



27.5.2016

إريك شيري

قصة

7

عناصر

ترجمة

عمر سعيد الأيوبي

إريك شيري

قصة

7

عناصر

ترجمة

عمر سعيد الأيوبي

**قصة
7
عناصر**

© هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة - مشروع «كلمة»
بيانات الفهرسة أثناء النشر

QD467 S347512 2016

Scerri, Eric

[A Tale of Seven Elements]

قصة 7 عناصر / تأليف إريك شيري ؛ ترجمة عمر سعيد الأيوبي. ط. 1. -
أبوظبي: هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة، كلمة، 2016.
329 ص. ؛ 14 × 21 سم.

A Tale of Seven Elements : ترجمة كتاب

تدمك : 7-566-17-9948-978

1- العناصر الكيميائية. أ- أيوبي، عمر سعيد. ب- العنوان.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنجليزي:

Eric Scerri

A Tale of Seven Elements

© Eric Scerri 2013

"A Tale of Seven Elements, First Edition was originally published in English in 2013.

This translation is published by arrangement with Oxford University Press. Kalima

Project for Translation is responsible for this translation from the original work and

Oxford University Press shall have no liability for any errors, omissions or inaccuracies or
ambiguities in such translation or for any losses caused by reliance thereon".



كلمة
KALIMA

www.kalima.ae

ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 971 2 6215 300
فاكس: 971 2 6433 127



هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY

إن هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة - مشروع «كلمة» غير مسؤولة عن آراء المؤلف وأفكاره، وتعتبر وجهات النظر الواردة في
هذا الكتاب عن آراء المؤلف وليس بالضرورة عن رأي الهيئة.

حقوق الترجمة العربية محفوظة لمشروع «كلمة».

يتم نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأي وسيلة تصويرية أو إلكترونية أو ميكانيكية بما فيه التسجيل
الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مقروءة أو بأي وسيلة نشر أخرى بما فيه حفظ المعلومات واسترجاعها
من من دون إذن خطي من الناشر.

قائمة المحتويات

7	تمهيد
9	شكر وتقدير من الألف إلى الياء
11	المقدمة
37	الفصل الأول: من دالتون إلى اكتشاف الجدول الدوري
83	الفصل الثاني: الفيزياء تغزو الجدول الدوري
105	الفصل الثالث: العنصر 91 - البروتكتينيوم
137	الفصل الرابع: العنصر 72 - الهفنيوم
157	الفصل الخامس: العنصر 72 - الرينيوم
177	الفصل السادس: العنصر 43 - التكنيتيوم
211	الفصل السابع: العنصر 87 - الفرنسيوم
237	الفصل الثامن: العنصر 85 - الأستاتين
249	الفصل التاسع: العنصر 61 - البروميثيوم
273	الفصل العاشر: من العناصر المفقودة إلى العناصر التخيلية
290	الحواشي
318	المراجع

تمهيد

أول ما يقال عن «قصة سبعة عناصر» إنها رواية غنية وكاملة لا تقدم فقط كثيراً من المعارف عن خصائص كل من هذه العناصر، وإنما عن طبيعة العلوم، ومعنى الاكتشاف، وكيف يتشابك ذلك تشابكاً عميقاً مع السياقات الاجتماعية والسياسية.

ركّز إريك شيري في كتابه السابق «الجدول الدوري» على تاريخ الأنظمة الدورية وفلسفتها والأشكال العديدة التي اتخذتها هذه الأنظمة منذ ظهور جدول مندلييف (Mendeleev) الأصلي. اتضح لمندلييف أن هناك فجوات أو ثغوباً في الجدول الدوري، وتوقع بشجاعة اكتشاف عدة عناصر لم تكتشف بعد ملء هذه الفجوات. لكن لم يكن باستطاعة المرء القول بثقة إن هناك سبعة عناصر مفقودة من بين العناصر الاثنى والتسعين وصولاً إلى اليورانيوم، إلا في سنة 1913، عندما أظهر موزلي (Mosely) أن للعناصر أعداداً ذرية كاملة: وهذه العناصر المفقودة تقابل الأعداد الذرية 43، و61، و72، و75، و85، و87، و91.

يقدم شيري هنا قصصاً مفصلة عن هذه العناصر، التي بُذلت جهود مضية لعزلها بين الحربين العالميتين الأولى والثانية. وهذه العناصر السبعة جميعاً - التكنيتيوم، والبروميثيوم، والهفنيوم، والرينيوم، والأستاتين، والفرنسيوم، والبروتكتينيوم - مراوغة إلى حدّ التعذيب ويصعب عزلها.

أربعة منها مشقّة جداً ولا توجد إلا بكميات زهيدة في قشرة الأرض، إن وجدت أصلاً. وانطوت اكتشافاتها على قصص معقّدة لجهود ملحمة، وتحريّات ملهمة، وشغف علمي، وتعاون، ومنافسة، وآمال تصاعدت مراراً لتتلاشى ثانية.

يهتم شيري على وجه الخصوص بالنزاعات المريرة والمطوّلة بشأن الأسبقية التي برزت في الغالب مع هذه العناصر السبعة المراوغة، وكيف ألهبت الشراكة والاعتزاز الوطني، اللذين عزّزتهما مطالب الحرب، هذا النزاع. ما الذي يشكّل «اكتشافاً»؟ وكيف نحدّد «الأسبقية»؟ بوجود كثير من الباحثين الذين يسعون وراء العناصر القليلة نفسها، ثمة فرصة كبيرة للمصادفة، والحدس المحظوظ، والخصومات الوطنية، والطموح الشخصي.

تتيح لنا رواية شيري الشيقّة، والرسائل واليوميات التي يقتبس منها، أن نرى الكيمياء، والعلوم على العموم، باعتبارها مشروعاً تاريخياً بالأساس - مغامرة إنسانية تظهر أفضل ما في الطبيعة البشرية، وأحياناً أسوأها. عندما كنت صبيّاً قرأت كتاب ماري إلفيرا ويك (Mary Elvira Week) الكلاسيكي «اكتشاف العناصر» (*Discovery of the Elements*) واستمتعت به كثيراً. واليوم، بعد سبعين سنة، حصلت على المتعة نفسها من كتاب «قصة سبعة عناصر»، وأعتقد أنه سيصبح كتاباً كلاسيكياً أيضاً.

أوليفر ساكس، مارس، 2013.

شكر وتقدير من الألف إلى الياء

جان بيار أدولف، وروي ألكسندر، ورولاندر ألفارو، وسانتياغو ألفاريز، وماريا فيكتوريا ألزات كانو، وبيتر أتكنز، وجوشن أوتشباخ، ويوجين باييف، وفيليب بول، وهنري بنت، وديفيد بلاك، ورودريك بلاك، وغيسلا بويك، وبوي بوير، وجان بوينس، ودانيال بونشيف، وتيريسا بوندورا، وكريستيان بونيل، وماري آن بوشيات، وديفيد برادلي، وشون بوردت، وألبرت بيرغستالر، وسام كاناروزي، وستيوارت كانتلال، وديفيد كاستلفيتشي، وألن تشالمرز، وخوسيه أنطونيو تشاميزو، وهاسوك تشانغ، وأوليفر كوروبا، وستيفن كونتاكس، وديل كارسون، وكيفن دي بيرغ، وروبرت ديكوسكي، وبول ديوفير، وبيلاز غونزاليس ديوارتيه، وفرناندو دوفور، وكريستوف دولمان، وجوزيف إيرلي، وروبرت أيكير، وجورج إيليس، وجون إمسلي، وسيبيل أردوران، وغرانت فيشر، وماركو فوتاني، وجان فرانسواير، وغيرنو فرنكنغ، وأندوني غاريتز، وكارمن غيونتا، وثيو غراي، وبريان غريغوري، وألن غروس، وخوليو غوتيريز، وهنري غريفن، وفتحي حبشي، وستيف هاردنغر، ودين هارمان، وروم هاري، وراي هفرلين، وندهايندل، وروبن هيندري، وهابن هتامما، وبيرغر هيورلند، وبيتر هودر، وميرس إزكيردو، وكنود جنسن، وماسوناري كاجي، وريك كانر، وبول

كارول، وغاري كاتز، وجورج كوفمان، وسام كين، وهاج كراغ، وورنر كوتزلنغ، ومارتن لباركا، ولورنس لافل، ومايك لانغ، ومارك ليتش، وجفري ليغ، وجان بيار لورد، وأولمبيا لومباردي، وستيف ليونز، وروبرت لوفت، وجون لوتون، وتشارلز ماكو، وشارون ماكغراين، ولي ماكتير، وهيساو مابوتشي، وجيمس مارشال، وشريف متي، ومايكل ماثيوز، وسيمور موسكوبف، وببي ك موهاباترا، وسوزانا مورينو، وبيتر موريس، وكلاونس مورفي، ودعتري موستافين، وفايان مايرز، وبول نيدهام، وبيتر نلسون، وأوكتافيو نوفارو، ويوري أوغانيسيان، وديفيد أوهاغان، ولويس أورزكو، وروبن داريو أوسوريو غيرالدو، وريتشارد باغني، وسيرجيو بالازي، ومارتين بولياكوف، وبيكا بيكو، وغيليرمو رستريو، وديفيد روبرتسون، وجيمس روتا، وأوليفر ساكس، وجيفري سيمان، وسيغفريد شاندر، وكريس شميدت، وجواكيم شوهر، ويوجين شوارتز، وبيتر شويردفيغر، وأندريا سيلا، وبسام شخاشيري، وسيلفن سماديا، ولي سوبوتكا، وهريستنا ستيفاني، وفيليب ستوارت، وكيث تاير، وجس توبر، وبرت ثورنتون، وبيتر ثايسن، وفاليري تسمرمان، وبريجيت فان تيغلن، وخوسيه لويس فيلافيسيز، وجاكوب واكر، وجون واسون، وفرانك وينهولد، ومايكل ويزبيرغ، وماكس ويتبي، ومارك ونتر، ودوني وايز، وكنيشي يوشيهيرا، وروبرت زنگالس.

وأقدم شكري الخاص لمحّرر الكتاب في أكسفورد يونيفرسيتي برس
بالإضافة إلى جميع العاملين في التحرير.

المقدمة

في السنوات الأربع أو الخمس الماضية، أصبح الجدول الدوري أكثر بكثير من مجرد أيقونة علمية. ويمكن القول إنه استحوذ على المخيلة العامة كما لم يحدث من قبل، بالإضافة إلى أنه أصبح أيقونة للأسلوب وأيقونة للتصميم المستخدم لتسويق جميع أنواع المنتجات. على سبيل المثال، هناك الآن مئات أفلام الفيديو المعروضة على يوتيوب التي تحاول شرح تاريخ الجدول الدوري أو أغنية طوم لهرير (Tom Lehrer) عن العناصر التي يغنيها الجميع من الأطفال في سنّ الثانية إلى الممثلين السينمائيين المرموقين. وهناك العديد من الكتب الشهيرة عن الموضوع بالإضافة إلى تطبيقات الأيفون والأيباد.¹ ويبدو أن كل يوم تقريباً يشهد ابتكار جدول دوري جديد في مجال معين. وثمة اثنان من الجداول الدورية المفضلة لدي عن عازفي الغيتار وموسيقى الجاز.² بل إن فتاني الفنون الجميلة ومصممي الإعلانات اعتمدوا الجدول الدوري، وغيّروا شكله في بعض الأحيان بطرق لا يمكن إدراكها تقريباً. وهناك أيضاً مواقع إلكترونية مخصصة للعديد من الجداول الدورية العلمية التي يواصل ابتكارها المهنيون والهواة على حدّ سواء. وعلينا ألا ننسى ما كتب صديقي وزميلي في التأليف عن الجدول الدوري، جون إمسلي (John Emsley) عن هذا الجدول:

سيكون هناك جدول دوري ما دامت الكيمياء تُدرس. وإذا ما تواصلنا ذات يوم مع قسم آخر من الكون، يمكننا أن نكون على يقين بأن الثقافتين ستشتركان في نظام مرتّب للعناصر تستطيع أشكال الحياة الذكية في كليهما التعرف إليه على الفور.³

الكتاب الذي بين يدينا يتوجّه إلى القراء المهتمّين في البحث بعمق أكبر بقليل في علم العناصر والجدول الدوري. وهناك عدة عوامل دافعة لتأليف هذا الكتاب. فقد جاء نتيجة الرغبة في تأليف كتاب تابع لكتابي عن الجدول الدوري.⁴ ففي أثناء القراءة ذات يوم، أعدت اكتشاف ورقة مهمّة لفلاديمير كاربنكو (Vladimir Karpenko) حول ما أسماه «عناصر زائفة»، أي عناصر أعلن عنها لكن تبين فيما بعد عدم صحة ذلك لأسباب عديدة.⁵ ذكرتني تلك المقالة بالخلاف المستمرّ بشأن العنصر 43 وأن البروفسور فتحي حبشي، وهو عالم معادن مقيم في مدينة كيبك، كان قد كتب لي للإشارة إلى أنني ارتكبت خطأ في كتابي عندما بحثت اكتشاف هذا العنصر باختصار. وأرسل لي البروفسور حبشي نسخة من رسالة نشرها في «جورنل أف كيمكأل إديوكيشن» (*Journal of Chemical Education*).⁶ وفيها أشار إلى أنه لا يمكن الدفاع عن عمل فان آسش (Van Assche) وأرمسترونغ (Armstrong)، في محاولة ردّ الاعتبار إلى ادّعاء الزوجين نوداك (Noddack) في سنة 1925 بأنهما عزلا العنصر 43. خطر ببالي في غضون يومين أن أوّلف كتاباً يتفحص هذه الحالة باعتبار هذا العنصر أحد العناصر السبعة التي تمثل الفجوات المفقودة في الجدول الدوري، بعد أن ثبتت موزلي طريقته الأنيقة «لعدّ» العناصر. وثمة

عنصر آخر من هذه العناصر السبعة هو الهفنيوم (72)، كنت قد كتبت عنه بحثين، وأثار عزله قضية خلافية أيضاً.

بالإضافة إلى ذلك، برز «عنصر» مهم آخر، إذا جازت التورية. فقد أدركت أن النساء (ميتر Meitner، ونوداك، وبيري Perey) كنّ أول من عزل ثلاثة وربما أربعة عناصر من العناصر السبعة المعنية، وجميعها غريبة (تكنيتيوم، وبروميثيوم، وهفنيوم، ورينيوم، وأستاتين، وفرنسيوم، وبروتكتينيوم). وإذا ما بدأت قصتي قبل بضع سنين، فإن عليّ أن أدرج ماري كوري (Marie Curie) الأكثر شهرة، التي عزلت قطعاً عنصري البولونيوم والراديوم. وعلى الرغم من أن من الثابت أن النساء كنّ وما زلن غير ممثلات كثيراً في العلوم، فإن اكتشاف العناصر من المجالات التي لهن فيها باع طويل، حتى إذا لم يحصلن دائماً على الفضل الذي يستحقه⁷. لكن فكرة العناصر السبعة المميّزة على نحو رائع عن غيرها، كما سأشرح، جعلتني أقرّر اعتماد فكرة «قصة سبعة عناصر».

عليّ أن أتوسّع قليلاً في ما أعنيه بالفجوات السبع المفقودة في الجدول الدوري. وأنا أشير هنا إلى أنه بعد أن طوّر موزلي طريقته التي سنبحثها في المكان الملائم، اتضح أن هناك سبعة عناصر يجب عزلها بين اثنين وتسعين عنصراً موجودة في الطبيعة من الهيدروجين (1) إلى اليورانيوم (92).⁸ مرة أخرى تُفسد هذه البساطة الظاهرية لأن بعض هذه العناصر السبعة، كما تبين عُزلت لأول مرة من موارد طبيعية بعد تخليقها اصطناعياً، لكن ذلك يثير عدداً من القضايا التي يفضّل بحثها في أقسام لاحقة من هذا الكتاب. ويبقى أن خمسة من هذه العناصر مشعة، والاستثناءان هما الهفنيوم والرينيوم، ثاني وثالث هذه العناصر التي يتم عزلها.⁹

يمكن القول إنه كان هناك أكثر بكثير من سبع فجوات في الجدول الدوري إذ اكتُشف ستة وعشرون عنصراً إضافياً تقع وراء اليورانيوم وشغلت أماكنها في الجدول الدوري.¹⁰ بل إن أحد هذه العناصر، النبتونيوم، حُلق قبل ملء الفجوات السبع القائمة بين العناصر 1 و92. ولم يكن قد تم تصوّر هذه العناصر التخليقية عندما استنبط موزلي طريقته. وسيُبحث اكتشافها، أو تخليقها، توخياً لمزيد من الدقة، في الفصل الأخير من الكتاب.

إذاً بالنظر إلى هذا القرار الاعتباري نوعاً ما بالبدء بالعناصر السبعة المذكورة أعلاه، أكون قد أصبحت جاهزاً تقريباً لبدء الرواية. لكن عليّ أولاً أن أقول شيئاً عن القصص العلمية. هناك الآن أدب متنامٍ عن أهمية القصص والرواية في العلوم بالإضافة إلى تعليم العلوم.¹¹ وبالنظر إلى اهتمامي الطويل بتاريخ العلوم، واهتمامي المتنامي بالقصص العلمية، فقد عرفت أنني وقعت على موضوع لكتاب مثير للاهتمام. ولا يسعني إلا أن أأمل أن توافقوني الرأي.

بقيت مسألة ترتيب النظر في هذه العناصر. هل أتبع الترتيب الأبجدي المتبع في الكتابين الممتازين عن العناصر لإمسلي وستويرتكا (Stwertka)¹²؟ أو هل أتعتمد النهج الأكثر واقعية باتباع العدد الذري المتزايد، وبخاصة بالنظر إلى أهمية العدد الذري في تحديد العناصر السبعة المتبقية في الجدول الدوري؟ أو هل أتبع الترتيب الزمني لعزل العناصر السبعة بالنظر إلى البعد التاريخي لهذا المشروع؟

بعد كثير من التفكير قرّرت أن أتبع ترتيباً تاريخياً لاكتشاف العناصر السبعة، بدءاً بالبروتكتينيوم في سنة 1917 وانتهاء بالبروميثيوم في سنة

1945 (الشكل 1,0).

لذا فإن هذه الفترة تمتد بين الحربين العالميتين تقريباً. وفي بعض الحالات، كان لحالة الحرب القائمة تأثير مباشر على محاولات عزل بعض العناصر السبعة. وينطبق ذلك على البروتكتينيوم مثلاً، أول العناصر التي عُزلت. ففي سنة 1916 كتبت مكتشفته، ليز ميتزر، عن المشكلات التي واجهتها في شراء معدّات المختبر، بما في ذلك البنود الأساسية منها:

عزيزي السيد هان،

إن تجربة البتسبلند مهمة ومشوّقة بطبيعة الحال لكن لا تغضب مني إذا لم أتمكن من إجرائها الآن... لقد طلبت الأوعية الخاصة بتجارب الأكتينيوم، وسنحصل عليها في بضعة أيام ونبدأ على الفور... ظن خيراً ولا تغضب أرجوك بشأن التأخر بالبتسبلند. صدّقني، لا علاقة للأمر بالافتقار إلى الإرادة، بل بقلّة الوقت. فأنا لا أستطيع أن أقوم بمفردتي بقدر ما كنا نقوم به ثلاثتاً معاً. يوم أمس اشترت ثلاثة أمتار من أنابيب المطاط مقابل 22 ماركاً!! وقد صُدمت عندما شاهدت الفاتورة.¹³

مارنسكي	سغريه	بري	سغريه	الزوجان نوداك	هيفزي	ميتزر
61	85	87	43	73	72	91
بروميثيوم	أستاتين	فرنسيوم	تكتينيوم	رينيوم	هفنيوم	بروتكتينيوم
1945	1940	1939	1937	1925	1923	1917

الشكل 1,0 العناصر السبعة بالترتيب الزمني لاكتشافها الرسمي، بما في ذلك أسماء أكبر مكتشفها وأعدادها الذرية.

في حالة الحرب العالمية الثانية، سرعان ما قاد اكتشاف الانشطار النووي، من قبل ميتزر ومشاركيها أيضاً، إلى تطوير برنامج الأسلحة النووية وإنهاء الحرب. وأدت الأبحاث النووية أيضاً إلى تطوير مسرّعات الجسيمات. وباستخدام مسرّع جسيمات، حدّدت بعض العناصر السبعة المتبقية، مثل البروميثيوم في سنة 1945، عندما شارفت الحرب العالمية الثانية على الانتهاء. ومن نافلة القول إن الاكتشافات العلمية تحدث في سياق اجتماعي وسياسي، ولا يشدّ اكتشاف العناصر السبعة عن هذا الاتجاه. كما أن العناصر الستة والعشرين التي تلي اليورانيوم خلّقت جميعاً باستخدام شكل أو آخر من تكنولوجيا المسرّعات، كما سأشرح لاحقاً.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv		

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

الشكل 2.0 مواقع العناصر السبعة (مبيّنة بحروف سوداء غليظة) في الجدول الدوري الحديث. وتشمل العناصر في هذا الجدول وكثير من الجداول التالية جميع العناصر المعروفة اليوم.

يُعنى هذا الكتاب بالدرجة الأولى بالعناصر السبعة الأخيرة التي اكتُشفت بين الاثنين والتسعين عنصراً التي أقرّحت أن تسمّى «العناصر

السابقة لليورانيوم) (infra-uranium elements) مقابل العناصر التالية لليورانيوم (transuranium elements).¹⁴ وتظهر هذه العناصر في جميع أقسام الجدول الدوري، كما يشاهد في الشكل 2,0.

طبيعة العلم والنزاعات على الأسبقية

تُعرض النظريات والمفاهيم التي تظهر في الكتب الدراسية باعتبارها كاملة التشكّل، لكن العلم الحقيقي في حالة تغيّر دائم. وعندما يبلغ عن العلم في الصحافة، نادراً ما يسمع المرء عن الأخطاء التي أدت إلى الاكتشاف. غير أن العلم مليء بالأخطاء في الواقع. ولا نتوصّل إلى «الحقيقة» البتة. وجلّ ما نأمله أن نقرب من الحقيقة، ربما اقتراباً تراكمياً، ما يعني أن العلم الحالي غير صحيح بالضرورة.

يقتضي حسن إدراك العلم مواجهة الظروف التاريخية المعقّدة والأخطاء. كما أن ممارسة العلم تنطوي في الغالب على خصومات بين الأفراد أو فرق العلماء الذين يحاولون أن يحقّقوا الأسبقية، لا لأن العلماء أنانيون، على الرغم من أن بعضهم كذلك، بل لأن المجتمع العلمي يكافئ الفائزين ومن يستطيعون توكيد ادعاءاتهم بشجاعة. وفي البحث لاكتشاف العناصر، تكثر وقوع النزاعات على الأسبقية ولا تزال تقع حتى اليوم في بعض الحالات. وقد اشتملت إحدى أكثر قضايا الأسبقية مرارة على اكتشاف العنصر 72، وهو العنصر الذي سُمّي في النهاية هفنيوم كما سنرى لاحقاً.

النزاعات الحامية والنقاشات المطوّلة، التي تنطوي على أصوات وطنية خافتة في الغالب، جزء من العلم أحياناً ذلك أم كرهنا. بل يمكن

القول إن المعرفة العلمية بأكملها تنتفع من الفحص الشرس الذي تخضع له الادعاءات الجديدة، حتى لو عانى الأفراد المعنيون في هذه العملية. فالمعرفة العلمية لا تولى اهتماماً البتة، خلال تطورها، بمشاعر العلماء الأفراد. ما يهمّ هو تقدّم المعرفة الإنسانية العامة لا ذهاب الجوائز إلى هذا الشخص أو البلد أو ذاك. ولا بدّ من القول بعد ذلك إن العلماء بشر والمعرفة العلمية تتأثر بمختلف الأهواء والمشاعر.

تنفّسى مسائل الأسبقية في العلم. لنأخذ حالة داروين (Darwin) مقابل والاس (Wallace)، أو نيوتن (Newton) مقابل ليبنتز (Leibniz)، أو مونتانييه (Montagnier) مقابل غالو (Gallo)، أو فنتر (Venter) مقابل كولنز (Collins). وفي الكيمياء هناك حالات لوثر ماير (Lothar Meyer) مقابل مندليف، وإنغولد (Ingold) مقابل روبنسون (Robinson)، وبراون (H. C. Brown) مقابل ونستين (Winstein). وسيستعرض هذا الكتاب النزاعات على الأسبقية بشأن اكتشاف بعض العناصر منذ بداية القرن العشرين حتى وقتنا الحاضر. يجب أن تكون القضايا أكثر وضوحاً في بعض النواحي في حالة العناصر. ويمكن أن يعتقد المرء أن العالم عندما يدّعي اكتشاف عنصر ما، فإنه إما أن يكون اكتشفه وإما ألا يكون. غير أن الحال نادراً ما تكون كذلك كما سنرى. ففي بعض الاكتشافات المدّعاة، يمكن أن يكون أحد الأفراد قد عزل عنصراً معيّناً لكنه لم يحدّد خصائصه تحديداً كافياً.

من النواحي الشيّقة للنزاعات على الأسبقية قيام أشخاص غير معنيين مباشرة بالبحث بالدفاع عن قضية عالم ما ومتابعتها حتى النهاية. وهذه هي الحال في العديد من العناصر التي نبهتها في هذا الكتاب مثل

الهفنيوم، والتكنيتيوم، والرينيوم، والبروميثيوم. في حالة الهفنيوم، يبدو أن الصحافة العلمية والشعبية هي التي أطلقت أكثر البيانات صحباً لصالح هذا الفريق أو ذاك ممن ادّعوا أنهم اكتشفوا العنصر. ويوجد حتى هذه الأيام عدة كيميائيين وفيزيائيين ممن يدعون أن بعض العناصر المذكورة أعلاه اكتُشفت في بداية القرن العشرين وأنه لم يُنسب الفضل في اكتشافها لسبب أو لآخر.

ويزخر العلم أيضاً، بطبيعة الحال، باكتشافات متزامنة مثلما حدث في حالة الجدول الدوري نفسه، الذي ينسب فضل اكتشافه إلى مندلييف بمفرده عادة.¹⁵ وعلينا أن نستعدّ لاحتمال أن تكون العديد من العناصر اكتُشفت متزامنة أيضاً.

وكما أشار جويل ليفي (Joel Levy) في كتابه الرائع عن النزاعات العلمية،¹⁶

تاريخ العلم مملّ؛ أي النسخة التقليدية بالتقدّم المهيب للاختراقات والاكتشافات، والعباقرة الملهمين، والمسيرة الطويلة للخروج من ظلمة الجهل إلى نور المعرفة. هذه هي القصة التي تقدّم في الغالب في المتاحف، والكتب، والصفوف الدراسية؛ لكنها اختراع...

يهدف كتاب ليفي، وكتابي أيضاً، إلى رواية قصة أكثر إثارة للاهتمام، وأكثر دقة، وأرجو أن تكون رواية أكثر إرضاء عما حدث بالفعل.

النزاعات على الأسبقية من وجهة نظر اختصاصي

في علم اجتماع العلم

من المفاجئ أن القليل كتب على ما يبدو بغية تحليل طبيعة النزاعات بشأن الأسبقية في العلم الحديث. ومن الاستثناءات عمل عالم اجتماع علم التقاليد الكلاسيكية الرائد روبرت مرتون (Robert Merton).¹⁷ وقد كتب في إحدى المقالات في سنة 1957:

نبدأ بملاحظة الوتيرة العظيمة لتكرّر النزاعات في تاريخ العلم، نزاعات دينية في الغالب بشأن أسبقية الاكتشاف. ففي القرون الثلاثة الأخيرة لتطوّر العلم، اشترك العديد من العلماء، كباراً وصغاراً، في مثل هذه النزاعات المريرة.

ويتابع بقوله إن النزاعات على الأسبقية ليست استثناء نادراً في العلم، فطالما كانت «متكررة، وقاسية، وبشعة» وقد أصبح ذلك جزءاً لا يتجزأ من العلاقات الاجتماعية بين العلماء.

ربما يبدو من الاعتيادي أن يسلم العلماء بأن الاكتشافات المتزامنة تحدث في الغالب، وأن مسألة الأسبقية بالتالي خارجة عن الموضوع. هذا ما يحدث في بعض الحالات، كما في حالات داروين ووالاس اللذين حاول كل منهما أن يتفوق على الآخر في نسبة فضل اكتشافاتهما إلى زميله. وبعد خمسين سنة من الحدث، كان والاس لا يزال يصترّ على التباين بين عمله المتسرع الذي كُتب بعد أن خطرت هذه الفكرة العظيمة على باله بأسبوع، وعمل داروين القائم على عشرين سنة من جمع الأدلة.

وفي حين أن والاس اعترف أنه كان «شاباً متعجلاً»، فإن داروين «دارس دقيق وصبور سعى إلى إظهار الحقيقة التي اكتشفها بأكملها بدلاً من تحقيق شهرة شخصية فورية». وروى مرتون كيف خطأ إنكار الذات خطوة إضافية في بعض الحالات. على سبيل المثال، أمسك يولر (Euler) عن «الحل الذي ينشده منذ مدة طويلة لحساب التغير، إلى أن تمكن لاغرانج (Lagrange) البالغ من العمر ثلاثاً وعشرين سنة، من دفع الطريقة الجديدة اللازمة للتوصل إلى الحل إلى المطبعة»، كي لا يحرمه من السبق. مع ذلك فإن النزاعات المتكررة على الأسبقية حجبت بحدّتها الشديدة هذه الحالات النادرة من التفضّل والتكريم.

لجأ مرتون إلى عدة تفسيرات محتملة للحالة الراهنة شبه المنتشرة في كل مكان للنزاعات الشائعة على الأسبقية. أولاً، ربما تكون النزاعات على الأسبقية مجرد تعبيرات عن طبيعتنا البشرية التنافسية. وإذا كانت الأنانية طبيعية لدى الجنس البشري، فإن للعلماء نصيبهم من الأنانية ويُعبّر عنها أحياناً عن طريق المبالغة في ادّعاء الأسبقية.

التفسير الثاني المحتمل أن مهنة العلم، مثلها مثل المهن الأخرى، تجتذب بعض الأشخاص الذين لديهم نزعة الأنا والمتعطّشين للشهرة، وربما كثير منهم. غير أن مرتون سرعان ما يستبعد هذا الاحتمال لأنه يشكّ في أن يجتذب العلم الشخصيات المشاكسة أو الميالة للشجار ويستخدمهم.

ويقرّ مرتون بأن النزاعات على الأسبقية تشمل في الغالب رجالاً ذوي ميول متواضعة عادية يتصرفون بطريقة تؤكّد على ذواتهم عندما يدافعون عن حقوقهم بالملكية الفكرية. ويشير أيضاً إلى أن المعنيين الرئيسيين، أي المكتشفين أو المخترعين، لا يشتركون في الغالب في الجدل بشأن

ادّعاءات أسبقيّتهم أو ربما ينسحبون من الخصومة. وبدلاً من ذلك يتولّى أتباعهم الدفاع عن قضيّة عالم معيّن ويبدوون في اعتبار نسبة الأسبقية قضية أخلاقية يجب القتال من أجلها.¹⁸

لكن لم يكون لهؤلاء المؤيدين أي اهتمام في الدفاع عن ادّعاءات عالم معيّن؟ يعتقد مرتون أنهم بإبداء اهتمامهم بالعالم أو بالبلد الذي ينتمون إليه، فإن في وسعهم المشاركة في المجد الذي يمكن الحصول عليه إذا ربّحوا القتال. وفي هذا الكتاب سنشاهد العديد من حالات النزاع على الأسبقية في اكتشاف عدد من العناصر وتولّى بعض هذه النزاعات مؤيدو الادّعاءات المنافسة كما في حالة العنصر 72.

وفي حين يعتقد مرتون أن لا الطبيعة البشرية أو دور المؤيدين يفسّر النزاعات على الأسبقية، فإنه يعتبر مسألة المعايير المؤسسية أكثر أهمية بكثير.

إن هذه المعايير، كما أرتأي، هي التي تمارس الضغط على العلماء لتوكيد ادّعاءاتهم، ويصل ذلك إلى حدّ تفسير التناقض الظاهري، حيث إن الرجال الوديعين وغير العدوانيين، والمتوائين عادة في المطالبة بحقوقهم في مجالات الحياة الأخرى، يُقدّمون على ذلك في الغالب في عملهم العلمي.¹⁹

ينتقل مرتون بعد ذلك إلى تقديم فكرته الأكثر نباهة كما أعتقد، عندما يبدأ الحديث عن المعرفة العلمية باعتبارها شكلاً من أشكال الملكية. في المجال التجاري غالباً ما يستطيع أطراف النزاع حلّ خلافاتهم لأن هناك

مالاً يُجنى من الملكية المعنية. لكن في الحياة الأكاديمية يؤدّي الاكتشاف إلى ملكية فكرية نادراً ما يمكن استغلالها تجارياً - أو هكذا رأى مرتون على الأقل، الذي كان يكتب في سنة 1957. ونتيجة لذلك فإن النفع الوحيد الذي يمكن أن يعود على العالم من «ملكيتهم» هو الشهرة التي يكسبها من اكتشاف المعرفة. لا غرو إذاً أن يدافع العلماء بشراسة للاحتفاظ بالمنافع الوحيدة التي يمكن أن تتأتى من ملكيتهم الفكرية التي اكتسبوها بكدّهم. وكما عبّر مرتون:

بعد أن يقدّم العالم مساهمته، لا يعود لديه الحقوق الحصرية بالوصول إليها. تصبح جزءاً من النطاق العام للعلم. ولا يحقّ له أيضاً تنظيم استخدامها من قبل الآخرين بالتمسك بها إلى حين الاعتراف بأنها ملكه. باختصار، تنقص حقوق الملكية في العلم لتصبح كما يلي: اعتراف الآخرين بالدور المميّز للعالم في المجيء بنتيجته إلى حيّز الوجود.

يقرّ مرتون بطبيعة الحال بعنصر الوطنية في النزاعات على الأسبقية بكتابته:

منذ القرن السابع عشر على الأقل، حتّى البريطانيون، والفرنسيون، والألمان، والهولنديون، والإيطاليون على مطالبة بلدهم بالأسبقية؛ وسرعان ما دخل الأميركيون القوائم ليوضحوا أنهم يحظون بالأولية.

في الأحداث التي يبحثها هذا الكتاب، يبدو أنه كان للوطنية دور

استثنائي كبير. والمثال الرئيس هو اكتشاف الهفنيوم الذي قسم المجتمع العلمي وفقاً للخطوط العسكرية للحرب العالمية الأولى التي انتهت منذ عهد قريب فحسب. وقفت الدوريات، ولا سيما الجرائد، البريطانية والفرنسية إلى جانب أوربان (Urbain) الذي ادّعى أنه اكتشف العنصر 72 على شكل السليتيوم. في غضون ذلك، كانت المعارضة المكوّنة من كوستر (Coster) وهيفزي اللذين يعملان في مختبر بور (Bohr) في كوبنهاغن، الدنمرك، ترتبط بعدوي الحرب ألمانيا والنمسا. ووقعت حالة حديثة أخرى لهذه الوطنية المدفوعة سياسياً هي تخليق العنصر 105 في ستينيات القرن العشرين عندما تشاجر العلماء الأميركيون والسوفييات بشأن من منهم حاز قصب السبق في تخليق العنصر الذي أسمى في النهاية دينيوم، نسبة إلى دُبنا في روسيا.²⁰ وفي تباين مثير للاهتمام مع هذه الفترة من الانفراج في الحرب الباردة، منح الأميركيون العنصر 101 اسم مندليففيوم، وبالتالي كَرّموا عالماً من «الجانب المناوي».

من الحالات المتطرّفة التي تنجم عن رغبة العلماء في الأسبقية الاستسلام أحياناً للدفاع إلى تزوير النتائج العلمية. وقد شهدنا هذا الشكل من النشاط في تخليق العنصر 118، حيث طُرد عالم كبير في جامعة بيركلي من منصبه بسبب مزاعم تزوير البيانات.

ثمة شكل أقلّ شناعة من أشكال السلوك الشائع إلى حدّ ما، ويتجلّى في عدم تنويه العلماء بمنافسيهم. وذلك ينطبق على مندليف، المكتشف الرائد للجدول الدوري، كما أشار العديد من الكتاب. وفي حين اكتفى مندليف بذكر مقالات باحثين سابقين مثل دوبرينر (Dobereiner) وباتنكوفر (Pattenkofer)، فقد بدا أكثر تردّداً في الإقرار بعمل منافسيه

المباشرين مثل لوثر ماير ونيولندز (Newlands) الذين وجه انتقاداً شديداً لعملهم. بل إن مندليف اشترك في نزاع مرير على الأسبقية مع ماير.

العمل الذي أجري على الاكتشاف والأسبقية منذ مرتون

أجري كثير من العمل في مجال علم اجتماع العلم و«دراسات العلم» في أعقاب عمل مرتون، ومن الضروري الالتفات إلى هذه البحوث باختصار.²¹ وسأركز على مقالٍ مهم لألن غروس (Alan Gross)²² نُشر في سنة 1998. كتب غروس:

سأبين أن المتطلبات المعيارية لتسمية حدث ما اكتشافاً علمياً لا تجعل الأسبقية والنزاعات التي تُحدثها داخل العلم فحسب، وإنما خارج العلم.

بعبارة أخرى، يحاول غروس تسليط الضوء على أهمية النقاشات في العلم، التي غالباً ما يحاول العلماء فيها إنكار أن شيئاً ما جزء لا يتجزأ من طبيعة العلم، ويقللون من شأنه بدلاً من ذلك باعتباره دخيلاً على المشهد العلمي. ويزعم أيضاً أن الاكتشاف ليس حدثاً تاريخياً وإنما حكم اجتماعي ذو مفعول رجعي.

هذه أيضاً فكرة مهمة يجب أخذها في الحسبان عندما نتفحص العناصر السبعة الأخيرة التي شغلت مكانها في الجدول الدوري القديم. ويذكر غروس أن مؤرخ العلم توماس كون (Thomas Kuhn) قد أشار إلى أنه لا يمكن اعتبار الاكتشاف العلمي حدثاً تاريخياً كالحرب، أو الثورة، أو انهيار سوق الأسهم. غير أن غروس يعتقد بأن كون لا يذهب إلى حدِّ

الإقرار بالدور الاجتماعي الجوهرى الذي تؤدّيه الاكتشافات.

ما الذي يعنيه بالضبط اكتشاف أحد العناصر؟

بما أن هذا الكتاب يُعنى باكتشاف العناصر السبعة إلى حدّ كبير، من الضروري النظر فيما يشكّله اكتشاف أي من العناصر مقابل أي اكتشاف علمي على العموم.²³ يحاول العديد من الكتب الشائعة في هذا الموضوع تسوية المسألة لصالح شخص محدّد أو فريق من الباحثين. بيد أنه لا يمكن تسوية العديد من الحالات بسهولة في الواقع، وأي محاولة لحصر القرار بفرد واحد تحرّمننا من ثراء قصة أي عنصر محدّد.²⁴ كما أنها تحجب أن اكتشاف عنصر ما، وأي اكتشاف علمي في الواقع، غالباً ما يكون عملية طويلة تضمّ العديد من الأفراد في العديد من المراحل. وليس من السهل في الغالب إبراز اكتشاف حاسم واحد.

في حالة العناصر، تبرز بعض المشكلات التي قد لا تكون شائعة في الأنواع الأخرى من الاكتشافات العلمية. على سبيل المثال، هل من الضروري أن يدرك الفرد أنه عزل عنصراً ما أو هل يكفي أن يكون قد عزل ما يعتقد أنه مجرد مادة جديدة أدرك أنها عنصر في نهاية المطاف؟ هل من الضروري أيضاً أن يُعزل العنصر أو هل يكفي أن يدرك العالم ما يعتقد أنه موجود في معدن معيّن؟ وحتى لو نجح فرد في عزل عنصر جديد، وأدرك في الوقت نفسه أنه عنصر بالفعل، هل يهّم مقدار ما تمّ عزله؟ هل من الضروري وجود مقدار مرثي من العنصر للدعاء بأنه اكتشاف مشروع؟ إذا كانت الحال كذلك، فإن ذلك يستبعد على الفور معظم العناصر التالية لليورانيوم لأن كثيراً منها أنتج بمقادير ضئيلة. وفي

بعض الحالات كانت الكمية صغيرة جداً لا تزيد على ذرتين أو ثلاثا وتبرز هذه المشكلة في الواقع في عدد من العناصر السبعة التي تقع ضمن الاثني وتسعين عنصراً، من حيث المبدأ على الأقل. ويمكن أن يسمي المرء هذه العناصر بأنها العناصر السابقة لليورانيوم مميّزاً لها عن العناصر التالية لليورانيوم.

ثمة قضايا أخرى يمكن أن تعقد أي محاولة لتحديد أي مكتشف فرد أو فريق من المكتشفين. كيف يجب أن يعلن اكتشاف العنصر المفترض على العلماء الآخرين أو العالم على العموم؟ ربما يجب أن نفضّل الإعلانات التي تقدّم ما يكفي من التفاصيل للسماح للعلماء الآخرين بتكرار الإجراء. لكن هل يجب أن نحرم مؤلفاً من اعتباره المكتشف الرسمي إذا أغفل إيراد مثل هذه التفاصيل للسماح للآخرين بتكرار الإجراء؟ ففي النهاية ربما يحول محرّر دورية ما من دون قيام المؤلف بذلك حرصاً على توفير حيّز الصفحات المخصص له.

وربما الأهم من ذلك، هل يجب أن نصرّ على أن يتم الإعلان في الأدبيات العلمية بدلاً من مجلة، أو جريدة، أو عرض تلفزيوني أو إذاعي؟²³ ماذا لو لم يعلن عن الاكتشاف رسمياً في أي مكان ولكن عثر عليه لاحقاً مشروحاً في مفكرة عالم بعد وقت طويل من نسبة الاكتشاف إلى حدث منفصل وقع لاحقاً؟ هل يجب تنقيح قائمة الاكتشافات الرسمية للعناصر بسبب تلك المفكرة؟ لكن كما يشير آلن غروس.

أن تنشر يعني أن تأخذ ذلك الخطر، وتجرب نفسك وحلفاءك الفكريين، وورثتك على الدفاع عن المطالبة بحقك علناً.

هل يجب الإعلان عن عنصر مكتشف حديثاً في دورية علمية شهيرة؟ إذا كان كذلك فإن اكتشاف البالاديوم، على سبيل المثال، لا يمكن نسبته إلى وُلاستون (Wollaston) الذي اختار إذاعة الاكتشاف في إعلان في صحيفة.

ثمة مسألة منفصلة تتعلق بمستوى النقاء الذي نطلبه قبل قبول قطعة معينة من الأبحاث باعتبارها اكتشافاً أصيلاً. وقد عبّر كُون عن المسألة بإيجاز عندما كتب،

يجب أن تكون أي محاولة لتأريخ الاكتشاف اعتباطية حتماً لأن اكتشاف ضرب جديد من الظواهر حدث معقّد بالضرورة، حدث ينطوي على الإقرار على السواء بأن شيئاً ما هو وما هو.²⁶

في بعض الحالات يُعزل عنصر لكن ربما يبقى مجهولاً إلى أن يعزله شخص آخر وينشر نتائجه. من يُعتبر المكتشف الحقيقي أو هل يجب علينا أن نحاول أصلاً تسوية هذه القضايا الدقيقة؟ يمثل اكتشاف الأكسجين قضية معقّدة سيئة السمعة سببت نقاشاً مستفيضاً على مرّ القرون وكانت موضوع مسرحية عُرضت مؤخراً.²⁷ فقد عزل الكيميائي السويدي شيله (Scheele) الأكسجين، ولعله لم يكن أول من قام بذلك. ثم أعاد بريستلي (Priestly) اكتشافه مستقلاً في إنكلترا بعد بعض الوقت. وزار بريستلي لافوازييه (Lavoisier) في باريس وأخبره عن عمله. وبعد ذلك أعاد لافوازييه اكتشاف الأكسجين وذهب أبعد مما ذهب إليه معاصروه بجعل هذا العنصر محور نظرية جديدة للاحتراق أطاحت بفكرة أن الاحتراق

يؤدي إلى تطوّر مادة تدعى اللاهوب. هل يجب أن يمنح الفضل إلى لافوازيه لاكتشافه الأكسجين لأنه جعل هذا الاكتشاف أكثر فائدة بكثير مما جعله بريستلي أو شيله؟²⁸

ثمة قضية أخرى تتعلّق بعنصر البلاتين ولكن لسبب مختلف نوعاً ما. فغالباً ما ينسب اكتشافه إلى عالم أوروبي واحد أو أكثر زاروا أميركا أو تلقّوا عيّنة من تلك القارّة. ومع ذلك من الواضح أن السكان الأميركيين الأصليين اكتشفوا البلاتين قبل تلك الأحداث.

هناك كثير من العناصر، بما فيها البلاتين، التي ربما يستحسن اعتبارها مكتشفها مجهولين. وهي تشمل العناصر السبعة القديمة، إلى جانب الكربون والكبريت. وعلى نحو مماثل، لا يمكن نسبة بعض العناصر التي اكتُشفت قبل سنة 1500 إلى أي شخص معيّن. وتشمل هذه العناصر الزرنيخ، والأنتيمون، والبزموت، والزنك، على الرغم من أن أيّاً منها لم يعتبر عنصراً في ذلك الوقت.²⁹ ويبدو أن أول عنصر يمكن نسبة اكتشافه إلى شخص محدّد هو الفسفور. وينسب هذا العنصر عموماً إلى هنيغ براند (Hennig Brad)، مع أنه لم ينشر اكتشافه.

فاصل فلسفي عن العناصر

أصبحت آراء كارل بوبر (Karl Popper) بشأن الدحض نافذة بعض الشيء في فلسفة العلم. فطالما عُرف أن النظريات والقوانين العلمية لا يمكن إثباتها. وقد أشار بوبر إلى أنه يمكن الاستفادة من التناظر المنطقي بين الإثبات والنقض، الذي يسمّيه دحضاً. في حالة الإثبات لا يمكن تحقيق ذلك بترامم الأدلة إذ من الممكن دائماً أن تنقض الاكتشافات في المستقبل

نظرية أو قانوناً ما، بصرف النظر عن مقدار رسوخه على ما يبدو بناء على أدلة سابقة. من ناحية أخرى، الدحض الواحد قادر، من حيث المبدأ على الأقل، على تثبيت أن «التمّ ليس كله أبيض» أو دحض نظرية أو قانون. هل يجب توسيع هذا المعيار ليشمل العناصر؟ وهذا السؤال لم يناقش من قبل على حدّ علمي.

بالمقابل، يمكن أن يكون تطبيق فكرة بوبر على اكتشاف العناصر تجاوزاً للحدّ. ففي النهاية يفترض أن يكون هناك معيار واضح جداً لتحديد العناصر. وهو يكمن في مفهوم العدد الذري الذي يعتبر مؤشراً فريداً على أي عنصر محدّد. غير أن تطبيق هذا المعيار مسألة أكثر تعقيداً. كيف نعرف إذا كنا قد لاحظنا مادة ذات عدد ذري جديد؟ يفترض أن توجد الإجابة في استخدام طريقة الأشعة السينية الكلاسيكية لموزلي لكن هذا النهج محفوف بالمشاكل. على سبيل المثال، أدت ملاحظة خطوط أشعة سينية باهتة إلى التحديد الخاطئ لبعض العناصر باعتبارها العنصر 43 - وهو أحد العناصر السبعة التي يركّز عليها هذا الكتاب. ففي سنة 1925 اعتقد الزوجان نوداك وبيرغ (Otto Berg) أنهما عزلا هذا العنصر وحاولا تأكيد اكتشافهما بتسجيل ما ادعيا أنه طيف الأشعة السينية للمادة الجديدة.

في الواقع، يُعنى أحد الانتقادات الرئيسة لنهج بوبر في فلسفة العلم بهذه القضايا بالذات. فوفقاً لأطروحة دوهم كواين (Duhem-Quine)، تظل أي محاولة لاختبار نظرية أو قانون ما غامضة دائماً لأن عملية الاختبار تعقّد القضية. ولا يستطيع المرء اختبار النظرية أو القانون مباشرة. بل يجب إجراء الاختبار باستخدام افتراضات إضافية تفيد في إيضاح

النظرية أو القانون في أي سياق محدد. لناخذ مثلاً نتيجة غمس نصف قلم رصاص في كوب من الماء. تكون النتيجة ظهور القلم منحنيًا بسبب مفعول الانكسار.

لنفترض أنه في اختبار آخر لم تظهر عصا مثل هذا الانحناء المؤلف. هل نخلص إلى دحض قانون الانكسار؟ ليس بالضرورة لأن عدم ملاحظة السلوك المتوقع يمكن أن يكمن في الشروط الأولية بدلاً من فشل قانون علمي. ربما في هذه المناسبة غمست العصا في سائل آخر يكون فيه الانحناء في حدّه الأدنى أو منعدياً.

نظرة توماس كُون إلى الاكتشاف

اشتهر مؤرّخ العلم توماس كُون بحقّ لأنه نشر أحد الكتب المؤثرة في النصف الثاني من القرن العشرين، بعنوان «بنية الثورات العلمية» (*The Structure of Scientific Revolutions*). وقبل أن يقوم بذلك، في سنة 1962 نفسها، نشر كُون مقالة في مجلة «ساينس» ليست مشهورة بقدر الكتاب لكنها ذات صلة كبيرة بمحتويات الكتاب الذي بين أيدينا بالنظر إلى أنه تفحص طبيعة الاكتشاف العلمي.³⁰

من الاقتراحات الرئيسة التي يقدّمها في المقالة أن هناك نوعين من الاكتشافات العلمية أساساً. أولاً، هناك الاكتشافات غير المتوقعة، وهي التي لا يمكن توقعها من النظرية، ويدخل بينها كون اكتشاف الأكسجين، والأشعة السينية، والإلكترون.

وتكوّن فئته الثانية من الاكتشافات التي كانت متوقعة في الواقع من النظريات القائمة، وتشمل على سبيل المثال النيوتريون، والموجات

الراديوية، والعناصر المفقودة في النظام الدوري. ثم يقدّم كُون ادعاءً إضافياً عندما يكتب،

نتيجة لذلك كان هناك قليل من النقاشات المتعلقة بأسبقية الاكتشافات في هذا النوع الثاني وندرة البيانات وحدها هي التي تحول من دون أن ينسبها المؤرخ إلى زمان ومكان معيّنين (Kuhn، 1962).

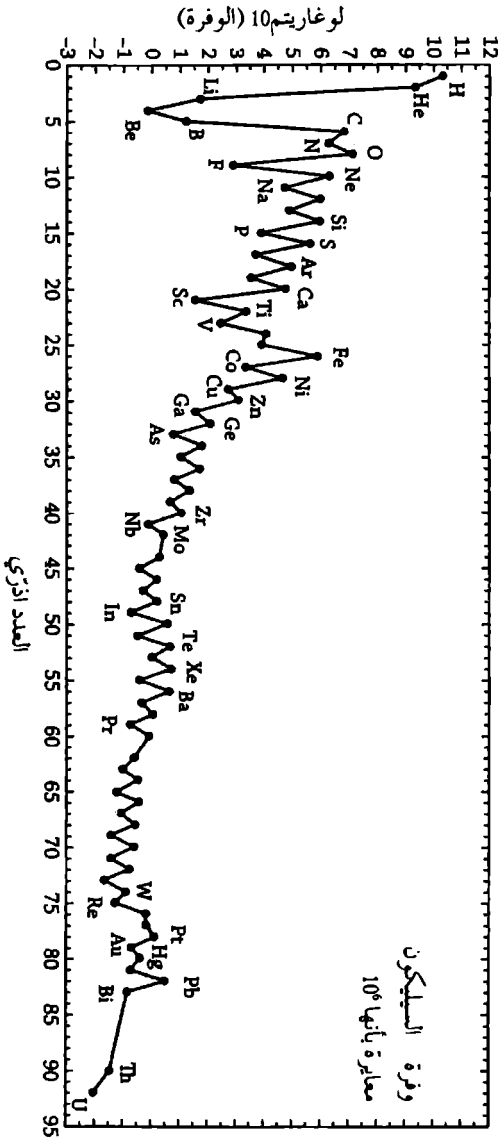
إن أفضل الطرق التي أستطيع التفكير فيها للردّ على هذه المقولة هي استعارة عنوان كتاب شهير عن عالم فيزياء أسطوري في جامعة كاليفورنيا للتكنولوجيا، وأقول،

لا بدّ أنك ممزح، يا سيد كون!

إن اكتشاف العناصر المفقودة السبعة زاخر بالنقاشات المتعلقة بالأسبقية، كما آمل أن أظهر في هذا الكتاب. كما أن عدم تمكّن المؤرخين تكراراً من نسبة هذه العناصر إلى أي مكان معيّن لا يرجع إلى ندرة البيانات. بل إن العديد من العلماء، كما سأوثق، حاولوا مؤخراً إعادة الاعتبار إلى بعض الادعاءات بأحقية اكتشاف ثلاثة أو أربعة من هذه العناصر، بما فيها العناصر 43، و61، و75.³¹

إنها مسألة وهرة أيضاً

من العوامل الرئيسة المسؤولة عن أن هذه العناصر السبعة هي الأخيرة المكتشفة مسألة قلّة توافرها في الطبيعة، ربما باستثناء الرينيوم. لكن لماذا الأعداد الذرية المحدّدة المعنية، وتحديداً 43، و61، و72، و75، و87، و85، و91؟



الشكل 3,0 الوفرة الأرضية النسبية للعناصر. أُعيد إنتاجها نقلاً عن P. A. Cox, *The Elements*, Oxford University Press, Oxford, 1989 (بإذن).

جميع الأعداد الذرية وترية لاشفعية، باستثناء الهفنيوم الذي يبلغ عدده الذري 72. ويمكن إدراك ذلك تقريباً باعتباره يرجع إلى أن البروتونات في نوى ذرات هذه العناصر يمكن أن تحقق استقراراً أعظم إذا وجدت في أزواج في مستويات طاقة نووية مماثلة لمستويات الطاقة الإلكترونية التي يدخلها ما يصل إلى إلكترونين كل مرة.

يظهر رسم الوفرة النسبية للعناصر شكل المنشار بوضوح بسبب هذا السلوك التعاقبي المستقر (عدد ذري مزدوج) والأقل استقراراً (عدد ذري مفرد) (الشكل 3.0).

هذه الخاصية، المعروفة بقاعدة هاركن (Harkin)، تقطع شوطاً في تفسير لماذا يقل كثيراً توافر العناصر 43، و61 و85 و87 على وجه التحديد، وتحديداً التكنيتيوم (شبه غائب تماماً)، والبروميثيوم، 10^{-19} في المئة، والفرنسيوم، 3×10^{-21} في المئة، والأساتين، 3×10^{-24} في المئة من قشرة الأرض.³²

مسألة الأسبقية

إن مسألة الأسبقية هي من الجوانب المهمة جداً لقصص اكتشاف العديد من العناصر، وقد تكرر التنزع عليها بمرارة. بل إن من الصعب على المرء محاولة إيجاد عناصر لم يخضع اكتشافها للتنزع تكراراً بين باحثين من مختلف البلدان. وبمحننا استعراض هذه القضية لمحة مهمة ومهملة على ناحية علم اجتماع العلم. وقد سأل العديد من المؤلفين أنفسهم لماذا أدت الاكتشافات على العموم واكتشاف العناصر على الخصوص إلى مثل هذه الصراعات. تكشف الأجوبة المقدمة عن الإنسانية الواهية في الغالب

للعلماء المعنيين أو ربما الطريقة العلمية بأكملها والضغط التي تضعها على العلماء.

أُتفق أن جميع العناصر السبعة التي تشكل جوهر هذا الكتاب خضعت لنقاشات تتعلق بالأسبقية، وسيطرت الدوافع الوطنية على معظمها. جاء ذلك من العلماء أنفسهم في بعض الأحيان، في حين أن مؤيدي هؤلاء العلماء أو ربما الصحافة في البلدان المعنية أذكروا الحس الوطني في أحيان أخرى. وسنجد مثلاً نموذجياً في حالة العنصر 72، أو الهفنيوم، الذي أنتج واحداً من أكثر الأمثلة مرارة، وأحياناً هزلية، في سجل الوطنية العلمية.

لكن قبل أن نبدأ رواية العناصر السبعة، علينا أن نستعرض اكتشاف الإطار الذي يحدّد موضع هذه العناصر ويربط بينها جميعاً، وتحديدًا الجدول الدوري. بل إننا سنتفحص قبل ذلك الخطوات التي كان لا بدّ من اتخاذها قبل أن يبدأ الجدول الدوري في اتخاذ شكله على أيدي ستة علماء على الأقل في أنحاء مختلفة من العالم. كان المكتشف الرائد للجدول الدوري الكيميائي الروسي مندلييف، وهو في الواقع آخر المكتشفين الستة، على الرغم من أن مندلييف هو الذي قدّم أهمّ مساهمة في هذه الأيقونة العلمية. وسننظر أيضاً في أثر الاكتشافات التي تحققت في الفيزياء على الجدول الدوري، بما في ذلك عمل موزلي، الذي رسّخ أهمية العدد الذري.

على القارئ أن يلحظ أن الفصلين التاليين نسختان مكثفتان من معظم فصول كتابي الصادر في سنة 2007 عن الجدول الدوري. لذا يمكنكم إذا شئتم الانتقال إلى الفصل الثالث الذي يبدأ برواية اكتشاف العناصر السبعة.³³

الفصل الأول

من دالتون إلى اكتشاف الجدول الدوري

تبدأ قصتنا، اعتبارياً إلى حدّ ما، في مدينة مانشستر الإنجليزية عند أواخر القرن التاسع عشر. كان هناك طفل أعجوبة يدعى جون دالتون (John Dalton)، يدرّس في سنّ الخامسة عشرة الطريّ مع أخيه الأكبر في إحدى المدارس. وفي غضون بضع سنين، تطوّرت اهتمامات جون دالتون لتشمل علم الأرصاد الجوية، والفيزياء، والكيمياء. ومن الأسئلة التي كانت تحيّر لماذا لا تنفصل الغازات المكوّنة للهواء، مثل الأكسجين والنتروجين، وثاني أكسيد الكربون، بعضها عن بعض. ولماذا يظل مزيج الغازات في الهواء مزيجاً متجانساً؟

وفي غمرة الانشغال بهذا السؤال، طوّر دالتون ما أصبح النظرية الذريّة الحديثة. فقد افترض أن المكوّنات النهائية لجميع المواد كرات مجهرية صلبة أو الذرّات التي ناقشها الفلاسفة اليونانيون القدماء أول الأمر، وتعمّق في بحثها ثانية علماء حديثون مثل نيوتن، وغاسندي (Gassendi)، وبوسكوفتش (Boscovich). لكن دالتون قطع شوطاً إضافياً تجاوز كل هؤلاء المفكرين في تثبيت الخاصية الكمية الفائقة الأهمية لكل نوع من الذرّات، وتحديداً وزنها. وقد فعل ذلك بالنظر في البيانات الكمية الخاصة بالتجارب الكيميائية. على سبيل المثال، وجد أن نسبة الوزن التي يتحد فيها الهيدروجين والأكسجين معاً هي واحد

إلى ثمانية. افترض دالتون أن الماء مكوّن من ذرّة من كل من العنصرين. واعتبر أن وزن ذرّة الهيدروجين وحدة واحدة، لذا استنتج أنه يجب أن يكون وزن الأكسجين 8 وحدات. واستنتج على نحو مماثل أوزان عدد من الذرّات وحتى الجزئيات الأخرى كما نسمّيها اليوم (الشكل 1,1).

الوزن	العنصر
1	الهيدروجين
4,2	الآزوت
4,3	الكربون (الفحم الخشبي)
5,2	الأمونيا
5,5	الأكسجين
6,5	الماء
7,2	الفسفور
9,3	غاز النيتروجين
9,6	الأثير
13,7	أكسيد النيتروس
14,4	الكبريت
15,2	حمض النيتريك

الشكل 1,1 جزء من جدول مبكّر للأوزان الذرية والجزئية نشره دالتون في كتابه «مذكّرات جمعية مانشستر الأدبية والفلسفية»

Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester, 2, 1, 207 (1805).

اكتسبت العناصر لأول مرّة خاصية كميّة يمكن عن طريقها المقارنة فيما بينها. وستقود هذه الخاصية في النهاية إلى تصنيف دقيق لجميع العناصر

على شكل النظام الدوري، لكن ذلك سيأتي لاحقاً. وقبل حدوث ذلك، أثارت فكرة الذرات نقاشات وخلافات هائلة بين الخبراء في أيام دالتون. بعضهم، مثل ابن بلد دالتون، توماس طومسون (Thomas Thomson)، أيد فكرة الذرات تأييداً حماسياً جداً. وتردد آخرون مثل برزيليوس (Berzelius) في السويد، ودوما (Dumas) في فرنسا. ورأى بعضهم وجوب اعتبار هذه الجسيمات المجهرية أداة مفيدة لا واقعاً وصفاً حرفياً، بالنظر إلى عدم وجود دليل مباشر على وجودها.¹

بالإضافة إلى ذلك، ثمة خلاف على مفهومي الذرات والجزيئات. بعضهم يستخدم المصطلحين استخداماً متبادلاً. وهناك استثناءان بارزان الإيطالي أماديو أفوغادرو (Amedeo Avogadro)، والفرنسي أمبير (Ampère)، لكن لم يأخذهما أحد على محمل الجد. على سبيل المثال، اعتقد أفوغادرو أن الجزء الأبسط في كثير من الغازات هو جزيء يتكوّن من ذرتين مترابطتين معاً. ورفض دالتون، وآخرون، هذا المفهوم ورأوا أن ذرتين من العنصر نفسه تنبذ إحداهما الأخرى ولا يمكن أن تجتمعا معاً. وتبيّن أن أفوغادرو مصيب في هذه النقطة لكن استغرق الأمر حتى سنة 1860 لوضع إيضاح تام لمصطلحات مثل ذرة وجزيء. وفي الوقت نفسه تقريباً، أدرك أن جزيء الماء يحتوي على ذرتين من الهيدروجين وذرة من الأكسجين (H_2O)، خلافاً أيضاً لمصيغة دالتون (HO). ونتيجة لهذا التغيّر في النظر إلى الجزيئات والذرات، وهو التغيّر الذي أحدثه الإيطالي آخر يدعى كانيزارو (Cannizzaro)، أدخل تعديل على كثير من الأوزان الذرية التي حسبها دالتون. ويعتقد اليوم أن وزن ذرات الأكسجين 16 لا 8 كما أكد دالتون في الأصل.

وَرَعَ كانيزارو مجموعة جديدة من الأوزان الذرية على شكل كتّيب في المؤتمر الكيميائي الدولي الأول في كارلسروهه، بألمانيا. وسرعان ما نُشرت في الكتابات العلمية ليطلع عليها الجميع. وفي غضون عشر سنوات تقريباً، توصل ستة علماء أو أكثر في بلدان مختلفة، كل مستقل عن الآخر، إلى الأنظمة الدورية للعناصر باستخدام أوزان كانيزارو الذرية المنقّحة باعتبارها وسيلة لترتيب العناصر.

لكن النظام الدوري ليس مجرد سلسلة خطية للعناصر المرتبة وفقاً لتزايد الأوزان الذرية. فهو يظهر أيضاً تكراراً تقريبياً لخصائص العناصر التي يبدو أنها تقع بعد فترات أو دورات منتظمة معيّنة. وكانت هذه التشابهات الكيميائية معروفة حتى قبل أن يستنبط دالتون مجموعته الأولى من الأوزان الذرية. وهي تضمّ عناصر مثل الليثيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، وكلها فلزّات رمادية طرية تتفاعل بسهولة مع الماء لتنتج الهيدروجين. ويتكوّن مثال آخر من الكلور، والبروم، واليود التي تظهر تشابهات ملحوظة في تكوين الحموض عند اتحادها مع الهيدروجين، وتكوين أملاح بلورية عديمة اللون عند اتحادها مع فلزّ مثل الصوديوم.

دي شانكورتوا

اكتشف ألكسندرا إميل بغيويه دي شانكورتوا (Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois) أول نظام دوري، وهو جيولوجي مجهول، لبث وقتاً طويلاً من دون أن يقدر حقّ قدره. فقد قام دي شانكورتوا بترتيب العناصر على لولب حلزوني مرسوم على سطح أسطوانة ثلاثية الأبعاد. توجد العناصر المتماثلة كيميائياً مثل الليثيوم، والصوديوم،

7 Avril 1862

VIS TELLURIQUE
CLASSEMENT NATUREL DES CORPS SIMPLES OU RADICAUX
obtenu au moyen d'un
SYSTÈME DE CLASSIFICATION HÉLICOÏDALE ET NUMÉRIQUE
par A.E BÉGUYER DE CHANOURTOIS

Tableau des
Caractères Géométriques
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Hydrogène	H	1	
Lithium	Li	7	
Calcium	Ca	9	
Barye	Ba	11	
Carbone	C	12	
Acide	As	14	
Oxygène	O	15	
Fluor	F	16	
Sodium	Na	23	
Magnésium	Mg	24	
Aluminium	Al	27	
Silicium	Si	28	
Phosphore	P	31	
Soufre	S	32	
Chlore	Cl	35	
Potassium	K	39	
Calcium	Ca	40	
Titane	Ti	48	
Chrome	Cr	52	
Manganèse	Mn	55	
Fer	Fe	56	
Nickel	Ni	59	
Cobalt	Co	60	
Cuivre	Cu	63	
Yttrium	Yt	65	
Zinc	Zn	66	
Zirconium	Zr	67	
Arsenic	As	75	
Brome	Br	79	
Selenium	Se	80	
Rubidium	Rb	87	
Strontium	St	88	
Lanthane	La	91	
Cerium	Ce	92	
Molybdène	Mo	96	
Dioxyde	Di	99	
Yttrium	Yt	100	
Thallium	Tl	103	
Rhodium	Rh	104	
Palladium	Pd	107	
Argent	Ag	108	
Calcium	Ca	111	
Bismuth	Bi	115	
Thorium	Th	119	
Uranium	Ur	120	
Antimoine	St	124	
Cadmium	Cd	124	
Iode	I	127	
Tellure	Te	128	
Tantale	Ta	184	
Tungstène	W	185	
Iridium	Ir	197	
Platine	Pt	199	
Or	Au	200	
Mercur	Hg	200	
Ruthénium	Ru	202	
Osmium	Os	206	
Rhenium	Rh	208	

الشكل 2, 1 نظام دي شانكورتو الدوري اللولبي. A. E. Béguyer de Chancourtois, Vis
Tellurique: Classement des corps ou radicaux, obtenu au moyen d'un système
de classification hélicoïdale et numérique, *Comptes Rendus de L'Académie des*
Sciences, 54, 757-761, 840-843, 967-971, 1862

والبوتاسيوم، على خطوط عمودية تتقاطع مع الترتيب اللولبي للعناصر كما يبيّن الشكل 1,2.

بهذه الطريقة، يبدو أن دي شانكورتوا ربما خطأ الخطوة الأهم في اكتشاف الجدول الدوري. فهو أول من أدرك أن خصائص العناصر دالة دورية في أوزانها الذرية، قبل سبع سنوات كاملة من توصل مندلييف إلى الاستنتاج نفسه.

لكن لم يُمنح دي شانكورتوا كثيراً من الفضل على العموم، ويرجع ذلك إلى أنه لم ينشر في دورية كيميائية من جهة، ولأنه لم يطور فكرته على مرّ السنوات التالية من جهة أخرى. ولم تظهر مطالبة دي شانكورتوا بحقه في الأسبقية إلى العلن إلا بعد ثلاثين عاماً من نشر بحثه، بسبب بعض المؤيدين في إنكلترا وفرنسا.²

رتّب دي شانكورتوا العناصر وفقاً لما دعاه «الأعداد» المتزايدة على طول حلزون. وكتبت هذه الأعداد على طول خط عمودي ينتج أسطوانة عمودية. وتقسم القاعدة الدائرية للأسطوانة إلى ستة عشر قسماً متساوياً. ويرسم اللولب مائلاً بزاوية مقدارها 45° على محوره العمودي وتقسم أسنان اللولب، عند كل التفاة، إلى ستة عشر قسماً. وهكذا فإن النقطة السابعة عشرة على السنّ تقع فوق الأولى مباشرة، والثامنة عشرة فوق الثانية، وهكذا دواليك. ونتيجة لهذا التمثيل، تصبح العناصر التي تختلف أعدادها المميّزة بمقدار ست عشرة وحدة مرتّبة في أعمدة. على سبيل المثال، يظهر الصوديوم الذي يبلغ وزنه 23 في لفة كاملة فوق الليثيوم الذي مُنح القيمة 7. ويحتوي العمود الثاني على عناصر المغنيزيوم، والكالسيوم، والحديد، والسترونشيوم، واليورانيوم، والباريوم.

تنتهي الدورة الأولى للحلزونات بعنصر الأكسجين، وتكتمل الدورة الثانية بالكبريت. لذا يمكن أن تشاهد العلاقات الدورية، أو المجموعات الكيميائية، في نظام دي شانكورتوا، وإن يكن تقريبياً فحسب، بالتحرك عمودياً إلى أسفل على طول سطح الأسطوانية. وتحدث الدورة الثامنة، وهي أيضاً في منتصف الطريق إلى أسفل الأسطوانة، عند التيلوريوم. وهذه الميزة الاعتبارية تمنح نظام دي شانكورتوا اسم «اللؤلؤ التيلوري»³.

لم يترك نظام دي شانكورتوا أي انطباع لدى الكيميائيين لأن المقالة الأصلية المنشورة لم تضم رسماً إيضاحياً، ويرجع ذلك أساساً إلى قصور ناشره. والمشكلة الأخرى أن النظام لا يقدم نقلاً مقنعاً جداً للتشابهات الكيميائية بسبب التمثيل الحلزوني غير المؤلف. وفي حين أن بعض المجموعات الكيميائية المعنية، مثل الفلزّات القلوية، والفلزّات القلوية الترابية، والهالوجينات، تظهر في أعمدة، فإن العديد غيرها لا يظهر في أعمدة، ما جعله نظاماً أقل نجاحاً مما قد يبدو عليه. ومع ذلك هناك عيب آخر في النظام إذ إنه يدرج الجذور مثل NH_4^+ و CH_3 ، ومركّبات مثل السيانوجين، وكذلك السباتك، ولا ينتمي أي منها إلى العناصر.

أحبط دي شانكورتوا لأن مجلة «كونت راندو» (*Comptes Rendus*) لم تدرج أي رسم إيضاحي، فأعاد بنفسه نشر نظامه في سنة 1863. لكن هذه المقالة الإضافية حظيت باهتمام أقل من سابقه من العلماء الآخرين لأنها نشر خصوصي⁴. مع ذلك لا يُنكر أن دي شانكورتوا هو أول من أظهر أن خصائص العناصر دالة دورية في أوزانها الذرية، أو وفقاً لتعبيره «أن خصائص الأجسام هي خصائص الأعداد»⁵.

جون نيولندز

وُلد جون نيولندز (John Newlands) في سنة 1837 في ساوثورك، وهي من ضواحي لندن، وتشاء المصادفة أن تشهد تلك السنة أيضاً مولد وليام أدلنغ (William Odling)، وهو رائد آخر من رواد الجدول الدوري. بعد أن درس نيولندز في كلية الكيمياء الملكية، أصبح مساعداً لكبير الكيميائيين في الجمعية الزراعية الملكية في بريطانيا العظمى. وفي سنة 1860 تطوَّع فترة وجيزة في الجيش مع غاريبالدي (Garibaldi)، الذي كان يخوض الحرب الثورية في إيطاليا. ويبدو أن سبب رغبة نيولندز في القتال في هذه الحرب يعود إلى أن أمه من جذور إيطالية. وقد أدى ذلك إلى عدم تمكّن نيولندز من حضور مؤتمر كارلسروه الذي عُقد في السنة نفسها، على الرغم من أن الدعوى ما كانت لتوجّه إليه على الأرجح لأنه لم يكن كيميائياً كبيراً في ذلك الوقت. وبعد عودة نيولندز إلى لندن، عمل كيميائياً في صناعة السكر، بالإضافة إلى إعطاء دروس خصوصية في الكيمياء لرفع دخله.

تعنى أولى محاولات نيولندز التصنيفية بنظام للمركّبات العضوية نشره في سنة 1862 إلى جانب اقتراح نظام جديد للتسمية. وفي السنة التالية، نشر أول نظام تصنيف للعناصر من بين أنظمة عديدة. عندما قدّم نيولندز نظامه الأول في سنة 1863، إنما فعل ذلك من من دون الاستفادة من من قيم الأوزان الذرية التي صدرت في أعقاب مؤتمر كارلسروه في سنة 1860. بدلاً من ذلك استخدم قيم الأوزان الذرية المفضّلة لدى غير هارت (Gerhardt)، الذي كان قد بدأ بتنقيح الأوزان الذرية قبل ذلك المؤتمر. وتمكّن نيولندز من إنتاج جدول يتكوّن من إحدى عشرة مجموعة ذات

خصائص متماثلة وتختلف أوزانها بعامل 8 أو مضاعفات 8.

وصف نيولندز في مقاله في سنة 1863 علاقة بين الأوزان الذرية للفلزات القلوية واستخدمها لتوقع وجود عنصر جديد وزنه 163، بالإضافة إلى عنصر جديد يقع بين الإريديوم والروديوم. لكن لم يكتشف أي من هذين العنصرين قط.⁶

في سنة 1864، نشر نيولندز مقالة ثانية عن تصنيف العناصر (الشكل 3,1). وهذه المرة استند إلى الأوزان الذرية الأصح التي نشرت في أعقاب كارلسروهه. وجد نيولندز الآن اختلافاً يبلغ 16، أو قريباً جداً من هذه القيمة، بدلاً من 8، بين أوزان العنصرين الأول والثاني في ست مجموعات من العناصر المتماثلة. وتبدو هذه النتيجة دقيقة على نحو غير متوقع بالنظر إلى أنه استخدم الأوزان الذرية بدلاً من الأعداد الذرية.⁷

نشر نيولندز نظاماً جديداً بعد أقل من ستة أشهر على نشر نظامه الأول في سنة 1864 (الشكل 4,1) ولكن عدد عناصره أقل (24 عنصراً، بالإضافة إلى فراغ لعنصر جديد) ولم يأت على ذكر الأوزان الذرية. مع ذلك فإن للمقالة مزية كبيرة لأن نيولندز خصّ كلاً من العناصر بعدد ترتيبي، وهكذا يبدو أنه استبق فكرة الأعداد الذرية الحديثة، سطحياً على الأقل. تخلى نيولندز عن التقدّم الحسابي للأوزان الذرية التي أعنت المستقصين السابقين، فرّتب العناصر ببساطة وفقاً لتزايد الأوزان الذرية من دون الاهتمام بقيمها.

إن أهم ما قام به نيولندز في نظامه الثالث لتصنيف العناصر هو تقديم جدول دوري - أي الكشف عن نمط من التكرار في خصائص العناصر بعد فترات منتظمة معينة. هذا هو جوهر القانون الدوري، ويستحقّ

نيولندز، إلى جانب دي شانكورتوا، الفضل لأنهما أدركا هذه الحقيقة باكرًا.

الاختلاف		عنصر فوق العنصر السابق مباشرة	عضو في مجموعة ذو أدنى مكافئ
16 = O	1 = H		
1	16	40 كالسيوم	24 مغنيزيوم
1	16	32 كبريت	16 أكسجين
1	16	23 صوديوم	7 ليثيوم
1	16	28 سيليكون	12 كربون
1,031	16,5	35,5 كلور	19 فلور
1,062	17	31 فسفور	14 نيتروجين

الشكل 3,1 جدول نيولندز الأول سنة 1864. أعيد رسمه نقلاً عن J. A. R Newlands, *Chemical News*, 10, 59-60, 1864. الجدول في ص 59.

العدد	العدد	العدد	العدد	العدد	العدد	العدد	العدد	العدد	المجموعة	
54	Bi	40	Sb	26	As	13	P	6	N	المجموعة أ
50	Os	42	Te	27	Se	14	S	7	O	المجموعة ب
—	-	41	I	28	Br	15	Cl	8	Fl	المجموعة ج
52	Tl	43	Cs	29	Rb	16	K	9	Na	المجموعة د
53	Pb	44	Ba	30	Sr	17	Ca	10	Mg	المجموعة هـ

الشكل 4,1 جدول نيولندز، نقلاً عن J. A. R Newlands, *Relations Between Equivalents*, *Chemical News*, 10, 59-60, 1864. الجدول في ص 59.

