد على حركة الإلكترونات في نبائط من أنصاف النواقل. وهذا يعني أن منابع الضوء من الديودات المصدرة للضوء أكثر كفاءة ومردوداً لأن الطاقة المتحولة فيها إلى ضوء تكون أكبر من الطاقة المتحولة إلى حرارة. وعلاوة على ذلك، تكون الديودات المصدرة للضوء أطول عمراً لأنها لا تعاني من الاضمحلال بسبب الحرارة.

إن الديود المصدر للضوء LED هو في الأساس وصلة بين نصف ناقل من "النمط p"، الذي يتميز بنقص في الإلكترونات، ونصف ناقل من "النمط n"، الذي يحتوي على فيض من الإلكترونات (الشكل 1). ويمكن تحقيق هذه الخواص الإلكترونية المتباينة بإشابة doping نصف ناقل نقي كزرنيخيد الغاليوم بذرات تستطيع أن تضيف لنصف الناقل شحنات إضافية سالبة أو موجبة (تعرف الموجبة منها باسم "ثقوب holes"). فعندما تطبق فولتية بين طرفي النبيطة تعود الإلكترونات والثقوب إلى الاتحاد عند الوصلة p-n وتنتج فوتونات. ويعتمد الطول الموجي لهذا الضوء ولونه على عرض فرجة الطاقة بين عصابتي النقل والتكافؤ في نصف الناقل المستخدم.

إن الديودات الأولى المصدرة للضوء التي عرضها نيك هولونيوك N. Holonyak وزملاؤه من جنرال إلكتريك في الستينيات من القرن

البؤرة، مما يزيد من إنقاص الخرج أكثر فأكثر. لذا فإنه من المهم أن نجد وسائل لاستخلاص فوتونات أكثر من تلك التي تولدت داخل الديود المصدر للضوء.

توجد طرق كثيرة لتحسين مردود الاستخلاص، كاستعمال أشكال هندسية مختلفة للشبيبات، وحك texturing سطح الشبيبة، وخلق بني ذات تجاويف تجاوبية تشبه تلك التي تستعمل في الديودات الليزرية. ويعدُّ الهرم المقلوب المقطوع من أنجح المقاربات الهندسية، إذ يستطيع أن يقود إلى مردودات استخلاص أكبر من 60% عن طريق تقليل الانعكاس الداخلي. كما أن إدخال الخشونة على سطوح الشبيبات يمكن أن يقلل كمية الضوء المأسور في النبائط. فالباحثون لدى شركة أوسرام لأنصاف النواقل الضوئية OSRAM Opto Semiconductors في ألمانيا، على سبيل المثال، أنتجوا حديثاً ديوداً مصدراً للضوء LED ذا سطوح عال جداً عبر استخدام تقانة الأفلام الرقيقة عن طريق حك السطوح الداخلية للنبائط بعواكس مكروية.

يتمثل مشعر الأداء الحاسم لأي منبع ضوء أبيض في كفاءة الإنارة luminous efficacy التي تُعدُّ مقياساً لخرج الضوء الكلي للمنبع بالمقارنة مع الطاقة التي يستهلكها. ويدعى خرج الضوء الكلي تدفق الإنارة luminous flux، الذي يقاس بوحدات الجملة الدولية SI بالواط. ونحصل على كفاءة الإنارة عملياً بوزن التدفق المشع radiant flux للمنبع بدالة الاستجابة للعين البشرية، لأن العين ذات حساسية متباينة للضوء تبعاً للطول الموجي. وتأخذ هذه الدالة شكل منح ناقوسي تقع ذروته عند الطول الموجي 555 nm ويعرض يقارب 300 nm.

إن المصابيح المتوهجة، على سبيل المثال، والتي تستعمل لإنارة منازلنا، ذات رتبة تعادل حوالي 15 لومن لكل واط، في حين تصل رتبة مصابيح الفلورة الخطية النموذجية 85 لومن لكل واط. أما الديودات المصدرة للضوء الأبيض المتاحة تجارياً فتنتج حالياً حوالي 30 لومن لكل واط، مع أن نبائط النموذج الأولي التي طورتها Cree للإنارة في كاليفورنيا وشمال كارولينا، وكذلك مجموعة المؤلف التي تعمل في مركز أبحاث الإنارة في نيويورك تستطيع تحقيق كفاءات تفوق 75 لومن لكل واط.

هذا، وستأخذ بعض تلك النبائط طريقها إلى السوق خلال السنتين القادمتين، وقد وضعت صناعة الإضاءة باستخدام الحالة الصلبة في الولايات المتحدة لنفسها هدف تطوير ديودات LEDs للضوء الأبيض ذات قيم كفاءة تزيد عن 150 لومن للواط الواحد بحلول عام 2012. إن جهازاً كهذا سوف يستخدم طاقة تقل بمقدار 90% عن الطاقة التي يستهلكها مصباح التوهج الأبيض كما إنه لن يستخدم إلا نصف الطاقة التي يستهلكها مصباح الفلورة الذي يمتلك نفس الخرج الضوئي.

نبائط أنصاف نواقل AlInGaP تنتج أضواءً من الأحمر وحتى الأصفر الضارب إلى الحمرة وهو لون الكهرمان (العنبر) InGaN التي تعمل عند أطوال موجية تمتد من الأحمر وحتى الأزرق. وهذا مهد السبيل أمام ديودات LEDs تصدر اللون الأبيض يمكن أن تستخدم للإنارة العامة.

إن إمكانية الوصول إلى كفاءات أعلى وأعمار أطول (أكثر من 50000 ساعة، بحيث تعد أطول بحوالي خمسين ضعفاً من المصباح المتوهج)، يضاف إليها التأثير البيئي المنخفض للديودات LEDs ذات السطوح العالي، قد أدت إلى نمو سريع في بحوث الديودات LED على مدى السنوات الخمس الأخيرة. إن الحكومات في الولايات المتحدة وأوروبا وآسيا عبر إقرارها لإمكانات التقانة المحتملة، وضعت مبادرات تمويلية لتسريع تطوير منابع ضوء الحالة الصلبة وتطبيقاتها. وفي أثناء ذلك، ولكي تفيد من هذا التنامي، أقامت شركات الإنارة التقليدية أمثال فيليبس وجنرال إلكتريك مشاريع تجارية مشتركة مع شركات أنصاف النواقل الكبرى بما في ذلك Agilent Technologies and Emcore، في حين اندمجت أوسرام سيلفانيا OSRAM SYLVANIA مع مجموعة سيمينز لأنصاف النواقل.

### الحالة الصلبة بوصفها تحدياً

ما الذي يحول إذاً دون الانتقال من عصور "ظلام" المصابيح المتوهجة والأنابيب المفلورة إلى العالم الدينامي للإنارة بنبائط الحالة الصلبة؟ تكمن المشكلة في الخرج الضوئي الكلي الضعيف للديودات LED، وذلك بسبب عاملين اثنين.

العامل الأول هو أن الإلكترونات والثقوب في الديود المصدر للضوء لا تنتج دوماً ضوءاً عندما تعود للاتحاد - إذ تنتج في بعض الأحيان حرارة. ويطلق على النسبة المئوية لأزواج الإلكترونات والثقوب التي تعود للاتحاد لتنتج فوتونات اسم المردود (الكفاءة) الكمومي الداخلي internal quantum efficiency. ويعتمد هذا الرقم على نوعية مادة نصف الناقل وعلى عملية التصنيع. ففي مجال الطول الموجي الأحمر، على سبيل المثال، غالباً ما يصل المردود الكمومي الداخلي إلى 100%، في حين يقارب 50% في الأزرق المتأخر.

أما العامل الثاني الذي يحدد خرج الديود LED فيدعى مردود الاستخلاص extraction efficiency. فالتأثيرات الضوئية المختلفة مثل الانعكاس الداخلي الكلي وانعكاس فِرِنل تعني أن أقل من 30% من الفوتونات المتولدة داخل شبيبة الديود المصدر للضوء تترك للنبائط بالفعل كضوء مرئي. وما تبقى من الفوتونات المتولدة ينعكس ذهاباً وإياباً داخل الشبيبة إلى أن يتم امتصاصه أخيراً. وبالإضافة إلى أنها تقلل الخرج، فهي تولد أيضاً حرارة يمكن أن تسبب عيوباً في

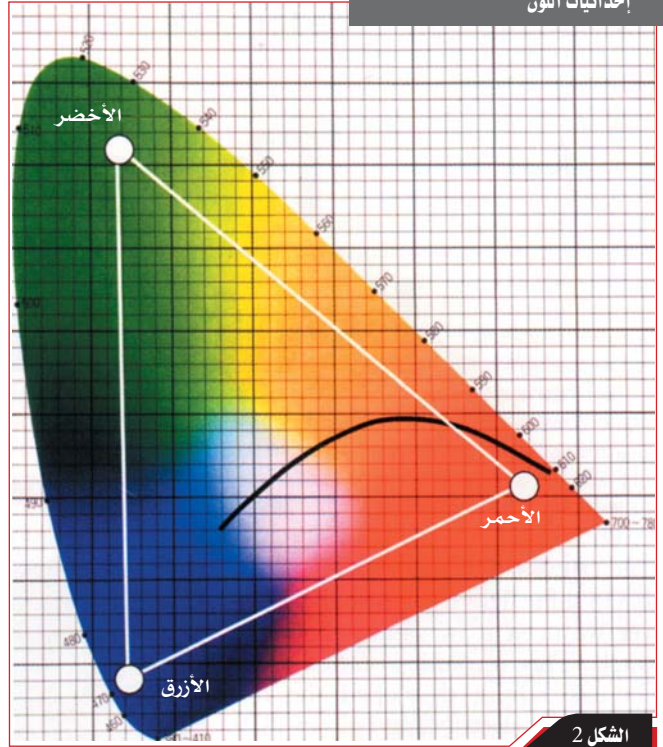
## الديودات المصدرة للضوء الأبيض

توجد في الوقت الحاضر طريقتان أساسيتان للحصول على الضوء الأبيض من الديودات المصدرة للضوء (LEDs). ففي الطريقة الأولى يتم إثارة الفسفور بضوء أزرق أو بضوء فوق بنفسجي قريب مأخوذ من ديود مصدر للضوء. أما الطريقة الثانية فتقوم على مزج الضوء القادم من ثلاثة ديودات مصدرة للضوء أو أكثر بنسب ملائمة. وتستخدم الطريقة الأولى فسفورات عقيق الإيتريوم والألمنيوم المطعم بالسيريوم (YAG:Ce) في أغلب الأحيان وهي المادة الأصلية المستخدمة لصنع الديودات LEDs المصدرة للضوء الأبيض. وفي هذه النية، يجري امتصاص جزء من الإشعاع القصير الموجة (الأزرق) الذي ولده الديود LED ثم يعاد إصداره في مجال الطول الموجي الممتد من المتوسط إلى الطويل (الأصفر إلى الأحمر) من الطيف المرئي. وهنا تتلقى العين الإشعاع المدمج وتحسُّ به كضوء أبيض، ولكن هذا الضوء لا يلائم بصورة كلية التطبيقات العامة للإضاءة لأن خواصه اللونية ليست جيدة. وهذا ما حث الصانعين على استخدام مزائج مكونة من فسفورين مختلفين أو أكثر لتحسين لون الديودات LEDs المصدرة للضوء الأبيض. أما العيب الآخر للديودات LEDs المصدرة للضوء الأبيض المحوّل بالفسفور فهو فقد الطاقة عندما تحول الفسفورات الضوء من مجال للطول الموجي إلى مجال آخر، الأمر الذي يؤدي إلى تقليل المرود الكلي للنية.

ولما كان الهدف هو صنع ديودات LEDs تصدر الضوء الأبيض وذات خرج ضوئي عال، فإن الباحثين يحاولون الآن تحديد هوية فسفورات وطرق أكثر كفاءة لتطبيقها داخل الديودات LEDs المصدرة للضوء الأبيض. وقد طورت حديثاً مجموعة المؤلف التي تعمل في مركز أبحاث الإنارة طريقة تدعى استخلاص الفوتونات المتبعثرة scattered photon extraction، التي أحدثت تحسيناً ملموساً في كفاءة الإنارة. وخلافاً لديودات الضوء الأبيض LEDs التقليدية، التي توضع فيها طبقة الفسفور فوق وصلة نصف الناقل مباشرة، فقد نقلنا طبقة الفسفور بعيداً عن نصف الناقل وشكلنا عدسة الديود LED بحيث تسمح للفوتونات التي سيتم امتصاصها داخل الديود LED بالهروب على شكل ضوء مرئي.

تعدُّ الطريقة البديلة لتوليد الضوء الأبيض (أي ضم عدة ديودات LEDs ملونة) أكثر مرونة من طريقة الفسفور. وذلك لأن صفيقة من الديودات LEDs المتعددة الألوان تستطيع أن تولد ظلالاً عديدة من الضوء الملون والضوء الأبيض، وذلك بتغيير نسب الخرج لكل ديود من الديودات LEDs الملونة. وعلى سبيل المثال، لو أخذنا ثلاثة ديودات LEDs - بحيث يكون واحد منها أحمر، وواحد أخضر والثالث أزرق

إحداثيات اللون



الطريقة الأكثر انتشاراً لوصف مظهر الضوء هي استخدام مخطط "اللونية" كهذه الخارطة التي وضعتها الهيئة الدولية للإنارة لعام 1931. والتي يوصف اللون فيها بدلالة إحداثيين اثنين. فالمحيط الخارجي للخارطة هو المحل الهندسي للمنابع الوحيدة اللون في المجال المرئي (تبين الأعداد الطول الموجي للضوء مقدراً بالنانومتر). في حين يدل الخط الأسود المتصل على لونية الإشعاع لمنابع جسم أسود. وفي العادة، يصمم المصنعون مناابعهم بحيث تقع على هذا الخط أو قريبة منه لأنها تكون مصاحبة لضوء أبيض بصورة نظامية. وعلى كل حال، يعتمد المظهر الحقيقي للمنبع أيضاً على متحولات أخرى كثيرة، نذكر من بينها السطوع والامتداد المكاني والألوان المحيطة.

لكن كفاءة الإنارة ليست هي الوسيط الوحيد الذي يؤخذ في الحسبان عند تطوير منبع ضوئي - إذ ينبغي أن يكون للضوء أيضاً بعض الخصائص اللونية إذا أريد له أن يثير جسماً أو حيزاً بصورة فعّالة. وعلى سبيل المثال، بينما من الممكن أن تولد ضوءاً أبيض بمزج ضوء من منبعين ضوئيين أحاديي اللون، فإن الضوء الناتج من مثل هذا المزج لا يجعل ألوان الأجسام جيدة جداً لأن ضوء الجسم يعتمد على الطول الموجي الخاص للضوء الذي يعكسه. فإذا كان الضوء لا يحتوي على ذلك المكوّن للطول الموجي، فسيظهر الجسم أسود. لذا فإن المنبع الأبيض الذي يحتوي على أطوال موجية موزعة على امتداد الطيف المرئي يتمتع بخواص ممثلة للضوء تكون أفضل بكثير من منبع ضيق العصابة.



ماذا ستشبه ثورة الإضاءة؟

يمكن للمصابيح الضوئية المبنية على الحالة الصلبة أن تأخذ أشكالاً كثيرة، بدءاً من المصابيح والأنابيب التقليدية إلى السطوح المتوهجة التي تعتمد التقانة الحديثة المتطورة والشاشات المضادة من الخلف. إن تطبيقات الديودات LEDs الأكثر انتشاراً من سواها حتى الآن تتمثل في إشارات



“الخروج EXIT” وإشارات المرور. وفي هذه التطبيقات الأخيرة، تُشكل ترتيبات تشبه قرص العسل (مُثقبة) من ديودات LEDs ملونة (الصورة على اليمين) لتحل محل المصابيح التقليدية المتوهجة بالضوء الأبيض موضوعة خلف مرشحات ملونة (الصورة على اليسار). بالرغم من أن أحدث إشارات المرور هي الديودات LED فقد يكون من الصعب تمييزها عن الإشارات التقليدية لأنها تستخدم بصريات مختلفة لتزيد من خرج الضوء. وينطبق الشيء نفسه على أضواء مكابح السيارات. حيث غالباً ما يستخدم المصنعون بصريات إضافية لإعطاء منبع الضوء من الديود LED مظهراً أكثر انتظاماً. هذا وتستطيع ديودات LEDs أن تزود بكل ما تحتاجه التركيبات الضوئية الثابتة والمرضية من الناحية البصرية والتي لا تشبه النبائط التقليدية. لكن قد توجد تطبيقات لا بدّ أن تستخدم فيها الديودات LEDs ومن ثم فهي تشبه المنابع التقليدية. وفي حين لا يكون من الصعب صنع ديودات LEDs تشبه المصابيح التقليدية، بل أكثر من ذلك تلك التي تلائم تركيبات الإضاءة الموجودة حالياً. فإن أداءها قد يكون ضعيفاً لأن الحرارة في المصباح المتوهج تنتشر بالإشعاع وبالحمل. أما بالنسبة للديودات فإنه إذا لم يتدبّر أمر هذه الحرارة بشكل ملائم فإنها ستتحبس ضمن التركيبة الثابتة وستقلل من عمر الديودات LEDs.

ولكي جُني كل فوائد تقانة الإضاءة باستخدام الحالة الصلبة، فإن الأفضل أن نشكّل ديودات LEDs بصورة مختلفة ونطبقها بأساليب جديدة لإضاءة أماكن معيشتنا وعملنا. ونظراً لحجم الديودات LEDs الصغير وصلابتها وأعمارها الطويلة، فمن الممكن طمئنها في الأبنية فتحدث ثورة في الإضاءة الكهربائية بتطبيقات مثل تآلق الجدران والأسقف. ولكي يأخذ هذا التحول مجراه، نحتاج أيضاً إلى تغيير في البنية التحتية لأبنيتنا وفي كيفية توزيع الطاقة والتحكم بها، وبالإضافة إلى البحث عن طرق وأساليب لدمج الإضاءة باستخدام الحالة الصلبة في تركيبات الأبنية، فقد بدأت مجموعات التي تعمل في مركز أبحاث الإضاءة (بالتعاون مع العديد من الشركاء الصناعيين) بالتصدي لهذه المسألة بالبحث عن طرق لجعل الإضاءة تتغير بسهولة كما يتغير ترتيب الأثاث أو زينة المنزل وزخرفته.

– فإن كل واحد منها يقابل نقطة على مخطط اللونية chromaticity (R و G و B diagram)، ولذلك فهي تشكل مثلثاً (الشكل 2). وبتغيير نسبة خرج الضوء لهذه النبائط، يصبح من الممكن تكوين أي لون بقيم لونية chromaticity values تقع ضمن هذا المثلث، بما فيها الضوء الأبيض بمزيج مناسب من R و G و B.

ينبغي أن يكون خرج ضوء وحيد اللون لتوليد ضوء أبيض، من حيث المبدأ، أكثر كفاءة من طريقة التحوّل الفسفوري لأن الطاقة لا تضيع نظراً للتحوّل نحو الأدنى. ومن الناحية التطبيقية، نحتاج إلى مكونات ضوئية إضافية لمزج الضوء من الديودات LEDs المختلفة، ولكن هذه العملية تؤدي إلى ضياعات وفقدان طاقة. وفي النتيجة، يعد الحصول على الضوء الأبيض من الديودات LEDs بالتحوّل الفسفوري أكثر كفاءة الآن من المنظومات الملونة الممزوجة.

إنارة المرافق niche lighting

بعد أن تغلب المصنّعون على التحديات التي تواجه تنقية اللون وزيادة خرج الضوء من الديودات LEDs، فأين نتوقع أن نرى الإنارة بنبائط الحالة الصلبة تأخذ مجراها في حيز التنفيذ؟ لقد نشرت في أوائل السبعينيات من القرن الماضي إحدى مجلات العلوم الشعبية صورة لغرفة معيشة مضادة بلوحة من ديودات LED مكونة من ديودات الضوء الأحمر والأخضر والأزرق. وفي الحقيقة، تمثل إضاءة عامة كهذه الهدف الأخير للديودات LEDs، لكن هذه التقانة سبق لها أن أظهرت مقدرتها في تطبيقات متعددة لإنارة المرافق.

يتمثل الاستخدام البيهبي لديودات LEDs في التطبيقات التي تتطلب ضوءاً ملوناً. وفي الوقت الراهن، فإن أكثر الطرق انتشاراً لتشكيل ضوء ملون يكمن في وضع مرشحات ضوئية أمام منابع الضوء التقليدية، لكن امتصاص الألوان غير المرغوب بها يهدر كمية كبيرة من الطاقة. ومن جهة أخرى، فإن الديودات LEDs تنتج ضوءاً أحادي اللون تقريباً عند طول موجي محدد بكفاءة عالية. ومنذ أواخر التسعينيات من القرن الماضي حلت الديودات LEDs ذات السطوح العالي محل مصابيح التوهج التقليدية في إشارات المرور لأنها تستهلك طاقة أقل (حوالي 20% من الطاقة التي تستهلكها المصابيح المتوهجة) ولا تتطلب استبدالاً متكرراً. ويعد هذا واحداً من التطبيقات التي ستجعل المصباح المتوهج مهجوراً أو طرازاً قديماً في غضون السنوات القليلة القادمة (انظر المؤطر في الصفحة 42). لكن استخدام الضوء الملون لا يقتصر على العلامات والإشارات وشاشات العرض. فخلال السنوات القليلة الماضية، استثمر المهندسون المعماريون الديودات LED لتشكيل بيئات تُسرُّ الناظرين. فقد تم دمج صفيقات من ديودات

## ديودات LEDs في الهواء

الأخرى إنارة بنبائط من الحالة الصلبة لخلق أجواء مختلفة. وإن النزعة المتزايدة نحو السينما المنزلية قد تخلق أول تطبيق على نطاق واسع للديودات LEDs للاستخدامات السكنية. وفي الحقيقة، ستبدأ لوحات مسطحة بقصد تعزيز شعور المشاهدة عبر تغيير إضاءة الوسط المحيط بالشاشة اعتماداً على لون المحتوى الموصوف.

إذا وضعنا الجانب الجمالي جانباً، قد يكون للضوء الذي يتمتع بمحتويات طيفية خاصة تأثيرات فيزيولوجية، مثل تنظيم دورة النوم والاستيقاظ. فالضوء الأزرق، على سبيل المثال، أظهر مقدرة على مساعدة الناس الذين يعانون من عدم انتظام في النوم. وحديثاً، استخدم الباحثون في مجموعتنا الديودات LEDs لتحسين عادات النوم للمرضى في منشآت العناية الطويلة الإقامة.

وفيما يتعلق بالديودات LEDs المصدرة للضوء الأبيض، فإن بإمكانها عملياً أن تتفوق على منظومات الإنارة التقليدية في تطبيقات إضاءة بعض المرافق، مثل استخدام الأنابيب المفلورة في مجمدات البيع الكبيرة (السوبر ماركت). ونشير إلى أنه في البيئة الباردة، يهبط ضغط بخار الزئبق داخل هذه الأنابيب، الأمر الذي يؤدي إلى تقليل خرج الضوء ويحد من عمر المصابيح المفلورة - في حين أن هذا الأمر لا يشكل معضلة في الديودات LEDs.

ثمّة صناعة واحدة لا ريب أنها تستفيد من هذه المنابع المأخوذة من الحالة الصلبة والتي لا تتأثر بالاهتزازات العالية التي يمكن أن تسبب فشل منابع الضوء التقليدية في أداء عملها، ألا وهي النقل transport ولاسيما لصانعي السيارات وخطوط الطيران، فبعض الخطوط الجوية تستخدم الآن ألوان الديودات LEDs المتغيرة داخل حجرات الركاب (انظر الشكل 3)، كما أن سيارة الفوكس فاكن بلاس الجديدة ذات أضواء ذيل tail lights صنعتها شركة الإضاءة الاختصاصية Hella التي تستعمل الديودات LEDs لإنتاج الضويعين الأحمر والكهرماني كليهما.

سوف تقدّم الديودات LEDs المصدرة للضوء الأبيض العالي السطوع في وقت قريب إنارة عامة أكثر كفاءة للحجرات في الطائرات، وستتيح الأضواء الأمامية في السيارات التي تولدها منابع الحالة الصلبة منظومات "إضاءة أمامية متقدمة" تستطيع فيها الحزمة أن تتغير اعتماداً على وضعها. وعلى سبيل المثال، حينما تنعطف بسيارتك إلى اليمين تستطيع الحزمة أن تسطع نحو الجانب الأيمن من المركبة لتؤمن رؤية أكبر أو لربما يمكن للظيف أن يتغير أثناء حالات الضباب كي يسمح برؤية أفضل وتشتت أقل (كأن يزداد محتوى الطول الموجي الأطول، "الضوء المصفر"). وفي السنة



الشكل 3

ستدخل شركة بوينغ Boeing الإضاءة باستخدام الحالة الصلبة قريباً إلى الجيل القادم من طائراتها التجارية لتؤمن إضاءة مختلفة في أوقات مختلفة من الطيران. وفي غضون ذلك، أدخلت إيرباص Airbus أول أضواء قراءة بالديود LED في الخطوط الجوية لنقل المسافرين. ويمكننا أن نتوقع ديودات LEDs مصدرة للضوء الأبيض في وقت قريب - وهذه تتمتع بعمر أطول وتستهلك قدرة أقل بكثير من القدرة التي تستهلكها المنابع المتوهجة التقليدية - كي تؤمن إنارة عامة داخل حجرات الطائرة.

## المستقبل مسطح



الشكل 4

هذه اللوحة المضاء بالحالة الصلبة صنعتها شركة جنرال إلكتروك GE وتتألف من بضع لوحات من ديودات عضوية OLEDs وتولد ضوءاً منتشراً بكفاءة تبلغ 15 لومن لكل واط.

LEDs متعددة الألوان في تركيبات ضوئية مثبتة، تزودها شركات عدة مثل شركة الحركيات اللونية Color Kinetics في بوسطن ومنظومات TIR في كندا، لتقديم خيارات تغيير اللون. إن بعض مخازن البيع بالتجزئة، على سبيل المثال، تستخدم الآن ديودات LEDs لتأكيد الوسط ولفت انتباه الزبائن. وبالمثل، تتبنى المطاعم ومواقع الضيافة

مصنوعة من ديودات عضوية OLEDs تُنتج أكثر من 1200 لومن من الضوء الأبيض بكفاءة تبلغ 15 لومن لكل واط (الشكل 4). ويركز التحدي الآن على إثبات أن النبائط الإلكترونية العضوية يمكن إنتاجها على ملاءات من البلاستيك بتكلفة مجدية، لذا ستمضي بضع سنوات أخرى على الأقل قبل أن نرى OLEDs قيد الاستخدام في تطبيقات الإنارة بالضوء الأبيض.

هذا صحيح من أجل صناعة الإنارة باستخدام الحالة الصلبة عموماً. ورغم أن الديودات LEDs تبدو واعدة للاستخدام في كثير من التطبيقات، لكن ستمضي سنوات عديدة أخرى قبل أن نرى وقع التقانة على سوق الإنارة العام. وكما تكسب تقانة الديود LED الأبيض استخداماً واسع الانتشار، لا بد من تحسين أكبر في خواص ضوئها من حيث المردود واللون، في حين ينبغي أن تستمر التكلفة في الانخفاض.

ومع زيادة شركات عديدة في العالم تنتج من الديودات LEDs، ومع وجود مجموعات عديدة من التطبيقات مهيأة للاستخدام، فإن تغلغل (اختراق) LEDs في السوق سيتنامى بسرعة. إن الإنارة باستخدام الحالة الصلبة مسألة "وقت لا مسألة" يقين، وإن ثورة الإنارة أخذت تشق طريقها الآن.

الماضية أطلقت شركة أودي Audi أول أضواء LED للسياسة في النهار باستخدام ديودات LEDs تصدر اللون الأبيض العالي القدرة من إنتاج شركة Lumileds. وتقدم الأضواء الأمامية بالحالة الصلبة مزيداً من التحدي لأنها بحاجة لأن تكون ساطعة إلى أبعد الحدود، ولكن نماذج إنتاجها الأول يمكن أن تظهر في أوائل عام 2008.

### ديودات عضوية مصدرة للضوء

إن كل الديودات LEDs التي درسناها حتى الآن مصنوعة من أنصاف نواقل لا عضوية مثل زرنبيخيد الغاليوم. لكن هناك تقانة أخرى للإنارة بالحالة الصلبة نمت وتطورت بسرعة وهي تقانة الديود المصدرة للضوء المصنوع من البوليمير، والذي يسمى أيضاً الديود العضوي المصدرة للضوء ويرمز له بالرمز OLED. ولكن الديودات العضوية OLEDs، خلافاً للديودات LEDs التي تولد ضوءاً نقطياً من منبع عالي الشدة، إنما تولد ضوءاً منتشرًا منخفض السطوع يغطي مساحة كبيرة. وهذا يعني أن تقانة OLED يمكن استخدامها لتكوين عارضات displays ذاتية التلق ولا تتطلب إضاءة خلفية. لكن الحلم النهائي يتمثل في تكوين ملاءات من منابع ضوئية مكونة من أوراق رقيقة وليئة تستطيع أن تشكل بدائل فريدة للإضاءة بالمصابيح المفلورة، مثلاً في أجواء المكاتب.

مع الاقتراب من نهاية الثمانينيات من القرن الماضي، عرض ريتشارد فرند R. Friend والعاملون معه في جامعة كمبردج في المملكة المتحدة ديودات عضوية مصدرة للضوء OLEDs تستخدم بوليميرات مقترنة. وبيّنوا أن هناك بوليميراً يدعى بولي فينيلين فينيلين polyphenylene vinylene يصدر ضوءاً أخضر مصفراً. ومنذ ذلك الحين تقدمت بسرعة وتيرة هذه التقانة، وتوجد الآن عدة شركات في مناطق من العالم نذكر منها: شركة تقانة العارضات في كمبردج، وشركة جنرال إلكتريك، واتحاد العارضات العالمي ودوبونت. تقوم هذه الشركات الآن بعمليات تصنيع المنتجات للتسويق.

إن تقانة الديود العضوي OLED تنمو الآن منتبجة آثار تقانة الديود LED فيما يخص المردود والعمر، وإن معظم النبائط الموجودة في السوق الآن صغيرة، وهي تقريباً عارضات وحيدة اللون تستخدم للشارات التعريفية. ولكن، ستزودنا الديودات العضوية OLEDs في نهاية المطاف بدائل للديودات LEDs والضوئيات المصاحبة لها (كتلك التي تستعمل في عارضات الهواتف المحمولة) تكون أرخص وأكثر كفاءة، فتزداد على سبيل المثال أعمار البطاريات.

وعلى نطاق أوسع، عرض باحثون من مركز الأبحاث العالمي لشركة جنرال إلكتريك حديثاً لوحة ضوئية بمساحة قدمين مربعين

نشر هذا المقال في مجلة *Physics World*, July 2005. وتمت ترجمته في هيئة الطاقة الذرية السورية.



## ملخص

هناك تجارب حديثة تكشف النقاب عن أن الآلية المسؤولة عن خواص الناقلية الفائقة في المواد التي يدخل النحاس في تركيبها هي في واقع الأمر أشد غموضاً مما كنا نتصور.

## الكلمات المفتاحية

درجات الحرارة العالية، الارتباب، الناقلية الفائقة، المغنطيسية، أزواج كوبر، بوزونات، معادن، عوازل، تقنيات مطيافية.

# ارتباب درجة الحرارة العالية

## توم تيموسك

قبل عقدين من الزمن هز عالمان، هما جورج بدنورز وأليكس مولد العاملان في مخابر IBM للبحوث في زوريخ، عالم الفيزياء باكتشافهما مادة تفقد مقاومتها لمرور التيار الكهربائي تماماً عند درجة حرارة اعتبرت في حينه قياسية هي 36 K. وقد كان يظن قبل ذلك أن الناقلية الفائقة هي ظاهرة منخفضة درجة الحرارة تتطلب تبريداً باهظ الكلفة، فضلاً عن أن اكتشاف شركة IBM هذا، الذي منح بفضله العالمان المذكوران جائزة نوبل للفيزياء في العام 1987 قد تم على مادة سيراميكية من أكسيد النحاس لم يتوقع أحد أن تكون لها صفات خاصة مميزة.

لقد كثرت تطبيقات هذه المواد التي تدخل هذه "النحاسيات" في تركيبها. إن الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة high-temperature super conductivity. ولاسيما إذا أمكن مدها لتشمل درجة حرارة الغرفة، تفتح آفاق الأمل في تسيير القطارات على وسادة هوائية، وفي صنع كابلات قدرة ذات كفاءة عالية، بل وتصنيع حواسيب عملاقة يعتمد عملها على نبائط تداخل كمومي ذات ناقلية فائقة.

ولكن هذه التطبيقات لم تتجسّد إلا ببطء. أضف إلى ذلك أن الغموض سيبقى يكتنف علم الفيزياء المسبّب هذه الحالة الغريبة للمادة.



ناقل غير اعتيادي - لقد وجد في العام 2002 أن خليطة من البلاتين والكوبالت والغاليوم صيغتها الكيميائية (PuCoGa<sub>5</sub>) تفقد مقاومتها لمرور التيار الكهربائي عند درجة أقل من 18.5 K وهي درجة أعلى بكثير مما كان متوقعاً.

## جدل ساخن

لقد تم اكتشاف الناقلية الفائقة المنخفضة درجة الحرارة والمعروفة بشكل عادي عام 1911 وأدرك العلماء كنهها لمدة تقارب خمسين عاماً. وفي الواقع، جرى استخدامها بشكل روتيني في صناعة مغناط قوية لصالح نباتات مثل أجهزة المسح scanners في المشافي، وكواشف الفيزياء الجسيمية particle-physics detectors. إلا أن عيبها يكمن في حاجتها للتبريد حتى درجات قليلة فوق الصفر المطلق كي تكتسب حالة الناقلية الفائقة.

لما كنا لا نفهم الآلية المسؤولة عن الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة high-temperature superconductivity التي يرمز لها اختصاراً بـ (HTS)، فقد كانت تلوح لنا أسرتان جديدتان من النواقل الفائقة دون سابق إنذار. وكمثال جيد على هذا نذكر الاكتشاف غير المتوقع في العام 2001، للناقلية الفائقة في مركب بسيط هو ثنائي بور المغنيزيوم ( $MgB_2$ ) الذي يغدو فائق الناقلية عند الدرجة الانقلابية 39 K. وعلى نحو مشابه فقد وجد في عام 2002 أن خليطة تحتوي على البلوتونيوم تغدو فائقة الناقلية عند الدرجة 18 K، أي أعلى بثماني مرات من أية مادة أخرى في أسرة الفرميونات الثقيلة heavy fermion (انظر الصورة في الصفحة 45).

ثمة عدة نظريات حول الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة في المواد التي يدخل النحاس في تركيبها، وهي نظريات قادت إلى جدل حاد بين المعنيين العلميين (انظر مجلة Physics World، أكتوبر 1998، ص 12-13)، ولكن منذ البداية وقعت هذه النظريات في معسكرين متعارضين هما: المعسكر الراديكالي بقيادة فيليب أندرسون P. Anderson من جامعة برنستون في الولايات المتحدة الأمريكية، الذي يعتقد أن الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة ظاهرة كمومية جديدة تماماً تتأصل في المغنطيسية القوية لأيونات النحاس، في حين يحاول المعسكر الآخر وهو مجموعة أكثر محافظة (يشتهر ديفيد باينز D. Pines من جامعة إلينوي بأنه أكثر مناصريه) أن يوسع الأفكار السائدة حول الناقلية الفائقة المنخفضة درجة الحرارة بحيث تفسر سلوك المواد التي يدخل النحاس في تركيبها.

ولكي لا يبدو أن أيّاً من المجموعتين قد وجد حتى الآن جواباً عن ذلك، بل توجي بضع نتائج تجريبية حديثة بأن الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة هي أشد غموضاً مما كان يظن. وفي الواقع، توجي إحدى الدراسات بأن درجة الحرارة التي تنتقل فيها المادة إلى حالة الناقلية الفائقة قد يحددها مبدأ الارتباب uncertainty principle.

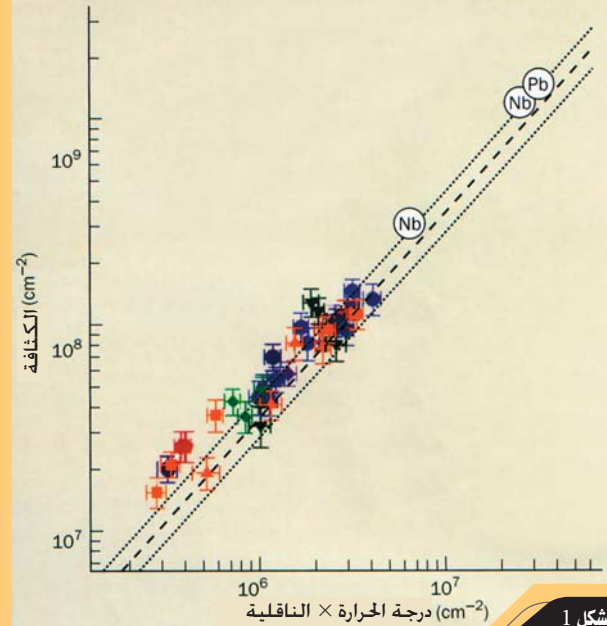
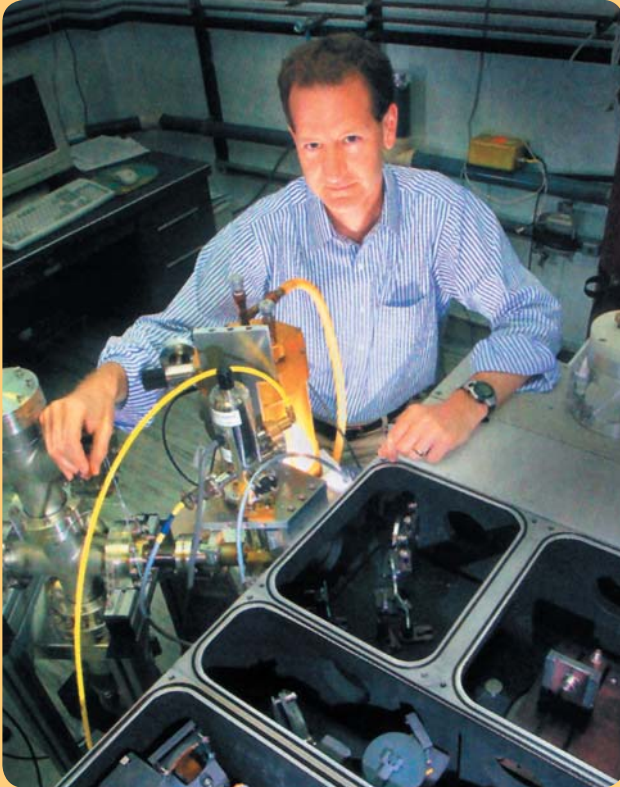
## النواقل الفائقة القديمة والحديثة

دعونا نلقي نظرة سريعة على ما نعرفه عن الناقلية الفائقة في المرحلة التي سبقت تسبب المواد الجديدة التي يدخل النحاس في تركيبها مثل هذا الخلط للأشياء. فلقد كانت لدينا النظرية المتألفة التي عُرفت اختصاراً بنظرية BCS المنسوبة إلى الثلاثي باردين-كوبر-شريفير Bardeen-Cooper-Schrieffer. والتي عزت فقدان المقاومة الكهربائية في بعض المواد إلى تشكيل إلكترونات تعرف بـ "أزواج كوبر" Cooper pairs. ولهذه الأزواج قيم سبينية صحيحة integer تقدر بواحدات كمومية خلافاً للإلكترونات المفردة (الأمر الذي دعيت على أساسه بوزونات bosons) مما يعني أن بإمكانها أن تتكاثف في الحالة القاعدية ground state وتتحرر دون أية مقاومة ولكن الإلكترونات (مثلما يعرف كل تلامذة فيزياء المدارس الثانوية) تتدافع فيما بينها لأنها تحمل شحنات متماثلة.

تنص نظرية BCS على أن أزواج كوبر تتماسك معاً بواسطة اهتزازات الشبكة البلورية. وتكون قوة ترابطها في درجة حرارة الغرفة ضعيفة بحيث تجعل المادة عاجزة عن التغلب على الاضطراب الحراري thermal disorder، ولكن في درجة الحرارة المنخفضة يمكن لأي معدن تقريباً أن يغدو فائق الناقلية. وإنه لمن الغريب أن المعادن ذات الناقلية الفقيرة في الحالة العادية تغدو نواقل فائقة عند درجات حرارة الانتقال القصوى، وعليه فإن أفضل طريقة لاكتشاف نواقل فائقة إنما تتمثل في البحث عنها بين المواد التي كانت نواقل فقيرة.

لماذا يُعدُّ هذا العمل على نواقل BCS الفائقة القديمة مفهوماً جيداً؟ إن اهتزازات الشبكة تتغلب على تدافع الإلكترونات الكولوني coulomb repulsion بألية بسيطة تدعى آلية الإعاقة retardation. لنأخذ إلكترونين A و B على سبيل المثال. إن الإلكترون A يجذب إليه الأيونات ذات الشحنات الموجبة بحيث يشكّل جيلاً صغيراً يحتوي على فائض من الشحنات الموجبة. وعندئذ ينتقل هذا الجيب الصغير، ولكن الأيونات الأثقل تتباطأ وتتخلف عن الإلكترون. وفي الوقت ذاته يتحرك الإلكترون B باتجاه المنطقة ذات الشحنة الموجبة، الأمر الذي ينتج عنه جذب ظاهري. وهنا تسبب هذه الآلية إعاقة حركة الإلكترون عند درجة الحرارة العالية، ولكن القوة ذاتها تربط الإلكترونين معاً في أزواج لتكوين حالة فائقة الناقلية شديدة عند درجات الحرارة المنخفضة.

