A. U. B. LIBRARY

CLOSED
AREA

AMERICAN
UNIVERSITY OF
BEIRUT

PHILIP HITTI COLLECTION

CLOSED
AREA

Philip K. Hitti

تقدمة لحضرة الاخ الكريم والعالم المدقق
الدكتور فيليب حتي مع فائق التقدير
والاحترام
المؤلف
٥٢/٦/٢٠ نقولا شاهين

CA
539.76
Sh52nA
c.1

النظرية الذرية

الطاقة الذرية

القنبلة الذرية

تأليف

نقولا جرجس شاهين ا س.ع

استاذ الفيزياء

الجامعة الاميركية — بيروت

AUB faculty or AUB related publication

مطابع صادر ريحاني بيروت ـ لبنان

L55-14213

الدكتور بيرد دودج

الى من صرف ثلث قرن في خدمة البلاد العربية كمرب وصديق ،
الى من كان مثال النبل وسمو الاخلاق والتضحية ،
الى من كان مصدر طاقة روحية تبعث فينا الشوق الى السمو والكمال ،

الى الدكتور بيرد دودج

اهدي هذا الكتاب

نقولا شاهين

To
Dr. BAYARD DODGE
This Book is Dedicated
Nikula J. Shahin

محتويات الكتاب

كلمة افتتاحية

الفصل الاول ـ نشوء النظرية الذرية

ديقريطس (٤٦٠ — ٣٧٠ ق. م.) والتركيب الذري . نظرية ارسطوطاليس (٣٨٤–٣٢٢ ق. م.). علم الكيمياء (Alchemy) . جون دلتن (١٧٦٦–١٨٤٤). افوجادرو (١٧٧٦ — ١٨٥٦) . مندليف (١٨٣٤ — ١٩٠٧) . ارهينيوس (١٨٥٩–١٩٢٧) . تحقيق التركيب الذري (الحركة البراونية) . كلمة عن النظريات .

الفصل الثاني ـ الاشعة السينية والاشعاع الراديومي

الاشعة الكاثودية . الاشعة السينية . خواص الاشعة السينية . التحليل بواسطة الاشعة السينية . اشعاع الأورانيوم . اشعاع الثوريوم وخام الاورانيوم (Pitchblende) اكتشاف البولونيوم . اكتشاف الراديوم . خواص الراديوم .

الفصل الثالث . اكتشاف الالكترون واشعة الفا وباتا وغما

اكتشاف الكهرب (الالكترون). خواص الكهارب ووزنها. تصوير الالكترون. الحجرة الغائمة (جهاز ولسن) . الكهربائية ذرية التركيب (المقدار الكهربائي) . اكتشاف اشعة الفا وباتا وغما . خواص اشعة الفا . خواص اشعة باتا . خواص اشعة غما . تأين الهواء بواسطة الاشعة الراديومية . تحول العناصر .

الفصل الرابع ـ التحولات الطواعية في العناصر المشعة

التحولات الطواعية في الراديوم . التحولات الطواعية في الاورانيوم . نصف عمر المادة المشعة . الحصول على الهليوم من انحلال الراديوم . التحولات الطواعية في عائلتي الثوريوم والاكتينيوم . كمية من الطاقة ترافق التحولات الطواعية .

الفصل الخامس ــ بناء الذرة

صورة الذرة كما رسمها رذرفورد . الاعداد الذرية . صور للتركيب الذري . الذرة كما تصورها لنغمير . اكتشاف البروتون . النظائر . استن يصور النظائر .

الفصل السادس ــ التماسك الذري

في مجاهل الذرة . جسيمات جديدة داخل الذرة . الاستقرار داخل الذرة . ناموس التجاذب والتدافع . سر التماسك الذري . ترتيب الجزيئات في الاجسام الصلبة . قوة عجيبة داخل النواة .

الفصل السابع ــ نظرية الكم

طبيعة الضوء والطاقة . الانفصال والاتصال في الطبيعة . صورة الطاقة . طبيعة الاشعاع وكم الطاقة . الظاهرة الكهرنورية . الاطياف ونظرية الكم . مبدأ المقابلة . الكم وتفسير الظاهرة الكهرنورية . الفوتونات . الميكانيكا الموجية .

الفصل الثامن ــ تحطيم الذرة . تحولات عنصرية

فجر تحطيم الذرة . رذرفورد يحطم الذرة بقذائف الفا . كوكروفت يحطم الذرة بالبروتونات . تحطيم ذرة الليثيوم . اكتشاف طاقة هائلة (المادة نوع من الطاقة) . اكتشاف النيوترون (قذائف جديدة) . تحطيم الذرات بواسطة النيوترونات . اكتشاف البوزيترون . اكتشاف الديوترون . الاشعاع الاصطناعي . اكتشاف الميزترون .

الفصل التاسع ــ محطمات الذرة

محولات كهربائية . جهاز فان دي كراف . المدار الرحوي (السيكلوترون) .

الفصل العاشر ــ الطاقة والكتلة

تعريف الطاقة وخواصها . نظريات تتعلق بالطاقة . مقياس الطاقة . تعريف

الكتلة وخواصها . الكتلة والحركة (نظرية اينشتين) . تعادل الكتلة والطاقة . الانتاج الصناعي للبوزيترونات .

الفصل الحادي عشر — الطاقة الذرية

توازن المعادلات الذرية . التوازن المستقر وغير المستقر . الاشعاع الطبيعي . الاشعاع الاصطناعي . النظائر المشعة والدراسات البيولوجية . طاقة التماسك في النواة (Binding Energy) . عامل التماسك (Packing Factor) . مصدر طاقة الشمس . تحقيق فلق الذرة واطلاق الطاقة الذرية .

الفصل الثاني عشر — الاورانيوم (٢٣٥)

اكتشاف نظير جديد للاورانيوم . فلق ذرة الاورانيوم (Nuclear Fission) . التفاعل المتسلسل في الاورانيوم (٢٣٥) . الاورانيوم (٢٣٨ و ٢٣٥ و ٢٣٤) . النيوترونات البطيئة والسريعة . عزل الاورانيوم (٢٣٥) . الخلاصة .

الفصل الثالث عشر — التفاعل المتسلسل

عرض للحالة سنة ١٩٤٠ . عنصر النبتونيوم . عنصر البلوتونيوم . التفاعل المتسلسل كمصدر للطاقة الذرية . التحكم بسرعة النيوترونات وبناء قلب التفاعل المتسلسل . الطاقة الحاصلة من فلق ليبرة (باوند) من اورانيوم(٢٣٥) . انتاج عنصر البلوتونيوم . عزل الاورانيوم (٢٣٥) . احتياطات صحية . الناحية العملية في التفاعل المتسلسل . النيوترونات الشاردة والحجم الحرج (Critical Size) . ملطفات (Moderators) النيوترونات السريعة .

الفصل الرابع عشر — القنبلة الذرية

مختبر للقنبلة الذرية . تصميم القنبلة . الحجم الحرج . تركيب القنبلة الذرية . عرض للحالة سنة ١٩٤٥ . مراقبة المنشورات المتعلقة بالطاقة الذرية . تجربة القنبلة الذرية . الخلاصة .

ثوابت ذرية

وحدة الكتلة الذرية = ١٦٦٠٣ ، ١ × ١٠ $^{-٢٤}$ غرام

وزن البروتون = ١٧٢٥٠٧٥٨ وحدة كتلة ذرية

وزن النيوترون = ١٧٠٠ ٨٩٣ وحدة كتلة ذرية

وزن الكهرب (الالكترون) = ٩١٠٩٤ ، ٠ × ١٠ $^{-٢٨}$ غرام

قطر الذرة = ١٠ $^{-٨}$ سم

قطر نواة الذرة = ١٠ $^{-١٢}$ سم

الانجستروم = ١٠ $^{-٨}$ سم

سرعة الضوء = ٣ × ١٠ ^{١٠} سم في الثانية

المقدار الكهربائي (شحنة الكهرب) = ٤٨٠٣ ، ٠ × ١٠ $^{-١٠}$ وحدة استاتيكية

او ١٦٠٢ ، ١ × ١٠ $^{-١٩}$ كولومب

كم العمل (ثابت بلانك) = ٦٦٠٥٥ ، ٠ × ١٠ $^{-٢٧}$ ارج . ثانية .

الكترون ڤولط = ١٦٠٢٩ ، ١ × ١٠ $^{-١٢}$ ارج

كلمة افتتاحية

يجتاز العالم العربي اليوم اهمّ مرحلة في حياته القومية . فقد بدأ الوعي القومي يدب في قلوب ابناء الاقطار العربية جمعاء في شتى نواحي الحياة . وصرت تراهم متعطشين للرشف من مناهل العلم الحديث الذي لا تقوم مدنية صحيحة بدونه . لذلك ترى الجامعات تغص بوفودهم ، كان ذلك في البلاد العربية نفسها او في اوروبا واميركا . لكنّ التعليم الجامعي يتطلب استعداداتٍ ومؤهلاتٍ لا يكسبها المرء في المدرسة الابتدائية او الثانوية . والسبيل الوحيد لكسب تلك المؤهلات هو التوسع في مطالعة الكتب المتنوعة الغنية بالحقائق العلمية الصحيحة ، والتي تفتح آفاقاً واسعة امام طالب العلم . وكثيراً ما نرى افراداً يؤمون الجامعات لكنهم لا يزالون مكبّلين بقيود الجهل والادّعاء وعدم الحرية في التفكير، تلك الصفات التي تحرم صاحبها من التمتع بلذة الحقائق العلمية الصحيحة .

وقد دفعني الى كتابة هذا الكتاب ما لمسته من فقرٍ في معلومات ابنائنا الذين يقبلون بشوقٍ على التعليم الجامعي . فهم يطالعون الكتب العديدة ، من قصص وروايات ومجلات تتكرر فيها الوقائع التي لا تخرج عن دائرة الحياة اليومية العادية . وتراهم يتجنبون مطالعة الكتب والمجلات العلمية لان ذلك يتطلب جهداً خاصاً . لذلك لا يختلفون في ابحاثهم وتفكيرهم عن الانسان العادي ، وكثيراً ما يكونون دونه في تتبع الحقائق وبحثها على ضوء العلم الصحيح . يجرب بعضهم ان يفهم سرّ بعض الاكتشافات العلمية الحديثة فتراه يخبط خبط عشواء، لانه لم يرافق سير العلم وتطوراته العديدة ، بالرغم من كونه يتأثر فيها في حياته اليومية . ومن المؤسف حقّاً ان تتحول افكار الناس عند استماع اذاعةٍ لاسلكية للتمتع بانشودةٍ او قصة عادية بدلاً من التمتع بسر ذاك الاكتشاف الذي صرفت في تحقيقه جهود جبارة . إنّ العقل البشري لا يقدر ان يصل الى اعلى مراتب السمو في التحرر الفكري الاّ بتعشقه للحقائق العلمية وبسعيه وراء فهمها .

وها انا اقدم هذا الكتاب الى ابناء البلاد العربية بعد ان رافقت الالوف منهم في

صفوف الفيزياء في الجامعة الاميركية وفي غيرها من المعاهد . وإني آمل ان يجد الكثيرون في محتويات هذا الكتاب ما قصدت ان اقدمه لهم من معلومات تتعلق بتاريخ النظرية الذرية وباسرار الطاقة الذرية والقنبلة الذرية . لقد صرفت جهوداً تذكر في جمع هذه الحقائق رغبةً في ايجاد كتاب من هذا النوع في مكاتبنا العديدة التي تطفح بالكتب التاريخية والادبية وغيرها . فالعالم اليوم على عتبة عهدٍ جديد في استخدام الطاقة الذرية في شتى نواحي الحياة . وقد ظل العلماء نحو نصف قرن يعملون لتحقيق اطلاق الطاقة الذرية من عقالها . فاذا اردنا ان نجاري شعوب الغرب في فهم الاكتشافات العلمية وتطبيقها ، علينا ان نهيىء انفسنا لذلك باتباع دراسة علمية منظمة . وصار من الضروري ان يكون في ايدي ابنائنا كتب ومجلات تكثر فيها الابحاث العلمية التي تؤهلهم للولوج الى عالم الحقائق والاكتشافات العلمية .

لقد أتيت في كثير من الاحيان على شرح الصعوبات التي كانت تعترض العلماء في ابحاثهم لكي انبه الافكار الى الصفات اللازمة في التنقيب العلمي ، تلك الصفات التي تتطلب التضحية والصبر وسمو التفكير . ان في حياة العلماء درساً اخلاقياً علاوةً على ما يتحفوننا به من حقائق جميلة ومفيدة . ولا شك بأن في سير العظام من رجال العلم خير مُغذٍّ لنفوس ابنائنا بغذاء الاخلاق العالية والبعد عن امور الدنيا وحقارتها .

ويرى القارىء ان هناك فصولا في هـذا الكتاب لا تتعلق مباشرة بالتركيب الذري او الطاقة الذرية ، لكنها جوهرية في فهم الاسس الصحيحـة التي يرتكز عليها علم الذرة . فلم يكن بد من وجودهـا في هذا الكتاب لانها مفتاح لفهم الاسرار العديدة التي تتعلق بالذره وتركيبها وبالطاقة الناتجة عن فلقها . وهناك بعض القوانـين والنظريات التي كان من الضروري شرحها بالتفصيل لتتم الفائدة المقصودة من هذا الكتاب .

واخيراً اني ارسل تحيتي الى كل من يقرأ هذا الكتاب وارجو الى كل من يقع على خطأ فيه ان يطلعني على ذلك . واسأل الله ان يسدد خطواتنا جميعاً في بناء قومية صحيحة قوامها العلم والاخلاق العالية .

نقولا شاهين

بيروت ٥ كانون الاول سنة ١٩٤٨ — الجامعة الاميركية

الفصل الاول

نشوء النظرية الذرّية

ديمقريطس (٤٦٠ — ٣٧٠ ق.م) والتركيب الذري

من اراد ان يفهم ما هي القنبلة الذرية ومـا هي التطورات المنتظرة في مدنيتنا الحاضرة المرتكزة على استعمال الطاقة الذرية ، عليه ان يدرس بامعـان نشوء نظرية تركيب الذرة وتطوراتها العديدة التي سبقت اكتشاف القنبلة الذرية . وقد قيل بحق ان لا جديد تحت الشمس . فالذي يدرس تاريخ العلم ونتائج ابحاث العلماء المتحدرة الينا من آلاف السنين يجد ان كثيراً من النواميس والنظريات التي تحققت في عصرنا هذا كانت قيد البحث والتدقيق منذ الفي سنة واكثر . يظهر هذا بجلاء في البحث عن تركيب المادة الذي عالجه فلاسفة اليونان منذ عشرين قرناً . فقد توصل هؤلاء الى النظرية القائلة بان المواد الموجودة حولنا تتألف من اجزاء ابسط منها في التركيب او عناصر . وان هذه العناصر تتألف من جزيئات وذرات . اما علماء القرن العشرين فلم يكن عليهم الا ان يثبتوا تلك النظرية بالتجربة فجاءت تجاربهم تدعم النظرية التي اعلنها فلاسفة الاغريق ، الذين لم يكن لديهم شيء من الوسائل العملية لاثبات تلـك النظرية . وهكذا يقبل العـالم اليوم النظرية القائـلة بان المواد تتألف من عناصر والعناصر تتألف من جزيئات والجزيئات تتألف من ذرات . فالماء مثلاً كانت تعتبر مادة لا تتجزأ حتى اثبت العلم انها تتألف من الاكسجين والايدروجين . وهذان العنصران يتألفان من جزيئات وكل جزيء يتألف من ذرات .

يثبت التاريخ ان احد فلاسفة اليونان ، وهو ديمقريطس الذي عـاش في القرن الرابع قبل المسيح ، قد علّم بان المادة تتألف من فضاء وعدد غير محدود من الجزيئات التي لا ترى وان هناك جزءاً نهائياً المادة لا يمكنه ان يتجزأ وهو الذرة . وقد بنى على هذا الاساس فلسفة طبيعية تفسر الظواهر العديدة حولنا التي تتعلق بالمادة وغيرهـا . اما هذه النظرية فقـد تطورت فيما بعد الى ما نسميه اليوم النظرية الذرية القائلة بان

المادة مؤلفة من ذرات . اما كلمة ذرة (Atom) في اليونانية فان معناها « غير قابل التجزئة » وهـذا يعني ان الذرة هي اصغر اجزاء المادة . وقد ذهب ديقريطس الى ابعد من هذا اذ قال ان جسم الانسان يتألف من ذرات كبيرة بطيئة وان عقله يتألف من ذرات صغيرة ملساء كروية كذرات النار . وقد حاول ان يعلل البصر والسمع وغيرها بواسطة الذرات .

ينتج من هذه النظرية انك اذا اخذت قطعة من معدن ما وقسمتها الى قطعتين ثم قسمت كلا من هاتين القطعتين وكررت هذه العملية مراراً عديدة ، فانك تصل الى نقطة لا يمكنك بعدها ان تجزيء القطع الصغيرة الحاصلة . وقد توسع مجذو هذه النظرية في درس طبيعة الذرات فميزوا بين تلك التي تكون من السوائل والجوامد . فالذرات التي تؤلف السوائل كانت في نظرهم ناعمة ملساء تتحرك بسهولة والذرات التي تؤلف الجوامد كانت خشنة تربطها ببعضها روابط قوية .

اختلف فلاسفة الاغريق تجاه هذه النظريه . لذلك نرى ارسطوطاليس احد اساطين العلم يرفضها فلا تجد تربة صالحة في حقل التفكير العلمي مدة قرون عديدة . وذلك مسبب عما كان لتعاليم ارسطوطاليس من تأثير ونفوذ في القرون الوسطى . لكن هذه النظرية لم تحرم من المناصرين العديدين . فقد تمسك بها كثير من العلماء وكان لها اتباع ومجذون في القرون الوسطى ايضاً . لكن بعض الذين فرضوا امكانية تفسير الظواهر الطبيعية على اساس اتحاد وانفصال الذرات كانوا مضطرين للرجوع عن عقيدتهم هذه لاعتبارها من نوع الكفر والالحاد .

نظرية ارسطوطاليس (٣٨٤ — ٣٢٢ ق.م)

وهناك نظرية اخرى مجذها ارسطوطاليس وكان حظها من الحياة اكثر من النظريه الذرية التي بشر بها ديقريطس واصبحت اساس التفكير العلمي في القرون الوسطى . يقول اتباع هذه النظرية ان جميع المواد في عالمنا هذا مؤلفة من مواد بسيطة او عناصر وهذه العناصر هي اربعة : التراب والهواء والماء والنار . وقد زاد العلماء العرب في

السنين الاولى من العصور الوسطى على هذه العناصر عناصر اخرى وهي الكبريت والزئبق والملح .

علم الكيمياء (Alchemy)

كان من الطبيعي ان تتجه افكار العلماء في تلك العصور الى تحويل مادة الى اخرى مدفوعين بتعاليم النظريات السابقة . فنتج عن ذلك علم « الكيمياء » (Alchemy) الذي كان محوره تحويل المعادن البخسة الى معادن ثمينة كالذهب . وقد صرفت الاموال والجهود العظيمة في القرن السادس عشر لتحويل المعادن البخسة كالفضة وغيرها الى ذهب . فساهم في ذلك ملوك اوروبا الذين قدموا الاموال الطائلة وبنوا البنايات والمختبرات لهذه الغاية . لكن كل تلك الجهود لم تجد نفعاً . ولا بد من الاشارة الى ان هذا الدور في تاريخ العلوم الطبيعية كان بداية عصر جديد في تاريخ العلم والتنقيب . لانه اوجد ذلك الشوق الوصول الى سر من اكبر اسرار الوجود . فالانسان الذي يراقب الظواهر الطبيعية حوله لا بد له من ان يطلق عنان الفكر لادراك سر التطور والتحول . وقد كان طبيعياً ان يتجه الانسان بكل قواه لتحويل مادة لا قيمة لها الى مادة ثمينة . وتاريخ العلم حافل بتلك التصورات والاحلام التي مر قبل تحقيقها قرون عديدة . وقد جاء اليوم الذي تحققت فيه احلام الاقدمين في تحويل عنصر الى عنصر آخر . يعود الفضل بذلك للنظرية الذرية الحديثة التي برزت باجلى مظاهرها في الخامس من شهر آب عام ١٩٤٥ عندما انفجرت اول قنبلة ذرية فوق اليابان .

جون دلتن (١٧٦٦ — ١٨٤٤)

عادت النظرية الذرية التي بشر بها الاغريق الى الظهور بفضل العالم جون دلتن (John Dalton) الذي درس تركيب المواد المختلفة وتوصل الى الناموس العام الذي يشرح كيفية اتحاد عناصر معينة ببعضها لتؤلف مركبات كيميائية مختلفة . قال دلتن ان ذرات العنصر الواحد متشابهة تماماً اما ذرات العناصر المختلفة فانها تختلف بالشكل والوزن . كان هذا القول الجرىء نتيجة تأمل عميق قائم على حس دقيق يؤهل صاحبه

لادراك حقيقة المذاهب الطبيعية . لم ير دلتن نفسه بحاجة لتحقيق هذه النظرية بالامتحان متبعاً خطوات غيره من الفلاسفة الذين كانوا يعتقدون انه ليس من الضروري اثبات برهان ونظرية بالتجربة . ومعلوم ان جميع علماء الذرة عجزوا عن رؤيتها وبالرغم من ذلك كانت الذرات في نظر دلتن دقائق ملموسة من المادة لا تتجزأ مهما يكن التفاعل الكيميائي شديداً . فتراه يرسم لكل ذرة صورة تتألف من كرة . ضمنها خطوط ونقط وحروف تميزها عن غيرها . كذلك تصور دلتن ان التفاعل الكيميائي هو اتحاد بين ذرة او اكثر من عنصر واحد بذرة او اكثر من عنصر آخر .

اما الناموس الذي توصل اليه دلتن بشأن اتحاد العناصر المختلفه فهو ناموس النسب المتعددة (Law of Multiple Proportions) القائل بان النسبة بين المقادير المختلفة من عنصر ما التي تتحد مع مقدار معين من عنصر آخر يعبر عنها بارقام صحيحة (Exact Multiples) . فمقدار واحد من النتروجين يتحد مع مقدار او مقدارين أو اربعة مقادير من الاكسجين فيتألف من ذلك ثلاثة مركبات .

وهناك ناموس آخر يتعلق بالمركبات الكيميائية والذي ينص على ان كل مركب كيميائي يتألف دائماً من نفس العناصر التي تحفظ نسبة ثابتة فيما بينها (Definite proportion) . يعود الفضل بهذا الناموس للعالم الافرنسي بروست (Proust) وينسب هذا القول اصلا الى «الجلدقي» الكيميائي العربي المصري . فلو اخذنا كمية من الماء وحللناها نجد ان كل نقطة فيها تتألف من ذرة من الاكسجين لكل ذرتين من الايدروجين .

بناء على ما تقدم برزت النظرية الذرية التي بشر بها دلتن واحتلت مرتبتها بين النظريات الاخرى . فقد اثبت دلتن ان بالامكان تفسير ناموس النسب الثابتة اذا فرضنا ان كل عنصر يتألف من ذرات لها وزن محدود . اما الناموس الآخر اي ناموس النسب المتعددة فيمكن تفسيره على فرض ان الذرة من عنصر ما يمكنها ان تتحد مع ذرة او ذرتين او ثلاث ذرات او اكثر من عنصر آخر في حالات مختلفة . وهذا هو اساس الكيمياء الحديثة .

قال دلتن ان اوزان الذرات هي واحدة في العنصر الواحد ، لكنها تختلف باختلاف العناصر . صار لا بد اذاً من وزنها بصورة ما . ولما كان من المستحيل تعيين وزن

للذرات المطلق نظراً لصغرها خطر لدلتن ان يعمل لمعرفة اوزان بعضها بالقياس الى البعض الآخر وهذا ما يسمى بالاوزان النسبية . فاتخذ اخف العنـاصر وهو الايدروجين مقياساً وجعل وزنه الذري (١). ولما كان يعلم ان الاكسجين والايدروجين يتحدان بنسبة سبعة الى واحد جعل وزن الاكسجين الذري النسبي (٧). لكن موزلي اثبت فيما بعد ان النسبة بين الايدروجين والاكسجين هي كنسبة (١) الى (١٥٫٨٧٨). فاصبح الرأي السائد ان يُتخذ الاكسجين اساساً لمقياس الاوزان الذرية وجعل وزنه (١٦). فيكون وزن الايدروجين الذري النسبي ١٫٠٠٧٧ . وهاك الاوزان الذرية للعناصر التي كانت معروفة في ايام دلتن على اساس وزن الاكسجين هذا :

ايدروجين	١٫٠١	اكسجين	١٦٫٠٠
ليثيوم	٦٫٩٤	فلور	١٩٫٠٠
بريليوم	٩٫٠٢	صوديوم	٢٣٫٠٠
بورون	١٠٫٨٢	مغنيسيوم	٢٤٫٣٢
كربون	١٢٫٠١	الومينيوم	٢٦٫٩٧
نيتروجين	١٤٫٠١	سلكون	٢٨٫٠٦

افوجادرو (١٧٧٦ — ١٨٥٦)

زاد في قوة هذه النظرية وفي ثبوت صحتها الابحاث التي قام بها العالم الايطـالي افوجادرو « Avogadro » وكانت نتيجة تلك الابحاث ان الجزيء « Molecule » هو اصغر جسم تتألف منه المركبات وان الذرة « Atom » هي اصغر جسم تتألف منه العناصر . ويعود الفضل لهذا العالم باعتبار العناصر الغازية مؤلفة من جزيئات وكل جزيء يتألف من ذرتين . فجزيء الايدروجين يتألف من اتحاد ذرتي ايدروجين وهكذا قل عن الاكسجين وغيره من العناصر الغازية . وقد توصل هذا العالم الى اعلان حقيقة علمية هامة في حقل الكيمياء وهي « ان عدد الجزيئات في ٢٢٫٤ ليتراً من اي غاز كان يبلغ عدداً معيناً » وهذا ما يسمى عدد افوجادرو .

اما علماء الفيزياء فانهم قد توصلوا اثناء تنقيبهم واختباراتهم الى نفس النتائج التي توصل اليها الكيميائيون في تركيب المادة . فقد كان من نتائج علم الفيزياء ان الحرارة

هي نتيجة حركة الجزيئات والذرات التي تتألف منها المادة وانّ الجزيئات والذرات لا تستقر ابداً حتى في المواد الصلبة التي تظهر عديمة الحركة كما هي الحال في الحديد والرصاص والذهب وغيرها . فالذرات اذاً ترقص باستمرار ولا يقر لها قرار . لذلك صاروا ينسبون ازدياد حرارة الجسم لازدياد حركة جزيئاته وذراته .

مندليف (١٨٣٤ ــ ١٩٠٧)

من اهم الدعائم للنظرية الذرية تلك الابحاث التي قام بها الكيميائي الروسي مندليف الذي اظهر للعالم التنسيق الدوري للعناصر سنة ١٨٦٩ . كان المعروف من العناصر في ذلك الوقت ٦٣ عنصراً . فبعد ان درس الحقائق المعروفة عن كل عنصر تبين له ان هناك علاقة جلية بين افراد طوائف العناصر التي تتشابه في خواصها . فرتب العناصر في سبع طوائف مبتدئاً من الليثيوم (وزنه الذري ٧) واتبعه بالبريليوم (٩) فالبورون (١١) فالكربون (١٢) الخ . . حتى وصل الى عنصر الصوديوم (٢٣) وهذا

ليثيوم ٦٫٩٤٠	بريليوم ٩٫١	بورون ١٠٫٩	كربون ١٢٫٠٠	نتروجين ١٤٫٠١	اكسجين ١٦٫٠٠	فلور ١٩٫٠٠	نيون ٢٠٫١٨٣
صوديوم ٢٢٫٩٩٧	مغنيسيوم ٢٤٫٣٢	الومينيوم ٢٧٫١	سلكون ٢٨٫٣	فصفور ٣١٫٠٢	كبريت ٣٢٫٠٦	كلور ٣٥٫٤٥٦	ارجون ٣٩٫٩٤٠
							بوتاسيوم ٣٩٫١٠

(شكل ١)

قسم من لائحة الترتيب الدوري

(ملاحظة : لقد اتخذت فيما بعد الاعداد الذرية اساساً لترتيب العناصر في الجدول لان ذلك اصح)

يشبه الليثيوم شبهاً تاماً في خواصه الكيميائية والطبيعية . فوضعه تحت الليثيوم في جدوله ثم وضع خمسة عناصر تلي الصوديوم فوصل الى الكلور وهذا يشبه الفلور في خواصه ، ويقع في الخانة التي تحت خانة الفلور . فمضى في ترتيب العناصر على هذا المنوال

ووجد ان كل عنصر كان يقع من تلقاء نفسه في محله ويتفق في خواصه مع العناصر التي تحته وفوقه . وهكذا ترى في العامود الاول من الجدول طائفة المعادن الفعالة — الليثيوم وتحته الصوديوم فالبوتاسيوم الخ . . أمّا العناصر الفعالة غير المعدنية فانها جاءت في طائفة واحدة على رأسها الفلور وتحته الكلور الخ كما يظهر في شكل (١)

كذلك برهن هذا العالم ان خواص العناصر هي صفات دورية لاوزانها الذرية . وقد كان هناك فراغات عديدة في جدول مندليف لم يكن بالامكان ملؤها لانه لم يكن هناك عناصر معروفة جديرة بملء الفراغ . لقد استنتج مندليف من هذه الفراغات انه لا بد من اكتشاف عناصر ذات صفات معينة لملء الاماكن الباقية في اللائحة وقد توصل الكيميائيون الى اكتشاف عناصر لها نفس الخواص التي تنبأ بها مندليف والتي كانت لها مراكز في جدوله المشهور .

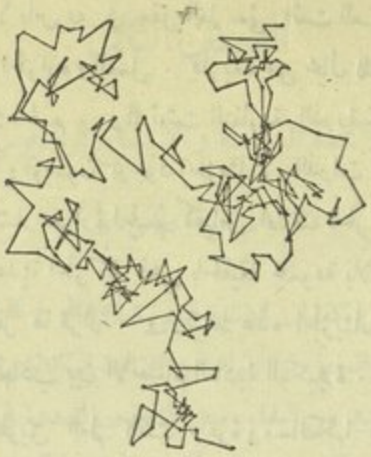
ارهينيوس (١٨٥٩ — ١٩٢٧)

وازدادت الثقة بالنظرية الذرية رسوخاً بازدياد التنقيب والدرس في هذا الحقل . ففي سنة ١٨٨٧ توصل العالم الاسوجي ارهينيوس (arrhenius) الى اعلان نظرية التحليل الكهربائي . وتتناول هذه النظرية ما يحدث لمادة كالملح او غيره من المواد عندما يذوب في الماء . فعندما تذوب مادة في الماء تنفك جزيئاتها الى جسيمات تختلف عن الجسيمات العاديه التي تتكون منها المادة اذ انها تحمل شحنات كهربائية ويعبر عن ذلك بالتأين . اما الايون (Ion) فهو ذرة واحدة او مجموعة ذرات تختلف عن الذرات العادية بانها تحمل شحنات كهربائية . فيصبح بالامكان ان يمر تيار كهربائي في محلول من هذا النوع بينما نرى ان التيار لا يمر اذا خلت الماء من مادة كالملح او غيرها من المواد التي تتأين عندما توضع في الماء . وقد اصبحت هذه النظرية من اكبر دعائم الكيمياء والفيزياء واليها يعود الفضل بكشف الستار عن امور كانت تعد من اعقد وادق الامور في هذين العلمين . كذلك كان لها شأن عظيم في الحقل الصناعي وتنقية المعادن .

تحقيق التركيب الذري (الحركة البراونية)

اصبحت النظرية الذرية اداة فعالة في يد العلماء في عصرنا هذا وصاروا موقنين بوجود الجزيء والذرة بالرغم من ان هذه الجسيمات صغيرة جداً تتعذر رؤيتها حتى بواسطة اكبر مجهر . اذ ان اصغر جسم يستطاع كشفه بواسطة المجهر يبلغ عرضه جزءا من مايه الف جزء من البوصة وهذا القدر يسع الف مليون ذرة . وقد توصل العالمان تسغوموندي وسيدنتون الى اختراع آلة معروفة باسم المجهر الجبار (Ultra Microscope) تمكن العين البشرية من مشاهدة جسم يبلغ حجمه جزءا من اربعة ملايين جزء من البوصة . ومعلوم ان اكبر الذرات اصغر من هذا الجسيم بمائة ضعف . ولزيادة الايضاح يمكننا القول اننا اذا عملنا قطرة الماء بحجم الارض يصبح الجزيء بحجم برتقالة . اما قطرة الماء فانها تحتوي على مائتي مليون مليون جزيء .

تمكن العلماء باساليبهم العجيبة من عزل الجزيء وقياسه . وكان العالم النباتي براون (Brown) اول من ادرك انه اذا وجدت جسيمات صغيرة صلبة معلقة في سائل ، لا بد لها من ان تتحرك بسبب اصطدامها بالجزيئات المتحركة حولها ، وقد سميت هذه الحركة بالحركة البراونية نسبة للعالم هذا الذي اكتشف هذه الظاهرة منذ نحو مائة سنة . جاء بعده الاستاذ بيرين (Perrin) الافرنسي الذي بحث المسألة بحثاً دقيقاً مستعملا جسيمات دهان الكمبوج (صبغ النفط) طافية فوق سطح الماء الراكد . وقد استطاع ان يحصي عدد الجزيئات من مدى الحركة الاهتزازية لكل جسيم ومن عدد الصدمات الذرية التي تعرضت لها هذه الجسيمات بسبب جزيئات الماء المحيطة بها . اما الحركة البراونية فلا يمكن ان تحدث لجسم كبير لان الصدمات التي يتعرض لها تأتيه من كل الجهات فيحدث التوازن بسبب التعادل في القوى . وقد تمكن هذا العالم من ايجاد طبقة رقيقة من هذا الدهان فوق سطح الماء تبلغ سماكتها جزءا من خمسين مليون جزء من البوصة . ومن تجارب عديدة توصل الى الحقيقة القائلة ان قطر الجزيء يبلغ جزءا من ٠٠٠ ٠٠٠ ١٢٥ مليون جزء من البوصة وان البوصة المكعبة من الهواء تحوي ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ ٨٠٠ جزيء



شكل (٢)

الحركة البراونية لاحدى الدقائق في فترات ١٠ ثوان

كلمة عن النظريات

هذه لمحة موجزة عن كيفية كشف النظرية الذرية التي يتمسك بها العلماء في عصرنا هذا. اما النظرية فانها ليست شيئاً محسوساً ، لكنها فرض لحالة تثبت التجارب وجودها . ولولا النظريات العديدة التي رافقت نشوء العلم لما كنا توصلنا الى ما نحن عليه من فهم الظواهر الطبيعية وخواص المادة . وكثيراً ما نرى العلماء يتمسكون بنظرية ما لانهم يتمكنون بواسطتها من تفسير الظواهر الطبيعية حولهم بصورة علمية مطابقة للمنطق والواقع . حتى اذا بدت لهم نظرية اخرى اصح لأن تتخذ اداةً لشرح الغوامض الطبيعية تركوا الاولى وتمسكوا بالثانية . لذلك نرى ان النظريات المختلفة في الحقل الواحد قد اهملت لانها لم تقم بالغرض المطلوب وحلت محلها نظرية جديدة اصح واعم . ففي تفسير الحرارة وماهيتها مثلاً كانت نظرية السائل الحراري تحتل المركز الاول . وهذه النظرية تعتبر الحرارة سائلاً تتدافع اجزاؤه ، يرفع حرارة الاجسام عندما ينضم اليها ويخفف الحرارة في الاجسام التي ينفصل عنها . وقد ظلت هذه

النظرية تتمتع بمركز لا بأس به في حقل العلم حتى اثبت العالم جول (Joule) ان هناك صلة مباشرة بين الحرارة والعمل . فلم يعد من مجال للنظرية القائلة ان الحرارة هي سائل يدخل ويترك الجسم . ولما ثبتت النظرية الذرية تجاه الاختبارات العديدة وصار العلماء يعتقدون ويؤمنون بوجود الجزيئات والذرات الدائمة الحركة في المادة اتجهت الافكار الى اعتبار حرارة الجسم كمقياس لطاقته الحركية . اما الاجسام التي تظهر لنا صلبة جامدة عديمة الحركة فهي بالحقيقة مجموعة بلايين من الجزيئات التي التي ترقص دوماً ولا يقر لها قرار . وارتباط هذه الجزيئات يعود الى ما بينها من تماسك وتجاذب يشبه التجاذب بين الاجسام العادية الكبيرة .

نرى مما تقدم ان طريق العلم كانت وعرة ومسالكها ملأى بالصعوبات . وما توصلنا اليه اليوم من تقدم في حقل العلم هو نتيجة ابحاث الوف السنين التي سبقت والتي كان يبني عليها المتأخرون مقدرين جهود من سبقوهم في هذا المضمار . لذلك يتوجب على كل باحث ان يقرأ المطولات في تاريخ العلوم ليدرك الجهود العظيمة التي بُذلت لاثبات تلك النواميس العديدة التي اتحفنا بها العلماء . ومن الضروري ان نعلم ان الاكتشافات العديدة لم تكن نتيجة جهود فرد ما لأنّ كل اكتشاف مرتبط بناموس او نظرية سابقة . فلولا نظام الجاذبية الذي اكتشفه نيوتن ونسّق نواميسه لما كنا قادرين ان ندرك سر التجاذب والتماسك الذري وهكذا هي الحال في نواحي العلم المختلفة .

فلندخل الآن الى عالم الذرة التي نحن بصددها لندرك اهمية الجهود التي صرفها العلماء في هذا الحقل حيث لا يوصلنا مجهر مهما كانت قوته . اذ ان جزيئات المادة وذراتها صغيرة جداً كما سبق وذكرنا . والابحاث التي تلي هي اكبر برهان على عظمة العقل البشري الذي تمكن من ادراك اسرار الذرة وتركيبها ، معتمداً على الاسلوب العلمي الذي كان اساساً لجميع المكتشفات والمخترعات . وهذا الاسلوب يتوخى الحقيقة عن طريق التجربة والمشاهدة ، مستنداً على الاستنتاج والاستنباط اللذين لا يستغنى عنهما للوصول الى حقيقة علمية ثابتة .

الفصل الثاني

الاشعة السينيه والاشعاع الراديومي

الاشعة الكاثودية

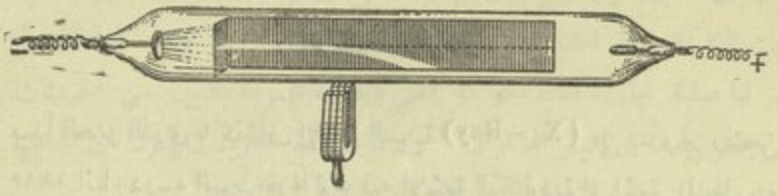
يبدأ العصر الذري باكتشاف الاشعة السينية (X - Ray) على يد وليم رنتجن في سنة ١٨٩٥ اثناء درسه انبوباً مفرغاً تولد فيه الاشعة الكاثودية او اشعة المهبط . وفي الوقت نفسه كان عدد كبير من العلماء يعمل التجارب المتعددة في هذا النوع من الانابيب المنسوبة للسر وليم كروكس . ويعود الفضل في هذا النوع من الانابيب المخابرة الى عالم الماني وهو جيسلر (Geissler) الذي كان اول من استنبط الانبوب المسمى باسمه والذي يتألف من انبوب زجاجي قد افرغ منه الجزء الاكبر من الهواء وفي طرفيه سلك معدني . فعندما يوصل هذان السلكان الى قطبي قوة كهربائية يحدث تألق فصفوري في الانبوب يعزى الى التفريغ الكهربائي في داخله . وقد اصبح هذا الانبوب اساساً لما نراه اليوم من انابيب تستعمل للاعلانات في المدن الكبرى كالانابيب التي تحوي في داخلها غاز النيون (Neon) او غيره .

تمكن السر وليم كروكس ، رئيس الجمعية الملكية العلمية في انكلترا ، من صنع مفرغة للهواء مكنته من احداث فراغ في هذه الانابيب اكمل من الفراغ الذي حصل عليه جيسلر فسميت هذه الانابيب الجديدة على اسمه لانها كانت تختلف بعض الاختلاف عن التي سبقتها . لم يحدث في هذه الانابيب ، انابيب كروكس ، تألق فصفوري عام بل حصلت اشعة خفيفة مصدرها السلك المتصل بالقطب السالب من المصدر الكهربائي . ما هذه الاشعة فانها احدثت تألقاً مائلاً الى الاخضرار على الناحية المقابلة من الانبوب المفرغ وقد دعيت الاشعة الكاثودية ودرست خواصها العديدة التالية .

اولاً : تسير هذه الاشعة باستقامتها . وقد صنعت انابيب فيها حواجز ترسل ظلها على الناحية المقابلة للمهبط عندما تتبعث هذه الاشعة في مساراتها وهذا يثبت ان

مساراتها مستقيمة .

ثانياً : تنحرف هذه الاشعة عن استقامتها اذا كان بالقرب منها مغنطيس او اذا وجدت في مجال ممغنط .



شكل (٣)

انحراف اشعة المهبط في مجال ممغنط

ثالثاً – لهذه الاشعة صفة الاجسام المتحركة . فقد وضع دولاب صغير بين المهبط والطرف المقابل من الانبوب . وعندما انطلقت الاشعة واصطدمت بالدولاب بدأ هذا يدور .

رابعاً – تبين ايضاً ان حرارة الاجسام التي تسقط عليها هذه الاشعة ترتفع ارتفاعاً محسوساً .

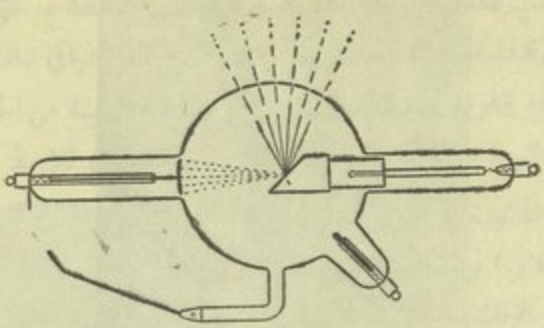
خامساً – تتألق الحجارة الثمينة كالماس مثلا تألقاً فصفورياً عندما تقع عليها هذه الاشعة .

هذه الخواص جعلت السر وليم كروكس يعتقد ان في داخل الانبوب حالة رابعة للمادة فوق حالاتها الثلاث المعروفة واطلق عليها اسم الاشعاع . وقد اقبل العلماء بشوق على اجراء تجارب عديدة بواسطة هذه الانابيب كانت نتيجتها ان بامكان هذه الاشعة ان تنفذ من لوحة من الالومنيوم موضوعة في جدار الانبوب مقابل المهبط . وبعد ان تنفذ من هذه اللوحة تسير مسافة قصيرة جداً في الهواء .

الاشعة السينية

لقد كانت اشعة المهبط مصدراً للاشعة السينية بفضل تجارب وليم رنتجن الذى شاهد ظاهرة استرعت نظره عندما انطلق تيار كهربائي في الانبوب وكان الانبوب

مغطى بالورق الاسود . فقد كان على مقربة من لوحة مغطاة بطبقة من مركب بلاتينو سيانور الباريوم التي تألقت تألقاً عجيبا عند انطلاق التيـار . كان طبيعياً ان ينسب ذلك التألق الى اشعة المهبط . لكنه بعد تفكير دقيق ادرك انه ليس بامكان اشعة المهبط ان تخترق الزجاج والورق الاسود وطبقة من الهواء تفصل اللوحة عن الانبوب



شكل (٤)

انبوب لتوليد الاشعة السينية

وتبلغ كثافتها عدة اقدام . فاتجهت افكاره لدرس خواص هذه الاشعة الجديدة الخفية باجراء التجارب العديدة للتوصل الى معرفة قدرتها على اختراق الاجسام المختلفة والنفاذ من خلالها . فاجرى تجارب عديدة بوضع اجسام مختلفة الكثافة والصلابة بين اللوحة والانبوب واخذ رسوماً للمفاتيـح والقطع المعدنية التي كانت ضمن كيس من الجلد. وفي احدى تلك التجارب وضع يداً بشرية ووضع وراءها لوحة فوتوغرافية حساسـة فوجد ان تلك الاشعة الخفية تؤثر باللوح الفوتوغرافي كما يؤثر فيه النور مع ان التجارب كانت في حجرة معتمة لا نور فيها . على تلك اللوحة ظهرت صورة اليد بشكل غريب ، اذ ان عظامها كانت قاتمة بينما كانت الانسجة حولها مائلة الى البياض . فاستنتج من ذلك ان الاشعة اخترقت اللحم ولم تخترق العظام . وقد اطلق عليها اسم (×) وهي تعرف اليوم بالاشعة السينية باللغة العربية نسبة للحرف (س) الذي يحل محل الحرف (×) في الجهد العربي . وقد اثبتت التجارب التي تلت ان مصدر الاشعة هذه هو جـدار الانبوب المقابل لمصدر الاشعة الكاثوديـة كمـا تبين لعدد من العلماء . ثم ادخلت

شكل (٥)

صورة اليد بواسطة الاشعة السينية

تحسينات على هذا ألانبوب فاصبحت اشعة المهبط تقع على هدف من الالومنيوم او غيره من المعادن فتصبح هذه مصدراً للاشعة السينية .

خواص الاشعة السينية

بدأ العلماء ابحاثهم عن هذه الاشعة لمعرفة خواصها وبدأوا يتساءلون عما اذا كانت من نوع اشعة الضوء او اشعة الحرارة او غيرها من انواع الاشعة . مضت حقبة من الزمن قبل ان توصل العلماء الى معرفة التفاصيل الوافية عنها . وبعد ابحاث طويلة تمكن العالم الالماني فون لاو (Von Laue) من تفريقها (Diffraction) بواسطة البلورات . وقد نشر اكتشافه عن الحيود او التشتت المنتظم للاشعة السينية سنة ١٩١٢ . كان ذلك بمساعدة فريدريك وكنبنج (Friedrich , Knipping) المساعدين في معمله . فقد اوحت له دراسة مرور الامواج الضوئية خلال البلورات معالجة الاشعة ذات الامواج التي هي اقصر من فترات الفراغ في البلورة وهذه الاشعة تقع في منطقة الاشعة السينية

اما الامواج الضوئية فهي اطول بكثير من فترات الفراغ في البلورة . وهكذا وضع المعاونان المذكوران بلورة في طريق حزمة من الاشعة السينية ووراءها لوح فوتوغرافي يستقبل الحزم المنتظمة التشتت المفرقة بواسطة البلورة . لكنهما لم يوفقا في بادىء الامر ولم يظهر اثر على اللوح الفوتوغرافي. لكن المنقب في حقل العلم لا تثنيه الصعوبات عزيمته ولا يحسب للفشل حساباً . فانه يعيد التجارب بلا انقطاع حتى يصل الى ضالته المنشودة . هكذا اعاد كنبنج التجربة واضعاً اللوح الفوتوغرافي خلف البلورة ليستقبل الاشعة المنحرفة بزاوية صغيرة فظهرت على اللوح البقعة المسببة عن الحزمة المركزية ، يرافقها بقع منثورة حولها كما يظهر في الرسم . ويمكنك ان تلاحظ وضوح التناسق الرباعي للبقع المنثورة في الانموذج الذي حصل عليه (لاو) بواسطة بلورة مكعبة من كبريتور الزنك .

الشكل (٦)
صورة لاو الفوتوغرافية لحيود الاشعة السينية

التحليل بواسطة الاشعة السينية

وبهذه المناسبة لا بدَّ من كلمة موجزة عن التحليل بواسطة الاشعة السينية ووجه الاختلاف بين هذا النوع من التحليل وذاك الذي يرتكز على المعلومات التي تأتينا عن طريق حاسة البصر . فقد استطاع الانسان ان يدرس تركيب الاشياء الدقيقة جداً بواسطة المجهر وان يميز تفاصيل الاجسام البعيدة كالقمر وغيره من الاجرام السماوية بواسطة المرقب . وكما يساعدنا المجهر على رؤية اجسام هي اصغر بالاف المرات مما تمكن رؤيته بالعين المجردة ، هكذا تمكننا الاشعة السينية من رؤية اجسام دون الرؤية بالمجهر بالاف المرات . فهي تمكننا من رؤية ترتيب الذرات في المعادن وانواع المادة الاخرى ، الشيء الذي يساعدنا على درس خواص المواد المتنوعة . لذلك كان النشاط عظيماً في حقل التركيب الذري بواسطة هذا السلاح الجديد كما كانت الابحاث العميقة في علم الميكروبات بواسطة المجهر .

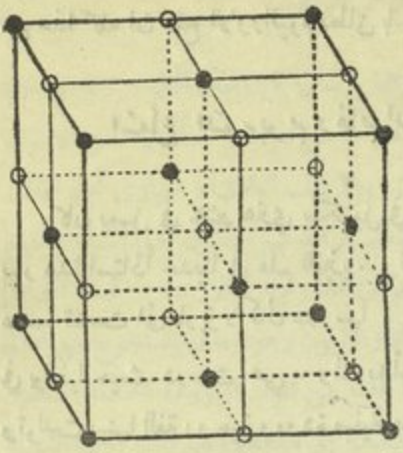
يتكون الضوء ذو اللون الواحد (Monochromatic) من الامواج الكهربائية

مغنطيسية ذات الطول الموجي المحدد . فمنها ما طوله الموجي في حيّز ٧ × ١٠ $^{-٥}$ سم ويسمى بالاحمر ومنها ما طوله الموجي في حيّز ٤ × ١٠ $^{-٥}$ سم ويسمى بالازرق البنفسجي . ويقع بين هذين اللونين باقي الالوان التي تتمكن العين من رؤيتها كالاصفر والاخضر والبرتقالي . ولو وقعت مجموعة من هذه الامواج الكهربائية المغنطيسية على انموذج منتظم فانها تتشتت في مسالك معينة بسبب ما يسمى ظاهرة « الحيود » (Diffraction Patterns) . لنفرض ان مصدر الضوء هو مصباح قوي بعيد وانك تنظر الى ذلك المصباح من خلال نسيج منديل أو أي حائل مثقب بثقوب دقيقة مرتبة في انموذج بشكل مربع كالحائل الذي يوضع في الشبابيك لمنع دخول الحشرات (سلك المناخل) . ينقسم الضوء عندها الى حزمة مركزية تمر على استقامتها والى عدد من الحزم المحادة التي تعمل زاوية مع الحزمة المركزية . فيتكون عند ذلك انموذج للحزم له نفس تنسيق انموذج الثقوب ، وتكون اقسام الانموذج الخارجية ملونة ، لأنّ الضوء الابيض يتكوّنُ من امواج تقع بين الاحمر والازرق ولكلٍّ طول موجي زاوية معينة مع الحزمة المركزية بعد نفاذه من الثقوب . اما الحزم المحادة فانها تحدث اذا كانت الثقوب اكبر من الطول الموجي . ولما كانت اطوال الامواج الضوئية في الحيّز المعيّن الذي ذكرناه سابقاً اي بين ٤ × ١٠ $^{-٥}$ سم و ٧ × ١٠ $^{-٥}$ سم فان قوتها في التحليل تكون محدودة ولا فائدة من استخدامها في تحليل التفاصيل الدقيقة . وقد تبين ان الابعاد بين ذرات الملح العادي « NaCl » هي نحو ٢٫٨ × ١٠ $^{-٨}$ سم . وهذا الرقم المبني على معرفة كثافة الملح وكتلة كلٍّ من ذرتي الصوديوم والكلور يبين كبر الثقوب بين الذرات وهو اقلّ من الطول الموجي للون الازرق بالف وخمسماية مرة . اذاً لافائدة من استعمال الامواج الضوئية في تحليل تفاصيل دقيقة كهذه . ولما كانت ذرات بلورة الملح مرتبة في انموذج منظم كما يظهر في الشكل ، صار من المحتمل ان تتشتت هذه البلورة الاشعة السينية اذا وقعت عليها لأن الطول الموجي للاشعة السينية يقع بين ٠٫٣ × ١٠ $^{-٦}$ سم و ٢٫٠٦ × ١٠ $^{-٨}$ سم . ولما كانت الذرات موجودة في انموذج ذي ابعاد ثلاثة فانّ الحزم المحادة تشكل ظاهرة اشد تعقداً من الحزم الناشئة عن الامواج الضوئية . ومن دراسة اتجاهات هذه الحزم المشتتة تمكن

العلماء من تعيين انموذج الذرات .

