الفصل

3

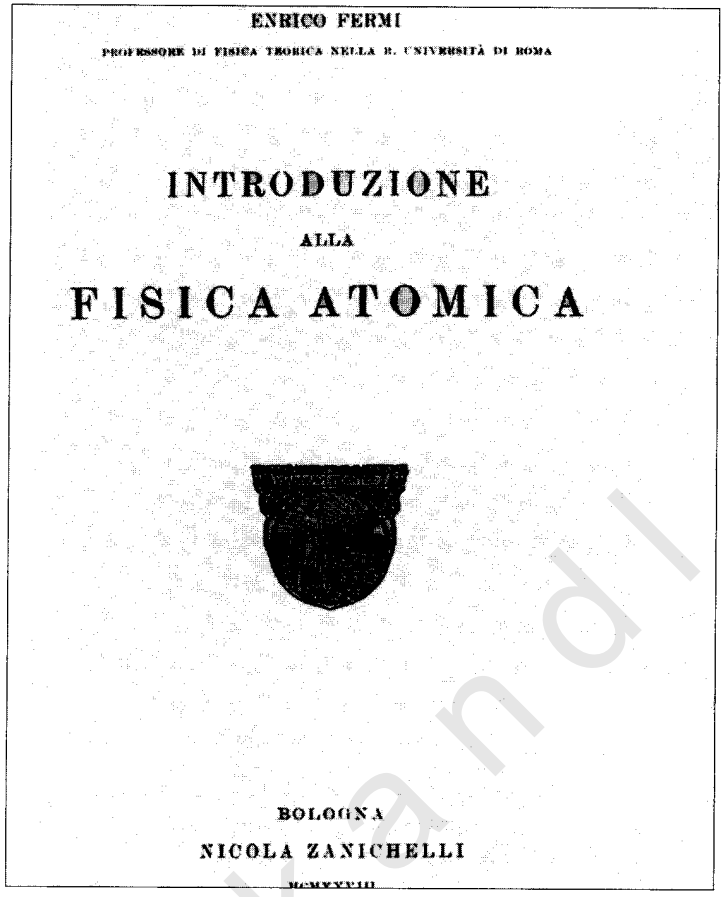
الطريق إلى جائزة نوبل

أصبح فيرمي الآن بروفسوراً في الجامعة. ومعنى ذلك أنه قد تولى ذلك المنصب مدى الحياة. بوجود هذا الضمان أصبح بإمكان فيرمي البدء بالعمل لهدفه العظيم الذي قد وضعه نصب عينيه وهو: إحداث ثورة في علم الفيزياء في إيطاليا. كان يريد أن يحدث انقلاباً في الفيزياء في الصفوف ومختبرات البحث في بلده الأم. كما كان الوضع متقدماً في جميع أنحاء أوروبا.

علم فيرمي وأستاذه البروفسور كوربينو أن تلك المهمة لابد من إنجازها من أجل أن تكون إيطاليا بلداً مشاركاً بكل حرية في تطور علم الفيزياء الحديث.

أدرك كوربينو بأن فيرمي كان الشخص المناسب لهذه المهمة الصعبة. كان فيرمي فيزيائياً لامعاً ومثقفاً بشكل

obeikandl.com


ENRICO FERMI
PROFESSORE DI FISICA TEORICA NELLA R. UNIVERSITÀ DI ROMA
INTRODUZIONE
ALLA
FISICA ATOMICA
BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI

تمهيد إلى الفيزياء الذرية الكتاب المدرسي الذي فتح المجال لحملة فيرمي لجلب علم الفيزياء الحديث إلى إيطاليا.

جيد في الفيزياء الكلاسيكية ونظريات الميكانيك والكهرومغنطيسية التي تم تحسينها بكل عناية في القرن السابق. لم يتوقف فيرمي عند ذلك فقط، بل ظل متصلاً بأحدث التطورات. لقد قام بقراءة مجلدات ألمانيا وإنكلتر العلمية بكل دقة والتي تحتوي على آخر المشكلات وعلى الأبحاث في الفيزياء الحديثة أراد فيرمي أن تكون إيطاليا في قلب الحدث: أشعة إكس، النشاط الإشعاعي وعلم الذرة ونواتها. من الناحية النظرية كان هناك الميكانيك

الكمي: تلك النظريات الجديدة مختلفة تماماً عن علم الميكانيك الكلاسيكي لنيوتن وغاليليو عالم إيطاليا.

لم يقبل العديد من الفيزيائيين القدماء في إيطاليا وغيرها الميكانيك الكمّي حيث يكون الأشخاص الأكبر سناً على الأرجح معارضين لكل جديد وثوري في أي مجال. لكن الأمر لم يكن كذلك بالنسبة لفيرمي الشاب حيث أحاط بالنظريات الحديثة حتى ولو وجدها هو بنفسه محيرة أحياناً.

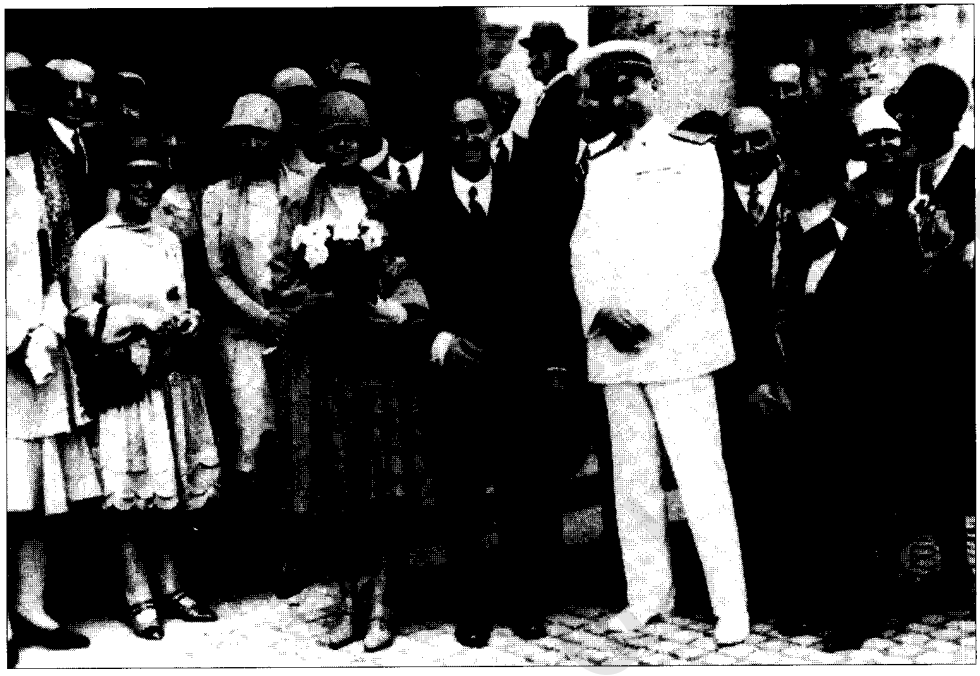
يتحكم الميكانيك الكمي بسلوك أصغر أجزاء من المادة الذرات ونواتها إنه لعالم غريب حيث لابد أن تبعد خبرتنا اليومية الأجسام وكيفية تحركها لأنها غير مطبقة بعد الآن. يجب علينا في العالم الذري التخلي عن حقائق نظريات نيوتن عن الحركة والقوى. تخدمنا قوانين نيوتن في شرح حركة الأجسام الكبيرة ـ بداية بكرة ومضرب البيسبول وصولاً إلى القمر الذي يدور حول الأرض ـ إلاّ أنها لا تتماشى بكل بساطة مع السلوك الطبيعي عندما يأتي الأمر إلى الذرات وأجزائها. كان ما أظهرته التجارب أن الجزيئات (كالإلكترونات) تسلك أحياناً سلوك الموجات، وأن الموجات الصوتية تكون في بعض الأحيان كالجزيئات. وعلى سبيل المثال، بإمكان الإلكترون الذي هو مقدار صغير من المادة والذي اعتاد العلماء على اعتباره جزيئة أن يُظهر خصائص الموجات منتجاً بذلك نماذج «تدخل» مشابهة لتلك المراقبة