يفخر الفيزيائيون كثيراً بنظرية الـ BCS، ذلك لأنها تفسر جميع النتائج التي صيغت على النواقل الفائقة. أضف إلى هذا أن بالإمكان



يظهر هنا كريس هومز C. Homes خلف مطياف الأشعة تحت الحمراء في مخبر بروكهافن الوطني. لقد طرح قانوناً عالمياً للتقييس يربط بين درجات حرارة الانتقال العائدة للنواقل الفائقة العالية درجة الحرارة وبين خواصها في الحالة الاعتيادية. ويعرض الرسم على اليمين كثافة السائل الفائق الناقلية بدلالة جداء الناقلية بدرجة حرارة الانتقال للعديد من خلائط أكاسيد النحاس (النقاط الملونة) بالإضافة إلى بعض النواقل الفائقة المعدنية البسيطة التقليدية.

## المعادن الرديئة

ثمة فرق جوهري واحد بين أكاسيد النحاس الحديثة والمعادن العادية، فالأولى هي معادن رديئة جداً، وبكلمات أخرى فهي تتصرف بناقلية كهربائية فقيرة جداً ولكي ندرك السبب علينا أن نذكر أنفسنا بما يجعل بعض المواد معادنً ويجعل بعضها الآخر عوازل. فالمعادن تمتلك عدداً فردياً من إلكترونات التكافؤ valence electrons في واحدة الخلية للبنية البلورية، أما تلك التي تمتلك عدداً زوجياً من إلكترونات التكافؤ فهي مواد عازلة.

إن لأكاسيد النحاس عدداً فردياً من إلكترونات التكافؤ، وعليه فإننا نتوقع أن تكون هذه الأكاسيد معادن. ولكن خلافاً للنحاس الصافي الذي تتوضع إلكترونات التكافؤ العائدة له في الطبقة S (أي s shell)، فإن إلكترونات التكافؤ في المواد التي يدخل النحاس في تركيبها تتوضع في الطبقة d من ذرات النحاس. ولهذه الإلكترونات امتداداً حيزياً صغير spatial extent وبالتالي فهي تتجنب بعضها بعضاً وفقاً لمبدأ باولي في الاستثناء exclusion principle. ويسبب هذا عازلاً من نوع خاص يدعى عازل مُت Mott insulator.

استخدامها لحساب الخواص الإلكترونية لأية تركيبة معطاة للذرات. بيد أن لهذا الكم الهائل من المعرفة عيباً خطيراً واحداً على الأقل؛ فهي تعجز عن التنبؤ بالتركيبة الذرية، وبالتالي تعجز عن التنبؤ بالمواد التي تولد ناقلاً فائقاً عالي درجة الحرارة.

ويتجسم هذا الفشل بالتركيبة ثنائي بور المغنيزيوم ( $MgB_2$ ). ففي عام 2001 اكتشف جون أكيميتسو J. Akimitsu ومعاونوه من جامعة أوياما جاكوبين في طوكيو أن درجة حرارة الانتقال العائدة لمركب  $MgB_2$  تقارب ضعف درجة حرارة الانتقال السابقة التي اتصف بها ناقل فائق وفق نظرية BCS. أما ما أخرج الفيزيائيين النظريين، فقد تمثل في كون هذا الناقل الفائق الجديد، الذي يبدو الآن مفهوماً بشكل جيد وفق نظرية BCS، مركباً بسيطاً جاهزاً للشراء من الموردّين الكيميائيين (انظر مجلة Physics World كانون الثاني عام 2002، ص 29-34). وعلى كل حال، لم يخطر ببال أحد أن يتحرى قبل 2001 فيما إذا كان المركب  $MgB_2$  يتصرف بالناقلية الفائقة. ولكن دعنا نترك وراءنا هذا الفصل المزعج ونعود إلى أكاسيد النحاس التي تعدّ أسوأ أبطال الناقلية الفائقة سمعةً.



## قانون جديد للقياس a new scaling law

تتمثل إحدى سيئات علاقة أومورا البسيطة في أنها لا تصلح للتطبيق في جميع الحالات، بما في ذلك الحالة التي تزيد فيها قيمة  $p$  عن 0.16، التي تعدُّ السوية المثلى للإشابة، والتي تكون عندها درجة حرارة الانتقال في أعلى قيمها. ومع هذا، ففي العام المنصرم توصل كريس هومز C. Homes من مخبر بروكهافن الوطني وزملاؤه إلى قانون شامل عبر اشتغال القانون على الناقلية الكهربائية أيضاً. إذ توحي ملاحظاتهم بأنه لإيجاد درجة حرارة الانتقال لمادة ما يكفي معرفة حاصل قسمة كثافة إلكترونات الناقل الفائق على الناقلية الكهربائية عند درجة حرارة الانتقال، وهذا ما يظهر في الشكل (1). وعلاوة على ذلك، يبدو أن هذه العلاقة تصبح صالحة للنواقل الجديدة الفائقة درجة الحرارة وللنواقل الفائقة التقليدية المنخفضة درجة الحرارة أيضاً.

لقد استخدم جان زانن J. Zaanen من جامعة لايدن في هولندا طريقة تحليل الأبعاد dimensional analysis بالإضافة إلى قوانين أخرى بسيطة ترتبط بالناقلية الكهربائية، فبيّن أن قانون هومز الجديد يمكن كتابته بالشكل:  $k_B T_c = \hbar t$  حيث تمثل  $t$  عمر الإلكترونات بين التصادمات، و  $k_B$  ثابت بولتزمان، الذي يحوّل درجة الحرارة إلى وحدات طاقة، و  $\hbar$  هو ثابت بلانك المعروف مقسوماً على  $2\pi$ . ولكن هذا القانون ما هو إلا مبدأً ارتيابه هيزنبرغ الشهير Heisenberg principle الذي يربط بين الزمن والطاقة! وهكذا نكون حسب رأي زانن في موقف محيرٍ حقاً يفيد بأن درجة حرارة الانتقال لناقل فائق عالي درجة الحرارة لا تعطى بدلالة مقياس طاقة يرتبط باهتزازات الشبكة البلورية أو أية آلية أخرى غيرها، بل تعطى بدلالة الارتياح في الميكانيك الكوانتي quantum-mechanical uncertainty.

لقد أشار باتريك لي P. Lee من معهد مساشوستس للتكنولوجيا إلى أن قانون هومز ينطبق على جميع درجات الحرارة حسبما كان معروفاً لبعض الوقت، كما أشار إلى أن صحته عند الدرجة  $T_c$  ليس إلا حالة خاصة. إلا أن الغموض مع ذلك يبقى قائماً فيما يخصّ سبب إعطاء زمن التبعر scattering time بدلالة درجة الحرارة عن طريق مبدأ الارتياح.

يقع قانون هومز ضمن نظريات معسكر فيليب أندرسون حول الناقلية الفائقة عند درجات الحرارة العالية HTS. وفي الواقع، قال أندرسون بأن المواد التي يدخل النحاس في تركيبها لا تقع على سلسلة متصلة continuum بين تكاثف (بوز - أينشتاين) للأزواج

يمكن تحويل عازل مُت إلى معدن عن طريق معالجته بشوائب ذات تكافؤ مغاير للمركب الأم، ولكنه سيظل معدناً رديئاً. فعلى سبيل المثال يتحول عازل مُت من نوع أكسيد نحاس اللانتانيومي إلى ناقل بإضافة شائبة السترونسيوم إليه. ففي عملية الإشابة يقوم السترونسيوم، الذي يمتلك إلكترونًا واحداً أقل من اللانتانيوم والذي يحتل مكانة، باكتساب إلكترون من جزء أكسجين النحاس في واحدة الخلية، مخلّفاً وراءه ثقباً hole. إن هذه الثقوب هي التي تنقل التيار، وهي التي تصبح ناقلة فائقة الناقلية في درجة الحرارة المنخفضة وذلك عن طريق تشكيل أزواج كوبر Cooper pairs. إن درجة حرارة الانتقال الفائقة الناقلية للنحاسيات تزداد بازدياد عدد الثقوب، وهو ما يعبر عنه بالكسر  $p$  fraction من عدد ذرات النحاس حتى قيمة عظمى هي  $p = 0.16$ . وتسمى هذه القيمة: القيمة المثلى للإشابة، فإذا تجاوزت الإشابة هذه القيمة تتضاءل الناقلية الفائقة ثم تختفي عندما تبلغ نسبة الإشابة القيمة 0.3.

لقد وجد ياسوتومو أومورا Y. Uemura من جامعة كولومبيا في وقت مبكر من تاريخ الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة أنه بزيادة مستوى الإشابة، تزداد درجة حرارة الانتقال  $T_c$  متناسبة مع كثافة المادة الشائبة، وأدّى ذلك إلى ما يدعى معادلة أومورا وهي:  $T_c = C_p$  حيث تمثل  $T_c$  درجة حرارة الانتقال و  $C_p$  ثابتاً و  $\rho$  تركيز المادة الشائبة.

إن هذه العلاقة البسيطة بين كثافة حوامل carriers الشحنة المسببة للناقلية الفائقة ودرجة حرارة الانتقال قادت إلى موديل مبسط للناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة وذلك بدلالة أزواج الإلكترونات المترابطة بقوة شديدة. وعلى الرغم من أن معسكري الفيزيائيين النظريين المهتمين بال HTS مرتاحان لهذه الفكرة، فإن طبيعة القوى الرابطة نفسها بقيت مثار جدل، خمسة عشر عاماً بعد ذلك. إذ يُظنُّ أن أزواج الإلكترونات تتشكل مسبقاً عند درجة حرارة أعلى بكثير من درجة حرارة الانتقال الحقيقية ولكنها تعجز بسبب كثافتها المنخفضة عن الترابط فيما بينها لتشكل حالة حقيقية من الناقلية الفائقة. ففي درجة حرارة أخفض بكثير يمكن حدوث تكاثف يدعى تكاثف بوز-أينشتاين Bose-Einstein condensation حيث تشكل الأزواج بموجبه حالة كمومية جماعية collective quantum state، فإذا كانت هذه الأزواج تحمل شحنة كهربائية فستكون تلك الحالة ناقلاً فائقاً.

الإلكترونية المتشكلة وبين أزواج كوبر وفق نظرية BCS، حيث تبلغ كثافة أزواج الإلكترونات عند درجات الحرارة المنخفضة قدرًا يسمح بحدوث تكاثف. وعضواً عن ذلك، لا بد من اشتغال الأمر على نوع جديد من انتقال الطور phase transition (ربما يكون انتقال تقييد-وتحرير confinement-deconfinement transition).

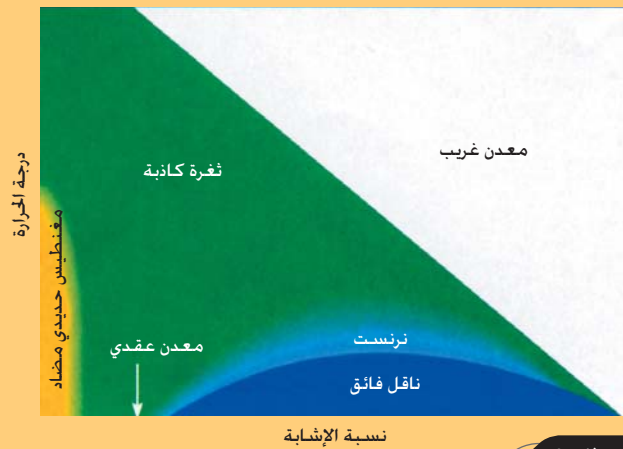
ويعني أندرسون بهذا انتقالاً من حالة درجة الحرارة العالية التي تفقد فيها الخواص الأساسية للإلكترونات كالسبين والشحنة مغزاهما بسبب وجود قوى مغناطيسية قوية، وبسبب حالة درجة الحرارة المنخفضة التي تستعيد فيها الإلكترونات هذه الخواص، وبالتالي تحدث أخيراً ظاهرة الناقلية الفائقة. هذا ويعتقد أن حالة مماثلة تحصل للبروتونات التي تبقى رهينة التقييد في نواة الذرة، حيث تشطر قوى كولور colour القوية البروتون والنترون إلى كواركات quarks ذات شحنة كهربائية جزئية.

وبالإضافة إلى اكتشاف هومز حدثت مؤخراً اكتشافات تجريبية عديدة مدهشة في مخططات طور الحالات المبتكرة من المادة. فنحن نألف جميعاً مخططات طور مواد بسيطة مثل الماء، التي يرسم الضغط فيها عادة بدلالة درجة الحرارة، وبذلك يبدو الجليد على اليسار والبخار على اليمين. أما بالنسبة للنواقل الفائقة العالية درجة الحرارة فإن المرء يرسم درجة الحرارة عادة بدلالة جزء الإشابة الثقوب hole-doping كما هو ظاهر في الشكل (2).

تسلك المعادن التي يدخل النحاس في تركيبها عند سويات الإشابة المنخفضة سلوك مواد عازلة مضادة للمغناطيسية الحديدية. ولكن إضافة المزيد من الثقوب holes يحطم الانتظام المغناطيسي ويحوّل المادة إلى ناقل فائق. لقد فهمنا منذ سنين هذين الطورين للمادة لمنظومات كالهليوم السائل. ولكن النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة تبدي أغرب سلوكياتها وأكثرها شذوذاً في حالاتها الاعتيادية العالية درجة الحرارة.

### حالات مبتكرة

تتمثل أولى هذه الحالات في ما يسمى "الثغرة الكاذبة" pseudogap الغامضة. فدون درجة حرارة معينة، يمكن أن تكون أعلى من درجة حرارة الغرفة بكثير، تنشأ ثغرة جزئية قد لا تنتشر فيها الإلكترونات لدى جميع النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة عندما تكون نسبة الإشابة منخفضة، ويتوقع أن تكون المادة التي تتصف بمثل هذه الثغرة مادة عازلة، بيد أن الغريب هو أن هذه الثغرة لا تشهدا جميع الإلكترونات في النواقل الفائقة العالية



الشكل 2

يعرض مخطط أطوار مادة ناقلة فائقة ما في العادة درجة الحرارة  $T$  بدلالة نسبة الذرات الشائبة  $p$  في المادة. فعندما تكون  $p$  صفراً تسلك المادة سلوك مادة عازلة ذات مغناطيسية حديدية مضادة، وبازدياد قيمة  $p$  تغدو المادة أكثر ناقلية قبل أن تنتقل في نهاية المطاف إلى حالة الناقلية الفائقة. إن سلوك النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة يكون في الحالة العادية غريباً، فهي إما أن تسلك سلوك "المعدن الغريب" الممثلة بالمنطقة البيضاء أو سلوك "الثغرة الكاذبة" الممثلة بالمنطقة الخضراء أو سلوك "منطقة نرنست" (Nernst region) الممثلة باللون الأزرق الفاتح، أو سلوك "المعدن العقدي" المكتشف حديثاً. ومن المعلوم أن حالة الثغرة الكاذبة تشتمل على عقد، بمعنى أن الإلكترونات التي تنطلق باتجاه معين يتم اعتراضها، في حين تمر الإلكترونات الأخرى دون أي عائق. وتبين نتائج حديثة أنه إذا كانت سوية الإشابة منخفضة فإن الثغرة الكاذبة يمكن أن تمتد حتى درجة حرارة الصفر، الأمر الذي يقود إلى معدن عقدي غير اعتيادي. إننا نجهل كيف ترتبط الثغرة الكاذبة بالناقلية الفائقة، إلا أن لكتنا الحالتين عضداً. وتعلو درجة حرارة الانتقال مباشرة حالة مكتشفة حديثاً تعرف باسم حالة معدن نرنست. وهي حالة تتأرجح فيها الناقلية الفائقة، وفيها تتشكل أزواج إلكترونات ولكنها أزواج لا تتربط فيما بينها لتشكل حجماً ذا ناقلية فائقة وذلك بسبب التموجات الحرارية. إن فهم هذه الحالات الجديدة قد يقودنا إلى نظرية في الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة نضسها.

التي توافق الثغرة الكاذبة. وعليه فإن الثغرة الكاذبة يجب أن تنجم عن شيء ما آخر.

وفي مطلع هذا العام أظهر فريق بحث بقيادة أونج Ong نوعاً آخر من الناقلية الفائقة المتأرجحة في (الديامغناطيسية\* diamagnetism) موجوداً عند درجات الحرارة ذاتها والحقول نفسها التي يتولد عندها مفعول نرنست، الأمر الذي يؤكد الصورة المذكورة من تشكل أزواج الإلكترونات. ولكن ينبغي أن نلاحظ وجود تحذيرات كافية في أدبيات الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة (HTS) عن شيء ما مثير سيحدث عند درجة حرارة تفوق تماماً درجة حرارة انتقال الناقلية الفائقة. فهناك مثلاً إثارة مغناطيسية غامضة يطلق عليها اسم (حالة التجاوب 41 meV) في هذه المنطقة، وهي إثارة تمت دراستها بعمق باستخدام المطيافية النترونية والإصدار الفوتوني ذي الميز الزاوي والمطيافية الضوئية.

ثمة مفاجأة أخرى حديثة للمهتمين بظاهرة الـ HTS تمثلت في اكتشاف لويس تيلفر L. Taillefer وزملائه من جامعة شيربروك في كندا لحالة جديدة في مخطط الأطوار تدعى حالة المعدن العقدي nodal metal. فباستخدام تقانة الناقلية الحرارية، التي ترتبط بمقدرة حاملات الشحنة على نقل الحرارة، كما هو الشأن في مفعول نرنست، قام الفريق بدراسة البلورات التي تكون درجة الإشابة فيها منخفضة بحيث لا تسلك سلوك ناقل فائقة وبالتالي فهي تقع في منطقة بعيدة إلى يسار قبة الناقلية الفائقة (انظر الشكل 2).

أوحى التحريات السابقة لهذه المنطقة من مخطط الأطوار أن المواد إما أن تكون عازلة أو ذات ناقلية فائقة. وفي الواقع يمكن للمرء أن يتحدث عن حالة انتقالية بين عازل وناقل فائق. ولكن كانت هناك مشكلة ما حول جودة العينات في هذه الدراسات بسبب صعوبة الإبقاء على البلورات منتظمة عندما تكون الذرات الشائبة قليلة ولأن عدم الانتظام يرجح كفة الانتقال من معدن إلى عازل. لقد كان فريق تيلفر محظوظاً بتنميته بضع بلورات لدى روكسينغ ليانغ R. Liang وزملائه بجامعة كولومبيا البريطانية. ولم تكن هذه البلورات عوازل بل كانت معادن ذات التواء twist؛ ذلك لأنها تمتلك ثغرة كاذبة مماثلة للمواد ذات الناقلية الفائقة القريبة التي حصلت فيها إشابة أعلى بقليل.

وهكذا فقد تعلمنا درساً مهماً، يتمثل في أن الثغرة الكاذبة لا تقود أوتوماتيكياً إلى الناقلية الفائقة. ولما كانت بصمة الثغرة الكاذبة

درجة الحرارة. وبصورة خاصة فإن الإلكترونات التي تنتقل بزواوية مقدارها 45° بالنسبة لروابط الأكسجين - نحاس في المواد التي يدخل النحاس في تركيبها تستطيع الانتقال بحرية تامة في كافة أنحاء البلورة. وتجري الأمور كما لو أن مدينة فيها طريقتان رئيسان ينطلق أحدهما من الشرق باتجاه الغرب وينطلق الآخر من الشمال باتجاه الجنوب وقد أغلق كلاهما بعوائق كبيرة، وبالرغم من ذلك فإن السير يتحرك بحرية تامة على الطرقات التي تمتد بالشكل القطري.

يطلق على هذا الترتيب الخاص بالزاوية 45° اسم تناظر الموجة d (d-wave symmetry)، ولما كانت النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة تتصف بسلوك (الموجة - d) ذاتها، فقد ظن باحثون عديدون أن حالة الثغرة الكاذبة هي ضرب طبيعي لحالة الناقلية الفائقة. وإذا كان هذا الخط من التفكير صحيحاً فإن وجود الثغرة الكاذبة دليل على متانة الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة لأنها تحدث عند درجة حرارة الغرفة في مواد عديدة.

ولكن فوان أونج P. Ong وزملاءه من جامعة برنستون أجروا قبل سنتين تجربة ذكية تعتمد على مفعول نرنست ثببت من عزيمة الدعاة لهذه الأفكار. إن مفعول نرنست هذا معروف من القرن التاسع عشر وهو مفعول مماثل لمفعول هول Hall effect الأكثر شهرة، حيث يمر تيار في عينة ما بوجود حقل مغناطيسي فتتولد فولتية تمتد جيئة وذهاباً إلى كل من التيار والحقل المغناطيسي وكذلك يولد مفعول نرنست مثل هذه الفولتية العرضية ولكنه يفعل ذلك عن طريق تيار حراري يسببه تدرج gradient في درجة الحرارة بدلاً من تيار كهربائي.

يكون مفعول نرنست ضئيلاً للغاية في المعادن العادية ولكنه قوي جداً في النواقل الفائقة، حيث يدل على وجود دوامات فائقة الناقلية، وهي مناطق حقل مغناطيسي تولدها تيارات فائقة دوارة ضئيلة. ولكن أونج Ong وزملاءه عثروا على إشارة نرنست قوية فوق الانتقال الناقل الفائق في المواد التي يدخل النحاس في تركيبها، الأمر الذي يوحي بوجود حالة توجد فيها الناقلية الفائقة على مقياس زمني قصير في مناطق معزولة. وبكلمات أخرى فقد كشفت تجربتهم النقاب عن شيء بدأ كمشعر لأزواج إلكترونية متشكلة. وتمثلت الحصيصة الوحيدة المستفادة من التجربة في أن هذه الأزواج تشكلت عند درجات حرارة تفوق درجة حرارة الانتقال بوضع عشرات الدرجات، وليس عند درجات الحرارة الأعلى بكثير



## تقنيات جديدة

لقد قاد تحدي حل لغز درجة الحرارة العالية إلى تقدم كبير في التقنيات التجريبية. فعلى سبيل المثال يمكن أن تعطي أجهزة الميز الرائعة للإصدار الفوتوني ذي الميز الزاوي صوراً مفصلة لتوزيعات الطاقة الإلكترونية في مواد عديدة، وكذلك التحسينات في المطيافية النترونية العالية الطاقة من أمثال الـ MAPS\*\* في ISIS\*\*\* لدى مختبر رذرفورد أبلتون. وربما يكون الأمر الأكثر إثارة هو التقدم الهائل الذي حققته مجموعات البحث المستثمرة للمجهر النفقي الماسح scanning tunneling microscopy من أمثال مجموعة سيموس ديفيس S. Davis بجامعة كورنيل ومجموعة علي يازداني A. Yazdani بجامعة برنستون (الشكل 3). فقد تمكن ديفيس وزملاؤه من دراسة تموجات الشحنة الضئيلة حول الشوائب، فحددوا تغيرات أطوالها الموجية وتواتراتها، كما قارنوا تلك التغيرات بنجاح مع النتائج الدقيقة للإصدارات الفوتونية. إن حجم هذه التجهيزات يعادل حجم منزل صغير، ومع ذلك يتوضع في قلبها رأس مدبب بحجم ذرة واحدة يتعقب ذرة أخرى تتوضع على العينة لفترات قد تدوم عدة أسابيع، الأمر الذي يسمح بقياس آلاف الأطياف.

تشكل النتائج التجريبية التي حصل عليها هومز Homes وأونغ Ong وتيلفر Taillefer وزملاؤهم تحدياً كبيراً للفيزيائيين النظريين، إذ يبدو أن قانون هومز يشير إلى العلاقة الخطية بين درجة الحرارة ومعدل التبخر، الأمر الذي لا تفسره النظريات المختلفة للفيزيائيين النظريين. ثم إن أونغ ومجموعته قد استبعدوا أن تكون الثغرة الكاذبة سبب تشكل الأزواج، ناقلين هذه الظاهرة نحو درجات حرارة أخفض بضع عشرات من الدرجات فوق درجة حرارة الانتقال، وهكذا تحتفظ الثغرة الكاذبة بلغزها المحير في مخطط الأطوار. وأخيراً فإن معدن تيلفر العنقي يبدو مماثلاً لناقل فائق ذي موجة d ذات عقد تسير في اتجاه الناقل الفائق ذاته، ومع هذا فهو معدن لا يصنف على أنه ناقل فائق. لقد مضى عقدان من الزمن على اكتشاف بدورز ومولر الشهير، ومع هذا فإنه يبدو أن الناقلية الفائقة العالية درجة الحرارة (HTS) ستشغلنا لبعض الوقت في المستقبل.

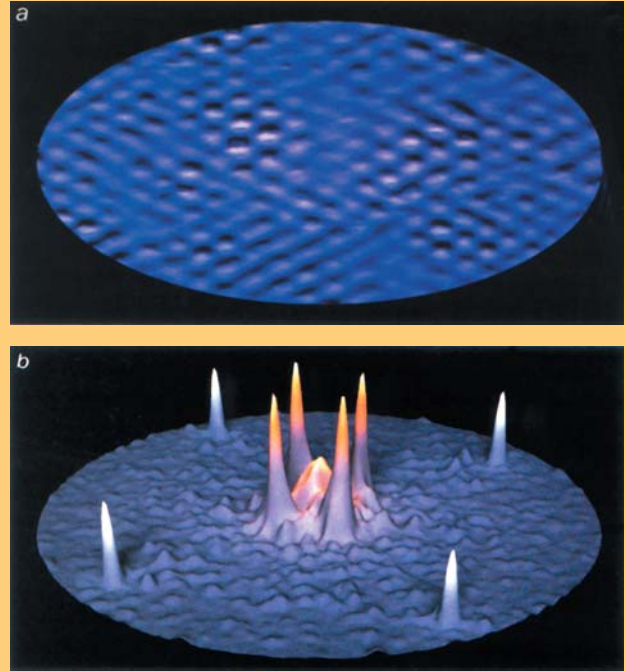
\* الديامغناطيسية تمثل ضعف النفاذية المغناطيسية.

\*\* MAPS = Multiple Address Processing System

\*\*\* ISIS = International Satellite's for Ionospheric Studies

نشر هذا الخبر في مجلة Physics World, July, 2005

ترجمة د. أحمد الحصري



الشكل 3

يسمح المجهر النفقي الماسح للباحثين بتصوير أمواج الإلكترونات في النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة HTS، الأمر الذي يسهل فهم سلوك هذه المواد الغريبة. (a) تشاهد هنا "تموجات الشحنة" بوضوح عندما تكون المادة في حالة الثغرة الكاذبة، في حين يظهر في (b) تحليل فورييه لمثل خريطة الحيز الحقيقية هذه real-space map. وهذا ما يكشف عن المتجهات الموجية wavevectors المقابلة للحالات الإلكترونية الدورية التي تلاحظ باستخدام تقنيات طيفية من أمثال الإصدار الفوتوني الزاوي. إن صوراً كهذه في النواقل الفائقة تعرض أمواجاً إلكترونية تغير أطوالها الموجية بتغير الطاقة - حسبما هو متوقع وفق مبادئ الميكانيك الكوانتي. ولكن حالات الثغرة الكاذبة غير الاعتيادية الظاهرة هنا لا تعتمد أمواجها على الطاقة. قد يكون ذلك نتيجة حدوث تبلور إلكتروني electronic crystallization.

تتمثل في وجود عقدة في تابع الثغرة المسؤولة عن الثقوب التي تنتقل بزاوية مقدارها 45° على اتجاه الروابط بين النحاس والأكسجين، فقد أطلق تيلفر وزملاؤه على هذه الحالة الجديدة للمادة اسم المعدن العنقي. ولهذا المعدن ثغرة مماثلة تماماً للثغرة التي يتصف بها الناقل الفائق ولكن المعدن لا يغدو ناقلاً فائقاً حتى عند أخفض درجات الحرارة.



# النيكل يظهر شكلاً مغناطيسياً جديداً

## صنع الفيزيائيون شكلاً من النيكل لا وجود له في الطبيعة

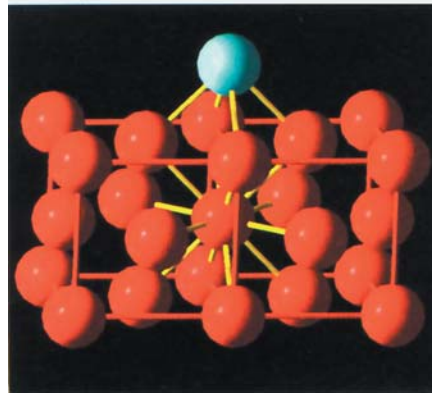
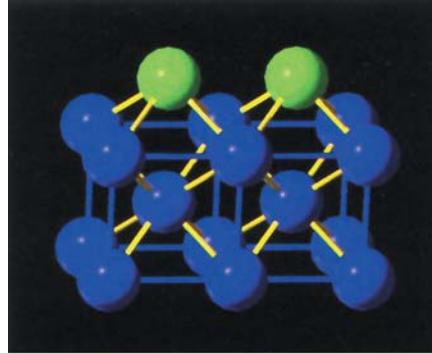
تختلف بشكل مذهل الخواص المغناطيسية لهذا الشكل الجديد من النيكل عن الخواص المغناطيسية للنيكل الموجود بشكل طبيعي [ذي الطور المكعبي المركزي الوجوه (fcc)]، الأمر الذي يمكن أن يُحسَّن بشكل ملحوظ فهمنا للمواد المغناطيسية الترحالية. (يمكن الرجوع إلى C S Tian et al. في العدد 94 من مجلة Phys. Rev. Lett. للعام 2005).

### بلورات عبر التصميم

يتضمن الرصف الحزمي الجزيئي تنضيد الجزيئات طبقة طبقة فوق ركازة مناسبة، مما يتيح لنا ابتداءً ودراسة بُنى مغناطيسية غير موجودة في الطبيعة. وكما ازداد عدد الطبقات فوق سُمْكٍ حديٍّ معين، تمثل هذه البنى شبه المستقرة metastable للمبادئ الترموديناميكية في نهاية المطاف، وتسترجع أطوارها المستقرة النسبية.

يمثل النيكل شبه المستقر (bcc) منظومة مفيدة بوضوح، لأن النيكل يمتلك طبقة (3d) ممتلئة تقريباً وذات عزم مغناطيسي صغير يبلغ 0.6 مغنطون بور Bohr magneton لكل ذرة. ولذلك نستطيع أن نتوقع أن يكون عزمه المغناطيسي ودرجة حرارة كوري الخاصة به حساسين لترتيب ذراته لأن هذا الترتيب يؤثر على مقدرة قفز جميع الإلكترونات 3d المهمة من موقعٍ ذريٍّ إلى آخر.

لقد أنجز أول نمو ناجح للنيكل شبه المستقر (bcc) على مرصاف template من الحديد في العام 1987 من قِبَل المؤلف الحالي وزملائه في جامعة سيمون فرازر بكندا. وأمكن ذلك لأن أقرب مسافة ذرية مجاورة في النيكل تماثل تقريباً نظيرتها في الحديد. ونتيجة لذلك، تستطيع مسطحات ذرية معينة أن تنبت في الطور (bcc) على مرصاف حديدي من طبيعة (fcc)، الأمر



إن خواص النيكل المغناطيسية ذات الوجهين تعتمد بشكل حاسم على ما إذا كانت بنيته البلورية مكعبة مركزية الجسم (في الأعلى) أو مكعبة مركزية الوجه (في الأسفل) - إن الخطوط الزرقاء والحمراء التامة ترسم تناظر كل شبكية بينما تربط الخطوط الصفراء الذرات المجاورة الأكثر قرباً. ولما كان الضدان الذريَّان للحديد والنيكل متشابهين فإن النيكل b22 يمكن أن يُنمى على مرصاف مربع يقابل الحديد b22. وتستطيع ذرات النيكل (اللون الأخضر) أن تحط فوق ثقب التناظر الرباعية الطية التي تخلقها الذرات bcc الزرقاء دون انتهاك المسافة المجاورة الأكثر قرباً من النيكل في حين تختلف الذرات المجاورة الأكثر قرباً من النيكل fcc (في الأسفل) لأنها تتوضع على طول أقطار المستويات الكريستالوغرافية. ويسبب ذلك أن تكون الفضوات الشبكية للنيكل fcc أكبر بمقدار 23% من نظيراتها للنيكل bcc.

لكن فريقاً بحثياً بقيادة كسيوفنغ من جامعة فودان في شنغهاي استخدم الآن رصفاً حزمياً جزيئياً molecular beam epi-taxial من أجل صنع نسخة مكعبة مركزية الجسم للنيكل، وبين أن هذه النسخة تتصرف بالمغناطيسية الحديدية. وعلاوة على ذلك،

يُمثل الحديد والكوبالت والنيكل معظم العناصر المغناطيسية في الجدول الدوري. ولهذه العناصر تطبيقات بدءاً من المكائن الثقيلة وحتى سواقات أجهزة الحاسوب. ولكن فهم الخواص الماكروسكوبية للمغناطيسية الحديدية ferromagnetism لهذه العناصر، انطلاقاً من المبادئ الأولى، يُبرز تحدياً مهماً للنظرين. فعلى وجه الخصوص، يصعب التنبؤ بمقدار اعتماد الخواص المغناطيسية الرئيسة لهذه العناصر (ممثلة بمقدار واتجاه العزم المغناطيسي) على بنيتها البلورية.

إن المصدر الرئيس للمغناطيسية في الحديد والكوبالت والنيكل هو الطبقة الذرية 3d atomic shell (3d) التي تشغلها الإلكترونات بشكل جزئي فقط في هذه العناصر. وتتوزع إلكترونات 3d هذه في عصابات طاقة en-ergy bands. كما وتستطيع القفز من ذرة إلى أخرى. وتسبب العزوم المغناطيسية المصاحبة لاندفاعها السبيني الزاوي عزمًا مغناطيسياً صافياً لكل ذرة. وتتصطف جميع هذه العزوم المغناطيسية الذرية في اتجاه واحد بفضل تآثر "تبادلي" كهراكدي، يُسبب بدوره عزمًا مغناطيسياً ماكروسكوبياً. ولدى تزايد قوة هذا التآثر التبادلي ترتفع درجة حرارة كوري التي تحدث دونها المغناطيسية الحديدية.

إن الطبيعة الترحالية itinerant nature للإلكترونات 3d تجعل العزم المغناطيسي الماكروسكوبي حساساً جداً لإشغالات ocupancies عصابات الإلكترونات 3d، ولنمط البنية البلورية تبعاً لذلك. وفي الشروط الاعتيادية في درجة حرارة الغرفة يكون للحديد والكوبالت والنيكل بنية مكعبة مركزية الجسم بالنسبة للحديد، وبنية مكعبة مركزية الوجوه بالنسبة للكوبالت، وبنية سداسية متراسة بالنسبة للنيكل.



بشكل ملحوظ حقل اللاتناحي في أية مادة مغناطيسية مكعبة أخرى.

وهكذا، ما الذي يكون قد سبب هذه التغيرات في الخواص المغناطيسية الماكروسكوبية؟ ففي المقام الأول، لا بد أن يكون الانتقال من البنية fcc إلى البنية bcc قد زاد إسهام التأثير السبيني-المداري spin-orbit interaction في المغناطيسية. وينشأ هذا المفعول بسبب الاقتران بين الاندفاع الزاوي المداري وسبين ذرات فرداي، وهو يُشبع تناظر الشبيكة. وكذلك وُجد أن النيكل bcc يمتلك لاتناحيًا أحادي المحور في المستوى in plane، الأمر الذي ينبغي غيابه في البنية bcc الصافية، مما يشير إلى أن النيكل bcc لا يمتلك وحدة خلية مكعبة كاملة.

تمثل هذه الدراسة إنجازاً كبيراً في دراسة المغناطيسية الترحالية itinerant magnets. وعلاوة على ذلك، فإن لاتناحي المغناطيسية الكبير لدى النيكل bcc يجعل من هذه المغناطيسية نافعة من أجل التطبيقات السبنترونية spintronics، حيث يحتاج المرء التحكم في انعكاس التغمط وانتقال السبين بين طبقات (المعدن - معدن) و(نصف الناقل - معدن).

نُشر هذا الخبر في مجلة Physics World، June 2005.

تحديد ثابت الشبيكة lattice constant للنيكل bcc بما يساوي 0.282 نانومتراً، وهو يقل بمقدار 2 في المئة تقريباً عن نظيره لدى الحديد bcc وبمقدار 23 في المئة عن نظيره لدى النيكل العادي. ويحدد هذا الثابت بنية العصابة الإلكترونية ومن ثم الخواص المغناطيسية للمادة كذلك. وقد وجد أن العزم المغناطيسي الفعلي في النيكل bcc يساوي 0.52 مغنون بور، الأمر الذي يتفق جيداً مع حسابات العصابات الإلكترونية الأساسية. كما وجد أن درجة حرارة كوري في هذا الطور الجديد تقل بمقدار (170 K) تقريباً عن نظيرتها في النيكل الموجود بشكل طبيعي (والبالغة 627 K).

ولكن المفاجأة الكبرى تتمثل في أن الطور bcc يمتلك لاتناحيًا anisotropy مغناطيسياً إيجابياً، في حين يمتلك الطور fcc لاتناحيًا سلبي القيمة. وبكلمات أخرى، يتجه الحقل الفعّال للاتناحي المغناطيسي بالنسبة للنيكل bcc على طول حواف edges خلية الوحدة المكعبة، بينما يبرز بالنسبة للنيكل fcc على طول الخطوط القطرية di-agonal. وهذا يوحي بأن النيكل bcc يقارب الحديد أكثر من مقاربتة النيكل الموجود في الطبيعة. ولكن حقل اللاتناحي في النيكل bcc يبلغ أربعة أضعاف نظيره في الحديد تقريباً. وفي الحقيقة، يكون هذا الحقل يفوق

الذي يسهل نسبياً تحضيره لأن المعروف عن الحديد دخوله طور (fcc) في درجات الحرارة العالية. ولسوء الحظ لا يستطيع ابتناء النيكل شبه المستقر (bcc) إلا حتى خمس طبقات ذرية يعاني بعدها هذا الطور شبه المستقر تحولاً بنيوياً معقداً إلى البنية (fcc) الموجودة بشكل طبيعي.

والآن، تغلب جين Jin ومعاونوه في الصين وإيطاليا والولايات المتحدة على المقاومة الفريدة لإزاء الطور bcc شبه المستقر للنيكل. فقد تبين أن ركازة من زرنخيد الغاليوم محضرة بشكل مناسب عند درجة حرارة (170 K) تتيح للمرء تثبيت بنية النيكل bcc عند مستوى يصل إلى 25 طبقة ذرية، وهذا يقابل سُمك يساوي 3.5 نانومتر. والأهم في الأمر، أن ركازة زرنخيد الغاليوم هي غير مغناطيسية، مما سمح لفريق البحث لأول مرة بدراسة البارامترات المغناطيسية لبنية bcc شبه مستقرة حقيقية.

## نتائج مريحة

أجرى الباحثون عدداً من قياسات مغناطيسية وبنوية، ووجدوا أن النيكل (bcc) والنيكل (fcc) يختلفان إلى حد مدهل في نواح معينة. فباستخدام النظرير المجهرية الإلكترونية ذي الميز العالي وانعراج الأشعة السينية، على سبيل المثال، استطاعوا

# عدّ الإلكترونيات واحداً فواحداً

## قد تفضي قابلية الكشف عن الإلكترونيات الفرادي في دارة ما إلى إعادة تعريف الأمبير

لاتتجاوز 1nA، التي يصعب قياسها بالدقة التي يتطلبها معيار كهربائي، إنما تقابل ما يفوق ستة مليارات إلكترون في الثانية. (ونذكر هنا أن التجربة تفيد بوجود أن تفوق دقة معيار القياس الأساسي بمقدار مئة ضعف دقة القياس القائم للمنتج الصناعي، ويسمح لنا المعيار المتوفر بتحديد التيارات

بقوة  $2 \times 10^{-7}$  نيوتن لكل متر. يكمن سبب هذا التعريف اللغزي بعض الشيء للأمبير، الذي يُعدّ واحداً من الوحدات الأساسية السبع في الجملة الدولية SI، في أنه يصعب جداً عدّ الإلكترونيات المارة عبر نقطة ما في دارة كهربائية. وحتى التيارات الضعيفة التي

صحيح أن أبسط فهم للتيار الكهربائي يتمثل في اعتباره تدفقاً للإلكترونات. ولكن تعريف وحدة التيار (المتثلة بالأمبير) أقل من ذلك وضوحاً. ففي الوقت الحاضر يُعرّف الأمبير الواحد بأنه التيار المطلوب مروره عبر كل من سلكين متوازيين يبعد أحدهما عن الآخر متراً واحداً كي يتجاذبا

## حل ذو شعبتين

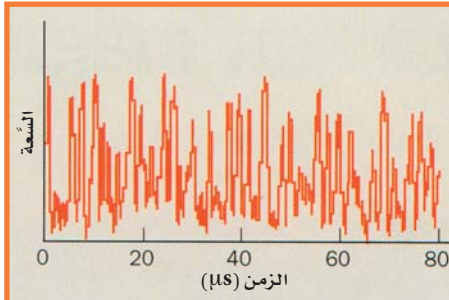
قام دلسنغ وجوناس بيلاندر وتيم ديوتي الآن بدمج تقنيتين تجريبيتين لعدّ الإلكترونات بشكل مباشر.

فمن أجل جعل حركة الإلكترونات منتظمة بالقدر الكافي عند النقطة التي تقاس فيها الشحنة، استخدموا صفيقة من 50 وصلة نفقية على التسلسل. وهذا يعني أن على الإلكترونات أن تعبر النفق عدة مرّات انطلاقاً من إحدى الجزر المعدنية، مروراً بوصلة ما، وصولاً إلى الجزيرة التالية. وعلاوة على ذلك، فإن صغر الجزر جعل وجود إلكترونين اثنين على نفس الجزيرة غير مؤات جداً من الناحية الطاقية.