اشعاع الأورانيوم

كان اكتشاف الاشعة السينية حدثاً هاماً في تاريخ العلم الحديث وحافزاً للعلماء ليجددوا نشاطهم وليكثروا من التجارب في هذا الحقل. لان بعض العلماء كانوا يعتقدون انه لم يعد من مجال لاكتشافات جديدة في علم الفيزياء وان الاكتشافات الهامة قد عثر عليها كلها تقريباً . وفي سنة ١٨٩٦ كان احد العلماء الافرنسيين هنري بكريل (H. Becquerel) يجري التجارب على المواد المتنوعة التي تتألق في الظلام بعد تعرضها لنور الشمس . فطرأ له ان يختبر اذا كانت هذه المواد ايضاً تطلق اشعة شبيهة باشعة اكس . اخذ لوحاً فوتوغرافياً ولفّه بالورق الاسود ووضع قطعة معدنية بشكل صليب فوق اللوح . ثم اخذ قطعة من الاورانيوم بعد ان عرّضها لاشعة الشمس ووضعها فوق الصليب المعدني . ولما ظهّر اللوح الفوتوغرافي وجد صورة الصليب عليه فكان ذلك دليلاً على ان اللوح الفوتوغرافي قد تأثر باشعة صادرة من ملح الاورانيوم . ولما اراد ان يعيد الاختبار هذا في يوم من الايام حدث ان كانت السماء غائمة . فوضع الاورانيوم والصليب المعدني حسب العادة فوق اللوح الفوتوغرافي وخبأ هذه كلها في درج مكتبته . وبعد بضعة اسابيع خطر له ان يتفقد امر هذه المجموعة التي كانت بعيدة عن كل العوامل العادية التي تؤثر على اللوح وبدا له ان يظهّر اللوح ليرى اذا كان ملح الاورانيوم قد اثر في اللوح من ذاته . بدت صورة الصليب المعدني على اللوح وكان ذلك بفاعلية الاشعاع الصادر من الاورانيوم بدون تعرضه لاشعة الشمس . كان هذا الاكتشاف من الاهمية بمكان عظيم اذ تبين لبكريل ان التألق الذي كان يحدث لبعض



شكل (٧)

تركيب بلورة كلورور الصوديوم
تمثل الكرات السود ذرات الصوديوم وتمثل
الكرات البيض ذرات الكلور

المواد عند تعرضها للشمس لا علاقة له بهذه الصور التي ظهرت على اللوح . فاستنتج من هذا كله ان ملح الاورانيوم يطلق باستمرار اشعة خفية لها خواص الاشعة السينية.

اشعاع الثوريوم وخام الاورانيوم (Pitchblende)

كان يعمل في مختبر هنري بكريل في ذلك الوقت بيار كوري وزوجته . وكان بيار هذا استاذاً حديثاً في علم الفيزياء. وتعرف الى زوجته ، وهي بولونية الاصل، عندما قدمت الى باريز لاكمال دروسها . كان ابوها استاذاً للفيزياء في جامعة فرسوفيا في بولونيا حيث درست هي . ولما بدأت دراستها في باريز تعرفت الى بيار كوري وتولدت بينهما الفة روحية ومودة مبنية على التقدير والاحترام . كانت نتيجة ذلك التعارف زواجها في سنة ١٨٩٥ . وبعد زواجها بسنة واحدة توصل بكريل الى اكتشافه المشهور عن الاورانيوم وما ينبعث منه من اشعة خفية . بدا لهذه السيدة ولزوجها ان يواصلا البحث الذي بدأ به بكريل وان يفتشا عن املاح اخرى لها خواص الاورانيوم . وبعد جهود عظيمة وعناء طويل توصلا الى ان املاح الثوريوم وحدها تبعث هذه الاشعة . اما هذا العنصر فانه موجود بكثرة ويوجد في شبكة المصباح الغازي . ولاثبات وجوده يمكنك ان تضع قطعة من شبكة المصباح الغازي فوق لوح فوتوغرافي وتتركها لبضعة ايام مخبأة حيث لا يصلها ضوء . فاذا تفقدت اللوح بعد هذه المدة تجده قد تأثر وقد ظهرت عليه صورة النسيج. نستنتج من هذا ان ذرات الثوريوم تبعث اشعة لها نفس التأثير على اللوح كتأثير نور الشمس . ومن بين اكتشافات مدام كوري وزوجها في هذا الصدد هو ان خام الاورانيوم(Pitchblende) يبعث اشعة اقوى من الاشعة التي يبعثها الاورانيوم النقي باربعة اضعاف . كان هذا الاكتشاف ذا اهمية كبرى في عالم الاشعاع . لذلك ترك بيار كوري وزوجته كل عمل اخر ليشتركا في بحث من اشق وادق الابحاث، اعني التفتيش عن العنصر المجهول في خام الاورانيوم .

لكن هذا العمل يلزمه المال الكثير وهما ، شأن كل رجال العلم ، كانا في حالة لا تؤهلهما من القيام بالنفقات الكبيرة اللازمة . ومن المؤسف حقاً ان تنفق الاموال الطائلة في حروب تذهب بالارواح والمدنيات بينما يقف العلماء حيارى تجاه نفقات ضرورية في التنقيب العلمي حيث يفنون عقولهم وانفسهم مفتشين عن اشياء جديدة مفيدة للعالم اجمع . ولا بد من ان تذلل الصعوبات اذا وجدت الارادة . فبعد اتصالها بالحكومة النمسوية ارسلت لهما طناً من خام الاورانيوم وهو معدن يستخرج من شمالي بوهيميا . اخذا يعملان بلا ملل في تنقية هذا الطن من المواد المعروفة المختلفة محتفظين بكل دقة بما تبقى منه للتحليل والتنقية لكي يصلا الى هدفهما وهو تلك المادة الثمينة المجهولة . كانت الصعوبات العديدة تعترضهما في العمل . فالفاقة من جهة والتعب واحياء الليالي من جهة اخرى اثرا كثيراً على صحتهما . ولما اقبل الشتاء سنة ١٨٩٦ كانا يتابعان البحث في غرفة خشبية حقيرة تقصف فيها الرياح ويتسلل اليها البرد من كل الجهات . كل هذه العوامل انهكت جسم مدام كوري فاصيبت بالتهاب الرئة فكان عليها ان تلازم فراشها عدة اشهر لتعود الى متابعة العمل . كذلك زوجها فانه كان يعود من عمله كل مساء خائر القوى بعد عناء النهار المستمر . بالرغم من هذا كله بقيا يعملان بشوق وايمان لتحقيق ذلك الحلم في ذلك الكوخ الحقير . وكم من حقيقة علمية كان مهدها في اكواخ العلماء الحقيرة باثاثها ومأكلها ومشربها ، لكنها غنية بالطموح والايمان والسعي وراء الحقيقة .

ان قصة مدام كوري وزوجها من اطرف القصص واغناها بما فيها من عبر ودروس . ويليق بكل انسان مثقف ان يطلع على التفاصيل الدقيقة التي رافقت ابحاثها العلمية ليفهم وعورة الطريق في الوصول الى المكتشفات العلمية . نعم ان الطريق وعر وطويل لكن الظفر ينسي كل صعوبة وعناء . ففي سنة ١٨٩٦ في شهر سبتمبر ولدت مدام كوري ابنة . وبعد اسبوع عادت الى عملها العلمي الذي كان يملأ قلبها وفكرها حتى وهي ملازمة فراشها . وبعد متابعة العمل مدة سنة تقريباً ،

قضتها في اغلاء وتنقية وتصفية هذا الطن من البتشبلند ، تمكنت من الحصول على كمية صغيرة من مادة غريبة لم يكن يعرف عنها شيء لذاك التاريخ . وفي يوليو سنة ١٨٩٨ اعلنت للملأ انها كشفت عن عنصر جديد اطلقت عليه اسم « بولونيوم » نسبة الى بلادها بولونيا .

اكتشاف الراديوم

لم تكتفِ مدام كوري وزوجها بهذا الشرف العظيم وهو الكشف عن عنصر جديد . فالعالم لا يقف عند حدّ في ابحاثه بل يظل متشوقاً للخوض في عالم المجهول لينتزع منه الحقائق الخفية . بقيا يعملان في التصفية والتنقية الى ان توصلا الى استخراج قدر ضئيل من مادة تبين انها اقوى جداً في الاشعاع حتى من عنصر البولونيوم . كان من الضروري ان يحتفظا بكل ذرة من ذرات هذه المادة الضئيلة التي صرفا في سبيلها الجهود الجبارة . لذلك كانا يمتحنان كل قطرة ماء تخرج من المرشح وكل ذرة تعلق به وكانا يشعران بالطمأنينة والارتياح عندما كانا يدخلان المعمل ليلاً فيشاهدان الانابيب التي تحتوي على هذه المواد تشع بقوة ، معلنة لهما قرب تحقيق ما يهدفان اليه . واخيراً وبعد جهود وتضحيات توصلت مدام كوري الى استخلاص بضع بلورات من هذه المادة ودعتها « راديوم » الذي كان عنصراً جديداً ومصدراً لاهم التطورات في حقول العلم الحديثة ، كان ذلك في الكيمياء او الفيزياء او الطب او النواحي الاخرى حيث احتل الراديوم مكانته .

خواص الراديوم

استخلصت مدام كوري وزوجها من طن البتشبلند (الف كيلوغرام) ٠،٠٦٥ من الغرام من عنصر جديد اقوى بمليونين ونصف المليون مرة من الاورانيوم على اطلاق اشعة بكريل . ذاعت انباء هذا العنصر الجديد الغريب ووصلت الى الدوائر العلمية التي تقبلتها بشوق نظراً لما لهذا العنصر من خواص غريبة . فان املاحه تتألق في الظلام وتنطلق منها كميات من الحرارة بلا انقطاع . وهو يتحول من ذاته الى

عنصر الهليوم وفي النهاية الى الرصاص . وقد ثبت من مقاييس دقيقة ان الغرام الواحد من الراديوم يتفكك خلال ١٦٠٠ سنة تقريباً ويبقى منه نصف غرام من الراديوم فقط . اما النصف الآخر فانه يتحول الى عنصر الهليوم كما تقدم . وفي اثناء هذه العملية من التفكك يطلق الراديوم ١٤٠ سعرة في الساعة تقريباً وينقص هذا المقدار شيئاً فشيئاً حتى يصبح ٧٠ سعرة في الساعة. لذلك كان ما يطلقه الراديوم خلال ١٦٠٠ سنة مليار ونصف من السعر وهذا المقدار يعادل مقدار السعر التي تتولد من حرق ٢٠٠ كيلوغرام من الفحم الحجري . ولم يتمكن العلماء من اسراع هذه العملية التي تقع خلال ١٦٠٠ سنة . لذلك لم يكن ثمة فائدة من هذه الحرارة المنطلقة من تفكك نصف غرام من الراديوم .

ومن خواص هذا العنصر انه يجعل الغازات تتأين . ومعلوم ان الهواء كغيره من الغازات ليس موصلاً جيداً للكهربائية في الظروف العادية . ولو كان الهواء موصلا للكهربائية لما كان بالامكان نقل القوة الكهربائية بواسطة الاسلاك الممتدة لتلك الغاية . وفي الايام الاولى من اكتشاف الاورانيوم اكتشف بكريل ان هذا العنصر يتمكن من تأيين الهواء ، وذلك بواسطة الكشّاف الكهربائي الذي كان يفقد شحنته بسرعة اذا وجدت بعض املاح الاورانيوم بالقرب منه . لذلك صاروا يعتمدون معدل سرعة نقصان الشحنة في الكشّاف الكهربائي المقياس للنشاط الاشعاعي .

وهناك خاصة اخرى للراديوم وهي تأثيره على الكائنات الحية وهذا يجعله بمقام اقوى السموم والعلاجات المعروفة . فانه يقتل الميكروبات ويشفي النوامي السرطانية السطحية ويسبب قروحاً في جلد الانسان اذا وضع على مقربة منه . وليس غريباً ان يحدث هذا الاكتشاف هزة عنيفة في الاوساط العلمية على اختلافها . وها ان ثلاثة اكتشافات هامة تعلن للعالم في ظرف ثلاث سنوات ، الاشعة السينية سنة ١٨٩٥ ، واشعة بكريل سنة ١٨٩٦ ، واكتشاف الراديوم سنة ١٨٩٨ ، وتجعل تلك الفترة من الزمن شبيهة بالتي رافقت اكتشاف القنبلة الذرية .

لا يتسع المجال لسرد جميع التفاصيل والصعوبات التي رافقت اكتشاف الراديوم ، ذلك الاكتشاف الذي كان فاتحة عهد جديد في عالم الذرة . وسيظل العالم يذكر مدام

كوري وزوجها للجهود العظيمة التي صرفاها للوصول الى غايتها المنشودة . لقد اكرمتهما الاوساط العلمية اكراماً يفوق اكرام الملوك ومنحا جائزة نوبل للفيزياء سنة ١٩٠٣ بالاشتراك مع الاستاذ بكوبل . ولو كانا يطمحان الى الثروة واستغلال هذا الاكتشاف لكانا من اعظم اغنياء العالم . لكنهما فضلا ان يعلنا للملاء سر هذا الاكتشاف لان هدفهما كان خدمة الانسانية والعلم . وكل ما كانا يستخرجانه من املاح الراديوم كانا يقدمانه هدية للمستشفيات والمعاهد العلمية ، مكملين الرسالة التي بدءا بها .

الفصل الثالث

اكتشاف الالكترون واشعة الفا وباتا وغما

اكتشاف الكهرب (الالكترون)

عقب اكتشاف املاح الراديوم سنة ١٨٩٨ نشاط عظيم من قبل علماء الكيمياء والفيزياء فراحوا يبحثون عن مصدر الاشعة السينية والاشعاع الناتج عن هذة الاملاح وعن العوامل المرافقة لهذه الظواهر . لم يمض زمن طويل حتى تبين ان هاتين الظاهرتين هما مفتاح العالم الذري . وقد كان الاعتقاد السائد قبلاً ان الذرة هي اصغر جسيمات المادة وانها غير قابلة للتجزؤ . لكن الابحاث التي تلت في حقل الاشعة السينية والاشعاع الراديومي اثبتت ان الذرة معقدة التركيب وانها تتألف من اجزاء عديدة متماسكة بعضها ببعض بموجب النواميس الطبيعية التي الفناها في الاجسام الكبيرة حولنا .

كان زعيم هذه الحملة الجديدة في مجاهل الذرة السر جون جوزف طمسن استاذ الفيزياء في جامعة كمبردج في انكلترا . اجرى هذا العالم تجارب عديدة واستنتج منها ما يعتبر اليوم اساساً لتركيب الذرة وفتحاً جديداً في غزو هذا العالم الجديد . وباكتشافه الالكترون اصبح في عداد من سبق وعمل في اكتشاف الجزيئات والذرات وهما دلتن وافوجادرو كما سبق وذكرنا . كان في الثامنة والعشرين من العمر عندما عرض عليه ان يخلف العالم العظيم اللورد راليه (Raleigh) في منصب علم الفيزياء التجريبي لمعهد كافندش في جامعة كمبردج . وكان عليه ان يملأ ذلك الفراغ الذي ملأه من قبله راليه وماكسول في هذا المركز الخطير في اعظم معهد للفيزياء التجريبية . من هذا المعهد اعلن طمسن استنتاجاته عن خفايا الذرة التي كانت تتجه اليها افكار العلماء فاصبح اسمه مرافقاً غزو الذرة والدخول الى خفاياها اكثر من نصف قرن . وقد تدرب على يده في هذا الحقل عدد من العلماء الافذاذ امثال رذرفورد وولسن وغيرهما .

بدأ طمسن اختباراته في الاشعة السينية وفي ذلك الانبوب الزجاجي الذي

استنبطه كروكس . كان كروكس يفرغ الهواء من هذا الانبوب بقدر المستطاع وبحسب ما تسمح له الآلات المفرغة التي كان يستعملها، تاركاً بعض الجزيئات في داخله ثم يختمه ختماً محكماً ويُمرُّ فيه تياراً كهربائياً . وكان من جملة ما لاحظه ان الجزيئات الباقية ضمن الانبوب تبعث ضوءاً ضئيلاً باهتاً بينما كانت الجدران تتألق بضوء اصفر مائل الى الاخضرار . اما هذه الاشعة المنطلقة من قطب الى آخر فانها كانت تخضع لجذب قطعة من المغنطيس بخلاف اشعة الضوء التي لا تتمتع بهذه الصفة المادية .

اما طمسن فانه بدأ عمله بتفريغ الانابيب من الهواء حتى يصير الهواء في داخلها الطف من الهواء الذي نتنشقه بعشرين الف ضعف . وكان يُمرُّ فيها تيارات كهربائية عالية الجهد تحدث تألقاً في جدران الانابيب بسبب تلك الاشعة التي كانت تنحرف عن مساراتها بفعل المغنطيس . كرر هذه التجارب تحت ظروف مختلفة من الافراغ ، مستعملاً مواداً مختلفة في القطب السالب وتيارات متباينة الجهد . وفي سنة ١٨٩٧ اعلن بعد تجارب عديدة ان اشعة المهبط هي جسيمات كهربائية سالبة وانها اصغر من كلّ الذرات المعروفة . فنقض بذلك ما كان دالتن قد بشر به سنة ١٨٠٠ من ان الذرة هي اللبنة (الدقيقة) الاساسية لبناء المادة ودعى هذه الجسيمات من الكهربائية السالبة التي تتألف منها اشعة المهبط بالالكترونات (كهارب) . كان علماء الكيمياء يعتقدون قبل اكتشاف طمسن ان العناصر هي حدود التحليل الكيميائي وان هناك ٩٢ ذرة مختلفة من ذرات المادة هي اساس تركيب كل مادة في الكون . اما طمسن فقد اتانا بشيء ابسط من الذرة في تركيب المادة حولنا وذلك هو الالكترون (الكهرب) .

خواص الكهارب ووزنها

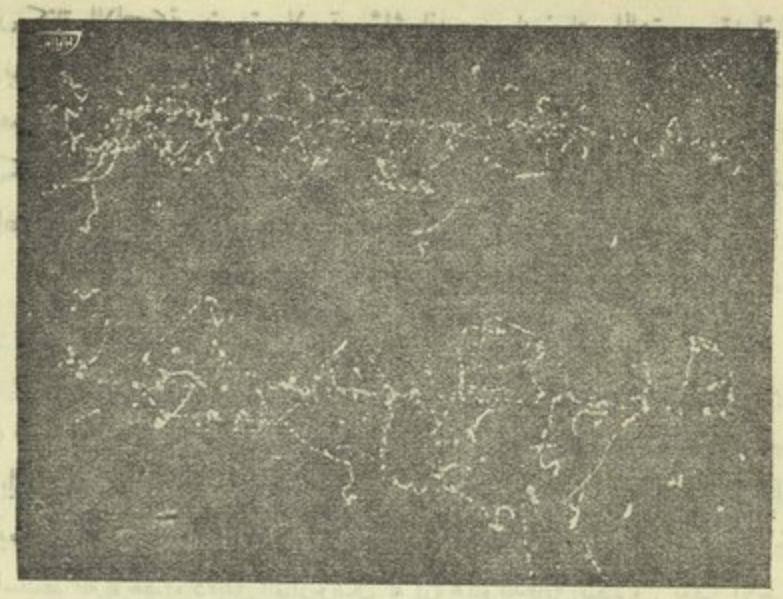
لم يقف طمسن عند هذا الحد في استنتاجاته لكنه ذهب الى ابعد من ذلك وقال ان مصدر هذه الالكترونات هو الذرة وانها ، اى الالكترونات ، تتشابه مهما اختلفت مصادرها وانها جزء من الذرات التي تنبعث منها . علاوة على ذلك هي ذرات من الكهربائية السالبة تنطلق بسرعة فائقة ولها وزن كما للاجسام المادية حولنا . وقد اخذ على عاتقه

قياس كتلة الالكترون حتى لا يبقى شك بانه جسيم له خواص المادة . وقد اثبتت تجاربه المبنية على مدى انحراف الالكترونات اذا ادنيت قطعة مغنطيس من الانبوب ان هناك نسبة ثابتة بين شحنة الالكترون الكهربائية وكتلته. ثم توصل الى ان وزن الالكترون هو اقل من وزن ذرة الايدروجين نحو الفي ضعف والايدروجين هو اخف العناصر . اما وزن الالكترون فهو ٩١٠٤ × ١٠ − ٢٨ من الغرام .

تصوير الالكترون

بدأ يسود الاعتقاد بان ذرات المادة تتألف من الكترونات. لكن هذه النظرية، شأن غيرها من النظريات، لم تحتل المركز اللائق بها الا بعد تجارب عديدة اثبتت صحة محتوياتها . كان على طمسن ان لا يترك ناحية من الشك تعترض سير نظريته . فبدا له ان يعهد الى ولسن « Wilson » احد تلامذته تصوير الالكترون. كان هذا الاخير قد استنبط آلة لاحصاء دقائق الغبار وتبين له ان هذه الدقائق تتصرف بعض الاحيان كانها نوى يتكثف عليها البخار وذلك عندما يبرد فجأة . ومعلوم ان الهواء يبرد اذا تمدد فجأة كما يحدث لطبقات الهواء التي تتمدد عندما ترتفع الى اعالي الجو ، وهذا سبب من اسباب سقوط الامطار . وعندما يتكثف البخار على دقائق الغبار يصبح بالامكان تصويرها وعدها . وبعد جهود نحو ١٥ سنة توصل ولسن الى تصوير الالكترون بواسطة جهاز يعرف بالحجرة الغائمة (Wilson's Cloud Chamber) وقد استعمل هذا الجهاز لتصوير مسارات الذرات المتحركة او جسيمات اخرى هي دون الذرة حجماً . وبواسطته كان بالامكان مشاهدة مسارات دقائق الفا اي الدقائق المنطلقة من الراديوم .

ويقوم هذا الجهاز باعجب ما يقدر ان يتصوره العقل البشري وذلك هو تصوير مسارات دقائق الفا وغيرها بالمصورة الضوئية ، الشيء الذي لم يكن بالامكان تحقيقه بغير هذه الوسيلة . وقد منح هذا العالم جائزة نوبل مكافأة على استنباطه هذا الجهاز الذي جاء مثبتاً للنظرية الذرية التي كانت تحوم حولها الشكوك واصبح سلاحاً بيد جميع الباحثين في حقل الذرة وغزوها ، محققاً كثيراً من الامور التي ايدتها النظريات .

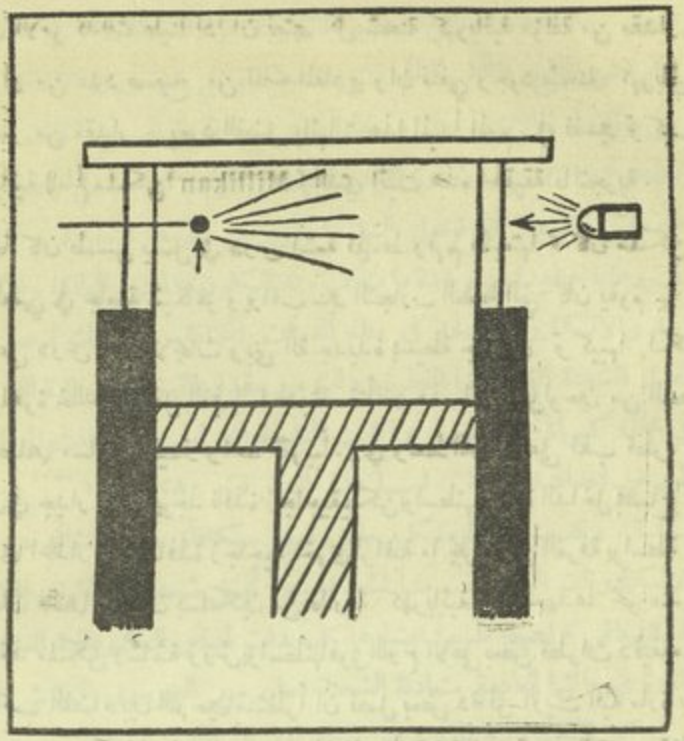


شكل (٨)

صورة مسارات دقائق باتا المنطلقة من جزيئات الهواء.

الحجرة الغائمة (جهاز ولسن)

يتألف هذا الجهاز ، كما يظهر في الرسم ، من وعاء معدني اسطواني قطره بضعة بوصات يغطي اعلاه لوح من الزجاج . وفي اسفل الوعاء مكبس يمكن تحريكه صعوداً ونزولا . يحتوي هذا الوعاء على بخار مائي وكمية ضئيلة من المادة المشعة في انبوب مركّز في احدى الزوايا . فعندما يسحب المكبس بسرعة الى الخارج يتمدد البخار المائي ضمن الحجرة ويبرد ، فتتكون قطرات الماء حول الايونات في مسارات دقائق الفا او غيرها من الدقائق وتظهر هذه المسارات كانها خطوط من الغيم او الضباب الرقيق . ويمكن تصويرها بالمصورة الضوئية التي تؤلف جزءًا من هذا الجهاز . وبالامكان مشاهدة هذه المسارات بالعين المجردة في المختبرات العادية لان هذا الجهاز



شكل (٩)

صورة الحجرة الغائمة (ولسن)

اصبح شائعاً بفضل الشركات التي تسرع في انتاج هذه الالات الضرورية .

الكهربائية ذرية التركيب . المقدار الكهربائي

ذكرنا سابقاً شيئاً عن التحليل الكهربائي (Electrolysis) وان قوامه تلك الأيونات وهي ذرات تحمل شحنة كهربائية تعادل المقدار الكهربائي الاساسي او عدداً صحيحاً من تلك المقادير . لذلك اصبح المقدار (Qnantum of Electricity) يلعب دور الذرة الكهربائية وصارت الكهربائية تعتبر ذات تركيب ذري . فهل يصح هذا الامر عن الشحنة الكهربائية في غير ظاهرة التحليل الكهربائي ؟

اذا كان الامر كذلك علينا اذاً ان نعتبر كل شحنة كهربائية مؤلفة من مقدار كهربائي واحد او من عدد صحيح من تلك المقادير وان ننفي وجود شحنة كهربائية تتألف من كسر من مقدار . يعود الفضل باثبات هذا المبدأ المهم في تفسير تركيب الشحنة الكهربائية للعالم ملكن (Millikan) الذي اثبت هذه الحقيقة بالتجربة .

بينما كان طمسن يعمل في درس اشعة المهبط وفهم طبيعتها ، كان ملكن يعمل في مختبره العلمي في جامعة شيكاغو ويراقب سير التجارب العلمية التي كان يقوم بها طمسن . فأكب على درس هذه الابحاث وبنى آلة جديدة بسيطة جداً في تركيبها لكنها اتت بنتيجة باهرة خالدة في حقل الفيزياء الحديثة . تتألف هذه الالة من لوحين من النحاس ضمن غرفة تفصلهما مسافة سنتيمتر واحد تقريباً . وفي وسط اللوح الاعلى ثقب قطره قطر ابرة رفيعة . وفي جدار الغرفة يوجد نافذة زجاجية يمكن بواسطتها انارة الداخل بمصباح كهربائي قوي . وفي الجدار ايضاً نافذة زجاجية اخرى لمراقبة ما يجري ضمن الغرفة بواسطة المرقب . اما اللوحان فانهما يوصلان بسلكين من بطارية كهربائية يبلغ جهدها نحو عشرة الاف فولط . اخذ ملكن رشاشة ورش بواسطتها فوق اللوح الاعلى بعض قطرات دقيقة من الزيت وبدأ يراقب الفضاء بين اللوحين منتظراً ان تصل بعض دقائق الزيت اليه مارة بالثقب في اللوح الاعلى . وهكذا كان فان بعض الدقائق الزيتية كانت تمر في الثقب وتظهر جلية لامعة اثناء نزولها من اللوح الاعلى الى الاسفل ، تستغرق نحو نصف دقيقة في هبوطها . وكانت النتيجة واحدة عند عكس استقطاب اللوحين ، مما يدل على ان القطرة متعادلة الكهربائية .

جرّب ملكن ان يُحدث تغييراً في وضع القطرة الكهربائي وذلك بان ينزع منها بعض الكهارب بتأثير الراديوم الذي تبين سابقاً انه يكهرب الجو المحيط به ويحدث ايونات في ذلك المحيط . فصوّب انبوباً يحتوي على بعض الراديوم نحو قطرات الزيت حتى تقع اشعته عليها وتصطدم بها متوقعاً بذلك ان تجرّد القطرة من احد الالكترونات فيصبح لها شحنة كهربائية موجبة . هكذا كان ، فان سرعة القطرة الزيتية الهابطة نقصت عما كانت عليه قبلاً واصبحت غير متعادلة الشحنة . هذا النقص في سرعة القطرة مكّن ملكن من احصاء الكهارب التي فقدتها بسبب

تأثير الراديوم . اعاد ملكن هذه التجربة مراراً مدققاً في المشاهدات وما يبنى عليها من نتائج فاتحف العالم بنتيجة عجيبة وهي ان وزن الالكترون هو ١/١٨٥٠ من وزن ذرة الايدروجين . وهذا يتفق مع نظرية طمسن القائلة ان وزن الالكترون هو ١/٢٠٠٠ من وزن ذرة الايدروجين . والغريب ان طمسن توصل بالطريقة النظرية الى نفس النتيجة التي توصل اليها ملكن عن طريقة التجربة . كان هذا الاكتشاف برهاناً جديداً على وحدة ما يتألف منه الكون، فالمادة والطاقة والكهربائية شيء واحد والالكترون يدخل في بناء الذرات المختلفة . كذلك توصل ملكن لقياس مقدار الشحنة التي تحملها القطرة وذلك من مقدار القوة الكهربائية التي تفعل في القطرة في مجال كهربائي معروف . وكانت النتيجة ان نسب الشحنات الى المقدار الكهربائي هي اعداد صحيحة . اما هذا المقدار فهو $٤٫٨٠ \times ١٠^{-١٠}$ من الوحدة الاستاتيكية . وقد منح العالم ملكن جائزة نوبل مكافأة على اكتشافه هذا . ولما كانت الالكترونات التي تتألف منها اشعة المهبط تحمل شحنة كهربائية سالبة تعادل المقدار الكهربائي ، اصبح طبيعياً اعتبارها كوحدات لمقياس الكهربائية السالبة . ولما كانت الذرة في حالتها العادية متعادلة الشحنة صار من الضروري التفتيش في داخل الذرة عن مركز الكهربائية الموجبة التي تبطل عمل الكهارب السالبة . وصار الاعتقاد ان الذرة تتألف من كمية من الكهارب السالبة في مجال من الكهربائية الموجبة . وقد صادفت هذه الصورة للذرة استحساناً وقبولا في الاوساط العلمية لانها كانت تطابق الواقع .

اكتشاف اشعة الفا وغما وبانا

كان بين طلاب طمسن في كمبردج شاب من زيلندا الجديدة يدعى أرنست رذرفورد وكان هذا الشاب يتصف بصفات العالم المدقق شأن الكثيرين من الذين كانوا يعملون مع طمسن في معمله . فقد اشترك في الابحاث حول مكتشفات رنتجن وبكريل ومدام كوري في جامعة كمبردج ووجد في ذلك الحقل ميداناً جديداً واسعاً للعمل فبدأ يدرس عنصري الاورانيوم والثوريوم وما ينبعث منهما من اشعاع . تبين له

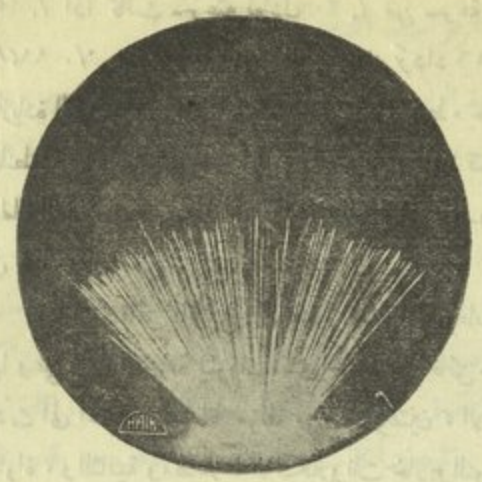
ان عنصر الثوريوم يطلق كمية ضئيلة جداً من غاز قوي الاشعاع له طبيعة خاصة واطلق عليه اسم الانبعاث . (Emanation) . وبعد ابحاث طويلة دقيقة قام بها في تحليل الاشعة المنطلقة من الراديوم والاورانيوم اعلن في سنة ١٩٠٢ ان ذرات الراديوم ليست بحالة استقرار لكنها تتحول وتنحل دوماً مطلقة ثلاثة انواع من الاشعاع ، اشعة الفا واشعة باتا واشعة غماً . وقد تم تحليل هذه الاشعة وتمييزها عن بعضها بواسطة المجال المغنطيسي كما يظهر في الرسم الذي يمثل مكعباً من الرصاص وضع في جوفة في اعلاه بعض حبات الراديوم .

خواص اشعة الفا

تتألف اشعة الفا من جسيمات ذات كهربائية موجبة تنحرف في مساراتها قليلاً كما يظهر في الرسم وهي تنطلق بسرعة تتراوح بين جزء من عشرين جزء وجزء من اثني عشر جزءاً من سرعة النور . وقد تبين فعلاً ان سرعة بعضها يبلغ نحو ٩٦٠٠ ميل في الثانية . وعلاوة على هذا فان دقائق الفا المنبعثة من العناصر المشعة المختلفة تختلف بسرعاتها الاولية التي ترافقها عند الانبعاث وكل من هذه الدقائق لها مدى معين في الهواء . ويقع هذا المدى بين ٢٫٥ سنتيمتراً و ١٢ سنتيمتراً في الظروف العادية ويمكن قياسه بواسطة صور المسارات التي تحصل في الحجرة الغائمة كما يظهر في الرسم . ويتبين من الرسم هذا ان مدى (Range) بعض دقائق الفا يبلغ ٤٫٨ سنتيمتراً او ٨٫٦ سنتيمتراً كما ان ثمة مسارين طولها ٩٫٥ سنتيمتراً و ١١٫٣ سنتيمتراً . وعندما انطلقت هذه الدقائق

الشكل (١٠)
صورة اشعة الفا وهما في مجال مغنطيسي

في غاز آخر غير الهواء كان للمدى اربعة مقادير تختلف عن تلك التي في الهواء لكنها تحفظ نفس النسبة بين بعضها كالمقادير في الهواء . ولما كانت سرعة هذه الدقائق كبيرة جداً كانت طاقتها الحركية عظيمة ايضاً تفوق بمليوني مرة الطاقة الحركية لجزيئات الهواء في الظروف العادية، التي تسير بسرعة تبلغ ٥٠٠ متر في الثانية . وبطريقة عجيبة تمكن رذرفورد من درس خواص دقائق الفا المنطلقة من العناصر المشعة اثناء انحلالها فوجد انها تشبه تماماً ذرات عنصر الهليوم . فزاد على اكتشافاته هذا الاكتشاف الخطير وهو ان دقائق الفا المنطلقة من العناصر المشعة هي ذرات عنصر الهليوم تحمل شحنة كهربائية موجبة



شكل ١١
صورة دقائق الفا المنطلقة من الثوريوم

خواص اشعة باتا

اما اشعة او دقائق باتا فانها تنطلق من العنصر المشع بسرعة تفوق سرعة اشعة الفا . وهذه سرعة تتراوح بين ٣٠ و٩٩٫٨ بالمئة من سرعة النور . لكن طاقتها الحركية اقل من طاقة اشعة الفا الحركية بالرغم من سرعتها الهائلة لان كتلة اشعة باتا اصغر من كتلة اشعة الفا بسبعة الاف (٧٠٠٠) ضعف . وقد ثبت من مدى انحراف اشعة باتا في المجال الكهربائي الاستاتيكي ان وزنها يعادل وزن الالكترون وهي تحمل شحنة تعادل شحنة الالكترون بالمقدار والعلامة . ولا نعرف ابداً ان هناك جسيمات اخرى في الطبيعة لها سرعة دقائق باتا . هنا تظهر جلياً العلاقة بين الكتلة والسرعة التي اعلنها اينشتين بموجب ناموس النسبية . فان كتلة الجسم تزداد

١٥ ٪ اذا كانت سرعته تعادل ٥٠ ٪ من سرعة النور . اما اذا كانت سرعة الجسم ٩٩٫٨ ٪ من سرعة النور فان كتلته تزداد ١٦ ضعفاً . ولا يمكننا ادراك هذه الزيادة الضئيلة في كتل الاجسام التي تسير ببطء حولنا . اما اشعة المهبط واشعة باتا المنطلقة من العناصر المشعة فان لها سرعات هائلة تسبب زيادة في كتلتها . وقد تمكن علماء الفيزياء فعلاً من تعيين مقدار هذه الزيادة بواسطة الانحراف الحاصل لهذه الجسيمات في مجال مغنطيسي .

تنطلق دقائق باتا من كل عنصر مشع بمجموعات لكل مجموعة منها سرعة خاصة بها وعلى هذه السرعة يتوقف مدى انحراف الدقائق هذه في المجال المغنطيسي . هذه الحقيقة ادّت الى اعتبار اشعة باتا مؤلفة من مجموعتين ، الاولى ومصدرها الالكترونات في النواة ، والثانية ومصدرها الالكترونات خارج النواة .

خواص اشعة غما

والنوع الثالث من الاشعاع الراديومي هو اشعة غما . وهذه الاشعة لا تحمل شحنة كهربائية لانها لا تنحرف عن استقامتها في مجال مغنطيسي او استاتيكي . وتنقسم هذه الاشعة الى قسمين ، الاول وهو ما ينطلق من النواة والاخر وهو نفس الاشعة السينية المميزة لذلك العنصر المشع لها . ولو اردنا الحصول على اشعة اكس من هذا النوع كان يلزمنا ضغط كهربائي قدره مليون فولت . وبامكان هذه الاشعة ، وهي اقصر امواجاً من الاشعة السينية واشد منها نفاذاً في خلال المادة ، ان تخترق لوحاً من الرصاص سماكته نحو ٦ سنتيمترات او سماكة ١٦ بوصة من الحديد . وقد ضمّت هذه الاشعة الى الطرف القصير من الامواج من طيف الاشعاع . ظنّ الكثيرون ان مدى طيف الاشعاع يقف عند هذا الحد لانه من الصعب على العقل البشري ان يتصور وجود اشعة اقصر امواجاً من اشعة غما التي تقع في حيّز بضعة اعشار الانجستروم الى سبعة اجزاء من الف جزء من الانجستروم ($١٠ - ^{١٠}$ سم) . لكن التجارب اثبتت وجود الاشعة الكونية وهي اقصر كثيراً من اشعة غما وتخترق ما سماكته ٢٨٠ متراً من الماء او نحو عشرين متراً من الرصاص .

تأين الهواء بواسطة الاشعة الراديومية

من ابرز ما تحدثه هذه الاشعة الراديومية هو تأين الهواء . فان دقيقة واحدة من دقائق الفا تؤين من ذرات الهواء ما يقع بين ١٠٠٠٠٠٠ و٢٥٠٠٠٠٠ . اما دقيقة واحدة من دقائق باتا فانها تؤين ١٠٠٠٠ ذرة تقريباً . وهذا التأين يساعد على تكوين الضباب في مسارات هذه الدقائق اذا كان البخار المائي فوق الاشباع كما سبق وذكرنا عن الحجرة الغائمة وعملها . وتكون مسارات دقائق الفا مستقيمة، اما مسارات باتا فانها تنحرف عن استقامتها بصورة غير منتظمة لان كتلتها اصغر كثيراً من كتلة دقائق الفا ، الشيء الذي يجعلها تنحرف عند اصطدامها بذرة الهواء . ولما كان عدد ذرات الهواء المتأينة بواسطة دقائق باتا صغيراً كانت مسارات هذه تتألف من بقع منفصلة كما يظهر في الرسم

شكل (١٢)

صورة مسار دقيقة باتا

تحول العناصر

كان الاقدمون يحلمون بتحويل عنصر الى عنصر آخر . وقد صرف الكيميائيون جهوداً عظيمة في القرون الوسطى لتحويل الحديد وغيره من المعادن البخسة الى ذهب

او فضة . وفي اوائل نشوء النظرية الذرية قرّر العلماء ان هذا الحلم لا يمكن تحقيقه ابداً . لذلك انصرفوا عنه انصرافاً تاماً حتى جاء رذرفورد يبين ان ذلك التحول حاصل في الطبيعة وان الاورانيوم يتحول الى راديوم والراديوم يتحول الى رصاص كما سيتبين من البحث في الفصل التالي . وهكذا نجد ان الاكتشافات التي قام بها شاب في الثلاثين تصبح الشغل الشاغل للعلماء نحو نصف قرن ، يعقبها سلسلة من الاكتشافات الباهرة التي انتهت بالقنبلة الذرية .

الفصل الرابع

التحولات الطواعية في العناصر المشعة

التحولات الطواعية في الراديوم

اتينا في الفصول السابقة بالشيء الكثير عن الراديوم من حيث استكشافه واشعاعه ومقدرته على شفاء النوامي السرطانية السطحية وغير ذلك من خواص هذا العنصر العجيب . بقي علينا ان نبحث ناحية اخرى في هذا العنصر من حيث كشفه عن حقيقة طبيعة المادة والبناء الذري اذ ان الفتح العظيم في هذا الحقل يرتكز على ما عرف عن الراديوم وامثاله من العناصر المشعة .

المعروف عن العناصر عامة انها لا تتغير من ذاتها . فقطعة من الذهب او الفضة لا يطرأ عليها تغيير من ذاتها بل تبقى كما هي . اما الراديوم فانه ينحل ويختفي باستمرار وبطء وليس بالامكان ايقاف تلك العملية ابداً . وهذا الانحلال الطواعي يشمل العناصر المشعة ذات الاوزان الذرية العالية ويتسرب الى نواة الذرة نفسها سواء كانت هذه العناصر حرة ام متحدة ، ولم يكن بالامكان استخراج اي جسم آخر منها بالطرق الكيميائية . والراديوم هو اقوى هذه الفئة من العناصر المشعة وذراته تنفجر واحدة بعد الاخرى تبعث الى الخارج غاز الهليوم ويبقى غاز الرادون (Radon) كنتيجة لهذه العملية . والرادون بدوره يتغير وتتوالى التغيرات فتتكون سلسلة من ذرات عناصر مختلفة . ويكون آخر تغير في النهاية الى الرصاص حيث تقف سلسلة التغيرات لان ذرة الرصاص ثابتة لا تتغير . فنعبر عن ذلك بقولنا ان العناصر المشعة تؤلف من ذرات غير ثابتة وتميل من ذاتها الى الانحلال الى ذرات اكثر ثبوتاً واستقراراً .

التحولات الطواعية في الاورانيوم

والاورانيوم (وزنه الذري ٢٣٨) هو في رأس قائمة العناصر المشعة ويتحول من

ذاته ببطء الى عنصر اخر وهو الاورانيوم س(١)(وزنه الذري ٢٣٤) بعد ان يطلق دقيقة من دقائق الفا اي ذرة هليوم. وقد اثبت رذرفورد ان غراماً واحداً من الراديوم يفقد نصف قوته في ١٦٠٠ سنة ، اما غرام الاورانيوم فانه يفقد نصف قوته بعد خمسة الاف مليون سنة . فانحلال الاورانيوم (٢٣٨) هو اذاً بطيء جداً يرافقه انطلاق الحرارة بصورة خفيفة . اما الاورانيوم س (١) فانه ينحل بدوره ويتحول الى عنصر آخر وهو الاورانيوم س (٢) وهلم جرًّا . وفي الدرجة السادسة من هذا التحول يحصل الراديوم الذي درسنا خواصه العجيبة وهذا بدوره ينتهي امره الى الرصاص كما يتبين من لائحة التحولات لعائلتي الاورانيوم والراديوم .

لائحة التحولات الطواعية لعائلتي الاورانيوم والراديوم

العنصر	العدد الذري	الوزن الذري	الدقيقة المنطلقة	نصف العمر
اورانيوم (١)	٩٢	٢٣٨	الفا	٤٫٦٧ مليار سنة
اورانيوم س (١)	٩٠	٢٣٤	باتا	٢٤ يوماً
اورانيوم س (٢)	٩١	٢٣٤	باتا	٦٩ ثانية
اورانيوم (٢)	٩٢	٢٣٤	الفا	٢ مليار سنة
ايونيوم	٩٠	٢٣٠	الفا	٧٠ الف سنة
راديوم	٨٨	٢٢٦	الفا	١٦٩٠ سنة
رادون(ابخرة الراديوم)	٨٦	٢٢٢	الفا	٣٫٨٥ يوم
راديوم (ا)	٨٤	٢١٨	الفا	٣٫٠٥ دقيقة
راديوم (ب)	٨٢	٢١٤	باتا	٢٦٫٨ دقيقة
راديوم (ث)	٨٣	٢١٤	باتا	١٩٫٥ دقيقة
راديوم (ث) ا	٨٤	٢١٤	الفا	10^{-6} ثانية
راديوم (د)	٨٢	٢١٠	باتا	١٦٫٥ سنة
راديوم (ذ)	٨٣	٢١٠	باتا	٥ ايام
راديوم (ف) ٠ بولونيوم	٨٤	٢١٠	الفا	١٣٦ يوماً
راديوم (ج) ٠ الرصاص	٨٢	٢٠٦ وهو ثابت لاينحل ويسمى رصاص		وراثيوم

يتضح من هذه اللائحة ان انطلاق دقيقة من دقائق الفا او باتا يسبب تحولاً في العنصر المشع ويكون العنصر الناتج مشعاً ايضاً فينتج منه عنصر آخر وهلمّ جراً . ولما كانت الشحنة التي تحملها دقيقة الفا موجبة تساوي ضعفي المقدار الاساسي و كتلتها تساوي اربعة اضعاف كتلة ذرة الايدروجين ، ينتج عن هذا النوع من التحول نقص في العدد الذري يساوي اثنين ونقص في الوزن الذري يساوي اربعة. اما في التحولات الاخرى المسببة عن انطلاق دقيقة باتا فان العدد الذري يزداد واحداً بدون ان يحدث تغيير في الوزن الذري. ذلك لان دقيقة الفا تحمل شحنة سالبة تساوي المقدار الاساسي ووزنها ضئيل لا يؤثر في وزن الذرة .

هذا التحول الطواعي في العناصر المشعة كان نتيجة ابحاث قام بها رذرفورد في سنة ١٩٠٠ . فقد اثبت هذا العالم ان عنصر الثوريوم ، وهو احد العناصر المشعة ، يطلق باستمرار ابخرة مشعة وعقب ذلك اكتشاف الظاهرة نفسها في عنصر الراديوم . وقد تبين فيما بعد ان ابخرة الثوريوم وابخرة الراديوم هي نظائر لبخار نادر الوجود عدده الذري ٨٦ . وقد ساعدت اطياف هذه الابخرة على التثبت من كونها عناصر لانها كانت تحدث طيفاً مميزاً لها . وفي سنة ١٩٠٢ وضع رذدفورد بالتعاون مع صدي (Soddy) اساس نظرية التفكك او الانحلال هذه التي برهنت عن جرأة تامة في ذلك الوقت . وقد تبين فيما بعد من الابحاث في تركيب نواة الذرة ان مركز هذا التفكك هو في النواة كما يظهر في الابحاث التالية .

نصف عمر المادة المشعة

اشرنا سابقاً الى ما يسمى نصف عمر الراديوم او غيره من العناصر المشعة . يقصد بذلك المدة اللازمة لانحلال نصف كتلة مقدار معين من العنصر المشع . اذ ان انطلاق دقيقة الفا يجعل ذرة من ذرات الراديوم تفقد خواصها فينقص مقدار الراديوم بسبب الاشعاع المستمر . ويمكن تعيين هذه المدة بطريقة التلألؤ (Scintillation) التي تساعد على عدّ دقائق الفا المنطلقة اثناء الاشعاع . وقد ظهر ان غراماً واحداً من الراديوم يطلق ٣٧٠٢ بليوناً من دقائق الفا في الثانية او ١٤٠٧×١٠^{١٨} في سنة . واذا فرضنا

ان دقيقة واحدة من دقائق الفا تنطلق عند انحلال ذرة واحدة من ذرات الراديوم ، وهذا الفرض كان مطابقاً للنتائج الحاصلة، يصبح عدد الذرات المنحلة من غرام الراديوم ثابتاً لمدة من الزمن. على ان الغرام الواحد من الراديوم يحتوي على ٢٧٦٨×١٠^{٢١} ذرة. ففي خلال سنة تنحل ذرة من كل ٢٢٨٠ ذرة من ذرات الراديوم . ومن العمليات الحسابية نتوصل الى ان نصف عمر الراديوم هو ١٥٨٠ سنة تقريباً .

الحصول على الهليوم من انحلال الراديوم

ذكرنا سابقاً ان دقائق الفا المنطلقة من عنصر الراديوم هي نفس ذرة عنصر الهليوم لكنها تحمل شحنة موجبة . وقد اثبتت التجارب الدقيقة ان غراماً واحداً من الراديوم ينتج نحو ١٦٧ مليمتراً مكعباً من الهليوم في السنة وهذه الكمية تزن ٠،٠٢٩٨ مليغراماً . ومعلوم ان كتلة ذرة الهليوم تساوي اربعة اضعاف كتلة ذرة الايدروجين. ينتج من هذا ومما تقدم ان عدد ذرات الهليوم الناتجة من غرام واحد من الراديوم في سنة هو ٤٧٥٢×١٠^{١٨} . والغرام الواحد من الراديوم يطلق ١٧١٧×١٠^{١٨} من دقائق الفا كما ذكرنا سابقاً . كذلك يوجد دائماً في استحضارات الراديوم عناصر ثلاثة ناتجة عن الانحلال الطواعي وهي راديوم(ا) وراديوم(ب) وراديوم(ث) وكل منها يطلق من دقائق الفا بقدر ما يطلق الراديوم نفسه . فمجموع دقائق الفا المنطلقة هو اذاً ٤٧٦٨×١٠^{١٨} وهذا العدد يتفق مع عدد ذرات الهليوم الناتجة في سنة واحدة من غرام واحد من الراديوم . لقد جاءت هذه المطابقة في النتائج كاكبر برهان على صحة نظرية التفكك والمبادىء الاساسية للنظرية الذرية عامة . علاوة على ذلك فان بالامكان الاعتماد على طريقة التلألؤ وكمية الهليوم الناتجة لتعيين كتلة ذرة الهليوم ومن ثم كتلة ذرة الايدروجين بدون ان نلجأ الى مقاييس تجريبية بصورة اخرى .

التحولات الطواعية في عائلتي الثوريوم والاكتينيوم

ظل العلماء على اعتقادهم بعدم امكانية تحويل عنصر الى عنصر آخر حتى اواخر القرن التاسع عشر . لكن العناصر المشعة اتتنا بعدد كبير من هذه التحولات. وقد اتينا مطولاً بالتفصيل عن عائلة الاورانيوم وعن سلسلة التحولات فيها . وعلاوة على

هذه العائلة يوجد هناك عائلتان من العناصر الاشعاعية ، الاولى ويترأسها الاكتينيوم والثانية وعلى رأسها الثوريوم . وقد دلت الابحاث الدقيقة ان بالامكان وضع جميع العناصر المشعة (باستثناء البوتاسيوم والساماريوم والروبيديوم) بمجموعات ثلاث بحيث يكون كل عنصر في مجموعة ما ناتجاً عن العنصر الذي يسبقه بواسطة انطلاق دقيقة الفا او دقيقة باتا . وقد اطلق على هذه المجموعات اسم السلالات او العائلات. وجميع هذه العائلات تنتهي بعد انحلالها الى الرصاص وهو ثابت لا ينحل . ويمكن اعتبار عائلة الاكتينيوم متفرعة من عائلة الاورانيوم لان افراد عائلة الاكتينيوم توجد في جميع املاح الاورانيوم بنفس الفاعلية التي تبلغ ٣٪ . يستنتج من هذا انه حيث يوجد الاورانيوم تتفرع عملية التفكك بحيث يتكوّن ٩٧ ذرة من ذرات الراديوم و ٣ ذرات اكتينيوم لكل ١٠٠ ذرة اورانيوم . وفي اللوائح التالية تظهر جميع هذه التحولات .