قانون الثمانيات

في سنة 1865، طوّر نيولندز نظاماً آخر، وفيه تحسين على نظام السنة السابقة لأنه أدرج الآن خمسة وستين عنصراً، بالترتيب التزايدى للأوزان الذرية، واستخدم فيه ثمانية أعداداً ترتيبية بدلاً من قيم الأوزان الذرية الحقيقية. ويقوم هذا النظام على «قانون الثمانيات» الشهير الذي وضعه وتظهر فيه العناصر تكراراً لخواصها الكيميائية بعد فترات من ثمانية عناصر.⁸ ووصل نيولندز حدّ تشبيه دورة العناصر بالثمانيات (الأوكتافات) الموسيقية، حيث تعرض النغمات تكراراً ينطوي على فترة من ثماني نغمات (تعدّ من نغمة سي مثلاً إلى نغمة سي التالية حصراً). ونستشهد بتعبير نيولندز نفسه:

إذا رُتبت العناصر وفقاً لمكافئاتها مع قليل من التبديلات، كما في الجدول المرفق، فسيلاحظ أن العناصر التي تنتمي إلى المجموعة نفسها تظهر عادة على الخطّ الأفقي نفسه. ويلاحظ أيضاً أن أعداد العناصر المتشابهة تختلف بالعدد 7 أو بمضاعفات العدد 7. بعبارة أخرى، تكون علاقة أعضاء المجموعة نفسها مماثلة للعلاقة بين أطراف ثمانية واحدة أو أكثر في الموسيقى... العنصر الثامن انطلاقاً من عنصر معيّن هو نوع من تكرار للأول. وأقترح أن تسمّى هذه العلاقة الخاصة بقانون الثمانيات.⁹

[الحروف المائلة في الأصل]

يشكّل هذا البيان خطوة مهمّة في تطوّر النظام الدوري لأنه يمثّل أول إعلان واضح عن قانون جديد لطبيعة تكرار خواص العناصر بعد

فترات معيّنة. ولا يتّضح إذا كان نيولندز يقصد الإيحاء بوجود علاقة بين الكيمياء والموسيقى. وعلى أي حال، فإن هذا التشبيه الخيالي ليس السبب الوحيد لاستبعاد كثير من الكيميائيين الحاضرين مخطّط نيولندز على عجل. ويعزى موقفهم العدائي إلى ميل البريطانيين في ذلك الوقت إلى الارتياب من الأفكار النظرية على العموم. وكان الردّ الأشهر على نيولندز هو ذلك المقتبس كثيراً عن جورج كاري فوستر (George Carey Foster)، الذي رأى أن نيولندز ربما كان حصل على تصنيف أفضل لو رتّب العناصر على حروف المعجم!

قرّر الكيميائيون المحتشدون في اجتماع جمعية لندن الكيميائية عدم السماح بنشر مقالة نيولندز في وقائع الجمعية. لكن ذلك لم يثن نيولندز عن نشر عدة مقالات إضافية في دورية «كيميكل نيوز» (Chemical News) الشهيرة، بما في ذلك مضمون العرض الذي قدّمه أمام جمعية لندن الكيميائية.

وفي مقالة نشرت في سنة 1866، حاول نيولندز الإجابة عن الانتقادات التي وُجّهت له في أثناء تقديم عرضه أمام الجمعية الكيميائية. وكان الجدول المرافق للمقالة المرّة الأولى التي يرتّب فيها نيولندز المجموعات الكيميائية في أعمدة رأسية. واتبع ترتيب العناصر التسلسل العددي مرّة أخرى، باستثناء ثلاثة انعكاسات (السيوم Ce واللانثانوم La مع الزركونيوم Zr؛ واليورانيوم U مع القصدير Sn؛ والتيلوريوم Te مع اليود I). وفي الاقتباس التالي يردّ على انتقاد أنه لم يترك فجوات وأن ذلك سيثير مشكلة عند اكتشاف عناصر في المستقبل.

إن وجود هذه العلاقة البسيطة [قانون الثمانيات] اليوم، يقدم إثباتاً افتراضياً بأنها ستستمر في الوجود دائماً، حتى إذا اكتشفت مئات العناصر. فعلى الرغم من أن الاختلاف في عدد العناصر المتماثلة يمكن في هذه الحالة أن يتغير من 7 إلى مضاعفات 7، أو 8، أو 9، أو 10، أو 20، أو أي رقم متصوّر، فإن وجود علاقة بسيطة بين العناصر لن تكون أقل وضوحاً.

كان نيولندز مصيباً بطبيعة الحال.¹¹ وثبتت صحة رأيه بالاكتشاف اللاحق للغازات الخاملة. فبدلاً من أن تحدث اضطراباً في النمط المتكرر، زادت مسافة التكرار بين الدورات المتتالية إلى 8 بدلاً من 7.¹² ولا شك في أن نيولندز يعدّ من بين الرواد الحقيقيين للنظام الدوري الحديث، لا سيما أنه أول من أدرك صراحة وجود القانون الدوري، وهو من عدة نواحٍ الجوهر الحقيقي للدورية الكيميائية.

وليام أدلنغ، الشخص

وليام أدلنغ كيميائي وعالم متميز شغل العديد من المناصب المهمة في مسيرته المهنية، خلافاً للعديد من مكتشفي النظام الدوري الذين يعتبرون هامشيين في تاريخ الكيمياء. وأهم هذه المناصب أنه خلف مايكل فاراداي (Michael Faraday) مديراً للمعهد الملكي في لندن. ويتميز أدلنغ بأنه حضر مؤتمر كارلسروهه، حيث قدّم محاضرة عن الحاجة إلى اعتماد نظام موحد للأوزان الذرية. وخلافاً لنيولندز الذي أجرى أولى محاولاته لوضع النظام الدوري من دون أن يعرف قيم الأوزان الذرية المقترحة لكانيزارو، تمكّن أدلنغ من استخدام هذه القيم من أولى محاولاته

لإنتاج جدول للعناصر. ففي أعقاب اجتماع كارلسروهه، أصبح أدلنغ أبرز مناصري آراء كانيزارو وأفوغادرو في إنكلترا. لذا فإن أدلنغ سبق الآخرين في إدراك أهمية قيم الأوزان الذرية الجديدة في تصنيف العناصر. ظهرت مقالته الرئيسة عن النظام الدوري في سنة 1864، عندما كان معلماً للكيمياء في مستشفى سانت برثولوميو في لندن. وفي حين أن جدول نيولندز في السنة نفسها أدرج أربعة وعشرين عنصراً فقط من بين ستين عنصراً معروفاً، فإن أدلنغ نجح في إدراج سبعة وخمسين عنصراً منها (الشكل 1,5). كما أن بحث أدلنغ يسبق إعلان نيولندز عن الدورة الكيميائية أمام جمعية لندن الكيميائية. مع ذلك، بدا أن الكيميائيين يعملان منفصلين تماماً أحدهما عن الآخر.

بدأ أدلنغ مقالته كما يلي:

عند ترتيب الأوزان الذرية أو الأعداد النسبية للعناصر الستين أو نحو ذلك المعروفة وفقاً لمقاديرها المتنوعة، نلاحظ استمرارية جلية في السلاسل الحسابية الناتجة...¹³

بعد ذلك يقدّم ملاحظة تعادل اكتشافاً مستقلاً للنظام الدوري:

إن السهولة التي ينسجم فيها هذا التسلسل الحسابي الصرف مع الترتيب الأفقي للعناصر وفقاً لمجموعاتها العادية تظهر في الجدول التالي، حيث التوالي العددي في الأعمدة الثلاثة الأولى تام، في حين توجد في العمودين الآخرين شذوذات قليلة وتافهة.¹⁴

			{ Ro 104	Pt 197
			{ Ru 104	Ir 197
			{ Pd 106.5	Os 199
			Ag 108	Au 196.5
..... H 1	..	..	Cd 112	Hg 200.....
.....	..	Zn 65	..	Tl 203
..... L 7	..	..	..	Pb 207.....
..... G 9	..	..	..	..
.....	Al 27.5	..	U 120	..
..... B 11	Si 28	..	Sn 118.....	..
..... C 12	P 31	As 75	Sb 122	Bi 210
..... N 14	S 32	Se 79.5	Te 129.....	..
..... O 16	Cl 35.5	Br 80	I 127	..
..... F 19	K 39	Rb 85	Cs 133	..
..... Na 23	Mg 24	Sr 87.5	Ba 137.....	..
.....	Ca 40	Zr 89.5	Ta 138	Th 231.5
.....	Ti 50	Ce 92	..	..
.....	Cr 52.5	Mo 96	{ V 137.....	..
.....	{ Mn 55		{ W 184	..
.....	{ Fe 56			..
.....	{ Co 59			..
.....	{ Ni 59			..
.....	{ Cu 63.5			..

الشكل 1، النظام الدوري لوليام أدلنغ. W. Odling, On the Proportional Numbers of the Elements, *Quarterly Journal of Science*, 1, 642-648, 1864, p. 643.

يتجلى إدراك أدلنغ لدورية الخواص الكيميائية في المجموعات الأفقية في الجدول. فقد لاحظ أن هناك عدداً كبيراً من أزواج العناصر المتماثلة كيميائياً، نصف العناصر المعروفة كافة، التي يقع الاختلاف في أوزانها

الذرية بين القيمتين 84,5 و 97. وبعض هذه الأزواج معروض في الشكل 6,1.

I	-	Cl	or	127	-	35.5	=	91.5
Au	-	Ag		296.5	-	108	=	88.5
Ag	-	Na		108	-	23	=	85
Cs	-	K		133	-	39	=	97

الشكل 6,1 جدول أدلنغ الأول للاختلافات. W. Odling, *Quarterly Journal of Science*, 1, 642-648, 1864.

لاحظ أدلنغ أيضاً أن نحو نصف الحالات المذكورة أعلاه تضمّ العضوين الأول والثالث من الثلاثيات* المعروفة سابقاً. ورأى أنه يمكن إيجاد عنصر متوسط للنصف الثاني ذكراً أن «اكتشاف عناصر وسيطة في حالة بعض أو كل الأزواج الأخرى ليس غير محتمل على الإطلاق». إذاً يوجد هنا مثال على توقع يقوم على أساس النظام الدوري، على الرغم من أنه توقع أولي لم يطوّر البتة.

قدّم أدلنغ زعمًا آخر بأن التشابهات الكيميائية بين العناصر التي تفصل بينها اختلافات تبلغ نحو 48 في الوزن الذري، مثل الكاديوم والزنك، أكبر من التشابهات بين أزواج العناصر، مثل الزنك والمغنيزيوم، التي تفصل بينها فترات أخرى، مثل 41 في هذه الحالة. وهكذا يبدو أنه أدرك الحاجة إلى فصل بعض العناصر (تلك التي أصبحت تعرف في النهاية باسم الفلزّات الانتقالية) عن المتن الأساسي للجدول. وبهذه الطريقة يمكن المحافظة على دورية خواصّ غالبية العناصر، كما تم فعله في النموذج

* مجموعات من ثلاثة من العناصر المتماثلة يساوي الوزن الذري لأحدها متوسط الوزنين الذريين تقريباً للعنصرين الآخرين - المترجم

المتوسط الطول الحديث للجدول.¹⁵ وإذا فصلت العناصر الانتقالية من النموذج القصير للجدول، فإنه يتم التشديد على العلاقة الدورية الأولية بين عناصر المجموعة الرئيسة وعلى استيعاب تباين أطوال الدورات بطريقة طبيعية.

الكاديوم والزنك من العناصر الانتقالية التي تظهر قرابة أولية من منظور الجدول الدوري الحديث. من ناحية أخرى، ينتمي الزنك والمغنيزيوم إلى الفلزّات الانتقالية ومجموعة العناصر الرئيسة على التوالي، ولا يظهران إلا قرابة ثانوية. وهكذا ربما استبق أدلغ الاتجاه الحديث لفصل الزنك والمغنيز في مجموعتين مختلفتين وكتلتين مختلفتين من الجدول الدوري.

غوستافوس هنريكس

إن حالة غوستافوس هنريكس (Gustavus Hinrichs) غير مألوفة بين مكتشفي النظام الدوري. فقد كانت اهتماماته العلمية واسعة وشديدة التنوع بحيث اعتبره بعض المعلقين شخصيّة غريبة. وُلد هنريكس في سنة 1836 في هولستين، وهي جزء من الدنمرك أصبحت مقاطعة ألمانية فيما بعد. نشر كتابه الأول في سنّ العشرين، عندما كان في جامعة كوبنهاغن. هاجر هنريكس إلى الولايات المتحدة في سنة 1861 هرباً من الاضطهاد السياسي. وبعد سنة واحدة من التعليم في مدرسة ثانوية، عيّن رئيساً لقسم اللغات الحديثة في جامعة أيوا وأصبح بعد سنة واحدة أستاذاً للفلسفة الطبيعية، والكيمياء، واللغات الحديثة. ويعود إليه الفضل أيضاً في إنشاء أول محطة أميركية للأرصاد الجوية في سنة 1875، والعمل مديراً لها لمدة أربع عشرة سنة.

شغل هنريكس عدداً من المناصب الأكاديمية، أولاً في جامعة ولاية أيوا ولاحقاً في جامعة ميسوري بسانت لويس، لكن يبدو أنه بذل جهداً مفرطاً بحيث أصبح غريب الأطوار. كما أنه نادراً ما أشار إلى المؤلفين الآخرين في مطبوعاته الكثيرة. كان هنريكس مؤلفاً غزير الإنتاج، نشر نحو ثلاثة آلاف مقالة بالدمغرية، والفرنسية والألمانية، فضلاً عن الإنجليزية، بالإضافة إلى خمسة وعشرين كتاباً بالإنجليزية والألمانية. وتشمل هذه الكتب كتابه الشديد الغرابة «ميكانيكا الذرات» (*Atomechanik*)، وفيه يقدم هنريكس آراءه عن تصنيف العناصر. ونشرت غالبية آراء هنريكس بلغات غير الإنجليزية لأنه انزعج من المحررين الأميركيين الذين يصرون على تصحيح عمله وبالتالي يتسببون بتأخير النشر. قليلة هي المقالات التي كُتبت عن هنريكس، وتصفه إحداها كما يلي:

ليس من الضروري أن نقرأ كثيراً من منشورات هنريكس العديدة لنذكر علامات حماسة أنانية تشوّه العديد من مساهماته بشذوذ لا يعث على الثقة. ولا يمكن إلا في هذا التاريخ المتأخر فصل الإلهامات الحقيقية - التي تضيء عليه سحراً بسرعة - عن المعلومات الأساسية التي اكتسبها في مسيرة تعلمه. وأياً يكن المصدر، فإن هنريكس يضيء عليه فخامة متعدّدة اللغات، ويصل في إخفاء هويته إلى حدّ اعتباره الفلسفة اليونانية ملكاً له.¹⁶

لكن النظر في عمل هنريكس بعناية يكشف عن وجود كثير من العلم النافع، إذا كان المرء مستعداً لبذل الوقت لتفحص مختلف أنواع أبحاثه.

يتبع هنريكس نهجاً فيثاغورياً في العلم وتستحوذ عليه العلاقات العديدة التي تشتمل على ظواهر متنوّعة. ويفترض بمقولة تنم عن عبقرية كبيرة بأن أطيف الذرات يمكن أن تقدّم معلومات عن أبعادها.¹⁷ وتمتدّ اهتمامات هنريكس الواسعة إلى علم التشریح. وعلى نحو كثير من المؤلفين من قبله، وصولاً إلى أفلاطون، لاحظ هنريكس الانتظامات العددية المتعلّقة بأحجام مدارات الكواكب. ففي مقالة نُشرت في سنة 1864، أنتج هنريكس الجدول التالي (الشكل 7,1).

البعد عن الشمس	
60	عطارد
80	الزهرة
120	الأرض
200	المريخ
360	كويكب
680	المشتري
1320	زحل
2600	أورانوس
5160	نبتون

الشكل 7,1 جدول هنريكس للمسافات بين الكواكب والشمس (1864). G. D. Hinrichs, *American Journal of Science and Arts*, 2, 37, 36-56, 1864

عبّر هنريكس عن الاختلافات في هذه المسافات بصيغة $2^x \times n$ ، حيث n الاختلاف في مسافتي الزهرة وعطارد عن الشمس، أو 20 وحدة. وتعطي الصيغة المسافات التالية تبعاً لقيمة x :¹⁸

$$x \ 20 = 20^0 \ 2$$

$$x \ 20 = 40^1 \ 2$$

$$x \ 20 = 80^2 \ 2$$

$$x \ 20 = 160^3 \ 2$$

$$x \ 20 = 320^4 \ 2$$

وهكذا دواليك.

قبل ذلك بيضع سنوات، كان كيرشوف (Kirchhoff) وبنزن (Bunsen) في ألمانيا قد اكتشفا أن كل عنصر يصدر ضوءاً، يمكن بعد ذلك تشييته بموشور زجاجي وتحليله كميًا.¹⁹ واكتشفاً أيضاً أن كل عنصر يعطي طيفاً فريداً يتكوّن من مجموعة محدّدة من الخطوط. وفي حين اقترح بعض المؤلّفين أن هذه الخطوط الطيفية ربما تقدّم معلومات عن مختلف العناصر التي تنتجها، فإن بنزن على وجه التحديد ظلّ معارضاً لهذه الفكرة.²⁰

غير أن هنريكس لم يتردّد في ربط الأطياف بذرّات العناصر. وأصبح مهتماً بأن تردّدات الخطوط الطيفية لأيّ عنصر معيّن تبدو دائماً مضاعفات العدد الكامل لأصغر اختلاف. على سبيل المثال، في حالة الكالسيوم، لوحظت النسبة 1:2:4 بين تردّداته الطيفية. أشار هنريكس إلى أنه بما أن أحجام مدارات الكواكب تنتج سلسلة منتظمة من أعداد كاملة، فإن النسب بين اختلافات الخطوط الطيفية تنتج أيضاً نسب أعداد كاملة. وادّعى أن سبب النسب الأخيرة ربما يرجع إلى نسب الأحجام بين الأبعاد الذريّة لمختلف العناصر (الشكل 1,8).

قادت هذه الفكرة هنريكس إلى وسيلة ناجحة وجديدة لتصنيف العناصر في جدول دوري. فقد وجد هنريكس، عند دراسة عمل

كيرشهوف وبنزن بعناية، أنه يمكن ربط بعض ترددات خطوط الطيف بكيمياء العناصر عبر أوزانها الذرية، بالإضافة إلى «أبعادها الذرية» المفترضة (الشكل 9,1). وبدا أن الاختلاف بين ترددات خطوط الطيف متناسب عكسياً مع الأوزان الذرية للعناصر المعنية. اقتبس هنريكس قيم الكالسيوم، حيث اختلاف التردد 4,8 وحدات، والباريوم، الشبيه كيميائياً ولكنه ذو وزن ذري أكبر ويظهر اختلافاً في التردد يبلغ 4,4 وحدات.²¹

من علم الفلك	↔	نسب ذات أعداد كاملة
من الأطياف	↔	نسب الأحجام بين الأبعاد الذرية

الشكل 8,1 شكل تخطيطي لمقولة هنريكس.

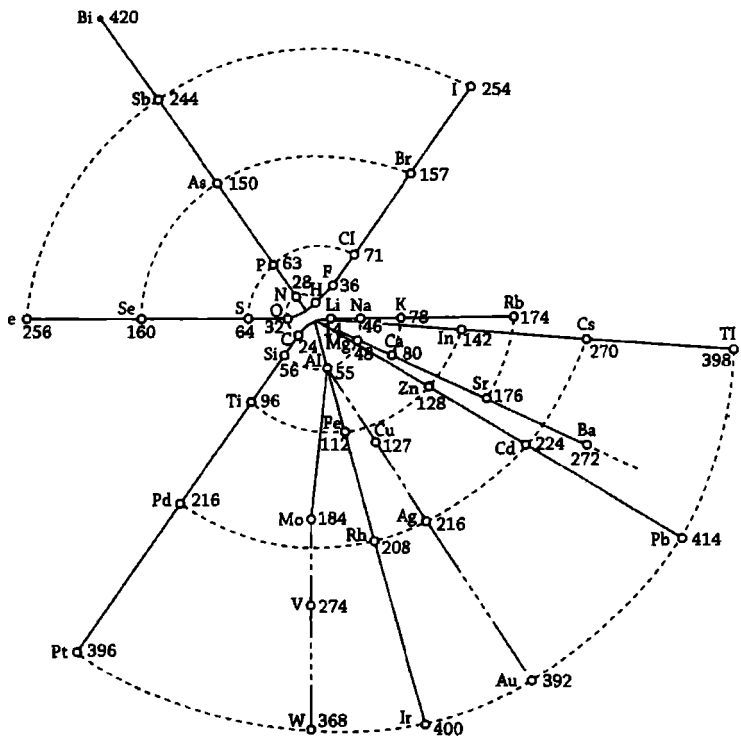
بلغ عمل هنريكس في تصنيف العناصر ذروته في نظامه الدوري الحلزوني المبين في الشكل 10,1. تتكوّن الخطوط الصادرة من مركز النظام الشبيه بالدولاب من ثلاث مجموعات تسودها اللافلزات وثمانية مجموعات تحتوي على فلزات. تبدو اللافلزات ذات ترتيب خاطئ من منظور حديث، حيث إن التسلسل هو المجموعات السادسة فالخامسة ثم السابعة عند البدء من اليسار إلى اليمين في أعلى الحلزون. وقد صنّف هنريكس المجموعة التي تضم الكربون والسيليكون مع المجموعات الفلزية، ربما لأنها تحتوي أيضاً فلزات النيكل، والبالاديوم، والبلاتين.²²

قصة سبعة عناصر

مجموعة الأكسجين		الصيغة التربيعية		$A = n \cdot 4^2$	
الاختلاف	det.	calc.	A	n	الأكسجين
0.0	16	= 16	1.4^2	1	الكبريت
0.0	32	= 32	2.4^2	2	السيليوم
0.0	80	= 80	5.4^2	5	التيلوروم
0.0	128	= 128	8.4^2	8	مجموعة الفلزات القلوية
		تربيع مع هرم		$A = 7 + n \cdot 4^2$	
0.0	7		7	0	الليثيوم
0.0	23	= 23	$7 + 1.4^2$	1	الصدوديوم
0.0	39	= 39	$7 + 2.4^2$	2	البوتاسيوم
-1.6	85.4	= 87	$7 + 5.4^2$	5	الروبيديوم
-2.0	133	= 135	$7 + 8.4^2$	8	السيزيوم
		الصيغة التربيعية		$A = n \cdot 3^2 + 1$	
0.0	19	= 19	$2 \cdot 3^2 + 1$	2	الفلور
+0.5	35.5	= 35	$4 \cdot 3^2 - 1$	4	الكالور
0.0	80	= 80	$9 \cdot 3^2 - 1$	9	البروم
0.0	127	= 127	$14 \cdot 3^2 + 1$	14	اليود
		الصيغة التربيعية		$A = n \cdot 2^2$	
0.0	12	= 12	$3 \cdot 2^2$	3	المغنيسيوم
0.0	20	= 20	$5 \cdot 2^2$	5	الكالسيوم
-0.2	43.8	= 44	$11 \cdot 2^2$	11	السترونشيوم
+0.5	68.5	= 68	$17 \cdot 2^2$	17	الباريوم

الشكل 9, 1 جدول هنريكس للأوزان الذرية والأبعاد الذرية لعدد من مجموعات العناصر. أعيد رسمه نقلاً عن

G. D. Hinrichs, *American Journal of Science and Arts*: 1866, 368-350, 42, 2.



الشكل 10,1 النظام الدوري الحلزوني لهنريكس. G. D. Hinrichs, *Programm der Atomechanik oder die Chemie eine Mechanik de Pantome*, Augstus Hageboek, .Iowa City, IA, 1867

غير أن النظام الدوري لهنريكس ناجح إلى حد ما في تجميع العديد من العناصر المهمة معاً، ومن مزاياه الرئيسة وضوح مجموعاته مقارنة بنظامي نيولندز الدورين الأكثر تفصيلاً والأقل نجاحاً في سنتي 1864 و1865.²³ من الواضح من كتب هنريكس أنه كان لديه معرفة عميقة بالكيمياء، بالإضافة إلى ممرس بعلم المعادن.²⁴ مع ذلك فإن نهجه في تصنيف العناصر كان كيميائياً جزئياً فحسب. وربما كان أكثر مكتشفي النظام الدوري تعدداً للاختصاصات؛ بل إن وصول هنريكس إلى نظامه من اتجاه مختلف

عن الآخرين يمكن أن يضيفي على النظام الدوري نفسه دعماً مستقلاً مثلما فعلت دراسات لوثر ماير للدورية الفيزيائية، التي سننظر فيها بعد قليل.

في مقالة نشرت في مجلة «ذا فارمسست» (*The Pharmacist*) في سنة 1869، بحث هنريكس المحاولات السابقة غير الناجحة لتصنيف العناصر لكنه لم يذكر أياً من مشاركيه في الاكتشاف مثل دي شانكورتوا، أو نيولندز، أو لوثر، أو مندلييف. بل يبدو أن هنريكس تعمّد تجاهل كل المحاولات الأخرى لإسناد تصنيف العناصر إلى أوزانها الذرية مباشرة، مع أن في وسع المرء أن يفترض أنه على دراية بهم، بالنظر إلى إتقانه لغات أجنبية.²⁵

أخيراً يجب التأكيد على أن هنريكس سبق زمنه على ما يبدو في منح أهمية عظيمة لتحليل أطيايف العناصر وفي محاولة ربط هذه الحقائق بالتصنيف الدوري.²⁶ وربما أصبحت دراسة الطيف الطريقة الأولية لتحديد العناصر الجديدة، كما سئرى عندما نتناول العناصر السبعة المفقودة التي اكتُشفت في القرن العشرين.

يتسم عمل هنريكس بالخصوصية الفردية ويشبهه المتاهة، أكثر من أعمال أي من العلماء الآخرين الذين يتناولهم هذا الكتاب، بحيث يتطلب إنتاجه دراسة كاملة قبل التمكن من تقييمها تقييماً كافياً.

يوليوس لوثر ماير

ولد يوليوس لوثر ماير في سنة 1830 في هيلبرون بألمانيا. وهو الرابع بين سبعة أبناء لأب طبيب وأم كان والدها طبيباً محلياً أيضاً. بدأ يوليوس

وأحد إخوانه، أوسكار، دراساتهمما بغية متابعة التقليد الطبي للعائلة، لكن لم يمض وقت طويل حتى تحوّل كل منهما إلى مجال آخر. أصبح أوسكار فيزيائياً، في حين أصبح يوليوس أحد أكثر الكيميائيين نفوذاً في عصره. يُذكر لوثر ماير لاكتشافه النظام الدوري مستقلاً، على الرغم من أن مزيداً من الفضل يمنح إلى مندلييف دائماً. وقد اشترك الكيميائيان في نهاية المطاف في نزاع مرير على الأسبقية، فاز فيه مندلييف في الظاهر، ويرجع ذلك جزئياً إلى قوة شخصيته. لا شك في أن مندلييف وضع نظاماً أكثر اكتمالاً وانتقل إلى إطلاق التوقعات بناء على نظامه. وبلغ في دعمه قضية القانون الدوري أيضاً حداً أبعد بكثير مما فعله ماير. لكن إذا سأل المرء من توصل إلى النظام الدوري الناضج أولاً، يمكن تقديم حجة قوية بأن نظام لوثر ماير لم يكن في كثير من التفاصيل الحاسمة الأول فحسب وإنما الأصح أيضاً.

حضر لوثر ماير مؤتمر كارلسروهه في سنة 1860 وعرف مباشرة عن عمل كانيزارو المبتكر عن الأوزان الذرية للعناصر.²⁷ وبعد ذلك حرّر نسخة من مقالة كانيزارو التي ظهرت في ألمانيا في سلسلة أوستوالد (Ostwald) بعنوان «العلوم الكلاسيكية» (Klassiker der Wissenschaften). ووصف لوثر ماير لاحقاً الأثر الذي تركته مقالة كانيزارو فيه قائلاً، «سقطت الغشاوة عن عيني وزالت شكوكي وحل شعور باليقين الهادئ».²⁸ في سنة 1864، نشر لوثر ماير الإصدار الأول لكتاب دراسي كيميائي، «نظرية الكيمياء الحديثة» (Die Modernen Theorie der Chemie)، الذي تأثر كثيراً بعمل كانيزارو. وقد ظهر الكتاب في خمسة إصدارات وترجم إلى الإنجليزية، والفرنسية، والروسية، وأصبح في النهاية أحد أكثر المعالجات مرجعية في

المبادئ النظرية للكيمياء قبل مجيء الكيمياء الفيزيائية في نهاية القرن التاسع عشر.

عندما كتب لوثر ماير مخطوطة كتابه في سنة 1862، كان قد أنتج جدولاً من ثمانية وعشرين عنصراً مرتبة وفقاً لتزايد الوزن الذري. وظهر في الكتاب جدول مجاور يحتوي على اثنين وعشرين عنصراً إضافية أيضاً، على الرغم من أن هذه العناصر لم تكن مرتبة وفقاً للوزن الذري. وقد أنجز كل ذلك بعد سنتين من اجتماع كارلسروهه.²⁹

نشر لوثر ماير جدولته الذي يحتوي على ثمانية وعشرين عنصراً لأول مرة في سنة 1864 (الشكل 1، 11). وقد كان ترتيبه للعناصر وفقاً للوزن الذري وإقامة علاقات أفقية واضحة بينها حالة أخرى سبق فيها مندلييف بعدة سنوات.³⁰

يظهر جدول لوثر ماير لسنة 1864 بوضوح أيضاً للمرة الأولى تبايناً منتظماً في تكافؤ العناصر، من 4 إلى 1 عند الانتقال من اليسار إلى اليمين عبر الجدول، ويلي ذلك تكرار للتكافؤ 1 وتزايد إضافي للعناصر ذات التكافؤ 2.³¹ ويوحى الجدول بأن لوثر ماير بذل جهداً كبيراً لترتيب العناصر تبعاً للوزن الذري بالإضافة إلى الخواص الكيميائية. ويبدو أنه قرّر جعل الخواص الكيميائية تتفوق على ترتيب الوزن الذري الصارم في بعض الحالات. ومن الأمثلة على ذلك تصنيف التيلوريوم مع عناصر مثل الأكسجين والكبريت، في حين صنّف اليود (رمزه I بالألمانية) مع الهالوجينات، على الرغم من انخفاض وزنه الذري. وفصل لوثر ماير أيضاً بين العناصر في جدولين بطريقة تتوافق مع فصلنا مجموعة العناصر الرئيسية الحديثة عن العناصر الانتقالية الحديثة.³²

من دالتون إلى اكتشاف الجدول الدوري

	4 werthig	3 werthig	2 werthig	1 werthig	1 werthig	2 werthig
	—	—	—	—	Li = 7.03	(Be = 9.3?)
Differenz =	—	—	—	—	16.02	(14.7)
	C = 12.0	N = 14.04	O = 16.00	Fl = 19.0	Na = 23.05	Mg = 24.0
Differenz =	16.5	16.96	16.07	16.46	16.08	16.0
	Si = 28.5	P = 31.0	S = 32.07	Cl = 35.46	K = 39.13	Ca = 40.0
Differenz =	$\frac{89.1}{2} = 44.55$	44.0	46.7	44.51	46.3	47.6
	—	As = 75.0	Se = 78.8	Br = 79.97	Rb = 85.4	Sr = 87.6
Differenz =	$\frac{89.1}{2} = 44.55$	45.6	49.5	46.8	47.6	49.5
	Sn = 117.6	Sb = 120.6	Te = 128.3	I = 126.8	Cs = 133.0	Ba = 137.1
Differenz =	$89.4 = 2 \times 44.7$	$87.4 = 2 \times 43.7$	—	—	$(71 = 2 \times 35.5)$	—
	Pb = 207.0	Bi = 208.0	—	—	(Tl = 204?)	—

الشكل 11,1 النظام الدوري للوثر ماير في سنة 1864. J. Lothar Meyer, *Die Modernen*. صدرت الترجمة الإنجليزية عن لونغان، لندن، في سنة 1888. *Theorie der Chemie*, Breslau, Wroklaw, 1864.

ومن المزايا التي تجدر ملاحظتها في جدول لوثر ماير لسنة 1862 (نشر في سنة 1864) وجود العديد من الفجوات التي تشير إلى عناصر مجهولة. ويبدو مرة أخرى أن ترك الفجوات لم يبدأ مع مندلييف الذي انتظر خمس سنوات أخرى قبل أن يغامر بنشر النظام الدوري وتقديم توقعات مفصلة أصبح مشهوراً جداً بسببها لاحقاً.

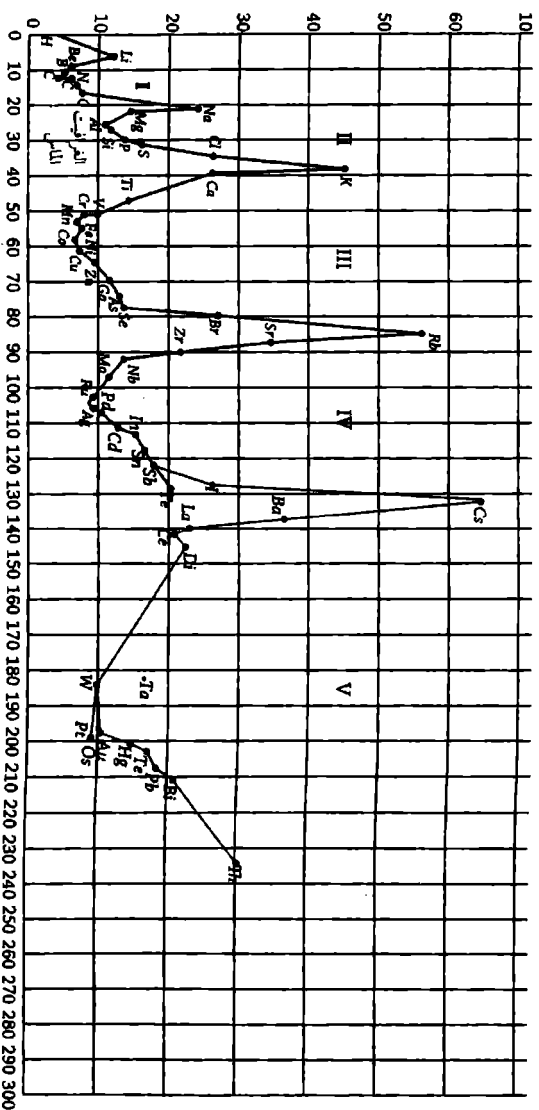
يحتوي جدول لوثر ماير على استكمالات بين العناصر المتجاورة. ففي الفراغ الذي يلي عنصر السيليكون (Si) مثلاً، أشار إلى وجود وجود عنصر يكون وزنه الذري أكبر من الوزن الذري للسيليكون بمقدار 44,5. ويعني ذلك أن الوزن الذري لعنصره المجهول يبلغ 73,1.

وتبيّن عندما اكتُشف أن وزنه الذريّ 3,72. ويعزى هذا التوقع لعنصر الجرمانيوم، الذي عُزل في سنة 1886، لمندلييف عادة على الرغم من أن لوثر ماير سبقه في هذا الجدول المبكر المنشور في سنة 1864.³³

لكن ربما تكمن أعظم مواطن قوّة لوثر ماير في معرفته الإضافية للخواصّ الفيزيائية واستخدامه لها في إنشاء تمثيلات للنظام الدوري. فقد أولى اهتماماً كبيراً للأحجام الذريّة للعناصر، وكثافتها، وصهورياتها (قابلية انصهارها) على سبيل المثال. وأسهم رسمه المنشور الذي يظهر الدوريّة بين الأحجام الذريّة للعناصر (أي الوزن الذريّ مقسوماً على الثقل النوعي) كثيراً في تشجيع القبول العام للنظام الدوري (الشكل 1,12)، إذ يستطيع المرء مشاهدة الدوريّة بين العناصر بنظرة سريعة.

يبدو أن مندلييف خرج منتصراً من الخلاف بينه وبين لوثر ماير، الذي أعقب نشر نظاميهما الدوريين. لكن ثمة حادثة مثيرة للاهتمام، لم يكشف عنها إلا بعد فترة طويلة. وربما كانت قد أحدثت اختلافاً كبيراً لو عُرفت مبكراً. عندما كان لوثر ماير يعدّ الإصدار الثاني من كتابه في سنة 1868، أنتج نظاماً دورياً موسعاً جداً يشمل أربعة وعشرين عنصراً إضافياً وتسع عائلات عمودية جديدة من العناصر (الشكل 1,13). وقد سبق هذا النظام جدول مندلييف الشهير لسنة 1869 الذي اعتُبر لاحقاً بأنه النظام الدوري الناضج. كما أن نظام لوثر ماير كان أكثر دقّة من نظام مندلييف. على سبيل المثال، وضع لوثر ماير مصيباً الزئبق مع الكدميوم، والرصاص مع القصدير، والثاليوم مع البورون، في حين أن جدول مندلييف لم يظهر أيّاً من هذه الارتباطات.³⁴

يبدو أن جدول لوثر ماير لسنة 1868 لم يُنشر لسبب لا يمكن تفسيره.



النسكل 12, 1 رسم لوثر مایر للحجم الذري، J. Lothar Meyer, Die Natur der chemischen Elemente als Funktion ihrer Atogewichte، Lieb. Ann. Suppl. 7, 354-364, 1870

وبعد ما لا يقل عن خمس وعشرين سنة، كشف كيميائي ألماني آخر، أدولف ريمله (Adolph Remelé) عن جدول لوثر ماير الذي كان قد نسي كل شيء عن وجوده في ذلك الوقت. وفي سنة 1895، بعد وفاة لوثر ماير، نشر زويرت (Seubert)، أحد زملائه الآخرين، الجدول المنسي. لكن هذه المحاولة المتأخرة كثيراً لم تنجح في إعادة مغزى كبير لأسبعية لوثر ماير.

ديمتري مندلييف

ديمتري إيفانوفتش مندلييف هو أشهر العلماء الروس في الحقبة الحديثة. وهو المكتشف الرئيس للنظام لكنه أدرك أيضاً أن هذا النظام

جدول ماير لسنة 1868

1	2	3 Al=27.3 28.7/2=14.8	4 Al=27.3	5	6	7	8 C=12.00 16.5 Si=28.5 89.1/2=44.5
Cr=52.6	Mn=55.1 49.2 Ru=104.3 92.8=2.46.4 Pt=197.1	Fe=56.0 48.9 Rh=103.4 92.8=2.46.4 Ir=197.1	Co=58.7 47.8 Pd=106.0 93=2.465 Os=199.	Ni=58.7	Cu=63.5 44.4 Ag=107.9 88.8=2.44.4 Au=196.7	Zn=65.0 46.9 Cd=111.9 88.3=2.44.5 Hg=200.2	89.1/2=44.5 Sn=117.6 89.4=2.41.7 Pb=207.0
9 N=14.4 16.96 P=31.0 44.0 As=75.0 45.6 Sb=120.6 87.4=2.43.7 Bi=208.0	10 O=16.00 16.07 S=32.07 46.7 Se=78.8 49.5 Te=128.3	11 F=19.0 16.46 Cl=35.46 44.5 Br=79.9 46.8 I=126.8	12 Li=7.03 16.02 Na=23.05 16.08 K=39.13 46.3 Rb=85.4 47.6 Cs=133.0 71=2.35.5 Te=204.0	13 Be=9.3 14.7 Mg=24.0 16.0 Ca=40.0 47.6 Sr=87.6 49.5 Ba=137.1	14 Ti=48 42.0 Zr=90.0 47.6 Ta=137.6	15 Mo=92.0 45.0 Vd=137.0 47.0 W=184.0	

الشكل 13,1 نظام لوثر ماير لسنة 1868. نظام غير منشور.

يشير إلى قانون عميق للطبيعة، القانون الدوري. وبعد ذلك أمضى عدة سنوات في استخراج العواقب الكاملة لهذا القانون، وتحديدًا توقع وجود العديد من العناصر الجديدة وخواصها. كما أنه صحّح الأوزان الذرية لبعض العناصر المعروفة بالفعل وغير بنجاح موقع بعض العناصر الأخرى في الجدول الدوري.

الأهم من ذلك كله أن مندليف جعل الجدول الدوري ملكه، بمتابعة دراسته وتطويره خلال عدة فترات من حياته، مع أنه عمل في عدد من المجالات الأخرى الشديدة التنوع. بالمقابل، لم يتابع معظم أسلافه أو المكتشفون المشاركون العمل على اكتشافاتهم الأولية. ونتيجة لذلك، ارتبط اسم مندليف دائماً بالجدول الدوري مثلما ارتبط التطور بالانتقاء الطبيعي ونظرية النسبية بداروين وأينشتاين على التوالي.

عندما كان مندليف صبيًا، أصيب والده بالعمى وسرعان ما توفي. تربى ديمتري، أصغر الأشقاء الأربعة عشر في كنف أمه المحبّة التي كانت مصرّة على توفير أفضل تعليم ممكن له. فأخذت الفتى مندليف في رحلة تبعد مئات الأميال في محاولة لإحاقه بجامعة موسكو. لكن رُفض مندليف بسبب أصوله السييرية ولأن الجامعة لا تقبل إلا الروس. لم يشن ذلك والده مندليف فنجحت في إحاقه بالمعهد التعليمي الرئيس في سانت بطرسبرغ، حيث بدأ بدراسة الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا. لكن والده مندليف توفيت سريعاً بعد دخوله هذا المعهد.

بعد أن أكمل مندليف دراسته الجامعية، أمضى بعض الوقت في فرنسا، وفي ألمانيا لاحقاً، حيث التحق بمختبر روبرت بنزن، على الرغم من أنه فضّل البقاء في الوطن وإجراء تجاربه على طبيعة الغازات. وفي تلك

الفترة كان مندلييف محظوظاً بحضور مؤتمر كارلسروهه في سنة 1860، لا لأنه كيميائي بارز وإنما لأنه كان موجوداً في المكان المناسب في الوقت المناسب. وقد كان مؤتمراً محورياً قَدّم فيه العلماء الأوروبيون البارزون أفكارهم عن الأوزان الذرية وطبيعة الذرات والجزيئات. وسرعان ما استوعب مندلييف قيمة أفكار كانيزارو، مثلما فعل لوثر ماير، مع أن تحوّلَه إلى استخدام الأوزان الذرية لكانيزارو حدث بعد فترة طويلة من قيام لوثر ماير بذلك على ما يبدو.

وفي سنة 1865، دافع مندلييف عن أطروحتَه للدكتوراه عن التفاعل بين الكحول والماء وبدأ العمل على كتاب عن الكيمياء غير العضوية لتحسين تدريس هذا الموضوع. في المجلّد الأول من الكتاب عالج العناصر الأكثر شيوعاً من من دون أي ترتيب معيّن. وبحلول سنة 1868، أكمل هذا المجلّد وبدأ التفكير في كيفية الانتقال إلى العناصر المتبقية في المجلّد الثاني.

اكتشاف الجدول الدوري من قبل مندلييف

على الرغم من أن مندلييف كان يفكر في العناصر، والأوزان الذرية، والتصنيف منذ نحو عشر سنوات، فإنه يبدو أنه وصل إلى لحظة الاكتشاف في 17 فبراير 1869. في ذلك اليوم ألغى رحلة استشارية وقرّر العمل على ما أصبح يعرف بجدوله الدوري.

أولاً، أدرج رموز حفنة من العناصر في صفين:

Na	K	Rb	Cs
Be	Mg	Zn	Cd

ثم أنتج مصفوفة أكبر من ستة عشر عنصراً

F	Cl	Br	I			
Na	K	Rb	Cs		Cu	Ag
Mg	Ca	Sr	Ba	Zn	Cd	

وبحلول الليل كان مندليف قد رسم جدولاً دورياً يشمل العناصر الثلاثة والستين المعروفة. وأدرج أيضاً عدّة فجوات لعناصر مجهولة وتوقع الأوزان الذرية لبعض هذه العناصر. طبعت مثلاً نسخة من هذا الجدول الأول وأرسلت إلى الكيميائيين في جميع أنحاء أوروبا. وفي 6 مارس من السنة نفسها أعلن عن الاكتشاف في اجتماع للجمعية الكيميائية الروسية التي أنشئت حديثاً. وفي غضون شهر ظهرت مقالة في دورية الجمعية المكوّنة حديثاً، كما ظهرت مقالة أخرى طويلة في ألمانيا.

اختلف النهج العلمي الذي اتبعه مندليف اختلافاً كبيراً عن نهج منافسه لوثر ماير في أن مندليف لم يكن يؤمن بوحدة المادة بأكملها ولا يؤيد فرضية براوت (Prout)* عن الطبيعة المركبة للعناصر. وحرص مندليف أيضاً على النأي بنفسه عن فكرة ثلاثيات** العناصر. على سبيل المثال، اقترح وجوب تصنيف الفلور مع الكلور، والبروم، واليود مع أن ذلك يعني ضمناً تجاوز ثلاثية لتشكيل مجموعة تضم أربعة عناصر على الأقل (الشكل 14,1).

وفي حين ركّز لوثر ماير على المبادئ الفيزيائية، لا سيما الخواص الفيزيائية للعناصر، فإن مندليف ركّز على الخصائص الكيميائية. لكن عندما حان وقت اتخاذ قرار بشأن المعيار الأهم لتصنيف العناصر، أكد

* فرضية طرحها الإنجليزي وليام براوت في سنة 1815 ومفادها أن الأوزان الذرية للعناصر مضاعفات كاملة للوزن الذري للهيدروجين - المترجم
** انظر الملاحظة السابقة ص 52 - المترجم

الجدول الدوري - 1 1871

Series.	Group I. R ₁ O ₁	Group II. RO ₁	Group III. R ₂ O ₃	Group IV. RH ₄ RO ₂	Group V. RH ₅ RO ₃	Group VI. RH ₆ RO ₃	Group VII. RH ₇ RO ₂	Group VIII. RO ₄
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	H=1 Li=7 Na=23 K=39 (Cu=63) Rb=85	Be=9.4 Mg=24 Ca=40	B=11 Al=27.3 —=44 —=68	C=12 Si=28 Ti=48 —=72 Zn=90	N=14 P=31 V=51 As=75 Nb=94	O=16 S=32 Cr=52 Se=78 Mo=96	F=19 Cl=35.5 Mn=55 Bi=80 —=100	Fe=56, Ce=59 Ni=59, Cu=63 Ru=194, Rh=104 Pd=106, Ag=108
	(Ag=108) Ce=133	Cd=112 Ba=137	In=113 ? Di=138	Sn=118 ? Ce=140	Sb=122	Te=125	I=127	
	.....	.....	? Er=178	? La=180	Ta=182	W=184	.....	Os=195, Ir=197 Pt=198, Au=199
	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	U=240	.....	.....
	.....	.....	.....	Th=231	.....	.....	.....	.....

D. Mendeleev, *Zhurnal Russkoe Fiziko-Khimicheskoe Observestvo*. 1871. نسخة المنشور في الشكل 14, 1 الجدول الدوري لتدليف المنشور في سنة 1871.

(1871) 25, 3

مندلييف على الترتيب وفقاً للوزن الذري من دون أي استثناء. ومع أن أسلاف مندلييف أدركوا أهمية الترتيب وفقاً للوزن الذري، فإن مندلييف توصل إلى فهم فلسفي عميق للأوزان الذرية وطبيعة العناصر، ما سمح له بالتقدم إلى مجال غير مستكشف تماماً.

طبيعة العناصر عند مندلييف

هناك لغز قائم منذ مدة طويلة في الكيمياء. عندما يتحد الصوديوم والكلور، على سبيل المثال، فإنهما يشكّلان مادة جديدة تماماً تسمى كلوريد الصوديوم. لكن يبدو أن المادتين المتحدتين لا تبقيان في المركب، من منظور بصري على الأقل. هذه هي ظاهرة الترابط الكيميائي التي تختلف اختلافاً ملحوظاً عن الخلط الفيزيائي لمسحوق الكبريت وبرادة الحديد مثلاً.

القضية هي فهم كيف تبقى العناصر المتحدة (إذا بقيت) في المركب. وتزداد المسألة تعقيداً بأننا ما زلنا نستخدم في العديد من اللغات، ومن بينها الإنجليزية، كلمة «عنصر» للإشارة إلى المادة المركبة - مثل الكلور عندما يكون موجوداً في كلوريد الصوديوم. كما أن أساس غاز الكلور الأخضر غير المتحد والكلور المتحد يسمى أحياناً «عنصراً». لذا يوجد لدينا ثلاثة معانٍ للمصطلح الكيميائي المركزي لوصف المواد التي يفترض أن يصنّفها الجدول الدوري.

أطلق على المعنى الثالث «للعنصر»، كما ورد أعلاه، اسم العنصر الماورائي (metaphysical)، والعنصر المجرد، والعنصر السامي، ومؤخراً «العنصر باعتباره مادة أساسية». هذه هي فكرة العنصر بوصفه الحامل

المجرّد للخواصّ، لكنه يفتقر إلى الخواصّ البارزة مثل اللون الأخضر للكُلور. ويفترض في غضون ذلك أن يكون الكلور الأخضر العنصر الموجود باعتباره «المادّة البسيطة».³⁵

عندما أحدث أنطوان لافوازييه ثورة في الكيمياء في نهاية القرن الثامن عشر، كان من مساهماته تركيز الاهتمام على العنصر باعتباره مادّة بسيطة - أي العنصر في شكله المعزول. كان الغرض من هذه الخطوة تحسين الكيمياء بتخليصها من الأثقال الماورائية المفرطة وشكّلت خطوة إلى الأمام بالفعل. ورأى لافوازييه أن «العنصر» يجب أن يعتبر أساساً الخطوة النهائية في فصل العناصر في أي مركّب. ثمة خلاف بشأن ما إذا كان لافوازييه يريد استبعاد المعنى المجرّد والفلسفي «للعنصر»، لكن لا شك في أن المعنى الأخير تراجعت أهميته خلف معنى العنصر الذي يمكن عزله. مع ذلك، لم يُنسَ المعنى المجرّد تماماً وكان مندلييف من الكيميائيين الذين اقترحوا رفع مكانته. بل إنه ادّعى تكراراً أن النظام الدوري هو أساساً تصنيف لمعنى مصطلح عنصر المجرّد وليس بالضرورة العنصر الملموس الذي يمكن عزله.

تمكّن مندلييف، مسلّحاً بهذه الفكرة، من إلقاء نظرة أعمق إلى العناصر من نظرة الكيميائيين الذين حصروا أنفسهم بالعناصر المعزولة فقط. وقد أتاحت هذه النظرة الفلسفية العميقة لمندلييف إمكانية تجاوز المظاهر. فإذا كان أي عنصر لا يتلاءم مع مجموعة معيّنة في الظاهر، ففي وسع مندلييف أن يستفيد من المعنى الأعمق لمصطلح «عنصر» وبالتالي أن يتجاهل إلى حدّ ما الخواصّ الظاهرية للعنصر باعتباره مادّة معزولة أو بسيطة.

التوقعات

من أعظم انتصارات مندلييف، وربما الانتصار الأشهر، التوقع الصحيح بوجود العديد من العناصر الجديدة. كما أن مندلييف عدّل الأوزان الذريّة لبعض العناصر، بالإضافة إلى تغيير أماكن عناصر أخرى ونقلها إلى مواقع جديدة في الجدول الدوري. وربما يرجع هذا التبصّر، كما أشير في القسم السابق، إلى فهمه الفلسفي لطبيعة العناصر أكثر من سابقه. فقد تمكّن بالتركيز على المفهوم المجرد للعناصر من التغلّب على أي عقبة تنشأ عن أخذ القيمة الاسمية لخواصّ العناصر المعزولة.

على الرغم من أن مندلييف منح الأوزان الذريّة للعناصر الأهمية العظمى، فإنه نظر أيضاً في الخواصّ الفيزيائية والتشابهات العائلية فيما بينها. وفي حين ركّز لوثر ماير على الخواصّ الفيزيائية، فإن مندلييف أولى مزيداً من الاهتمام لكيمياء العناصر. ومن المعايير الأخرى التي استخدمها مندلييف أن كل عنصر يشغل مكاناً واحداً في الجدول الدوري، على الرغم من أنه كان مستعداً لخرق هذه الفكرة عندما تعلق الأمر بما أسماه المجموعة الثامنة VIII (الشكل 14,1)، حيث شغل ما يصل إلى أربعة عناصر المكان نفسه. غير أن المعيار الأكثر أهمية هو ترتيب العناصر وفقاً لتزايد أوزانها الذريّة. وفي حالة أو اثنتين بدا كأنه يخرق هذا المبدأ، على الرغم من أن إلقاء نظرة أعميق تظهر أن القضية أعقد من ذلك بكثير.

تشكل حالة التيلوريوم واليود واحدة من خمسة انعكاسات في النظام الدوري. وهذه هي العناصر المتابعة التي تظهر بالترتيب المعاكس لترتيب تزايد الأوزان الذريّة (التيلوريوم $Te = 127,6$ ، واليود $I = 126,9$ ، ومع ذلك يظهر التيلوريوم قبل اليود). ثمة روايات عديدة تحدّثت عن حكمة

مندليف في عكس موقعي هذين العنصرين، ما يجعل الخواص الكيميائية فوق الترتيب وفقاً للوزن الذري. غير أن هذا الزعم غير صحيح. أولاً، لم يكن مندليف أول كيميائي يلجأ إلى هذا العكس تحديداً. فقد نشر أدلنغ، ونيولندز، ولوثر ماير جداول عكس فيها موقعا التيلوريوم واليود قبل وقت طويل من ظهور مقالات مندليف. ثانياً، لم يشدد مندليف على الخواص الكيميائية أكثر من الترتيب وفقاً للوزن الذري.

لقد أكد مندليف على معيار ترتيب العناصر وفقاً لتزايد الوزن الذري وذكر تكراراً أن هذا المبدأ لا يحتمل أي استثناء. بل إنه اعتقد بأن الوزن الذري لأحد هذين العنصرين أو كليهما غير صحيح التحديد، وأن المستقبل سيكشف أن التيلوريوم يجب أن يوضع قبل اليود، حتى على أساس ترتيب الوزن الذري. لكن مندليف أخطأ في تأكيد هذه النظرة.

عندما اقترح مندليف أول الأنظمة الدورية، كان يعتقد أن الوزن الذري للتيلوريوم واليود 128 و127 على التوالي. غير أن اعتقاد مندليف بأن الوزن الذري هو أساس المبدأ الترتيبي لم يترك له خياراً سوى التشكيك في صحة هاتين القيمتين. ومرّد ذلك أن من الواضح وجوب تصنيف التيلوريوم مع عناصر المجموعة السادسة VI واليود مع عناصر المجموعة السابعة VII. لذا زعم أنه يجب «عكس» ترتيب هذين العنصرين.

شكّ مندليف في البداية بالوزن الذري للتيلوريوم في حين أنه اعتقد بصحة الوزن الذري لليود. وأخذ يدرج التيلوريوم في بعض جداوله الدورية باعتبار أن وزنه الذري 125. وفي الوقت نفسه، زعم مندليف أن القيمة 128 التي شاع الإبلاغ عنها جاءت نتيجة قياسات أجريت

على مزيج من التيلوريوم وعنصر جديد أسماه إكا تيلوريوم. وقد شرع الكيميائي التشيكي بوهوسلاف برونر (Bohoslav Brauner)، مدفوعاً جزئياً بهذه المزاعم، في سلسلة من التجارب بغية إعادة تحديد الوزن الذري للتيلوريوم. وفي سنة 1883، أفاد برونر بوجود تغيير الوزن الذري للتيلوريوم إلى 125. وفي سنة 1889، حصل برونر على نتائج جديدة تدعم النتيجة السابقة بأن $Te = 125$. وقد سرّ مندليف بهذه النتائج بطبيعة الحال.

لكن في سنة 1895، بدأ برونر الإبلاغ عن قيمة جديدة للتيلوريوم تفوق قيمة اليود، وبالتالي عادت الأمور إلى نقطة الانطلاق الأولية. ردّ مندليف بالتشكيك الآن في دقة الوزن الذري لليود بدلاً من التيلوريوم. وطلب إعادة تحديد الوزن الذري لليود على أمل أن تكون قيمته أكبر. بل إن مندليف أدرج في بعض جداوله الدورية المتأخرة التيلوريوم واليود باعتبار أن وزنيهما الذريين 127. ولم تحل المشكلة إلا في سنتي 1913-1914 على يد موزلي الذي بيّن أنه يجب ترتيب العناصر وفقاً للعدد الذري لا الوزن الذري. فمع أن للتيلوريوم وزناً ذرياً أكبر من اليود، فإن عدده الذري أصغر، ولذلك يجب وضعه بالفعل قبل اليود بالتوافق التام مع سلوكه الكيميائي.

توقعات مندليف

على الرغم من أن توقعات مندليف قد تبدو عجائبية، فإنها استندت إلى استكمال خواص العناصر المجاورة للعناصر المجهولة بعناية. وكان قد بدأ بإطلاق التوقعات عندما نشره نظامه الدوري الأول في سنة 1869، على

الرغم من أنه نشر رواية أكثر تفصيلاً في بحث طويل في سنة 1871. ركّز أولاً على فجوتين، واحدة تحت الألمنيوم، والأخرى تحت السيليكون، أسماههما مؤقتاً إكا ألمنيوم وإكا بورون، حيث تعني البادئة السنسكريتية إكا «شبيه». كتب مندليف في بحثه المنشور في سنة 1869،

علينا أن نتوقع اكتشاف عناصر غير معروفة بعد، مثل العنصرين الشبيهين بالألمنيوم والسيليكون اللذين يقع وزناهما الذريين بين 65 و75.

في سنة 1870، أبدى التوقعات بشأن عنصر ثالث، يقع تحت البورون في الجدول الدوري. وفي السنة التالية توقع أن تكون الأوزان الذرية للعناصر الثلاثة

إكا بورون	إكا ألمنيوم	إكا سيليكون
44	68	72

وأعطى توقعات مفصلة عن الخواص الكيميائية والفيزيائية لكل عنصر. وقد استغرق الأمر ست سنوات قبل عزل أول هذه العناصر المتوقعة، سمي لاحقاً غاليوم. وقد كانت توقعات مندليف صحيحة تماماً تقريباً، مع بعض الاستثناءات القليلة. ويمكن أيضاً رؤية دقة توقعات مندليف بوضوح في حالة العنصر الذي أسماه إكا سيليكون، وسمي جرمانيوم، لاحقاً، بعد أن عزله الكيميائي الألماني كليمنس وينكلر (Clemens Winkler) (الشكل 1,15).

الخاصية	إكا سيليكون توقع في سنة 1871	الجرمانيوم، اكتشف في سنة 1886
الكتلة الذرية النسبية	72	72,32
الحرارة النوعية	5,5	5,47
الثقل النوعي	0,073	0,076
الحجم الذري	13 سم ³	13,22 سم ³
اللون	رمادي داكن	أبيض مائل إلى الرمادي
الثقل النوعي لثنائي الأكسيد	4,7	4,703
نقطة غليان رباعي الكلوريد	100 درجة سلزيوس	86 درجة سلزيوس
الثقل النوعي لرباعي الكلوريد	1,9	1,887
نقطة غليان مشتق رباعي الايثيل	160 درجة سلزيوس	160 درجة سلزيوس

الشكل 15,1 الخواص المتوقعة والملاحظة لإكا السيليكون (الجرمانيوم).

توقعات مندلييف الأقل نجاحاً

لم تكن جميع توقعات مندلييف ناجحة كتوقعات الغاليوم والجرمانيوم والسكانديوم. الشكل 16,1 يظهر أنه لم يكن ناجحاً في ما يقرب من تسع توقعات من توقعاته الثمانية عشر المنشورة، على الرغم من أنه ربما يجب ألا تمنح كل هذه التوقعات الوزن نفسه. ويرجع ذلك إلى أن بعض العناصر شملت الأتربة النادرة، وهي شديدة الشبه بعضها ببعض وشكلت تحدياً كبيراً للجدول الدوري في العديد من السنوات التالية.³⁶

العنصر كما قدمه مندليف	الوزن الذري المتوقع	الوزن الذري المقيس	الاسم النهائي
الكورونيوم	0,4	لم يوجد	لم يوجد
الأثير	0,17	لم يوجد	لم يوجد
إكا بورون	44	44,6	سكانديوم
أكا سيريوم	54	لم يوجد	لم يوجد
إكا المنيوم	68	69,2	الغاليوم
إكا سيليكون	72	72,0	الجرمانيوم
إكا منغنيز	100	99	تكنيتيوم (1939)
إكا موليبدنوم	140	لم يوجد	لم يوجد
إكا نيوبيوم	146	لم يوجد	لم يوجد
إكا كاديوم	155	لم يوجد	لم يوجد
إكا يود	170	لم يوجد	لم يوجد
إكا سيزيوم	175	لم يوجد	لم يوجد
تراي منغنيز	190	186	الرينيوم (1925)
دفي تيلوريوم	212	210	البولونيوم (1898)
دفي سيزيوم	220	223	الفرنسيوم (1917)
إكا تتالوم	235	231	البروتكتينيوم (1917)

الشكل 16,1 توقعات مندليف، الناجحة والفاشلة (تصنيف المؤلف).

بالإضافة إلى ذلك، تثير توقعات مندليف الفاشلة نقطة فلسفية مهمة. فقد ناقش المؤرخون وفلاسفة العلم مدة من الوقت إذا كانت التوقعات الناجحة يجب أن تعتبر استيعاباً بدرجة أكثر أو أقل لبيانات معروفة بالفعل. من جهة، ليس هناك خلاف على أن التوقعات الناجحة تحمل قدراً كبيراً من التأثير النفسي، لأنها تعني ضمناً أن العالم يستطيع أن يتنبأ

بالمستقبل. لكن الاستيعاب الناجح، أو تفسير بيانات معروفة أصلاً، أمر مثير للإعجاب أيضاً، وبخاصة لأن هناك مقداراً كبيراً من المعلومات المعروفة التي تدرج في نظرية علمية جديدة. كانت هذه هي الحال مع مندلييف والجدول الدوري، إذ كان عليه أن يستوعب بنجاح ما يبلغ عدده ثلاثة وستين عنصراً معروفاً في نظام متماسك تماماً.

لم تكن جائزة نوبل قد تأسست عندما اكتُشف الجدول الدوري. وكانت ميدالية ديفي، وهي من أرفع الجوائز مكانة في الكيمياء، تُمنح من قبل الجمعية الملكية للكيمياء وقد سُميت نسبة للكيميائي همفري ديفي (Humphry Davy). وفي سنة 1882، مُنحت ميدالية ديفي مناصفة إلى لوثر ماير ومندلييف. ويوحى ذلك بأن الكيميائيين الذين يمنحون الجائزة كانوا راغبين في الاعتراف بلوثر ماير الذي لم يقدم أي توقع يذكر. كما أن التنويه المصاحب للجائزة لم يأت البتة على ذكر توقعات مندلييف الناجحة. ويبدو أن هذه المجموعة من الكيميائيين البريطانيين البارزين لم يقتنعوا بالتأثير النفسي للتوقعات الناجحة على قدرة العالم على استيعاب العناصر المعروفة بنجاح.

الغازات الخاملة

اكتشف رامسي (Ramsay) ورايلي (Rayleigh) الغازات الخاملة في نهاية القرن التاسع عشر، ومثل ذلك تحدياً مشوقاً للجدول الدوري. أولاً، على الرغم من توقعات مندلييف الدراماتيكية للعديد من العناصر، فإنه فشل في توقع هذه المجموعة بأكملها من العناصر (الهيليوم، Xe، والنيون، Ne، والأرغون، Ar، والكريبتون، Kr، والزينون، Xe). ولم

يتوقع أي شخص آخر هذه العناصر أو يشتهه بوجودها.

كان الأرغون أول الغازات الخاملة التي عُزلت، وقد حصل لورد رايلي ووليام رامسي على مقادير صغيرة منه في سنة 1894 في كلية لندن الجامعية في أثناء عملهما على غاز النيتروجين. لكن خلافاً للعديد من العناصر التي بحثت سابقاً، يبدو أن عدداً من العوامل تواطت معاً لجعل استيعاب هذا العنصر مهمة شاقة. لم يكن من السهل الحصول على الوزن الذري المهم جداً للأرغون - وهو مطلوب إذا أريد وضعه في الجدول الدوري. ويرجع ذلك إلى عدم اتضاح عدد ذرات العنصر المتحدة معاً لتشكيل الجزيئات. وقد أشارت معظم القياسات إلى أنه غير أحادي الذرة، في حين أن جميع العناصر الغازية الأخرى ثنائية الذرة (الهيدروجين، H_2 ، والنيتروجين، N_2 ، والأكسجين، O_2 ، والفلور، Fl_2 ، والكلور، Cl_2). إذا كان الأرغون أحادي الذرة بالفعل، فإن وزنه الذري يساوي 40 تقريباً، ما يجعل استيعابه في الجدول الدوري مثيراً للمشاكل إذ لا توجد فجوة عند هذه القيمة في الجدول الدوري (انظر الشكل 1,14). فلعنصر الكالسيوم وزن ذري يساوي نحو 40، يليه السكانديوم، وهو أحد العناصر التي توقعها مندلييف بنجاح، ووزنه الذري 44، وذلك لا يترك مكاناً ظاهرياً لعنصر جديد وزنه الذري 40.

ثمة فجوة كبيرة إلى حد ما بين الكلور (35,5) والبوتاسيوم (39)، لكن وضع الأرغون بين هذين العنصرين ينتج انعكاساً ثنائياً إقحامياً. ويجدر بنا أن نتذكر أنه كان يوجد انعكاس ثنائي مهم واحد فقط، يشمل عنصري التيلوريوم واليود، وقد اعتُبر هذا السلوك شاذاً جداً. وكان مندلييف قد استنتج، كما ذكر أعلاه، أن انعكاس التيلوريوم اليود يرجع إلى التحديد

الخاطئ للوزن الذري للتيلوريوم أو اليود، أو ربما للعنصرين معاً. لذا نظر إلى فكرة وجود حالة أخرى للأرغون والبوتاسيوم بقدر كبير من الرية. من النواحي الأخرى غير المألوفة لعنصر الأرغون حموله الكيميائي التام، ما يعني عدم القدرة على دراسة مركباته لأنها غير موجودة. واعتبر بعض الأشخاص أن خمول الغاز يعني أنه ليس عنصراً كيميائياً حقيقياً ولا حاجة لوضعه في مكان في الجدول الدوري.

غير أن العديد من الأشخاص واصلوا محاولة وضع العنصر في الجدول الدوري. وكان استيعاب الأرغون محطّ اهتمام اجتماع الجمعية الملكية في سنة 1895. رأى المكتشفان رايلي ورامسي أن العنصر ربما يكون أحادي الذرّة لكنهما اعترفا أنه لا يمكنهما الجزم بذلك. ولم يكن في وسعهما التأكيد بأن الغاز المعني ليس مزيجاً، ما يعني ضمناً أن وزنه الذري ليس 40. وقدّم وليام كروكس (William Crookes) بعض الأدلة لصالح نقطتي الغليان والانصهار القاطعتين للأرغون، وبالتالي أشار إلى أنه عنصر وحيد بدلاً من مزيج. ورأى هنري أرمسترونغ (Henry Armstrong)، وهو كيميائي بارز، أن الأرغون ربما يتصرّف مثل النيتروجين، أي أنه يشكل جزيئاً ثنائي الذرّة خاملاً مع أن ذرّتها الأحادية شديدة التفاعل. ورأى فيزيائي، روكر (Rucker)، أن الوزن الذري 40 تقريباً صحيح وأنه إذا لا يمكن وضع هذا العنصر في الجدول الدوري، فإن ثمة غلطاً في الجدول الدوري نفسه.

وهكذا لم تكن نتائج اجتماع الجمعية الملكية حاسمة بشأن مصير العنصر الجديد أو حتى هل يجب اعتبار الأرغون عنصراً جديداً. نشر مندليف الذي لم يحضر الاجتماع مقالة في مجلة «نيتشر» اللندنية خلص فيها إلى

أن الأروغون ثلاثي الذرات وأنه يتكوّن من ثلاث ذرات من النيتروجين. وقد استند في هذه الفكرة إلى أن قسمة الوزن الذري المفترض 40 على 3 تعطي 13,3 تقريباً، وهذا القيمة ليست بعيدة كثيراً عن 14، الوزن الذري للنيتروجين. كما أن الأروغون اكتُشف في إطار تجارب أجريت على غاز النيتروجين، ما جعل فكرة ثلاثية الذرات معقولة إلى حدّ ما.

حلّت القضية أخيراً في سنة 1900. فقد كتب رامسي، أحد مكتشفي الغاز الجديد، إلى مندلييف يخبره بأن المجموعة الجديدة التي أضيف إليها الهليوم، والنيون، والكريتون، والزينون، يمكن استيعابها بسهولة في عمود ثامن بين الهالوجينات والأتربة القلوية. وكان الأروغون، أول هذه العناصر الجديدة، مسبباً للمتاعب لأنه مثل حالة جديدة لانعكاس ثنائي أصيلة. فوزنه الذري يبلغ نحو 40 ومع ذلك يظهر قبل البوتاسيوم الذي يبلغ وزنه الذري 39. قبل مندلييف هذا الاقتراح وكتب لاحقاً،

كان ذلك مهماً جداً له [لرامسي] باعتباره توكيداً لموقع العناصر المكتشفة حديثاً، ولي باعتباره توكيداً للتطبيق العام لقانون الدورية.

لقد أدى اكتشاف الغازات الخاملة واستيعابها بنجاح في الجدول الدوري إلى تقوية سلطة النظام الدوري لمندلييف وشموله، بدلاً من تهديده.

الفصل الثاني

الفيزياء تغزو الجدول الدوري

على الرغم من أن جون دالتون أعاد إدخال مفهوم الذرات إلى العلم، فقد تلا ذلك العديد من المناقشات بين الكيميائيين الذين رفض معظمهم قبول وجود الذرات بالفعل. وكان من الكيميائيين المشككين مندلييف، لكن ذلك لم يمنعه كما شاهدنا في الفصل السابق من نشر النظام الدوري الأكثر نجاحاً من جميع الأنظمة التي اقترحت في زمنه. وفي أعقاب عمل فيزيائيين من أمثال أينشتاين وبيران، أصبحت حقيقة الذرة أكثر رسوخاً بدءاً من أواخر القرن العشرين. فقد قدّم بحث أينشتاين في سنة 1905 عن الحركة البراونية، باستخدام الأساليب الإحصائية، التبرير النظري الحاسم لوجود الذرات لكنه افتقر إلى الدعم التجريبي.¹ وسرعان ما قدّم الفيزيائي التجريبي الفرنسي جان بيران (Jean Perrin) ذلك الدعم.²

أدى هذا العمل بدوره إلى العديد من الأبحاث التي تهدف إلى استكشاف بنية الذرة، والعديد من التطورات التي كان لها تأثير كبير على محاولات فهم النظام الدوري نظرياً. في هذا الفصل ننظر في بعض هذه الأبحاث الذرية بالإضافة إلى العديد من الاكتشافات الرئيسة الأخرى في فيزياء القرن العشرين التي أسهمت في ما يمكن تسميته غزو الفيزياء للجدول الدوري.

الإلكترون والاكتشافات الأخرى في الفيزياء

جاء اكتشاف الإلكترون، أول تلميح إلى أن للذرة بنية فرعية، في سنة 1897 على يدي العالم الأسطوري جوزيف طومسون (J. J. Thomson) الذي كان يعمل في مختبر كافنديش في كامبردج. وقبل ذلك بقليل، في سنة 1895، كان فلهلم كُنراد رونتجن (Wilhelm Conrad Röntgen) قد اكتشف الأشعة السينية في ورزبورغ بألمانيا. وسرعان ما استخدم هنري موزلي، وهو فيزيائي شاب عمل أولاً في مانشستر، ثم في أكسفورد طوال حياته العلمية القصيرة، هذه الأشعة الجديدة استخداماً مفيداً.

بعد سنة فقط على وصف رونتجن أشعته السينية، اكتشف هنري بيكرل (Henri Becquerel) في باريس ظاهرة النشاط الإشعاعي الفاتحة الأهمية، حيث تتفكك بعض الذرات تلقائياً وتصدر في الوقت نفسه عدداً من أنواع الأشعة المختلفة الجديدة. وقد ابتكرت هذه التسمية «النشاط الإشعاعي» (radioactivity) ماري سكلودوفسكا (Skłodowska) (لاحقاً كوري). وأخذت على عاتقها مع زوجها بيار كوري (Pierre Curie)، العمل على هذه الظاهرة الجديدة الخطيرة وسرعان ما اكتشفت عنصرين جديدين يدعيان البولونيوم والراديوم.

وعن طريق دراسة كيفية تفكك هذه الذرات عند خضوعها لاضمحلال إشعاعي، أصبح من الممكن سبر مكونات الذرة بمزيد من الفعالية، بالإضافة إلى القوانين التي تحكم كيف تحوّل الذرات نفسها إلى ذرات أخرى. وهكذا على الرغم من أن الجدول الدوري يتعامل مع ذرات العناصر المختلفة، فإنه يبدو أن هناك مزايا تسمح لبعض الذرات بالتحوّل إلى أخرى في بعض الظروف. على سبيل المثال، إن فقدان

جسيم ألفا، وهو يتكوّن من نواة هليوم مع بروتونين، يؤدي إلى خفض العدد الذري للعنصر بمقدار وحدتين.

كان هناك فيزيائي آخر شديد النفوذ يعمل في ذلك الوقت، إرنست رذرفورد (Ernest Rutherford)، وهو نيوزيلندي وصل إلى كمبرج لمتابعة زمالة أبحاث، وأمضى لاحقاً بعض الوقت في جامعة مكغيل في مونتريال وجامعة مانشستر بإنكلترا. وبعد ذلك عاد إلى كمبرج لتولي إدارة مختبر كافندش خلفاً لجوزيف طومسون. كانت إسهامات رذرفورد في الفيزياء الذرية عديدة ومتنوعة وشملت اكتشاف القوانين التي تحكم الاضمحلال الإشعاعي بالإضافة إلى قيامه «بشطر الذرة». وكان أيضاً أو من حقّق «تحويل» العناصر إلى عناصر جديدة أخرى. وبهذه الطريقة حقّق رذرفورد نظيراً اصطناعياً لعملية الاضمحلال الإشعاعي التي تعطي على نحو مماثل ذرات عنصر مختلف تماماً وتؤكد ثانية الوحدة الأساسية لجميع أشكال المادة.³

من اكتشافات رذرفورد الأخرى النموذج النووي للذرة، وهو مفهوم يعتبر مسلّمة إلى حدّ ما اليوم، وتحديداً أن الذرة تتكوّن من نواة مركزية تحيط بها إلكترونات سالبة الشحنة تدور حولها.⁴

مع ذلك لم يكن رذرفورد أول من اقترح النموذج النووي للذرة، الذي يشبه نظاماً شمسياً منمنماً. فذلك التمييز يرجع إلى الفيزيائي الفرنسي جان بيران، الذي طرح في سنة 1900 أن الإلكترونات السالبة تدور حول نواة موجبة مثلما تدور الكواكب حول الشمس. وفي سنة 1903، أعطى هنتارو ناغاوكا (Hantaro Nagaoka) هذا التشبيه الفلكي معنى جديداً عندما اقترح نموذج زحل الذي تتخذ فيه الذرات مكان الحلقات حول

كوكب زحل. لكن لم يستطع بيران أو ناغاوكا التماس دليل تجريبي لدعم نموذجيهما للذرة.

أطلق رذرفورد وزميلاه الشابان غايغر (Geiger) ومارسدن (Marsden) سيلاً من جسيمات ألفا على رقيقة من الذهب وحصلوا على نتيجة مفاجئة. عبرت معظم جسيمات ألفا رقيقة الذهب من دون إعاقة إلى حدّ ما، لكن عدداً كبيراً منها انحرف بزوايا حادة جداً. استنتج رذرفورد أن ذرات الذهب، أو أي شيء آخر، تتكوّن بمعظمها من فضاء فارغ إلا من نواة مركزية كثيفة. وهكذا فإن ارتداد بعض جسيمات ألفا على نحو غير متوقّع نحو السيل الوارد لجسيمات ألفا دليل على وجود نواة مركزية دقيقة في كل ذرة.

لذا تبين أن الطبيعة أكثر ميوعة مما اعتُقد سابقاً. على سبيل المثال، اعتقد مندليف أن العناصر فردية تماماً. ولم يكن في وسعه قبول فكرة إمكانية تحوّل العناصر إلى عناصر أخرى. وبعد أن بدأ الزوجان كوري الإبلاغ عن تجارب توحى بتفكيك الذرات، سافر مندليف إلى باريس لرؤية الدليل بنفسه، في أواخر حياته. ولم يتّضح إذا ما قبل الفكرة الجذرية الجديدة بعد زيارته مختبر كوري.

الأشعة السينية

في سنة 1895، حقّق الفيزيائي الألماني رونتجن اكتشافاً بالغ الأهمية في سنّ الأربعين. وقبل ذلك، كانت نتائج أبحاثه غير استثنائية. وقد كتب إميليو سغريه (Emilio Segrè) الكثير لاحقاً باعتباره فيزيائياً ذرياً،

بحلول سنة 1895، كان رونتجن قد كتب ثمانية وأربعين بحثاً طواها النسيان عملياً الآن. وفي بحثه التاسع والأربعين أصاب الذهب.