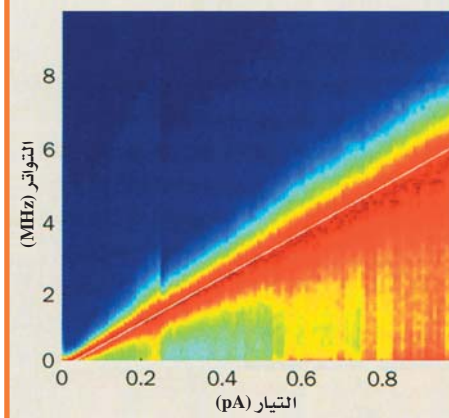
إن هذا الذي يدعى المفعول الشاحن charging effect هو نفس العملية التي تسمح بمرور الإلكترونات واحداً فواحداً في المضخة الإلكترونية. وفي الواقع، بسبب كون الإلكترونات تدفع بعضها بعضاً عبر سلسلة المواسعة capacitance chain التي تؤلفها صفيقة الوصلات، فإنها تميل لأن تبقى متباعدة مسافة ما بين 5 إلى 10 جزر بالمتوسط، الأمر الذي يجعل من غير المحتمل أبداً وجود إلكترونين اثنين في آن واحد.

أما التقدّم الآخر الذي أحرزه فريق البحث السويدي فقد تمثل في استخدام مضخم سريع وحساس يدعى (RF-SET)، كان قد طوّره روبرت شولكوف ودلسنغ ومعاونهما في جامعة بيل في العام 1998. وتعتمد هذه النبيلة كذلك على التمرير الإلكتروني النّفقي، ولكنها تتضمن حقلاً كهربائياً خارجياً يطبق على الجزيرة الموجودة بين وصلتين متجاورتين، الأمر الذي سمح لنا بالتحكم بالتيار المتدفق عبر الجزيرة.

ويكمن سبب ذلك في أن هذا الحقل يميل إلى فرض شحنة مقدارها  $(e/2)$  على الجزيرة، حيث  $(e)$  هي الشحنة على الإلكترون، ولكن هذا الوضع ليس ممكناً بسبب تكيم quan-tization الشحنة. ونتيجة لذلك، لا تستطيع



الشكل 1- واحد فواحد - كل ذروة رئيسية في هذا المخطط البياني تمثل مرور إلكترون وحيد عبر صفيقة وصل نفقية (يسوقها تيار مقداره 80fA)، الأمر الذي يقدم طريقة جديدة جذرياً لقياس التيارات الكهربائية الصغيرة.



الشكل 2- يكتشف عدّ عدد الإلكترونات الجارية عبر صفيقة وصلات نفقية ضئيل، ولا نستطيع من الناحية العملية إلا تحديد احتمال الحصول على تواتر عدّ معين. ويبيّن هذا المخطط البياني احتمال الحصول على تواتر معين (الإحداثي y) حين يجري تمرير تيار معين (I) عبر الصفيقة (الإحداثي x). ويقابل الخط الأبيض ما يمكن أن يكون عدّ إلكترونات تاماً  $f=I/e$ ، حيث (f) هو التواتر و (e) الشحنة على الإلكترون.

إشارات كهربائية مناسبة من التيار المتناوب إلى بوابات دائرة مصنوعة من عدة وصلات نفقية، لا تسمح مضخة الإلكترون الوحيد إلا بمرور إلكترون واحد فقط أثناء فترات زمنية منتظمة. ويضبط تواتر إشارات التيار المتناوب التيار بصورة دقيقة.

ولكن الشحنة البالغة الدقة التي تعطيها المضخة لم تُفَض بعد إلى معيار تيار كهربائي المتولّد ما هي إلا بيكوأمبيرات قليلة. وأحسن دقة نستطيع الحصول عليها لتيار منخفض كهذا في مختبرات علم القياس تساوي (0.01 fA) وهو جزء واحد فقط من أصل  $10^5$ .

الكهربائية من حيث الدقة accuracy إلى حوالي الجزء الواحد من أصل  $10^7$  جزء).

يعني هذا أننا إذا أردنا أن يكون معيار التيار الكهربائي مبنياً على العدّ المباشر للإلكترونات، فإننا نحتاج إلى مقياس حساس جداً وسريع جداً للشحنة الكهربائية. وقد بين اليوم بير دلسنغ P. Delsing وزملاؤه في جامعة شالر بالسويد أن مثل هذا العمل الفذ ممكن، الأمر الذي يمكن كذلك أن يُقَرِّبنا من نظام وحدات بينى فقط على ثوابت أساسية ليس إلا.

## التحدي المتمثل في العدّ

لا تضع قوانين الفيزياء، بما في ذلك ميكانيك الكم، أية تقييدات على السرعة والدقة اللتين يمكن بهما قياس كمية فيزيائية وحيدة. ولكن عدّ الإلكترونات يعدّ تحدياً مفرطاً لسببين اثنين. ففي المقام الأول، لا يستطاع اكتشاف مرور الإلكترونات في سلك معدني عادي بسبب ظاهرة تدعى الحجب screening تكبت الحقل الكهربائي خارج السلك. ويمكن التغلب على هذه الصعوبة باستغلال حقيقة كون الإلكترونات في سلك ما يعترضه حاجز عازل رقيق جداً يمكن أن تشق نفقا "tunnel" عبر الحاجز دون أن تُحتجب. ولذلك نستطيع كشف الحقل الكهربائي المصاحب لحركة الإلكترون. ولكن، طالما أن عملية شق النفق عشوائية تماماً، فإن من الممكن أن يجتاز إلكترونان نفقا بتعاقب سريع قد يحسبان بسببه إلكترون واحد على سبيل الخطأ.

أما التحدي الثاني فإنه يتمثل في بناء مضخم amplifier يستطيع اكتشاف الإشارة البالغة الصغر التي تصحب إلكترون واحد فقط. وقد أمكن تدبير هذا المتطلب في مضخة الإلكترون الوحيد التي ابتكرناها في مختبر CEA في ساكليه بالقرب من باريس في العام 1991، والتي أمكن تطويرها في المعهد الوطني للمعايير في بولدر بكولورادو. وتوقّعت "clocks" هذه النبيلة مرور الإلكترونات واحداً فواحداً بدلاً من أن تُعدّها مباشرة. وإرسال

إذا ما انضم إلى تعريف الثانية انطلاقاً من الميقاتيات الذرية، في تعريف كيلوغرام جديد (أو ما يدعى باسم الكيلوغرام الكومومي)، الأمر الذي سيشيخ لنا في نهاية المطاف أن نتخلص من "مصنوعة البلاتين - إيريديوم" platinum iridium artifact التي تقبع في خزائن المكتب الدولي للأوزان والمقاييس (Bureau International des Poids et Mesures) في باريس. وتمثل مثل منظومة الوحدات المرجوة للمستقبل هذه المبنية على الثوابت الفيزيائية لوحدها الهدف المنشود لعلم القياس.

نُشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, June 2005.

آمال كبيرة بتحسين التجربة إلى حد كبير في المستقبل وصولاً إلى هذا الهدف النهائي.

### نتائج جسيمة

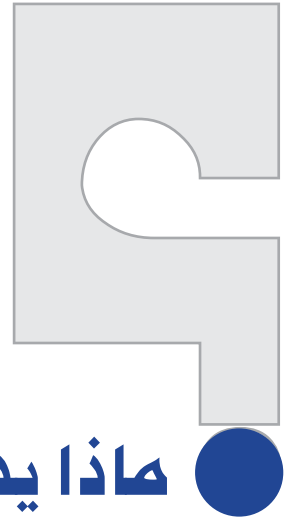
ستتيح لنا مثل هذه الدقة أن ننتقل إلى تعريف كهربائي خالص للأمبير. فبالجمع مع التعريف الكهربائي للفولط المستحصل من مفعول جوزفسون، فإن ذلك سيقود إلى تعريف كهربائي خالص للواط. وعند ذلك سيتمكن استخدام مفعول هول الكومومي (الذي يزيدنا بتعريف للمقاومة) في التأكد من اتساق consistency جميع الوحدات الكهربائية.

يمكن أن يستخدم هذا الواط الجديد،

هذه المنظومة إلا تبني حالة واحدة من حالتها إحباط متساويتين، تتصف بانعدام الإلكترون أو بالكترون إضافي واحد على الجزيرة. ولما كان الحقل الخارجي البالغ الصغر، الذي يزعج هذا الميزان الدقيق، سيقفل إلى حد كبير تيار المضخم RF-SET، فإن هذه النسيطة توفر مضخماً حساساً جداً للتغيرات الصغيرة في الشحنة الإلكترونية.

وباستخدام هذه المقاربة ذات الشعبتين، استطاع دلسنغ ومعاونوه قياس تيار يقارب (1pA) ذي دقة متوقعة مقدارها جزء من أصل  $10^6$ . ومع أن هذا يأتي أقل من المتطلبات اللازمة لمعيار تيار أفضل بعامل يقارب المئة، فهناك

تدأب العلوم العصبية Neuroscience في كشف المزيد والمزيد عما يدور في أدمغتنا حينما نفكر ونقرر خياراتنا. وكلما ازداد فهمنا تزداد فرصة توصل العلم لحل مسائل أخلاقية مهمة، مثل معرفة زمن بدء حياة الكائن البشري، ومقدار مسؤولية الناس عن أفعالهم. فهل تستطيع هذه العلوم تزويدنا بهذه الأجوبة؟ ويقول عالم الأعصاب ميكائيل س جازانيجا M.S. Gazzaniga في هذا الصدد إن الأمر ممكن أحياناً. ولكن ينبغي علينا أن نطرح الأسئلة الصحيحة.



## ماذا يدور في عقلك؟

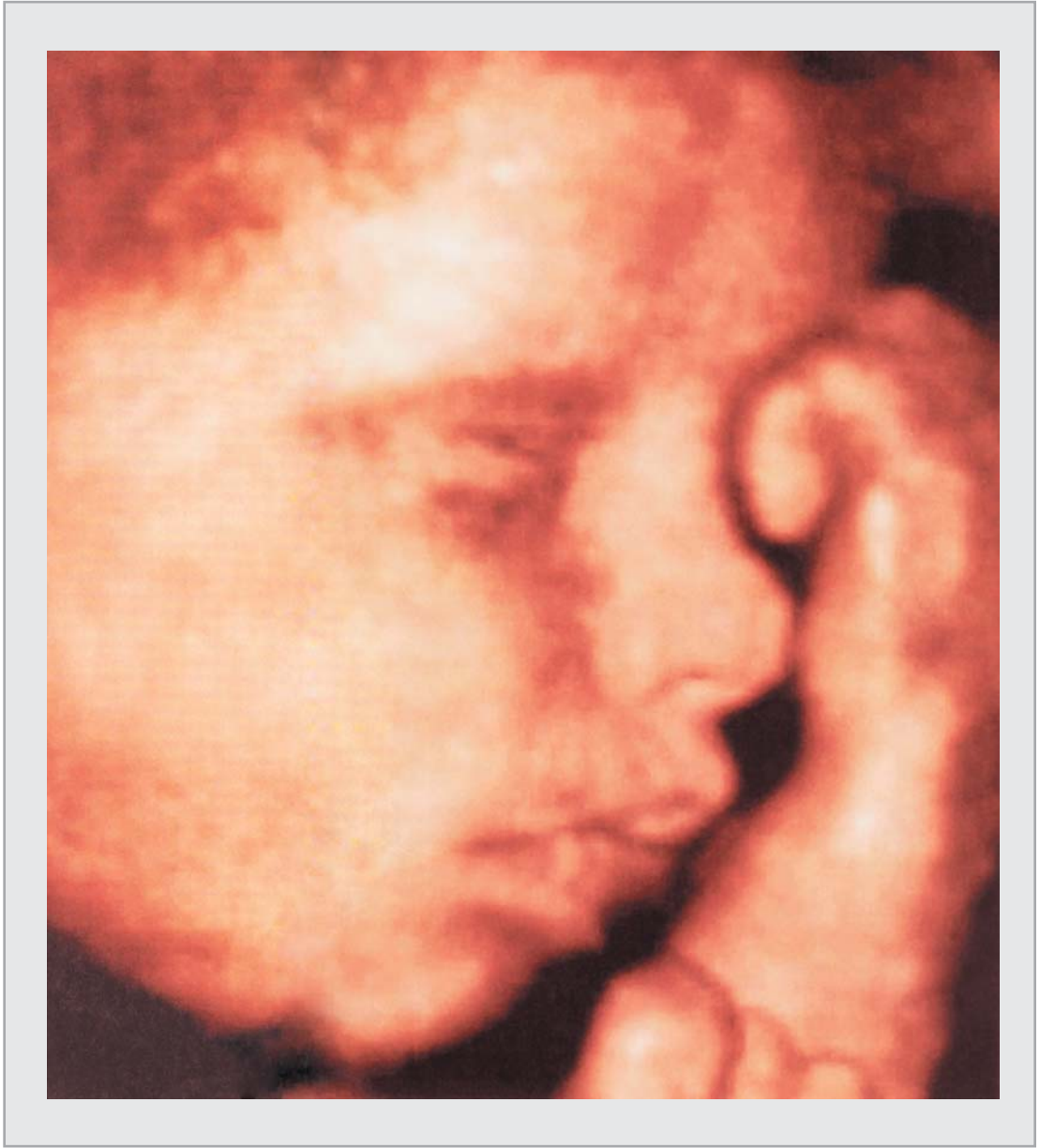
ومما لا شك فيه أن العلوم العصبية المعرفية cognitive سوف تحسّن فهمنا لهذه القضايا الشائكة، ويتحقق ذلك على سبيل المثال عبر استكشافها ما إذا كانت توجد أخلاق شمولية يمتلكها جميع أفراد نوعنا البشري. وبالطبع فإن هذا المجال المتنامي من الأخلاقيات العصبية neuroethics سوف يتعامل مع القضايا الاجتماعية لكل من المرض والحالة السوية ومع الفناء (الموت)، وأسلوب العيش وفلسفة الحياة، وهذا سيساعد في

(كالمعضلة الأخلاقية حول توقيت امتلاك الجنين المنزلة الأخلاقية التي تميزه ككائن بشري على سبيل المثال)، بيد أن علماء الأعصاب مدعوون في مجالات أخرى لأن يوازنوا متى يكون عليهم أن يحجموا عن ذلك، فليس لدى علماء الأعصاب ما يقولونه حول مفاهيم مثل حرية الإرادة والمسؤولية الشخصية، وربما لا يملكون شيئاً يقولونه حول أصول الأفكار الاجتماعية المضادة. لذلك فإن نقل المسألة إلى قاعات المحاكم يعدُّ أمراً خطيراً.

عندما يتطلع المجتمع إلى علمائه للإجابة على أسئلة أخلاقية، كيف ينبغي أن يجيبوا؟ فبينما تسلط العلوم العصبية مزيداً من الضوء بشكل خاص عما يجعلنا بشراً، فإنها تجابه أكثر المشكلات التي يواجهها المجتمع تحدياً. فهل يؤدي إحراز تقدّم في هذا المجال إلى تبديل أفكارنا حول الأخلاق والمسؤولية والقانون؟ وهل ينبغي ذلك؟

وإذا كانت المعطيات الحديثة في بعض المجالات يمكن أن تفيد في تناول هذه المسائل





## ربما يبدو مثلي ومثلك، ولكن هل للجنين ما يشابه الأحاسيس البشرية؟

حدوث الحمل، ولكن متى تبدأ حياة الكائن البشري؟ إن الإجابة على هذا السؤال تترك بصماتها الهامة في النقاش الذي يدور حول الإجهاض والإخصاب في الزواج والانتقال cloning لصالح بحوث الخلية الجذعية. ويعتقد

وفيما يخص السؤالين المتعلقين بزمن إضفاء منزلة أخلاقية على جنين ما وبزمن بدء الحياة فهما مختلفان، ويُعدُّ التفريق بينهما أمراً عظيماً الأهمية. صحيح أن الحياة البيولوجية تبدأ لحظة

إعادة صياغة هذه الجوانب والفلسفات بما يتفق مع فهمنا للآليات الدماغية المسبّبة. إنه يضع المسؤولية الشخصية في سياق اجتماعي أوسع. إنه (أو يجب أن يكون) جهد يؤسس لفلسفة حياة تستند إلى الدماغ.

عدد كبير من علماء الأعصاب وبعض علماء الأخلاق الحيوية أن الحياة البشرية تنبثق مع شروع الدماغ في عمله. فالوحي وظيفه ضرورية وحاسمة لتحديد الأنسنة - human ness لأنه صفة بشرية استثنائية من خلال كمالها، وكل مضمانيها لهوية الذات والسيرة الشخصية والبنات العقلية الأخرى. فالجنين لا يملك وعياً قبل أن يبلغ مرحلة التنامي التي توفر له دماغاً يتكفل الوعي. ولكن الإجابة، مثلما هو حال كثير من المسائل الأخلاقية التي يضطلع بها الدماغ، ليست بالأبيض والأسود القاطع، إذ إن المادة السنجابية في الدماغ تبدع عدة ساحات رمادية.

يتسع مضمون هذا السؤال لكل شيء. ومن أكثر المواضيع صلة به الانتسال الطبي الحيوي biomedical cloning في بحوث الخلية الجذعية. فالعلوم العصبية تبين بكل وضوح أن البيضة المخصبة لا تبدأ السيرورات التي تولد في نهاية المطاف جهازاً عصبياً قبل اليوم الرابع عشر. ولهذا السبب ولأسباب أخرى، فإن الباحثين في مجال الخلية الجذعية لا يستعملون إلا أجنة مخصبة لم يتخط تناميها اليوم الرابع عشر.

ولكن يجب علينا أن نتخطى كامل المشوار وصولاً إلى الأسبوع 23 حين يصبح الجنين قادراً على العيش خارج الرحم وبمساعدة بعض التقانات الطبية المتقدمة حينئذ. وهنا يمكن للبعض أن يجادل في أن الجنين حتى ذلك الوقت لا يُعدُّ كأنناً بشرياً أو أنه يملك منزلة أخلاقية كالتى تُصفى على كائن بشري. وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى اعتماد المحكمة العليا في الولايات المتحدة الأمريكية هذا الزمن كأساس لمنح الجنين حقوق كائن بشري.

وفي اعتماد المحكمة (الأمريكية) هذا القانون كان عليها أن تخوض جدليات مختلفة تمثل إحداها الاستمرارية التي يرى أتباعها أن الحياة تبدأ مع الإخصاب، وأن البيضة المخصبة هي منطلق الحياة ويصرون على ضرورة منحها الحقوق ذاتها التي تمنح لكائن بشري. فهم لا يأخذون بالحسبان

مراحل التنامي الجنيني المتعاقبة. وبالطبع، ليس ثمة فرصة لنقاش منطقي مع الذين ينظرون إلى الأمور على هذا النحو.

## "تبدأ الحياة البيولوجية عند تشكل الجنين، ولكن متى تبدأ الحياة البشرية؟"

وعلى نحو مشابه، فإن أنصار "الجدلية الاحتمالية" يرون أن الترقى إلى منزلة كائن بشري إنما يتحقق من خلال إضفاء هذه المنزلة على كل أطوار التنامي، وهذا مقارب للقول بأن ورشة إصلاح بيت هي نفسها المطلوبة لمنة بيت ما دامت تمتلك ذلك الاحتمال. ولا يُشكل هذا القول أو الذي قبله عبئاً مهماً على العلوم العصبية، إذ كيف يمكن لكيونة بيولوجية لا تملك جهازاً عصبياً أن تكون وسيطاً أخلاقياً.

وتدخل المعترك جدلية إضافية مستمدة في الغالب من بحوث الخلية الجذعية، وتعتقد بأهمية مقاصد الذين يقومون بتخليق الجنين، لأن مثل هذه البحوث يمكن أن تستخدم الأجنة التي تترك بدون استخدام في سيرورات الإخصاب ضمن الزواج التي تستهدف خلق جنين واحد أو اثنين عيوشين لاستعمالهما في الاغتراس implantation. ففي الإخصاب الجنسي الطبيعي، يتعرض للإجهاض التلقائي مقدار يصل إلى 80% من الأجنة: وبذلك يكون الإخصاب في الزواج ببساطة تقنية راقية تحاكي ما يحدث في الحالة الطبيعية. ومن جهة أخرى، يستطيع الباحثون استعمال أجنة خلقت خصيصاً لجنين خلايا جذعية دون أن تتجه نواياهم إطلاقاً نحو تخليق كائن بشري.

ومن خلال تفحصي للوقائع، فإنني أرى أن الحياة البشرية النوعية تبدأ عند الحمل، وإن الجنين الذي لا يتجاوز 14 يوماً من العمر (حين يكون مجرد كتلة من الخلايا) والذي تم خلقه لأغراض البحوث العلمية لا يملك منزلة أخلاقية. ولكن ثمة شيء ما آخر بخصوص صورة الجنين المكتمل (البالغ تسعة أسابيع

من العمر) بالأموح فوق الصوتية يجعلني أشعر شعور أب ذي ارتكاس شخصي، إذ إن مظهر هذا الجنين غداً مشابهاً لواحد منا.

هل يُعدُّ هذا الارتكاس الشعوري العميق إشارة إلى وجود غرائز أخلاقية مستبطنة تبحث أدمغتنا عنها لتبرير أي من هذه التشكيلة من الجدليات؟ يبدو أن بحوث العلوم العصبية المعرفية تسير في هذا الاتجاه.

إن التبصر الوحيد الأكثر أهمية حول كون العلوم العصبية المعرفية يمكن أن تقدم علماء في الأخلاق إنما يكمن في طريقة تكوين الدماغ للمعتقدات. وتُعدُّ الملاحظات المستمدة من مرضى الدماغ المشطور (الذين يملكون أجساماً تقنية مشقوقة severed corpus callosum قطعت الاتصال بين نصفي أدمغتهم) كعلاج لداء الصرع قد يعتبر من أفضل الأمثلة التي تدفع في هذا الاتجاه.

تبيّن الاختبارات التي أجريت على هؤلاء المرضى طيلة سنوات عديدة وجود آلية دماغية أطلقت عليها اسم أداة التأويل interpreter، وهي تتوضع في الدماغ اللفظي (الذي هو في العادة نصف الكرة المخية الأيسر). وتبدع هذه الآلية القصص والمعتقدات لتأويل الأفعال. وعلى سبيل المثال، فإن عرض كلمة "سر" على نصف الكرة المخية الأيمن فقط لمريض مشطور الدماغ يؤدي إلى نهوضه والبدء في السير. أما عندما نسأله لماذا فعل ذلك فإن نصف كرتة المخية الأيسر التي لم تع الطلب تتبدع جواباً ما مثل "رغبت في الذهاب للحصول على عبوة مياه غازية". وتزخر أبحاث الدماغ المشطور وكذلك دراسات الاضطرابات العصبية بكثير من هذه المعطيات.

وفي إطار الموضوع ذاته، ثمة ساحة مثيرة أخرى من البحوث تتمثل في أعمال جياكومو ريزولاتي G. Rizzolatti الخاصة بالعصبونات المرآوية mirror neurons. فهي تشير إلى وجود آلية مستبطنة لقراءة العقل أو "التقمص العاطفي" empathy. فعندما يحاول أحد القروء الوصول إلى شيء ما

ويجب فصل القانون عن العلوم العصبية في مجال حاسم واحد يتمثل في قول المتهم أثناء الدفاع في المحكمة: إن "دماغي دفعني لفعل ذلك". وهنا يُطرح السؤال لمعرفة ما إذا كان الدماغ هو الذي يحدد العقل ومن ورائه أفعالنا بشكل مستقل عما تعرفه عنها حتى بعد القيام بها، ومعرفة ما بقي مما يُسمى الإرادة الحرة بعد كل ذلك؟

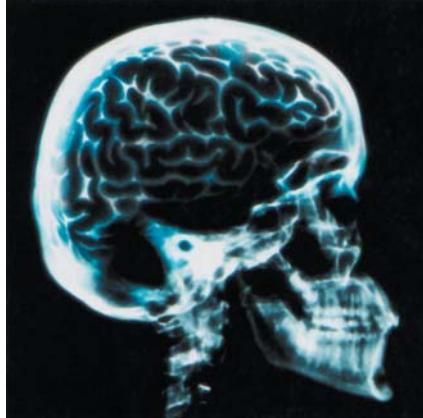
ولكن المسؤولية الشخصية تنبثق من التآثر interacting مع العديد من البشر. فعندما يتلاقى الناس معاً في مجموعات، تنبثق من تآثرهم قوانين غير موجودة في تقدير أدمغتهم ويمكن مقارنة ذلك بديناميات حركة المرور والقوانين التي تنشأ عنها عندما تبدأ العربات بالتزاحم مولدة قوانين تعاون لا توجد في العربات وإنما في تآثراتها.

ولا تزال القواعد الاجتماعية للسلوك تتحكم في تصرفاتنا، حيث نقوم باختيار الفعل ورد الفعل تبعاً لها، ولأية آليات دماغية محددة يمكن أن نملكها جميعاً. إن حرية الاختيار حية وحسنة فينا. إن مقولة "دماغي دفعني لعمل ذلك" ليست عذراً، ولا يجوز استخدامها في المحاكم. وببساطة شديدة، فإن العلوم العصبية لا تملك ما يملك المحامون قوله أو يأملونه أو يفكرون به بخصوص المسؤولية الشخصية.

ويبقى تكوين المعتقد واحداً من أهم الساحات التي يمكن فيها للعلوم العصبية المعرفية أن تتعلم علماء الأخلاق والناس عامة بعض الأمور. فالدماغ يبني المعتقدات بالاعتماد على معلومات مبنية على قرائن، وتكون هذه المعتقدات عصبية على التبدل، وإذا عرفنا ذلك يصعب علينا قبول الحروب التي تثار والأرواح التي تُزهِق بسبب فروق ما بين منظومات عقائدية. ولكن من جهة أخرى لا يجوز أن يفاجئنا سلوك الناس على النحو الذي يفعلونه، فنحن مطبوعون على أن نشكل عقائد وأن نكون نظريات.

وفي هذا المنظور تظل المعتقدات الدينية أسمى حكايات وعقلانيات نُقدِّمها لأفعالنا. فالتفكير الأخلاقي الشائع يمكن أن يُبنى

إن تصوير النشاط الدماغي لشخص ما بعيد كل البعد عن إمكانية تعريفنا بما يفكر به



التي استخدمت فيها التصوير بالتجاوب المغنطيسي الوظيفي لفحص استجابات طلاب جامعيين من البيض والسود بعد أن نعرض عليهم صور وجوه بيضاء وسوداء معروفة وأخرى غير معروفة. إذ وجدت هذه الباحثة أن منطقة دماغية معروفة تدعى اللوزة الدماغية (ومعنية بالاستجابة الانفعالية) تضيء بقوة في مسوح أدمغة الطلاب البيض عندما تعرض عليهم صور وجوه سوداء غير معروفة بالنسبة إليهم، في حين لا يحدث هذا الأمر عندما تعرض عليهم صور مشاهير سود مثل مارتن لوثر كينغ أو مايكل جوردان أو وايل سميث.

لقد اقترح البعض أن هذا الأمر يبين أن الطلاب البيض يخافون الوجوه السوداء غير المألوفة. ولكن هذا التفسير خطير، ويمكن خطورته أنه يمثل نقلة مفاجئة بالاتجاه غير الصحيح. فهذه المعطيات لا تعني أن التمييز العنصري متأصل في الدماغ.

هذا، ويمتلك الدماغ براعة مراوغة وجاهزية تسمح لنا من جهة أخرى (بالرغم من كونه مكبلاً وملتزمًا) بتفكيك قصص وروايات حول الأوضاع والظروف والمعطيات بما في ذلك المعطيات المستمدة من التجارب التي تجري على الدماغ. ولكن القصص الحاصلة ليست دائماً بمنأى عن الطعن. وبالطبع توجد تفسيرات أخرى لنتائج مسوحات التصوير بالتجاوب المغنطيسي لأدمغة هؤلاء الطلاب.

يضطرم في دماغه عصبون خاص معني بالحركات، ويضطرم ذلك العصبون نفسه عند سناس يشاهد ذلك الفعل ولكن بدون حراك. وقد يحدث عند مشاهدتنا لشخص ما يؤدي عملاً ما أن يُقدح زناد عصبونات مكافئة في أدمغتنا من شأنها أن تولد فينا الإحساس ذاته أو الاستجابة ذاتها.

**"ببساطة، إن العلوم العصبية لا تملك ما يملك المحامون قوله أو يأملونه أو يفكرون به"**

تعدُّ إسهامات علماء الأعصاب هذه إضافة حقيقية في فهمنا العام عن الدماغ والعقل وحتى الأخلاق. كما تُعدُّ محاكم القانون الساحة الأبرز التي تُطلب فيها مشورتنا. وتستشير المحامين والباحثين إمكانية وضع امرئ ما تحت الاستقصاء الآلي scanner لمعرفة ما إذا كان يكذب أو لمعرفة ما إذا كان لديه نزوع طبيعي للعنف. ألا يمكن استخدام هذه المعلومات في مقاضاة هذا الشخص أو في الدفاع عنه.

يجب أن لا تكون الإجابة على هذا الاستفسار قطعية. فمع إن التقدم في التصوير العصبي قد أحرز شوطاً مثيراً فإنه مع ذلك لا يعطي ذلك النوع من الإجابة. وعلى سبيل المثال، نحن نستطيع عرض صورة معسكرات تدريب إرهابية ومشاهدة ساحة من الدماغ تضيء في الصورة، الأمر الذي قد يكشف أمورا مدهشة حول كيفية عمل حالات معرفية معينة. ولكن لا يمكن استعمال مثل هذه البيانات كأدلة قاطعة حول حالات معرفية كهذه في غياب القصة التي أدت إلى هذه الحالات والتي تتضمن صور المعسكرات التي نشاهدها في صحف يومية.

إن ما نعرفه عن عمل الدماغ واستجاباته لا يكون على الدوام أحادي التأويل وبالتالي لا يجب استعماله كدليل معصوم (على غرار الأمر بالنسبة لدليل الدنا DNA) ويتوضح ذلك في الاستجابات التي حصلت عليها إليزابيث فيلبس E. Phelps في تجاربها



للأخلاق العامة. إنها فكرة ثورية حقاً أن نكون واثقين من ذلك. أما التمسك بمنظومات اعتقاد مهجورة وخوض حروب اقتتال لأجلها في ضوء هذه المعرفة فإنه وبكلمة واحدة أمرٌ لا أخلاقي.

نُشر هذا الخبر في مجلة *NewScientist*, 11 June 2005

أنها مجرد فروق قصصية بين المجتمعات. وبالطبع ليس ثمة فروق عالمية في كيفية وجود البشر في هذه الدنيا. ومع مواصلة استكشاف وفهم الأساليب التي يتيح بها الدماغ تكوين المعتقد والتفكير الأخلاقي، فإننا يجب أن نعمل على تحديد هوية ما يمكن أن يكون عليه الطاقم الذاتي

على قيم إنسانية، ولكن القمص التي تحاول تفسير الإجابة على الأسئلة السببية المتعلقة بنتائجها ما هي إلا مشيّدات اجتماعية. فإذا استطعنا أن ندرك أن المصادر الحقيقية للمنظومات العقائدية هي نظريات يتم تبنيها اجتماعياً لتفسير أفعالنا، نستطيع عندئذ أن نقطع شوطاً طويلاً نحو قبول اختلافاتها على

## يمكن للتأثيرات السامة أن تنتقل عبر الأجيال

جرعات الفينكلوزولين الصغيرة التي يمكن أن يتناولها الناس من الخمر. "فالخطورة الأشد إنما تنشأ عن التعرّض المهني للشخص الذي يتعامل مع المبيد الفطري".

وفي العادة، تعزى التغيرات التي تستطيع المرور على طول سلسلة النسل الذكري إلى طفرات تتناول الصبغي Y. ولكن الكيماويات التي تقدر زناد تلك الطفرات إنما تفعل ذلك في مواضع عشوائية على الأغلب. وليس ثمة طريقة معروفة يسبب بواسطتها أحد الكيماويات الطفرة ذاتها في ذلك الصبغي نفسه لدى كثير من الأفراد، كما أن فريق العمل لم يُشر إلى أي دليل على طفرات في الصبغي Y.

وعوضاً عن ذلك، فكر الفريق في إمكان قيام المبيد الحشري بإحداث تغييرات فوق جينية "epigenetic" يتحوّر فيها الدنا كيميائياً بطريقة لا تُغيّر تسلسله، بل تصيب فعالية جيناته. وتُعدّ إضافة زمر الميثيل (أو ما يعرف بالميثيلة) إحدى مثل هذه التبدلات.

وتقول Emma whitelaw التي تهتم في جامعة سيدني بأستراليا بدراسة الظواهر فوق الجينية أنه "وفيما يقدم المؤلفون براهين سليمة ضد الطفرات الجينية باعتبارها المسؤولة، فإن ذلك لم يثبت بعد. وهذا يعني أنه إذا تبين أن للأمر أساساً جينياً، فلا بد أن يتضمن طفرة من نوع مازال غير مألوف".

**إن تناقص تعداد النطاف  
الملاحظ عند بعض الجماعات  
يمكن أن يعزى في جزء منه على  
الأقل إلى الآلية التي نَصِفُها.**

الأقل، إلى الآلية التي نصفها".

لقد قام فريق سكر بتعريض إناث جردان حوامل إلى اثنين من الكيماويات المعروفة بتداخلها مع الهرمونات التناسلية. وكان الهرمون الأوّل مبيداً فطرياً شائع الاستعمال في صناعة الخمر يدعى فينكلوزولين Vinclozolin وهو يكبت هرمونات الذكر، بينما كان الثاني وهو الميثوكسيكلور (الذي يستعمل كبديل لـ د. د. ت) يفعل فعل الإستروجين. وهنا أدت التجربة إلى تناقص تعداد النطاف السوية في النسل الذكري لتلك الإناث، وإلى ازدياد تعداد النطاف الشاذة، فضلاً عن إصابة نحو 10% من الذكور بعقم تام.

إلا أن المفاجأة كانت ملاحظة كون نقصان خصوبة النسل الذكري المتحدّر من تلك الذكور ما يزال قادراً على التوالد واستمرار حدوث نقص الخصوبة وهكذا دواليك خلال مسار لا يقل عن أربعة أجيال متتالية، بحيث تناول حفيد حفيدها. وقد كانت التأثيرات أشد وضوحاً لدى استعمال الفينكلوزولين، حيث أصيب أكثر من 90% من ذكور كل جيل بنقص في الخصوبة (مجلة Science المجلد 308، الصفحة 1466).

لحسن حظ محبي الخمر حسبما يقول سكر فإنّه لا داعي للخوف من

تبين أن تأثير اثنين من مبيدات الحشرات لا يقتصر على إضعاف خصوبة ذكور الحيوانات التي تتعرض لهما مباشرة فحسب بل يطال أيضاً نسلها.

ولا يبدو أن هذا التأثير ناتج عن حدوث تبدل في تتاليات الدنا DNA، الأمر الذي يبيّن لنا وللمرة الأولى أن أيّ مركّب كيميائي إنما يتسبب بحدوث مفعول قابل للتوريث دون المرور بإحداث طفرة عشوائية.

تضمنت الدراسة استعمال جرعات عالية من هذين المبيدين الحشريين، ومع أنه من غير الواضح ما إذا كان الناس يتأثرون بهما بالطريقة ذاتها، فإن مايك سكر Mike Skinner، من جامعة ولاية واشنطن في سياتل (الذي أنجز فريقه الدراسة) يقول إن ذلك ممكن وأن "التناقص الذي لوحظ في تعداد النطاف لدى بعض الجماعات يمكن أن يعزى، جزئياً على

**إلا أن المفاجأة كانت ملاحظة  
كون نقصان خصوبة النسل  
الذكوري المتحدّر من تلك  
الذكور ما يزال قادراً على  
التوالد واستمرار حدوث  
نقص الخصوبة**

## يا صانعي الخمور احذروا.



ومن المعلوم أن تشغيل الجينات وإيقافها يتم خلال التنامي عن طريق الميثلة methylation. وفي الحالة السوية تكون الصحيفة بيضاء حين تكوين البيوض والنطاف ثم يعاد تنضيد جميع التبدلات فوق الجينية. وعلى سبيل المثال، يعتقد بأن الشذوذات في الحيوانات المستنسله cloned animals يمكن ردها إلى إحقاق الانتسال cloning في إعادة تنضيد أنساق الميثلة، ولكن يكون نسل الحيوانات المستنسله عادياً.

ولكن من المحتمل أن لا يعاد تنضيد نسق الميثلة في بعض الجينات. وهكذا ما إن يحدث هذا الانحراف حتى يصبح التأثير مستديماً. ويعتقد سكر أن هذا الأمر قد يكون الأسلوب الذي تمر عبره تأثيرات المبيدات عبر الأجيال.

أما قضية ما إذا كانت الكيماويات التي تحاكي الإستروجين أو تتداخل مع الهرمونات الجنسية تؤثر في الرجال فإنها مثار خلاف كبير (مجلة نيوزيانست / 4 حزيران / الصفحة

11). كما أن كثيراً من الخبراء لا يزال يناهض الادعاءات بأن تعداد النطاف ينخفض على مستوى العالم في الوقت الذي تزداد فيه الشذوذات المنسلية، وناهيك عن الدراسات التي تلقي اللوم على معطلات الغدد الصماء. ولكن إذا ثبت أن كيماويات مثل Vinclozolin تمتلك تأثيرات قابلة للتوريث، فإنه سيكون على الخبراء إعادة فحص الأدلة وفق فلسفة جديدة.

نُشر هذا الخبر في مجلة NewScientist, 11 June 2005.

## مم يتألف الكون؟

المادة تمر أمامهم وقاسوا انحراف المكان والزمان الناجم عن كتلة غير مرئية في المجرات. وبسبب ملاحظات ثراء العناصر في هذه السحب الغازية الابتدائية استنتج الفيزيائيون أن 10% فقط من المادة المعتادة يكون مرئياً للتلسكوبات.

ولكن حتى مضاعفة جميع المادة المعتادة ordinary matter عشر مرات لاتقترب من تحليل الكيفية التي تم بها حرك الكون. فحينما ينظر الفلكيون في السموات من خلال تلسكوبات قوية، فإنهم يرون كونا متكتلاً. فالمجرات لا تنقط السموات بشكل متجانس بل تتعقد cluster بعضها مع بعض في حوالب tendrils رفيعة وخيوط تتشابك بين خواءات شاسعة. ومثلما لا توجد مادة مرئية تكفي لإبقاء المجرات تلف بالسرعة

كل شيء في الوجود. ومع تعلقهم بهذا الفهم الجديد للكون يواجه العلماء سؤالاً عَصياً هو: **مم يتألف الكون؟**

يثار هذا السؤال مذ تتالت الملاحظات الغربية. ففي الستينيات من القرن المنصرم اكتشف الفلكيون أن المجرات تلف (تدور) بشكل أسرع من أن يستطيع الجذب الجماعي للنجوم صونها من التطاير بعضها عن بعض. فهناك شيء ما يبدو أنه يحفظ النجوم من الانفلات بعيداً عن المركز: بمعنى وجود مادة عتمة تمارس قوة جاذبة إضافية.

ومع مرور الزمن استكشف العلماء بعضاً من هذه المادة الخفية في الفضاء، إذ رأوا سحُباً شبيهة من الغاز باستخدامهم تلسكوبات الأشعة السينية وشاهدوا وميض نجوم بعيدة ككتل غير مرئية من

لطالما انشد علماء الكونيات مشدوهين بكون هو أكثر تعلقاً من أي توقع كان قد راود فكرهم. ففي سنوات القرنين الخامس عشر والسادس عشر أظهر كل من كوبرنيكوس وكبلر ونيوتن أن الأرض ما هي إلا واحدة من عدة كواكب تدور حول واحدة من نجوم عديدة، فعصفوا بذلك بفكرة مستكينة في القرون الوسطى تقبل بأن الكون مغلق وصغير. أما في العشرينيات من القرن التاسع عشر، فقد أظهر إدوين هوبل أن كوننا أخذ بالتمدد والنظور باستمرار، وهي حيثية قصمت فكرة اعتبار الكون خالداً وغير متبدل. وفي عقود السنين القليلة الماضية اكتشف علماء الكونيات أن المادة المعتادة التي تؤلف النجوم والمجرات والناس تقل عن 5% من

المناسبة، فإنه لا توجد مادة معتادة تكفي لتعليل هذا التكتل. ويستنتج علماء الكونيات الآن أن القوى الثقالية  $gravitational forces$  التي يمارسها شكل آخر من المادة الخفية تتألف من نمط من الجسيمات لم يُكتشف بعد لابد أنه ينحت هذه البنى الكونية الشاسعة. وهم يُقدرون أن هذه المادة الخفية الغريبة تؤلف حوالي 25% من مستلزمات الكون، الأمر الذي يبلغ خمسة أضعاف المادة المعتادة.