لائحة تحولات عائلة الثوريوم

اسم العنصر	العدد الذري	الوزن الذري	الدقيقة المنطلقة	نصف العمر
ثوريوم	٩٠	٢٣٢	الفا	٢٠ مليار سنة
ميزوثوريوم (١)	٨٨	٢٢٨	باتا	٦٫٧ سنة
ميزوثوريوم (٢)	٨٩	٢٢٨	باتا	٦٫٢ سنة
راديوثوريوم	٩٠	٢٢٨	الفا	١٫٩ سنة
ثوريوم (س)	٨٨	٢٢٤	الفا	٣٫٦٤ يوماً
ابخرة الثوريوم	٨٦	٢٢٠	الفا	٥٫٥ ثانية
ثوريوم (ا)	٨٤	٢١٦	الفا	٠٫١٤ ثانية
ثوريوم (ب)	٨٢	٢١٢	باتا	١٠٫٦ ساعة
ثوريوم (ث)	٨٣	٢١٢	باتا	٦٠٫٨ دقيقة
ثوريوم (ث) ١	٨٤	٢١٢	الفا	10^{-11} ثانية
ثوريوم (د)	٨٢	٢٠٨	ثابت لا ينحل ويسمى بالرصاص	٢٠٨

لائحة تحولات عائلة الاكتينيوم

اسم العنصر	العدد الذري	الوزن الذري	الدقيقة المنطلقة	نصف العمر
اكتينيوم – اورانيوم	٩٢	٢٣٥	الفا	٠٠٠٠
اورانيوم (ي)	٩٠	٢٣١	باتا	٢٤٫٦ ساعة
بروتو اكتينيوم	٩١	٢٣١	الفا	١٢ الف سنة
اكتينيوم	٨٩	٢٢٧	باتا	٢٠ سنة
راديو – اكتينيوم	٩٠	٢٢٧	الفا (باتا)	١٩٫٥ يوماً
اكتينيوم (س)	٨٨	٢٢٣	الفا	١١٫٤ يوماً
انجرة الاكتينيوم	٨٦	٢١٩	الفا	٣٫٩ ثانية
اكتينيوم (ا)	٨٤	٢١٥	الفا	٠٫٠٠٢ ثانية
اكتينيوم (ب)	٨٢	٢١١	باتا (غما)	٣٦ دقيقة
اكتينيوم (ث)	٨٣	٢١١	الفا	٢٫١٥ دقيقة
اكتينيوم (ث٢)	٨١	٢٠٧	باتا (غماً)	٤٫٧١ دقيقة
اكتينيوم (د)	٨٢	٢٠٧	ثابت لا يتحول وهو الرصاص ٢٠٧	

اذا تمعنا في هذه اللوائح نجد ان نصف عمر انجرة الثوريوم ، وهو اقل من دقيقة ، اقصر بكثير من نصف عمر انجرة الراديوم ، وهو نحو اربعة ايام . كذلك نصف عمر انجرة الاكتينيوم اقصر بكثير من نصف عمر الاثنين لانه يساوي اربع ثوان تقريباً . وعندما نصل الى ثوريوم(ث)(وهكذا الى اكتينيوم ث) يحصل تفرع في سلسلة التحولات. فمن كل ١٠٠ ذرة ثوريوم تتحل ٦٥ ذرة باطلاق دقائق باتا و ٣٥ ذرة باطلاق دقائق الفا. وتتحول ذرات هذه المادة الاخيرة الى ثوريوم (ث ا)وهذه بدورها تتحول الى ثوريوم(د) باطلاق دقائق باتا. وتكون نتيجة التحول في عائلتي الثوريوم والاكتينيوم نظائر من الرصاص المستقر . نلاحظ ايضاً من هذه اللوائح ان الوزن الذري للرصاص الناتج عن الثوريوم يفوق الوزن الذري للرصاص الناتج عن الاورانيوم باثنين ، وأن الوزن الذري لانجرة الثوريوم ينقص عن الوزن الذري لانجرة الراديوم باثنين . كل هذا يأتي مطابقاً لنواميس التحول في المواد المشعة

وهناك برهان آخر على أن الحلقة الاخيرة في هذه التحولات هي الرصاص . فالرصاص هذا يوجد دائماً حيث توجد املاح الاورانيوم او الثوريوم ووزنه الذري يختلف عن الوزن الذري للرصاص العادي . يستنتج من هذا انه لا بد من ان يكون جزء من هذا الرصاص قد نتج عن تفكك الاورانيوم او الثوريوم . وبالامكان معرفة كمية الرصاص هذه بالاستناد الى الوزن الذري ، اما الباقي من الرصاص فهو الرصاص العادي الموجود مع هذه الاملاح كمادة غريبة . يستنتج ايضاً مما تقدم ان جزءا من ماية جزء من كمية ما من الاورانيوم تتفكك في ظرف ٨٠ مليون سنة . ومعلوم ان املاح الاورانيوم تحتوي كميات من الرصاص الناتج عن تفكك هذا العنصر تتراوح بين ٤ الى ٢٥ بالماية . نستخلص من هذا ان عمر هذه الاملاح يبلغ ٢٠٠٠ مليون سنة وهذه هي المدة من الزمن التي مرت على تكوين قشرة الارض التي نعيش عليها .

كمية هذه الطاقة ترافق التحولات الطواعية

يرافق جميع هذه التحولات التي سبق ذكرها انطلاق كمية من الطاقة لا يستهان بها . وهذه الطاقة كائنة في حركة الجسيمات المنطلقة بسرعات هائلة كما تقدم . وتظهر هذه الطاقة الحركية بشكل حرارة اذا وجد ما يعيقها عن الحركة . فاذا وضع قليل من الراديوم في انبوبة تصبح حرارة تلك الانبوبة اعلى من حرارة الاشياء المحيطة بها ببضع درجات . ويمدنا غرام الراديوم في حالته الطبيعية كل ساعة بمائة واربعين سعرة . فلو حبست الجسيمات المنطلقة من كمية ما من الراديوم في مقدار من الماء يعادلها وزناً لغلى هذا الماء في ظرف ٤٥ دقيقة تقريباً . ويمكنك ان تكرر هذه العملية عدة مرات فيحصل الغليان في الماء من جديد .

اثبتت المقاييس الدقيقة ان نصف غرام من عنصر الراديوم يولد خلال انحلاله كمية من الحرارة اعظم ب ٤٠٠ ٠٠٠ مرة من الحرارة التي تنطلق عند احتراق ما يعادلها وزناً من الفحم . واذا قابلنا هذه الحرارة بالحرارة الحاصلة في التفاعل الكيميائي نجد ان هذه الاخيرة ضئيلة بالنسبة الى الحرارة الناتجة عن تفكك نواة ذرة العنصر المشع . لكن هذا المقدار الهائل من الطاقة الذي ينطلق عند تحول العناصر المشعة يلزمه آلاف السنين في بعض الاحيان ، وبضعة ايام او ساعات او دقائق او ثوان احياناً اخرى .

فالراديوم (ث) يتحول الى راديوم (د) في خلال جزء بسيط من الثانية . فتحوله اذاً خاطف لكن تشكيله بطيء جداً اذ ان جد العائلة ، اي الاورانيوم ، بطيء جداً في تفككه . ولو ان بالامكان الحصول على غرام واحد من الراديوم (ث) خلال لحظة لكان بالامكان توليد طاقة هائلة في مدة وجيزة .

وخلاصة القول ان الطاقة الذرية لا تظهر في العناصر غير المشعة الا بشكل ضئيل في التفاعلات الكيميائية وما يتولد من احراق الفحم لا يتعدى $\frac{٣}{١٠٠٠٠٠٠٠٠}$ من الطاقة الذرية عند انعدام الكتلة تماماً . وانعدام المادة لا يحدث الاّ في المواد الاشعاعية وهذا يولد طاقة هائلة مصدرها الطاقة الذرية . اما هذا المقدار من الطاقة فانه لا يمكن الاستفادة منه لانه ينطلق في وقت طويل جداً . ومن المواد المشعة ما يتفكك بسرعة وبصورة خاطفة لكن هذه المواد يستحيل تجمعها بكمية وافرة . لذلك اتجهت الافكار الى ايجاد طريقة تسرع عملية التفكك في المواد المشعة الموجودة بكميات وافرة في الطبيعة . والاورانيوم يوجد بكميات عظيمة في النروج وبوهيميا والمانيا وكندا وغيرها من البلدان لانه بطيء جداً بالتفكك . فاصبح من الطبيعي ان تتجه الافكار الى توليد الطاقة الذرية الهائلة من اسراع عملية التفكك فيه كما يتبين فيما يلي .

الفصل الخامس

بناء الذرة

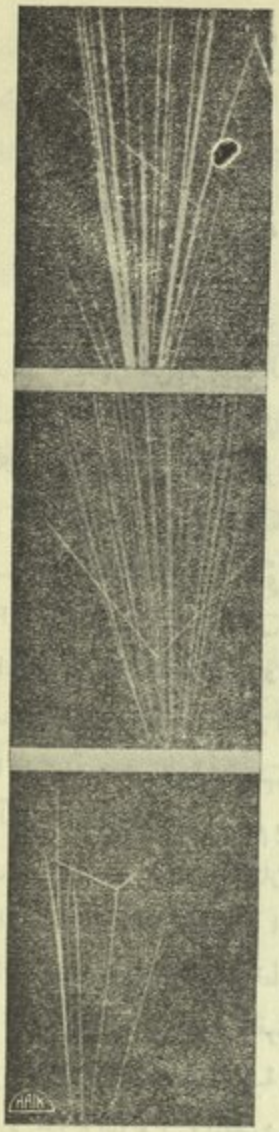
صورة الذرة كما رسمها رذفورد

كل ما نعرفه عن تركيب الذرة الداخلي هو حديث العهد ومن انتاج القرن العشرين كما يظهر من الابحاث السابقة والتالية . ومع ان هذه المعلومات هي حديثة العهد فانها أدت خدمات جُلّى في حقول العلم المختلفة وفي حقل الصناعة وفي عالم الطب. وتكفي الاشارة الى استعمال الراديوم في شفاء النوامي السرطانية السطحية وغيرها .

كانت الخطوة الاولى في الكشف عن بناء الذرة تلك النظرية القائلة بان الذرات تتألف من كهارب سالبة ، والتي كانت نتيجة ابحاث دقيقة قام بها رذرفورد . ومن هذه الابحاث درس مدى انحراف جسيمات الفا عند اصطدامها بذرات عناصر متنوعة . وفي احدى تجاربه اطلق رذرفورد مجموعة من جسيمات الفا ، مصدرها عنصر الراديوم ، على لوحة معدنية رقيقة . فكانت النتيجة ان معظم تلك الجسيمات نفذ من تلك اللوحة مخترقاً الفراغات بين الذرات بسهولة . لكن بعضها نفذ من اللوحة منحرفاً انحرافاً كبيراً عن استقامة سيره . ولم يكن بالامكان تفسير ذلك الانحراف باصطدامات تحدث مع الالكترونات . فكان لا بدّ من وجود جسيمات اثقل من جسيمات الفا . وقد استنتج من تلك التجارب ان نوع الانحراف يمكن تفسيره اذا فرضنا ان هناك شحنة موجبة في نواة ذرة يبلغ قطرها $١٠^{-١٢}$ سم . اما مقدار هذه الشحنة الموجبة في النواة فانه يتوقف على مقدار القوة الدافعة التي تتعرض لها جسيمات الفا . وقد وجد رذرفورد ان عدد الشحنات الموجبة يساوي العدد الذري لتلك المادة او عدد الالكترونات في الذرة خارج النواة . والمقصود بالشحنات الموجبة هنا تلك التي تحملها البروتونات الطليقة غير المعادلة بالالكترونات . وليس بالامكان الآن تحديد عدد الالكترونات الموجودة في النواة والتي ثبت وجودها بانطلاق جسيمات بانا من الذرات المتنوعة عند انحلالها . ففي هذه الذرات اذاً تتألف النواة من عدد من البروتونات يساوي العدد

الذري . علاوة على هذا يوجد فيها عدد من البروتونات يساوي عدد الالكترونات الموجودة في النواة. بناء على ما تقدم رسم رذرفورد سنة ١٩١١ صورة للذرة تتألف من نواة والكترونات تدور حولها وتشبه النظام الشمسي المؤلف من الشمس والسيارات

ذكرنا سابقاً ان الحجرة الغائمة التي استنبطها ولسن مكنت العلماء من تصوير مسارات دقائق الفا وغيرها من الدقائق المكهربة . وقد ثبت من درس هذه الصور ان هناك اصطدامات بين دقائق الفا او البروتونات مع نوى الذرات كما ان هناك بعض المسارات التي تُبين انه يوجد جسيمات تنطاق من نوى الذرات . وفي الرسم (شكل١٣) ترى صور هذه المسارات الحاصلة في الغرفة الغائمة . ومنها يظهر ان جميع المسارات هي خطوط مستقيمة ما عدا واحداً منها . هذا يبين ان دقائق الفا تصادف في طريقها ذرات لها كتل جديرة بالذكر . فالانحراف الحاصل في بعض المسارات ناتج عن تصادم بين دقائق الفا والدقائق التي تعترضها . اما الانحراف المبين في اعلى الرسم (شكل ١٣) فهو نتيجة تصادم دقيقة الفا مع ذرة الايدروجين كما تتصادم كرة العاج في لعبة البلياردو مع كرة اخرى . من هذا التصادم يتولد أيون الهليوم (وهو دقيقة الفا معادلة الشحنة) الذي ينفصل عن دقيقة الفا مؤلفاً زاوية مع خط وقوع



شكل (١٣)

دقيقة الفا تختلف عن تلك الزاوية التي تؤلفها دقيقة الفانفسها . ذلك لانهما ،اي دقيقة الفا وذرة الايدروجين ، يختلفان كتلة . وهذا يحدث عادة لجسيمين مختلفين كتلة عندما

يتصادمان بحسب نواميس الميكانيكا . وقد ادّى جهاز ولسن هذا خدمات كثيرة في الكشف عن خواص البروتونات والالكترونات والاشعة الكونية . اما الجسيمات التي لا تحمل شحنة كهربائية فلا يمكن تصويرها لانها لا تحدث تأثيراً في مساراتها . لكن اذا اصطدمت هذه الجسيمات بدقائق مكهربة فانه يمكن تصويرها عندئذٍ . ومن هذا النوع النيوترونات والفوتونات ، والفوتون هو وحدة الطاقة وقد اطلق عليه اسم (الكم) او (المقدار) .

اذا تمعنا بصور المسارات هذه لدقائق الفا يتبين لنا ان لها الخواص التالية :

اولاً : ان الذرة المستقرة المتعادله الشحنة تتألف من شحنات كهربائية . لان هذه الشحنات المنفصلة عن الذرة المستقرة تؤلف النواة لتكثّف البخار المائي في الحجرة الغائمة . فلو لم يكن هناك الكترونات في داخل الذرة لما صارت هذه المسارات .

ثانياً : ان استقامة المسارات دليل على ان الالكترونات ، المنفصلة عن الذرات بسبب انطلاق دقائق الفا والمنتشرة على طول المسارات بكميات كبيرة (نحو ٢٠٠٠٠ لكل سنتيمتر) ، هي جسيمات خفيفة جداً بالنسبة لدقائق الفا . لذلك تنطلق هذه الدقائق ، تشق طريقها بين الالكترونات وتدفعها جانباً ، كما تنطلق رصاصة مسدس بين مجموعة من الحشرات .

ثالثاً : إن الانحراف الكبير في بعض المسارات هو دليل على ان الذرة تحوي في داخلها كتلة لا يستهان بها بالنسبة لكتلة دقيقة الفا . ففي القسم الاعلى من الرسم (شكل ١٣) السابق صار الاصطدام بين دقيقة الفا ونواة الايدروجن . ولما كانت كتلة دقيقة الفا تساوي اربعة اضعاف كتلة نواة الايدروجين ، كان انحراف هذه الاخيرة كبيراً الى اليسار ، بينما كان انحراف دقيقة الفا ضئيلاً الى اليمين . وفي متوسط الرسم شكل (١٣) كان الاصطدام بين دقيقتين متعادلتين كتلة ، دقيقة الفا ونواة الهليوم . لذلك نرى انحراف دقيقة الفا اعظم مما هو في الاصطدام الاول ومعادلاً لانحراف نواة الهليوم ، لان الزخم موزّع بالتساوي بين الجسيمين . وفي اسفل الرسم (شكل ١٣) كان التصادم مع نواة الاكسجين التي تفوق كتلتها كتلة دقيقة الفا بثلاثة اضعاف . لذلك كانت سرعة هذه النواة الناتجة عن التصادم ضئيلة واتجاهها الى اليمين

بين نرى دقيقة الفا ترتد الى اليسار بسرعة وانحراف كبيرين . جميع هذه الانحرافات تثبت ان الذرات تتألف من نواة ثقيلة تحمل شحنة كهربائية موجبة ، حولها كهارب سالبة تجعل الذرة متعادلة الشحنة

الاعداد الذرية

لنعد الآن الى اكتشاف قام به احد تلامذة رذرفورد وهو هنري موزلي (١٨٨٧ – ١٩١٥) ، الشاب البريطاني الذي قتل في غليبولي في ١٠ آب سنة ١٩١٥ ولم يكن قد مرّ على حياته العلمية غير اربع سنوات . كان اكتشافه هذا نتيجة تجاربه على الاشعة السينية المتولدة من الواح معدنية متنوعة عندما يطلق عليها سيل من الكهارب في انابيب كروكس . وجد موزلي ان هذه الالواح تتهيّج وتولّد الاشعة السينية الخاصة بكل منها . فكان يجمع هذه الاشعة في حزمة دقيقة ويصوبها الى بلورة موضوعة امام المطياف ويصور الطيف الحاصل منها . وكانت خلاصة ابحاثه ان كل عنصر كيميائي يولد نوعاً من الاشعة السينية خاصاً به عندما يقع عليه سيل من الالكترونات او الاشعة الكاثودية . وهذه الاشعة تختلف في طول امواجها باختلاف العناصر . وقد تمكن من الكشف عن علاقة الطول الموجي لهذه الاشعة والوزن الذري للعنصر . قال انه بازدياد الوزن الذري يقصر الطول الموجي للاشعة السينية التي يولدها العنصر وتزداد قوة نفاذها للاجسام . وبعد دراسة دقيقة تبين له انه اذا رُتّبت العناصر بحسب طول امواج الاشعة السينية المميزة لها ، كان بالامكان تعيين العدد الخاص لكل عنصر منها في جدول يشبه جدول مندليف الدوري . وهذا العدد هو الجذر المالي من طول الامواج بالقلب وهو دائماً عدد صحيح . وقد اطلق على هذه الاعداد اسم « الاعداد الذرية » وهي من واحد (للايدروجين) الى ٩٢ (للهليوم) .

لقد مهّد هذا الاكتشاف الطريق لنظرية تركيب الذرة ولتفسير علمي لجدول مندليف الدوري . اذ ان هذه الارقام (من ١ الى ٩٢) التي تتلائم مع الجدول الدوري للعناصر اوحت لموزلي ان يفتش عن ذلك العامل في الذرات المختلفة الذي يسبب هذه الزيادة المطّردة المنتظمة . فتبين له ان هذا العامل لا يبعد ان يكون

الشحنة الموجبة في نواة الذرة والتي يساوي عددها عدد الكهارب السالبة المعادلة لها . ولما كان العدد الذري لغاز الايدروجين واحداً اصبح الاعتقاد ان ذرة الايدروجين تتألف من شحنة موجبة واحدة يعادلها كهرب سالب . كذلك يمكننا القول ان نواة ذرة الاورانيوم، وهو اثقل العناصر المعروفة ، تتألف من ٩٢ شحنة موجبة يعادلها ٩٢ كهرباً تحيط بالنواة .

ومن جملة ما قاله موزلي في هذا الصدد هو ان الايدروجين هو العنصر الاول والاورانيوم هو العنصر الاخير في جدوله الجديد المبني على الاعداد الذرية . وقد اثبتت تجاربه ان بعض ما اكتشفه الباحثون واعتبروه احد العناصر لم يكن عنصراً ابداً . كان هذا خطوة جريئة جداً من هـذا العالم الشاب يجابه بها علماء عصره . لكنه كان واثقاً من ناموسه وجهازه الذي كان يتيح له الكشف عن العناصر بواسطة الاشعة السينية المتولدة منها . فكان ينفي وجود اي عنصر لا مكان لعدده الذري في جدول الاعداد الذرية . وقد كان هذا الجدول من اهم العوامل في ترتيب العناصر التي لم يكن من السهل وجود مكان لها في جدول مندليف . فالاتربة النادرة مثلاً وهي خمسة عشر عنصراً لم يكن من السهل تعيين موقعها في الجدول الدوري . اما جدول موزلي فقد كان فيه اماكن لجميع هذه العناصر من عدد ٥٧ — ٧١ . وهذه الاماكن وجدت على اساس طيوف الاشعة السينية لكل من هذه العناصر .

صور للتركيب الذري

جاءت كشوف موزلي مؤكدة ان الذرة مؤلفة من شحنة موجبة حولها كهارب سالبة معادلة لها في العدد . بقي هناك امور ثلاثة يجب معرفتها في تركيب الذرة وهي :

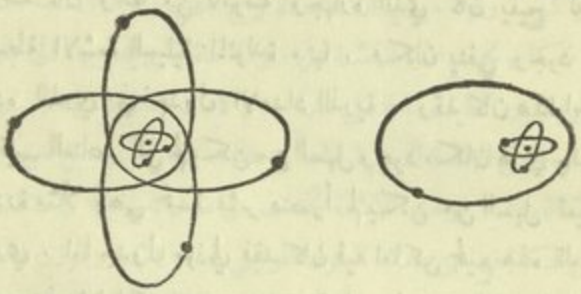
اولا — كيفية توزيع الالكترونات المحيطة بالنواة .

ثانياً — تركيب النواة نفسها .

ثالثاً — معرفة ما اذا كان هناك جسيم يحمل شحنة كهربائية موجبة وله في نفس

الوقت كتلة الكهرب .

حاول الكثيرون من العلماء تكوين صورة تبين طبيعة بناء الذرة تتناسب مع الاكتشافات التي ظهرت في هذا العالم الجديد . وبعد اكتشاف الالكترون جاء اللورد كلفن يصور الذرة كجسم مؤلف من كهارب متحركة في كرة من الفضاء المكهرب كهربة موجبة . وجاء بعده طمسن يدعم هذه الفكرة ويتصور الكهارب تدور في دوائر متمركزة حول النواة . لكنّ هذه الصور لم تفلح تماماً في تفسير بعض الظاهرات في عالم الذرة . ولما جاء رذرفورد اعتبر الذرة كالنظام الشمسي ، حيث تحتل النواة مركز الشمس في ذلك النظام وتقوم الكهارب مقام السيارات في دورانها في افلاك اهليلجية (Elliptical) . وهذه الصورة ايضاً لم تفِ بالغرض التام فراح الباحثون يفتشون عن صورة اخرى .



ذرة الليثيوم ذرة الكربون

الشكل ١٤

افلاك اهليلجية

بين الذين برزت اسماؤهم في غزو الذرة وخلدت ابحاثهم في دراستها فتى دنماركي اسمه نيلز بوهر (Bohr) وكان هذا تلميذ طمسن . اعلن نتيجة ابحاثه سنة ١٩١٣ في بناء الذرات والجزيئات بصورة تختلف عن الصور السابقة . وقد بنى تلك الابحاث مستنداً على مذهب بلانك (Planck) القائل بان الطاقة هي ذرية البناء كالمادة (Quantum Theory) . وكانت الصورة التي رسمها للذرة جامعة بين صورة رذرفورد ومذهب بلانك . فذرة الايدروجين في عرفه تتألف من كهرب واحد يدور حول

النواة في فلك اهليلجي . فاذا وقع الكهرب تحت فعل قوة خارجية ، كحرارة عالية جداً او كاشعة المهبط او الاشعة السينية ، وكانت هذه القوة كافية ان تثيره ، قفز من فلكه الحالي الى فلك اقرب الى النواة . وفي اثناء قفزه هذا تقذف الذرة قدراً يسيراً من الطاقة بصورة اشعاع . وما دامت الذرة في حالة استقرار لا يبدو منها ذلك الاشعاع الذي تتميز به عن سواها . لكن في حالة عدم الاستقرار تقفز الكهارب من افلاكها فتشع الذرة . جاءت هذه الصورة مطابقة للمشاهدات والاختبارات العديدة التي لم يكن بالامكان تفسيرها بموجب المذاهب السابقة . فنال جائزة نوبل سنة ١٩٢٢ مكافأة على جهوده هذه . وهكذا كان الباحثون يسيرون مقتفين اثار بعضهم البعض ، مكملين الرسالة التي آلوا على انفسهم تكميلها بامانة واخلاص ، لا تقف بطريقهم صعوبة ولا حواجز الاّ ازالوها ، واضعين نصب اعينهم خدمة العلم الصحيح والتفتيش عن الحقيقة المجردة . لذلك نرى العلم يخطو خطوات سريعة جريئة مبنية على المشاهدات والاستنتاجات المنطقية والحسابات الدقيقة .

وبالرغم من الخدمات العديدة التي ادتها صورة بوهر في تعليل الظاهرات العديدة التي تتعلق ببناء الذرة فانها لم تكن في نظر العلماء كافية لتفسير الظاهرات التي كانوا يشاهدونها في معالجتهم انواع المادة المختلفة في العمليات الكيميائية . ومن تلك الامور الالفة الكيميائية (Affinity) والكفاءة (Valence) وغيرها . فصار همهم الوحيد ايجاد صورة للذرة تقوم بتفسير تلك القضايا العديدة التي كانوا يصادفونها دوماً في علم الكيمياء . كان العلماء الكيميائيون قد بذلوا جهوداً تذكر للوصول الى السبب في اختلاف تصرف العناصر . فمنها ما هو شديد التفاعل كعنصر الكلور ومنها عناصر اخرى لا تفاعل لها او لها تفاعل ضعيف جداً مهما علت درجة حرارتها كالنيتروجين والذهب الخ .

الذرة كما تصورها لانغمير

كان لانغمير (Irving Langmuir) يعالج المصابيح الكهربائية ساعياً للوصول الى افضل نوع منها . وكان بعضهم يعتقد ان المصباح الامثل هو ما يكون داخله مفرغاً تفريغاً تاماً من الغازات لان السلك يصبح بأمن من التفاعل مع ذرات الغاز عندما ترتفع

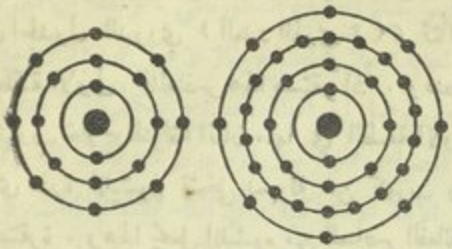
حرارته كثيراً . اما لانغمير فقد رأى خلاف ذلك وراح يملأ المصابيح بغازات متنوعة ويدرس فعلها في السلك وتأثيرها على قصر حياة المصباح الكهربائي . وبعد ان اخرج الغازات التي كان سلك التنجستن قد امتصها ، ملأ المصباح بغاز لا فعل له كالنتروجين او الارجون . ولم يزل في ابحاثه هذه حتى توصل الى اتقان المصباح الكهربائي الحديث حيث السلك من فلز التنجستن وداخل المصباح مملوء بغاز الارجون . ويقال انه وفر بذلك نحو مليون ريال كل ليلة على الامة الاميركية . في اثناء تلك الابحاث كان يلاحظ ان عنصر الهليوم (وعدده الذري ٢) والنيون (وعدده الذري ١٠) هما عنصران مستقران استقراراً كيميائياً . فاستنتج من هذا ان الكهارب خارج النواة في ذرة كل من هذين العنصرين هي مستقرة بشكل يجعل فعل العنصرين الكيميائي ضعيفاً . وهكذا تصور في سنة ١٩١٦ ان ذرة الهليوم تتألف من نواة (بروتونات وكهارب في كتلة واحدة) يحيط بها كهربان يدوران في منطقة (Shell) مفرَّغة حول النواة . اما المسافات بين المناطق المفرغة في الذرات المعقدة فانها مساوية للمسافات بين الافلاك حسب مذهب بوهر . فصار من الضروري لفهم بناء الذرة ان نفرض وجود سلسلة من المناطق المفرغة الوهمية المتحدة المركز توزّع فيها الالكترونات حول النواة ، كما نفرض وجود خطوط الطول والعرض على سطح الكرة الارضية لتعيين مراكز البلدان . وقد سميت هذه المناطق او الطبقات بالاحرف الابجدية ك ل م ن و ب ق . وتحيط الطبقة الاولى مباشرة بالنواة اما الطبقات الاخرى فانها تبتعد شيئاً فشيئاً عنها .

وبموجب هذه النظرية تتمكن الطبقة الاولى بعد النواة من ان تحتوي على كهربين لا غير . اما الطبقة الثانية فيمكنها ان تحتوي على ثمانية كهارب وهكذا الثالثة . والرابعة تحتوي على ١٨ والخامسة على ١٨ والسادسة على ٣٢ والسابعة على ٣٢ . لكن الاورانيوم وهو اثقل العناصر ليس له سوى ستة الكترونات في الطبقة الاخيرة اي السابعة . وقد استنتج عدد الكهارب في كل طبقة من اعتبارات عديدة اهمها ترتيب العناصر في جدول مندليف الدوري . وذهب لانغمير الى ابعد من ذلك فقال : ان الذرة التي تحتوي على كهربين لا غير يدوران حول النواة في الطبقة الكروية المفرغة الاولى هي ذرة مستقرة . اما ذرة الايدروجين فانها تتألف من نواة وكهرب واحد

يدور حولها في الطبقة الاولى وهي على استعداد لتكمل بناءها وتصبح مستقرة . لذلك تجذب كهرباً من ذرة اخرى في التفاعل الكيميائي . وذرة غاز الهليوم، وهو الثاني في الجدول الدوري (العدد الذري ٢) ، تتألف من نواة وكهربين يدوران في الطبقة الاولى . فالعنصر هذا مستقر اذاً . وعنصر الليثيوم (العدد الذري ٣) له ثلاثة كهارب خارج النواة، اثنان منها في الطبقة الاولى وواحد في الطبقة الثانية . لذلك نرى ذرة الليثيوم تتخلى بسهولة عن كهرب واحد لذرة اخرى تتحد بها فتبقى هي مستقرة . وهذا يجعل الليثيوم من العناصر الفعالة كيميائياً . واذا تتبعنا العناصر التي تلي هذه في الجدول الدوري نجد ان عدد الالكترونات حول النواة في الطبقة الثانية لكل عنصر يزيد واحداً عن عدد الكهارب في العنصر الذي يتقدمه حتى نصل الى عنصر النيون وله ثمانية كهارب في الطبقة الخارجية وبناؤه مستقر ومجموع كهاربة عشرة . لذلك نرى ذرة النيون لا الفة كيميائية لها . ويلي الصوديوم النيون في الجدول ومجموع الكهارب في ذرة الصوديوم يبلغ احد عشر كهرباً ، اثنان في الطبقة الاولى ، وثمانية في الثانية ، وواحد في الثالثة . فالصوديوم اذاً مستعد لتبادل الكهارب في التفاعلات الكيميائية حتى تصبح ذرته مستقرة . فاذا كان عدد الكهارب اقل من ثمانية في الطبقة الثانية مثلاً تصبح الذرة غير مستقرة وتميل الى تبادل الكهارب مع غيرها من الذرات . واذا كان عدد الكهارب هذه قليلاً فالذرة تتخلى عنها لغيرها . اما اذا كانت كثيرة فانها تنتزع ما يكمل بناءها من الذرات الاخرى وتكون في الحالتين من العناصر الفعالة . فالكلور مثلاً يحتوي على سبعة كهارب في الطبقة الخارجية ويحتاج الى كهرب واحد ليصبح مستقراً . وهكذا توصل لنغميور الى القول بان مقدرة الذرة على الاتحاد بغيرها (وهذا ما يسمى بالالفة الكيميائية) متوقفة على عدد الكهارب في الطبقة الخارجية . اما الكفاءة الكيميائية (Valence) فهي بموجب هذه النظرية مساوية لعدد الكهارب اللازمة لاكمال العدد في الطبقة الخارجية . فكفاءة الكلور مثلاً هي واحد وكفاءة الايدروجين هي واحد ايضاً . اما مراكز الكهارب في كل طبقة فانها تتخذ شكلاً هندسياً . وبالرغم من ان الكهارب بموجب هذا المذهب تحتفظ بمراكزها وتتمسك بها فانها تتمكن من الاهتزاز (Vibration)

والحركة لدرجة محدودة.

لقد كان بالامكان تفسير اشياء عديدة جوهرية تتعلق بالعناصر بواسطة هذا المذهب . ومن اهمها التكرار الدوري للخواص في بعض العناصر ، الشيء الذي اوحى لمنديليف ان يشكل جدوله الدوري المعروف . فهناك ثلاثة عناصر متشابهة وهي الليثيوم



الكربتون الارغون

شكل ١٥

توزيع الكهارب في طبقات

والصوديوم والبوتاسيوم . اما الليثيوم فله ثلاثة كهارب ، اثنان في الطبقة الاولى ، وواحد في الطبقة الخارجية . والصوديوم له احد عشر كهرباً ، اثنان في الطبقة الاولى وثمانية في الثانية وواحد في الخارجية . والبوتاسيوم له تسعة عشر كهرباً ، اثنان في الطبقة الاولى وثمانية في الثانية وثمانية في الثالثة وواحد في الرابعة . وخاصة كل من هذه العناصر الثلاثة هو ان لكل منها كهرباً واحداً في الطبقة الخارجية . فالخواص الكيميائية للعناصر اذاً تتوقف على عدد الكهارب في الطبقة الخارجية .

صادفت هذه النظرية استحساناً وقبولا في الاوساط الكيميائية لانها تمكنت من تفسير وتعليل معظم القضايا التي يجابهها الكيميائيون في معالجتهم للعناصر وتفاعلها . لكن علماء الفيزياء كانوا مترددين بالترحيب بها لانها لم تكن قادرة على تفسير اسباب توليد الامواج الضوئية ، مفضلين عليها نظرية بوهر القائلة ان الكهارب موزعة حول النواة في طبقات كالتي سبق ذكرها . لكن الكهارب في مذهب بوهر لا تتقيد بمراكز هندسية معلومة ، فهي دائماً تتحرك وتدور حول النواة . قال بوهر في بادىء الامر ان افلاك الكهارب هي دوائر . ثم توسع واضاف الى مذهبه ان هذه الافلاك يجوز ان تكون اهليلجية الشكل . وقد ذكرنا سابقاً كيف ان هذه النظرية تبين اسباب الامواج الضوئية والاشعاع المنبثق من الذرات .

اكتشاف البروتون

اصبحت الذرة هدف علماء الطبيعة لما فيها من اسرار ومجاهل . فتحولت الجهود عن رصد النجوم والاجرام السماوية نوعاً لغزو ذلك العالم الجديد الغريب حيث تصغر المقاييس لدرجة فوق التصور البشري . وقد بقي الشيء الكثير في هذا الحقل الجديد مجهولاً، مما جعل المجال واسعاً للدرس والتنقيب. فالذرة التي عرفنا الشيء الكثير عن نواتها وعن الكهارب المحيطة بها كانت تبدو غامضة بسبب الظواهر التي كانت ترافق التجارب والتي كان يجهلها العلماء . وها ان رذرفورد يغوص في قلب الذرة ويخبرنا ان في كتلتها حجراً اساسياً وهو « البروتون » . وقد توصل الى هذه النتيجة باطلاقه دقائق الفا على ذرات بعض العناصر .

ذكرنا سابقاً ان رذرفورد اطلق بعض هذه الدقائق على لوح رقيق من المادة فنفذ بعضها من اللوح في خطوط مستقيمة ونفذ البعض الآخر بانحراف قليل . اما عدد الدقائق المنحرفة فانه كان صغيراً . اذن لدينا الآن ظاهرة جديدة يجب الانتباه اليها والى بيان اسبابها . ومعلوم ان كتلة دقائق الفا هي كبيرة بالنسبة الى كتلة الكهارب وطاقتها عظيمة . فما هو السبب اذاً لانحرافها بطاقة عظيمة . قال رذرفورد يجب ان يكون في الذرة جسم كبير الكتلة ، مستنتجاً ذلك من النواميس الميكانيكية المعروفة في اصطدام الاجسام ببعضها . لكنه عاد عن فكرته هذه بعد ان درس توزيع الدقائق المنحرفة ومدى هذا الانحراف وتوصل الى القول بان حجم الجسيم الذي يسبب الانحراف في دقائق الفا هو اصغر من حجم الكهرب لكن كتلته اكبر من كتلة الكهرب . وهذا الجسيم هو نواة الذرة .

لم يقف رذرفورد عند هذا الحد من اكتشاف نواة الذرة بل تابع دراسته باطلاق دقائق الفا على الالواح الرقيقة المختلفة فتوصل الى اكتشاف جسيم جديد في النواة اطلق عليه اسم « البروتون » . وهذا الجسيم يحمل شحنة تعادل شحنة الكهرب لكنها موجبة . ومن هذه التجارب والتي تلت ثبت ان نواة ذرة الايدروجين تتألف من بروتون واحد . اذاً هي ابسط مايعرف من ذرات والبروتون هو نواة ذرة الايدروجين ومركزها ، يدور حوله

الكهرب المنسوب لهذه الذرة . اما كتلة البروتون فهي ١٨٤٠ ضعف كتلة الكهرب . اما البروتون فانه اصغر حجماً من الكهرب وذلك يدل على انه اعظم كثافة

هكذا بدأ العلماء يدرسون تركيب الذرة باعتبار انها مؤلفة من بروتونات وكهارب . فالعنصر الثاني في الجدول الدوري هو غاز الهليوم ووزنه الذري اربعة اما عدده الذري فهو اثنان . فاذا تصورنا الذرة مؤلفة من اربعة بروتونات، صار لنا الوزن الذري كما هو مبين في الجدول . لكن الشحنة الكهربائية على البروتونات الاربعة تساوي اربع شحنات بين نرى ان عدد الكهارب المفروض وجودها في ذرة غاز الهليوم هو اثنان . فكيف العمل لايجاد التعادل بين الشحنات الموجبة والسالبة . بامكاننا ان نفرض ان هناك كهربين سالبين في النواة علاوة على الكهارب الموجودة خارجها وهذان الكهربان يعادلان شحنتين من الشحنات الموجبة على البروتونات فيبقى شحنتان موجبتان داخل النواة تعادلها شحنتان سالبتان على الكهربين خارجها . وهكذا تمت صورة ذرة الهليوم على ضوء اكتشاف البروتون . ولما كان وزن الكهرب صغيراً جداً بالقياس الى وزن البروتون ظهر هذا التفسير معقولا . واصبحت النواة لجميع العناصر تعتبر مؤلفة من كهارب وبروتونات . اما عدد البروتونات فانه يتوقف على الوزن الذري، وعدد الكهارب في داخل النواة يتوقف على عدد البروتونات التي ليس لها ما يعادلها من الكهارب خارج النواة . اما عدد الكهارب خارج النواة فانه يتوقف على العدد الذري . فنواة ذرة الاورانيوم، وهو اثقل العناصر، تتألف من ٢٣٨ بروتوناً وهذا هو الوزن الذري ، ومن ١٤٦ كهرباً . فيكون عدد الكهارب خارج النواة ٢٣٨ — ١٤٦ = ٩٢ كهرباً وهذا هو العدد الذري .

النظائر

جاء اكتشاف النظير لبعض العناصر يؤيد صحة هذه النظرية الاخيرة . ويعود الفضل بذلك للاستاذ ريتشاردز (T. W. Richards) من هارفورد الذي اثبت ان خواص الرصاص الناتج عن تحول وانحلال الراديوم هي نفس خواص الرصاص العادي انما هناك اختلافا بينهما بالوزن الذري . فقد وجد ان الوزن الذري للرصاص العادي هو (٢٠٧،٢٠) والرصاص الناتج من ركاز الاورانيوم هو(٢٠٦،٠٥) . وكان صدي قد

اعلن انه وجد نموذجين من عنصر مشع لهما نفس الخواص الطبيعية والكيميائية لكنهما يختلفان بالوزن الذري . اما العدد الذري فهو واحد لكليهما . لقد استنتج صدي من هذه الحقائق ان بعض العناصر توجد باشكال مختلفة تتشابه بالخواص الطبيعية والكيميائية وتختلف في اوزانها الذرية ودعاها نظائر (Isotopes) وهذه تقع في مكان واحد في الجدول الدوري . ومن البديهي ان وجود النظائر يمكن تفسيره اما بزيادة او بنقصان في عدد الالكترونات او البروتونات بشكل يجعل مجموع الشحنة في النواة واحداً .

استن يصور النظائر

إن النظرية هذه لتركيب النواة تجعل الوزن الذري لعنصر ما مقياساً لعدد البروتونات في الذرة . فكيف يمكننا ان نعلل وجود الكسور في اوزان الرصاص والكلور وغيرهما . فالوزن الذري للكلور هو (٣٥،٤٦) اما الرصاص فوزنه الذري (٢٠٧،٢٠) . كان الجواب على هذا السؤال متوقفاً على نتائج الاختبارات التي قام بها فرنسيس وليم استن في معمل كافنديش بجامعة كمبردج . كان طمسن قد توصل الى حلّ الذرات باطلاق الدقائق الموجبة عليها في انبوب من انابيب كروكس يكون فيه المهبط مثقوباً . وكان يضع في ذلك الانبوب كمية ضئيلة من غاز معين . وعند انطلاق التيار الكهربائي في الانبوب كان يتولد ، علاوة عن اشعة المهبط ، مجار من الدقائق المكهربة كهربائية موجبة . وقد تبين لطمسن ان الاشعة الموجبة هذه هي ذرات الغاز المكهربة بعد ان جُرّدت من كهاربها وهذا ما يعرف بأيونات الغاز . كانت هذه الدقائق الموجبة آلة جديدة بيد طمسن لدرس ما سبق وقاله صُدي في النظائر . فقد توصل بعقله الثاقب الى القول بان هذه الذرات المنطلقة من عنصر واحد يجب ان تكون الدليل عما اذا كانت ذات اوزان واحدة او مختلفة . ولما كانت هذه الدقائق موجبة الكهربائية صار بالامكان فصلها عن بعضها بواسطة مجال مغنطيسي كهربائي يجعلها تنحرف انحرافات مختلفة عن مسيرها المستقيم بسبب اختلاف كتلتها . وقد اتقن استن هذه العملية ودرس خواص ذرات الغاز هذه وتمكن من تصوير انحرافاتها بعد

تعريضها لمجال مغنطيسي كهربائي فتبين له ان الذرات المختلفة الاوزان في تيار ما تنحرف بحسب كم الوزن الذري فاتخذ هذه الصور وسيلة للحصول على نسب اوزان الذرات . ومن بين اكتشافاته في هذا الباب هو ان للكلور نظيرين وزن احدهما ٣٥ ووزن الاخر ٣٧ وقد مزجا بشكل يجعل الوزن الذري ٣٥،٤٦ . وهكذا قل عن العناصر المختلفة ونظائرها . وقد منح استن جائزة نوبل الطبيعية مكافأة على ابحاثه هذه التي اثبتت ان الاوزان الذرية يجب ان تكون اعداداً صحيحة . وقد تم اكتشاف النظائر لعناصر عديدة بواسطة الابحاث التي قام بها العلماء في المختبرات المتعددة . ومن تلك الابحاث تبين ان العناصر ذات الاوزان الذرية الصحيحة لها نظائر ايضاً . فالاكسجين ، وزنه الذري ١٦ ، له نظيران وزن احدهما ١٧ ووزن الثاني ١٨

لكن بالرغم من كل هذه الادلة التي جاءت تثبت ان النواة هي مجموعة بروتونات وكهارب كان هناك اعتراضات على هذه النظرية . ذلك لان التجارب العديدة التي قام بها العلماء كانت توحي دائماً بانه لا بد من ادخال تعديل على الاراء القديمة وايجاد نظرية جديدة افضل واكمل . وظهرت الحاجة ماسة لتعديل الاراء السابقة في سنة ١٩٣٢ عندما اكتشف النيوترون والماء الثقيل (Heavy Weight Hydrogen) . وقد تبين اخيراً ان النواة هي مجموعة من البروتونات والنيوترونات . اما البروتونات فهي الوحدات اللازمة لايجاد الشحنة الكهربائية الموجبة في النواة وما تبقى من الوزن الذري يرمز الى عدد النيوترونات كما سيتبين من الابحاث التالية في حقل تحطيم الذرة او تهشيمها .

الفصل السادس

التماسك الذري

في مجاهل الذرة

ذكرنا سابقا ان الصورة الجميلة البسيطة التي رسمها بوهر لتركيب الذرة لم تكن كافية لتفسير الظواهر العديدة المتعلقة ببناء الذرة مع انها ادّت خدمات عديدة في حقل العلم. فقد ظل هناك اسئلة عديدة يجب الجواب عليها. فالراديوم مثلا له عدد ذري يساوي ٨٨ ووزن ذري يساوي ٢٢٦. بناء على ما تقدم تتألف نواة الراديوم من ٨٨ بروتوناً و ١٣٨ نيوترونا وهناك ٨٨ كهرباً مرتبة في طبقاتها الكروية المفرغة حول النواة. وقد وضعت هذه الصورة بمقتضى تطلبات الجدول الدوري والخواص العديدة الكيميائية والفيزيائية. لكن هذا التركيب غير ثابت اذ ان كمية ضئيلة من الراديوم تبعث سيلا متواصلا من دقائق الفا وباتا واشعة غما مع كثير من الحرارة. فما هو مصدر هذه الاشعة وهذه الحرارة؟

وهناك مثل آخر وهو النيوترون نفسه. فان لكل من البروتون والنيوترون كتلة تعادل وحدة الكتلة الذرية. فهل من علاقة بينهما وهل يمكن اعتبار النيوترون بروتوناً ضم اليه كهرباً سالبا فاصبح متعادل الشحنة أو بالعكس ان النيوترون هو الاساس وقد تحول بروتونا بان ضم اليه شحنة واحدة موجبة. اوحت هذه الفكرة الاخيرة فكرة جديدة وهي وجود جسيم جديد يحمل شحنة موجبة. لقد ظلت الشحنة الموجبة لسنة ١٩٣٢ محصورة بالبروتون. وقد اتجهت الافكار الى احتمال وجود جسيم اصغر كتلة من البروتون يحمل وحدة من الشحنة الموجبة. وقد تنبأ ديراك (Dirac) بوجود جسيم له كتلة الكهرب يحمل وحدة من الشحنة الموجبة. اما اكتشاف هذا الجسيم فقد تم سنة ١٩٣٢ على يد اندرسن (Anderson) وقد دعي البوزيترون (Positron). وهذا الجسيم يوجد لاجل قصير بسبب حدوث ما يعادله ساعة تكوينه. فهل يمكننا

اذاً ان نعتبر البروتون نيوتروناً ضم اليه بوزيتروناً؟ لا يقدر احد ان يجزم بذلك لكن هذا السؤال يوحي لنا سؤالات اخرى .

في داخل النواة يوجد جسيمات تشغل حيزاً ضيقاً جداً وتحمل شحنات موجبة . فكيف يمكنها ان تقترب من بعضها وتبقى بحالة استقرار ؟ تعلّمنا قوانين مبادىء الكهرباء انّ الاجسام التي تحمل شحنات متشابهة يدفع بعضها بعضاً واذا كانت الشحنات مختلفة يجذب بعضها بعضاً . بالرغم من ذلك نجد ان في داخل نواه الهليوم بروتونين متلاصقين تقريباً كانهما وحدة لا تتجزأ . وهكذا هي الحال في نوى جميع العناصر ما عدا نواة الايدروجين حيث يوجد بروتون واحد . ففي نواة الفحم يوجد ٦ بروتونات وفي الالومينيوم ١٣ . فما هو سرتماسك هذه البروتونات في ذلك الحيز الضيق ؟ ربما كان لوجود النيوترونات في داخل النواة تأثيرٌ في ذلك التماسك . ففي داخل نواة الهليوم يوجد نيوترونان . ومعلومٌ ان عدد النيوترونات في النواة يكون على الاقل مساوياً لعدد البروتونات ويكون عادةً اكبر من عدد البروتونات . فهل يجوز اعتبار النيوترونات العامل المسبب لذلك التلاصق الذي يمنع البروتونات من الافلات عن بعضها ؟ واذا كان الامر كذلك فما هو مصدر هذه القوة ؟ لقد كان هذا الموضوع المحور الرئيسي للابحاث العديدة التي تتعلق في تركيب الذرة والطاقه الذرية .

لم يخطىء الذين اطلقوا على عصرنا الحاضر اسم عصر الذرة والطاقة الذرية لاننا حقيقة نعيش في عالم جديد ويجب ان نهذب تفكيرنا وان ندرب انفسنا على تفهم الاعتبارات الجديدة في هذا الحقل . ليس بالامكان فهم الطاقة الذرية وما يتفرع عنها كالقنبلة الذرية الا اذا سلمنا بان المادة تتألف من ذرات وان ما يطرأ على المادة من تحول وتطور في خواصها ليس الا نتيجة ما يحدث للذرات التي هي اساس كل شيء . اذاً ليست الطاقة الذرية الا مظهراً خاصاً للقوى والعوامل الخفية التي تعمل باستمرار في هذا الوجود . وكما ان الحرارة والكهربائية وغيرها من الظواهر الطبيعية هي نتيجة ما يحدث في عالم الذرة هكذا هي الحال في الطاقة الذرية . لقد بدأنا نلمس دور الانتقال في ناحية التفكير العادي الذي اصبح يتناول العبارات الذرية وما يتعلق بالذرة على وجه

الاجمال . وكما ان الانسان العادي اصبح يفهم الكثير من الاسس التي يرتكز عليها انتقال الصوت بطريقة الاذاعة اللاسلكية ، هكذا سيصبح عما قريب ملماً بالعالم الذري وما ينتج عنه من اكتشافات واختراعات .

يتراءى لنا ان الكون مؤلف من عوالم مختلفة لا تحصى . فمنها النجوم الجبارة التي نشاهدها بواسطة المرقب ومنها الجسيمات الميكروسكوبية . كذلك نرى المواد المختلفة العديدة تظهر بحالاتها المتنوعة كغازات وسوائل وجوامد . ولو جربنا ان نحصي عدد الجوامد حولنا لاستغرق ذلك وقتاً طويلاً . كل هذا دليل على أن هناك اختلافات بيّنة بين انواع المادة التي يتألف منها الكون .

كان هدف العلم الحديث بجميع فروعه ان يبيّن وحدة بناء المادة وارجاع المركبات العديدة الى اصول ابسط واعم ، لذلك نرى الكيميائي يقول ان هناك ٩٢ عنصراً كيميائياً تتألف منها كل انواع المركبات المادية التي نشاهدها ونعالجها . وكل عنصر منها يتألف من ذرات لها تركيبها الخاص ، ومن هذه الذرات تتألف جزيئات المركبات الكيميائية حولنا . لقد عُدَّ هذا التنسيق في حقل الكيمياء فوزاً باهراً لانه ادى خدمات لا تحصى واوصل الى اكتشافات هامة مبنية على الجدول الدوري الذي ألمحنا اليه مراراً .

جسيمات جديدة داخل الذرة

لم يكتف العلماء بهذا لان ظواهر عديدة اوحت لهم ان هناك شيئاً داخل الذرة التي صارت حجر الزاوية في بناء المادة . فالذرة نفسها تتألف من جسيمات اخرى تتمتع بميزات خاصة . ففي داخل الذرة يوجد كهارب وبروتونات ونيوترونات وبوزترونات وميزوترونات (Mesotron) وديوترونات ونيوترتوات (Neutretto) . وقد قبل انهم عثروا على جسيم لاشحنة له وكتلته تعادل كتلة الكهرب او اقل قليلاً واطلقوا عليه اسم نيوترينو (Neutrino) . فالمواد المختلفة التي تدخل في بناء الكون تتألف من هذه الجسيمات الاساسية التي لم يصل العلم الى اكتشاف جسيمات اصغر منها .

اصبح الاعتقاد السائد اليوم ان الذرة تتألف من نواة ثقيلة يبلغ قطرها ١٠ $^{-١٢}$ سم يحيط بها فضاء واسع يبلغ قطره ١٠ $^{-٨}$ سم تسبح فيه الكهارب كما تسبح السيارات حول الشمس . اما النواة فانها تحمل عدداً صحيحاً من الشحنة الموجبة (١٠٦ × ١٠ $^{-١٩}$ من الكولومب) ويحمل الكهرب شحنة واحدة سالبة لها مقدار الشحنة الموجبة . اما عدد الكهارب السابحة في هذا الفضاء فانه يساوي عدد الشحنات الموجبة في النواة فتكون الذرة متعادلة الشحنة . وهناك ايضاً النيوترونات وغيرها التي المحنا اليها سابقاً .