كان رونتجن يقوم باستكشاف مفعول تيار كهربائي في أنبوب زجاجي فارغ يدعى أنبوب كروكس (Crookes tube) ولاحظ أن جسماً في الجانب الآخر من المختبر يتوهج، ولم يكن جزءاً من التجربة. فأدرك سريعاً أن ذلك الوهج ليس ناجماً عن مفعول التيار الكهربائي واستنتج أنه ربما نتج شكل جديد من أشكال الأشعة داخل أنبوب كروكس. وسرعان ما اكتشف رونتجن خاصيّة الأشعة السينية الأكثر شهرة. وجد أن في وسعه إنتاج صورة يده التي تظهر خطوط عظامه فقط. وهكذا ولدت تقنية جديدة قوية وفُرت العديد من التطبيقات الطبية. بعد العمل سراً لعدّة أسابيع، أصبح رونتجن جاهزاً للإعلان عن نتائجه أمام جمعية ورزبورغ الفيزيائية الطبية، وتلك مصادفة مثيرة للاهتمام بالنظر إلى تأثير أشعته الجديدة على هذين المجالين.

أرسلت بعض صور الأشعة السينية الأصلية التي التقطها رونتجن إلى باريس، حيث وصلت إلى هنري بكرييل الذي أصبح مهتماً بتفحص العلاقة بين الأشعة السينية وخاصيّة التفسفر (phosphorescence)، حيث تصدر بعض الموادّ ضوءاً عند تعرّضها لأشعة الشمس. لاختبار هذه الفكرة، لفّ بكرييل بعض بلّورات ملح يورانومي بورق سميك، وبسبب الافتقار إلى ضوء الشمس، قرّر وضع هذه المواد بعيداً في دُرج لبضعة أيام. ومن قبيل المصادفة السعيدة، اتفق أن بكرييل وضع البلّورات الملفوفة فوق لوح فوتوغرافي غير مظهر قبل إغلاق الدرج ومتابعة أعماله

بضعة أيام أخرى كانت الغيوم في أثنائها تلفّ سماء باريس. أخيراً عندما فتح الدرّج دُهب من تكوّن صورة على اللوح الفوتوغرافي عن طريق بلّورات اليورانيوم على الرغم من عدم تعرّضه لضوء الشمس. أوحى ذلك بوضوح بأن ملح اليورانيوم يصدر أشعة خاصة به، بصرف النظر عن عملية التفسفر. اكتشف بكريل النشاط الإشعاعي، وهو عملية طبيعية في بعض المواد التي ينتج فيها الاضمحلال التلقائي (spontaneous decay) للذرات انبعاثات قوية وخطيرة. وقد أطلقت ماري كوري على هذه الظاهرة اسم «النشاط الإشعاعي» بعد ذلك ببضع سنوات. تبين أن الصلة المفترضة بين هذه التجارب والأشعة السينية غير صحيحة. وفشل بكريل في إيجاد أي صلة بين الأشعة السينية والتفسفر. بل إن الأشعة السينية لم تدخل في هذه التجارب، على الرغم من أنه اكتشف ظاهرة سيكون لها أهمية كبيرة على أكثر من صعيد. أولاً، كان النشاط الإشعاعي خطوة مبكرة ومهمّة في استكشاف المادّة والإشعاع. وثانياً، أدى ذلك بطريقة غير مباشرة إلى تطوير الأسلحة النووية والطاقة النووية.

عودة إلى رذرفورد

في سنة 1911 تقريباً، توصل رذرفورد إلى استنتاج بأن شحنة نواة الذرة تساوي نصف وزن الذرة المعنية، أو $Z \approx A/2$ ، بعد تحليل نتائج تجارب الانتشار الذري. وقد أيد هذا الاستنتاج الفيزيائي في أكسفورد تشارلز باركلا (Charles Barkla) بعد أن توصل إليه عن طريق مختلف مَماماً، باستخدام تجارب بالأشعة السينية.

في غضون ذلك، كان أحد الغرباء تماماً عن هذا المجال، الاختصاصي الهولندي في الاقتصاد القياسي أنطون فان دن بروك (Anton van den Broek)، يفكر في احتمال تعديل جدول مندليف الدوري. وفي سنة 1907، اقترح جدولاً جديداً يحتوي على 120 عنصراً، على الرغم من أن العديد منها ظل أماكن فارغة.⁵ وقد شُغل عدد من الأماكن الفارغة ببعض المواد المكتشفة حديثاً التي كان وضعها العنصري لا يزال محل بعض التشكيك. وشملت تلك ما يسمى انبعاث الثوريوم، واليورانيوم إكس (ناتج مجهول لاضمحلال اليورانيوم)، و Gd_2 (ناتج عن اضمحلال الغادولينيوم)، وكثير من الأنواع الأخرى.

غير أن الميزة الطريفة في عمل فان دن بروك الاقتراح بأن جميع العناصر مركبات لجسيم سُمّاه ألفون (alphon)، يتكوّن من نصف ذرة هليوم ذات كتلة تساوي وحدتي وزن ذريّ. وفي سنة 1911، نشر مقالة إضافية لم يأت فيها على ذكر الألفون ولكن احتفظ بفكرة أن العناصر تختلف بوحدتي وزن ذريّ. وفي رسالة من عشرين سطرًا إلى مجلة «نيتشر» في لندن تقدّم خطوة أخرى نحو مفهوم العدد الذريّ بكتابة،⁶

عدد العناصر المحتملة يساوي عدد الشحنات الدائمة.

وهكذا فقد اقترح فان دن بروك أن الشحنة النووية تحدّد موقع العنصر في الجدول الدوري لأن هذه الشحنة في الذرة تساوي نصف وزنها الذريّ، ولأن الأوزان الذرية للعناصر تزداد باثنين بطريقة تدريجية. بعبارة أخرى، يكون لكل عنصر متتالٍ في الجدول الدوري شحنة نووية

أكبر بوحدة واحدة من العنصر الذي يسبقه.

لفتت مقالة لاحقة نشرت في سنة 1913 انتباه نيلز بور الذي ذكر فان دن بروك في بحثه الثلاثي الشهير في سنة 1913 عن ذرة الهيدروجين والتشكيلات الإلكترونية للذرات المتعددة الإلكترونات.⁷ وفي السنة نفسها، كتب فان دن بروك بحثاً آخر ظهر أيضاً في مجلة «نيتشر»، وهذه المرة ربط صراحة العدد التسلسلي لكل ذرة بشحنة كل ذرة. وربما الأهم من ذلك أنه فصل هذه العدد التسلسلي عن الوزن الذري. وقد امتدح هذا البحث الأصيل العديد من الخبراء من المجال، بمن فيهم سودي (Soddy) وذرפורد، وجميعهم لم يتمكنوا من مشاهدة الوضع بوضوح مثل الهاوي فان دن بروك.

موزلي

على الرغم من أن أحد الهواة أدهش الخبراء بالتوصل إلى مفهوم العدد الذري، فإنه لم يكمل مهمة تحديد هذه الكمية الجديدة. وكان الشخص الذي أكملها، ومنح فضل اكتشاف العدد الذري، الفيزيائي الإنجليزي هنري موزلي الذي توفي في الحرب العالمية الأولى في السادسة والعشرين من العمر. وتستند شهرته إلى بحثين فقط أكد فيهما تجريبياً أن العدد الذري مبدأ ترتيبى للعناصر أفضل من الوزن الذري.⁸ وهذا البحث مهم أيضاً لأنه سمح للآخرين بتحديد عدد العناصر التي لا تزال تنتظر الاكتشاف ضمن حدود العناصر الطبيعية (الهيدروجين إلى اليورانيوم)، وهو الموضوع الرئيس للكتاب الحاضر.

درس موزلي في جامعة مانشستر وتلمذ على يدي رذرפורد.

وتكوّنت تجارب موزلي من ارتداد الضوء عن سطح عيّنات من مختلف العناصر وتسجيل تردّد الأشعة السينية المميّز الذي يصدره كل منها. تحدث هذه الانبعاثات لأن إلكترونات داخلية يقذف من الذرّة، ما يؤدي إلى أن يشغل إلكترون خارجي الحيز الفارغ في عملية يصحبها انبعاث الأشعة السينية. اختار موزلي أولاً أربعة عشر عنصراً، تسعة منها، التيتانيوم إلى الزنك، تشكّل سلسلة متواصلة من العناصر في الجدول الدوري. وكان ما اكتشفه أن توقيع تردّد الأشعة السينية المنبعث مقابل مربع رقم يمثّل موقع كل عنصر في الجدول الدوري ينتج رسماً بيانياً لخط مستقيم. هنا يوجد توكيد فرضية فان دن بروك بأنه يمكن ترتيب العناصر وفقاً لتسلسل من الأرقام، أطلق عليها لاحقاً اسم العدد الذري، واحد لكل عنصر بدءاً بالهيدروجين $H = 1$ ، والهيليوم $He = 2$ ، وهكذا دواليك. وفي البحث الثاني، وسّع هذه العلاقة لتشمل 30 عنصراً إضافياً، ما عزّز متانة وضعها.

لذا أصبح من السهل على موزلي التحقق مما إذا كانت المزاем الخاصة بالعديد من العناصر المزعومة صالحة أم لا. على سبيل المثال، كان الكيميائي الياباني أوغاوا (Ogawa) قد ادّعى أنه عزل عنصراً يملأ الفراغ تحت المنغيز في الجدول الدوري. فقام موزلي بتردد الأشعة السينية الذي أنتجته عيّنة أوغاوا ووجد أنه لا يتوافق مع القيمة المتوقّعة للعنصر 43.

عندما كان الكيميائيون يستخدمون الأوزان الذرية لترتيب العناصر، ساد قدر كبير من الغموض العدد الدقيق للعناصر التي تنتظر الاكتشاف. ويرجع ذلك إلى الفجوات غير المنتظمة الموجودة بين قيم الأوزان الذرية للعناصر المتتالية في الجدول الدوري. وقد اختفى هذا التعقيد عندما تم

الانتقال إلى استخدام العدد الذري لموزلي. الآن أصبحت الفجوات بين العناصر المتتالية منتظمة تماماً، وتحديدًا وحدة واحدة من العدد الذري. بعد وفاة موزلي، استخدم العديد من الكيميائيين والفيزيائيين طريقته ووجدوا أن العناصر المجهولة المتبقية هي تلك التي تبلغ أعدادها الذرية 43، و61، و72، و75، و85، و87، و91 بين تسلسل الأعداد الذرية المتساوي التباعد. وستشكّل قصة اكتشافها ما تبقى من فصول الكتاب.

النظائر

شكّل اكتشاف نظائر أي عنصر معيّن خطوة رئيسة أخرى لفهم الجدول الدوري في فجر الفيزياء الذرية. ويأتي المصطلح بالإنجليزية (isotope) من *iso* أي «مماثل» و *topos* أي «مكان»، ويستخدم لوصف الأنواع الذرية لأي عنصر معيّن التي تختلف في الوزن ومع ذلك تشغل المكان نفسه في الجدول الدوري. تحقّق الاكتشاف بحكم الضرورة جزئياً. فقد قادت التطوّرات الجديدة في الفيزياء الذرية إلى اكتشاف عدد من العناصر الجديدة مثل الراديوم، والرادون، والبولونيوم، والأكتينيوم، التي اتخذت أمكنتها الصحيحة بسهولة في الجدول الدوري. لكن بالإضافة إلى ذلك، اكتُشف نحو ثلاثين عنصراً جديداً في مدّة قصيرة من الزمن. وقد أعطيت هذه الأنواع الجديدة أسماء مؤقتة مثل انبعاث الثوريوم، وانبعاث الراديوم، والأكتينيوم إكس، واليورانيوم إكس، والثوريوم إكس، وهكذا، للإشارة إلى العناصر التي يبدو أنها تنتجها.⁹ حاول بعض مصمّمي الجداول الدورية، مثل فان دن بروك، استيعاب هذه «العناصر» الجديدة في جداول دورية موسّعة كما رأينا أعلاه. في

غضون ذلك، أنتج سويديان ستروم هولم (Strömholm) وسفديبرغ (Svedberg) جداول دورية أجبرت فيها بعض هذه الأنواع الجديدة الدخيلة على شغل المكان نفسه. على سبيل المثال، وضعا انبعاث الراديوم، وانبعاث الأكتينيوم، وانبعاث الثوريوم، تحت غاز الزينون الخامل. وبدأ أن ذلك يمثل توقعاً للنظرية، لكنه لم يكن إدراكاً واضحاً جداً لهذه الظاهرة. في سنة 1907، السنة التي توفي فيها مندليف، استنتج كيميائي المواد المشعة الأميركي هربرت ماكوي (Herbert McCoy) أن «الثوريوم المشع لا يمكن فصله البتة عن الثوريوم بالعمليات الكيميائية». كانت تلك ملاحظة مهمة سرعان ما تكررت في حالة العديد من أزواج المواد الأخرى التي اعتُقد سابقاً أنها عناصر جديدة. وقد تمكّن فردريك سودي، وهو من تلميذ سابق آخر لذر فوررد، من الاستيعاب التام لمثل هذه الملاحظات. عنى عدم القدرة على الفصل الكيميائي لسودي أن ذلك شكّلان أو أكثر للعنصر الكيميائي نفسه. وفي سنة 1913، نحت مصطلح «نظائر (isotopes) للإشارة إلى ذرتين أو أكثر للعنصر نفسه لا يمكن فصلها كيميائياً لكن أوزانها الذرية مختلفة». ولاحظ بانث (Paneth) وفون هيفزي (von Hevesy) عدم القدرة على الفصل الكيميائي في حالة الرصاص و«الرصاص المشع»، بعد أن طلب منهما زرفورد فصلهما كيميائياً. فبعد أن حاولا القيام بذلك بعشرين أسلوباً كيميائياً مختلفاً، اضطررا إلى الاعتراف بفشلهما التام. ومع أن ذلك كان فشلاً من بعض النواحي، فإنه عزز فكرة العنصر الواحد - الرصاص في هذه الحالة - الذي يوجد بمثابة نظائر لا يمكن فصلها كيميائياً.¹⁰

في سنة 1914، حظيت حجّة النظرية بمزيد من الدعم من عمل ريتشاردز

(T. W. Richards) في جامعة هارفرد، حيث بدأ بقياس الوزنين الذريين لنظيرين للعنصر نفسه. وقد اختار أيضاً الرصاص، لأن ذلك العنصر يُنتج عن طريق عدد من سلاسل الاضمحلال الإشعاعي. أدت ذرة الرصاص التي تتشكّل بهذه المسارات البديلة، وتشمل عناصر وسيطة مختلفة تماماً، إلى تشكّل ذرات من الرصاص تختلف بقيمة كبيرة تبلغ 0,75 من وحدة الوزن الذري.

الأمر المهم أن اكتشاف النظائر عزّز وضوح حدوث الانعكاسات الزوجية، كما في حالة التيلوريوم واليود التي حيرت مندلييف. للتيلوريوم وزن ذري أكبر من اليود، مع أنه يسبقه في الجدول الدوري، لأن المتوسط المثقل لجميع نظائر التيلوريوم أكبر من المتوسط المثقل لنظائر اليود. وهكذا فإن الوزن الذري كمية طارئة تتوقّف على وفرة جميع نظائر عنصر ما. الكمية الجوهرية فيما يتعلّق بالجدول الدوري هي العدد الذري أو، كما أدرك لاحقاً، عدد البروتونات في النواة. وتحدّد هوية العنصر بعدده الذري لا وزنه الذري، لأن الأخير يختلف وفقاً للعينة المحددة التي عزل منها العنصر.

للتيلوريوم وزن ذري متوسط أكبر من الوزن الذري لليود، لكن عدده الذري أصغر بوحدة واحدة. وإذا استخدم المرء العدد الذري بدلاً من الوزن الذري باعتباره مبدأ ترتيب العناصر، فسيسقط التيلوريوم واليود في مجموعتيهما الصحيحتين من حيث السلوك الكيميائي. لذا ظهر أن الانعكاسات الزوجية لم تكن مطلوبة إلا بسبب مبدأ الترتيب الخاطيء المستخدم في جميع الجداول الدورية قبل أوائل القرن العشرين.

البنية الإلكترونية

تعامل القسم الأخير مع اكتشافات في الفيزياء الكلاسيكية لا تتطلب النظرية الكمومية (quantum theory). ينطبق ذلك على الأشعة السينية والنشاط الإشعاعي اللذين دُرسا على نطاق واسع من من دون أي مفاهيم كمومية على الرغم من استخدام النظرية لاحقاً لإيضاح جوانب معينة. كما أن الفيزياء التي وُصفت في القسم الأخير تتعلق بعمليات تنشأ في نواة الذرة. النشاط الإشعاعي يتعلّق أساساً بتفكك النواة، وتحوّل العناصر يتم في النواة أيضاً. كما أن العدد الذريّ خاصية لنوى الذرات، والنظائر تميّز بالكتل المختلفة لذرات العنصر نفسه، وتتكوّن حصرياً إلى حدّ ما من كتلة نواها.

في هذا القسم، ننظر في الاكتشافات المتعلقة بالإلكترونات في الذرات، وهي دراسة حتمت استخدام النظرية الكمومية في أيامها المبكرة. لكن علينا أولاً أن نقول شيئاً عن أصول النظرية الكمومية نفسها. بدأ الأمر قبل أواخر القرن العشرين في ألمانيا، حيث كان عدد من الفيزيائيين يحاولون فهم سلوك الإشعاع المحصور في تجويف صغير ذي جدران سوداء. سجّل السلوك الطيفي «لإشعاع الجسم الأسود» بعناية عند درجات حرارة مختلفة وأجريت عندئذ محاولات لوضع نموذج رياضي للرسوم البيانية الناتجة. وظلّت المسألة من من دون حلّ مدة طويلة إلى أن قدّم ماكس بلانك (Max Planck) افتراضه الجريء بأن طاقة هذا الإشعاع تتكوّن من رزم متميّزة أو «كموم» في سنة 1900. ويبدو أن بلانك نفسه كان متردداً في تقبّل الأهمية الكاملة للنظرية الكمومية الجديدة التي طرحها، وتُرك لآخرين إجراء بعض تطبيقاتها الجديدة.

أكدت النظرية الكمومية أن الطاقة تأتي في حزم متميّزة وأنه لا يمكن أن توجد قيم وسيطة بين مضاعفات عدد كامل معيّن للكمّ الأساسي للطاقة. وقد طبّقت هذه النظرية بنجاح في المفعول الكهروضوئي (photoelectric) في سنة 1905 على يدي ألبرت أينشتاين (Albert Einstein)، ولعله ألمع الفيزيائيين في القرن العشرين. وكانت نتيجة أبحاثه أنه يمكن اعتبار الضوء ذا طبيعة كمومية أو جسيمية.¹¹

في سنة 1913، طبّق دان نيلز بور النظرية الكمومية على ذرّة الهيدروجين التي افترض، على غرار رذرفورد، أنها تتكوّن من نواة مركزية يدور حولها إلكترون. افترض بور أن الطاقة المتاحة للإلكترون تحدث بقيم متميّزة معيّنة، أو بعبارة تصويرية، أن الإلكترون يمكن أن يوجد في أي عدد من الأغلفة أو المدارات حول النواة. ويمكن أن يفسّر هذا النموذج، إلى حدّ ما، ميزتين لسلوك ذرّة الهيدروجين وذرات أي عنصر في الواقع. أولاً، تفسّر لماذا تنتج ذرات الهيدروجين التي تعرّض لانفجار طاقة كهربائية طيفاً متقطعاً تلاحظ فيه بعض التردّدات المحدّدة. علّل بور حدوث هذا السلوك بسبب تعرّض إلكترون للانتقال من مستوى طاقة متاح إلى مستوى آخر. ويصحب مثل هذا الانتقال تحرير، أو امتصاص، للطاقة المقابلة بالضبط لفرق الطاقة بين المستويين في الذرّة.

ثانياً، فسّر النموذج، على نحو أقل إرضاء، لماذا لا تفقد الإلكترونات الطاقة وتنهار داخل نواة أي ذرة كما يتوقّع عند تطبيق الميكانيكا الكلاسيكية على الجسيمات المشحونة التي تخضع لحركة دائرية. كان ردّ بور بأن الإلكترونات لا تفقد الطاقة شرط أن تظل في مداراتها الثابتة.

واقترض أيضاً أن هناك مستوى أدنى من الطاقة لا يمكن بعده أن يخضع الإلكترون لأي انتقالات نزولية.¹²

عمّم بور بعد ذلك نموذجيه ليشمل أي ذرة متعددة الإلكترونات بدلاً من ذرة الهيدروجين فحسب. وحاول أيضاً تحديد طريقة ترتيب الذرات في أي ذرة معينة. ومع أن الصلاحية النظرية للقيام بهذه القفزة من إلكترون واحد إلى عدة إلكترونات محل شك، فإن ذلك لم يردع بور عن التقدم إلى الأمام. وثمة عرض للتشكيلات الإلكترونية التي توصل إليها في الشكل 1,2.

لم يجرّ بور تعيين الإلكترونات في أغلفة استناداً إلى أسس رياضية، ولا بمساعدة ظاهرة من النظرية الكمومية. بدلاً من ذلك، التمس بور الدليل الكيميائي مثل معرفة أن ذرات عنصر البورون يمكن أن تشكّل ثلاثة روابط، وهو ما تفعله العناصر الأخرى في مجموعة البورون أيضاً. لذا فإن ذرة البورون يجب أن تكون ذات ثلاثة أغلفة خارجية للإلكترونات كي يصبح ذلك ممكناً. لكن مع أن هذه النظرية بدائية وغير استنباطية، فقد قدّم بور أول تفسير إلكتروني ناجح يوضح لماذا تقع عناصر مثل الليثيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم في المجموعة نفسها في الجدول الدوري، ولعضوية أي مجموعة أخرى في الجدول الدوري أيضاً. يرجع الأمر في حالة الليثيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم إلى أن لكل من هذه الذرات إلكترونات واحداً منفصلاً عن بقية الإلكترونات في الغلاف الخارجي.

1	H	1			
2	He	2			
3	Li	2	1		
4	Be	2	2		
5	B	2	3		
6	C	2	4		
7	N	4	3		
8	O	4	2	2	
9	F	4	4	1	
10	Ne	8	2		
11	Na	8	2	1	
12	Mg	8	2	2	
13	Al	8	2	3	
14	Si	8	2	4	
15	P	8	4	3	
16	S	8	4	2	2
17	Cl	8	4	4	1
18	Ar	8	8	2	
19	K	8	8	2	1
20	Ca	8	8	2	2
21	Sc	8	8	2	3
22	Ti	8	8	2	4
23	V	8	8	4	3
24	Cr	8	8	2	2

الشكل 1,2 مخطط بور الأصلي في سنة 1913 للتشكيلات الإلكترونية للذرات. نقلاً عن N. Bohr, On the Constitution of Atoms and Molecules, *Philosophical Magazine*, 26, 476-502, 1913, 497.

كان لنظرية بور بعض القيود الأخرى، أحدها أنها تنطبق فقط على الذرات ذات الإلكترون الواحد مثل الهيدروجين أو الأيونات مثل HE^+ ، و Li^{2+} ، و Be^{+3} ، وما إلى هنالك. وتبين أيضاً أن بعض خطوط الأطياف «الهيدروجينية»، تنفصل إلى خطين غير متوقعين. اقترح أرنولد سومرفلد (Arnold Sommerfeld) الذي كان يعمل في ألمانيا أن النواة ربما تقع عند إحدى بورتري إهليلج بدلاً من مركز ذرة دائرية. وبيّنت حساباته أن على المرء أن يدخل أغلفة ثانوية ضمن أغلفة الإلكترونات الرئيسة التي طرحها بور. وفي حين أن نموذج بور تميّز بعدد كم واحد يشير إلى الأغلفة أو

المدارات المنفصلة، فإن نموذج سومرفلد المعدل يتطلب عددين كموميين لتحديد المسار الإهليلجي للإلكترون. وقد تمكن بور بعد تزوّده بالعدد الكمومي الجديد من تصنيف مجموعة كاملة من التشكيلات الإلكترونية في سنة 1923، كما بيّن الشكل 2,2.

بعد بضع سنوات، وجد الفيزيائي الإنكليزي إدموند ستونر (Edmund Stoner) أن هناك حاجة إلى عدد كمومي ثالث لتحديد بعض التفاصيل الأدق لطيف الهيدروجين والذرات الأخرى. وفي سنة 1924 اكتشف المنظر النمساوي المولد ولفغانغ باولي (Wolfgang Pauli) الحاجة إلى عدد كمومي رابع، تم تحديده بمفهوم اعتماد الإلكترون قيمة من قيمتين لنوع خاص من الزخم الزاوي (angular momentum). وأطلق على هذا النوع الجديد اسم «تدويم» (spin) الإلكترون في نهاية المطاف مع أن

H	1				
He	2				
Li	2	1			
Be	2	2			
B	2	3			
C	2	4			
N	2	4	1		
O	2	4	2		
F	2	4	3		
Ne	2	4	4		
Na	2	4	4	1	
Mg	2	4	4	2	
Al	2	4	4	2	1
Si	2	4	4	4	
P	2	4	4	4	1
S	2	4	4	4	2
Cl	2	4	4	4	3
Ar	2	4	4	4	4

الشكل 2,2 تشكيلات بور الإلكترونية لسنة 1923 بناء على عددين كموميين. نقلًا عن N. Bohr, *Linienpektren und Atombau, Annalen der Physik*, 71, 228-288, 1923, p. 260

الإلكترونات لا تدوم حرفياً بالطريقة نفسها التي تدوم فيها الأرض حول محورها فيما تقوم بحركتها المدارية حول الشمس.

ترتبط الأعداد الكمومية الأربعة بعضها ببعض بمجموعة من العلاقات المتداخلة. العدد الكمومي الثالث يتوقف على قيمة العدد الكمومي الثاني، الذي يتوقف بدوره على العدد الكمومي الأول. ويختلف عدد باولي الكمومي الرابع قليلاً إذ إنه يمكن أن يتخذ القيمتين $2/1+$ أو $2/1-$ بغض النظر عن قيم الأعداد الكمومية الثلاثة الأخرى. وترجع أهمية العدد الكمومي الرابع على وجه الخصوص إلى أن مجيئه قدّم تفسيراً جيداً لسبب قدرة كل غلاف إلكتروني على احتواء عدد معين من الإلكترونات (2، 8، 18، 32، إلخ)، بدءاً بالغلاف الأقرب إلى النواة.

إليك كيف يعمل المخطط. العدد الكمومي الأول n يمكن أن يتخذ أي قيمة رقمية ابتداءً من 1، ويمكن أن يتخذ العدد الكمومي الثاني، ويشار إليه بالحرف l ، القيم التالية المتعلقة بقيم n

$$l = n - 1, \dots, 0$$

في حال كان $n = 3$ ، على سبيل المثال، يمكن أن يتخذ l القيم 2، أو 1 أو 0. ويشار إلى العدد الكمومي الثالث بالرمز m_l ، ويمكن أن يتخذ قيماً ترتبط بالأعداد الكمومية الثانية مثل:

$$m_l = -l, -(l-1), \dots, 0, \dots, (l-1), l$$

على سبيل المثال، إذا كان $l = 2$ ، تكون القيم المحتملة للعدد m_l :

$$2-, 1-, 0, 1+, 2+$$

أخيراً، يشار إلى العدد الكمومي الرابع بالرمز m_s ، ويمكن أن يتخذ

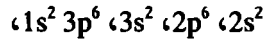
قيمتين محتملتين، $2/1+$ أو $2/1-$ وحدة الزخم الزاوي التدويمي كما ذكر من قبل. لذا ثمة تراتبية للقيم المترابطة للأعداد الكمومية الأربعة التي تستخدم لوصف أي إلكترون في الذرة (الشكل 2,3).

نتيجة لهذا المخطط، يتضح سبب قدرة الغلاف الثالث مثلاً على احتواء ثمانية عشر إلكترونًا. إذا كان العدد الكمومي الأول، تبعاً لرقم الغلاف، 3، فسيكون هناك $2x(3)^2$ ، أو 18 إلكترونًا في الغلاف الثالث. ويمكن أن يتخذ العدد الكمومي الثاني، l ، القيم 2، أو 1، أو 0. وستولّد كل من هذه القيم التي يتخذها l عدداً من القيم المحتملة التي يتخذها m_l وتضرب كل من هذه القيم بعامل من اثنين لأن العدد الكمومي الرابع يمكن أن يتخذ القيمتين $2/1+$ أو $2/1-$.

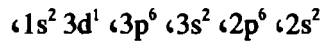
العدد	القيم المحتملة l	تسمية الغلاف الفرعي	القيم المحتملة m_l	الغلاف الفرعي	الإلكترونات في كل غلاف
1	0	1s	0	1	2
2	0	2s	0	1	8
1	1	2p	1، 0، -1	3	
3	0	3s	0	1	18
1	1	3p	1، 0، -1	3	
2	2	3d	2، 1، 0، -1، -2	S	
4	0	4s	0	1	32
1	1	4p	1، 0، -1	3	
2	2	4d	2، 1، 0، -1، -2	S	
3	3	4f	3، 2، 1، 0، -1، -2، -3		

الشكل 2,3 الجمع بين الأعداد الكمومية الأربعة لتفسير العدد الإجمالي للإلكترونات في كل غلاف.

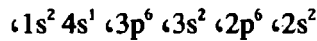
لكن قدرة الغلاف الثالث على احتواء 18 إلكترونات لا تفسر بالضبط لماذا تحتوي بعض الأدوار في النظام الدوري على 18 خانة. ولا يمكن أن تكون تفسيراً دقيقاً لهذا الواقع إلا إذا امتلأت أغلفة الإلكترونات بطريقة متتالية. وعلى الرغم من أن أغلفة الإلكترونات تبدأ بالامتلاء بهذه الطريقة، فإن الحال لا تعود كذلك بدءاً بالعنصر 19، أو البوتاسيوم. تبنى التشكيلات ابتداءً بالمداري 1s الذي يمكن أن يحتوي على إلكترونين، وتنتقل إلى المداري 2s الذي يملأ أيضاً بالإلكترونين آخرين. ثم تأتي مداريات 2p التي تحتوي على ستة إلكترونات أخرى، وهكذا. وتتواصل هذه العملية بطريقة يمكن توقعها وصولاً إلى العنصر 18، أو الأرجون، الذي لديه التشكيلة التالية:



يمكن أن يتوقع المرء أن يكون تشكيل العنصر التالي، 19 أو البوتاسيوم،



حيث يشغل الإلكترون الأخير الغلاف الفرعي التالي الذي يسمى 3d. يتوقع ذلك لأن المنوال حتى هذه المرحلة هو إضافة الإلكترون المميز إلى المداري التالي المتوافر على مسافات متزايدة من النواة. غير أن الدليل التجريبي يبين أن تشكيل البوتاسيوم يجب أن يرمز إليه كما يلي:



وعلى نحو ذلك، في حالة العنصر 20، أو الكالسيوم، يدخل الإلكترون الجديد أيضاً في المداري 4s. لكن في العنصر التالي، 21 أو السكندنيوم، يلاحظ أن التشكيل يصبح

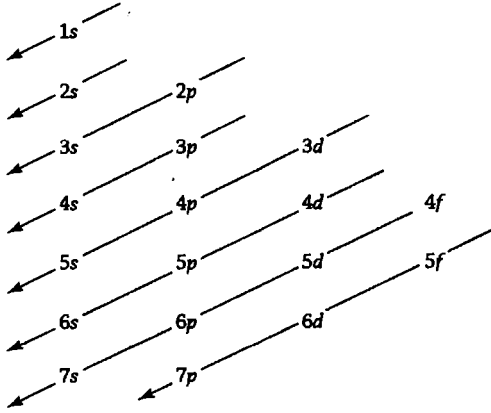
$$1s^2 4s^2, 3d^1, 3p^6, 3s^2, 2p^6, 2s^2$$

هذا النوع من القفز جيئة وذهاباً بين المداريات المتوافرة فيما تملأ الإلكترونات العناصر التالية يتكرر ثانية عدة مرات. وغالباً ما يوجز ترتيب الملء في الشكل 4,2 أدناه.

نتيجة لهذا الترتيب للملء، فإن الدورات المتتالية في الجدول الدوري تحتوي على العدد التالي للعناصر (2، 8، 8، 18، 18، 32، إلخ)، وهكذا تظهر مضاعفة كل دور باستثناء الدور الأول.

تقدّم قواعد توليف الأعداد الكمومية الأربعة تفسيراً دقيقاً للنقاط التي تغلق عندها الأغلفة، لكنها لا تقدّم تفسيراً دقيقاً مماثلاً للنقطة التي تغلق عندها الدورات. مع ذلك، يمكن إعطاء بعض المبررات لهذا الترتيب للملء، على الرغم من أنها تتوقف على الحقائق التي يحاول المرء تفسيرها. إننا نعرف أين تغلق الأدوار لأننا ندرك أن الغازات الخاملة تقع عند العناصر 2، 10، 18، 36، 54، وهكذا دواليك. ونحن نعرف أيضاً ترتيب المداريات التي يجب النظر فيها للحصول على تشكيل عام، لكن القاعدة المساعدة للذاكرة غير مستمدة من النظرية.¹³ الخلاصة التي نادراً ما تقرّها روايات الكتب الدراسية هي أن فيزياء الكمّ تفسّر الجدول الدوري جزئياً فقط. ولم يستنتج أحد حتى الآن قاعدة ميدلونغ (Madelung) المستخدمة لتوقع التشكيل العام من مبادئ ميكانيكا الكمّ. ولا يعني ذلك القول

إن ذلك قد لا يتحقق في المستقبل أو إن ترتيب ملء الإلكترونات غير قابل للتبسيط في ميكانيكا الكم بأي حال من الأحوال. فعملية التبسيط مستمرة وموقّعة، كما في جميع العلوم.¹⁴



الشكل 4,2 التوالي المتبع للحصول على التشكيل العام لمعظم الذرات. اتبع الأسهم من أعلى إلى أسفل.

بعد هذه النظرة المستفيضة إلى خلفية ظهور الجدول الدوري وكيف استعمره ميدان الفيزياء، أصبحنا مستعدين لاستئناف ما يتوخاه هذا الكتاب - أي تفحص اكتشاف آخر سبعة عناصر بين العناصر 1-92 الأصلية.

الفصل الثالث

العنصر 91 - البروتكتينيوم

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv		

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

الشكل 1,3 جدول دوري يظهر موقع العنصر المفقود الذي أصبح يعرف باسم البروتكتينيوم. وقد حُدث هذا الجدول، كذلك التي تفتح الفصول 4 إلى 9 ضمناً، ليشمل جميع العناصر التي تحمل أسماء رسمية عند تأليف الكتاب.

كان أول العناصر السبعة التي تناولها، البروتكتينيوم، واحداً من العناصر العديدة التي أصاب مندليف في التنبؤ بها حتى في مقالاته المبكرة. ولا ينطبق ذلك على بحثه الشهير في سنة 1869، حيث استخدم قِماً غير صحيحة للثوريوم (118) واليورانيوم (116). انظر الشكل 2,3.

преимущественно найдти общую систему элементов. Вотъ этотъ опытъ:

			Ti=50	Zr=90	?=180.
			V=51	Nb=94	Ta=182.
			Cr=52	Mo=96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
			Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199.
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

الشكل 2,3 أقدم جدول مندلييف، نُشر في سنة 1869. لم يكن هناك إشارة إلى التنبؤ بإكالات التتالوم ولم تصحح القيم الذرية للثوريوم واليورانيوم. D. I. Mendeleev, Sootnoshenie svoistv s atomnym vesom elementov, Zhurnal Russkeo Fiziko-Khimicheskoe Obshchestv, .1, 60-77, 1869, p. 70

بعد ذلك بستين فقط، في سنة 1871، صحح مندلييف القيمتين وأشار إلى عنصر مفقود بين الثوريوم واليورانيوم (الشكل 14,1). لكن مندلييف لم يشر فقط إلى وجود عنصر مفقود، بل أضاف الفقرة الموجزة التالية التي تجرأ فيها على تقديم مزيد من التوقعات:

يمكننا أن نتوقع وجود عنصر إضافي بين الثوريوم واليورانيوم في هذه السلسلة يبلغ وزنه الذري 235. ويجب أن يشكّل هذا العنصر أعلى أكسيد

R_2O_3 ، مثل التوتيدوم (Nb) والتتالوم (Ta) اللذين يجب أن يكون مماثلاً لهما. وربما يوجد في المعادن التي تحتوي على هذه العناصر مقدار معين من الحمض الضعيف المتشكل من هذا الفلز¹.

يلغ الوزن الذري الحديث لإكالتتالوم أو البروتكتينيوم 229,2 في الواقع. وقد كان مندلييف غير محظوظ في هذه الحالة لأنه لم يكن يعلم أن البروتكتينيوم عضو في خمسة «انعكاسات زوجية» فقط في الجدول الدوري بأكمله. ويحدث مثل هذا الوضع عندما يجب عكس عنصرين، خلافاً لوزنهما الذري، من أجل تصنيفهما تصنيفاً صحيحاً. وأكثر حالات هذه الانعكاسات وضوحاً التيلوريوم واليود، كما يُبحث في الفصلين الأول والثاني.²

لم تُفهم هذه المسألة بوضوح إلا بعد العمل الذي قام به موزلي في سنة 1914. فقد أظهر موزلي أن مبدأ الترتيب الصحيح للعناصر هو العدد الذري لا الوزن الذري. وتبرير وضع التيلوريوم قبل اليود، كما تقتضيه الخصائص الكيميائية هو أن للتيلوريوم عدداً ذرياً أصغر.

بالعودة إلى البروتكتينيوم، يبدو أن توقعات مندلييف الموجزة تحققت على العموم لأن العنصر يظهر شبيهاً بالتتالوم في تشكيل خامس أكسيد البروتكتينيوم (Pa_2O_5) باعتباره أعلى أكسيدات وأكثراً استقراراً. مع ذلك، فإن البروتكتينيوم يظهر شبيهاً أفقياً شديداً بالثوريوم واليورانيوم بإظهار حالة الأكسدة +4، وهو أمر لم يتوقعه مندلييف على ما يبدو.³ أخيراً، توقع مندلييف مصيباً أن يوجد البروتكتينيوم مع اليورانيوم، وتحديدأ في البتسبلند، وهو المعدن الذي عزلته منه ليز ميتز في نهاية المطاف في سنة 1917.

كروكس

كان وليام كروكس أول من وجد علامات على عنصر إكّا تتالوم الذي ذكره مندلييف، رغم أنه لم يتمكن من عزله، وهو كيميائي ومخترع شهير ومحزّر دورية مقيم في لندن.⁴ في بحث كُتب في «وقائع الجمعية الملكية في لندن» (*Proceedings of the Royal Society of London*) لسنة 1899-1900، أورد كروكس تفاصيل دقيقة عن تجارب أجراها على مختلف خامات اليورانيوم. وقبل أن تنفحص بحث كروكس، يجدر بنا التوقف للنظر في حالة بحوث النشاط الإشعاعي عند نهاية القرن العشرين. وقد أجري كثير من هذا العمل المبكر في فرنسا على اليورانيوم، وهو عنصر كان معروفاً منذ بعض الوقت.

أفاد مارتن كلابروث (Martin Klaproth) من برلين عن اليورانيوم لأول مرة في سنة 1789، عندما كان في صدد تفحص خام يدعى بتشبلند. وكان كلابروث من أعطى للعنصر اسمه تقديراً لاكتشاف كوكب أورانوس من قبل هيرشل (Herschel) قبل ثماني سنوات فقط.⁵ لكن ما لم يدركه كلابروث هو أنه عزل أكسيد اليورانيوم (UO_2) في الواقع، لا العنصر نفسه. ولم تتحقق المهمة الأخيرة إلا بعد خمسين سنة تقريباً، عندما نجح يوجين بيلغيوت (Eugène Péligot) في استخلاص اليورانيوم النقي في فرنسا في سنة 1841. لكن مضى أكثر من قرن من الزمن بين اكتشاف كلابروث الأصلي لأكسيد اليورانيوم والاكتشاف اللاحق، في فرنسا أيضاً، بأن اليورانيوم يمتلك خاصية النشاط الإشعاعي.

فاصل عن الباحثين الفرنسيين

كان هنري بوانكاريه (Henri Poincaré) من بين العلماء العديدين الذين أرسل إليهم روتنجن صور الأشعة السينية التي التقطها. وعرض بوانكاريه بدوره إحدى صور الأشعة على زملائه في أكاديمية العلوم في باريس، في 20 يناير 1896. دون أحدهم، هنري بيكريل، وهو أستاذ في متحف التاريخ الطبيعي ملاحظة قالها بوانكاريه عن الارتباط المحتمل بين الأشعة السينية والتفسفر. وعند عودته إلى مختبره، صمّم تجربة لاختبار فرضية العلاقة بين الأشعة السينية والتفسفر. ولكي يتمكن من مشاهدة أشعة سينية صادرة عن جسم متفسفر، اختار ملحاً مميهاً لليورانيوم كان قد أعدّه قبل بضعة سنين. وفي 20 فبراير وضع بيكريل بلّورة شفافة من الملح على لوح فوتوغرافي، ملفوف بأوراق سميكة من الورق الأسود، وعرضت التجربة لضوء الشمس عدّة ساعات. وبعد التظهير- ظهر ظلّ البلّورة على الصورة الفوتوغرافية، واستنتج بيكريل أن المادّة المتفسفرة أصدرت إشعاعاً خارقاً قادراً على العبور خلال الورق الأسود.

لم يتمكن بيكريل من تكرار تجاربه في الأيام التالية بسبب الافتقار إلى ضوء الشمس، فوضع بلّورته الملحية في أحد الأدراج، وتشاء المصادفة أن يضعها على لوح فوتوغرافي غير مظهر. وفي وقت لاحق، ظهر اللوح الفوتوغرافي ليحدّد مقدار انخفاض التفسفر. ولشدّ ما كانت دهشته عندما وجد أن التفسفر لم يتقلّص، بل ازداد حدّة عما كان عليه في اليوم الأول. وعندما لاحظ بيكريل وجود ظلّ على اللوح ناجم عن قطعة معدنية وضعها بينه وبين الملح، أدرك أن نشاط الملح تواصل في الظلام. من الواضح أن ضوء الشمس لم يكن ضرورياً لإصدار الأشعة الخارقة.

تُرى أيمكن بعد سنة واحدة من اكتشاف الأشعة السينية أن يبدأ شكل جديد آخر من الانبعاثات في الكشف عن نفسه؟ وجد بكريل أيضاً أن نشاط ملح اليورانيوم لم يتقلص مع الوقت، حتى بعد مرور عدّة أشهر. وحاول أيضاً استخدام ملح يورانيوم غير متفسفر وتبيّن له استمرار المفعول الجديد. وسرعان ما استنتج أن الانبعاث ناجم عن عنصر اليورانيوم نفسه. ولم تظهر شدّة الأشعة الجديدة أي علامة على الانخفاض، مع أن سنة تقريباً انقضت على بدء أولى تجاربه. لكن تحوّل بكريل إلى اهتمامات علمية أخرى وتُرك لآخرين استكشاف هذه الأشعة بمزيد من التفصيل.⁶

الزوجان كوري وديبيارن

مضت التقاليد الفرنسية في العمل على النشاط الإشعاعي قدماً عن طريق ماري وبيار كوري اللذين عزلاً معاً عنصرين إضافيين تبيّن أنهما أكثر نشاطاً إشعاعياً بكثير من اليورانيوم، وتحديداً البولونيوم، ويلييه الراديوم. وسرعان ما اكتُشف بعد ذلك عنصر مشع آخر، الأكتينيوم، في فرنسا على يد أندريه ديبيارن (André Debierne) (الشكل 3,3).

92	91	90	89	88
يورانيوم (U) 1789	إكا تتالوم (Eka-Ta) 1917	ثوريوم (Th) 1815	أكتينيوم (Ac) 1899	راديوم (Ra) 1898
كلابروث	ميتنر	بيرزيليوس	ديبيارن	الزوجان كوري

الشكل 3,3 جدول جزئي يحدّد هذه العناصر (العدد الذري، والرمز، وتاريخ الاكتشاف، والمكتشف).

عودة إلى كروكس

بدأ كروكس بحثه في سنة 1900 بإجراء عدد من التجارب على العديد من مركّبات اليورانيوم. وخلص إلى القول:

وهكذا يبدو أن أي تعديل للشروط الفيزيائية أو الكيميائية لا يؤثر على الخاصية الإشعاعية لمركّب يورانيوم عند البدء بمحلول يمتلك هذه الخاصية. وتبيّن تجارب أخرى مماثلة أنه عند البدء بمحلول يورانيوم خامل لا يمكن عمل أي شيء يؤدي إلى اكتسابه تلك الخاصية. لذا يتبيّن، كما ظننت، أن الخاصية الإشعاعية المنسوبة لليورانيوم ومركّباته ليست خاصية طبيعية ملازمة للعنصر، لكنها تكمن في جسم خارجي ما يمكن فصله عنه.⁷

هذا البحث عن «جسم خارجي» هو الذي قاد كروكس إلى البدء في تحديد مادّة، سماها يورانيوم إكس، ما أدّى في نهاية المطاف إلى اكتشاف العنصر الموجود قبل اليورانيوم بخانة واحدة في الجدول الدوري، وهو العنصر الذي أطلق عليه اسم البروتكتينيوم في النهاية. وقد أسمى بروتكتينيوم لأنه عند التعرّض لاضمحلال ألفا يتغيّر عدده الذري من 91 إلى 89، ما يعني أنه يتغيّر من بروتكتينيوم إلى أكتينيوم. لذا فإنه سلف (pro-genitor) الأكتينيوم، ومن ثم بروتو-أكتينيوم (proto-actinium). ولاحقاً اختصر الاسم إلى بروتكتينيوم الأسهل لفظاً.

وفي البحث نفسه، شرع كروكس بمحاولة معرفة إذا كان يمكن فصل هذا الجسم عن اليورانيوم. وبعد إجراء مجموعة من الاختبارات توصل إلى ما يلي:

بعد الإثبات القاطع بأن النشاط الإشعاعي لليورانيوم وأملاحه ليس خاصية طبيعية ملازمة للعنصر، وإنما ترجع إلى وجود جسم خارجي*، من الضروري تحديد طبيعة هذا الجسم الخارجي بصبر وأناة. لقد استُخلص العديد من الأجسام المشعة التي زُعم أنها جديدة من البتسبلند، وأجريت التجارب لمعرفة إذا كان للجسم المكتشف حديثاً، U_{rX} ، خصائص كيميائية مماثلة للمواد المشعة الأقدم.

وفي الحاشية المشار إليها بنجمة، يعطي كروكس اسماً مؤقتاً للمادة الجديدة:

يجب أن يكون للجسم الجديد اسم من أجل الوضوح. وإلى أن يصبح أكثر طواعية سأسميه مؤقتاً U_{rX} - المادة المجهولة في اليورانيوم.

كانت هذه المرة الأولى التي تمنح فيه المادة التي أفضت إلى البروتكتينيوم في النهاية اسماً أو وصفاً من أي نوع.

تابع كروكس عمله بتفحص العنصر الذي اكتشفه الزوجان كوري، البولونيوم، لمعرفة إذا ما كان مماثلاً لليورانيوم المجهول U_{rX} ، لكن سرعان ما خلص إلى أنه ليس كذلك. التفت بعد ذلك إلى احتمال أن يكون العنصر الآخر الذي اكتشفه الزوجان كوري، الراديوم، وخلص كروكس أيضاً إلى أنه ليس كذلك، على الرغم من الصعوبة التي واجهها في المقارنة. تفحص كروكس بعناية الدليل الطيفي على اليورانيوم المجهول U_{rX} ، وكان قد حصل سابقاً على بيانات طيفية عن البولونيوم والراديوم، لكنه

لم يتمكن من الفصل في هذه المسألة. وخلص بحثه بطريقة شاعرية إلى حدّ ما بالتشديد على مقدار صعوبة هذه التجارب. ويبدو أن النتيجة الصافية إدراك كروكس وجود مادة جديدة مهمة لكن لم تكن لديه الوسائل لاستخلاصها أو حتى القول على نحو مطلق بأنها قد تكون عنصراً جديداً بدلاً من عنصر تمّت ملاحظته سابقاً:

على نحو عالم فلك يقوم بتصوير نجوم خافتة جداً لا يكشفها مقاربه، ما عليه إلا تعريض اللوح الفوتوغرافي مدّة طويلة كافية وسيكشف النجم عن نفسه عند التظهير. لذا في حالة المعادن أو الرواسب المشعّة، إذا لم يتّضح أي مفعول بعد انتهاء ساعة من الزمن، فرمما يظهر بعد أربع وعشرين ساعة. وإذا لم يظهر تعريض يوم كامل شيئاً، جرّب لمدة أسبوع. وإذا اعتبرنا أن U_{rX} الشديد النشاط لا يحتوي على ما يكفي من المادّة الحقيقية كي يظهر على مرسمه الطيف، فإن له من القوة بحيث يعطي انطباعاً جيداً على لوح فوتوغرافي في خمس دقائق، فكم سيكون مقدار تخفيفه في المركّبات التي تتطلّب ساعة، أو يوماً، أو أسبوعاً لتعطي مفعولاً؟

البحث عن أم الأكتينيوم واكتشاف البريفيوم

يبدو أن عدداً من الباحثين اضطلع بالعمل على اليورانيوم المجهول ثانية بحماسة في سنة 1913. ويجدر التشديد على أنه لم يشرع أي من هؤلاء الباحثين بالعمل لاكتشاف عنصر جديد. بل كانت أهدافهم أكثر اتساعاً إلى حدّ ما. فقد عملوا على إزالة التباس العديد من العناصر المشعّة المكتشفة حديثاً أو التحقّق مما إذا كانت عناصر جديدة حقاً. كان

مفهوم النظرية قد بدأ يتضح، ويرجع ذلك إلى جهود سودي على وجه الخصوص. لكن لم يكن قد أدرك بعد أن العدد الذري مبدأ أكثر صحة من الوزن الذري لترتيب العناصر. لذا لم يكن يعرف عدد العناصر الموجودة بين الرصاص واليورانيوم. بل لم يتضح إذا كان الجدول يظل صالحاً عند مثل هذه القيم المرتفعة للوزن الذري. وازدادت هذه المخاوف عمقاً إذ لم يتم استيعاب عناصر الأتربة النادرة ضمن المتن الرئيس للجدول الدوري وتحتّم إدراجها منفصلة.⁸

وسط هذا الالتباس، ظلّ عنصر الأكتينيوم غامضاً، وبخاصة فيما يتعلق بنسبه من حيث الاضمحلال الإشعاعي. كان الأكتينيوم العنصر الذي يحظى بأقل قدر من الفهم من بين العناصر المشعة المكتشفة حديثاً، حيث لا يزال وزنه الذري مجهولاً. وكانت خصائصه الكيميائية غامضة، وقيمة عمره النصفى (half life) موضع خلاف. كان معروفاً أن الأكتينيوم بداية واحد من ثلاث سلاسل إشعاع اضمحلاي مهمة، لكنه كان يعرف أيضاً بأنه متحدّر من اليورانيوم بطريقة أو بأخرى. كما أن الأكتينيوم يوجد دائماً في المعادن التي تحتوي على اليورانيوم، بل لا يوجد إلا فيها، ومع ذلك ظلّ الرابط بين العنصرين غامضاً.

لذا بدأ البحث عن أصل الأكتينيوم، أو «أم الأكتينيوم»، كما يسمى في البلدان الألمانية. على سبيل المثال، وفقاً لليز ميتر وأوتو هان، اللذين عملا حديثاً في معهد القيصر فلهلم في برلين، كانت المشكلة أن:

إيجاد تلك المادّة... يشكل نقطة بداية لسلسلة الأكتينيوم، وتحديد إذا كان

الأكتينيوم مشتقاً وما هي الوسائط المشتق منها.⁹

أصبح الوضع أكثر وضوحاً بقليل في أعقاب بعض الاكتشافات المهمة في مجال النشاط الإشعاعي. وأهم ما فيها الكشف عن بعض أنماط سلوك اضمحلال ألفا وبيتا. وفي الوقت نفسه تقريباً، أعلن فاينس (Fajans)، وهو عالم كيمياء إشعاعية بولندي يعمل في كارلسروه بألمانيا، وفريدريك سودي، وهو عالم كيمياء إشعاعية آخر يعمل في غلاسكو بإسكتلندا، عن قانوني الإزاحة. وهما قانونان بسيطان ومهمّان جداً في جهود فهم كثرة العناصر ومنتجات الاضمحلال الجديدة.

نصّ هذان القانونان على أن خضوع عنصر ما لاضمحلال ألفا يؤدي إلى إنتاج عنصر آخر ذي شحنة أدنى بوحدتين. من ناحية أخرى فإن العنصر الذي يخضع لاضمحلال بيتا يؤدي على نحو مفاجئ إلى إنتاج عنصر أعلى بوحدة واحدة. بدا أن هذين القانونين الجديدين يربطان الشحنة الذرية بدلاً من الوزن الذري، بموقع العنصر في الجدول الدوري، لكن الأمور ظلت غامضة.¹⁰

بناء على قانوني إزاحة النشاط الإشعاعي إلى حدّ ما، تم وضع عدّة عناصر مشعّة في الجدول الدوري بنجاح. أظهر الراديوم تكافؤاً ثنائياً شبيهاً بالباريوم لذا عيّن في المجموعة الثانية. وأشارت الخصائص الكيميائية للثوريوم إلى تكافؤ ثلاثي، وعنى ذلك وجوب وضع العنصر في المجموعة الرابعة، في حين أن التكافؤ السداسي لليورانيوم عنى أنه ينتمي إلى المجموعة السادسة.¹¹

على الرغم من أن موقع الأكتينيوم ظلّ محل شكّ، مثل العديد من خصائصه، فقد خلص سودي، وميتزر، وهان، وفاينس، كل مستقلاً عن الآخر، إلى أن العنصر ينتمي إلى المجموعة الثالثة. لذا فإن هذا التسلسل

للعناصر الذي يبدو متماثلاً مع الصف الثالث للفلزات الانتقالية أظهر فجوة واضحة تمثل عنصراً خماسي التكافؤ يتوقع أن يكون ذا خصائص مماثلة للتتالوم في المجموعة الخامسة من الجدول الدوري (الشكل 4,3). هكذا كانت تبدو الأمور إلى حد ما عندما بدأ البحث عن أم الأكتينيوم يتخذ شكلاً مميزاً. وبلاستفادة من قانوني الإزاحة لفائيس وسودي، اتضح أن هناك طريقتين من حيث المبدأ يمكن أن يتشكل بهما الأكتينيوم. إما أنه ابن الراديوم، في أعقاب اضمحلال بيتا، وإما أنه يتشكل باضمحلال ألفا للعنصر الجديد المشتبه في المجموعة الخامسة، أو إكا تتالوم كما سماه سودي. وفي بحث نشر في مجلة «نيتشر» في سنة 1913، خلص سودي إلى أن الأكتينيوم ربما تشكل من العنصر الجديد المشتبه به بدلاً من الراديوم إذ لم يعثر على الراديوم مع الأكتينيوم البتة (الشكل 5,3).

وكان فائيس وغوهرنغ (Göhring) في كارلسروهه بألمانيا قد اكتشفا قبل عدة أشهر UX_2 ، وهو منتج ابن لانبعاث بيتا من UX_1 ، الذي حدّد بأنه نظير للثوريوم. وتظهر نظرة سريعة إلى الجدول 1,3، إلى جانب قانوني الإزاحة، أن UX_2 ليس سوى العنصر الجديد المشتبه به أو أحد نظائره على الأقل. ولو نظر المرء نظرة ضيقة إلى اكتشاف العنصر 91، لربطه باكتشاف فائيس وغوهرنغ.

Groups II	III	IV	V	VI
Ra	Ac	Th	?	U

الشكل 4,3 جدول جزئي يظهر الموضع الأصلي للعناصر من الراديوم إلى اليورانيوم.

Ra	Ac	Th	?	U
88	89	90	91	92

|-----β-----<-----α-----|

الشكل 5,3 مساران لتشكيل الأكتينيوم Ac، من الراديوم عن طريق اضمحلال بيتا أو من العنصر الجديد المشتبه به عن طريق اضمحلال ألفا. وقد استخدمت الأعداد الذرية لتحديد العناصر في حين أن المبدأ ترسخ بعد ذلك في سنة 1913.

ربما عمل كروكس على UX، لكن من الواضح أنه لم يحدّد عنصراً جديداً. غير أنه كان في وسع فاينس وغوهرنغ، بمساعدة قانوني الإزاحة، أن يطالبا به بثقة باعتباره جازئتهما. كما أنهما أكّدا شكوكهما بإجراء بعض الاختبارات الكيميائية، ووجدا أنه يمكن فصل العنصر الجديد المشتبه به من معدن الثوريوم الأم باستخدام حمض التنتاليك. وقد سميا العنصر الجديد بريفيوم بسبب قصر عمره النصفى الشديد البالغ 1,17 دقيقة. لكن قصر هذا العمر النصفى أسهم في عدم بقاء هذا الاسم. فقد كان هناك اصطلاح بين علماء الكيمياء الإشعاعية بأن يمنح اسم العنصر إلى مكتشفي النظير المستقرّ بدلاً من النظير غير المستقرّ. وكما تبين لاحقاً، فقد اكتُشف نظير للعنصر الجديد أكثر استقراراً بكثير بعد ذلك ببضع سنوات.

لكن دعونا نعود إلى البحث عن أم الأكتينيوم. كان البريفيوم وفقاً لفاينس وغوهرنغ مصدراً لإشعاع بيتا الذي يشكّل نظيراً لليورانيوم (^{234}U). ويعني ذلك أنه لا يمكن أن يكون أم الأكتينيوم. وعلى الرغم من أن العنصر 91 اكتُشف من الناحية التقنية، في شكل قصير العمر، فإن مسألة أصل الأكتينيوم الأكثر إلحاحاً لم تكتشف، رغم أن الاحتمالات أصبحت ضيّقة.

في هذه المرحلة، اقترح ميتزر وهان في برلين آلية معقولة أخرى لتشكّل الأكتينيوم من العنصر الجديد المشتبه. وفيما يلي تفسير سودي لوجهة نظر ميتزر وهان في نهاية بحثه المنشور في مجلة «نيتشر» في سنة 1913:

يدو حتى الآن أن التجارب تدحض احتمال تشكّل الأكتينيوم من الراديوم. ويمكن استخدام مقولات مماثلة لتلك الواردة أعلاه لإثبات أنه لا يمكن أن يكون عنصراً مشعاً أولاً، لذا لا يزال أصله غامضاً حتى الآن.

غير أن سودي أضاف ملاحظة أخيرة:

في العدد الحالي من «دورية الفيزياء» (*Physikalische Zeitschrift*) (ص 752) عدّل هان وميتزر اقتراحي الأصلي واقترحا حدوث تفرّع سلسلة اليورانيوم عند اليورانيوم إكس، بحدوث تغيرين متزامنين بإشعاع بيتا، ما ينتج عنصري إكالتالوم، أحدهما المنتج القصير العمر الذي يصدر إشعاع بيتا [البريفيوم] والآخر أم الأكتينيوم الطويل العمر الذي يصدر إشعاع ألفا ولا يزال مجهولاً. وهو البديل الآخر الوحيد تقريباً الذي يتبقّى للاختبار، ويجب ألا يكون من الصعب الفصل في ذلك عن طريق التجربة.

وكانت تلك بالضبط كيفية نجاح هان وميتزر، أو بالأحرى ميتزر التي عملت بمفردها تقريباً، في اكتشاف نظير طويل العمر للعنصر الجديد المشتبه به في المجموعة الخامسة.

طريق ميتر وهان إلى البروتكتينيوم

على الرغم من أن اكتشاف النظير الطويل العمر للعنصر المشتبه به في المجموعة الخامسة، أو إكالتالوم، ينسب لليز ميتر (الشكل 6,3) وأوتو هان، فمن الواضح من المراسلات المطوّلة بين الشريكين أن ميتر أنجزت أغلب العمل. وتصبح هذه الحجة مثيرة للاهتمام على وجه الخصوص بسبب الظروف الصعبة التي عانت منها ميتر في عملها في أثناء الحرب العالمية الأولى. وقد وصفت الأبحاث بالتفصيل في المراسلات بطريقة لا يجدها المرء في أوراق الأبحاث المنشورة المصاحبة لمعظم الاكتشافات العلمية.



الشكل 6,3 طابع بريد نمساوي يعرض رسماً لليز ميتر. بإذن من الأستاذ دانيال راينوفيتش من قسم الكيمياء، جامعة نورث كارولينا، تشارلوت، نورث كارولينا.

على الرغم من أن ميتر وهان كانا قد انتقلا حديثاً إلى معهد القيصر فلهلم في برلين، فإن أوتو سرعان ما ذهب للقتال في الحرب وبقيت ميتر

لإجراء جميع التجارب بمفردها. ولم تفقد ميثنر رفيقها منذ مدة طويلة ومعاونها فحسب، وإنما فقدت، كما ذكرت مراراً في مراسلاتها، جميع طلابها ومساعدتها التقنيين.

بالنظر إلى ضعف النشاط الإشعاعي المرتبط بسلف الأكتينيوم، فقد كان من حسن حظ ميثنر وهان انتقالهما حديثاً إلى مختبر جديد، لأن المختبر القديم أصبح ملوثاً بالعمل لمدة خمس سنوات أو أكثر على النظائر المشعة. وكانا يدركان هذه المشكلة جيداً، وبذلت ميثنر، على وجه الخصوص، جهوداً كبيرة في إعطاء التعليمات لجميع الطلاب والفنيين في مختبرها الجديد بالحاجة إلى الالتزام الصارم بالإجراءات لتجنب التلوث. تناول ميثنر وهان المسألة باتباع نهجين اثنين. في النهج الأول، حاولا العمل باستخدام أملاح اليورانيوم التي استُخرجت من خاماتها قبل نحو خمس وعشرين سنة. شمل النهج الثاني البتشلند، وهو الخام الذي يحتوي على اليورانيوم وعدة عناصر مشعة أخرى. وفي كلا الحالتين، كان السعي وراء اضمحلال ألفا البطيء محجوباً بالاضمحلالات السريعة الناجمة عن الثوريوم والبولونيوم. وكان واضحاً لميثنر وهان أن عليهما مراقبة العينات عدة سنوات على أمل أن تراجع الاضمحلالات السريعة الطارئة لتكشف عن الاضمحلال الأشد ببطء الناجم عن أم الأكتينيوم. لذا وضعت العينات المعدّة تحت عدّة مقاييس إشعاع كهربائية (electroscopes) وتُركت لمدة عدة سنوات.

في سنة 1914، كان ميثنر وهان محظوظين باكتشاف أن استخدام حمض النيتريك مذيباً للبتشلند يشكل فضلاً من ثاني أكسيد السيليكون الذي يحتوي على مقادير صغيرة جداً من ملوثات البولونيوم، والثوريوم،

والبزموت المعتادة. وبالمقابل، كانت الفضلة تحتوي على عناصر في المجموعة الخامسة، ويفترض بالتالي أن تحتوي على العنصر الجديد المفقود، وتحديدًا المادة الأم للأكتينيوم. لم يطلع ميتزر وهان منافسيهما على هذه الطريقة لأنهما أدركا أنها تمنح أفضلية كبيرة لكل من عرف بها. في هذه المرحلة في سنة 1914، اندلعت الحرب. فجنّد أوتو هان على الفور وخدم في وحدة غاز سام سيئة السمعة يقودها فريتز هابر (Fritz Haber). في غضون ذلك تطوّعت ميتزر للخدمة عاملة أشعة سينية. لكن بعد مدّة وجيزة، شعرت بالملل وعادت إلى بحوثها العملية في معهد برلين. عادت ميتزر لتجد أن رجال هابر استولوا على مقدار كبير من التجهيزات من العديد من المختبرات، لكن لم يأخذوا لحسن الحظ أيًا من مقاييس الإشعاع الكهربائية المستخدمة في تجاربها للبحث عن إكّا تتالوم. وكتبت في رسالة إلى هان:

يعاملنا رجال هابر، بطبيعة الحال، باعتبارنا أرضاً محتلة - لا يأخذون ما يحتاجون إليه، وإنما ما يعجبهم. من يضمن ألا يأتوا إلى هنا، وعندئذ سيضيع كل شيء... سأبدل ما في وسعي لأمنع ذلك، فنحن نجري القياسات منذ مدة طويلة.¹²

بحلول يناير 1917، عندما عاد هان إلى برلين لفترة وجيزة، قاسا النشاط الإشعاعي، وبدأ أن القياسات تشير إلى وجود مقدار محدّد من سلف الأكتينيوم. وبعد أن عاد هان إلى الحرب، واصلت ميتزر العمل بمفردها ثانية، وكانت بحاجة ماسّة إلى مزيد من البتشلند لمتابعة قياسات

النشاط الإشعاعي. وفي رسالة في فبراير 1917 تصف مِيتنر المصاعب التي كابدتها:

طلبت الأوعية الخاصة بتجارب الأكتينيوم، وسنحصل عليها في بضعة أيام ونبدأ على الفور... ظنّ خيراً ولا تغضب أرجوك بشأن التأخر بالبتشبلند. صدّقني، لا علاقة للأمر بالافتقار إلى الإرادة، بل بقلّة الوقت. فأنا لا أستطيع أن أقوم بمفردي بقدر ما كنا نقوم به ثلاثناً معاً. يوم أمس اشترت ثلاثة أمتار من أنابيب المطاط مقابل 22 ماركا¹¹ وقد صُدمت عندما شاهدت الفاتورة.¹³

بعد ذلك بوقت قصير تمكّنت من إبلاغ هان بأن لديها إثباتاً بأن فضلة السيليكا في البتشبلند تحتوي على المادّة الجديدة وأن البتشبلند مصدر جيد لاستخراج العنصر الجديد. لكن مِيتنر أصبحت بحاجة إلى كميات إضافية من البتشبلند. فسافرت إلى فينّا في النمسا المجاورة لتطلب هذه المادّة من رئيس معهد الراديوم وزميلها منذ زمن طويل ستيفن ماير (Stephen Meyer). على الرغم من أن ماير زوّدها بكيلوغرام من البتشبلند الذي استُخرج منه اليورانيوم، فإنها واجهت مشاكل مع السلطات بسبب حظر التصدير الذي فُرض على جميع السلع المتنقلة من النمسا إلى ألمانيا. لجأت إلى ماير ثانية للحصول على الإذن اللازم، فتمّ لها ما أرادت بعد تدخله. في غضون ذلك، فاتحت مِيتنر فريدريك غيزل (Friedrich Giesel)، وهو منتج ألماني للراديووم فأبدى استعداده لتزويدها بمزيد من البتشبلند. أبلغت مِيتنر هان في رسالة أخرى أن فاينس نشر بحثاً يدافع فيه عن

زعمه بشأن البريفيوم وينكر أي أدعاء بأن سودي اكتشف إكنا تتالوم. في غضون ذلك كانت تجارب ميتر تتقدم وفقاً للجدول الزمني، وقد نقلت ذلك إلى هان بكتابها:

بيئت العيتات الكبيرة من بتشلند غيزل ارتفاع نشاط ألفا، ما يشير إلى تراكم انبعاثات الأكتينيوم.¹⁴

كانت كل تجربة تالية تعطي ميتر مزيداً من التأكيد بأنها ستنجح في إيجاد المادّة الأم للأكتينيوم. فلجأت ثانية إلى غيزل طلباً للمزيد من المادّة الخام إذ أصبح من الضروري قياس مدى نشاط ألفا الملحوظ والسرعة التي تتولّد بها الرواسب النشيطة. في هذه المرّة توجّهت إلى برونشفيك للتحدّث إلى غيزل شخصياً وكوفتت بتسلّم أكثر من خمسة وأربعين كيلوغراماً من فضلات البتشلند لاستخدامها في إكمال عملها. أنجزت المراحل النهائية، وقدم فيها هان قليلاً من المساعدة في أثناء إحدى زيارته إلى برلين. وفي مارس 1918 قدّمت ميتر وهان مقالة بعنوان «أمّ مادّة الأكتينيوم، عنصر مشعّ جديد ذو عمر نصف طويل». وتضمّنت المقالة الادّعاء البسيط التالي:

لقد نجحنا في اكتشاف عنصر مشعّ جديد، وإظهار أنه أمّ مادّة الأكتينيوم. لذا نقترح أن نطلق عليه اسم بروتكتينيوم.¹⁵

وفي رسالة جانبية مثيرة للاهتمام، تمكّنت ميتر من إبلاغ ماير بأنها

حققت الانتصار بعد نشر المقالة وتلقت منه الرسالة الودية التالية:

في رسالتك طرحت سؤالاً صعباً جداً عن البروتكتينيوم. أنا أفضل أسماء ليسوتونيوم، ليسوتونيوم، إلخ. لذا أقترح الرمز Lo، لكن هذه الأسماء غير ملائمة إذا سعى المرء للحصول على إقرار عام... ومع أنني ما زلت أفضل ليسوتو، فإن اكتشاف Pa أو Pn أهم بكثير من المحييء بأجمل اسم له.¹⁶

كان على ميتنر وهان أن يواجهها موقفاً قد يكون حساساً مع فاينس الذي ادعى، كما كانت ميتنر تدرك جيداً، الأسبقية باكتشاف نظير آخر للعنصر قبل نحو خمس سنوات. غير أن فاينس بدا على نحو مفاجئ أنه تخلى عن ادعائه في وجه مقالة ميتنر وهان في سنة 1918. ويرجع ذلك إلى الممارسة الشائعة التي ذكرت سابقاً في الدلالة على العنصر بنظيره الأطول عمراً. ففي حين أن العمر النصفى للبريفيوم الذي اكتشفه فاينس بلغ 1,7 دقيقة، فإن لنظير ميتنر وهان عمراً نصفياً طويلاً يبلغ 32,500 سنة. ومن الواضح أنه لا توجد منافسة ما جعل فاينس مضطراً للتسليم.

ثم إن هناك مجموعة ثالثة من المتنافسين، الثنائي الاسكتلندي سودي وزميله الشاب كرانستون (Cranston)، الذي كان يحمل في ذلك الوقت شهادة البكالوريوس فقط. وكان سودي وكرانستون قد تغلبا على الألمانين من حيث النشر إذ نُشر بحثهما في ديسمبر 1917، في حين نُشر البحث الألماني في «دورية الفيزياء» (Physikalische Zeitschrift) في مارس 1918. وفي حين أن فاينس لاحظ البريفيوم، وهو النظير القصير العمر ^{234}Pa ، فإن سودي وكرانستون بالإضافة إلى ميتنر وهان لاحظا

النظير الطويل العمر ^{238}Pa . لكن الفريق الاسكتلندي شكّل مقداراً صغيراً جداً من النظير، والأهم من ذلك أنه لم يتمكن من تحديد خصائصه بالتفصيل كما فعلت ميتزر. غير أن سودي وكرانستون سلّما بالأسبقية لميتزر وهان، وذلك مما يحسب لهما.¹⁷

البروتكتينيوم ولاحقاً الانشطار النووي، وهو عملية غيرت العالم وبخاصة ميزان القوة العسكرية، هما أشهر اكتشافين ليز ميتزر وأوتو هان. ومن اللافت أن كليهما حدثا حين كان أحدهما بعيداً عن المختبر حيث عملا في أثناء الحربين العالميتين المتتاليتين.

في حالة البروتكتينيوم، المكتشف في أثناء الحرب العالمية الأولى، أجرت ميتزر معظم التجارب فيما كان هان بعيداً عن برلين منخرطاً في أبحاث الغازات السامة. وفي حالة الانشطار النووي، كانت ميتزر، وهي يهودية، قد فرت من برلين إلى السويد، حيث واصلت التراسل المنتظم والمتكرّر مع هان. وكشفت التجارب التي أجريت على اليورانيوم عن تشكّل عنصر الباريوم الذي ليس له علاقة باليورانيوم على الإطلاق.

في البداية أشارت ميتزر إلى الجدول الدوري، وأبلغت هان بأنه لا بد من وجود خلل ما، بالنظر إلى أن اليورانيوم هو العنصر 92 والباريوم أصغر بكثير، 56. ومع استمرار هذه الملاحظات، أدركت ميتزر وابن أختها أوتو فريش (Otto Frisch) أخيراً ما الذي يحدث. خلافاً لعمليات الاضمحلال الإشعاعي السابقة التي تنتج تغيّرات في الأعداد الذرية تبلغ وحدة واحدة أو اثنتين، فإنه توجد هنا عملية جديدة تماماً تؤدي إلى تفكيك نواة كبيرة وتشكّل نوى أصغر بكثير مثل الباريوم والكريبتون.

لكن مع أن اكتشاف الانشطار النووي كان شأناً ألمانياً أساساً، فإن

بور، ولاحقاً أينشتاين، نقل إلى الولايات المتحدة احتمال استخدام هذه العملية لصنع سلاح نووي. وأدى ذلك بدوره إلى إقامة مشروع مانهاتن واستخدام القنبلتين الذريتين في نهاية المطاف ضد اليابان ما حفز على النهاية السريعة للحرب العالمية الثانية.

ومما يثير الاستغراب أن شخصية رئيسة أخرى تظهر في هذا الكتاب، «قصة سبعة عناصر»، إذا نوداك، المشاركة في اكتشاف الرينيوم، كانت قد توقعت عملية الانشطار النووي لكن تم تجاهل ذلك، ويعتقد بعض الأشخاص أن ذلك يرجع إلى ادعائها الخاطئ السابق بأنها اكتشفت أيضاً العنصر 43، وهو أحد «عناصرنا السبعة».

لم يتعاون مитنر وهان بين الحربين، وأصبحت الفيزيائية ميتنر أكثر شهرة بكثير من الكيميائي هان. في سنة 1934، افتتنت ميتنر بالتقارير التي تفيد بأن إنريكو فيرمي (Enrico Fermi) خلق بعض العناصر الجديدة ما بعد اليورانيوم. فلجأت إلى صديقها القديم هان لأنها بحاجة إلى اختصاصي بالكيمياء المشعة لتحليل الأجزاء المعزولة التي يتم الحصول عليها في مثل هذه التجارب. وبعد أن وافق هان، عملاً معاً على رجم نوى اليورانيوم بالنيوترونات بالطريقة التي اتبعها فيرمي، وفي سنة 1937، أضيف إلى الفريق عضو ثالث، فريتز ستراسمان (Fritz Strassmann). واعتُبرت ميتنر القائدة الفكرية للفريق طوال هذا التعاون.

انهمك الفريق الألماني، بالإضافة إلى فيرمي في روما، وجوليو (Joliot) - كوري في باريس، بإجراء التجارب التي تشتمل على الانشطار النووي في الواقع، ولم يدرك أحد منهم هذه الحقيقة. كان الجميع يعتقد أنه يشكل عناصر اصطناعية أثقل من اليورانيوم واستمر هذا الجهل لمدة أربع سنوات

كاملة. وقد أغفلوا في الواقع أن نواة اليورانيوم الثقيلة تنشط إلى نواتين أكثر خفة بكثير.

عندما أفاد ستراسمان عما اعتقد أنه ذرات باريوم في سنة 1936، طلبت منه ميتر المشككة التدقيق في تحليله الكيميائي. وبعد ورود تقارير من باريس تشير إلى احتمال تشكّل اللانثالموم، وهو نواة أخرى متوسطة الحجم، كان هان هو من تصدى لهذا الادّعاء.

في هذه المرحلة اقترحت إدا نوداك أن نواة اليورانيوم تنشط إلى نواتين متوسطتي الحجم، لكنها لم تجر أي تجربة داعمة لاقتراحها.

في غضون ذلك، كانت الحملة الألمانية المعادية لليهود تكتسب زخماً. فعندما تسلّم هتلر السلطة وبدأ بفرض سياساته المعادية لليهود، لم تتأثر ميتر في البداية باعتبارها تحمل الجنسية النمساوية لا الألمانية. لكن سرعان ما تغيّر ذلك. ففي ظل السياسات الجديدة، منعت ليز ميتر من التعليم، سواء أكانت ألمانية أم لا، ومن حضور أي ندوات بحثية.¹⁸

في سنة 1935، أجرى نيلز بور ترتيبات كي تمضي ميتر سنة في معهده في كوبنهاغن لكنها رفضتها، معتقدة أن في وسعها البقاء في ألمانيا. وفي سنة 1938، غزت ألمانيا النمسا في أثناء تعاضم الاتجاه نحو الحرب، وكانت نتيجة ذلك اعتبار ميتر الآن يهودية ألمانية وتخضع بالتالي للقوانين المعادية لليهود. وسرعان ما خضع هان للضغوط، بعد أن كان يعارض السياسات النازية علناً، وطلب من ميتر الاستقالة من المعهد في برلين.