ولكن حتى هذا الكيان الغامض فإنه يَبْهت بالمقارنة مع لغز آخر هو الطاقة الخفية  $dark energy$ . ففي أواخر تسعينيات القرن الماضي اكتشف علماء يدرسون المستعرات الفائقة  $supernovae$  البعيدة أن الكون يتسارع تمدداً بدلاً من أن يتباطأ حسبما تقول قوانين الفيزياء. فهل هناك نوع ما من قوة مضادة للثقالة  $antigravity force$  ينفخ الكون؟

تشير جميع العلامات إلى الإجابة بنعم. فالقياسات المستقلة لتشكيلة منوعة من الظواهر (وهي إشعاعات الخلفية

الكونية، وثرء العناصر، وتعتقد المجرات والتبئير الثقالي  $gravitational lensing$  (الغازية) تتقارب جميعها في صورة متماسكة، ولكنها غريبة، للكون. ولا تؤلف المادة المعتادة والجسيمات المجهولة الغريبة معاً سوى 30% من مستلزمات الكون، أما البقية فهي هذه القوة الغامضة المضادة للثقالة التي تُعرف باسم الطاقة الخفية. وهذا يعني أن استنتاج ما يتألف منه الكون سيتطلب إجابات عن ثلاث مجموعات متزايدة الصعوبة من الأسئلة: أولها، ممّ تتألف المادة المعتادة وأين تستقر؟ وفي هذا الصدد تدأب الملاحظات الفيزيائية الفلكية، مثل تلك التي تقيس انحناء الضوء من قبل الأجسام

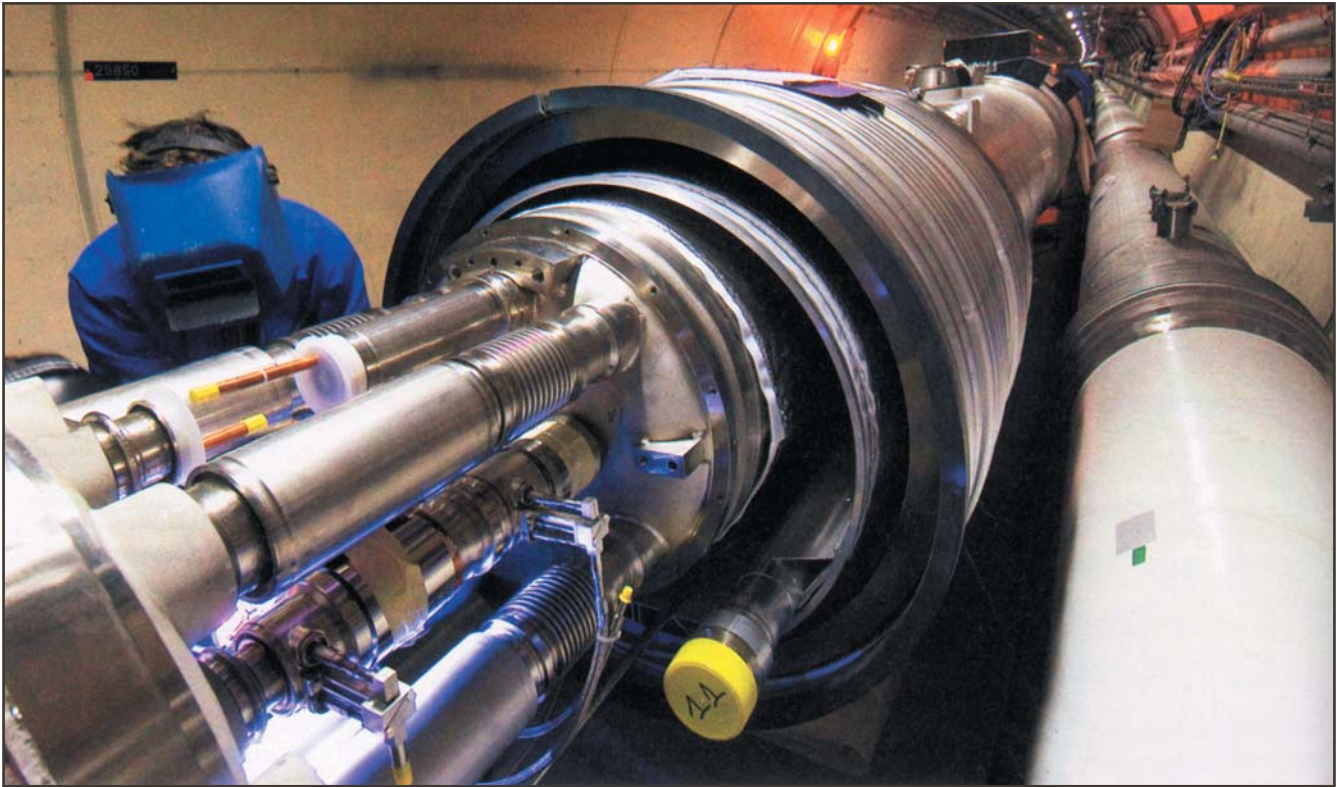


في هذا السواد، تجمع مادة خفية المجرات بعضها مع بعض. وتشير قياسات المستعرات الفائقة إلى وجود طاقة خفية غامضة.

الضخمة في الفضاء، على تقديم الجواب عن ذلك. وثانيها، ما هي المادة الخفية الغريبة؟ وتوجد في هذا الصدد أفكار يتجلى إحداها، ولحسن الحظ، بوجود مجس للمادة الخفية مدفون عميقاً تحت الأرض أو كاسر  $smasher$  نرّي عالي الطاقة سيكشف نمطاً جديداً من الجسيمات في غضون عقد السنين القادم. وثالثها، ما هي الطاقة الخفية؟ وهذا السؤال، الذي لم يتم حتى طرحه منذ عشرات السنين، يبدو أنه يتجاوز الفيزياء أكثر من أي ظاهرة أخرى لوحظت حتى الآن. إن أفضل القياسات التي جرت عن المستعرات الفائقة وإشعاعات الخلفية الكونية وكذلك الملاحظات المخططة حول التبئير الثقالي سوف يعطي معلومات عن معادلة حالة الطاقة الخفية، وهي من الناحية الأساسية قياس لمقدار رخاوة هذه المادة. أما في الوقت الحاضر، فإن طبيعة الطاقة الخفية تُشكّل السؤال الجدلي الأكثر ضبابية في الفيزياء، وهو السؤال الذي يمكن، إذا ما لقي إجابة، أن يلقي الضوء الأكثر سطوعاً في هذا الشأن.

نُشر هذا الخبر في مجلة *Science*, 1 July 2005





سيتم تدعيم أكثر المسرعات قوة في العالم بقدرته حاسبة على نفس الدرجة من وقع التأثير

## محطم الجسيمات يحضك بدماع جبار

جديدة تبحث عن جسيمات جديدة في نظام من الطاقة غير معلوم تماماً، هذا ما يقوله بيتر وتكنز P.Watkins، رئيس فيزياء الجسيمات في جامعة برمنغهام في المملكة المتحدة وعضو Gridpp، وهو الاتحاد المنظم لمساهمات المملكة المتحدة في شبكة حساب المصادم الهدروني الضخم LHC. ويضيف قائلاً: "كان العديد من الناس يعملون في التصميم طوال شطر هام من حياتهم، وهم متلهفون جداً لليوم الذي يبدأ فيه LHC بالعمل"

في نيسان /أبريل، أحس علماء الحاسوب العاملون في سيرن بما سيقدمون عليه عندما يشغل LHC في عام 2007. إذ

أمثال ارتفاع قمة أفريست، وسيطلب فهم تلك الأقراص 100000 حاسوب من الحواسيب القديرة، وعليه فإن العجب يتضاعف من إقدام سيرن CERN (المركز الأوروبي لفيزياء الجسيمات بالقرب من جنيف وهو الذي يقوم ببناء المصادم) على اختيار "شبكة" من الحواسيب على نطاق عالمي للمساعدة في خزن وتحليل المعطيات. يأمل الفيزيائيون أن تساعدهم هذه القدرة الحاسوبية الجماعية في استكشاف جسيمات غريبة جديدة، ومن ضمنها بوزون هغز المضلل، وأن يحققوا نظريات تهدف إلى توحيد ثلاث قوى من القوى الأساسية الأربع في الطبيعة.

"سيكون من المثير جداً أن نملك منشأة

في يوم ما من عام 2007 سيجد الفيزيائيون أنفسهم أقرب لرؤية ما كان الكون يشبهه بعيد لحظة الانفجار العظيم. ففي داخل نفق دائري بطول 27 كيلو متراً على طرفي الحدود بين فرنسا وسويسرا وعلى عمق 100 متر تحت الأرض، سيبدأ المصادم الهدروني الضخم LHC الذي سيدفع البروتونات بسرعة تكاد تبلغ سرعة الضوء ويحطمها عند تصادم جبهتي بطاقات لم يسبق لها مثيل على سطح الأرض.

ولكنه سيكون عملاً شاقاً؛ فسيل المعلومات من المصادم الهدروني الضخم LHC في كل عام سيكون كافياً لملء كومة من الأقراص المدمجة CDs يبلغ ارتفاعها ثلاثة

## إن كل تصادم سيولد من جديد الشروط داخل كرة الليف الساخنة التي ملأت الكون بعيد الانفجار العظيم

تغذي الحواسيب في جنيف تدفقاً مستمراً للمعطيات بمعدل 600 ميغا بايت في الثانية إلى سبعة مواقع في أوروبا والولايات المتحدة خلال فترة زمنية تبلغ عشرة أيام، وقد بثت الحواسيب ما مجموعه 500 ترا بايت، وهذا يستغرق 250 عاماً لتوسيقها download على وصلة محلية نمطية عريضة العصابة. ويقول فرانكويز غري F.Grey، وهو من الاتصالات الدولية IT والناطق باسم سيرن: "كان الناس سعداء جداً بذلك". ويضيف بأنه كان تحدياً أن تدع كل امرئ يتعاون، فيقول: "تسعى

مراكز الحاسوب لحراسة طريقتها الخاصة فيما تفعله من أمور، وهم ليسوا مرتاحين لأسباب أمنية بالانفتاح على العالم".

سيجري اختبار هذا التعاون بشكل أكبر في أيلول/سبتمبر، حيث يأمل سيرن أن يرسل معطيات إلى العديد من المراكز الحاسوبية ويحافظ على الدفق مستمراً على مدى ثلاثة أشهر، ليسمح للعلماء أن يختبروا برمجياتهم لتحليل المعطيات. "وبعدئذ سنبدأ حقاً بمعرفة متانة هذه المنظومة، لنفهم قدراتها وقبورها، حسب قول غري Grey. "سيثير الأمر كل شخص، ولكنني أفكر بدون عصبية حول ما ستؤول إليه الأمور". وسيكون الهدف النهائي وهو صون ثلاثة أضعاف تدفق المعطيات محققاً في نيسان/أبريل عندما يحين الوقت ويصبح

LHC جاهزاً للعمل والاستثمار.

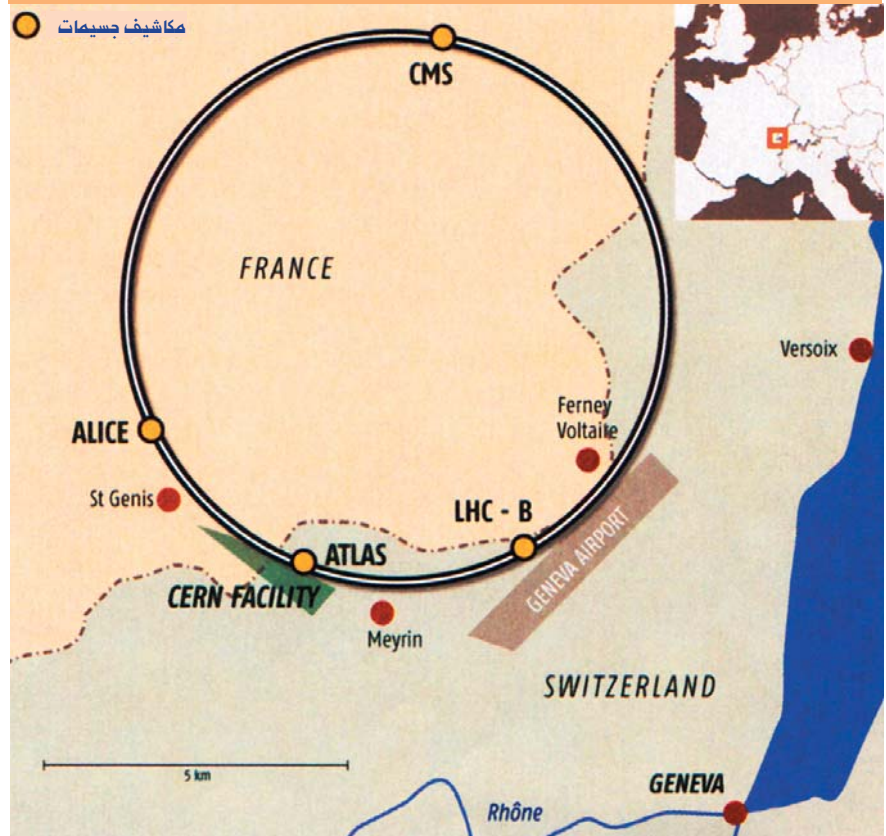
سيحتاج سيرن قطعاً إلى تلك السعة وأكثر منها حينما يغدو LHC متخماً تماماً. وثمة ما يقارب 5000 مغنطيس فائق الناقلية يصل وزن كل منها إلى 35 طناً ويتبرّد حتى درجة  $271^{\circ}\text{C}$  -، وسوف تسرّع حزمًا من البروتونات متعاكسة في دورانها إلى سرعة تقارب سرعة الضوء وتقذف بعضها ببعض 40 مليون مرة في الثانية. وستتصادم حزم البروتونات هذه بطاقة تبلغ 14 ترا إلكترون فولت - وهو ما يعادل سبعة أضعاف ما توصل إليه أي مسرع سابق.

ستُحشر كميات كبيرة من الطاقة في حجم مجهري عند كل تصادم، فتولد ما كان من شروط داخل كرة النار الحارة التي ملأت الكون بعيد جزء من مليون المليون من الثانية من حدوث الانفجار العظيم. وستتطاير مئات أو ألاف الجسيمات من كل تصادم، وسينبغي اقتفاء جزء كبير منها وتحديد هويته.

إن اكتشاف وتمحيص ما يقرب من بليون مسار كل ثانية سيكون من مهام أربعة مكاشيف رئيسية. اثنان منها AT- LAS و CMS، وهما الأضخم، سيبحثان عن جسيم هغز Higgs particle، ويعرف أيضاً باسم "جسيم الرب" God particle حيث يعتقد أنه هو الذي يهب الكتلة للجسيمات الأخرى. كما ستبحث المكاشيف أيضاً عما يسمى "الجسيمات الفائقة التناظر" supersymmet-ric particles. إن رؤية هذه الجسيمات حتى ولو كانت خاطفة ستعزز نظريات التناظر الفائق، التي تذهب إلى أبعد من الموديل المعياري لفيزياء الجسيمات. ورغم أن هذه النظريات تساعد على توحيد القوى القوية والضعيفة والكهرطيسية في الطبيعة، فإنها، كي تقوم بذلك، تتطلب وجود مضيف شركاء تام لكل الجسيمات المعروفة. وسيكون LHC أول مسرع جسيمات إلى طاقات، أو حتى الاقتراب من طاقات، تعد ضرورية لتكوين

### المصادم الهدروني الضخم

إن المكاشيف الأربعة المنتشرة حول المسرع الذي طوله 27 كيلو متراً ستصطاد الجسيمات الجديدة ومن ضمنها بوزون هغز أو جسيم الرب.



هؤلاء الشركاء الفائقي التناظر.

أما المكشاف الثالث ويدعى تجربة "جمال" LHC، فإنه سيبحث عن دليل للتناظر في إنتاج جسيمات تدعى ميزونات B، كي يفسر لماذا تهيمن على كون هذه الأيام مادة وليست مادة مضادة. وأما المكشاف الرابع (وهو ALICE) فسيبحث عن حالة للمادة دخيلة وكثيفة إلى أبعد الحدود تدعى بلازما الكواركات والغليونات، التي يُظن أنها عاشت جزءاً من الثانية بعد الانفجار العظيم. وبالنسبة لـ ALICE، فإن LHC سيصدّم أيونات ثقيلة مثل الرصاص، عوضاً عن البروتونات.

ستولد هذه التجارب الأربع 15 مليون جيجا بايت من المعطيات في السنة وهو رقم مذهل. وقد كان باستطاعة سيرن بناء مركز حاسوبي ضخم متمركز لتحليل هذه المعطيات، ولكنها أثرت أسلوب الشبكة المتوزعة. سيخزن سيرن كل المعطيات الخام (الأولية) في أبنية خاصة ضخمة للأشرطة في منشأة محلية، ولكنه سيرحل أيضاً المعطيات إلى عشرات مواقع التخزين في أوروبا وأمريكا الشمالية وآسيا. ومن هناك سترشح وصولاً إلى حوالي 100 موقع أصغر في 40 بلداً، ومنها إلى المعاهد الخاصة والجامعات.

إن شبكة الحواسيب المنتشرة في كل أرجاء العالم ستتيح إضافة 6000 إلى الفيزيائيين العاملين على التجارب وستسمح بالدخول إلى الحواسيب الشخصية المحلية وبطلب تحليل البيانات. ولتعقيد الأمور أكثر، ستكون البيانات (التي تغطي 10 إلى 15 سنة من المحتمل أن يعمل خلالها المسرع LHC) في متناول الفيزيائيين وفي أي وقت يشاؤون.

## تم وصل أكثر من 100 مركز حسابات في 31 بلداً، الأمر الذي ينتج عنه أكبر شبكة علمية في التاريخ

لقد حققت شبكة LHC المنتشرة في كل أنحاء العالم معلماً هاماً في طريقها للوصول إلى هذا الهدف في 15 آذار/مارس، حين تم وصل أكثر من 100 مركز حسابات موزعة في 31 بلداً بعضها مع بعض، مما يجعلها أضخم شبكة علمية في التاريخ. لكن حتى وإن كانت هذه الشبكة العملاقة مجرد بداية، فإنها توفر 5 في المئة فقط من قوة المعالجة المقدرة التي سيحتاج إليها LHC في النهاية.

سيحتاج سيرن أن يتأكد من عدم وجود فريق أو معهد يستأثر بأكثر من نصيبه من الشبكة. وربما يلجأ الفيزيائيون إلى أسلوب المقايضة حالياً، ولكن هذه المنظومة يمكنها أن تعمل لاحقاً على أساس ادفع بقدر ما تستخدم. ويقول غري: "الصناعة مهتمة جداً بفهم كيفية تناولنا هذا الأمر". "فالشبكة الضخمة قد تكون مثيرة جداً للأعمال التجارية، ولكنها تحتاج إلى معرفة ما سيكون عليه شكل العمل".

ينبغي أن تكون شبكة المصادم LHC قيد العمل بصورة مستمرة مع نهاية العام القادم، وبذلك تسمح ببدء التجارب. ورغم أن المسرع سيظل صامتاً، فإن الفيزيائيين سيشغلون المكاشيف ليروا كيف تستجيب لجسيمات الأشعة الكونية القادمة من الفضاء. وحينما يقلع المصادم LHC بصورة جديّة في صيف عام 2007، سيكون كل واحد في حالة قلق وتوتر. ويقول وُتكينز Watkins إنه بالرغم من

عدم وجود ضمان بأن يولد المصادم LHC جسيمات غريبة جديدة، فهناك دليل نظري قوي بأنه سيفعل. ويضيف قائلاً: "لا توجد لدينا فكرة عن ماهية الفيزياء الجديدة التي سنراها. ولن تكون العملية لهواً ولعباً".

هذا ويوافق على ذلك ريك غيتسكل R.Gaitskell، وهو فيزيائي من جامعة براون في بروفيدينس، رود آيلند فيقول: "إذا استثنينا الناس المتشككين دوماً فأنا أعتقد أننا في طريقنا لتعلم شيء ما من المصادم LHC".

يحسّ الكثيرون بأن مستقبل فيزياء الجسيمات يعتمد على المصادم LHC - إذ إن فشل هذا المشروع الذي تبلغ كلفته بلايين الدولارات لبدء فيزياء جديدة قد يكون مدمراً. لكن الفيزيائيين متفائلون، وهم يخططون الآن لمسرّع ضخم آخر، وهو مصادم خطي سيقوم بضرب الإلكترونات بالبوزترونات. ولما كانت هذه جسيمات أولية، لا تشبه بروتونات المصادم LHC التي تحتوي على كواركات، فإن التصادمات ستكون أقل إرباكاً وأسهل تحليلاً. ويعتقد غيتسكل أن باستطاعة مصادم خطي ممتاز أن يكون المتمم المثالي للمصادم LHC. ويقول في هذا الصدد: "حتى إذا فشل المصادم LHC، لا قدر الله، في العثور على أي جسيمات جديدة، فأنا أعتقد أن الناس سيستمترون بوضع ثقلهم في دعم مصادم خطي جديد".

نُشر هذا الخبر في مجلة NewScientist, 21 May 2005



# صراع القدرة الكهربائية

هل سيكون السبيل الوحيد لإيقاف الاحترار العالمي الكارثي نووياً؟

إن أرخص خيار إلى حد بعيد يتمثل بتحسين كفاءة الطاقة باستخدام الحرارة التي خلفتها النفايات الناتجة من محطات القدرة، على سبيل المثال. عندئذ سيكون هناك مصادر طاقة متجددة، لا تتأثر بأي من مساوئ الطاقة النووية وإن كانت لها مشاكلها الخاصة.

يتمثل النقد الرئيس للطاقات المتجددة في أنها لن تسد حاجة الطاقة بالمقياس المطلوب. صحيح أن طاقة الرياح لوحدها لن تقوم بهذه المهمة، ولكن بإضافة كهرباء طاقة المد والطاقات المائية الصغرى وطاقة الكتلة الحيوية تختفي المشكلة. وتعتبر كهرباء طاقة

**" يبدو أن الكهرباء النووية باهظة التكاليف إذ إن تكاليفها لم تحسب على نحو يرضي الجميع "**

الرياح وطاقة الكتلة الحيوية رخيصتين تقريباً كالفحم، بينما تتقدم الطاقات المتجددة مثل كهرباء طاقة الأمواج والخلايا الفولطية الضوئية بشكل ثابت في ميدان المنافسة.

وعادة ما يكون الوقع البيئي للطاقات المتجددة الأخرى منخفض الوطأة، بالرغم من كون مزارع الرياح تعاني من المشاكل، لاسيما بالنسبة للناس الذين لا يريدونها أن تفسد المشاهد الريفية. لكن هناك طرق للالتفاف على ذلك كإقامة مزارع رياح على الشاطئ أو اختيار موقع عنفة واحدة أو عدد صغير من العنفات قرب المدن مجديدين بذلك وبصورة فاعلة صورة الطواحين الهوائية التي تذكرنا بالقرن الوسطى.

وقد يكون أفضل دليل على إمكانيات نجاح الطاقات المتجددة موجوداً في ألمانيا

أن تكون قابلة للاتجار على امتداد العالم. وكذلك في عالم ما بعد أحداث 11 أيلول، فإننا نريد مصادر طاقة لا يمكن أن يساء استعمالها من قبل الإرهابيين أو الدول الشريرة.

لقد سجلت الكهرباء النووية مؤشرات عالية في انخفاض إصداراتها من غاز ثاني أكسيد الكربون، ولكنها خسرت بتركها موروثاً بغياً: فنفاياتها الإشعاعية العالية السوية بحاجة إلى صون لعشرات آلاف السنين. وبالرغم من ضمانات السنوات الأربعين من جانب الصناعة النووية التي تعتبر أن هذا الأمر "مسألة هندسية بحتة"، فما من أحد توصل إلى حلها. ولا يعقل قبول إنتاج المزيد من النفايات حين لا نستطيع التخلص مما لدينا الآن.

وثمة عامل قلق آخر يتعلق بالكهرباء النووية يتمثل في كونها على ما يبدو باهظة التكاليف، فتكاليفها لم تحسب على نحو يرضي الجميع، ربما بسبب تعقيدات مسألة الإعانات الحكومية وربما لأن التكاليف النهائية لمشكلات مثل طرح النفايات غير مؤكدة. فالكهرباء النووية لم تربح بالتأكيد جولة مستثمري السوق الحرة؛ إذ لم تُنشأ محطات في أسواق الكهرباء المخصصة.

وقد يكون الأمن الدولي أكبر مساوئ الكهرباء النووية. فمستوى الثقة في معاهدة عدم الانتشار والضمانات النووية مازال منخفضاً؛ إذ تعتبر كوريا الشمالية أحدث دولة تبين كم هو من السهل انحراف الوقود النووي إلى صنع الأسلحة، بينما يحتمل أن تبقى المواقع النووية أهدافاً للإرهابيين. ومثل هذه العوامل المقلقة تضع قيوداً على الأمكنة التي يمكن أن تبنى عليها المحطات.

إذا، هل توجد بدائل للكهرباء النووية؟

عادت الكهرباء النووية إلى الأجندة بشكل كبير. فالرئيس الأمريكي جورج بوش يريد من الكونغرس أن يسهل بناء محطات نووية، ومن المتوقع لمجلس الوزراء البريطاني المعين حديثاً أن يدرس خططا لنهضة نووية، وفي منتدى منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية OECD الذي انعقد مؤخراً في باريس بفرنسا، جادل مؤيدو الكهرباء النووية بشكل متحمس بأنها السبيل الوحيد لضبط الاحترار العالمي.

أما دول أمريكا الشمالية وأوروبا (باستثناء فرنسا وفنلندا) فقد أدارت ظهورها للكهرباء النووية وذلك عقب الحوادث النووية في السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي وازدياد قلق الناس حول مصير النفايات المشعة. واليوم مع بروز الاحترار العالمي كقضية رئيسية، فإن حقيقة كون المحطات النووية تولد من ثاني أكسيد الكربون ما هو أقل بكثير مما تولده محطات الوقود الأحفوري، أعطت للشركات النووية نقطة بيع جديدة - على الأقل في أوروبا. لذلك هل ينبغي علينا أن ننفذ الغبار عن الكهرباء النووية من أجل استخدامها وأن نمنحها محاولة أخرى؟

للجواب عن هذا السؤال علينا أن نفكر بماذا نريد حقاً من مصادر طاقتنا. إننا نريد أن يكون وقعها البيئي ضئيلاً، ولكن على أن تكون قادرة على تزويد الطاقة بمقياس هائل. كما نريد أن تكون التكاليف منخفضة، وطريقة توليدها آمنة لأنه ينبغي أن يتاح مقدار وافر من الوقود. وبحسب تقديرات وكالة الطاقة الدولية فإن ثلثي الطلب الإضافي على الطاقة طيلة السنوات الخمس والعشرين القادمة سيكون من الدول النامية، لذلك فالمصادر التي نختارها أيًا كانت يجب

نتوجه إلى طرائق خطية مستدامة ومطوية لتوليد الطاقة. وهذا يعني مزيداً من الأبحاث والتطوير في كفاءة القدرة والطاقت المتجددة وحملة مقررة لنشرها.

نُشر هذا الخبر في مجلة *NewScientist*, 14 May 2005

المتجددة لتزويد نصف احتياجاتها من الطاقة بحلول عام 2050، مقللة بذلك من انبعاثاتها الكربونية إلى خمس سوياتها لعام 1990.

وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار مصادرها المحدودة، فإن من الواجب علينا أن نضع أموالنا لصالح أفضل حل عالمي. وبدلاً من إعادة اختراع محطات جديدة يجب أن

التي تريد إنهاء استخدام الكهرباء النووية بحلول عام 2025، ولهذا تنصرف على وجه السرعة إلى مصادر أخرى. فهي تنتج حالياً أكثر من 8% من قدرتها الكهربائية من طاقت متجددة مثل طاقة الرياح والكتلة الحيوية، وتعتبر أكبر مستخدم عالمي للخلايا الفولطية الضوئية. وهي تتطلع إلى الطاقات

## الحياة البحرية في خطر بسبب التحول الحمضي في المحيطات

من المعادن السامة حينما ينخفض الـ pH. ويحتمل أن يقع التأثير الأعظم على المتعضيات الحية ذات القواقع التي تتألف من كربونات الكالسيوم، بدءاً من الكركند والسرطان وانتهاءً بالمحار، وعلى أنواع معينة من العوالق والبولبات polyps المرجانية، مع العلم بأن كربونات الكالسيوم لا تذوب في ماء البحر لكون الماء مشبعاً بأيونات الكربون ليس إلا. وكلما ارتفعت الحموضة انخفض مستوى أيونات الكربونات. مما يجعل من الصعوبة بمكان أن تقوم الحيوانات بصنع قواقعها. وفي بعض الأجزاء من المحيط قد يصل الأمر حد أن تشرع مثل تلك البنى في الذوبان فعلاً.

هذا، وتواجه الشعب المرجانية خطراً عاثراً ثلاثي الأوجه يتمثل في: الاحترار العالمي، والتلوث الشاطئي، وحالياً ارتفاع الحموضة acidification. وحسب قول ريفن، فإننا يمكن أن نتوقع رؤية اضمحلال الشعب المرجانية في المناطق الاستوائية، مما سيؤثر على الصناعات السياحية والسكنية، بالإضافة إلى جعل التخوم الساحلية ذات طبيعة عطوبية.

ويدعي بعض المشككين أن المرجانيات سوف تتسارع نمواً بازدياد درجة حرارة

جزءاً لكل مليون قبل العصر الصناعي إلى 380 جزءاً لكل مليون بالنسبة للوقت الحاضر، بحيث بدأت المحيطات تصبح أكثر حموضة. وتوحي الموديلات models بأنه إذا استمرت الانبعاثات على نسبها الراهنة، فإن هذا الأس الهيدروجيني pH سيهبط بحلول العام 2100 بمقدار 0.5 من وحدات الأس.

من المستغرب أنه لم يتم إجراء إلا القليل من الأبحاث حول تأثيرات ازدياد الحموضة على بيولوجية وكيميائية المحيطات، ويوصي التقرير بإجراء المزيد من الأبحاث على وجه السرعة، ولكن ما نعرفه بالفعل ينذر بالسوء. ويقول جون ريفن J. Raven من جامعة دندي Dundee في المملكة المتحدة، والذي ترأس هذه المراجعة: "إن ذلك لن يقتل حيوانات البطريق والحيتان وأمثالها ولكنه سيؤثر على السلسلة الغذائية، مسبباً مفاعيل مخربة محتملة للحيوانات الكبيرة".

وللمبتدئين في السلسلة الغذائية، يصبح استخلاص الأكسجين من الماء أكثر صعوبة عندما يهبط الـ pH (الأس الهيدروجيني). ويمكن لهذا الأمر أن يؤثر في نمو وتكاثر الحيوانات ذات الاحتياج الكبير للأكسجين، مثل الحبار squid. وكذلك سوف ترتفع نسبة المركبات المنحلة

تتغير المحيطات تدريجياً لتغدو أكثر حموضة، إذ إنها تتشرب فائض ثاني أكسيد الكربون المنطلق إلى الجو. ويمكن أن يكون التغير مأساوياً بالنسبة للمنظومات البيئية البحرية وكذلك للأنظمة الاقتصادية المعتمدة على السياحة الساحلية وصيد الأسماك - وليس من طريقة لرد ذلك.

تلك هي النتيجة النهائية للمراجعة الأولى التي تنظر في جميع الدراسات المتعلقة بتزايد حموضة المحيطات، وكانت حصيلة بعثة من مجموعة علماء عالميين بتكليف من الجمعية الملكية التي تمثل الأكاديمية الوطنية للعلوم في بريطانيا.

إن المستوى الآخذ بالارتفاع لثاني أكسيد الكربون في الجو هو السبب في الاحترار العالمي global warming. بيد أن هذا الغاز أثناء انحلاله في المحيطات يسبب مشكلة مختلفة تماماً بتكوينه لحمض الكربون.

إن البحار التي تُعد بطبيعتها قلوية وذات أس هيدروجيني pH يساوي 8.2 تسلك سلوك دارية buffer تستطيع أن تمتص كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون دون تغيير في الحموضة إلا بقدر ضئيل. ولكن مستويات ثاني أكسيد الكربون في الجو آخذة بالارتفاع في الوقت الحالي بشكل سريع جداً، من 280

إن التحمُّض عملية غير عكوسة بشكل فعلي. ويقول ريفن: "ستستغرق السيرورات الطبيعية عدة آلاف من السنين كيما تعيد المحيطات إلى ما كانت عليه قبل الفترة الصناعية".

لقد درست مجموعة المراجعة أساليب تعديل الحموضة الممكنة، مثل إلقاء الطباشير في البحر، ولكن لجميع هذه الأساليب مشاكل رئيسية. ويقول أندرو واتسن A. Watson من جامعة إيست أنجاليا، بالمملكة المتحدة: "إنه ليس بالأمر العملي، فقد يتحم عليك أن تجرد منطقة من الطباشير النقي تغطي 60 كيلو متراً مربعاً وذات عمق يساوي 100 متر. إن الأمر قد يشبه إلقاء جروف دوفر البيضاء في البحر في كل عام".

ويقول ريفن في هذا الصدد: "إن الطريقة الوحيدة للإقلال من العواقب الطويلة الأمد إنما تتمثل في خفض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون". ويوافق واتسن قائلاً: "نحن بحاجة إلى هبوط حاد في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، بحيث ينخفض إلى نصف ما هو عليه في الوقت الحالي". ولا يبدو هذا الأمر محتملاً. إذ يطالب بروتوكول كيوتو Kyoto، والذي رفضته الولايات المتحدة، بتخفيضات لا تتعدى 5% بحلول العام 2012 عما بلغت الانبعاثات في العام 1990.

نشر هذا الخبر في مجلة NewScientist, 9 July 2005



يمكن للحبار أن يكافح في طلب الأكسجين.

لقد امتص البحر حوالي نصف ثاني أكسيد الكربون الذي سببه البشر في المنتهى عام الماضية، وهو يمتص حالياً ما يناهز طناً واحداً من الغاز في كل عام لكل شخص على سطح كوكب الأرض. ولكن إذا أُعيق نمو "حاملات المكورات المتكسبة"، فقد تقل كمية الكربون المزال من الجو والمحيطات، مسرعاً بذلك التغير المناخي وتزايد الحموضة.

**"وفيما تزداد الحموضة، سيكون من العسير على الحيوانات صنع قواقعها، كما أن مثل هذه البنى في بعض أجزاء المحيط يمكن أن تذوب".**

المحيطات بقدر يفوق خلل ازدياد الحموضة. ولكن جميع الدراسات حتى الآن توحي بأن تكلس المرجانيات يبلغ ذروته عند درجات الحرارة الحالية، حسبما تفيد هذه المراجعة. وما هو أكثر من ذلك إنما يتمثل في أن تصبح المحيطات الحمضية أقل قدرة على شطف ثاني أكسيد الكربون، وهو ما يجعل المشكلة أكثر سوءاً. وفي الوقت الحالي، فإن العوالق التي تقوم بالتركيب الضوئي والمسماة "حاملات المكورات المتكسبة -cocco-lithophores"، والتي تسهم في إنماء القواقع المكونة من كربونات الكالسيوم، تزدهر في تجمعات ضخمة في الربيع والصيف، ويغوص كثير منها في قاع المحيط، الأمر الذي يحبس كميات هائلة من الكربون في رواسب المحيط.

## إعادة حساب احتياطات النفط المستقبلية

7.04% سنوياً، "فإن هذا الملاء الأرضي من النفط سيدوم لمدة 342 سنة فقط". الآن، ومع وجود الصين وأمم أخرى تسير بسرعة باتجاه التصنيع وبتزايد استهلاكها للطاقة بشكل مثير، يبدو الأمل ضئيلاً بأن هذا التنامي الأسي في الاستهلاك الهيدروكربوني سيسوى عما قريب.

حوالي ثلاثة عقود خلت، فإننا "عندما نتعامل مع نمو أسي لا نحتاج إلى تقدير دقيق لحجم المصدر من أجل إجراء تقدير موثوق لديمومة هذا المصدر"، وذلك بافتراضه أن مقدار النفط يُعادل حجم الكرة الأرضية كلها (6.81×10<sup>21</sup> برميلاً). ومع معدل التنامي السائد حينذاك في استهلاك النفط والبالغ

زعم ل. موجيري L. Maugeri في منتدى السياسة النفطية تحت عنوان "لا تدق ناقوس الخطر: فعصر النفط بعيد النهاية" (21 أيار/مايو 2004) أن اكتشافات جديدة للنفط وهيدروكربونات أخرى ستندراً ندرة النفط لأجيال كثيرة قادمة. وكما عرض الفيزيائي ألبرت بارتلليت A. Bartlett قبل



ندرة النفط إلى حد "الهستيريا" و"عواء الذئب"، يحرفنا موجيري عن المسار الوحيد الذي يمكنه إنقاذ الحضارة الصناعية من عواقب فرط استهلاك الطاقة. إننا بحاجة لأن نبدأ برنامجاً صدامياً لتطوير وتنفيذ تقانات توفير للطاقة في البناء والتصنيع والنقل والزراعة في الوقت الذي لا يزال فيه لدى العالم ما يكفي من الثروة لتسيير المهام. وفي الوقت نفسه، يجب علينا أن نغير بسرعة عقلية التخريب الذاتي التي تمجد الهدر والاستهلاك غير الضروري.

نُشر هذا الخبر في مجلة 1 July, Vol 309 2005 .Science.

الحيوي. هذا، ويسبب الإيثانول المستخرج من الذرة أو قصب السكر في بعض الأحيان نقصاناً في الطاقة الصافية. وستكون إهدارات الطاقة لدى إنتاج الهيدروجين وتعبئته لأغراض اقتصادية من الأهمية بمكان. ولا يمثل الهيدروجين وقوداً أساسياً وتقلل خواصه الرئيسية من منفعة النهائية. أما القدرة النووية، فإنها ذات دور مستمر في توليد الكهرباء، لكنها، خلافاً للنفط، لا تعدّ خامةً وقوداً كيميائياً للصناعة. وهناك همومٌ مربكة تتعلق بالأمان. ولا يزال للنفط الرخيص والهيدروكربونات دورٌ في استحضر ومعالجة الوقود النووي وبناء المنشآت النووية. وبالإشارة إلى الهموم القانونية حول

وبالطبع، فإن الكرة الأرضية لا تتألف كلياً من النفط - وهي بعيدة عن ذلك. وعلاوة على ذلك، فإن المصادر الهيدروكربونية البديلة التي يذكرها موجيري: ممثلة في رمال القطران الكندية والزيوت الثقيل الفنزويلي والروسي، لا تشكل بديلاً عن النفط الرخيص. وقد لاحظ جيولوجي النفط والتر يونكويسست W. Youngquist أن نسبة مئوية كبيرة من الطاقة المنتجة من هذه المصادر البديلة تنصرف خلال عمليات المعالجة (بمعدل برميليون من كل ثلاثة براميل في حالة رمال القطران، وبشكل مماثل ثمة نسبة منخفضة من الطاقة الصافية في حالة الزيت الثقيل. ويمكن قول الشيء نفسه عن الزيت الحجري والوقود

## متى يستنفد النفط ؟

ورغم أنه يمكن للخبراء المراوغة في شأن فروقهم، إلا أنهم متفقون بشكل كبير: إذ إن جميع التقديرات التي اطلعت عليها تتوافق ضمن مثلين تقريباً فيما يتعلق بالكمية المتبقية من النفط. وحيثما نشاء التوقف في تلك السلسلة فإن دلالات السياسة لا تختلف كثيراً. فمصادر النفط تنخفض والإمداد عنيد لا مرونة فيه.

ثانياً، يجب أن نحضر في الوقت الحالي لتحوّل صعب. وقد سبقت أوروبا واليابان (الفقيرتان بمصادر النفط) الولايات المتحدة كثيراً في إجراء تعديلات في استخدام الطاقة. وإضافة إلى ذلك، فعند السكان فيهما ثابت أو في حالة انخفاض وكذلك الأمر بالنسبة للمتطلبات المتشابهة من الطاقة. وقد اختارت أوروبا واليابان أن تحدا من الطلب على الطاقة عن طريق فرض ضرائب عالية على البنزين.

هذا وتضع الولايات المتحدة نفسها في الموقع الأسوأ بالنسبة للتحوّل الطاقوي وذلك بتشجيع النمو السكاني غير المنضبط (بشكل رئيسي عن طريق الهجرة) وبفعل القليل لتشجيع المردود الطاقوي.

نُشر هذا الخبر في مجلة 1 July, Vol 309 2005 .Science.

فإن النفط المتبقي يبلغ 2311 بليون برميل وهو رقم أقرب إلى التقديرات الأخرى. لكن موجيري Maugeri يتجاهل حقيقة كون اكتشاف الاحتياطيات يقلل من تقديرات النفط غير المكتشف. فهذا لا يزيد بالضرورة الرقم الإجمالي لمصادر النفط النهائية القابلة للاستخراج.

وهو يحسب أيضاً "فهرس الحياة life index" لأربعين سنة بالنسبة للاحتياطيات المعروفة، وذلك باستخدام أرقام الاستهلاك الحالية. فإذا استُخدم الرقم 891 بليون برميل (الاحتياطي المتبقي) فإن ذلك سيقبل ذلك العدد إلى 32 سنة ولكن توجد عيوب في هذا الحساب. إذ إن عمل إسقاطات -projec-tions مبنية على الاستهلاك الحالي، تكون بلا معنى إذا كان الاستهلاك يزداد (وهذا ما يحدث فعلاً). ويتصور للنمو السنوي عبر العالم البالغ 1.9% من 2001 حتى 2025 فإن إمدادات السنوات الاثنتين والثلاثين ستهدب إلى 26 سنة تقريباً.

أعتقد أنه يجب علينا استنباط استنتاجات مختلفة جداً عن التقديرات الحالية. أولاً،

في منتداه حول "النفط والاعتقاد بأن عصر البترول بعيد الانقضاء" أجرى L. Maugeri حساباً مزدوجاً مهماً لطمانتنا بأن "النفط لن ينفد من العالم". فهو يستشهد بمراجعات صاعدة متنوعة في التقديرات التاريخية لاحتياطيات النفط ومصادره التي بلغت ذروتها في تقديرات المسح الجيولوجي الذي أجرته الولايات المتحدة في العام 2000، حيث بلغت 3021 بليون برميل من المصادر القابلة للاستخراج بشكل نهائي، وبذلك توصل إلى الاستنتاج بأن "العالم بالإجمال يحتفظ بأكثر من ثلاثة ترليون برميل من مصادر النفط القابلة للاستخراج".