بالموجات الضوئية. كان العرض الكلاسيكي لمثل نماذج التدخل هذه في حالة الأمواج الضوئية تجربة بسيطة أجريت لأول مرة عن طريق توماس يونغ (1773 ـ 1829) وهو طبيب وعالم فيزيائي إنكليزي. يمر الضوء أولاً عبر ثقب واحد ثم عبر زوج من الثقوب موازياً للثقب الأول ومن ثم يصطدم الضوء بشاشة. ما يراه المرء على الشاشة هو نموذج من الخطوط المضيئة مفصولة بفراغات مظلمة.

ما الذي يسبب هذه الظاهرة؟

تتداخل قمم الموجات الضوئية المنبثقة من الثقبين بشكل إنشائي في المناطق المضيئة مجتمعة مع بعضها. بينما تتحد القمم من واحدة مع الأحواض من الأخرى ويكون تداخلها مدمراً في المناطق المظلمة.

لوحظت نفس الظواهر مع الإلكترونات، النترونات وجزيئات أخرى موضحة طبيعتها الموجية. لكن الضوء هو عبارة عن موجة، وكان يُعتقد أن الإلكترونات هي عبارة عن جزيئات. يزعم الميكانيك الكمي أن بإمكان كلاً منهما أن يكون موجة أو جزيئات. حتى كوربينو ذو العقل المتفتح وجد صعوبة في قبول نظريات الكم المراوغة اللازمة لشرح مثل هذه الازدواجية في عالم الذرة. كان التخطي على هذه الصعوبات ـ جعل نظريات الكم محترمة في نظر الجيل الأقدم وتدريس عجائبها لجيل حديث من الفيزيائيين في أول قائمة المهمات عند فيرمي. كان لابد لعلم الفيزياء الحديث أن يصبح جزءاً من



فيرمي (في المنتصف) في حفل زفافه إلى لورا كابون حاملة الزهور عام 1928. الضابط البحري هو والد لورا وعلى يساره وكيل العريس ماريو أورسو كوربينو.

المنهاج، جزءاً من جهد البحث، وجزءاً من المشهد في إيطاليا كما كان في بلدان أخرى في أوروبا.

بدأ فيرمي منهجه ذو الثلاث شُعب مع مدرسة كوربينو. أراد أولاً إقناع بعض الطلاب المتخرجين على الأقل في جامعة روما تعلّم الفيزياء الحديثة. ثانياً، أراد البدء ببرنامج بحث وتجارب في الفيزياء المعاصرة.. وثالثاً أراد ترويج الثورة: إعطاء محاضرات مشهورة، كتابة مقالات والقيام بشيء كان جديداً في إيطاليا وهو كتابة كتاب مدرسي عن الفيزياء الذرية الحديثة.

قام فيرمي بمعالجة موضوع الكتاب المدرسي فيما بعد. فقد كرّس صيفه الأول عندما كان أستاذاً لكتابة ذلك

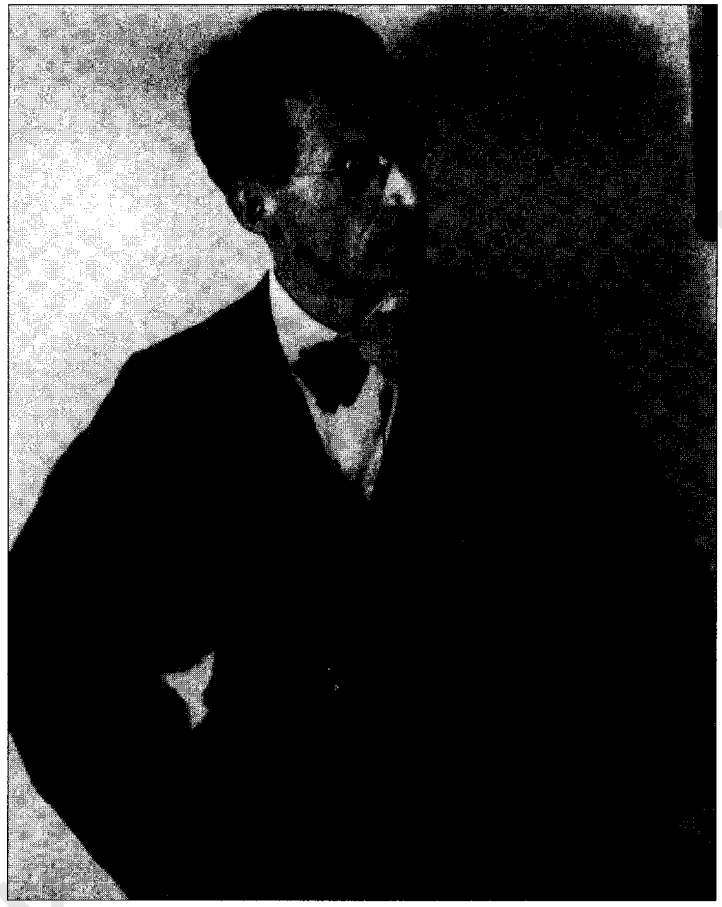
الكتاب الدقيق بعنوان: Introduzione alla Fisica atomica (Introduction to Atomic Physics). تمهيد للفيزياء الذرية.

ويسجل إميليو سيكريه بكل إعجاب Emilio Segre (وهو صديق فيرمي وكاتب سيرته) كيف شرع فيرمي بكتابة الكتاب: مستلقياً على ظهره في مكان إجازته في جبال دولومايت Dolomite في شمال شرق إيطاليا حيث كتب فيرمي من ثقافته العميقة وذاكرته الرائعة.

كانت كتابته خالية من العيوب مستخدماً قلم الرصاص «بدون ممحاة في آخره كما كانت الأقلام الإيطالية» يقول سيكريه: تم طبع الكتاب بعد عام من ذلك.