تسارعت وتيرة الأمور بعد ذلك. وعلمت ميتر أن اليهود سيُمنعون من مغادرة ألمانيا وأن عليها التصرف بسرعة والانتقال إلى بلد محايد. انتقل الفيزيائي الهولندي والمشارك في اكتشاف الهفنيوم (الفصل الرابع) ديرك

كوستر إلى برلين لمرافقة ميتنر شخصياً إلى هولندا. غادرت ميتنر برلين في 13 يوليو 1938 بعد توضيب قليل من حاجياتها الشخصية كي لا تثير الشكوك. وبعد قضاء بضعة أسابيع في هولندا، وقضاء فترة قصيرة في معهد بور في كوبنهاغن، انتقلت ثانية بقبول عرض من معهد أبحاث فيزيائي في ستوكهولم، بالسويد. وكان ذلك قراراً ندمت عليه ميتنر فيما بعد إذ لم يتوفّر لديها إلا قليل من الأجهزة لإجراء التجارب، ولم تجد زملاء ذوي عقليات مماثلة. مع ذلك حافظت على التواصل بانتظام مع هان الذي لبث في برلين.

بالعودة إلى المسائل العلمية، أدى مزيد من تحليل منتجات اضمحلال اليورانيوم الذي أجراه هان وستراسمان إلى استقرار رأيهما على إنتاج الراديوم (العنصر 88). وعند الاطلاع على هذا التقرير طلبت ميتنر من زميلها الألماني تكرر تجاربهما للتحقق من منتجات اضمحلال بعناية أكبر. وقد توّجت هذه التجارب في 19 ديسمبر 1938 عندما أدرك هان وستراسمان أنهما أنتجا في الواقع نواة الباريوم الأصغر بكثير من نواة الراديوم. غير أن هان ظلّ حائراً بشأن النتيجة التي توّصلا إليها، فكتب إلى ميتنر:

هناك أمر استثنائي جداً بشأن «نظائر الراديوم» لم نطلع عليه أحد سواك...
إن نظائر الراديوم Ra التي أنتجناها تتصرّف مثل الباريوم Ba.

أشكل الأمر على ميتنر في البداية لكنّها أجابت:

لا يستطيع المرء أن يقول من من دون دراسة إضافية إن ذلك (الباريوم) مستحيل.

«عند استلام هذا التشجيع، أرسل هان وستراسمان على الفور مقالة إلى إحدى الدوريات»¹⁹.

باعتبارنا كيميائيين، فإن علينا إعادة تسمية مخططنا وإقحام رموز الباريوم (Ba)، واللانثانوم (La)، والسيريوم (Ce) محل الراديوم (Ra)، والأكتينيوم (Ac)، والثوريوم (Th). وباعتبارنا كيميائيين نوويين مرتبطين ارتباطاً وثيقاً بالفيزياء، فإننا لا نستطيع إقناع نفسنا بالقيام بهذه القفزة التي تناقض كل التجربة السابقة في الفيزياء النووية.

في غضون ذلك، التقت ميتنر في السويد في 30 ديسمبر بابن أختها أوتو فريش، وهو فيزيائي أيضاً، وقررت الذهاب في رحلة للترليج. وفي أثناء هذه النزهة تباحث الاثنان في احتمال أن تنتج نواة اليورانيوم نواة خفيفة مثل نواة الباريوم. ووفقاً لنموذج النواة السائد في ذلك الوقت، تتصرف النواة كقطرة سائل. أدركت ميتنر وفريش أن مثل هذه القطرة النووية يمكن أن تشوه لتتخذ شكلاً بيضوياً وبالتالي يمكن أن تنفصل إلى «قطرتين» صغيرتين، ومن ثم تفسير تشكل نواة الباريوم الصغيرة. وحسباً أيضاً أن عملية الانشطار (fission)، كما اقترح فريش تسميتها، يمكن أن تحرر طاقة تعادل عشرين مليون ضعف مقدار مماثل من التي إن تي.

وكما لاحظت مؤرّخة العلوم شارون ماكغراين (Sharon

McGrayne):²⁰

شرحت ميتنر، المتقاعدّة رسمياً والبالغة ستين سنة من العمر، واحداً من أعظم اكتشافات القرن.

لكن لماذا لم تمنح ميتنر جائزة نوبل؟

كما تظهر الاقتباسات أعلاه، كان يمكن أن يتوه هان وستراسمان من دون تفسير ميتنر الصحيح بأن تجاربهما تنتج انشطاراتاً نووياً. مع ذلك فقد تسلّم هان بمفرده جائزة نوبل عن هذا الاكتشاف، ومما زاد الطين بلةً أنه لم يقرّ بدور ميتنر المحوري. بل إن هان ذكر بأن الكيمياء لا الفيزياء هي المسؤولة عن فهم الانشطارات النووية (الشكل 3،8).

علم بور بأمر الاكتشاف بعد يوم من حدوثه في السويد من أوتو فريش بعد عودة الأخير إلى المعهد في كوبنهاغن حيث كان يشغل منصباً في الفيزياء. وبعد بضعة أيام غادر بور في زيارة إلى الولايات المتحدة، حيث أطلع عدداً من العلماء على هذا الخبر. وعلى الرغم من حرصه على دعم دور ميتنر وفريش في الاكتشاف، فإنه لم يتمكن من القيام بذلك بنجاح إذ استغرق المكتشفان بضعة أسابيع قبل أن يتمكنوا من نشر بحثهما في الموضوع، وفي غضون ذلك كانت مقالة هان قد نشرت منذ عدّة أسابيع. ولم يمض شهر حتى ادعى هان بأن الفيزياء أعاقَت اكتشاف الانشطارات النووية في الواقع، وأن هذا الاكتشاف انتصار للكيمياء وحدها، في استخفاف واضح بمساهمة ميتنر.

لكن ربما تكون من سخریات الأقدار الرائعة إعادة تسمية عنصر في نهاية المطاف باسم ميتينيريوم، بعد أن كان قد أطلق عليه مؤقتاً اسم هاهنيوم، وإن يكن بعد عدّة سنوات من وفاة ميتنر في سنة 1968. وحُرم هان فعلياً من أن يسمّى عنصر باسمه. ربما جاء ذلك متأخراً، لكن من المهم أن الاقتراح جاء من قائد الفريق الذي خلق العنصر، الألماني بيتر أرمبرُستر (Peter Armbruster).²¹

كيمياء البروتكتينيوم

البروتكتينيوم فلزّ فضّي أبيض يفقد لمعانه ببطء عند تعرّضه للجوّ. وكان ميتنر وهان أول من استعرض الخصائص الكيميائية لهذا العنصر ووجد أنها مماثلة لخصائص التنتالوم، وهو العنصر الذي يقع فوقه في الجداول الدورية المبكّرة.²² غير أن البروتكتينيوم لا يوجد تحت التنتالوم في الجدول الدوري الحالي، إذ يعتبر اليوم من الأكتينيدات لا عنصراً انتقالياً. وقد حدث هذا التغيّر في أربعينيات القرن العشرين عندما اقترح غلن سيبورغ (Glen Seaborg) أنه على الرغم من أن سلوك أول بضعة عناصر مما كان يعرف بالسلسلة الانتقالية الرابعة يبدو مماثلاً للعناصر المماثلة فوقها، فإنها تنتمي في الواقع إلى سلسلة منفصلة من العناصر الانتقالية الداخلية.

وفي سنة 1945، اقترح سيبورغ اعتبار العناصر التي تبدأ بالألمنيوم، العنصر 89، بمثابة سلسلة الأتربة النادرة، في حين كان يفترض سابقاً أن سلسلة الأتربة النادرة الجديدة تبدأ بعد العنصر 92، أو اليورانيوم (الشكل 7,3). وكشف جدول سيبورغ الدوري الجديد تماثلاً بين اليوروبيوم (63) والغادولينيوم (64) والعنصرين 95 و96 غير المكتشفين بعد على التوالي.

وبناء على هذه التشابهات، نجح سيبورغ في تخليق وتحديد العنصرين الجديدين اللذين أطلق عليهم اسم الأمريسيوم والسيريوم لاحقاً. وقد خُلق فيما بعد عدد من عناصر ما بعد اليورانيوم (انظر الفصل العاشر).²³ خضع الشكل القياسي للجدول الدوري لبعض التغييرات الثانوية أيضاً فيما يتعلّق بالعناصر التي تحدّد بداية الصفين الثالث والرابع من العناصر الانتقالية. فقد كانت الجداول الدورية القديمة تعتبرها عنصري اللانثانوم (57) والأكتينيوم (89)، لكن الأدلة التجريبية والتحليلات الحديثة وضعت اللوتينيوم (71) واللورنسيوم (103) في مكانهما.²⁴ وتجدر الملاحظة أيضاً إلى أن بعض الجداول الدورية القديمة توقّعت هذه التغييرات بناء على الخصائص العيانية.

من الخصائص التي يتقاسمها البروتكتينيوم مع التنتالوم تشكيل أكسيد ذي رياضيات كيميائية (stoichiometry) مماثلة، Pa_2O_5 مماثل للأكسيد Ta_2O_5 . بالإضافة إلى التفاعل مع الأكسجين، يتفاعل البروتكتينيوم مع البخار والحموض لكن ليس مع القلوانيات. كما أنه موصل فائق عند درجات حرارة من دون 1,4 كلفن ويوجد في سلسلتي إشعاع اضمحلالي رئيسيتين. ينتج البروتكتينيوم ^{231}Pa طبيعياً باضمحلال اليورانيوم ^{234}Ua ، لكن البروتكتينيوم ^{234}Pa هو الناتج الاضمحلالي لليورانيوم ^{238}Ua . وهناك أيضاً 19 نظيراً إضافياً معروفاً للعنصر، تقلّ أعمارها النصفية جميعاً عن شهر واحد.

كان أول من حضّر أكسيد البروتكتينيوم Pa_2O_5 عالم الكيمياء النووية الألماني أريستيد فون غروس (Aristid von Grosse) في سنة 1927. وبعد سبع سنوات كان أول من استخرج البروتكتينيوم بشكله العنصري،

																	H	He	
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	RE	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U														

الأثرية
النادرة

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

																	H	He	
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	LA	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac																	

LA

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

AC

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu									
----	----	----	---	----	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

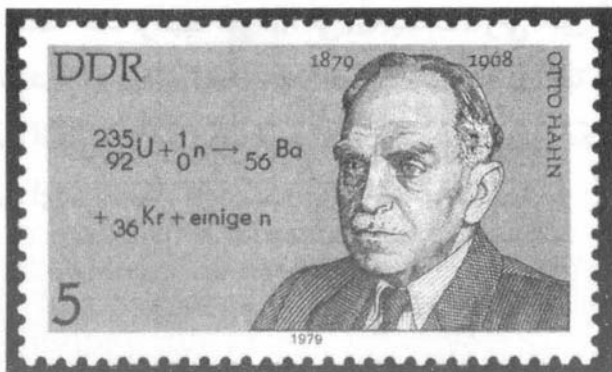
الشكل 7,3 الجدول الدوري المتوسط الطول قبل تعديل سيورغ وبعده.

مبتدئاً من مركب آخر، يوديد البروتكتينيوم. وسبق غروس عصره أيضاً في التشكيك بالتماثل بين البروتكتينيوم والتتالوم، وهو الأمر الذي كان مقبولاً منذ زمن مندليف. فقد كتب في سنة 1925 ما يلي:²⁵

فشلت حتى الآن جميع المحاولات لتركيز وعزل العنصر الجديد [البروتكتينيوم]. وقد استندت هذه المحاولات إلى الافتراض بأن هناك تماثلاً بين خصائص إكا تتالوم والتتالوم شبيه بذلك القائم بين الراديوم والباريوم. ولقي هذا الافتراض دعماً من مرجعية كثير من الكيميائيين البارزين وكان من الأسباب الرئيسة للفشل في عزل إكا تتالوم. في نوفمبر 1926 عرض المؤلف على الأستاذ أوتو هان تقريراً بعنوان «خصائص البروتكتينيوم ومركباته محسوبة وفقاً للقانون الدوري». وكانت الاستنتاجات الرئيسة ما يلي:

سيكون للعنصر 91، إكا تتالوم، خصائصه المميزة وتفاعلاته التحليلية المختلفة عن تلك الخاصة بالتتالوم والكولومبيوم، مثلما يختلف جراه الثوريوم واليورانيوم اختلافاً كبيراً في خصائصهما عن خصائص أشباههما الأديني، الهفنيوم والزركونيوم، والتنغستن والموليبدينوم.

بين سنتي 1959 و1961، نجحت هيئة الطاقة الذرية في المملكة المتحدة في استخراج 125 غراماً من البروتكتينيوم، وظل ذلك أكبر مخزون للعنصر في العالم. وقد تحقق هذا الإنجاز بالبداة بستين طناً من مخلفات معادن اليورانيوم التي اشترت بمبلغ 500,000 دولار. وفي هذه الأثناء بيع البروتكتينيوم الناتج بسعر يبلغ 3000 دولار للغرام الواحد تقريباً.²⁶



الشكل 8,3 أوتو هان، المكتشف المشارك للبروتكتينيوم والانشطار النووي أيضاً. بإذن من الأستاذ دانيال راينوفيتش من قسم الكيمياء في جامعة نورث كارولينا، تشارلوت، نورث كارولينا.

التطبيقات

البروتكتينيوم واحد من قليل من العناصر التي ليس لها تطبيقات بين أول 92 عنصراً في الجدول الدوري، ويرجع ذلك، كما ذكر في الفصل، إلى أن هذا العنصر نادر جداً، فضلاً عن أنه سام جداً وذو نشاط إشعاعي مرتفع. مع ذلك فقد وجد لنظيره ${}^{231}\text{Pa}$ استخدام خاص جداً في الأبحاث العلمية. فهو يستخدم لدراسة حركة مياه المحيطات في الجيولوجيا ومجال يدعى علم المحيطات الأحفورية (paleoceanography)، أو مبحث المحيطات القديمة.

يتم تأريخ رواسب المحيطات التي يرجع عمرها إلى 175,000 سنة بدقة كبيرة باستخدام ${}^{231}\text{Pa}$ تفوق التأريخ بالتقنيات التقليدية. كما درست حركة المحيطات، عندما كانت تذوب في أعقاب آخر عصر جليدي، باستخدام النظير نفسه. ويستفيد الأسلوب المستخدم من أن مركبات الثوريوم والبروتكتينيوم، العنصرين 90 و 91 على التوالي، تظهر معدلات

ترسب مختلفة عند ترسبها من الماء في المحيطات. وفي حين أن ^{231}Th و ^{231}Pa مؤشران فرديان جيدان على عمر الراسب، فإن نسبة الكميّتين تمثّل قياساً أفضل لأن أخذ هذه النسبة يتجنّب المشاكل التي يمكن أن تقع إذا حدث أي من معدّلي الاضمحلال بطريقة غير منتظمة.

الفصل الرابع

العنصر 72 - الهفنيوم

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv		

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

الشكل 1,4 عرض موقع العنصر 72 في الجدول الدوري، وقد أطلق عليه اسم الهفنيوم في نهاية المطاف.

تحمل قصة اكتشاف العنصر 72 وعزله جميع خصائص الخلاف والمعاني الوطنية التي يبدو أنها تميز العديد من عناصرنا السبعة. فمن ناحية، يبدو مستغرباً أن ينشب خلاف كبير مرتبط بهذه العناصر نظراً إلى أن طريقة موزلي قدّمت في الظاهر وسيلة لا لبس فيها يمكن عبرها تحديد العناصر بالإضافة إلى طريقة لمعرفة عدد العناصر المتبقية للاكتشاف.

من ناحية أخرى، ربما يرجع ذلك إلى أن العناصر المفقودة أصبحت تتركز بوضوح على بضعة عناصر ذات أعداد ذرية معروفة، وأن الرهانات أصبحت أعلى مما لو ظل عدد العناصر المتبقية للاكتشاف غامضاً، كما كان عليه الحال قبل زمن موزلي.

كان العنصر 72 (الشكل 1,4) متوقَّعاً حتى في أبكر الجداول الدورية لمندلييف في سنة 1969، وكما يبيّن الشكل 2,4، رأى مندلييف أن هناك عنصراً لم يكتشف بعد ذا وزن ذري يبلغ 180 ويجب أن يكون مماثلاً للزركونيوم (القيمة الحديثة المقبولة هي 178,50). ربما لا تبدو هذه الحقيقة

преимущественно найдти общую систему элементов. Вотъ этотъ опытъ:

			Ti=50	Zr=90	?=180.
			V=51	Nb=94	Ta=182.
			Cr=52	Mo=96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
			Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199.
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

الشكل 2,4 الجدول الدوري الأول لمندلييف في سنة 1969 D. I. Mendeleev, Sootnoshenie svoistv s atomnym vesom elementov, Zhurnal Russkeo Fiziko-Khimicheskoe Obschestv, 1, 60-77, 1869, p. 70

مهمة جداً، ومع ذلك سنرى، كما ستكشف قصة هذا الفصل، أنها تعادل توقع مندليف بأن هذا العنصر سيكون فلزاً انتقالياً لا من الأتربة النادرة. لكن مندليف لم يكن في موقف يمكنه من الإعلان عن ذلك لأن طبيعة عناصر الأتربة النادرة وعددها كان مجهولاً في زمنه. بل إن مسألة الأتربة النادرة كانت من أشدّ تحديات النظام الدوري حدة ومن المسائل التي لم يستطع حلّها البتة.¹

في وقت لاحق، نشر جوليوس طومسن (Julius Thomsen)، وهو أستاذ الكيمياء في جامعة كوبنهاغن، واتفق أنه درّس الكيمياء للفيزيائي نيلز بور، جدولاً دورياً أدرج فيه عنصراً مفقوداً شبيهاً بالزركونيوم (الشكل 3,4).

يكفي القول إن الإجماع ساد بين علماء الكيمياء على وجوب وجود عنصر قبل التتالوم مماثل للزركونيوم بناء على الجدول الدوري. وكانت المشكلة أن هناك عنصرين آخرين على التوالي، 70 و 71 الآن، مفقودان في ذلك الوقت.

عُزل العنصران 70 و 71 لأول مرة في سنة 1907 عن طريق باحثين منفصلين. الأول هو جورج أوربان (Georges Urbain)، أحد علماء الكيمياء الفرنسيين البارزين في تلك الحقبة الذين تخصصوا في العمل التجريبي على عناصر الأتربة النادرة. فعند تحليل عنصر الإتريبيوم الذي حدّده مارينياك (Marignac) سابقاً، ادّعى أوربان إيجاد عنصرين بدلاً من واحد، أحدهما نيوايتريبيوم (الإتريبيوم الجديد) واللوتيسيوم على التوالي.²

جاء الادّعاء الثاني باكتشاف العنصرين 70 و 71 من الباحث النمساوي

كارل أورفون فِلسباخ (Carl Auer von Welsbach)، وقد اقترح تسميتهما ألدبارانيوم وكاسيويوم. وفي النهاية منح فضل اكتشاف العنصرين إلى أوربان وفاز بحق تسميتهما، رغم أن الاسمين تغيراً لاحقاً بحيث عاد النيوتيريوم إلى الإتييريوم وتغيرت تهجئة اللوتسيوم (lutetium) بدلاً من ³.(lutecium)

				Ca 133
				Ba 137
				La 138
				Ce 140
				Ne 141
				Pr 144
				— —
				Sm 150
				— —
				Gd 156
				Trb 160
				— —
				Er 166
				— —
				Thu 171
				Yb 173
				— —
				— —
				Ta 183
				W 184
				— —
				Os 191
				Ir 198
				Pt 195
				Au 197
				Hg 200
				Tl 204
				Pb 207
				Bi 209
				— —
				— —

Elektropositive Elemente

Elektronegative Elemente

H 1
 Li 7.23 Na
 Be 9.24 Mg
 B 11.27 Al
 C 12.28 Si
 N 14.31 P
 O 16.32 S
 F 19.35.5 Cl

K 39.85 Rb
 Ca 40.87 Sr
 Sc 44.89 Y
 Ti 48.91 Zr
 V 51.94 Nb
 Cr 52.96 Mo
 Mn 55.— —
 Fe 56.102 Ru
 Co 59.103 Rh
 Ni 59.107 Pd
 Cu 63.108 Ag
 Zn 65.112 Cd
 Ga 69.114 In
 Gr 72.119 Sn
 As 75.120 Sb
 Se 79.125 Te
 Br 80.127 J

J. Thomsen, Systematische Gruppierung. الشكل 3,4 النظام الدوري الهرمي لطومسن. der Chemischen Elemente. *Zeits für Anorganische Chemie*, 1895, 9, 190-193

بدأت العلاقة بالعنصر 72 تتطوّر بعد ذلك لأن أوربان مضى إلى الاشتباه باحتمال وجود عنصر ثالث متوارٍ في عنصر مارينيك الأصلي. وفي سنة 1911، أعلن أوربان عن اكتشاف ما اعتقد أنه ثالث الأتربة النادرة، وتحديدًا العنصر 72، واختار تسميته سلتيوم.⁴ بعد ذلك بوقت قصير، طوّر هنري موزلي في إنكلترا أسلوبه لتحديد العناصر بالأشعة السينية وتوقع العناصر المتبقية للاكتشاف بدقة (الفصل الثاني). ولكي يعزّز أوربان ادّعاءه باكتشاف عنصر ثالث، سافر من باريس إلى أكسفورد للسماح لموزلي بإجراء اختباره الحاسم. وبعد يومين فقط، خلص موزلي إلى أن عيّنة أوربان ليست العنصر المعني المفقود وسلّم أوربان بذلك.

هدأت الأمور المتعلّقة بالعنصر 72 نحو إحدى عشرة سنة، إلى أن شكّل أوربان واختصاصي دراسة الطيف بالأشعة السينية دوفيليه (Dauvillier) فريقاً واحداً.⁵ أعاد دوفيليه فحص عيّنة أوربان في سنة 1911 وادّعى أنه اكتشف خطي أشعة سينية خافتين موجودين حيث يجب أن يكونا بالضبط تقريباً وفقاً لقانون موزلي. كانت المشكلة أن الآخرين لم يتمكنوا من رؤية هذين الخطين. على سبيل المثال، قام سيغبان (Siegbahn)، وهو اختصاصي بارز في دراسة الطيف طوّر أساليب موزلي، بتفحص ألواح دوفيليه وخلص إلى عدم وجود أي خطوط.

في غضون ذلك، كان الفيزيائيون النظريون يقاربون المسألة من اتجاه مختلف إلى حدّ ما. فقد خلص بور، على أساس النظرية الذريّة، إلى أن العنصر 72 يجب ألا يكون من الأتربة النادرة وإنما عنصراً انتقالياً رباعي التكافؤ. لم تكن أسبابه في ذلك نظرية مماماً وقد أقرّ بعمل معلّمه في

الكيمياء طومسن واستشهد به باعتباره أساساً للتفكير بأن العنصر يجب أن يكون فلزاً انتقالياً مماثلاً للزركونيوم. واستشهد أيضاً بالكيميائي البريطاني تشارلز باري (Charles Bury) الذي استنتج مستقلاً بأن العنصر 72 ليس من الأتربة النادرة وإنما عنصر مماثل لفلز الزركونيوم الانتقالي.⁶ قرّر باحثان - الهولندي كوستر والهنغاري هيفزي (الشكل 4,4) - يعملان في معهد بور في كوبنهاغن محاولة تسوية هذه المسألة بطريقة تجريبية. وبناء على توقّعات كيميائية قديمة، وتوقّعات بور الحديثة، ارتأيا أنه إذا كان العنصر الجديد موجوداً فلعله يجب أن يكون إلى جانب الزركونيوم. استحصلا على بعض خامات الزركونيوم الزرويجية وخلال بضعة أسابيع لم ينجحوا في ملاحظة خطي أشعة سينية فحسب، وإنما سته



الشكل 4,4 جورج هيفزي، أحد مكتشفي الهفنيوم. بإذن من الأستاذ دانيال راينوفيتش من قسم الكيمياء، جامعة نورث كارولينا، تشارلوت، نورث كارولينا.

خطوط في توافق أفضل بكثير من خططي أوربان مع الترددات المتوقعة بناء على قانون موزلي. وقد اقترحا اسم هفنيوم من الاسم اللاتيني لكونبهاغن (هافنيا)، وهي المدينة التي اكتشف فيها العنصر لأول مرة.⁷ وبعد ذلك نشر كوستر وهيفزي بحثاً انتقداً فيه أيضاً ادعاءات دوفيليه وأوربان. ومن الأمور التي أشارا إليها أن الخطين الفرنسيين لم يكونا قريين بالقدر الكافي من الترددات المتوقعة. وفيما يلي ما كتبه:

في تقارير أكاديمية باريس في 22 مايو 1922، أعلن دوفيليه عن اكتشاف العنصر 72 عن طريق دراسة الطيف بالأشعة السينية في مزيج من فلزات الأتربة النادرة. وقد حدّد أوربان هذا العنصر مع عناصر الأتربة النادرة وسماه سلتيوم، وكان قد اشتبه بوجوده من قبل في العينة نفسها. غير أننا لأسباب مختلفة نعتقد أن استنتاجات دوفيليه وأوربان غير مبررة. ويدو من بحث دوفيليه أن كمية العنصر 72 في العينة، إذا كان موجوداً، يجب أن تكون على أي حال صغيرة جداً بحيث يبدو من غير المحتمل أن يكون العنصر مماثلاً للعنصر الذي ادعى أوربان كشفه في بحوثه السابقة في العينة نفسها عن طريق مراقبة الطيف البصري والخصائص المغناطيسية. الخطان الوحيدان اللذان ادعى دوفيليه أنه اكتشفهما هما الخطان $L_{\beta 2}$ و $L_{\alpha 1}$ ، ووجد أن كليهما خافتاً جداً. غير أن الطولين الموجين اللذين أعطاهما للخطين يقلان بنحو 4 وحدات إكس $X.u$. $.1X.u$ ($= 10^{-11}$ سم) عن الطولين اللذين يتم الحصول عليهما بالاستكمال الداخلي المنطقي في جداول الأطوال الموجية... للعناصر الموجودة في جوار العنصر 72.⁸

وقد أتبعنا ذلك بإلقاء مزيد من الشك على الادّعاء الفرنسي.

من الناحية النظرية يبدو من المشكوك فيه جداً أن يكون العنصر 72 من الأتربة النادرة. فقد أعلن جولوس طومسن في سنة 1895 من كوبنهاغن أنه بالنظر إلى الاعتبار العام لقوانين النظام الدوري فإن علينا أن نتوقّع وجوده بين التنتالوم الذي يمتلك تكافؤات خماسية في العديد من المركّبات، والأتربة النادرة الثلاثية التكافؤ، أي عنصر رباعي التكافؤ مماثل للزركونيوم. وقد قدّم باري الرأي نفسه على أساس الاعتبارات النظرية، وكذلك بور على أساس البنية الذريّة. ومن أكثر نتائج النظرية الأخيرة إدهاشاً أنه يمكن إعطاء التفسير المنطقي لمظهر الأتربة النادرة في النظام الدوري. فنحن نشاهد في هذه العناصر، وفقاً لبور، التطوّر التدريجي للإلكترونات الكمومية 4 من مجموعة تحتوي على 18 إلكترونات إلى مجموعة من 32 إلكترونات، من دون أن يتغيّر عدد الإلكترونات المتبقية في مجموعتي الإلكترونات الكمومية 5 و6. وقد تمكّن بور من استنتاج أن مجموعة الإلكترونات الكمومية 4 في عنصر اللوتيسيوم (71) كاملة، وبالتالي علينا أن نتوقّع أن يزيد عدد الإلكترونات المتحرّكة في المدارين الكموميين 5 و6 في الذرّة المحايدة للعنصر التالي (72) على عدد الإلكترونات في الأتربة النادرة بالكرون واحد. لذا لا يمكن أن يكون العنصر 72 من الأتربة النادرة بل يجب أن يكون مماثلاً للزركونيوم⁹.

كانت نتيجة هذا البحث إطلاق شرارة نزاع من أكثر النزاعات على الأسبقية مرارة وألماً في علوم القرن العشرين. في أحد جانبي النقاش، كان العلماء الفرنسيون ومن بينهم دوفيليه وأوربان بطبيعة الحال، وآخرون

أيضاً مثل موريس دي بروغلي (Maurice de Broglie).¹⁰ بالإضافة إلى ذلك، دافع عدد من الكيميائيين البريطانيين عن الادعاء الفرنسي وأصروا على تسمية العنصر سلتيوم مدة من الزمن. وكان إرنست رذرفورد الداعم المهم الوحيد للادعاء الدنمركي، وهو في الواقع نيوزيلندي وموجه لبور عندما أمضى سنة ما بعد الدكتوراه في إنكلترا.

ليس من الصعب فهم سبب التحزب في الأوساط الأخرى. فأوائل عشرينيات القرن العشرين هي السنوات التي تلت الحرب العظمى مباشرة، وكان المنتصران، فرنسا وبريطانيا، لا يزالان يكرهان العلماء الألمان واستمرّوا في منعهم من حضور الاجتماعات العلمية. كما أن النقاش كان يجري فيما تحالف الفرنسي البلجيكي يحتل مقاطعة الرور الألمانية. لم يكن الدنمركيون ألماناً بطبيعة الحال، وإنما اعتبروا مذنبين بالارتباط، عن طريق القرب الجغرافي وبقاء الدنمرك على الحياد في أثناء الحرب، ومن المفارقات أنه لم يكن أي من مكتشفي الهفنيوم - كوستر أو هيفزي - ألمانياً أو حتى دنمركياً. ومع ذلك عوملا باعتبارهما العدو بسبب موقع المعهد الذي تم فيه الاكتشاف.¹¹

عند تسلّم مقالة عن الهفنيوم مقدّمة إلى دورية «كيمكل نيوز» (Chemical News) البريطانية، أبدى رئيس التحرير وين (W. P. Wynne) في ذلك الوقت الردّ المدهش التالي:

إننا نتمسك بكلمة سلتيوم الأصلية التي أطلقها عليه أوربان باعتباره ممثلاً للأمة الفرنسية العظيمة التي كانت موالية لنا في أثناء الحرب. ولا نقبل الاسم الذي منحه له الدنمركيون الذين كسبوا غنائم الحرب فحسب.¹²

جاء أول ردّ فعل منشور على مقالة كوستر وهيفزي التي تعلن عن اكتشاف الهفنيوم على نحو غير متوقّع من لندن بدلاً من أوران ودوفيليه في باريس. كان ألكسندر سكوت (Alexander Scott)، وهو كيميائي وعالم معادن من المتحف البريطاني في لندن، قد حلّل بعض العينات من الرمل الأسود في نيوزيلندا بين سنتي 1913 و1915 واعتقد أنه اكتشف عنصراً جديداً. وعلى الرغم من أنه لم ينشر نتائجه، فقد ادّعى الآن أنه اكتشف العنصر 72 قبل كوستر وهيفزي. واقترح سكوت تسميته أوشيانيوم، نسبة إلى أوقيانيا، الإقليم الذي جاءت منه العينة المعدنية. وكان الأساس الداعم لادّعائه اعتقاده أنه توصل إلى أن الوزن الذري للعنصر يبلغ 144 في سنة 1918.¹³ وهكذا فإن سكوت دعم كوستر وهيفزي على الأقل في أن العنصر ينتمي إلى مجموعة التيتانيوم والزركونيوم. شجّع الإنكليزي على إرسال «عنصره الجديد» إلى كوبنهاغن للتحليل، ووافق على ذلك. ثم كتب إلى كوستر وهيفزي بعبارات تنم عن شيء من العظمة:

العالم العلمي بأكمله بانتظار عملكما باهتمام منقطع النظر.¹⁴

من سوء حظّ سكوت أن الرجلين في كوبنهاغن لم يعثرا على أي علامة تشير إلى عنصر جديد. ومن باب الأدب مع سكوت، عرضا مع ذلك مواصلة العمل على الرمل الأسود للبحث عن عناصر جديدة أخرى مثل العنصرين 61 و75 اللذين لا يزالان مفقودين. وبعد عدّة سنوات سحب سكوت ادّعاءه، ومع ذلك استمرت الصحافة البريطانية في مناقشة الحجج

الداعمة للأوشيانيوم، بما في ذلك افتتاحية وطنية في جريدة «التايمز»:

العلم دولي، ويجب أن يكون كذلك من من دون شك، لكن من الممتع أن يكون الإنجاز الكيميائي، الإنجاز الأهم منذ أن عزل الراحل السير وليام رامسي الهليوم في سنة 1895، من عمل كيميائي بريطاني في مختبر لندي. إن العنصر 72 الذي اعتقد أنه نادر جداً، إن وُجد، وأن كيميائيين دغركين حسب خصائصه الكيميائية هو من اكتشاف ألكسندر سكوت في الواقع.¹⁵

أخرج رذرفورد في كمبردج إلى حدّ ما، وشعر أنه مجر على أن يكتب إلى بور:

علينا ألا نغير اهتماماً إلى مثل هذا الكلام غير المسؤول: لقد أصبحت الأمور حماسية بشأن العنصر الجديد... سأحرص على أن تعامل أنت ومساعدوك معاملة عادلة.

جاء التحدي الأكثر خطورة لفريق كوبنهاغن، بعد ذلك بقليل، من أوربان ودوفيليه اللذين لم يتركا المسألة رهناً لدحض هيفزي وكوستر في مجلة «نيتشر». فرداً بقوة بأنه يجب اعتبار عمل كوستر وهيفزي مجرد اكتشاف لعنصر الأتربة النادرة الخاص بهم، السلتيوم، في معادن الزركونيوم، لكنه ليس اكتشافاً لعنصر جديد بأي حال من الأحوال. وأقرّا بأن عمل كوستر وهيفزي أسفر عن «نتائج مهمة جداً»، لكنهما

أضافاً أن:

من المؤسف جداً أن يذلل السيدان كوستر وهيفزي قصارى جهدهما لتشويه نتائجنا.

ردّ كوستر وهيفزي على هذه التهمة بالانتحال بالإشارة إلى أن الهفنيوم لا يمكن أن يكون مماثلاً للسلتيوم الذي اكتشفه أوربان. وأوضحا أن خطوط الأشعة السينية لعينتهما توحي بأن محتوى العنصر يبلغ 0,01 في المئة. في هذه الأثناء لا بد أن يكون المحتوى العنصري لعينات أوربان أكبر من ذلك بكثير، لأن أوربان ادعى أن في وسعه كشف تغيير تدريجي في التأثير المغنطيسي (magnetic susceptibility). وأشار كوستر وهيفزي أيضاً إلى أن التحليلات اللاحقة للخصائص الكيميائية للهفنيوم الذي اكتشفاه أظهرت تشابهات مع عنصر الزركونيوم الانتقالي لا عناصر الأتربة النادرة مثلما افترض أوربان فيما يتعلق بالسلتيوم. أخيراً، لاحظ زملاء كوستر وهيفزي في كوبنهاغن الطيف البصري للهفنيوم ووجدوا أنه يختلف اختلافاً ملحوظاً عما أفاد عنه أوربان بالنسبة للسلتيوم.¹⁶

عندما ووجه أوربان بهذا الدليل، وهو ما تعزز بمزيد من الفحص للطيف البصري للهفنيوم، اضطر للاعتراف تدريجياً بأن ادعائه الأصلي في سنة 1911 لم يكن مبرراً وأن «طيف السلتيوم» يعود في الواقع إلى العنصر 71.¹⁷ وفي ربيع 1923، عكس أوربان ودوفيليه موقفهما المتعلق بالطبيعة الكيميائية للعنصر 72. ففي حين أنهما قالوا سابقاً إنه من الأتربة النادرة التي توجد عرضاً فقط في معادن الزركونيوم، فإنهما أقرّا الآن بأن العنصر يجب أن يعدّ مماثلاً للزركونيوم. لكن يبدو أن هذا التغيير للموقف

كان تكتيكياً فحسب، إذ لم يكن الفريق الفرنسي مستعداً بعد للتخلّي عن ادّعاء السلتيوم.

لم يكن بور راضياً البتة عن بدء خلاف الهفنيوم السلتيوم، فهو مدير المعهد الذي يعمل فيه كوستر وهيفزي في كوبنهاغن، ولا يسعه إلا أن يتورّط في هذا النزاع. وقد عبّر لردفوردر، الذي سلّم مقالات فريق كوبنهاغن إلى مجلة «نيتشر»، عن استيائه من هذه البلبلّة الرهيبة بشأن العنصر الجديد التي انغمسنا فيها ببراءة.¹⁸

وتابع قائلاً:

لم نحلم قطّ بالتنافس مع الكيميائيين في السعي لاكتشاف العناصر الجديدة، لكننا كنّا نرغب فقط في إثبات صحّة النظرية. غير أن أوربان في رسالة، تكرّم محرّر «نيتشر» بإرسالها لنا من أجل إبداء الملاحظات المحتملة، حاول تغيير المسألة بأكملها، من دون الالتفات إلى المناقشة العلمية المهمّة لخصائص العنصر 72، وجل همه المطالبة بالأسبقية بشأن الإعلان عن اكتشاف مثل هذا العنصر.¹⁹

كان ردفوردر، الذي قدّم منذ البداية دعمه التامّ للهفنيوم، لا يقلّ تبرّماً من هذا النقاش، وشعر بوجود انتهائه بالانتقاد الذي وجهه كوستر وهيفزي. وقد علّق على مقالة فريق كوبنهاغن المنشورة في 9 فبراير، «إنني أتفق معكما تماماً بأن أوربان يفتقر إلى الحجّة». ووصفها بأنها «وثيقة خطيرة».²⁰

دور الهفنيوم في فلسفة الكيمياء

أصبحت فلسفة الكيمياء مجالاً للدراسة الناشطة ضمن فلسفة العلوم بدءاً من أوائل تسعينيات القرن العشرين. ومن الأسئلة الكبرى في هذا الاختصاص الفرعي الجديد هل تقلّصت الكيمياء إلى ميكانيكا الكمّ، أو المدى الذي ربما تقلّصت إليه.²¹ وبالنظر إلى الادّعاءات التي قدّمت لتوقع نظرية بور بأن يكون الهفنيوم عنصراً انتقالياً لا عنصراً من الأتربة النادرة، وبالنظر إلى التوكيد اللاحق لهذا التوقع الذي قدّمه زميلاه كوستر وهيفزي، فقد وجّه قدر كبير من الاهتمام للتفحص الدقيق لهذه القضية. كما أن حلّ النزاع على الأسبقية لصالح فريق كوبنهاغن ونظرية بور دفع العديد من الدخلاء على هذا المجال إلى الإدلاء ببيانات تدعم وجهة النظر بأن واقعة الهفنيوم تعني أن الكيمياء «اختزلت» إلى الفيزياء. على سبيل المثال، كتب فيلسوف العلم كارل بوبر:

ما زلت أذكر بوضوح الاهتمام الذي حظي به اكتشاف العنصر 72 (الهنفيوم) في سنة 1922، نتيجة نظرية نيلز بور الكمومية الرائعة عن النظام الدوري للعناصر. لقد دهشنا في ذلك الوقت باعتباره اللحظة العظيمة لتقلّص الكيمياء إلى النظرية الذرية. وما زلت أميل إلى القول إنها كانت أعظم لحظة في جميع المغامرات الاختزالية في القرن العشرين، وربما لا يحل محلها إلا الاختراق المتمثّل باكتشاف بنية الدنا من قبل كريك وواطسون. لم يقدر اكتشاف بور إلى توقع الخصائص الكيميائية للعناصر فحسب، وبالتالي توقع خصائص العنصر 72 الذي لا يزال مجهولاً ومن ثم اكتشافه، وإنما سمح أيضاً بتوقع بعض خصائصها البصرية. بل إنه قاد إلى توقع بعض خصائص المركّبات الكيميائية.

كانت لحظة عظيمة في تاريخ المادّة. وقد شعرنا بذلك بحق: فقد توصل بور إلى الأساس الصلب. ومع ذلك أخذت تلوح في الخلفية مشكلة مختلفة تماماً، بدءاً باقتراح سودي (1910) واكتشاف طومسون (1913)، وهي سنة نموذج بور الذري، ودراسة طيف الكتلة من قبل ف. و. أستون [F. W. Aston] (1919). ثم جاءت قبلة يوري [Urey]، اكتشاف الماء الثقيل، ما عني أن كل القياسات الأساسية للأوزان الذرية - الظواهر الأساسية للكيمياء والنظام الدوري - كانت خاطئة قليلاً ولا بدّ من تنقيحها. وهكذا انهار أساس بور الصلب: لقد بنى نيلز بور على أرض سبخة. ومع ذلك صمد هذا الصرح. ثم جاءت ميكانيكا الكم، ونظرية لندن [London] وهيتر [Heitler]. وتبيّن أن اختزال الكيمياء داخل الفيزياء اختزال من حيث المبدأ فحسب، وأن الاختزال الكامل أصبح الآن أبعد مما بدا عليه في سنة 1922، سنة الاختراق العظيم.²²

بدأ نوع من نقاش جديد يتخذ شكلاً بعد نحو سبعين سنة من اكتشاف الهفنيوم بتعلّق بدور هذه الحادثة فيما إذا كانت ميكانيكا تستطيع تقديم تفسير اختزالي للظواهر الكيميائية، أو في هذه الحالة الطبيعة الكيميائية لعنصر معيّن - الهفنيوم.²³ وفي بحث نُشر في سنة 1994، ادّعت أن الرواية التقليدية عن اكتشاف الهفنيوم غير صحيحة من ناحية مهمّة واحدة، وتحديدًا دور بور في توجيه كوستر وهيغزي للبحث عن آثار للعنصر 72 في خامات الزركونيوم. وادّعت أن هذا الاقتراح جاء في الواقع من فريتز بانث [Fritz Paneth]، اختصاصي الكيمياء المشعّة في برلين الذي يتكرّر ذكره في روايات أخرى لكن نادراً ما يمنح الفضل باعتباره محرّض كوستر

وهيفزي على البحث في خامات الزركونيوم.

تشير الروايات المعتادة كما ذكر أعلاه، إلى أن بور كان واثقاً من توقعه وأنه وجه كوستر وهيفزي إلى مكان البحث عن العنصر الجديد. وكان الدافع الرئيس لتشكيكي في الرواية المألوفة أنني أعددت أطروحتي للدكتوراه في تاريخ العلم وفلسفته مع ابن بانث، وقد زوّدي بمراسلات تعود لوالده وتشير إلى دوره الأهم في هذه الحادثة مما يعترف به على العموم.

في الواقع، كان مؤرّخ العلم الدنمركي هالغيه كراغ (Helge Kragh) قد بدأ بإثارة الشكوك في عدد من الأبحاث المبكرة. وذكر أيضاً أن الاقتراح الفعلي لمكان البحث جاء من بانث لا من بور نفسه. كما أثار نقطة أكثر أهمية في مسألة اختزال الكيمياء أو خلاف ذلك. فقد رأى كراغ، مصيباً على ما اعتقد، بأن توقعات بور بشأن الطبيعة الكيميائية للهفنيوم لم تكن استنتاجية بالقدر الذي أبداه بور في ذلك الوقت. ولاحظ العديد من المؤلفين أيضاً أن التشكيلات الإلكترونية التي عيّنها بور لذرات العناصر في الجدول الدوري تم التوصل إليها بطريقة شبه تجريبية لا من استنتاجات صارمة من نظريته الكمومية.²⁴

وهكذا فإن ما يميّز نهج بور يتكوّن من عنصرين متميّزين، وتحديداً تطبيق المبادئ النظرية العامة وتطبيق المعرفة الكيميائية أو الفيزيائية. وهذا التقسيم، كان اتجاهاً عاماً في النظرية الذرية في ذلك الوقت وميّز نظرية 1921 أيضاً، بقابل تعليقات ذات سمة استنتاجية واستقرائية على التوالي. وفي عمل بور، كان للمقولات الكيميائية الاستقرائية دور رئيس، إذ إن

المبادئ النظرية الميكانيكية والكمومية لا تصحح التشكيلات إلا بطريقة إجمالية.

لم أفاجا كثيراً بأن كراغ اعترض عدّة مرّات على إثارتي القلق بشأن مقدار توقّع بور للطبيعة الكيميائية للهفنيوم. على سبيل المثال، في حاشية لمقالة عن فكرة عنصر ما، كتب كراغ:

رأى إريك شيري (1994) أن نظرية بور لم تتوقّع الطبيعة الكيميائية للعنصر 72، ولذلك فإنه يمكن عدم اعتبار الاكتشاف انتصاراً للنظرية. صحيح أن توقّع بور لم يكن حاسماً جداً وأنه تمّ التوصل لفكرة مماثل العنصر مع الزركونيوم بالتعليل الكيميائي أحياناً، لكن لا أهمية لاعتراضات شيري من وجهة نظر تاريخية. فقد توقّع بور بأي معنى معقول للكلمة الخصائص الكيميائية للهفنيوم، وإن لم يكن بطريقة استنتاجية صرف. فقد تقبل جميع الفيزيائيين تقريباً الارتباط التوقّعي بين النظرية والاكتشاف واعتبروا اكتشاف الهفنيوم انتصاراً للنظرية الذرية لبور.²⁵

ربما يكمن الاختلاف في أن كراغ يقارب الموضوع من منظور الفيزياء في حين أقارب أنا المسألة من منظور كيميائي في الغالب.²⁶

الهفنيوم، الخصائص والتطبيقات

الخصائص الكيميائية للهفنيوم شبيهة جداً بخصائص الزركونيوم، الذي يقع فوقه في المجموعة الرابعة (IV) من الجدول الدوري. على سبيل

المثال، يبلغ نصف القطر الأيوني للزركونيوم 0,74 أنغستروم، مقارنة بـ 0,75 أنغستروم في حالة الهفنيوم، وهو اختلاف يبلغ 1 في المئة فحسب. ويحدث ذلك على الرغم من أن نواة الهفنيوم تحتوي على 32 بروتوناً إضافياً مقارنة بنواة الزركونيوم، من دون ذكر العديد من النيوترونات الإضافية.

يرجع هذا المفعول جزئياً إلى «الانكماش اللانثاني» (lanthanide contraction). فعندما يعبر المرء عناصر السلسلة الانتقالية الثالثة، يصبح حجم الذرات أصغر من المتوقع لأن الإلكترونات الإضافية، التي تضاف إلى الذرة عند اجتياز السلسلة، تقع في المداري الداخلي f (الشكل 5,4). وتمثل هذه المداريات 4f الغلاف الثاني قبل الأخير ويوفر حماية رديئة للإلكترونات الخارجية مقارنة بالحماية التي توفرها إلكترونات d على سبيل المثال. ونتيجة لهذه الحماية الرديئة، يكون الجذب النووي أكبر نسبياً، ويكون لمعظم العناصر في السلسلة الانتقالية الثالثة أنصاف أقطار ذرية وأيونية قريبة من أحجام الذرات المقابلة في السلسلة الانتقالية الثانية.

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
1.00	1.02	0.99	0.983	0.97	0.958	0.938	0.923	0.912	0.901	0.890	0.880	0.868

الشكل 5,4 التباين في أنصاف الأقطار الأيونية بالأنغستروم، وهو يظهر الانكماش اللانثاني.

ونتيجة لذلك ولكثير من التماثلات الأخرى، تستطيع ذرات الهفنيوم والزركونيوم، وبخاصة أيوناتهما، الحلول محل بعضها بعضاً في المعادن التي يوجدان فيها معاً. وليس هناك وسيلة كيميائية لفصل العنصرين لأن أي فصل يحتاج إلى استغلال الاختلاف في السلوك والاختلافات

معدومة تقريباً.

من ناحية أخرى، ثمة بعض الاختلافات الفيزيائية بين العنصرين. على سبيل المثال، كثافتا الزركونيوم والhafنيوم متباينتان، حيث للزركونيوم نصف كثافة hafنيوم فقط. وتختلف نقطتا انصهارهما كثيراً أيضاً. والhafنيوم ^{153}Hf هو النظير الأقل استقراراً من بين 34 نظيراً للhafنيوم، إذ يبلغ عمره النصفى 400 مليثانية، في حين أن العمر النصفى للhafنيوم ^{174}Hf يبلغ 1510×2 سنة.

ربما يكون الاختلاف الرئيس بين العنصرين قدرتهما على امتصاص النيوترونات. إذ يستطيع hafنيوم امتصاص 600 ضعف ما يمتصه الزركونيوم من النيوترونات. ونتيجة لذلك فإن التطبيق الرئيس للhafنيوم هو في المفاعلات النووية على شكل أنابيب تحكم. كما أن هذا الاستخدام يعني بذل جهود عظيمة لتحسين طرق الفصل بين العنصرين، من أجل تعظيم ميل hafنيوم لامتصاص النيوترونات.

يحمل hafنيوم بعض الأرقام القياسية المتعلقة بنقاط الانصهار. على سبيل المثال، لكربيد hafنيوم، HfC ، أعلى نقطة انصهار لمركب ثنائي معروف، حيث يزيد مقدارها على 3980 درجة سلزيوس. كما أن لمزيج الكربيد ذي الصيغة Ta_4HfC_3 أعلى نقطة انصهار لأي مركب معروف. تشمل الاستخدامات الأخرى للhafنيوم صنع سبائك مع فلزات مثل التيتانيوم، والنيوبيوم، والتنتالوم. على سبيل المثال، كانت الفوهات في أجهزة الدفع الصاروخية، مثل الوحدات القمرية لمركبات أبولو، مصنوعة من سبيكة من النيوبيوم والhafنيوم والتيتانيوم.

الفصل الخامس

العنصر 72 - الرينيوم

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv		

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

الشكل 1,5 عرض موقع العنصر 75 في الجدول الدوري، وقد أطلق عليه اسم الرينيوم في نهاية المطاف.

يقع عنصر الرينيوم تحت خاتين من المنغنيز في المجموعة السابعة (VII) من الجدول الدوري (الشكل 1,5). وقد توقع مندليف وجوده عندما اقترح جدولته الدوري لأول مرة في سنة 1869. وهذه المجموعة فريدة إذ كانت تضمّ عنصراً واحداً معروفاً عندما نشر الجدول الدوري لأول مرة، المنغنيز، ويوجد تحته فجوتان على الأقل. الفجوة الأولى ملئت بالعنصر 43، التكنيتيوم، في حين ملئت الفجوة الثانية بالرينيوم. لكن

الرينيوم اكتُشف لأول مرّة في سنة 1925 عن طريق والتر نوداك وإيدا تاكه (لاحقاً نوداك) (الشكل 2,5) وأوتو بيرغ في ألمانيا.¹ فقد حصلوا على غرام واحد من الرينيوم، في إطار عملية استخراج طويلة ومضنية، بعد معالجة نحو 660 كيلوغراماً من الموليبدنيت.²



الشكل 2,5 إيدا نوداك (تاكه قبل الزواج). الصورة باذن من مجموعة سغريه في معهد الفيزياء.

سمّى المكتشفون الألمان العنصر «رينيوم» نسبة إلى رينوس، وهو الاسم اللاتيني لنهر الراين الذي يجري على مقربة من مكان عملهم. وقد اعتقدوا أيضاً أنهم عزلوا العنصر الآخر الناقص في المجموعة السابعة، أو العنصر 43، الذي أصبح معروفاً باسم التكنيتيوم، لكن تنازع العديد من الباحثين الآخرين بشدّة على ذلك.

مؤخراً، في بدايات القرن الحادي والعشرين، أعادت فرق بحث من بلجيكا من والولايات المتحدة تحليل دليل الأشعة السينية الذي قدمه الزوجان نوداك ورأت أنهما عزلا العنصر 43 بالفعل.³ لكن هذه الادعاءات الإضافية واجهت نقاشاً من قبل العديد من اختصاصيي الكيمياء المشعة والفيزيائيين لكن النقاش انتهى الآن، إلى حين على الأقل.⁴

وتشاء الأقدار أيضاً أن يعتقد الكيميائي الياباني ماساتاكازا أوغوا أنه عزل العنصر 43 وأسماه نيبونيوم في سنة 1908. وقد ووجه ادعاؤه بالإنكار أيضاً في ذلك الوقت، لكن مؤخراً في سنة 2004 قدمت الحجة على أنه عزل الرينيوم في الواقع، بدلاً من العنصر 43، قبل وقت طويل من الزوجين نوداك وبييرغ.³

النيبونيوم

كان دخول أوتو هان مجال النشاط الإشعاعي لأول مرة باعتباره تلميذاً لرامسي في يونفيرستي كوليدج، لندن، في بداية القرن العشرين. وهناك طلب منه رامسي تحليل خام الثوريانيت المستورد خصيصاً من سيلان (سريلانكا الآن). ونتيجة لذلك تمكن هان من إحداث تأثير مبكر جداً في المجال، معتقداً في البداية أنه اكتشف عنصراً جديداً تبين فيما بعد أنه نظير جديد للثوريوم. وقد شارك معلمه رامسي رايلي في اكتشاف العديد من العناصر الجديدة (النيون، والأرغون، والكريتون، والزنون)، الغازات الخاملة التي حتمت في النهاية استحداث مجموعة جديدة تماماً في الجدول الدوري.

وعن طريق المصادفة، طلب رامسي أيضاً من طالب شاب آخر تحليل

الخام نفسه، في رهان آخر على ما يفترض لاكتشاف عنصر جديد. وكان هذا الطالب مساتاكا أوغاوا الذي قدم من اليابان إلى يونفيرستي كوليدج في سنة 1904. وبعد كثير من العمل التحليلي، اعتقد أوغاوا أنه عزل عنصراً جديداً وأقنع رامسي بأنه فعل ذلك. ومن بين الأدلة التي قدّمها أوغاوا اكتشاف خط طيفي عند $4882 + / - 10$ أنغستروم.⁶ وحسب الوزن الذري للعنصر بأنه 100 بناء على الاعتقاد بأنه ثنائي التكافؤ.⁷

يبدو أن رامسي أقرّ بالاكتشاف، بل إنه اقترح على أوغاوا تسميته نيبونيوم، نسبة إلى الاسم الياباني لليابان. وعندما عاد أوغاوا إلى اليابان، أفاد بأنه عثر على دليل على وجود هذا العنصر الجديد في الموليدنيت⁸ ونشر مقالته في مجلة «كمكل نيوز» اللندنية.⁹ وقد نشر لورنغ (F. H. Loring) في السنة التالية جدولاً دورياً جديداً في «كمكل نيوز» أيضاً يقبل العنصر الجديد، الذي مُنح الرمز Np ووضِع في المكان الذي يشغله اليوم العنصر 43، أو التكنيتيوم.

لسوء الحظّ، لم تنجح جهود زملاء أوغاوا الشبان الإضافية لتكرار هذه النتائج في جامعة توهوكو. ويمكن أن يفسر ذلك جزئياً بأن الثوريانيت الذي اشتغل به الزملاء اليابانيون الشبان يحتوي على قليل من الرينيوم. وتحديداً، فإن 96,9 في المئة من هذا المعدن يتكوّن من عشرة عناصر، يشكّل فيها الثوريوم المكوّن الرئيس بطبيعة الحال. وتتكوّن نسبة 3,1 في المئة المتبقية من أحد عشر عنصراً إضافية، يشكّل فيها الرينيوم نسبة ضئيلة فحسب. وفي حين أن تجارب أوغاوا الأصلية أجريت على 250 كيلوغراماً من المعدن المتاح لديه، فإن الباحثين اليابانيين اللاحقين اشتغلوا بأقل من كيلوغرام واحد من المعدن.

وإدعى عدد من الباحثين الآخرين بأنهم وجدوا إكاً المنغنيز، أو العنصر 43. ومن بينهم لورنغ ودروس (J. G.F. Druce) في إنكلترا اللذان ادّعى أنهما استخرجا العنصر الجديد من أملاح المنغنيز والبيرولوسيت (MnO₂) باستخدام أساليب كهركيميائية. وبحث آخرون أيضاً عن إكاً المنغنيز واعترفوا بأنهم لم يستطيعوا العثور عليه، ومنهم زفياغنيسيف (O. Zvjagincev) في روسيا. وبحث كيميائي آخر، براندتل (W. Prandtl)، في الكولومبييت، والتنتاليت، والغادولينييت، والولفراميت، من دون جدوى.

نوداك وتاكه وبيريغ

في سنة 1925، أفاد نوداك، وتاكه، وبيريغ، العاملون في ألمانيا، بأنهم اكتشفوا عنصرين في المجموعة السابعة، وسموهما ماسوريوم ورينيوم على التوالي. وتشاء الأقدار أن يحظى ادّعاءهم باكتشاف الرينيوم بالدعم في حين ينكر ادّعاؤهم باكتشاف التكنيتيوم. في غضون ذلك اختفى نيبونيوم أوغاوا ولم يعد له أثر، على الرغم من إنعاشه لاحقاً من قبل يوشيهارا (Yoshihara) الذي ادّعى أن أوغاوا اكتشف الرينيوم في الواقع لا العنصر 43 كما اعتقد. بل إن العنصر 43 ملص من أوغاوا والزوجين نوداك ولم يُعزل، أو بالأحرى يخلق، إلا في سنة 1937 عن طريق بييريه (Perrier) وسغريه (Segrè).¹⁰

تقدّم الزوجان نوداك على منافسيهما لأنهما أدركا تماماً أن العنصرين اللذين يسعيان وراءهما ليسا مماثلين للمنغنيز وإنما يشبهان شركاءهما الأفقيين. على سبيل المثال، اعتقد الزوجان نوداك أن العنصرين 43

و75 غير ذوّابين في الحموض، في حين أن ثنائي سلفيد المنغنيز ذوّاب فيها. وبدأ بإزالة الحديد والمنغنيز من خاماتهما بترسيب هذين الفلزّين وترشيحهما. وقد اشتمل ذلك على صنع 400 منتج مقوّى من خامات مختلفة. ولتوكيد هوية العنصرين الجديدين، استعانا بأوتو بيرغ، وهو اختصاصي بالأشعة السينية في شركة سيمنز- هالسك في برلين. وفي سنة 1925 أعلن الزوجان نوداك وبيرغ أنهما حددا عنصراً جديداً اقترحا أن يطلقا عليه اسم الرينيوم، من خام كولومبيت نرويحي.

حصل الزوجان نوداك على منحة مقدارها 30,000 مارك من صندوق الطاقة العلمية الألماني فسافرا إلى اسكندنافيا وروسيا لشراء مزيد من المعادن التي اعتقدا أنها تحتوي على الرينيوم. جاء أول نجاح في سنة 1927 عندما حصلوا على 120 مليغراماً من الرينيوم ودرسوا بعض خصائصه الكيميائية. وحظي الفلزّ الجديد باهتمام تجاري فوري تقريباً. وفي وقت لاحق من العام نفسه، تعاقدت شركة سيمنز- هالسك، حيث يعمل بيرغ، مع الزوجين نوداك لاستخراج غرام من الرينيوم. وكانت شروط هذا العقد أن يصبح الفلزّ المستخرج ملكاً للشركة، مع السماح في الوقت نفسه للزوجين بإجراء أي تجارب إضافية. وبحلول سنة 1929، سلّم الزوجان نوداك غراماً كاملاً من الفلزّ في أعقاب استخراجهم من 660 كيلوغراماً من الموليبدنيت النروجي، وتوصلاً إلى كتلة بلغت 3 غرامات بعد سنة إضافية فحسب.

كشف التحليل الإضافي أن الرينيوم يوجد في قشرة الأرض بتركيز شديد الانخفاض يبلغ 10^{-7} ، أو 0,01 جزء في المليون. وعلى الرغم من أن الرينيوم لا يشكّل معادن خاصة به، فإنه يوجد في الموليبدنيت كما ذكر من قبل، وفي خامات النحاس البورفيرى. وللفلزّ نقطة انصهار 3180

درجة سلزيوس، ما يجعله الثاني بعد التنغستن الذي ينصهر عند 3380 درجة سلزيوس. وللرينيوم رابع أعلى كثافة نوعية بين العناصر، حيث يلي الأوزميوم (Os)، والإيريديوم (Ir)، والبلاتين (Pt).

تطبيقات الرينيوم

لنتقل الآن إلى كيمياء الرينيوم وخصائصه. لم يعثر حتى عهد قريب على أي معدن يحتوي على الرينيوم متحداً مع لافلز. لكن أفادت مجلة «نيتشر» في سنة 1992 أن فريقاً من العلماء الروس اكتشفوا ثنائي سلفيد الرينيوم في فوهة بركان في جزيرة نائية قبالة الساحل الشرقي لروسيا.¹¹ لم ينفجر هذا البركان الذي يدعى كودريافي منذ سنة 1883. لكنه يحتوي على شعلات غازية تزيد درجة حرارتها على 900 درجة سلزيوس. وتتصعد الشعلات الغازية، اكتشف الفريق الروسي ما سموه «أول معدن صافٍ للرينيوم يتم الإبلاغ عنه»، وهو يحتوي على الرينيوم بمثابة كاتيون (أيون موجب).

كيمياء الرينيوم متنوّعة. فهو يظهر أكبر مجموعة من حالات الأكسدة من بين أي عنصر معروف، وتحديدأ -1، 0، +1، +2، وهكذا وصولاً إلى +7، وآخرها حالة الأكسدة الأكثر شيوعاً لديه. وهو أيضاً الفلزّ الذي قاد إلى اكتشاف أول رابطة رباعية لفلزّ بلفزّ. ففي سنة 1964، اكتشف ألبرت كوتون (Albert Cotton) وفريقه في الولايات المتحدة وجود مثل هذه الرابطة الرباعية Re-Re على شكل أيون الرينيوم $[Re_2Cl_8]^{2-}$.¹²

تصنّع كمّية كبيرة من الرينيوم المستخرج في سبائك فائقة تستخدم في المحرّكات النفاثة. وعلى نحو المعهود في الفلزّات الانتقالية، يعمل الرينيوم أيضاً مادّة حفّازة للعديد من التفاعلات. على سبيل المثال،

يستخدم مزيج من الرينيوم والبلاطين حفّازاً مفضلاً في العملية المهمة جداً لصناعة البنزين العالي الأوكتان الخالي من الرصاص. وتقاوم حفّازات الرينيوم الهجمات الكيميائية من النيتروجين، والفسفور، والكبريت، ما يجعلها أيضاً مفيدة في تفاعلات الهدرجة في مختلف العمليات الصناعية. مؤخراً، اجتذب مركّب بسيط لهذا العنصر، ثنائي بروميد الرينيوم، بعض الاهتمام لأنه من أقسى المواد المعروفة على الإطلاق. وخلافاً للمواد الفائقة المساوية مثل الماس، لا حاجة إلى صناعته تحت ضغط مرتفع.¹³

التطبيقات الحديثة للرينيوم

ثمة حاجة كبيرة إلى المواد القاسية في الصناعة الحديثة وإلى ما يدعى المواد الفائقة الصلابة التي تستخدم بمثابة مواد كاشطة، وأدوات قطع، وطبقات خارجية مقاومة للخدش. وكان الماس، بقدرته المعروفة على العمل بمثابة أداة قطع، يؤدّي دور المادّة الفائقة الصلابة تقليدياً. وقد طوّرت أيضاً موادّ أخرى فائقة الصلابة بمثابة بدائل، ومنها نيتريد البورون المكعّب، BN. غير أن بدائل الماس تتطلّب استخدام ضغوط عالية مفرطة الارتفاع لإنتاجها، تزيد عادة على 5 غيغا باسكال ودرجات حرارة تفوق 1500 درجة سليزوس، وكل ذلك يجعل صناعتها مكلفة جداً.

في سنة 1962، عثر لابلانكا (La Placa) وبوست (Post) وكانا يعملان في نيويورك، على طريقة لتخليق مركّب جديد للرينيوم، وتحديدًا ثنائي البوريد الشديد البساطة ذو الصيغة ReB_2 .¹⁴ لكنهما لم يدركا إمكانات هذا المركّب باعتباره مادّة فائقة الصلابة. وتُرك لاثنين من زملائي في قسم الكيمياء بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس، ريتشارد كانر (Richard

(Kaner) وسارة تولبرت (Sarah Tolbert)، تقدير هذا الاحتمال وإجراء الاختبارات وتحديد الخصائص التي ثبتت أن المركب فائق الصلابة.¹⁵ العاملان اللذان يمنحان ثنائي بوريد الرينيوم صلابته هما الكثافة المرتفعة للإلكترونات التكافؤ ووفرة الروابط التساهمية القصيرة. وكان كانر وتولبرت قد اختارا سابقاً ثنائي بوريد الأوزميوم باعتباره مرشحاً لمادة فائقة الصلابة وأظهرا أنه يتحلّى بالعديد من الخصائص المنشودة. وبعد ذلك رجعا إلى الجدول الدوري لإيجاد العناصر الأخرى التي يمكن أن توفر مزيداً من الصلابة. يقع الرينيوم إلى يسار الأوزميوم ولذلك فإنه خيار واضح. وأسهمت دراسات التلمّ المجهرى (Microindentation) وأن الرينيوم بخدش سطح الماس في سوق الحجة بأن ثنائي بوريد الرينيوم ReB_2 مادة فائقة الصلابة وفتحت احتمالات التطبيقات التكنولوجية لهذا المركب.

على سبيل المثال، يمكن استخدام بوريد الرينيوم أداة قطع في الحالات التي يثير فيها استخدام الماس مشاكل بسبب ميله إلى تشكيل الكريدات. ويحدث ذلك عند استخدام الماس لقطع الحديد أو الفولاذ، وبخاصة في المعالجة بالآلات العالية السرعة.

الرينيوم هو آخر عنصر مستقرّ يكتشف لكنه ليس عديم الأهمية من دون شك. وهو يتمتع بالعديد من الخصائص المفيدة، مثل عدم خضوعه لتحوّل مطواع - هشّ عند الاقتراب من نقطة انصهاره، خلافاً للعديد من الفلزّات الأخرى. ويحتفظ الرينيوم بقوّته المرتفعة عند درجات الحرارة المرتفعة بالإضافة إلى قابليته الممتازة للسحب، ما يجعله الخيار المثالي في صنع شفرات التوربينات لأن إضافة 1-3 في المئة من الرينيوم

إلى سبيكة النيكل تحسّن متانتها عند درجات الحرارة المرتفعة ويحول من دون تصدّعات الإجهاد.

وتشمل التطبيقات الأخرى لسبائك الرينيوم صنع أشباه الموصلات، والمفاعلات النووية، ومكوّنات الأنبوب الإلكتروني، والمزدوجات الحرارية (thermocouples)، والملاصقات الكهربائية، والغيروسكوب، وأنايب الأشعّة السينية. ويستخدم الفلزّ على نطاق واسع أيضاً في الصناعة الكيميائية بمثابة حفّاز لتحقيق الألكلة (alkylation)، ونزع الألكلة، ونزع الكلورة الهيدروجينية (dehydrochlorination)، والتكسير الهيدروجيني، والأكسدة، والتهديب الكيميائي. ومن سماته مقاومة بعض سموم المحفّزات النموذجية مثل النيتروجين، والكبريت، والفسفور. وتوجد أكبر احتياطات العالم من الرينيوم في تشيلي، وهي أيضاً المنتج الأكبر لهذا الفلزّ.¹⁶

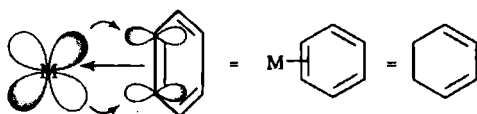
بعض بحوث الرينيوم المعاصرة

كان دين هارمان (Dean Harman) من جامعة فيرجينيا رائداً في استخدام مركّبات الرينيوم في الكيمياء العضوية التخليقية.¹⁷ وقد بدأ العمل عندما كان لا يزال طالباً لدى الفائز بجائزة نوبل هنري توب (Henry Taube) في ستانفورد، حيث اكتشفا أهمية دور مركّب فلزّ انتقالي، خماسي أمينو الأوزميوم (II) أو $[\text{Os}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$. عندما يربط هذا القسم من الجزيء بحلقات البنزن والمركّبات الأرومية (aromatic) الأخرى، فإنه يسبّب تغييرات كبيرة في سلوكها ويمنحها خصائص جديدة من وجهة نظر الكيمياء العضوية التخليقية. وفي حين أن المركّبات العطرية

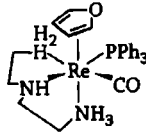
(الأرومية) تتأثر عادة بتفاعلات التبادل، فإنها أصبحت الآن مِيَّالة إلى تفاعلات الإضافة. ويحدث هذا التغيير لأن السلوك الأرومي للمركبات الحلقية يختزل عبر عملية تدعى إزالة الأرمته (dearomatization). ومنذ أواسط الثمانينيات، خلِّق العديد من المركبات الأخرى، بما فيها معقدات الفلزّات الانتقالية (Cu(I)، وAg(I)، وPt(0)، وNi(0)، وTa(III)، وNb(III)، وRh(II))، وما إلى هنالك.

وفي العديد من هذه المكوّنات، يمكن أن يشكّل فلز انتقالي مثل الرينيوم (Re) رابطة أحادية مع مركّب أرومي، ما يؤدي إلى التمرکز المحلي «للرابطين المزوجتين» الآخرين - عند التفكير من خلال الكيمياء العضوية الكلاسيكية - لإنتاج مركّب هكسادين حلقي. وتعرف هذه العملية بإزالة الأرمته لأنها تؤدي إلى فقدان الطبيعة الأرومية، أو التمرکز المحلي، لحلقة البنزن. (الشكل 3,5).

ونظراً إلى انكسار الاستقرار الأرومي للمركّب الأرومي الأصلي، فإنه يمكن الآن إجراء العديد من التفاعلات العضوية التي لم تكن ممكنة بخلاف ذلك. وبالتالي اكتسب الكيميائيون العضويون التخليقيون أدوات جديدة قيّمة في ترسانة أساليبهم.



الشكل 3,5 تفاعل إزالة الأرمته باستخدام ذرات فلزية. J. M. Keane, W. D. Harman, A New Generation of π -Basic Dearomatization Agents, *Organometallics*, 24, 1786 - 1798, 2005. أعيدت طباعته بإذن من الجمعية الكيميائية الأميركية.



الشكل 4,5 عميل إزالة أرتمة من الجيل الثاني باستخدام ذرة رينيوم. J.M. Keane, W.D. Harman, A New Generation of π - Basic Dearomatization Agents, *Organometallics*, 24, 1786 - 1798, 2005. أعيدت طباعته بإذن من الجمعية الكيميائية الأمريكية.

وقد اكتُشف مؤخراً ما يدعى بجيل جديد من عوامل إزالة الأرتمة بالتركيز على حالات التكافؤ المنخفضة لفلز الرينيوم. ويعرض أحد هذه المركبات، وهو ما تشغل صيغته نصف سطر من النص، في الشكل 4,5.

محاولة لرد الاعتبار للنيبونيوم

نبح الأستاذ الفخري الياباني كنجي يوشيهارا (Kenji Yoshihara) خلال فترة طويلة في نشر عدد من المقالات التي يقترح فيها رد الاعتبار إلى ادعاء أوغاو بأنه اكتشف عنصراً جديداً، يدعى نيبونيوم.¹⁸ وبالنظر إلى حداثة الادعاء «بالاكتشاف الحقيقي» لأحد عناصرنا السبعة، وإلحاحه، فسيتم تناوله ببعض التفصيل.

ذكر سابقاً أن الكيميائي الياباني ماساتاكازا أوغاو توجه إلى لندن للدراسة مع وليام رامسي في سنة 1904. وقد أعطي أوغاو عيّنة من الثوريانيت المجلوبة من سيلان (سريلانكا) وطلب منه استكشاف محتوياتها. وفي سنة 1908، أفاد أوغاو بأنه رأى ما يعتقد أنه خط طيفي جديد في المنطقة البصرية التي لم تخصص سابقاً لأي عنصر وأن ذلك حدث عند طول موجي مقداره 4882 أنغستروم. وعندما سمع رامسي

بهذا العمل، اقتنع بأن تلميذه الياباني اكتشف عنصراً جديداً واقترح على أوغاوا تسميته نيبونيوم.

حسب أوغاوا الوزن الذري «للعنصر الجديد» بأنه يقع بين الموليبدندوم والروثينيوم. وذلك يضعه تحت المنغنيز مباشرة، كما توقع مندليف، الذي منحه اسم إكا المنغنيز. وعاد أوغاوا إلى اليابان في سنة 1906 وتابع بحثه عن هذا العنصر، مدعياً لاحقاً أنه وجدته في الموليبدنيت الياباني. ونشر مقاليتين في مجلة «كيمكل نيوز»¹⁹ التي يصدرها كروكس وظهر الرمز Np في الجدول الدوري الذي نشره لورنغ.

في سنة 1911، انتقل أوغاوا من جامعة طوكيو إلى جامعة سندياي، حيث أصبح رئيسها في سنة 1919. وحاول زملاؤه وطلابه تكرار كشف النيبونيوم لكنهم فشلوا في ذلك. في غضون ذلك، أرسلت عيّنة من الخام الذي يحتوي على نيبونيوم أوغاوا المزعوم إلى هيفزي، مكتشف الهفنيوم، لكنه فشل أيضاً في ملاحظة أي عنصر جديد. وكتب هيفزي بالفرنسية في سنة 1925:*

Quelques années plus tard, OGAWA crut avoir trouvé, dans le thorianite, le silicate d'un élément nouveau, le nipponium. M. R.-B. Moore, chimiste principale du Bureau de Mines à Washington, a eu l'extrême obligeance de nous adresser quelque-uns des cristaux de silicate de nipponium obtenus par Ogawa. Ces cristaux se composaient, essentiellement, de silicate de zirconium ayant une teneur de 2 p.c. en hafnium.²⁰

* ترد ترجمة هذا الاقتباس في الحاشية 20 من الفصل الخامس في آخر الكتاب. وقد أثبتنا النص الفرنسي الأصلي كما فعل المؤلف - المترجم.

قبل المؤلفون اللاحقون للجدول الدوري، مثل فان سبرونسن (van Spronsen)، هذه النتيجة السلبية. غير أن الادعاء استمر في اليابان على ما يبدو، وبخاصة في ضوء استمرار الكيميائي النووي كنجي يوشيهارا في تخصيص كثير من الوقت لمحاولة استعادة ادعاء أوغاوا والاستنتاج أيضاً بأنه عين خطأ باعتباره إكسا المنغنيز وكان يجب أن ينسب إلى العنصر الموجود تحت تلك الخانة، وهو الذي سمي الرينيوم في النهاية. لا ينازع يوشيهارا في صحة العينة التي أرسلت إلى هيفزي لكنه يجري فحصاً مفصلاً لطريقة أوغاوا في الفصل ليخلص إلى أنه:

في الإجراءات أعلاه [الخاصة بأوغاوا]، كانت العينة المعزولة خالية من الزركونيوم والسليكات تقريباً خلافاً لوصف هيفزي. هل يمكن أن يخطئ أوغاوا ويحسب أن الزركونيوم نيوبونيوم حتى إذا لوث مقدار صغير من الزركونيوم الكسر النهائي الذي تم الحصول عليه في الشكل 2؟ لا يمكن التفكير في ذلك لأن أوغاوا خبير في تجارب الفصل! ص 264.

من نافلة القول إن مثل هذا البيان الذي يقوم على أسس وطنية إلى حد ما على ما يبدو ليس مقنعاً من الناحية العلمية. ولا الجملة التالية التي يوردها يوشيهارا:

نظراً إلى أن أوغاوا بحث عن العنصر طوال حياته بدعم قوي من رامسي، فإن من المستغرب أن يعمل على هدف شبح. ما هو النيونيوم في الحقيقة؟ لم يُجب على هذا السؤال إلا مؤخراً. ص 265.

وأخيراً ينتقل يوشيهارا إلى حجة أكثر أهمية بقوله:

إن مفتاح حل هذه المسألة هو الملاحظة الطيفية التي وصفها أوغاوا في تقريره. خط طيفي جديد عند 4882 أنغشتروم (مع خطأ تجريبي يبلغ 10 أنغشترومات) صادر عن «العنصر الجديد» في توافق مع الخط الطيفي للرينيوم (4889 أنغشتروم)... لذا يجب أن يخصص نيونيوم أوغاوا للرينيوم من الناحية الطيفية. ص 265.

ويدعي يوشيهارا أيضاً أن الوزن الذري الذي حسبه أوغاوا للنيونيوم كان خاطئاً لأن أوغاوا اعتقد أن العنصر ثنائي التكافؤ. وتكشف إعادة الحساب التي أجراها يوشيهارا للوزن الذري، بافتراض أن العنصر سداسي التكافؤ، عن وزن ذري يبلغ 185,2، وهو ما يزعم أنه قريب جداً من الوزن الذري الحديث للرينيوم: 186,2. ويشرح يوشيهارا للقارئ أنه قدّم نتائجه إلى مؤتمر دولي عقد في بلجيكا في سنة 1996 وأنها «تركت تأثيراً قوياً لدى المهتمين بتاريخ الكيمياء في أوروبا والولايات المتحدة». ويضيف بعد ذلك أنه نشر بحثاً آخر في مجلة «راديو كيمياء أكتا» (*Radiochimica Acta*) لقي «تقديراً كبيراً من العديد من الأشخاص».²¹

وبعد إدراك يوشيهارا الطبيعة الضعيفة لادعاءاته، فإنه يلعب ورقته الراحبة. فيفيد بأن أوغاوا أراد دائماً الحصول على تأكيد بالأشعة السينية لاكتشافه لكن لم يكن هناك جهاز أشعة ملاتم في اليابان.²² وفي سنة 1927، اشترى كنتجورو كيمورا (Kenjiro Kimura) مقياس طيف ملاتم بالأشعة

السينية وحاول التحقق من عنصر أوغاوا الجديد. ومما يؤسف أنه لم يُنشر أي بحث عن نتائج هذا التحليل لكن يوشيهارا يبلغنا أن أستاذاً يابانياً آخر، توشي أينو (Toshi Inoue)، «وهو صديق وثيق لكنجيرو كيمورا» صاح على ما يفترض،

إنه رينيوم جميل حقاً!

