Chapter 4 Rutherford’s experiment and the nuclear model of the atom

الصفحات 106 – 118 غير مطلوبة حيث أن بعض مادتها تعرفونه من مساقات الكيمياء والبعض الآخر سيمر عليكم في مساق 212 ولذا سنبدأ من صفحة 119.

كان من المعروف في حوالي العام 1900 أن الذرات تحتوي على شحنات سالبة أطلق عليها اسم إلكترونات وعلى شحنات موجبة أطلق عليها اسم البروتونات ولكن لم يكن من المعروف كيف تتوزع هذه الشحنات داخل الذرة، وضع تومسونThomson نموذجه الذي يعتبر الذرة كرة مليئة بالشحنات الموجبة (البروتونات) التي تتوزع بينها الإلكترونات (الشحنات السالبة) كما تتوزع بذور البطيخ في داخل الجزء الأحمر من البطيخة (الذي يناظر الشحنات الموجبة أو البروتونات). ولكن هذا النموذج أثبت فشله بعد أن أجرى رذرفورد Rutherford تجربته الشهيرة وهي أنه ضرب أشعة ألفا على ورقة رقيقة جدا من الذهب (كانت الورقة رقيقة لدرجة أنها كانت شفافة)، كان معروفا أن دقائق الألفا α particles عبارة عن ذرات هيليوم خسرت شحناتها السالبة وبذلك تكون مشحونة بشحنة موجبة. وجد رذرفورد Rutherford أن عددا لا بأس به من دقائق الألفا α particlesتنحرف عن مسارها الأصلي بزوايا مختلفة كما أنه وجد أن دقائق الألفا α particles ترتد في بعض الحالات إلى الخلف بزوايا كبيرة تقارب 180 درجة.

يوضح الشكل 4.10 تركيب الجهاز الذي استعمله Rutherford في تجربته وعلينا أن نتذكر أن التجربة تجري بالكامل داخل غلاف زجاجي مفرغ من الهواء لكي لا تخسر دقائق الألفا طاقة حركتها. مصدر أشعة ألفا هو كمية صغيرة من العنصر المشع الرادونRn موجود داخل وعاء سميك من الرصاص في جداره ثقب صغير تخرج منه دقائق الألفا α particles وتساوي طاقة حركة كل واحدة من α particles التي يطلقها عنصر الرادون 7.7 MeV، يحدد اتجاه الثقب في الجدار اتجاه سير دقائق الألفا α particles حيث أن هذه الدقائق لا تُرى بالعين المجردة. تُوضع ورقة الذهب مقابل الفتحة التي تخرج منها دقائق الألفا α particles وفي الجهة الأخرى من الورقة توضع على زوايا مختلفة شاشات صغيرة مطلية بمادة Zinc Sulphide (كبريتيد الزنك) التي تصدر وميضا خافتا كلما اصطدمت بها دقائق الألفا المشحونة بشحنات موجبة. يتم رؤية هذا الوميض الخافت بواسطة ميكروسكوب موجه نحو الشاشة وهنا يجب التركيز على أنه ليس من السهل رؤية هذا الوميض الخافت بسبب شدة ضعفه ولذا يجب إجراء التجربة في مكان معتم تماما وعلى الذي يقوم بالتجربة أن يبقى في الظلام لفترة طويلة (عدة ساعات على الأقل) حتى تعتاد عيناه على الوضع ويستطيع رؤية هذا الضوء الضعيف (هذه الأيام هنالك أجهزة تستطيع اكتشاف وصول الدقائق عند أي زاوية وتسجيل عددها ولا حاجة للجلوس في الظلام).

اندهش Rutherford عندما أعلمه مساعده أن بعض الدقائق ترتد للخلف واستنتج أن ذلك لا يمكن أن يحدث نتيجة اصطدام الألفا بأحد البروتونات الموجودة داخل الذرة حيث أن البروتون أخف من الألفا وباستطاعته أن يحرفها عن مسارها بزاوية صغيرة لا تزيد عن 14 درجة (تذكر أن نموذج تومسون يفترض أن البروتونات موزعة على كامل حجم الذرة ولذا فليس بمقدور الألفا أن تصطدم بأكثر من بروتون واحد أو اثنين ). وبالتالي فإن ارتداد الألفا للخلف يكون فقط نتيجة اصطدامها بكتلة ثقيلة وشحنة كبيرة مركزة في حجم صغير مما يعني أن نموذج تومسون Thomson غير صحيح وأن الذرة مكونة من نواة صغيرة جدا تتركز فيها معظم كتلة الذرة كما تتركز فيها كل الشحنات الموجبة، أي أن معظم حجم الذرة خارج النواة هو عبارة عن فراغ يدور فيه عدد محدود من الإلكترونات وهذا يتناقض تماما مع نموذج تومسون المغلوط الذي يفترض أن الذرة هي كرة مليئة بالشحنات الموجبة والشحنات السالبة.