الاستقرار داخل الذرة

وهذه الكهارب التي تسبح في الفضاء حول النواة هي بحركة دائمة لا تستقر ابداً . وعلاوة على حركتها حول النواة فان لها حركة على ذاتها حول محورها . اما الذرات فهي ترقص دوماً (تتذبذب) داخل الجزيء في حيّز معين والجزيء ايضاً يتمتع بحركة متواصلة . وقد اتخذت الحرارة كمقياس للطاقة الحركية لجزيئات المادة . ففي عالم الذرة اذاً لا يوجد استقرار بالمعنى الذي نفهمه في عالمنا المادي . فيتوجب اذاً ان نكوّن صورة جديدة تمكننا من فهم ما يجري في الكون حولنا تتناسب مع تركيب المادة الذى توصل العلماء لفهمه . فحرارة الاجسام التي نقيسها بموازين الحرارة ونعبر بواسطتها عن شعورنا بالدفء او عدمه ليست في علم الفيزياء سوى حالة من أحوال الجزيئات والذرات والجسيمات التي تتألف منها الاجسام . كذلك الضوء الذي يمكننا من رؤية الاجسام حولنا فهو حالة ناتجة عن تذبذب الجزيئات والذرات التي يتألف منها الجسم . فقطعة من الزجاج الاحمر مثلاً تظهر لنا حمراء اللون اذا نظرنا من خلالها الى مصدر الضوء الابيض لأن جزيئاتها وذراتها تكون بحالة تمكنها من امتصاص ما يتألف منه اللون الابيض ما عدا اللون الاحمر .

فالنظرية الذرية اذاً هي الوسيلة الوحيدة التي تمكننا من فهم ما يجرى في الطبيعة حولنا . لان ما توصلنا اليه من اكتشافات واختراعات كان نتيجة تفهم الاسباب لما

يجرى في عالم الطبيعة . فالكيميائي مثلاً يرسل تياراً كهربائياً في الماء الذي يحوي شيئاً قليلاً من الحامض الكبريتيك فينتج عن ذلك تحليل الماء الى اكسيجين وايدروجين . ولما كان لا بد من تفسير هذه الظاهرة بصورة علمية واضحة جاءت النظرية الذرية باجلى التفاسير لحالة كهذه . وهكذا قل عن كثير من الحالات التي نشاهدها في الطبيعة كحرارة الاجسام التي كان بالامكان تفسيرها بناء على حركة الجزيئات والذرات . واذا تمعنا بالمبادىء الاساسية التي ترتكز عليها هذه النظرية نجد انها بسطية جداً وفيها وحدها المفتاح لتلك الاسرار الغامضة التي احتار الانسان في تفسيرها . فهي توضح بجلاء كيفية اتحاد ذرات العناصر المختلفة التي تتركب منها المركبات الكيميائية . وبواسطتها توصل العلماء لشرح الاشعاع الناتج من المواد المشعة كالراديوم او الاشعة السينية الناتجة عن اصطدام اشعة المهبط بلوح معدني . فصار من الضروري اذاً ان نتوسع في فهم التركيب الذري للمادة وما يرافق ذلك التركيب من حالات واعتبارات مختلفة .

ناموس التجاذب والتدافع

بين المبادىء الاولية في علم الكهرباء ناموس التجاذب والتدافع ويدعى ناموس كولومب . فاذا أخذت جسماً مشحوناً بشحنة كهربائية موجبة واخر مثله فانه يحدث تدافع بينهما . اما اذا اختلفت الشحنة فانه يحدث تجاذب وهذا ما يسمى بناموس كولومب . وقوة الجذب او الدفع بين جسمين تتناسب عكساً مع مربع المسافة بينهما وطرداً مع قوة الشحنتين . ولما كانت ذرة الايدروجين تتألف من نواة تحمل شحنة موجبة (بروتون) ومن كهرب يدور حول النواة ، صار من المحتم وجود تجاذب بين النواة والكهرب في وضعها الطبيعي . فاذا اقترب كهرب من النواة حتى يصبح على بعد يساوي نصف بعده الاول عنها تصبح قوة التجاذب اربعة اضعاف ما كانت عليه قبلاً . فما هو العامل اذاً الذي يمنع الكهرب من السقوط نحو النواة ما دام هذا التجاذب موجوداً بينهما ؟ الجواب هو في النظام الشمسي وما يحدث فيه . فقوة الجاذبية التي توجد بين الشمس والسيارات بموجب ناموس نيوتن للتجاذب يبطل مفعولها بسبب دوران

السيارات في افلاكها حول الشمس وهذا الدوران يسبب القوة النابذة التي تعادل قوة التجاذب ولا تدوم الا بدوامها . لذلك نرى سرعة الكهارب القريبة من النواة أعظم من سرعة الكهارب البعيدة عنها لانّ مقدار القوة النابذة يتناسب عكساً مع البعد بين الكهارب والنواة . هذا ينطبق ايضاً على الذرات الاشد تعقداً . فالكهارب الثمانية في ذرة الاكسجين تدور في مساراتها حول النواة كما تدور السيارات حول الشمس . اما سرعة تلك الكهارب فانها تتوقف على بعدها عن النواة المؤلفة من ثمانية بروتونات وثمانية نيوترونات .

لكن هذه البروتونات تحمل شحنة كهربائية موجبة وهي موجودة في حيز ضيق جداً كحيز النواة (قطرها ١٠ — ١٢ سم) . لا بد اذاً من وجود قوة تدافع عظيمة بينها بحسب ناموس كولومب لانها متلاصقة تقريباً . ولكي نفهم مقدار هذه القوة نعود الى بعض الحسابات التي اجريت في هذا الحقل . فلو اخذنا غراماً واحداً من البروتونات ووضعناه على بعد ٨٠٠٠ ميل من غرام آخر من البروتونات تتولد قوة تدافع بين الغرامين تبلغ نحو ٢٦ طناً . ولما كانت المسافات بين البروتونات في حيز النواة تحسب باعشار من مليون مليون جزء من البوصة كانت قوى التدافع عظيمة جداً . فلماذا لا تنفصل هذه البروتونات عن بعضها بسبب التدافع الحاصل لكون شحناتها موجبة ؟ ومعلوم ان ذرة كل عنصر غير الايدروجين تحتوي على بروتونين او اكثر . وبين نرى ان الكهرب هو ذلك الجسيم الخفيف الذي يدخل في تركيب المادة ويتحرك بسهولة ، والذي يمكن اعتباره ذرة هي قوام الكهربائية السالبة ، نرى من الناحية الاخرى ان الكهربائية الموجبة تؤلف جزءاً لا ينفصل من تلك الجسيمات الثقيلة القليلة الحركة التي تدخل في تركيب المادة . وهذه الالفة بين الكهربائية الموجبة والكتلة تبين ان هناك تفاوتاً بين الذرات التي تتألف منها الكهربائية السالبة والتي تتألف منها الكهربائية الموجبة . اذ ان الكهربائية الموجبة تؤلف دائماً جزءاً من جسيمات ثقيلة بطيئة الحركة ، ايونات او جزيئات او ذرات . اما اخف مركز للكهربائية الموجبة فهو ذرة الايدروجين المتأينة ، اي البروتون ، ووزنها ١٫٦٦ × ١٠ — ٢٤ من الغرام .

سر التماسك الذري

لا بد اذاً من تفسير هذه الظاهرة ، ظاهرة التماسك الذري ، التي تتنافى مع ما نعرفه من النواميس في عالم الفيزياء . فلنعد اذاً الى داخل الذرة لنفتش عن تفسير لهذه القضية المعقدة التي لا تزال سراً من اسرار التركيب الذري بالرغم من كونها امراً مسلماً به في هذا الحقل . اما النيوترونات داخل النواة فانها متعادلة الكهربائية فلا جذب ولا دفع بينها . وهناك ذرة الاورانيوم وهي غير مستقرة التركيب ، فأنها تطلق من وقت الى آخر بعض بروتوناتها ونيوتروناتها فتصبح ذرة راديوم . وهذه بدورها تتحول الى ذرة بولونيوم التي تتحول الى ذرة رصاص مستقرة التركيب . فكيف نستطيع اذاً تفسير ذلك وفي نواة ذرة الرصاص اثنان وثمانون بروتوناً تتدافع بقوة عظيمة لتشابه شحنتها الكهربائية . فقانون كولومب الذي ينطبق على جوّ الذرة المؤلف من النواة وكهارب تدور حولها لا ينطبق على النواة وما تتألف منه . لذلك اتجهت الافكار والابحاث الى التفتيش عن تلك القوة التي ابطلت مفعول هذا الناموس في داخل الذرة .

قبل ان نتوسع في البحث عن مصدر تلك القوة داخل النواة ، يجدر بنا ان نلتفت الى قوى التجاذب والتدافع بين الذرات نفسها ، تلك القوى التي تكفلت بتفسير الكثير من الظواهر الكيميائية والطبيعية حولنا . فهناك قوة تجاذب بين الذرات تجعلها تتلاصق كما يقترب قطب مغنطيس من مغنطيس آخر اذا اختلف القطبان او كما يقترب جسمان اذا كانا يحملان شحنتين كهربائيتين مختلفتين . ولا شك بان قوة التجاذب بين الذرات هي من نوع القوى الكهربائية والقوى المغنطيسية . إننا لا نزال نجهل الكثير عن حقيقة هذه القوة لكننا نعلم الكثير من نتائجها في العالم الطبيعي حولنا . ولو لم يكن هناك من قوى تبطل مفعولها وتقيدها في نطاق عملها ، كان من المحتمل ان نرى الذرات التي يتألف منها الكون تتحد بسبب هذا التجاذب وتصبح كتلة واحدة . فلا يكون ثمّت فرق بين سائل وغاز وجامد ، ولا يكون بامكان الكهارب ان تدور في افلاكها حول النواة . هكذا نرى ان هناك قوة مسبّبة عن

حركة الذرات التي تبطل مفعول قوى التجاذب كما اشرنا الى ذلك سابقاً في البحث عن جو الذرة ووجه الشبه بين ذلك الجو والنظام الشمسي .

توجد المادة حولنا بحالاتها الثلاث ، الغازات والسوائل والجوامد ، وفقاً لدرجة التعادل بين قوى التجاذب في الذرات والقوى النابذة المتولدة عن حركة الذرات والجزيئات . ففي الغازات مثلاً تتفوق القوى الناتجة عن حركة الذرات والجزيئات فيبطل مفعول قوى التجاذب بينها . لذلك نرى ذرات وجزيئات الغاز تتحرك بحرية تامة تقريباً . ومهما كانت كمية الغاز ضئيلة فانها تنتشر في اي وعاء كان مهما كبر حجمه وتملأه . اما في السوائل فان القوى الناتجة عن حركة الذرات والجزيئات فهي اقل مفعولا من قوى التجاذب بينها . لذلك نرى جزيئات السائل تتقيد في حركتها ضمن حيز معين حتى يتاح لبعضها ان تنفصل عن جسم السائل عندما تصبح طاقتها الحركية متفوقة على قوى التجاذب بينها وبين باقي الذرات ، كما يحدث في التبخر من سطح السائل . وفي الجوامد تسيطر قوى التجاذب فلا تتمكن الذرات والجزيئات من التحرك بحرية كما هي الحال في السوائل . بل انها تصبح مقيدة بحركة ضمن نطاق محدود . ويجب ان لا يغرب عن بالنا ان الذرات في الجوامد بعيدة عن بعضها ، تفصلها مسافات معلومه ، بالرغم من التلاصق الذي يظهر بينها للعين المجردة . وهذه الذرات تتمتع بحركة اهتزازية حول مركز ثابت ، فهي بحركة دائمة . وهناك قوة التلاصق (Cohesion) التي تمنعها من الافلات او الابتعاد كثيراً عن مركز معين .

والذرة بموجب ناموس بوهر تتألف من نواة مركزية تحيط بها طبقات كروية مفرغة تحتوي على كهارب تدور حول النواة . وهذه الكهارب تحمل شحنة كهربائية سالبة وبقاؤها ضمن تلك الطبقات يتوقف على تعادل قوة التجاذب بينها وبين النواة والقوة النابذة المسببة عن دوران الكهارب . وعندما تقترب ذرة من ذرة اخرى تتولد قوة تدافع بينهما بموجب قانون كولومب . وقوة التدافع هذه تساعد الذرات على الاحتفاظ بطبيعتها وعدم الاتحاد مع بعضها . فمن اين اذاً تتولد قوة التجاذب التي تساعد الذرات من عناصر مختلفة على الاتحاد معاً لتكوين مركبات جديدة ؟ لذلك كان من الصعب التوفيق بين هاتين القوتين ، التدافع

والتجاذب بين الذرات ، التي يظهر مفعولها في آن واحد . ولا يزال هناك مجال واسع للتفتيش عن جواب لهذا السؤال في عالم الفيزياء والكيمياء .

يظهر لاول وهلة ان الحالة الطبيعية بين ذرتين هي حالة تدافع . لكننا نرى الذرات تتحد اذا وجدت على مقربة من بعضها البعض . يتضح من هذا ان تغيراً جوهرياً يحدث في داخل الذرة فيتولد من ذلك التغير قوة التجاذب بين ذرتين . لا بد من هذا الفرض لتفسير ما يحدث عند اتحاد ذرتين من عنصرين مختلفين فيتكون من ذلك الاتحاد جزيء مركب جديد . اما قوة التجاذب هذه فانها تظهر جلياً في طرق وظروف متعددة ، منها ما ذكرناه سابقاً عن وجود المادة في حالاتها الثلاث . وهذه القوة هي اساس اتحاد الذرات في تكوين المركبات الكيميائية العديدة حولنا . فان ذرات بعض العناصر المختلفة تكون مستعدة ان تتخلى عن بعض الكهارب في ظروف خاصة ، بينما نرى ذرات بعض العناصر الاخرى مستعدة ان تضم اليها بعض الالكترونات . هذا يتوقف على عدد ووضع الكهارب في الطبقة الخارجية المفرغة حول النواة . وتكون الذرة مستقرة عندما تمتلىء الطبقة الخارجية بالكهارب المعينة لها . فاذا كان عدد الكهارب سبعاً في الطبقة الخارجية الثانية تصبح الذرة مستعدة ان تضم اليها كهرباً واحداً . واذا كان عدد الكهارب ستاً تصبح الذرة مستعدة ان تضم اليها كهربين حتى يكون عدد الكهارب ثمانياً وقس على ذلك . اما اذا كان هناك كهربان او كهرب واحد في هذه الطبقة فان الذرة تكون مستعدة ان تتخلى عن تلك الكهارب بسهولة .

وفي الحالات الطبيعية تكون الذرة متعادلة الكهربائية اذ ان مجموع شحنات الكهارب التي تدور حول النواة يعادل الشحنة الموجبة في داخلها . فعندما تفقد الذرة كهرباً او عندما تكسب كهرباً يفقد التوازن الكهربائي . فتصبح شحنتها موجبة اذا فقدت كهرباً وسالبة اذا كسبت كهرباً . وتسمى الذرات هذه التي تحمل شحنة كهربائية بالايونات . اما الخاصة التي تؤهل الذرة للتخلي عن بعض كهاربها او لاكتساب كهارب من ذرات اخرى فانها تعرف في علم الكيمياء بالتكافؤ (Valence) . فالذرة التي تتخلى عن كهرب من كهاربها وتصبح موجبة الشحنة تكون ذات كفوء

واحد موجب . واذا كان الامر بالعكس فيكون الكفوء سالباً . ولدرس التكافؤ اهمية كبرى في علم الكيمياء لان عليه يبنى درس اتحاد الذرات في تكوين جزيئات مركبات جديدة . فغاز الايدروجين مثلاً له كفوء واحد موجب وغاز الكلور له كفوء واحد سالب فيتحد الاثنان ويتكون من ذلك ذرة ملح الكلور . ويفسر ذلك بان ذرة الايدروجين مستعدة للتخلي عن كهرب ؛ وذرة الكلور مستعدة لاكتساب كهرب، فتتحدان ويصبح الكهرب الذي تتخلى عنه ذرة الايدروجين ملكاً للاثنين. ونفس التعليل يصدق على تكوين جزيء الماء من ذرات الايدروجين والاكسجين . فذرة الاكسجين لها كفوء سالب (٢) فهي مستعدة لاكتساب كهربين . لذلك نرى ذرة الاكسجين تتحد مع ذرتي ايدروجين في تكوين جزيء الماء .

هناك حالات اخرى تظهر فيها قوة التجاذب هذه بين الذرات . فبعض الذرات تميل للاتحاد مع بعضها البعض ، كما هي الحال باتحاد ذرتي ايدروجين ، فيتكون من ذلك جزيء الايدروجين . ويصدق ذلك عن ذرات الاكسجين والنتروجين وغيرها من العناصر التي توجد عادة في حالة الغاز . وفي هذا النوع من الاتحاد يصبح الكهربان في الطبقة الخارجية ملكاً مشتركاً بين الذرتين . ويسمى هذا النوع من الاتحاد بالمزدوج (Doublet) وهو مستقر جداً (Stable) . وهناك حالات اخرى تظهر فيها فاعلية هذه القوة ، لان المركبات العديدة حولنا من غازات وسوائل وجوامد تثبت وجود هذه القوة التي يختلف مفعولها باختلاف طبيعة المركب الذي ندرسه . وقد ثبت ان حرارة الاجسام يمكن اتخاذها مقياساً لمقدار حركة جزيئاتها . لذلك كان بالامكان تحويل جسم من جامد الى سائل ومن سائل الى غاز برفع درجة حرارته الى المستوى المطلوب . وكلما ارتفعت حرارة الجسم تزداد حركة جزيئاته وتضعف قوة التجاذب بينها . لذلك نرى جزيئات وذرات الغاز تتمتع بتمام حرية الحركة كانه لا قوة تجاذب فيها مطلقاً . ومن الجدير بالذكر هنا ان الابحاث الدقيقة اثبتت وجود قوة تجاذب ضئيلة بين جزيئات الغاز وذراته وانه من الضروري اخذ هذه القوة بعين الاعتبار للوصول الى نتائج مضبوطة في درس خواص الغازات .

ترتيب الجزيئات في الاجسام الصلبة

من اروع ما توصل اليه العلم الحديث هو الكشف عن تركيب الاجسام الصلبة وعن ترتيب الجزيئات في داخل تلك الاجسام . يعود الفضل بذلك للاختبارات التي اجريت بواسطة الاشعة السينية . فقد صار بامكاننا اليوم ان نرسم صورة لترتيب جزيئات الجسم وان نستعمل تلك الصورة في ابحاثنا العديدة التي توصلنا الى نتائج على درجة عظيمة من الاهمية في العالم الذري . فالاجسام حولنا التي تظهر لنا باشكال عديمة الترتيب ، تتمتع بتركيب منتظم في داخلها ، تكون فيه الذرات بمثابة الحجارة في بناء البيت . فبواسطة الاشعة السينية كُشف الستار عن تركيب البلورات التي تتألف منها الاجسام الصلبة وتبين ان جميع هذه الاجسام لها تركيب بلوري . اما هذه البلورات فانها تختلط ببعضها بشكل عديم الترتيب في كثير من الاحيان فلا نتمكن من تحقق وجودها الا بواسطة الاشعة السينية .

لقد اثبتت الابحاث بواسطة الاشعة السينية ان كل جزيء له تركيب معين . وكل جزيء يتألف من ذرات منفصلة عن بعضها البعض ، لكنها تتحرك دائماً حركة ترددية (Vibration) . ويجب ان لا يغرب عن بالنا ان هناك فراغاً عظيماً في جو الجزيء . كما انّ هناك فراغاً عظيماً في جو الذرة . ذلك لان حجم كتلة الجسيمات التي يتألف منها الجزيء او الذرة ضئيل جداً بالنسبة الى الفراغ بينها . وبالرغم من هذا كله فان الذرات تتقيد في مراكز معينة داخل الجزيء مما يجعل الجزيء ذا تركيب معين . وعندما تتحد الجزيئات لتكوّن المركبات العديدة لا يكون التجاذب بينها شبيهاً بالتجاذب بين قطبي مغنطيس مختلفين . ويظهر ان قوى التجاذب تتمركز في اماكن معينة في الجزيئات فتتخذ هذه شكلاً معيناً في تكوين المركبات وكثيراً ما يحدث ان تتحد جزيئات معلومة بصور مختلفة فينتج من ذلك حالات مختلفة لمركب واحد كما هي الحال في الكهربيت وغيره من المواد .

اما في الحالات التي يتألف فيها الجزيء من ذرات متعددة فانه يمكننا ان نشبه الصلب المتكون منها بقطعة من التطريز المعقد (شغل اللاسية Lace - work) كما هي الحال في تراكيب المركبات العضوية . فهذه تتركب في الاغلب من كربون واكسجين

ونتروجين وايدروجين . ولفهم هذه المركبات المتعددة المختلفة والمكونة بواسطة الكربون من هذه العناصر كان لا بد من وضع قوانين تركيبية لها . ولقد كان قوام الكيمياء العضوية نظرية الهرم الرباعي لذرة الكربون . فلذرة الكربون بموجب هذه النظرية اربعة اواصر تلصق بها ذرة النتروجين او الاكسجين او غيرها من الذرات . ومن المحتمل ان تتصل بآصرة او اكثر من هذه الاواصر ذرة كربون وهذه بدورها لها اواصر اخرى . وهكذا يصير بالامكان الحصول على عدد لا يحصى من المركبات . وقد بنيت هذه الاستنتاجات على ابحاث نظرية بحتة وعلى براهين غير مباشرة . اما الآن فقد صار بالامكان الحصول على براهين مباشرة بواسطة الاشعة السينية . فالكيمياء العضوية تبين العلاقة العامة بين الذرات في الفضاء . اما الاشعة السينية فانها تخبرنا عن الاطوال الحقيقية الآواصر بين الذرات والزوايا المتكونة بين هذه الاواصر . وعندما يكون الجزيء معقد التركيب ، كما هي الحال في المركبات العضوية ، يكون المركب خفيفاً وتكون كثافته اقل من كثافة الماء . واذا كان الجزيء بسيط التركيب يكون المركب ثقيلاً لان الجزيئات تتمكن عندها من حشر بعضها في حيز ضيق . ومن المعلوم ان اثقل المواد هي المعادن النقية وهذه لها انموذجات مستقيمة جداً واغلبها متبلور . وفي تركيب المعادن تكون الذرات حجارة البناء اذ لا جزيئات هنا . لذلك نرى هذه الذرات تتصرف تصرف وحدات كروية موجبة الشحنة ، لا اواصر بين ذراتها المتجاورة ، تمسك بعضها مرتبطه برباط قوي بواسطة مجموعة من الكهارب السالبة الشحنة تتخلل التركيب جميعه .

ومن المسلّم به الآن ان المواد الصلبة المتنوعة ليست الا عبارة عن صور متنوعة لارتباط الذرات والجزيئات ببعضها البعض . اما خواص هذه المواد فهي متوقفة على شكل تركيب الجزيئات والقوى التي تربطها ببعضها . لذلك اصبحت الاشعة السينية وسيلة لدرس خواص الاجسام الصلبة ، الكثافة والقوة والمرونة والمقدرة على ايصال الكهرباء والحرارة . وقد ادت الاشعة السينية خدمات لا تحصى في حقول الكيمياء والتعدين والهندسة بصورة عامة . ولا تزال تشق طريقها بفتوحات عديدة جديدة في شتى العلوم .

قوة عجيبة داخل النواة

نرى مما تتقدم ان قوى التجاذب تظهر جلياً عند اتحاد الذرات والجزيئات في تكوين المركبات العديدة . وهذه القوى كفيلة بتفسير الكثير مما يحدث عندما يقترب جزيء من جزيء آخر . اما اذا اعدنا النظر في محتويات النواة وما فيها من بروتونات تتدافع بقوة لانها تحمل شحنات متشابهة وهي على ابعاد ضئيلة جداً ، نجد ان هناك ظاهرة غريبة لا تنطبق عليها النواميس المسلم بها كناموس كولومب . وقد اسفرت التجارب التي اجريت في هذا الباب عن وجود قوة تفوق قوة الدفع التي تحصل بين البروتونات في النواة وتفوق ايضاً قوة الجاذبية التي ينص عليها ناموس نيوتن . ويظهر ان هذه القوة هي اساس كل ما يحيط بنا من كائنات معقدة التركيب . ولولاها لما كان بالامكان وجود اشياء اكثر تعقداً في البناء من الايدروجين الذي يحوي في نواة ذرته بروتوناً واحداً .

في سنة ١٩٠٤ انشأ معهد كارنيجي بوشنطن فرعاً خاصاً بدرس المغنطيسية الارضية . ولم يطل الوقت حتى تنبه المشتغلون في هذا الفرع الى ان الكشف عن اسرار مغنطيسية الارض لا يجب ان ينحصر في درس جو الارض فقط بل يجب ان يذهب الى ابعد من ذلك ، الى طبيعة الجزيئات والذرات . وفي سنة ١٩٢٦ رسمت الخطة ووضعت التصاميم للبحث في اجزاء الذرة والقوى المسيطرة في ذلك الجو . وقد دلت الابحاث العديدة السابقة عن اجزاء الذرة على ان هناك مفارقة غريبة في داخل الذرة وهي تجاذب البروتونات وتلاصقها في النواة بالرغم مما نعرفه عن تدافعها بموجب قانون كولومب . لذلك انحصرت الابحاث في التفتيش عن سر هذه المفارقة في الاعتبارات التالية :

اولاً : ان البروتونات تتجمع في حيز ضيق جداً وهو النواة .

ثانياً : ان البروتونات تتدافع خارج النواة شأن كل الاجسام التي تحمل شحنات كهربائية متشابهة . لذلك كان لا بد من الوصول الى الاستنتاج بان هناك مسافة محدودة تتحول عندها قوة التدافع بين البروتونات الى قوة تجاذب بينها .

فصار الهدف الرئيسي معرفة هذه المسافة وذلك باستعمال طريقة اطلاق القذائف الدقيقة على الذرات ودرس نتائج الاصطدام بين القذائف والذرات .

ولتحقيق هذه المسافة أطلق تيار من البروتونات على إناء ملآن من غاز الايدروجين. ومعلوم ان نواة ذرة الايدروجين هي البروتون نفسه. فأصبحت القضية اذاً اطلاق بروتونات على بروتونات. وعندما تقترب بعض القذائف من بروتونات الغاز التي هي مماثلة لها تفعل قوة التدافع فعلها وترتد القذائف أو تنحرف متفرقة. والغريب ان هذا التفرق يكون منتظما. ومن تطبيق نواميس الميكانيكا التي تتعلق باصطدام الكرة الساكنة بالكرة المتحركة، كما هي الحال في كرات «البليار»، تمكن العلماء من معرفة خطوط انحراف القذائف البروتونية بعد اصطدامها بالبروتونات الغازية. ومن درس تفرق (Scattering) البروتونات توصل العالم الانكليزي موط (Mott) الى احصاء عدد البروتونات التي تنحرف من كل زاوية من زوايا الاصطدام بموجب قانون كولومب. وكانت هذه المعلومات اساساً لمعرفة تصرف القذائف البروتونية وفقاً للقانون هذا. اما الانحراف الذي يخالف هذه القاعدة فهو خروج عن قانون كولومب.

هذه النتائج دفعت العاملين في معهد كارنيجي بواشنطن الى اطلاق القذائف البروتونية على غاز الايدروجين النقي بقوة معينة. وكانت اشكال التفرق الناتجة تدرس بدقة فائقة. وقد لاحظوا انه كلما ازدادت قوة هذه القذائف زاد اقتراب القذائف البروتونية من بروتونات الايدروجين وذلك لازدياد زخمها الذي يؤهلها من مقاومة قوة التدافع التي ينص عليها قانون كولومب، ومن اختراق ذلك الحد الذي اشرنا اليه سابقاً الذي تتحول عنده تلك القوة التي تدفع البروتونات بعضها عن بعض الى قوة تجذبها بعضها الى بعض. كانت القذائف الاولى تطلق بقوة ٦٠٠ الف فولط، مما يجعل سرعتها ٦٧٢٠ ميلاً في الثانية. وكان شكل التفرق يتفق مع استنتاجات موط النظرية. وقد تبين ان تصرف القذائف بهذه السرعة لا يخالف قانون كولومب. وعندما ازدادت القوة الى ٨٠٠ الف فولط صارت السرعة ٧٧٠٠ ميل في الثانية وتبين من شكل التفرق ان هناك تغييراً يدل على حدث جديد عند اقتراب هذه القذائف من بروتونات الغاز. ولما وصلت القوة الى ٩٠٠ الف فولط واصبح زخم القذائف كافياً، تبين انه عوضاً عن تفرق القذائف عند اقترابها من بروتونات الغاز، تخطت هذه القذائف بسبب زخمها تلك

المسافة التي تتحول عندها قوة التدافع بين البروتونات الى قوة تجاذب . وهكذا كان بالامكان التغلب على قوة التدافع التي ينص عنها قانون كولومب وبدأ ينكشف ذلك السر عن تماسك البروتونات ضمن نواة الذرة . كانت نتيجة التحليل الرياضي لهذه التجارب ان المسافة التي يبطل عندها فعل قانون كولومب هي جزء من ١٢ مليون مليون جزء من البوصه . هذا يتطلب فرض وجود قوة جاذبة بين دقيقتين أي بروتونين مثلا ، عندما تكون المسافة بينهما جزءاً من ١٢ مليون مليون جزء من البوصه . اما مقدار هذه القوة الجاذبة فهو اعظم من مقدار الجذب النيوتوني بين كتلتي البروتونين بنحو $١٠^{٣٦}$ مرة . وتفعل هذه القوة فعلها بين النيوترونات وبين بروتون ونيوترون او بين نيوترون ونيوترون . وسنرى في الفصول التالية كيف ان الكشف عن هذه القوة ادى لاطلاق الطاقة الذرية من نوى الذرات . فالبروتونات او النيوترونات التي تصطدم بنواة ذرة ما بقوة تؤهلها من تخطي الحد الذي تتحول عنده قوة التدافع الى قوة التجاذب تندمج في النواة التي تصطدم بها . وفي خلال هذا الاندماج يتحول مقدار ضئيل من الكتلة الى طاقة فينتج من ذلك قوة هائلة كما سيتبين من الابحاث التالية بالتفصيل .

الفصل السابع

نظرية الكم

طبيعة الضوء والطاقة

كان من الطبيعي ان تؤدي ابحاث الفيزياء الحديثة في طبيعة الذرة وتركيبها الى ابحاث تتعلق بطبيعة الطاقة ايضاً . وقد سبق ان حصل الشيء ذاته في درس طبيعة الضوء ومما يتألف . فقد قال نيوتن ان الضوء يتألف من دقائق (Corpuscles) تنتقل من الاجسام المضيئة بسرعة النور المعروفة وتقع على الاجسام الاخرى . وقد جرّب نيوتن ان يفسر انعكاس الضوء وانكساره بانياً استنتاجاته على هذه النظرية . وقد كان مقتنعاً بصحتها نظراً لبعض التفاسير التي لم يكن ليجد لها حلّا الا بهذه الطريقة . ومن بين ما توصل اليه في درس انكسار الضوء عند انتقاله من وسط الى وسط آخر ان سرعة الضوء في الماء او الزجاج هي اكبر منها في الهواء . لكنّ التجارب التي تلت اثبتت ان سرعة الضوء في الماء هي اصغر منها في الهواء بعكس ما قال نيوتن . لذلك اهملت هذه النظرية وتمسك العلماء بنظرية هوجنس (Huygens) القائلة ان الضوء هو نوع من التموج ، لانها اتت بنتائج تنطبق على الاختبارات في علم الضوء حيث فشلت نظرية نيوتن الذرية . ومن اهم الظاهرات التي لم تتمكن النظرية الذرية للضوء من تفسيرها هي ظاهرة التداخل (Interference) . فكأن نيوتن تصور الاشعاع من الاجسام المنيرة حركة من حركات المادة بين نرى هوجنس يتصوره حركة تموجية . والمعروف ان الضوء يخترق الفضاء الشاسع بين الاجرام السماوية حيث لا هواء ولا وسط آخر يتموج وهو ينتقل في الفضاء ايضاً . لذلك فرض هوجنس وجود الاثير لنقل تموجات الضوء في ذلك الفضاء الشاسع . اما خواص الاثير فهي انه وسط شفاف رقيق جداً لا وزن له ، يملأ الفضاء والفجوات بين اجزاء المادة ، لكنه اقوى بالاف المرات من الفولاذ . وفي اواخر القرن التاسع عشر ظهرت حقائق جديدة تتعلق

بالطاقة ومنها الضوء . فقد جاءت التجارب بنتائج مناقضة للنظرية التموجية . ففي علم الضوء ظاهرة تعرف بالفعل « الكهربائي النوري »، او الكهرنوري (Photo-electric)، لم يكن بالامكان تفسيرها بنظرية الضوء التموجية . فصار لا بدّ اذاً من ايجاد نظرية جديدة تقوم بتفسير هذه الحقائق الجديدة . اما هذه النظرية فهي نظرية الكمّ (Quantum) او المقدار التي اعلنها العلامة الالماني ماكس بلانك (Planck) سنة ١٩٠٠ .

الانفصال والاتصال في الطبيعة

وقبل ان نبحث بالتفصيل عن هذه الصورة الجديدة للطاقة التي ترسمها نظرية الكم ، لا بد لنا من الخوض قليلاً في فكرة الانفصال والاتصال في الطبيعة . ففي الطبيعة كميات تتغير تغيراً متصلاً واخرى تتغير تغيراً منفصلاً . ومن النوع الاول الزمن والمسافة وان كان هاذان يقاسان بوحدات معينة محدودة . اما عدد الذرات في حجم معين من غاز ما فلا يكون سوى عدد كامل لا كسور فيه . فلا يكون في الليتر الواحد من غاز ما ملايين من الذرات ونصف ذرة او ربع ذرة . ومايسمى بالطبيعيات الكلاسيكية كان يتناول في ابحاثه وقوانينه الكميات المتصلة امثال المسافة والزمن والكتلة والطاقة والقوة . وقد ظلت الطبيعيات الكلاسيكية زمناً طويلاً تعالج ظواهر الكون حولنا لا ينازعها منازع حتى نشوء النظرية الذرية في القرن التاسع عشر . فقد اثبتت هذه النظرية ان المادة منفصلة لا متصلة وان وعاء ما يمكنه ان يحتوي على عدد كبير من الذرات الكاملة من غاز ما بدون كسور مطلقاً . وهكذا نرى انه بموجب هذه النظرية صار بالامكان تعيين كتلة ذرة واحدة من غاز الايدروجين مثلاً . وقد ظلت الكهربائية مجهولة الطبيعة حتى توصل العلماء الى النظرية القائلة بان قوام الذرات هي البروتونات والكهارب . وصارت هذه الوحدات تعتبر وحدات الكهربائية الموجبة والسالبة . وقد ثبت ان الشحنات والتيارات الكهربائية ليست متصلة بل هي منفصلة فلا يمكن ان تنقص او ان تزيد الا بوحدات كاملة . ويعود الفضل للمكن في تعيين مقدار هذه الوحدة (١٫٥٥ × ١٠ — ١٩ كولوم او ٤٫٨٠ × ١٠ — ١٠ وحدة استاتيكية) .

اما نظرية الكم فانها تتعلق باعتبار الطاقة منفصلة لا متصلة وهذا يطلق على جميع ضروب الطاقة . ومن المعروف في الفيزياء الكلاسيكية ان الطاقة تنتقل بطريقتين مختلفتين . فهنـاك الطاقة التي تنتقل بواسطة تموجات في وسط ما كالتموجات على سطح الماء او التموجات في الهواء عند انتقال الصوت او اطلاق قذائف على هدف معين. فانتقال الطاقة بواسطة الحركة التموجية نعتبره متصلاً والانتقـال بالقذائف نعتبره منفصلا . وقد جاءت نظرية الكم تقول بان جميع انواع الطاقة هي منفصلة الطبيعة وهي مجموع وحدات يطلق عليها اسم « كوانتوم » اي الكم (جمعه كمات) ، والبعض يطلق عليها اسم المقدار (جمعه مقادير). وكما ان الوحدات الاساسية في بناء المادة هي الذرات، هكذا اصبحت الوحدات الاساسية في الكهربائية الكهارب والبروتونات ، والكمات للطاقة . وتعرف هذه الكمات بالفوتونات (Photons) ايضاً .

صورة الطاقة

ظل الاعتقاد حتى نهاية القرن التاسع عشر ان الكتلة والطاقة والاثير هي قوام الكون . فالمادة تتألف من ذرات لا تتجزأ والطاقة هي ذات صفة تموجية كما ان هناك صوراً مختلفة لها . ومن هذه الصور الطاقة الحرارية والضوئية والميكانيكية والكهربائية والمغنطيسية . ولم يكن للطاقة صورة مستقلة بذاتها بل كانت تعتبر صورة مـلازمة للمادة . لذلك نرى هوجنز يفرض وجود الاثير كوسط مادي لانتقال تموجات الضوء والحرارة من الشمس والنجوم الى الارض . وقد شهد العالم في بداية القرن العشرين اكتشافات هامة قضت على تلك النظريات التي ظلت لاينازعها منازع في القرن السابق. فباكتشاف الاشعة السينية والاشعاع الراديومي ثبت ان الذرة قـابلة للتجزؤ وليست الاشعة السينية الا وليدة اصطدام الكترونات اشعة المهبط بلوح فلزي مثبت في جدار انبوبة كروكس بصورة ملائمة . وقد كان اكتشاف الالكترونات فجر علم جديد وهو علم الفيزياء الحديث الذي اتانا بنظريات مكنتنا من اكتشافات حديثة غريبة واهمها ما يتعلق بالطاقة وما يتفرع منها .

تمكن العلماء من قياس سرعة الضوء بمختلف الوسائل وكانت نتائج تجاربهم ان

هذه السرعة تبلغ ١٨٦٣٠٠ ميل في الثانية (٣٠٠ ٠٠٠ كلم في الثانية) . ذلك يعني ان ضوء الشمس يستغرق نحو ثماني دقائق في الوصول الى ارضنا . وقد كان هم العلماء ان يعرفوا ماذا يحدث اثناء سير الضوء في الفضاء الشاسع . وبعبارة اخرى كانوا يتساءلون عما هي طبيعة الضوء وما هي كيفية انتقاله . فجاءت نظرية نيوتن الذرية للضوء وعقبتها النظرية الموجية التي تعتبر الضوء اهتزازاً مستعرضاً في الاثير يشبه الاهتزازات الصادرة عن مصدر الصوت او غيرها . ولهذا الاهتزاز طول موجي وهو المسافة بين قمتين او بين قرارين في قطار من الامواج . وله ايضاً تردد خاص اي عدد خاص من الموجات في زمن معين او في مسافة معلومة . وظل العلم مقتنعاً بهذه الصورة للضوء لانها كانت تقوم بتفاسير عديدة في حقل البصريات . وجاء كلارك مكسويل (Maxwell) يقول ان الضوء هو مجال كهرطيسي متردد مصدره جسم مشحون بالكهربائية . ثم جاءت اكتشافات هرتز (Hertz) تثبت ما قاله مكسويل . فقد تمكن هرتز من ان يرسل في الفضاء بوسائل كهربائية مجتة موجات لاسلكية تختلف عن الضوء في ان طولها الموجي اكبر كثيراً ولها تردد اصغر من تردد الضوء . وهذه الموجات اللاسلكية هي نتيجة حركة الكهارب ذهاباً واياباً في سلك موصل للكهرباء كالسلك الهوائي في الاذاعة اللاسلكية . ولكل كهرب مجالان احدهما مغنطيسي والاخر كهربائي . ومن حركة الكهرب الاهتزازية تتولد تلك الموجات الكهرطيسية التي تجوب الفضاء وتختلف اطوال هذه الموجات باختلاف حجم مصدرها . فمحطات الاذاعة التي ترسل الموجات الطويلة تستعمل سلكاً هوائياً يبلغ طوله اميالا . اما الموجات القصيرة فيستعمل في توليدها اسلاك قصيرة جداً .

واطوال موجات هرتز تتراوح بين اميال وامتار وتأتي بعدها سلسلة الاشعة (دون الحمراء) وتليها اشعة الضوء الاحمر الناتجة عن الاشعة الحرارية . وهذه كلها ذات اطوال موجية اقصر من اطوال موجات هرتز . والمعتقد ان الاشعة الحرارية او مادون الحمراء هي نتيجة اهتزازات الجزيئات والذرات بمفردها . وقد ذكرنا سابقا ان حرارة الجسم هي مقياس لدرجة اهتزاز جزيئاته وذراته . فعندما نحمي جسما يمتص ذلك الجسم كمية من الطاقة تجعل جزيئاته وذراته تتحرك بسرعة . فاذا ترك الجسم لذاته

اطوال الامواج في الطيف الكهربائي المغنطيسي

نوع الامواج	اطوال الامواج
اللاسلكية	من عدة كيلومترات الى عشر المليمتر (مليون انجستروم)
الاشعة (دون الحمراء)	من مليون انجستروم الى ٨٠٠٠ انجستروم
اشعة الطيف المرئي	من ٨٠٠٠ انجستروم الى ٤٠٠٠ »
الاشعة (فوق البنفسجي)	من ٤٠٠٠ انجستروم الى ١٠٠ »
الاشعة السينية	انجستروم واحد
اشعة غما	من بضعة اعشار الانجستروم الى سبعة اجزاء من الف جزء من الانجستروم
الاشعة الكونية	اقصر من اشعة غما كثيراً

(الانجستروم تساوي 10^{-8} سم)

يعد لانه يطابق ذلك الاشعاع الذي امتصه بصورة اشعاع دون الاحمر . ويحوي الطيف الكهرطيسي نحو خمسين جواباً (Octave)، ولنا في الموسيقى سبعة جوابات لا غير . ويعتبر الطيف المرئي جوابا واحداً في البصريات .

يتألف الضو العادي الذي تتأثر به العين وتدركه من الالوان التي يتألف منها قوس قزح وتأتي بالترتيب التالي : الاحمر ، البرتقالي ، الاصفر ، الاخضر ، الازرق ، النيلي ، البنفسجي . وموجات الضوء العادي هي اقصر من الموجات الحرارية . والاعتقاد السائد اليوم هو ان مصدر موجات الضوء يقع في داخل الذرة وانه نتيجة حركة الكهارب الخارجية حول نواتها . وهناك الاشعة فوق البنفسجية وهي اقصر من موجات الضوء البنفسجي وتؤثر في الالواح الفوتوغرافية . واقصر من هذه الاشعة السينية التي لها قوة نفاذ خلال الاجسام الصلبة اعظم بكثير من قوة اشعة الضوء العادي . ويعتقد ان مصدر الاشعة السينية هو حركة الكهارب القريبة من النواة . اما اشعة غما التي تنطلق من الراديوم ، وهي اقصر من الاشعة السينية ، فالمعتقد ان مصدرها هو داخل نواة ذرة الراديوم . ويتلو هذه في القصر الاشعة الكونية ولها قوة نفاذ خلال الاجسام الصلبة تفوق غيرها من الاشعة بكثير . هكذا نرى ان طيف الاشعاع من اطول اشعة

الراديو الى الاشعة الكونية ، اصبح كاملاً لاثغرة فيه .

طبيعة الاشعاع وكم الطاقة

لقد توصل ماكس بلانك الى نظرية الكم اثناء ابحاثه في طبيعة اشعاع الموجات الضوئية المنبعثة من جسم محمي . وما الاشعاع سوى انتقال الطاقة من ذرات المادة في جسم ما الى الاثير حيث مقر الموجات الكهرطيسية . اما ما كان معروفاً في القرن التاسع عشر عن طبيعة الاشعاع وكيفية انتقاله فانه لم يف بتفسير الامور الغامضة التي رافقت الابحاث في درس طبيعة الاشعاع . ومن اهم تلك الامور توزيع الطاقة المرافقة للموجات ذات الاطوال المختلفة والتي تتألف منها الطاقة الكليه في الجسم المشع . فجاءت نظرية الكم لتكمل ذلك الفراغ في بحث طبيعة الاشعاع وكانت بدء علم جديد وهو علم الفيزياء الحديث ، كما انها نقضت اسس ما يسمى بالفيزياء الكلاسيكية ، ذلك العلم القائم على قوانين غليلو ونيوتن والذي ادى ولا يزال يؤدي الخدمات الجليلة في درس الحالات الطبيعية العادية . وخلاصة هذه النظرية هي ان جميع انواع الطاقة منفصلة اي ان انتقالات الطاقة لا تحدث متصلة بل منفصلة وانها مجموع وحدات يطلق على كل منها اسم (كوانتوم) او كم . فكل جسم مشع يطلق اشعاعه بكمات او مقادير وتمتص الاجسام هذا الاشعاع او تعكسه او تفرقه بكمات او مقادير معينة . فالنظرية اذاً بسيطة جداً وليس من الصعب تبنّيها كما تبنّى العلم النظرية الموجية للطاقة .

اما هذه الكمات فليست كلها ذات حجم واحد بل يختلف حجمها باختلاف ترددها . فللضوء الاحمر « كم » يختلف عن كم الضوء البنفسجي . وكلما ازاد التردد وقصرت الموجة في الطاقة يزداد حجم الكم . ولما كان طول موجة الضوء البنفسجي نصف طول موجة الضوء الاحمر تقريباً اصبح « كم » الضوء البنفسجي ضعف كم الضوء الاحمر . كذلك يكون كم الاشعة السينية اكبر من كم اي موجة ضوئية عادية . ويعيّن مقدار الكم لنوع معين من الطاقة بموجب المعادلة التالية :

$$\text{كم الطاقة} = \frac{\text{هـ} \times \text{سرعة الضوء}}{\text{طول الموجة}} = \text{هـ} \times \text{التردد} .$$

ويرمز الحرف (هـ) الى ثابت بلانك ويسمى ايضاً «كم الفعل» . وهو نتيجة ابحاث دقيقة جداً في علم الاشعاع ويساوي ٦٫٥٥ × ١٠ − ٢٧ ارج ثانية . ومن الواجب ان تكون جميع الكميات في هذه المعادلة بالسنتيمتر فيكون عندها مقدار كم الطاقة بالارجات . فيكون مقدار كم ضوء الصوديوم :

٦٫٥٥ × ١٠ − ٢٧ × ٥٠٩ × ١٠ ١٢ = ٣٫٣٣ × ١٠ − ١٢ ارج او ٢٫١ الكترون–ڤولط

لان الطول الموجي لضوء الصوديوم هو تقريباً ٠٫٠٠٠٠٥٨٩ سم . فيكون تردده ٥٠٩ × ١٠ − ١٢ في الثانية . وبعبارة اخرى ان ذرة الصوديوم لا تقدر ان تطلق اشعاعاً ما لم يكن بمقدورها ان تنفث كما من الطاقة يساوي ٣٫٣٣ × ١٠ − ١٢ ارج او وحدات هذا مقدار كل منها على الضبط . وكذلك هي الحال في الامتصاص . وهناك وحدة للطاقة تستعمل كثيراً في الفيزياء الذرية وهي الالكترون – ڤولط وهي الطاقة اللازمة لحمل الالكترون بين نقطتين يختلف جهدهما الكهربائي بڤولط واحد . فالالكترون ڤولط يساوي ١٫٥٩ × ١٠ − ١٢ ارج .

الظاهرة الكهرنورية

في سنة ١٩٠٥ اعلن العالم اينشين نتيجة بحثه في تطبيق نظرية الكم على الضوء . فالضوء برأيه ليس تموجاً لكنه كمات . وقد اطلق على هذه الكمات اسم فوتونات . فهو بهذا يعود الى نظرية نيوتن الذرية للضوء التي سبقت النظرية التموجية . لكن هذا التطور يقتضي الغاء الاطوال الموجية . فصار من الضروري ان نجد عوضاً لها . فبدلاً من ان نقول ان الطيف المرئي يتألف من موجات مختلفة الاطوال صرنا نقول ان الطيف المرئي يتألف من فوتونات مختلفة في الطاقة . وقد توصل اينشتين الى هذه النتيجة من دراسة الظاهرة الكهرنورية (Photoelectric) . وقد كان معلوماً في الاوساط العلمية انه عندما يقع الضوء ، وخصوصاً فوق البنفسجي او الاشعة السينية، على لوح فلزي تنطلق الكهارب من ذلك اللوح . وقد دعيت هذه الظاهرة بالفعل الكهربائي النوري او الكهرنوري واتت بنتائج غريبة جداً خلاف المنتظر . اذ كان عدد الكهارب المنطلقة من سطح اللوح يتوقف على قوة الاشعة ، لكن سرعتها لم

تكن تتوقف على قوة الاشعاع بل على الطول الموجي او على التردد . وهذا يخالف الفيزياء الكلاسيكية . فاتخذ اينشتين اداة من نظرية الكم لتفسير هذه الظاهرة معتبراً طاقة الاشعاع ذرات منفصلة ، خارجاً على نظرية الضوء التموجية . وقد فسر الظاهرة الكهرونورية بقوله ان كل كهرب ينطلق من سطح اللوح الفلزي انما يفعل ذلك كنتيجة لاصطدامه بذرة من ذرات الطاقة اي الكم . وهكذا وجد التفسير لتلك الظاهرة التي عجزت عن تفسيرها النظرية التموجية .

الاطياف ونظرية الكم

وجاء بوهر بنظريته المشهورة عن تركيب الذرة يدعم نظرية الكم ويعتمها . وكان رذرفورد ايضاً قد فرض وجود كهارب متحركة حول النواة . لكن هذا لا يتفق مع قوانين الميكانيكا الكلاسيكية . ذلك لان هذه الكهارب يجب ان تهبط نحو النواة عندما تفقد بعض طاقتها بالاشعاع . وهناك ظاهرة اخرى تتعلق باطياف العناصر لم يكن بالامكان تفسيرها بموجب قوانين الميكانيكا الكلاسيكية . اذ المعروف ان كل عنصر يحدث طيفاً مؤلفاً من خطوط لامعة خاصة به يتميز بها عن غيره من العناصر . وكل خط من هذه الخطوط له طوله الموجي ، مما يدل على ان كل عنصر يتمكن من اطلاق انواع من الاشعاع لكل منها طول موجي خاص . كل هذا لم يكن بالامكان تفسيره بواسطة الميكانيكا الكلاسيكية . لذلك لجأ نيلز بوهر لتفسير هذه الامور معتمداً على نظرية الكم ، مفترضاً بعض الافتراضات ، ومنها ان الكهارب تدور حول النواة في افلاك معينة ولا تتمكن من الاشعاع ما دامت تدور في تلك الافلاك بخلاف ما يقال في نظرية الضوء القديمة . ويحدث الاشعاع فقط عندما يهبط الكهرب من فلك كبير الى فلك صغير ، فتكون الطاقة الضوئية الممتصة او المنبعثة بشكل كمات . وليس هناك سلسلة من الافلاك المتواصلة يتمكن الكهرب من ان يدور فيها . بل هناك افلاك متنوعة متواصلة يصح للالكترون ان يدور فيها تربطها ببعضها علاقة عددية بسيطة . والكهرب بانتقاله من فلك الى آخر يطلق طاقة بصورة اشعاع تتغير بمقادير ثابتة لا تقبل التجزئة ، وهذه المقادير هي بمثابة وحدات كاملة .

فبالامتصاص يكسب الكهرب عدداً من هذه الوحدات وبالاشعاع يفقد عدداً منها ، ولا يكون النقص او الزيادة كسراً من هذه الوحدات .

لنأخذ الآن طيفاً من الاطياف المعروفة لندرسه على ضوء نظرية الكم . فالمعروف ان الايدروجين يبعث في القوس الكهربائي ضوءاً يحدث طيفاً بواسطة المطياف ، يتألف من مجموعة خطوط مختلفة الالوان ذات اطوال موجية معيّنة خاصّة بكل منها . وتظهر هذه الخطوط متباعدة عند نهاية الطيف الحمراء ومكتظة عند نهاية البنفسجية . وهناك ايضاً مجموعات اخرى مماثلة في منطقتي الطيف تحت الحمراء وفوق البنفسجية . وقد استنبط بلمر (Balmer) قانوناً لحساب الاطوال الموجية لجميع انواع الضوء الذي يشعه الايدروجين ، مستنداً على نتائج الاختبارات . وجاءت نظرية بوهر بعد ذلك بنصف قرن بنفس النتيجة التي توصل اليها بلمر ، فكان ذلك نصراً عظيماً للنظرية الذرية التي تعتمد على بحوث نظرية بحتة .