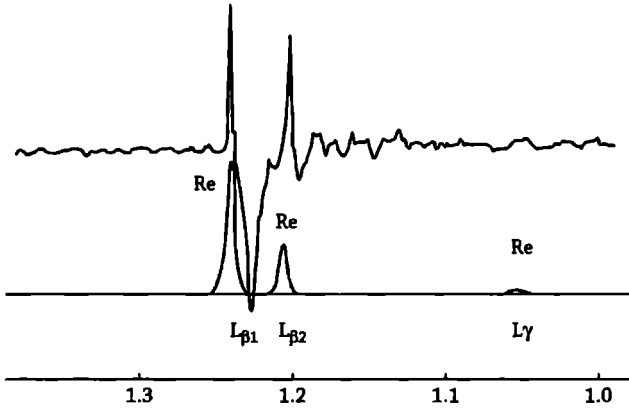
وفي بحث كتب في سنة 2005، أفاد يوشيهارا عما أسماه دليلاً جديداً. ويبدو أنه تمّ العثور على ألواح الأشعة السينية لتجارب كيمورا. لم تكن ألواح كيمورا للأسف، ولكن شخصاً آخر في القصة التي تتوالى فصولاً، الأستاذ أوياما (Aoyama). وبعد كثير من فكّ الرموز والتخمين، يفسرها يوشيهارا بأنها تظهر عدم وجود للعنصر 43 في عينة أوغاوا لكن كان هناك ذروتان حادثتان (الشكل 5,5) يمكن

تعيينهما بوضوح لخطي الأشعة السينية للرينيوم $L_{\beta 2}$ و $L_{\beta 1}$.

يبدو ذلك للوهلة الأولى أفضل دليل قدّمه يوشيهارا حتى تاريخه، لكن ذلك يترك العديد من الأسئلة من دون إجابة. أولاً، المنحنيان لا يتكوّنان من خطوط الأشعة السينية التي حصل عليها أوياما وتلك التي تم الحصول من الرينيوم «الحقيقي» كما يأمل المرء. وإنما هي مقارنة بين ذرى أوياما والذرى المحسوبة للرينيوم.²³

أستنتج من ذلك أنه يمكن أن يكون هناك بعض الرينيوم في عينات

أوغاوا لسبب بسيط هو أن الرينيوم ليس عنصراً نادراً. لكن ذلك مختلف عن الادعاء بأن عينات أوغاوا كانت تحتوي الرينيوم بالفعل - وهو أمر لا أعتقد أنه أثبت بالأدلة الظرفية المتعلقة بحسن منطوق أوغاوا أو بحسن استقبال الأبحاث التي كتبها يوشيهارا لاحقاً.



الشكل 5,5 ذرى الأشعة السينية من تجارب كيمورا كما أفاد عنها يوشيهارا في سنة 2004. Yoshihara, H. K. Discovery of a new element nipponium: reevaluation of pioneering works of Masataka Ogawa and his son Eijiro Ogawa, *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy* 59, 1305-1310, 2004. أعيدت طباعته بإذن من إنسفير.

ثمة نقطة أخيرة في مقالات يوشيهارا يجب النظر فيها أيضاً. ففي عدد من الحالات، أكد هذا المؤلف أن الباحثين اليابانيين الذين أيدوا ادعاءات أوغاوا منعوا من الإعلان عن نتائجهم بسبب التقاليد اليابانية التي تحول من دون أن يناقض الأساتذة الصغار أساتذتهم الكبار. ويلمّح يوشيهارا إلى أن الباحثين اللاحقين أدركوا أن ادعاءات أوغاوا الأولية عن العنصر

43 لم تكن صحيحة. ويشير إلى أن لفت الانتباه إلى ذلك يشكّل نوعاً من التمرّد في وقت تكشف الأحداث.

لا بدّ من القول إنني أجد هذا الادّعاء غير معقول أيضاً، لأن أي إعلان بان أوغاوا اكتشف الرينيوم، بدلاً من العنصر 43، يمثّل تطوّراً مهماً ويمنح أوغاوا مكانة مرموقة. ومثل هذا الإعلان يعوّض من دون شكّ عن أي خطأ في تحديد الهوية من جانب أوغاوا. ولا أستطيع أن أصدّق أنه سبب حال من دون أن ينشر العديد من الباحثين ادّعاءهم بأن ما عزله أوغاوا بالفعل هو ما سمي الرينيوم فيما بعد. أما التفسير الفعلي فإنه أكثر بساطة بكثير. في ذلك الوقت، كما هي الحال اليوم، لم يكن هناك أدلّة كافية على أن نيبونيوم أوغاوا ما هو إلا الرينيوم.

فاصل

في سنة 1925، كانت جميع العناصر الموجودة طبيعياً قد اكتُشفت، باستثناء عنصر واحد. وظل هناك أربع فجوات يجب ملؤها بين الحدود القديمة للجدول الدوري. وعلى الرغم من كثرة الادّعاءات باكتشاف هذه العناصر المفقودة، ومنحها أسماء غريبة بما في ذلك ماسوريو، وفورنتيوم، والأبامين، وفيرجينيوم، ومولدافيوم، وروسيوم، ومجموعة أخرى غيرها، فإن أيّاً من هذه الادّعاءات لم يصمد أمام اختبار الزمن. ومن الواضح أيضاً أنه لم يكن أي من هذه الادّعاءات صحيح بالنظر إلى طبيعة هذه العناصر الشديدة انعدام الاستقرار، وإلى أنه كان لا بدّ من تخليقها بدلاً من اكتشافها بين المصادر الموجودة في الطبيعة، باستثناء الفرنسيوم.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	REs	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U												

REs	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
-----	----	----	----	----	-----------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

الشكل 6,5 مواقع العناصر الأربعة، التي كانت تنتظر الاكتشاف بعد كشف الرينيوم في سنة 1925 (تظهر بأحرف سوداء غليظة) على نموذج متوسط الطول للجدول الدوري في ذلك الوقت.

لذا فإن العناصر الأربعة الأخيرة المتبقية - سميت في النهاية تكنيتيوم، وأستاتين، وفرنسيوم، وبروميثيوم - تشكل فئة فرعية منفصلة، وإن لم تكن معروفة تعريفاً جيداً جداً، في قصّة العناصر السبعة (الشكل 6,5). ويمكن اعتبار أنها تشكل أيضاً مجموعة منفصلة من العناصر في ضوء التأخر الزمني الطويل نسبياً قبل أن يبدأ اكتشافها. ومنذ زمن اكتشاف الهفنيوم في سنة 1925، مرّت اثنتا عشرة سنة قبل أن يخلّق العنصر الآخر، أول العناصر الأربعة الأخيرة، في نهاية المطاف في سنة 1937. لكن استغرق الأمر عشر سنين أخرى قبل أن يصبح اسم التكنيتيوم، كما اقترحت تسميته، مقبولاً.

ملاحظة أخيرة: في أثناء دفع الكتاب إلى المطبعة ذكرني أوليفر ساكس بادعاء اكتشاف عنصر يدعى جارغونيوم في سنة 1869، وهي سنة نشر

جدول مندلييف. أعلن سوربي (H.C. Sorby) عن هذا العنصر الذي اعتقد أنه موجود في الزركونيوم في مجلة «كِمِكل نيوز»، ليسحب بعد سنة بسبب الافتقار إلى الأدلة الكافية.

الفصل السادس

العنصر 43 - التكنيتيوم

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv				

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

الشكل 1,6 موقع التكنيتيوم في الجدول الدوري.

يتميز العنصر 43 (الشكل 1,6) تميزاً خاصاً بين العناصر السبعة في هذا الكتاب. وهو واحد من أربعة عناصر توقعها مندلييف لأول مرة في جدولته ومقالته الشهيرين لسنة 1871. وهذه الحقيقة غير معروفة جيداً لأن معظم الروايات تذكر ثلاثة توقعات شهيرة فحسب، وتحديدًا الخانات الفارغة التي منحها مندلييف الأوزان الذرية 44، و68، و72. وقد اكتُشفت هذه العناصر الثلاثة جميعاً خلال خمس عشرة سنة وأسميت

سكانديوم، وغاليوم، وجرمانيوم على التوالي. لكن في الجدول الدوري نفسه، حدّد مندلييف وزناً ذرياً لخانة فارغة واحدة إضافية، وضعها تحت المنغنيز مباشرة. وتوقع مندلييف أن يكون وزنه الذري 100، على الرغم من أنه غيّره قليلاً إلى 99 في كتابه، «مبادئ الكيمياء» (*The Principles of Chemistry*)¹.

نظراً إلى نجاح توقعات مندلييف الثلاثة، فليس من المفاجئ أن تبذل جهود حثيثة في أنحاء كثيرة من العالم لإيجاد العنصر الرابع. ولم يكن هؤلاء الكيميائيون الأوائل يعرفون الكثير عن المشاكل التي سيواجهونها في محاولة عزل هذا العنصر النادر جداً وغير المستقرّ. وفي أوائل القرن العشرين، قدّمت ادّعاءات عديدة باكتشاف العنصر. لكن تبين أن هذه العناصر المزعومة، وتدعى دافيوم، وإلينيوم، ولوسيوم، ونيونيوم، زائفة. ثم في سنة 1925، كما ذكر في الفصل السابق، ادّعى أوتو بيرغ، ووالتر نوداك، وإيدا تاكه (لاحقاً إيدا نوداك)، أنهم لم يكتشفوا عنصراً واحداً فقط وإنما عنصرين جديدين في المجموعة السابعة، وسموهما ماسوريوم ورينيوم. وعلى الرغم من قبول اكتشاف الرينيوم، فإن ادّعاءهم اكتشاف العنصر الموجود تحت المنغنيز مباشرة تعرّض لجدال مرير في صحّته منذ ذلك الوقت².

منح الاكتشاف الرسمي للعنصر 43 لإميليو سغريه والعاملين معه. وكان لا بدّ من تخليق التكنيتيوم، كما دعي في نهاية المطاف، بدلاً من عزله من مصادر موجودة في الطبيعة. وهو أيضاً العنصر الوحيد الذي «اكتشف» في إيطاليا - في باليرمو، بصقلية، إذ توخّينا الدقّة. وقد أرسل إلى سغريه، الذي كان زائراً في منشأة مسرّع جسيمات بيركلي في

كاليفورنيا، بعض ألواح الموليبدنوم التي تعرّضت للتشعيع (irradiation) لمدة عدة أشهر بحزمة من الدوتيريوم. وكشف العديد من التحليلات الكيميائية التي أجراها الفريق الإيطالي عنصراً جديداً يمكن استخراجه بالغلي مع هيدروكسيد الصوديوم الذي يحتوي على كمية صغيرة من بيروكسيد الهيدروجين أيضاً.

ويعتقد على العموم أن التكنيتيوم الذي ربما كان موجوداً عندما تشكلت الأرض اضمحلّ إشعاعياً منذ مدة طويلة. ونحن نعرف ذلك لأن لأطول نظائر العنصر عمراً نصفياً قصيراً جداً مقارنة بعمر الأرض. لكن في سنة 1956، توقع اختصاصي الكيمياء الإشعاعية الياباني بول كورودا احتمال وجود مفاعل نووي طبيعي ذات يوم في عمق الأرض.³ وبعد خمس سنوات، أفاد عن أن عيّنة من البتشلند الأفريقي تحتوي على 10^{-10} غرامات من ^{99}TC في الكيلوغرام الواحد من الخام. وفي سنة 1962، أكد فريق من العلماء الفرنسيين توقع كورودا السابق بوجود مفاعل نووي طبيعي عند تفحص عينات صخرية في جمهورية الغابون في أفريقيا.⁴ وبيّنت الأبحاث الإضافية أن هناك كميات ضئيلة من التكنيتيوم في هذه المعادن أيضاً، ما يناقض الجملة الشائعة في الكتب الدراسية بأن التكنيتيوم لا يوجد بصورة طبيعية في الأرض.

الادّعاءات المبكرة باكتشاف العنصر 43

من الملاحظ أن العديد من الادّعاءات باكتشاف العنصر الذي يعتبر بالمصطلحات الحديثة العنصر 43 أطلقت في أوائل وأواسط القرن التاسع عشر. ومن نافلة القول إن مفهوم الوزن الذري لم يكن معروفاً في ذلك

الوقت، ما يعني أن أي ادّعاءات لم تشر إلى العنصر 43 بهذه الصفة. كما أنه لم يكن قد نُشر أي جدول دوري لتوجيه مثل هذه الأبحاث ولم يفكر أحد حتى في ترتيب العناصر بأي نظام محدد لمعرفة ما هي الفجوات الموجودة. وهكذا فإن الادّعاءات الأولى التي سنتناولها كانت تقوم بأكملها على أساس التشابهات مع العناصر المعروف أنها موجودة.

الادّعاءات المبتكرة جداً

حدّد العديد من المؤلّفين أن أولى الادّعاءات كانت لعنصر مُنح اسم البولونيوم. وتبدأ القصة في سنة 1823، عندما أصدرت الحكومة الروسية الإمبراطورية مرسوماً بوجوب إرسال أي عيّنات من خامات البلاينيوم إلى سانت بطرسبورغ للتحليل الكيميائي. وتلا ذلك بعد سنتين إعلان الدولة الروسية عن احتكار هذا الفلزّ.³

اتّبع كيميائي يدعى إيغور كانكرين (Egor Kankrin) هذه الأوامر إلى حدّ ما، بإرسال عيّنات من الخامات التي تحتوي على البلاينيوم إلى سانت بطرسبورغ. وأرسل أيضاً عيّنات إلى الكيميائي السويدي برزيليوس وإلى غوتفريد فلهلم أوسان (Gottfried Wilhelm Osann)، وهو أستاذ الكيمياء في ما يعرف اليوم باسم تارتو في إستونيا الحديثة. في سنة 1827، أعلن أوسان أنه اكتشف ثلاثة عناصر، منها واحد سماه بولونيوم (من كلمة يونانية تعني رمادي).

وسمى العنصرين الآخرين الجديدين روثينيوم (نسبة لروسيا) وبلورانيوم (لأنه كان موجوداً بقدر أكبر من بولينيوم أوسانا).

اكتشفتُ في بلاتين جبال الأورال ثلاث موادّ تختلف خصائصها عن خصائص كل فلزّ آخر معروف. أحدها يوجد في الراسب الذي يخلفه محلول البلاتين في الماء الملكي الذي يباع في دار سكّ النقود في بطرسبورغ. وقد وجدته في عيّنة واحدة من الفلزّ.

أرسل أوسانا عيّنات من الموادّ الثلاثة الجديدة إلى برزيليوس طالباً رأيه. ردّ برزيليوس باستبعاد أكسيد روثينيوم أوسانا ووجد أنه مزيج من السيليكون، والزركونيوم، والتيتانيوم. من ناحية أخرى، وجد أن أكسيد بلورانيوم أوسانا مادّة جديدة على ما يبدو. أما البولونيوم فكتب أوسانا أنه لم يستطع اتخاذ قرار بشأن طبيعته.

في سنة 1831، عيّن كارل إرنست كلاوس (Karl Ernst Klaus)، وهو كيميائي ذاتي التعلّم، في منصب متوسّط في جامعة أوسانا نفسها، وعرف بأمر هذه العناصر الجديدة المشتبه بها. وفي سنة 1840، أصبح كلاوس أستاذاً للكيمياء في قازان بروسيا. وبعد سنتين اجتمع بكانكرين الذي بدأ هذه السلسلة من الأحداث في عشرينيات القرن العشرين فزوّد بدوره بثمانية عشر باونداً من الخامات المتخلّفة عن دار السكّ الإمبراطورية. وعند محاولة استخراج البلاتينيوم من هذه المادّة، نجح كلاوس في اكتشاف مادّة جديدة أعلن عنها كاتباً:

كانت هذه الرواسب أردأ من الأولى... وأملّي... في الاستخراج المربح للبلاتين منها لم يتحقّق. (غير أنني) واصلت العمل بجدّ في هذا البحث المطوّل وغير الصحيّ، وأنا الآن أفيد العالم العلمي... باكتشاف فلزّ جديد،

الروثينيوم... وخصائص ومركبات جديدة للفلزّات المعروفة سابقاً لمجموعة البلاتين. وربما يفيد ذلك بمثابة مساهمة في التاريخ الكيميائي للمنتجات الثمينة في أرض آباننا.

بعد معالجة الخامات المتخلّفة بالموادّ القلوية ونيترات البوتاسيوم والاستخراج بالماء، أزال الأوزميوم الموجود بوسائل مختلفة ليكشف عن محلول أحمر يتكوّن من كلوريد للفلزّ الجديد. قرّر كلاوس إطلاق اسم الروثينيوم على هذا الفلزّ تكريماً لأوسان، الذي كان أول من أطلق هذا الاسم، فضلاً عن تكريم موطنه روسيا.

وعبر أيضاً عن الرأي بأن أكسيد الروثينيوم لا بدّ أن يحتوي على الفلزّ بتركيزات منخفضة. وبعد ذلك طلب كلاوس نصيحة برزيليوس، مثلما فعل أوسان. وكما كتب غريفيث (Griffith) في مقاله في سنة 1968:

كان برزيليوس متشائماً في البداية، بعدما سئم من هذه المسألة بأكملها، وميلاً للاعتقاد بأن العنصر الجديد ما هو إلا إيريديوم غير نقيّ، لكنه غير رأيه وكتب ثانية إلى كلاوس موافقاً على أن الروثينيوم عنصر جديد، وحثّه على إبلاغ الدوريات الألمانية عن عمله.

فعل كلاوس ما أبلغ على الفور وأعلن عن الفلزّ الجديد في سنة 1845، وبعد ذلك كتب أوسان إلى الدورية مدّعياً أن البولونيوم الذي اكتشفه مماثل لروثينيوم كلاوس. غير أن كلاوس ردّ بأدب بأن البولونيوم لا يعدو أن يكون فلزّاً آخر غير نقي هو الإيريديوم. لم يكن بولونيوم أوسان

عنصراً أصيلاً لكن غريفيث خلص إلى أن عمله هو الذي قاد كلاوس إلى اكتشاف الروثينيوم، وهو فلزٌ احتفظ بالاسم الذي أطلقه أوسان.

الإلمنيوم والنتونيوم

للعنصر التالي الذي نتناوله علاقة واهية بالعنصر 43، على غرار العنصر الأول، البولونيوم. ويرى بعض المؤلفين في هذا المجال، مثل كينا (Kenna)، ومؤخراً زنگالس (Zingales)، أنه مرشح مبكر معقول لما أصبح يعرف باسم العنصر 43، في حين لا يعتبره مؤلفون آخرون كذلك.⁶ في سنة 1846، اعتقد رودولف هرمان (Rudolph Hermann)، في ألمانيا، أنه اكتشف عنصراً جديداً وسط بعض خامات النيوبيوم والتنتالوم المستخرجة من جبال الأورال، وهو ادعاء سرعان ما انتقده آخرون. وبعد مرور ثلاثين عاماً جدد هرمان تأكيداً ثانية وادّعى أيضاً اكتشاف عنصر جديد آخر أطلق عليه اسم نتونيوم ليشغل ما كان سماه في ذلك الوقت دوي منغيز. وتبيّن أن هذين العنصرين زائفان ولم يُسمع عنهما ثانية، باستثناء أن النتونيوم استخدم في النهاية اسماً للعنصر 93.⁷

الدافنيوم

في سنة 1877، ادّعى سيرغيوس كيرن (Sergius Kern)، وهو كيميائي روسي يعمل لمصلحة شركة أوبوشوف ستيل ووركس في سانت بطرسبورغ، أنه توصل إلى:

وجود فلزٍ جديد من مجموعة البلاتين، أطلقت عليه اسم دافنيوم، تكريماً للكيميائي الإنكليزي العظيم السير همفري ديفي.

أفاد كيرن بأن الفلزّ الجديد ذوّاب في الماء الملكي، وأنه أظهر وزناً ذرياً يبلغ 154، وأعطى لوناً أحمر عند إضافة أيونات الثيوسيانات. وفي السنة نفسها أشار ألن (A. H. Allen) إلى أن كيرن كان يرتكب أخطاء حساسية في الغالب وأنه يجب عدم الوثوق بادّعاءاته الكيميائية. ولزيادة الطين بلة، أضاف ألن:

من الواضح أن الحسابات ليست نقطة قوّة السيد كيرن... ومن المؤسف أن إسهامات ذلك السيّد لا تحتوي إلا على قليل من الجديد وذلك القليل غير دقيق في الغالب الأعمّ.

تفحص مالت (J. W. Mallett) من جامعة فيرجينيا عمل كيرن أيضاً. وعلى الرغم من أنه نجح في تكرار كثير من نتائج كيرن، فإن الخلاصة التي توصل إليها هي أن الفلزّ الجديد المفترض ليس سوى مزيج من الأريديوم والروديوم.⁸

الأوراليوم

في سنة 1869، وهي السنة التي نشر فيها مندلييف جدولته الدوري التاريخي، زعم غويار (A. Guyard) في فرنسا، أنه عثر على عنصر يبلغ وزنه الذري 187 وكثافته 20,25 وهما قريبان من القيمتين المتوقعتين لعنصر دوي المغنيزيوم. من ناحية أخرى، أفيد عن أن خصائص هذا العنصر المزعوم، الذي أطلق عليه غويار اسم أوراليوم، هي اللون الأبيض الناصع والطرادة مثل الرصاص. ويوحى اختلاف الرينيوم كثيراً في كلا

الناحيتين بأن الأوراليوم أيضاً يجب أن يوضع في سلّة مهملات العناصر التي لم تتحقق.

الكناديوم

مع ذلك نشر فرنش (A. G. French) في سنة 1911 في صحيفة غلاسكو ولاحقاً في مجلة «كمِكل نيوز» ادعاءً زائفاً باكتشاف عنصر دوي المغنيزيوم. وقد سماه المكتشف كناديوم لأنه عثر على المادة في مقاطعة بريتيش كولومبيا في كندا. ومن المدهش أن الادعاء لم يرافقه أي بيانات علمية، حتى عندما ظهر في مجلة «كمِكل نيوز»، وهو أمر اجتذب نقداً كثيراً في ملاحظة نشرها المحرّر لاحقاً.

هل ينصح بنشر أبحاث غير ناضجة كبحت السيد فرنش؟... فالبحث بأكمله تم بطريقة غير علمية لا توحى بالثقة على الإطلاق، بل بإجرائه بطريقة عملية وفقاً للاتجاهات التجارية.

ويرجع ذلك إلى أن ملاحظات فرنش بشأن ادّعائه اكتشاف مادّة جديدة موجّهة نحو الاستغلال التجاري المحتمل وتطبيقات الفلزّ المزعوم.⁹

النيوموليبديوم

هذا هو الاسم الذي اقترحه الكيميائي الفرنسي جرييه (Gerber) للعنصر 43 في مقالة كتبها في سنة 1917 في مجلّة «لو مونيتور ساينتيفيك

دي كسنيفيل (*Le Moniteur scientifique de Quesneville*).¹⁰ وقد استند في ذلك إلى اعتقاده أن العنصرين المفقودين 43 و75 سيظهران شبيهاً كبيراً بالعناصر التي تقع قريبة منهما في اتجاه أفقي في الجدول الدوري بدلاً من التشابهات المتوقعة أكثر ضمن مجموعة كل منهما. وفي هذا الصدد، تبين أن جريبه مصيب لأن الزوجين نوداك أنجزا اكتشاف العنصر 75 بتقديم تعليل مماثل تماماً كما سئرى بعد قليل.¹¹

الموزليوم

في سنة 1924، بدأ الكيميائيان بوسانكوت (Bosanquet) وكيلى (Keely) بحثاً واسعاً عن العنصر 43 لكنهما اتخذا خطوة إلى الوراء في الاتجاه الخاطئ بالبحث في خامات المنغنيز. واعتقدا أن استراتيجيتهما ستكون ناجحة إلى حدّ أنهما اقترحا اسم موزليوم للعنصر المأمول، تكريماً لهزري موزلي.¹² وقد قدّم التماس لتسمية العنصر بسرعة من قبل أستاذ يدعى هامر (Hamer) من جامعة بيتسبيرغ في مجلة «ساينس ماغازين»، زاعماً أن ذلك ربما يحول من دون تكرار النزاعات على الأسبقية التي تلت اكتشاف الهفنيوم. وحظيت الرغبة في تسميته موزليوم بدعم في رسالة إلى مجلة «نيتشر». لكن لم يُكتشف العنصر، ولم يُسم أي عنصر باسم موزلي حتى اليوم، وهو أمر يعتبره العديدون إغفلاً خطيراً. وكانت المشكلة مع ادعاء بوسانكوت وكيلى تكراراً للقصة القديمة نفسها وهي عدم تمكن أحد من إعادة إنتاج خطوط الأشعة السينية التي زعما أنهما اكتشفاها.

الاكتشاف المزعوم للماسوريوم

قدّم فريق ألماني مكوّن من والتر نوداك وإيدا تاكه، التي أصبحت زوجته لاحقاً، ادعاءً مفصلاً بأنهما لم يعثرا على العنصر 43 فحسب، وإنما على العنصر 75 أيضاً في مقالة نشرت في سنة 1925. واستمرت عواقب هذا الادعاء حتى القرن الحادي والعشرين، عندما أجريت محاولات لردّ الاعتبار لعمل الزوجين نوداك. لكنهما في الواقع نجحا في اكتشاف عنصر واحد من الاثنيّن، وتحديدأ العنصر 75 الذي سمياه رينيوم نسبة لنهر الراين. ولم يلق ادعاؤهما باكتشاف العنصر 43، الذي سمياه ماسوريوم ودخل الأدبيات وظهر في الجدول الدوري في بعض البلدان، دعماً لسبب بسيط هو أن اكتشاف هذا العنصر لم يتم إلا بعد التخليق الاصطناعي في أعقاب اكتشاف الانشطار النووي.

من المثير للاهتمام تفحص المقالة التي كتبها الزوجان نوداك لجمع بعض المعلومات عن منهجيتّهما. أولاً، يقدّمان بعض البيانات عن الوجود النسبي للعناصر في القسم المركزي من الجدول الدوري ويقرّان بأن العنصرين المفقودين في مجموعة المنغنيز سيكونان أكثر شبهاً بالعناصر المجاورة لهما في الاتجاه الأفقي للجدول الدوري. ثم يقدّم المؤلفان جدولاً مفصلاً نوعاً ما عن وفرة العديد من العناصر المعطاة. والخلاصة مرّة أخرى أن على المرء ألا يتوقّع وجود إكّا المنغنيز ودوي المنغنيزيوم في خامات المنغنيز، في حين من المرجح أن يوجد في خامات الموليبدنوم والروثينيوم (للعنصر 43) والتنجستن والأوزميوم (للعنصر 75).

قصة سبعة عناصر

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As
2.10^{-3}	3.10^{-5}	3.10^{-5}	7.10^{-2}	10^{-2}	3.10^{-6}	3.10^{-5}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-7}		
Y	Zr	Nb	Mo	43	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb
1.10^{-6}	6.10^{-5}	10^{-7}	10^{-7}	$\approx 10^{-13}$	2.10^{-12}	10^{-11}	10^{-11}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-9}	7.10^{-6}	7.10^{-8}
La	Hf	Ta	W	75	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi
6.10^{-7}	6.10^{-6}	5.10^{-7}	5.10^{-7}	$\approx 10^{-12}$	2.10^{-11}	2.10^{-11}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}		4.10^{-7}	10^{-9}
	Th		U									
	7.10^{-4}		7.10^{-8}									

الشكل 2,6 الوفرة النسبية للعناصر في قشرة الأرض كما أفاد عنها نوداك وتاكة في سنة 1925، بما في ذلك تقديرات للعنصرين 43 و75، Noddack, W. Tacke, I. Berg, O. Die Ekamangane, *Naturwissenschaften* 13 (26): 567-574, 1925.

تسبب الزوجان نوداك بكثير من الاستياء بسبب الاسم الذي اختاراه لما اعتقدا أنه العنصر 43، وتحديدًا الماسوريوم. وفي كتاب عن العناصر للكيميائي البريطاني ج. نيوتن فريند (J. Newton Friend)، كتب المؤلف:

كان الاختيار للعنصر 43 غلطة سيكولوجية حمقاء يجب ألا يرتكبها أي عالم متحضّر. فهي تحمي ذكرى الهزيمة النكراء التي ألحقها الألمان بالروس في منطقة ماسوريان في الحرب الكبرى 1914-1918، وبالتالي تميل إلى إدامة الكراهية العرقية في مجال يجب أن تُنسى مثل هذه الأشياء في محاولة نبيلة لخدمة البشرية.¹³

وإذا لم يكن ذلك كافياً، فقد استمرّ الزوجان نوداك في منصبيهما الأكاديميين خلال النظام النازي في الحرب العالمية الثانية، وأسهم كل ذلك في الشكوك الكبيرة في ادّعاءاتهما العلمية بأنهما اكتشفا الماسوريوم،

وفي بعض الحالات العداء الصريح لها.

محاولة فان أسش ردّ الاعتبار لادعاء

نوداك بيرغ بشأن العنصر 43

نشر الفيزيائي البلجيكي بيتر فان أسش مقالة في سنة 1988 ادّعى فيها ردّ الاعتبار لعمل الزوجين نوداك على العنصر الذي سميها ماسوريوم.¹⁴ بدأ فان أسش بالإشارة إلى أن إيذا نوداك كانت مصيبة في توقعها احتمال الانبساط النووي قبل خمس سنوات من اكتشافه بالفعل. ثم انتقل المؤلف لتحليل ثلاثة أنواع من المقولات.

أشار فان أسش إلى المقولة الأولى باعتبارها اختباراً للمصادقية. وقد قبل فان أسش بأنه إذا كان أي مقدار من العنصر 43 موجوداً في الخامات التي تفحصها الزوجان نوداك وبيرغ، فيجب عندئذ أن تتكوّن بالانشطار التلقائي لليورانيوم. لذا حاول فان أسش إقامة علاقة بين الخامات التي أجرى الزوجان نوداك اختبارات عليها ومحتواها من اليورانيوم وفقاً للتقديرات الحالية. ورأى فان أسش أن هذا النهج يقدم دعماً جيداً لادعاء الزوجين نوداك وبيرغ الأصلي لأنهم أفادوا بالعثور على العنصر 43 في الكولومبيت، والغادولينيت، والفيرغوسونيت، والسيريليت - وكلها تحتوي على اليورانيوم، مع احتمال استثناء البيريليت الذي لم تعط بشأنه التحليلات الحالية نتائج حاسمة. من ناحية أخرى، أشار فان أسش إلى أن الزوجين نوداك وبيرغ زعما أنهما لم يعثرا على العنصر 43 في البلاينيور، أو التنتاليت، أو الولفراميت وهذه الخامات لا تحتوي في الواقع على اليورانيوم وفقاً للمعرفة الحالية. وكما كتب فان أسش:

نستنتج من الجدول 3 أن نوداك وتاكه وبيرخ لاحظوا العنصر 43 في خامات تحتوي جميعها تقريباً على اليورانيوم، وغياب العنصر 43 يتماشى مع غياب اليورانيوم. ومن الصعب إيجاد اختبار مصداقية أفضل.¹⁵

تتعلق مقولة فان أسش الثانية بطيف الأشعة السينية الفعلي الذي ادعى بموجبه الزوجان وبيرخ أنهم لاحظوا العنصر 43. ذكر فان أسش أولاً أن الزوجين نوداك حسباً أن حدّ اكتشاف اختبارهم يبلغ 10-9، في حين أنه أعاد حساب حدّ الاكتشاف ووجد أنه أقل بكثير - أقرب إلى 10⁻¹². وأعاد فان أسش أيضاً نشر صورة طيف الأشعة السينية الذي ادعى فيه الزوجان نوداك أنهما اكتشفا بعض الخطوط التي يمكن أن تنسب إلى العنصر 43. وأكد المؤلف أن الخطوط الثلاثة التي أفيد عنها $K_{\alpha 1}$ ، و $K_{\alpha 2}$ ، و $K_{\beta 1}$ قريبة جداً من القيم المتوقعة وفقاً للحسابات، وكذلك كثافتها النسبية البالغة 100:53:26 على التوالي.

بعد ذلك قدّم فان أسش تقديراً لوفرة العنصر 43 على أساس تكوّنه من الانشطار التلقائي لليورانيوم. وباستخدام قيمة العمر النصفى للتكنيتيوم ⁹⁹Tc (1, 2 x 10⁵ سنوات)، والعمر النصفى لليورانيوم ²³⁸U (6 x 10¹⁵ سنة) وافترض أن عيّنة الزوجين نوداك من الكولومبيت كانت تحتوي على 5 في المئة من اليورانيوم، توصل فان أسش إلى رقم 10⁻¹³ لوفرة العنصر 43. وهذه القيمة تقل درجة واحدة في القدر عن حدّ الاكتشاف الذي حسبته فان أسش وبلغ 10⁻¹² كما ذكر أعلاه. وخلص فان أسش إلى أن اختبارات الزوجين نوداك كان يمكن أن تكشف العنصر بسهولة أذ يبدو أن درجة واحدة في القدر فقط تفصل حدّ اكتشاف اختبارهما بالأشعة

السينية عن الوفرة الطبيعية للعنصر الناتج عن انشطار اليورانيوم. ونقتبس ثانية عن فان أسش:

في الختام، نذكر أن الوفرة الذرية النسبية لأحد الخامات على الأقل، وقد بحثه بالتفصيل نوداك وتاكة وبييرغ، وهو الخام التي بُحث فيه عن العنصر 43، تبلغ 10-13¹³.

ويختتم فان أسش مقاله بالتأكيد على أسبقية الزوجين نوداك وبييرغ، بل إنه يقترح وجوب تسمية العنصر ثانية باسم ماسوريوم، وهو الاسم الذي اقترحه الزوجان نوداك.

اكتشف هؤلاء المؤلفون [نوداك، وتاكة، وبييرغ] في نهاية المطاف آخر عنصر مستقر مفقود (75) كما اكتشفوا قبل أكثر من 14 سنة على اكتشاف الانشطار نفسه، أول منتج للانشطار (43⁹⁹). ومما يؤسف له أن الاكتشاف الجيد التوثيق للعنصر 43 كان وما زال متجاهلاً. ونأمل أن يعيد تحليلنا لنتائج نوداك، وتاكة، وبييرغ الثقة التي يستحقونها. وربما تكون إعادة إدخال الاسم الأصلي ماسوريوم (Ma) تقديراً لذكرى هؤلاء العلماء الثلاثة الاستثنائيين.

لم تبقى هذه المقالة من دون اعتراض مدّة طويلة. ففي السنة التالية، دحض غنتر هيرمان (Günter Hermann) من جامعة مينتر في ألمانيا (لا توجد وطنية هنا) ادعاءات فان أسش بتفصيل كبير. وأشار هيرمان

بتفصيل شديد إلى أنه على الرغم من الادّعاءات السابقة، لم يصرّ الزوجان نوداك طويلاً على أنهما حصلوا على العنصر 43. على سبيل المثال، ذكر أن إيذا نوداك اعترفت، في «آخر كلمة عن الماسوريوم»، أنه تبيّنت استحالة استخلاص العنصر بالشكل الصرف من المعادن. وعند الالتفات إلى الادّعاءات المحدّدة التي قدّماها فان أسش، تعامل هيرمان مع كل منها على حدّة.

بالنسبة إلى «مقولة المصادقية» المتعلّقة بوجود اليورانيوم في الخامات التي تفحصها الزوجان نوداك أو غيايه، أشار هيرمان إلى فان أسش لم يعلّق على ثلاثة عشر خاماً إضافياً فحصها الزوجان نوداك ولم يفد فيها عن وجود العنصر 43. وذكر هيرمان أيضاً أن الزوجين نوداك أفادا عن محتوى من اليورانيوم يبلغ عدّة نقاط مئوية لا في الكولومبيت فحسب وإنما في التنتاليت أيضاً، الذي لم يُزعم أن العنصر 43 موجود فيه. وأشار هيرمان إلى أن تاكه عدّدت لاحقاً ما مجموعه سبعة وعشرين معدناً فحصها هو والزوجان نوداك، في حين أن فان أسش استند في مقولة المصادقية إلى ستة أو سبعة خامات فحسب.

وفي مسألة صورة الأشعة السينية، أشار هيرمان إلى بعض الاختلافات، مثل أن المسافات بين الخطوط الثلاثة المحدّدة متساوية في صورة الأشعة السينية، في حين أنها تزيد بعوامل 1:2:3 في رسم بحجم الحبة نشر إلى جانب الطيف. وذكّر هيرمان القرّاء بأن القصة المحيطة بلوح الأشعة السينية غامضة بعض الشيء. على سبيل المثال، عندما طلب سيغريه أن يرى اللوح في سنة 1937 أبلغ أنه أتلّف. واختتم هيرمان بالقول إنه

لا يرى حجة تدعم مراجعة شاملة لتاريخ العنصر 43 لصالح اكتشاف مبكر من قبل نوداك، تاكه، وبييرغ.

لكن يبدو أن فان أسش لم يقبل دحض هيرمان. وبعد بضع سنوات فاتح عالم الكيمياء الجيولوجية الأميركي جون أرمسترونغ (John Armstrong)، وكان يعمل في المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا في غيثرزبيرغ بولاية مرييلند، وطلب مساعدته في تحليل طيف الأشعة السينية المزعوم للعنصر 43. لم يدعم أرمسترونغ فان أسش وإنما شرع بمهمة محاكاة طيف الأشعة السينية للعنصر 43 وفقاً لحسابات فان أسش لمحتوى اليورانيوم في عتبات الزوجين نوداك في سنة 1925.

كانت نتيجة نعاونهما مقالتين منشورتين، على الرغم من أن أيأ منهما لم تظهر في أدبيات البحوث الرئيسية. كانت الأولى ملاحظة مغفلة المؤلف يقل طولها عن صفحة واحدة في نشرة نوفمبر - ديسمبر 1999 من مجلة المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا.¹⁶ وقد بدأت الملاحظة بتكرار أن اكتشاف العنصر 43 المزعوم من قبل الزوجين نوداك وبييرغ تعرّض للسخرية واستبعد على الدوام. وتابعت الملاحظة:

لاختبار إذا كانت ادعاءات نوداك والآخرين معقولة، استخدم عالم في المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا قاعدة بيانات الأشعة السينية في المعهد وبرنامج المحلل الطيفي (DTSA) لمحاكاة بيانات سنة 1925. وقد استنتجت التشكيلة الاختبارية من الورقة الأصلية وأجريت المحاكاة لمجموعة من التكوينات للراسب الذي اقترحه فان أسش. وقد حدّدت

الشدة النسبية لمختلف خطوط الطيف ونسب الذروة إلى الخلفية وقورنت
بالطيف الأصلي.

واختتمت الملاحظة كما يلي:

قدّمت محاكيات المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا دعماً مقنعاً
للادّعاءات الطيفية في سنة 1925 وأظهرت القدرات الجدلية التي جعلها
التقدّم في علم القياس ممكنة.

وكانت المقالة المنشورة الأخرى¹⁷ مدخلاً في مجموعة ممتازة من
المقالات، بخلاف ذلك، عهدت بكتابتها مجلة «كِمِكال أند إنجنيرنج
نيوز» (*Chemical & Engineering News*) احتفاء بالذكرى الثمانين
للمطبوعة.¹⁸ وفي هذه المقالة كتب جون أرمسترونغ:

لم ألق نظرة حقيقية على العنصر 43 إلا في سنة 1998... فقد جاء فيزيائي
بلجيكي عالي الهمة، بيتر فان أسش، إلى مكنتي لطلب تفسير لطيف أشعة
سينية. وكان الطيف من مقالة في سنة 1925 لايدا نوداك ووالتر نوداك
وأوتو بيرغ الذين ادّعوا أنهم اكتشفوا العنصر 43 (الذي سموه ماسوريوم)
في عيّنات من خامات غنيّة باليورانيوم.

وتابع:

باستخدام المبادئ الأولى لخوارزميات التوليد الطيفي لانبعاث الأشعة السينية المطوّرة في المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا، قمت بمحاكاة أطيف الأشعة السينية المتوقعة لتقديرات فان أسس الأولية لتكوينات راسب الزوجين نوداك. وكانت النتائج الأولى قريبة جداً مدهشاً من طيفهما المنشور! وفي السنتين التاليتين صقلنا إعادة إنشاء الأساليب التحليلية وأجرينا مزيداً من المحاكيات المعقدة. فتحسن التوافق بين الأطيف المحاكاة والمبّلع عنها. وجاءت حساباتنا لمقدار العنصر 43 المطلوب لإنتاج طيفهم مماثلة جداً للقياسات المباشرة للوفرة الطبيعية للتكنيتيوم في خام اليورانوم التي نشرها ديف كورتيس (Dave Curtis) وزملاؤه في لوس ألاموس في سنة 1999. ولا يمكن أن نجد تفسيراً معقولاً آخر لبيانات الزوجين نوداك غير أنهما اكتشفا انشطار «الماسوريوم» بالفعل.

وكان الزوجان نوداك بوضوح من بين أفضل الكيميائيين الجيولوجيين في وقتها. وكان البحث عن العناصر «المفقودة» من دون المنغنيز في الجدول الدوري جزءاً من مسعى أكبر لتحديد وفرة العناصر الكيميائية في الأرض والأحجار النيزكية بدقة - وهي البيانات التي وفّرت أساساً لعلم الكيمياء الجيولوجية. وقد تمّ عملهما عمل بيريه وسغريه بدلاً من أن الانتقاص منه.

لم يسمع شيء ثانية عن هذا النقاش إلى أن ظهرت مقالة في سنة 2005 في مجلة «جورنال أوف كيمكال إديوكيشن (Journal of Chemical Education)». ¹⁹ هنا قدّم مؤلف إيطالي، روبرتو زنغالس

(Roberto Zingales)، تاريخاً لاكتشاف العنصر 43 واختتم روايته بقوله:

بما أن الخامات التي درسها الزوجان نوداك ربما احتوت على ما يقرب من 10٪ من اليورانيوم، فقد حاول جون أرمسترونغ من المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا، في السنوات الأخيرة تكرار اختباراتها. وباستخدام قاعدة بيانات أشعة سينية معقدة وبرمجية للتحليل الطيفي، وجد أرمسترونغ أن الخطوط الطيفية المنسوبة للماسوريوم تبدو متوافقة مع العنصر 43 (39) وأن أجهزة الزوجين نوداك كانت حساسة بالقدر الكافي لاكتشاف أقل من واحد من مليار غرام من هذا العنصر (13). في الختام لزم ما يقرب من 75 سنة لإزالة الشك عن الثقة في نتائجها العلمية. ومن سخرية الأقدار أن الانشطار النووي، الذي كانت إيذا تاكه نوداك أول من اقترح وجوده، استخدم لإنصافهما.

لم يتأخر الرد. فقد بعث فتحي حبشي، وهو أستاذ لعلم المعادن من جامعة لافال في كيبيك بكندا، برسالة إلى المحرّر يشير فيها إلى أن ادعاء فان أسش وأرمسترونغ «لا يمكن أن يصمد أمام التأكيد الموثق للفيزيائي بول كورودا (Paul Kuroda، 1917-2001) في بحثه ملاحظة بشأن اكتشاف التكنيتيوم»²⁰ وكان يشير إلى عمل كورودا عن مقدار التكنيتيوم المتوقّر.²¹

وحمل الإصدار نفسه من «كيمكال أند إنجنيرنج نيوز» في سنة 2006 تراجعاً لروبرتو زنگالس يذكر فيه أنه تسلّم رسالة من هيرمان وأنه يدرك الآن أن ادعاءات فان أسش وأرمسترونغ لصالح الزوجين نوداك وبيرغ

لا يمكن دعمها.²²

أخيراً، الحصول على العنصر 43 «الحقيقي»

في أعقاب جميع المحاولات الفاشلة لعزل العنصر 43، بما في ذلك محاولة الزوجين نوداك وبييرغ، تم الحصول على العنصر من دون تصنع في سنة 1937. وكان نتيجة عملية تخليقية لا حالة عزل من معادن موجودة في الطبيعة. وكان ذلك أيضاً المرة الأولى التي يُكتشف فيها عنصر في أعقاب تخليقه اصطناعياً.

على الرغم من العثور بعد ذلك على مقادير صغيرة جداً من العنصر 43 في الطبيعة، فإن الاكتشاف الأول للعنصر أنجز باستخدام لوح من فلز الموليبدنوم المشع (معالج بالأشعة) بالديوترونات والنيوترونات. وخلافاً للعناصر التخليقية التي تخلّق اليوم، فإن اكتشاف العنصر 43 جاء مصادفة نوعاً ما من حيث إنه لم يتبع محاولة متعمّدة لتخليق العنصر. وبدلاً من ذلك، اتفق أن الباحثين عثروا عليه في أثناء تحليل عيّنة تعرّضت للتشعيع لإحداث تغيير في أحد العناصر، الموليبدنوم، رقم 42، إلى العنصر التالي، رقم 43. ولا يعني ذلك القول إن الفيزيائيين والكيميائيين المعنيين كانوا غافلين تماماً عن احتمال وجود العنصر 43. بل إنهم سرعان ما اشتبهوا باحتمال وجوده لمعرفتهم بالعمليات الإشعاعية وشرعوا بمحاولة كشف الوجود المحتمل للعنصر 43.

وقعت المهمة على عاتق الفيزيائي الإيطالي إميليو سغريه، الذي أمضى زمالة ما بعد الدكتوراه في مختبر بيركلي الذي يديره إرنست لورنس (Ernest Lawrence)، صانع مسرّع الجسيمات الحلقي (cyclotron). بعد

ذلك عاد سِغريه إلى عمله في باليرمو، بصقلية، وأرسل له زميل من بلده لا يزال في كاليفورنيا في عيّنة من الموليبدنوم معالجة بالأشعة. واضطلع سِغريه، إلى جانب الكيميائي كارلو بيريه (Carlo Perrier). بمهمة إزالة كل احتمالات العناصر الأخرى، بالنظر إلى أن العديد منها تنتج عن المعالجة الإشعاعية الأصلية. وكما كتب سِغريه:

في البحث عن العناصر الأربعة من دون اليورانيوم، تمكنا الآن من إعداد العنصر 43 ودراسة خواصه بالتفصيل. وقد أنتجت المادة في مسرع جسيمات بيركلي، وبالتالي تبقى في الوقت الحالي «المنجم» الوحيد للعنصر.²³

نجح سِغريه وبيريه في عزل نظيري التكنيتيوم 95 والتكنيتيوم 97. وفي سنة 1940، اكتشف سِغريه بالاشتراك مع وو (Wu) أن العنصر 43 ينتج عن انشطار اليورانيوم. أراد مسؤولو جامعة باليرمو تسمية العنصر بانورميوم، نسبة لاسم باليرمو باللاتينية بانورموس. لكن العنصر 43 سمي في سنة 1947 نسبة للكلمة اليونانية التي تعني «اصطناعي»، لأنه العنصر الأول الذي ينتج اصطناعياً. وبالقيام بذلك، اتبع المكتشفان اقتراح بانث (Fritz Paneth)، الذي كتب في العدد نفسه من مجلة «نيتشر». ويجدر بنا التوقف للنظر في ورقة بانث لأنها تكشف جانباً خفياً في قصة عدد من عناصرنا السبعة. (الشكل 3,6). والواقع أن الكيميائيين ظلوا عدة سنين لا يعتبرون العناصر المخلقة اصطناعياً عناصر حقيقية. وفي العديد من الحالات، ظلت العناصر المكتشفة حديثاً من دون اسم ولم تظهر في الجدول الدوري. وساد شعور عام في بعض الأوساط بأن العناصر

المخلقة مختلفة نوعاً ما عن تلك الموجودة في الطبيعة. وقد اتخذ فريتر بانث المبادرة بتغيير هذا الوضع. بدأ بانث بالإشارة إلى إحدى محاضراته: قبل خمس سنوات تقريباً، في محاضرة أمام معهد الكيمياء في لندن، وُصف النجاح الذي حققته الأساليب الإشعاعية في مهمة استكمال النظام الدوري. وفي الجدول المعطى، ملئ مكان العنصر 87 برمز منتج فرعي مكتشف حديثاً²⁴ في سلسلة الأكتينيدات، لكن لم تدرج أي رموز في أماكن العناصر 43 و61 و85 و93 على الرغم من أن ذرات هذه العناصر الأربعة أنتجت اصطناعياً، كما سُرح ببعض التفصيل.²⁵

بعد ذلك اقترح بانث أنه ربما كان إنكار «المواطنة الكاملة» للعناصر الاصطناعية مبرراً في محاضراته في سنة 1942، فإن الحال لم تعد كذلك في سنة 1947. في سنة 1942، كانت العناصر المنتجة اصطناعياً غير مستقرّة، ولم تنتج إلا بمقادير غير مرئية، ولم تكن موجودة في الأرض. في السنوات الخمس الماضية، كدّست عدة باوندات من عنصر محدد، البلوتونيوم، رقم 94. ثانياً، يضمن عمر البلوتونيوم النصفى البالغ 200,000 بقاءه على الأرض سنوات كثيرة قادمة! وأخيراً، أوضحت التكنولوجيا المتطورة أن المزيد من العناصر، ذات الأرقام الذرية الأعلى، ستنتج عما قريب. ثم كتب بانث:

في هذه الظروف، يبدو من دون ريب أن الوقت قد حان كي لا يميّز الكيميائي المنظم بين العناصر الطبيعية والاصطناعية، ولكي يولي عناية متساوية لدراسة كليهما، ويدرج الرموز المناسبة في جداول الأنظمة الدورية.

التصنيف الدوري للعناصر الكيميائية

الدور	المجموعة																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I																	1H 1.0080	2He 4.003
II	3Li 6.940	4Be 9.02											5B 10.82	6C 12.010	7N 14.008	8O 16.0000	9F 19.00	10Ne 20.183
III	11Na 22.997	12Mg 24.32											13Al 26.97	14Si 28.06	15P 30.98	16S 32.06	17Cl 35.457	18Ar 39.944
IV	19K 39.096	20Ca 40.08	21Sc 45.10	22Ti 47.90	23V 50.95	24Cr 52.01	25Mn 54.93	26Fe 55.85	27Co 58.94	28Ni 58.69	29Cu 63.57	30Zn 65.38	31Ga 69.72	32Ge 72.60	33As 74.91	34Se 78.96	35Br 79.916	36Kr 83.7
V	37Rb 85.48	38Sr 87.63	39Y 88.92	40Zr 91.22	41Nb 92.91	42Mo 95.95	43—	44Ru 107.7	45Rh 102.91	46Pd 106.7	47Ag 107.868	48Cd 112.41	49In 114.76	50Sn 118.70	51Sb 121.76	52Te 127.61	53I 126.92	54X 131.3
VI	55Cs 132.91	56Ba 137.36	57-71 Rare Earths	72Hf 178.6	73Ta 180.88	74W 183.92	75Re 186.31	76Os 190.2	77Ir 193.1	78Pt 192.23	79Au 197.2	80Hg 200.61	81Tl 204.39	82Pb 207.21	83Bi 209.00	84Po 210	85—	86Rn 222
VII	87AcK 223	88Ra 226.05	89Ac 227	90Th 232.12	91Pa 231	92U 238.07	93—											
VI	57-Li 57-71	57La 138.92	58Ce 140.13	59Pr 140.92	60Nd 144.27	61—	62Sm 150.43	63Eu 152.0	64Gd 156.9	65Tb 159.2	66Dy 162.46	67Ho 164.94	68Er 167.2	69Tm 169.4	70Yb 173.04	71Lu 174.99		

الأخرى النادرة

الشكل 3,6 من مقالة بانث في سنة 1942، *Nature*, 149، F.A. Paneth, Radioactivity and the Completion of the Periodic System, 1942، 565-568، أعيد طبعتها بإذن من مجموعة نيتشر للنشر.

وطرح بانث مجموعة من القواعد لتعيين أسماء العناصر 43 و 61 و 85 و 93 و 94 و 95 و 96 ورموزها.

1. يجب أن يعود حق التسمية إلى أول من يقدم إثباتاً قاطعاً لوجود أحد نظائره.

2. عند تحديد أسبقية الاكتشاف، يجب عدم التمييز بين النظائر الموجودة في الطبيعة وتلك المنتجة اصطناعياً.

3. إذا قُبل ادعاء مثل هذا الاكتشاف في الماضي، فإن الاسم الممنوح يجب حذفه واستبدال الاسم الذي يختاره المكتشف الحقيقي به.

وبعد ذلك علّق على أن الحاجة إلى القاعدة الأخيرة ترجع إلى وجود حالتين على الأقل لانتهاكها.

إن اسمي «الماسوريوم» و«الإلينيوم» راسخان جداً في الكتب الدراسية والجداول إلى حدّ أن العمل الحديث على نظائر العنصرين 43 و 61 يشار إليه أحياناً بأنه إنتاج أنواع من الماسوريوم والإلينيوم، في حين أن النظائر الاصطناعية هي في الواقع الممثلة الأولى لعناصر مفقودة حتى الآن.

عند هذه النقطة، شنّ بانث هجوماً عنيفاً على الزوجين نوداك على وجه التحديد. واشتكى من أن المدّعين لم يسحبوا بياناتهم على الرغم من أن عدّة سنين من الجهود المكثّفة فشلت في دعم ادّعاءاتهم. وأضاف بأن والتر نوداك ذهب إلى حدّ الشكوى من أن الداعي إلى اجتماع كيميائي

لم يدعه للتحدّث عن هذا العنصر، لأن الموقع الجغرافي للاجتماع ملائم لتقديم شرح عن كيمياء الماسوريوم.²⁶ وأضاف بأنه عندما عيّن نوداك أستاذاً للكيمياء غير العضوية من قبل القوى المحتلة في ستراسبورغ، استمرّ الرمز Ma في شغل مكان العنصر 43 في الجدول الدوري لقاعة محاضرات الكيمياء.²⁷ وبعد أن أوضح أنه يؤمن بأن سِغريه وبيرييه هما مكتشفا العنصر 43، وتأكيد المكتشفين الحقيقيين للعناصر 61 و85 و93 على نحو مماثل، اختتم بانث مقاله بالدعوة التالية الموجهة إلى زملائه:

لم تقدّم حتى الآن أسماء رسمية للعناصر 43 و61 و85 من قبل مكتشفيها، بيرييه وسِغريه، وكوريل (Coryell) وفريقه، وكورسون (Corson) وماكنزي (MacKenzie) وسِغريه على التوالي. وسيكون كل كيميائي معنياً بتعليم الكيمياء غير العضوية المنهجية والمحافظة على حداثة جدول النظام الدوري شاكرًا إذا نشروا الأسماء التي يعتبرونها ملائمة عما قريب.

ويبدو أن محرّر مجلة «نيتشر» تحرك على الفور إذ نشر اثنان من الفرق الثلاثة في العدد نفسه رسالتين يكشفان فيهما رسمياً عن الاسمين اللذين اقترحاهما وأشارا إلى اقتراح بانث لقيامهما بذلك.²⁸

وفي وقت لاحق عاد سِغريه إلى بيركلي واجتمع مع غلن سيبورغ (Glen T. Seaborg)، حيث عزلا في سنة 1938 النظير غير المستقرّ تكنيتيوم-99م المستخدم اليوم في ملايين الإجراءات التشخيصية الطبية في جميع أنحاء العالم.²⁹ ولاكمال هذا القسم، أعرض فيما يلي ما قاله سِغريه في مقابلة شفوية عن واقعة الماسوريوم.³⁰

هناك قصة معقدة كما ترى. بعد سنوات - في السنوات 37 و38 و39 - أصبحت مقتنعة إلى حد كبير بأن الزوجين نوداك نوع مختلط من الأشخاص. لقد أنجز عملاً ممتازاً في الرينيوم لكنهما كانا كاذبين صريحين - ليس هناك طريقة أخرى للتعبير عن ذلك - بشأن التكنيتيوم 43، أو ما سميها الماسوريوم. في البداية اعتقدا - وذلك يمكن أن يحدث مع أي شخص - أنهما اكتشفاه. لكنني زرتهما بعد ذلك وقابلتهما وتحذّث إليهما، وبعد رؤيتهما والتحدّث إليهما اقتنعت بأنهما كاذبان.

لديّ رسالة من هيفزي يقول فيها إن لديه الاعتقاد نفسه. لم يكونا في الواقع كاذبين مماماً، بل كانا في الوضع التالي: كان عملهما بشأن الرينيوم جيداً - ليس هناك أي شك فيه. لقد كان ممتازاً، وقد اكتشفا الرينيوم. أما عملهما على الماسوريوم فلم يكن صحيحاً. ونحن نعلم اليوم أنه لا يوجد ماسوريوم مستقرّ. لكن كان لديهما أمل. في ذلك الوقت (1937)، لا بدّ أنهما شعرا أنه لم يكن صحيحاً، لكن كان لديهما الأمل في أن يكتشف العنصر 43 في النهاية. وبعد ذلك قالوا، «إذا لم نقل شيئاً تراجع فيه عن عملنا السابق، فيمكننا دائماً أن نقول إننا اكتشفناه». لذا لم يتراجعا البتة. وتوفيا من دون أن يتراجعا، وكانا يقولان دائماً إنهما شاهدا الماسوريوم.

ظاهرة أوكلو

في سنة 1939، عندما كانت دراسة التفاعلات النووية في مهدها، نشر سيغفريد فلوغ (Siegfried Flügge) مقالة توقّع فيها احتمال حدوث التفاعل المتسلسل القائم بذاته الذي يشتمل على عنصر اليورانيوم في ظل الظروف الطبيعية في الماضي.³¹ واقترح فلوغ أيضاً أن مثل هذا الحدث

ربما وقع في راسب اليورانيوم الكبير في سانت جواكيمستال، بوهيميا، أو في رواسب الكارنوتيت في ولاية كولورادو الأمريكية.

بُني أول مفاعل نووي قائم بذاته من صنع الإنسان في جامعة شيكاغو في سنة 1942 بواسطة الفيزيائي الإيطالي المولد إنريكو فيرمي (Enrico Fermi). وقد فسّر العديد من الفيزيائيين إنجاز فيرمي، والطلبات العلمية والفيزيائية على هذا العمل، بأنها تعني مثل أن هذه العملية الطبيعية لم تكن ممكنة. مع ذلك اكتشفت مؤسسة الطاقة الذرية الفرنسية العاملة في جمهورية الغابون الأفريقية أدلة قوية جداً على مثل هذه العملية الطبيعية في سبعينيات القرن العشرين. ولعل الأهم من ذلك أن الكيميائي النووي الياباني بول كورودا، الذي يعمل في جامعة أركنساو، توقع عمر هذا المفاعل السابق لمفاعل فيرمي، كما أصبح يعرف، بدقة مذهشة في سنة 1965.

افترض كورودا بضعة افتراضات أساسية وتوصل إلى الاستنتاج بأن المفاعل الطبيعي يجب أن يكون ناشطاً منذ 2×10^9 سنة. وفي أعقاب الاكتشاف الفرنسي لمفاعل أوكلو في الغابون، حُسب الحدث وقع قبل 2×10^9 سنة بالضبط، بما يتوافق مع توقع كورودا. وقد اتسم ردّ فعل المجتمع الفيزيائي بالدهشة التامة. على سبيل المثال، كتب كلايد كوان (Clyde Cowan)، المشارك في اكتشاف النيوترينو:

استقبل العلماء الأميركيون الإعلان عن مفاعل أوكلو بالتشكيك. فقد أنشأ بعض أفضل الفيزيائيين في العالم مفاعل ستاغ فيلد بالحرص على الاهتمام الشديد بالتفاصيل الميكانيكية، ونقاء المواد، وهندسة المجمع.

يمكن أن تحقّق الطبيعة النتيجة نفسها مصادفة؟ إننا نعلم أن الإجابة هي نعم.³²

اكتُشف مفاعل أوكلو في يونيو 1972 نتيجة شذوذ كبير في نسبة النظيرين الرئيسيين لليورانيوم، وتحديدًا ^{235}U و ^{238}U . ففي حين أن الكسر الطبيعي لليورانيوم ^{235}U في اليورانيوم الطبيعي يبلغ 0,7202 في المئة +/- 0,0010 في المئة، فإن المعادن المستخرجة من أوكلو تحتوي على 0,440 في المئة من النظير نفسه. وكان الاستنتاج الذي توصل إليه العلماء النوويون الفرنسيون أن تفاعلاً نووياً متسلسلاً قائماً بنفسه وقع في الوقت نفسه الذي توقّعه كورودا. وتفاوتت التقديرات بشأن طول مدّة وجود المفاعل النووي الطبيعي بين 600,000 سنة و 1,5 مليون سنة. بالإضافة إلى ذلك، استنتج بأن وجود الأكسجين في الجوّ شارك في عمليات التجزئة الواقعة في داخل معادن اليورانيوم. وتزامن ذلك مع التقديرات المستقلّة بأن جوّ الأرض شهد إثراء كبيراً بالأكسجين قبل 2x910 سنة نتيجة تولّد كائنات حيّة قادرة على إنجاز عملية التخليق الضوئي.

وكشف مزيد من التحليل للمعادن في مفاعل أوكلو عن أن عدداً من العناصر التي اعتُقد سابقاً أنها غير موجودة في الأرض توجد في الواقع نتيجة الظاهرة النووية غير العادية. وتشمل هذه العناصر التكنيتيوم، والبروميثيوم، وحتى العنصر 93، أو البلوتونيوم.³³

التكنيتيوم في الفضاء وتطبيقات التكنيتيوم

اكتُشف التكنيتيوم في بعض ما يسمّى النجوم العملاقة الحمراء منذ سنة 1952، لكن ليس في شمسنا، ولتلك الحقيقة دور كبير في تأكيد الرأي بأن الشمس نجم فتي نسبياً. بالإضافة إلى ذلك، نظراً إلى أن لنظائر التكنيتيوم أعماراً نصفية قصيرة نسبياً تقارن بعمر العملاقة الحمراء، فإن هذا الاكتشاف يوحي بأن هذا العنصر ينتج داخل النجوم، ما يدعم نظريات التخليق النووي النجمي للعناصر ذات الكتلة المتوسطة.

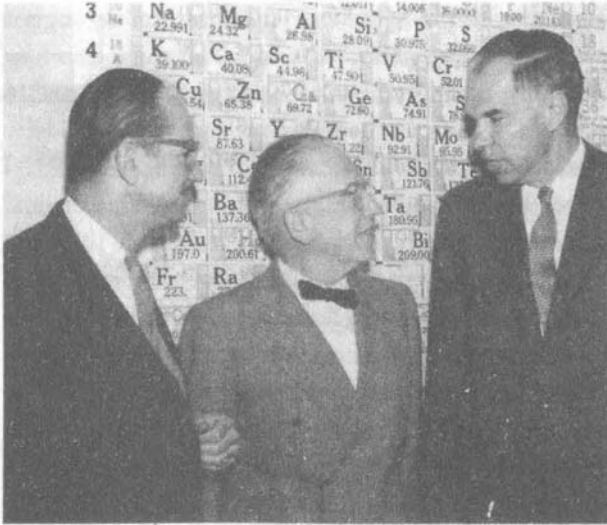
على الرغم من التراث الدخيل للتكنيتيوم، فإنه يستخدم اليوم على نطاق واسع في الطبّ بمثابة أداة تشخيصية. يُسمح للموليدنوم 99 المشعّ بالاضمحلال لتشكيل التكنيتيوم 99م أي ^{99}Tc في حالة نووية مثارة. بعد ذلك يهبط هذا النظير غير المستقرّ إلى الحالة الأرضية بخسارة جسم غاما الذي يمكن أن يسجّل في إجراءات الأشعة التشخيصية لكشف الأورام، وأشياء أخرى.

تكمن أهمية التكنيتيوم ^{99}Tc في عدد من الخواصّ المحددة التي يتمتع بها. فالعمر النصفى للاضمحلال الإشعاعي للشكل الموجود يبلغ ست ساعات، وتلك فترة كافية ليحقن داخل المريض قبل اضمحلاله، لكنها مع ذلك قصيرة بالقدر الكافي لا يمكن من قياس شدة انبعائه عند تركيزات منخفضة. كما أن العمر النصفى القصير يعني أنه يجب تعريض المريض للإشعاع لمدة وجيزة من الوقت. كما أن الكيمياء المائية للتكنيتيوم مهمة جداً أيضاً. فأيون البرتكنات TcO_4^- ، وهو الشكل الذي يعطى به النظير، ذوّاب ومستقرّ في مدى الاهتمام الفيزيولوجي، خلافاً للبرمنغنات (MnO_4^-) على سبيل المثال.

أخيراً، من أفضل الطرق لحماية الفولاذ من التآكل عندما يكون على تماس مع الماء، حتى عند درجات الحرارة والضغط العالية، استخدام كسوة من برتكنات البوتاسيوم K_2CO_3 . من المؤسف أن التكنيتيوم مشع، وبخلاف ذلك يمكن استخدام هذا الأسلوب في أوضاع مغايرة للفولاذ في الأوعية المحكمة الغلق.

التصوير الطبي

يكمن التطبيق الرئيس لعنصر التكنيتيوم في التصوير الطبي. ويشمل ذلك أحد النظائر المحددة للعنصر وأيسومر نووي غير مستقر للنظير نفسه، وتحديداً $Tc-99m$. وقد اكتشف سغريه وسيبورغ الأيسومر النووي في سنة 1938 لكن تطبيقاته الواسعة الانتشار لم تتحقق حتى عهد قريب (الشكل 4,6).



الشكل 4,6 مكمِلن، وسغريه، وسيبورغ، بإذن من إميليو سغريه في معهد الفيزياء.

يستأثر التصوير الطبّي باستخدام التكنيتيوم $Tc-99m$ بنحو 95 في المئة من اختبارات التصوير الطبي التشخيصي هذه الأيام، حيث يجري أكثر من 50 مليون إجراء سنوياً في جميع أنحاء العالم.

الأيسومر النووي مشعّ، ويبلغ عمره النصفّي ستّ ساعات، وتلك ميزة تجعله ملائماً جداً للاستخدام مع البشر. وفي غضون 24 ساعة، يضمحلّ ما يقرب من 94 في المئة من الأيسومر في الجسم. وهو ملائم أيضاً إذ في أثناء الاضمحلال من الحالة غير المستقرّة إلى حالة مستقرّة، يطلق الأيسومر أشعة غاما بطاقة 140 كيلو إلكترون فلت، وهو مماثل لمخرجات الأشعة من آلة الأشعة السينية التشخيصية. ويضمحل الأيسومر $Tc-99m$ الأكثر استقراراً في نهاية المطاف إلى روثينيوم 99 على الرغم من أن العمر النصفّي لهذه العملية كبير جداً يبلغ 211,000 سنة ويصحبه إطلاق إلكترونات غير مضرّة كما في جميع عمليات الاضمحلال البيتاوي.

مولّدات التكنيتيوم

تمتلك جميع المستشفيات الكبيرة في هذه الأيام بعض مولّدات التكنيتيوم التي تحتوي على الموليدنوم 99، وهو والد النيوكليد الذي ينتج التكنيتيوم $Tc-99m$. ويأتي الموليدنوم المشعّ بدوره من اضمحلال اليورانيوم العالي التخصيب. وقد استُخدمت مولّدات التكنيتيوم في العديد من الغايات، بما في ذلك تصوير الدماغ، وعضلة القلب، والغدّة، والرئتين، والكبد، والمرارة، والكلتين، والهيكل، والدم، والأورام.

للموليدنوم 99، وهو وقود مولّدات التكنيتيوم، عمر نصفّي يبلغ 2,75 يوم والنتيجة أن هذه المولّدات يمكن أن تشحن إلى أي مكان في

العالم وتنتج كمّيات معقولة من التكنيتيوم $Tc-99m$ بعد مدّة أسبوع. وعندما ينتج التكنيتيوم في المولّد، يطلق على شكل أيون بروتكتات، أو TcO_4^- ، يعرض فيه التكنيتيوم حالة أكسدة $+7$ ولا يكون ملائماً للتطبيقات الطبية. وقبل أن يصبح مفيداً، يجب اختزاله كيميائياً إلى حالة أكسدة أكثر انخفاضاً ويجب أن يوفّق التكنيتيوم مع لجين (ligand) بحيث يصبح ذا ألفة مع أي عضوٍ معني.

كيمياء التكنيتيوم

إن توافر كمّيات عينية من التكنيتيوم وعدم إصدار التكنيتيوم ^{99}Tc سوى إلكترونات غير مضرّة بدلاً من أشعة غاما أدّى إلى دراسة كيميائه دراسة مستفيضة بغية إيجاد مركّبات ترتبط بكل جزء متصوّر من الجسم البشري.

وقبل بحث هذه المركّبات المفيدة طبيّاً، يجدر التوقّف قليلاً للنظر في بعض المركّبات البسيطة للتكنيتيوم. يشكّل العنصر، كما توقع مندليف في سنة 1881، أكسيدات ملوّنة ذات صيغ مثل TcO_2 ، و TcO_3 ، و Tc_2O_7 . وقد تمّ تحديد تسع حالات أكسدة في مركّبات التكنيتيوم، تتراوح من -1 إلى $+7$.³⁴

مركّبات التكنيتيوم المتوافقة

تحكم الخواص الكيميائية والبيولوجية لمركّبات التكنيتيوم إلى حدّ كبير باللجانين (ligands) التي ترتبط بها في المركّبات المتوافقة. وقد طوّرت المجموعة الأولى من هذه المركّبات لتصوير الأعضاء الإفرغية بالإضافة

الفصل السابع

العنصر 87 - الفرنسيوم

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv				

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

الشكل 1,7 إظهار موقع العنصر 87، أو الفرنسيوم كما سمي في نهاية المطاف

مراجعة سريعة

من أكثر الأمور لفتاً للانتباه بشأن العنصر 87 عدد المرات التي ادعى فيها أشخاص أنهم اكتشفوه بعد أن تنبأ به مندلييف في سنة 1871 ومنحه الاسم الأولي إكا السيزيوم (الشكل 1,7). وكان قد أقرّ مبكراً أن الجدول الدوري يفشل إلى حد ما بعد العنصر 83، أو البزموت. فكل العناصر اللاحقة مشعة وبالتالي غير مستقرة، مع قليل من الاستثناءات كاليورانيوم

والثوريوم. لكن ذلك لم يردع العلماء عن البحث عن العنصر 87 بين الموارد الطبيعية وادّعاء عزله في العديد من الحالات. على سبيل المثال، اعتقد دروس (Druce) ولورنغ (Loring) في إنكلترا أنهما حدّدا العنصر باستخدام الطريقة التقليدية التي طوّرها موزلي لقياس الخطوط K_{β} و K_{α} لطيف أشعة أي عنصر. لكن ذلك لم يتحقّق.

في ثلاثينيات القرن العشرين، جاء دور الأستاذ فرد ألسون (Fred Allison) من معهد ألاباما بوليتكنيك (جامعة أوبورن اليوم). طوّر ألسون ما سماه طريقة مغناطيسية بصرية (magneto-optica) لكشف العناصر والمركّبات بناء على التخلف الزمني في تطوير مفعول فاراداي (Faraday)، حيث يؤدّي تطبيق حقل مغناطيسي على حزمة من الضوء المستقطب تمرّ عبر سائل إلى دورانها. وظنّ ألسون خطأً أن بالإمكان استخدام هذا المفعول لتحديد كل مادة. وادّعى بجرأة في عدد من المقالات في الدوريات، بل حتى في عدد خاص من مجلة «تايم»، أنه لاحظ العنصر 87 والعنصر 85 أيضاً، وكان كلاهما لا يزالان مفقودين في ذلك الوقت.

نُشرت حرفياً مئات الأبحاث عن هذا المفعول، بما في ذلك عدّة دراسات تقدّم الحجّة بأنه زائف. لكن غالباً ما يظهر مفعول ألسون هذه الأيام في روايات عن العلم الخاطيء، إلى جانب ادّعاءات أشعة إن (N-rays) والاندماج البارد!

جاء الادّعاء الرئيس التالي من باريس وحظي بدعم جان بيران، الفيزيائي المعروف بتوكيد نظرية أينشتاين عن الحركة البراونية وبالتالي تقديم دليل داعم على الوجود الحقيقي للذرات. فقد ادّعى فيزيائي

روماني يعمل مع بيران، هوريا هولوبي (Horia Hulubei)، بأنه استخدم أشعة سينية عالية الدقة وسجل عدّة خطوط طيفية ذات ترددات مضبوطة متوقّعة من العنصر 87، وسماه على الفور مولدافيوم. لكن تبين للأسف أن هذه الخطوط زائفة أيضاً.

تحقق اكتشاف العنصر 87 في النهاية عن طريق امرأة فرنسية رائعة، مارغريت بري، بدأت حياتها مساعدة مختبر لماري كوري في باريس. وقد اكتسبت بري مهارة في تنقية المواد المشعّة ومداولتها وطلب منها تفحص النشاط الإشعاعي للاكتينيوم، وهو العنصر 89 في الجدول الدوري. وعن طريق استبعاد كل النظائر البنات (daughter isotopes) بعناية، كانت أول من لاحظ إشعاع ألفا وبيتا الذي ينتجه الأكتينيوم نفسه بدلاً من نظائر بنات مشعّة وبالتالي اكتشفت فرعاً ضعيفاً ولكن مهماً في واحدة من ثلاث سلاسل اضمحلال إشعاعية رئيسة. وكشف تحليلها للبيانات عنصراً جديداً ذا عمر نصف يبلغ إحدى وعشرين دقيقة. وعندما طلب منها لاحقاً تسمية العنصر، اختارت فرنسيوم لتكريم مسقط رأسها.² وكان أيضاً خياراً ملائماً للإشارة إلى استمرار مساهمة العلماء الفرنسيين في دراسة النشاط الإشعاعي. ففي النهاية، كان بكريل أول من اكتشف هذه الظاهرة، وعزل الزوجان كوري البولونيوم والراديوم، وعزل ديبيارن الأكتينيوم، وقد حدث كل ذلك في غضون بضع سنوات من بعضه بعضاً وفي فرنسا.

وكما تبين، كان الفرنسيوم آخر عنصر طبيعي يتم اكتشافه. وتوحي تقديرات وفرة الفرنسيوم أن هناك نحو 30 غراماً في قشرة الأرض بأكملها. وهو من بين القليل من العناصر التي ليس لها تطبيقات تجارية،

ويرجع ذلك بالدرجة الأولى إلى أن العمر النصفى لأطول نظائره عمرًا يبلغ إحدى وعشرين دقيقة فحسب. مع ذلك، فإن تميز ذرّة الفرنسيوم بأكبر قطر بين جميع العناصر، إذ يبلغ 2,7 أنغشتروم، وبوجود إلكترون واحد في الغلاف الخارجي، جعلته موضع اهتمام كبير بين الباحثين الراغبين في سر أدقّ تفاصيل النظريات الراهنة للفيزياء الذريّة. وفي سنة 2002، نجح فريق في الولايات المتحدة من حصر 300,000 ذرّة من الفرنسيوم وإجراء العديد من التجارب الرئيسة الأولى من نوعها.³

مزيد من التفاصيل عن البحث عن العنصر 87

ظهرت أولى التقارير عن اكتشاف العنصر 87 في سنة 1925 في عدد 6 نوفمبر من مجلة «كمّكال نيوز». فقد أشار فردريك لورنغ وجون دروس إلى بحث سابق وضعه دروس هدفه تفحص الوجود المحتمل للعناصر 43، و75، و93 في مختلف المعادن. وكما ذكر المؤلفان:

عند عزل أكسيد الرينيوم الخام، لوحظ ظهور خط غريب على أحد الأفلام الفوتوغرافية لطيف الأشعة السينية... وعند التفحص وجدنا أن لهذا الخط طولاً موجياً يبلغ 1,032 وحدة أنغشتروم، ويقع تماماً بين الخطوط النظرية L_{α_1} و L_{α_2} للعنصر ذي العدد الذري 87.

إن كيفية قيام المؤلفين بذلك مثيرة للاهتمام. فقد استخدموا اختلاف الطول الموجي بين L_{α_1} و L_{α_2} للنحاس لتقدير أين يجب أن تقع الخطوط L_{α_1} و L_{α_2} للعنصر 87. وقد أعطاهم القيام بذلك تقديراً للطول الموجي

لخطوط $L_{\alpha 1}$ للعنصر 87 يبلغ 1,0275 أنغشتروم، وهو قريب جداً من القيمة النظرية البالغة 1,027 أنغشتروم التي يتوصل إليها بالاستكمال من قيم العناصر المجاورة باستخدام طريقة موزلي كما يبين الشكل 2,7.

خطوط $L_{\alpha 1}$ للعنصرين 81 و 93	
81 Tl	1.205
82 Pb	1.172
83 Bi	1.141
84	1.110
85	1.082
86	1.054
87 إكا سيزيوم	1.027
88	1.001
الخط الملاحظ - 1.032 1.0325	
98	0.976
90 Th	0.953
91	0.930
92 U	0.908
93	0.886

الشكل 2,7 رسم للورنغ ودروس يوضح الأطوال الموجية المتوقعة لخطوط $L_{\alpha 1}$ للعنصرين 81 و 93. من F. H. Loring, J. G. F. Druce, Eka-Caesium, *Chemical News*, 31, 289-289, 1925.