أثبت تطويع الطلاب المتخرجين بأنه الأكثر صعوبة، حيث قام كوربينو بإعلام طلابه في الهندسة. استجاب واحد منهم فقط وأتى للدراسة تحت إشراف فيرمي لكنه كان مميزاً جداً. كان ذلك الطالب ادواردو أمالدي Eduardo Amaldi الذي التقى بفيرمي سابقاً عن طريق والده عالم الرياضيات الإيطالي المشهور وبالإضافة إلى ذلك، طلب الشاب اميليو سيكريه ترك الهندسة ودراسة الفيزياء تحت إشراف فيرمي بعد أن سمع فيرمي وهو يلقي محاضرة قبل عدة سنوات وعرف المزيد عن عمله عن طريق أصدقاء مشتركين.

وقد عمل كوربينو الأكثر تأثيراً على الإطلاق على إنجاح ذلك. بقي كلاً من أمالدي وسيكريه مع فيرمي حيث انضما إليه في البحث وأصبحا في النهاية أستاذين



ايروين شرودينغر الفيزيائي النظري النمساوي حوالي عام 1933. قام شرودينغر بتطوير معادلته عن الميكانيك الموجي لوصف الحركة على الصعيد الذرّي.

بإرادتهما. لقد عرف فيرمي من كان يريد للبدء بإنشاء برنامج للتجارب في الفيزياء الذرية. كان فرانكو راستي Franco Rasetti زميله من أيام الدراسة في بيزا Pisa وقد عملا سوية كباحثين ما بعد التخرج في فلورنسا Florence لكن راستي بقي هناك عندما انتقل فيرمي إلى روما Rome.

ميكانيكيا المصفوفة لـ هاينزبرغ

كان لدى فيرمي صعوبة مع المصفوفات الأقل فيزيائية والأكثر رياضية لمنهج نظرية الكم لـ ورنر هايزنبرغ (1901 ـ 1976).

إنّ المصفوفة هي كيان رياضي على شكل ترتيب مستطيل للأعداد أو الرموز. أصبحت المصفوفات معروفة في علم الرياضيات في القرن التاسع عشر كطريقة ملائمة للتعبير عما يحدث فيما يدعى التغيير الخطي عندما تُستنتج احداثيات جديدة x' و y' من x و y. وهكذا:

$$x' = a_{11}x + a_{12}y$$
$$y' = a_{21}x + a_{22}y$$

تشكل تلك المسميات عناصر المصفوفة للمصفوفة A:

$$\mathrm{A} = \begin{pmatrix} \mathrm{a}_{11} & \mathrm{a}_{12} \\ \mathrm{a}_{21} & \mathrm{a}_{22} \end{pmatrix}$$

تخيل تحولاً آخر يجعل x' و y' إلى x'' وy''. يمكن أن نطلق على المصفوفة التي فعلت ذلك اسم B:

$$\mathrm{B} = \begin{pmatrix} \mathrm{b}_{11} & \mathrm{b}_{12} \\ \mathrm{b}_{21} & \mathrm{b}_{22} \end{pmatrix}$$

بدون الخوض في التفاصيل، بالإمكان تعريف المصفوفة C التي تمثل A متبوعة بـ $\mathrm{C} = \mathrm{AB}$ يتضح أنه $\mathrm{AB} \neq \mathrm{BA}$ وقد استخدم هايزنبرغ حقيقة «عدم التبديل» هذه كطريقة للتعبير عن الفكرة المتضمنة في علم الميكانيك الكمي حيث من الصعب تحديد السرعة والموقع معاً بشكل دقيق. قادت هذه الفكرة مع علم ميكانيك نيوتن في شكل المصفوفة إلى علم الميكانيك الكمي. كان كل ذلك رسمياً جداً، رياضي جداً ولكنه عميق جداً أيضاً... مجرد التعبير عن القوانين الكلاسيكية في شكل مصفوفة أدى إلى علم ميكانيك الكم. فضل فيرمي منهج الاحتمال لعلم الميكانيك الموجي لشرودينغر.

obeikandl.com

ومن جديد لجأ كوربينو للسياسة ففي بداية عام 1927 رتب لراستي أن يكون معيناً بصفته مساعده الخاص في روما. كان ذلك اختياراً موفقاً فقد كان هنالك صداقة حميمة بين فيرمي وراستي بالإضافة إلى اشتراك ذهني هام. وتماماً كما كان الوضع سابقاً، كان فيرمي يعمق استيعاب راستي لنظريات الكم الحديثة عن الذرة، بينما يستمر راستي بجذب فيرمي لكونه اختبارياً.

بوجود الأستاذين فيرمي وراستي والطالبين أمالدي وسيكريه تكون بدايات جماعة الفيزياء الحديثة قد انعقدت. ولا يزال آخرون ينضمون من صفوف الكهرباء والفيزياء الحديثة التي قام فيرمي بتدريسها. وقد أجرى فيرمي ورقة بحث غير رسمية في مكتبه كل أسبوع. إن أوراق البحث هي طريقة عظيمة للأساتذة من أجل إيصال معلوماتهم وطريقة تفكيرهم وقد كان فيرمي مهووساً بذلك. لم يكن هنالك برنامجاً محدداً لحلقة البحث. وبدلاً من ذلك كان عادة لأحد ما سؤال عن موضوع يهمه. ومهما كان نوع الموضوع، كان بإمكان فيرمي التحدث عنه بكل وضوح مستمداً من معلوماته الواسعة في علم الفيزياء. غالباً ما كان فيرمي يتقاسم العمل الذي يقوم به مستخدماً ما سماه سيكريه بـ «بلاغة المثال». قام فيرمي ببناء الحماس في طلابه والإدارة للعمل جدياً ليكونوا مثله. يقال أحياناً أن الطلاب المتخرجين هم امتداد لشخصية أستاذهم، وكان لمدرسة فيرمي المتوسعة نموذجاً مؤثراً بشكل خاص.

ومع ذلك لم يكن الأمر كله عملاً. فقد حافظ فيرمي وراستي على حبهما للنزهات والرياضات التنافسية. اشترى كلاً منهما سيارة. كانت سيارة فيرمي بيجو صغيرة صفراء فاقعة ومكشوفة تبدو كشيء من مسلسل هزلي قديم. ولم يكن فيرمي ليضيع أي جهد لإبقاء سيارته المسماة The Bebe Peugeot جاهزة دائماً كانت تتعطل باستمرار معطية فيرمي عدة فرص لإظهار الاختبارية. (في إحدى المرات، استخدم فيرمي حزام سرواله ليضعه مكان سير المروحة المعطل).

كان الصديقان وأصدقائهما يقودون في الريف حول روما. كانت لورا كابون من ضمن المجموعة وهي طالبة في العلوم في جامعة روما. كانت لورا بعمر السادسة عشر وأنريكو في الرابعة والعشرين عندما التقيا أول مرة في يوم أحد في ربيع عام 1924. فقد انضم إلى مجموعة أصدقائها وركبوا الترامواي إلى الريف في ملتقى نهري Aniene وTiber خارج روما. تولى فيرمي الأمر منذ البداية مظهراً ثقة بالنفس، ابتسامة حاضرة وجدتها لورا أخاذة.