كما نلاحظ من الشكل 4.11 فإن دقائق الألفا α particles التي تمر بالقرب من النواة هي التي تنحرف عن اتجاهها الأصلي وكلما اقتربت أكثر انحرفت أكثر وفي حالة الاصطدام المباشر فإن الألفا ترتد للخلف بسبب التنافر بين شحنتها الموجبة وشحنة النواة الكبيرة التي تمنعها من الاقتراب أكثر من مسافة معينة *dmin* تؤول طاقة حركة الألفا عندها إلى الصفر لتعود الألفا فترتد إلى الخلف. كما نلاحظ من الشكل 4.11 فإن معظم الذرة (المنطقة الواقعة خارج النواة) فارغة إلا من بعض الإلكترونات التي لا تؤثر على حركة الألفا بسبب كتلة الإلكترون الصغيرة جدا مقارنة بكتلة الألفا.

لم يكتف رذرفورد Rutherford بملاحظة نتائج تجربته بل ذهب إلى أبعد من ذلك وقام بتحليلها بطريقة علمية حيث افترض أن انحراف دقائق الألفا α particles ناتج عن قوة كولومCoulomb force أي قوة التنافر الكهربائي بين شحنتها الموجبة وشحنة النواة الموجبة (المعادلة 4.15) واستطاع أن يحسب عدد دقائق الألفا α particles التي تنحرف بزاوية معينة φ وحصل على المعادلة 4.16 باستعمال الميكانيكا الكلاسيكية، إننا نعرف الآن أنه يجب استعمال الميكانيكا الكمية أو الموجية (التي لم تكن معروفة في ذلك الوقت) لاحتساب المعادلة 4.16 ولكن رذرفورد Rutherford كان محظوظا لأن الميكانيكا الكلاسيكية والميكانيكا الكمية تعطيان نفس الجواب في حالة واحدة فقط وهي حالة قوة كولومCoulomb force . وقد استطاع مساعدا رذرفورد في العام 1913 التحقق فعليا من صحة تناسب المعادلة 4.16 تناسبا طرديا مع سماكة ورقة الذهب و تناسبا عكسيا مع طاقة حركة دقائق الألفا α particles وكذلك تناسبا عكسيا مع $sin^{4} \frac{φ}{2}$ حيث φ هي زاوية انحراف دقائق الألفا عن اتجاهها الأصلي.

يبيّن الشكل 4.12 التوافق بين نتائج تجربة رذرفورد وبين اعتماد المعادلة 4.16 على زاوية انحراف دقائق الألفا أي على φ كما يبيّن أنه بالإمكان استعمال ذلك لاحتساب قيمة شحنة النواة Zالتي لم تكن معروفة لبعض العناصر في زمن رذرفورد.

كذلك لم يكتف رذرفورد بالقول أن نواة الذرة صغيرة جدا بل حاول أيضا أن يقيس نصف قطر النواة، لاحظ رذرفورد Rutherford أن دقائق الألفا التي ترتد إلى الخلف هي التي تقترب أكثر من غيرها من النواة ففطن إلى أنه إذا استعمل دقائق ألفا ذات طاقة حركة أسرع وأسرع فعندها تستطيع دقائق الألفا التي تصطدم اصطداما مباشرا مع النواة أن تتغلب على قوة التنافر وأن تلتصق بالنواة أو أن تخترقها وعندها تصبح المعادلة 4.16 غير صحيحة لزوايا الانحراف الكبيرة لأن 4.16 تعتمد على المعادلة 4.15 التي تفترض أن شحنة النواة هي شحنة نقطية وهو افتراض صحيح فقط طالما أن الشحنتين لم تمسا بعضهما بعضا (حسب قانون جاوسGauss’s Law ). فاستنتج رذرفورد Rutherford أنه إذا استعمل دقائق ألفا أسرع ووجد أن المعادلة 4.16 مازالت صحيحة لزوايا الانحراف الكبيرة فإن أقرب مسافة اقتراب *dmin* تكون أكبر من نصف قطر النواة، أما إذا وجد أن المعادلة 4.16 لم تعد صحيحة لزوايا الانحراف الكبيرة فإن أقرب مسافة اقتراب *dmin* في هذه الحالة تكون مساوية تقريبا لنصف قطر النواة أو أٌقل منه.