لا غرو أن يعتقد لورنغ ودروس أنهما نجحا وأن في وسعهما تقديم ادعاء معقول بأنهما⁴

حدّدنا حالياً العنصر إكا سيزيوم وفقاً للتسمية التي اعتمدها مندليف. وبالتالي أثبت وجود أعلى نديد لمجموعة الفلزّات القلوية (I) وآخرها في الظاهر.⁵

ومع ذلك أفادا عن فشل في ملاحظة أي من خطوط $L_{\beta 1}$ لهذا العنصر وزعما:

الدليل على أن الخط هو خط α للعنصر ذي الرقم الذري 87 قوي جداً، إذ ليس هناك على الأرجح أي خطوط أخرى في المنطقة المباشرة لهذا الخط يمكن أن تظهر بالشدة نفسها.⁶

بعد أسبوع فحسب، في 13 نوفمبر، ظهرت ملاحظة إضافية بعنوان «إكا سيزيوم وإكا يود» هذه المرة. ومع أنهما أفادا بأنهما لم يتمكنا من الحصول على خط $L_{\beta 1}$ للعنصر 87، فإنهما أعلننا الآن عن نجاح إضافي، وتحديدًا اكتشاف عنصر آخر من عناصرنا السبعة المفقودة، العنصر 85.

بالإضافة إلى ذلك، حصلنا في الفيلم نفسه على خطين طولهما الموجين 1,086 و 0,895، مع أنهما خافتان جداً. ويبدو أنهما يقابلان إشعاعات $L_{\alpha 1}$ و $L_{\alpha 2}$ للعنصر 85، أي إكا اليود.

مرة أخرى يبدو تفاؤلهما معقولاً جداً لأن المنحنى يتنبأ بطول 1,082 أنغشتروم للخط $L_{\alpha 1}$ لإكا اليود. وباستخدام عينة أخرى، تتكوّن من البيرولوسيت، أفاد لورنغ ودروس أيضاً عن خطّ جديد طولها الموجي 1,040 أنغشتروم،

وهو عند أخذ العرض في الحسبان يشمل إشعاعات $L_{\alpha 1}$ و $L_{\alpha 2}$ لإكا السيزيوم.

يبدو هذا الادعاء الأخير مفاجئاً قليلاً إذ وفقاً للمنحنى الوارد في مقالتهما السابقة (الشكل 2,7)، فإن الطول الموجي البالغ 1,040 أنغشتروم يقع قريباً من القيمة المتوقعة للعنصر 86، أو الرادون. وهذا إن دلّ على شيء فإنه يفسد على ما يبدو ادعاءهما السابق الأكثر دقة لحظّ الأشعة السينية ذي الطول 1,032 أنغشتروم.

على أي حال، على الرغم من أن ادعاء إكا اليود (العنصر 85) بدا حاسماً، فقد كان لدى المؤلفين الحس السليم لإبداء حذر شديد فكتبوا:

فيما يتعلّق بخطوط إكا اليود، التي يبدو أنها تقدّم دليلاً حاسماً، فإننا نشعر مجبرين مع ذلك، بفضل ظهور خطوط $L_{\alpha 1}$ و $L_{\alpha 2}$ المميزة، لاعتبار هذه الخطوط دليلاً غير مؤكّد على وجود هذا العنصر في العيّنة. لكننا نقول بثقة إن البحث الذي بدأناه عن العناصر المفقودة في المجموعة السابعة أو المرتبطة بها، واعد وإن العمل مستمرّ.⁷

وبالإشارة إلى العنصرين 85 و 87 خلاصاً إلى:

إننا ندرك تماماً أن ثمة حاجة إلى مزيد من العمل الضروري لإثبات وجود العنصرين، المذكورين هنا، على أساس صلب.⁸

هذه المجموعة من التقارير مثال جيد على بعض الادعاءات العقلانية التي أجريت بناء على طريقة موزلي وإظهار درجة ملائمة من الحذر. مثل هؤلاء الأشخاص الذين ادّعوا اكتشاف العناصر التي تبيّن في النهاية أنها

زائفة لم يكونوا سذجاً كما يمكن أن يشعر المرء بإغراء الاعتقاد من منظور حديث .

ألِسُون والألَابَامِيوم

اقتباس من مجلة «تايم»:

على طريقة «ذلك سيقنعهم»، ضرب الأستاذ فِرْدِ أَلِسُون من معهد الألباما بوليتكنيك في الأسبوع الماضي على مكتبه بنسخة جديدة من دورية الجمعية الكيميائية الأميركية. وتشير «هم» إلى كل من شكك في أن الأستاذ أَلِسُون اكتشف العنصر رقم 87، أو إكا السيزيوم، في سنة 1930 والعنصر 85، أو إكا اليود في أبريل الفائت عن طريق آتته المغنطيسية البصرية الجديدة. وتشير «هم» تحديداً إلى الأستاذ جاكوب بابش من كورنيل، الذي تعرّف في الخريف الماضي إلى إكا السيزيوم بمخطاط طيف الأشعة السينية. وقد اكتشف الأستاذ ب. سميث هوبكنز من جامعة إلينوي، باستخدام مخطاط طيف الأشعة السينية، ثالث آخر عنصر مجهول، رقم 61، في الجدول الدوري، وهو ما سماه الإلينيوم.⁹

يبدو أن هذا المقطع يشير إلى الثقة العظيمة التي أولاها الأستاذ فِرْدِ أَلِسُون، من معهد ألباما بوليتكنيك، لتجاربه، حيث ادّعى أنه لم يكتشف عنصراً واحداً فقط، وإنما اثنين من العناصر السبعة المفقودة في قصتنا. وقبل أن نبحت كيف كان مخطئاً في هذا الادّعاء وكثير من الادّعاءات الأخرى، وكيف يقدم ذلك مثلاً قياسيًّا على «العلم الخاطئ»، يجدر

بنا أن نتفحص العلم الذي تقوم عليه الطريقة المغنطيسية البصرية للتحليل الكيميائي لألسون.

استندت طريقة ألسون إلى مفعول فاراداي، وهو ليس جزءاً راسخ القبول من العلم فحسب، وإنما يشكل أيضاً أول دليل على العلاقة بين الضوء والإشعاع الكهرمغنطيسي. ففي سنة 1845، اكتشف مايكل فاراداي، مدير المعهد الملكي في لندن، أن مستوى استقطاب حزمة الضوء المارة عبر سائل تخضع لدوران يمكن قياسه عند تطبيق حقل مغنطيسي قوي.

بعد عدة سنوات، بنى ألسون جهازاً تولّد فيه شرارة ضوء وتوجّه عبر مستقطبين متقاطعين ثم عبر خليتين زجاجيتين تحتويان محلولين متطابقين من أي سائل معطى. وقد أحيطت الخليتان بمقلّين سلكيين لتوليد حقل مغنطيسي عندما يمر تيار عبرهما. غير أن ألسون كان أولاً مهتماً بقياس وجود تخلف زمني مفترض بين تطبيق الحقل المغنطيسي وظهور دوران فاراداي. وقد أحدث تبايناً في الوقت الذي يطبق فيه الحقل المغنطيسي بتعديل المسافة التي يمرّ عبرها التيار للوصول إلى الخليتين الزجاجيتين. وسيلاحظ التأخر في مفعول فاراداي بالبحث عن حدّ أدنى من الضوء الناتج عن الشرارة بعد تشغيل الحقل المغنطيسي. والتعليل هو أنه إذا دار اتجاه الاستقطاب، فيجب أن يظهر الضوء استنزافاً معيّناً للسطوع.¹⁰

لم بدّع ألسون والعاملون معه أن في وسعهم كشف مثل هذه المقادير الدنيا من مختلف المواد فحسب، وإنما نجحوا في نشر عشرات المقالات في الدوريات العلمية الرائدة أيضاً، بما في ذلك «فِرْكَل رِفِيو» (*Physical Review*) ومجلة الجمعية الكيميائية الأميركية (*Journal of the American Chemical Society*). وادّعوا أن حساسية جهازهم عظيمة

جداً بحيث يمكنهم كشف الاختلافات برتبة 10^{-10} من الثانية. وادّعوا أيضاً أن مجرد وجود الأيون السالب، في حالة المحاليل الأيونية مثل نترات البوتاسيوم، والسلفات، والكلوريد، يعدّل التخلف الزمني بسبب الأيون الفلزيّ الإيجابي. استقبل الباحثون الآخرون هذه الادّعاءات بكثير من التشكيك، لكن من الملفت أن العديد من المختبرات نشرت دراسات أخرى دعماً لادّعاءات السون. وقد نُشر بالإجمال مئات من المقالات المحكّمة عما أصبح يعرف باسم مفعول السون إلى أن كشف زيف العمل في عدد من الدراسات الرئيسة وقرّرت الدوريات وقف نشر الأبحاث في هذا الموضوع. لكن لم يحدث ذلك قبل ثمادي السون بادّعاء أنه اكتشف العنصر 85 الذي طال البحث عنه، ولاحقاً العنصر 87.

التفنيد

في سنة 1933 توجه ونديل لايمر (Wendell Latimer)، أصبح فيما بعد رئيس قسم الكيمياء في جامعة كاليفورنيا، بيركلي، لزيارة السون لمعرفة إذا كان في وسعه استخدام الطريقة المغنطيسية البصرية لكشف ذرّات الهيدروجين ذات الوزن الذريّ 3 التي بُدئ بحثها باعتبارها احتمالاً واضحاً. بل إن لايمر تراهن بعشرة دولارات مع جلبرت لويس (G. N. Lewis)، الشهير بالروابط الكيميائية، لاعتقاده أن لايمر لن يعثر على شيء باستخدام طريقة السون. عند زيارة السون، تعلّم لايمر التقنية وادّعى أنه اكتشف بالفعل ذرّات الهيدروجين ^3H ، أو التريتيوم كما أصبح يُعرف فيما بعد. نُشرت هذه المقالة بنجاح أيضاً في مجلة «فيزكل ريفيو» وعاد لايمر إلى بيركلي حيث حصل على العشرة دولارات من لويس.

في سنة 1934، نشر هربرت مكفيرسون (H. G. MacPherson) في جامعة كاليفورنيا، بيركلي، بحثاً أفاد فيها أن مقادير ألّسون الدنيا وهم وأنهى المقالة بقوله:¹¹

يعتقد المؤلف، نتيجة لهذه التجارب، أن المقادير الدنيا التي شاهدها بين الفينة والأخرى ناجمة عن عوامل فيزيولوجية أو نفسانية.

ومرور أشهر، أدرك لايمر¹² أن ليس في وسعه إعادة إنتاج ملاحظته المزعومة عن ذرات الهيدروجين ^3H . واكتُشف التريتيوم في وقت لاحق من سنة 1934 عن طريق رُذرفورد وأولفنت (Oliphant) وهارتك (Harteck).¹³

في ملاحظة أخيرة تتعلّق بادّعاءات ألّسون، يقدرّ اليوم أن الميل الخارجي من قشرة الأرض يحتوي على 69 مغ من العنصر 85 و24,5 غ من العنصر 87، مقارنة بما يقرب من أربعة آلاف طن من البولونيوم، الذي يعتبر بحدّ ذاته فلزاً نادراً جداً. وللعنصرين 85 و87 نظائر ذات عمر نصفي قصير للغاية، وكان ألّسون يبحث عن العنصرين في المعادن غير المقصودة على أي حال.

هوريا هولوبي

وُلد هوريا هولوبي في رومانيا في سنة 1896. وفي الحرب العالمية الأولى كان جندياً في جيش بلاده وتمكّن من الفرار إلى فرنسا في أعقاب قيام القوات الألمانية النمساوية بغزو رومانيا. وكانت تلك أولى زيارته

العديدة إلى فرنسا التي جلبت له بعض الشهرة ولكن ليس اكتشاف العنصر 87 الذي رغب فيه بشدة.

في الرحلة الأولى إلى فرنسا أصبح قائداً لطائرة مقاتلة في سلاح الجو الفرنسي، قبل العودة إلى رومانيا لإكمال تعليمه في الفيزياء. وفي سنة 1927، عاد إلى فرنسا للانضمام إلى مختبر جان بيران للكيمياء الفيزيائية في السوربون بباريس.¹⁴ وبقي هولوبي في باريس طوال ثلاثينيات القرن العشرين، وتعاون مع خيرة الأشعة السينية إيفيت كوشوا (Yvette Cauchois). وشمل عملهما معاً محاولات منسقة لتحديد العناصر 85، و87، و93.

في سنة 1936، استخدم هولوبي وكوشوا جهاز أشعة سينية عالي الحساسية للإفادة عن بعض الخطوط الضعيفة التي اعتقدا أنها تشمل الثنائي L_{β} الناتج عن العنصر 87 بطول موجي يبلغ 1032 و1043 وحدة إكس. وفي السنة التالية وجه هيرش (F. H. Hirsh) من جامعة كولومبيا انتقاداً قاسياً لادعاء هولوبي، واتهمه بالخلط بين الخطوط الناتجة عن الزئبق وتلك الناتجة عن العنصر 87 المفترض.

وأشار هيرش إلى وجود خطين للزئبق عند الطول الموجي 1030 و1047 وحدة إكس، بالإضافة إلى أن الطولين الموجيين الخطي هولوبي وكوشوا يختلفان عنهما بأقل من هوامش الخطأ التي نشرها. وتابع هيرش بوصف بعض تجاربه بحثاً عن خطوط الأشعة السينية للعنصر 87 في الليبيدوليت التي لم يعثر فيها على أي دليل حاسم على تلك الخطوط.

وقبل اندلاع الحرب العالمية الثانية، عاد هولوبي إلى رومانيا ليشغل منصب أستاذ الفيزياء في جامعة لاسي. وبسبب انقطاع الاتصالات بين

رومانيا والولايات المتحدة، لم يسمع هولوبي عن انتقاد هيرش حتى سنة 1943، لكنه مع ذلك ردّ على ملاحظات الأميركي في سنة 1947، بعد مرور عشر سنوات كاملة على الاكتشاف المعني.¹⁵ وفي رسالة إلى محرّر مجلة «فيزكل رفيو» بدأ بقوله:

علمت بمقالة ف. هيرش «البحث عن العنصر 87» مؤخراً بسبب انقطاع الخدمات البريدية بين أميركا ورومانيا بسبب الحرب.

وجه هولوبي الانتقاد إلى هيرش بالإشارة إلى أن الطولين الموجيين 1030 و1047 لخطي الزئبق، كما ذكر هيرش، خطأ وفقاً لقانون موزلي. وقال أيضاً:

أعتقد أن اعتراضاته القاطعة على استنتاجات مؤلفين آخرين تستند إلى التقديرات غير المضبوطة للخطوط المنبعثة المتوقعة.

وعن تجارب هيرش نفسه، كتب هولوبي أنه يجدها «بعيدة عن الإقناع»، لأن الموليدنوم والتنغستن في البنية التجريبية لهيرش ربما يكونان المسؤولين عن حجب أي خطوط منبعثة من العنصر 87. واختتم ملاحظته كما يلي:

أعتقد أن بحثه لا يساعد على الأقل في تسوية مسألة وجود نظير مستقرّ للعنصر 87.

الفرنسيوم

أخيراً في سنة 1939، اكتُشف العنصر 87 الحقيقي، أو إكا السيزيوم، بالفعل على يدي فنية مختبر فرنسية غير معروفة تدعى مارغريت بري. لكن بري لم تكن فنية عادية. فقط كانت محظوظة بأن تصبح المساعدة الشخصية لماري كوري وبالتدرّب على يديها في معالجة النظائر المشعّة. وفي نهاية المطاف نالت شهادة، وتلتها الدكتوراه وارتقت إلى مرتبة أستاذة للكيمياء النووية. وفي أطروحتها لنيل الدكتوراه، أفادت عن التجارب الحاسمة التي تظهر قطعاً أنها اكتشفت إكا السيزيوم الذي طال السعي وراءه.

بالعودة إلى الورا، ليس من الصعب اكتشاف لماذا لم تحقّق معظم المحاولات السابقة الكثير، إذ إن كل العناصر التي تلي العدد الذري 83، أو البزموت، مشعّة، في حين أن المحاولات السابقة أجريت على معادن غير مشعّة. وكان قد اكتُشف، في الخمس عشرة سنة التي سبقت عمل بري، العديد من العناصر المشعّة، لا سيما في فرنسا. وهذه العناصر هي البولونيوم (84)، والراديوم (88)، والأكتينيوم (89)، والبروتكتينيوم (91). وكان على أي باحث يأمل في اكتشاف العنصر 87 أن يكون من العاملين في مجال الكيمياء المشعّة كي يحظى بفرصة للنجاح.

وفي مجال الكيمياء المشعّة أيضاً، اقترب عدد من اكتشاف العنصر ومن السهل فهم ذلك بالعودة إلى الورا ثانية. في سنة 1913، كان معروفاً أن هناك ثلاث سلاسل اضمحلال إشعاعي تبدأ بالراديوم، والثوريوم، والأكتينيوم. كما أن قوانين الإزاحة الإشعاعية كانت معروفة بالفعل، حيث إن إصدار إشعاع ألفا (α) يؤدي إلى تكوّن نظير ذي عدد ذري يقل

وحدتين عن النظير المضمحل، في حين ينتج إصدار بيتا (β) نظيراً أعلى يفوق العدد الذري بوحدة واحدة. يفسر الأول بأن لجسيمات ألفا شحنة تبلغ اثنين. أما الأخير فإنه أكثر صعوبة بقليل، لكنه ناجم عن إصدار بيتا ناجم عن نيوترون في نواة ذرة تضمحل بروتون وجسيم بيتا. وذلك يعادل تبادل نيوترون، ذي عدد ذري 0، مقابل بروتون ذي عدد ذري 1. بناء على ذلك، كان واضحاً منذ الأيام المبكرة للكيمياء المشعة أن العنصر 87 ربما يتشكل من اضمحلال ألفا للأكتينيوم (88) أو اضمحلال بيتا للرادون (86).



لكن من المستغرب أن نظائر الرادون تبدو أنها تصدر إشعاع بيتا فقط في حين أن نظائر الأكتينيوم تصدر إشعاع ألفا فقط. مع ذلك فإن احتمال اضمحلال نظير ما عبر شكلي التدهور كان معروفاً. وفي النهاية تبين أن إكا السيزيوم اكتشف نتيجة اضمحلال ألفا وبيتا مزدوج للأكتينيوم، لذا تنتقل الآن لتقديم موجز عن تاريخ هذا العنصر.

اكتُشف الأكتينيوم في سنة 1900 عن طريق أندريه ديبيارن، الذي كان زميلاً للزوجين كوري في باريس. وقد سمّاه أكتينيوم من الكلمة اليونانية $\alpha\kappa\tau\iota\nu\omicron\sigma$ ، أي «شعاع» مع أن الإشعاع الملاحظ لهذا العنصر ضئيل جداً. وفي سنة 1908 اكتشف أوتو هان، وكان يعمل في كلية لندن الجامعية، ما اعتُقد في البداية أنه عنصر جديد وأطلق عليه مبدئياً اسم ميسوثورיום-2، أو MsTh2 . وكان في الواقع قد اكتشف نظيراً آخر للأكتينيوم، ${}^{228}\text{Ac}$.

بالإضافة إلى أكتينيوم ^{227}Ac لدييارن.

نتيجة لذلك، أصبح هناك الآن نظيران للأكتينيوم مرشّحان لأن يكونا مصدراً لإكا السيزيوم. لكن لم يتابع أي من الباحثين هذين الاحتمالين أو يحاول اكتشاف إذا كانا يصدران إشعاع ألفا. وفي سنة 1926 قرّر هان البحث بنشاط عن إكا السيزيوم من نظير الأكتينيوم ^{228}Ac الذي اكتشفه لكنه لم يشاهد أي اضمحلال لألفا. وأدرك وجوب إجراء بحث مماثل على النظير الآخر، ^{227}Ac ، لكنه ادّعى لاحقاً أنه يفتقر إلى المهارات المطلوبة لتقنية الأكتينيوم، وهو ما فعلته بري بالضبط وتمكّنت من استخدامه في اكتشاف العنصر الجديد في نهاية المطاف.

ثمة فريق آخر من اختصاصيي الكيمياء المشعّة الذين لم ينجحوا في اكتشاف إكا السيزيوم وهو ماير، وهس، وبانث في فيتا. ففي أثناء إجراء مسح للانبعاثات الناجمة عن عدد من النظائر لاحظوا أن الأكتينيوم ^{227}Ac قد يكون مصدراً لإشعاع ألفا ضئيل الكثافة ورأوا أن سلسلة الاضمحلال الإشعاعي التي تشتمل على الأكتينيوم ربما لا تزال تفتقر إلى بعض العناصر المعروفة. لكن هذا العمل توقّف فجأةً باندلاع الحرب العالمية الأولى.

وكما ادّعى كوفمان (Kauffman) وأدloff (Adloff) في مقالتهما الممتازة عن اكتشاف إكا السيزيوم، ربما قاس فريق فيتا إصدار ألفا المباشر من الأكتينيوم ^{227}Ac لكن من دون أن يكونوا واثقين منه.¹⁶ ولو عرفوا أن الحال كذلك لادّعوا اكتشاف العنصر الجديد بطبيعة الحال. وكما ذُكر سابقاً، فإن قوانين الاضمحلال الإشعاعي تعني بما لا يدع مجالاً للشك أن إصدار إشعاع ألفا من الأكتينيوم (89) ينتج عنصراً ذا عدد ذرّي يقل بوحدين، وتحديداً العنصر 87، أو إكا السيزيوم. لكن في أوائل ثلاثينيات

القرن العشرين، كتبت ماري كوري في أحد كتبها عن النشاط الإشعاعي أن الأكتينيوم لا يصدر أي إشعاع ملحوظ.

بري

انضمت مارغريت بري (الشكل 3,7) إلى مختبر كوري في معهد الراديوم في سنة 1929. وقد درّبتها كوري منذ بداية عملها على مهارات العمل بالأكتينيوم. بما في ذلك تركيز العنصر عندما يكون موجوداً في الأتربة النادرة الذي يضمّ اللانثانوم عادة. وكان هذا العمل يتطلب البلورة والتبخير المتكرر لمركبات مثل الأوكسالات من الفلزّات. كما أن معالجات الأكتينيوم تتطلّب العمل بسرعة لأن هذه السلسلة المشعّة تنتج نظائر الثوريوم، والراديوم، والرصاص، والبزموت، والثاليوم في تعاقب سريع. وإذا أريدت دراسة خصائص الأكتينيوم، تجب إزالة جميع هذه النظائر البنات بسرعة، وبخاصة أنها تصدر إشعاعات ألفا وبيتا خاصة بها.

على الرغم من أن ماري كوري توفيت في سنة 1934، فإن بري تابعت عملها على الأكتينيوم، تحت الإدارة المشتركة لمكتشف العنصر ديبيران وإيرين جوليو كوري، ابنة ماري كوري. وقد شجّعها المشرفان الجديدان على مواصلة تنقية الأكتينيوم وتفحص خصائصه الإشعاعية. وقد اتضح الآن أن الأكتينيوم ^{227}Ac يصدر إشعاع بيتا لأن أحد النظائر البنات هو الثوريوم ^{90}Th .¹⁷ ومع ذلك لم يلاحظ أحد هذا الإصدار لإشعاع بيتا من الأكتينيوم نفسه.

في سنة 1935 اعتقد هَلْ (Hull) وليبي (Libby) ولايمر في الولايات



الشكل 3,7 مارغريت بري. الصورة بإذن من مجموعة إميليو سغريه في معهد الفيزياء.

المتحدة أنهم اكتشفوا هذا الإشعاع. فأثار هذا التقرير اهتمام بري، إذ إنها اشتبهت بأن الإشعاع ناجم عن بعض النظائر النبات. وقد حثها ذلك على تشديد البحث عن أي إشعاع بيتا صادر عن الأكتينيوم مباشرة. وتطلب منها هذا العمل أن تركز مصدر الأكتينيوم وتبدأ البحث على الفور تقريباً (بعد دقيقة واحدة) عن إشعاعه، قبل أن تغمره إشعاعات نظائره النبات. عند القيام بهذه الإجراءات اكتشفت أن النشاط الإشعاعي ارتفع بسرعة خلال الساعتين الأوليين، ثم استقرّ ليرتفع بعد ذلك ببطء. وباستكمال رسمها البياني إلى الوقت صفر نجحت في الحصول على تقدير رقمي لإشعاعي ألفا وبيتا الصادرين عن الأكتينيوم النقي. وتبين أنه 1 في المئة من النشاط الإشعاعي لاضمحلال ألفا، فيما جاءت التسعة والتسعون (99) في

المثة المتبقية من اضمحلال بيتا. ولعل أهم ما في هذا القسم من الملاحظة أن الاضمحلال الإشعاعي الأولي للأكتينيوم حدث بعمر نصفي يبلغ إحدى وعشرين دقيقة، وتلك واقعة دوتنها في سجل ملاحظاتها في 7 يناير 1939، وهو السجل الذي لا يزال موجوداً حتى اليوم.

عند جمع هذه المعلومات معاً، استنتجت بري أن اضمحلال الأكتينيوم ^{227}Ac يحدث بالدرجة الأولى عبر تشكّل الثوريوم، والراديوم، ومنتجات بنات أخرى، ولكن هناك أيضاً انعطافاً متفرعاً صغيراً، وعدم الأهمية تقريباً، يمكن أن يعني وجود عنصر جديد أو ربما وجود نظير إضافي للأكتينيوم غير معروف حتى الآن. وبما أن بري كانت واثقة من أن اضمحلال ألفا لا يمكن عزوه إلى نظائر بنات مثل الثوريوم والراديوم، فلا بد أن يكون ناجماً عن الأكتينيوم نفسه. ويعني ذلك أن الأكتينيوم ربما يضمحل إلى العنصر 87، بالنظر إلى أن اضمحلال ألفا يقلل العدد الذري وحدتين.

لذا فإن الزيادة السريعة في اضمحلال بيتا التي لاحظتها ليست ناجمة عن الأكتينيوم نفسه وإنما ربما عن اضمحلال العنصر 87 (إلى الراديوم ^{86}Ra كما تبين). الأكتينيوم بحد ذاته يظهر اضمحلال بيتا بطبيعة الحال - بل إن 99 في المئة من نشاطه ناجم عن هذا الاضمحلال، كما ذكر أعلاه. لكن بما أن لهذه العملية عمراً نصفياً أطول بكثير، فمن الممكن تمييزها عن اضمحلال بيتا الناجم عن العنصر 87. وقد بُنيت الهوية الكيميائية للعنصر الجديد عبر إمكانية ترسيبه مع أملاح السيزيوم. فالسيزيوم فلز قلوي من المجموعة الأولى في الجدول الدوري، وهي المجموعة التي يتوقع وجود إكسا السيزيوم فيها منذ تنبؤ مندلييف الأصلي بهذا العنصر. لكن لم يكن أي

من هذه المعلومات حاسماً تماماً، فما زال هناك سؤال هل أن نظيراً جديداً للأكتينيوم يظهر بعض الملاحظات بشأن اضمحلال الأكتينيوم 227Ac المعدّ حديثاً. ونتيجة لذلك أبدت بري حذراً في الإعلان عن اكتشافها في مقالة قصيرة في مجلة «وقائع أكاديمية العلوم» (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*). أولاً قدّمت الحجّة لصالح العنصر الجديد:*

Dans l'hypothèse que ce radioélément est formé par émission de rayons α a partir de l'actinium, il occuperait la place 87 dans la classification périodique; pour le prouver nous avons cherché à constater l'analogie chimique de ce corps avec le caesium par syncrystallisation: le perchlorate de caesium a été choisi pour cela, en raison de sa faible solubilité qui le distingue des perchlorates des métaux non alcalins, très solubles. En ajoutant du chlorure de caesium à l'eau mère et en précipitant par une solution de perchlorate de sodium, il se forme des cristaux qui entraînent l'activité: celle-ci décroît exponentiellement avec période de 21 minutes \pm 1 (Perey, 1939, 89).¹⁸

وبعد بضعة أسطر، كتبت:

Nous sommes donc amenée à penser que cet élément radioactif naturel, de période 21 minutes, a le numéro 87 et dérive, par rayonnement α , de l'actinium; soit que l'actinium possède un faible embranchement α , ou qu'il soit un mélange de deux isotopes se distinguant l'un par rayonnement β , et l'autre par rayonnement α (Perey, 1939, 89).¹⁹

* ترد ترجمة هذا الاقتباس والذي يليه في الحاشيتين 18 و 19 من الفصل السابع في آخر الكتاب. وقد أثبتنا النص الفرنسي الأصلي كما فعل المؤلف - المترجم.

قدّم البحث جان بيران، ومن المفارقة أنه كان يعتقد بأن أحد معاونيه، الفيزيائي الروماني هوريا هولوبي، قد اكتشف إكسا السيزيوم من قبل.²⁰ أطلقت بري في البداية على النظير الجديد اسم أكتينيوم ك لأنها لم تكن واثقة تماماً من هويته الدقيقة.

في أثناء كل هذا العمل، حرصت بري على إطلاع المشرفين عليها، ديبيارن وجوليو كوري، كل على حدة. وفي النهاية اتفق أن ذكرت جوليو كوري أمام ديبيارن أن بري اكتشفت نظيرها أو عنصرها الجديد بناء على اقتراحها. ويقال إن ديبيارن انفجر غضباً عندئذٍ، لاعتقاده أنه الوحيد الذي يدير عمل بري. ومن النتائج الغريبة لهذا النزاع أن المشرفين لم يتمكنوا من الاتفاق على من يتشارك الفضل مع بري، ما أدى إلى السماح لبري بالاحتفاظ بالاكتشاف لنفسها.

عندما اتضح نتيجة مزيد من التجارب أن بري اكتشفت عنصراً جديداً بدلاً من نظير جديد للأكتينيوم، دعاها بانث، رئيس لجنة التسميات في الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية، إلى تسميته. فاقترحت بري تسميته «كاتيوم». بمعنى أيون موجب، لأن العنصر الجديد يشكل أكبر أيون موجب في الجدول الدوري. لكن إيرين جوليو كوري اعترضت على هذه الفكرة، إذ شعرت بأن الناطقين بالإنجليزية سيسخرون من الاسم لأنه شبيه جداً باسم القطّة (cat). عندئذٍ اختارت بري اسم «فرنسيوم» تكريماً لبلدها فرنسا واقترحت الرمز Fa. وبعد وقت قصير غير الرمز إلى Fr تماشياً مع الطريقة التي يرمز بها إلى العناصر، وبقي الأمر كذلك حتى اليوم.

بعد أن حققت بري اكتشافها، شجّعها موجهها على الحصول على

الشهادة التي ما زالت تفتقر إليها. ووجدت بري نفسها في موقف غير عادي إذ لديها ما يكفي من المواد لأطروحة الدكتوراه ومع ذلك ليس لديها شهادة جامعية، ما يعني أنها لا تستطيع التسجيل لنيل الدكتوراه. مع ذلك، سرعان ما نالت شهادات في عدد من الموضوعات قبل أن تقدّم في النهاية أطروحة الدكتوراه في سنة 1946. وفي سنة 1949، عيّنت في كرسي جديد للكيمياء النووية في جامعة ستراسبورغ. وفي غضون ذلك بدأت تعاني من داء الإشعاع نتيجة عملها بالنظائر المشعّة، وتوفيت في النهاية في سنة 1975 في سنّ الخامسة والستين.

اكتشفت بري آخر عنصر موجود بصورة طبيعية. وبقي العثور على العنصرين 61 و85، وهو ما تطلّب تخليقهما اصطناعياً.²¹

استخدامات الفريسيوم

الفريسيوم شديد الندرة وشديد النشاط الإشعاعي لا يسمح بأي تطبيقات تجارية عليه. غير أن له بعض الاستخدامات العلمية الغربية. فذرات الفريسيوم توفر فرصة ممتازة لتفحص العديد من نواحي الفيزياء الذرية والنوية والنظرية التي توحد القوة الكهرمغناطيسية والقوة النووية الضعيفة في قوة كهرضعيفة (electroweak force). وقد سميت هذه التجارب «فيزياء سطح المكتب» تمييزاً لها عن الفيزياء العالية الطاقة التي تجرى في مسرّعات الجسيمات الضخمة التي تمتد مسافات واسعة بحجم المدن.

قبل وصف هذا العمل بطريقة عامة، من الضروري النظر في الخلفية الفيزيائية قليلاً. في خمسينيات القرن العشرين، طرح لي (Lee) ويانغ

(Yang) في جامعة كولومبيا أن بعض الجسيمات الأولية ربما تنتهك تناظر الشحنة (parity violation). واقترحا أن مثل هذه الجسيمات يمكن أن تميز بين اليمين واليسار، وتلك فكرة غريبة في الظاهر. وفي سنة 1957، شرعت إحدى زميلتهما في التجارب في جامعة كولومبيا، مدام وو، في دراسة للكوبالت ^{60}Co وفاجأت الجميع باكتشافها أن انتهاك تناظر الشحنة حقيقي في الواقع. فعندما توضع ذرات الكوبالت ^{60}Co في حقل مغنطيسي لاستقطابها ثم السماح لها بالخضوع لاضمحلال بيتا، فإنها تظهر ميلاً لإصدار إلكترونات من أقطابها الجنوبية أكبر من إصدارها من أقطابها الشمالية. وفي السبعينيات، وسّعت فكرة انتهاك تناظر الشحنة إلى الذرات المستقرّة، أي غير المشعّة، ولوحظت في العديد من الذرات بما في ذلك السيزيوم، والإتيريوم مؤخراً.

على الرغم من أن التجارب بالذرات المستقرّة تعطي تأثيراً أضعف بكثير من الكوبالت ^{60}Co الذي استخدمته وو، فإنها تسمح باكتشاف بعض التأثيرات الجديدة في فيزياء القوة الكهروضعيفة. كما أن قوة التأثير تناسب تقريباً مع Z^3 ، أي مكعب العدد الذري. ويميل العمل الحديث على انتهاك تناظر الشحنة إلى التركيز على ذرات السيزيوم بسبب بساطة هذا النظام بوجود إلكترون واحد في طبقة الخارجية. وأوحى هذا العمل باستخدام الفرنسيوم بطبيعة الحال، حيث يوجد إلكترون واحد في طبقة الخارجية ويتوقع أن يكون تأثير انتهاك تناظر الشحنة فيه ثمانية عشر ضعف ذلك في السيزيوم.

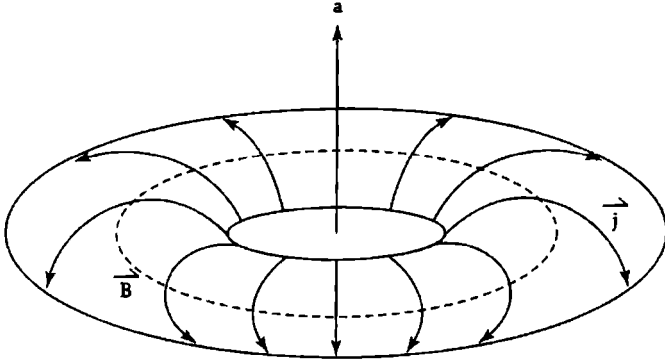
قبل التمكن من إجراء تجارب انتهاك تناظر الشحنة على الفرنسيوم، لا بدّ من تحديد الانتقالات الطيفية بين مستويات الطاقة تجريبياً. وهناك

بالإضافة إلى ذلك الكثير من العمل النظري الذي يهدف إلى حساب مستويات الطاقة والانتقالات. ومثل هذه الاختبارات الصارمة للنظرية تُجرى منذ سنين عديدة ووصل التوافق بين النظرية والتجربة إلى دقة 1 في المئة تقريباً. وتشمل التجارب الأخرى قياس «الشحنة النووية الضعيفة» للنواة بالمقارنة بالشحنة الكهربائية المألوفة في القوة الكهرمغناطيسية.

المرحلة التالية من التجارب بالفرنسيوم تهدف إلى تجاوز مراقب انتهاك تناظر الشحنة في الذرات فحسب، لأن هذا الإنجاز تحقق الآن في العديد من الذرات المختلفة. ويكمن الاهتمام الحقيقي بالفرنسيوم في محاولة قياس تأثير متوقع جديد تماماً يدعى اللحظة «اللاقطبية» (anapole) بدقة أكبر من ذي قبل، وهي من النواحي الجوهرية للقوة الكهرضعيفة عبر التأثيرات الميكانيكية الكمومية.²² وتسمى لاقطبية، أي أن لا علاقة لها بأي نوع من الأقطاب التي تظهر في القوة الكهرمغناطيسية الضعيفة.²³

وفي حين أن الحقل الكهرمغناطيسي يمكن أن يتوسّع من حيث الأقطاب الثنائية، والأقطاب الرباعية، والأقطاب الثمانية، وما إلى هنالك، فإن اللاقطب المترافق مع القوة الكهرضعيفة لا يشبه ذلك. فهو يتألف من مكوّن مغناطيسي يصاحب ما يُدعى التيار الحلقي (toroidal current)، حيث لا يوجد أي شيء من التيار خارج الشكل الحلقي (الشكل 4,7).

تشمل النواحي الأخرى للعمل تطوير تقنيات جديدة لاحتواء حزم ذرات الفرنسيوم وتركيزها بالإضافة إلى طرق أفضل لاستحداث نظائر الفرنسيوم المختلفة الأنواع. وتستخدم الطريقة تفاعلات الانشطار



الشكل 4,7 تيار حلقي يولد لحظة غير صفرية لاقطبية.

النووي حيث تسرع حزم أيونات الأكسجين إلى طاقات تلتحم عندها مع ذرات الذهب. وبالنظر إلى افتقار الذهب إلى التفاعلية، وهو أكثر الفلزات خمولاً، فإن ذرات الفرنسيوم المستحدثة لا تشكل أي مركبات مع الذهب ويمكن نقلها إلى منطقة «تحتجز» فيها.

يعتمد عمل الحجز على استخدام أجهزة ليزر من مختلف الأنواع قابلة للضبط بالإضافة إلى حقول مغناطيسية وضوء رنيني. بحلول سنة 2002، نجحت هذه التجارب في المحافظة على 300,000 ذرة فرنسيوم في مصيدة مغناطيسية بصرية، ما سمح بعد ذلك بقياس الانتقالات الطيفية داخل الذرات.²⁴

وكما يوضح لويس أورزكو (Luis Orozco)، أحد أبرز الخبراء في هذا المجال، ثمة خطط يجري إعدادها لاستخدام مختلف نظائر الفرنسيوم من أجل الحصول على تباينات كتلية في حين تثبت جميع المزايا الأخرى، ما يؤدي إلى سير أعمق للتفاعلات الكهروضيعة.

الأمر المثير للاهتمام في كل هذا العمل أنه يتكوّن من استكشاف توحيد القوتين الأساسيتين في الطبيعة، القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة، لكن من دون استخدام الطاقات الهائلة أو مسرّعات الجُسيمات.

الفصل الثامن

العنصر 85 - الأستاتين

القصة المحيطة باكتشاف العنصر 85 من أكثر القصص تعقيداً بين عناصرنا السبعة (الشكل 1,8) وأكثرها إثارة للاهتمام. وتكشف مختلف ادّعاءات اكتشافه العديد من السمات الوطنية التي شهدناها في حالة العناصر الأخرى، لا سيما الاختصاص المحيط باكتشاف الهفنيوم، العنصر 72.

لكن العنصر 85 يمنح دراستنا عمقاً أكبر مما كشف النقاب عنه في العناصر التي تناولناها. فهذه القصة تبيّن أن التحيزات الوطنية مستمرة حتى اليوم في العديد من النواحي وأن هوية «مكتشف» العنصر تعتمد كثيراً على جنسية الكتاب الدراسي الذي يمكن أن يرجع إليه المرء. وهو أيضاً عنصر تقدّم عنه غالبية المصادر رواية غير صحيحة بإعلان أن كورسون، وماكنزي، وسغريه هم مكتشفوه الحقيقيون. وتدين الرواية التي سأقدّم تفاصيلها بالفضل إلى عمل حديث لكيميائيين شائين، برت ثورنتون (Brett Thornton) وشوان بوردت (Shawn Burdette) اللذين اعتمدت على مقالتيهما الصادرة في سنة 2010 اعتماداً كبيراً¹.

وكما هي الحال في العديد من العناصر السبعة التي تناولناها حتى الآن، فقد تبيّن أن الاعتقاد بأن إثبات موزلي التجريبي لمفهوم العدد الذري حل جميع القضايا بطريقة حاسمة مضلّ جداً.

الادعاءات المبكرة باكتشاف العنصر 85

يظهر موقع العنصر 85 في الجدول الدوري أنه يوجد بين الهالوجينات. لذا ليس من المفاجئ أن يعتقد الباحثون المبكرون أنهم يمكن أن يجدوا العنصر في مواقع مماثلة للهالوجينات الأخرى مثل البروم واليود، وتحديدًا في المحيطات والرمال التي تغمرها مياه المحيطات. وكان من المتوقع تمامًا أيضاً أن يتصرف العنصر الجديد مثل الهالوجينات النموذجية لتشكيل جزيئات ثنائية الذرات وأن تكون نقطة غليانه منخفضة.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn		Fl		Lv		

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No

الشكل 1,8 إظهار موقع العنصر 85، أو الأستاتين، كما سمي في نهاية المطاف.

كان فرد ألسون أول من قدّم ادعاء رئيساً باكتشاف العنصر، وهو الباحث نفسه الذي ادعى خطأ أنه اكتشف العنصر 87. فقد زعم ألسون أنه عثر على العنصر الجديد باستخدام طريقته المغنطيسية البصرية، وهي تشتمل على تخلف زمني في مفعول فاراداي، أي دوران مستوى الضوء

المستقطب عن طريق تطبيق حقل مغنطيسي على أي محلول لمادّة معيّنة. ونشر ألسون مقالات في سنتي 1931 و1932 زاعماً أنه لاحظ العنصر 85 ومقترحاً تسميته الألاميوم نسبة لألاباما، وهي الولاية التي كان يعمل فيها.

وفي سنة 1935، بيّن الفيزيائي الأميركي مكفيرسون أن نتائج ألسون زائفة وترجع إلى عيوب في أجهزته لا إلى وجود العنصر الجديد. وتلا ذلك مزيد من الدحض.

جاء الادّعاء الثاني من راجندرالال ده، وهو كيميائي هندي يعمل في دكا، وكانت في ذلك الوقت جزءاً من الهند البريطانية وتدعى بنغلادش اليوم. درس ده في ألمانيا على هان وميتزر في عشرينيات القرن العشرين وقد استخدم، على نحو ألسون، رمل المونازيت في أبحاثه. وبعد تطبيق عدد من العمليات الكيميائية على الرمل، حصل ده على متسام (sublimate) سماه دكين، نسبة لمدينة دكا. وفي وقت لاحق استبعد الباحثون ادّعاء ده على أساس النشاط الإشعاعي القوي للأستاتين الذي يمنعه هو وغيره من التعامل بأمان مع العنصر بالطريقة التي ادّعاها في ذلك الوقت.

انخرط شخص آخر ممن شاركوا في البحث عن العنصر 87، الروماني هوريا هولوبي، في اكتشاف العنصر 85 أيضاً. ويبدو في الواقع أنه قد يكون مكتشف الأستاتين الموجود بصورة طبيعية، كما سماه لاحقاً الفيزيائيون الذين خلّقوا العنصر اصطناعياً. وهؤلاء الفيزيائيون هم الذين يمنحون على العموم فضل اكتشاف العنصر.

درس هولوبي في فرنسا بدءاً من سنة 1916، وعاد إلى بلده رومانيا بعد انتهاء الحرب العالمية الأولى في سنة 1918. وفي سنة 1926 عاد إلى فرنسا

للعمل مع جان بيران وأنشأ مختبراً للأشعة السينية في جامعة ستراسبوغ. وفي سنة 1928، انضم إلى إيفيت كوشوا التي صنعت ما أصبح يعرف باسم مطياف (spectrometer) كوشوا، وهو يوقر أطيافاً عالية الاستبانة ويمكن من دراسة الأطياف الأكثر ضعفاً مما كان يمكن ملاحظته في السابق. وقد تفحص هولوبي وكوشوا النشاط الإشعاعي للرادون على أمل ملاحظة الدليل على وجود العنصر 85. وقد ادعى في بحث منشور في سنة 1936 أنهما لاحظا خطأ عند 151 وحدة إكس، أو سيغان، حيث يتوقع وجود الخط $K_{\alpha 1}$ لإكسا اليود بالضبط.³ وفي سنة 1939، أفادا عن وجود خطي أشعة سينية آخرين متسقين مع وجود إكسا اليود وتوقعات قانون موزلي. وقد استخدمت هذه التوقعات استبانات أكثر ارتفاعاً من الاستبانات السابقة وشملت مزيداً من الضوابط والمراجعات، ما أدى إلى مزيد من الثقة بادعاءات المؤلفين بأنهما اكتشفا العنصر الجديد. وفي سنة 1941، كرّر طالب سابق لهولوبي وكوشوا، مانويل فالادارس (Manuel Valadares) التجارب مستخدماً مصدر أشعة سينية أكثر قوة بعدما عاد إلى بلده البرتغال. وبعد ذلك نشر نتائجه التي اقترحت أيضاً وجود إكسا اليود.⁴

في سنة 1942، دخل مزيد من العلماء النقاش بشأن العنصر الجديد. وأفادت امرأتان، برتا كارليك (Berta Karlik) وتروود برنرت (Traude Bernert)، تعملان في معهد بحوث الراديووم في فيتا، عن اكتشاف جسيمات ألفا صادرة من الاضمحلال الإشعاعي لنظير للرادون.⁵ واعتبرت أن الاضمحلال يشير إلى وجود العنصر 85 في جزء من سلسلة اضمحلال إشعاعي طبيعية. وفي ذلك الوقت، كان التخليق الاصطناعي

للعنصر 85، الذي يعتبر على العموم الاكتشاف الحاسم للعنصر، قد أجري في بيركلي. غير أن الباحثين النمساويين لم تكونا على علم بتلك الواقعة بسبب الافتقار إلى الاتصالات في أثناء الحرب.

وفي مقالة في سنة 1944، كتب هولوبي موجزاً مفصلاً عن عمله وعمل الآخرين على العنصر 85. وشمل ذلك وصفاً لستة خطوط أشعة سينية اعتقد أنها ناجمة عن اضمحلال إشعاعي طبيعي ينتج العنصر الجديد. ولجأ إلى عمل كارلك في توفير الدعم لتنتائج. وذهب هولوبي هذه المرة إلى حدّ اقتراح اسم للعنصر الجديد، «دور» الذي أخذه من الكلمة الرومانية التي تعني «التوق». بمعنى «التوق إلى السلام». ومثل هذا الاسم تحوّلاً مثيراً للاهتمام عن تسمية العناصر بالطريقة الوطنية التي سادت حتى عهد قريب.

مع اقتراب الحرب العالمية الثانية من نهايتها وبدء إنتاج بعض العناصر اصطناعياً، أصبح من المهم اتخاذ قرار بشأن كيفية تسمية العناصر ومن يحقّ له منحها أسماء جديدة. وقد اضطلع بهذه المهمة اختصاصي الكيمياء المشعة النمساوي المولد فريديريك بانث، الذي هرب من برلين إلى المملكة المتحدة في سنة 1936 بعد استبعاده من منصب الأستاذية بسبب أصوله اليهودية. وقد نشر بانث افتتاحية في مجلة «نيتشر» في سنة 1947، وكانت من آثارها، إلى جانب أمور أخرى، حرمان هولوبي وكوشوا من أي ادعاء بالاكتشاف. وكما ذكر من قبل، اقترح بانث أن تذهب حقوق التسمية إلى من أنتجوا العنصر بطريقة يمكن تكرارها، في الحالات التي يمنح فيها عنصر أسماء مختلفة من قبل فرق متنافسة. وقد عنى ذلك، في حالة العنصر 43، وجوب استبعاد ادعاء الزوجين نوداك اكتشاف الماسوريوم واستبدال

التكنيتيوم به، كما خلّقة سِغريه ويريه.

ولحظ بانث ادّعاء فريق بيركلي تخليق العنصر 85 وأن كارلِك وبرنرت أظهرتا أنه موجود في مصادر طبيعية. لكنه ذكر أن ما سماه «الادّعاءات السابقة»، من دون تسمية أي باحثين محدّدين، دحضها عمل كارلِك وبرنرت. وتلك جملة حاسمة لأنها جرّدت عمل هولوبي وكوشوا من الثقة، مع أن كارلِك وبرنرت لم تنطرقا إلى تلك الادّعاءات في حين أن جملة بانث تعني ضمناً أنهما فعلتا ذلك.⁶

شعر هولوبي بالقلق الشديد من افتتاحية بانث وما يترتب عليها من دحض عمله هو وكوشوا. فردّ بعزو وإغفال بانث إلى مصاعب في الاتصالات خلال الحرب. وأنكر أن كارلِك وبرنرت دحضتا بحثه عن العنصر 85، وأضاف «خلافًا لما يمكن أن يعتقد المرء بعد قراءة مقالة السيد بانث». وسرعان ما علّقت كارلِك على عمل هولوبي زاعمة أن بحثه ليس كافياً لاستحقاق اكتشاف العنصر 85 بسبب المقدار الصغير جداً للعنصر 85 في عيّنتهما، ما يرجّح تداخلات من عناصر أخرى في أطراف الأشعة السينية.⁷

في غضون ذلك، استجاب الباحثون الثلاثة في بيركلي الذين ادّعوا أنهم أنتجوا العنصر 85 اصطناعياً - كورسون، وماكنزي، وإميليو سِغريه المذكور سابقاً - لافتتاحية بانث واقترحوا اسم «الأسأتين» من الكلمة اليونانية «أسأتوس»، أي غير مستقرّ. لم يكن المؤلفون على علم بادّعاءات هولوبي وكارلِك لكنهم أّخروا اقتراح اسم بسبب استمرار ادّعاءات الألابامين من قبل ألسون ومؤيديه. وقد قرّ بانث، الذي أصبح الآن رئيس لجنة الاتحاد الدولي للكيمياء، اسم الأسأتين في سنة 1949،

وبذلك منح مزيداً من الدعم للادّعاء الأميركي.

وفقاً لتحليل ثورنتون وبوردت، ليس هناك شك في أن في وسع فرق الباحثين الثلاثة الادّعاء بأنهم اكتشفوا العنصر 85. ⁸ فقد ذكرنا أولاً أنه:

خلافاً للدراسات المعية الأخرى بالتحليل الطيفي بالأشعة السينية، فإن العنصر 85 كان موجوداً في عينات هولوبي وكوشوا. والغموض الوحيد يكمن في ما إذا كان جهازهما حساساً بالقدر الكافي لتمييز الخطوط الطيفية للعنصر 85. ⁹

ومن الحجج الإضافية التي يقدمانها دعماً لهذا الادّعاء أن هولوبي وكوشوا تمكّنا في ثلاثينيات القرن العشرين من كشف الخط L_{β} بوضوح لعنصر البولونيوم، وهو خط تقلّ كثافته انتقاله 500 ضعف عن كثافة الخطوط التي ادعيا أنهما لاحظاها في حالة العنصر 85. وأضافا بأن التجارب التي أجراها تلميذهما البرتغالي، فالاداراس، ضاعفت الشدّة ثلاث مرّات في خطوط الأشعة السينية المزعومة للعنصر 85 لأنه استخدم مصدراً للرادون، وهو ذو نشاط إشعاعي أكبر بثلاثة أضعاف.

لقد ذُكرت الأسباب التي أدت إلى عدم حصول هولوبي وكوشوا على كثير من الفضل على عملهما. وتشمل كلمات بانث التي انتقصت من قدرهما وأشارت إلى دحض «عمل آخر» على العنصر 85 رغم أن عمل هولوبي وكوشوا لم يُدحض. ويعزو ثورنتون وبوردت عدم منحهما الفضل إلى أن هولوبي على وجه التحديد ادّعى خطأ اكتشاف العنصر 87 وثبت خطؤه بما لا يدع مجالاً للشك في تلك الحالة. واقترحا أن ذلك الخطأ

المبكر دفع الآخرين إلى التشكيك بهولوبي مع أنه اكتشف العنصر 85.¹⁰

الهلفيتيوم والأنفلوهلفيتيوم

في سنة 1940، ادعى الفيزيائي السويسري والتر مايندر (Walter Minder، 1905-1992) أنه لاحظ اضمحلال بيتا ضعيفاً جداً للراديوم A. ولهذه الغاية وصل حجرتي تأين بمقياس كهربائي. واعتقد أيضاً أن اختباراته الكيميائية تؤكد التشابهات N لهذا العنصر باليود. سمي العنصر هلفيتيوم ومنحه الرمز Hv، نسبة لاسم سويسرا باللاتينية. وقد أوجزت مجلة «نيتشر» نتائج مايندر معلنة أنه نجح في عزل العنصر 85 وأنه قام بذلك بتفكيك عنصر الأكتينيوم المشع. ولاحظ الموجز أيضاً أن مايندر سمي العنصر الجديد هلفيتيوم تكريماً لبلده. وتابعت بالتعبير عن الأمل بتوفر تفاصيل إضافية عما قريب، مضيئة بأن صحيفة «لندن إيفنغ نيوز» لاحظت أن،¹¹

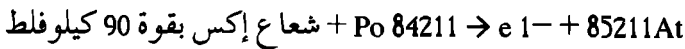
من المستغرب أن نعرف اليوم، وسط الحرب، أن كيميائياً سويسرياً صبوراً نجح أخيراً في عزل العنصر الكيميائي 85 المراد. ومن المستغرب أكثر أن اكتشافاً من هذا النوع ربما يأتي في مرتبة أعلى من جميع الأخطار والانتصارات في هذه الأيام من وجهة نظر التاريخ الطويل.

ثم في سنة 1942، كرّر مايندر، وزميله البريطاني، أليس لي سميث (Alice Leigh-Smith)،¹² على نحو مفاجئ الإعلان عن اكتشاف إكا اليود، وسمياه هذه المرة أنفلوهلفيتيوم، وهو مزيج أنغلياً (إنجلترا باللاتينية)

وهلفيتيا. لكن لم يستطع الآخرون تكرار هذه المزاعم ولم يسمع الكثير عن هذين الباحثين ثانية، في مجال اكتشاف العناصر المفقودة على الأقل.

الاكتشاف المعترف به عادة للعنصر 85

أنجز اكتشاف العنصر 85 ثلاثة علماء من بيركلي، ديل كارسون، وألكسندر ماكنزي، وإميليو سغريه في سنة 1940 (الشكل 2,8). فقد رجم العلماء الثلاثة هدفاً من البزموت، العنصر 83، باستخدام مسرع للجسيمات بناه إرنست لورنس.¹³ وهذا العنصر مفيد جداً في هذا السياق لأنه ذو نظير واحد فقط يبلغ عدده الكتلي 209، وهي مزية تبسّط تحليل المنتجات كثيراً. وقد عرض هدف البزموت المرجوم عدداً من أشكال الإشعاع، بما في ذلك إصدارات ألفا، وغاما، والأشعة السينية، والكترونات طاقة منخفضة، وجميعها تظهر العمر نفسه البالغ سبع ساعات ونصف. وتمكّن العلماء عبر سلسلة من التحليلات من تحديد المادّة التي تسبّب بعض هذه الإشعاعات، حيث يتغيّر العنصر 85 إلى بولونيوم عبر التقاط إلكترون في الغلاف K (K-electron capture)



ومن المثير للاهتمام أنهم أشاروا في المقالة التي تعلن الاكتشاف إلى احتمال وجود العنصر 85 في الطبيعة وذكروا العمل السابق لمايندر في سويسرا، بالإضافة إلى هولوبي وكوشوا في باريس، وكلاهما ادّعى أنه لاحظ العنصر.



الشكل 2,8 أحد مكشفي الأستاتين، ديل كورسون. بإذن من مجموعة إميليو سغريه في معهد الفيزياء.

وذكروا أيضاً العمل الذي أجراه هاملتون (Hamilton) وسولي (Soley) الذي ركّز فيه العنصر 85 في الغدد الدرقية لبعض خنازير غينيا، وأظهر إفرازاً مماثلاً لإفراز اليود الذي يوجد فوق العنصر 85 في الجدول الدوري. ومع ذلك فإن التجارب الكيميائية لكورسون وزمليه كشفت أن خصائص العنصر 85 أكثر شبهاً بخصائص جاره العنصر 84، أو البولونيوم، من اليود. على سبيل المثال، يترسّب العنصر 85 بمثابة سلفيدات ويرسّبه الزنك في حمض الكبريتيك، وكلاهما تفاعل تتميز به الفلزّات بدلاً من اللافلزّات مثل اليود.

النواحي العامة للأستاتين

للعنصر 85 ميزة غامضة لأنه من العناصر الصلبة القليلة جداً التي لم يتم الحصول عليها البتة بأي قدر كبير يكفي لرؤيته بالعين المجردة. ويقدر أيضاً أنه إذا أنتج منه عينة مرئية، فإنها ستتبخّر على الفور بسبب الحرارة المتولّدة عن النشاط الإشعاعي. ونتيجة لهذه الخصائص فإن السلوك الإجمالي للأستاتين، مثل نقطتي الانصهار والغليان، ولونه، ودرجة احتمال أن يكون فلزاً، لا يمكن أن يقدر إلا نظرياً.

وبناء على اتجاهات نقطة الانصهار بين عناصر الهالوجينات، يتوقع أن تكون قيمة الأستاتين 302 درجة سلزيوس، على الرغم من بعض الخلاف المحيط بهذا العمل، مثلما يوجد بشأن نقطة الانصهار المتوقعة البالغة 337 درجة سلزيوس.¹⁴ وثمة خلاف آخر يتعلّق بمسألة بسيطة في الظاهر، وهي هل توجد جزيئات ثنائية الذرة للأستاتين At_2 كما هي حال جميع الهالوجينات الأخرى؟¹⁵ ويتوقع أن يكون اللون داكناً جداً وأسود على الأرجح بناء على الاتجاه بين مجموعة الهالوجينات التي ينتمي إليها الأستاتين. ويرجع ذلك إلى أن الفلور عديم اللون تقريباً إلى أصفر، والكلور أخضر، والبروم بني، واليود أرجواني.

في سنة 1943، بعد مرور ثلاث سنوات على أول تخليق اصطناعي للأستاتين في مفاعل نووي، اكتشف أن العنصر موجود طبيعياً بمقادير زهيدة في قشرة الأرض. وهو في الواقع أكثر العناصر الموجودة في الطبيعة ندرة، إذ يبلغ إجماليه في أي وقت معيّن 28 غراماً فقط. وقد تم تخليق نحو ثلاثين نظيراً للعنصر أو وُجِدت في الطبيعة، وأطولها عمراً الأستاتين ^{210}At الذي يبلغ عمره النصفى 8,1 ساعات.

تسهم كل هذه الوقائع المتعلقة بالعنصر معاً في الافتقار التام تقريباً لتطبيقاته. والاستثناء الوحيد الاستكشاف المستمرّ لاحتمالات استخدام الأستاتين ^{211}At في المعالجة الإشعاعية (radiotherapy). فهذا النظير مصدر لجسيمات ألفا وذو عمر نصفي ملائم يبلغ 7,2 ساعة. وعلى نحو العنصر الموجود فوقه في الجدول الدوري، اليود، يميل الأستاتين إلى الاستقلاب في الغدة الدرقية، لذا يمكن استخدامه لمراقبة الحالات الطبية التي تنطوي على الدرقية ومنطقة الحلق على العموم. كما أن طبيعة إصدار ألفا القصير المدى لهذا النظير توحى بأنه يمكن استخدامه لمعالجة السرطان في جميع أنحاء الجسم مع تقليل المخاطر على الأنسجة المحيطة التي غالباً ما تثير مشكلة عند استخدام نظائر المعالجة الإشعاعية الأكثر رسوخاً. وإذا لم يكن ذلك واعداً، فإن الأستاتين ^{211}At لا ينتج إشعاع بيتا المضرّ كما تفعل كثير من النظائر الأخرى المستخدمة حالياً في طبّ الأشعة.

لكن على الرغم من أن هذه الخصائص العلاجية المحتملة الجذابة تخضع للاستكشاف منذ أكثر من خمس وثلاثين سنة، فإن المشاكل المتعلقة بسلامة إيصال الأستاتين ^{211}At إلى البشر، بالإضافة إلى القضايا المتعلقة بإنتاج النظير، لا تزال تؤخر الاستخدام التطبيقي لأندر العناصر قاطبة في الجسم الحي¹⁶.

النظام الدوري أمراً متزايد الصعوبة.

الادّعاءات المبكرة

كان هناك العديد من الادّعاءات الزائفة باكتشاف هذا العنصر، على نحو كل العناصر الأخرى في قصتنا. ولا بدّ أن الادّعاءات المبكرة بدت معقولة جداً في ذلك الوقت لأنها اجتذبت دعم أدلة الأشعة السينية وقانون موزلي. وعلى نحو النزاع على الأسبقية بشأن الهفنيوم في أوائل عشرينيات القرن العشرين، فقد انطوت قضية العنصر 61 على خلاف دولي. وهذه المرة لا يستطيع المرء أن يلقي باللائمة بأكملها على ما أعقب الحرب العظمى، لأن المتخاصمين تكوّنوا من إيطاليين وأميركيين، ووقع كثير من الخداع العلمي، كما كان معتاداً في ذلك الوقت، على صفحات مجلّة «نيتشر» اللندنية.

لكن مع أن طرفي النزاع على الأسبقية التمسا بيانات الأشعة السينية وقانون موزلي، فقد تبيّن أن كليهما لم يكن مصيباً. وكان كل منهما يعمل على طريقته في وهم تام، لأن العنصر 61 ذو نشاط إشعاعي عالٍ وغير مستقرّ، ولا يوجد طبيعياً على الأرض، ولم يتم عزله إلا بمقادير زهيدة بوسائل اصطناعية عندما تطوّرت هذه الطرق بالقدر الكافي في أربعينيات القرن العشرين.

لنبدأ من البداية. في سنة 1902، كان كيميائي الأتربة النادرة البوهيمي بوهوسلاف برونر (Bohuslav Brauner) أول من اقترح أن هناك عنصراً يقع بالضبط بين النيوديميوم والساماريوم لم يكتشف بعد. وحاضر عن ذلك في بلده بوهيميا، ونشر مقالات في بعض المجلات غير المعروفة

إلى حدّ ما، وقد عنى كل ذلك أن قلّة من الكيميائيين في المجال الأوسع اطلعوا على عمله. وفي سنة 1927، في أثناء ذروة النقاش بشأن العنصر 61، شعر برونر بأنه مجبر على تأكيد أسبقيته، لا بشأن اكتشاف العنصر وإنما فيما يتعلّق بتوقّعه في سنة 1902 بأن هذا العنصر يجب أن يكون موجوداً بين النيوديميوم والساماريوم (الشكل 2,9). فبعث برسالة إلى مجلة «نيتشر» بهذا الشأن، وهذه الرسالة مهمّة أيضاً لأنها تسلّط الضوء ثانية على أن طريقة موزلي ليست بالقوة التي تصوّر بها.

لكن لنقدّم أولاً القليل من الخلفية عن برونر. بدأ برونر في سبعينيات القرن التاسع عشر العمل على الموادّ الكيميائية التي تدعم صلاحية القانون الدوري لمندلييف. وأظهر على سبيل المثال أن البريليوم في مركّباته ثنائي التكافؤ لا ثلاثي التكافؤ، وبالتالي أكّد دقّة تصحيح مندلييف للوزن الذري للبريليوم وفقاً للقانون الدوري. وكان لدراسات برونر عن الأتربة النادرة وتحديد أوزانها الذريّة أهمية خاصة، ما دفع مندلييف إلى الإشارة إلى أن برونر من أوائل الكيميائيين الذين يؤكّدون الاستنتاجات المتعلّقة بالسيريوم من القانون الدوري. واقترح برونر أن توضع الأتربة النادرة في مجموعة متميّزة «بين دورية» (interperiodic) بعد اللانثانوم مباشرة. ولقيت فكرته الأساسية دعماً من اكتشافات البنية الذريّة في نهاية المطاف. وبناء على طلب مندلييف، كتب برونر أيضاً القسم الكبير «عناصر الأتربة النادرة» للطبعة السابعة من كتاب مندلييف الشهير «مبادئ الكيمياء» (Osnovy khimii).

النظام الدوري للعناصر

العدد	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
السلسلة	(R ₁ X) R ₂ O	(R ₂ X) R ₂ O ₂	(R ₃ X) R ₂ O ₃	RH ₄ R ₂ O ₄	RH ₃ R ₂ O ₃	RH ₂ R ₂ O ₂	RH R ₂ O	(R ₁ H) R ₂ O ₂
1.	Li	Be	B	C	N	O	F	
2.	Li7							
3.	23 Na	24 Mg	27 Al	28 Si	31 P	32 S	35.5 Cl	Fe 56, Co 59, Ni 59, Cu 63
4.	K 39	Ca 40	Sc 44	Ti 48	V 51	Cr 52	Mn 55	
5.	(83 Ga)	65 Zn	69 Ga	72 ?	75 As	78 Se	80 Br	Ru 104, Rh 104, Pd 106, Ag 108
6.	Rb 85	Sc 87	Y 89	Zr 90	Nb 94	Mo 96	? 100	
7.	(108 Ag)	112 Cd	114 In	118 Sn	120 Sb	126 Te	127 I	
8.	Cs 133	Ba 137	La 139	Ce 141,6	Di 146,7	Tb 148,8 ?	Sm 150 ?	? 152, ? 153, ? 154, ? 156
9.	156 ?	158 ?	? 159 La?	162 ?	166 Bi?	167 ?	? 169 Tm?	
10.	? 170	? 172	Yb 173	? 177	Ta 182	W 184	? 190	Os 193, Ir 193, Pt 195, Au 197
11.	(197 Au)	200 Hg	204 Tl	207 Pb	210 Bi	? 214 Ng ?	219 ?	
12.	? 221	? 225	? 230	Th 234	? 237	U 240	? 244	

الشكل 9,2 الجدول الدوري لبرونر في سنة 1882 مع استيعاب متجانس لعنصر الأثرية النادرة. Chem. News, 307, 58: في هذه المرحلة لم يكن هناك أي إشارة إلى عنصر بين النيوترونيم Nd والساماريوم Sm. بل إن النيوترونيم لم يكن قد اكتشف بعد.

كان برونر في الثانية والسبعين عندما بعث برسالته إلى مجلة «نيتشر» في سنة 1927. وقد بدأ بتهنئة الباحثين الأميركيين على اكتشاف الإلينيوم، وهو الاسم الذي أطلقوه على العنصر 61. وتابع بلفت الانتباه إلى بداية البحث الأميركي الذي ادّعى فيه أنه:

ليس هناك أسس نظرية لدعم احتمال وجود إكا النيوديميوم [كذا] إلى أن يثبت قانون موزلي أنه ما زالت هناك حاجة إلى تحديد العنصر 61.

بعد ذلك ذكّر برونر قراءه بأنه كرّس كل حياته العلمية تقريباً، منذ سنة 1877، لدراسة عناصر الأتربة النادرة ودورها في الجدول الدوري للعناصر. وعلّق برونر على كيفية توصّله إلى الاقتناع بأن الفجوة بين الوزنين الذريين للنيوديميوم والساماريوم كبيرة على نحو غير سوي وتصل إلى 6,1 وحدة من الوزن الذري. وكتب أن هذه القيمة أكبر مما هو قائم بين أي عنصرين في الجدول الدوري، وتتساوى في مرتبة الحجم مع الفجوة بين الموليبدنوم والروثينيوم (5,7) اللذين يوجد بينهما إكا المنغيز.² وأشار أيضاً أنها من رتبة الحجم نفسها للفجوة بين الأوزميوم والتنغستن (6,9)، اللذين يوجد بينهما دوي المنغيز.³

كان غرض برونر واضحاً. نظراً إلى توقع هذين العنصرين الموجودين تحت المنغيز، من قبل مندلييف أيضاً، فإن من الواضح أن الفجوة في الوزن الذري بين النيوديميوم والساماريوم تشير إلى وجود عنصر جديد آخر. ولا يحتاج المرء إلى طريقة موزلي بالأشعة السينية أو قانون موزلي للقيام بمثل هذا التوقع. وفي الفقرة نفسها يقدّم برونر ملاحظة ربما تكون

الأكثر أهمية لجميع العناصر التي تناولها هذا الكتاب. فقد ذكر أنه توقع اكتشاف العناصر السبعة ذات الأعداد الذرية 43، و61، و72، و75، و85، و87، و89. وذلك أمر مثير جداً للاهتمام بالنظر إلى أن موزلي، مزود بطريقته التجريبية وقانونه، لم يتمكن من التوصل إلى هذا الاستنتاج بدرجة مماثلة من الدقة التي حققها برونر، بناء على أسس كيميائية بحثة قبل نحو اثنتي عشرة سنة. ولم يتوقع موزلي نفسه بثقة إلا وجود العناصر 43، و61، و75 فحسب.

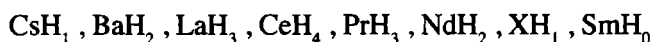
الاختلاف الوحيد بين سلسلة عناصر برونر السبعة والعناصر السبعة التي تناولها هذا الكتاب هو إدراج العنصر 89 وإغفال العنصر 91. والواقع أن عزل العنصر 89، الذي سمي أكتينيوم في نهاية المطاف، لم يكن قد حُسم تماماً عندما أعلن عن توقعاته في سنة 1902.¹ ولم تحسم المسألة إلا جزئياً في سنة 1904. لذا فإن «غلطة» برونر الوحيدة هي عدم توقع العنصر 91 الذي تناولنا اكتشافه في الفصل الثالث.

يمكننا هنا أن نتفهم إلى حد ما لماذا لم يتوقع برونر وجود هذا العنصر. فخلافاً للحالات الأخرى التي تمكّن فيها من البحث عن الفجوات بين الأوزان الذرية للعناصر المتعاقبة، يعرض الوزن الذري للعنصر 91 حالة نادرة من الانعكاس الزوجي الذي يوجد خمسة منه فقط في الجدول الدوري بأكمله.⁵ والأوزان الذرية (القيم الحديثة) للعناصر الثلاثة المتعاقبة الثوريوم (90)، والبروتكتينيوم (91) واليورانيوم (92) هي 232,03، و231,035، و238,02. من ناحية أخرى، ربما كان في وسع برونر أن يتوقع وجود عنصر بين الثوريوم واليورانيوم بغض النظر عن الانعكاس الزوجي لأن الفجوة بين الثوريوم واليورانيوم تبلغ 6 وحدات بالضبط تقريباً على

مقاس الوزن الذري.

أخيراً، يقدم برونر حجة أخرى كان قد ذكرها في المحاضرات أمام الجمعية الكيميائية البوهيمية وأكاديمية سانت بطرسبرغ، ولا تعتمد على الفجوات بين الأوزان الذرية للعنصر في الجدول الدوري. فقد كتب برونر:

عند ترتيب الهيدريدات الحقيقية (التي يكون فيها الهيدروجين سالباً مقابل فلزّ موجب) لعناصر السلسلة الثامنة للنظام الدوري وفقاً لترتيب الأوزان الذرية، نجد الانتظام الرائع التالي لتكوين هذه المركبات الغريبة:



وبما أن الساماريوم لا يتحد مع الهيدروجين لا بدّ من وجود عنصر مجهول بين النيوديميوم والساماريوم يشكّل الهيدريد XH_1 - وهذا العنصر هو الإلينيوم. وهكذا لم يكن توقعي عبثاً.

ادعاء إيطالي

في سنة 1924، اعتقد فريق من فلورنسا، بإيطاليا، أنه عثر على العنصر 61. غير أن لويجي رولا (Luigi Rolla) ولورنزو فرناندس (Lorenzo Fernandes) لم ينشرا نتائجهما حتى سنة 1926. ووصف رولا وفرناندس تجاربهما التي بدأت في سنة 1922 على رمل مونايزت برازيلي في مجلة كيميائية إيطالية. وكتبا أن تفحصهما لسلسلة أطيااف الأشعة السينية L لم يعط أي نتائج إيجابية. غير أنهما ادّعا أيضاً بأن التجارب على سلسلة K للعينات نفسها، وهي التي أجرتها الأستاذة برونّتي (Brunetti)، أعطت

الترددات المميّزة للعنصر 61. وأوضحا أنهما عندما حصلوا على هذه النتائج لأول مرة في يونيو 1924، كانت كمية المواد التي لديهما صغيرة جداً بحيث إنهما فضلاً إيداع الصور الفوتوغرافية للأشعة السينية في طرد مغلق في أكاديمية دي لينشي بدلاً من نشر نتائجهما:*

Il materiale che noi avevamo a disposizione era però in così piccola quantità , che non ritenemmo scrupoloso pubblicare allora nostre ricerche, e inviammo al R. Accademia dei Lincei (nel giugno 1924), un plico suggellato contenente i nostri risultati e le fotografie e dello spettro del quale si è parlato.⁶

وتابعا وصف كيف استأنفا مؤخراً عملهما على هذه العينات ونفّذا ثلاثة آلاف تبلور، يبدو اليوم رقماً مذهلاً، لتنقية عنصرهما الجديد المشبه به. وبدا أن نتيجة هذا العمل سلسلة جديدة من الأطياف التي أظهرت الشذوذات الطيفية المماثلة التي دفعتهما إلى الاشتباه بوجود عنصر في المقام الأول. ويبدو أن المؤلفين أقرّا بأنهما نشرتا نتائجهما بسبب الإعلان مؤخراً، من الولايات المتحدة، عن طريق هاريس (Harris)، وهوبكنز (Hopkins)، وإنتما (Yntema) الذين نشروا في غضون ذلك ادّعاءهم بأنهم اكتشفوا العنصر الذي سموه إينيوم نسبة إلى ولايتهم إينوي.

وفي السنوات الأخيرة، كتب فريق من الإيطاليين رواية مهمّة ومفضّلة عن عمل رولا وفرناندس.⁷ وعلى الرغم من أنهم لا يهدفون

* توجد ترجمة هذا الاقتباس والذي يليه في الحاشيتين 6 و8 من الفصل التاسع في آخر الكتاب. وقد أثبتنا النص الإيطالي الأصلي كما فعل المؤلف - المترجم.

إلى ردّ الاعتبار لما قام به مواطناهما، فإنهم لم يتمكنوا على ما يبدو من مقاومة منح بعض الفضل على الأقل للفريقين الفلورنسي والأميركي في اكتشاف العنصر 61:

Noi ipotizziamo che I campioni analizzati in Firenze ed in America potessero contenere tracce minime di questo elemento.⁸

تشارلز جيمس وب. سميث هوبكنز

المؤلفان التاليان اللذان ادّعا اكتشاف العنصر 61 سيبحثان على التوازي مع أنهما عملاً باستقلالية أحدهما عن الآخر، لأن قصّتهما متشابهتان إلى حدّ ما. وعلى الرغم من أن غالبية المصادر تبحث مساهمة سميث هوبكنز (Smith Hopkins)، فإن قلة قليلة منها تذكر معاصره تشارلز جيمس (Charles James). ويرجع هذا التحيز جزئياً إلى أن سميث هوبكنز نشر ادّعاءه في مجلة أكثر بروزاً، «مجلة الجمعية الكيميائية الأمريكية»، وربما أيضاً لأنه اقترح اسماً للعنصر، وهو ما لم يفعله جيمس الأكثر تحفظاً.⁹

فيما يلي بداية مقالة كلارنس مورفي (Clarence Murphy) الذي أجرى دراسة خاصة لعمل جيمس واكتشاف العنصر 61:

إن تاريخ البحث عن العنصر 61 واكتشافه أكثر تعقيداً والتباساً من أي من العناصر في الجدول الدوري. وما لا شك فيه أنه ما من عنصر «اكتُشف» ومنح اسماً أكثر من العنصر 61. فهناك سبعة ادّعاءات بالاكتشاف على

الأقل، كما سمي العنصر 61 في أوقاتٍ مختلفةٍ إنيوم، وفلورنتيوم، وسيلكونيوم، وبروميثيوم. كما أن قصة العنصر 61 ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتطور فهم البنية الذرية والجدول الدوري، وتقدم العلم والتكنولوجيا في القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. وتشمل القصة اكتشاف روتنجن الأشعة السينية، واستخدام موزلي أطيف الأشعة السينية لتحديد الأعداد الذرية. وتشمل الجهد الذي يزيد على مئة سنة لفصل الأتربة النادرة وإيجاد مكان لها في الجدول الدوري. أخيراً يشمل تطور استشراب تبادل الأيونات وبحوث القبلة الذرية في الحرب العالمية الثانية. وقد سمي العنصر 61 بروميثيوم في سنة 1946 من قبل مكتشفه كوريل، ومارنسكي، وغلندنين نسبة إلى بروميثوس الذي سرق النار من الآلهة وحُكم عليه بالعذاب الأبدي على جريمته، وذلك بمثابة تحذير من أن الطاقة الذرية يمكن أن تكون منقذاً أو مدمراً للبشرية. وقد غير الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية التهجئة لاحقاً من prometheum إلى promethium (مقتبس بإذن من «نشرة تاريخ الكيمياء» *Bulletin for the History of Chemistry*).