لعب كرة القدم وقد عيّن فيرمي لورا ـ مبتدئة تماماً ـ مكان حارس المرمى في فريقه. عندها أنقذت لورا الوضع وربحت المباراة بعدما تعثر فيرمي ووقع بسبب حذائه المشقوق. تقول لورا فيرمي في مذكراتها: «كانت تلك أول أمسية أمضيها مع أنريكو فيرمي والحادثة الوحيدة التي كنت فيها بارعة أكثر منه».

مرّ أكثر من عامين قبل أن يلتقي الاثنان من جديد، وكانت هذه المرة في يوليو عام 1926 في مكان استجمام في جبال دولومايت كان والدا لورا يقضيان إجازتهما هناك وكان فيرمي قد أتى لقضاء الصيف قبل توليه عمله الجديد كبروفيسور في روما. ومن جديد تولى فيرمي القيادة منظماً رحلات في الجبال المجاورة. «لقد حاز على ثقة والدتي منذ النظرة الأولى، وكنت ممنوعة من الذهاب في نزهات منظمة من قبله» تكتب لورا. (كانت التشديدات قاسية على نشاطات شابة بعمر التاسعة عشر في ذلك الوقت).

تقدمت الأمور اعتباراً من تلك الفترة وتتالت اللقاءات عند الأصدقاء بعدما تعيّن فيرمي في روما. بالرغم من أن لورا لم تكن تخطط للزواج بل كانت تقرر تأسيس حياة مهنية، وبالرغم من أن مواصفات الزوجة لم تنطبق على لورا بالإضافة إلى قوله أنه يستطيع تحمّل نفقات سيارة البيجو أو الزواج وليس الاثنين معاً فقد عمل الحب معجزاته. وحصل فيرمي على كل من لورا والسيارة. وبالفعل، ساعدت السيارة الصغيرة فيرمي في كسب ودّ لورا وأصبحت السيدة فيرمي في 19 يوليو عام 1926. تأخر البروفيسور فيرمي عن موعد الزفاف بسبب طول أكمام بدلته الجديدة وكان عليه إصلاحها.

كان لفيرمي طفلان، بنت: نيلا ولدت في شهر يناير من عام 1931، وصبي: غيليو ولد في شهر فبراير عام 1936. تظهر صور العائلة فيرمي وهو يحمل طفلته نيلا

obeikandl.com

بحذر شديد ويبدو بوضوح بأن ثقته في عمل تجربة فيزيائية لا تطابق ثقته كأب يافع. كان علم الفيزياء حب فيرمي الأول والمشاركة بمعلوماته في المنتديات الدراسية. كان الميكانيك الموجي الحديث مادة متكررة في الندوات الدراسية وهو طريقة لتفسير نظرية الكم التي قد نشرت من قبل عالم الفيزياء النمساوي ايروين شرودينغر (1887 ـ 1961) قبل عام فقط من وصول فيرمي إلى روما. لقد قام شرودينغر بصياغة منهج رياضي للتعبير عن الفكرة الخفية لنظرية الكم وهو أنه لا يمكن تحديد موقع وسرعة الذرة بدقة كما قد افترض نيوتن في الكتابة عن الكواكب السيارة.

في عالم صغير جداً، يكون أي منهج مختلف مطلوباً. فقد افترض شرودينغر «وظيفة الموجة» التي عبّرت عن احتمال وجود جزيئة في أي موقع معين. لم يكن من السهل على أولئك الذين اعتادوا الفيزياء الكلاسيكية تقبل ذلك، إلا أن الطريقة نجحت: فقد أعطت أجوبة صحيحة لدى تطبيقها على حالات فيزيائية بسيطة كذرة الهيدروجين مع الكترونها الوحيد الذي يدور حول نواة مؤلفة من بروتون وحيد مشبع تماماً. أعجب فيرمي بطريقة شرودينغر. وبنشاطه المعتاد قام بسرعة بنشر عدة أبحاث التي كانت عبارة عن تطبيقات وتتمات عن الميكانيك الموجي.

أراد فيرمي أن تكون الفيزياء مرفقة بالبينات دوماً. هانس بيث الفيزيائي الذي قد قضى وقتاً مع فيرمي في روما والذي كان يعرفه جيداً لدى هجرتهما سويةً إلى أميركا فقد كتب في مديح فيرمي بأنه يقوم بنزع التعقيدات الرياضية والشكليات الغير ضرورية من «المسألة الحسابية» لتبقى مجردة ومن ثم يقوم بحل المشكلة الأساسية للحالة. تتعاكس تلك القدرة على إبقاء تركيزه على ما كان يحدث عوضاً عن التفكير بالرياضيات مع الممارسة التي يقوم بها الكثير من الفيزيائيين النظريين. حيث يقوم باستخدام منهج شكلي أكثر، وأقل بديهية. كانوا يفضلون كتابة المعادلات التي تصف المسألة المتناولة، حل هذه المعادلات ومن ثم البدء بالتفكير بالفيزياء في ذلك الحل. وهكذا تأتي الرياضيات قبل الفيزياء بالنسبة لأولئك الفيزيائيين. هناك دورات وكتب كاملة بعنوان «أساليب الفيزياء النظرية» Methods of Theoretical Physics التي تقوم بتدريس هذا المنهج. فلهذا المنهج مكانته، وبالطبع بإمكان فيرمي حل الرياضيات، فقد كان بارعاً بها،

فريدريك جوليو ـ كوري (على اليسار) في مختبر زوجته، إيرين جوليو ـ كوري ابنة ماري كوري. أخفق كلاهما باكتشاف النترون، لكنهما تابعا ليفوزا بجائزة نوبل.

لكن عبقريته الخاصة تكمن في الوصول إلى الفيزياء والمخاطرة بالإفراط في التبسيط والحصول على جواب أقل دقة. كان فيرمي عملياً وواقعياً. وأجيال الفيزيائيين ممتنون للحكمة التي زودهم بها منهجه الواضح. إلا أن فيرمي كان يبحث عن شيء أكثر من مجرد نجاحه الشخصي والذي كان مضموناً بسبب إنجازاته إلى ذلك الوقت.

أراد فيرمي بناء مدرسة لتعليم الفيزياء وأن يجعل إيطاليا تتخذ مكانها الصحيح بين الأمم. ومعنى ذلك تقوية إمكانيات البحث لمعهد الفيزياء في قسم الفيزياء في جامعة روما.

وذلك بدوره طرح فكرة إرسال رفاقه إلى الخارج للتعلم من مختبرات أكثر تقدماً. ذهب راستي إلى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في باسادينا California Institute of Technology in Pasadena للعمل مع روبرت ميليكان (1868 ـ 1953) الذي كان قد فاز بجائزة نوبل في الفيزياء عام 1923 لقيامه بقياس الشحنة الكهربائية على الالكترون وهي قيمته أساسية جداً في الفيزياء الذرية. ثم تابع راستي ليتعلم التقنيات لدراسة النشاط الإشعاعي في برلين مع الفيزيائي ليز ميتنر (1878 ـ 1968) أثبتت هذه التجربة كونها هامة جداً لجماعة فيرمي التي احتاجت حالاً مهارة في النشاط الإشعاعي.