وهاك ما يحدث في الايدروجين عندما يُشع انواع الضوء المختلفة . فذرة الايدروجين كما نعلم هي اصغر ذرة وقوامها نواة وزنها وحدة الاوزان وشحنتها وحدة الشحنات ، يدور حولها كهرب واحد . فعندما تتعرض هذه الذرة للضوء والحرارة العالية يقفز الكهرب الى اعمق فلك في داخلها ويشع ضوءاً بهذه العملية . ويكون هذا الضوء من المجموعة فوق البنفسجية . ويتوقف طوله الموجي على المسافة التي يتراجع اليها الكهرب . اما عدد الافلاك الممكنة فانه يساوي عدد الخطوط في تلك المجموعة من الطيف . وفي حالة عدم بلوغ الكهرب اعمق فلك في داخل الذرة ، يكون الضوء المنبثق من المجموعة الثانية المرئية . ويظهر هذا الامر بسيطاً لاول وهلة . لكنّ هناك امرين عرافقين لهذه النظرية يصعب تفسيرهما . الاول ان الكهرب يدور في احد الافلاك بسرعة ١٥٠٠ ميل في الثانية ولا يفقد شيئاً من طاقته ولا يربح شيئاً ما دام في ذلك الفلك ، فكانه في حالة استقرار تام . والثاني هو ان الكهرب يقفز فجأة من فلك الى آخر فيكاد لا يستغرق زمناً البتة .

لقد كتب الشيء الكثير عن نظرية بوهر هذه التي اتت بنتائج باهرة مثمرة جداً تؤيدها التجارب في مناحي عديدة . وصار الكثيرون من القراء ينظرون اليها

كحقيقة مقررة لا تقبل الجدل. لكن بوهر نفسه وغيره من العلماء لم يعتبروها الا اداة ممتازة تصلح لتفسير الكثير من الغوامض في الذرة والاطياف، يلزمها التحوير والتعديل عند ظهور حقائق جديدة، كما هي الحال في كل نظرية. وقد قيل بحق ان تاريخ العلم ملآن بالنظريات المهملة التي استبدلت بنظريات اوفى واعم، الشرط الاول لتقدم العلوم وادراك جوهر الحقائق. وقد اثبتت الابحاث الدقيقة ان نظرية بوهر لا تفي بالغرض التام في تفسير بعض الامور المتعلقة بالتفاصيل الدقيقة في مجموعة خطوط الاطياف. وعلاوة على هذا فان الفروض التي بنى بوهر نظريته عليها لم تكن قابلة التفسير.

مبدأ المقابلة

ومن اهم نتائج نظرية بوهر هذه ذلك المبدأ الذي سماه «مبدأ المقابلة» (Correspondence) بين نظرية الكم الجديدة ونظرية الاشعاع القديمة. لقد تبين ان الاطوال الموجية المستخلصة من الطريقتين تتفق تماماً حيث لا يوجد فرق كبير بين حالتي الاستقرار. لكن يجب ان لا يسهى عن بالنا ان كيفية اطلاق الاشعاع تختلف في الحالتين. وهكذا يمكننا ان نتصور ذرة كذرة الايدروجين ذات كهرب واحد يدور في فلك كبير جداً ينبعث منها ذات الضوء، كان ذلك بموجب النظرية القديمة او الجديدة. وبموجب النظرية القديمة تنطلق انواع الضوء التي يتألف منها الاشعاع، والتي يقابل كل منها الحركة الاهتزازية المتناسقة (Harmonic) التي يؤلف مجموعها الحركة العامة بصورة اجمالية. وتتوقف قوة الاشعاع طرداً على نسبة سعة موجات (Amplitudes) هذه الحركات الاهتزازية المتناسقة. وبموجب النظرية الجديدة، نظرية الكم، تنطلق انواع الضوء التي يتألف منها الاشعاع بعمليات فردية (Distinct) مكوّنة من انتقالات من حالة استقرار الى حالات اخرى مجاورة، اي من فلك الى افلاك اخرى. اما قوة كل خط من خطوط الضوء بالنسبة لغيره فانها تتوقف على نسبة امكانية حدوث الانتقالات المختلفة. والنظرية القديمة تمكننا من تعيين قوة الضوء المنبعث ومسلكه، بين نرى ان النظرية الجديدة لا تمكننا من ذلك. فمبدأ المقابلة

هذا يؤكد لنا ان تبادل النظريتين الذي وجد له مبرر في الحالة النظرية البحتة يكون صحيحاً في كل حالة يمكن تحقيقها . وخلاصة القول ان النظريتين بخصوص الضوء لا تختلفان بل هما مسلكان لهدف واحد .

وهناك رأي لسمرفيلد (Sommerfield) في صورة الافلاك للكهارب . فقد جعلها تتضمن مع الافلاك الدائرية افلاكاً إهليلجية . ولما طبقت نظرية النسبية على حركة الكهارب في هذه الافلاك تبين ان الكهارب في الافلاك الاكثر اهليلجية تتحرك بسرعات متفاوتة فيسبب ذلك تفاوتاً في كتلتها . لان الكتلة تتغير مع تغير السرعة بموجب نظرية النسبية . وعلامة هذا في الطيف هو انشقاق طفيف في خط الضوء الناتج فيتولد من ذلك بناء دقيق يتألف من مجموعة خطوط تتفق مع النتائج الحسابية التي نحصل عليها من تطبيق نظرية النسبية الخاصة .

الكم وتفسير الظاهرة الكهرنورية

ذكرنا سابقاً ان الظاهرة الكهرنورية التي لم يكن بالامكان تفسيرها بموجب النظرية القديمة للضوء كانت الحافز لاستنباط النظرية الجديدة . فلنحاول الآن تفسير هذه الظاهرة متخذين صورة الكم للضوء . فكمام الطاقة الضوئية التي تسقط على ذرات لوح فلزي تجعل بعض الكهارب الدائرة في افلاكها تميل الابتعاد عن متناول جذب النواة لها ، ذلك لانها تزيد في طاقتها الحركية . فاذا كانت طاقة الكمات كافية تصبح تلك الكهارب حرة فتنطلق في الهواء منفصلة عن سطح اللوح الفلزي . اما اذا كانت كمات الضوء الواقعة على اللوح الفلزي ضعيفة بحيث لا تقوى على اطلاق الكهارب من سطح اللوح فان عملها يقتصر على إبعاد الالكترونات عن نويها قليلاً الى الخارج . والواقع ان الكهارب تنتقل فجأة من فلك الى آخر حيث يكون التجاذب اكثر تعادلا وتكون الطاقة اقل في المقدار ، فينطلق فرق الطاقتين بشكل ضوء ويسير على هيأة كم لا يقبل التجزئة . وبعبارة اخرى يقتصر عمل كمام الضوء في هذه الحالة على إبعاد كهارب الذرات الى الخارج بحيث تبقى فاعلية الارتباط الكهربائي

بينها وبين النواة ، وتكون الذرة عندها قد شُحنت بالطاقة من الكمات التي وقعت عليها . كذلك يكون الكهرب قد ابتعد عن النواة . وعندما يعود الكهرب الى مركزه الاصلي فجأة، يطلق للاثير تلك الطاقة التي اخذها منه وذلك باشعاع ضوئي. وفي حالة انطلاق الكهارب من سطح الفلز يُعبَّر عن ذلك بالمعادلة التالية :

الطاقة الحركية للكهرب = هـ × التردد — العمل

اي ان الطاقة الحركية للكهرب المنطلق تساوي طاقة الكم الواقع على اللوح بعد ان نأخذ منها كمية العمل اللازمة لفصل الكهرب عن النواة .

الفوتونات

ولكي نتفهم النظريات الحديثة لبناء الذرة يجب علينا ان ندرس باسهاب تقدم نظرية «الكم» في تفسير طبيعة الضوء. لقد رحّب العالم العلمي بنظرية اينشتين القائلة ان قوام الضوء قذائف من الطاقة او ما يسمى بكمات او فوتونات . وقد جاءت تجارب كومتون (Compton) وولسن تدعم هذه النظرية. فقد اثبت كومتون انه عندما تتفرق حزمة من الاشعة السينية من قطعة من الغرافيت تكون الحزمة المنعكسة من تردُّد اقل وذلك يعني نقصاً في الطاقة . وهذا النقص في الطاقة لا يمكن تفسيره بموجب النظرية القديمة التموجية ، لكن يمكن تفسيره كنتيجة لتصادم فوتونات مع كهارب ، كما تصطدم كريات البليار مع بعضها . هذا الاصطدام يجعل الكهارب تكسب الطاقة التي تفقدها الفوتونات . اما ولسن فقد اثبت انه عندما تمر الاشعة السينية الضعيفة في الغرفة الغائمة ، يحدث مسارات تشبه مسارات دقائق الفا المنبعثة من الراديوم . وقد استنتج ولسن من هذه المسارات ان هناك اصطدامات بين الكهارب والفوتونات .

الميكانيكا الموجية

تمكن العلماء من تفسير بعض الظاهرات التي ترافق الضوء والتي عجزت عنها النظرية

التموجية بواسطة النظرية الذرية . بقي هناك بعض الظاهرات في الضوء لم يكن بالامكان تفسيرها الا بواسطة النظرية التموجية . واهم هذه ظاهرة التداخل (Interference) . فعندما يدخل الضوء الى غرفة معتمة من ثقبين ضيقين محاذيين ويقع على شاشة بيضاء بعيدة عن هذين الثقبين ، يتكون على الشاشة مناطق مضيئة تفصلها ظلمة نسميها « هدب التداخل » (Interference Fringes) . هذا يؤلف انموذجاً من خطوط مضيئة تفصلها خطوط مظلمة . ذلك مسبب عن تداخل الموجات الصادرة من احد الثقبين والموجات الصادرة من الآخر . وتحدث المناطق المضيئة بسبب وقوع قمة من موجة على قمة من موجة اخرى . وتحدث المناطق المظلمة من وقوع قمة من موجة على قرار من موجة اخرى . هذه الظاهرة لم يمكن تفسيرها بالنظرية الذرية للضوء . لذلك نرى العلماء قد فسروا بعض الظاهرات بواسطة النظرية التموجية وبعضها بواسطة النظرية الذرية للضوء . فما العمل اذاً وكيف نقدر ان نفسر هذه المناقضات ؟ يظهر ان طبيعة الضوء تقتضي ان يكون هناك تركيب يجمع مابين هاتين النظريتين . فقد تعودنا ان نعتبر المادة مجموعة من الدقائق . وهناك بعض التجارب التي قام بها دافسن وجرمر وطمسن تثبت ان دقائق المادة تتصرف تصرف الامواج . لذلك صار الضوء في نظر العلماء اليوم مؤلفاً من فوتونات تسير بتموجات . والموجة هي التي تقرر مدى توزيع الفوتونات . اما قوة الموجة عند مركز ما فانها تتوقف على عدد الفوتونات الموجودة . والفوتون بصورته الحاضرة يشبه العنكبوت الذي يتألف من جسم وفروع تشبه الشبكة . والميكانيكا الموجية هي العلم الذي يُبنى على هذه الصورة الجديدة . فبموجب هذا العلم يكون لكل جسم في هذا الوجود موجة ترافقه لها خواص معلومة وهي ليست امواجاً طبيعية كالتي ترافق قطعة من الخشب على سطح الماء . وبمقتضى هذه الصورة يصبح الكهرب في انطلاقه مصحوباً بسلسلة من الامواج . وفي سنة ١٩٢٥ جرب لويس دي بروغلي (Louis de Broglie) احد العلماء الافرنسيين ان يطبق الصورة التموجية في سير الالكترون وذلك اثناء بحثه في طبيعة الضوء المزدوجة .

وكان قد تبين من الابحاث العديدة ان مسلك الكهرب لا يمكن تفسيره بانه حركة جسيم . وقد عوّل على بعض الاستنتاجات المستخلصة من نظرية النسبية التي ظهرت في السنين العشر الاول من القرن العشرين في تطبيقه نظرية الكم على الضوء . فجاءت اختباراته هذه بصورة جديدة للتركيب الذري . وبمقتضى هذه الصورة ينطلق الكهرب مصحوباً بموجة من الامواج فهو كالزورق الذي يسير في الماء تصحبه الامواج . لكن الكهرب تتقدمه وتسير وراءه مجموعة من الامواج وليس بالامكان تعيين مركز الكهرب وسط هذه المجموعة . ويقول نيلز بوهر ان الكهارب تدور حول النواة في افلاك معينة لكنه لا يبين تفسيراً معقولا لهذا الفرض . اما لويس دي بروغلي فانه يفسر هذه الظاهرة للكهرب على اساس ان هذه الافلاك لها مقادير معينة تتناسب مع مجموعة الامواج . هذا يعني ان كل فلك هو عدد كامل من الطول الموجي . فعندما يدور الكهرب في الافلاك المختلفة لا يكون ثم تداخل للامواج . وقد كانت هذه الصورة اساساً لفرع من فروع الفيزياء الرياضية .

وترسم الميكانيكا الموجية هذه صورة لداخل الذرة تختلف عن الصورة البسيطة التي رسمها نيلز بوهر . كذلك يختلف كهرب هذه الميكانيكا عن كهرب نظرية بوهر . ويقترح شرودنجر (Schrodinger) واضع هذه الصورة ان تهمل فكرة الجسيم التي رافقت الكهرب وان نحصر تفكيرنا بتموجات لا غير . فبدلا من تلك الكهارب الموزّعة في الافلاك حول نواة الذرة يرسم لنا شرودنجر صورة مجال كهربائي ينبض (Fluctuating) او صورة كرة كهربائية تنبض . وكل ذرة لها انواع مختلفة من النبضات (Pulsations) . اما انتقال الكهرب من حالة الى حالة اخرى فانه ينوب مناب قفزه من فلك الى آخر حسب نظرية بوهر . وقد تفوقت هذه النظرية على نظرية بوهر في تفسير الحقائق المتعلقة بمجموعات خطوط الاطياف ، لكنها فشلت عند معالجة كل لوحده . لذلك فضل العلماء ان يحتفظوا بالصورة التي رسمها دي بروغلي متخذين في الوقت نفسه معادلات شرودنجر .

وهكذا نرى ان الكهارب تعتبر جسيمات حقيقية تصحبها مجموعات من الامواج .

وبدلًا من كهارب تدور حول نواة الذرة نرسم صورة كهارب لها حركة اهتزازية بموجب معادلات موجية معقّدة . ومن المعادلات الموجية يتعين مركز الكهرب في جوف الذرة . وقد اتفق معظم علماء الفيزياء على ان هذه الموجات التي تصحب الكهارب هي خيالية ، اي انها لا توجد بالمعنى العادي المقصود من الكلمة . فهي صورة رياضية دقيقة لما يحدث . وقد اثبتت التجارب التي قام بها دافسن وجرمر سنة ١٩٢٨

شكل (١٦)
تداخل موجات الضوء الابيض

شكل (١٧)
تداخل الكهارب بواسطة قشرة من الفضة

ان سيلًا من الكهارب له خواص الحركة الموجية . اذ ان التصوير الفوتوغرافي للكهارب المنعكسة عن بلورة ما كشف عن طبقات حيود .

ويعتبر بعض علماء الفيزياء موجات الكهرب موجات احتمالية (Probability). ففي حديثنا عن الموجات المادية نتأكد من وجود هذه الموجات . فالموجة الحرارية مثلًا يقصد بها الشيء الذي يرفع حرارة ما يقع عليه على الرغم من ان الموجة الحرارية ليس لها صفات المادة . اما الموجات الكهربية فانها ليست سوى موجات احتمال يتوقف عليها تعيين مركز الكهرب في جوف الذرة .

الفصل الثامن

تحطيم الذرة . تحولات عنصرية

فجر تحطيم الذرة

لم تكن القنبلة الذرية سوى نتيجة للاختبارات العديدة التي قام بها العلماء في حقل تحطيم الذرة واطلاق الطاقة الذرية من عقالها . ومن جملة ما اتحفتنا به هذه الاختبارات هو تحويل عنصر الى عنصر آخر وتحويل بعض العناصر غير المشعة الى عناصر مشعة تقوم مقام الراديوم في معالجة داء السرطان وغيره . والراديوم كما لا يخفى نادر الوجود في الطبيعة . لذلك كان تحويل المواد غير المشعة الى مواد مشعة فتحاً عظيماً في العالم الذري .

يقصد من تحطيم الذرة تحطيم نواتها لمعرفة ما في داخلها . وذلك يقتضي قذائف تطلق على النواة بزخم كاف لتحطيمها ، كما انه يقتضي هدفاً من الذرات التي يطلب تحطيمها كلوح رقيق من البلاتين او التنجستن او قطعة من الفوصفور . ولمعرفة ما يحدث من تصادم هذه القذائف بالذرات المقصود تحطيمها كان لا بد من جهاز يبين نتيجة هذا التصادم . وعندما نفكر بحجم هذه الجسيمات التي نحن بصددها ندرك بلا شك الصعوبات العديدة التي كان على الباحثين ان يجابهوها . وبالرغم من ان قطر اكبر الذرات يبلغ جزءاً من مائة مليون جزء من البوصة فان العلماء قدروا ان يطبقوا القوانين الميكانيكية للتصادم بين هذه الجسيمات كما يطبقونها في تصادم كرات العاج في لعبة البليار او غيرها من الاجسام .

كان العلماء يؤملون ان يأتي يوم تطلق فيه الطاقة الذرية من عقالها وتصبح صالحة للاستعمال في حقل الصناعة والتجارة . لكنهم كانوا يرون ذلك اليوم بعيداً جداً . فحولوا جهودهم ليكشفوا عن اسرار التركيب الذري الذي هو بالحقيقة اساس اسرار الوجود . وهذه الكشوف هي التي كشفت عن سر الطاقة الذرية التي ستصبح

قريباً شائعة الاستعمال كغيرها من انواع الطاقة . وكثيراً ما نقلل من قيمة بعض هذه الكشوف لانها لا تأتينا بنتيجة عملية بحتة ، مع اننا نعلم تمام العلم ان ما نستفيد به من اكتشافات واختراعات اليوم ليس سوى تطبيق لما اثبتته العلوم النظرية بالامس . واذا راجعنا تاريخ نشوء العلم وتقدمه نجد ان اكتشافاً بسيطاً جداً بالامس كان اساس علم واسع اوصلنا للتغلب على صعوبات عديدة في حياتنا اليوم . فالمولدات الكهربائية العظيمة التي تمد المدن الكبرى بالطاقة الضوئية والميكانيكية هي نتيجة ما اتحفنا به علم الكهرباء القائم على اكتشاف بسيط جداً كما نفهم من تاريخ العلم . والامثال على هذا كثيرة لا لزوم لسردها .

ينقسم علم الفيزياء الى قسمين رئيسيين . فهناك الفيزياء النظرية والفيزياء التجريبية وكل منهما مكمل للآخر ولازم له . وكثيراً ما نرى نظرية تظل قيد الشك حتى تأتي التجارب لتدعمها وتثبتها . كما ان هناك تجارب اوحت نظريات جديدة . ومن علماء الفيزياء من صرفوا معظم جهودهم في ناحية واحدة من هاتين الناحيتين . ومن الغريب ان نرى التجارب والنظريات تتلاقى وتؤكد الواحدة منها الاخرى ، بالرغم من ان الطريقتين تختلفان تماماً . فبين نرى احد العلماء يستخلص نتيجة مبنية على دراسة رياضية بحتة ، نرى الآخر يأتينا بنفس النتيجة عن طريق التجارب . ومما تقدم وما سيلي ندرك اهمية التجارب العديدة التي اتتنا بالعجائب في حقل الذرة والتي فتحت افاقاً واسعة امام الباحثين . على رأس الفئة التي عملت في حقل الفيزياء التجريبية اللورد رذرفورد الذي سار في مقدمة العاملين في تحطيم الذرة . وعلى رأس الفئة التي عملت في الحقل النظري العالم اينشتين صاحب نظرية النسبية المشهورة . لهذين يعود الفضل الاكبر في الكشف عن الطاقة الذرية التي اصبحت الشغل الشاغل للعالم اجمع بعد ان ألقيت القنبلة الاولى على هيروشيما في اليابان .

رذرفورد يحطم الذرة بفذائف الفا

بدأ رذرفورد اختباراته في تحطيم الذرة في معمل كافندش التابع لجامعة كمبردج وكان قد حصل على جائزة نوبل للفيزياء سنة ١٩٠٨ نظراً لابحاثه العظيمة الفائدة في طبيعة الاشعاع الراديومي التي بدأت رأساً عند اكتشاف الراديوم سنة ١٨٩٨ . واول

شيء اكتشفه هو ان هذه المواد المشعة تبعث ثلاثة انواع من الاشعاع تعرف باشعة الفا وباتا وغما . ثم اعلن في سنة ١٩٠٣ بالاشتراك مع فردريك صدي (Soddy) ان العناصر المشعة كالاورانيوم والثوريوم والراديوم وغيرها يطرأ عليها شيء من التحول عند اطلاق هذه الاشعة ، اي انها تتحول من عنصر الى عنصر آخر .

لم يقف رذرفورد عند هذا الحد في اكتشافاته بل كانت هذه حافزاً له ليذهب الى ابعد من ذلك شأن العباقرة الذين لا يقفون عند حدّ في تنقيبهم وتفتيشهم عن الحقائق العلمية . وهكذا نراه يتجه لدرس خواص دقائق الفا التي تنطلق من الراديوم فيثبت لنا ان هذه الدقائق تنحرف بعض الانحراف عن مساراتها الاصلية عندما تمر في لوحة رقيقة من الميكا (Mica) . وجاء جيجر (Geiger) احد معاونيه بعده ببضع سنوات يقول ان هذه الانحرافات تزداد عندما تمر هذه الدقائق بقشرة رقيقة من الذهب . فضلاً عن ذلك تبين من اختبارات تلت انه في بعض الحالات ترتد هذه الدقائق بدون ان تنفذ من قشرة الذهب . هذه النتائج جعلت رذرفورد يعتقد ان الدقائق ترتد بسبب اصطدامها مع دقائق اخرى . ومن حسابات دقيقة تبين له ان هذا التراجع لا يمكن ان يحدث الا اذا كانت كتلة الذرة منحصرة في حيز ضيق جداً وهو النواة . هذه الفكرة كانت اساس الصورة الحديثة للذرة التي اشرنا اليها سابقاً في التركيب الذري . وقد استمر رذرفورد في ابحاثه هذه حتى توصل الى تحطيم الذرة او فلقها في سنة ١٩١٩ بعد نهاية الحرب العالمية الاولى التي اخذت القسم الاكبر من وقته في العمل لخدمة بلاده اثناء الحرب .

اخذ رذرفورد انبوباً من الزجاج وملأه بغاز النتروجين ووضع في وسط الانبوب كمية ضئيلة من ملح الراديوم . وعند احد طرفي الانبوب وضع حاجزاً من مادة متفلورة (Fluorescent) امام مجهر يمكّنه من دراسة ما يحدث في ذلك الحاجز . ولما كان لدقائق الفا مدى محدود تمكن رذرفورد من وضع الحاجز على مسافة لا تسمح بوصول دقائق الفا اليه . لكنه بالرغم من ذلك كان يرى بواسطة المجهر تألقاً على الحاجز مما جعله يعتقد ان هناك دقائق يزيد مداها على مدى دقائق الفا . وقد تبين ان هذه الدقائق هي بروتونات يحمل كل منها وحدة كهربائية موجبة كما هي الحال في

نواة ذرة الايدروجين . من هذا استنتج ان دقائق الفا تقع على ذرات النتروجين ويحدث اصطدام بينها وبين نوى هذا الغاز فتنفصل عنها البروتونات او نوى الايدروجين . وقد اثبتت التجارب التي تلت صحة هذا الاستنتاج الذي يعبَّر عنه بالمعادلة التالية :

نواة الذرة + جسيم الفا = نواة ذرة اخرى + بروتون او بعبارة ذريَّة :

(٧) نتروجين (١٤) + (٢) هليوم (٤) = (٨) اكسجين (١٧) + (١) ايدروجين (١)

ويرمز العدد الذي يتقدم العنصر الى العدد الذري والعدد الذي يتبعه الى الوزن الذري . ويتم التوازن بين طرفي المعادلة بجمع الاعداد الذرية اي ٧ مع ٢ وجمع ٨ مع ١ . كذلك بجمع الاوزان الذرية اي ١٤ مع ٤ وهذا الجمع يساوي جمع ١٧ مع ١ .

يتضح من هذا ان التحطيم الصناعي للنواة يختلف عن تحطيمها الطبيعي بانحلالها كما يحصل في العناصر المشعة . ففي هذه الطريقة نحصل على بروتونات . اما في الانحلال الطبيعي فاننا نحصل على جسيمات الفا او باتا . وقد توصل رذرفورد وغيره الى تحطيم الذرة او تفكيكها في عناصر عديدة . ولم يكن ذلك مقتصراً على الغازات بل تعداها الى تصويب دقائق الفا على صفائح رقيقة من المعادن كالالومينيوم وغيره . لكن القذائف التي استعملت لهذا التاريخ كانت من نتاج الطبيعة وهي تلك المنطلقة من المواد المشعة اي دقائق الفا . هكذا ترى ان رذرفورد هو اول من تمكن من تحويل عنصر الى عنصر آخر بصورة اصطناعية . اما الذرة الناتجة من هذا التصادم فقد تبين من التجارب التي تلت انها ذرة اكسجين . والمعروف ايضاً ان جسيم الفا هو نواة ذرة الهليوم ، والبروتون هو نواة ذرة الايدروجين . لذلك صار بالامكان وضع المعادلة السابقة التي تبين ان جسيم الفا يتحد مع الذرة ويقذف بروتوناً واحداً . فينتج عن ذلك زيادة ٣ في كتلة الذرة وزيادة واحد في شحنتها . ولما كانت نوى الذرات هي اساس هذا التفاعل اطلق على هذا العلم الجديد اسم الكيمياء الذرية والفيزياء الذرية . وقد لاحظ رذرفورد هذا الحدث في كل العناصر بين البورون (Boron) والبوتاسيوم ما عدا الكربون (Carbon) والاكسجين .

وتكون النتيجة ابرز واظهر ، وتكون البروتونات ذات مدى ابعد ، عندما تكون العناصر ذات اعداد ذرية شفعية

كوكرفت يحطم الذرة بالبروتونات

لكن هذه القذائف ، اي دقائق الفا ، لم تكن مرضية للغاية لانه كان من الضروري اطلاق نحو مليون منها لتحصل اصابة واحدة مع نوى الذرات . هذا امر فيه كثير من الاسراف واضاعة الجهود . لذلك جد العلماء في التفتيش عن قذائف افضل من هذه ، تفوقها في الكتلة ويمكن اطلاقها بسرعة فائقة . كان كوكروفت (Cockroft) احد تلامذة رذرفورد الذين اظهروا براعة فائقة في المباحث الخاصة بالذرة وكان يجرب ان يحطم ذرة الليثيوم باطلاق البروتونات عليها بعد ان تُعطى هذه البروتونات زخماً كبيراً مستمداً من طاقة كهربائية عالية الجهد . ومن تجاربه التي قام بها مع زميله والتن (Walton) توصل الى النتيجة التالية :

نواة الذرة + بروتون = نواة ذرة اخرى + جسيم الفا (نواة الهليوم)

فالذرة التي تحطمها القذائف البروتونية تطرد نواة الهليوم . واذا قابلنا هذه المعادلة بالمعادلة السابقة نجد وجه الشبه بينهما ، اذ ان ما يحصل من معادلة واحدة يكون اساس المعادلة الاخرى .

اما هذه القذائف ، اي البروتونات ، فهي من اشهر القذائف المستعملة وليست سوى ذرات الايدروجين مجردة من كهاربها بالتأيين . وذرة الايدروجين هي الوحيدة بين الذرات التي تحتوي كهرباً واحداً ولذلك كان من السهل تأيينها بسهولة . فبعد ان تجرّد ذرات الايدروجين من كهاربها عن طريق الاصطدامات الالكترونية ، تمر في جهاز خاص يعرّضها لفعل مجال كهربائي يعطيها سرعة كبيرة ، فتكون طاقة هذه القذائف متوقفة على قوة المجال الكهربائي . ولكي تحصل طاقة من هذه البروتونات تعادل طاقة دقائق الفا كان يلزم جهد كهربائي يساوي ملايين من

الفولطات . اما طاقة دقائق الفا المستعملة في تحطيم الذرة فانها تساوي نحو ثلاثة ملايين الكترون – فولط . لذلك نرى الكثيرين من الباحثين يحصرون جهودهم بين سنة ١٩٢٨ وسنة ١٩٣٢ لايجاد انابيب للتفريغ تستعمل عندما يبلغ الجهد الكهربائي نحو عشرة ملايين فولط . وقد توصل العالم ارنست اورلندو لورنس (Lawrence) الى استنباط جهاز يدعى المدار الرحوي (Cyclotron) الذي مكن العلماء من اطلاق الدقائق المادية الصغيرة بزخم قوي فتحطم الذرة عند الاصطدام بها . واطلاق الدقائق المادية الصغيرة بهذا الزخم القوي على نوى الذرات المختلفة ساعد على تحويل بعض العناصر غير المشعة الى مواد مشعة تستعمل في حقل الطب بدل العناصر النادرة في الطبيعة كالراديوم . وقد كان لورنس في مقدمة العلماء بتحقيق الاشعاع الصناعي .

تحطيم ذرة الليثيوم

تبين من التجارب التي اجريت على عنصر الليثيوم ، وهو العنصر الثالث في الخفة ، ان هذا العنصر يتمكن من مقاومة جسيمات الفا عندما تطلق عليه . لذلك لا يمكن ان ينبعث اي بروتون عند تحطيم ذرة الليثيوم باطلاق قذائف الهليوم عليها . اما اذا أطلقت القذائف البروتونية على الليثيوم فانه ينتج من ذلك تلف في الذرة ، اي انها تتحطم . وقد تبين ان كل اصابة بين البروتون وبين ذرة الليثيوم سببت انطلاق جسيمين من جسيمات الفا يحملان قدراً عظيماً من الطاقة كما يظهر من المعادلة التالية :

(٣) ليثيوم (٧) + (١) يدروجين (١) = (٢) هليوم (٤) + (٢) هليوم (٤) + طاقة

وتفسير هذه الظاهرة يضطرنا للرجوع الى علم الكيمياء وما نعرفه عن عنصر الليثيوم . فهذا العنصر ، الثالث في الجدول الذري والثالث في الخفة ، له وزن ذري متوسط يساوي ٦,٩٤ ، وهو خليط من نظيرين وزناهما الذريان ٦ و ٧ . والنظير الاكثر وزناً هو الاكثر وجوداً في هذا العنصر . فيمكننا ان نستنتج ان لهذا النظير (وزنه الذري ٧) نواة لها التركيب التالي :

نواة الليثيوم = جسيم الفا + ٣ بروتونات + كهربان

فعندما يحطّم الليثيوم بهذه القذائف البروتونية، يستقر البروتون في النواة فتتكون نواة جديدة لها التركيب التالي :

جسيم الفا + ٤ بروتونات + كهربان .

لكن (٤ بروتونات + كهربان) تُكوّن معاً جسيم الفا، فتكون النتيجة لهذا التحطيم :

نواة الليثيوم + بروتون = جسيمي الفا

وهناك طريقة اخرى للتعبير عن هذا التفاعل وهي ان هذا النظير له التركيب التالي :

نواة الليثيوم = ٤ نيوترونات + ٣ بروتونات

فعندما يستقر البروتون في النواة يكون تركيب النواة الحاصلة :

٤ نيوترونات + ٤ بروتونات

لكنّ جسيم الفا يتألف من بروتونين ونيوترونين فتكون النتيجة لهذا التحطيم :

نواة الليثيوم + بروتون = جسيمي الفا .

اكتشاف طاقة هائلة . المادة نوع من الطاقة

والجدير بالملاحظة هنا في هذه التفاعلات امر يتعلق بالطاقة التي ترافق الجسيمات . فان لجسيمي الفا الحاصلين في هذا التحطيم سرعة عظيمة جداً . واول شيء يمكن استنتاجه هو ان طاقة حركة القذيفة البروتونية يساوي طاقة اثنين من دقائق الفا . لكن التجارب والنتائج الحاصلة منها اثبتت ان هذه الطاقة ، اي طاقة دقائق الفا، هي اكبر كثيراً من طاقة القذائف البروتونية المسببة لانطلاق دقائق الفا . اذ انه قد ثبت من ابحاث كوكروفت ووالتن ان مدى جسيمات الفا هذه هو ٨،٤ سم . وان هذا المدى لا علاقة له بطاقة البروتونات المهاجمة . اما جسيمات الفا التي لها هذا المدى المدى فان طاقة كلّ منها تبلغ ٨،٦ مليون الكترون – ڤولط . اما طاقة البروتون المهاجم هنا فانها تبلغ بضع مئات الالوف الكترون – ڤولط . فما هو مصدر هذه الطاقة الهائلة التي ترافق انطلاق جسيمي الفا في هذا التفاعل ؟ ان المصدر الوحيد لهذه الطاقة الهائلة هو جوف المادة ولا مجال للتفتيش عن مصدر آخر . فعندما تصطدم النيوترونات

بنواة ذرة بقوة تمكّنها من اختراق الحد الذي تتحول عنده قوة التدافع الى قوة تجاذب في النواة ، يندمج البروتون في النواة التي يصطدم بها ، وفي خلال هذا الاندماج يتحول جانب ضئيل من الكتلة الى طاقة . فطاقة حركة نواة الهليوم ، اي جسيم الفا ، ناتجة عن استحالة جزء ضئيل من الكتلة الى طاقة . وقد ثبت من التجارب العديدة ان تكوين جسيم الفا يرافقه نقص في الكتلة فتكون النواة الحاصلة اخف قليلاً من مجموع اوزان الاجزاء التي تتألف منها لان كل جزء من اجزائها يكون اخف قليلاً بعد اندماجه منه قبل الاندماج . فوزن نواة الليثيوم يساوي ٧،٠١٦٥ ووزن البروتون يساوي ١،٠٠٧٦ فيكون وزن الاثنين ٨،٠٢٤١ . اما وزن جسيم الفا فهو ٤،٠٠٢٨ ووزن جسيمي الفا ٨،٠٠٥٦ فيكون الفرق :

٨،٠٠٥٦ — ٨،٠٢٤١ = ٠،٠١٨٥ من وحدة الكتلة (وحدة الكتلة تساوي ١،٦٦×١٠^-٢٤ غرام) او ما يعادل ٣،٠٧×١٠^-٢٦ غرام . وهذا هو قدر المادة الذي أتلف في هذا التفاعل الذري .

ومن معادلة اينشتين يكون لنا :

الطاقة = ٣،٠٧×١٠^-٢٦ × مربع (٣×١٠^١٠) = ٢٧،٦×١٠^-٦ ارج لكل ذرة من ذرات الليثيوم . وهذا المقدار من الطاقة يعادل ١٧ مليون الكترون — فولط التي ترافق جسيمي الفا في هذه العملية . وقد جاء هذا مثبتاً لاحدى نتائج نظرية النسبية القائلة بان المادة هي نوع من الطاقة وبابادة جزء من المادة يحصل مقدار من الطاقة بموجب المعادلة :

الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء

فالغرام الواحد من المادة اذا ابيد يعطي طاقة مقدارها :

١ × مربع (٣×١٠^١٠) من الارجات

وبابادة نقطة واحدة من الماء وتحويلها الى طاقة نحصل على مقدرة مائتي حصان لمدة سنة .

لقد كان هذا الكشف العظيم حافزاً للتفتيش عن تلك الطاقة المخزونة في المادة حولنا والتي تغنينا عن الطاقة الكامنة في الفحم والبترول وغيرها من مصادر الطاقة

كالشلالات المائية . لذلك نرى الابحاث عن الطاقة الذرية تحتل المرتبة الاولى في ميزانيات الدول التي تحتاج دوماً الى الطاقة لتموين اساطيلها وجيوشها ، كما انها استخدمتها وستعول عليها في كسب المعارك في الحروب المقبلة . وليس غريباً ان نرى ٦٠٠٠ من العلماء الاميركيين اثناء الحرب العالمية الكبرى الثانية يعملون في مئات المختبرات لتحقيق اطلاق الطاقة الذرية من عقالها . ويقدَّرُ المبلغ الذي انفق في تحقيق القنبلة الذرية بمليونين من الدولارات . ولا تزال الابحاث مستمرة في هذا الحقل لتحويل فوائد الطاقة الذرية الى نواحي الحياة المختلفة . وهناك مبالغ ضخمة قد خصصت للتنقيب في حقل الفيزياء والكيمياء والطب ، كما انه قد خصصت مبالغ اخرى لابحاث في الطاقة الذرية وتعميم استعمالها .

ولكي ندرك الصعوبات التي تعترض العلماء في توليد الطاقة الذرية هذه واستخدامها ، نعود الى التركيب الذري . فان نسبة قطر النواة الى قطر مجموع الذرة هي واحد الى ١٠٠٠٠ . فتكون نسبة مقطوع مساحة النواة الى مقطوع مساحة الذرة واحداً الى ١٠٠٠٠٠٠٠٠ . ومعنى هذا انه عندما يمر البروتون في داخل ذرة الليثيوم يكون احتمال وقوع التصادم بين البروتون وبين نواة الليثيوم واحد الى ١٠٠٠٠٠٠٠٠ . ولما كانت شحنة البروتون موجبة ، وكذلك شحنة نواة الليثيوم ، كان احتمال وقوع التصادم اقل من هذا بسبب التدافع بينهما . كذلك يصطدم البروتون بالكهارب التي تدور في افلاكها ويفقد حركته بعد ان يكون قد اجتاز ١٠٠٠٠٠٠٠ ذرة . اذاً يكون احتمال وقوع التصادم بنسبة ١٠٠٠٠٠٠٠ الى ١٠٠٠٠٠٠٠٠ او واحداً الى ١٠٠٠ . ومهما كانت الطاقة الذرية المنطلقة كبيرة فانها لا تعادل الطاقة التي تصرف لاعطاء البروتونات زخمها اللازم اذ ان التصادم يقع مرة لكل الف . يستدل من هذا ان الطاقة الذرية يمكن الاستفادة منها في الابحاث العلمية فقط .

اكتشاف النيوترون . قذائف جديدة

نرى مما تقدم ان تجارب رذرفورد كانت بداية عصر جديد في تحطيم الذرة والحافز للتجارب العديدة في المختبرات العلمية . وقد استعملت قذائف عديدة في تحطيم الذرة وفي

التنقيب عن تركيب نوى الذرات . فالبروتونات ودقائق الفا التي استعملت في شتى حقول الفيزياء الذرية هي موجبة الشحنة ومن المنتظر ان يحدث تدافع بينها وبين نوى العناصر المختلفة الموجهة اليها . لذلك كان من الضروري ان تسير هذه القذائف بسرعة هائلة لتتمكن من الدخول الى حيز النواة وتصطدم بها . هذا جعل العلماء يفكرون بالاجهزة العديدة القوية التي تعطي هذه القذائف تلك السرعة وذلك الزخم العظيم . وفي كثير من الاحيان كانت سرعة القذيفة تقترب من سرعة الضوء .

كان رذرفورد قد لاحظ من نتائج تجاربه في تحطيم النواة بواسطة دقائق الفا ان البريليوم ، وكذلك الهليوم والليثيوم ، هو من العناصر التي لا ينبعث منها بروتونات عندما تحطّم نويها بواسطة دقائق الفا التي هي نفس نوى الهليوم . وفي سنة ١٩٣٠ توصل عالمان المانيان ، وهما بوت (W. Bothe) وبكر (H. Becker) ، الى اكتشاف اشعاع جديد عندما تطلق قذائف الفا السريعة المنبعثة من عنصر البولونيوم على بعض العناصر الخفيفة كالبريليوم والبورون والليثيوم . اما هذا الاشعاع البريليومي فانه يختلف عن انواع الاشعاع المعروفة وله قوة نفاذ هائلة ، اذ انه يخترق لوحاً من الرصاص سماكته ٦ سنتيمترات ويخرج بنصف قوته . ظن العلماء في بادىء الامر ان هذه الاشعه هي من نوع اشعة غما بالرغم من انها اشد نفاذاً . وفي سنة ١٩٣٢ اعلنت ايرين كوري بالاشتراك مع زوجها ف. جوليو انه عندما تقع هذه الاشعة على الشمع (Paraffin) او اي مركب يحتوي عنصر الايدروجين تنطلق من ذلك المركب بروتونات بطاقة هائلة . لم تكن هذه الحقيقة لتنافي اعتبار الاشعة الجديدة من نوع اشعة غما ، لكن التحليل الحسابي للنتائج لم يأت موافقاً لهذا الفرض . وكان شادويك (سنة ١٩٣٢) يبحث في معمل رذرفورد فانصرف الى درس هذه الاشعة الجديدة واطلق عليها اسم الاشعة النيوترونية التي تتألف من سيل من النيوترونات . وهذه النيوترونات لها كتلة البروتونات تقريباً ولا تحمل شحنة كهربائية . لذلك لا يحصل تدافع بينها وبين نوى الذرات التي تقع عليها بل بالاحرى يسهل اتصالها بهذه النوى الموجبة الشحنة . ولما كانت النيوترونات لا تحمل شحنة كهربائية كان من الصعب تصويرها او التحكم بسرعتها ، بخلاف الجسيمات المكهربة التي يمكن تصويرها بواسطة

مساراتها في الغرفة الغائمة والتي يمكن التحكم بسرعتها بواسطة مجال كهربائي او مغنطيسي . فلم يبق ثمة وسيلة للتحكم بسرعتها سوى وضع نوى الذرات في سبيلها ، الامر الذي يجعلها تبطيء او تنحرف او تكون عرضة للامتصاص بسبب التصادم . وهذا الامر له اهميته العملية في التفاعلات المتعلقة بالطاقة الذرية كما سيظهر في الفصول التالية .

معلوم ان الوزن الذري لعنصر البريليوم هو (٩) وعدده الذري (٤) . فبموجب هذا :

نواة البريليوم = جسيمي الفا + بروتون + كهرب

ويذهب شادويك الى القول بان الكهرب والبروتون مقيمان في نواة البريليوم متحدين فيها بصورة نيوترون فتصبح المعادلة اذاً :

نواة البريليوم = جسيمي الفا + نيوترون

وعند تحطيم نواة البريليوم بواسطة قذائف الفا تستقر القذيفة في النواة وينطلق النيوترون منها وتصبح المعادلة كما يلي :

نواة البريليوم + جسيم الفا = ٣ جسيمات الفا + نيوترون (شارد)

ولما كان الكربون هو العنصر الوحيد الذي يحتوي على ٣ جسيمات الفا صار بالامكان وضع المعادلة بالشكل التالي :

(٤) بريليوم (٩) + (٢) هليوم (٤) = (٦) كربون (١٢) + (٠) نيوترون (١)

وقد تبين ان هذا الاشعاع البريليومي الذي يتألف من نيوترونات يحصل من عناصر اخرى كالليثيوم والبورون كما يظهر من المعادلات التالية :

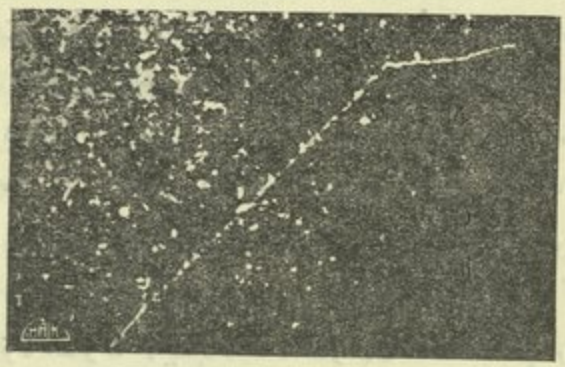
(٥) بورون (١١) + (٢) هليوم (٤) = (٧) نتروجين (١٤) + (٠) نيوترون (١)

(٣) ليثيوم (٧) + (٢) هليوم (٤) = (٥) بورون (١٠) + (٠) نيوترون (١)

مما تقدم يمكننا ان نفرض ان النيوترون يدخل فعلا في تكوين النواة وان الكهارب في النواة متحدة دائماً مع بروتوناتها على صورة نيوترونات . فاذا اضيف نيوترون الى نواة عنصر ما لا يتغير ذلك العنصر لان الشحنة لم تتغير وانما يحدث تغير في الوزن الذري . وتعرف بالنظائر تلك العناصر التي تختلف ذراتها في عدد ما تحويه من نيوترونات فقط .

تحطيم الذرات بواسطة النيوترونات

كان اسرع الناس الى استعمال هذه النيوترونات كقذائف ذرية العالم الايطالي انريكو فرمي (Fermi) . ثم شاع استعمالها في الاوساط العلمية الاميركية وغيرها . اما نتائج اطلاق هذه القذائف على نوى الذرات فقد جاءت شبيهة بما تقدم في تحطيم الذرة . فتولدت عناصر جديدة من عناصر اخرى . كذلك تولد نظائر مشعة من عناصر متعددة . وقد ذكرنا سابقاً انه كان يُشترط في القذائف ان تكون عظيمة السرعة ليكون لها زخم كاف يؤهلها من الدخول الى حيز النواة . لذلك جرت التجارب الاولى بالنيوترونات التي اعطيت سرعة هائلة . لكن لم يمضِ وقت طويل حتى ادرك الباحثون ان النيوترونات البطيئة كانت افعل من السريعة . وقد وجد فعلا ان اشد النيوترونات تأثيراً كانت تلك التي تجري بسرعة ذرات الغاز العادية . وعندما تدخل هذه النيوترونات البطيئة حيز النواة يحصل تغيير جوهري . فاذا كان اتحاد النيوترونات بالنواة من النوع المستقر ، يبقى النيوترون داخل النواة ويتولد نظير لذلك العنصر . واذا كان الاتحاد غير مستقر تنحل النواة الجديدة وتطلق بوزيترونات او كهارب واشعة غما . ويتولد بعض الاحيان عنصر مشع وهذا بدوره يطلق بوزيترونات او كهارب واشعة غما .



شكل (١٨)

تحطيم ذرة النيون بواسطة النيوترونات

كان مصدر النيوترونات التي استعملها انريكو فرمي في تحويل عدد كبير من العناصر انبوباً من الزجاج يحوي بعض الراديوم ، الذي يطلق اشعة الفا ، وبعض البريليوم بصورة مسحوق . كان معدل انبعاث دقائق الفا بواسطة هذا الجهاز ٢ × ١٠^١٠ في الثانية وكان معدل انطلاق النيوترونات ٣٠ لكل مليون من دقائق الفا التي وقعت على البريليوم . ولما كان من الضروري تخفيف سرعة النيوترونات لتكون اشد فاعلية في تحطيم الذرة جعلها فرمي تمرُّ في مواد غنية بالايدروجين او الكربون . وبسبب الاصطدامات العديدة بين هذه النيوترونات وذرات الايدروجين تنقص طاقة النيوترونات فتنقص سرعتها . وقد ادّت النيوترونات خدمات لا تحصى في تحويل العناصر وتحطيمها . ومن اهم النتائج التي حصلت بواسطة النيوترونات هي تلك المتعلقة بالاورانيوم وهو اثقل عنصر في الطبيعة ووزنه الذري (٢٣٨) وعدده الذري (٩٢) . قال انريكو فرمي ان بالامكان جعل بعض النيوترونات تنفذ الى داخل النواة وتبقى هناك . وبعد ان ينطلق بوزيترون او كهرب او كسرة ضئيلة يتولد عنصر جديد اثقل من الاورانيوم (٢٣٨) . وقد اجرى فرمي اختبارات عديدة قبل ان توصل لتحقيق هدفه هذا . فكانت نتيجة تصويب القذائف النيوترونية الى الاورانيوم ظهور نظير جديد له . وهذا النظير كان مصدر ظهور عنصر جديد مشع وهو الثالث والتسعون (عدده الذري ٩٣) في جدول العناصر . هكذا تمكن فرمي من خلق عنصر جديد لم يكن معروفاً سابقاً على ارضنا هذه . لقد كان العالم عندها على عتبة اطلاق الطاقة الذرية من عقالها ، لكن لم يخطر ذلك ببال احد . وفي المعادلات التالية تظهر التفاعلات هذه :

(٩٢) اورانيوم (٢٣٨) + (٠) نيوترون (١) = (٩٢) اورانيوم (٢٣٩)

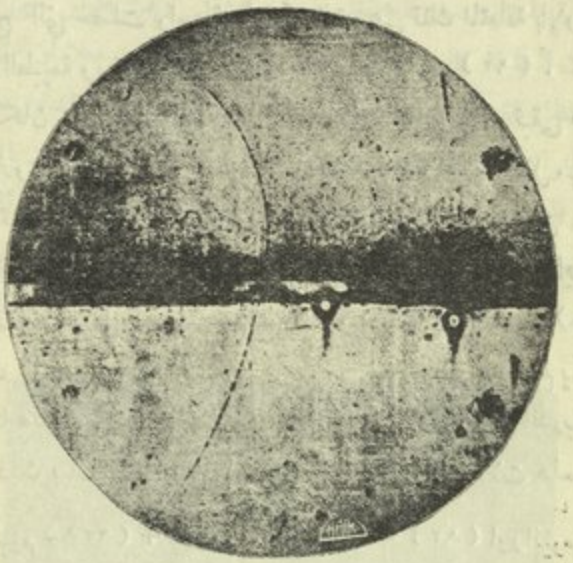
(٩٢) اورانيوم (٢٣٩) = (٩٣) نبتونيوم (٢٣٩) + (ـ١) كهرب (٠) + اشعة غما

(٩٣) نبتونيوم (٢٣٩) = (٩٤) بلوتونيوم (٢٣٩) + (ـ١) كهرب (٠) + اشعة غما

اكتشاف البوزيترون

في نفس السنة التي اكتُشف فيها النيوترون اكتُشف جسيم آخر وهو البوزيترون . ففي اليوم الثاني من شهر اوغسطس من السنة نفسها كان اندرسن من معهد كاليفورنيا

التكنولوجي يدرس الاشعة الكونية بواسطة حجرة ولسن الغائمة موضوعة في مجال مغنطيسي قوي . ومعلوم ان الكهرب والبروتون وكل جسيم يحمل شحنة كهربائية يترك اثراً وراءه يدل عليه في تلك الحجرة. ومن مدى تغيير هذه المسارات الواقعة تحت تأثير مجال مغنطيسي يمكن الوصول الى معرفة سرعات هذه الجسيمات وكتلها . وقد حصل اندرسون على الصورة الفوتوغرافية (شكل ١٩) التي تبين بجلاء ان هناك جسيماً قد ترك الاثر الظاهر في الصورة. كان المعروف لذلك الوقت ان الانبعاث الثانوي المسبَّب عن الاشعة الكونية يتألف من كهارب سريعة جداً وبروتونات وفوتونات ،



شكل (١٩)

اكتشاف البوزيترون . اندرسن

وربما كان هناك ايضاً نيوترونات ودقائق الفا . اما المسار المبين في الصورة فان له خواص مسار جسيم باتا ، الاّ ان انحناءه هو في الجهة المعاكسة . يستنتج اذاً ان هذا الجسيم يحمل شحنة موجبة لكن كتلته اصغر جداً من كتلة البروتون . وقد

دعي هذا الجسيم الكهرب الموجب او البوزيترون .

في وسط الحجرة الغائمة كان يقوم لوح من الرصاص سماكته ٦ ملليمترات يقصد منه تأخير الجسيمات السريعة وانقاص سرعتها . وقد تمكن هذا البوزيترون من النفاذ الى الجهة الثانية كما يظهر في الصورة . لكن دقائق الفا وباتا التي تنبعث من المواد المشعة ليس لها قوة النفاذ هذه . اما اشعة غما والنيوترونات فيمكنها ان تنفذ من لوح كهذا لكنها لا تحمل شحنة كهربائية . ومن مقدار انحناء المسار يظهر ان الجسم قد فقد شيئاً من طاقته عند نفاذه من اللوح وانه يسير صعوداً اي من اسفل الى فوق وانه موجب الشحنة . وبعد درس طويل يتعلق في الكتلة والشحنة توصل اندرسون للقول بان هذا الجسيم يعادل الكهرب في الكتلة تقريباً وانه يحمل شحنة موجبة تعادل شحنته وربما كان مصدر هذا الجسيم اسفل الحجرة بسبب تصادم مع الاشعة الكونية . اما طاقته الاصلية فانها تساوي ٦٣ مليون الكترون – ڤولط ، فقد منها ٤٠ مليون الكترون – فولط اثناء نفاذه ، وخرج من اللوح بطاقة تبلغ ٢٣ مليون الكترون – ڤولط . وقد صار بالامكان الحصول حين الحاجة على هذه البوزيترونات باطلاق النيوترونات المنبعثة من البريليوم على لوح من الرصاص .