لكن ولسوء الحظ، فإن الرقم 3021 يتضمن النفط الذي تم استهلاكه سلفاً. إنه يشمل من "النفط التقليدي غير المكتشف" (732 بليون برميل) و"النمو الاحتياطي" (688 بليون برميل) و"الاحتياطيات المتبقية" (891 بليون برميل) و"الإنتاج التراكمي" (710 بليون برميل). فإذا خصمنا كمية الـ (710 بليون برميل) التي سبق أن تم استهلاكها،

# الكوريوم

- 242 الكوريوم -244، والكوريوم -246 أيضاً بواسطة الانشطار التلقائي (SF).

## مصدره

على الرغم من أنه لم يتم أبداً الكشف عن وجود الكوريوم الطبيعي، إلا أنه يمكن أن توجد كميات دقيقة في بعض خامات اليورانيوم. ويُعد الكوريوم منتجاً ثانوياً من أنشطة إنتاج البلوتونيوم، كما ينتج عن عمليات الأسر المتتالية للنترونات من قبل البلوتونيوم والأميريسيوم، بشكل عام في المفاعلات النووية.

الطويلة الحياة تمثل بشكل نمطي أقل بكثير من نسبة 1% من مخزون الكوريوم في موقع ما. يضمحل الكوريوم عامةً إلى بلوتونيوم عبر إصداره جسيم ألفا؛ ويترافق إشعاع غاما ببعض هذه الاضمحلات. وتتم نسبة مئوية صغيرة (14%) نسبياً من اضمحلات الكوريوم -250 عن طريق إصدار جسيم بيتا إلى بيركليوم -250. وكذلك يضمحل الكوريوم -248 والكوريوم -250 عبر الانشطار التلقائي (SF)، وهي عملية تتفكك فيها الذرة ذاتياً إلى نرتين أصغر مصحوبتين بإطلاق طاقة. (تضمحل نسبة صغيرة جداً من الكوريوم

الرمز:	Cm
العدد الذري:	96
(عدد البروتونات في النواة)	
الوزن الذري:	88
(غير موجود بشكل طبيعي)	

## ما هيته

الكوريوم معدن صلب هش مائل للون الفضي يبهت بريقه ببطء في الهواء الجاف بدرجة حرارة الغرفة. ولا يوجد الكوريوم بشكل طبيعي؛ إذ يتولد صناعياً بشكل نمطي في المفاعلات النووية عبر عمليات أسر إلكترونات متتالية بواسطة نظائر البلوتونيوم والأميريسيوم. ويوجد ستة عشر نظيراً معروفاً للكوريوم، وجميعها نشيط إشعاعياً. (النظائر هي أشكال مختلفة لعنصر ما بحيث تملك نفس عدد البروتونات في النواة ولكن لها عدد مختلف من النيوترونات). لقد تم إنتاج الكوريوم للمرة الأولى في عام 1944 وذلك بواسطة قذف البلوتونيوم -239 بجسيمات ألفا في سيكلوترون بجامعة كاليفورنيا في بيركلي Berkeley. وقد تم عزل الكوريوم بكميات ظاهرة على شكل هيدروكسيد في العام 1947 وأعطى اسمه هذا تكريماً لبير وماري كوري، اللذين كانا رائدي دراسة النشاط الإشعاعي.

تملك ثمانية من النظائر الستة عشر للكوريوم أعمار نصف تفوق شهراً. ويعد الكوريوم -243 والكوريوم -244 النظيرين الاثنين الأكثر أهمية في مواقع الإدارة البيئية لوزارة الطاقة (DOE) مثل هانفورد. أما بالنسبة للكوريوم -242 الذي تم إنتاجه منذ أكثر من 20 عاماً مضت، فقد اضمحل بكامله بشكل أساسي، وتحدّ الأنشطة النوعية المنخفضة لبقية نظائر الكوريوم من مخاطرها الإشعاعية. بالإضافة إلى ذلك، فإن النظائر

الخواص الإشعاعية لنظائر الكوريوم الرئيسية والتكديرات الإشعاعية المرتبطة بها						
النظير	عمر النصف (yr)	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط التحلل	الطاقة الإشعاعية (MeV)		
				ألفا	بيتا	غاما
Cm-242	160 يوماً	3.400	α	6.1	0.010	0.0018
Cm-243	29 سنة	52	α	5.8	0.14	0.13
Cm-244	18 سنة	82	α	5.8	0.086	0.0017
Cm-245	8.500 سنة	0.17	α	5.4	0.065	0.096
Cm-246	4.700 سنة	0.31	α	5.4	0.0080	0.0015
Cm-247	16 مليون سنة	0.000094	α	4.9	0.021	0.32
Cm-248	340.000 سنة	0.0043	α	4.7	0.0060	0.0012
Cm-250	6.900 سنة	49.000	β, α	1.3	0.0016	-
Pu-246 (25%)	11 يوماً	49.000	β	-	0.13	0.14
Bk-250 (14%)	3.2 ساعة	3.9 مليون	β	-	0.29	0.89
Am-246 (25%)	39 دقيقة	20 مليون	β	-	0.66	0.70

MeV = مليون إلكترون فولت؛ تعني الشَّرْطَة أن العملية غير مطبقة. حوالي 8% من اضمحلات الكوريوم -248 تحدث بواسطة الانشطار التلقائي (SF)، مع اضمحلال لجسيمات ألفا يحدث طيلة 92% من الوقت. إن 61% من عمليات اضمحلات الكوريوم -250 تجري بواسطة الانشطار التلقائي (SF)، مع إصدار جسيمات ألفا (25%) وإصدار جسيمات بيتا (14%) لتفسير المتبقي. بعض خواص البلوتونيوم -246، والبيركليوم -250، والأميريسيوم -246 مدرجة هنا لأن هذه التكديرات المشعة ترافق اضمحلات الكوريوم -250. وقد أدرجت القيم مقربة إلى أهم منزلتين رقميتين.

## استخدامه

في الهيكل العظمي فإنه يترسب بشكلٍ رئيسي على السطوح داخل العظمية للعظام غير الغضروفية ولا تتم إعادة توزيعه إلا بشكل بطيء في أنحاء كتلة العظم.

## تأثيراته الصحية الأساسية

لا يعد الكورיום بشكل عام خطراً على الصحة إلا إذا تم دخوله إلى الجسم. ولكن ثمة خطرٌ خارجي صغير يصاحب النظائر ذات الأعداد الفردية (أي الكورיום -243، الكورיום -245، الكورיום -247). أما الوسائل الأساسية للتعرض فتتمثل في ابتلاع الطعام والشراب المحتوي على الكورיום واستنشاق الغبار الملوث بالكورיום. ويعد الابتلاع عموماً هو طريق التعرض الأهم ما لم يكن هناك مصدر قريب للغبار الملوث. ونظراً إلى أن دخول الكورיום يتم في الجسم بسرعة أكبر لدى استنشاقه منه لدى ابتلاعه، فإن جميع طرق التعرض قد تكون هامة. ويتمثل مصدر القلق الأكبر في الأورام العظمية الناجمة عن الإشعاع المؤين المنبعث عن نظائر الكورיום المترسبة على سطوح العظم.

## خطورته

لقد تم حساب معاملات الخطورة العمرية للوفاة بالسرطان لكل النكليدات المشعة تقريباً، بما فيها الكورיום (انظر المؤطر في الجهة اليسرى). فبينما يمثل الابتلاع بشكل عام أكثر أنماط التعرض شيوعاً، فإن معاملات الخطورة هذه تعد أقل بكثير من مثيلاتها المتعلقة بالاستنشاق. أما بالنسبة للنكليدات الأخرى، فإن معامل الخطورة بالنسبة لمياه الصنبور يبلغ حوالي 80% من نظيره المتعلق بالابتلاع

### معاملات الخطورة الإشعاعية

يوضح هذا الجدول بشكل انتقائي معاملات الخطورة بالنسبة للاستنشاق والابتلاع. وقد تم استخدام أنماط أو نماذج مفترضة للامتصاص موصى بها بالنسبة للاستنشاق، واستخدمت قيم غذائية بالنسبة للابتلاع. وإن القيم الموضحة بالنسبة للكورיום -250 هي تلك المرتبطة بنواتج ذات الاضمحلال القصير الحياة؛ لم تتوفر قيم بالنسبة للكورיום -248. أما نسبة الخطورة فهي من أجل الخطورة العمرية للوفاة بالسرطان لكل وحدة ابتلاع (بيكوكوري/ pCi)، كمعدل لعموم الأعمار و لكلا الجنسين (9-10 تساوي بليون، و 12-10 تساوي تريليون). و تتوفر أيضاً قيم أخرى، بما فيها الأمراض.

الخطورة العمرية للوفاة بالسرطان		النظير
الابتلاع (pCi <sup>-1</sup> )	الاستنشاق (pCi <sup>-1</sup> )	
10 <sup>-11</sup> × 3.2	10 <sup>-8</sup> × 1.4	كورיום-242
10 <sup>-11</sup> × 8.5	10 <sup>-8</sup> × 2.4	كورיום-242
10 <sup>-11</sup> × 7.5	10 <sup>-8</sup> × 2.3	كورיום-242
10 <sup>-11</sup> × 9.5	10 <sup>-8</sup> × 2.4	كورיום-242
10 <sup>-11</sup> × 9.3	10 <sup>-8</sup> × 2.4	كورיום-242
10 <sup>-11</sup> × 9.0	10 <sup>-8</sup> × 2.2	كورיום-242
10 <sup>-12</sup> × 3.6	10 <sup>-12</sup> × 3.7	كورיום-242

يوجد للكورיום القليل من الاستخدامات خارج نطاق أنشطة البحث العلمي. إنه متاح بكميات محدودة جداً وحسب. يمكن استخدام نظائر الكورיום دونما تدريع shielding ثقيل كمصادر للقدرة الكهربائية الحرارية في الأقمار الصناعية والمسابر الفضائية الخالية من الملاحين. وقد تم استخدام الكورיום -242 في مولدات القدرة النظائرية ما دامت تولد حوالي 3 واط من الطاقة الحرارية (من الاضمحلال الإشعاعي) لكل غرام. كما استخدم الكورיום -242 أيضاً في البعثات القمرية لقص (رجم) تربة القمر بجسيمات ألفا لتحديد نمط المادة التي ألقت التربة القمرية. لقد حلت الأجهزة خصائص جسيمات ألفا المتبعثرة (المنتشرة) عن سطح القمر، تبين من خلالها أن التربة القمرية كانت تشابه في تكوينها البارز، وهو صخر بركاني أرضي شائع. إن النشاط النوعي العالي للكورיום -242 مترافقاً مع خطره الخارجي المنخفض جعل هذا النظير خياراً مثالياً لمثل هذا التطبيق.

## وجوده في البيئة

إن الاختبار الجوي للأسلحة النووية، والذي توقف في أنحاء العالم بحلول عام 1980، هو الذي ولد أغلب الكورיום البيئي. وقد سببت الحوادث والانبعثات الأخرى من منشآت إنتاج الأسلحة تلوثاً محلياً. ويعد أكسيد الكورיום الصيغة الأكثر شيوعاً في البيئة. ويكون الكورיום بشكل نمطي غير قابل للانحلال أبداً وهو يلتصق بقوة بجسيمات التربة. ويُقدَّر أن تركيز الكورיום في جسيمات التربة الرملية يفوق بحوالي 4000 مرة تركيزه في المياه البيئية (في الفراغات المسامية بين جسيمات التربة)، وهو يرتبط كذلك بشكل أكثر قوة بالتربة الطفالية loam soil حيث نسب التركيز أعلى (أي 18,000). وفي هانفورد، تتركز أعلى نسب للكورיום في المناطق التي تحتوي على النفايات الناشئة عن معالجة الوقود المشع، كالمخزانات الموجودة في المنطقة المركزية من الموقع.

## سيرورته في الجسم

يمكن أن يدخل الكورיום إلى الجسم عن طريق تناول الطعام أو شرب الماء أو استنشاق الهواء. يعد الامتصاص المعدي المعوي من الماء أو الطعام المصدر الأكثر احتمالاً لأي كمية مترسبة من الكورיום داخلها في عموم الأفراد. ويعد ابتلاع الكورיום يتم إخراج معظمه من الجسم في غضون بضعة أيام ولا يدخل مجرى الدم أبداً؛ إذ يتم امتصاص حوالي 0.05% فقط من الكمية المترسبة إلى داخل مجرى الدم. ومن الكورיום الذي يصل إلى الدم، يترسب حوالي 45% في الكبد، حيث يحتجز بعمر نصف بيولوجي يساوي 20 عاماً (وفقاً لموديلات مبسطة لا تعكس التوزيع المحلي intermediate). أما أغلب الـ 10% المتبقية فيتم إخراجها مباشرة. أما الكورיום الموجود



245-، و6 أشخاص إذا احتوت على كوريوم-247. (هذا بالقياس إلى 25000 شخص من مجموعة كان من المتوقع وفاتها بالسرطان من جميع الأسباب الأخرى وفقاً للمعدل في الولايات المتحدة). إن معاملات الخطورة الخارجية بالنسبة لنظائر الكوريوم الأخرى هي أقل من 1% من معاملات هذه النظائر الثلاثة.

نُشر هذا الخبر في مجلة ANZ , October 2001.

الغذائي. وبالإضافة إلى المخاطر الناشئة عن التعرض الداخلي، فإن الخطر من التعرض الخارجي لأشعة غاما يرافق الكوريوم-243 والكوريوم-245 والكوريوم-247. وباستخدام معاملات خطورة غاما الخارجية من أجل تقدير مخاطر الوفاة العمرية بالسرطان، إذا افترضنا أنه تم تعرض 100.000 شخص بشكل متواصل لطبقة سميكة من تربة ذات تركيز وسطي مبدئي يساوي (1 pCi/g)، فإنه يمكن التوقع لشخص واحد أن يتعرض لسرطان قاتل إذا احتوت التربة على كوريوم-243، وشخص واحد إذا احتوت على كوريوم

جرى تقصي تفاعل ضم رباعي كلور الكربون إلى الرابطة المضاعفة في الأوليفين (بخاصة الهكسن-1) بوجود سداسي كربونيل الكروم والضوء. يتبع التفاعل بشكل أساسي مساراً سلسلياً بجنور حرة يقتصر فيه عمل المعقد المعدني على دور البادئ. توضح المراتب الملاحظة للتفاعل آليته السلسلية ذات الجذور الحرة. دُرِسَ تأثير الضوء فوق البنفسجي ووجد أنه مسؤول عن البدء في عملية التسلسل الجذري الحرو عن تحضير أنواع مُحَفَّزة ضوئياً، غيرها الضوء وهي مسؤولة عن تشكل كميات قليلة من ناتج تفاعل الضم أثناء الفترات المعتمدة. يُظهر سداسي كربونيل الكروم كفاءة بدء قابلة للمقارنة مع فوق الأكاسيد العضوية، لكن المعقدات الأخرى، مثل  $Mo(CO)_6$  و  $W(CO)_6$  أقل فعالية.

## دراسة حركية تفاعل ضم

### رباعي كلور الكربون

### إلى الهكسن-1 المبدأ

## بوساطة سداسي كربونيل الكروم بوجود

### ضوء فوق بنفسجي

#### د. عادل حرفوش

قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب. 6091 - دمشق - سورية

**الكلمات المفتاحية:** رباعي كلور الكربون، سداسي كربونيل الكروم، أوليفين، تفاعل ضم، تفاعل مُساعد ضوئياً، تفاعل مُحَفَّز ضوئياً.

المحتملة لهذا التفاعل كما يلي:

(I) تفاعل تسلسل جذري تقليدي [5] يقوم فيه المعدن ببساطة بدور بادئ لإنتاج R من RX يليه تشكل جذر إضافة RA نتيجة ضم R إلى الأوليفين. يبدأ انتقال سلسلة R بمهاجمة جذر الإضافة لـ RX عبر نزع ذرة هالوجين؛ (II) آلية حفز أكسدة-إرجاع [6]، التي تختلف عن سابقتها بأن انتقال السلسلة يُنجزُ بانتقال هالوجين من MX إلى جذر الإضافة؛ (III) آلية حفز أكسدة-إرجاع مُعدلة [7] حيث يزدوج R مع أيون معدني وبوجود الأوليفين يتم ازدواج  $R_A$  مع أيون معدني ليتشكل ناتج ضم،  $R_A X$ ، بانتقال ذرة هالوجين إلى جذر الضم؛ (IV) آلية تعقيد معدني تشتمل ضم أكسدة-إرجاع لـ RX إلى M مما ينتج عنه الأنواع RMX، يتبعه إقحام أوليفين في الرابطة R-M وحذف إرجاعي لناتج الضم مع إعادة توليد المعقد الحفزي [8] (المخطط 1).

يُصَف تفاعل كاراش Kharasch، أي ضم متعددات الهالوجين الألكانية إلى الأوليفين، بأنه طريقة معروفة تماماً لتشكيل الرابطة C-C [1]. يُعدُّ هذا النمط من تفاعلات الضم بلا شك تفاعلاً مهماً من وجهة نظر الاصطناع. كما أن فهم الآلية عامل أساسي لتطوير اصطناع لا تناظري حفزي فعّال لتحضير عدد كبير من المركبات العضوية الفعّالة بصرياً. تلعب فوق الأكاسيد العضوية دور بادئ في تفاعل ضم هالوجينات الكربون إلى الروابط المضاعفة الألكنية (تفاعل ضم كاراش) بآلية سلسلية للجذور الحرة [2]. تقوم بعض معقدات المعادن الانتقالية (transition metal complexes TMC) المنخفضة التكافؤ بحفز هذا النمط من التفاعل [3]. وما تزال آلية حفز تفاعل الضم هذا بوساطة TMC رهن النقاش.

اقترحت آليات عديدة في مختلف مراحل دراسة تفاعل كاراش الحراري المحفّز بـ TMC. لخص تاراروف tararov وزملاؤه [4] الآليات

الأكثر قدرة على إنجاز الانتقائية الأعلى (>99%) وتفاعل إضافة  $CCl_4$  للأوليفينات الأكثر اكتمالاً.

هدفت دراستنا هذه لإجراء دراسة حركية لتفاعل ضم  $CCl_4$  إلى الهكسن-1 في المنظومة  $(Cr(CO)_6/CCl_4/1\text{-hexene}/h\nu)$ ، لتعيين دور الضوء وشرح آلية تفاعل الإضافة هذا.

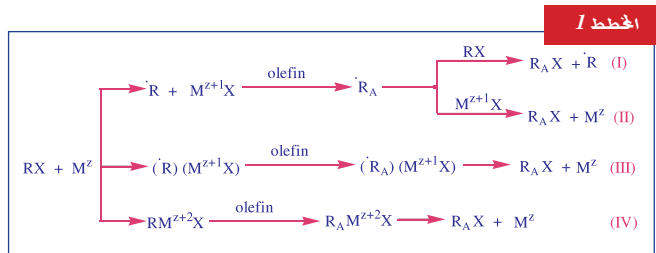
### المواد والطرائق

جميع الأدوات كالمحفنة والإبر ووحدات التقطير والأنابيب والدوارق كانت تغسل وتشتطف بالأستون، وتجفف لمدة ثلاث ساعات عند الدرجة 110 مئوية، وتبرد في جو من النتروجين الخالي من الأكسجين قبل الاستخدام.

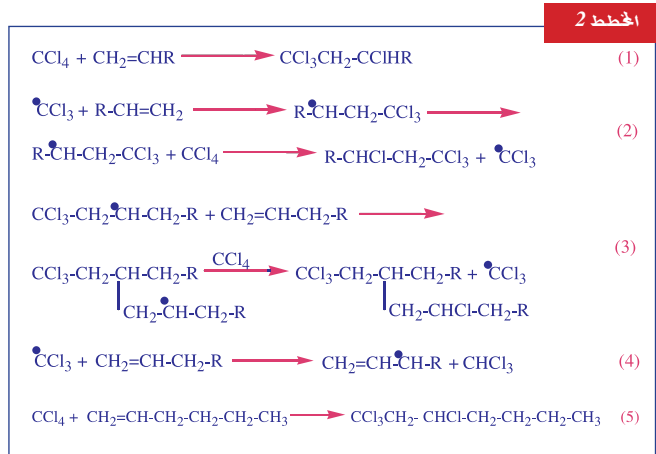
كان  $CCl_4$  والتولوين (درجة طيفية فوق بنفسجية)، من s.d. Fine-Chem Ltd و SRL على التوالي، وكان كل من الإيزوأوكتان (GR, Merck) والهكسن-1 (من Aldrich) يجفف و تزال منه الغازات ويقطر في جو من النتروجين الخالي من الأكسجين. اتخذت عناية خاصة للتأكد من أن الكواشف خالية من شوائب فوق الأكاسيد. استخدم التولوين كمذيب في التجارب حيث غير تركيز  $CCl_4$  لنحصل على حجم نهائي للمذيب قدره 20 مل. استخدم الإيزوأوكتان كمييار داخلي. وفي تجارب منفصلة، أظهر كل من التولوين والإيزوأوكتان أنهما عديما التأثير بالتشعيع بوجود أي من  $Cr(CO)_6$  أو  $CCl_4$ . كان مصدر سداسي كربونيل الكروم من Aldrich وقد استخدم دون أن يخضع لأي معالجة. جرى تفاعل التحلل الضوئي في مفاعل كيميائي ضوئية (Heber Scientific HEAOP System) باستخدام طول الموجة 350 نانومتراً من مصابيح زئبق منخفض الضغط كمنبع ضوئي.

أجريت عمليات نقل المذيبات والمنابلات الأخرى بعناية مشددة لتحاكي التلوث بالهواء، وأجريت التفاعلات في أنابيب زجاجية ثنائية العنق (بارتفاع 15 سم وقطر داخلي 2 سم) مجهزة بنظام تبريد داخلي وغشاء مطاطي ومغانط مغلقة بالتفلون لضمان التبريد والخلط أثناء التشعيع.

يظهر الجدول 1 تقنيات التشغيل المختلفة المستخدمة في هذا العمل.



تقدم الكيمياء الضوئية مساراً بسيطاً، وغالباً ما يكون عالي الانتقائية، للمركبات العضوية، بالتغلب على حواجز الانتقالية الكبيرة. ونتيجة لذلك، بالإمكان تصنيع مركبات كانت تتطلب شروطاً قاسية لدى استخدام الطرائق الكيميائية الحرارية التقليدية [9]. ويمكن أيضاً باستخدام الكيمياء الضوئية تحضير حفازات متجانسة ذات روابط بكفاءة أعلى وبسرعة بالمقارنة مع الكيمياء الحرارية [9,10]. يشكل هذا مساراً بديلاً للارتقاء بتفاعل كاراش في ضم رباعي كلور الكربون إلى الألكينات [المعادلة 1 (المخطط 2)].



ليس ثمة دراسات آلية مفصلة على مثل هذه التفاعلات بوجود  $M(CO)_6$  والضوء.

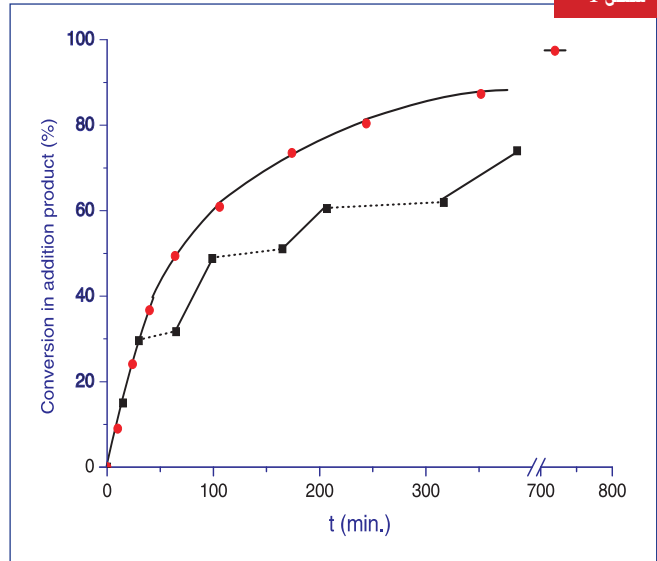
ففي عمل آخر [11]، كانت غايتنا تحريي استخدام الضوء بوجود كربونيلات معادن المجموعة السادسة،  $(Cr(CO)_6, Mo(CO)_6, W(CO)_6)$ ، كمسار بديل للتحويلات المحتملة للأوليفينات الحلقية والخطية بوجود  $CCl_4$ . وكان  $Cr(CO)_6$  بين هذه الكربونيلات، المعقد

التفاعل المحتمل	تقنيات التشعيع
	↓
طور التشعيع	مستمر
يخضع المحث والركازة لتشعيع مستمر يعطي تفاعلات معانة بالضوء وتفاعلات مُحفزة ضوئياً	
(المحث + الركازة)	تناوبي
تفاعلات معانة بالضوء وتفاعلات مُحفزة ضوئياً	

الجدول 1 التقنيات العملية المستخدمة وأنماط التفاعلات.



شكل 1



تقدّم التحول إلى ناخ الضم أثناء تشعيع مستمر (●) وتشعيع تناوبي (■) للمنظومة  $Cr(CO)_6/CCl_4/1\text{-hexene}$ . تشعيع تناوبي (فترة تشعيع —): فترة معتمة (.....).  $CCl_4 = 20\text{ mL}$ ;  $[1\text{-hexene}] = 0.5\text{ M} \approx 10^{-2}\text{ M}$ .

### تحليل العينات

كانت العينات تؤخذ في فترات منتظمة من الزمن لتحلل فوراً باستخدام جهاز Nucon 5700 Gas Chromatograph، مزود بعمود (10%SE 30 on Chromosorb W 100-120 mesh) طوله 2 متر، وفق برنامج (250°C-50) بمعدل  $16^\circ\text{C}/\text{min}$ ، وحاقن  $250^\circ\text{C}$ ، وكاشف  $280^\circ\text{C}$ ، ومعدل تدفق النتروجين ( $30\text{ cm}^3/\text{min}$ ).

جرى تحديد ناتج الضم والنواتج الثانوية باستخدام GCMS- (QP5000, Shimadzu; GC-17A, Shimadzu; Wiley 139.Lib) وباستخدام جهاز NMR (200MHz, BRUKER) أيضاً لتعيين ناتج الضم بعد فصله.

### النتائج والمناقشة

#### دور الضوء

ليس من السهل تقدير دور الضوء في تشكيل نواتج الضم وإعطاء تصنيف للتفاعلات المختلفة الممكنة. غير أنه، وبفضل التقنيات العملية المختلفة للتشعيع (الجدول 1)، أمكن توضيح بعض الملاحظات المهمة.

ففي غياب الهكسن-1، شُعّ محلول  $Cr(CO)_6/CCl_4$  مدة 30 دقيقة. ثم، بغياب الضوء، أُضيف الهكسن-1 للمحلول المشع. أكد تحليل هذا الخليط افتقاره التام لأي من منتجات الضم.

درس تحول الأوليفين إلى الهيدروكربونات الرباعية الكلورة الناتجة في منظومة  $Cr(CO)_6/1\text{-hexene}/CCl_4$  (الشكل 1) في حالة التشعيع المستمر والتشعيع التناوبي (تناوب أطوار التشعيع (فترات تشعيع) وأطوار العتمة (فترات عتمة)).

يظهر الشكل 1 سلوك الهكسن-1 بتتبع تحول منتج الضم أثناء التشعيع المستمر والتناوبي. يمكن للتفاعل أن يكون تاماً إذا كان زمن التشعيع كافياً. وهكذا، بعد 12 ساعة من التشعيع، تنتهي المنظومة  $Cr(CO)_6/1\text{-hexene}/CCl_4$  إلى 97.4% من ناتج الضم المتوقع.

تظهر المقارنة بين التشعيعين بوضوح أن تحول الأوليفين مرتبط مباشرة بوجود الضوء.

يدخل رباعي كلور الكربون (29.41 غ، 0.286 مول) والهكسن-1 (0.83 غ،  $9.9 \times 10^{-3}$  مول) و0.32 مول إيزوأوكتان وسداسي كربونيل الكروم ( $1.44 \times 10^{-4}$  مول) إلى الأنبوب، الذي سلف تغليفه بورقة ألنيوم. يخلط المحلول لمدة 10 دقائق لإذابة كربونيل المعدن ثم يقاس عامل الاستجابة 4 مرات متتالية. بعد ذلك يثبت الأنبوب في مركز مفاعل كيميائية ضوئية.

تضاء المصابيح قبل ساعة من بدء التشعيع وذلك من أجل الحصول على كثافة ضوئية ثابتة. يستمر تشعيع المحلول حتى يصل تركيز ناتج تفاعل الضم إلى قيمة ثابتة مع الزمن. يخضع المحلول، أثناء التشعيع، إلى خلط مستمر ودرجة حرارة ثابتة ( $20^\circ\text{C}$ ). تؤخذ عينات كل 17 دقيقة وتحلل بتقنية الكروماتوغرافيا الغازية. تعرف النسبة المئوية المتحولة إلى منتجات تفاعل الضم النهائية كما يلي:

التحول (%) =  $100 \times (\text{عدد مولات المنتج المتشكل} / \text{عدد مولات الأوليفين المستخدم})$

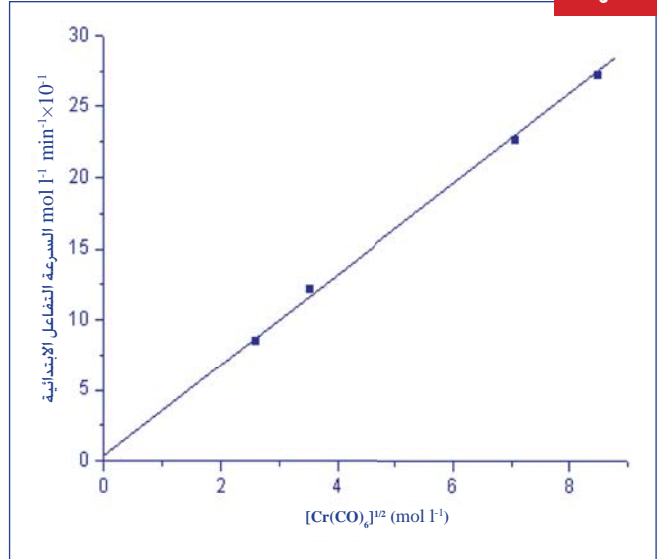
الجدول 2

تفاعل ضم  $CCl_4$  إلى الهكسن-1 بوجود المنظومة  $Cr(CO)_6/CCl_4$  أثناء تشعيع تناوبي (انظر الشكل 1)؛  $Cr(CO)_6 = 10^{-2}\text{ M}$ ;  $1\text{-hexene} = 0.5\text{ M}$ ;  $CCl_4 = 20\text{ mL}$ .

رقم الطور	1	2	3	4	5	6	7	...
تشعيع تناوبي	hv	Δ	hv	Δ	hv	Δ	hv	...
الفترة الزمنية (دقيقة)	30	36	42	54	48	126	48	...
الفعالية النسبية	*100	7.5	35.0	2.2	16.8	0.4	10.0	...
لتفاعل الضم								

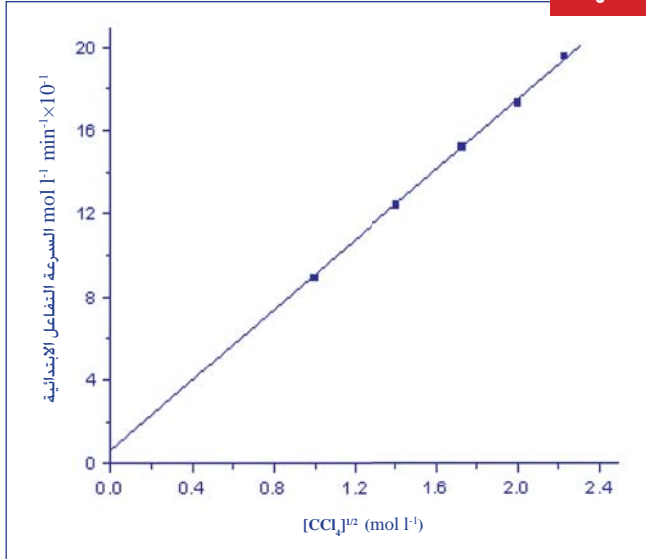
hv: تشعيع فوق بنفسجي؛ \* : قيمة اختيارية لكمية ناتج الضم أثناء 30 دقيقة Δ : طور حراري.

الشكل 2



السرعة الابتدائية بدلالة  $[Cr(CO)_6]^{1/2}$ .

الشكل 3



السرعة الابتدائية بدلالة  $[CCl_4]^{1/2}$ .

إلا أن من الجدير ذكره، أنه، بعد اختفاء  $Cr(CO)_6$  وانطلاق CO أثناء تشيع المنظومة  $Cr(CO)_6/olefin/CCl_4$  [11] تكون قيمة  $\alpha$  (عدد جزيئات CO المنطلقة من كل جزيء  $Cr(CO)_6$  المتحول) هي 3، وهو ما ينسجم مع الصيغة المقترحة  $[Cr(CO)_3L_3]$ .

### النواتج الثانوية

يدل التحليل لمحلول المنظومة  $Cr(CO)_6/1-hexene/CCl_4/h\nu$  على وجود المنتجات الثانوية:  $C_6H_{12}Cl_2$ ،  $CHCl_3$ ،  $C_2Cl_6$ ،  $C_2Cl_4$ ،  $C_{13}H_{24}Cl_4$ . وقد لاحظنا أن تشكل  $C_2Cl_6$  و  $CHCl_3$  يتوقف مباشرة بعد توقف التشيع.

يتولد جذر ثلاثي كلور الميتيل بفعل كيميائي ضوئي وفق الآلية التقليدية [12] [المعادلة 2 (المخطط 2)].

يقوم البرهان على وجود جذور في وسط التفاعل، بخاصة  $CCl_3$ ، على تفسير النواتج الثانوية، التي يقابل بعضها خطوات إنهاء السلسلة. وهكذا، فإن  $C_2Cl_6$  هو نتيجة التحام جذرين من ثلاثي كلور الميتيل [13]. كما أن تشكل  $C_{13}H_{24}Cl_4$  يمكن أن يفسر بواسطة [المعادلة 3 (المخطط 2)].

يحصل تشكل الكلوروفورم بالتأكد من تجريد هيدروجين [المعادلة 4 (المخطط 2)]. وبالمقارنة مع تفاعل ضم (حيث الانتقائية >99%)، فإن حدوث تجريد هيدروجين يكون أقل بكثير، ويمكن أن يعزى ذلك إلى الطاقة الكبيرة اللازمة لتنشيط العملية. يمكن تصور تشكل  $C_6H_{12}Cl_2$ . مثلاً، من مهاجمة جذر Cl للأوليفين.

### دراسة حركية

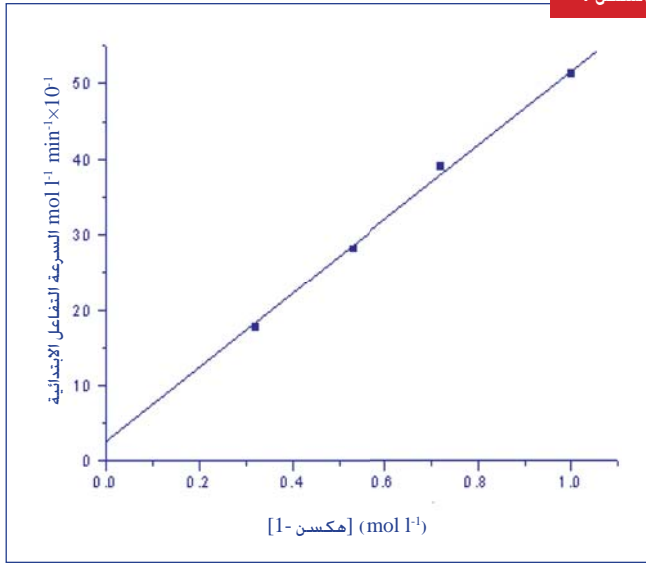
لا توجد تقارير سابقة حول استخدام الكربونيلات المعدنية والضوء

تضمن النتيجة المميزة في أن تفاعل ضم  $CCl_4$  إلى الأوليفين لا ينتج فقط أثناء أطوار التشيع إنما أثناء الفترات المعتمدة أيضاً (الشكل 1). من ناحية ثانية، فإن سرعة التفاعل، في الفترة المعتمدة، تنخفض بشكل شديد. وهكذا يمكننا استنتاج أن تفاعل الضم يحدث في أن معاً بعمليتين: معانة ضوئياً (أي، تشكل ناتج ضم بوجود الضوء) ومحفزة ضوئياً (أي، تشكل ناتج ضم بغياب الضوء).

وبغية تقدير الأهمية النسبية لنمطي العمليتين، يعرض الجدول 2 الفعاليات النسبية لمنظومة التحفيز بوجود الضوء وبغيابه بدلالة الزمن. تظهر الأرقام أن إسهام عمليتي الحفز ضوئياً والعون الضوئي في التشكل الإجمالي لناتج الضم هي من المرتبة 3.2-5.7% و 5.29-7.79% على التوالي (الجدول 2). تؤكد النتائج أن هذه الفعاليات تتناقص مع الاستمرار في "t<sub>1</sub>" (زمن التشيع)، مما يشير إلى أن الأنواع المسؤولة عن الفعالية في غياب الضوء تكون قابلة للتحطم ضوئياً.

وهكذا، يمكن الخلوص إلى أن تشكل ناتج تفاعل الضم في دور معتم، أثناء التشيع التناوبي، قد يرجع لوجود أنواع محفزة. ويمكن لتشكيل هذه الأنواع، مثل  $Cr(CO)_3L_3$  (L = olefin, Cl or  $CCl_3$ )، المقترحة من قبل غاندولفي GandolFi وكيس Cais [8]، أن ينتج بشكل كيميائي ضوئي خلال دور تشيع سابق. وتتضمن الآلية، في هذه الحالة، ضم أكسدياً لـ  $CCl_4$  إلى المعدن، متبوعاً بإدخال أوليفين إلى الرابطة  $M-CCl_3$ . ثم تستكمل الحلقة بتفاعل الألكيل المعدني مع جزيئة إضافية من  $CCl_4$ ، لتشكيل المنتج بتفاعل سلسلي متدرج [المعادلة (IV) في المخطط 1].

الشكل 4



السرعة الابتدائية بدلالة [هكسن-1]

حصلنا على قيم  $k$  بنتيجة دراسات غيرنا فيها تراكيز  $\text{Cr}(\text{CO})_6$  و  $\text{CCl}_4$  و 1-hexene وهي  $(3.54 \pm 0.15) \cdot 10^{-4}$  و  $(3.53 \pm 0.15) \cdot 10^{-4}$  و  $(3.58 \pm 0.15) \cdot 10^{-4} \text{ mol}^{-1} \text{ l s}^{-1}$ ، على التوالي.

ونظراً لحقيقة هذه القيم التي حصل عليها باستخدام طريقة السرعة الابتدائية، والتي يمكن أن تخضع لأخطاء معتبرة بسبب الصعوبة في تقدير الميل (المماس) الصحيح لمنحني السرعة، فإن التوافق ما بين هذه القيم مقبول.

يشير ظهور مرتبة كسرية في عبارة السرعة إلى وجود آلية تفاعل سلسلي بجذور حرة [18] [المعادلة (I) في المخطط 1].

### تحرر وصفي لأوليفينات أخرى ولمحطات أخرى

تقصينا في الشروط نفسها، وفي دراسة وصفية، تفاعل الضم في المنظومة  $\text{Cr}(\text{CO})_6/\text{CCl}_4$  في حالات بوتن-1 وبنتن-1 وهبتن-1 التي تتحول على التوالي إلى tetrachloro-1,1,1,3-pentane و tetrachloro-1,1,1,3-octane و 1,1,1,3-hexane.

ومن ناحية أخرى، يمكن لتفاعل الضم أن يبدأ بواسطة الضوء بوجود مشتقات كربونيلات أخرى للعناصر الانتقالية. فالحكسن-1، وبوجود  $\text{Mo}(\text{CO})_6$  و  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ، يعطي، بعد ساعتين من التشعيع، وتحت الشروط نفسها المركب tetrachloro-1,1,1,3-heptane بمرود من ناتج الضم مقداره 4% و 28% على التوالي. في حين أن  $\text{W}(\text{CO})_6$  يعطي وبأن معاً تفاعل إبدال لبنتن-1 وبلمرة للنوربورنن، فضلاً عن نواتج ضم بانتقائية ضعيفة جداً.

لحث تفاعلات من هذا النمط. ولكن، استخدم  $\text{Cr}(\text{CO})_6$  للحصول على هذا التفاعل بطريقة كيميائية حرارية، عند شروط قاسية نسبياً ( $120^\circ\text{C}$ )، وكل ذلك تم بفعالية تحوّل أقل [14].

ونظراً لأن مشاركة عملية الحفز الضوئي في تشكيل ناتج الضم ضعيفة نسبياً، ولأن الصعوبة العملية في محاولة شرح هذه العملية حتى الآن، فقد عمدنا إلى تنفيذ دراسة حركية فيما يخص تشكل ناتج الضم أثناء تشعيع مستمر.

واخترنا في دراستنا آلية تفاعل ضم كاراش بوجود  $\text{Cr}(\text{CO})_6$ ، دراسة تفاعل هكسن-1 مع رباعي كلور الكربون [المعادلة 5 (المخطط 2)].

إن ناتج هذا التفاعل هو 1,1,1,3-رباعي كلور الهبتان؛ وهو مركب يمكن تحليله بواسطة الكروماتوغرافيا الغازية-السائلة بشكل سريع نسبياً.

عرضت تفاعلات من هذا النمط سابقاً بوجود فوق أكاسيد عضوية وفق آليات تسلسل جذر حر [15-17]. وتفاعل الضم هذا لم يمكن بدؤه بغياب الضوء أو/وبغياب كربونيلات معدنية حتى عند الدرجة  $60^\circ\text{C}$ .

نظراً للفعالية العالية للتفاعل المحثوث بكربونيل الكروم الموصوف أعلاه، فقد أجرينا دراسة تفصيلية لآلية التفاعل المعانة ضوئياً.