أوفد سيكريه وأمالدي بشكل مماثل إلى مختبرات

أوروبية حيث عملوا على توسيع معرفتهم للتقنيات المتقدمة في دراسة الضوء وأشعة X. أمضى فيرمي نفسه صيف عام 1930 وهو يلقي محاضرات في جامعة ميتشيغان في آن أربور ـ زيارته الأولى لأميركا. (ساعدت لغة فيرمي المكتسبة من قراءة المقالات الإنكليزية والأمريكية ومن محادثته مع زوار لإيطاليا يتكلمون الإنكليزية ـ في إلقاء محاضراته. وبالفعل تمت دعوته للعودة في عام 1935).

نجحت العملية. زادت سمعة روما والرومانيين تماماً كشبكة أصدقاء في العالم. وبدءاً من الثلاثينات، وجد الفيزيائيون النظريون من الدرجة الأولى أنه من المفيد زيارة فيرمي. أُعدت المنصة من أجل بعض التطورات الكبيرة التي ستنقل فيرمي إلى القمة ـ جائزة نوبل في الفيزياء.

ولكن قبل هذا المجد كله ـ والعمل الشاق الذي قاد إليه ظهرت ثغرة في الطريق كانت عبارة عن ورقة قدمها فيرمي إلى محرري Nature المجلة العلمية الإنكليزية العظيمة. مثل هؤلاء هم حراس للأفكار. قرروا بمساعدة خبراء مستشارين ما سيتم نشره وما لا ينشر. في 1933 طور فيرمي نظرية تشرح تناقض نشاط أشعة بيتا ـ ما يحدث عندما تطلق النواة جزيئة بيتا الكتروناً. ولهذا الشرح كان على فيرمي اختراع جزيئة جديدة محايدة Neutrino (محايدة صغيرة بالإيطالية). كانت تلك فكرة

جريئة ولكنها ضرورية من أجل شرح لما لم تكن الالكترونات الصادرة من نفس الطاقة بل أظهرت خاصية توزيعية مع الالكترونات من طاقات مختلفة.

بالإمكان المحافظة على الطاقة الكاملة لأن النيوترينو نقل أية طاقة لم تذهب للالكترونات. (إن حفظ الطاقة صفة أساسية جداً في جميع النظريات في الفيزياء وسوف يقدم فيرمي قريباً (النترينو) عوضاً عن ترك حفظ الطاقة).

قدم فيرمي ورقة بحث لـ Nature لكن المحرر رفضها بوصفها «مختلة» (استخدم لغة مهذبة أكثر حيث قال أنها احتوت على «تحليل مجرد بعيد جداً عن الحقيقة الملموسة». وهي طريقة لائقة للقول عن فكرة أنها فكرة مجنونة).

عاد فيرمي ونشر نظرية تناقص نشاط أشعة بيتا في مكان آخر. كان اختباراً مع الزمن وكان بإمكانه الفوز بجائزة نوبل لهذه النظرية الرائعة لو لم يتابع للفوز بها بعمل أكثر أهمية.

قدم تطوران علميان في أوائل عام 1930 فرصة أعظم من ذلك حيث قام فيرمي بالتوقف من أجل استغلالها بكل نشاط. كان مجال فيرمي لبحثه الجديد هو تجارب النواة الذرية. في 1911 قام أرنست رذرفورد فيزيائي بريطاني بشرح عن وجود نواة صغيرة مشحونة إيجابياً في مركز كل الذرات بالإضافة إلى تجارب على تناثر جزئيات

ألفا. (تأتي جزئيات ألفا من الملوتونيوم أحد العناصر المشعة. نعلم الآن أن جزئيات ألفا تتألف من بروتونين ونترونين مترابطين معاً وهو شكل مألوف للنشاط الإشعاعي الطبيعي. لكن في العشرينات كانت طبيعته جزءاً من اللغز الكامل للنواة).

ظلت هناك أسئلة كبيرة متعلقة بطبيعة النواة. وضَّحت تجارب في مختبر رذرفورد بعضها وليس كلها. ماذا يوجد داخل النواة؟ مم تتألف؟ أتت بعض الأجوبة من مختبر رذرفورد حيث وضَّح مع زملائه أن دقائق ألفا ليس بوسعها فقط أن تبعثر النوى الذرية ولكن باستطاعتها أيضاً أن تحث التفاعلات التي تتحول فيها النواة المرتطمة شكل نووي إلى آخر.

أُجريت تجارب أخرى عن تصادم الذرات في باريس من قبل إيرين جوليو كوري (1897 ـ 1956) وزوجها فريديريك جوليو كوري (1908 ـ 58). حيث راقبوا الأشعة المخترقة التي ظهرت في اليورون لدى ارتطامها بدقائق ألفا. لسوء الحظ (وهي واحدة من قصص الفيزياء الغير محظوظة) اعتقدوا أن الأشعة المخترقة هي أشعة غاما.

كانوا على خطأ. في مختبر رذرفورد 1932، وضح جيمس تشادويك (1891 ـ 1974) أن تلك الأشعة المخترقة لم تكن أشعة غاما بل أشعة محايدة أُطلق عليها اسم النترونات. قبل اكتشاف تشادويك، اعتقد الفيزيائيون

أن نوى الذرات. تتألف من البروتونات والإلكترونات. كانوا مخطئين. أظهر تشادويك بأنه لا وجود للإلكترونات في النواة وعوضاً عن ذلك كان هناك جزئية محايدة كهربائية ثانية مع تلك البروتونات المشحونة إيجابياً. كانت البروتونات والنترونات هي ما يؤلف كل النوى.

تسلم جوليو ـ كوري جائزة نوبل في الكيمياء لخلق نشاط إشعاعي بشكل اصطناعي عن طريق قذف البورون والألمنيوم بدقائق ألفا.

قبل اكتشاف جوليو كوري كان النشاط الإشعاعي خاصية معروفة للعناصر الثقيلة: اليورانيوم ـ التوريوم وغيرها. بالفعل، كانت والدة جوليو كوري ماري كوري (1867 ـ 1934) رائدة في مجال العناصر المشعة الطبيعية وخاصة الراديوم والبولونيوم. والآن يوجد النوع الجديد من النشاط الإشعاعي: النشاط الإشعاعي المحدث ـ وقام بدمجهما معاً. حيث استخدم النترونات لحث النشاط الإشعاعي وبكل وضوح سيكون من السهل اختراق هدف النوى بواسطة النترونات الكهربائية أكثر من دقائق ألفا المشحونة إيجابياً الأمر الذي واجه القوة الدافعة للشحنة الموجبة للهدف.

استخدمت فيرمي من أجل مصدر النترونات أنبوبة زجاجية تحتوي على بودرة البيريليوم وغاز الرادون. أنتجت دقائق ألفا من الرادون المشع طبيعياً نترونات عندما ارتطمت بنواة البيريليوم.