اكتشاف الديوترون (Deuteron)

صرف علماء الكيمياء جهوداً تذكر في درس نسب الاوزان الذرية ، واخصها تلك النسبة بين الايدروجين والاكسجين . وعندما اكتشفت النظائر الثقيلة للاكسجين اتجهت الافكار للتفتيش عن نظير للايدروجين . وقد ادت التجارب والابحاث الى اكتشاف نظير جديد للايدروجين وهو الديوترون . ثم تبين ان النسبة بين اوزان نظائر الايدروجين هي كبيرة بخلاف النسب بين اوزان نظائر غيره من العناصر . ففي حالة الليثيوم مثلا نجد ان نسبة كتلتي نظيريه هي ٦ الى ٧ . اما هذا النظير الجديد للايدروجين ، وهو مـا نسميه الايدروجين الثقيل ، فان وزنه ضعف وزن الايدروجين العادي . ويجب الانتباه الى ان ذرات الاثنين هي واحدة تقريباً من

الوجهة الكيميائية . وقد قلنا « تقريباً » لان بالامكان فصلهما بالتحليل الكهربائي . كذلك درجة الغليان والتجمد تختلف في الاثنين . وقد دعيت الذرات الايدروجينية الثقيلة ديوترونات ودعي الايدروجين الثقيل ديوتريوم (Deuterium) .

يحتوي الايدروجين العادي على جزء من خمسة الاف جزء من الديوتريوم وبالامكان تحضير اي مركب كيميائي يحتوي على ايدروجين عادي من الايدروجين الثقيل . ومن المركبات التي تحتوي على ايدروجين ثقيل البنزين الثقيل والماء الثقيل . اما وزن جزيء الماء الثقيل فانه يزيد على وزن جزيء الماء العادي بمعدل ١١ ٪ . وتختلف خواص الماء الثقيل عن خواص الماء العادي اختلافاً يذكر . فدرجة تجمده ٣٨ ٤ ودرجة غليانه ١٠١٤ درجة بمقياس سنتغراد .

الاشعاع الاصطناعي

ليست الديوترونات من الجسيمات الاساسية لكنها لعبت دوراً هاماً في تحطيم الذرة وقد استعملت كقذائف ذرية في التحولات العنصرية . وفي هذا الحال يلزم ضغط كهربائي قوي جداً اذ بارتفاع الضغط يزداد الانتاج في التحول . ففي تحطيم الصوديوم بالديوترونات زاد الانتاج حتى بلغ سبعين ضعفاً بارتفاع الضغط الكهربائي من مليون ڤولط الى مليونين . ولما استعمل لورنس الديوترونات كقذائف في جهازه تمكن من الحصول على كمية عظيمة من نظير غير مستقر للصوديوم له اشعاع اصطناعي عمره ١٥ ساعة . وعمر الراديوم هو الفا سنة . وقد تبين ان نشاطه الاشعاعي يقرب من نشاط الراديوم . ففي انحلاله يطلق كهارب مع بعض اشعة غما . واشعة غما هذه المنبعثة من نظير الصوديوم هي من انشط انواع اشعة غما المعروفة . وهذا النظير غير مؤذ ويمكن ادخاله في الجسم بشكل علاج لقتل الامراض الخبيثة الداخلية . ويكون مسلكه من الناحية الكيميائية شبيهاً بمسلك ملح الطعام العادي . وبعد ان يشع تماماً يستحيل الى مغنيسيوم وهذا ليس مضراً . ولما كان عمره قصيراً لم

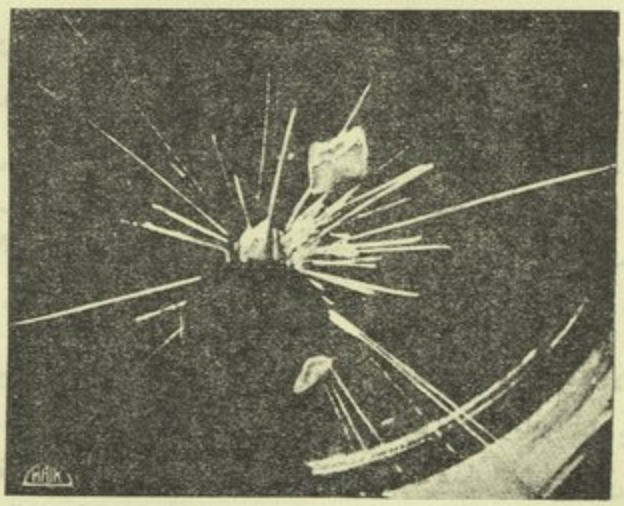
يكن ثمّ خوف من حروق تحدث في الانسجة المعرضة له بخلاف الراديوم الذي يعطّل الانسجة السليمة اذا تعرضت له . اما التفاعلات في هذا الصدد فهي :

(١١) صوديوم(٢٣)+(١) ديوترون (٢)+ طاقة حركية =

(١١) صوديوم(٢٤) + (١) ايدروجين (١) + طاقة حركية

(١١) صوديوم (٢٤)= (١٢) مغنيسيوم(٢٤)+ كهرب+طاقة كهرب + طاقة اشعة غما

وقد استعملت الديوترونات في تحطيم ذرة الليثيوم فاتت بنتائج باهرة . فأطلقت هذه القذائف بطاقة تبلغ مليون الكترون – فولط على ذرات الليثيوم . وفي الصورة (شكل ٢٠) نتائج التجارب التي قام بها دي (Dee) ووالتن (Walton) في كمبردج . اما النتائج الحاصلة من هذا التفاعل الذري فكانت دقائق الفا من مدى



شكل (٢٠)

تحطيم ذرة الليثيوم بواسطة الديوترونات

١٣٫٢ سم وطاقة تبلغ ١١٫٥ مليون الكترون – فولط . ولو فرضنا ان هذا التفاعل يحصل مع نظير الليثيوم النادر الوجود (الوزن الذري ٦) ، تكن لنا المعادلة التالية :

(٣) ليثيوم (٦) + (١) ديوترون (٢) = (٢) هليوم (٤) + (٢) هليوم (٤)

اما اذا حصل التفاعل في النظير الاكثر شيوعاً (وزنه الذري ٧) فان المعادلة تكون كما يأتي :

(٣) ليثيوم (٧) + (١) ديوترون (٢) = ٢ (٢ هليوم ٤) + (٠) نيوترون (١)

كذلك استعملت هذه القذائف في تحطيم ذرة البورون فنتج من ذلك دقائق الفا لها طاقة تبلغ ١٢٫٣ مليون الكترون – فولط ومدى يبلغ ١٥ سم بموجب المعادلة التالية :

(٥) بورون (١٠) + (١) ديوترون (٢) = ٣ (٢ هليوم ٤)

اكتشاف الميزترون (Mesotron)

لم يكتف علماء الفيزياء باكتشاف الجسيمات التي ورد ذكرها . فصاروا يراقبون ما ينبعث عند انحلال ذرة من الذرات علهم يعثرون على جسيمات جديدة . وقد عثر الباحثون على جسيمين اصغر من الجسيمات السابق ذكرها، اي الالكترونات والبروتونات والبوزيترونات والنيوترونات والديوترونات . اما هذان الجسيمان فهما النيوترينو (Neutrino) والنيوترتو (Neutretto) . وعقب ذلك اكتشاف جسيم آخر وهو الميزترون .

ذهب الباحثون يفتشون عن مصدر الميزترون في الطبيعة . والاعتقاد الآن هو ان مصدره يعود للاشعة الكونية، ذلك الاشعاع الذي يحيط بنا دوماً والذي يهبط الينا من رحاب الفضاء . وقد ظل العلماء في حيرة من طبيعة هذا الاشعاع حتى جاءت حجرة ولسن الغائمة تكشف الستار عن حقيقته . فاذا وضعت هذه الحجرة بين قطبي مغنطيس كهربائي يؤثر المجال المغنطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة ضمن الحجرة فتنحرف في اتجاه عمودي على المجال المغنطيسي وعلى مسارها الاصلي . فينحني هذا المسار ويكون قوساً من دائرة . وهذا الانحناء يساعد على معرفة كتلة الجسيمات بالاستناد الى العلاقات المعروفة بين قطر الدائرة هذه وكمية تحرك الجسم والكتلة والسرعة .

إتخذ الباحثون هذا الجهاز وسيلة لدرس الاشعة الكونية نفسها علهم يعثرون على مساراتها . فوضعوا في داخل الحجرة حاجزاً من الرصاص والتقطوا صوراً فوتوغرافية اظهرت لهم ظواهر عجيبة كانت مفتاحاً لابحاث جديدة. وفي سنة ١٩٣٧ توفق كل من ستريت وستفنسن ، وبعدها اندرسون وندرماير ، للحصول على صور مكنتهم من درس ما يحدث عندما يدخل جسيم شعاع كوني الى الحجرة الغائمة . وقد دلت الاقيسة على ان هناك جسيماً جديداً له كتلة تفوق كتلة الكهرب بخمسماية مرة . وقد اطلق اندرسون اسم الميزترون على هذا الجسيم .

الفصل التاسع

محطّات الذرة

محولات كهربائية

ذكرنا في الفصل السابق ان العلماء جدّوا في التفتيش عن قذائف ذرية تمكنهم من التوغل في حيز النواة وتحطيمها . ذلك لان قذائف الفا لم تكن مرضية للغاية . فعمد العلماء لاستنباط الاجهزة التي تمكنهم من اطلاق الدقائق المادية بزخم قوي يُستمد من طاقة كهربائية عالية .

مرت فترة طويلة من الزمن بين اول عملية اجراها رذرفورد في تحطيم الذرة في سنة ١٩١٩ باطلاق قذائف الفا عليها وبين اكتشاف المحطمات الجبارة الثلاثة في سنة ١٩٢٩ التي مكّنت العلماء من اطلاق القذائف المادية بزخم قوي . اما الاسس التي بنيت عليها هذه الوسائل لزيادة زخم القذائف فانها تعود الى طريقتين مختلفتين في الاسلوب . الاولى تقوم على استعمال محولات (Transformers) تولّد طاقة كهربائية عالية الجهد ومن ثم تحول هذه الطاقة الكهربائية المتناوبة (Alternating) الى كهربائية مباشرة (Direct) بواسطة الانبوب المفرغ .

كان اكتشاف انبوب الاشعة السينية قد اوحى للعلماء كيفية ايجاد قذائف ذرية تسير بسرعة هائلة . في هذا الانبوب يمكن التحكم بسرعة الالكترونات الصادرة من السلك الحراري بواسطة الطاقة الكهربائية المتصلة بالهدف الذي تقع عليه الالكترونات . فبازدياد الجهد الكهربائي تحصل زيادة في السرعة بموجب الناموس :

فرق الجهد × شحنة الكهرب = ١/٢ الكتلة × مربع السرعة .

اما قوة نفاذ الاشعة السينية في الاجسام فانها كانت تزداد مع ازدياد جهد الطاقة الكهربائية .

وقد توصل العالمان كوكروفت ودلتن الى توليد تيار مباشر عالي الجهد بواسطة

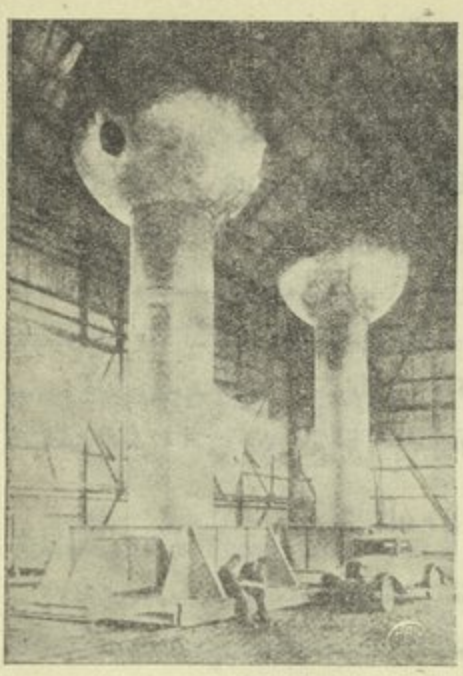
محولات كهربائية وانابيب مفرّغة تحول التيار المتناوب الناتج من التحولات الى تيار مباشر . اذ ان هذا شرط اساسي في زيادة سرعة الدقائق المشحونة بشحنة كهربائية. بهذه الوسيلة صار بالامكان اعطاء القذائف التي تحمل شحنة كهربائية زخماً قوياً . وقد كانت التجارب التي اجراها هذان العالمان في حقل تحطيم الذرة بهذه الطريقة اول فتح في اطلاق الطاقة الذرية من عقالها كما ذكرنا سابقاً . وهناك اخرون تبنّوا هذه الطريقة وتوسعوا فيها ومن بينهم الدكتور لورتسن (Lauritsen) من جامعة كاليفورنيا . فقد استعمل هذا العالم محولات اربعة ينتقل منتوج الواحد منها الى الآخر بصورة تزيد في جهد التيار الكهربائي . لكن هذه السبل لم تعط الجهد الكافي للعمليات العظيمة التي كان يحلم بها علماء الفيزياء .

جهاز فان دي كراف

بينما كان العلماء يستخدمون الطريقة السابقة لايجاد الجهد العالي للطاقة الكهربائية كان الدكتور فان دي كراف يعمل في تكميل التصميم للجهاز المنسوب له والذي يرتكز على مبادىء الكهربائية الاستاتيكية . اما هذا الجهاز فهو واسطة لخزن الكهربائية الاستاتيكية ويتألف عادة من قطبين كهربائيين ، كل منهما كرة كبيرة مفرغة من النحاس ترتكز على عمود من الزجاج . بواسطة هذا الجهاز تمكن فان دي كراف في بادىء الامر من الحصول على جهد كهربائي يساوي ١٥٠٠٠٠٠ فولط . لذلك صار ادخال بعض التحسينات على هذا الجهاز بشكل مكّن العلماء من الحصول على جهد كهربائي يساوي ١٥ مليون فولط .

اخذ فان دي كراف على عاتقه ان يبني جهازاً من هذا النوع في معهد مساتشوستس التكنولوجي . ويتألف هذا الجهاز من كرتين من الالومينيوم المصقول يبلغ قطر كل منهما ٤٥٧سم . وترتكز كل واحدة على رأس عمود مفرغ عازل طوله نحو ٧٦٢سم وقطره نحو ١٨٣سم . لم يكن في ذلك المعهد قاعة تقدر ان تحوي هذا الجهاز الكبير . لذلك وضعوه في مرآب البالونات . جرت اول تجربة لهذا الجهاز سنة ١٩٣٣ وبلغ فيها الجهد ٧ ملايين فولط . وهذا العلو في الجهد احدث انطلاق شرارة كهربائية بين القطبين وكانت

تفصلها مسافة تبلغ اثني عشر متراً. وكانت تلك الشرارة تشبه البرق الشديد ايام الشتاء، يرافقها صوت الرعد المألوف. وقد وجد العلماء ان افضل مكان لاجراء ابحاثهم ولخزن الاجهزة التي يعتمدون عليها هو داخل الكرة المفرغة لان ذلك المكان هو الوحيد البعيد عن التأثر من المجال الكهربائي، اذ ان الشحنة الكهربائية الاستاتيكية تستقر بكاملها على خارج الكرة.



الشكل (٢١)

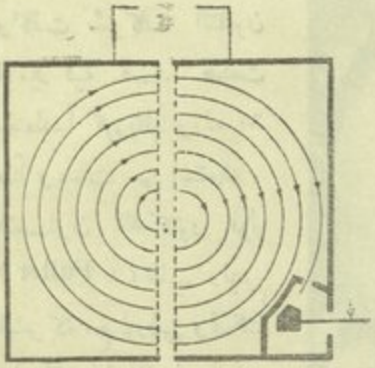
جهاز فان دي كراف

على انه في تحطيم الذرة لا يسمح لهذه القوة الكهربائية ان تذهب جزافاً بشكل شرارة في الهواء. بل تضبط بشكل يجعلها تمر في انابيب جبارة مفرغة بين القطبين لكي تزيد في سرعة القذائف الذرية. وقد ادخلت تعديلات على هذا الجهاز. فوصلت كرة باخرى وكانتا تشحنان كقطعة واحدة، بواسطة جهاز يمر في العمود العازل الذي ترتكز عليه احداهما. اما الانبوب المفرغ المعد لزيادة سرعة القذائف فقد كان موضوعاً ضمن العمود العازل الثاني. وطول هذا الانبوب المفرغ كان نحو اثني عشر متراً وهو يحوي في داخله سلسلة من الانابيب المعدنية تنطلق فيها هذه الطاقة الكهربائية العالية الجهد. اما مجموعة القذائف الذرية فانها تسير ضمن الانبوب المفرغ، يزداد تسارعها ويعين اتجاهها بواسطة الانابيب المعدنية. وعند اسفل الانبوب تقع هذه القذائف على الهدف المقصود تحطيمه.

المدار الرصوي (السيكلوترون)

بينما كان العلماء يعتمدون على هذه المحطمات الجبارة في تحطيم الذرة والنفوذ الى داخـل نواتها كان الدكتور لورنس (Dr. Lawrence) يعمل في جامعة كاليفورنيا لايجاد جهازه الذي يعود له الفضل الاكبر في تحقيق الفتوحات الحديثة في عالم الذرة . وقد تم صنع هذا الجهاز في سنة ١٩٢٩ . الا ان العلماء لم يدركوا حقيقة اهميته في السنين الاولى من استعماله . وقد منح الدكتور لورنس جائزة نوبل سنة ١٩٤٠ تقديراً لعمله هذا

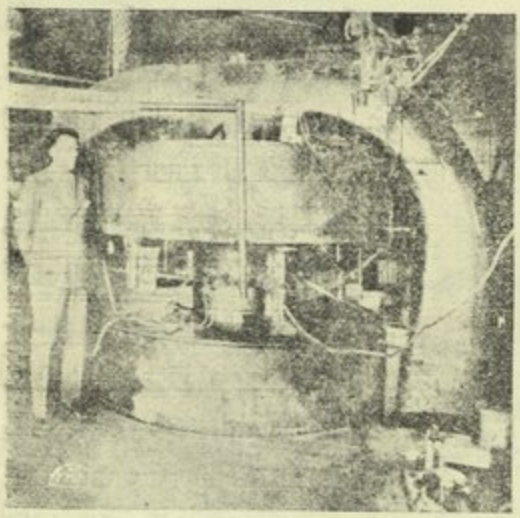
يقوم هذا الجهاز في عمله على ما يحدث للأيونات في مجال مغنطيسي . ومعلوم ان سلكاً يحمل شحنة كهربائية في مجال مغنطيسي يكون معرضاً لقوة تدفعه في اتجاه معين ، يتوقف على اتجاه التيار في السلك واتجـاه المجال المغنطيسي . ويحدث شيء ذاته للايونات ولكل جسم مشحون بالكهرباء . ويتألف الجهاز من وعـاء خارجي كبير بشكل دائرة يمكن تفريغها من الهـواء تفريغاً جيداً ، مركزة بين قطبي مجال مغنطيسي قوي . وفي داخل هذا الوعاء يوجد وعاءان آخران كلٌ منهما بشكل نصف دائرة كما يظهر في الصورة (شكل ٢٢) . وهذان يؤلفان قطبي مجال كهربائي . يتصل هذان القطبـان بمصدر للطاقة الكهربائية المتناوبة يبلغ ترددها نحو مليون ذبذبة في الثانية . لنفرض ان القطب الى اليسار له جهد موجب يفوق الجهد على القطب الثاني بعشرة الاف فولط . وهذا الجهد قليل بالنسبة الى الجهد الذي يستعمل في الاجهزة التي مرّ ذكرها . فاذا وضعت أيونات الايدروجين الموجبة الشحنـة (البروتونات) في الفراغ الكائن بين القطبين الكهربائيين تفعل فيهـا هذه الطاقة الكهربائية بشكل يجعلهـا تتسارع يميناً ، بموجب مبادىء علم التجاذب والتدافع في الكهرباء ، وتسير في خط



شكل (٢٢)

جهاز تسارع الايونات بورنس

مستقيم . لكن المجال المغنطيسي يفعل فعله في هذه الأيونات ويجعلها تنحرف لتصبح مساراتها بشكل نصف دائرة . وهكذا تعود مرة اخرى الى الفراغ بين القطبين الكهربائيين في هذه الاثناء ينعكس التيار ويصبح القطب الى اليمين موجباً . فعندما تصل الأيونات الى الفراغ تزداد طاقتها الحركية بمعدل عشرة الاف الكترون — فولط . وتحصل هذه الزيادة كلما عادت الأيونات الى الفراغ . وبازدياد سرعتها تزداد قطر مساراتها . فلو فرضنا ان الأيونات تعود الى الفراغ مائة مرة قبل ان تترك الفوهة تصبح طاقتها نحو مليون الكترون — فولط . والجدير بالذكر ان المجال المغنطيسي لا يساهم في هذه الطاقة العظيمة ففعله ينحصر في ايجاد القوة التي تجعل الأيونات تتخذ مسارات دائرية وتعود الى الفراغ بين القطبين . وهكذا تفعل الطاقة الكهربائية فعلاً متوالياً في هذه الدقائق حتى تبلغ سرعة تُستمدُّ عادة من ستة ملايين فولط وتخرج من فوهة الجهاز بزخم عظيم يكفي لتحطيم الذرة المنشود . وقد كان الجهاز الاول الذي صنعه لورنس صغيراً يوضع في الجيب . فلما ثبتت له اهمية هذا الجهاز عمد الى صنع جهاز اكبر .



شكل (٢٣)

المدار الرحوي . السيكلوترون

لكن الجهاز الكبير يلزمه مغنطيس جبار . وكانت شركات التلفون الاميركية قد صنعت مغنطيساً كهربائياً وزنه ٦٠ طناً وعدلت عن استعماله . فتعاون الدكتور فولر (Fuller) ، نائب رئيس الشركة مع لورنس وتمكنا بواسطة هذا المغنطيس من عمل جهاز قوي يزن نحو ٨٥ طناً . فاصبح هذا الجهاز قبلة انظار العاملين في حقل تحطيم

الذرة. فصنعت جامعة كولومبيا جهازاً وزنه ٧٥ طناً. وتوصل لورنس الى عمل جهاز يبلغ وزنه ٢٢٥ طناً في جامعة كاليفورنيا. كانت النتائج الباهرة التي اعطاها هذا الجهاز حافزاً لمؤسسة روكفلر لان تقدم للجامعة مليون دولار لصنع جهاز يزن ٤٩٠٠ طناً. وقد اخرت الجهود الحربية اكمال هذا الجهاز لكن مغنطيسه استعمل فيما بعد في تركيز كمية كبيرة من الاورانيوم (٢٣٥) لصنع القنبلة الذرية. ويبلغ قطر كل قطب في هذا الجهاز نحو ١٧ قدماً. وتفوق طاقة البروتونات المستمدَّة منه طاقة دقائق الفا المنبعثة من الراديوم ١٥ ضعفاً. وهكذا نرى انه بينما كان العلماء يتسابقون لايجاد عدسات كبيرة للمراقب تمكنهم من فتوحات جديدة في علم الفلك، كان علماء الفيزياء يتسابقون في بناء المدار الرحوي تحقيقاً لاحلامهم في حقل تحطيم الذرة.

لقد تمكن العلماء من الحصول على قذائف ذرية لها طاقة تساوي طاقة الاشعة الكونية بواسطة هذا الجهاز. وربَّ سائل يقول لماذا لا تُستعمل الاشعة الكونية في تحطيم الذرة ما دام من الصعب الحصول على قذائف اصطناعية تعادلها في الطاقة؟ السبب في ذلك يعود لصعوبة التحكم بالاشعة الكونية لاستعمالها في ابحاث كهذه. وربما يأتي يوم يستعمل فيه هذا المصدر العظيم للقذائف ذات السرعة الفائقة والطاقة الهائلة.

الفصل العاشر

الطاقة والكتلة

تعريف الطاقة وخواصها

وردت هذه العبارة كثيراً فيما سبق وسترد كثيراً فيما يلي ، فهي محور البحث في هذا الكتاب . ولا بد من بعض التفاسير التي تتعلق بالطاقة بصورة عامة لكي نتمكن من فهم الطاقة الذرية التي هي هدفنا الاخير . اذ ان هناك اوليات تتعلق بطبيعة الطاقة لا بد منها لفهم ما يلي من ابحاث .

يعرّف بعضهم الطاقة بالمقدرة على العمل . فطاقة الجسم تقاس بكمية العمل الناتجة من تلك الطاقة . وكل قوة تنتج عملاً اذا تمكنت من نقل جسم من نقطة ما الى اخرى متغلبة على القوى المعاكسة لها . فاذا كان مقدار من الماء محفوظاً في وعاء على سطح الارض واردنا نقله الى وعاء آخر يرتفع عن الاول قدر مترين ، يلزم ان نتغلب على ثقل الماء وان ننفق عملا ميكانيكياً معيناً . بعملنا هذا نكون قد اعطينا كمية الماء هذه مقدرة على العمل تمكننا من استرجاع العمل المصروف اذا وضعنا آلة كالناعورة على سوية الوعاء الاول يحركها الماء عند هبوطه . وما دام الماء راكداً في الوعاء العلوي يظل مقدار قدرته على العمل خفياً ويسمى ذلك بالطاقة الكامنة . فعندما يهبط الماء من المستوى الاعلى تتحول هذه الطاقة الكامنة الى طاقة حركية . فكل جسم اذاً يحتوي على كمية من هذه الطاقة الكامنة تمكّنه من انتاج عمل ميكانيكي اذا هبط من مركزه . كذلك الفحم وغيره من المواد التي نستعملها كوقود لتوليد الحرارة فان فيها من الطاقة الكامنة ما يتحول الى طاقة حركية تستعمل في تحريك الآلات العديدة . وتقاس كمية طاقة الفحم بمقدار ما ينفثه من الحرارة عند احتراقه . وهكذا قل عن البارود وغيره من المتفجرات فانها جميعاً تخزن كمية كبيرة من الطاقة الكامنة التي تظهر عند الانفجار وتعمل عملها في تدمير البيوت او تشقيق الصخور .

للطاقة صور متعددة تتغير وتتحول كما نعلم من مجرى الامور حولنا ، لكن مقدارها

لا يتغير على الاطلاق . فالعمل الذي ننفقه لرفع كمية الماء هو نفس العمل الذي نسترجعه عند هبوط الماء . وهذا الناموس القائل بعدم تغيير مقدار الطاقة مهما تغيرت صورها هو من اهم النواميس في العلوم الطبيعية . ومن اهم التجارب التي قام بها وليم جول (Joule) هي التجربة التي اثبتت ان الطاقة الميكانيكية تتحول الى طاقة حرارية وهكذا برهن عملياً على صحة قانون بقاء الطاقة . ومن اهم ما يجب معرفته عن الطاقة هو انها احدى خواص المادة التي تحيط بنا والتي نعتمد عليها في نواحي حياتنا المختلفة . فهناك الطاقة الميكانيكية التي نستخدمها في رفع الاثقال، والطاقة الكيميائية للفحم والغاز، والطاقة الكهربائية والطاقة الضوئية والحرارية الخ .. وعندما نرى التغيرات العديدة المتتابعة التي تعرض على الكائنات حولنا يتبين لنا ان الكون ملآن من الاحداث الجديدة ، فهو بحالة تطور وتغير مستمرين . والمفتاح الوحيد لادراك سر هذا التطور هو بادراك طبيعة الطاقة وما يتفرع منها . فالحديد يتحول من جامد الى سائل والى غاز بواسطة الطاقة الحرارية التي نسلطها عليه . والكهرباء التي تتولد بين عامودي بطرية هي صورة لتحول الطاقة الكيميائية الى طاقة كهربائية . كذلك القوى الكهربائية الهائلة التي نحصل عليها من مسقط الماء المتحدر من اعالي الجبال فهي تحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية . وامثال هذا التحول في الطاقة عديدة نراها جلية في مختلف حقول الحياة .

يعود الفضل بمعلوماتنا الحديثة عن الطاقة الى نواميس الحركة التي اعلنها غليلو من مضي نحو اربعماية سنة . ففي سنة ١٦٠٩ عمل مرقبه الاول وصوبه الى الاجرام السماوية ، ممتعاً النظر بمشاهد الجبال على سطح القمر واقمار المشتري وغيرها . وفي سنة ١٦٣٧ فقد بصره ، لكن ذلك لم يقعده عن العمل بل ظل متابعاً ابحاثه بالتعاون مع تلامذته الاوفياء . فهو بلا جدل مؤسس علم الميكانيكا ومكتشف نواميس الحركة التي تنطبق على كل جسم متحرك حولنا والتي تمكننا من التحكم بسير القطارات والطائرات والسيارات وغيرها .

ومن الصدف الغريبة ان يولد العالم الرياضي الشهير اسحق نيوتن في نفس السنة (١٦٤٢) التي توفي فيها غليلو . فقد كان على نيوتن ان يتمم الرسالة التي بدأ بها غليلو . وما نواميس الحركة التي ننسبها الى نيوتن الا تلك التي اكتشفها غليلو موضوعة

بقالب بسيط مرتب . وقد توصل نيوتن الى قانون الجاذبية كنتيجة لابحاثه في نواميس الحركة التي يرتكز عليها علم الميكانيكا . اما هذه النواميس فهي :

اولا : كل جسم يظل في حالة سكون او يسير في خط مستقيم بسرعة منتظمة حتى تفعل فيه قوة جديدة .

ثانياً : عندما تفعل قوة في جسم ما تتغير السرعة او يتغير الاتجاه او كلاهما ، ويكون مقدار التغير متناسباً طرداً مع مقدار القوة او زمن فعل القوة .

ثالثاً : لكل فعل فعل معاكس مساو له .

والقوة هي اساس تفهم هذه النواميس وهي العبارة التي يتوقف عليها وجود الحركة . ومن الصعب ان نحدد القوة ببضع كلمات بالرغم من فهمنا لها بما تحدثه من تغيرات في الكون حولنا . فاذا اردنا ان نحرك جسما لننقله من مكان الى آخر نشعر ان علينا ان ننفق بعض الجهود بواسطة عضلات اجسادنا . لذلك كان من الطبيعي ان نطلق اسم القوة على كل عامل ينوب عن عضلاتنا في تحريك الجسم . فالبخار هو مصدر القوة اللازمة لجر القطار ، والحيوانات تجر الاثقال بما تنفقه من قوة مصدرها العضلات . كان من الطبيعي ايضاً ان نقول ان القوة هي العامل الذي يولد الحركة في الاجسام او يغير حركتها ، لان الحركة والقوة هما خاصتان ملازمتان اي انه لا حركة بدون قوة . وكثيراً ما تقصر القوة عن احداث حركة في الجسم وذلك لانها غير كافية للتغلب على القوى المقاومة . اما عدم الحركة فلا يعني عدم وجود القوة .

جرب الكثيرون ان يكتشفوا الحركة الدائمة ولم يفلحوا في هذا المضمار رغم الجهود العظيمة التي بذلت . يعود السبب في ذلك الى القانون القائل بان الطاقة تتغير من صورة الى اخرى ، اما مقدارها فلا يتغير ابداً . ولما كان من الصعب ، لا بل من المستحيل ، ان نحول كمية من الطاقة في آلة ما من صورة الى اخرى بدون ان نفقد بعض تلك الطاقة ، صار من المستحيل ان نخترع آلة تسير لنفسها بدون طاقة جديدة تصرف عليها . فقوة البخار التي تدفع الاسطوانة لا تتحول كلها الى قوى ميكانيكية لان قسما من من الطاقة يتحول الى طاقة حرارية ، لان هناك قوى تعاكس الحركة وتنتج عملاً سلبياً يمتص بعض الطاقة ، وهذه القوى هي التحاك . ولا يضاح ذلك نأخذ مثلاً القدرة

الحرارية المعطاة للآلة البخارية من كمية من الفحم بعد احتراقها . فقد اثبتت التجارب ان الالة البخارية العادية تستهلك كيلوغراماً من الفحم لكل حصان في الساعة . فيكون المردود الصناعي في هذه الحالة ٨ ٪ ، فيضيع اذاً من حرارة الفحم الناتجة عن الاحتراق ٩٢ ٪ . لذلك حل المحرك الانفجاري ومحرك ديزل والمحرك الكهربائي محل الالة البخارية . اما المردود الصناعي في المحرك الكهربائي فهو نحو ٩٥ ٪ .

نستنتج مما تقدم ان الطاقة الحرارية لايتيسر استخدامها في توليد عمل ميكانيكي الا بمردود ضعيف ، اي ان قسما كبيراً منها يذهب ضياعاً . اما انواع الطاقة الاخرى فانها تعطي مردوداً اكبر . وقد تبين ان جميع انواع الطاقة تميل الى الاستحالة الى طاقة حرارية بسبب التحاك بين اجزاء الالات او بسبب المقاومة في الاسلاك التي تحمل تياراً كهربائياً او غير ذلك من الاسباب ، لذلك ينتج دائماً نقص في كمية الطاقة التي تجهزنا بها الطبيعة وهذا ما يطلق عليه ضعف الطاقة او انحطاطها ، الامر الذي يجعلنا بحاجة ماسة للتفتيش عن مصادر جديدة للطاقة . ومن تلك المصادر الطاقة المحبوسة داخل الذرة التي نهدف الى درسها في هذا الكتاب .

نظريات تتعلق بالطاقة

لقد خطا العالم خطوات واسعة سريعة في فهم الظواهر الطبيعية حولنا بفضل ما عرف عن طبيعة حرارة الاجسام . فقد كانت النظرية فيما مضى ان الحرارة هي سائل ينتقل من جسم الى آخر باختلاف درجة الحرارة فيها . لكن هذه النظرية لم تعش طويلاً لانها لم تتمكن من شرح بعض الظواهر الحرارية حولنا بصورة مرضية . وأتت بعدها النظرية القائلة بان حرارة الاجسام هي مقياس لحركة الجزيئات التي يتألف منها الجسم . هذا يعني ان هنالك صلة بين ما نسميه حرارة والطاقة التي ترافق حركة الاجسام . وقد ثبت فعلاً من الاختبارات التي اجراها جول « Joule » ان هناك تعادلا بين العمل الميكانيكي وما ينتج من حرارة . فاصبحت الحرارة إذاً صورة من صور الطاقة وكان هذا فتحاً جديداً سهّل فهم الآلات الحرارية العديدة التي تسيّر الطائرات والسيارات والبواخر والتي تدير الآلات الضخمة في المعامل .

وهناك النظرية القائلة بأن عدداً كبيراً من انواع الطاقة يتمكن من الانتقال بشكل موجات ، كالطاقة الصوتية والطاقة الضوئية . فالصوت ليس الا موجات تسير في الفضاء مصدرها اهتزازات جسم ما كجرس او طنّانة صوتية او شفة تتكلم . وهذا يشبه ما يحدث في بركة ماء اذا رمينا حجراً في وسطها . فان الحركة في الوسط تنتقل الى اطراف البركة بشكل دوائر تتسع كلما بعدت عن الوسط . فالحركة الاهتزازية في الجرس والطنانة تصبح مصدراً لحركة موجية تنتشر في الوسط حولها بصورة تشبه تلك الدوائر على سطح بركة الماء . وانما نبصر ونسمع لان هناك نوعاً من الطاقة يرافق الحركة الموجية يؤثر على اعصاب العين او الاذن . فالحركة الموجية ليست الا نوعاً آخر من انتقال الطاقة في وسط مرن ، تصبح كل دقيقة من دقائقه في حالة اهتزاز شبيه باهتزاز المصدر الذي يطلق الطاقة .

وما قيل عن انتقال الطاقة الصوتية يصدق عن انواع الطاقة المغنطيسية او الكهربائية او تلك التي تحمل صفة المغنطيسية والكهربائية معاً (Electromagnetic). وهذه الاخيرة مجتمعة في ما نسميه الطيف الكهرطيسي وهي تشمل الطاقة الحرارية والضوئية والاشعة السينية واشعة غما وغيرها . وكما انه يوجد تموجات مختلفة الاطوال في الصوت ، كذلك يوجد تموجات مختلفة الاطوال في الضوء والحرارة والاشعة السينية وغيرها . وكما تتمكن الاذن من التمييز بين تموج واخر هكذا تتمكن العين من التمييز بين الالوان المختلفة والتي تعتبر تموجات من اطوال مختلفة . وبنفس الطريقة تتمكن الآلات اللاسلكية اللاقطة من التمييز بين تموج واخر . والنظرية الحديثة اليوم تعتبر التيار الكهربائي سيلاً من الكهارب التي تشق طريقها بين الذرات التي يتألف منها السلك . وهناك بلايين من هذه الكهارب تمر كل ثانية في السلك . وقد تبيّن ان المجال الكهربائي وكذلك المغنطيسي هما نتيجة المجالين اللذين يرافقان الكهارب في ذلك السيل .

مقياس الطاقة

إن القواعد الخاصة بقياس مقدار انواع الطاقة المختلفة هي بسيطة جداً كما هو مبين في مبادىء علم الفيزياء . فطاقة القذيفة المتحركة تساوي نصف حاصل ضرب كتلتها

بمربع سرعتها . وطاقة الجسم الذي يهبط من سقف الغرفة الى ارضها تساوي ضرب وزن الجسم بالمسافة العامودية التي هبطها . واذا اردنا معرفة كمية الطاقة اللازمة لرفع حرارة كمية من الماء نضرب كتلة الماء في عدد الدرجات المطلوبة ثم نضرب الحاصل في ثابت معين .

وهناك وحدات مختلفة لقياس كمية الطاقة . اما الوحدة الانكليزية فهي الباوند — قدم، وهي الطاقة او الشغل اللازم لرفع جسم وزنه باوند واحد الى ارتفاع قدم واحد . والوحدة الاكثر استعمالاً في حقل العلم الحديث هي الأرج ، او الشغل اللازم لرفع ثقل قدره جزء من ٩٨٠ جزء من الغرام الى ارتفاع قدره سنتيمتر واحد . وهناك وحدات اخرى كالسعرة والوات (Watt) يمكن التعبير عنها بما يعادلها من هذه الوحدات . اما الوحدة الاكثر شيوعاً في الفيزياء الذرية فهي الالكترون — ڤولط وتساوي ١٫٥٩ × ١٠ — ١٢ أرج .

تعريف الكتلة وخواصها

جرت العادة ان تعرّف الكتلة بانها كمية المادة في الجسم . لكن هذا التعريف لا يفي بالمرام في حقل العلم النظري . اما فكرة الكتلة فانها مستخلصة من فكرتين مستقلتين وهما الجاذبية والقصور الذاتي . ولا يسمح المجال هنا بالتوسع في بحث هذا الموضوع ، لذلك نعتبر ان تعريف الكتلة يوصلنا للنتائج التالية :

اولاً : ان قوة الجاذبية لجسم ما تتناسب طرداً مع كتلته .

ثانياً : القصور الذاتي الذي يعاكس القوة التي تفعل في جسم ما لتزيد في سرعته يتناسب طرداً مع كتلته .

يظهر من التعاريف السابقة ان لا علاقة بين الطاقة والكتلة . لذلك نعتبرهما امرين مختلفين في الاحوال العادية وملازمين دوماً للمادة .

من الحقائق المسلم بها والتي اثبتتها التجارب ذلك القانون القائل بان المادة لا تفنى ولا تُخلَق مهما طرأ عليها من تغيرات ، لكنها تتغير من شكل الى آخر . فالثلج يذوب ويتحول الى ماء والماء يتحول الى بخار بواسطة الحرارة اما كتلة الثلج فانها

تبقى كما هي . والمعروف في علم الفيزياء ان هناك فرقاً بين كتلة الجسم وبين وزنه . فوزن الجسم يتوقف على بعده عن مركز جاذبية الارض له . فاذا كان الجسم يبعد كثيراً عن سطح الارض فان وزنه عند ذلك البعد يكون اقلّ مما هو عند سطح الارض . اما كتلة الجسم او كمية المادة فيه فانها لا تتغير في الاحوال العادية مهما كان بعده عن سطح الارض .

الكتلة والحركة . نظرية النسبية

من بين نتائج نظرية النسبية تلك الحقيقة القائلة بان كتلة الجسم تتوقف على سرعته بالنسبة للمرجع الذي يقيس تلك الكتلة . ولما كانت معظم الاجسام حولنا ذات سرعات قليلة صار من الممكن اعتبار كتلة جسم ما ثابتة لا تتغير . اما في الحالات حيث تصبح سرعة الجسم عظيمة فالضرورة تقضي ان يراعى التغير في الكتلة كما هي الحال في الجسيمات الذرية التي تسير بسرعة هائلة . ويُعبّر عن تغير الكتلة بتغير السرعة بواسطة المعادلة التالية :

$$\text{كتلة الجسم} = \frac{\text{كتلة السكون}}{\sqrt{1 - \frac{ع^2}{س^2}}}$$

ومعلوم ان دقائق باتا تنطلق بسرعات تتراوح بين ٠,٣٠ ٪ الى ٩٩,٨ ٪ من سرعة الضوء . ففي هذه الحالة تظهر بجلاء علاقة الكتلة بالحركة . وعندما تبلغ سرعة الدقائق ٠,٥٠ ٪ من سرعة الضوء تكون الزيادة في الكتلة ١٥ ٪ من كتلة السكون (Rest Mass) . وقد اثبتت التجارب هذه العلاقة وذلك بالاستناد الى الانحراف الذي يحصل لدقائق باتا في مجال مغنطيسي او كهربائي . اما الوحدات المستعملة في هذه المعادلة فهي الغرام للكتلة والسنتيمتر للسرعة . اما الحرف « س » فانه يرمز لسرعة الضوء وهي ٣ × ١٠^١٠ سم في الثانية والحرف « ع » يرمز الى سرعة الجسم .

تعادل الكتلة والطاقة

ذكرنا سابقاً ان هناك قانونين ينصّان على عدم فناء المادة او الطاقة . فهذان القانونان كانا بنظر العلماء منفصلين عن بعضهما ، يعبّران عن خاصتين من خواص المادة حولنا . ولا يزال الاعتبار هذا سائداً في الحالات العادية . والمعروف اليوم عند العلماء ان هذين القانونين ليسا الا صورتين لقانون واحد لان الاكتشافات العلمية اثبتت ان بالامكان تحويل المادة الى طاقة والطاقة الى مادة . وهذه الاستحالة حدثت فعلا في التفاعلات الذرية . فذرة الاورانيوم مثلا تنفلق فتنبعث كمية هائلة من الطاقة . اما تحويل الطاقة الى كتلة فقد تحقق على يد ايرين كوري وزوجها جوليو .

لقد كان من بين نتائج نظرية النسبية ذلك القانون القائل بتعادل الكتلة والطاقة . وبموجب هذا القانون تتغير كتلة الجسم بتغير طاقته . فالجسم الذي يفقد شيئاً من حرارته يفقد في نفس الوقت شيئاً من كتلته . كذلك بازدياد الحرارة تزداد كتلة الجسم . هكذا نرى ان الكتلة والطاقة هما ملازمتان الواحدة للاخرى . فكل كتلة لها طاقة ملازمة لها وبالعكس . وبموجب قانون تعادل الكتلة والطاقة تساوي طاقة غرام واحد حاصل ضرب مربع سرعة النور في غرام اي :

$$\text{مربع } (٣ \times ١٠^{١٠}) \times ١ = ٩ \times ١٠^{٢٠} \text{ ارج}$$

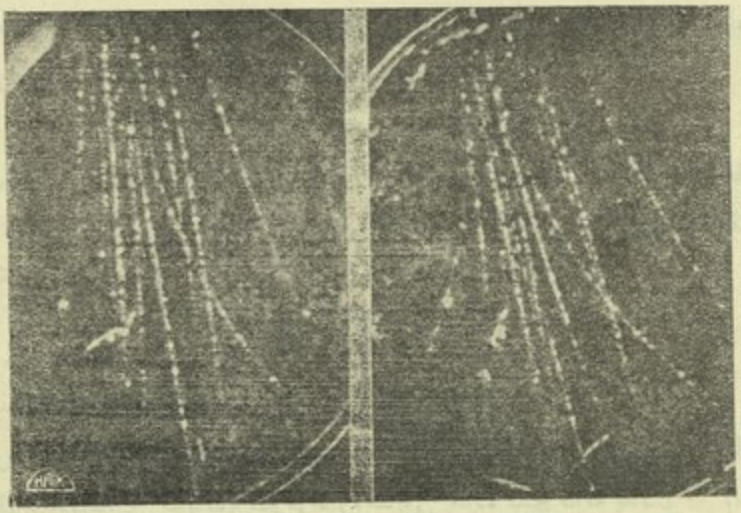
في سنة ١٩٠٥ وجّه اينشتين الافكار الى التثبت من تعادل الكتلة والطاقة في درس الاشعاع الراديومي . فكانت نتيجة ابحاثه ان الطاقة التي تنتج عن ابادة مقدار من الكتلة تساوي حاصل ضرب مقدار الكتلة بمربع سرعة النور اي :

$$\text{الطاقة} = \text{الكتلة} \times \text{س}^{٢}$$

كان اينشتين قد توصل الى هذا القانون بالطرق الرياضية النظرية ولم يحلم يوماً انه سيكون الشغل الشاغل للعلماء وللقواد الحربيين وللعالم اجمع . وجاءت التجارب تثبت تلك النتائج . فبابادة كيلوغرام واحد من المادة تنتج طاقة تعادل ٢٥ بليون كيلووات – ساعة او ما يعادل مجموع ما تنتجه جميع مراكز التوليد الكهربائية في الولايات المتحدة لمدة شهرين . اما الطاقة الناتجة عن احتراق كيلوغرام واحد من الفحم

فانها تعادل نحو ٩ كيلووات — ساعة ، فانظر الى هذا الفرق العظيم . وبابادة ربع غرام من المادة تنتج طاقة كافية لتسيير باخرة عظيمة (من قوة ٥٠ ٠٠٠ حصان) . عبر الاوقيانوس الاطلنطيكي مرة واحدة .

لم يكن بالامكان ادراك هذه الحقائق في العمليات الكيميائية العادية . اما القانون المذكور سابقاً فقد اعطى المجال لتفسير هذا التعادل . والمعتقد اليوم ان الحرارة الناتجة عن احتراق كمية من الفحم مثلاً تعادل كمية من الكتلة . لكن هذه الكمية ضئيلة لا يمكن قياسها بالموازين العادية . كذلك لم يسبق ان استحالت كمية جديرة بالذكر من الكتلة الى طاقة في المختبرات العلمية او باية صورة اخرى على ارضنا هذه ، الشيء الذي يحدث مثلاً في الشمس وغيرها من الاجرام السموية فيكون مصدر طاقة هائلة . وقد ظلت فكرة تحقيق هذه الاستحالة بعيدة عن التصديق لمدة ربع قرن . كانت هذه الفترة من الزمن حافلة بابحاث الفلاسفة والعلماء والمهندسين في هذا الحقل الجديد . لكن التجارب لم تأت بما يدعم نتائج الابحاث النظرية . وفي سنة ١٩٣٠



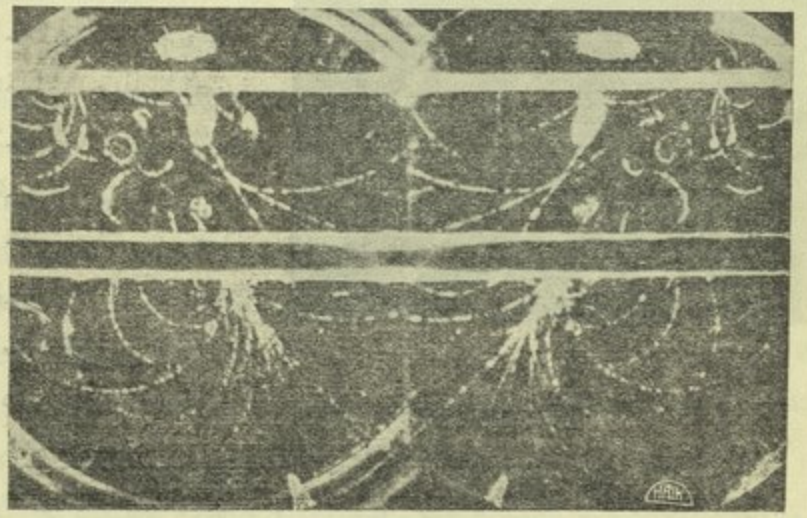
الشكل (٢٤)

سيل من الالكترونات والبوزيترونات بواسطة همرة من الاشعة الكونية . (بلاكت)

بدأت تظهر طلائع النجاح ترافق الاختبارات بشكل مشجع . ومن بين الامور التي اثبتت صحة هذه النظرية هو ظهور كهارب سالبة وموجبة من « العدم » واختفاء مقدار من الطاقة بواسطة همرة من الاشعة الكونية .

الانتاج الصناعي للبوزيترونات

وجاء الانتاج الصناعي للبوزيترونات يدعم صحة تعادل الكتلة والطاقة . وقد تبين ان البوزيترونات هي قصيرة الأجل جداً . لذلك جاء اكتشافها بعد اكتشاف الكهارب ب ٣٥ سنة . وقد كان بالامكان الحصول على بوزيترونات و كهارب معاً من اشعاع غمّا القوي ذي الطاقة الفوتونية (Photon Energies) من قدر مليون الكترون – ڤولط . في هذه العملية نرى الطاقة تتحول الى كتلة . ومعلوم من قانون تعادل الكتلة والطاقة ان كتلة الكهرب (٩٫١ × ١٠ $^{-٢٨}$ غم) تعادل طاقة مقدارها ٩٫١ × ١٠ $^{-٢٨}$ × ٩ × ١٠ ^{٢٠} ارج. هذا يعني ان الطاقة اللازمة لانتاج كهرب واحد هي

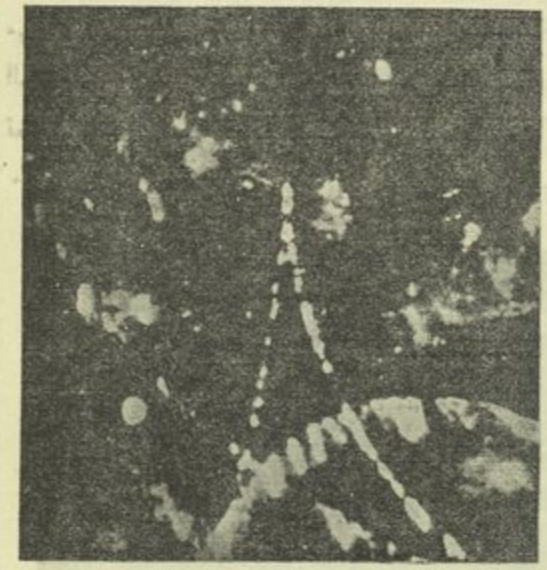


شكل (٢٥)

سيل من الالكترونات والبوزيترونات بواسطة همرة من الاشعة الكونية . (اندرسن)

٨٧١×١٠^{-٧} ارج او ٥٠٩٠٠٠ الكترون – ڤولط . لكنّ هناك قانوناً اساسياً في علم الفيزياء ينص على انه لا يمكن خلق كمية من الكهربائية السالبة او الموجبة بدون خلق كمية معادلة تختلف عنها بالعلامة . فيكون مجموع الكهربائية الحاصلة صفراً في حالة كهذه . بناء على ما تقدم يقتضي خلق البوزيترون خلق جسيم مادي يحمل شحنة معادلة لشحنة البوزيترون وتختلف عنها بالعلامة . فتكون الطاقة اللازمة في هذه العملية ، اي خلق البوزيترون ، مليون الكترون – ڤولط .

اما الفوتونات اللازمة في هذه العملية والتي لها طاقة تفوق مليون الكترون – ڤولط فقد كان مصدرها راديوم (ث) وثوريوم (ث ٢) والبريليوم . وقد تمكن فعلاً جماعة من العلماء وهم اندرسن وندرماير وليزي ميتنر وفيليب وايرين كوري وزوجها جوليو من خلق بوزيترونات في المختبرات بواسطة هذه الاشعة وذلك سنة ١٩٣٤ . ويظهر في الصورة (شكل ٢٦) اتجاه كل من الكهرب السالب والبوزيترون في مجال مغنطيسي . وهذان الجسيمان هما نتيجة اطلاق اشعة غما القوية على لوح فلزي في داخل حجرة ولسن الغائمة .



شكل (٢٦)
خلق بوزيترون والكترون معاً بواسطة الفوتونات

الفصل الحادي عشر

الطاقة الذرية

توازن المعادلات الذرية

لنلق نظرة اخرى على التفاعل الذري بين ذرات الليثيوم والديوترونات .