استخدمت طريقة السرعة الابتدائية التي تتضمن تغيير تركيز مركب واحد مع إبقاء الاثنان الآخرين ثابتين من أجل تنفيذ الدراسة الحركية. بقي الحجم للمزيج الإجمالي ثابتاً أثناء دراسة تأثير تغيير تركيز كل من هكسن-1 و  $\text{CCl}_4$ ؛ وذلك بإضافة الكميات المناسبة من التولوين والإيزوأوكتان (اختير الإيزوأوكتان ليكون مرجعاً داخلياً عند التحليل بتقنية الكروماتوغرافيا الغازية). أكدت تفاعلات المراقبة أن التولوين والإيزوأوكتان لا يتفاعلا مع أي تركيبة للكواشف والكربونيل المعدني.

تظهر الأشكال 2 و 3 و 4 تغير السرعة الابتدائية للتفاعل بدلالة  $[\text{Cr}(\text{CO})_6]^{1/2}$  و  $[\text{CCl}_4]^{1/2}$  و [1-hexene]، على التوالي. ففي كل حالة، حصلنا على خط ذي استقامة جيدة. وتجدر هنا ملاحظة وجود قاطع إيجابي بسيط في كل من الأشكال الثلاثة، وهو ما يتوافق مع ما وجدناه ونوقش أعلاه بأن هناك إسهاماً ضئيلاً من تفاعل ليس محثوثاً من قبل  $\text{Cr}(\text{CO})_6$ . ولهذا السبب، لم نقم بأي محاولة للحصول على معاملات تنشيطية للتفاعل [18].

ومع ذلك يمكن الحصول على قيم لمعامل السرعة من المرتبة الثانية،  $k$ ، كما هو معرف بعبارة السرعة التالية:

$$\text{السرعة} = k[\text{Cr}(\text{CO})_6]^{1/2} [\text{CCl}_4]^{1/2} [1\text{-hexene}]$$

## References

## المراجع

- [1] Kharasch M S, Reinmuth O & Urry W H, J Am Chem Soc, 69 (1947) 1105.
- [2] Walling C & Huyser I F, Org React, 13 (1963) 91.
- [3] Igbal J, Bhatia B & Nayyar N, Chem Rev, 94 (1994) 519.
- [4] Tararov V I, Savel'eva T F, Struckkov Yu T, Pisarevskii A P, Raevskii N I & Belokon Yu N, Russuan Chemical Bulletin, 45, (3) (1996) 600.
- [5] Gasanov R G, Videnskaya S O, Il'inskaya L V, Belokon Yu N, Pisarevskii A P & Struchkov Yu T, Dolk Akad Nauk, 336 (1994) 485 [Dolk Chem, (1994) 336 (Engl Transl)].
- [6] Asscher M & Vofsi D, J Chem Soc, 1887 (1963) 3921.
- [7] Davis R, Durrant J L A, Khazal N M S & Bitterwolf T E, J Organomet Chem, 386 (1990) 229.
- [8] Gandolfi O & Cais M, J Organomet Chem, 125 (1977) 141.
- [9] Leadbeater N E, Lewis J & Raithby P R, J Organomet Chem, 543 (1997) 251.
- [10] Hay C M, Leadbeater N E, Lewis J, Raithby P R & Burgess K, New J Chem, (1998) 787.
- [11] Harfouch A, "Reactions photoassistees et photocatalysees des olefins en presence de metaux carbonyles du 6e group en milieu tetrachlorure de carbon», Ph.D Thesis, Strasbourg, France, 1981.
- [12] Hobbs J & Wayne R P, Chem Commun (1965) 469.
- [13] Warwel S & Laars W, Z. Naturforsch, 32b (1977) 1145.
- [14] Grigor'ev N A, Tumanskaya A L & Freidlina R Kh, Izv Akad Nauk SSSR, Ser Khim, (1982) 199.
- [15] West J P & Schmerling L, J Am Chem Soc, 72 (1950) 3525.
- [16] Huyser E S, J Am Chem Soc, 82 (1960) 391.
- [17] Huyser E S, J Am Chem Soc, 82 (1960) 394.
- [18] Steinfeld J I, Francisco J S & Hase W L, Chemical Kinetics and Dynamics, 2nd edn (Prentice Hall, New Jersey), 1999.



## ملخص

تمّ تطوير نموذج رياضي يصف حركية الانفراغ ومميزات عملية الليزر في ليزر بخار بروميد النحاس بإضافة غازي النيون والهيدروجين. يقدم النموذج المقترح والمبني على أساس النموذج الصفري الأبعاد "zero-dimensional model" آلية مبسطة لشرح آلية حركية الانفراغ والعمليات الفيزيائية المختلفة وتأثير وجود الهيدروجين على ليزر بخار بروميد النحاس.

يمكنّ النموذج من تقدير السلوك الزمني لتوتر وتيار الانفراغ وكثافات الإسكان وكثافة الحزمة الليزرية ودرجة حرارة الإلكترونات والتوزيع القطري للضغط ودرجة حرارة الغاز الخامل. تفترض الآلية المقترحة أن الإلكترونات المنفصلة عن أيونات الهيدروجين السالبة لا تسهم في عملية تأين النحاس.

تتنبأ الحلول العددية لجملة معادلات المعدل غير الخطية بتوليد نبضات من مرتبة نانو ثانية. تتوافق القيم العظمى المحسوبة لتوتر وتيار الانفراغ ومتوسط استطاعة الخرج الليزري ودرجة حرارة الإلكترونات.. إلخ مع القيم المحسوبة والمقاسة تجريبياً بشكل جيد.

# نمذجة آليات حركية البلازما لليزر

## CuBr

### إضافة غازي النيون والهيدروجين

د. بشار عبد الغني - مصطفى حمادي

هيئة الطاقة الذرية، ص.ب. 6091، دمشق، سورية

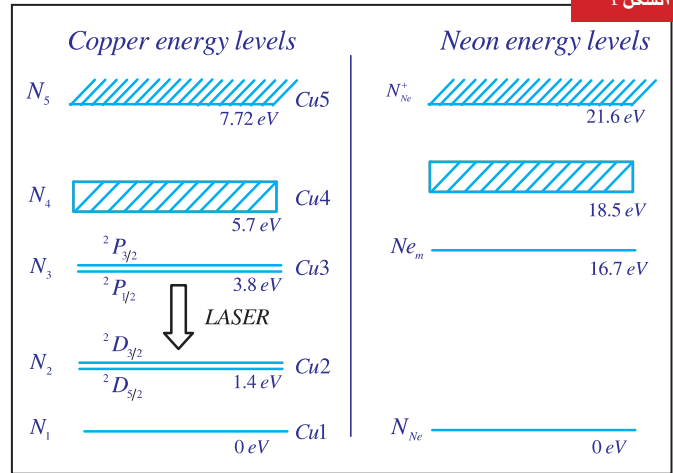
**الكلمات المفتاحية:** نمذجة، حركية البلازما، ليزر CuBr، إضافات النيون والهيدروجين.

## مقدمة

يحدث الفعل الليزري بين السوية الليزرية التجاوبية العليا والسوية الليزرية الدنيا (الشكل 1). تُسكن السوية شبه المستقرة (السوية الليزرية الدنيا)  $^2D_{3/2}^2$   $^2D_{5/2}^2$  بنتيجة تأثير نبضة الانفراغ. عند البدء بتطبيق نبضة الانفراغ تزداد درجة حرارة الإلكترونات وكثافة السوية شبه المستقرة إلى قيمة أعلى من  $10^{13} \text{ cm}^{-3}$ . يزداد إسكان السوية الليزرية التجاوبية العليا  $^2P_{1/2}^2$   $^2P_{3/2}^2$  بشكل لحظي بتزايد إسكان السوية  $^2D_{3/2}^2$   $^2D_{5/2}^2$ ، ومع ذلك فإن كثافة الذرات في الحالة  $^2P_{1/2}^2$   $^2P_{3/2}^2$  لا تتجاوز كثافة الذرات في السوية شبه المستقرة  $^2D_{3/2}^2$   $^2D_{5/2}^2$ . يحصل الإسكان المعكوس جزئياً كنتيجة للفرق في الوزنيات الإحصائية للسويتين الليزريتين العليا والدنيا [2]. تعتبر ليزرات هالوجينات بخار النحاس ذات الانتقالات الذرية المذكورة جديرة بالاهتمام وتمتلك أحياناً مواصفات أفضل من ليزرات بخار النحاس. لا تزال دراسة العمليات الحركية في ليزرات هالوجينات

كانت العمليات التي تحدث في بلازما الانفراغ لليزرات بخار النحاس وهالوجينات بخار النحاس هدفاً للبحث في عدد كبير من الأعمال النظرية والتجريبية. تعرف ليزرات بخار النحاس (CVL) وليزرات بخار بروميد النحاس (CuBr) كمنابع للإشعاع النبضي في مجال إصدار الضوء الأخضر (510.6 nm) ومجال إصدار الضوء الأصفر (578.2 nm). تملك هذه الليزرات استطاعة وسطى عالية ومعدل تكرار عالٍ (1-50 kHz) ومردودية تبلغ تقريباً 1-2%.

تستخدم هذه الليزرات كمنابع ضخ من أجل تحويل التواتر إلى مجالى فوق البنفسجي وتحت الأحمر. تصلح هذه الليزرات أيضاً لضخ ليزرات تيتان-سفير (الياقوت الأزرق) وفي المجال الطبي وكمرشد للنجوم ومعالجة المواد الصناعية وفصل النظائر... إلخ [1].



مخطط السويات الطاقية لذرتي النحاس والنيون.

وعمليات التفاعل المعتمدة. أُخذت معدلات التفاعل المستخدمة من القياسات التجريبية المتاحة.

يركز هذا العمل على تحسين النموذج النظري المبسط [8] بأخذ معظم العمليات الفيزيائية الهامة بالحسبان مثل التصادم الفائق المرنة والتصادم المرن والانتشار وتصادم بينغ الهجين والإصدار التلقائي وإعادة الاتحاد المشع وإعادة اتحاد الأيونات المشع وتبادل الشحنة والتحييد المتبادل لجسيمين وثلاثة جسيمات. يعطي النموذج المقترح معلومات مفصلة حول حركية الانفراغ والبلازما ويركز على الوسطاء الهامة التي تحدد سلوك الليزر مثل كثافات إسكان سويا النحاس والهيدروجين ودرجة حرارة الإلكترونات وكثافة الإلكترونات وضغط وتوزع درجة حرارة الغاز الخامل.

### دارة الانفراغ الكهربائي لليزر بخار بروميد النحاس

يمثل الشكل 2 دارة الانفراغ الكهربائي المستخدمة لإثارة ليزر بخار بروميد النحاس [8]، حيث  $C_1$  تمثل سعة المكثفات الخازنة المشحونة بالتجاوب إلى التوتر العالي لمغذي الطاقة ذي تواتر تكرار  $f$  محدد بعملية إعادة الاتحادات البطيئة في البلازما،  $C_2$  مكثفة تستخدم لجعل جبهة قمة نبضة الانفراغ حادة،  $L$  التحريضية الذاتية التي تتضمن تحريضية الثيراترون والتحريضات المتنوعة لعناصر الدارة المتنوعة الأخرى،  $L_1$  تحريضية الرأس الليزري (أهملت التحريضات والسعات الأخرى التي تظهر أثناء دور نبضة الانفراغ)،  $R_p$  مقاومة البلازما بين قطبي الانفراغ (المنطقة الحارة). يعتبر عملياً التوزع المحوري لدرجة الحرارة متجانساً باستثناء الأقطاب المبردة (المنطقتان الباردتان)، حيث إن الطاقة المتبددة من عمود البلازما عند نهايتي هاتين المنطقتين أكبر بكثير من الطاقة المتبددة بين الأقطاب. لذلك فإن التدرج المحوري لدرجة حرارة الجدار يتزايد باتجاه المنطقة الحارة ويقود إلى تناقص كثافة النحاس في المنطقتين الباردتين [10,9].

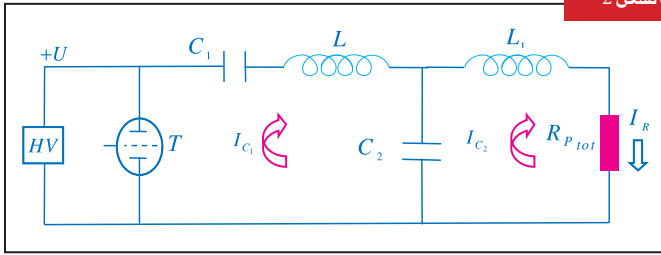
تقسم أنبوبة البلازما داخلياً إلى منطقة مركزية حارة بطول  $l$  تحتوي على بلازما النحاس والهيدروجين والنيون ومنطقتين باردتين طول كل منها  $d/2$  وتحتوي تقريباً على البلازما النقية للهيدروجين والنيون (بلازما النيون). وبالتالي تعطى المقاومة الكلية بالعلاقة صفائح معدنية إلى أقطاب الأنبوبة الليزرية مباشرة من خلال المكثفة  $C_2$  وتلعب هذه الصفائح دور الواقي الحراري. يمكن إعطاء وصف كامل لدارة الانفراغ الكهربائي بوجود مكثفات رافعة لقمة نبضة تيار الانفراغ والمعتمدة في هذا العمل وذلك بحل جملة المعادلات

النحاس غير واضحة ومعقدة، ويعود ذلك إلى تركيب الوسط الفعال المعقد. استخدمت هالوجينات النحاس كمنبع لذرات النحاس بهدف تخفيض درجة حرارة الجدار عند تشغيل الليزر من 1700 درجة مئوية إلى 400 درجة مئوية. تبقى درجة حرارة أنبوبة الانفراغ ثابتة أثناء عمل الليزر بينما تتغير درجة حرارة الغاز الخامل من المركز إلى الجدران خلال عملية الانفراغ [3,4].

إن الدور الرئيسي لغاز النيون الخامل المضاف هو السماح لعملية الانفراغ بالبداية من التشغيل البارد واختزال الضياع بعملية الانتشار. يمنع الغاز الخامل توضع النحاس عند نافذتي النهاية للتجفيف الليزري. بالإضافة إلى ذلك، فإن جريان النيون بين الأقطاب يساهم في استقرار عملية الانفراغ، ولا يقود التغير في كثافة النيون كغاز خامل إلى فروقات كبيرة في السلوك الزمني للنبضة الليزرية [5,3]. من المعروف أن إضافة 5% من الهيدروجين كافية لزيادة مردود الليزر. في الحقيقة إن التأثير الرئيسي للهيدروجين هو تعزيز معدل تبادل الطاقة في حالة التصادم إلكترون-ذرة، وتتغير هذه المعدلات اطراداً مع معدل انتقال الاندفاع وعكساً مع الكتلة الذرية [6,3]. تؤثر عملية إضافة الهيدروجين بشكل كبير على عملية التوزع القطري للسويات الليزرية العليا والدنيا. إن إحدى الآليات الممكنة لإضافة الهيدروجين لتحسين أداء ليزر CuBr هي تغيير وتخفيض درجة حرارة البلازما، ويعود ذلك إلى الناقلية الحرارية العالية للهيدروجين.

يوجد الكثير من الأعمال التي اهتمت بالنمذجة العددية لليزر هالوجينات بخار النحاس [8,7] حيث يتم اعتبار الحالات الذرية المختلفة لذرات النحاس والنيون والهيدروجين في عملية نمذجة حركية البلازما بطرق مختلفة. من المعروف بأن نتائج النمذجة تتعلق بعملية اختيار معدلات التفاعل

الشكل 2



مخطط دائرة الانفراغ الكهربائي

فقد تم اعتبار قانون انحفاظ الشحنة بحيث تكون كثافة أيونات النحاس مساوية تماماً لكثافة أيونات البروميد. تم أيضاً اعتبار ذرات النحاس كمنبع وحيد للإلكترونات خلال عملية الانفراغ ويعود ذلك لكمون التأين المنخفض لذرات النحاس. من جهة أخرى، فإن عملية فصل الإلكترونات  $e + H^+ \rightarrow 2e + H$  تتحكم فقط في المرحلة المبكرة جداً من نبضة الانفراغ بالمقارنة مع تأين ذرات النحاس، لأن دور النبضة الداخلية كبير بقدر كاف لتوليد  $10^{12} - 10^{13}$  أيون من الهيدروجين السالب (معدل التصاق الإلكترونات  $\approx 10^{-13} \text{ cm}^3 / \text{s}$ ) [3].  
تمثل معادلات المعدل الخمس التالية نموذجاً منسجماً ذاتياً لليزر بخار بروميد النحاس بإضافة النيون والهيدروجين وتصف التغير الزمني لكثافات الإسكان خلال عملية الانفراغ (الشكل 1)

[13-10,8,5]

$$\frac{dN_1}{dt} = -N_1 Ne(q_{12} + q_{13} + q_{14} + q_{15}) + N_2 Neq_{21} + N_3 Neq_{31} + N_4 Neq_{41} + N_5 Neq_{51} - N_1 Ne_m q_1^p + N_3 A_{31} + N_4 A_{41} + A_{21} N_2 - D_{cu} N_1 / \Lambda^2 + N_3 N_{H^-} q_{mn} - N_1 N_{Ne^+} q_{ce} \quad (5)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = N_1 Neq_{12} + N_3 Neq_{32} + B \cdot U (N_3 - g_3 N_2 / g_2) + A_{32} N_3 + N_4 Neq_{42} - N_2 Ne(q_{21} + q_{23} + q_{24} + q_{25}) - D_{cu} N_2 / \Lambda^2 + N_4 A_{42} - N_2 N_{Ne} q_2^p - N_2 Ne_m q_2^p + N_3 N_{H^-} q_{mn} - A_{21} N_2 - N_2 N_{Ne^+} q_{ce} \quad (6)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = N_1 Neq_{13} - N_3 Ne(q_{31} + q_{32} + q_{34} + q_{35}) - B \cdot U (N_3 - g_3 N_2 / g_2) - A_{32} N_3 + N_2 Neq_{23} + N_4 Neq_{43} + N_5 Neq_{53} - D_{cu} N_3 / \Lambda^2 + N_4 A_{43} - N_3 Ne_m q_3^p - N_{Ne^+} N_3 q_{ce} - N_3 A_{31} \quad (7)$$

$$\frac{dN_4}{dt} = N_1 Neq_{14} + N_2 Neq_{24} + N_3 Neq_{34} + N_5 Neq_{54} - N_4 A_{42} - N_4 A_{43} - N_4 Ne(q_{41} + q_{42} + q_{43} + q_{45}) + N_5 Ne(Neq_{cr} + q_r) - N_4 A_{41} \quad (8)$$

$$\frac{dN_5}{dt} = Ne(N_1 q_{15} + N_2 q_{25} + N_3 q_{35} + N_4 q_{45}) - N_5 Ne(q_{51} + q_{52} + q_{53} + q_{54}) + N_1 Ne_m q_1^p - N_5 Ne(Neq_{cr} + q_r) - N_5 N_{H^-} q_{mn} + (N_1 + N_2 + N_3) N_{Ne^+} q_{ce} - D_{cu} N_5 / \Lambda^2 + N_{Ne} N_2 q_2^p + (N_2 + N_3) Ne_m q_3^p - N_5 N_{H^-} q_{mn} \quad (9)$$

تمثل المعادلات (5)-(9) النموذج المنسجم ذاتياً لبلازما بروميد النحاس-نيون والهيدروجين. تم إهمال تغيرات كثافات الإسكان الناتجة عن استرخاء متوسط ضغط الغاز قطرياً والضياعات الناتجة عن اتجاه السرعة في النموذج المقترح.

التفاضلية التالية (بإهمال الضياعات بالإشعاع الكهرمغناطيسي والضياعات الأومية في الأسلاك) [8]:

$$\frac{dI_{C_2}}{dt} = (U_{C_1} - U_{C_2} - L \frac{dI_R}{dt}) / L \quad (1)$$

$$\frac{dI_R}{dt} = (U_{C_2} - R_{P_{tot}} I_R) / L_1 \quad (2)$$

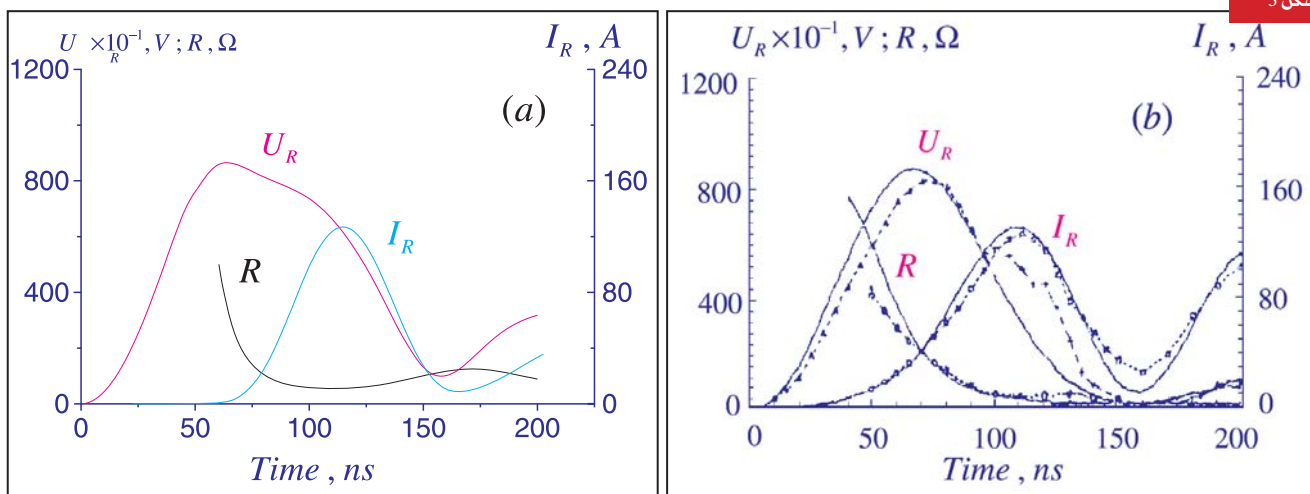
$$\frac{dU_{C_1}}{dt} = - \frac{(I_R + I_{C_2})}{C_1} \quad (3)$$

$$\frac{dU_{C_2}}{dt} = \frac{I_{C_2}}{C_2} \quad (4)$$

حيث إن  $I_{C_i}$  و  $U_{C_i}$  تيار وتوتر المكثفة  $C_i$  ( $i=1,2$ ) و  $I_R$  تيار أنبوبة الانفراغ ( $I_{C_2} = I_{C_1} - I_R$ ). يعطى الحقل الكهربائي المحوري ضمن المنطقة المركزية بالعلاقة  $E_a = I_{C_1} R_{P_{tot}} / \ell_d$  ويمثل حقل كل النقاط عبر نصف قطر الأنبوبة على أساس إهمال الظاهرة الجلدية (skin effect) كما أهملت أيضاً مقاومة الثيراترون. ونتيجة تأثير نبضة الانفراغ يتأين المزيج الغازي في الأنبوبة الليزرية ونحصل على بلازما متأينة بشكل ضعيف وتخضع بذلك كل الجسيمات إلى تفاعلات تصادم مختلفة تتضمن الإثارة والتأين والتفكك وإصدار الإشعاع. عندما تنتهي نبضة الإثارة (خلال دور الانفراغ المتوهج) تشحن مجموعة المكثفات الخازنة عكسياً إلى التوتر  $U_{C_1} < 0$  (أي وجود توتر سالب)، حيث إن  $U_{C_1} + U_0 = 2U_r$ . يمثل  $U_r$  توتر الثيراترون ويتعلق بمقاومة البلازما وبالمقاومة الظاهرية لدائرة الانفراغ [9,8].

### النموذج الرياضي

توجد في أنبوبة البلازما أنواع كثيرة من الجسيمات المشحونة والجسيمات المحايدة. من المهم اعتبار معظم أنواع الجسيمات. يتضمن النموذج المقترح معظم الجسيمات الهامة (السويات) مثل السوية الأساسية Cu1 والسويتين الليزريتين الدنيا والعليا Cu2 و Cu3 (أخضر/أصفر) وأشباه الحالات الفعالة Cu4 وسوية التأين الأساسية Cu5 ( $Cu^+, Cu^{2+}, Cu^{3+}$ ) والسوية الأساسية للنيون Ne والسوية شبه المستقرة للنيون  $Ne_m$  وسوية التأين الأساسية للنيون  $Ne^+$  وأيونات البروميد والهيدروجين السالبتين  $Br^-$  و  $H^-$ . تم إهمال تشكل جسيمات أخرى مثل  $HBr^+, Br^+, H^+, \dots$  إلخ. تأتي بلازما ليزر بخار بروميد النحاس بشكل أساسي من النيون ومركبات CuBr. أكدت دراسات كثيرة أن جزيئات CuBr تتفكك بشكل تام إلى ذرات بروميد وذرات نحاس خلال عملية الانفراغ، بالإضافة إلى عدم إمكانية تكوين جزيئات CuBr خلال دور النبضة الداخلية، لذا تم إهمال عمليات تفكك وإعادة تكوين جزيئات CuBr [7,4,3]. وبما أن أيونات البروميد السالبة هي المتحكم في بلازما الليزر، ويعود هذا إلى استقراريتها العالية وإلى عدم استقرار جزيئات البروميد



التوتر الفعال و تيار الانضغاق ومقاومة البلازما كتابع للزمن (a) النتائج المحسوبة، (b) النتائج النظرية (—) والتجريبية (---)

حرارة الإلكترونات بنتيجة وجود أيونات الهدروجين السالبة وعملية الانتشار على التوالي. يصف الحد السادس كسب الطاقة العائدة لعملية التأين بتصادم بينغ التأيني. يصف الحد السابع تبادل الطاقة مع نرات الغاز والأيونات المختلفة بنتيجة التصادم المرن. يصف الحد الأخير تغير درجة حرارة الإلكترونات كنتيجة لعملية إعادة الاتحاد المشع وعملية إعادة الاتحاد التصادمي المشع.

يعطى تغير كثافة أيونات الهدروجين السالبة مع الزمن بالمعادلة التالية (بفرض عدم وجود منبع لأيونات  $H^-$ ) [8]:

$$\frac{dN_{H^-}}{dt} = -N_{H^-} \cdot Ne \cdot q_d \quad (13)$$

تعطى مقاومة البلازما وفق العلاقة [10.8.3]:

$$R_{p_{tot}} (\Omega) = 1.244 \times 10^{11} T_e^2 / N_e J + \frac{d \cdot m_e \cdot v_e^*}{\pi e^2 N_e R^2}$$

حيث: J تكامل يحسب من أجل التصادمات المرنة للإلكترونات مع نرات وأيونات مكونات البلازما ( $Ne, Cu, Br, H$ ) ويعرف كما يلي:

$$J = \int_0^{10T_e} E_e^{2.5} \exp(-E_e / T_e) \cdot \{ [(N_i^s / 9 \cdot 10^{11}) \ln(1 + 2.4 \cdot 10^{20} T_e^3 / N_i^{+s}) + 3.5 \cdot 10^4 (p_{tot} / T_{ave})_s T_e^{0.5} E_e^{1.5} \sum_j \frac{P_j}{P_{tot}} (1 - \frac{P_j^+}{P_j} - \frac{P_j^-}{P_j}) Q_{ej} ] \}^{-1} dE_e$$

تعطى الضغوط الجزئية (Torr) للأيونات السالبة للمركبات المحايدة (المعتدلة) ذات الدليل زمن البلازما بالعلاقتين التاليتين:

$$p_j^-(H^-) = (p_j - p_j^+) / \{ 1 + [T_e^{1.5} \exp(23.287 - 0.747 / T_e)] / Ne \}$$

$$p_j^-(Br^-) = (p_j - p_j^+) / \{ 1 + [T_e^{1.5} \exp(24.237 - 3.546 / T_e)] / Ne \}$$

يعرف ضغط نرات بخار النحاس من خلال عملية القياس بالعلاقة التالية [13]:

$$p_{Cu} (Torr) = 3.638 \times 10^8 \exp(-36747 / K T_g)$$

يعطى تغير كثافة الفوتونات في التجويف الليزري بوحدة الحجم مع الزمن بالمعادلة التالية [13.12]:

$$\frac{dU}{dt} = [B(N_3 - \frac{g_3}{g_2} N_2) \frac{\ell_d}{L_c} - c(\frac{1}{2L_c} \ln(\frac{1}{R_{out} R_m}) + \delta)] \cdot U + \gamma \cdot A_{32} \cdot N_3 \quad (10)$$

$$P_p = W_{32} V U \frac{c}{L_c} \ln(\frac{1}{R_{out} R_m}), \quad E_{out} = \int P_p dt, \quad P_{ave} = E_{out} f p_s, \quad V = \pi R^2 \ell_d$$

تعطى استطاعة النبضة الليزرية وطاقتها ومتوسط استطاعة نبضة الخرج الليزري بالعلاقات التالية:

$$P_p = W_{32} V U \frac{c}{L_c} \ln(\frac{1}{R_{out} R_m}), \quad E_{out} = \int P_p dt, \quad P_{ave} = E_{out} f p_s, \quad V = \pi R^2 \ell_d$$

يعطى تغير كثافة شحنة الإلكترونات خلال عملية الانفراغ الكهربائي وتغير درجة حرارة الإلكترونات (قانون انحفاظ الطاقة للإلكترونات) مع الزمن بالمعادلتين التاليتين [13.8.5]:

$$\frac{dNe}{dt} = N_1 Ne q_{15} + N_2 Ne q_{25} + N_3 Ne q_{35} + N_4 Ne q_{45} + N_{H^-} Ne q_d - \frac{D_{Cu}}{\Lambda^2} Ne \quad (11)$$

$$+ Ne_m \sum_{i=1}^3 N_i q_i^p - N_5 Ne (q_r + Ne q_{cr}) - Ne N_{Ne}^+ q_{ce}$$

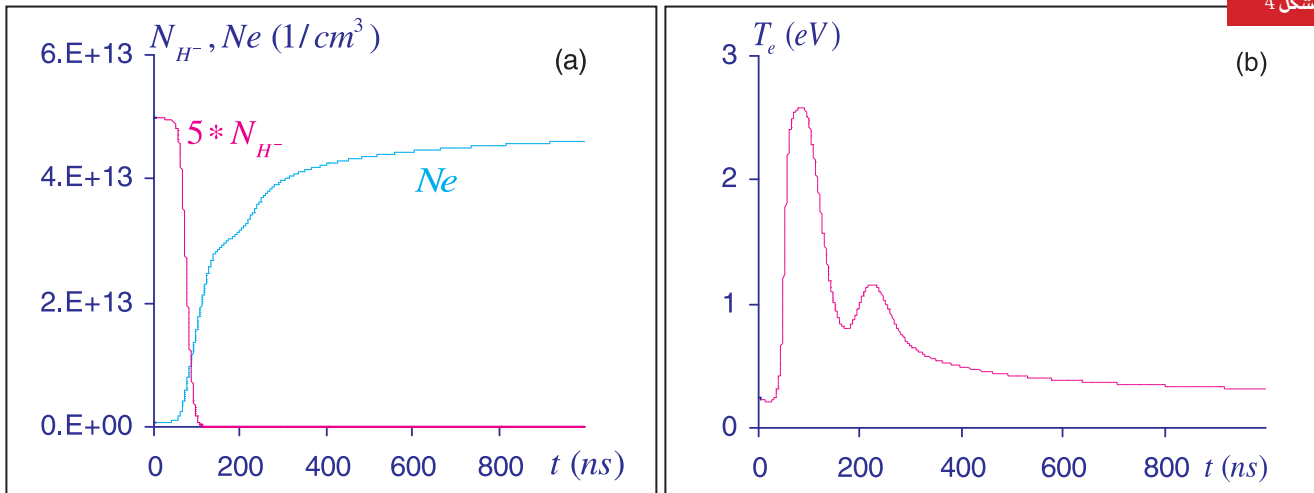
$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{R_{p_{tot}} \cdot I_R^2}{V \cdot Ne} - \frac{2}{3} \sum_{i,j=1,5 \leq j}^5 N_i (E_{ij}^{ine} q_{ij}^{ine} - E_{ji}^{su} q_{ji}^{su}) - \sum_{i=1}^4 N_i (q_{i5} - q_{5i}) T_e$$

$$- N_{H^-} (T_e q_d + \frac{2}{3} W_{H^-} q_d) - \frac{D_{Cu} \cdot T_e}{\Lambda^2} + (Ne_m / Ne) \sum_{i=1}^3 N_i q_i^p ((2/3) E_{p_i} - T_e) \quad (12)$$

$$- 2m_e (T_e - T_g) (\frac{V_e^{Cu}}{M_{Cu}} + \frac{V_e^{Ne}}{M_{Ne}}) + (q_r + Ne q_{cr}) N_5 E_r$$

تتحكم الحدود الأربعة الأولى من المعادلة (11) خلال نبضة الانفراغ وتتحكم الحدود المتبقية خلال دور النبضة الداخلية. تتألف المعادلة (12) من ثمانية حدود حيث يصف الحد الأول منها الطاقة المكتسبة من الحقل الكهربائي المحوري، بينما يصف الحدان الثاني والثالث ضياعات وكسب الطاقة  $E_{ij}$  بنتيجة التصادمات غير المرنة والتصادمات فائقة المرنة. يصف الحدان الرابع والخامس تغير درجة





السلوك الزمني لكثافات إسكان السوية الأساسية (N<sub>1</sub>) وشبه المستقرة (N<sub>2</sub>) والسوية الليزرية التجاوبية العليا (N<sub>3</sub>).

المرونة، معدل الإصدار التلقائي (معامل أينشتاين)، تصادمات بيننغ الهجينة، إعادة الاتحاد المشع للإلكترونات بالأيونات (جسمان وثلاثة أجسام)، انتقال الشحنة، التحييد (التعادل) المتبادل، التحييد الثلاثي المتبادل، وانفصال الإلكترونات عن أيونات الهيدروجين السالبة على التوالي [16,15,12,11,8,5,3]، B معدل الإصدار المحثوث،  $\gamma$  احتمال بقاء الإصدار التلقائي في التجويف الليزري وتشكيل أساس الإصدار المحثوث،  $N_{Ne}, N_{e_m}, N_{Ne}^+$  كثافات نرات النيون في حالة التأيين الأساسية على التوالي والحالة شبه المستقرة والحالة الأساسية،  $L_e, L_d$  أطولي المجاوب والمنطقة الفعّالة، c سرعة الضوء،  $R_{out}, R_{in}$  انعكاسية مرآتي الدخول والخرج،  $g_i (i=1,2,\dots,5)$  الوزنيات الإحصائية،  $V$  الحجم الكلي للمنطقة الحارة،  $P_s$  معامل بولتزمان لإشغال سويات ستارك الليزرية الفرعية،  $N_i, N_{H^-}$  الكثافة الفعّالة لإثارة العتبة من أجل سوية أيونات الهيدروجين وسويات النحاس المختلفة،  $\delta$  الضياعات المتفرقة (ضياعات التشهش)، في وحدة الطول،  $K$  ثابتة بولتزمان،  $D_{Cu} = D_{Cu}^* \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \left( \frac{T_g}{273} \right)^{1/2}$  معامل انتشار الحالات المعتدلة،  $\Lambda = \sqrt{1/[(\pi/l_d)^2 + (2.405/R)^2]}$  طول الانتشار القطري في أنبوية الانفراغ،  $E_e$  طاقة الإلكترون (eV)،  $N_i^{+s}$  كثافة الأيونات الموجبة،  $N_i^s$  الكثافة الكلية للأيونات الموجبة والسالبة للعناصر المختلفة،  $P_{tot} = \sum_j P_j, P_j^-, P_j^+, P_j$  الضغط الجزئي للمركبات زمن البلازما وضغط الأيونات الموجبة والسالبة وضغط الغاز الكلي على التوالي،  $Q_{ej}(A^0)$  المقطع العرضي لانتقال الاندفاع بالصدم المرن للإلكترونات مع مكونات البلازما المعتدلة المختلفة ذات الدليل  $z$  [3]،  $(Q_{eh} = 271/\sqrt{E_e}, Q_{ene} = 1.6E_e^{1/6}, Q_{cu} = 500/E_e, Q_{ebr} = 12.6)$ ،  $v_e^i = 1.488 \times 10^{-8} T_e^{0.5} \sum_j N_j^s (T_e \leq 2eV)$ ،  $v_e^i(1/s) = 1.16 \times 10^{-8} T_e^{0.74} \sum_j N_j^s (T_e > 2eV)$ ،  $v_e^i(1/s) = 2.9 \times 10^{-6} \sum_j N_j^s T_e^{3/2} (23 - \ln(N_e^2 T_e^{-3/2}))$ ، تواتر التصادم المرن للإلكترون، تواتر انتقال الاندفاع لتصادم الإلكترون،  $\bar{P}_m = 0.5 C_1 U_0^2 f / \pi R^2 l_d$

بينما يعطى إسكان نرات النحاس عند الجدران بالعلاقة  $N_{Cu} = p_{Cu} / KT_g$

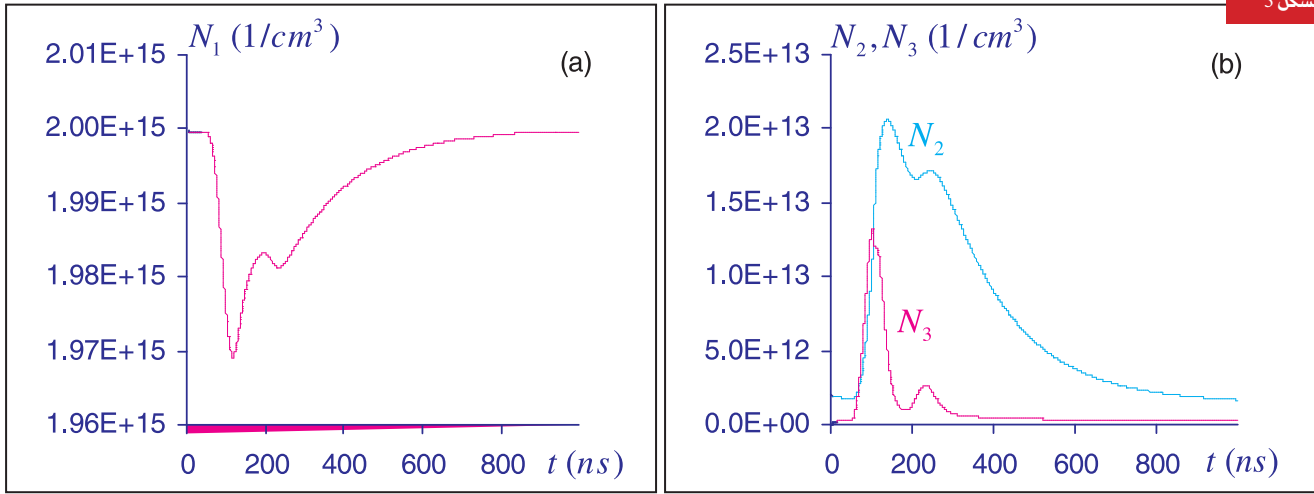
إذا كان دور التوهج أو النبضة الداخلية أصغر من  $10 \mu s$  فإن معدل سرعة جريان الغاز سيكون أكبر من  $10^5 cm/s$ . وباعتبار هذا المقياس الزمني، وبسبب الاضطرابات الناتجة عن عملية الحمل الحراري التي يمكن أن تنتشر على طول نصف قطر الأنبوية خلال هذا الزمن، فإنه يجب اعتبار المعادلة العامة الواصفة لكثافة طاقة الغاز من أجل تحديد توزع درجة الحرارة [14-12,3]. من ناحية أخرى، ومن أجل زمن أكبر (في هذا العمل  $47.6 \mu s$ )، حيث تتخادم الاضطرابات الناتجة عن الحمل الحراري، يمكن اعتبار معادلة شرط الحالة المستقرة  $\nabla \lambda_g \nabla T_g = -\bar{P}_m$  مع الشروط الحدية  $(\partial T_g / \partial r)_{r=0} = 0, T_g(r=R) = T_w$  من أجل تقدير التوزع القطري لدرجة حرارة الغاز.

يعطى متوسط درجة الحرارة بدلالة كثافة الغاز الخامل بالعلاقة  $\bar{T}_g = \langle N_g T_g \rangle / \langle N_g \rangle$ . لذا تعطى درجة الغاز ودرجة الحرارة الوسطى للغاز الخامل في حالة ليزر أسطواني بالعلاقتين التاليتين (باستخدام قانون الغاز المثالي وبافتراض أن درجة الحرارة تتراكم بنتيجة الاقتران الشديد بين الأيونات والذرات المعتدلة) [13,12,3,2]:

$$T_g(r) = [T_w^{m+1} + \beta \bar{P}_m \cdot (m+1) \cdot (R^2 - r^2) / 4\lambda_g]^{1/m+1} \quad (r=0, \dots, R)$$

$$\bar{T}_g = \frac{\alpha m}{m+1} [(1+\alpha)^{m/m+1} - 1]^{-1} T_w, \quad \alpha = (m+1) \cdot \bar{P}_m \cdot R^2 / (4\lambda_g T_w^{m+1})$$

حيث إن  $q_d, q_{mm}, q_{ce}, q_{cr}, q_r, q_i^p (i=1,2,3), A_{ij} (i,j=1,2,\dots,5; i \neq j), q_{ji}, q_{ij}$  تعبر عن ثوابت معدلات الإثارة وإزالة الإثارة والاسترخاء من أجل التفاعلات المختلفة: اللامرنة (التأيين والإثارة)، التصادم المرن والفائق



السلوك الزمني لكثافات إسكان أشباه الحالات ( $N_1$ ) وسوية التآين الأساسية ( $N_2$ ) على محور الأنبوبة الليزرية وكثافة الفوتونات الليزرية (U)

عددي،  $\eta = (1-\eta)\lambda_{Ne} + \eta\lambda_{H^-}$ ، الناقلية الحرارية للمزيج الغازي،  $\eta$  تركيز الهيدروجين عند ضغط ثابت،  $m_e$  كتلة الإلكترون.