ثم استخدم فيرمي بعد ذلك هذه النترونات لقذف ذرات الهدف. وبكونه باحث منظم بدأ بالهيدروجين أخف عنصر في الجدول الدوري للعناصر. لم تحدث النترونات أي نشاط إشعاعي اصطناعي في الهيدروجين. وبشكل مماثل تلا ذلك نتائج سلبية لدى متابعته في العناصر الأثقل في الجدول الدوري. أصرّ فيرمي حتى أتت مكافأته الأولى بالعنصر فلوراين المشع بالنترونات. أصدرت بعض نوى الفلوراين جزئية ألفا وتحولت إلى شكل مشع للنتروجين. استخدم فيرمي عدَّاد جايجر لعد الإلكترونيات أو «أشعة بيتا» الصادرة عن النتروجين المشع. كما أنتج الألمنيوم المعالج إشعاعياً بالنترونات منتجاً إشعاعياً.

قاست التجارب النشاط الإشعاعي المحدث في النوى الذي نشأ حديثاً بواسطة قذل النترون. والآن كان النشاط الإشعاعي المحدث لبعض العناصر ضعيفاً، ويحتمل أن يتلاشى بسرعة لعناصر أخرى. ونشاطه الإشعاعي المرتفع نسبياً.

كان فيرمي يستمتع بالإسراع لعد النشاط الإشعاعي المحدث القصير العمر. وبهذا كما في كل الأشياء كان فيرمي سعيداً بالمنافسة.

أسرع فيرمي أيضاً لنشر نتائجه في ورقة عنوانها «النشاط الإشعاعي المحدث بواسطة قذف النترون 1.

obeikandl.com

أضاف فيرمي 1» بكل جرأة لأنه علم أنه على طريق ساخن وأنه سيكون هناك المزيد من الأبحاث في هذه السلسلة. بالعمل السريع والمنظم قام الفريق أمالدي راستي وسيكريه وفيرمي بالبحث عن نشاط إشعاعي محدث وفصل العنصر المشع المنشأ حديثاً كيميائياً وقياس نوع الجزئية الصادرة، طاقتها ومدى سرعة تناقص النشاط الإشعاعي الاصطناعي.

(يطلق عليها اسم الحياة النصفية: الوقت اللازم لكثافة النشاط الإشعاعي المحدث لأن ينخفض إلى نصف واحد). قاموا بقياس الحديد ـ الفوسفور ـ فاناديوم ـ يورانيوم وما إلى هنالك...

كان هذا نوع جديد من البحث المرتفع الإنتاج، ولكنه كان عمل 4 سنوات من التجارب المنظمة والحريصة.

أنتج الفريق عشرة أوراق في السلسلة الأصلية والكثير عن المواضيع الفرعية لدى قراءة هذه الأوراق اليوم، يستطيع المرء تلمس العجلة التي مروا بها، كل هذه المعلومات تنقلب هنا وهناك وكل عنصر جديد منتجاً ألغازه الجديدة.

إن لغة هذه الأوراق أمر واقع والمعلومات مرتبة في أعمدة علمية لا بد فيرمي وزملائه كانوا متحمسين. كانوا من النخبة. مكتشفين لويس وكلارك للأرض النووية.

والأكثر من ذلك أنهم كانوا يخلقون عالمين جديدين: النوى المشعة المنتجة في ذلك المختبر على فيا بانيفيرنا لم تظهر بساطة في ظروف طبيعية على الأرض. ظلت المواضيع عن الأصناف النووية المتنوعة متروكة لدراسات مستقبلية. كما كان هناك تقدم مفاجئ هام. كان فريق فيرمي، في جميع دراساتهم لإشعاع النترون، قد تقدم تحت فرضية أن النترونات الأسرع والأكثر طاقة أكثر فعالية من البطيئة في خلق التفاعلات. وهو فعلاً افتراض منطقي: أسرع وأكثر طاقة يعطي فرصة أكبر لهز النواة الهدف وخلق ذرات جديدة مشعة. لكن للطبيعة مفاجآت في الانتظار . كان العكس تماماً، النترونات الأبطأ هي الأكثر فعالية من إخوتها الأسرع.

أصبح ذلك واضحاً فقط عندما مر الفريق ببعض الظواهر المحيّرة. بدءوا ملاحظة أن مقدار النشاط الإشعاعي المحدث اعتمد على شروط الإشعاع. كما يقول سيكريه. الذي عمل على هذه المعضلة: «كان هناك بالتحديد طاولات خشبية معينة التي كان لها خاصيات رائعة، وبما أن الفضة التي تعرضت للإشعاع عليها أصبحت أكثر نشاطاً من تعرضها للإشعاع على أخرى، كطاولات من الرخام في الغرفة نفسها».

نعلم الآن أن التأثير يرتفع لأن الطاولة الخشبية أفضل في إبطاء النترونات جاعلة منها أكثر فعالية في أحداث

النشاط الإشعاعي في العديد من العناصر. إلا أن العلماء لم يعرفوا ذلك بعد. ولهذا قام سيكريه وأمالدي ببحث منظم عن ذلك. استخدموا عبوة صغيرة من الرصاص من أجل لحفظ هيئة الإشعاع.

(كانوا منظمين وأرادوا أن يوحدوا قياس ظروف الإشعاع). كان في ذهن فيرمي منهج مشابه يتضمن استخدام قطعة من الرصاص على شكل وتد بين مصدر النترونات والهدف. ولكن في لحظة رائعة من قوة العقل الباطني ترك فيرمي الوتد الرصاصي المصنَّع بعناية واستعمل قطعاً من البارامنين.

غيَّر ذلك كل شيء لأن النشاط الإشعاعي المحدث أصبح أكبر بكثير حيث طقطقت عدادات جايجر كما لم تكن من قبل. ازداد النشاط الإشعاعي المحدث لعشرات ومئات المرات. إن اكتشاف النترون البطيء الذي أسماه فيرمي: «أهم اكتشاف قمت به» أصبح مركزياً لأعماله اللاحقة. إن ما كان يحدث أصبح واضحاً في تجارب لاحقة. ثم إبطاء سرعة النترونات في تصادم ذرات الهيدروجين في البارافين (أو في خشب تلك الطاولات). تزن نواة ذرة الهيدروجين تقريباً نفس وزن النترون. فعندما يصطدم النترون بذرة هيدروجين تأخذ الأخيرة الكثير من طاقة النترون. كما تصدم كرة بيليارد كرة أخرى.

لكن عندما يضرب النترون نواة ثقيلة يصبح ككرة البلياردو وهي تصدم الحافة ثم تقفز إلى الخارج دون خسارة في الطاقة. لعدة تفاعلات، كانت هذه النترونات البطيئة أكثر فعالية في إحداث نشاط إشعاعي أكثر من النترونات السريعة.