سأبدأ بتشارلز جيمس، إذ يبدو أنه بدأ عمله على الأتربة النادرة، والعنصر 61 على الخصوص، قبل سميث هوبكنز. وُلد جيمس في إنكلترا وأبدي اهتماماً بالكيمياء منذ صغره. وكتب وهو لا يزال في المدرسة الثانوية عدة رسائل إلى رامسي، الكيميائي في كلية لندن الجامعية ومكتشف جميع الغازات الخاملة باستثناء أحدها. بدأ جيمس البحث عن العنصر 61 بعد رسالة من السير وليام رامسي في سنة 1912، وفيها

أشار إلى وجود فجوات كبيرة بين الأوزان الذرية لبعض العناصر المتعاقبة في الظاهر في الجدول الدوري. وأشار رامسي على وجه التحديد إلى الفجوة المشتبه بها بين عنصري النيوديميوم والساماريوم.¹⁰

وفي وقت مبكر من سنة 1908، كان جيمس يراسل فارساً بريطانياً آخر، السير وليام كروكس الذي كان في الظاهر يحلّل بعض عينات الأتربة النادرة لجيمس. وتبرز علاقة جيمس بالنخبة الكيميائية البريطانية برسائل إلى هنري موزلي ومنه. وفي إحداها، في سنة 1912، قبل الاختراق الكبير الذي حققه موزلي بشأن العدد الذري، طلب موزلي من جيمس أن يرسل له عينة من الثوليوم. ومن الواضح أن بحث جيمس عن العنصر 61 لم يكن بحاجة إلى بيان موزلي القاطع بأن ثمة فجوة موجودة لهذا العنصر.

ظهر البحث الذي يدّعي فيه جيمس اكتشاف العنصر 61 في «وقائع أكاديمية العلوم الوطنية» (*Proceedings of the National Academy of Science*) وليس في دورية سائدة للكيمياء وقد شاركه في تأليفها تلميذه في الدراسات العليا في جامعة نيو هامشير، هيرمان فوغ (Herman Fogg)، بالإضافة إلى جيمس كورك (James Cork) من قسم الفيزياء في جامعة متشيغن. وكان كورك هو من أجرى القياسات الطيفية الحيوية بالأشعة السينية للعينات التي قدّمها جيمس وفوغ. فيما يلي مقطع رئيس من بحثهم:

عند إجراء قياسات الأطوال الموجية لخطوط إصدار K بالأشعة السينية لعناصر الأتربة النادرة، ظهرت آثار ضعيفة جداً تقابل سلسلة K للعنصر الذي يبلغ عدده الذري 61 على اللوح مع عينات محدّدة للساماريوم (62)

والنيوديميوم (60).

كان برنامج جيمس للبحث عن العنصر 61 قد بدأ في سنة 1923 واستخدم لهذا الغرض معادن مختلفة بما في ذلك الغادولينيوم، والإيتريوم، والمونازيت. وشمل العمل تجزؤات كثيرة باستخدام العديد من التقنيات التي طوّرها جيمس بنفسه على مرّ السنين واعتمدها العديد من الباحثين الآخرين للأتربة النادرة. وبعد الكشف عما سماه «آثار للعنصر» حاول جيمس تأكيد وجود العنصر باستخدام كمية كبيرة من المونازيت، الخام الذي بدا أنه يقدم أفضل النتائج الواعدة. أخيراً، أرسل الجزء الذي اعتُقد أنه يحتوي على العنصر الجديد إلى جيمس كورك، وهو خبير في إجراء القياسات بالأشعة السينية للعناصر الزهيدة.

وكما تبين، فإن هذه الخطوة الأخيرة التي تنطوي على التعاون مع جامعة أخرى سببت بعض التأخر في الظاهر، إذ استغرق كورك بعض الوقت للردّ على جيمس وتسليمه النتائج. وفي غضون ذلك، كان منافس جيمس، سميت هوبكنز، قد نشر ادّعاءه باكتشاف العنصر على أساس ما تبين أنه دليل أقلّ قوة بالأشعة السينية. وبالعودة إلى ادّعاء جيمس وكورك، فيما يلي البيانات الداعمة التي نشرها بشأن العنصر 61. فباستخدام بعض الخطوط التي اعتبرها أنها طيف الأشعة السينية L للعنصر، وبعد تأكيد اعتقادهما بأن الخطوط تقع بين خطوط العنصرين 60 و62، نشرنا النتائج التالية:

2,289، 2,279، 2,078، 2,038، 1,952، 1,799 and 1,725 وحدة إكس.

ولوضع الأمر في نصابه، قال المؤلفان إن هناك نحو عشرين خطأً في سلسلة L لكل عنصر، في حين أن سبعة منها فقط كانت قوية إلى حد ما. من الأمور الملفتة أنه في سنة 1949، بعد سنتين على تخليق العنصر 61، أو البروميثيوم كما سمي، شرع فريق من مختبر أوك ريدج الوطني لتحديد طيف L «للعنصر الحقيقي» ونشروا نتائجهم في «فيزكل ريفيو». كما قارنوا طيف العنصر المخلَق في أوك ريدج بالطيف الذي أفاد عنه جيمس، وفوغ، وكورك قبل ثلاث وعشرين سنة. وقدّمت نتيجة هذه المقارنة بالإضافة إلى المقارنة بالخطوط التي حصل عليها سميث هوبكنز مستقلاً في جدول أدناه (الشكل 3,9).

على الرغم مما يبدو أنه توافق وثيق بين نتائجهم ونتائج جيمس، وفوغ، وكورك، فإنه ليس هناك أي تلميح بطريقة أو بأخرى من قبل فريق أوك ريدج فيما إذا كانت القياسات تدعم الادّعاءات السابقة باكتشاف العنصر 61.

الخط	كورك، جيمس، وفوغ 1926	هاريس، إنشام، هوبكنز، 1926	العنصر 61 «الحقيقي» 1949
$L_{\alpha 1}$	2289		2287.9 ± 0.4 XU
$L_{\alpha 2}$	2279	2278.1 ± 3.0	2277.5 ± 0.3
$L_{\beta 1}$	2078	2077	2075.4 ± 0.4
$L_{\beta 3}$	2038		2037.9 ± 0.4
$L_{\beta 2}$	1952		1951.8 ± 0.6
$L_{\gamma 1}$	1799		1795.2 ± 0.9

الشكل 3,9 بناء على W. F. Peed, K. J. Spitzer, and L. E. Burkhart, The L Spectrum of Element 61, *Physical Review* 76, 143–144, 1949

$L_{\alpha 2}$	2288	2289
$L_{\alpha 1}$	2278	2279
$L_{\beta 1}$	2076	2078
$L_{\beta 3}$	2038	2038
$L_{\beta 2}$	1952	1952
$L_{\gamma 1}$	1796	1799

الشكل 4,9 مقارنة خطوط الأشعة السينية التي أفاد عنها كورك، وجيمس، وفوغ، بخطوط العنصر 61 «الحقيقي».

لنفترض أننا أخذنا التقديرات العليا لقياسات سنة 1949 بإدراج الأخطاء المقدرة كما نشرها المؤلفون في الجدول وأجرينا تدويراً لأرقامنا للتطابق مع الدقة التي أفاد عنها كورك وجيمس وفوغ. فيما يلي عندئذٍ تقارن مجموعتي القيم معاً (الشكل 4,9).

لاحظ أن اثنتين من هذه المقارنات تمثل الآن تطابقاً تاماً في حين تظهر اثنتان اختلافاً مقداره وحدة واحدة في نحو 2300 وحدة.¹² هذا هو السبب الذي جعل كلارنس مورفي الذي يكتب في سنة 2006 يبدو أيضاً داعماً للدعاء بأن جيمس اكتشف العنصر 61 بالفعل.¹³

كما ذكر أعلاه، تأخر بحث كورك وجيمس وفوغ بسبب الوقت الذي استغرقه كورك في إرسال قياساته إلى زميله. لكن ربما كان هناك عامل آخر أكثر أهمية أدى إلى إضعاف ادعائهم. عندما استعد جيمس تقريباً لنشر نتائجه، تسلّم طلباً من محرّر مجلة الجمعية الكيميائية الأميركية لتحكيم مقالة عن اكتشاف العنصر 61 كتبها سميث هوبكنز من جامعة إلينوي. بدلاً من محاولة إيجاد عيب في هذا البحث، أوصى جيمس المحرّر بنشره وبالتالي حال من دون احتمال تقديم بحثه، وكان يمكن على

الأغلب أن ينشر في المجلة نفسها.¹⁴ ولتجنّب أي تعارض في المصالح قدّم جيمس بحثه إلى «وقائع أكاديمية العلوم الوطنية».¹⁵ على أي حال، وفقاً للتقديرات الحالية لوفرة العنصر 61 في قشرة الأرض، فإنه يبدو أن جيمس لم يكن في وسعه عزل العنصر، بصرف النظر عن محاولة مورفي ردّ الاعتبار إلى عمل جيمس.¹⁶

اكتشاف العنصر 61 الحقيقي، في سنة 1947

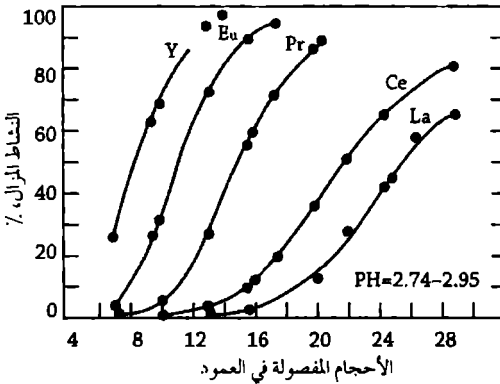
كما ذكر سابقاً، فإن مكتشفي هذا العنصر لم يشعروا في تخليقه عن عمد. بدلاً من ذلك، كانوا يحاولون تحديد مختلف منتجات التفاعلات النووية التي تستكشف في مشروع مانهاتن والبحوث العلمية التي يتيحها هذا المشروع.

كانت الطريقة التي استخدموها تدعى استشراب تبادل الأيونات (ion exchange chromatography). وكما في جميع أشكال الاستشراب، تشتمل التقنية على فصل المكونات في مزيج ما باستخدام سائل مذب ووسط مثل قطعة ورق نشاف أو عمود من مادة خاصة يؤدّي إلى معدّلات مختلفة من حركة المكونات في المزيج.

على الرغم من أن استشراب تبادل الأيونات بدأ في خمسينيات القرن التاسع عشر، فإنه تحسّن كثيراً في أثناء مشروع مانهاتن بسبب الحاجة إلى فصل العديد من نظائر الأتربة النادرة، بما في ذلك اليورانيوم والبلوتونيوم. وكانت المزية الجديدة استخدام موادّ ماصّة خاصة تستطيع الإغلاق على الأيونات المشحونة لنظائر الأتربة النادرة، وبعد ذلك تظهر معدّلات فصل مختلفة على طول العمود المختار.

عندما بدأ مارنسكي وغلندنين، وهما طالب ما بعد الدكتوراه وطالب خريج على التوالي، بدأ عملهما في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، أخذاً نتيجة توصل إليها مشروع مانهاتن وتوحي بأن هناك ناتجاً انشطاري غير محدد بين موجودان من بعض عناصر الأتربة النادرة في أعقاب معالجة هدف نيوديميوم بالإشعاع. وقد اتضح من هذه الدراسات المبكرة أن النظائر غير المحددة تتكون من البراسيوديميوم، أو النيوديميوم، أو العنصر 61.

استخدم التحليل باستشراب تبادل الأيونات الذي أجراه الطالبان في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا مبادل أيونات موجبة عضوية تخليقياً يدعى أمبرليت IR، وهو يتكون من مركب فينول فورملدهيد مسلفن. وأشارت التجارب إلى أن مستوى الفصل ذو علاقة عكسية بالعدد الذري للنظير المعني. ويمكن أن يشاهد ذلك في الشكل 5,9، الذي أعيد إنتاجه



الشكل 5,9 استشراب تبادل الأيونات ومنحنيات الفصل لمختلف العناصر. أعيدت طباعتها بإذن من الجمعية الكيميائية الأمريكية. نقلاً عن J. A. Marinsky, L. E. Glendenin, C. D. Coryell, The Chemical Identification of Radioisotopes of Neodymium and of Element, *Journal of the American Chemical Society*, 69, 2781-2785, 1947

من مقالتيهما، وفيه تفصل العناصر 59، و58، و57، أو البراسيوديميوم، والسيريوم، واللاتانوم على التوالي، بحيث يكون النظير ذو العدد الذري الأعلى، العنصر 59 أو البراسيوديميوم، أو ما يُفصل، يليه السيريوم (58)، ثم اللانثانوم (57).

وفي تجربة منفصلة تحتوي على العناصر 59، و60، و61 فقط (مجموعة البراسيوديميوم) بالإضافة إلى الإيتريوم، أنتجت مختلف النظائر المعنية ذرى الفصل المبينة في الشكل 6,9. وقد عيّنت الذروة عند الحجم 1,6 لتر لعنصر الإيتريوم. ومن بين الذرى الأربع المتبقية عيّنت تلك المقابلة لحجم 2,8 لتر للنيوديميوم (العنصر 60)، في حين عيّنت الذروة المرتفعة جداً 3,6 لترات للعنصر 59 أو البراسيوديميوم. وعن طريق المقارنة بالرسم السابق، والعلاقة العكسية بين مستوى الفصل والعدد الذري، اتضح أن ثاني أعلى قمة، وهي تقابل نشاطاً يبلغ 17 وحدة وحجماً يساوي 2,6 لتر، ترجع إلى نظير للعنصر الجديد 61 (الشكل 9,6).

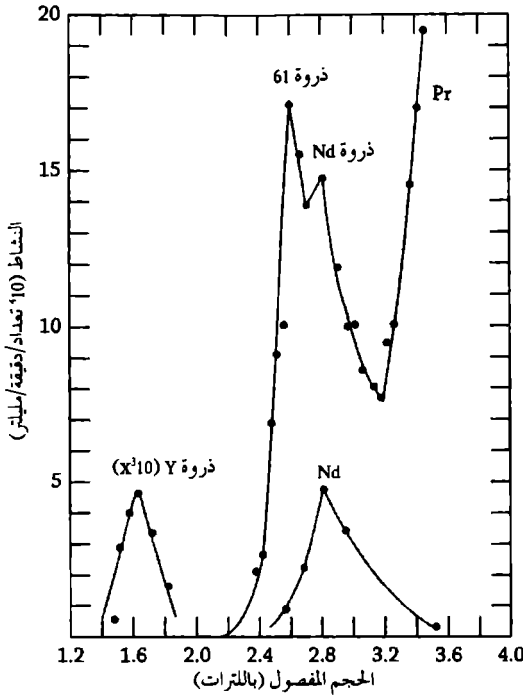
اكتُشف نظيران للعنصر في الواقع في هذه التجارب في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. الأول نظير ذو عمر نصفي يبلغ 3,7 سنة ويقابل الذروة التي وصفناها للتوّ، وذو عدد كتلي 147، في حين أن العمل الإضافي كشف عن نظير قصير العمر ذي عدد كتلي 147 ويبلغ عمره النصفى سبعا وأربعين ساعة.

موجز عن تشكيلات الذرات

يمكن فهم طبيعة الأتربة النادرة من منظور التشكيلات الإلكترونية لذرّات العناصر ومن معرفة كيفية شغل أغلفتها الإلكترونية عند التحرك

عبر الجدول الدوري. وتشمل محاولة فهم هذه المسألة إلقاء نظرة موجزة على الاختلاف بين النموذج القصير الأصلي للجدول الدوري المكوّن من 8 أعمدة (الشكل 2,9) والنموذج المتوسط الطول الشائع اليوم أو الجدول المكوّن من 18 عموداً (الشكل 1,9) والنموذج الطويل أو الجدول الدوري المكوّن من 32 عموداً (الشكل 7,9). ويشتمل الانتقال من النموذج القصير إلى النموذج المتوسط/الطويل على إزالة الفلزّات الانتقالية، أو الكتلة d، من الجسم الرئيس للجدول ووضعها في كتلة مركزية. ويعكس ذلك على نحو أفضل أيضاً أن التشابه بين العناصر الانتقالية مثل التيتانيوم، والزركونيوم، والهفنيوم أكبر من التشابه بين العناصر الأخرى التي تقع في العمود الرابع من الجدول الدوري القصير، وتحديداً الكربون، والسيليكون، والجرمانيوم، والقصدير، والرصاص. وعلى نحو ذلك، يستطيع المرء من حيث المبدأ وضع العناصر القليلة الأولى من الأتربة النادرة مثل اللانثانوم، والسيريوم، والبراسيوديميوم بين العناصر الانتقالية. لكن سرعان ما أدرك أن من المفيد فصلها في سلسلة متميّزة. ويتم ذلك برفع كتلة الأتربة النادرة بأكملها (الكتلة f). في النموذج المتوسط للجدول توضع كتلة الأتربة النادرة في أسفل الجسم الرئيس للجدول. بمثابة حاشية أو فكرة لاحقة. ويمكن تجنّب ذلك بالانتقال إلى النموذج الطويل للجدول (الشكل 7,9)، وهو يضمّ اثنين وثلاثين عموداً تأخذ فيها الأتربة النادرة مواقعها الطبيعية بحيث لا توجد انقطاعات في تسلسل الأعداد الذرية المتزايدة الذي يجده المرء في نموذج الجدول المتوسط الطول.

لكن ما تأثير التشكيلات الإلكترونية على هذه المسألة؟ تكمن الإجابة



الشكل 6,9 منحنى فصل كسر الأتربة النادرة الوسيطة. أعيد طبه بإذن من الجمعية الكيميائية الأمريكية. نقلاً عن J. A. Marinsky, L. E. Glendenin, C. D. Coryell, The Chemical Identification of Radioisotopes of Neodymium and of Element, *Journal of the American Chemical Society*, 69, 2781-2785, 1947

في أنه عندما يعبر المرء كتلة الفلزات الانتقالية، فإن الإلكترون الجديد الذي يميز كل ذرة عن سابقتها، مع قليل من الاستثناءات، يضاف إلى الغلاف قبل الأخير بدلاً من الغلاف الأخير أو الخارجي. على سبيل المثال، تشكيلات السكانديوم، والتيتانيوم، والماناديوم هي: $3d^1 [Ar]$ ، $4s^2$ ، و $4s^2 3d^2 [Ar]$ ، و $4s^2 3d^3 [Ar]$. في حال اجتياز كتلة الأتربة النادرة، فإن الإلكترون الذي يميز ذرة كل عنصر عندما يتحرك المرء عبر الجدول يشغل غلواً أكثر بعداً عن الغلاف الخارجي، وتحديدًا

قبل غلافين من الغلاف الخارجي.

إن النتيجة الكيميائية لهذه التأثيرات الإلكترونية الدقيقة عميقة. فعند التحرك عبر دور قصير يشمل فقط ما يسمّى مجموعة العناصر الرئيسة، مثل البريليوم، والبورون، والكربون، والنيتروجين، يشاهد المرء اختلافاً كبيراً في الخصائص الكيميائية والفيزيائية. هنا يدخل الإلكتروني التمييزي غلافاً خارجياً، وبالنظر إلى أن عدد الإلكترونات في الغلاف الخارجي يتحكّم بخصائص الذرّات، فإننا نلاحظ تبايناً كبيراً في الخصائص.

عندما نتحرّك عبر السلسلة الانتقالية الأولى، من السكّانديوم إلى التيتانيوم ثم إلى الفاناديوم مثلاً، فإن الإلكترون التمييزي يوجد في الغلاف قبل الأخير، وتكون النتيجة أن الاختلاف في الخصائص أقلّ بروزاً عبر سلسلة عناصر المجموعة الرئيسة. أخيراً، عندما يتعلّق الأمر بعبور سلسلة الأتربة النادرة، يكون تباين الخصائص أقلّ وضوحاً، إلى حدّ أن العناصر تبدو شبه متماثلة نتيجة دخول الإلكترونات التمييزية على مسافة غلافين من الغلاف الخارجي. لا تنسَ أن عدد الإلكترونات في الغلاف الخارجي هو الذي يحكم الخصائص. وفي الأتربة النادرة، لا يكون هناك غلاف خارجي واحد متماثل فحسب وإنما اثنان.

كان ماندليف يعمل وهو يجهل تماماً كل هذه المعلومات عن التشكيلات الإلكترونية وكيف تؤثر على السلوك الكيميائي. بل إن الإلكترون لم يكن قد اكتُشف في زمن نتائج مندليف، لذا فإنه استسلم نوعاً ما بشأن مسألة كيفية وضع الأتربة النادرة في النظام الدوري وطلب من الكيميائي التشيكي بوهوسلاف برونر الاضطلاع بهذه المهمة الشاقّة.

فصل الأتربة النادرة

تشمل الطريقة الكلاسيكية لفصل الأتربة النادرة القيام بعمليات تبلور تجزئي، وفي بعض الأحيان يبلغ العدد عدّة مئات أو حتى آلاف من هذه العمليات الشاقّة. مع ذلك، فإن كيميائي القرن التاسع وأوائل القرن العشرين ثابروا على هذه المهامّ وتمكّنوا من عزل جميع الأتربة النادرة باستثناء واحد، وتحديدًا العنصر 61. وكان لا بدّ من انتظار تطوّر تقنية فصل جديدة، تدعى الاستشراب بتبادل الأيونات، لاكتشاف هذا العنصر، كما رأينا.¹⁷

بالإضافة إلى ذلك، لم تنجح الطرق الكلاسيكية للفصل إذ لا يوجد ما يكفي من العنصر 61 في قشرة الأرض، إن وجد أصلاً. وحتى لو كان يوجد أي من العنصر، فقد اضمحل إلى عناصر أخرى نتيجة عدم استقراره وقصر عمر جميع نظائره. لذا فإن الاكتشاف الحقيقي للعنصر 61 يتطلّب التخليق الاصطناعي للعناصر كما كانت الحال بالنسبة للتكنيتيوم والأستاتين في الفصلين السابقين. وهكذا فإن اجتماع إنتاج العناصر التخليقية مع التقنيات المحسّنة لاستشراب التبادل الأيوني هو الذي سمح باكتمال الجدول الدوري لأول 92 عنصراً عندما سدّت الفجوة الخاصة بالعنصر 61 في سنة 1947.¹⁸ ومن المثير للاهتمام أيضاً إدراك أن الباحثين المعنيين بهذا العمل لم يتعمّدوا البدء بتخليق العنصر 61. بل كان بمثابة تجارب لإنتاج عدد من النظائر الجديدة ومحاولات لتمييز هذه المنتجات، ما قاد الكيميائيين والفيزيائيين إلى العثور على العنصر المفقود الذي أطلقوا عليه اسم البروميثيوم في نهاية المطاف.

يمثّل العنصر 61 في الجدول الدوري حالة غريبة ماثلة لحالة التكنيتيوم.

فعدده الذري ليس مرتفعاً جداً ومع ذلك فإن اكتشاف العنصر لم يتحقق إلا في سنة 1945. ويرجع ذلك إلى أن العنصر استثنائي في عدم استقراره، وهو الوحيد المشع من بين اللانثانيدات التي تبدأ باللانثانوم (57) وتنتهي بالايتريوم (70). وغالباً ما يوصف هذا العنصر بأنه شديد عدم الاستقرار بحيث لا يوجد طبيعياً في الأرض، ولكن في بعض النجوم فحسب. وتلك هي على الأقل الرواية القياسية المستقاة من العديد من الكتب والمصادر على الإنترنت. غير أن القصة الكاملة أكثر تعقيداً بكثير حتماً. البروميثيوم موجود طبيعياً في الأرض، بمقادير زهيدة جداً في معدن الأباتيت كما أفاد لأول مرة إرامتسا (Erämettä) في سنة 1965،¹⁹ وتلا ذلك مزيد من التقارير من كورودا الذي عثر على آثار للعنصر في البتشلند في سنة 1968. وتبلغ الكمية التي أفاد عنها كورودا وزملاؤه $x(1 + 4)$ 10⁻¹⁵ غرام من البروميثيوم ¹⁴⁷Pm في الكيلوغرام من البتشلند.²⁰

البطاريات النووية

استخدمت كثير من النظائر لصنع بطاريات نووية، أي بطاريات تنتج طاقة كهربائية من الاضمحلال الإشعاعي مباشرة. وتشمل نظائر مثل التريتيوم، أو ³H، والسترونشيوم في شكل ⁹⁰Sr. وفي حين أن التريتيوم مصدر منخفض لإشعاع بيتا، فإن السترونشيوم ⁹⁰Sr قريب من الطرف الآخر للمقياس. ويمثل البروميثيوم ¹⁴⁷Pm نوعاً من الحل الوسط المثالي، إذ إنه مصدر معتدل لإشعاع بيتا وفي الوقت نفسه لا ينتج الكثير من الإشعاع الثانوي غير المرغوب في أثناء العمل. لذا ليس من المفاجئ أن يتركز اهتمام كبير على تطوير البطاريات النووية

المستندة إلى البروميثيوم ^{147}Pm .²¹

البطاريات النووية مكلفة على العموم لكن أعمارها النصفية طويلة جداً، عشر إلى عشرين سنة، مقارنة بالبطاريات المستندة إلى الكيمياء التقليدية. لذا فإن البطاريات النووية ممتازة لتطبيقات مثل مركبات الفضاء، لكنها استخدمت أيضاً لتزويد المعينات السمعية والناظمات القلبية بالطاقة حيث من المرغوب عدم تغيير مصدر الطاقة باستمرار. وتكشف مقارنة خرج الطاقة النسبي لبطارية كيميائية مثل الليثيوم ببطارية بولونيوم ^{210}Po عن نسبة هائلة تبلغ واحداً لعشرة آلاف لصالح البطارية النووية.

بالعودة إلى البروميثيوم ^{147}Pm ، فإن هذا النظير يضمحل تحديداً عبر اضمحلال بيتا ويوفر مصدر طاقة مرتفعاً يبلغ أقصاه 220 كيلو إلكترون فلت وعمره النصفى 2,6 سنة. وكانت البطاريات القائمة على البروميثيوم والمستخدمه في الفضاء كبيرة إلى حد ما حتى عهد قريب، غير أن فريقاً من جامعة ميسوري أنتج بطاريات بحجم البني الأميركي، ويتطلع هذا الفريق إلى خفض سماكة مثل هذه البطاريات بما يماثل ثخانة شعرة إنسان. وتخزن هذه البطاريات شحنة تساوي مليون ضعف شحنة البطارية التقليدية وتشتمل على سائل بدلاً من شبه الموصل الصلب لتقليل الضرر الناتج عن الطاقة المتولدة.²²

الفصل العاشر

من العناصر المفقودة إلى العناصر التخليقية

يتكوّن الجدول الدوري من نحو تسعين عنصراً توجد في الطبيعة، وتنتهي بالعنصر 92، اليورانيوم. ويشار إلى عنصر أو اثنين من الاثنين وتسعين عنصراً بأنهما لا يوجدان على الأرض أو بأنهما موجودان بمقادير زهيدة. ولإضافة تعقيدات في رسم خط واضح بين العناصر الطبيعية والتخليقية، خلّق عنصر التكنيتيوم اصطناعياً أولاً ووجد لاحقاً بصورة طبيعية على الأرض بكميات زهيدة.

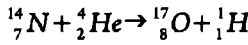
وكما رأينا في الفصول السابقة، نجح الكيميائيون والفيزيائيون في تخليق بعض العناصر التي كانت مفقودة بين الهيدروجين (1) واليورانيوم (92)، مثل البروميثيوم والأستاتين. لكن بالإضافة إلى ذلك، خلّق خمسة وعشرون عنصراً إضافياً جديداً أو نحو ذلك وراء اليورانيوم، على الرغم من أنه تبيّن بعد ذلك أن واحداً أو اثنين منها، مثل النبتونيوم والبلوتونيوم، يوجدان طبيعياً بمقادير شديدة الصغر.

عند وضع هذا الكتاب، العنصر الأكثر ثقلاً الذي يوجد دليل تجريبي عليه هو العنصر 118. وقد خلّقت جميع العناصر الأخرى بين 92 و118 بنجاح. بما في ذلك العنصر 117، الذي أعلن عنه في أبريل 2010. ويعني تخليق هذا العنصر أن كل حيّز في جدول دوري معاصر قد ملئ للمرّة الأولى، وربما الأخيرة، على الرغم من أن عدداً من العناصر لا تزال تنتظر

التصديق الرسمي.¹

يشتمل تخليق أي عنصر على البدء بنواة محدّدة وتعريضها للرجم بجسيمات صغيرة بغية زيادة عددها الذريّ ومن ثم تغيير هوية النواة المعنية. ومؤخراً، تعيّن طريقة التخليق بحيث يستحدث اصطدام بين نواتين كبيرتي الوزن بغية تشكيل نواة أكبر وأكثر ثقلًا.

إن كل هذه العمليات التخليقية إلى حدّ ما من تجربة رئيسة أجراها رذرفورد وسودي في سنة 1919 في جامعة مانشستر. فقد رجم رذرفورد وسودي نوى النيتروجين بجسيمات ألفا (أيونات الهليوم) وكانت النتيجة تحوّل نواة النيتروجين إلى عنصر آخر.



على الرغم من أنهما لم يدركا ذلك في البداية، فإنهما أنتجا نظيراً للأكسجين. وقد حقّق رذرفورد وزميله أول تحوّل (transmutation) لعنصر إلى عنصر مختلف تماماً.² وهكذا أصبح حلم السيميائيين القدماء بتحويل عنصر إلى عنصر آخر حقيقة واقعة، وذلك اختراق لا يزال يحقّق عناصر جديدة حتى الوقت الحاضر.

لم ينتج رذرفورد وسودي في الواقع عنصراً جديداً تماماً وإنما نظيراً غير عادي لعنصر موجود. وقد استخدمنا جسيمات ألفا الناتجة عن الاضمحلال الإشعاعي لنوى غير مستقرّة مثل اليورانيوم. ويمكن إجراء تحويلات مماثلة بذرات مستهدفة مغايرة للنيتروجين لكن تمتد إلى الكالسيوم، الذي يبلغ عدده الذريّ 20. وإذا ما أريد تحويل نوى أكثر ثقلًا فإن ذلك يتطلّب مقذوفات ذات طاقة أكبر من تلك التي تنتجها

جسيمات ألفا بصورة طبيعية ولم تصبح تلك المقذوفات الأشد طاقة إلا بعد حين.

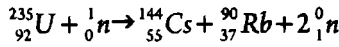
تغير الوضع في ثلاثينيات القرن العشرين، عندما ابتكر إرنست لورنس المسرع الحلقي في جامعة كاليفورنيا، بيركلي. وقد مكنت هذه الآلة من تسريع جسيمات ألفا ما يفوق مئات أو آلاف أضعاف سرعتها الناتجة عن عمليات الاضمحلال الطبيعية.³ وبعد ذلك بقليل، اكتشف جسيم مقذوف آخر، النيوترون، في سنة 1932، وهو جسيم ذو شحنة كهربائية صفرية، ما يعني أنه يستطيع اخراق الذرة المستهدفة من دون أن يعاني من أي نبذ من البروتونات ذات الشحنة الموجبة داخل النواة.

العناصر المفقودة والعناصر التالية لليورانيوم

وفي أواسط الثلاثينيات، ظل هناك أربع فجوات غير مملوءة في الجدول الدوري القائم. وهي تتكوّن من العناصر ذات الأعداد الذرية 43، و61، و85، و87 كما بيّنت الفصول السابقة. ومن المثير للاهتمام أن مندليف توقع ثلاثة من هذه العناصر بوضوح قبل سنوات عديدة وسماها إكا المنغيز (43)، وإكا اليود (85)، وإكا السيزيوم (87). وكما رأينا، فإن ثلاثة من هذه العناصر المفقودة الأربعة - التكنيتيوم، والأستاتين، والبروميثيوم - اكتُشفت أولاً نتيجة تخليقها اصطناعياً في القرن العشرين.

نأتي الآن إلى تخليق العناصر التالية للعناصر 1-92 الأصلية. في سنة 1934، قبل ثلاث سنوات من تخليق التكنيتيوم، بدأ إنريكو فيرمي، في روما، رجم عناصر مستهدفة بالنيوترونات في محاولة لتخليق بعض العناصر التالية لليورانيوم. وسرعان ما اعتقد فيرمي بأنه نجح في إنتاج

عنصرين، سماهما أوسونيوم (93) وهسبانيوم (94).⁵ لكن ذلك لم يتحقق وأضيف هذان العنصران إلى القائمة الطويلة للعناصر الزائفة التي لم تتحقق. بعد إعلان فيرمي عن نتائجه في كلمة قبول جائزة نوبل في السنة نفسها، سرعان ما تراجع عن الادعاء في نسخة خطية من كلمة نوبل. وظهر تفسير ادعاء فيرمي الخاطئ بعد سنة، في سنة 1938، عندما اكتشف هان، وستراسمان، وميتزر الانشطار النووي. واتضح بعد ذلك أنه عند الاصطدام بالنيوترون، تنقسم نواة اليورانيوم لتشكّل نواتين متوسطتي الحجم بدلاً من أن تتحوّل إلى نواة أكبر حجماً كما اعتقد فيرمي. على سبيل المثال، يشكّل اليورانيوم والسيزيوم والروبيديوم باتباع تفاعل الانشطار الذي كان هان، وستراسمان، وميتزر أول من شرحه.



كان فيرمي ومعاونوه يلاحظون في الواقع مثل هذه المنتجات الناشئة عن عمليات الانشطار بدلاً من تشكيل نوى أكثر ثقلاً مثلما اعتقدوا في البداية.

العناصر الحقيقية التالية لليورانيوم

في النهاية أجري تخليق وتحديد أول عنصر أصلي متحوّل، العنصر 93، في سنة 1939 عن طريق إدوين مكملان (Edwin McMillan) ومعاونه في جامعة كاليفورنيا، بيركلي.⁶ وقد سُمي نبتونيوم لأنه يلي اليورانيوم في الجدول الدوري مثلما يلي كوكب نبتون أورانوس عندما يتعد المرء عن الشمس. واكتشف فيليب أبلستون (Philip Abelson)، وهو كيميائي في

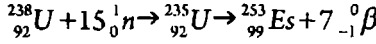
الفريق، أن العنصر 93 لا يتصرّف مثلما يتوقّع من إكا الرينيوم من موقعه المفترض في الجدول الدوري. وبناء على ذلك ونتائج مماثلة بشأن العنصر 94، أو البلوتونيوم، اقترح كيميائي آخر في بيركلي إجراء تعديل رئيس على الجدول الدوري (الشكل 3,3). ونتيجة لذلك، لم تعد العناصر من الأكتينيوم (89) فما يلي تعتبر فلزات انتقالية وإنما شبيهات بسلسلة اللانثانيدات. وبالتالي، لم يعد هناك حاجة إلى أن تتصرّف العناصر 93 و94 مثل إكا الرينيوم وإكا الأوزميوم لأنها عيّنت في أماكن مختلفة في الجدول الدوري المنقّح.

العناصر 94-100

جرى تخليق العناصر 94 إلى 97 ضمناً، وأسمائها البلوتونيوم، والأمريسيوم، والكوريوم، والبيركليوم في السنوات المتبقية من الأربعينيات، في حين أعلن عن العنصر 98، أو الكاليفورنيوم، في سنة 1950. وبدا كما لو أن التسلسل على وشك الانتهاء إذ كلما ازداد ثقل النواة، ازداد عدم استقرارها. وفي حين أن من الضروري مراعاة ما يكفي من المادّة المستهدفة لرجمها بالنيوترونات، لتحويل العنصر إلى عنصر أكثر ثقلًا، أصبحت مثل هذه المراكمة متزايدة الصعوبة.

عند هذه النقطة، تدخّل الاكتشاف بالمصادفة عندما أجري تفجير اختبري نووي حراري، تحت الاسم الرمزي مايك، على مقربة من جزر مارشال في المحيط الهادئ في سنة 1952. وكان من نتائج هذا الحدث إنتاج تدفّقات من النيوترونات التي مكّنت من حدوث تفاعلات نووية غير ممكنة بخلاف ذلك. على سبيل المثال، يصطدم نظير اليورانيوم ^{238}U

بما يصل إلى 15 نيوترونات لتشكيل نظير اليورانيوم U-253، فيخضع لاحقاً إلى فقدان سبعة جسيمات بيتا، ما ينتج عنه تشكيل العنصر 99 الذي سمي أينشتاينيوم.

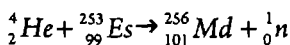


خُلِقَ العنصر 100، سمي فيرميوم، بطريقة مماثلة، نتيجة تدفق مرتفع للنيوترونات الناتجة عن انفجار مائل. وقد كُشف النقاب عن العنصر 100 بتحليل التربة المأخوذة من جزر قريية في المحيط الهادئ.⁷

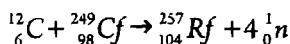
من 101-106

كان المضي قدماً على طول سلسلة النوى الأكثر ثقلاً يتطلب نهجاً مختلفاً لأن اضمحلال بيتا لا يحدث للعناصر التي يزيد عددها الذري على 100. وكانت هناك حاجة إلى العديد من الابتكارات التكنولوجية، بما في ذلك استخدام المسرعات الخطية بدلاً من المسرعات الحلقية. في المسرعات الخطية يمكن إنتاج حزم شديدة جداً من الأيونات عند طاقات جيدة التعريف. كما يمكن الآن استخدام جسيمات مقذوفة أثقل من النيوترونات أو جسيمات ألفا. وفي أثناء الحرب الباردة، كانت البلدان الوحيدة التي تمتلك مثل هذه المرافق القوتان العظميان، الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي.

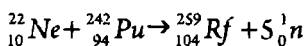
في سنة 1955، أنتج العنصر 101 بهذه الطريقة في المسرع الخطي في بيركلي:



سَمَّى العلماء الأَميركيون المشاركون في الاكتشاف العنصر الجديد نسبة للروسي مندلييف، في لحظة إيجابية في فترة متوترة بين البلدين بخلاف ذلك. ومكّنت تقنيّات المسرّع الخطي أيضاً الجمع الجديد بين النوى. على سبيل المثال، خلّق العنصر 104، أو الرذر فورديوم في بيركلي عن طريق التفاعل التالي،⁸



وفي دُبنا، بروسيا، استحدث نظير مختلف للعنصر نفسه عن طريق التفاعل،



خلّقت العناصر الستة جميعاً، من 101 إلى 106، باتباع هذا النهج. فنتيجة لتوتر الحرب الباردة بين الولايات المتحدة والاتحاد السوفياتي، بالإضافة إلى النزاعات الوطنية المعتادة التي يبدو أنها تحدث بشأن اكتشاف العناصر الجديدة، أدّت ادّعاءات تخليق معظم هذه العناصر إلى خلافات استمرّت عدّة سنين.

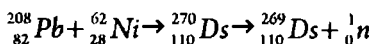
لكن عند بلوغ العنصر 106، نشأت مشكلة جديدة تطلّبت نهجاً جديداً آخر. في هذا الوقت، دخل العلماء الألمان هذا المجال بإنشاء معهد بحوث الأيونات الثقيلة في دارمشتات. وسميت التكنولوجيا الجديدة «الاندماج البارد» (cold fusion) على الرغم من أنها لا ترتبط بالاندماج

البارد السيئ السمعة في أنابيب الاختبار الذي أعلن عنه لاحقاً في سنة 1989 الكيميائيان فلشمان (Fleischmann) وبونز (Pons).⁹

الاندماج البارد في مجال تحويل العناصر تقنية تصطدم فيها النواتان معاً بسرعة أقل انخفاضاً من تلك المستخدمة سابقاً. ونتيجة لذلك تتولد طاقة أقل وبالتالي يقل احتمال انهيار النواة المجتمعة. وقد استنبط هذه التقنية في الأصل الفيزيائي السوفياتي يوري أوغانسيان (Yuri Oganessian)، لكنها أتقنت في المرفق الألماني.

العناصر 107 وما يليه

في أوائل الثمانينيات، تم تخليق العناصر 107 (بوريوم)، و108 (هاسيوم)، و109 (ميتريوم) بنجاح في ألمانيا باستخدام طريقة الاندماج البارد،¹⁰ إلى أن ظهر عائق آخر على الطريق. بحلول ذلك الوقت، كان جدار برلين قد انهار وبدأت الولايات المتحدة وما أصبحت الآن روسيا تعاوناً مثمراً مع الفريق الألماني. وفي عام 1994، بعد عشر سنوات من الركود، أعلن المختبر الألماني في دارمشتات عن تخليق العنصر 110 الذي شكّل باصطدام أيونات الرصاص بالنيكل،



بلغ العمر النصفى للعنصر 110، الذي سمي دارشتاتيوم لاحقاً، 170 ميكروثانية فقط.¹¹ وقد أسمى الألمان العنصر جرياً على اتجاه التسمية السابق للبركليوم والدونيوم من قبل الفريقين الأميركي والروسي على التوالي. وبعد شهر، أنتج المختبر الألماني العنصر 111، الذي سمي لاحقاً

روتجنيوم نسبة لروتجن، مكتشف الأشعة السينية.¹² وشهد فبراير 1996 تخليق العنصر التالي في السلسلة، 112، وأطلق عليه اسم كوبرنيكوم رسمياً في سنة 2010.¹³ ومُنح عنصران آخران، 114 و 116، اسمي فليفوريوم وليفرموريوم.

118-113

نُشرت عدّة ادّعاءات عديدة منذ سنة 1997 عن تخليق العناصر 113 وصولاً إلى 118، وكان آخرها العنصر 117 الذي خُلِق في سنة 2010.¹⁴ وليس من المفاجئ أن يكون عنصر ذو عدد ذرّي فردي أصعب العناصر تخليقاً لأن النوى ذات العدد الفردي للبروتونات أكثر انعدام استقرار من تلك التي لديها عدد زوجي منها. ويرجع ذلك إلى أن البروتونات، على نحو الإلكترونات، ذات دومة تساوي نصف أو ناقص نصف وتدخل في مداريات طاقة بأزواج متعاكسة التدويم. وبالتالي فإن الأعداد الزوجية للبروتونات تنتج في الغالب تدويمات إجمالية صفرية ومن ثم نوى أكثر استقراراً من تدويمات البروتونات في المزدوجة كما يحدث في النوى ذات الأعداد الفردية للبروتونات مثل 115 أو 117.

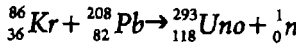
العنصر 114

كان تخليق العنصر 114 منتظراً إذ ساد توقّع منذ مدّة بأنه يمثّل «جزيرة استقرار» - أي جزء من جدول النوى ذات الاستقرار المعزّز. ادّعي تخليق العنصر أولاً في مختبر دُبنا في روسيا في أواخر سنة 1998 لكنه لم ينتج بشكل قاطع إلا بعد مزيد من التجارب في سنة 1999 تشمل صدم هدف

من البلوتونيوم بأيونات الكالسيوم 48. ¹⁵ وأكد المختبران في بيركلي ودارمشتات هذه النتيجة مؤخراً. وعند تحرير هذا الكتاب، أفيد عن نحو 80 اضمحلالاً تشمل العنصر 114، 30 منها تأتي من اضمحلال نوى أكثر ثقلاً مثل 116 و118. ولأكثر نظائر العنصر 114 عمراً كتلة تبلغ 289 وعمراً نصفياً يبلغ نحو 2,6 ثانية، في توافق مع التوقعات بأن هذا العنصر سيظهر مزيداً من الاستقرار، على الرغم من أن درجة الاستقرار الكبيرة التي يظهرها العنصر يعتبرها بعض الخبراء محيية للآمال.¹⁶

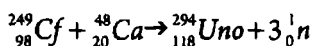
العنصر 118

في 30 ديسمبر 1998، نشر مختبرنا -ليفرمور بحثاً مشتركاً يدعي ملاحظة العنصر 118 نتيجة التفاعل التالي:¹⁷



وبعد عدّة محاولات فاشلة لإعادة إنتاج هذه النتيجة في اليابان، وفرنسا، وألمانيا، تم سحب الادّعاء في يوليو 2001. وشمل الخلاف المحيط بهذه القضية طرد عضو كبير في فريق أبحاث بيركلي، وهو من نشر الادّعاء الأصلي.¹⁸

بعد سنتين، أعلن عن ادّعاءات جديد من دُبنا وتلاها في سنة 2006 ادّعاءات إضافية من مختبر لورنس ليفرمور في كاليفورنيا. وقدّم العلماء الأميركيون والروس معاً أقوى بيان بأنهم كشفوا أربعة اضمحلالات للعنصر 118 في أعقاب التفاعل التالي:



وتوجد ثقة مرتفعة لدى الباحثين الآن بأن هذه النتائج موثوقة، ويشيرون إلى احتمال أن يكون الكشف أحداثاً عشوائية أقل من جزء من 100,000.¹⁹ ولا حاجة إلى القول إنه لم تجر أي اختبارات كيميائية على هذا العنصر في ضوء ندرة الذرات التي أنتجت وعمرها القصير جداً الذي يقل عن ملي ثانية واحدة.

في سنة 2010، تم تخليق عنصر يتسم بانعدام استقرار أشد، الرقم 117، ووصفه من قبل فريق كبير من الباحثين العاملين في دُبنا، بالإضافة إلى مختبرات عديدة في الولايات المتحدة. وقد بلغ الجدول الدوري مرحلة مثيرة للاهتمام، حيث توجد فيه 118 عنصراً في الطبيعة أو خلقت اصطناعياً في تجارب خاصة. ويشمل ذلك ستة وعشرين عنصراً تالياً لليورانيوم. وقد بدأت محاولات لاستحداث عناصر أكثر ثقلاً مثل 119 و120 وليس هناك من سبب للاعتقاد بوجود الانهاء الفوري لسلسلة العناصر التي يمكن تشكيلها. فقد أدت مسألة «نهاية الجدول الدوري» إلى كثير من النقاش والخلاف بين الخبراء، على الرغم من أن بعضهم يعتقد بأن العنصر 137 ربما يشكل الحد الأعلى لإنتاج العناصر الجديدة.²⁰ من ناحية أخرى، ثمة تقديرات أكثر دقة تراعي الحجم المحدود للنواة وتؤدي إلى توقع الحد الأعلى عند 172 أو 173.²¹

كيمياء العناصر التخليقية

يثير وجود عناصر فائقة الثقل مسألة جديدة مثيرة للاهتمام وتحدياً أيضاً للجدول الدوري. إنه يقدم مجالاً جديداً مثيراً لتوقعات نظرية تقارن

بالتائج التجريبية. وتوحي الحسابات النظرية بأن تأثيرات النسبية تصبح متزايدة الأهمية عندما تزداد الشحنات النووية للذرات. على سبيل المثال، يفسر الآن اللون المميز للذهب، ذي العدد الذري المتواضع 79، بالتماس النظرية النسبية. فكلما كبرت الشحنة النووية، ازدادت حركة الإلكترونات في الأغلفة الداخلية. ونتيجة لاكتساب سرعات نسبية، تجتذب الإلكترونات الداخلية إلى مسافة أقرب من النواة ولذلك بدوره تأثير يسبب حجبا كبيرا للإلكترونات الخارجية التي تحدّد الخصائص الكيميائية لأي عنصر حدّد. ويتوقّع أن تتصرّف بعض الذرات كيميائياً بطريقة غير متوقّعة من مواقعها المفترضة في الجدول الدوري.

وهكذا تشكّل تأثيرات النسبية آخر تحدّد لاختبار نطاق الجدول الدوري وشموله. عندما أجري فحص كيميائي للعنصرين 104 و105، الرذرفورديوم والدينيوم على التوالي، بلغ الوضع نوعاً من الأوج. وتبيّن أن السلوك الكيميائي للرذرفورديوم والدينيوم متخلف عما يتوقّع بالنظر إلى موقع هذين العنصرين في الجدول الدوري. بدا أن الرذرفورديوم والدينيوم لا يتصرّفان مثل الهفنيوم واللاتالوم على التوالي، كما يجب إذا ظلّ الجدول الدوري صالحاً لمثل هذه الأعداد الذرية المرتفعة.²²

على سبيل المثال، أفاد زرفنسكي (Czerwinski)، الذي يعمل في بيركلي، في سنة 1990 بأن كيمياء المحاليل للعنصر 104، أو الرذرفورديوم، تختلف عن تلك الخاصة بالزركونيوم والهنفيوم، وهما العنصران اللذان يقعان فوقه، وأفاد أيضاً أن كيمياء الرذرفورديوم تشبه كيمياء عنصر البولونيوم الواقع بعيداً في الجدول الدوري. في غضون ذلك، كشفت الدراسات المبكرة للدينيوم أنه لا يتصرّف أيضاً مثل العنصر الواقع فوقه،

وتحديداً التتالوم. وبدلاً من ذلك أظهر الدبنيوم تشابهات أكبر مع عنصر البروتكتينيوم الأكتينيدي. وفي تجارب أخرى بدا أن الرذرفورديوم والدبنيوم يتصرفان مثل عنصرين يقعان فوق الهفنيوم والتتالوم، وتحديداً الزركونيوم والنيوبيوم (الشكل 10,1).

لم يظهر استثناء التصرف الدوري المتوقع وأن وضع الجدول الدوري لا يزال آمناً إلا عند تفحص كيمياء عنصري السيبورغيوم (106) واليورانيوم (107). وتحدث عناوين المقالات التي أعلنت عن هذه الاكتشافات عن نفسها. فقد نشرت عناوين مثل «سيبورغيوم عادي على نحو مستغرب» و«يورانيوم مضجر»، وكلاهما يشير إلى استمرار الأمور على حالها بالنسبة للجدول الدوري.²³ وعلى الرغم من تأثيرات النسبية ربما كانت أوضح بالنسبة للعنصرين السابقين، فإنه يبدو أن السلوك الكيميائي المتوقع يفوق أيًا من هذه الميول. فالسيبورغيوم واليورانيوم يتصرفان مثلما يقتضي منهما الجدول الدوري.

يمكن أن يشاهد تصرف اليورانيوم باعتباره عضواً جيداً في المجموعة 7 من المقولة التالية التي اقترحتها في بعض المطبوعات.²⁴ ويمثل هذا النهج أيضاً «الدائرة الكاملة» للأنواع، لأنه يشمل ثلاثيات من العناصر. ربما يذكر القارئ من الفصل الأول أن اكتشاف الثلاثيات كان أول تلميح إلى الانتظام العددي المتعلق بخصائص العناصر في مجموعة مشتركة. وهنا الآن بيانات لقياسات أجريت على المحتويات الحرارية للتسامي (sublimation enthalpies) لمركبات متماثلة للتكنيتيوم، والرينيوم، واليورانيوم مع الأكسجين والكلور (الطاقة المطلوبة لتحويل صلب إلى غاز مباشرة) (الشكل 10,2).²⁵

قصة سبعة عناصر

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn

الشكل 10, 1 جزء من الجدول الدوري يظهر المجموعات 3-10 ضمناً.

$TcO_3Cl = 49 \text{ kJ/mol}$
$ReO_3Cl = 66 \text{ kJ/mol}$
$BhO_3Cl = 89 \text{ kJ/mol}$

الشكل 10, 2 المحتويات الحرارية لتسامي العناصر في المجموعة 6.

Tc
Re
Bh

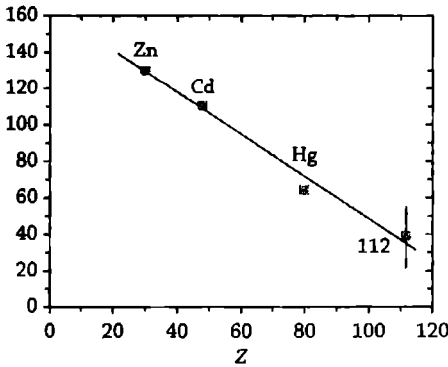
الشكل 10, 3 المجموعة 7.

يعطي توقع قيمة BhO_3Cl باستخدام طريقة الثلاثيات 83 كيلوجول/مول، أو خطأ بمقدار 6,7 في المئة مقارنة بالقيمة التجريبية أعلاه البالغة 98 كيلوجول/مول (الشكل 10, 2). ويبدو أن ذلك يقدم مزيداً من الدعم للفكرة بأن البوريوم يتصرف بمثابة عنصر أصيل في المجموعة السابعة (الشكل 10, 3).

أصبح تحدي تأثيرات النسبية للقانون الدوري أكثر أهمية في حالة العنصر 112، أو الكوبرنيكوم، وهو من أحدث العناصر التي تجرى عليها تجارب كيميائية.²⁶ فقد أشارت الحسابات النسبية مرة أخرى إلى سلوك كيميائي معدّل إلى حدّ الاعتقاد بأن العنصر يتصرف مثل غاز حامل بدلاً

من التصرف مثل الزئبق، الذي وُضع تحته في الجدول الدوري. وبيّنت التجارب التي أجريت على المحتويات الحرارية لتسامي العنصر 112 أن العنصر ينتمي بحق إلى المجموعة 12 إلى جانب الزنك والكاديوم والزرنيق كما بيّن الشكل 4,10.

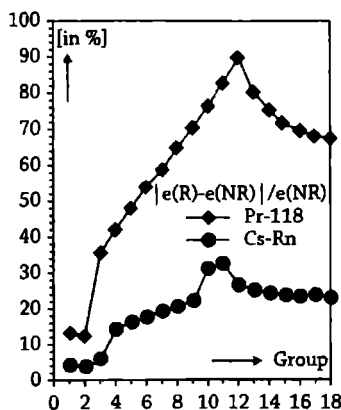
ومثل العنصر 114 قصة مماثلة حيث أوحى الحسابات والتجارب المبكرة بسلوك غاز خامل، لكن تجارب أجريت مؤخراً دعمت فكرة أن العنصر يتصرف مثل فلز الرصاص كما يتوقع من موضعه في المجموعة 14. ويبدو أن الخلاصة هي أن الدورة الكيميائية ظاهرة متينة على ما يبدو. فتأثيرات النسبية القوية بسبب الإلكترونات السريعة الحركة غير قادرة على ما يبدو على الإطاحة باكتشاف كيميائي بسيط تحقّق قبل نحو 150 سنة، لكن على المرء أن يكون منفتحاً على المفاجآت المحتملة بطبيعة الحال.



الشكل 4,10 المحتويات الحرارية لتسامي العناصر في المجموعة 12 تظهر أن العنصر 112 عضو أصيل في هذه المجموعة. (عن كيمياء الطور الغازي، H. W. Gäggeler, A. Türlér, In *The Chemistry of the Superheavy Elements*, M. Schadel, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2003). أعيد طبعه بإذن من سيرنغر ساينس ويزنس ميديا.

لا يبدو في المستقبل المنظور على الأقل أن نظرية النسبية توشك أن تحدث اضطراباً كبيراً في الجدول الدوري. ويرجع ذلك إلى أن تأثيرات النسبية لا تزداد بارتفاع العدد الذري. بل هناك تفاعل بين تأثيرات النسبية والتأثيرات الكمومية التي تحكم ترتيب مستويات الطاقة في أي ذرة. على سبيل المثال، تحدث في الدور السادس أكبر تأثيرات نسبية على ذرات الذهب لا في نهاية الدور حيث العدد الدور أكثر ارتفاعاً (الشكل 10,5). وقد سمي هذا التأثير لظاهرة النهاية العظمى للذهب بواسطة الكيميائي الفنلندي والخبير الرائد في الكيمياء الكمومية النسبية، بيكا بيكو (Pekka Pyykkö). ونظراً إلى أن عنصر الذهب يظهر أكثر تأثير نسبي من أي عنصر في دوره، فإن ذلك يجعله يظهر خصائص كيميائية وفيزيائية شاذة. على سبيل المثال، يظهر الذهب لوناً أصفر ذهبياً مميزاً، خلافاً للفلزات الانتقالية المحيطة به في الجدول الدوري. ويظهر أيضاً فلطية شاذة عندما يستخدم بمثابة خلية كهربائية ولديه ميل إلى تشكيل حالة أكسدة غير عادية وطائفة من المركبات الجديدة غير المتوقعة، وكثير منها لوقعها بيكو.²⁷

أظهرت الحسابات التي أجراها آخرون أن التأثير النسبي الأقصى في الدور السابع يجب أن يكون عند العنصر 112.²⁸ وكما يمكن أن يلاحظ من الشكل 10,3، يهبط التأثير بعد ذلك بحدّة في العناصر التالية. وبالنظر إلى إجراء فحوص على كيمياء العنصرين 112 و 114 وإلى أن النتائج لا تظهر علامات على سلوك شاذ مرتفع، فإن ذلك يوحي بأن كيمياء العناصر اللاحقة يجب أن تتصرّف مثلما هو متوقّع بناء على الجدول الدوري. ويبدو أن ذلك دليل آخر على الطبيعة الجوهرية التي يقوم عليها القانون



الشكل 10, 5 رسم للتأثير الأقصى للذهب (الدوائر) بالإضافة إلى الحالة المشابهة للدور اللاحق عند العنصر 112 (المربعات). أعيد طبعه بإذن من جون وايلي أند صنز. نقلاً عن:

P. Schwerdtfeger, M. Seth, Relativistic Effects of the Superheavy Elements, in *The Encyclopedia of Computational Chemistry* eds P. v. R. Schleyer, N. L. Allinger, T. Clark, J. Gasteiger, H. F. Schaefer III, P. R. Schreiner, John Wiley and Sons, New York, 1998.

الدوري، وأنه لا يزال يقف صامداً في وجه التهديدات من الميكانيكا الكمية والنسبية معاً.

المقدمة

1. S. Kean, *The Disappearing Spoon*, Little, Brown and Co., New York, 2010; H. Aldersey-Williams, *Periodic Tales*, Penguin Viking, London, 2011.
2. الموقعان الإلكترونيان
http://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php?PT_id=406
<http://guitarnoize.com/the-periodic-table-of-guitarists/>
3. J. Emsley, *The Elements*, 3rd Edition, Clarendon Press, Oxford, 1998
4. Eric, R. Scerri, *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York, 2007.
5. V. Karpenko, The Discovery of Supposed New Elements, *Ambix*, 27, 77–102, 1980
6. F. Habashi, The History of Element 43—Technetium, *Journal of Chemical Education*, 83, 213–213, 2006.
7. إذا أدخلنا أيضاً التطوّرات النظرية المتصلة بالجدول الدوري، فإن علينا إدخال ماريّا غويرت ماير، وشارلوت مور، وبيّرثا جفريز، والعديد من النساء الأخريات
8. هذا هو المبدأ الحقيقي الوحيد. لم يكن في وسع موزلي أن يذكر أن هناك أربعة عناصر مفقودة بأي درجة من الثقة.
9. من الطرق الأخرى لتحديد هذه العناصر القول إنها العناصر المفقودة بين حدود «الجدول الدوري القديم» الذي يتكوّن من العناصر 1–92.
10. أحدثت العناصر المخلّقة هو الرقم 117 الذي أعلن عنه في سنة 2010. ويعني ذلك أن الجدول الدوري اكتمل تماماً للمرّة الأولى، وربما للمرّة الأخيرة، من من

دون أي فجوة في أي من صفوفه. وستختفي هذه الميزة فور تخليق العنصر 119 لأن ذلك سيكون مؤشراً على دور طويل جداً من خمسين عنصراً، معظمها لن يرى ضوء النهار.

11. S. Lyle, Narrative understanding: developing a theoretical context for understanding how children make meaning in classroom settings, *Journal of Curriculum Studies*, 32, 45–63, 2000.
12. J. Emsley, *The A-Z of the Elements*, Oxford University Press, Oxford, 2001; A. Swertka, *A Guide to the Elements*, Oxford University Press, New York, 1998.
13. رسالة من ميتزر إلى هان، 22 فبراير 1911.
14. إن مصطلح العناصر السابقة لليورانيوم يستثنى اليورانيوم نفسه على وجه التحديد.
15. اكتشف الجدول الدوري ستة علماء على الأقل، كل مستقل عن الآخر، وآخرهم وأكثرهم نجاحاً ماندلييف. انظر كتابي عن الجدول الدوري E. R. Scerri, *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York, 2007.
16. J. Levy, *Scientific Feuds*, New Holland, London, 2010.
17. R. Merton, Priorities in Scientific Discovery, *American Sociological Review*, 635–659, 1957.
18. على سبيل المثال، كان أصدقاء وولاستون، لا وولاستون نفسه، من ألمح إلى أن فاراداي الشاب حظي بالفضل للتجارب التي أجراها على الدوران الإلكترونيومغناطيسي.
19. سيكون من المستغرب بطبيعة الحال أن يستنتج عالم اجتماع خلاف ذلك.
20. لم يسوّ النزاع إلا في سنة 1997، عندما اتخذت لجنة الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية لصالح الادعاء الأمريكي.
21. يشمل هذا العمل A. Brannigan, *The Social Basis of Scientific Discoveries*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981; G. Markus, Why Is There No Hermeneutics of Natural Sciences? Some Preliminary Theses, *Science in Context*, 1, 5–15, 1987; M. Mulkay, Norms and Ideology in Science, *Social Science Information*, 15, 637–656, 1976.
22. A. G. Gross, Do Disputes over Priority Tell Us Anything about Science? *Science in Context*, 11, 161–179, 1998.

23. E. Rancke-Madsen, The Discovery of an Element, *Centaurus*, 19, 299–313, 1976.
24. أشرت إلى النقطة نفسها بشأن اكتشاف الجدول الدوري في كتابي السابق عن الموضوع.
25. غلن سيورغ هو أول من أعلن عن اكتشاف البلوتونيوم، العنصر 94، في برنامج اختبار إذاعي للأطفال.
26. T. S. Kuhn, *Historical Structure of Scientific Revolutions*, 2nd ed., University of Chicago Press, Chicago, 1970, p. 55.
27. Roald Hoffmann and Carl Djerassi, *Oxygen*, a play, Wiley-VCH, 2001..
28. هناك مثل مثير للاهتمام هنا في مسألة هل يجب منح ماندليف الفضل الأكبر في اكتشاف الجدول الدوري مع أنه لم يكن المكتشف الأول. الرأي الأوسع يؤيد ذلك لأنه حقق اكتشافاً أكبر مما حققه منافسوه.
29. قبل زمن لافوزيه كان كثير من مما نسميه مركبات يعتبر عناصر في حين اعتبرت عناصرنا أجساماً مركبة.
30. T. S. Kuhn, *Historical Structure of Scientific Discovery*, *Science*, 136, 760–764, 1962
31. أعطي أعدادها الذرية بدلاً من أسمائها الحديثة كي لا أحكم مسبقاً على قضية اكتشافها.
32. A. F. Holleman, E. Wiberg, *Inorganic Chemistry*, Academic Press, San Diego, CA, 2001, p. 1695.
33. Eric R. Scerri, *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York, 2007.
- وقد انتهزت الفرصة أيضاً لتصحيح أي أخطاء ظهرت في كتاب سنة 2007 في هذين الفصلين، مع أنني أخطط لطبعة منقحة.

الفصل الأول

1. P. Needham, Has Daltonian Atomism Provided Chemistry with Any Explanations? *Philosophy of Science*, 71, 1038–1047, 2004; P. Needham, When did atoms begin to do any explanatory work in chemistry? *International Studies in the Philosophy of Science*, 18, 199–219, 2004.

2. P. J. Hartog, A First Foreshadowing of the Periodic Law, *Nature*, 41, 186–188, 1889; P. E. Lecoq De Boisbaudran, A. Lapparent, A Reclamation of Priority on Behalf of M. De Chancourtois Referring to the Numerical Relations Among Atomic Weights, *Chemical News*, 63, 51–52, 1891.
3. اختير الاسم أيضاً إشارة إلى «تيلوس»، الأرض باليونانية، من قبل دي شانكورتوا الذي كان جيولوجياً ومن ثم فإنه يهتم بالدرجة الأولى بتصنيف عناصر الأرض.
4. كان الأمير نابليون من بين تسلم نظام دي شانكورتوا الذي طبع طبعة خاصة.
5. A. E. Béguyer De Chancourtois, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 54, 1862, 757–761, 840–843, 967–971.
6. يمكن أن تعزى هذه الإخفاقات إلى وجود عناصر اللانثانيدات التي تقع بين عناصر السلسلتين الانتقائيتين الثانية والثالثة باستخدام المصطلحات الحديثة. وستكون اللانثانيدات مشكلة لكل مكتشفي الجدول الدوري لأن 6 من 14 عنصراً من هذه العناصر كان مكتشفاً قبل ستينيات القرن التاسع عشر، عندما طوّرت أوائل الأنظمة الدورية.
7. اكتشف أدلنغ مستقلاً، كما سئى أدناه، جدولاً مماثلاً يقارن الاختلافات في الأوزان الذرية بين العضوين الأول والثاني في مجموعات العناصر المتماثلة. بل إن أدلنغ تفوّق على نيولندز في إدراك عشر من هذه العلاقات مقابل ست نيولندز.
8. كان الانتظام الدوري الثماني صحيحاً في الكيمياء المعروفة في ذلك الوقت. الانتظام الدوري تساعي اليوم، ويبدأ العدّ من العنصر الأول وصولاً إلى أول عنصر مماثل ويشمله، (مثلاً، من الليثيوم إلى الصوديوم)، كما يناقش الفصل الأول.
9. J. A. R. Newlands, On the Law of Octaves, *Chemical News*, 12, August 18, 83–83, 1865.
10. J. A. R. Newlands, On the Law of Octaves, *Chemical News*, 13, 130–130, 1866.
11. من ناحية أخرى، يمكن تخطئة نيولندز لأغفاله فجوات لعناصر لم تكتشف بعد، وهو ما تنبّه إليه مندليف وأدخله لاحقاً.
12. هنا أعني المسافة بين عدد العناصر المتماثلة المتتابعة اتساقاً مع اقتباس نيولندز لا كما في أجزاء الكتاب الأخرى عند البدء بعنصر إلى وصولاً إلى مثيله وبما يشمل.
13. W. Odling, On the Proportional Numbers of the Elements, *Quarterly Journal of Science*, 1, 642–648, October 1864.

14. المصدر نفسه.
15. امتدح فان سيرونسن أدلغ محققاً في رأيه لأنه أول من أدرك هذه الميزة على الرغم من أنني اختلف إلى حد ما في ما يتعلق بالتفاصيل، كما يرد في المتن.
16. Carl A. Zapffe, Hinrichs, Precursor of Mendeleev, *Isis*, 60, 461–476, 1969 ص 464. الاقتباس من ص 464.
17. غير أن العلاقة مختلفة تماماً عما افترضه هنريكس.
18. من الواضح أن التوافق مع المسافات الفلكية تقريبي فحسب.
19. ينسب الفضل إلى إسحاق نيوتن لأنه أول من أجرى تجارب مماثلة بضوء الشمس الذي يتفرق إلى ألوانه المكوّنة بواسطة موشور زجاجي أيضاً.
20. يقال إن بنزن لم يثر البتة إلى عمل طالبيه السابقين مندليف ولوثر ماير، في كتابة أو في سياق المحاضرات، على الرغم من أن الطالبين السابقين حققا شهرة كبيرة على نظاميهما لتصنيف العناصر.
21. وفقاً للأوزان الذرية التي استخدمها هنريكس، فقد بلغ وزن الكالسيوم 20 والباريوم 68,5.
22. في الجدول الحديث تجمع هذه الفلزات الثلاثة معاً، لكن ليس في المجموعة نفسها مثل الكربون والسيليكون التي تنتمي إلى المجموعة 4 إلى جانب الجرمانيوم والقصدير والرصاص.
23. على سبيل المثال، جمع هنريكس الأكسجين، والكبريت، والسيلينيوم، والتيلوريوم معاً. ويجمع نيولندز هذه العناصر معاً أيضاً، لكنه يدرج الأوزميوم معها. ويجمع هنريكس النيتروجين، والفسفور، والزرنيخ، والإندم، واليزموث معاً. وكذلك يفعل نيولندز، لكنه يدرج المنغنيز محطناً، بالإضافة إلى الموليبدنوم في حيز واحد. ويجمع هنريكس الليثيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، والروبيديوم معاً. ويجمع نيولندز أيضاً هذه العناصر معاً لكن بدرج خطأ النحاس، والفضة، والسيزيوم، والذهب، والثاليوم.
24. G. Hinrichs, *The Elements of Chemistry and Mineralogy*, Griggs, Watson & Day, Davenport, Iowa, 1871; G. Hinrichs, *The Principles of Chemistry and Molecular Mechanics*, Day, Egbert & Fidler, Davenport, Iowa, 1874.
25. لا يعني ذلك القول بأن تصنيفه غير مرتبط بالأوزان الذرية، وإنما أن الارتباط غير مباشر في ضوء الحجّة الفلكية التي يبدو أنها أساس النهج.
26. غير أن دراساته الطيفية غير مقبولة على العموم. وقد انتقد بعض المؤرخين المعاصرين، بمن فيهم كلاوس هنتشل، عمل هنريكس، زاعمين أنه كان انتقائياً في البيانات التي أدخلها في حساباته.
27. كان جزء من الدافع وراء عمل كانيزارو على الأوزان الذرية يكمن في العمل المبكر لأفوغادرو كما ذكر سابقاً.

28. لوثر ماير في افتتاحيته عن أوراق كانيزارو في *Oswald's Klassiker der Exacten Wissenschaften*: 30, Arbis eines Lehrganges der theoretischen Chemie, vorgetragen von Prof. S. Cannizzaro, Leipzig, 1891.
29. ربما يجدر إيراد إشارة عابرة إلى ان مندلييف استغرق نحو تسع سنوات منذ حضوره المؤتمر نفسه قبل أن ينتج أيضاً جدول العناصر مرتبة وفقاً لترتيب التزايد للوزن الذرية.
30. ربما يكون مصطلح علاقة أفقية غامضاً قليلاً بالنظر إلى أن بعض الجداول تعرض المجموعات الكيميائية عمودياً والأخرى أفقياً. وأنا استخدم المصطلح هنا بالمعنى المذكور سابقاً في ما يتعلق بالنسب، أي العلاقات بين عنصرين ليسا متماثلين كيميائياً، أو عناصر يتزايد وزنها الذري باطراد. وتظهر هذه العلاقات أفقياً بمثابة أدوار في الجدول الحديث وفي العديد من الجداول في فترة لوثر ماير - مندلييف، ولكن ليس كلها.
31. في الجدول الحديث يرى المرء تزايداً أولياً من واحد إلى أربعة يليه تناقص إلى واحد ثانية عند الوصول إلى الهالوجينات. ويختلف جدول لوثر ماير عن الجدول الحديث في أنه اختار البدء بالمجموعة 4 الحديثة. كما أن الغازات الخاملة لم تكن قد اكتشفت في سنة 1864 ولم يدرك أن المجموعة الحديثة 3 مجموعة منفصلة.
32. كما ذكر في حالة أدلنغ، أصبح مثل هذا الفصل خاصة في الأشكال المتوسطة إلى الطويلة من الجدول الدوري.
33. هناك انتقاد بأن لوثر ماير لم يشر صراحة إلى الوزن الذري في جدول سنة 1864. غير أن هذا الاعتراض يبدو مبالغاً فيه قليلاً لأن ترتيب 28 عنصراً يستند بوضوح إلى الوزن الذري بحيث ربما لم يجد لوثر ماير حاجة إلى التعليق على هذه الخاصية الواضحة. وبطبيعة الحال، لا يمكن قول الأمر نفسه عن الجدول الصغير الذي يتكوّن من اثنين وعشرين عنصراً. لكن بما أن هذه العناصر فصلت عن الثمانية والعشرين عنصراً الأخرى فرمما يشير ذلك إلى أن لوثر ماير أدرك في هذه الحالات أن مفهوم الوزن الذري المتزايد لا ينطبق بصراحة على التصنيف الذي اختار اعتماده. مع ذلك فإن الوزن الذري يتزايد رأسياً نزولاً في كل عمود، وهناك فقط ستة تعارضات في تزايد الوزن الذري عبر الجدول. ونظراً إلى أن لوثر ماير صنف ما مجموعه خمسين عنصراً وأظهر ستة انعكاسات خاطئة فقط في الأوزان الذرية، وكلها توجد في الفلزات الانتقالية المثيرة للمشاكل (بالاستخدام الحديث للمصطلح)، فإن ذلك لا يمكن أن يعتبر فشلاً كبيراً من جانبه. وبالواقع أن الأخطاء الجسيمة الوحيدة التي ارتكبها في تحديد مواقع العناصر من حيث تزايد الوزن الذري تتعلق في عنصرين اثنين فقط، الموليبدوم والفاناديوم. وتوجد كل الانعكاسات الأخرى ضمن الحدود

المعقولة للخطأ في قياس الأوزان الذرية.

34. في الجدول الشهير الصادر في سنة 1869، وضع مندلييف الزئبق خطأ مع النحاس والفضة، وأخطأ في وضع الرصاص مع الكالسيوم، والسترونشيوم، والباريوم، وأخطأ أيضاً في وضع الثاليوم بين الفلزات القلوية. للاطلاع على مجموعة أكثر تفصيلاً للمقارنات، انظر كتاب سرونسن، ص 127-131. ولعل الخطأ في وضع الزئبق مع الفضة غير مفاجئ بالنظر إلى أن الهيدروجين، وهو الاسم اللاتيني للزئبق، يعني «الفضة السائلة».
35. J. E. Earley, How chemistry shifts horizons: element, substance, and the essential, *Foundations of Chemistry*, 11, 65-77, 2009; R. F. Hendry, *Lavoisier and Mendeleev on the Elements, Foundations of Chemistry*, 7, 31 - 48, 2005; E. R. Scerri, What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? *Foundations of Chemistry*, 14, 69-81, 2012.
36. في المطبوعات السابقة ادّعت خلاف ذلك. وأشكر فيليب ستوارت لتصويبي في هذه النقطة.
37. على الرغم من أن الجدول الأول يظهر قيمة 5,5 للأكسجين، فسرعان ما غيرّه دالتون إلى 8,0، وهي القيمة التي يناقشها النص هنا.

الفصل الثاني

1. A. Einstein, *Investigations of the Theory of the Brownian Movement*, with notes by R. Fürth, translated by A. D. Cowper, Dover Publications, Mineola, New York, 1956.
2. J. Perrin, *Mouvement brownien et répartition moléculaire*, *Annales de Chimie et de Physique*, 18, 1-114, 1909.
3. هذه فكرة أخرى عارضها مندلييف بشدة في حياته.
4. اعتقد سلفه في كمبردج، طومسون، أن الذرة تتكوّن من كرة ذات شحنة موجبة تدور في داخلها الإلكترونات على شكل حلقات.
5. A. J. van den Broek, *The α Particle and the Periodic System of the Elements*, *Annalen der Physik*, 23, 199-203, 1907.
6. A. J. van den Broek, *The Number of Possible Elements and Mendeléeff's "Cubic" Periodic System*, *Nature*, 87, 78, 1911.

7. N. Bohr, On the Constitution of Atoms and Molecules, *Philosophical Magazine*, 26, 1–25 , 476–502, 857–875, 1913 (known as the trilogy paper). Van den Broek is cited on p. 14.
8. H. G. J. Moseley, Atomic Models and X-Ray Spectra, *Nature*, 92, 554, 1913.
9. تشير حروف إكس إلى أنواع مجهولة تبيّن أنها نظائر لعناصر مختلفة في معظم الحالات. على سبيل المثال، تبيّن لاحقاً أن اليورانيوم إكس نظير للثوريوم.
10. لم يكن عملاً سدى لأن جهود بانث وفون هيفزي أتاحت لهما إنشاء تقنية جديدة للوسم الإشعاعي للجزيئات، وهو ما أصبح أساس نظام فرعي مفيد جداً ذات تطبيقات واسعة في مجالات الكيمياء الحيوية والأبحاث الطبية.
11. مع ذلك، سرعان بدأ أينشتاين اعتبار ميكانيكا الكمّ نظرية غير كاملة وأصرّ على انتقادها ما تبقى من حياته.
12. كلا هذين الافتراضين لغرض محدّد. على سبيل المثال، لم يستتج بور لماذا توجد الإلكترونات في حالات ساكنة مكمّمة، وإنما أكد أنها كذلك.
13. تزعم الغالبية العظمى لكذب الكيمياء والفيزياء المدرسية أن قاعدة ميدلونغ، أو $1 + n$ ، تقدّم ترتيب ملء المداريات الذرية. لكنها في الواقع، كما أشار شوارتز مؤخراً، تقدّم ترتيب ملء المداريات لكثافة عناصر s فقط من أي من العناصر المتبقية في الكتل الثلاث المتبقية في الجدول الدوري. ومع ذلك فإن القاعدة لا تزال مهمّة لأنها تستمرّ في تقديم التشكيل الإجمالي لمعظم الذرات في الجدول الدوري، إذا لم يكن الترتيب الدقيق الذي يملأ فيه المداري.
- W. H. E. Schwarz, *Journal of Chemical Education*, 87, 444–448, 2010. Also, see my recent blog in which I call the usually presented version the “sloppy aufb au,” <http://ericscerri.blogspot.com/>.
14. إنني أعتقد أن العديد من فلاسفة العلوم انجرفوا في الاعتقاد بأن التبسيط بين العلوم محكوم بالفشل. ومن حسن الحظ أن بعض العلماء، مثل الفيزيائي ستيفن واينبرغ، ذكروهم بخلاف ذلك
- Weinberg, Steven, “Reductionism Redux,” *The New York Review of Books*, October 5, 1995. Reprinted in Weinberg, S., *Facing Up*, Harvard University Press, 2001.