الناقلية  $\lambda_i (J/cm\cdot s\cdot K) = (1.989 \times 4.18 \times 10^{-4} / \sigma_i^2 \Omega_i) \sqrt{T_g / M_i}$  ( $i = Ne, H^-$ )

الحرارية للنيون والهيدروجين،  $M_i$  كتلة الجسيمات الثقيلة،  $\sigma_i$  الطول المميز لذرة الهيدروجين أو النيون،  $\epsilon / K$  طاقة ليونارد-جونسون،  $A = 1.16145$ ،  $T^* = KT_g / \epsilon$ ،  $\Omega_i = \frac{A}{(T^*)^B} + \frac{C}{\exp(DT^*)} + \frac{E}{\exp(FT^*)}$ ، [12]. B=0.14874, C=0.52487, D=0.77320, E=2.16178, F=2.43787

### الحلول العددية لمعادلات المعدل

تمثل المعادلات (1)-(13) جملة معادلات تفاضلية عادية غير خطية صلبة. تصف هذه المعادلات حركية الانفراغ والتفاعلات الفيزيائية المختلفة مثل التصادم غير المرن، الاسترخاء الفائق المرنة، تصادم بينغ الهجين، التصادم المرن، إعادة الاتحاد التصادمي إلكترون-أيون (جسمان وثلاثة جسيمات)، وانفصال أيونات الهيدروجين السالبة وغيرها. استخدم برنامج حاسوبي لحل جملة هذه المعادلات باعتماد طريقة رونج-كوتا. يسمح البرنامج بدراسة السلوك الزمني لتوتر وتيار الانفراغ وكثافات الإسكان لذرات النحاس وكثافة ودرجة حرارة الإلكترونات وكثافة الهيدروجين ونبضة الخرج الليزري ودرجة حرارة الغاز الخامل والضغط الكلي في الأنبوبة الليزرية. يمكن البرنامج أيضاً من دراسة تأثير وسطاء الدخول على مميزات نبضة الخرج الليزري. تعطى الثوابت الفيزيائية للمعادلات (1)-(13) والأبعاد الهندسية للتجويف الليزري في الجدول 1 [15,8,5,2].

تم اختيار القيم الابتدائية لمعادلات المعدل كما يلي:

$$I_{C_1} = I_R = U_{C_2} = 0, U_0 = U_{C_1} = 10.3 (kV)$$

$$N_1 = 2 \times 10^{15} (1/cm^3), N_2 = 2 \times 10^{12} (1/cm^3), N_3 = 1 \times 10^{10} (1/cm^3), N_5 = 1 \times 10^{10} (1/cm^3)$$

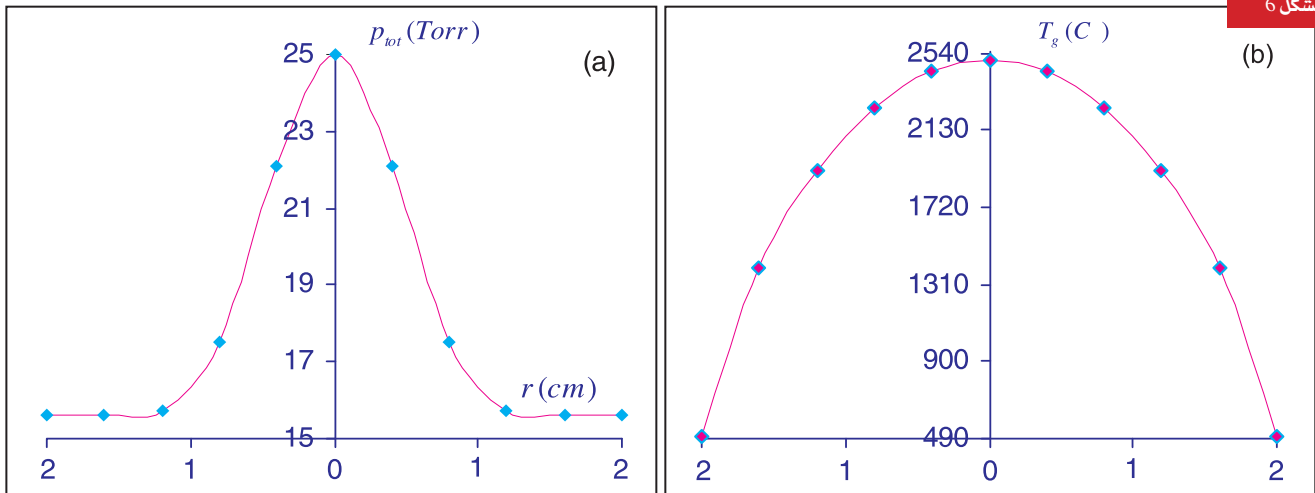
$$U = 10^{-9} (photon/cm^3 \cdot s), Ne = 6.5 \times 10^{11} (1/cm^3), N_{H^-} = 1 \times 10^{13} (1/cm^3), T_e = 0.25 (eV).$$

متوسط استطاعة الانفراغ بوحدة الحجم المتبددة في المنطقة المحورية (تتناقص الطاقة المتوضعة بشكل فعلي مع تزايد درجة حرارة الجدار  $T_w$ )،  $R$  نصف قطر أنبوبة الانفراغ،  $d$  طول منطقتي نهاية الأنبوبة الليزرية،  $E_{pi} = (5/8)E_{exi}$  متوسط طاقة إلكترون بينغ الإبتدائية،  $E_{exi}$  زيادة الطاقة بين الحالة شبه المستقرة وكمون تآين الهدف،  $E_r = (1/2)(1+\zeta)\Delta E_{im}$  الطاقة المحمولة بوساطة الإلكترون في حالة تصادم ثلاثة أجسام والتي تمكن من إعادة اتحاد الإلكترون بحيث يؤسر في مدار نري محدد (يفترض أن تحدث عملية إعادة الاتحاد لهذه الذرات في حالة وسطى تقع تماماً بين الحالة شبه المستقرة وسوية التآين الأساسية) [11,2]،  $\zeta$  نسبة الأيونات المعاد اتحادها إلى الحالة المعتدلة شبه المستقرة،  $\beta$  معامل

الوحدة	القيمة	الوسيط	الوحدة	القيمة	الوسيط	الوحدة	القيمة	الوسيط
W <sub>2</sub>	1.389	eV	B	3.5 10 <sup>-4</sup>	cm <sup>2</sup> /s	C <sub>1</sub>	1045	nF
W <sub>3</sub>	3.82 (g)	eV	K	8.625 10 <sup>-5</sup>	eV/deg	C <sub>2</sub>	400	nF
	3.79 (y)	eV	f	21	KHz	Ps	0.41	—
W <sub>4</sub>	5.7	eV	g <sub>1</sub>	2	—	P <sub>H<sup>-</sup></sub>	0.3	Torr
W <sub>5</sub>	7.724	eV	g <sub>2</sub>	6	—	P <sub>Ne</sub>	15	Torr
W <sub>H<sup>-</sup></sub>	0.76	eV	g <sub>3</sub>	4	—	P <sub>tot</sub>	25	Torr
W <sub>32</sub>	2.43 (g)	eV	g <sub>4</sub>	36	—	D <sub>Cu</sub>	0.289	cm <sup>2</sup> /s
	2.14 (y)	eV	g <sub>5</sub>	1	—	M <sub>Cu</sub>	5.92 10 <sup>10</sup>	eV
E <sub>12</sub>	1.4	eV	I <sub>d</sub>	50	cm	M <sub>H</sub>	9.31 10 <sup>8</sup>	eV
E <sub>13</sub>	3.82 (g)	eV	I <sub>c</sub>	100	cm	M <sub>Ne</sub>	1.88 10 <sup>10</sup>	eV
	3.79 (y)	eV	T <sub>w</sub>	490	deg	m <sub>e</sub>	0.9.10 <sup>-30</sup>	Kg
E <sub>14</sub>	6.12	eV	R	2	cm	L	3 10 <sup>-6</sup>	H
E <sub>15</sub>	7.73	eV	d/2	2	cm	L <sub>1</sub>	1. 10 <sup>-6</sup>	H
E <sub>24</sub>	5.7	eV	R <sub>out</sub>	0.08	—	m	0.5	—
E <sub>32</sub>	2.43	eV	R <sub>in</sub>	1.0	—	N <sub>Ne</sub>	6.10 <sup>14</sup> P <sub>Ne</sub>	1/cm <sup>3</sup>
E <sub>34a</sub>	1.53	eV	γ	10 <sup>-6</sup>	—	η	0.5 %	—
E <sub>34b</sub>	2.37	eV	ε/K	32.8 (Ne)	K	δ	0.004	cm <sup>-1</sup>
E <sub>34c</sub>	2.3	eV	ε/K	37 (H <sub>2</sub> )	K	ζ	0-1	—
E <sub>35</sub>	3.9	eV	σ	2.82 (Ne)	A <sup>o</sup>	β	0-1	—
E <sub>45</sub>	1.5	eV	σ	2.708 (H <sub>2</sub> )	A <sup>o</sup>			

الجدول 1: الثوابت الفيزيائية لمعادلات المعدل والأبعاد الهندسية للتجويف الليزري

الشكل 6



السلوك الزمني لكثافة الشحنة الكهربائية (N<sub>e</sub>) وكثافة أيونات الهيدروجين السالبة (NH) ودرجة حرارة الإلكترونات (T<sub>e</sub>) في محور الأنبوبة الليزرية.

### النتائج والمناقشة

عدة وحدات إلكترون - فولت (several eV). يقود أيضاً انقاص توتر مجموعة المكتثفات الخازنة إلى تجاوز التسخين المفرط للبلازما ودرجة حرارة الجدار، والذي يظهر من جهة أخرى بسبب تحسن توافق الممانعة بين البلازما والدارة الخارجية. إن وجود مركبات السعة والتحريرية يحد من ارتفاع تيار الانفراغ ويسبب هبوطاً في درجة حرارة الإلكترونات  $T_e$  وتباطؤاً في عملية التأين [5].

يعطي الشكل 4a كثافة إسكان السوية الأساسية لليزر بخار بروميد النحاس كتابع للزمن. تستنزف كثافة إسكان السوية الأساسية بشكل سريع إلى قيمة دنيا بعد حوالي 117 نانو ثانية وتبقى مستنزفة تقريباً خلال نبضة الإثارة، تبدأ بعدئذ بالتزايد لإعطاء قمة صغيرة تقابل القمة الصغيرة لتيار أو توتر الانفراغ. تسهم في هذه الحالة عمليات فيزيائية كثيرة في عملية بناء الحالة الأساسية مثل الإصدار التلقائي والاسترخاءات المختلفة. إن حركية الحالة الأساسية لليزر بخار بروميد النحاس تشابه تماماً الحالة المقابلة في ليزر بخار النحاس.

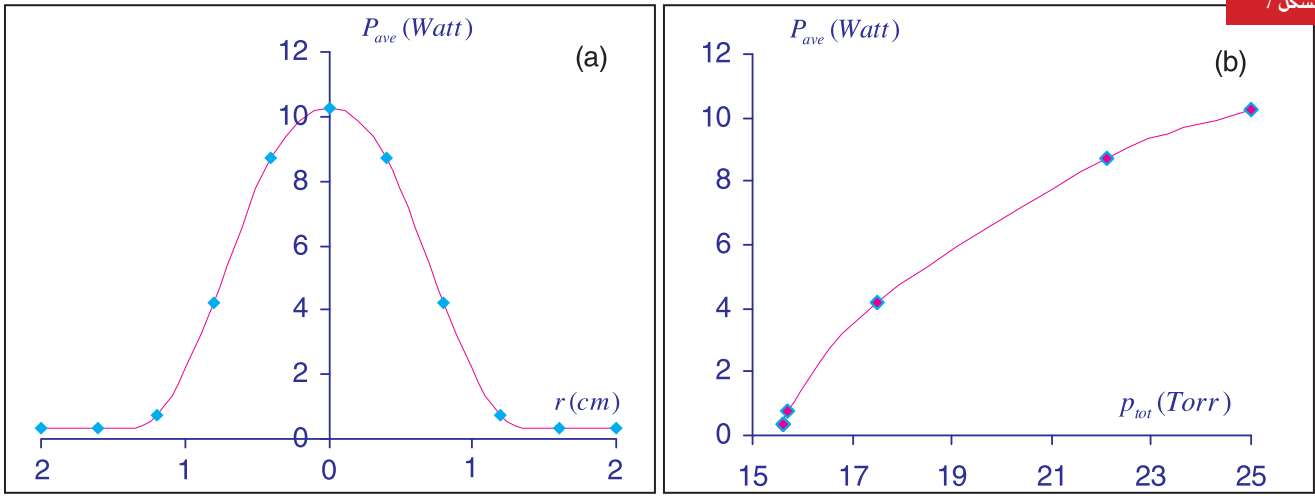
يظهر الشكل 4b السلوك الزمني لإسكان السوية الليزرية التجاوبية العليا  ${}^2P_{3/2}$  ( ${}^2P_{1/2}$ ) و  ${}^2D_{5/2}$  ( ${}^2D_{3/2}$ ) المستقرة الدنيا شبه المستقرة الدنيا من الواضح أن هذه الحالات تبلغ قيمها العظمى عند  $t_f=139$  ns و  $t_m=102$  ns على التوالي. تقابل هذه القيم العظمى القيم العظمى

يظهر الشكل 3 السلوك الزمني لتيار الانفراغ والتوتر والممانعة الظاهرية للأنبوبة الليزرية. يلاحظ من الشكلين 2 و 3 أنه عندما يفتح الثيراترون تبدأ ممانعته الظاهرية بالهبوط ويطبق بنتيجة ذلك التوتر الكلي لمجموعة المكتثفات الخازنة على بلازما النحاس هيدروجين-نيون. عندها يزداد توتر وتيار الانفراغ الماران عبر المكتثفة  $C_2$  الرافعة لقمة نبضة التوتر وكذلك التيار في الأنبوبة الليزرية أيضاً. يعطى معدل الطاقة المتوضعة في أنبوبة البلازما بالعلاقة  $I_R E_a$ .

تمت مقارنة القيم العظمى لتيار وتوتر الانفراغ المحسوبة في هذا العمل مع المقابلة لها المقيسة والمحسوبة في المرجع [8] وأظهرت النتائج توافقاً جيداً (الشكل 3 والجدول 2). كما تمت مقارنة عرض نبضة تيار وتوتر الانفراغ ومتوسط استطاعة خرج الليزر ومقاومة الرأس الليزري (الجدول 2) مع المعطيات المقيسة والمحسوبة في المرجع [8] وقد أظهرت النتائج توافقاً معقولاً. تبدأ ممانعة الأنبوبة الليزرية بالهبوط بعد حوالي 60 نانو ثانية (مقيسة من بداية نبضة توتر الانفراغ) حيث يبدأ الفعل الليزري. يعزى التزايد الظاهر في مقاومة البلازما خلال نبضة الانفراغ إلى تزايد تواتر تصادم الإلكترونات أو إلى تناقص كثافة الإلكترونات. يقود التزايد في مقاومة البلازما إلى تناقص شديد في قمة نبضة التيار، حيث إن درجة حرارة الإلكترونات المتحركة بمعدل التناقص هذا تبلغ عادة

	عرض نبضة التيار (ns)	عرض نبضة التوتر (ns)	القيمة العظمى للتيار (A)	القيمة العظمى للتوتر (kV)	استطاعة الدخل (Watt)	استطاعة الخرج (Watt)
النتائج المحسوبة	50	94	127	8.65	1200	10.26
النتائج المقيسة [8]	54	85	124	8.2	1200	10.25
النتائج المحسوبة [8]	46	67	129	8.64	1200	10.15

مقارنة بين النتائج المحسوبة والنتائج المقيسة والمحسوبة المدونة في المرجع [8].



التوزيع القطري للضغط (a) ودرجة حرارة الغاز الخامل (b).

الشكل 5a أن حالة التأين الفعالة تعطي قيمة عظمى تقابل القيمة العظمى لنبضة تيار الإثارة. يؤدي هذا التأين، خلال تزايد الإثارة وبعد مرحلة الإثارة، إلى استنزافها بسرعة خلال دور النبضة الداخلية ( $47.6 \mu s$ ).

يظهر الشكل 5b أن القيمة العظمى للنبضة الليزرية تقابل القيمة العظمى لنبضة الإثارة مع زمن تأخير يساوي تقريباً 98 نانو ثانية وعرض نبضة قدره 7.7 نانو ثانية.

يظهر الشكل 6a السلوك الزمني لكثافة الإلكترونات وأيونات الهيدروجين السالبة. يلاحظ من هذا الشكل أن تزايد كثافة الإلكترونات يحتل مكانة أثناء نبضة الإثارة. عندما تستنزف السوية الليزرية العليا، تبدأ كثافة الإلكترونات بالولوج في الحالة المستقرة. يمكن أن نرى أيضاً من الشكل 6a أن كثافة أيونات الهيدروجين السالبة تتناقص في البداية بشكل سريع وتستقر خلال نبضة الإثارة. عند بدء الفعل الليزري تهبط كثافة أيونات الهيدروجين السالبة إلى قيمتها الدنيا وعندها تظهر نبضة الخرج الليزري قريبة من قيمتها العظمى.

يظهر الشكل 6b السلوك الزمني لدرجة حرارة الإلكترونات. يمكن أن نرى درجة حرارة الإلكترونات تبلغ قيمتها العظمى عند الزمن 86 نانو ثانية وتقابل القيمة العظمى لنبضة الإثارة. إن وجود الذيل الطويل في هذا الشكل يعود إلى الظاهرة الحرارية.

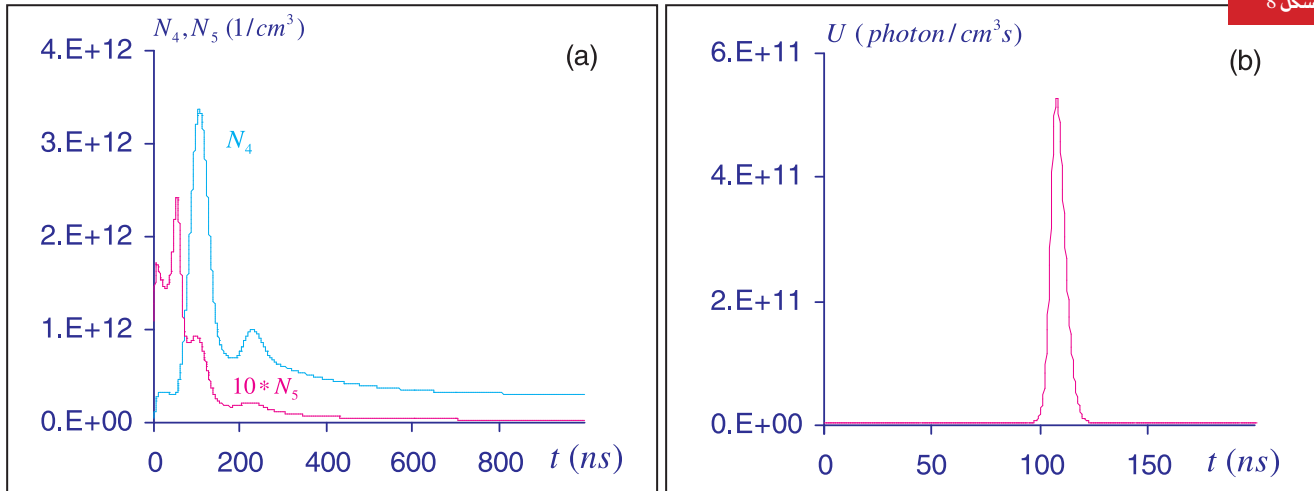
يظهر الشكلان 7 و 8a التوزيع القطري المتناظر للضغط الكلي ودرجة حرارة الغاز الخامل ومتوسط استطاعة نبضة الخرج في مركز الأنبوبة الأسطوانية لليزر بخار بروميد النحاس. تبلغ الكميات المذكورة قيمها الدنيا على جدار الأنبوبة وقيمها العظمى في مركز الأنبوبة الليزرية.

للاستطاعة المتوسطة (القيمة العظمى لتيار الانفراغ) وتتطابق مع الفعل الليزري. يترافق اضمحلال إسكان السوية الليزرية العليا بهبوط سريع لدرجة حرارة الإلكترونات. يعود وجود القمة الثانية الأصغر آلية الضياع الأساسية لإسكان السوية شبه المستقرة  $2D_{5/2}$  ( $2D_{3/2}$ ) خلال نبضة الإثارة في إثارتها إلى أشباه الحالات وتأينها إلى حالة تأين متوسطة وليس إلى السوية الليزرية العليا  $2P_{3/2}$  ( $2P_{1/2}$ ). ومع ذلك يوجد ضخ داعم للحالة شبه المستقرة من الحالة الأساسية حالما تضحل درجة حرارة الإلكترونات. تقتزن السوية الليزرية الدنيا شبه المستقرة بشكل شديد مع إسكان السوية الأساسية أثناء دور النبضة الداخلية [10].

يعرض الشكل 5a السلوك الزمني لأشبه الحالات الفعالة التسع. تسكن أشباه الحالات بشكل أساسي من خلال السوية الليزرية الدنيا شبه المستقرة بشكل متدرج وجزئياً من الحالة الأساسية. يبلغ إسكان أشباه الحالات قيمته العظمى عند الزمن  $t=105$  ns. تقابل القيمة العظمى هذه القيمة العظمى لتيار الانفراغ وتتطابق مع الفعل الليزري. من المعروف جيداً بأن هذه الحالات تنجز اضمحلالاً غير مشع إلى السوية الليزرية التجاوبية العليا [17,13,5]. يبلغ إسكان القمة الكلي المتنبأ به  $3.37 \cdot 10^{12} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$  وهو يساوي تقريباً قيمة إسكان السوية الليزرية التجاوبية العليا  $2P_{3/2}$  ( $2P_{1/2}$ ). لا يتم إسكان أشباه الحالات الفعالة تجريبياً بشكل مبسط حسب درجة تفسخها. لذا فإن المقطع العرضي للتصادم الإلكتروني المختلط بين رباعي أشباه الحالات غير معروف بشكل جيد حتى الآن [16,5] بسبب تواجد ما يدعى عموماً بعدم التحديد في شدة الهزاز للانتقالات المرئية. يمكن أخيراً أن نلاحظ من



الشكل 8

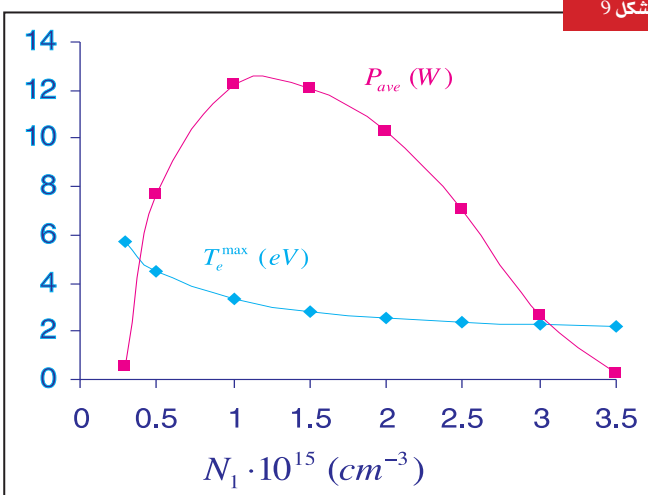


متوسط الاستطاعة كتابع لمتوسط قطر الأنبوبة الليزرية والضغط الكلي.

تدل النتائج على أن كثافة الحالة الأساسية وقمة درجة حرارة الإلكترونات يعتبران وسيطين مهمين مؤثرين على متوسط استطاعة نبضة الخرج الليزري. يمكن أيضاً أن تؤكد النتائج على وجود درجة حرارة عتبة لحدار الأنبوبة وكثافة نحاس - هيدروجين والتي تصبح عندها بلازما الأنبوبة غير مستقرة حرارياً من أجل قيم أعلى وتقود إلى تسخين مفرط للبلازما.

نظراً للتطبيقات المختلفة لليزر بخار بروميد النحاس (كمنبع ضخ الليزر القابلة للتوليف مثل الليزر الصباغية وليزر تيتان-سفير)، فإنه يمكن استخدام نتائج هذه النمذجة ليس فقط للتحقق من صحة النظرية وإنما أيضاً كمبادئ موجهة في فروع علمية وتقنية مختلفة.

نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Technology Optics and Lasers*, 2005



متوسط الاستطاعة ودرجة حرارة الإلكترونات كتابع لكثافة إسكان الحالة الأساسية

يعطي الشكل 8b متوسط استطاعة الخرج الليزري كتابع للضغط الكلي. يتزايد متوسط استطاعة هذه النبضة بتزايد ضغط بخار النحاس حتى قيمة محددة. بلغت القيم العظمى المحسوبة للضغط الكلي، درجة حرارة الغاز الخامل ومتوسط استطاعة الخرج الليزري 25 Torr, 2506 C°, 10.26 Watt على التوالي. وهذا يؤدي الى توافق جيد تقريباً مع المعطيات التجريبية [16,13,8].

يشير الشكل 9 إلى علاقة متوسط الاستطاعة الليزرية ودرجة حرارة الإلكترونات كتابع لكثافة إسكان الحالة الأساسية. تدل النتائج على أن كثافة إسكان الحالة الأساسية للنحاس وقمة درجة حرارة الإلكترونات يعتبران وسيطان هامان يؤثران على متوسط استطاعة الخرج الليزري.

يمكن أخيراً أن ننوه إلى أن تزايد توتر الانفراغ عند معدلات تكرار عالية يقود الى استنزاف شديد للحالة الأساسية. كما أن تزايد طاقة الضخ كنتيجة لتزايد التوتر المطبق حتى قيمة محددة يؤدي إلى تباطؤ تناقص الشدة الليزرية وتعرف هذه الظاهرة "بظاهرة التظليل"، لذلك فإن الحصول على مردود جيد يتطلب نبضة إثارة حادة، لا إدخال طاقة إضافية إلى الوسط الفعال. تقود نبضات الإثارة الطويلة إلى تسخين إضافي للغاز الخامل وإلى تزايد في عملية الإثارة التي تقود بدورها إلى تباطؤ في اضمحلال الحالة شبه المستقرة.

### الخاتمة

تم تطوير نموذج رياضي يصف العمليات الفيزيائية المختلفة لليزر بخار بروميد النحاس وحركية الانفراغ والتوزيع القطري لضغط نرات النحاس ودرجة حرارة الغاز الخامل ومتوسط استطاعة الخرج الليزري ودرجة حرارة الإلكترونات ومميزات الليزر المختلفة. يمكن استخدام النموذج لحساب السلوك الزمني لكثافات إسكان حالات (السويات الطاقية) النحاس المعتبرة في ليزر بروميد النحاس.



## REFERENCES

## المراجع

- [1] Carman R.J. Modelling of the kinetics and parametric behaviur of a copper vapour laser: Output power limitation issues. *J. Appl. Phys.*1997; 82(1):71-83.
- [2] Kushner M.J and Warmer B.E. Large-bore copper-vapor lasers: Kinetics and scaling issues. *J. Appl. Phys.*1983;54(6):2970-2981 .
- [3] Astadjov DN, Vochkov NK, and Sabotinov NV. Parametric study of the CuBr laser with hydrogen additives. *IEEE J. Quantum Electron* 1988;24(9):1927-1935.
- [4] Astadjov DN, Isaev AA, Petrash GG, Ponomarev IV, Sabotinov NV, and Vochkov NK. Temporal and radial evolution of the populations of CuI levels in the CuBr vapor laser. *IEEE J. Quantum Electron* 1992; 28(10):1966-1969.
- [5] Kushner M.J. A self-consistent model for high repetition rate copper vapor lasers. *IEEE J. Quantum Electron* 1981; QE 17 (8): 1555-1565.
- [6] Carman RJ, Mildren RP, Withford MJ, Brown DJW, and Piper JA . Modelling the plasma kinetics in a kinetically enhanced copper vapor laser utilizing HCL+H<sub>2</sub> admixtures. *IEEE J. Quantum Electron* 2000; 36(4):438-448.
- [7] Nerheim NM, Bhanji AM, and Russell CR. A contiuously pulsed copper halide laser with a cable-capacitor Blumlein discharge circuit. *IEEE of Quantum electron* 1978;QE-14(9):686-693.
- [8] Vochkov NK, Astadjov DN, and Sabotnov NV. Influence of the excitation circuits on CuBr laser performance. *IEEE of Quantum Electron* 1994;30(3):750-758.
- [9] Vuchkov N.K., Astadjov D.N., Sabotnov N.V. A new circuit for CuBr laser excitation. *Optical and Quantum Electron* 1991; 23:549-553.
- [10] Carman RJ, Brown DJW, and Piper JA, Member, IEEE. self-consistent model for the discharge kinetics in a high-repetition-rate copper-vapor laser *IEEE J. of Quantum Electron* 1994;30(8):1876-1895.
- [11] Kushner M.J. and Culick F.E.C. A model for the dissociation pulse, afterglow, and laser pulse in the Cu/CuCl double pulse laser. *J. Appl. Phys.*1980; 51(6):3020-3032.
- [12] Cheng Cheng. Plasma kinetics mechanisms of an optimized copper vapour laser. *J.Phys.D: Appl. Phys.* 2000;33:1169-1178.
- [13] Boley C.D., Molander W.A., Warner B.E. Computational model of a copper laser. University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore CA 94550 1997:1-56.
- [14] Le Guyadec E, Coutance P, Bertrand G, and Pelteir C. A 280-W Average power CU-Ne-HBr laser amplifier. *IEEE J. of Quantum Electronics* 1999; 35(11):1616-1622.
- [15] Borovich B.L., Yurchenko N.I. Analysis of the excitation and relaxation kinetics in a copper vapor laser excited by longitudinal discharge. *Sov. J.Quantum electron* 1984; 14(10): 1391-1399.
- [16] Isaev A.A, Petrash G.G. Kinetics of excitation and physical processes in active media of copper vapor and copper bromide vapor lasers. *SPIE* 1993; 2110: 2-45.
- [17] Harstad KG. Computer simulated rate processes in copper vapor lasers. *IEEE Journal Quantum Electron* 1980; QE-16(5):550-558.

## ارتباط الإشعاع الشمسي الكلي بالوسطاء المناخية والجغرافية العامة لمنطقة دمشق - سورية

د. كمال سكيكر

قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

### ملخص

الخاصة بهذه الوسطاء المقيسة والمحسوبة للمنطقة المعنية. فاقترحت علاقة استيفاء متعدد MRR جديدة لتقدير المعدل اليومي الشهري لشدة الإشعاع الشمسي الكلي الوارد إلى سطح أفقي بدقة مقبولة، وبخطأ نسبي  $e$  تراوح من 6.37% إلى 8.27%. تتصف هذه العلاقة بمعامل ارتباط  $R$  كبير نسبياً حيث تبلغ قيمته  $R=0.9915$ . ويقع أيضاً كل من متوسط الفروق MBD (0.1 واط/م<sup>2</sup>) والجذر التربيعي لمتوسط مربع الفروق RMSD (229 واط/م<sup>2</sup>) في داخل الحدود المقبولة. يُستخدم هذا النموذج المقترح في تصميم وتقييم أداء النظم الخاصة بتطبيقات الطاقة الشمسية في منطقة دمشق- سورية.

تم في إطار هذا العمل دراسة تأثير بعض الوسطاء المناخية، والجغرافية الخاصة بمنطقة دمشق على المعدل اليومي الشهري لشدة الإشعاع الشمسي الكلي الوارد إلى سطح أفقي. فدرست العلاقات التي تربط هذا الوسيط الأخير بسبعة متغيرات مختلفة ممثلة بالمعدل اليومي لكل من: شدة الإشعاع الشمسي في أعلى الغلاف الجوي للأرض  $\bar{I}_0$ ؛ النسبة بين مدة سطوع الشمس اليومية المرصودة والمدة القصوى النظرية  $\bar{n} / \bar{N}$ ؛ الرطوبة النسبية  $\bar{\phi}$ ؛ درجة حرارة الهواء الجاف العظمى  $\bar{\theta}_{max}$ ؛ درجة حرارة الهواء العظمى عند نقطة الندى  $\bar{\theta}_{d,max}$ ؛ الضغط الجوي  $\bar{P}$ ، إضافة إلى زاوية ميل الشمس  $\delta$ ؛ وذلك باستخدام البيانات

**الكلمات المفتاحية:** الإشعاع الشمسي الكلي، الوسطاء المناخية والجغرافية، الاستيفاء المتعدد.

• تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرية السورية.



### انتقال بعض النكيدات المشعة الصناعية

(السترونسيوم-85 والسييزيوم-137) والطبيعية (البوتاسيوم-40 والراديوم-226)

من الحليب إلى مشتقاته

د. محمد سعيد المصري، عامر نشواتي، يسر أمين، بشري العاقل

قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

### ملخص

النتائج أن النسبة المئوية لاحتفاظ الراديوم-226 في مشتقات الحليب قد وصلت إلى 100% في الجبن البلدي و72% للسترونسيوم-85 في الجبن الشلل و40% للسييزيوم-137 في اللبنة و46% للبوتاسيوم-40 في اللبنة أيضاً. هذا، وكانت معظم النسب المئوية للاحتفاظ

جرت دراسة انتقال بعض النظائر المشعة الصناعية (<sup>137</sup>Cs و <sup>85</sup>Sr) والطبيعية (<sup>226</sup>Ra و <sup>40</sup>K) من الحليب (الغنم والبقر) إلى مشتقاته المصنعة بالطريقة المحلية (الجبن البلدي والقشقوان والشلل والحلوم والقريشة والسائلة والشركسية واللبنة والزبدة والقشدة). دلت

بالنظائر المدروسة في اللبنة منخفضة نسبياً (قراءة 25% و 40% للبنة المصنّعة من حليب البقر والغنم على الترتيب) مع كفاءة مرتفعة لعملية التصنيع مما يدل على أن تصنيع اللبنة من الحليب الملوّث هي أفضل الطرق لخفض نسبة التلوّث والاستفادة من الحليب الملوّث. بالإضافة إلى ذلك، عولجت الجبنة البلدية بمحاليل ملحية

مختلفة التراكيز فدلت النتائج على أن قراءة 90% من السيزيوم والبوتاسيوم قد انتقل إلى المحلول الملحي ذي التركيز 5% بعد نقعها لفترة 48 ساعة، بينما تمت إزالة حوالي 40% من الراديوم و80% من السترونسيوم من الجبنة الملوّثة بعد نقعها لمدة 48 ساعة في محلول ملحي تركيزه 2.5%.

**الكلمات المفتاحية :** حليب ملوّث، مشتقات الحليب، سيزيوم، سترونسيوم، راديوم، بوتاسيوم، معامل الاحتفاظ.

• تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أنجزت في قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## برنامج حاسوبي لجدولة الري باستخدام قراءات جهاز التشتت النتروني

جلال العطار، عبد الكريم رزوق، د. مصدق جانان

قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية السورية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

### ملخص

تمّ إعداد برنامج حاسوبي لجدولة الري يستخدم القراءات المأخوذة من جهاز قياس التشتت النتروني لرطوبة التربة، ويأخذ بعين الاعتبار عمق الجذور الفعال ونسبة التغطية النباتية وكفاءة نظام الري والحدّ الحرج للرطوبة في التربة. وقد حقق هذا البرنامج سهولة في التعامل ودقة في الحساب واختصاراً في الوقت. وقد تمّ استخدام البرنامج في بعض التجارب التي أجريت في قسم الزراعة على بعض المحاصيل الاقتصادية مثل القطن وفول الصويا والشوندر السكري والبطاطا.

**الكلمات المفتاحية :** التشتت النتروني، الطريقة المباشرة، رطوبة التربة، نسبة التغطية النباتية.

• تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## تأثير تركيز شوارد الليثيوم على الناقلية الكهربائية لأفلام بولي فينيل الكحول

د. منذر قطان، هارون القصيري

دائرة تقانات البوليميرات - قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

### ملخص

درس في هذا العمل تأثير تركيز شوارد الليثيوم على الناقلية الكهربائية لأفلام البولي فينيل الكحول المشعّة وغير المشعّة. تبين أن النتائج ازدادت واضحاً وازدادت من مرتبة  $10^4$  للناقلية الكهربائية بزيادة تركيز كلور الليثيوم حتى (3%)، وتحسناً واضحاً للناقلية بفعل



التشعيع بجرعة 25 ك/غراي. وتصل قيمة الناقلية للشوارد عند تركيز 3% ومع التشعيع قيمة عظمى حوالي  $\sigma \approx 2 \times 10^{-7}$  S/cm. وبدراسة تأثير تركيز كلور الليثيوم على السلوك الحراري لبولي فينيل الكحول لوحظ اختفاء الطور البلوري بوجود كلور الليثيوم

وازدیاد واضح في درجة حرارة التحول الزجاجي وتغير في قفزة السعة الحرارية  $\Delta C_p$  عند التحول الزجاجي. كما تبين أن هناك تأثيراً ملحوظاً للإشعاع على عملية التبلور وعلى حجم البلورات للعيّنة المشعّة.

**الكلمات المفتاحية :** بولي فينيل الكحول، أشعة غاما، الناقلية الكهربائية، درجة حرارة التحول الزجاجي.

• تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أنجزت في قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## تحديد الهيدروكربونات في حمض الفسفور النقي والتجاري باستخدام طريقة الكروماتوغرافيا الغازية وتشغيل جهاز Unicam pro GC + Thermo Onix

حسام القاسمي، د. محمد الخالد عبد الباقي

مكتب التعدين المائي - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

### ملخص

طُوِّرت طريقة لتحديد الهيدروكربونات في عيّنات حمض الفسفور النقي المركز 58% وحمض الفسفور التجاري بطريقة الكروماتوغرافيا الغازية، وذلك لضبط مواصفات الحمض المنتج في وحدة تنقية حمض

الفسفور. نُرست دقة هذه الطريقة وتبيّن أن الانحراف المعياري يتراوح ما بين 0.0914 و0.112، كما وصّفت طريقة العمل على جهاز Unicam pro GC + Thermo Onix.

**الكلمات المفتاحية :** هيدروكربون، الكروماتوغرافيا الغازية، تنقية، حمض فسفور.

• تقرير مختصر عن نشرة علمية توضيحية أنجزت في مكتب التعدين المائي - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## تحضير مركب الـ ECD

د. عبد الوهاب علاف، محمد عدنان نقاوة

قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية.

### ملخص

جرى تصنيع مركب الـ ECD في مخابر الهيئة انطلاقاً من مركب الـ EC، الذي قمنا بتحضيره مسبقاً والمشار إليه في عمل سابق، وذلك بوضع مركب الـ EC في حوالة تحوي على الإيثانول الجاف

والمشبع بغاز كلوريد الهيدروجين الجاف والمحضر بطريقة تسلسلية بتوليد من تفاعل حمض الكبريت المركز مع كلوريد الصوديوم. يخلط المزيج ويسخن ويترك بالتقطير المرتد مدة خمس ساعات

ثم يترك ليبرد إلى درجة حرارة الغرفة. يفلتر الراسب ويغسل بالإيثانول الجاف والبارد لنحصل على المنتج النهائي لمركب الـ ECD، ثم نقوم بعدها بتحديد هوية المنتج بواسطة الطرق الفيزيائية ككيت صيدلاني موسوم.

**الكلمات المفتاحية:** تقطير مرتد، راسب، قياسات طيفية، تحديد هوية، كيت صيدلاني موسوم.

• تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## تعيين الطلب الكيميائي للاكسجين (COD) في العينات المائية

محمد عماد بيرقدار، هدى عساف، كامل الخرفان

قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

### ملخص

جرى اعتماد طريقة لتعيين تراكيز الأكسجين الكيميائي المستهلك في العينات المائية باتباع إجراءات الاعتماد وفق دليل Eurachem وذلك باستخدام عينات عيارية وحقيقية مائية. شملت مراحل الاعتماد تعيين التكرارية وقابلية الإعادة وحد الكشف الأدنى ومعامل الاسترجاع. تراوح معامل الاسترجاع بين 70% و99%، بينما وصل الحد الأدنى للكشف إلى حوالي 16.25 ملغ/ل. دلت نتائج تطبيق الطريقة المدروسة باستخدام عينات حقيقية (مياه صرف صحي وصناعي) وعينات مقارنة زودت من قبل البرنامج الوطني لضبط جودة التحاليل على أنها طريقة دقيقة وذات موثوقية جيدة.

**الكلمات المفتاحية:** الطلب الكيميائي للاكسجين، العينات المائية، اعتماد طريقة.

• تقرير مختصر عن دراسة علمية توضيحية أنجزت في قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## دراسة تطور الطلب على الطاقة والكهرباء وتحليل استراتيجية التوسع الأمثل لنظام التوليد الكهربائي في سورية (للفترة 1999-2030)

د.علي حنون، محمد خضر سيف الدين، علاء الخطيب، السموءل المصطفى

قسم الهندسة النووية - دائرة أمان المفاعلات - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

جرى في إطار مشروع تعاون فني مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية وبالتنسيق مع مجموعة من الوزارات تنفيذ تحليل شامل طويل الأمد لتطور الطلب على الطاقة والكهرباء في سورية وفقاً لمجموعة من السيناريوهات التي تعكس التطور الديموغرافي والاجتماعي

والاقتصادي والتقني المتوقع خلال العقود الثلاثة القادمة. وقد بين السيناريو المرجعي (لنمو الاقتصادي المتفائل) أن الطلب على الطاقة النهائية والكهرباء سوف يزداد بنسبة سنوية تصل إلى 5.0% و 5.5% على الترتيب، أما حمل الذروة فمن المتوقع أن يزداد بواقع 5.2% سنوياً. وبنتيجة خطة التوسع الأقل كلفة لنظام التوليد الكهربائي وجد أن الغاز الطبيعي ومحطات الدارة المركبة سوف تلعب الدور الرئيسي خلال فترة الدراسة، بالإضافة للمحطات النووية التي ستصبح خياراً اقتصادياً مجدياً بعد العام 2021.