(٣) ليثيوم (٦) + (١) ديوترون (٢) = ٢ (٢ هليوم ٤)

كل معادلة ذرية يجب ان تتوازن من ثلاثة اوجه :

اولا : مجموع الشحنة الكهربائية لا يزيد ولا ينقص ٣ + ١ = ٢ + ٢

ثانياً : يجب ان تتوازن الاوزان الذرية ٦ + ٢ = ٤ + ٤

ثالثاً : لفهم هذا التوازن يجب ان نعرف اشياء عديدة . فلو اخذنا الاوزان المضبوطة لذرات الليثيوم والديوترونات ودقائق الفا نجد ان المعادلة لا تتوازن . اذ ان وزن هذا النظير لليثيوم هو ٦،٠١٦ ووزن الديوترون هو ٢،٠١٤ ووزن جسيم الفا هو ٤،٠٠٣ فيكون النقص في الكتلة في هذه العملية (٦،٠١٦ + ٢،٠١٤) — ٨،٠٠٦ وهذا يساوي ٠،٠٢٤ من وحدة ذرية . وهذا النقص في الكتلة يعادل ٢٣ مليون الكترون — فولط بموجب معادلة اينشتين . وهذه الطاقة تتناسب حقيقة مع الطاقة الحركية لجسيمي الفا المنطلقين من هذه العملية . اما اوزان هذه الجسيمات فانها تقاس عادة وهي بحالة سكون او وهي تسير بسرعات قليلة . والمعروف في نظرية النسبية ان كتلة الجسم تزداد بازدياد سرعته وان الكتلة تتناسب طرداً مع مجموع طاقة الجسم . لذلك كان من الضروري مراعاة التغير في كتلة دقائق الفا المسبب عن سرعتها الهائلة وصارت المعادلة تكتب بالصورة التالية لانه قد حصل التوازن فعلا في المعادلة عندما أخذ بعين الاعتبار تحول الكتلة المفقودة الى طاقة :

(٣) ليثيوم (٦) + (١) ديوترون (٢) + طاقة حركية = ٢ (٢ هليوم ٤) + طاقة حركية

وهنا يظهر وجه الشبه بين التفاعلات الكيميائية والذرية . فكما ان التفاعل الكيميائي يتطلب في بعض الاحيان كمية من الحرارة او يكون مصدراً للحرارة ، كذلك

نرى ان التفاعلات الذرية يرافقها تحول في الطاقة . ومعلوم ان احتراق الايدروجين يكون مصدراً لكمية كبيرة من الحرارة وذلك عند اتحاد الايدروجين بالاكسجين في تكوين الماء . يقابل هذه الطاقة الهائلة التي ترافق انفجار القنبلة الذرية او حدوث تفاعل ذري .

النوائد المشع وغير المشع

لقد اثبتت الابحاث العديدة التي اجريت في حقل تحطيم الذرة ان هناك نوعاً من الطاقة يرافق تلف قسم من الكتلة . فلنعد الآن الى درس عنصر الهليوم . فقد اثبتت التجارب الدقيقة ان كتلة البروتون هي ١٫٠٠٧٥٨ وان كتلة النيوترون هي ١٫٠٠٨٩٣ وذلك باعتبار كتلة الاكسجين ١٦٫٠٠٠٠٠ . ولما كانت نواة الهليوم تتألف من بروتونين ونيوترونين كان لدينا النتيجة التالية :

مجموع كتلة بروتونين = ٢٫٠١٥١٦

» » نيوترونين = ٢٫٠١٧٨٦

المجموع = ٤٫٠٣٣٠٢

مجموع كتلة جسيمي الفا = ٤٫٠٠٢٨٠

الفرق في الكتلة = ٠٫٠٣٠٢٢

هذا يعني ان هناك فرقاً في الكتلة عندما تتكون ذرات الهليوم من اجزائها وهذا الفرق يبلغ ٠٫٠٣٠٢٢ من وحدة الكتلة . لكن هذا المقدار من الكتلة لم يتلف بالمعنى الصحيح لان النواميس الطبيعية قد اثبتت ان لا فناء للكتلة او للطاقة ، بل هناك تحول من حالة الى اخرى كما ذكرنا سابقاً في الفصل عن علاقة الكتلة بالطاقة . ان هذا الفرق في الكتلة عند تكوين ذرات الهليوم يتحول الى طاقة هائلة . فعندما يتحد نصف غرام من البروتونات مع نصف غرام من النيوترونات لصنع غرام واحد من الهليوم يكون الفرق ٠٫٠٠٧٥ من الغرام . وهذا يعادل طاقة مقدارها ٦٥٠ مليون مليون ارج او ما يعادل ٢٠٠ ٠٠٠ ٠٠٠ كيلوات – ساعة . وهذا ما يلزم من الطاقة الكهربائية لانارة ٢٠٠ ٠٠٠ مصباح كهربائي من قوة ١٠٠ وات لمدة ١٠ ساعات .

وعندما تتحول الكتلة الى طاقة في العملية هذه يكون التركيب الاخير اشد استقراراً مما كان عليه اولا . هذا يشبه جسماً يتدحرج من رأس الجبل الى اسفل الوادي . فالجسم يكون في حالة عدم استقرار عند رأس الجبل ويفقد جزءاً من طاقته كلما اقترب الى اسفل الوادي حيث يصبح في حالة استقرار ولا يمكنه ان يتدحرج فيما بعد . وكل مجموعة هي اشد استقراراً بعد اطلاق طاقتها . فمياه الاوقيانوس قد اعطت كل طاقتها في انحدارها من رؤوس الجبال وتلك الطاقة كان بالامكان استعمالها لتوليد الكهرباء وما شاكل .

ان ما يصدق على التغيرات الفيزيائية يصدق ايضاً على التغيرات الكيميائية . ففي التفاعلات الكيميائية التي يرافقها انبعاث للطاقة تكون المركبات الحاصلة اشد استقراراً من المركبات الاصلية . فالفحم متحداً مع الايدروجين يحتوي طاقة اكثر من الفحم متحداً مع الاكسجين . والحطب والبترول يحتويان على كثير من روابط الفحم والايدروجين فهما اذاً في حالة عدم استقرار ويحترقان بسرعة فتنبعث من هذا طاقة كبيرة ، وتتألف روابط الفحم والاكسجين التي تحتوي طاقة اقل من الطاقة في روابط الفحم والايدروجين . اما المركبات الناتجة فانها اشد استقراراً كثاني اوكسيد الكربون مثلاً .

هكذا هي الحال في انبعاث الطاقة عند تكوين نواة الهليوم من البروتونات والنيوترونات . فنواة الهليوم هي اشد استقراراً من البروتون او النيوترون . فالنيوترونات تتحد بسرعة مع عناصر اخرى ، بينما نرى نوى الهليوم ، وهي نفس دقائق الفا ، بطيئة في اتحادها مع العناصر الاخرى ولا تنحل الى اجزائها بسهولة .

اما مقدار استقرار مجموعة (System) ما فانه يتوقف على كمية الطاقة اللازمة لتحويلها الى حالة اخرى . فالجسم في اسفل الوادي هو اشد استقراراً من الجسم على رأس الجبل لانه يلزمنا كمية كبيرة من الطاقة لايصال الجسم الى رأس الجبل . كذلك يلزمنا طاقة هائلة لحل نواة الهليوم الى ما تتألف منه من بروتونات ونيوترونات . ولما كان من الصعب جداً حصر كمية الطاقة وتصويبها للنواة ، كانت هذه بحالة استقرار شديد . لكن استقرارها ليس شيئاً بالنسبة لنوى بعض العناصر الاخرى كما سيتبين لنا .

ذكرنا سابقاً ان كل ذرة عند اطلاقها دقيقة الفا (عددها الذري ٢ ووزنها الذري ٤) تتحول الى ذرة اخرى عددها الذري اقل باثنين ووزنها الذري اقل باربع . كذلك عندما تطلق النواة كهرباً او دقيقة باتا يزداد العدد الذري واحداً وتبقى الكتلة كما هي . وفي بعض الاحيان يرافق هذه العمليات انطلاق اشعة غما . هذه العناصر التي يحصل فيها انحلال او تفكك طواعي هي غير مستقرة وتسمى العناصر المشعة وقد عالجناها في فصل سابق . والعناصر الطبيعية التي تتصرف هكذا (الا في حالات نادرة جداً) هي العناصر ذات الاوزان الذرية العالية كالاورانيوم والثوريوم والراديوم والاكتينيوم . كل هذه العناصر لها ذرات معقدة التركيب .

تتألف نواة الذرة بموجب الاراء الحديثة من نيوترونات وبروتونات ، تحت تأثير قوتين ، قوة تدافع بين البروتونات تخضع لقانون كولومب وقوة اخرى بين هذه الجسيمات جميعاً تشبه قوى التجاذب المعروفة . وهاتان القوتان تجعلان تركيب بعض الذرات مستقراً وتركيب البعض الاخر غير مستقر . ويكون التركيب مستقراً اذا كانت البروتونات والنيوترونات قليلة وكان عدد البروتونات يساوي عدد النيوترونات تقريباً . وفي النوى الكبيرة يلزم ان تكون نسبة النيوترونات اعلى ليحصل الاستقرار . وفي آخر الجدول الدوري حيث يصبح عدد البروتونات اكبر من ٩٠ وعدد النيوترونات ١٥٠ تقريباً تكون النوى غير مستقرة . وهناك بعض النوى الثقيلة التي يمكن اعتبارها مستقرة نظراً لطول نصف – عمرها . فاذا تكونت نواة غير مستقرة بصورة اصطناعية ، وذلك بضم نيوترون او بروتون ، يحصل تركيب مستقر . ولا يحدث هذا الاستقرار باطلاق بروتون او نيوترون لكن باطلاق كهرب او بوزيترون . هذا يدفعنا الى الاعتقاد بان البروتون في داخل النواة يتحول الى نيوترون وبوزيترون او بان النيوترون يتحول الى بروتون و كهرب ، فينطلق الجسيم المشحون الخفيف . بعبارة اخرى يبقى الوزن الذري كما هو ويتغير العدد الذري . اما شروط الاستقرار فانها ليست واحدة لوزن ذري معلوم . فاذا كان لدينا عدد معلوم من النيوترونات والبروتونات معاً نتمكن

من الحصول على عدد من التراكيب المستقرة، ثلاثة او خمسة على الاكثر. اما اذا كان لدينا عدد ذري معلوم، اي عدد معين من البروتونات، عندئذ نتمكن من الحصول على عدد كبير من التراكيب المستقرة بشكل نظائر. وفي بعض الحالات كان عدد النظائر عشراً لعدد محدود من البروتونات. لذلك كان بالامكان التثبت من وجود ٢٥٠ نواة مختلفة مستقرة، تتراوح اوزانها الذرية بين واحد و٢٣٨ وتتراوح اعدادها الذرية بين واحد و٩٢.

الاشعاع الاصطناعي

ذكرنا سابقاً ان النوى تطلق بوزيترونات او كهارب لتصبح مستقرة. وانطلاق الكهارب او جسيمات باتا من العناصر المشعة الطبيعية امر معروف. لكن انطلاق البوزيترونات لم يتحقق في هذه العملية. وفي سنة ١٩٣٤ اعلنت ايرين كوري بالاشتراك مع زوجها جوليو ان بعض العناصر الخفيفة (بورون، مغنيسيوم، ألومينيوم) تطلق بوزيترونات بعد رميها بدقائق الفا، وذلك لبرهة من الزمن بعد توقف دقائق الفا عن عملها. هذا يعني ان دقائق الفا تمكنت من صنع عناصر مشعة من العناصر السابق ذكرها. ومن القياسات التي اجريها تبين ان نصف اعمار المواد المشعة الحاصلة من البورون والمغنيسيوم والألومينيوم هي ١٤ دقيقة و٢،٥ دقيقة و٣،٢٥ دقيقة بالترتيب. اما المعادلة الذريه لعنصر الالومينيوم في هذا الصدد فهي كما يلي:

(١٣) الومينيوم (٢٧) + (٢) هليوم (٤) = (١٥) فسفور (٣٠) + (٠) نيوترون (١)

فعنصر الالومينيوم (وزنه الذري ٢٧) له نواة تتألف من ١٣ بروتوناً و١٤ نيوتروناً وليس له نظير معروف. فعندما تصطدم ذرة الألومينيوم مع دقائق الفا ينتج من ذلك نيوترونات ومادة اخرى تحمل نواتها ١٥ وحدة من الكهربائية الموجبة وتتألف من ١٥ بروتوناً و١٥ نيوترونا كما يظهر في المعادلة. واذا القينا نظرة على الجدول الذري يتبين لنا ان العنصر الذي يحوي ١٥ بروتوناً في نواته هو عنصر الفسفور وهو الخامس عشر في الجدول. لكن الوزن الذري للفسفور هو ٣١ بين نرى ان الوزن

الذري للمادة الحاصلة من العملية السابقة هو ٣٠ وليس للفسفور نظير معروف .

اجرى هذه التجربة فردريك جوليو وزوجته ايرين كوري . وبعد ان اجريا التجارب الكيميائية العديدة تبين لهما ان هذه المادة هي الفسفور بعينه . اذاً لدينا الآن نوع من الفسفور اخف من النوع المعروف . يظهر اذاً ان هناك نظيراً اصطناعياً للفسفور . لكن هذه المادة الجديدة كانت تضمحل اثناء اجراء الاختبارات الكيميائية . وقد تبين انها تضمحل في مدة اربع دقائق وتشع في هذه الاثناء اشعاعاً راديومياً مؤلفاً من اشعة غما . كذلك كان ينبعث من هذه المادة بوزيترونات . وبعد اختفاء هذا العنصر الجديد المشع تبين ان الناتج هو عنصر السيلكون الموجود بكثرة في الطبيعة والذي باتحاده مع الاكسجين يولد مركباً يوجد بكثرة في الرمل . والمعادلة التالية تبين هذه العملية :

(١٥) فسفور (٣٠) = (١٤) سيلكون (٣٠) + (١) بوزيترون (٠)

هنا مجال للسؤال عن مصدر البوزيترون في هذه العملية . إن الفسفور المشع هذا يحوي ١٥ بروتوناً و ١٥ نيوترونا في النواة فهو اذاً في حالة غير مستقرة لكثرة البروتونات في نواته . لذلك ينطلق بوزيترون واحد يمكن اعتباره شحنة موجبة من البروتون، تاركاً وراءه جسيماً متعادل الشحنة وهو النيوترون . اذاً لدينا تحول من ١٥ بروتوناً و ١٥ نيوتروناً الى ١٤ بروتوناً و ١٦ نيوتروناً وهذا هو نظير معروف لعنصر السيلكون .

لم تمكن اهمية هذه النتيجة بان عنصراً تحول الى عنصر آخر ، فذلك امر صار مألوفاً جداً في سنة ١٩٣٣ . لكن المهم هو ان الاشعاع الاصطناعي قد اكتُشف . اذ انه لا يوجد في الطبيعة فسفور يبعث اشعاعاً يشبه الاشعاع الراديومي . فهذا فتح جليل كان له تأثيره العميق في حقل العلم كما سيتبيّن لنا . هنا بدأ نشاط جديد في معالجة العناصر الاخرى لمعرفة ما اذا كانت تتصرف كالألومينيوم المار ذكره . وفي ظرف سنة صار درس عدد كبير من العناصر فوجد ان لها نظائر مشعة كالراديوم . ومن غريب الصدف ان الاشعاع الاصطناعي كان من نتاج ابحاث ابنة مدام كوري التي يعود لها الفضل مع زوجها في اكتشاف الراديوم المشع من ذاته . وقد مُنح السيد فردريك جوليو وقرينته جائزة نوبل سنة ١٩٣٥ مكافأة على اكتشافهما هذا .

النظائر المشعة والدراسات البيولوجية

كان طبيعياً ان يتخذ العلماء هذه الظاهرة الجديدة ، اي وجود نظائر مشعة لاكثر العناصر، كوسيلة لدرس نواح حيوية تتعلق بالجنس البشري . وهذا كان هدف العلماء قاطبة في جميع اكتشافاتهم . ويمكننا القول ان هذه الناحية في استعمال الاشعاع الراديومي هي اهم بكثير للجنس البشري من القنبلة الذرية التي لا تسبب الا الخراب والدمار . فقد استعمل الايدروجين الثقيل (الديوتريوم) ، وهو نظير الايدروجين ، وكذلك نظير الاكسجين الثقيل في اختبارات بيولوجية لتتبع مرور عنصر في الجسم . فالديوتريوم يحل محل الايدروجين في الماء والبروتين والادهان وهكذا يؤلف جزءاً من طعام الحيوان . ولما كان الديوتريوم اثقل من الايدروجين صار بالامكان التثبت من وجوده في الدم او العضلات او البول وبهذه الصورة يعرف مسلكه في داخل الجسم . وهذا التحليل كثيراً ما يقتضي قتل الحيوان لنزع الخلايا وعمليات معقدة في التحليل .

اما هذه النظائر المشعة فانها تسهل وتعمم الدراسات البيولوجية اذ ان النظير المشع يعلن عن وجوده بواسطة الاشعاع الراديومي . فهو يبعث دوماً بوزيترونات واشعة غما اينما وجد . وهذه الاشعة يمكن التحقق من وجودها بوسائل عديدة معروفة في علم الفيزياء . اما فائدة هذه الطريقة فهي في كونها لا تقتضي قتل الحيوان او تعطيل عضو من اعضائه . وقد تبين ان بالامكان تحضير نظير مشع من كل عنصر تقريباً بنفس السهولة . كذلك ليس من الضروري فصل النظير المشع لحفظه وبالامكان تحضيره في المواد المعدة لتحضير المركبات لاطعام الحيوانات او لحقنها بها .

هناك ناحية اخرى اروع من كل ما تقدم في استعمال النظائر المشعة . فان بعض اعضاء الجسم لها الفة خاصة مع عنصر معين . فالغدة الدرقية لها الفة خاصة مع اليود والعظام لها الفة خاصة مع الفسفور . ومعلوم اننا نأخذ اليود عادة مع الماء والمأكل وتخزنه في الغدة الدرقية التي تفرزه حين الحاجة . فاذا كان اليود من المواد المشعة نتمكن عندئذ من جعل هذه الغدة غنية بالاشعاع الراديومي . معلوم ايضاً ان جميع الانسجة تتأثر بالاشعاع الراديومي لان اشعة غما تقتل الخلايا الحية . لكن خلايا السرطان هي اشد تأثراً باشعة غما من الخلايا العادية . هكذا صار بالامكان القضاء

على خلايا السرطان اذا وجدت في هذه الغدة . كذلك من السهل التحكم بقوة الاشعاع الراديومي بشكل يمكننا من القضاء على خلايا السرطان بدون ان يحدث ضرر للخلايا الاخرى وبنفس الطريقة يكون استعمال الفسفور للقضاء على السرطان في العظام . هذه كلها امور في دور الدراسة ولم يتحقق منها الشيء الكثير . ولا نعرف حادثة شفي فيها العليل من داء السرطان بالطرق المار ذكرها . لكن العلماء لا يقفون عند حد في ابحاثهم فهم دوماً في مغامرات من هذا النوع ولا بد من ان يتوصلوا الى ما يصبون اليه في هذا الحقل كما توصلوا الى اكتشافات اخرى في حقل الفيزياء الذري . اما هذه النظائر المشعة فهي موجودة بكميات ضئيلة جداً . وقد تبين من الابحاث العديدة في صناعة القنبلة الذرية ان عناصر كثيرة يمكن ان تتحول الى مواد مشعة بكميات كبيرة . وقد بدأوا فعلاً في استعمال هذه المواد المشعة والامل كبير بتحقيق فكرة التغلب على بعض الامراض الخبيثة كالسرطان بالطريقة التي ذكرناها آنفاً .

طاقة التماسك في النواة (Binding Energy)

ذكرنا آنفاً ان النوى المستقرة وغير المستقرة تتألف من بروتونات ونيوترونات تربطها قوى لا تزال صعبة التفسير، اتينا على ذكرها في الفصل عن التماسك الذري . والمعروف في الفيزياء انه يلزم شيء من الشغل « Work » لفك مجموعة مستقرة . فاذا كان لدينا مجموعة مستقرة من البروتونات والنيوترونات يلزمنا بعض الطاقة لفكها الى اجزائها . ومن قانون تعادل الكتلة والطاقة يمكننا الاستنتاج ان كتلة النواة هي اقل من مجموع كتلة البروتونات والنيوترونات التي تدخل في بنائها . ويعرف هذا النقص في الكتلة الذي يرافق تكوين النواة من البروتونات والنيوترونات بنقص التماسك ، وتعرف الطاقة المعادلة له بطاقة التماسك ، وهي الطاقة اللازمة لفك النواة بكاملها الى اجزائها . وقد رأينا ان كتل النوى هي اعداد صحيحة « تقريباً » . فالكسور التي ترافق هذه الاعداد الصحيحة هي مركز اهتمامنا .

واذا اعدنا النظر في تركيب دقيقة الفا او ذرة غاز الهليوم نجد انها مستقرة لان

وزنها الذري (٤) وعددها الذري (٢) ، اي انها تتألف من بروتونين ونيوترونين . ويكون الفرق بين كتلة ذرة الهليوم والاجزاء التي تتألف منها :

(١٫٠٠٧٥٨×٢ + ١٫٠٠٨٩٣ × ٢) − ٤٫٠٠٢٨٠ = ٠٫٠٣٠٢٢ وحدة الكتلة .

هـذا يعادل طاقة التماسك بين البروتونات والنيوترونات في ذرة الهليوم او ٢٠٠ ٠٠٠ كيلوات – ساعة في كل غرام من غاز الهليوم . فاذا اردنا ان نفكك غراماً من ذرات الهليوم يلزمنا لذلك هذا المقدار من الطاقة . وبالعكس يتولد هذا المقدار من الطاقة عند تجمع البروتونات والنيوترونات لتكوين هذا المقدار من نوى الهليوم . لذلك اتجهت الافكار الى امكانية الحصول على طاقة هائلة من تجمع البروتونات والنيوترونات او من تحول ذرة الى ذرة اخرى .

عامل التماسك (Packing Factor)

يعرف النقص في الكتلة الذي يرافق تكوين النواة من البروتونات والنيوترونات بنقص التماسك (Packing Loss) وهذا يبين كمية الطاقة في التفاعل الذري . ويكون نقص التماسك لعنصر ما ولكل وحدة كتلة ذرية (Unit Atomic Mass) معادلا لنقص التماسك مقسوماً على عدد الوحدات ، البروتونات والنيوترونات ، في النواة . وهذا الناتج يسمى عامل التماسك . وبازدياد عامل التماسك تزداد الطاقة المنبعثة في الاتحاد ، وهكذا يزداد الاستقرار . وبعبارة اخرى يمكننا اعتبار التماسك الشديد بين البروتونات والنيوترونات في النواة نتيجة للنقص في الكتلة ولانطلاق الطاقة . لهذا تعرف الطاقة المنطلقة بطاقة تماسك البروتونات والنيوترونات في النواة .

تمكن استن (Aston) من قياس كتل النظائر المختلفة بواسطة مطياف الكتلة الذي كان قد استنبطه . فوجد ان عامل التماسك ليس واحداً لكل العناصر وان هناك شيئاً من الانتظام في هذه العوامل لمختلف العناصر . لم يكن هذا بالشيء الغريب اذ ان هناك انتظاماً في خواص العناصر العديدة . وفي كل حال نجد هذا العامل بطرح الوزن الذري من مجموع وزن البروتونات والنيوترونات في النواة ونقسم هذا الفرق ، الذي يعادل النقص في الكتلة ، على عدد البروتونات والنيوترونات في النواة . وللتمثيل

على ذلك نأخذ عنصر الكربتون(٧٨) الذي يحوي في نواته ٣٦ بروتوناً و ٤٢ نيوتروناً:

مجموع كتلة البروتونات = ١٦٠٠ ٧٦ × ٣٦ = ٣٦ ، ٢٧٣٦

» » النيوترونات = ١٦٠٠ ٨٩ × ٤٢ = ٤٢ ، ٣٧٣٨

المجموع = ٧٨ ، ٦٤٧٤

كتلة ذرة الكربتون = ٧٧ ، ٩٢٦٢

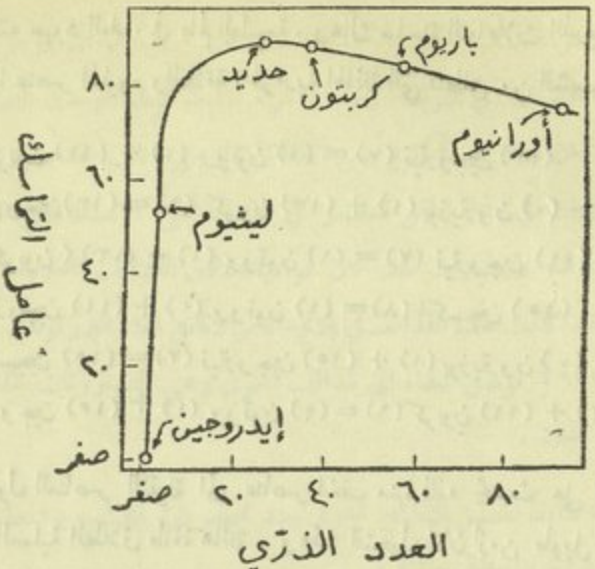
نقص التماسك = ٠٠ ، ٧٢١٢

عامل التماسك = ٠٠ ، ٠٠٩٢

فاذا اخذنا الايدروجين اساساً يكون عامل التماسك للكربتون ٠٠ ، ٠٠٩٢ او ٩٢ جزءاً لكل عشرة الاف جزء ، اي ان الكربتون (٧٨) يفقد ٩٢ جزءاً لكل عشرة الاف جزء عندما يتحد ٣٦ بروتوناً مع ٤٢ نيوتروناً ليؤلفوا نواة هذا العنصر، فهو اذاً شديد الاستقرار .

يتبين من الرسم البياني (شكل ٢٧) مقدار عامل التماسك لعدد من العناصر . فالايدروجين يقع في اسفل الخط الذي يرتفع بمعدل سريع حتى يصل الى اعلى حدّ عند النيكل والحديد . من ثم يهبط باستمرار حتى يصل الى عنصر الاورانيوم . نستنتج من هذا الرسم ان عوامل التماسك للعناصر الخفيفة والعناصر الثقيلة هي أقل من عوامل التماسك للعناصر في متوسط الجدول الذري . فالحديد اذاً هو اشد استقراراً من كافة العناصر ، والعناصر الخفيفة والثقيلة هي اقل استقراراً

هناك امر آخر نقدر ان نستخلصه من الرسم البياني . لنفرض ان بالامكان تحويل عنصر الى عنصر آخر بواسطة اعادة ترتيب البروتونات والنيوترونات في النواة ولنبتدي في اول او في آخر الجدول الذري ، محولين هذه العناصر الى عناصر في متوسط الجدول . في هذه العملية نحول عناصر اقلّ استقراراً الى عناصر اشد استقراراً ويرافق هذه العملية اطلاق الطاقة . وإن ابتدأنا من الايدروجين نضمّ الذرات الصغيرة لنكوّن ذرات اكبر منها . وان ابتدأنا من الاورانيوم نفكك ذرات كبيرة الى ذرّات اصغر . وفي الحالتين تكون الكتلة اقل مما كانت عليه في البداية ويتحول هذا النقص في مقدار الكتلة الى طاقة بموجب تعادل الكتلة والطاقة كما ذكرنا سابقاً .



شكل (٢٧)

علاقة العدد الذري وعامل التماسك

مصدر طاقة الشمس

هاتان العمليتان تحدثان دوماً في هذا الكون . فتحول العناصر الخفيفة الى ثقيلة يحدث في الشمس والنجوم، بينما تحول العناصر الثقيلة الى عناصر خفيفة يحدث على ارضنا هذه . وقد اثبت العلماء ان الطاقة التي تأتينا من الشمس والنجوم تنبعث اثناء تحول الايدروجين الى هليوم بعملية معقدة تشترك فيها عناصر عديدة اخرى . لكن التحول الجوهري هو في اتحاد اربع ذرات من ذرات الايدروجين لتكوّن ذرة هليوم . وفي هذه العملية يحدث نقص في الكتلة وتنطلق طاقة عظيمة ويتحول بروتونان الى نيوترونين فتكون نتيجة هذا التحول انطلاق بوزيترونين . لقد ظلت الطاقة المنبعثة من الشمس والنجوم سراً يقلق راحة العلماء حتى جاء هذا التفسير مبنياً على قواعد الفيزياء الذرية الحديثة . ويضيق المجال هنا عن التوسع في هذا البحث الذي يعد من

اجل ما انتجته جهود العلماء في عالم الطبيعة . وهاك سلسلة التفاعلات الذرية في الشمس التي ينتج عنها عنصر الهليوم والطاقة الحرارية الهائلة التي تنطلق من الشمس .

(٦) كربون (١٢) + (١) بروتون (١) = (٧) نيتروجين (١٣)

(٧) نيتروجين(١٣) = (٦) كربون (١٣) + (١) بوزيترون (٠)

(٦) (كربون) (١٣) + (١) بروتون (١) = (٧) نيتروجين (١٤)

(٧) نيتروجين (١٤) + (١) بروتون (١) = (٨) اكسجين (١٥)

(٨) اكسجين (١٥) = (٧) نيتروجين (١٥) + (١) بوزيترون (٠)

(٧) نيتروجين (١٥) + (١) بروتون (١) = (٦) كربون (١٢) + (٢) هليوم (٤)

اما تحول العناصر الثقيلة الى عناصر اخف منها فانه يحدث على ارضنا هذه ويرافق تلك العملية انطلاق طاقة هائلة . وهذا التحول كان لزمن طويل منحصراً في عملية الاشعاع الراديومي . هنا تتحول العناصر الى عناصر اخف منها . فالراديوم (وزنه الذري ٢٢٦) ينحل من ذاته الى هليوم (وزنه الذري ٤) ورادون (وزنه الذري ٢٢٢) . هنا تتحول نواة الراديوم الثقيلة الى نوى اصغر منها ويحدث نقص في الكتلة لان (عوامل التماسك) هي اكبر في العنصرين الناتجين، فتتولد من ذلك الطاقة الهائلة التي اتينا على ذكرها سابقاً واحصينا مقدارها . وما يصدق عن الراديوم يصدق ايضاً عن غيره من العناصر المشعة ، كالاورانيوم والثوريوم والاكتينيوم التي تنحل انحلالا طواعياً ، مع ان درجة انحلالها اقل من درجة انحلال الراديوم .

تخيل قلب الذرة واطلاق الطاقة الذرية

لم يكن هم العلماء ان يطلقوا الطاقة الذرية من عقالها ليصنعوا القنبلة الذرية، بل كان همهم ان يفهموا تركيب الذرة وان يدخلوا الى اعماق النواة ليفهموا سر تركيبها ويفسروا بعض الاسرار التي كانت مغمضة . ومن تلك الاسرار ما يتعلق بالبروتونات التي تحمل شحنة كهربائية موجبة والتي يجب ان تتدافع بموجب قانون كولومب ، لكننا نراها تتقلص في حيز ضيق جداً في النواة بحالة استقرار تام كما سبق وذكرنا في

الفصل عن سر التماسك الذري . كذلك كان همهم ان يعرفوا ما هو مركز النيوترون وغيره من الجسيمات في النواة . وقد ذكرنا سابقاً كيف اوحت العمليات في حقل تحطيم الذرة ان هناك قسماً كبيراً من الطاقة يتولد من اتلاف مقدار ضئيل من الكتلة. كانت الابحاث في هذا الحقل تنحصر في الاجابة على الاسئلة التي تتعلق بالطاقة والكتلة . اما الاختبارات فقد كان قوامها اطلاق القذائف الذرية من انواع المادة المختلفة . وقد كانت هذه القذائف في بادي الامر دقائق الفا والبروتونات والديوترونات . وفي سنة ١٩٣٢ توصل العلماء الى قذائف اخرى وهي النيوترونات كما تقدم في الفصل عن تحطيم الذرة .

ذكرنا سابقاً تفصيل التفاعل الذري عند تحطيم ذرة الليثيوم بواسطة البروتونات ، وعبرنا عن ذلك بواسطة المعادلة :

(٣) ليثيوم (٧) + (١) بروتون (١) = ٢ (٢ هليوم ٤) + طاقة حركية .

هناك امر مهم يجب ان نلفت اليه الانظار في هذا التفاعل وهو انشقاق كتلة ذرة الليثيوم والبروتون الى جسمين متساويين . وتعرف هذه العملية بالفلق (Fission) وهو الاسم الذي يطلقه علماء البيولوجيا على عملية فلق الخلية الى خليتين (Cell Division) . وقد صار هذا الاسم شائعاً جداً في الفيزياء الذرية وصارت العملية تدعى « فلق النواة » (Nuclear Fission) خصوصاً بعد ان ثبت فلق ذرة الاورانيوم الى جزئين متساويين تقريباً سنة ١٩٣٩ . وفي عمليات الانشقاق هذه تنطلق طاقة هائلة ، اصبحت مصدر طاقة جديدة من صنع الانسان ، تشبه الطاقة الناتجة عن تفكك العناصر المشعة . اما العناصر المشعة فلا يمكن بحال من الاحوال التحكم بانحلالها الذي هو مصدر قوة هائلة ، لذلك كان فلق الذرة اصطناعياً محور تحقيق الطاقة الذرية .

في سنة ١٩٣٩ توصل العلماء الى طريقة جديدة لاطلاق الطاقة الذرية وذلك بتحويل

العناصر الثقيلة الى عناصر اخف منها . والعملية تتألف من فـك نواة الاورانيوم بشكل يجعل النوى الناتجة اخف من ذرة الاورانيوم فيتحول النقص في الكتلة الى طاقة هائلة . هذا هو المبدأ الذي ترتكز عليه القنبلة الذرية التي ستكون في المستقبل بداية عصر جديد في الفتوحات العلمية، وهذه العملية هي من نتاج الانسان وهي تحت مطلق تصرفه بخلاف انحلال الراديوم وامثاله .

الفصل الثاني عشر

الاورانيوم (٢٣٥)

اكتشاف نظير جديد للاورانيوم

في سنة ١٩٣٩ ، سنة ابتداء الحرب العالمية الثانية ، توصل الباحثون الى اكتشاف حقيقة جديدة تتعلق بالاورانيوم « ٢٣٥ » كانت مفتاح اطلاق الطاقة الذرية . كان الاستاذ ارثر دمبستر « Dempster » قد اكتشف هذا النظير الجديد للاورانيوم في جامعة شيكاغو سنة ١٩٣٥ ، لكنه لم يدرك ان هذا النظير يختلف عن الراديوم بقدر ما يختلف الراديوم عن العناصر العادية غير المشعة . اما اكتشاف هذه الحقيقة الجديدة فقد كان نتيجة اطلاق النيوترونات على ذرة الاورانيوم على يد اوتوهان «Otto Hahn» وشترسمان .

كان هذان العالمان يدرسان تاثير النيوترونات البطيئة على الاورانيوم العادي . ومن بين معاوني اوتوهان كانت سيدة ، تدعى لزي ميتنر « Meitner » ، قد اكتشفت جهازاً حساساً لمعرفة الناتج من التحولات الذرية . وفي سنة ١٩٣٩ اعلن الدكتور اوتوهان ان من بين نتائج تحولات الاورانيوم بواسطة النيوترونات كان عنصر الباريوم . كان هذا غريباً جداً ومنافياً لما هو معروف . اذ ان الباريوم له عدد ذري يساوي ٥٦ ووزن ذري يساوي ١٣٨ . ولم يكن شيء من هذا القبيل معروفاً لهذا التاريخ . والذي كان معلوماً هو ان الذرة تطلق الكتروناً او بوزيتروناً وتصبح ذرة نظير جديد وهكذا يكون للذرة الجديدة مركز في الجدول الذري يتقدم او يتأخر مركزاً واحداً عن الذرة الاصلية

فلق ذرة الاورانيوم « Nuclear Fission »

كانت الدكتورة ميتنر ، ولها من العمر ٦٠ سنة ، تعمل مع الدكتور فريش « Frisch » في ستوكهلم كلاجئي حرب فاجريا تجارب عديدة ودراسات واسعة في

التفاعلات بين الاورانيوم والنيوترونات . بدا لها ان ذرة الاورانيوم تتصرف عند اصطدامها بنيوترون بطيء بشكل يختلف عما سبق وعُرف عن تحولات العناصر . فبدلاً من ان تطلق جسيماً او جسيمين وتصبح ذات وزن ذري اقل بقليل من الوزن الاصلي ، كانت تنفلق الى فلقتين ، احداهما الباريوم « وزنه الذري ١٣٧ » والاخرى هي عنصر الكربتون « وزنه الذري ٨٢ » وقد اطلق على هذه العملية اسم فلق الذرة « Fission » . ومعلوم ان ذرة الاورانيوم تحوي ٩٢ بروتوناً . فعندما تنفلق يتكون الباريوم وهذا يحوي في ذرته ٥٦ بروتوناً . يبقى ٣٦ بروتوناً وهذا ما تحويه ذرة الكربتون من بروتونات حسب الجدول الدوري للعناصر . واذا اعدنا النظر الى الرسم البياني « شكل ٢٧ » الذي يرينا عوامل التماسك للعناصر المختلفة نجد ان الباريوم والكربتون هما في اعلى الرسم . ومعنى هذا انهما بتكونهما من عنصر الاورانيوم يكون مجموع الكتلة الناتجة اقل بكثير من الكتلة الاصلية . وبموجب قانون اينشتين تنطلق كمية هائلة من الطاقة . كذلك يمكننا القول ان التحول قد حصل دفعة واحدة من نهاية الجدول الذري حيث قوى التماسك على اضعفها الى وسط الجدول حيث هذه القوى على اشدها ، وهكذا كانت الطاقة المنطلقة اعظم مما حصلوا عليه في جميع العمليات السابقة . وقد دلّت المقاييس على ان مقدار الطاقة هذه كان فوق التصور وانه يبلغ ٢٠٠ مليون الكترون – ڤولط . ومعنى هذا ان كيلوغراماً من الاورانيوم يتمكن من توليد طاقة تعادل الطاقة الناتجة عن احتراق ٢٠ مليون كيلوغرام من الفحم الحجري .

لم يكن هذا الحدث بالشيء الجديد فالتفاعل الذري كان قد اصبح شائعاً . فقد ذكرنا سابقاً ان ذرة الليثيوم تتحد مع البروتون وتنفلق الى ذرتي هليوم يرافقهما انطلاق مقدار عظيم من الطاقة . وهناك تحولات عنصرية عديدة اخرى اثبتتها التجارب وكانت جميعها تدل على تحول الكتلة الى طاقة . وبالرغم من ان هذه الطاقة المنطلقة هي عظيمة جداً فلم يكن من الممكن استخدامها في الصناعات والعمليات الاخرى . اذ ان الطاقة اللازمة لاطلاق البروتونات او النيوترونات بالزخم اللازم كانت اكبر من الطاقة الحاصلة . ومعلوم ان العملية تتوقف عندما نتوقف عن اطلاق القذائف هذه .

واذا كان بالامكان الحصول على ٢٫٧٦ × ١٠ − ٥ من الارج عندما تتحد ذرة الليثيوم مع البروتون، ينتج من ذلك نصف مليون كيلوات – ساعة باتحاد غرام من الايدروجين مع سبع غرامات من الليثيوم . يبدو لنا ان ذلك خير من احتراق الفحم . لكن هناك صعوبة في الحصول على بروتونات لها الزخم الكافي وفي التحكم بالطاقة الحاصلة. كذلك كانت العمليات الذرية تقتصر على عدد كبير من الذرات لا يساوي وزنها الا كسراً من جزء من مليون من الغرام . ونفس الشيء ينطبق على استعمال النيوترونات كقذائف .

التفاعل المتسلسل في الاورانيوم (٢٣٥)

كان الدكتور فرمي « Fermi » ضيفاً على جامعة كولومبيا عندما اجتمع رهط من العلماء لمتابعة البحث في صدد هذه الطاقة الهائلة . وكان بين هؤلاء الدكتور بوهر والعالم اينشتين وغيرهم . رأى الدكتور فرمي انه من المحتمل ان يرافق فلق ذرة الاورانيوم انطلاق نيوترون او اكثر مع انطلاق الطاقة الهائلة . واذا كان الامر هكذا فمن الممكن ان يحصل تفاعل ذري متسلسل اذ ان كل ذرة من ذرات الاورانيوم عند فلقها تولّد نيوترونات، وهذه بدورها تشق ذرات اخرى ويصبح العمل متواصلاً كما هي الحال في احتراق الوقود والمتفجرات .

نعتمد عادة على الفحم والبترول والحطب كمصادر للوقود في توليد الطاقة. والفرق بسيط بين الوقود والمتفجرات ويمكن اعتبارها جميعاً مصادر للطاقة . وفي جميع هذه العمليات تكون الطاقة الحاصلة نتيجة تفاعل كيميائي حيث يعاد ترتيب الكهارب الخارجية في الذرة . ومن اهم خواص الوقود او المتفجرات هو ان احتراق قسم منها يولد حرارة كافية لاحتراق الاقسام الاخرى المجاورة، كما انه يعطي حرارة للاجسام المحيطة . لذلك كانت حرارة عود الثقاب كافية لبدء الاحتراق في الوقود التي تعطينا طاقة حرارية اكثر بكثير من حرارة عود الثقاب . اما في التفاعلات الذرية التي سبق ذكرها فان انطلاق الطاقة يلزمه دائماً عامل خارجي . وليست الطاقة المنطلقة ولا الدقائق الحاصلة كافية لاستمرار العملية . واذا كانت المواد الراديومية شبيهة بالوقود

وجب ان يكون انحلال جزء منها سبباً لانحلال جزء آخر . وبعبارة اخرى يجب ان يكون انحلال كل ذرة سبباً لانحلال اكثر من ذرة اخرى . ان هذا النوع من التفاعل الذري لم يكن معروفاً قبل سنة ١٩٣٩ رغم الاحتمالات العديدة التي كانت قد اكتشفت . لذلك كان لرأي فرمي في الحصول على نيوترونات من فلق ذرة الاورانيوم صدى مستحب في الاوساط العلمية .

تحتوي ذرة الاورانيوم « العدد الذري ٩٢ والوزن الذري ٢٣٨ » على ١٤٦ نيوتروناً وذرة الباريوم تحتوي على ٨٢ نيوتروناً وذرة الكربتون تحتوي على ٤٧ نيوتروناً . فعندما تمتص ذرة الاورانيوم نيوتروناً واحداً يتبين ان هناك ١٨ نيوتروناً لم تدخل في تركيب عنصر جديد فهي حرة طليقة كما يظهر من المعادلات الذرية . ولو فرضنا ان بعض هذة النيوترونات يتحد مع البروتونات ليؤلف جزئيات جديدة او يتحول

نيوترون + اورانيوم = باريوم + كربتون + ١٨ نيوترون

ن + (٩٢ ب + ١٤٦ ن) = (٥٦ ب + ٨٢ ن) + (٣٦ ب + ٤٧ ن) + ١٨ ن

الى بروتونات فانه من الممكن ان يبقى بعضها حراً طليقاً . هذه النيوترونات المستقلة هي مركز هذه الظاهرة الغريبة الجديدة . هكذا نرى ان هذا التفاعل الذري المتسلسل يستمر من ذاته بعد ان يقع نيوترون على ذرة اورانيوم حتى تتحول كمية الاورانيوم جميعها الى باريوم و كربتون .

الاورانيوم (٢٣٨ ، ٢٣٥ ، ٢٣٤)

اذا كانت الحال كما تقدم فكيف يمكننا ان نفسر وجود الاورانيوم في الطبيعة، ما دام ابتداء عملية التحول يلزمه نيوترون واحد وهذا كفيل بتحويل الاورانيوم بكامله الى باريوم و كربتون . يعود الفضل بهذا التفسير للدكتور بوهر والدكتور هويلر « Wheeler » اللذين اكتشفا ان الاورانيوم العادي ليس عرضة لهذا الفلق . اما مصدر هذا التحول الذري فهو الاورانيوم ٢٣٥ احد نظائر الاورانيوم وهو يوجد بنسبة جزء واحد من ١٤٠ جزء من الاورانيوم العادي . فيلزمنا اذا ١٤٠ غراماً من الاورانيوم للحصول على غرام واحد من الاورانيوم ٢٣٥ . فالعملية اذاً تقتضي عزل

الاورانيوم ٢٣٥ بكميات كافية ، الامر الذي كان من الصعوبة بمكان.

هناك ثلاثة انواع من الاورانيوم، (٢٣٨ و ٢٣٥ و ٢٣٤) ، والفرق ضئيل بين كتل ذراتها . لذلك كان من الصعب فصل هذه النظائر عن بعضها ودرس تأثير النيوترونات على كل منها . لقد توصل الدكتور الفرد نير (Nier) ، وله من العمر ٢٧ سنة ، لفصل هذه النظائر عن بعضها بواسطة مطياف الكتلة بعد ان ادخل بعض التعديلات على الطريقة التي استعملها استن وطمسون . كان العلماء قد توصلوا بواسطة هذا المطياف لادراك وجود مادة ووزنها الذري اذا كان لديهم منها جزء من مليون جزء من الغرام . وقد تمكن الدكتور نير من جمع كميات ضئيلة من نظائر الاورانيوم الثلاثة . ومن التجارب التي اجريت على هذه النظائر تبين ان الاورانيوم ٢٣٥ هو وحده عرضة للفلق بواسطة النيوترونات . اما الاورانيوم ٢٣٨ فانه يلتقط نيوتروناً ولا ينفلق. والاورانيوم ٢٣٤ لا يظهر اثر لاشتراكه في العملية نظراً لندرة وجوده.

النيوترونات البطيئة والسريعة

اثبتت التجارب التي تلت ان الاورانيوم ٢٣٥ يتأثر بالنيوترونات البطيئة اكثر مما يتأثر بالسريعة منها . اما الاورانيوم ٢٣٨ فانه يلتقط النيوترونات السريعة بسهولة ولا ينفلق. هذا الفرق بين النظيرين « ٢٣٨ و ٢٣٥ » كان عثرة كبيرة في توليد الطاقة الذرية . فلكي يتحقق التفاعل المتسلسل يجب ان يقع نيوترون واحد على الاقل على ذرة الاورانيوم ٢٣٥ . ولما كان هذا النظير يوجد بكميات قليلة بالنسبة للاورانيوم ٣٢٨ كان من الطبيعي ان يبتلع هذا الاخير كل النيوترونات الناتجة عن الفلق ، فلا يبقى مجال لتحقيق التفاعل المتسلسل .

عزل الاورانيوم (٢٣٥)

فالحل الوحيد اذاً لهذه القضية هو عزل الاورانيوم ٢٣٥ عن غيره من النظائر وتعريضه للنيوترونات . هكذا يخلو الجو لذرات الاورانيوم هذا في امتصاص

النيوترونات الناتجة عن الفلق اذ ليس من منازع ، فيتم بذلك التفاعل المتسلسل. وقد توصل الدكتور الفرد نير ، كما ذكرنا سابقاً ، لعزل اول كمية ضئيلة من هذا النظير . ثم تلا ذلك نشاط في شركة الجنرال الكتريك في نيويورك كانت نتيجته الحصول على كمية اخرى منه . وقد أُرسلت هذه الكميات الضئيلة الى جامعة كولومبيا ليصح امتحانها على يد الدكتور بوهر والدكتور بولاك (Pollack)

في السنة التي تحقق فيها عزل كمية ضئيلة من الاورانيوم ٢٣٥ كانت دول العالم مشتبكة في الحرب العالمية الكبرى الثانية . وكل دولة كانت تنفق كل جهد ممكن للتفتيش عن الوسائل الممكنة لكسب الحرب . ومن تلك الوسائل تسخير الطاقة الذرية للحصول على مادة متفجرة تزيد فاعليتها مائة مليون مرة على فاعلية اهم المتفجرات المعروفة . هذا جعل العلماء في بريطانيا وفرنسا والمانيا والولايات المتحدة يجدّون في السعي لاكتساب الوقت ، متسابقين في هذا المضمار لعلمهم ان هذا الاكتشاف يضمن كسب الحرب لفئة دون اخرى . وكانت الولايات المتحدة في مقدمة البلدان التي انفقت الاموال الطائلة وصرفت الجهود الجبارة لتحقيق هذه الفكرة . ويقدّر المبلغ الذي خصصته الولايات المتحدة لدرس الطاقة الذرية وسرجها لخدمة الصناعة عامة ولصنع القنبلة الذرية خاصة ببليوني دولار . كما انَّ نحو سبعة الاف من العلماء كانوا يعملون بلا انقطاع للحصول على ذلك السر . ويضيق المجال هنا عن شرح التفاصيل الوافية وسرد اسماء العلماء الكثيرين الذين اشتركوا بهذا العمل .

لقد كان من نتاج الحرب العالمية الثانية صنع مواد يتولد من انحلال جزء منها انحلال جزء اخر ، فهي شبيهة بتلك الوقود المذكورة سابقاً والتي ينتج عن احتراق قسم منها احتراق القسم الآخر . وكما ان الوقود يلزمها عامل خارجي لبدء احتراقها هكذا يتطلب الفلق الذري عاملاً خارجياً لابتداء العملية . وهذا العامل الخارجي هو نيوترون شارد يدخل جسم نواة الاورانيوم (٢٣٥) فلا تتوقف العملية حتى يتحول العنصر بكامله الى باريوم وكربتون ، يرافق ذلك انطلاق طاقة هائلة . وهذه النيوترونات الشاردة كثيرة ويمكن الاعتماد عليها . فهناك الاشعة الكونية التي تولّد من المواد المشعة ما يكفي لانطلاق كل انواع الدقائق الاساسية في كل زمان ومكان.

كما انه يمكن الحصول على نيوترونات من المواد المشعة اصطناعياً .

الخلاصة

ها نحن الآن على وشك اطلاق الطاقة الذرية . ومما يلي نقدر ان ندرك عظم الجهود التي صرفها العلماء في تحقيق هذه الفكرة .

سنة	٤٠٠	(قبل المسيح) وضع ديمقريطس اساس تركيب المادة الذري
»	١٨٠٨	اكتشف دلتن قانون النسب الثابتة
»	١٨١١	قانون اڤوجادرو المتعلق ببناء المادة من جزيئات
»	١٨١٢	برزيليوس (Berzelius) يعلن علاقة الظواهر الكيميائية بالكهربائية
»	١٨١٤	فرونهوفر يكتشف الخطوط في الطيف المسماة على اسمه
»	١٨٣٣	فراداي يكتشف القوانين الاساسية للتحليل الكهربائي
»	١٨٦٠	كيرشهوف وبنسن يكتشفان التحليل الطيفي
»	١٨٦٩	مندليف يكتشف الجدول الدوري
»	١٨٨٥	بالمر يكتشف معادلة خطوط الطيف
»	١٨٩٥	رنتجن يكتشف الاشعة السينية (X - Ray)
»	١٨٩٦	بكريل يكتشف الاشعاع الراديومي
»	١٨٩٨	بيار ومدام كوري يكتشفان الراديوم
»	١٩٠٠	بلانك يضع اساس نظرية الكم
»	١٩٠٠	اكتشاف الانبعاثات
»	١٩٠٢	رذرفورد وصدي يضعان اساس نظرية تفكك العناصر .
»	١٩٠٥	اينشتين يعلن وحدة الطاقة والكتلة .
»	١٩٠٥	بركلا يكتشف الاشعاع الخاص لكل من العناصر
»	١٩١١	رذرفورد يعلن نظرية التركيب الذري .
»	١٩١٢	لاو يكتشف تفرق الاشعة السينية بواسطة البلورات
»	١٩١٣	بوهر يضع اساس تطبيق نظرية الكم على الذرة والاطياف

« ١٩١٣ موزلي يضع علم الاطياف للاشعة السينية

« ١٩١٩ استن يكتشف مطياف الكتلة

« ١٩١٩ رذرفورد يحطم لاول مرة ذرة باطلاقه دقائق الفا

« ١٩٢٢ بوهر يفسر الخواص الكيميائية الدورية على اساس الكهارب الخارجية في الذرة

« ١٩٢٤ دي بروغلي يضع علم الميكانيكا الموجية

« ١٩٢٦ شرودنجر يضع اساس علم الميكانيكا الذرية

« ١٩٢٧ دافسن وجرمر يحققان عملياً تفرق وتداخل امواج المادة (Matter-waves)

« ١٩٢٩ اكتشفت محطمات الذرة الجبارة ومنها جهاز فان دي كراف والمدار الرحوي الذي استنبطه لورنس

« ١٩٣٢ تمكن كوكروفت ودلتن من تحطيم ذرة الليثيوم وتحويلها لذرة هليوم

« ١٩٣٢ اكتشف شادويك النيوترون

« ١٩٣٢ اكتشف اوري النظير الثقيل للايدروجين

« ١٩٣٢ تم اكتشاف البوزيترون على يد اندرسن

« ١٩٣٣ اثبت فردريك جوليو وزوجته ايرين كوري طبيعة الضوء المادية

« ١٩٣٤ اكتشف جوليو وزوجته ايرين كوري الاشعاع الاصطناعي

« ١٩٣٤ اكتشف فرمي عملية اطلاق النيوترونات البطيئة لتحطيم الذرات.