في سيرتها الذاتية المؤثرة «ذرات في العائلة» تخبرنا لورا فيرمي كيف أسرع الفريق لرؤيتها إذا ما كانت التأثيرات في الماء كوسيط لإبطاء النترونات استخدموا لذلك بحيرة السمكة الذهبية في حديقة البروفسور كوربينو خلف المختبرات.

> في تلك الظهيرة في 22 أكتوبر، أخذوا مصدر النترونات والأسطوانة الفضية (الهدف) إلى النافورة ووضعوها تحت الماء. أنا متأكدة أن السمكة الذهبية حافظت على هدوئهم وكرامتهم بالرغم من سيل النترونات أكثر من الحشد في الخارج.
>
> وقد تعاظمت إثارتهم بمعرفة نتائج هذه التجربة. حيث أكدت نظرية فيرمي. زاد الماء أيضاً من النشاط الإشعاعي الاصطناعي للفضة بعدد من المرات.

إن اكتشاف التأثيرات الفعالة للنترونات البطيئة أضاف قوة مشابهة إلى إنتاجية فريق فيرمي. فقد نشروا 25 بحثاً مختلفاً على الأقل عن النترونات مع نهاية عام 1934. مع حلول فبراير 1935 تمكن فيرمي وزملائه من نشر ملخص واسع عن كل أعمالهم في جريدة بريطانية The

obeikandl.com

Proceedings of the Royal Society (London) وفيها، تم وضع الكثير من مبادئ فيزياء النترونات. يظهر فيرمي مثلاً كيف تمر النترونات البطيئة بسهولة نسبياً عبر الرصاص. ولكنها تُمتص عن طريق طبقات دقيقة جداً من عناصر الكادميوم والبورون، كما زودنا فيرمي بالنظرية الأولى عن كيف تنقص النترونات من سرعتها وتنتشر في مواد مثل البارافين. بكل وضوح. لم يكن هناك أحد في العالم يعلم هذا المقدار عن النترونات.

وفقاً لاقتراح كوربينو، قدم فيرمي وزملاؤه طلب رخصة لاستعمال النترونات البطيئة. لقد أثرت على مثل هذه الأمور كإنتاج ذرات مشعة وتعزيز إنتاجها عن طريق إبطاء النترونات. تشكل الرخصة الأساس الكثير من الذي تم في مجال القوة النووية. في عام 1935، بعد الكثير من المشاحنات القانونية، دفعت حكومة الولايات المتحدة مبلغ 400,000$ لجميع حقوق الرخصة. كانت حصة فيرمي بعد النفقات، حوالي 24,000$ وهي الحصة نفسها التي أعطيت لباقي زملائه.

كان الجو مناسباً جداً ليتسلم فيرمي أعلى جائزة في الفيزياء، جائزة نوبل. في خريف عام 1938 في مؤتمر علمي في كوبنهاغن، تم طلب فيرمي إلى العالم الفيزيائي الدانماركي العظيم نايلز بور (1885 ـ 1962) الذي سأله ما إذا كان بإمكانه قبول جائزة نوبل إذا منحت له. إن ذلك النوع من «الاقتراح» قد أصبح ضرورياً لأن الحكومات

الفاشية كتلك في ألمانيا وإيطاليا قد منعت بعض الفائزين من قبول جوائزهم.

أكد فيرمي لبور بأنه سيكون مستعداً لتسلم الجائزة. وبالفعل فقد بدأ بوضع الخطط لمغادرة إيطاليا. بدأ موسوليني بتقليد القوانين العنصرية لأدولف هتلر نازي ألمانيا، قوانين تقيد حرية العلماء «الغير ـ آريين» اليهود بالتحديد.

كانت زوجة فيرمي يهودية، وقد أضافت هذه القوانين العنصرية إلى قرار فيرمي بضرورة ترك إيطاليا. كانت رحلاته الصيفية إلى الجامعات الأميركية خلال العقد السابق قد جعلت من الانتقال إلى الولايات المتحدة معزياً. كان معجباً بالأميركيين وبآرائهم. في الواقع، طُلب منه (وتلقى بسرعة) دعوات للتدريس وللقيام بالأبحاث في جامعات أميركية. (تم إخبار السلطات الإيطالية بأنه ذاهب لستة أشهر فقط). والآن وضع خططاً للذهاب إلى الولايات المتحدة مباشرة من احتفالات نوبل في ستوكهولم.

لم تكن هذه التحضيرات عبثاً لأنه في صباح 10 نوفمبر 1938، قبل لعائلة فيرمي توقع مكالمة تلك الليلة من ستوكهولم. لم يذهب فيرمي للعمل ذلك اليوم، كما اشترى هو وزوجته ساعات يد وأشياء ثمينة أخرى لتمر بالسلطات الإيطالية توقعاً لرحلتهم. في المساء بالانتظار

لتلك المكالمة من ستوكهولم استمعت عائلة فيرمي للمذياع الذي تحدث عن أخبار جديدة عن الإجراءات الصارمة ضد اليهود. حيث تم استبعاد الأطفال اليهود من المدارس العامة وكذلك الأساتذة. قانون قاس وغبي بعد آخر. وبعد ذلك جاءت المكالمة وقرأت سكرتيرة الأكاديمية السويدية للعلوم الشاهد وأخبرت فيرمي أن الجائزة له وحده . أي لا وجود لأحد يشاركه في الجائزة كما كان في سنوات أخرى. وبعد ذلك جاء الأصدقاء يهنئون انريكو ولورا ولجعلهم ينسون الأخبار السيئة التي سمعوها في المذياع.

ألبرت أينشتاين (وسط شمال) في اجتماع لجمعية مساعدي اللاجئين في لندن عام 1933. فقوانين العرق النازي وممارساته جعلت كثير من العلماء يطالبون باللجوء إلى الخارج.

قدم الملك كوستاف الخامس، ملك السويد الجائزة إلى فيرمي في 10 ديسمبر 1938، ذكرى وفاة نوبل. وذهبت جائزة الآداب في نفس الاحتفال إلى بيرل باك روائي أميركي. كان حفل جائزة نوبل حدثاً عظيماً بحضور أعضاء الأكاديمية السويدية والفائزين في السنة الماضية ونجوم ساطعة في عالم العلوم، الحكومة والسلك الدبلوماسي. كانت الشخصيات الرئيسية بملابس رسمية ولهذا كانت تلك المناسبة في إحدى المناسبات النادرة جداً حيث كان فيرمي يرتدي بدلة رسمية توقعت الحكومة الإيطالية من فيرمي إلقاء تحية فاشية بيد ثابتة ممدودة لدى تسلمه الجائزة من الملك ولكن فيرمي بكل جرأة لم يفعل ذلك أبداً وصافح الملك بكل بساطة. كتبت الصحف الإيطالية عن الجائزة كتكفير عن الذنب، جاء في العرض:

> من أجل إثباته لعناصر مشعة جديدة أنتجت بواسطة قذف النترون، ومن أجل اكتشافه المشترك مع هذا العمل من التفاعلات النووية المتأثرة بالنترونات البطيئة.