الفصل الثالث

1. مندلييف كما نقل عنه في
Smith, J. R. *Persistence and Periodicity*, unpublished PhD thesis, University of London. 1975, p. 401.
2. من ناحية الوزن الذري، يجب وضع اليود قبل التيلوريوم في الجدول الدوري لكن ذلك يعني ضمناً أن التيلوريوم من الهالوجينات وأن اليود عضو في مجموعة الأكسجين. والواقع أن العكس هو الصحيح من الناحية الكيميائية. وقد تغلب المكتشفون المبكرون للنظام الدوري على هذه المشكلة بإجراء انعكاس وتجاوز ترتيب تزايد الوزن الذري. واعتقد ماندلييف أن هناك خطأ في تحديد الوزن الذري لليود أو التيلوريوم وتحدى خبراء التجارب لتكرار قياساتهم. لكن ترتيب الوزن الذري لم يختلف على الرغم من القيام بعدد من هذه المحاولات. فالوزن الذري لليود أقل بالفعل من الوزن الذري للتيلوريوم.
3. لا تؤخذ هذه الواقعة ضد قدرات مندلييف التوقعية لأنه استخدم الاتجاهات الأفقية كثيراً في العديد من الحالات الأخرى.
4. كان كروكس مؤسس مجلة «جورنال أو كيمكل نيوز». للاطلاع على سيرة كروكس، انظر
William H. Brock, *William Crookes (1832–1919) and the Commercialization of Science*, Ashgate, Aldershot, UK, 2008.
5. سميت عناصر أخرى نسبة للأجرام الفلكية، بما فيها السيريوم نسبة لسيروس، والبالاديوم نسبة لبالاس، ومؤخراً النبتونيوم نسبة لنبتون، والبلوتونيوم نسبة لبلوتو.
6. ليس من الواضح إطلاقاً إذا كان بكريل أول من اكتشف النشاط الإشعاعي خلافاً لمعظم الروايات والرواية المقدمة هنا أيضاً. انظر
T. Rothman's book, *Everything's Relative*, Wiley, Hoboken, NJ, 2003, p. 46–52.
- يقدم روثمان حجة جيدة لاكتشاف سابق حققه آبل نيبس دي سان فكتور، وهو أخو جوزف نيسيفور نيبس، أول من أعد صورة فوتوغرافية.
7. William Crookes, Radio-Activity of Uranium, *Proceedings of the Royal Society of London*, 66, 409–423, 1899–1900.
8. P. Thyssen, Accommodating the Rare-Earths in the Periodic Table , M.Sc. Thesis, Catholic University of Leuven, 2009.
9. نقلاً عن سايم في كتابها
R. Sime, Lise Meitner, A Life in Physics , University of California Press, Berkeley, CA, 1996.

10. خلال سنتين لقيت فرضية فان دن بورك بأن الشحنة الذرية هي المعيار المحدد لأي عنصر، دعماً تجريبياً من عمل موزلي الكلاسيكي، لكن ذلك سيحدث في المستقبل.
11. باستثناء الراديوم، نقل غلن سيبورغ في النهاية هذه العناصر الثلاثة بالإضافة إلى غيرها إلى قسم مختلف من الجدول الدوري. وقد شكلت جزءاً من سلسلة الأكتينيدات وأدرك أن أي تماثل ظاهري مع سلسلة الفلزات الانتقالية الثالثة ليس إلا تماثل جزئي.
12. رسالة من ميتزر إلى هان، 25 أكتوبر 1916. وهذه الرسالة والرسائل المقتبسة اللاحقة من
- Otto Hahn Nachlass in the Bibliothek und Archiv der Max-Planck-Gesellschaft en, Berlin-Dahlem.
13. رسالة من ميتزر إلى هان، 22 فبراير 1917.
15. رسالة من ميتزر إلى هان، 28 نوفمبر 1917.
15. O. Hahn, L. Meitner, Die Mutter substanz des Actiniums, ein Neues Radioaktives Element von Langer Lebensdauer. *Physikalische Zeitschrift*, 19, 208–218, 1918.
16. رسالة من ستيفان ماير إلى ميتزر، 5 يونيو 1918 (أرشيف كلية تشرشل، كمبردج).
17. من المستغرب أن نرى أن العديد من الكتب الشهيرة والمواقع الإلكترونية ذات الصلة باكتشاف العناصر تصرّ على إدراج سودي وكرانستون باعتبارهما مكتشفين مشاركين للعنصر 91، وفي بعض الأحيان المكتشفين الوحيديين له.
18. أجب هان أيضاً على محو كل ذكر لميتزر عند تقديم العروض الإيضاحية عن أبحاثه.
19. O. Hahn and F. Strassmann, *Die Naturwissenschaften* 27, p. 11–15 (January 1939) received December 22, 1938.
20. Sharon McGrayne, *Nobel Prize Women in Science*, John Henry Press, Washington, D.C., 2002
- وتستند روايتي عن ميتزر والانشطار النووي إلى هذا المصدر كثيراً.
21. بعد أن درست هذه المسألة دراسة وافية، فإنني أراجع عن الملاحظة التي أدليت بها في كتابي الأول عن الجدول الدوري،
- The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York & Oxford, 2007.
22. تذكروا أن مندلييف تنبأ بوجود العنصر وأنه أسماه إكابتالوم.
23. P. Armbruster, F. P. Hessberger, Making New Elements, *Scientific American*. Sept. 1998, 72–77.
- تلت هذه المقالة مقالة أخرى عن تاريخ النظام الدوري، ص 78–83 للمؤلف.

24. W. B., Jensen, Classification, Symmetry and the Periodic Table, *Computation and Mathematics with Applications*, 12B, 487–509, 1986; H. Merz, K. Ulmer, Positions of lanthanum and lutetium in the Periodic Table, *Physics Letters*, 26A, 6, 1967; D. C. Hamilton, M. A. Jensen, Mechanism for Superconductivity in lanthanum and uranium, *Physical Review Letters*, 11, 205, 1963; D. C. Hamilton, Position of lanthanum in the periodic table, *American Journal of Physics*, 33, 637, 1965; E.R. Scerri, Which Element Belongs in Group 3?, *Journal of Chemical Education*, 86, 1188–1188, 2009.
25. A. V. Grosse, The Analytical Chemistry of Element 91, *Journal of the American Chemical Society*, 52, 1742–1747, 1930.
26. ثمة مقالة جديدة مثيرة للاهتمام تورد كيمياء البروتكتينيوم حتى تاريخه، R. E. Wilson, Peculiar Protactinium, *Nature Chemistry*, 4, 586–586, 2012.
27. اكتشف الثوريوم من قبل الكيميائي السويدي الشهير جونز جاكوب برزيلبوس في سنة 1828. وقد سماه ثوريوم نسبة إلى ثور، إله الرعد عند النرويجيين القدماء. وقد اكتشفت ماري كوري وغيرهارد كارل شميدت كل على حدة النشاط الإشعاعي للعنصرين في سنة 1898. وتم اكتشاف اليورانيوم قبل الثوريوم في سنة 1789 من قبل الكيميائي الألماني مارتن هينريخ كلابروث الذي كان يعمل في برلين.

الفصل الرابع

1. E. R. Scerri, *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York, 2007.
2. تاريخ هذا المجال معقد واشتمل على مضاعفة مثل هذه العناصر من أربعة في زمن مندليف إلى اكتشاف أربعة وعشرين عنصراً في نهاية المطاف لجعل مجموع عناصر الأتربة النادرة ثمانية وعشرين عنصراً.
3. ناقش هليج غراغ وآخرون النزاع على الأسبقية بين أوربان وفون فلسباخ، H. Kragh, in Elements No. 70, 71, and 72: Discoveries and Controversies, in C. H. Evans (Ed.), *Episodes in the History of Rare Earth Elements*, 67–89, Kluwer Academic Publishers, 1996.
4. اختيار اسم سلتيوم مستمد من الشعوب السلتية التي لا تزال لغاتهم قائمة في أنحاء من ويلز وأيرلندا، وربما الأهم بالنسبة لأوربان في منطقة بريثاني الفرنسية.

5. مساعد موريس دي بروغلي، أخي المؤسس الشهير لميكانيك الموجات لويس دي بروغلي.
6. للاطلاع على رواية أكمل لهذه الحادثة، انظر
E. R. Scerri, *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York, 2007.
7. اقترحا في الواقع اسم دانيوم أولاً نسبة إلى الدنمرك. انظر
H. Kragh, P. Robertson, On the Discovery of Element 72, *Journal of Chemical Education*, 56, 456–459, 1979.
8. D. Coster and G. Hevesy, On the New Element Hafnium, *Nature*, 111, 462–463, 1923.
9. المصدر نفسه.
10. موريس أخو لويس دي بروغلي الأكثر شهرة، ومكتشف ميكانيك الموجات.
11. كانت هولندا، بلد كوستر، محايدة في الحرب العظمى وبالتالي يمكن اعتبارها في «الجانب الخطأ». وكانت هنغاريا جزءاً من الإمبراطورية النمساوية المجرية وبالتالي نظر إليها نظرة مريبة أيضاً.
12. نقلاً عن
G. Hevesy, *Adventures in Radioisotope Research*, Pergamon Press, Oxford, 1962, p. 11.
13. من الأسباب الأخرى لاختياره اسم «أوشيانيوم» أنه مثل خرافي لعنصر التيتانيوم، الذي يقع العنصر 72 بخانتين في الجدول الدوري.
14. رسالة من سكوت إلى كوستر وهيفزي، 5 فبراير 1923
(*Bohr Scientific Correspondence*, Niels Bohr Institute, Copenhagen).
15. *The Times* of London, February 2, 1923.
16. H. M. Hansen, S. Werner, Optical Spectrum of Hafnium, *Nature*, 111, 322–322, 1923.
17. G. Urbain, Sur le celtium, élément de numéro atomique 72, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 176, 469–470, 1923.
18. N. Bohr, Letter to Rutherford, February 9, 1923, *Niels Bohr Scientific Correspondence*, Bohr Institute, Copenhagen.
19. N. Bohr, Letter to Rutherford, February 9, 1923, *Niels Bohr Scientific Correspondence*, Bohr Institute, Copenhagen.
20. Rutherford, Letter to N. Bohr, February 15, 1923, *Niels Bohr Scientific Correspondence*, Bohr Institute, Copenhagen.

21. Eric Scerri, *Collected Papers in Philosophy of Chemistry*, Imperial College Press, London, 2008.
22. K. R. Popper, *The Open Universe*, London, Hutchinson, ed. W. W. Bartley III., 1982, pp. 163–164.
23. شاركت شخصياً في تطوير فلسفة الكيمياء وأتيحت لي فرصة فريدة في الواقع للاجتماع بكارل بوبر في لندن ومناقشة هذه المسألة، قبل سنتين فقط من وفاته في سنة 1994 في سنّ الثانية والتسعين. وقد تقبل بوبر بعض جوانب انتقادي.
24. Eric Scerri, *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York, 2007.
25. H. Kragh, Conceptual Changes in Chemistry: The Notion of a Chemical Element, ca. 1900 – 1925, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 31, 435–450, 2000.
26. بالإضافة إلى ذلك، لا يستطيع المرء أن يستبعد عنصر القومية حتى هنا. ومن المقبول في الظاهر أن ينتقد ديمركي مثل كراغ مواطناً ديمركياً مثل بور لكن لا يقبل ذلك من أجنبي مثلي.

الفصل الخامس

1. Noddack, W., Tacke, I., Berg, O. Die Ekamangane, *Naturwissenschaften* 13 (26): 567–574, 1925.
2. يستخرج الرينيوم اليوم بكفاءة أكبر بكثير باعتباره منتجاً جانبياً لتنقية الموليبدوم والنحاس.
3. van Assche, P. H. M. The Ignored Discovery of Element Z = 43, *Nuclear Physics*, A480, 205–214, 1988
4. Kuroda, P. K. A Note on the Discovery of Technetium, *Nuclear Physics*, A503, 178–182, 1989.
5. Yoshihara, H. K. Discovery of a new element 'nipponium': re-evaluation of pioneering works of Masataka Ogawa and his son Eijiro Ogawa, *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy* 59, 1305–1310, 2004.
6. القيمة الحالية تبلغ 4889 أنغستروم وبالتالي تقع في هامش خطأ أوغوا.
7. كان ذلك خطأ إذ إن التكافؤ الأكثر شيوعاً بكثير للعنصر، تحت الظروف التي عمل فيها أوغوا، هو تكافؤ سداسي. ولو استخدم أوغوا التكافؤ السداسي لحسب وزناً ذرياً مقداره 185,2، وهو متوافق جيداً مع الوزن الذري الحالي للرينيوم.

8. يوجد الرينيوم في الموليبدنيت، سلفات الموليبدنوم. ويحدث ذلك بسبب التشابهات الكبيرة بين نصفي القطرين الأيونيين للموليبدنوم والرينيوم، ما يعني أن الأخير يمكن أن يحل محل الأول في الشبكة البلورية. ويقدم العنصران مثالا غير معروف كثيراً عن السلوك القطري، أي أن العنصرين متماثلان جداً بفضل العلاقة القطرية في الجدول الدوري لا لوقوعهما في المجموعة نفسها. وتشمل الأمثلة الأشهر عن العلاقات القطرية للثيوم والمغنيزيوم، والبيريليوم والألمنيوم، بالإضافة إلى البورون والسيليكون. انظر
G. RaynerCanhan, Isodiagonality in the Periodic Table, *Foundations of Chemistry*, 13, 121 – 129, 2011.
9. Yoshihara, H. K. Discovery of a new element 'nipponium': re-evaluation of pioneering works of Masataka Ogawa and his son Eijiro Ogawa, *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy* 59, 1305–1310, 2004 .
10. قصة التكنيتيوم، وهي مليئة بمزيد من الخلافات، ستكون موضوع الفصل السادس.
11. Korzhinsky, M. A., Tkachenko, S. I., Shmulovich, K. I., Taran Y. A., Steinberg, Discovery of a pure rhenium mineral at Kudriavy volcano, *G. S. Nature* 369 : 51–52 , 2004.
12. Cott on, F. A., Walton, R. A. *Multiple Bonds Between Metal Atoms*, Oxford University Press, Oxford, 1993.
13. Qin J. et al. Is Rhenium Diboride a Superhard Material? *Advances in Materials*, 20, 4780–4783, 2008.
14. S. J. La Placa, B. Post, Th e Crystal Structure of Rhenium Diboride , *Acta Crystallographica*, 15, 97–99, 1962.
15. لا يعني ذلك أنه لم توجه انتقادات لأبحاث جامعة كاليفورنيا لوس أنجلوس. وقد جاءت الاعتراضات من مصدرين أساسيين، لكن وضع حدّ لكل الاعتراضات في أعقاب نشرات لاحقة. *Advanced Matererials.*, 21, 4284–4285, 2009; *Adv. Funct. Mater.*, 19, 3519, 2009 and *Acta Materialia*, 58, 1530–1535, 2010.
16. E. Scerri, Tales of technetium, *Nature Chemistry*, 1, 332, 2009. انظر أيضاً مقالتي، Recognizing rhenium, *Nature Chemistry*, 2, 589, 2010 و Finding francium, *Nature Chemistry*, 1, 670, 2009
17. J. M. Keane, W. D. Harman, A New Generation of π –Basic Dearomatization Agents, *Organometallics*, 24, 1786–1798, 2005.

18. H. K. Yoshihara, Ogawa's Discovery of Nipponium and Its Re-evaluation, *Historia Scientiarum*, 9 , 277–269 , 2000; Ogawa Family and their Nipponium Research: H. K. Yoshihara, T. Kobayashi, M. Kaji, Successful Separation of the element 75 before Its Discovery by Noddacks, *Historia Scientiarum*, 15, 177–190 , 2005; H. K. Yoshihara, Nipponium as a new element ($Z = 75$) separated by the Japanese chemist, Masataka Ogawa: a scientific and science historical re-evaluation , *Proceedings of the Japanese Academy*, Series B , 84, 232–244, 2008.
19. M. Ogawa, *Chemical News*, 98, 249–251, 1908; M. Ogawa, *Chemical News*, 98, 261–264, 1908.
20. ترجمة يوشيهارا: بعد بضع سنوات، اعتقد أوغوا أنه عثر على الثوريانيت، وهو سيليكات عنصر النيونيوم الجديد. وقد أرسل لنا السيد ر. ب. مور، كبير الكيميائيين في مكتب المناجم في واشنطن، مشكوراً بضع بلورات من سيليكات النيونيوم التي وجدها أوغوا. وتتكوّن هذه البلورات أساساً من سيليكات الزركون في حين أنها تحتوي على الهفنيوم بنسبة 2 في المئة.
21. يتساءل المرء كيف تأكد يوشيهارا من أن هذه الورقة لقيت «تقديرًا عاليًا من العديد من الأشخاص». هل كتبوا جميعاً رسائل تهنئة له؟ أم أنه يشير إلى مراجع أو اثنين لمقالته؟ على أي حال، إن مجرد استقبال المقالة من قبل أشخاص لم يكشف النقاب عنهم لا يجدي كثيراً لإضفاء المصداقية على ادعاء يوشيهارا.
22. لم يفكر يوشيهارا في السؤال الواضح عن سبب عدم تمكن أوغوا من أن يرسل شخصياً إحدى عيناته إلى اختصاصي أجنبي في الأشعة السينية.
23. عرفت بهذه الواقعة في مراسلات شخصية مع يوشيهارا. وأجد مستغرباً أن الطريقة التي حسب بها الذرى التي توصل إليها لم تفسّر في أي مقالة من مقالات يوشيهارا.

الفصل السادس

1. إنني شاكر لخافيير غارسيا مارتينيز، وهو عالم كيمياء غير عضوية في جامعة أليكانت في إسبانيا لأنه تهنيني إلى أن مندليف توقع أربعة عناصر في البداية لا ثلاثة. وغارسيا مارتينيز هو مصمّم طابع بريد جذاب أصدرته إسبانيا احتفاءً بالذكرى المئوية لوفاة مندليف في سنة 2007. انظر أيضاً

J. Garcia Martinez, P. Roman Polo, Spain Celebrates Its Year of Science, *Chemistry International*, 30, 4–8, 2008; D. Rabinovich,

Mendeleev's Triumph, *Chemistry International*, vol. 29, July – August, 2007, p. 3.

2. مؤخراً في بداية القرن الحادي والعشرين، تعاون الفيزيائي بيتر فان أسش مع عدد من خبراء التحليل الطيفي الأميركيين لإعادة تحليل صور الأشعة السينية الأصلية. وقالوا بعد ذلك إن الزوجين نوداك عزلا العنصر بالإضافة إلى الرينيوم. لكن عدداً من الباحثين الآخرين شككوا في هذا الادعاء.
3. P. K. Kuroda, On the nuclear physical stability of the uranium minerals, *Journal of Chemical Physics*, 25, 781–782, 1956.
4. R. Bodu et al., Sur l'existence d'anomalies isotopiques rencontrées dans l'uranium du Gabon, *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*, D 275, 1731–1736, 1972.
5. إنني مدين جداً لمقالة وليام غريفيث
William Griffith, Spurious Platinum Metals, *Chemistry in Britain*, 4, 430–435, 1968.
6. B. T. Kenna, The Search for Technetium in Nature, *Journal of Chemical Education*, 39, 436–442, 1962; R. Zingales, From Masurium to Trinacrium, *Journal of Chemical Education*, 82, 221–227, 2005. W. P. Griffith, Spurious Platinum Metals, *Chemistry in Britain*, 4, 430–444, 1868.
ويعتبر ثالث هؤلاء المؤلفين البولونيوم ماثلاً للروثينيوم.
7. هذا أمر لا يمكن أن يحدث اليوم. فمن قواعد التسمية التي وضعها الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية عدم إمكانية إعادة استخدام اسم بعد طرحة وعدم الموافقة عليه. وذلك يعني أنه لا يمكن تسمية أي عنصر باسم ديفي أو موزلي وسواهما ما لم تبطل هذه القاعدة.
8. بعد وقت طويل لاحقاً، ادعى ج. نيوتن فرند ودروس أن كيرت ربما اكتشف الرينيوم قبل نحو خمسين سنة من تاريخ اكتشافه الرسمي أو بالأحرى تخليقه.
J. Newton Friend, J. G. F. Druce, Davyum a Possible Precursor of Rhenium, *Nature*, 165, 891–891, 1950.
9. ارتبط فلزّان منحولان آخران، يسميان جوزفينيت وأماريليوم، بالكناديوم. ومن نافلة القول إنهما كانا وهميين جداً.
10. M. Gerber, La recherche de deux metaux inconnus, *Le Moniteur Scientifique Quesneville*, Avril 1917.
11. ثمة عدد من الروايات الشهيرة عن اكتشاف الرينيوم تلمح ضمناً إلى أن الزوجين نوداك كانا أول من اقترح أنه ربما يشبه العناصر المجاورة أفقياً لا رأسياً. على سبيل المثال، لا تلحظ رواية فتحي حبشي الممتازة أسبقية غيربر في

هذا المجال.

Fathi Habashi, *Ida Noddack (1896–1978), Personal Recollections on the Occasion of 80th Anniversary of the Discovery of Rhenium*, Laval University Press, Laval, Canada, 2005.

12. Bosanquet, Keeley, *Philosophical Magazine*, (6), 145–147, 1924.
13. J. Newton Friend, *Man and the Chemistry of the Elements*, 2nd edition, Charles Griffin, London, 1961.
14. H. M. Van Assche, The Ignored Discovery of Element $Z = 43$, *Nuclear Physics A*, A480, 205–214, 1988.

15. المصدر نفسه.

16. Anonymous, The Disputed Discovery of Element 43. A Re-examination of an elegant early use of wavelength dispersive X-ray microanalysis, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 104, November – December, 599–599, 1999.

17. بالإضافة إلى ذلك، ألقى فان أسش وأرمسترونغ محاضرة في الاجتماع الوطني للجمعية الكيميائية الأمريكية في أناهيم، كاليفورنيا في 21–25 مارس 1999. وقد حضر المؤلف هذه المحاضرة واقتنع بالعرض. وكنت قد أدرجت أيضاً مدخلاً إلى التكنيتيوم في كتابي السابق أيضاً. *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*، وفيه قبلت مخطئاً بهذا العمل باعتباره دليلاً على صحة اكتشاف نوداك وزملائها في سنة 1925.

18. It's Elemental, Special 80th Anniversary Issue of *Chemical & Engineering News*, September 8, 2003.

وثمة مقالات أخرى ذات صلة بالكتاب الحالي تشمل واحدة للمؤلف عن الهفنيوم (ص 138).

19. R. Zingales, From Masurium to Trinacrium: The Troubled Story of Element 43, *Journal of Chemical Education*, 82, 221–227, 2005.

20. F. Habashi, The History of Element 43 — Technetium, *Journal of Chemical Education*, 83, 213–213, 2006;

وحبشي هو أيضاً مؤلف كتاب مخصص لإيدا نوداك.

Fathi Habashi, *Ida Noddack (1896–1978)*, Laval University Press, Laval, Quebec, 2005. P. Kuroda, A Note on the Discovery of Technetium, *Nuclear Physics A*, 503, 178–182, 1989.

21. B. T. Kenna, P. K. Kuroda, Isolation of naturally occurring technetium, *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 23, 142–144, 1961.
22. R. Zingales, The History of Element 43—Technetium (the author replies), *Journal of Chemical Education*, 83, 213–213, 2006.
23. E. Segrè, Element 43, *Nature*, 143, 460–461, 1939.
24. ما يشير إليه بانث هنا بأنه ناتج فرعي يشار إليه أيضاً باسم أكتينيوم-ك، أو AcK، في جدول الدوري وفي قسم لاحق من المقالة. وهو ناتج ينشأ في أعقاب اضمحلال ألفا للأكتينيوم 89 Ac، كما حدده بيرى تماماً (انظر الفصل السابع).
25. F. Paneth, The Making of the Missing Chemical Elements, *Nature*, 159, 8–10, 1947
26. كان بانث نفسه من دعا إلى الاجتماع.
27. على الرغم من أن بانث ليس قومياً بالمعنى المعتاد، فإن هذه الملاحظة التي أدلى بها تذكر القارئ بأن نوداك كانت متعاطفة مع النظام النازي. وليس من الصعب إدراك لماذا شعر بانث باستياء شديد. فقد طرد من منصبه أستاذاً للكيمياء غير العضوية في سنة 1936، فهرب في أعقاب ذلك إلى إنكلترا حيث شغل مناصب في إمبريال كوليدج ثم في جتمعة دورهام. وعاد في نهاية المطاف إلى ألمانيا في سنة 1953 ليرأس جامعة ميونتر.
28. C. Perrier, E. Segrè, Technetium: the Element of Atomic Number 43, *Nature*, 159, 24–24, 1947; D. R. Corson, K. R. MacKenzie, E. Segrè, Astatine: the Element of Atomic Number 85, *Nature*, 159, 24–24, 1947.
29. E. Segrè, G. T. Seaborg, Nuclear isomerism in element 43, *Physical Review*, 54, 772–772, 1938.
30. Interview of E. Segrè by C. Weiner, B. Richman on February 13, 1937, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD USA, <http://www.aip.org/history/ohilist/4876.html>; <http://libserv.aip.org:81/ipac20/ipac.jsp?uri=full=3100001~!4875!0&profile=newcustom-icos>.
31. S. Flügge, Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden? *Naturwissenschaften*, 27, 402–410, 1939.
32. G. A. Cowan, A Natural Fission Reactor, *Scientific American*, 235, 36–47, 1976.

33. اكتُشف التكنيتيوم في الطبيعة سابقاً من قبل كينا وبول كورودا نفسه في سنة 1961، قبل اكتشاف مفاعل أوكلو.

B. T. Kenna, P. K. Kuroda, Isolating Naturally Occurring Technetium, *Inorganic and Nuclear Chemistry*, 23, 142–144, 1961.

34. A. F. Holleman, E. Wiberg, *Inorganic Chemistry*, Academic Press, San Diego, CA, 2001 .

الفصل السابع

1. I. Langmuir, Pathological Science, *Physics Today*, 42, 36–48, 1989 .

2. G. B. Kauffman, J. P. Adloff, Marguerite Perey and the Discovery of Francium, *Education in Chemistry*, September 1989, 135–137.

3. L. A. Orozco, Francium, *Chemical & Engineering News*, 2003, <http://pubs.acs.org/cen/80th/francium.html>.

4. F. H. Loring, J. G. F. Druce, Eka-Caesium, *Chemical News*, 31 , 289–289, 1925.

5. المصدر نفسه.

6. المصدر نفسه

7. F. H. Loring, J. G. F. Druce, Eka-Caesium and Eka-Iodine, *Chemical News*, 131, 305–305, 1925.

8. المصدر نفسه.

9. Anonymous, Alabamine & Virginium, *Time Magazine*, Monday, Feb. 15, 1932.

10. بُسِّط وصف جهاز أليسون في روايتنا.

11. H.G. MacPherson, Th e Magneto Optic Method of Chemical Analysis, *Physical Review*, 47 , 310–315, 1934.

12. لم أكتشف إذا كان لويس قد استرد نقوده.

13. أعاد رواية هذه الحادثة إرفنغ لانغمير في مقالة شيقّة ظهرت لاحقاً في مجلة «فِرِكْس تُداي» بعنوان «العلم المرضي» وذلك يُظهر على نحو بارز أسلوب أليسون باعتباره مثالا جيدا على ما يسمّيه لانغمير «العلم المريض».

I. Langmuir, Pathological Science, *Physics Today*, 42, 36–48, 1989.

14. كان بيران من قَدَم الدليل لصالح نظرية أينشتاين الإحصائية عن الحركة البراونية، وبالتالي ساعد في ترسيخ الرأي بأن الذرات «موجودة بالفعل».
15. H. Hulubei, The search for element 87, *Physical Review*, 71, 740-741, 1947.
16. J. P. Adloff , G. B. Kauffman, Francium (Atomic Number 87), the Last Discovered Natural Element, *The Chemical Educator*, 10, 2005.
17. تذكروا أن إصدار بيتا ينتج عنصراً أعلى يفوق العدد الذري بوحدة واحدة.
18. M. Perey, Surun element 87, dériv é de l'actinium, *Comptes-rendus hebdomadaires des s é ances de l'Académie des sciences*, 208, 97-98, 1939.
- ترجمة المؤلف: وفقاً لفرضية أن هذا العنصر المشع يتشكل بإصدار ألفا من الأكتينيوم، فإنه يشغل مكان العنصر 87 في الجدول الدوري. ولإثبات ذلك حاولنا إثبات التماثل الكيميائي لهذا الجسم مع السيزيوم عن طريق التبلور المتزامن (syncrystallization): اختيرت بركلورات السيزيوم لهذا الغرض لتقابلية الذوبان القليلة التي تميزها عن بركلورات الفلزات اللافلوية الذوابة جداً. عند إضافة كلوريد السيزيوم إلى السائل الأم والترسب مع بركلورات الصوديوم، تتشكل بعض البلورات التي تظهر نشاطاً إشعاعياً وتضمحل أسياً خلال فترة إحدى وعشرين دقيقة ± 1 . الاقتباس الأصلي من الصفحة 98.
19. المصدر نفسه. ترجمة المؤلف: لذا يدفعا ذلك إلى الاعتقاد بأن هذا العنصر الذي يشع إشعاعاً طبعياً والذي يبلغ عمر النصف 21 دقيقة، وعدده الذري 87، يتشكل باضمحلال ألفا للأكتينيوم نظراً إلى أن للأكتينيوم فرع ألفا ضعيفاً أو أنه قد يكون مزيجاً لنظيرين يتفككان باضمحلال بيتا وضمحلال ألفا الآخر. الاقتباس الأصلي من الصفحة 98.
20. قبل سنتين قَدَم بيران أيضاً مقالة لهولوبي بعنوان «أبحاث جديدة عن العنصر 87» إلى الأكاديمية نفسها.
21. في سنة 1953، اكتشف إز.ك. هايك في الولايات المتحدة أن هناك اضمحلال ألفا ضعيفاً في الفرنسيوم 223، ينتج عنه العنصر 85. ويعني ذلك أن العنصر 85، أو الأستاتين، يوجد في الطبيعة على الرغم من أن اكتشافه الأولي تم عن طريق التخليق الاصطناعي.
22. رصدت لحظة اللاقطبية في ذرات السيزيوم بالفعل.
- C. S. Wood, S. C. Bennett , D. Cho, B. P. Masterson, J. L. Roberts, C. E. Tanner, C. E. Wieman, Measurement of Parity Nonconservation and an Anapole Moment in Cesium, *Science*, 275, no. 5307, 1759-1763, 1997.

23. E. Gomez, L. A. Orozco, G. D. Sprouse, Spectroscopy with trapped francium: perspectives for weak interaction studies, *Reports on Progress in Physics*, 69, 79–118, 2006.
24. L. A. Orozco, Francium, *Chemical & Engineering News*, Special Issue on the Elements, 2003 متوافرة على الرابط <http://pubs.acs.org/cen/80th/francium.html>.

الفصل الثامن

1. B. F. Thornton, S. C. Burdette, Finding eka-iodine: Discovery Priority in Modern Times, *Bulletin for the History of Chemistry*, 35, 86–96, 2010.
2. H. G. MacPherson, The Magneto Optic Method of Chemical Analysis, *Physical Review*, 47, 310–315, 1935.
3. H. Hulubei, Mesures du spectre L du Ra (88), *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences. Serie C*, 203 , 542–543, 1936; H. Hulubei, Emissions faibles dans le spectre L du Ra (88), *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Serie C* , 203 , 665–667, 1936.
4. M. Valadares, “Contributo Allo Studio Degli Spettri γ e X Molli dei Prodotti di Disintegrazione del Radon,” *Rendiconti Istituto Sanita Publicà*, 3, 953–963, 1942; M. Valadares, “Gli Spettri γ e X dei derivati del radon nella regione UX 700 a 1300,” *Rendiconti Istituto Sanita Publicà*, 2 , 1049–1056, 1941.
5. B. Karlik and T. Bernert, Zur Frage eines Dualen Zerfalls des RaA, *Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Klasse* , 151 , 255–265 , 1942; B. Karlik and T. Bernert, “Übereine Vermutete β -Strahlung des Radium A und die Natürliche Existenz des Elementes 85, *Naturwissenschaften*, 30, 685–686, 1942.

6. وفقاً لمقالة ثورنتون وبوردت في سنة 2010، فإن دوافع بانث ربما تكون قومية إلى حد ما. فهما يزعمان أن بانث دعم النمساويين لأنه كان زميلاً سابقاً لهما في معهد دراسات الراديوم. وفي حين أنه أُجبر على مغادرة ألمانيا، فإن النمساويين كارلك وبرنرت بقيتا في الأراضي الألمانية، التي ضمت النمسا بطبيعة الحال، لكن بانث كان يدرك معارضة كارلك للسياسات الحربية الألمانية. وبالإضافة إلى ذلك، فإنهما يزعمان أن بانث كان يشك في عمل

هولوبي وكوشوا الذي أجري في فرنسا المحتلة، وبالتالي يقترحان شكلاً من أشكال التواطؤ مع السياسات الألمانية.

7. B. Karlik, Unsere Heutigen Kenntnisse über das Element 85 (Ekajod), *Monatshefte für Chemie*, 77, 348–351, 1947.
8. B. F. Thornton, S. C. Burdette, Finding eka-iodine: Discovery Priority in Modern Times, *Bulletin for the History of Chemistry*, 35, 86–96, 2010.
9. المصدر نفسه.
10. رسالة شخصية من المؤلفين.
11. Element 85, Abstract, *Nature*, 146, 225–225, 1940.
12. أليس لي سميث (بربيل قبل الزواج) عالمة فيزياء نووية إنكليزية. تزوجت فيليب لي سميث، ابن مستكشف القطب الشمالي بنجامين لي سميث، في سنة 1933. وكانت من طالبات ماري كوري وأول امرأة بريطانية تحصل على الدكتوراه في الفيزياء النووية.
13. D. R. Corson, K. R. MacKenzie, E. Segrè, Artificially radioactive Element 85, *Physical Review*, 58, 672–678, 1940.
14. K. Otozai, N. Takahashi, Estimation chemical form boiling point elementary astatine by radio gas chromatography, *Radiochimica Acta*, 31, 201–203, 1982.
15. T. Jahn, MIPS and their role in the exchange of metalloids. *Advances in Experimental Biology and Medicine*. 679, 41, 2010; A. G. Maddock, “Astatine.” *Supplement to Mellor’s comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry, Supplement II, Part I*, (F, Cl, Br, I, At), 1064–1079, 1956; C. Housecroft, A. G. Sharpe, *Inorganic chemistry* (3rd ed.). Pearson Education, 2008, 533.
16. D. S. Wilbur, Overcoming the obstacles to clinical evaluation of ^{211}At -labeled radiopharmaceuticals, *The Journal of Nuclear Medicine*, 42, 1516–1518, 2001; M. R. Zalutsky et al., High-level production of α -particle-emitting ^{211}At and preparation of ^{211}At -labeled antibodies for clinical use, *The Journal of Nuclear Medicine*, 42, 1508–1515, 2001.

الفصل التاسع

1. أصبح البلد تشيكوسلوفاكيا، ومؤخراً جمهورية التشيك.
 2. اكتُشف التكنيتيوم في النهاية في سنة 1937.
 3. ادعى بونر في الواقع أن دوي المنغيز اكتُشف مؤخراً من قبل زملاء في معهده. وهذا ما كتبه في رسالة إلى مجلة «نيتشر»: «في ما يتعلق بالعنصر 61، فإن الاختلافات في الوزنين الذريين ساماريوم - نيوديميوم = 6,1، أكبر من تلك الموجودة بين أي من العناصر المتجاورة. ومن الملحوظ أنه من الرتبة نفسها للاختلاف بين الوزنين الذريين للموليدنوم - الروثينيوم = 5,7، اللذين يوجد بينهما إكاً المنغيز، وأوزميوم - تنغستن = 6,9، اللذين يوجد بينهما دوي المنغيز، الذي اكتُشف مؤخراً في مختبرنا من قبل هيروفسكي ودولجسك».
 4. أعلن أندريه لويس دبيرن، وهو كيميائي فرنسي، عن اكتشاف عنصر جديد في سنة 1899. وقد فصله عن مخلفات البتشلند التي تركها ماري وبيار كوري بعد أن استخرجا الراديوم. ووصف دبيرن المادّة (في سنة 1899) بأنها مماثلة للتيتانيوم وفي سنة 1902 بأنها مادّة مماثلة لللانثانوم وسَمّاها «إيمانيم» في سنة 1904. وبعد إجراء مقارنة بين المواد في سنة 1904، احتُفظ بالاسم الذي أطلقه دبيرن بسبب الأقدمية. وظل تاريخ اكتشاف الأكتينيوم مشكوكاً فيه لمدة عقود. ونشرت مقالات في سبعينيات القرن العشرين وبعد ذلك توحى بأن النتائج التي نشرها دبيرن في سنة 1904 تتعارض مع تلك التي أُفيد عنها في سنتي 1899 و1900. وما زال هناك خلاف بشأن تقاسم الفضل في الاكتشاف بين دبيرن وغيزل أو إذا كان يجب منح الفضل في الاكتشاف لغيزل بمفرده.
 5. تتكوّن الانعكاسات الزوجية من البوتاسيوم والأرغون، والكوبالت والنيكل، والتيلوريوم واليود، والثوريوم والبروتكتينيوم، واليورانيوم والنتونيوم.
- Eric Scerri, A Very Short Introduction to the Periodic Table , Oxford University Press , Oxford, 2011.
6. ترجمة المؤلف: كانت المادّة المتاحة لنا كميّة صغيرة جداً بحيث لم نعتقد أن من الأمانة نشر نتائجنا لذا أرسلنا طرداً صغيراً يحتوي على نتائجنا، والصور الفوتوغرافية للأطياف الخاضعة للنقاش إلى أكاديمية لنسي.
 7. M. Costa, M. Fotani, P. Manzelli, P. Papini, Storia della scoperta dell'elemento 61, in Storia e Fondamenti della Chimica, *Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, 1997, 441–442.
 8. ترجمة المؤلف: إننا نفترض أن العينات التي حُلّلت في فلورنسا وأميركا ربما احتوت على آثار صغيرة جداً لهذا العنصر. وقد كتب أحد المؤلفين، ماركو فونتاني، إلى مؤكداً أن هذه الترجمة صحيحة. وكتب أيضاً أن عبارة «آثار صغير جداً» تشير إلى مقادير لم يكن يمكن كشفها في عشرينيات القرن العشرين

- أو حتى في تسعينياته عندما كتبت هذه المقالة. ويجدر التأكيد أيضاً على كيف أن المؤلفين الإيطاليين المعاصرين يظهران موقفاً غير قومي. منح الفضل للكيميائيين الأميركيين بقدر مواطنيهما الإيطاليين.
9. تدين روايتي لمقالة حديثة كتبها كلارنس مورفي الذي لديه اهتمام قديم في اكتشاف العنصر 61 بالإضافة إلى القدرة على الوصول إلى المصادر المحفوظة التابعة لجيمس وسميث هوبكنز.
- C. J. Murphy, Charles James, B. Smith Hopkins, and the tangled web of element 61, *Bulletin for the History of Chemistry*, 31, 9–18, 2006.
10. يثير ذلك أسئلة عن أصالة برونر في الإقرار بهذه الفجوة بين الأوزان الذرية.
11. W. F. Peed, K. J. Spitzer, and L. E. Burkhart, The L Spectrum of Element 61, *Physical Review* 76, 143–144, 1949 .
12. في البحث التاريخي الطويل المؤيد لادعاءات جيمس وزملائه، لا يتخذ كلارنس مورفي موقفاً أيضاً بشأن هل اكتشف جيمس العنصر 61 أم لا، على الرغم من أنه يقول، «من المدهش أن الخطوط الستة التي أفاد عنها جيمس والخطين اللذين أفاد عنها هوبكنز قريين جداً من تلك التي حدّدت من عيّنة أصيلة للعنصر 61».
13. C. J. Murphy, Charles James, B. Smith Hopkins, and the tangled web of element 61, *Bulletin for the History of Chemistry*, 31, 9–18, 2006.
14. نُشرت غالبية مقالات جيمس عن عناصر الأتربة النادرة في مجلة الجمعية الكيميائية الأميركية.
15. استلم بحث سميث هوبكنز في 26 أبريل 1925، ونشر في 5 يونيو 1925. ونشر بحث كورك، وجيمس، وفوغ في ديسمبر 1926.
16. فيما يتعلق بالثقة في كورك، خبير الأشعة السينية لدى جيمس الذي يعمل في جامعة متشغن، فقد فهمت من مصدر موثوق أمضى عدة سنوات في العمل في القسم نفسه، أن النكته التالية كانت شائعة بين أعضاء الهيئة التعليمية: إذا أشبه بأحد أخفق في عمل ما فعليه أن «يلفقه» (Corked it up).
17. من أهم المهام التي يجب أن تنفذ، في إطار محاولة صنع قبلة ذرية، فصل عناصر معيّنة من فلزات الأتربة النادرة ونظائرها، بما في ذلك نظائر اليورانيوم والبلوتونيوم الشديدة الأهمية.
18. J. A. Marinsky, L.E. Glendenin, C. D. Coryell, The Chemical Identification of Radioisotopes of Neodymium and of Element 61, *Journal of the American Chemical Society*, 69, 2781 – 2785, 1947.

19. O. Erämetsä, Separation of Promethium from a Lanthanum Mixture, *Acta Polytechnica. Scandinavica Chem. Mat. Sci.*, 37, 21, 1965.
20. M. Arrtep, P. K. Kuroda, Promethium in Pitchblende, *Journal of Inorganic Nuclear Chemistry*, 30, 699, 1968.
21. A. Kavetskiy, G. Yakubova, S. M. Yousaf, K. Bower, J. D. Robertson, and A. Garnov, Efficiency of Pm-147 Direct Charge Radioisotope Battery, *Applied Radiation and Isotopes*, 69, 744–748, 2011.
22. من الرواد في تطوير بطاريات بي إم 147 ديفيد روبرتسون في قسم الكيمياء بجامعة ميسوري. زقد أخبرني في مقابلة معه أن مختبره يضم حالياً أكبر مقدار من البروميثيوم في أي مكان في الولايات المتحدة.

الفصل العاشر

1. عندما نشر ماندليف جداوله الدورية، كانت تحتوي على العديد من الفجوات بطبيعة الحال. وقد ركز هذا الكتاب على ملء آخر سبع فجوات متبقية في الجدول الدوري القديم الذي يتكوّن من العناصر 1-92. وقد أدرك حتى قبل سدّ آخر هذه الفجوات أن عناصر الأكتينيدات جزء من سلسلة من 32 عنصراً، كان معظم أعضائها لا يزال غير مخلّفاً. وفي سنة 2010 فقط، اكتمل الدور السابع في الجدول، وهو يتكوّن من 32 عنصراً.
2. Ernest Rutherford, Collisions of alpha Particles with Light Atoms. IV. An Anomalous Effect in Nitrogen, *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 6th series, 37, 581–586 (1919).
3. Heilbron, J. L.; Robert W. Seidel (1989), *Lawrence and His Laboratory: A History of the Lawrence Berkeley Laboratory*. Berkeley: University of California Press.
4. Chadwick, J., Possible Existence of a Neutron, *Nature*, 129, 312, 1932.
5. E. Fermi, Possible Production of Elements of Atomic Number Higher than 92, *Nature*, 133, 898–899, 1934. Enrico Fermi's (1901–1954) colleagues were Edoardo Amaldi (1908–1989), Oscar D'Agostino (1901–1975), Emilio Segrè (1905–1989), and

Franco Rasetti (1901–2001).

وقد أعلن عميد هيئة التعليم في جامعة روما أورسو ماريو كورينو (1876–1937)، عن اكتشاف العنصرين 93 و94 ومنحهما باكراً الاسمين والمزمين أوسونيوم، $_{93}\text{Ao}$ ، نسبة إلى أوسونيا الاسم الشعري لإيطاليا، وهسباريوم (إسبيريو)، من هسباريوس، البلد الغربي (إيطاليا كما ترى من اليونان). في غضون ذلك، أراد النظام الفاشي في إيطاليا أن يسمي أحدهما ليت أوريو (ليت أوريوم، وهو رمز إمبريالي روماني استُخدم في أثناء حكم موسوليني الدكتاتوري). وردّ كورينو بسخرية أن من سوء حظ النظام أن يرتبط بعنصر لا يزيد عمره النصفى عن بضع ثوانٍ، فبقي الاسمان أوسونيوم وهسباريوم. وأشكر ماركو فوتاني على هذه المعلومات.

6. E. McMillan, P. Abelson, Radioactive Element 93, *Physical Review* 57, 12, 1185, 1950.
7. P. R. Fields et al., Transplutonium Elements in Thermonuclear Test Debris. *Physical Review* 102, 180–182, 1956.
8. A. Ghiorso, M. Nurmia, J. Harris, K. Eskola, P. Eskola, Positive Identification of Two Alpha-Particle-Emitting Isotopes of Element 104, *Physical Review Letters*, 22, 1317–1320, 1969.
9. M. Fleischmann, S. Pons, Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 261, (2A), 301–308, 1989.
10. G. Münzenberg, G. S. Hofmann et al., Identification of element 107 by α correlation chains, *Zeitschrift für Physik A* 300: 107, 1981; G. Münzenberg et al., The identification of element 108, *Zeitschrift für Physik A* 317, 235, 1984; G. Münzenberg, P. Armbruster et al., Observation of one correlated α -decay in the reaction ^{58}Fe on $^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{267}109$, *Zeitschrift für Physik A* 309, 89, 1982.
11. S. Hofmann, V. Ninov et al., Production and decay of 269110, *Zeitschrift für Physik A* 350, 277, 1995.
12. S. Hofmann, V. Ninov et al., The new element 111. *Zeitschrift für Physik A* 350, 281, 1995.
13. S. Hofmann et al., The new element 112, *Zeitschrift für Physik A* 354, 229–230, 1996؛ انظر أيضاً P. Armbruster, F. P. Hessberger, Making New Elements, *Scientific American*, 279, 72–77, Sept. 1998.

14. Y. Oganessian et al. Synthesis of superheavy nuclei in the $^{48}\text{Ca}+^{244}\text{Pu}$ reaction: *Physical Review C* 62 (4): 041604, 2000; Y. Oganessian et al., Experiments on the synthesis of element 115 in the reaction. *Physical Review C* 69 (2): 021601, 2004; Y. Oganessian et al. Observation of the decay of 292116. *Physical Review C* 63: 011301, 2000.
15. A. V. Yeremin et al., Synthesis of nuclei of the superheavy element 114 in reactions induced by ^{48}Ca , *Nature* 400, 242–245, 1999.
16. N. D. Cooke, *Models of the Atomic Nucleus*, Springer, Berlin, 2010.
17. V. Ninov et al., Observation of Superheavy Nuclei Produced in the Reaction of ^{86}Kr with ^{208}Pb . *Physical Review Letters* 83 (6): 1104–1107, 1999
18. S. LeVay, *When Science Goes Wrong*, Penguin, New York, 2008, chapter 12.
19. Y. Oganessian et al., Synthesis of the Isotopes of Elements 118 and 116 in the Cf-249 and Cm-245+Ca-48 Fusion Reactions, *Physical Review C* 74 (4), 044602, 2006.
20. P. Pyykkö, A suggested periodic table up to $Z \leq 172$, based on Dirac–Fock calculations on atoms and ions. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13, 161–168, 2011.

12. المصدر نفسه.

22. A. Türler et al., Evidence for Relativistic Effects in the Chemistry of Element 104, *The Journal of Alloys and Compounds*, 271–273, 287–291, 1998; D. Hoffman, The Heaviest Elements, *Chemical & Engineering News*, May 2, 1994, 24–34.
23. R. Loughheed, Oddly ordinary seaborgium , *Nature* , 338 , 21–21 , 1997; R. Eichler et al., Chemical Characterization of bohrium (element 107) , *Nature* , 407 , 63–65 , 2000 .

42. انظر مثلاً كتابي

E. R. Scerri, *A Very Short Introduction to the Periodic Table*, Oxford University Press, 2011, chapter 9.

25. R. Eichler et al., Chemical Characterization of Bohrium (element 107), *Nature*, 407, 63–65, 2000 .

26. R. Eichler et al., Chemical Characterization of element 112, *Nature*, 447, 72–75, 2007.
27. P. Pyykkö ,Relativistic Effects in Structural Chemistry, *Chemical Reviews*, 88, 563–594, 1988; Relativity, Gold, Closed-Shell Interactions, and CsAu. NH₃, *Angewandte Chemie International Edition*, 41, 3573–3578, 2002.
28. P. Schwerdtfeger, M. Seth, Relativistic Effects of the Superheavy Elements, in *The Encyclopedia of Computational Chemistry*, eds P. v. R. Schleyer, N. L. Allinger, T. Clark, J. Gasteiger, H. F. Schaefer III, P. R. Schreiner, John Wiley and Sons , New York , 1998 .

المراجع

- J. P. Adloff , G. B. Kauff man, Francium (Atomic Number 87), the Last Discovered Natural Element, *The Chemical Educator*, 10 , 2005.
- H. Aldersey-Williams, *Periodic Tales*, Penguin Viking , London , 2011.
- Anonymous, Th e Disputed Discovery of Element 43. A Re-examination of an elegant early use of wavelength dispersive X-ray microanalysis, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 104, November–December, 599–599, 1999.
- P. Armbruster, F. P. Hessberger, Making New Elements, *Scientific American*. Sept. 1998, 72–77.
- M. Arrtep, P. K. Kuroda, Promethium in Pitchblende , *Journal of Inorganic Nuclear Chemistry* , 30 , 699 , 1968.
- R. M. Baum, ed., It's Elemental, Special 80th Anniversary Issue of *Chemical & Engineering News*, September 8, 2003.
- E. Béguyer De Chancourtois, Vis Tellurique, *Compes Rendus de l'Académie des Sciences*, 54, 1862, 757–761, 840–843, 967–971.
- R. Bodu et al., Sur l'existence d'anomalies isotopiques rencontr é s dan l'uranium du Gabon, *Comptes-rendus de l'Acad é mie des sciences de Paris*, D 275 , 1731–1736, 1972.
- N. Bohr, On the Constitution of Atoms and Molecules, *Philosophical Magazine*, 26, 1–25, 476–502, 857–875, 1913 (known as the trilogy paper).
- C. H. Bosanquet, T. C. Keeley, Note on the search for element 43 , *Philosophical Magazine*, 48, 145–147 , 1924.
- A. Brannigan, *Th e Social Basis of Scientifi c Discoveries*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981.

- W. H. Brock, *William Crookes (1832–1919) and the Commercialization of Science*, Ashgate, Aldershot, UK, 2008.
- J. Chadwick, Possible Existence of a Neutron, *Nature*, 129, 312, 1932.
- N. D. Cooke, *Models of the Atomic Nucleus*, Springer, Berlin, 2010.
- D. R. Corson, K. R. MacKenzie, E. Segrè, Artificially radioactive Element 85, *Physical Review*, 58, 672–678, 1940.
- D. R. Corson, K. R. MacKenzie, E. Segrè, Astatine: The Element of Atomic Number 85, *Nature*, 159, 24–24, 1947.
- M. Costa, M. Fotani, P. Manzelli, P. Papini, Storia della scoperta dell'elemento 61, in Storia e Fondamenti della Chimica, *Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, 1997, 441–442.
- D. Coster and G. Hevesy, On the New Element Hafnium, *Nature*, 111, 462–463, 1923.
- F. A. Cotton, R. A. Walton, *Multiple Bonds Between Metal Atoms*, Oxford University Press, Oxford, 1993.
- G. A. Cowan, A Natural Fission Reactor, *Scientific American*, 235, 36–47, 1976.
- W. Crookes, Radio-Activity of Uranium, *Proceedings of the Royal Society of London*, 66, 409–423, 1899–1900.
- J. E. Earley, How chemistry shifts horizons: element, substance, and the essential, *Foundations of Chemistry*, 11, 65–77, 2009.
- R. Eichler et al., Chemical Characterization of bohrium (element 107), *Nature*, 407, 63–65, 2000.
- R. Eichler et al., Chemical Characterization of element 112, *Nature*, 447, 72–75, 2007.
- A. Einstein, *Investigations of the Theory of the Brownian Movement*, with notes by R. Fürth, translated by A. D. Cowper, Dover Publications, Mineola, New York, 1956.
- J. Emsley, *The Elements*, 3rd Edition, Clarendon Press, Oxford, 1998.
- J. Emsley, *The A–Z of the Elements*, Oxford University Press, Oxford, 2001.
- O. Erämetsä, Separation of Promethium from a Lanthanum Mixture, *Acta Polytechnica. Scandinavica Chem. Mat. Sci*, 37, 21, 1965.
- P. R. Fields et al., Transplutonium Elements in the Mononuclear Test

- Debris, *Physical Review* 102, 180–182, 1956.
- M. Fleischmann, S. Pons, Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 261, (2A), 301–308, 1989.
- S. Flügge, Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden? *Naturwissenschaften*, 27, 402–410, 1939.
- J. Garcia Martinez, P. Roman Polo, Spain Celebrates Its Year of Science, *Chemistry International*, 30, 4–8, 2008.
- M. Gerber, La recherche de deux metaux inconnus, *Le Moniteur Scientifique de Quesneville*, Avril 1917.
- A. Ghiorso, M. Nurmia, J. Harris, K. Eskola, P. Eskola, Positive Identification of Two Alpha-Particle-Emitting Isotopes of Element 104, *Physical Review Letters*, 22, 1317–1320, 1969.
- E. Gomez, L. A. Orozco, G. D. Sprouse, Spectroscopy with trapped francium: perspectives for weak interaction studies, *Reports on Progress in Physics*, 69, 79–118, 2006.
- W. P. Griffith, Spurious Platinum Metals, *Chemistry in Britain*, 4, 430–444, 1868.
- A. G. Gross, Do Disputes over Priority Tell Us Anything about Science? *Science in Context*, 11, 161–179, 1998.
- A. V. Grosse, The Analytical Chemistry of Element 91, *Journal of the American Chemical Society*, 52, 1742–1747, 1930.
- F. Habashi, *Ida Noddack (1896–1978), Personal Recollections on the Occasion of 80th Anniversary of the Discovery of Rhenium*, Laval University Press, Laval, Canada, 2005.
- F. Habashi, The History of Element 43—Technetium, *Journal of Chemical Education*, 83, 213–213, 2006.
- O. Hahn, L. Meitner, Die Muttersubstanz des Actiniums, ein Neues Radioaktives Element von Langer Lebensdauer. *Physikalische Zeitschrift*, 19, 208–218, 1918.
- O. Hahn and F. Strassmann, *Die Naturwissenschaften* 27, p. 11–15 (January 1939), received December 22, 1938.
- D. C. Hamilton, M. A. Jensen, Mechanism for Superconductivity in lanthanum and uranium, *Physical Review Letters*, 11, 205, 1963.

- D. C. Hamilton, Position of lanthanum in the periodic table, *American Journal of Physics*, 33, 637, 1965.
- H. M. Hansen, S. Werner, Optical Spectrum of Hafnium, *Nature*, 111, 322–322, 1923.
- P. J. Hartog, A First Foreshadowing of the Periodic Law, *Nature*, 41, 186–188, 1889.
- R. F. Hendry, *Lavoisier and Mendeleev on the Elements, Foundations of Chemistry*, 7, 31–48, 2005.
- J. L. Heilbron, R. W. Seidel, *Lawrence and His Laboratory: A History of the Lawrence Berkeley Laboratory*. Berkeley: University of California Press, 1989.
- G. Hevesy, *Adventures in Radioisotope Research*, Pergamon Press, Oxford, 1962.
- G. Hinrichs, *The Elements of Chemistry and Mineralogy*, Griggs, Watson & Day, Davenport, Iowa, 1871.
- G. Hinrichs, *The Principles of Chemistry and Molecular Mechanics*, Day, Egbert & Fidler, Davenport, Iowa, 1874.
- D. Hoffman, The Heaviest Elements, *Chemical & Engineering News*, May 2, 1994, 24–34.
- R. Hoffmann, C. Djerassi, *Oxygen, a play*, Wiley-VCH, 2001.
- S. Hofmann, V. Ninov et al., Production and decay of 269110, *Zeitschrift für Physik A* 350, 277, 1995.
- S. Hofmann, V. Ninov et al., The new element 111, *Zeitschrift für Physik A* 350, 281, 1995.
- S. Hofmann et al., The new element 112, *Zeitschrift für Physik A* 354, 229–230, 1996; also see, P. Armbruster, F. P. Hessberger, Making New Elements, *Scientific American*, 279, 72–77, Sept. 1998.
- A. F. Holleman, E. Wiberg, *Inorganic Chemistry*, Academic Press, San Diego, CA, 2001.
- C. Housecroft, A. G. Sharpe, *Inorganic chemistry* (3rd ed.). Pearson Education, Prentice-Hall, New Jersey, 2008.
- H. Hulubei, Mesures du spectre L du Ra (88), *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences Serie C*, 203, 542–543, 1936.

- H. Hulubei, Emissions faibles dans le spectre L du Ra (88), *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Serie C*, 203, 665–667, 1936.
- H. Hulubei, The search for element 87, *Physical Review*, 71, 740–741, 1947.
- T. Jahn, MIPS and their role in the exchange of metalloids, *Advances in Experimental Biology and Medicine*, 679, 41–203, 2010.
- W. B. Jensen, Classification, Symmetry and the Periodic Table, *Computation and Mathematics with Applications*, 12B, 487–509, 1986.
- B. Karlik and T. Bernert, Zur Frage eines Dualen Zerfalls des RaA, Sitzber, *Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Klasse*, 151, 255–265, 1942.
- B. Karlik and T. Bernert, Über eine Vermutete β -Strahlung des Radium A und die Natürliche Existenz des Elementes 85, *Naturwissenschaften*, 30, 685–686, 1942.
- B. Karlik, Unsere Heutigen Kenntnisse über das Element 85 (Ekajod), *Monatshefte für Chemie*, 77, 348–351, 1947.
- V. Karpenko, The Discovery of Supposed New Elements, *Ambix*, 27, 77–102, 1980.
- G. B. Kauffman, J. P. Adloff, Marguerite Perey and the Discovery of Francium, *Education in Chemistry*, 26, 135–137, 1989.
- A. Kavetskiy, G. Yakubova, S. M. Yousaf, K. Bower, J. D. Robertson, and A. Garnov, Efficiency of Pm-147 Direct Charge Radioisotope Battery, *Applied Radiation and Isotopes*, 69, 744–748, 2011.
- S. Kean, *The Disappearing Spoon*, Little, Brown and Co., New York, 2010.
- J. M. Keane, W. D. Harman, A New Generation of π -Basic Dearomatization Agents, *Organometallics*, 24, 1786–1798, 2005.
- B. T. Kenna, P. K. Kuroda, Isolating Naturally Occurring Technetium, *Inorganic and Nuclear Chemistry*, 23, 142–144, 1961.
- B. T. Kenna, The Search for Technetium in Nature, *Journal of Chemical Education*, 39, 436–442, 1962.

- M. A. Korzhinsky, S. I. Tkachenko, K. I. Shmulovich, Y. A. Taran, G.S. Steinberg, Discovery of a pure rhenium mineral at Kudriavoy volcano, *G. S. Nature* 369: 51–52, 2004.
- H. Kragh, Elements No. 70, 71, and 72: Discoveries and Controversies , in C. H. Evans (Ed.), *Episodes in the History of Rare Earth Elements*, 67–89, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- H. Kragh, P. Robertson, On the Discovery of Element 72, *Journal of Chemical Education*, 56, 456–459, 1979.
- H. Kragh, Conceptual Changes in Chemistry: The Notion of a Chemical Element, ca. 1900–1925, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 31, 435–450, 2000.
- T. S. Kuhn, Historical Structure of Scientific Discovery, *Science*, 136, 760–764, 1962.
- T. S. Kuhn, *Historical Structure of Scientific Revolutions*, 2nd ed., University of Chicago Press, Chicago, 1970, p. 55.
- P. K. Kuroda, On the nuclear physical stability of the uranium minerals, *Journal of Chemical Physics*, 25, 781–782, 1956.
- P. K. Kuroda, A Note on the Discovery of Technetium, *Nuclear Physics*, A503 , 178–182, 1989.
- I. Langmuir, Pathological Science, *Physics Today*, 42, 36–48, 1989.
- S. J. La Placa, B. Post, The Crystal Structure of rhenium diboride, *Acta Crystallographica*, 15, 97, 1962.
- P. E. Lecoq De Boisbaudran, A. Lapparent, A Reclamation of Priority on Behalf of M. De Chancourtois Referring to the Numerical Relations Among Atomic Weights, *Chemical News* , 63, 51–52, 1891.
- S. LeVay, *When Science Goes Wrong*, Penguin, New York, 2008. J. Levy, *Scientific Feuds*, New Holland, London, 2010.
- F. H. Loring, J. G. F. Druce, Eka-Caesium, *Chemical News*, 131, 289–289, 1925.
- F. H. Loring, J. G. F. Druce, Eka-Caesium and Eka-Iodine, *Chemical News*, 131, 305–305, 1925.
- J. Lothar Meyer in Oswald's *Klassiker der Exacten Wissenschaften*: 30, *Arbis eines Lehrganges der theoretischen Chemie*, vorgetragen von Prof. S. Cannizzaro, Leipzig, 1891.

- R. Lougheed, Oddly ordinary seaborgium, *Nature*, 338, 21–21, 1997.
- S. Lyle, Narrative understanding: developing a theoretical context for understanding how children make meaning in classroom settings, *Journal of Curriculum Studies*, 32, 45–63, 2000.
- H. G. MacPherson, The Magneto-Optic Method of Chemical Analysis, *Physical Review*, 47, 310–315, 1935.
- A. G. Maddock, Astatine, *Supplement to Mellor's comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry, Supplement II, Part I, (F, Cl, Br, I, At)*, 1064–1079, 1956.
- A. Marinsky, L. E. Glendenin, C. D. Coryell, The Chemical Identification of Radioisotopes of Neodymium and of Element , *Journal of the American Chemical Society*, 69, 2781–2785, 1947.
- G. Markus, Why Is There No Hermeneutics of Natural Sciences? Some Preliminary Theses, *Science in Context*, 1, 5–15, 1987.
- S. McGrayne, *Nobel Prize Women in Science*, John Henry Press, Washington, D.C., 2002.
- E. McMillan, P. Abelson, Radioactive Element 93, *Physical Review*, 57, 12, 1185, 1950.
- R. Merton, Priorities in Scientific Discovery, *American Sociological Review*, 22, 635–659, 1957.
- H. Merz, K. Ulmer, Positions of lanthanum and lutetium in the Periodic Table, *Physics Letters*, 26A, 6–7, 1967.
- H. G. J. Moseley, Atomic Models and X-Ray Spectra, *Nature*, 92, 544–544, 1913.
- M. Mulkay, Norms and Ideology in Science, *Social Science Information*, 15, 637–656, 1976.
- G. Münzenberg, S. Hofmann et al., Identification of element 107 by α correlation chains, *Zeitschrift für Physik*, A300, 107, 1981.
- G. Münzenberg et al., The identification of element 108, *Zeitschrift für Physik*, A317, 235, 1984.
- G. Münzenberg, P. Armbruster et al., Observation of one correlated α -decay in the reaction 58Fe on $209\text{Bi} \rightarrow 267109$, *Zeitschrift für Physik*, A309, 89–90, 1982.

- C. J. Murphy, Charles James, B. Smith Hopkins, and the tangled web of element 61, *Bulletin for the History of Chemistry*, 31, 9–18, 2006.
- P. Needham, Has Daltonian Atomism Provided Chemistry with Any Explanations? *Philosophy of Science*, 71, 1038–1047, 2004.
- P. Needham, When Did Atoms Begin To Do Any Explanatory Work in Chemistry? *International Studies in the Philosophy of Science*, 18, 199–219, 2004.
- J. A. R. Newlands, On the Law of Octaves, *Chemical News*, 12, 83–83, August 18, 1865.
- J. A. R. Newlands, On the Law of Octaves, *Chemical News*, 13, 130–130, 1866.
- J. Newton Friend, J. G. F. Druce, Davyium a Possible Precursor of Rhenium, *Nature*, 165, 891, 1950.
- J. Newton Friend, *Man and the Chemistry of the Elements*, 2nd edition, Charles Griffin, London, 1961.
- V. Ninov et al., Observation of Superheavy Nuclei Produced in the Reaction of ^{86}Kr with ^{208}Pb , *Physical Review Letters* 83 (6), 1104–1107, 1999.
- W. Noddack, I. Tacke, O. Berg, Die Ekamangane, *Naturwissenschaften* 13 (26), 567–574, 1925.
- W. Odling, On the Proportional Numbers of the Elements, *Quarterly Journal of Science*, 1, 642–648, October 1864.
- Y. Oganessian et al., Synthesis of superheavy nuclei in the $^{48}\text{Ca}+^{244}\text{Pu}$ reaction, *Physical Review C* 62 (4), 041604, 2000.
- Y. Oganessian et al., Observation of the decay of $^{292}116$. *Physical Review C* 63, 011301, 2000.
- Y. Oganessian et al., Experiments on the synthesis of element 115 in the reaction. *Physical Review C* 69 (2), 021601, 2004.
- Y. Oganessian et al., Synthesis of the Isotopes of Elements 118 and 116 in the Cf-249 and $\text{Cm-245}+\text{Ca-48}$ Fusion Reactions, *Physical Review C* 74 (4), 2006.
- M. Ogawa, *Chemical News* 98, 249–251, 1908.
- M. Ogawa, *Chemical News* 98, 261–264, 1908.

- L. A. Orozco, Francium, *Chemical & Engineering News, Special Issue on the Elements*, 2003; available at <http://pubs.acs.org/cen/80th/francium.html>
- K. Otozai, N. Takahashi, Estimation chemical form boiling point elementary astatine by radio gas chromatography, *Radiochimica Acta*, 31, 201–203, 1982.
- F. Paneth, The Making of the Missing Chemical Elements, *Nature*, 159, 8–10, 1947.
- W. F. Peed, K. J. Spitzer, and L. E. Burkhart, The L Spectrum of Element 61, *Physical Review* 76, 143–144, 1949.
- M. Perey, Sur un element 87, d é riv é de l'actinium, *Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 208, 97–98, 1939.
- C. Perrier, E. Segrè, Technetium: the Element of Atomic Number 43, *Nature*, 159, 24–24, 1947.
- J. Perrin, Mouvement brownien et réalit é mol é culaire, *Annales de Chimie et de Physique*, 18, 1–114, 1909.
- K. R. Popper, *The Open Universe*, London, Hutchinson, ed. W. W. Bartley III., 1982, pp. 163–164 .
- P. Pyykkö, Relativistic Effects in Structural Chemistry, *Chemical Review*, 88, 563–594, 1988; Relativity, Gold, Closed-Shell Interactions, and CsAu.NH₃, *Angewandte Chemie International Edition*, 41, 3573–3578, 2002.
- P. Pyykkö, A suggested periodic table up to $Z \leq 172$, based on Dirac–Fock calculations on atoms and ions. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13, 161–168, 2011.
- J. Qin et al., Is Rhenium Diboride a Superhard Material? *Advances in Materials*, 20, 4780, 2008.
- D. Rabinovich, Mendeleev's Triumph, *Chemistry International*, vol. 9, 3, July– August 2007.
- E. Rancke-Madsen, The Discovery of an Element, *Centaurus*, 19, 299–313, 1976.
- G. Rayner-Canhan, Isodiagonality in the Periodic Table, *Foundations of Chemistry*, 13, 121–129, 2011.

- T. Rothman, *Everything's Relative*, Wiley, Hoboken, NJ, 2003.
- E. Rutherford, Collisions of alpha Particles with Light Atoms. IV. An Anomalous Effect in Nitrogen, *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 6th series, 37, 581–586 (1919).
- E. R. Scerri, The Evolution of the Periodic System, *Scientific American*, 279, 78–83, 1998.
- E. R. Scerri, *The Periodic Table, Its Story and Its Significance*, Oxford University Press, New York, 2007.
- E. R. Scerri, *Collected Papers in Philosophy of Chemistry*, Imperial College Press, London, 2008.
- E. R. Scerri, Which Element Belongs in Group 3? , *Journal of Chemical Education*, 86, 1188–1188, 2009.
- E. R. Scerri, Tales of technetium, *Nature Chemistry*, 1, 332 , 2009. Also see my Recognizing rhenium, *Nature Chemistry*, 2, 589, 2010.
- E. R. Scerri, Finding francium, *Nature Chemistry*, 1, 670, 2009.
- E. R. Scerri, *A Very Short Introduction to the Periodic Table*, Oxford University Press, Oxford, 2011.
- E. R. Scerri, What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? *Foundations of Chemistry*, 14, 69–81, 2012.
- W. H. E. Schwarz, The Full Story of the Electron Configurations of the Transition Elements, *Journal of Chemical Education*, 87, 444–448 , 2010.
- P. Schwerdtfeger, M. Seth, Relativistic Effects of the Superheavy Elements , in *The Encyclopedia of Computational Chemistry* eds P. v. R. Schleyer, N. L. Allinger, T. Clark, J. Gasteiger, H. F. Schaefer III, P. R. Schreiner, John Wiley and Sons, New York , 1998.
- E. Segrè, G. T. Seaborg, Nuclear isomerism in element 43, *Physical Review*, 54 , 772–772, 1938.
- E. Segrè, Element 43, *Nature*, 143, 460–461, 1939.
- R. Sime, Lise Meitner, *A Life in Physics*, University of California Press, Berkeley, CA , 1996.

- J. R. Smith, *Persistence and Periodicity*, unpublished PhD thesis, University of London, 1975.
- A. Stwertka, *Guide to the Elements*, Oxford University Press, New York, 1998.
- B. F. Thornton, S. C. Burdette, Finding eka-iodine: Discovery Priority in Modern Times, *Bulletin for the History of Chemistry*, 35, 86–96, 2010.
- P. Thyssen, *Accommodating the Rare-Earths in the Periodic Table*, M.Sc. Thesis, Catholic University of Leuven, 2009.
- A. Türler et al., Evidence for Relativistic Effects in the Chemistry of Element 104, *The Journal of Alloys and Compounds*, 271–273, 287–291, 1998.
- G. Urbain, Sur le celtium, élément de numéro atomique 72, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 176, 469–470, 1923.
- M. Valadares, Contributo Allo Studio Degli Spettri γ e X Molli dei Prodotti di Disintegrazione del Radon, *Rendiconti Istituto Sanita Publica*, 3, 953–963, 1940.
- M. Valadares, Gli spettri γ e X deiderivati del radon nella regione UX 700 a 1300, *Rendiconti R. Accademia D'Italia*, 2, 1049–1056, 1941.
- H. M. Van Assche, The Ignored Discovery of Element $Z = 43$, *Nuclear Physics A480*, 205–214, 1988.
- A. J. van den Broek, The α Particle and the Periodic System of the Elements, *Annalen der Physik*, 23, 199–203, 1907.
- A. J. van den Broek, The Number of Possible Elements and Mendeléeff's «Cubic» Periodic System, *Nature*, 87, 78–78, 1911.
- S. Weinberg, Reductionism Redux, *The New York Review of Books*, October 5, 1995. Reprinted in S. Weinberg, *Facing Up*, Harvard University Press, 2001.
- C. Weiner, B. Richman, Interview of Segrè, on February 13, 1937, Niels Bohr Library & Archives, American Institute of Physics, College Park, MD. D.
- S. Wilbur, Overcoming the obstacles to clinical evaluation of ^{211}At -labeled radiopharmaceuticals, *The Journal of Nuclear Medicine*, 42, 1516–1518, 2001

- R. E. Wilson, Peculiar Protactinium, *Nature Chemistry*, 4, 586–586, 2012.
- C. S. Wood, S. C. Bennett, D. Cho, B. P. Masterson, J. L. Roberts, C. E. Tanner, C. E. Wieman, Measurement of Parity Nonconservation and an Anapole Moment in Cesium, *Science*, 275 no. 5307, 1759–1763, 1997.
- A. V. Yeremin et al., Synthesis of nuclei of the superheavy element 114 in reactions induced by ^{48}Ca , *Nature* 400, 242–245, 1999.
- H. K. Yoshihara, Ogawa's Discovery of Nipponium and Its Re-evaluation, *Historia Scientiarum*, 9, 257–269, 2000.
- H. K. Yoshihara, Ogawa Family and Their Nipponium Research: H. K. Yoshihara, T. Kobayashi, M. Kaji, Successful Separation of the element 75 before Its Discovery by Noddacks, *Historia Scientiarum*, 15, 177–190, 2005.
- H. K. Yoshihara, Nipponium as a new element ($Z = 75$) separated by the Japanese chemist, Masataka Ogawa: a scientific and science historical re-evaluation, *Proceedings of the Japanese Academy*, Series B, 84, 232–244, 2008.
- H. K. Yoshihara, Discovery of a new element 'nipponium': re-evaluation of pioneering works of Masataka Ogawa and his son Eijiro Ogawa, *Spectrochimica Acta Part B Atomic Spectroscopy*, 59, 1305–1310, 2004.
- M. R. Zalutsky et al., High-level production of α -particle-emitting ^{211}At and preparation of ^{211}At -labeled antibodies for clinical use, *The Journal of Nuclear Medicine*, 42, 1508–1515, 2001.
- C. A. Zupf, Hinrichs, Precursor of Mendeleev, *Isis*, 60, 461–476, 1969.
- R. Zingales, From Masurium to Trinacrium: The Troubled Story of Element 43, *Journal of Chemical Education*, 82, 221–227, 2005.
- R. Zingales, The History of Element 43—Technetium (the author replies), *Journal of Chemical Education*, 83, 213–213, 2006.

نبذة عن المؤلف:

إريك شيري كيميائي وكاتب وفيلسوف في العلم. يعمل محاضراً في جامعة كاليفورنيا - لوس أنجلوس، وهو مؤسس ومحرر مجلة «فونديشن أف كيمستري»، وهي دورية عالمية تنشر مقالات محكمة. كما أنه مرجع عالمي في تاريخ الجدول الدوري، وفلسفته. لديه العديد من المؤلفات في هذا المجال ومجالات ذات صلة، من أهمها: قصة النظام الدوري؛ تطوره وأهميته، 2007.

نبذة عن المترجم:

عمر سعيد الأيوبي، مترجم ومحزّر. من ترجماته الصادرة عن كلمة: «فنّ الحدائق الإسلامية» (إيما كلارك)، و«النظم البريدية في العالم الإسلامي قبل العصر الحديث» (آدم سيلفرشتاين)، و«المرأة في حياة نابليون» (كريستوفر هيبرت)، و«الموت الأسود» (جوزيف بيرن).

قصة 7 عناصر

في سنة 1913، توصل الفيزيائي الإنكليزي هنري موزلي إلى أسلوب أنيق لترتيب عناصر الجدول الدوري بناءً على العدد الذري بدلاً من الوزن الذري. وسرعان ما اتضح أن هناك سبعة عناصر ناقصة بين الهيدروجين (العنصر رقم 1) واليورانيوم (العنصر رقم 92).

في هذا الكتاب، يقدم إريك شيري القصص الشيقة لهذه العناصر السبعة: البروتكتينيوم، والهفنيوم، والرينيوم، والتكنيتيوم، والفرنسيوم، والأستاتين، والبروميثيوم. ويتبع الكتاب الترتيب التاريخي للاكتشاف في فترة ما بين الحربين العالميتين الأولى والثانية تقريباً، بدءاً بعزل البروتكتينيوم في سنة 1917 وانتهاءً بعزل البروميثيوم في سنة 1945. ويتتبع الأبحاث التي سبقت اكتشاف كل عنصر، والتجارب المحورية، والكيميائيين المعنيين، والطبيعة الكيميائية للعنصر الجديد، وتطبيقاته في العلم والتكنولوجيا.

«قصة 7 عناصر» كتاب رائع يصور الأبحاث الكيميائية - بمنعطفاتها الخاطئة، والفرص الضائعة، وأدعاءات الاكتشافات المتنازع عليها، والنتائج العرضية، والاتهامات بعدم الأمانة - وهو ما يؤدي في النهاية إلى متعة الاكتشاف.

السعر 50 درهماً



9 789948 175667

هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY

كلمة
KALINA

المعارف العامة	الأطفال وناشئة
الفلسفة وعلم النفس	
الديانات	
العلوم الاجتماعية	
اللغات	
العلوم الطبيعية والدقيقة / التطبيقية	
الفنون والألعاب الرياضية	
الأدب	
التاريخ والجغرافيا وكتب السيرة	
أطفال وناشئة	