« ١٩٣٦ اكتشف هان وميتنر وشترمان اربعة عناصر بعد الاورانيوم (Trans-Uranic) معتمدين على نتائج قام بها فرمي سابقاً

« ١٩٣٩ تمّ فلق ذرة الاورانيوم

« ١٩٤٠ تمكن الفرد نير من عزل كمية ضئيلة من الاورانيوم (٢٣٥)

الفصل الثالث عشر

التفاعل المتسلسل

عرض للحالة سنة ١٩٤٠

اصبحت المعلومات التالية عن فلق الذرة معروفة ومؤكدة في جميع الاوساط العلمية في شهر حزيران سنة ١٩٤٠ :

(١) يوجد ثلاثة عناصر ، وهي الاورانيوم والثوريوم والبروتو أكتينيوم ، تنفلق بعض الاحيان الى فلقتين متساويتين تقريباً عند اصطدامها بالنيوترونات . اما هذه الفلقات فهي نظائر لعناصر في متوسط الجدول الدوري ، تتراوح اعدادها الذرية بين ٣٤ و٥٧ . واكثر هذه الفلقات غير مستقرة وتتفكك كما يتفكك الراديوم باطلاقها دقائق الفا متحولة الى سلسلة من العناصر تنتهي الى صور مختلفة مستقرة وجميع هذه الفلقات تتمتع بطاقة حركية هائلة .

(٢) يحصل فلق عنصري الثوريوم والبروتو اكتينيوم بواسطة النيوترونات السريعة فقط (الوف الاميال في الثانية)

(٣) يحصل فلق الاورانيوم بالنيوترونات السريعة او البطيئة . وقد ثبت ان النيوترونات البطيئة احدثت فلق نظير الاورانيوم (٢٣٥) ولم تتمكن من فلق النظير (٢٣٨) . اما فلق الاورانيوم (٢٣٥) بواسطة النيوترونات السريعة فهو اقل احتمالاً من فلقه بواسطة البطيئة منها

(٤) عندما تصل سرعة النيوترونات الى حد معلوم يتمكن الاورانيوم (٢٣٨) من امتصاص عدد كبير منها فيتحول الى اورانيوم (٢٣٩) ولا ينفلق فيما بعد .

(٥) يكون مقدار الطاقة الناتجة عن فلق ذرة الاورانيوم ٢٠٠ مليون الكترون – ڤولط تقريباً . كذلك تنطلق نيوترونات ذات سرعات عالية كنتيجة لهذه العملية بمعدل نيوترون او ثلاثة لكل فلق يحدث .

(٦) يحتمل جداً ان تفقد النيوترونات السريعة بعض طاقتها باصطدام غير مرن (Inelastic) مع ذرات الاورانيوم بدون ان يحصل تفاعل ذري .

(٧) لقد جاءت جميع هذه المعلومات مطابقة لنظرية التركيب الذري التي وضعها بوهر وهويلر وغيرهما . لذلك اصبحت الاستنتاجات المبنية على هذه النظرية تصادف استحساناً ونجاحاً يذكر في الاوساط العلمية .

عنصر النبتونيوم

مرّ بنا ان الاورانيوم (٢٣٨) يمتص نيوترونات سريعة لكنه لا ينفلق . فماذا ينتج اذاً عن هذا التفاعل ؟ لقد كان على النظرية الذرية ان تجيب على هذا السؤال . لنفرض ان الاورانيوم يمتص نيوتروناً ويحتفظ به كما يتبين من المعادلة :

(٩٢) اورانيوم (٢٣٨) + (٠) نيوترون (١) = (٩٢) اورانيوم (٢٣٩)

وبموجب النظرية الذرية يكون هذا العنصر غير مستقر لوجود نيوترونات فوق المطلوب . لذلك تحصل اعادة ترتيب الشحنات والكتلات فتطلق النواة كهرباً . يحدث هذا اذا اطلق النيوترون شحنة سالبة وتحول الى بروتون ذي شحنة موجبة فينتج نواة ينقص فيها عدد النيوترونات بواحد ويزيد عدد البروتونات بواحد على عددها في ذرة الاورانيوم (٢٣٨) . فيصبح العدد الذري هنا (٩٣) وهذا يبين ظهور عنصر جديد في نهاية الجدول الدوري . وقد دعي هذا العنصر نبتونيوم (Neptunium) . في هذه العملية ينطلق كهرب مع كمية تذكر من الاشعاع الاصطناعي بشكل اشعة سينية او اشعة غماً بحسب المعادلة التالية :

(٩٢) اورانيوم (٢٣٩) = (٩٣) نبتونيوم (٢٣٩) + (ـ١) كهرب (٠) + اشعة غماً .

عنصر البلوتونيوم

لا تقف العملية عند هذا الحد اذ ان النظرية الذرية تخبرنا ان هذا العنصر ، اي النبتونيوم (٢٣٩) ، ليس مستقراً . فينتظر بعد هنيهة ان يطلق كهرباً من نواته واشعة سينية قوية فينتج من ذلك نواة تحوي ٩٤ بروتوناً وهي نواة عنصر جديد . ومعلوم ان الكتلة لا تتغير بانطلاق الكهارب من الذرات . فيظل الوزن الذري ٢٣٩ ويصبح العدد

الذري ٩٤ . وقد سمي هذا العنصر الجديد بلوتونيوم .

(٩٣) نبتونيوم (٢٣٩) = (٩٤) بلوتونيوم (٢٣٩) + (ـ١) كهرب (٠) + اشعة سينية .

وهذان الاسمان ، نبتونيوم وبلوتونيوم ، مستمدان من اسمي الكوكبين السيارين اللذين يدوران حول الشمس بعد الكوكب اورانوس .

وهذا العنصر مستقر بموجب النظرية الذرية ويمكنه امتصاص نيوترونات بطيئة وينفلق كما ينفلق الاورانيوم (٢٣٥) . اذا صح هذا يصبح لدينا مصدر للبلوتونيوم من الاورانيوم ٢٣٨ باطلاق نيوترونات عليه . ويمكن الحصول على كميات كبيرة من البلوتونيوم لان مصدره ، اي اورانيوم ٢٣٨ ، موجود بكثرة في الاورانيوم العادي . ولما كان عنصر البلوتونيوم يختلف كيميائياً عن عنصر الاورانيوم كان من السهل فصله عنه وتنقيته . لذلك اتجهت الافكار الى انتاج هذا العنصر الجديد بكميات وافرة ووجود كمية من البلوتونيوم كفيل لابتدا. التفاعل المتسلسل . فعندما تمتص نواة البلوتونيوم نيوتروناً خارجياً تنفلق الى فلقتين ، ويرافق هذه العملية انطلاق طاقة حرارية واشعة غما وعدد من النيوترونات . وهذه النيوترونات الحاصلة تفعل فعلها في نوى البلوتونيوم مسببة انطلاق نيوترونات جديدة الى ان يتحول البلوتونيوم بكامله الى فلقات ناتجة عن العملية هذه مع طاقة هائلة . هكذا نرى ان ما اثبتته النظريات سنة ١٩٣٩ صار حقيقة سنة ١٩٤٥ .

التفاعل المتسلسل كمصدر للطاقة الذرية

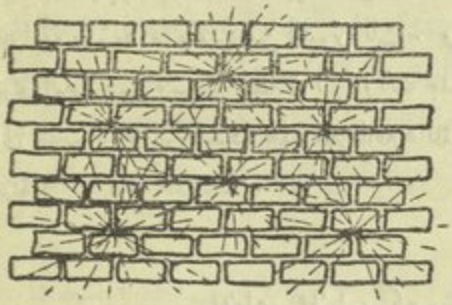
لقد كان هدف العلماء الرئيسي سنة ١٩٤٠ ان يعرفوا اذا كان بالامكان احداث تفاعل متسلسل في كمية وافية من الاورانيوم ، إما لتوليد القوة الذرية او للحصول على عنصر البلوتونيوم . ففي فلق ذرة الاورانيوم (٢٣٥) تنطلق نيوترونات عديدة وهذه تتمكن إما من فلق ذرات اخرى من الاورانيوم (٢٣٥) او من الاتحاد مع ذرات الاورانيوم (٢٣٨) فينتج من ذلك عنصر البلوتونيوم . ويحتمل ان تتحد هذه

النيوترونات مع مواد غريبة او ان تخرج الى الفضاء الخارجي بدون ان تحدث تأثيراً ما. اما هذه النيوترونات فانها سريعة جداً فلا تصلح لانتاج البلوتونيوم من الاورانيوم، العمل الذي يتطلب نيوترونات بطيئة نوعاً. وقد ثبت من التجارب العديدة ان النيوترونات ذات السرعة المحدودة تتمكن من التغلغل في نوى الذرات المغار عليها فيحدث الفلق المنتظر.

التحكم بسرعة النيوترونات وبناء قبب التفاعل المتسلسل

توصل العلماء الى تخفيف سرعة النيوترونات والتحكم بها بمزجها مع مواد اخرى كالايدروجين الثقيل والبريليوم والفحم. وقد استنبط فرمي طريقة قوامها قطع من الغرافيت على نمط الآجر تحتوي على نتف من الاورانيوم او اكسيد الاورانيوم. وتبنى هذه القطع بشكل قبة او كومة.

ظلت الابحاث في التفاعل المتسلسل منحصرة في جامعة كولومبيا سنة ١٩٤٠ بقيادة باغرام وفرمي وسزيلارد (Szilard). وفي اوائل سنة ١٩٤١ توسعت دائرة العمل وضمت جامعات برنستن وشيكاغو وكاليفورنيا. وفي شهر تموز سنة ١٩٤١ تمّ انشاء اول قبة للتفاعل الذري المتسلسل في جامعة كولومبيا وهي مكعّب من الغرافيت، احد اضلاعه ثمانية اقدام، يحتوي على سبعة اطنان من اوكسيد الاورانيوم. وفي نهاية سنة ١٩٤١ انتقل العمل في هذه القبب الى جامعة شيكاغو حيث كان يجري البحث في مواضيع عديدة بهذا الصدد بقيادة العالم كومبتون يعاونه جيش من المعاونين.



شكل (٢٨)

قبة مشبكة لفلق الاورانيوم

قطع صغيرة من الاورانيوم خلال لبنات من الغرافيت

كان على كومبتون ورفاقه ان يعالجوا مسائل عديدة ، منها انتاج كمية وافرة ونقية من الاورانيوم . فعهدوا الى عدد كبير من الشركات الصناعية مهمّة هـذا الانتاج . وفي اليوم الثاني من كانون الاول سنة ١٩٤٢ تمكن الفيزيائيون من انشاء اول قبة يتم فيها هذا التفاعل المتسلسل القائم بذاته . وهكذا بدأ العمل فعلاً في هذه القبة المؤلفة من قطع الاورانيوم او اوكسيد الاورانيوم مرتّبة على ابعاد متساوية بين قطع الغرافيت .

لم تكن عملية وضع هذه القطع بالامر السهل وكان على القائمين بها ان يتخذوا احتياطات شديدة . فكانوا يضعونها بحذر شديد ودقة فائقة . اما اهل الجامعة من طلاب وغيرهم فانهم لم يهتموا بما كان يجري في بناء القبة . ومن جملة الاحتياطات المتخذة اجهزة حساسة تنذر بما يحصل . وفجأة سجلت تلك الاجهزة ابتداء التفاعل من ذاته في الاورانيوم وتحويله الى بلوتونيوم ، الشيء الذي لم يكن منتظراً . كان هذا كافياً لوقوع كارثة بالامريكيين تشبه كارثة اليابانيين لولا وجود بعض لفافات الكادميوم بين الغرافيت التي كان قد اشار بها بعض العلماء . والكادميوم هو من مخففات سرعة النيوترونات ووجوده مكّن العلماء من تأخير وقوع التفاعل ومراقبته بدقة . كان من الضروري ايضاً ايجاد وسيلة للتبريد لانّ كمية الحرارة الناتجة عن هذه العملية عظيمة جداً .

الطاقة الحاصلة من فلق ليبرة (باوند) من اورانيوم (٢٣٥)

لا بدّ من العودة الى قانون تعادل الكتلة والطاقة الذي اوحته نظرية النسبية . فعندما يتم فلق باوند واحد من اورانيوم (٢٣٥) ، يتحول هذا العنصر الى باريوم وكربتون ويحدث نقص في الكتلة ينتج عنه طاقة هائلة تبلغ ٤٠٠ مليار مليار ارج او ١٢ ٠٠٠ ٠٠٠ كيلووات — ساعة . وهذه الطاقة تكفي لانارة ١٢ مليون مصباح كهربائي من قوة ١٠٠ وات لمدة عشر ساعات . واذا انطلقت هذه الطاقة دفعة واحدة في ظرف جزء من الثانية فانها تعادل الطاقة الناتجة عن ١٠ ٠٠٠ طن من اقوى المتفجرات

المعروفة (T N T) . ولو فرضنا ان ذرةً من كل عشر ذرات تنفلق تماماً تتولد طاقة تعادل ٢ ٠٠٠ ٠٠٠ ضعف الطاقة المتولدة من اقوى المتفجرات المعروفة . ارقامٌ عظيمة مشوّقة، لكنَّ الكمية التي عزلت من اورانيوم(٢٣٥)لم تزد على جزء من مائة مليون جزء من الغرام .

انتاج عنصر البلوتونيوم

لقد كان الاورانيوم محور الابحاث السابقة في التفاعل المتسلسل . وقد ذكرنا سابقاً وجود عنصر البلوتونيوم (العدد الذري ٩٤ والوزن الذري ٢٣٩) واحتمال استعماله بدل الاورانيوم(٢٣٥). لذلك اتجهت الافكار لصناعة انتاج البلوتونيوم لانَّ هذا العنصر يختلف كيميائياً عن الاورانيوم(٢٣٨)ومن السهل عزل هذين العنصرين عن بعضهما بعد ان يتحول بعض الاورانيوم (٢٣٨) الى بلوتونيوم .

لنفرض اننا بنينا قبةً قوامها الاورانيوم العادي ومخفف لسرعة النيوترونات كالغرافيت بشكل يمكننا من التحكم بالتفاعل المتسلسل . فعندما يبتدىء التفاعل تنطلق بعض النيوترونات من فلق ذرات الاورانيوم (٢٣٥) فيمتص الاورانيوم (٢٣٨) عدداً كبيراً منها وينتج من ذلك الاورانيوم (٢٣٩) . وهذا بدوره يطلق دقيقة من دقائق باتا ويتحول الى عنصر النبتونيوم (٩٣ نبتونيوم ٢٣٩) . والنبتونيوم غير مستقر فيطلق دقيقة من دقائق باتا ويتحول الى(٩٤) بلوتونيوم(٢٣٩). وهذا بدوره يطلق دقيقة من دقائق الفا ويتحول الى اورانيوم (٢٣٥) . لكنَّ هذه العملية الاخيرة بطيئة جداً فيمكننا اعتبار البلوتونيوم عنصراً مستقراً . وبعد استمرار التفاعل مدةً من الزمن يمكننا تنقية البلوتونيوم من المواد الاخرى واستعماله بعملية الفلق كمصدر لطاقة هائلة تعطي نتيجةً تفوق اعظم المتفجرات .

في سنة ١٩٤٣ عُهد الى شركة كبرى انشاء معمل لانتاج عنصر البلوتونيوم . وقد اختارت هذه الشركة مكاناً فسيحاً بعيداً عن العمران في وادي تنيسي من الولايات المتحدة تبلغ مساحته سبعين ميلاً مربعاً . وفي اواخر السنة المذكورة استلم العلماء الكميات الاولى من البلوتونيوم لاجراء التجارب فيها . ثمَّ تمَّ انشاء

معمل آخر جبار بمعاونة الشركة نفسها في بقعة نائية عن العمران بالقرب من نهر كولومبيا . وبلغت المساحة التي قام عليها هذا المعمل ١٠٠٠ ميل مربع ، يعمل فيها نحو ٦٠٠٠٠ عامل في هذه الصناعة . اما وجود المعمل قرب النهر فقد ساعد على تلطيف الحرارة الهائلة الناتجة . بدأ العمل في اول قبة في هذا المركز سنة ١٩٤٤ وتلا هذا بناء قبتين اخريين . ولم يكن بامكان احد ان يدخل الحجرة حيث تنجز هذه القبب بل كان لازماً ان يتم البناء من بعيد تجنباً للاخطار الحاصلة . كذلك كان من الضروري انشاء ابنية خاصة لفصل الباوتونيوم عن المواد الاخرى بعد نزع نتيجة العملية من القبة . وكانت هذه الابنية تتألف من غرف متسلسلة تفصلها حواجز سميكة من الاسمنت المسلح .

عزل الاورانيوم ٢٣٥

في نهاية سنة ١٩٤١ كان العمل في عزل الاورانيوم(٢٣٥) عن الاورانيوم العادي ينحصر في فئتين ، واحدة بقيادة لورنس والاخرى بقيادة اوري (Urey) ، هدفهما معرفة انجع الطرق للحصول على هذا النظير . وقد ذكرنا سابقاً ان اول عملية من هذا القبيل كانت بواسطة مطياف الكتلة وقوامها طريقة كهربائية مغنطيسية . عمد الدكتور لورنس لاستنباط طريقة مماثلة وبنى جهازاً استعمل فيه مغنطيساً جباراً كان قد أعدَّ لبناء مدار رحوي ، خصصت له مؤسسة روكفلر اكثر من مليون دولار . وكانت نتائج هذه العملية مرضية للغاية ومشجعة على توسيع العمل .

احتياطات صعبة

اثبتت الابحاث الفيزيائية ان التفاعل المتسلسل هذا يرافقه انطلاق اشعة مميتة من دقائق الفا مع نيوترونات شديدة السرعة . ومعلوم ان المواد الراديومية بصورة عامة تبعث اشعاعاً خطراً مؤلفاً من اشعة غما الشديدة النفاذ في الاجسام والتي تشبه الاشعة السينية في تأثيرها الفسيولوجي . ويرافق اشعة غما هذه انطلاق دقائق الفا وباتا ، وهي

ليست شديدة النفاذ كاشعة غما لكنها تؤلف خطراً احياناً . وكميات الراديوم المستعملة في بعض المستشفيات لا تزيد عن بضعة اجزاء من الف جزء من الغرام . اما كمية المواد الراديومية الناتجة عن تفاعل متسلسل بسيط فانها تتراوح بين مئات والوف الغرامات . علاوة على هذه المواد الراديومية ينبعث من هذا التفاعل اشعاع كثيف من النيوترونات يعادل تأثيره على الصحة تأثير اشعة غما . والاورانيوم نفسه يعتبر من السموم الكيميائية . لذلك كان من الضروري اتخاذ الاحتياطات الصحية اللازمة في جميع هذه العمليات .

وقد اتجهت الافكار الى الاستفادة من هذه المواد السامة الناتجة عن التفاعل المتسلسل التي تفعل فعل الغازات السامة . كان من السهل فصلها عن الاورانيرم لانها تختلف عنه كيميائياً . وقد تبين من ابحاث دقيقة ان نتائج التفاعل ليوم واحد في قبة طاقتها ١٠٠٠٠٠٠ كيلووات تجعل بقعة كبيرة من الارض غير صالحة للسكن . لذلك كان من الضروري تنقية مياه التبريد قبل اعادتها الى النهر تجنباً لما تحمله من اشعاع قوي . اما الغازات التي كانت تخرج من المداخن العالية فانها كانت غنية بالعناصر المشعة .

الناحية العملية في التفاعل المتسلسل

بحثنا مطولا في كيفية الحصول على التفاعل المتسلسل لكننا لم نتطرق الى كيفية استعماله . والفرق من الوجهة الفنية بين اكتشاف هذا التفاعل واستعماله كمصدر للطاقة وصنع المتفجرات يشبه الفرق بين اكتشاف النار وصنع الآلات البخارية . ففي هذه الآلات يشترط ان يكون مصدر الطاقة على درجة حرارية عالية . كذلك يشترط في التفاعل المتسلسل ان يحصل عند درجة حرارية عالية ليكون ذا فاعلية محسوسة في توليد الطاقة واستعمالها للعمل النافع . هذا اصعب مما لو كان التفاعل يجري عند حرارة منخفضة .

لم يكن اكتشاف التفاعل المتسلسل كافياً ليضمن استعمال الطاقة الذرية في صناعة القنابل . فهناك شرط اساسي لجعل الانفجار ذا فاعلية قوية وهو ان يتم التفاعل المتسلسل في وقت قصير جداً كما ذكرنا سابقاً . واذا كان الامر خلاف ذلك تنشق القنبلة

ويقف التفاعل قبل الاستفادة من جزء كبير من الطاقة الذرية . كذلك من الضروري ان لا يحدث اي انفجار مهما كان نوعه قبل الاوان . وهذا التحكم بكيفية العملية كان ولا يزال من الامور الاساسية التي تجابهها صناعة القنابل الذرية .

النيوترونات الشاردة . الحجم الحرج (Critical Size)

ثبت ان النيوترونات تنطلق من سطح قطعة من الاورانيوم ، وان كتلة تلك القطعة بكاملها تمتص تلك النيوترونات . لذلك كان بالامكان التحكم بعدد النيوترونات الشاردة بتغيير حجم تلك القطعة وشكلها . ومعلوم ان حجم كرة ما يتناسب طرداً مع مكعب نصف القطر بينما تتناسب مساحة سطح الكرة مع مربع نصف القطر . فبازدياد حجم قطعة من الاورانيوم لا تتغير مساحة السطح الخارجي بنسبة تغير الحجم بل تكون نسبة ازدياد الحجم اكبر من نسبة ازدياد المساحة الخارجية . وكلما كبر حجم قطعة الاورانيوم ازداد احتمال بقاء النيوترونات الناتجة ضمن تلك القطعة ، فيمتصها الاورانيرم (٢٣٥) وينفلق . بهذه الصورة يتم التفاعل المتسلسل ولا يتوقف . اما النيوترونات الشاردة بسبب عدم الامتصاص فانها تتوقف على حجم القطعة ، كما ان النيوترونات الحاصلة تتوقف على حجم القطعة ايضاً . لذلك لا يؤثر تغيير الحجم على نسبة النيوترونات الناتجة والشاردة .

فما هو اذاً اصغر حجم لقطعة الاورانيوم الذي يجعل عدد النيوترونات الممتصة يفوق عدد النيوترونات الشاردة ؟ يطلق على هذا اسم « الحجم الحرج » وهو يتوقف على مدى النيوترونات في الاورانيوم . ونقصد بالمدى تلك المسافة التي تسيرها النيوترونات قبل ان يعترضها في سبيلها ما يمتصها . لم يكن من السهل معرفة هذا بالضبط ، لذلك نرى فرقاً كبيراً بين المقاييس المختلفة لكتلة الحجم الحرج ، التي تقع بين كيلوغرام واحد ومائة كيلوغرام تقريباً من الاورانيوم (٢٣٥) . ومعلوم ان التجارب اجريت على كميات ضئيلة من الاورانيوم لا تزيد على جزء من مليون جزء من الغرام ولم يتوصل احد لمشاهدة اكثر من بضعة غرامات في مكان واحد من هذا العنصر .

ونلاحظ تأثير « الحجم الحرج » في احتراق الوقود بصورة عامة . اذ ان للمادة حجماً حرجاً يؤهلها من متابعة الاحتراق . ومعلوم ان انجع الطرق لاخماد النار هي توزيعها ونشرها باجزاء صغيرة على سطح غير قابل للاحتراق . ولهبة الغاز لا تتمكن من اختراق شبك حديدي ضيق « Wire Gauze » لان اللهبة اذا مرّت تكون ذات حجم اصغر من الحجم الحرج الذي يمكنها من الاحتراق . يعود السبب بذلك الى ان الحرارة الحاصلة في الاحتراق تتناسب طرداً مع الحجم ومعدل نقصان الحرارة يتناسب طرداً مع مساحة اللهبة . وكلما صغرت اللهبة تزداد نسبة مساحة اللهبة الى حجمها وهكذا تزداد نسبة الحرارة المفقودة للحرارة الحاصلة . وعند حدّ معين للحجم تصبح الحرارة المفقودة اعظم من الحرارة الناتجة فتخمد اللهبة وتنطفىء .

ملطفات (Moderators) النيوترونات السريعة

لم تكن مسألة ايجاد ملطفات للنيوترونات السريعة اقل اهمية او صعوبة من ايجاد مواد لتحقيق التفاعل المتسلسل . وقد ذكرنا سابقاً ان المواد التي استعملت في هذا الصدد هي البريليوم والماء الثقيل والكربون . وفي كل تجربة للتفاعل المتسلسل يلزم اطنان من هذه المواد .

اما البريليوم فهو عنصر معروف ومستعمل في صناعة السبائك (Alloys) لكنه يوجد بكميات قليلة . وقد استخرج من هذا المعدن نحو ثلاثماية كيلوغرام سنة ١٩٤٠ في الولايات المتحدة .

والكربون بصورة غرافيت يوجد بكثرة وتصنع منه مئات الاطنان سنوياً في الولايات المتحدة . لذلك اتجهت الافكار لاستعماله كملطف . والصعوبة الوحيدة هنا هي في ايجاد غرافيت نقي لهذه الغاية .

اما الماء الثقيل فانه يوجد في الماء العادي بنسبة واحد الى ٥٠٠٠ . وقد تمكن لويس (Lewis) في سنة ١٩٣٤ من ايجاد طريقة لاستخراج كميات وافرة من الماء

الثقيل النقي الذي تزيد كثافته ١١ ٪ على كثافة الماء العادي . وهو يتجمد عند درجة ٣٧٨ س ويغلي عند درجة ٤٢ ، ١٠١ س . وتبلغ كثافته اشدّها عند درجة ٦ ، ١١ س . بينما تبلغ كثافة الماء العادي اشدها عند درجة ٤ س . ولم تكن كميات الماء الثقيل المستخرجة سنة ١٩٤٠ في الولايات المتحدة كافية لاجراء التجارب اللازمة . وعندما احتل الالمان بلاد النروج اصبح اعظم معمل لاستخراج الماء الثقيل (D_2O او كسيد الديوتريوم) في حوزتهم . وفي حزيران سنة ١٩٤٠ كانت كمية الماء الثقيل الضرورية لتحليل وتفكيك الذرة موجودة في فرنسا ، وقدرها ١٦ ليتراً . فكان اهم شيء عند العالم جوليو الافرنسي ان ينقل هذه الكمية الى انكلترا لاجراء تجارب هناك كان مقرراً ان يجريها في فرنسا . وعندما اتضح سنة ١٩٤٢ ان اميركا افضل من انكلترا ، انشئت هيئة اتصال في كندا وشيكاغو ، وفي عام ١٩٤٣ انتقل مقر العمل الى كندا حيث اتجه وفد من العلماء ومعهم كمية « الماء الثقيل »

الفصل الرابع عشر

القنبلة الذرية

مختبر القنبلة الذرية

ذكرنا سابقاً انه بينما كانت المعارك على اشدها في مختلف الجبهات في صيف ١٩٤٢ كان الاخصائيون الاميركيون موجهين جهودهم لاطلاق الطاقة الذرية من الاورانيوم واستثمارها للأغراض الحربية الهدامة . وقد اتفقوا على ان العنصرين اللازمين لهذا الغرض هما الاورانيوم (٢٣٥) والبلوتونيوم . لذلك بذلت الجهود الجبارة لتحقيق انتاج هذين العنصرين .

بقي على العلماء تحقيق فكرة القنبلة الذرية . لذلك انشأوا مصنعاً خاصاً بعيداً عن العمران في لوس الاموس في ولاية المكسيك الجديدة في اذار سنة ١٩٤٣ تحت اشراف الدكتور اوبنهايمر (Oppenheimer) ، يعاونه لفيف من اقدر العلماء في الولايات المتحدة . فكنت ترى هناك الاجهزة الضخمة التي اعدت خصيصاً لهذه الغاية ومن بينها مدار رحوي جبار ، واجهزة من نوع فان دي كراف ومولد للطاقة الكهربائية العالية الجهد . اما الهدف الرئيسي فقد كان تحقيق صنع القنبلة الذرية وقياس مفعولها ، الامر المحفوف بالمخاطر العديدة والصعوبات الجمة .

تصميم القنبلة

كان تصميم (Design) القنبلة الامر الرئيسي امام العاملين في مصنع القنبلة الذرية . فالتفاعل المتسلسل في الاورانيوم (٢٣٥) او البلوتونيوم اصبح امراً مسلماً به . بقي على العلماء تطبيق هذا التفاعل بشكل يحقق استعمال الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل بصورة قنبلة كما هي الحال في المتفجرات العادية . وهناك فرق بين التفاعل المتسلسل والقنبلة الذرية ، اذ ان هذه الاخيرة تتألف من البلوتونيوم النقي (٢٣٩) او الاورانيوم (٢٣٥) النقي وليس هناك مواد تمتص النيوترونات سوى الذرات التي عليها

ن تنشق وان تولّد نيوترونات جديدة . ولكي يصبح هذا العمل متواصلاً كان لا بد من جعل كتلة المادة المستعملة ذات حجم حرج كما هي الحال في جميع التفاعلات المتسلسلة.

لنفرض ان نيوترونين من النيوترونات التي تتولد من فلق ذرة ما ببقيان ضمن الكتلة لتمتصها الذرات الاخرى . يتولد من امتصاص النيوترونين بواسطة ذرتين اخريين ٤ نيوترونات . وكل ذرة تمتص نيوتروناً تكون مصدراً لنيوترونين فتكون نتيجة امتصاص ٤ نيوترونات ٨ نيوترونات جديدة . فيكون عدد الذرات المنفلقة بهذا العمل المتسلسل ١ و٢ و٤ و٨ و١٦ و٣٢ و٦٤ الخ . وفي التفاعل العاشر يصبح عدد الذرات المنفلقة ١٠٢٤ . وفي التفاعل العشرين يصبح العدد اكثر من مليون. كذلك في التفاعل الثلاثين يصبح العدد ملياراً وفي التفاعل الستين يصبح اكثر من مليار مليار. وفي التفاعل التسعين يصبح العدد اكثر من مليار مليار مليار ذرة. ولو فرضنا ان كل فلق يحدث في ظرف جزء من مليون جزء من الثانية يصبح الوقت اللازم لحدوث تسعين تفاعل تسعين جزء من مليون جزء من الثانية. وفي هذا الوقت ينفلق اكثر من مليار مليار مليار ذرة . وهكذا يتم فلق المادة بكاملها واطلاق الطاقة الهائلة الناتجة بوقت قصير جداً وفي حيز ضيق جداً ، الامر المشترط بكل انفجار من هذا القبيل .

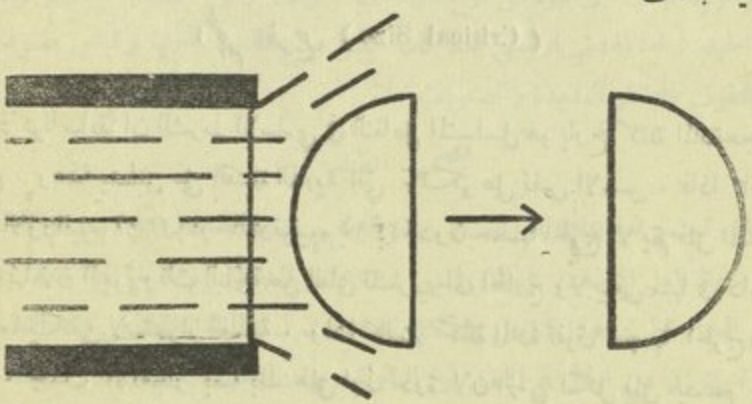
الحجم الحرج (Critical Size)

ذكرنا سابقاً ان الشرط الاساسي في التفاعل المتسلسل هو بلوغ كتلة المادة حجمها الحرج . وهذا ينطبق على القنبلة الذرية التي ترتكز على نفس الاسس . فاذا كانت كتلة الاورانيوم (٢٣٥) او البلوتونيوم (٢٣٩) دون حجمها الحرج لا يتم فلق المادة بكاملها لان النيوترونات الناتجة عن الفلق تتسرب الى الخارج ولا يبقى منها في داخل المادة ما يكفي لاستمرار العملية . واذا كانت كتلة المادة تفوق حجمها الحرج ولو قليلاً ، يحدث الانفجار بفتة بعد فلق اول ذرة لان الزمن لكل فلق يصبح نحو جزء من مليون جزء من الثانية . ويوجد في الطبيعة عدد كبير من النيوترونات الشاردة مصدرها الاشعة الكونية . فبمجرد وجود كمية من المادة القابلة الفلق تفوق كتلتها

الحجم الحرج ، يحصل الانفجار عندما يتسرب نيوترون من هذه النيوترونات الى داخل المادة . لذلك نرى ان معظم الصعوبات في سبيل تحقيق القنبلة الذرية كان متأتياً عن قصر الوقت بين وصول اول نيوترون وحدوث الانفجار .

تركيب القنبلة الذرية

يتضح مما تقدم ان صنع القنبلة الذرية يتوقف على ايجاد قطعة من البلوتونيوم النقي (٢٣٩) او الاورانيوم (٢٣٥) اكبر من كتلة الحجم الحرج بسرعة فائقة وتجهيزها ببعض النيوترونات . فلنفرض ان لدينا كتلة من الاورانيوم (٢٣٥) او البلوتونيوم اصغر من الحجم الحرج . ان هذه القطعة لا تنفجر حتى ولو جهزناها ببعض النيوترونات . ولنفرض ايضاً ان هناك قطعة اخرى اصغر من الاولى على مسافة ما منها . هذه لا تنفجر . لكن اذا اضفنا هذه القطعة الصغيرة الى القطعة الكبيرة الاولى يحتمل ان يتألف من هذا قطعة اكبر من الحجم الحرج . فقوام القنبلة الذرية اذاً هو ايجاد آلة تتمكن من ضم هاتين القطعتين بسرعة فائقة . ولكي يتم هذا علينا ان نعمل القطعة الصغيرة بشكل قذيفة تصوَّب الى ثقب في القطعة الكبيرة معد لهذه الغاية ، بينما تطلق بعض النيوترونات على القطعة الكبيرة فيحدث الانفجار عندما تصطدم القذيفة بالهدف .



شكل (٢٩)

عملية جمع اجزاء القنبلة . نصف القنبلة يستعمل كقذيفة

ذكرنا سابقاً ان كتلة الحجم الحرج كانت تتراوح بين كيلو غرام ومائة كيلوغرام بناء على مقاييس تأخذ بعين الاعتبار الامور التالية .

اولا : المسافة التي يتمكن النيوترون من قطعها قبل ان تمتصه المادة .

ثانياً : بُعد النيوترون عن ذرة الاورانيوم الذي يؤهل الذرة من امتصاصه . ويسمى العامل هذا « مقطوع الامتصاص » (Capture Cross Section) لذرة الاورانيوم . وهكذا نرى ان ليس بالامكان صنع قنبلة بصورة مصغّرة لانه يشترط في التفاعل المتسلسل بلوغ المادة حجمها الحرج . ومما زاد في تعقيد المسألة ضرورة اجراء العملية بسرعة فائقة .

وقد تبين من الابحاث في التفاعل المتسلسل ان بالامكان تصغير حجم القنبلة بواسطة غلاف من الغرافيت يعكس الى الداخل النيوترونات المحتمل تسربها الى الخارج . كذلك توصل الباحثون في لوس الاموس الى تصغير حجم القنبلة بنفس الطريقة . فكان هم علماء الفيزياء النظرية تقرير الحجم الحرج ، بينما كان علماء الكيمياء والتعدين يعملون في استخراج وتنقية المواد اللازمة من كل مادة غريبة .

عرض للحالة سنة ١٩٤٥

في ربيع هذه السنة كان العمل في لوس الاموس ينقسم الى سبعة اقسام تحت اشراف نخبة من العلماء ، خلدت اسماؤهم في حقل التنقيب عن الطاقة الذرية . اما هذه الاقسام فهي :

الفيزياء النظرية تحت اشراف هـ . بتي (H. Bethe)
الفيزياء الذرية التجريبية بقيادة ر . ر . ولسن
الكيمياء والتعدين بقيادة كندي وسميث
الادارة بقيادة الكابتن بارسن
المتفجرات بقيادة كيستيا كوفسكي
القنبلة وما يتعلق بها . باخر (Bacher)
توسيع العمل . فرمي

وجميع هذه الفروع كانت تحت اشراف الدكتور اوبنهايمر ، يعاونه في ربط هذه الدوائر بعضها الدكتور أليسن (Allison) . وقد صرف كل من الدكتور شادويك، رئيس البعثة البريطانية ، والدكتور نيلز بوهر وقتاً طويلاً في لوس الاموس .

مراقبة المنشورات المتعلقة بالطاقة الذرية

مرَّ بنا ان فلق الذرة تحقق في شهر يناير سنة ١٩٣٩ وجاءت التجارب تدعم النظريات في هذا الصدد . تولد من جراء ذلك رغبة في احتمال استعمال الطاقة الهائلة الناتجة عن فلق الذرة لاغراض حربية . ولم يكن الفيزيائيون الاميركيون في ذلك الوقت على استعداد لقبول فكرة استخدام علمهم لاغراض حربية . لذلك لم يدركوا اهمية ما يجب عمله في هذا الصدد . وهكذا نرى ان الجهود الاولى في هذا الحقل من حيث مراقبة نشر المعلومات وطلب المساعدات الحكومية كانت تعود الى فئة من الفيزيائيين الاجانب . وفي مقدمة هؤلاء كان سزيلارد وتللر وفايسكوبف (Weiskopf) وفرمي .

وفي ربيع سنة ١٩٣٩ انضم للهيئة المذكورة سابقاً نيلز بوهر للتعاون في وقف نشر المعلومات الجديدة بصورة ودية . وقد وافق على هذا الفيزيائيون الاميركيون والانكليز . لكن جوليو ، المع الفيزيائيين الفرنسيين في عالم الذرة ، لم يوافق . ذلك لانه كان قد نشر مقالا في احدى المجلات الفيزيائية قبل ان يتفق الاميركيون على هذا الامر . لذلك ظلت المنشورات حرة لمدة سنة اخرى ما عدا بعض التقارير التي احتفظ بها بعض العلماء .

وفي شهر افريل سنة ١٩٤٠ تألفت لجنة لمراقبة جميع المنشورات في المجلات العلمية الاميركية فيما يتعلق بفلق ذرات الاورانيوم وبالقضايا الحربية الاخرى . وقد كان التوفيق حليف هذه اللجنة اذ انها تمكنت من حفظ الاسرار المتعلقة بالطاقة الذرية حفظاً تاماً وظلت تعمل لسنة ١٩٤٥ . ويؤمل ان تنشر هذه المعلومات في المستقبل بكاملها لينال اصحابها التقدير الكافي .

وهناك قسم كبير من المعلومات الاساسية التي كانت معروفة عند الخاص والعام .

فالطاقة الذرية احصيت سنة ١٩٠٠ . وفي سنة ١٩٠٥ اعلن اينشتين المعادلة المتعلقة بالطاقة والكتلة . اما السر الرئيسي فقد اعلن سنة ١٩٤٥ وهو يتعلق بالتفاعل المتسلسل الذي تحقق في صنع القنبلة الذرية .

تجربة القنبلة الذرية

كان ذلك في صباح السادس عشر من شهر تموز سنة ١٩٤٥ وفي مكان صحراوي من المكسيك الجديدة . كان المراقبون ومديرو العمل متمركزين في قواعد تقع على مسافات تتراوح بين ٩٠٠٠ و ١٦٠٠٠ متراً من برج حديدي وقف منتصباً كجبار في وسط تلك الصحراء . وعلى ذروة ذلك البرج كانت اول قنبلة ذرية ، كلفت الحكومة الاميركية الفي مليون دولار وجهود الاولوف من الرجال والنساء الذين صرفوا سنوات يعملون في المصانع العديدة المتنوعة . ولم يكن احد من العلماء المراقبين يعلم ما سيحدث تماماً عندما يحرّك الجهاز الذي يشير بابتداء العملية ، لكنهم كانوا شاعرين بجراجة موقفهم وبالخطر العظيم المحيط بهم . وقد كان من المحتمل في نظرهم ان يقضي الانفجار عليهم وان يعقبه سلسلة من الانفجارات لا يتمكن الانسان من التحكم بها . وقد اذاعت اندوائر الحربية تفاصيل التجربة النهائية للقنبلة الذرية بعد ان القيت اول قنبلة على اليابان .

بدأ جمع الاجزاء اللازمة للقنبلة نهائياً تحت اشراف الدكتور باخر (Bacher) احد اساتذة جامعة كورنل (Cornell) . كان على هذا العالم ان يسير بذلك العمل الخطير بدقة فائقة يعاونه رهط من الاخصائيين في شتى الحقول . وكان من الضروري ان تجمع اجزاء القنبلة بلباقة فائقة . وفي اليوم الرابع عشر من شهر تموز رفعت القنبلة الى رأس البرج واستمرت العمليات لمدة يومين استعداداً للحدث الاخير . وكان يتصل بالبرج الجهاز اللازم لاحداث الانفجار وكذلك جميع الآلات اللازمة لتسجيل ما يحدث كنتيجة للانفجار .

كان موعد انفجار القنبلة صباح اليوم السادس عشر من شهر تموز وكان على

الدكتور اوبنهايمر ان يمثل الفصل الاخير في هذه الرواية . وعلى بعد نحو ١٥٠٠٠ متراً من البرج كانت تقوم قاعدة المراقبة حيث جلس العلماء البارزون المجلون في حقل القنبلة الذرية، ومنهم الجنرال جروفز والدكتور بوش والدكتور كونانت والدكتور بانهردج. وفي الساعة الثالثة صباحاً من ١٦ تموز انتقلت هذه الهيئة الى قاعدة ادارة العمليات على بعد نحو ٩٠٠٠ متر من البرج حيث كان قد أعد ملجأ لهذه الغاية . وكان موكلاً بادارة الاشارات اللاسلكية الدكتور اليسن (Allison) من جامعة شيكاغو وكانت مراكز المراقبة حول البرج مجهزة بآلات لاستقبال اشارة ابتداء العملية . كان الجميع كأن على رؤوسهم الطير عندما اقترب الموعد ولم يبق لابتداء الانفجار سوى ٢٠ دقيقة. تصور ايها القاري، كيف كان شعور الاشخاص في انتظار اللحظة الاخيرة. كان الدكتور اليسن يعلن الوقت بعد انقضاء خمس دقائق فكانت تظهر تلك الفترات من الزمن كانها اشهر او سنين . ولما ابتدأ يعلن بقاء بضع ثوان كانت اعصاب المراقبين جميعاً متوترة جداً . اما الدكتور اوبنهايمر والجنرال فارل (Farrel) فانهما كانا يرددان الصلاة بينما كانت الاشارات اللاسلكية تعلن اقتراب اللحظة الاخيرة . وخلاصة القول ان الحالة كانت اعظم مما يقدر الانسان ان يتحمل من توتر اعصاب واستعداد لحدث رهيب . وفي الساعتين السابقتين للانفجار كان الجنرال جروفز بالقرب من الدكتور اوبنهايمر يؤدي له كل مساعدة ممكنة . وقبل الانفجار بعشرين دقيقة انتقل الجنرال جروفز الى قاعدة المخيم حيث كانت وسائل المراقبة على اتمها . وعندما أطلق الجهاز الذي كان معداً لبدء العملية اصبحت الآلات الكثيرة المشتركة في العمل طليقة من تحكم المشرفين عليها . وعندها اتت الاشارة اللاسلكية الاخيرة منبهة جميع المراقبين في قواعدهم الى دنو اللحظة الرهيبة .

كان اول ما شاهده المراقبون بريقاً خاطفاً يعمي العيون . لذلك اداروا وجوههم نحو الجبال التي كانت على بعد نحو ثلاثة اميال من قاعدة المراقبة فرأوها وقد البسها البريق وشاحاً من نور النهار . لم يسمع المراقبون صوت الانفجار عند اول لحظة لان النور يسبق الصوت . وقد عقب ظهور البريق صوت يفوق الرعد قوة، عقبه زلزال ورياح عاصفة قوية . وبالرغم من بعد قاعدة المراقبة عن البرج كان ضغط الرياح كافياً

لان يطرح الى الارض رجلين كانا خارج هذه القاعدة .

وارتفع من البرج عمود من الدخان المختلف الالوان الى علو ١٣٠٠٠ متر . فاختفت السحب الطبيعية التي كانت منبسطة في الجو وابتلعها هذا العمود المؤلف من مواد تغلي وهي ترتفع في الفضاء . كذلك اختفت اجزاء البرج الحديدي التي تحولت جميعها الى ابخرة بسبب الحرارة الهائلة المتولدة . ولم يبق من اثر لذلك البرج بل حلت محله فوهة بركانية هائلة .

وهاك ما قاله الجنرال جروفز بهذه المناسبة : لقد صدرت الاوامر قبل الوقت المعين للانفجار بدقيقتين الى جميع الاشخاص لكي ينطرحوا الى الارض ووجوههم الى اسفل واقدامهم متجهة نحو البرج . كان السكون مخيماً على الجميع في تلك الثواني القليلة . وقد اتخذت كل الاحتياطات اللازمة لحماية العيون من قوة الاشعاع المنتظر حدوثه . كان اول ما شاهدناه بريقاً لا مثيل له . فتطلعنا نحو تلك النار المتأججة من وراء الزجاج المعتم حفظاً لاعيننا . وبعد ٤٠ ثانية شعرنا بموجة ضغط قوي عقبها صوت يفوق صوت الرعود . وتكوّن من جرّاء ذلك غيوم كثيفة جبارة تصاعدت بقوة هائلة نحو طبقات الجو العليا في ظرف خمس دقائق . ثم عقب ذلك انفجاران ثانويان في الغيوم بعد وقت قصير من حدوث الانفجار الرئيسي . وكان شكل الغيم المتصاعد كرويًا في بادىء الامر . وعند علو هائل تحولت تلك الكرة الى فطر ثم الى عمود جبار ينتصب الى علو الوف الامتار تشتته الرياح المختلفه عند ارتفاعات مختلفة .

شعر الجميع بعد هذا الحدث الرهيب بان المستحيل قد تم وان فلق الذرة لم يبقَ امراً مكتوماً ضمن كتب الفيزياء النظرية . ومعلوم ان تطبيق الاكتشافات العلمية يأتي تدريجياً وبخطوات بطيئة ، لكن الامر كان خلاف ذلك في القنبلة الذرية . فهذا العمل الجبار ، وهو اعظم عمل في تاريخ العلم ، بلغ ذروته في ايامه الاولى . فصار بيد الانسان قوة جديدة هائلة تستعمل اما للتهديم او للتعمير .

ومن اغرب الامور في هذه التجربة النهائية هو بقاء كل شيء ضمن تلك الدائرة كسر مكتوم عن جميع الاوساط الخارجية . فلم يتسرب اي امر يتعلق بالانفجار الهائل . وقد قيل ان فتاة عمياء على بعد عدد من الاميال شعرت بالبريق الذي حصل

وصرخت : ما هذا ؟ كذلك ترك ذلك البريق والصوت الذي رافقه اثراً في مشاعر الاشخاص على بعد ١٦٠ ميلاً .

وبعد ان اتم العلماء دراستهم وقياساتهم لذلك الانفجار الهائل جمعوا الآلات والاجهزة المختلفة وراحوا يعملون لكسب الوقت في تطبيق معلوماتهم الجديدة لاغراض حربية . فكانت القنبلة الذرية العامل الرئيسي في انهاء الحرب العالمية الثانية . وبالقاء اول قنبلة ذرية على هيروشيما كان عهد جديد ، هو عهد الطاقة الذرية .

الخلاصة

يتضح مما تقدم ان القنبلة الذرية كانت نتيجة ابحاث ودراسات دقيقة رافقت سير العلم منذ اكتشاف الاشعة السينية والاشعة الراديومية . فالطاقة الذرية اصبحت امراً محققاً بفضل العاملين في حقل العلم والذين لا يتركون فرصة تمر بدون ان يزيدوا في تمحيص الحقائق العلمية واكتشاف الجديد منها . وكثيراً ما نسمع الناس يلومون العلماء الذين كانوا سبباً لاكتشافات واختراعات تحولت الى آلات هدم وتدمير . والعاقل البصير يرى ان اللوم ليس على العلم والعلماء ، بل على اولئك الذين يحولون كل جهودهم لما فيه خراب العمران . وكل ما انتجه العلم ، من طائرات واجهزة لاسلكية وطاقة ذرية وغيرها ، يمكن تحويله لفائدة المدنية او لضررها .

لقد كان هدف العلماء ، ولا يزال ، درس الطبيعة وظواهرها والتمتع بما فيها من قوى واسرار . فالعالم يرى من مجالي الطبيعة ما لا يراه غيره ، لانه استنبط الوسائل لذلك . فهو يتمتع دوماً بفهم اسرار الكون وسبر غورها ، محققاً في عالم الحقائق العلمية التي تظهر عظمة مبدع الكون . وهو يشعر دائماً بانه لا يزال يجهل الكثير من اسرار الكون بالرغم من الاكتشافات والاختراعات العديدة التي تمكن من الحصول عليها . اذ ان هناك اسراراً وظواهر في الطبيعة هي اروع من الطاقة الذرية وارفع منها ، لا تزال بعيدة عن تفكير الانسان وسيطرة عقله . فالعقل والروح وما يرافقها من ظواهر هي امور لا يزال الانسان يجهل ابسط اوضاعها وما يتعلق بها . والعالم الحقيقي يقف بخشوع امام القوة التي اوجدت الحياة في الانسان والحيوان والنبات ، ذلك السر الذي

لم نتمكن بعد من الولوج الى ابعد حدوده .

وهكذا نرى ان المجال لا يزال واسعاً في حقول التنقيب بالرغم من الضجة التي رافقت اكتشاف الطاقة الذرية ، التي يؤمل العلماء ان يسخروها لخدمة الانسان كما سخروا غيرها من انواع الطاقة . لا شك بان المدنية تقدر ان تستفيد من جهود العلماء في تحويل هذه الطاقة لادارة الطائرات والمصانع والسيارات والبواخر . وبالامكان الاستفادة من هذه الطاقة في معالجة الامراض كالسرطان وغيره التي لم يتمكن الانسان بعد من من معالجتها . وفي الوقت نفسه يحتمل ان تتحول الجهود الى صنع قنابل ذرية ضخمة اقوى من القنابل التي القيت على اليابان ، وفي ذلك خراب المدنية والقضاء على البشرية . فيجب اذاً ان تبذل الجهود في تهذيب اتجاه الشعوب على اختلاف انواعها ، ليستفيد العالم باسره من هذه الطاقة الهائلة التي تمكنه من التغلب على صعوبات الحياة ، فيعم السلام ويعيش الناس بالرخاء والطمأنينة .

اصلاح خطأ

صفحة	سطر	خطأ	صواب
١٣	١١	للوصرل	للوصول
٢١	١٥	خفيفة	خفية
٢٢	١٣	.نجارب	تجارب
٢٦	١	ز فنطيسية	المغنطيسية
٥٤	اسفل الصورة	—	صورة تصادم دقائق القامع الذرات
٨٨	٧	$١٠ \times ٥٠٩ - ^{١٢}$	١٠×٥٠٩^{١٢}
١١٩	اسفل الصورة	بورنس	لورنس
١٦٣	٤	Critica Si	Critical Size
١٦٧	١	ن	أن

CLOSED
AREA

DATE DUE

AUB LIBRARY
CA:539.76:Sh52nA:c.1
شاهين ،نقولا جرجس
النظرة الذرية، الطاقة الذرية، القنبلة ا
AMERICAN UNIVERSITY OF BEIRUT LIBRARIES
01066255
CLOSED
AREA

CA:539.76:Sh52nA
شاهين
النظرية الذرية، الطاقة الذرية، القنبلة الذرية.
[Borrower's] [Borrower's]
CA
539.76
Sh 52nA
CLOSED
AREA