لقد تم نيل الجائزة أيضاً لأن فيرمي قد فتح مجالاً هائلاً جديداً لفيزياء النترونات. وصف فيرمي بحثه وأثنى على زملائه في خطابه، تقليد آخر لجائزة نوبل. تحتوي النسخة الأخيرة المطبوعة لذلك الخطاب على حاشية مثيرة للاهتمام التي يعترف فيها أن اكتشاف الانشطار النووي من قبل اوتوهان وفريتز ستراسمان (التي نشرت

obeikandl.com

التفاعلات النووية التي فازت بجائزة نوبل

فاز فيرمي بجائزة نوبل على العناصر المشعة الجديدة التي أوجدها بواسطة قذف النترون. إنّ العملية التي استخدمها هي عملية يتم من خلالها اختراق نترون قاذف وارد نواة الهدف ويكون سريعاً نواة مركبة التي تفرغ بعد ذلك جزيئة من نوع آخر مغيّرة النواة الأصلية في العملية.

لانتاج النترونات، وظف فيرمي نفس التفاعل الذي استخدمه جيمس تشادويك عند اكتشاف النترون لأول مرة. أطلق دقائق ألفا على هدف عنصر البيريليوم لدى جزيئة الفا، نواة ذرة الهيليوم رمزها (He) بروتونين ونترونين أي أربع نويات بالمجموع . الطريقة المختصرة لكتابة ذلك هي: ${}_2He^4$. إن الرمز السفلي 2 يدل على وجود بروتونين، والرمز الأعلى 4 يدل على وجود أربع نويات بالمجموع.

خلط فيرمي الرادون وهي مصدر مشع لدقائق ألفا مع بودرة ألبيريليوم. الرمز الكيميائي للبيريليوم هو Be. وترميزه بالنسبة لنواته: ${}_4Be^9$. هناك أربع بروتونات وخمسة (تسعة ناقص أربعة) نترونات.

والآن الجزء السحري. عندما تخترق جزيئة ألفا محظوظة نواة البيريليوم، يحدث التفاعل النووي التالي:

$${}_2He^4 + {}_4Be^9 \rightarrow {}_6C^{12} + On^1$$

تحولت نواة البيريليوم إلى كربون وانطلق نترون. لاحظ كيف تتوازن الأرقام في كلتا الجهتين من المعادلة (الرموز السفلية والعلوية).

obeikandl.com

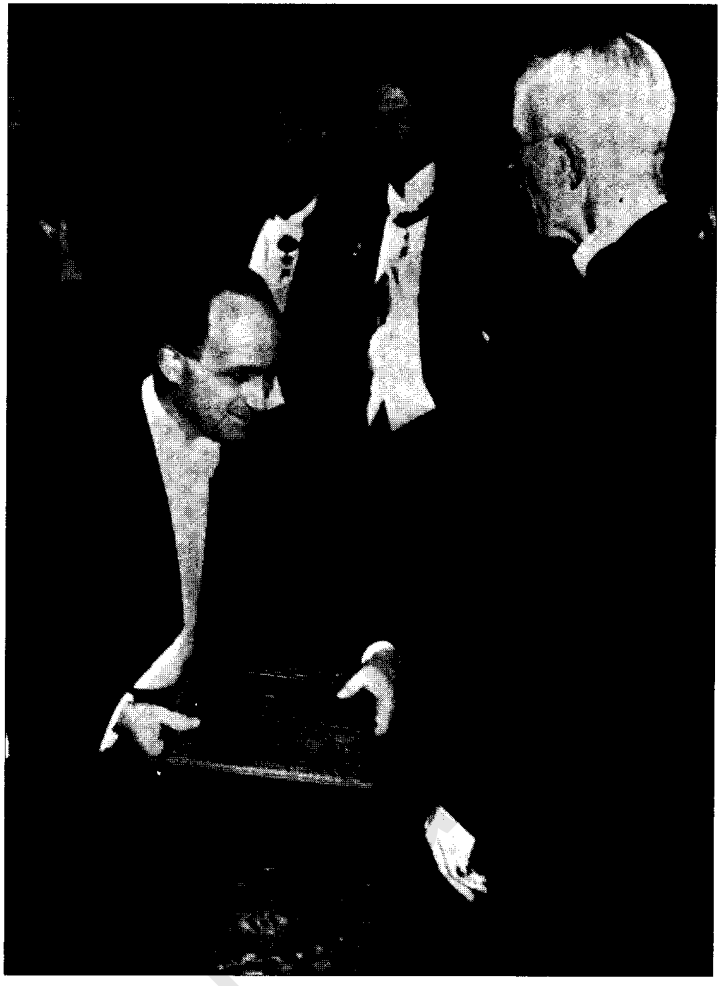
ها هي المعادلة التي تصف ما يحدث عندما يخترق أحد هذه النترونات نواة الفلوراين:

$$_9F^{19} + _0n^1 \rightarrow _7N^{16} + _2He^4$$

تحولت إحدى نوى الفلوراين إلى نتروجين ونتجت جزئية ألفا. نواة النتروجين الناتجة في هذا التفاعل هي نظير مشع للهيدروجين. تأتي كلمة نظير من الكلمات اليونانية iso وتعني مماثل وTopos تعني مكان Isotope النظير هو شكل من العنصر يحتل نفس المكان في الجدول الدوري ولكن بعدد مختلف للنترونات.

إنّ الشكل الطبيعي للنتروجين هو $_7N^{14}$ أي سبعة بروتونات وسبعة نترونات في نواته. حاول معرفة كم نتروناً وبروتوناً في $_7N^{16}$.

obeikandl.com



فيرمي يستلم جائزة نوبل للفيزياء عام 1938 من غوستاف الخامس ملك السويد.

بعدما تسلم فيرمي جائزته وألقى خطابه) «تؤكد أنه من الضروري إعادة اختبار «النتائج على العناصر ما وراء اليورانيوم».

لقد أخطأ فيرمي معتقداً أن النشاط الإشعاعي الذي راقبه عندما قذف اليورانيوم بالنترونات كان بسبب عناصر جديدة بعد اليورانيوم في الجدول الدوري للعناصر. فقد

غفل عن حقيقة أن النترونات بإمكانها أن تقسم ذرة اليورانيوم وأن النشاط الإشعاعي الذي راقبه فريقه كان من منتجات الانشطار النووي لليورانيوم.

غير مدركاً للانشطار النووي بعد، استمتع فيرمي وعائلته بعبور هادئ من ساوثمبتون إلى نيويورك على الباخرة «فرانكونيا». وصلوا في 2 يناير 1939 وبدأوا حياة جديدة في مدينة جديدة.

obeikandl.com

Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium,by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable - though much less certain - that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

الصفحة الأولى من رسالة ألبرت أينشتاين عام 1939 إلى الرئيس فرانكلين دي روزفلت محذراً من قنابل اليورانيوم وتفاعلاته المتسلسلة. اقنع ليو زيلارد الكسندر ساش عالم اقتصاد وال ستريت، الذي كان على معرفة بالرئيس أن يوصل الرسالة له.

obeikandl.com