**الكلمات المفتاحية:** تطور الطلب على الطاقة، سيناريوهات التطور، حمل الذروة، خطة التوسع الأمثل، محطات التوليد الكهربائي.

• تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الهندسة النووية - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## دراسة الوصلات اللحامية لعينات فولاذية بطريقة اللحام بالقوس الكهربائي في وسط من الأزرغون

د.محمد سوقية، مثقال أبو خروب، فريزة نصر الله، عدنان عوكر

قسم الفيزياء - دائرة الحالة الصلبة وعلم المواد - قسم الخدمات الفنية - دائرة تصنيع الأجهزة العلمية -

هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية

### ملخص

منطقة اللحام (تزداد بحوالي 10%) وانخفاضاً ملحوظاً في مقاومتها للتآكل التقري. يمكن أن يعزى ذلك إلى عمليات إعادة الترتيب الذري في مناطق الدرزة اللحامية وصغر أبعاد الحبيبات البلورية وإلى الإجهادات الميكانيكية المتبقية. وينعدم الاختلاف في قساوة الوصلات اللحامية تقريباً بعد المعالجة الحرارية عند الدرجة  $500^{\circ}\text{C}$  لمدة 30 دقيقة. من ناحية أخرى، يمكن أن تساهم المعالجة الحرارية في إزالة الإجهادات الميكانيكية المتبقية وخفض خطر تشكل الشقوق الميكروية في مناطق الدرزات اللحامية.

تم لحام صفائح فولاذ من النوع SS304 بثخانة 0.3 cm وأبعاد  $3 \times 2$  cm مشنفرة الحواف بطريقة القوس الكهربائي بوجود غاز الأزرغون TIG (من أجل شدات تيار مختلفة في المجال 70-100A ومن أجل قطب تنغستين ثابت بقطر 2 mm وأسلاك تعبئة مطلية بقطر 1.6 mm). أظهرت الدراسة أن كتامة الوصلات اللحامية (0.3 cm) تتحقق عند اللحام بشدات تيار في المجال 90-100A. أظهر التحليل الطوري لمنطقة اللحام نمواً طفيفاً للطور  $\alpha\text{-Fe}$  دون ظهور آثار لطور أكسيدي. كما أظهرت الدراسة زيادة صغيرة في قساوة

**الكلمات المفتاحية:** اللحام بالقوس الكهربائي، فولاذ SS304، الوصلات اللحامية، القساوة، التآكل التقري.

• تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.





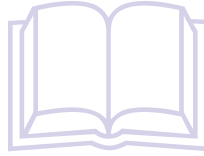


# التركيز على النجوم

## مسيرة وأزمان التلسكوب

تأليف : فريد واتسون

عرض وتحليل : روبرت فان جينت



وبالرغم من أن مبتكري التلسكوب العاكس كانوا ألماناً، فقد نسب إلى غاليليو Galileo وتوماس هاريوت T. Harriot وسيمون ماريوس S. Marius أنهم استخدموه في ملاحظة الكون. وسرعان ما قدمت ملاحظاتهم البرهان على الموديل الكوبرنيكي المركزي الشمس للسموات. كما أن كريستيان هيوجنز C. Huygens وجوهانس هيفيليوس J. Hevelius ووليام هرشل W. Herschel جميعهم قاموا باكتشافات رئيسة عبر استخدامهم تلسكوبات كانوا قد صمّموها وبنوها بأنفسهم.

وبعد النجاحات المبكرة، يتابع واتسون وصف التحسينات اللاحقة على التلسكوبات العاكسة والكاسرة، مع التركيز على التفاصيل. وفي الفصول الأخيرة، يناقش واتسون تلسكوبات القرن العشرين الضخمة الأرضية منها والفضائية التي غيرت مفاهيمنا بشكل كبير حول منشأ ومصير الكون، ويلقي نظرة خاطفة حول المستقبل القريب لجيل جديد من التلسكوبات الفائقة التي ستسبر أبعاداً أكبر في عمق الفضاء.

وقد تخلت النص مخططات مفيدة ورسوم توضيحية تصف ببراعة بنيانات العدسات وتشكيلات المرايا المتنوعة التي تمّ تصميمها خلال الأربعين سنة الأولى للتلسكوبات. وهناك أيضاً مذكرات مفصلة ومسرد بالمصطلحات الفلكية والبصرية، إضافة إلى المراجع.

ثمة قليل من الأخطاء يتعدّر تلافئها. فمثلاً المَجَسْطِي (كتاب بطليموس)، وهو دليل استخدام في علم الفلك ينبغي إرجاع تاريخه إلى منتصف القرن الثاني بعد الميلاد وليس القرن الأول بعد الميلاد.

يمثل كتاب واتسون إضافة مستحسنة إلى أدبيات تاريخ التلسكوب، ويمكن النصح به لأي قارئ يهتم بتاريخ العلم والتقانة الآلية.

يرمز التلسكوب إلى علم الفلك، وكان له دور محوري في تطور باكورة العلم الحديث. ولقد دُوِّنت حوله سابقاً بضع دراسات تاريخية متميزة، وبخاصة ما كتبه أندريه دانجون A. Danjon وأندريه كوبر A. Couder عام 1935 بعنوان "النظارات والتلسكوب Lunettes et Télescopes"، وكذلك هنري كينغ H. King بعنوان "قصة التلسكوب The History the Telescope" عام 1955 ورولف ريك R. Rieker عام 1990 بعنوان "Fernrohre und ihre Meister".

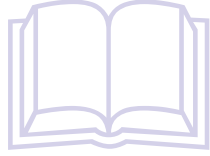
وفيما نحن ندنو من المئوية الرابعة لابتكار التلسكوب، يقدم المختص الفلكي الأسترالي فريد واتسون قصة منقحة حديثة وجيدة الكتابة عن ابتكار التلسكوب وتطوره وتأثيره في علم الفلك. ولما كان هذا الفلكي مسؤولاً عن المرصد الأنكلوآسترالي في كوناباربران في نيو ساوث ويلز فإنه يعدُّ مهياً تماماً لكتابة مثل هذه القصة. إنه يحكي عن القصة الساحرة لابتكار التلسكوب البسيطة التي أنجزت من قبل مصنعي النظارات الألمان في السنوات المبكرة من القرن السابع عشر، ويعدّد محدداً إسهاماتهم في ظهور التلسكوبات الحديثة المعاصرة.

بدأ توثيق قصة التلسكوب في أيلول/سبتمبر عام 1608، عندما قدّم مُصنّع النظارات في ميدلبورغ Middelburg، هانس ليرشي H. Lippershey، طلباً للحصول على براءة اختراع لابتكاره. لكن واتسون، يصرُّ على الإمكانية غير المحتملة بأن التلسكوبات البدائية كانت قد عُرِفَت من قبل الميزوبانيين القدماء (شعوب ما بين النهرين) وكذلك عرفها اليونانيون وطلاب العصور الوسطى في أوروبا.

ثمة واقعة قوية يمكن أن تُساق لما يسمى التلسكوب الإليزابيثي، وهو تلسكوب عاكس قديم وصفته مؤلفات الكاتبين الإنكليزيين توماس ديغس T. Digges ووليام بورن W. Bourne، ولكن الأدلة توجي بأن هذا التلسكوب مجرد فكرة في عقليهما وأنها لم تكن واقعا ملموسا.



# عوامل النمو



تأليف : نيلز رول-هانسن

عرض وتحليل: جارلند إي آلان

## وضع أفكار المهندس الزراعي الروسي "تروفيم ليسنكو" ضمن السياق العلمي والسياسي. تأثير ليسنكو: سياسة العلم

صورة أكثر تعقيداً بكثير. فقد حقق ما لم يحاول تحقيقه أي مؤلف سابق؛ أي أن يتعامل بجدية مع العلم الذي قدمه ليسنكو، وأن يفهم كيف جرى تأطير الحوار في داخل الدوائر الزراعية والعلمية السوفييتية في ضوء النظرية البيولوجية السائدة. والنتيجة هي نظرة متجددة إلى واقعة مألوفة أسيء فهمها تقليدياً في تاريخ العلوم، وذات صلة بنقاشات حول هيكله العلوم وسياستها والعلاقة ما بين النظرية العلمية والممارسة التقانية في الوقت الحاضر.

وكيما نفهم ارتقاء ليسنكو للشهرة، حسب رأي رول-هانسن، فإن من الضروري فصل عمله في الفيزيولوجيا النباتية عن نظرياته اللاحقة المضادة للمندلية واللاماركية الحديثة. ويقدم رول - هانسن فصلاً مفصلاً لخلفية ليسنكو وأبحاثه الأولى، ضمن سياق تاريخ البحث في الفيزيولوجيا النباتية في روسيا. فالعوامل المنشطة للإنتاش germination والازهار المبكر لدى مجموعة متنوعة واسعة من أنواع المحاصيل قد جذبت اهتماماً كبيراً للبحوث في روسيا وألمانيا في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. إذ إن إحدى الحوارات التي ظهرت بحلول عشرينيات القرن العشرين كانت بين مؤيدي الطول النهاري (بمعنى الدورية الضوئية photoperiodism) والتعرض إلى درجة الحرارة المنخفضة (بمعنى تبريد البذور vernalization) كعاملين رئيسيين ينشطان الإنتاج المبكر، وبشكل أهم، الازهار.

وقد عطلت الزراعة قيام الثورة البلشفية في عام 1917 واندلاع الحرب الأهلية التي تلتها، وبحلول العام 1921 كان نقص الغذاء حاداً. وتمثلت المشكلة الحرجة بالنسبة للزراعة السوفييتية في زيادة المحصول عبر تعلم كيفية التعامل مع الظروف البيئية وكذلك عبر إيجاد سلالات جينية تستطيع أن تزهر مبكراً وتنتج بالتالي

أوضحت نظريات استئصال النباتات plant breeding والتهجين والاصطفاء- التي قَدَّمها تروفيم ليسنكو منذ أواسط العشرينيات من القرن الماضي- قضيةً خلاقيةً مثيرةً للاهتمام في الدوائر العلمية الدولية. في عام 1948، استودعت آراؤه بين نفائس الاتحاد السوفييتي كأساس رسمي للسياسة الزراعية. ويوم كانت الحرب الباردة تقارب أوجها، اعتبر الغرب حالة ليسنكو تحريفاً للنظرة الليبرالية للعلم ويمثل مشروعاً مستقلاً ضمن نظرة "اشتراكية" للعلم يتحكم فيه فاشيون وسياسيون قمعيون.

كانت "اللاماركية الحديثة" إحدى الأركان الأساسية في برنامج ليسنكو للتربية النباتية، وهي فكرة تنص على أن التغييرات التي تحدث للمتعضية الحية organism خلال حياتها يمكن أن تنتقل إلى نسلها. وقد كانت تلك الفكرة مثار جدل كبير داخل الاتحاد السوفييتي وخارجه على حد سواء، وبحلول منتصف الثلاثينيات تم رفضها من قبل أغلب البيولوجيين الغربيين. فكيف أصبح ذلك البرنامج الزراعي الذي يعتمد على نظريات رفضها باقي البيولوجيين في العالم قضيةً استأثرت بالاهتمام منذ ذلك الوقت.

تكمّن المشكلة التي تثيرها السيرة التاريخية التقليدية لحالة ليسنكو في الرأي القائل بأن علم ليسنكو كان منذ البدء محض دجل زائف؛ وبأنه فرض من القمة ممثلة بالإرهابي ستالين، وبأن البيولوجيين والزراعيين كانت تتم تصفيتهم في الاتحاد السوفييتي إذا ما بدر منهم أي انتقاد.

وفي كتاب "مفعول ليسنكو"، لا يعتذر نيلز رول - هانسن عن بعض أسوأ التجاوزات "الليسنكوية" lysenkoism، ولكن بعد قراءة متمعنة مسهية لكثير من الأدبيات الأولية المنشورة، وكذلك الاستخدام المكثف للأرشيف المفتوح حديثاً، يستطيع هانسن رسم

ويؤكد رول - هانسن طوال المناقشة، على كل من الحاجة إلى زيادة الإنتاج في المزارع وعلى أهمية وحدة النظرية والتطبيق، ضمن المفاهيم الماركسية. فلطالما شك المهندسون الزراعيون السوفييت من أن العلماء الأكاديميين كانوا "مهووسين بذبذب الفاكهة" وأن اهتمامهم بالمحاصيل الضرورية للتحسين السريع في الزراعة قليل، وكذلك اهتمامهم الأقل بالممارسات الفلاحية بالمزارع. وخلافاً للعديد من الباحثين في ذلك الوقت، فقد صوّر ليسنكو نفسه كمارسٍ، بمعنى الرجل الذي يسعى لاستخدام خبرة الجماهير في تحسين كل من نظرياته وبرامجه العملية الخاصة بالتربية breeding.

يؤكد رول - هانسن أيضاً على الخلافات الموجودة ضمن البيولوجيا والزراعة السوفييتية حول النظرية المندلية. وحسبما يشير، لم يكن أي من هذه القضايا غريباً بالنسبة للبيولوجيا السوفييتية. فالكثير من أفكار ليسنكو حول مرونة النمط الظاهري phenotypic plasticity، والجوانب الفيزيولوجية للتطور، والبساطة الزائدة للجينة المندلية التحليلية atomistic mendelian gene كانت مشابهة بشكل كبير لأفكار ريتشارد غولدشميت R. Goldschmidt من ألمانيا، وروس هاريسون R. Harison من الولايات المتحدة وألبرت دالك A. Dalcq من بلجيكا. وبالمثل، فقد احتفظت اللاماركسية الحديثة - في هذه الفترة - بتأييد قوي في فرنسا وألمانيا. وحتى في الولايات المتحدة، حيث قبلت النظرية المندلية في وقت مبكر، فإن تطبيقها في الزراعة قد بدأ بالكاد تثمر نتائجه.

لقد تمثلت الإشكالية في وجه الوراثة السوفييت في ترافق النظرية المندلية في الغرب مع معارضة النظرية الداروينية للاصطفاء الطبيعي ومع علم تحسين النسل eugenics. فالداروينية، بتأكيدها على التنوع والاصطفاء، تلقت دعماً قوياً في روسيا منذ القرن التاسع عشر. وكان ينظر إلى الوراثة المندلية، التي تؤكد استقرار الجينات، وكذلك إلى تجارب ولهم جوهانسن باستخدام النسل الصافي والتي أظهرت حدود الاصطفاء، على أنها تناقضات مع داروين الذي أبخس تطبيقهما تطبيقه في الزراعة. إن حقيقة كون العديد من المؤيدين للوراثة الكلاسيكية قد دعموا أيضاً علم تحسين النسل، لم تسلط الضوء بشكل مستحسن مميّز على النظرية المندلية، فبقيت هذه الأخيرة مثلاً للعلوم البورجوازية التحليلية التأويلية.

وفي فصوله الختامية، يصف رول - هانسن الحوار حول برامج ليسنكو خلال الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضي. لقد أثرت تساؤلات حول مدى صحة نتائج العملية (فقد اتهم بالتفاؤل المفرط في السرد إن لم يكن تزويراً كلياً للنتائج الميدانية) فيما يخص إثباتية التوارث، وحول رفضه المستمر لمواجهة النقد. وفي السنوات التي تلت الحرب مباشرة، انتقدت فئات متنوعة من المجتمع العلمي أعمال ليسنكو بشدة وسعت إلى تهميش سياساته. لقد كانت التوترات المتزايدة للحرب الباردة والتدخل الشخصي لستالين السبب في

محصولين اثنين في موسم واحد. لقد عرفت المعالجة الباردة cold treatment منذ وقت طويل بتأثيرها على موعد الازهار، ولكن لم يكن من الواضح تماماً كيف يمكن استخدامها بالشكل الأمثل؛ وعلاوة على ذلك، فما هو ناجع بالنسبة لسلالة ما في مكان ما لا يكون بالضرورة ناجعاً في مكان آخر. وبالنسبة لبلد يمتد الكثير من أراضيه الصالحة للزراعة على ارتفاع أعلى من ولاية مينيسوتا، فإن هذه الأمور لا تشكل قضايا هيئية. وفي سياق هذا الحوار في أوائل عشرينيات القرن الماضي حقق ليسنكو الشاب ظهوره الأول على المسرح العلمي.

وبالرغم من أنه يأتي من خلفية ريفية ومن كونه قد علم نفسه إلى حد كبير، فقد تخرج ليسنكو من معهد كيبف الزراعي في العام 1925. صحيح أن نشراته العلمية المبكرة في الفيزيولوجيا النباتية لم تكن مبتكرة وبخاصة المتعلقة بتبريد البذور، ولكنها جذبت انتباه نيكولاي فافيلوف N. Vavilov، وهو الشخصية الريادية في البيولوجيا النباتية والزراعة في روسيا في ذلك الوقت. وقد أصبح فافيلوف مؤيداً مخلصاً لبحوث ليسنكو حتى أواخر الثلاثينيات من القرن العشرين. وفي نهاية المطاف، ربط ليسنكو بين تبريد البذور والاصطفاء لبيتكر سلالات ثابتة جينياً من ضروب مبكرة الازهار وليجعل أوقات الازهار متزامنة، وبذلك تمكن من إحداث هجائن hybrids بين سلالات من مناطق مختلفة ذات أوقات ازهار مختلفة. لقد كان سعيه لتحويل سلالة معينة إلى أخرى بواسطة التعليم education، من خلال التعريض المتكرر لدرجات حرارة منخفضة كي يصبح تكيف النبات المكتسب للبرودة في نهاية المطاف موروثاً، هو ما جعل نظرياته تسيّر عكس الرأي البيولوجي الراسخ. ولكن مع إقرار رول - هانسن بسمو ليسنكو في الفيزيولوجيا النباتية، فإنه يبين لماذا لم يتم رفض نظريات ليسنكو بسهولة.

يعد هذا الكتاب الأقوى في تحليله للأحداث والاتجاهات وصولاً إلى الحرب العالمية الثانية، أما فترة ما بعد الحرب واعتبار اللينسكوية lysenkoism من النفائس في عام 1948 فقد جرت معالجته بشكل أقل إتقاناً. ويفسح رول - هانسن مجالاً بارزاً للفلسفة الماركسية في العلوم في تأطير الحوارات حول السياسة الزراعية والممارسة. إنه يبين بشكل مقنع أن الفلسفة الماركسية لم تكن مجرد واجهة عرض بالنسبة للعديد من البيولوجيين في الاتحاد السوفييتي في ذلك الوقت، ولكنها كانت تمثل رأياً عالمياً مستقلاً حاول كثير من العلماء وضعه قيد الممارسة في عملهم. وبهذا المعنى واصل ووسع رول - هانسن بحوث لورين غراهام المبكرة، وهو أحد المؤرخين الغربيين الأوائل الذين بحثوا جدياً في دور المادية الجدلية في العلوم السوفييتية. ومن سخرية الأقدار، فقد كان فشل ليسنكو في تطبيقه للطريقة الجدلية في أعماله هو بالذات ما قاد في نهاية المطاف إلى إخفاقه في تثوير الزراعة السوفييتية.

المركّز يضيف تحليلاً ومعلومات جديدة ومهمة، ولكن لم يتضح، على سبيل المثال، في الصفحات القلائل المخصصة للأحداث المفصّلة إلى مؤتمر عام 1948، ما الدور الذي لعبه كل من ستالين واللجنة المركزية للحزب الشيوعي فعلياً، أو كيف عاد المدُّ بهذه السرعة لصالح لينسكو.

لقد قدم رول - هانسن إسهاماً رئيساً إلى ما نملك من فهم لقضية لينسكو. إذ يُعدُّ كتابه إضافةً مهمةً إلى أدبيات البيولوجيا والوراثة والزراعة الروسية.

إعادة الكرّة. وأخيراً تمّت المصادقة على نظريات لينسكو وسياساته رسمياً في العام 1948 وذلك في اجتماع أكاديمية لينين للعلوم الزراعية. ويحلّول هذا الوقت كان الكثير من مناوئيه قد أُسكتوا من خلال الاعتقالات والسّجن.

إن العيب الوحيد في هذا الكتاب الجيد من زواياه الأخرى - هو انعدام التكامل بين خلفياته السياسية والعلمية. ولقد أُكّدت المعالجات المبكرة لواقعة لينسكو الإقصاء السياسي بدل الواقعي في العلوم، بيد أن رول - هانسن يذهب في الاتجاه المعاكس. فاختراره





## INVESTIGATION OF STEEL WELDING JOINTS PREPARED BY ARC WELDING IN MEDIA<sup>★</sup>

M. SOUKIEH, M. ABO KHARROB, F. NASRALLAH, A. QKAR

*Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

SS304 bulk samples (3x2 cm, 0.3 cm) were welded by (TIG) with different currents in the range of 70-100A using tungsten electrodes ( $\phi=2\text{mm}$ ), coated filling wires ( $\phi=1.6\text{ mm}$ ) and Argon gas. The study showed that the welding joints compactness (void free) is reached when current is in the range of 90-100 A. The phase analysis of the welding joints area showed a little growth of  $\alpha\text{-Fe}$  phase without any trace of oxide phase. The study noticed a small increasing in hardness of welding area (about 10%) and decrease in the pitting corrosion resistance. This may be attributed to the atomic rearrangement processes in welding joints to the fine grain size and to the mechanical residual stress. The difference in the hardness of the welding joint areas minimize after thermal treatment at 500 °C for 30 min. On the other hand, the thermal treatment may contribute to removing the residual mechanical stress and decreasing the danger of forming micro cracks in welding joints area.

### Key Words

arc welding, SS304, welding joints, hardness, pitting corrosion.

---

<sup>★</sup> A short report on a scientific study achieved in the *Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria*.

---

## DETERMINATION OF CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) IN WATER SAMPLE★

M. E. BYRKDAR, H. ASSAF, M. K. AL-KHARFAN

*Department of protection and safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

Method validation for determination of chemical oxygen demand (COD) was carried out in water samples in the department of environmental protection, by following the procedures of Eurachem guide. True and standard aqueous samples were used for this purpose. The credibility of the procedures was determined by Minimum detection limit (MDL), repeatability, reproducibility and recovery coefficient.

Results showed that the recovery coefficient was between 70% and 99%, while the MDL was 16.25 mg/l.

This method was good and applicable for all kinds of aqueous samples except in case of high concentration of chloride, through analyzing of standards and waste aqueous samples collected from Damascus and comparing results with other national laboratories.

### Key Words

COD, aqueous samples, method validation.

---

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of protection and safety, Atomic Energy Commission of Syria.*

---

## ANALYSIS OF ENERGY AND ELECTRICITY DEMAND PROJECTION AND IDENTIFYING THE OPTIMAL EXPANSION STRATEGY OF ELECTRIC GENERATION SYSTEM IN SYRIA (COVERING THE PERIOD 1999-2030)★

A. HAINOUN, M. K. SEEF ALDIN, A. AL-KHATIB, S. AL-MOSTAFA

*Department of Nuclear Engineering, Reactor Safety Division, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

In the framework of technical cooperation project with IAEA, and with the coordination with some ministries in Syria, a comprehensive long-term analysis of the Syrian future energy and electricity demand projection has been performed. The future projection has been analysed according to various scenarios reflecting the possible future socio-economic and technological development of the country. The results of the reference scenario (Scenario of high economic growth) show that the final energy demand would increase annually at about 5%, the electricity demand at 5.5%, and the peak load at about 5.2%. The analysis of the least-cost expansion of the generation system shows that natural gas and combined cycle power plants would play the dominant role in Syria during the study period. In addition, the nuclear power plant would become economic competitive option after the year 2021.

### Key Words

energy demand projection, development scenarios, peak load, optimal expansion plan, power plants.

---

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Nuclear Engineering, Atomic Energy Commission of Syria.*

---

## Key Words

polyvinyl alcohol, gamma radiation, glass transition temperature, electric conductivity.

★ A short report on an exploratory field experiment achieved in the *Department of Radiation Technology*, Atomic Energy Commission of Syria.

## DETERMINATION OF HYDROCARBONS IN PURE AND COMMERCIAL PHOSPHORIC ACID BY GAS CHROMATOGRAPHY AND MANUAL OF Unicam pro GC + Thermo Onix★

H. QASMI, M. K. ABDULBAKE

*Hydrometallurgy Office, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

## ABSTRACT

A method for determination of hydrocarbons in pure and concentrated phosphoric acid samples 85% and commercial phosphoric acid by gas chromatography was developed. It was for determination of phosphoric acid specifications in the pilot plant for purification of phosphoric acid.

The accuracy of the method was studied and the standard deviation was found to be between 0.0914 and 0.112, operation instruction of the Unicam pro GC + Thermo Onix was described.

## Key Words

hydrocarbon, gas chromatography, purification, phosphoric acid.

★ A short report on a scientific research achieved in the *Hydrometallurgy Office*, Atomic Energy Commission of Syria.

## SYNTHESIS OF ECD N, N'-Bis-L-[1-carboethoxy-2mercapto] ETHYLENEDIAMINE DIHYDROCHLORID★

A. ALLAF, M. A. NAKAWA

*Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria*

## ABSTRACT

The N, N'-Bis-L-[1-carboethoxy-2mercapto]ethylenediamine dihydrochlorid, ECD has been prepared in our laboratory. The compound was prepared starting from the already N, N'-Bis-L-[1-carboethoxy-2mercapto]ethylenediamine, EC. Following the preparation of the EC as mentioned before, the EC is placed in anhydrous ethanol and saturated with HCl gas. The HCl gas has been generated by an-online process by passing concentrated sulfuric acid over sodium chloride. The reaction mixture is heated under reflux for five hours. The contents are cooled to room temperature, filtered and the obtained precipitate was washed with cold anhydrous ethanol to yield the ECD material. Physical, chemical and spectroscopic measurements were carried out in order to identify the prepared material. Finally, the ECD is labeled with  $^{99m}\text{Tc}$  and used as radiopharmaceutical kit in the nuclear medicine.

## Key Words

reflux, precipitate, spectroscopic measurements, to identify, radiopharmaceutical kit.

★ A short report on a laboratory scientific study achieved in the *Department of Chemistry*, Atomic Energy Commission of Syria.

ratios of the studied radionuclides in yogurt were relatively low (about 25% and 40% in the yogurt processed from milk of cows and cheep respectively) with a high processing efficiency, so that making yogurt from the contaminated milk is the best way to reduce the contamination ratio and to make use of the contaminated milk. Furthermore, home made cheese was processed with salty solutions of different concentrations and the results showed that about 90% of Cs and K has transferred to the salty solution of 5% soaked for 48 hours, while 40% of the Ra and 80% of Sr were removed from the contaminated cheese after 48 hours soaking in a salty solution of 2.5%. However, the results of the present work can be used for processing of contaminated milk with artificial radionuclides in order to be utilized.

### Key Words

contaminated milk, Milk products, Cs, Ra, Sr, K, Retention factor.

★ A short report on a scientific study achieved in the *Department of Protection and Safety*, Atomic Energy Commission of Syria.

## IRRIGATION SCHEDULING PROGRAM USING NEUTRON PROBE FEEDBACK DATA★

J. ATTAR, A. RAZZOUK, M. JANAT

*Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

Neutron probe feedback data were used for preparation of irrigation scheduling program. Active root depth, canopy cover percent, irrigation system efficiency, and initial soil moisture were considered. The program proved to be friendly and easy to use, and deal with the neutron probe generated measurements as a direct method for irrigation scheduling. The program was successfully used in our department for irrigation scheduling of cotton, soybean, sugarbeat and potato.

### Key Words

neutron scattering, direct method, soil moisture, canopy cover percent.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Department of Agriculture*, Atomic Energy Commission of Syria.

## EFFECT OF THE CONCENTRATION OF LITHIUM ON THE CONDUCTIVITY OF PVAL FILMS★

M. KATTAN, H. KASSIRI

*Polymer Technology Division, Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

In this work, the effect of Lithium ions concentration on the electric conductivity of PVAI films was studied. The results showed that there is a significant increase in the order of  $10^4$  of electric conductivity with the increase of the concentration of the lithium chloride up to (3%). We also observed an augmentation of the conductivity after irradiating with a dose of 25 kGy. The electric conductivity reaches a high value ( $\sigma \approx 2 \times 10^{-7}$  S/cm) at 3% of the salt concentration. The investigation of the effect of the concentration of Lithium ions on the thermal behavior demonstrated that the crystalline phase was disappeared by the presence of lithium chloride salt, an increase in the glass transition temperature and alteration in the heat capacity setup ( $\Delta C_p$ ) at the glass transition. In addition, DSC studies showed a clear effect of the irradiation on the crystallization process and the size of the crystallites of the irradiated sample.



---

## REPORTS

---

### **CORRELATION OF GLOBAL SOLAR RADIATION WITH COMMON GEOGRAPHICAL AND METEOROLOGICAL PARAMETERS FOR DAMASCUS PROVINCE-SYRIA★**

**Dr. K. SKEIKER**

*Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

#### **ABSTRACT**

In this study, the effect of meteorological and geographical parameters on monthly mean daily global solar radiation in Damascus was investigated. With measured data of global solar radiation and the relevant data of astronomical, geographical, geometrical and meteorological parameters for Damascus province, an attempt has been made to correlate the monthly mean daily global solar radiation on horizontal surface with seven different variables; mean daily extraterrestrial solar radiation intensity  $\bar{I}_0$ , average daily ratio of sunshine duration  $\bar{n}/\bar{N}$ , mean daily relative humidity  $\phi$ , mean daily maximum dry air temperature  $\bar{\vartheta}_{\max}$ , mean daily maximum dewpoint temperature  $\bar{\vartheta}_{d,\max}$ , mean daily atmospheric pressure  $\bar{P}$  and sine of solar declination angle  $\sin \delta$ .

A new multiple regression relation (MRR) give accurate estimates of monthly mean daily global solar radiation on a horizontal surface was suggested. It has high coefficient of correlation  $R=0.9915$ . The results showed that the suggested model can estimate global solar radiation within relative error e of 6.37% and 8.27%. The values of MBD ( $0.1\text{W}/\text{m}^2$ ) and also RMSD ( $229\text{W}/\text{m}^2$ ) are in the acceptable ranges.

The global solar radiation intensity values produced by this approach can be used in the design and estimation of performance of solar applications. It is believed that the model developed in this work is applicable for estimating monthly mean daily global solar radiation on horizontal surface at any site in Damascus province, Syria.

#### **Key Words**

---

★ A short report on an scientific computer study achieved in the *Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria*.

---

global solar radiation; Meteorological & geographical parameters; Multiple regression.

### **TRANSFER OF SOME ARTIFICIAL ( $^{85}\text{Sr}$ AND $^{137}\text{Cs}$ ) AND NATURAL ( $^{40}\text{K}$ AND $^{226}\text{Ra}$ ) RADIONUCLIDES FROM MILK TO ITS PRODUCTS★**

**M. S.AL-MASRI, A. NASHAWATI, Y. AMIN, B. AL-AKEL**

*Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

#### **ABSTRACT**

Transfer of some artificial radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$ ) and natural radionuclides ( $^{226}\text{Ra}$  and  $^{40}\text{K}$ ) from milk (cheep and cows) to its products processed according to local manufacturing procedures (home made cheese, Kashkawan cheese, Shelal cheese, Haloom cheese, Kareshah cheese, Sharkasih cheese, liquid cheese, yogurt, butter and Keshdah) has been studied. The results showed that the retention percent of  $^{226}\text{Ra}$  in milk products has reached 100% in the home made cheese and 72% for  $^{85}\text{Sr}$  in the Shelal cheese and 40% for  $^{137}\text{Cs}$  in yogurt and 46% for  $^{40}\text{K}$  also in yogurt. In addition, most of the retention percent

## PAPERS

## KINETIC STUDY OF THE ADDITION REACTION OF CARBON TETRACHLORIDE TO 1-HEXENE INITIATED BY CHROMIUM HEXACARBONYL IN THE PRESENCE OF UV LIGHT<sup>★</sup>

A. HARFOUSH

*Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

Addition reaction of  $\text{CCl}_4$  to the double bond of olefin (particularly 1-hexene) in the presence of  $\text{Cr}(\text{CO})_6$  and light has been investigated. The reaction follows, mainly, a free radical chain route in which the metal complex acts solely as an initiator. The observed orders of reaction clearly demonstrate that the reaction proceeds by a free radical chain route. The effect of UV has been studied and found to be responsible for the initiation of the free radical chain process and for the preparation of photocatalytic species, which are photolabile and responsible for the formation of a small amount of the addition reaction product during the dark periods.  $\text{Cr}(\text{CO})_6$  shows initiation efficiency comparable with organic peroxides, but other complexes,  $\text{Mo}(\text{CO})_6$ ,  $\text{W}(\text{CO})_6$ , are less efficient.

### Key Words

carbon tetrachloride; chromium hexacarbonyl; olefin; addition reaction; photoassisted reaction; photocatalyzed reaction.

<sup>★</sup> This paper appeared in *Indian Journal of Chemistry*, (2005).

## MODELING THE PLASMA KINETICS MECHANISMS OF CuBr LASER WITH NEON-HYDROGEN ADDITIVES<sup>★</sup>

B. ABDUL GHANI, M. HAMMADI

*Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Syria*

### ABSTRACT

A mathematical model describing the discharge kinetics and lasing characteristics of copper bromide vapor laser with neon and hydrogen additives has been developed. The suggested model is based on a "zero-dimensional" model and offers simple mechanisms to explain discharge kinetics mechanisms, different physical processes and hydrogen additive effects on the copper bromide vapor laser.

The model estimates the temporal evolution of discharge voltage and current, population densities, laser beam density, electron temperature and radial distribution of pressure and buffer gas temperature. The suggested mechanism assumes that the electron detachment from negative hydrogen ions does not contribute to the copper ionization process.

Numerical solutions of a nonlinear rate equation system predict the generation of nanosecond pulses. The calculated maximum values of discharge voltage, current, average output laser power, electron temperature, etc. are in good agreement with other reported calculated and experimental data.

### Key Words

modeling, plasma kinetics, CuBr laser, neon-hydrogen additives.

<sup>★</sup> This paper appeared in *Optics & Laser Technology*, (2004).

---

## ARTICLES

---

### PHYSICS AND THE HUNT FOR BLACK GOLD★

D. MONK

#### ABSTRACT

Novel seismic and electromagnetic techniques Are helping energy companies find new sources of oil and gas.

★ This article appeared in *Physics World*, July 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

---

### NEUTRINOS: GHOSTS OF MATTER★

D. WARK

#### ABSTRACT

The discovery that neutrinos have mass and can oscillate between different flavours was one of the major breakthroughs in particle physics in the past decade, but there is much about these mysterious particles that we still do not understand.

#### Key Words

antimatter, neutrino oscillations, solar neutrino, flavour states.

★ This article appeared in *Physics World*, June 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

---

### THE SOLID-STATE LIGHTING REVOLUTION★

N. NARENDRAN

*Director of research, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, US.*

#### ABSTRACT

More efficient and versatile than traditional incandescent bulbs, solid-state lights based on LEDs are on the verge of transforming electric lighting forever.

#### Key Words

LED, organic LEDs, solid-state lighting, white-light LEDs.

★ This article appeared in *Physics World*, July 2005. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

---

### HIGH-TEMPERATURE UNCERTAINTY★

T. TIMUSK

*Department of Physics and Astronomy, McMaster University, Hamilton, Canada.*

#### ABSTRACT

Recent experiments reveal that the mechanism responsible for the superconducting properties of cuprate materials is even more mysterious than we thought.

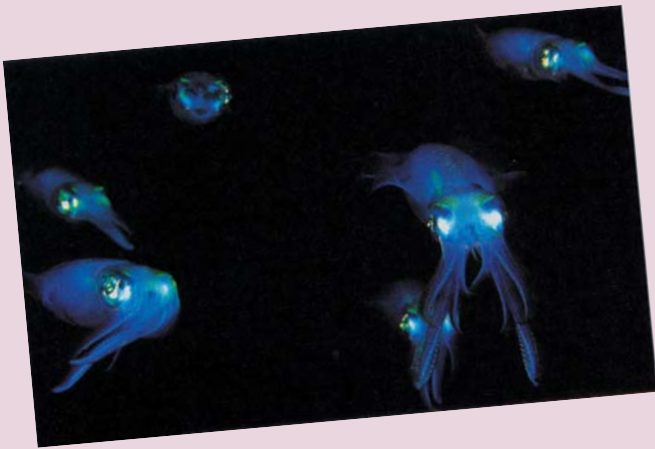
#### Key Words

high temperatures, uncertainty, super conductivity, magnetism, Cooper pairs, bosons, metals, insulators, spectroscopic techniques.

★ This article appeared in *Physics World*, July 2005. It is translated into Arabic by D. A. Al-Housari.

---

- 56 WHAT'S ON YOUR MIND?  
60 TOXIC EFFECTS CAN PASS DOWN THE GENERATIONS  
61 WHAT IS THE UNIVERSE MADE OF?  
63 PARTICLE SMASHER GETS A SUPER-BRAIN  
66 POWER STRUGGLE  
67 SEA LIFE IN PERIL AS OCEANS TURN ACID  
68 RECALCULATING FUTURE OIL RESERVES



- 69 WHEN WILL THE OIL RUN OUT?  
70 CURIUM

## PAPERS

- 73 KINETIC STUDY OF THE ADDITION REACTION OF CARBON TETRACHLORIDE TO 1-HEXENE INITIATED BY CHROMIUM HEXACARBONYL IN THE PRESENCE OF UV LIGHT  
79 MODELING THE PLASMA KINETICS MECHANISMS OF CUBR LASER WITH NEON-HYDROGEN ADDITIVES

## REPORTS

- 89 CORRELATION OF GLOBAL SOLAR RADIATION WITH COMMON GEOGRAPHICAL AND METEOROLOGICAL PARAMETERS FOR DAMASCUS PROVINCE-SYRIA  
89 TRANSFER OF SOME ARTIFICIAL ( $^{85}\text{SR}$  AND  $^{137}\text{CS}$ ) AND NATURAL ( $^{40}\text{K}$  AND  $^{226}\text{RA}$ ) RADIONUCLIDES FROM MILK TO ITS PRODUCTS

- 90 IRRIGATION SCHEDULING PROGRAM USING NEUTRON PROBE FEEDBACK DATA  
90 EFFECT OF THE CONCENTRATION OF LITHIUM ON THE CONDUCTIVITY OF PV AL FILMS  
91 DETERMINATION OF HYDROCARBONS IN PURE AND COMMERCIAL PHOSPHORIC ACID BY GAS CHROMATOGRAPHY AND MANUAL OF Unicam Pro GC + Thermo Onix  
91 SYNTHESIS OF ECD N, N'-BIS-L-[1-CARBOETHOXY-2MERCAPTO]ETHYLENEDIAMINE DIHYDROCHLORID  
92 DETERMINATION OF CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) IN WATER SAMPLE  
92 ANALYSIS OF ENERGY AND ELECTRICITY DEMAND PROJECTION AND IDENTIFYING THE OPTIMAL EXPANSION STRATEGY OF ELECTRIC GENERATION SYSTEM IN SYRIA (COVERING THE PERIOD 1999-2030)  
93 INVESTIGATION OF STEEL WELDING JOINTS PREPARED BY ARC WELDING IN ARGON MEDIA



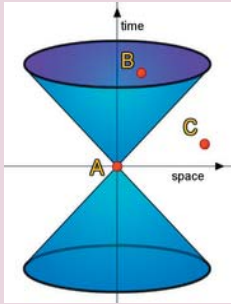
## NEW BOOKS

- 95 FOCUSING ON THE STARS  
BY: F. WATSON  
OVERVIEW & ANALYSIS: R. H. VAN GENT  
96 GROWTH FACTORS  
BY: N. R. HANSEN  
OVERVIEW & ANALYSIS: G. E. ALLEN



# CONTENTS

## ARTICLES



5 TWENTIETH CENTURY PROMINENT PHYSICISTS AND THEIR DISCOVERIES

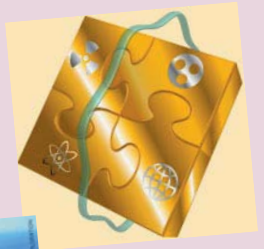
18 PHYSICS IN THE SYRIAN UNIVERSITY AND ITS LATE PIONEERS

### 23 PHYSICS AND THE HUNT FOR BLACK GOLD

Novel seismic and electromagnetic techniques are helping energy companies find new sources of oil and gas.



D. MONK



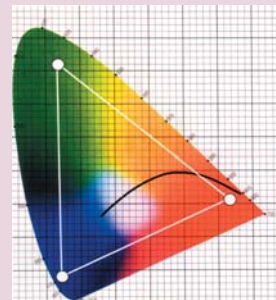
D. WARK

### 28 NEUTRINOS: GHOSTS OF MATTER

The discovery that neutrinos have mass and can oscillate between different flavours was one of the major breakthroughs in particle physics in the past decade, but there is much about these mysterious particles that we still do not understand.

### 38 THE SOLID-STATE LIGHTING REVOLUTION

More efficient and versatile than traditional incandescent bulbs, solid-state lights based on LEDs are on the verge of transforming electric lighting forever.



N. NARENDRAN



### 45 HIGH-TEMPERATURE UNCERTAINTY

Recent experiments reveal that the mechanism responsible for the superconducting properties of cuprate materials is even more mysterious than we thought.

T. TIMUSK

## NEWS

### 53 NICKEL REVEALS A NEW MAGNETIC FACE

Physicists have made a form of nickel that does not exist in nature.

### 54 COUNTING ELECTRONS ONE BY ONE

The ability to detect individual electrons in a circuit could lead to a redefinition of the ampere



# AALAM AL-THARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA



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 of the different applications  
of Atomic energy.

## Managing Editor

**Dr. Ibrahim Othman**

**Director General of A.E.C.S**

## Editorial Board

**Dr. Adel Harfoush**

**Dr. Ziad Qutob**



# NO. 100

numeral 100 (November/December) 2005