نستطيع أن نحسب قيمة أصغر مسافة *dmin*تقترب فيها الألفا من النواة وذلك باستعمال الشكل التالي الذي يبين حركة الألفا في حالة الاصطدام المباشر مع النواة حيث تسير الألفا من النقطةA التي يفترض أنها بعيدة جدا عن النواة حتى تصل إلى النقطة B التي هي أقرب نقطة تستطيع أن تقترب فيها الألفا من النواة فتتوقف لحظيا ثم ترتد إلى الخلف:

 D

A B

المسافة BC من النقطة B إلى مركز النواة C هي أصغر مسافة اقتراب dmin . نستطيع افتراضأن النقطة A بعيدة جدا أي عند المالانهاية $\infty $ بحيث تكون طاقة الوضع للتنافر الكهربائي بين شحنة الألفا وشحنة النواة عند النقطة A صفرا (من ناحية عملية تكون طاقة الوضع صفرا بمجرد أن تكون الألفا خارج الذرة أي على مسافة أقل من أنجستروم من مركز الذرة الذي هو أيضا مركز النواة لأن الذرة متعادلة كهربائيا ولا تشعر الألفا بشحنة النواة إلا متى دخلت إلى داخل الذرة واقتربت من النواة). نستطيع الآن أن نقدر قيمة *dmin*باستعمال قانون حفظ الطاقة:

Total Energy at A = Total Energy at B

KA + UA = KB +UB

$$\frac{1}{2}m\_{α} v\_{α}^{2}+0=0+k \frac{(2e)(Ze)}{d\_{min}}$$

وبذلك نحصل على المعادلة 4.17.

لم يكن باستطاعة رذرفورد Rutherford أن يزيد من سرعة دقائق الألفا ليستطيع تقدير نصف قطر نواة الذهب حيث لم تتوفر لديه في ذلك الوقت سوى أشعة ألفا التي يصدرها عنصر الرادون وهذه طاقتها ثابتة وهي 7.7 MeVفاستبدل ورقة الذهب في تجربته بورقة ألمنيوم لأن شحنة نواة الألمنيوم (Z=13) أقل بكثير من شحنة نواة الذهب (Z=79) وبالفعل وجد أنه في حالة الألمنيوم فإن المعادلة 4.16 لم تعد تتفق مع نتائج تجربته لزوايا الانحراف الكبيرة، وباستعمال المعادلة 4.17 استطاع أن يحسب $d\_{min}$ في حالة الألمنيوم فوجد أنها تساوي m $ 4.9 ×10^{-15 }$ كما هو مبين في المثال Example 4.5 فاستنتج أن نصف قطر نواة الألمنيوم لا بد أن يكون قريبا من هذا المقدار الصغير جدا وللمقارنة علينا أن نتذكر أن نصف قطر الذرة يساوي حوالي نصف أنجستروم أي m $ 5 ×10^{-11 }$ أي أنه أكبر بحوالي 10,000 مرة من نصف قطر النواة.

ومع أن نموذج رذرفورد النووي للذرة كان ناجحا إلا أنه أثار عدة تساؤلات في حينه (ناتجة بالطبع عن جهل العلماء في ذلك الوقت بالكثير من الحقائق التي نعرفها الآن) وهذه التساؤلات مهمة لأنها تعني أن هنالك أشياء لم تكن معروفة وأن هنالك حاجة لإجراء المزيد من البحث والتجارب وهذا هو صلب الطريقة العلمية وهي البحث المستمر لزيادة المعرفة، ومن تلك التساؤلات:

1. حسب نموذج رذرفورد فإن النواة تحتوي على عددZ من البروتونات ويدور حول النواة عدد مساو Z من الإلكترونات ولكن هذا يتناقض مع الحقيقة المعروفة في حينه أن كتلة الذرة (التي هي في الأساس كتلة النواة) تزيد عن ضعف كتلة Z من البروتونات، حاول البعض زيادة كتلة النواة بافتراض وجود عدد إضافي من البروتونات وعدد مساو لها من الإلكترونات داخل النواة ولكن مبدأ عدم التيقنUncertainty Principle الذي وضعه العالم الألماني هايزنبرغ Heisenbergفي العام 1924 يثبت أنه ليس بالإمكان وجود إلكترونات داخل النواة كما سنرى في (Section 5.5) .
2. كيف تبقى البروتونات داخل حجم النواة الصغير بالرغم من التنافر الكهربائي بينها؟
3. تتسارع الإلكترونات تسارعا مركزياcentripetal acceleration نتيجة دورانها حول النواة فكيف تبقى هذه الإلكترونات تدور في مدارات مستقرة حول النواة حيث أن النظريات الكلاسيكية تنص على أن أي شحنة متسارعة تخسر طاقة عن طريق إطلاق أشعة كهرومغناطيسية بنفس ذبذبة الدوران ولذلك فإن الإلكترونات ستخسر طاقتها تدريجيا بسبب إطلاقها هذا الإشعاع وستستقر سريعا في النواة.

تم حل المشكلة الأولى في العام 1932عندما اكتشف تشادويكChadwick وجود النيوترونات وأنه بالإمكان سد النقص في كتلة الذرة الذي يعاني منه نموذج رذرفورد عن طريق احتواء النواة على عدد كاف من النيوترونات التي لا تحمل أي شحنة، كما قام تشادويكChadwick بحل المشكلة الثانية في العام 1921 حين بيّن وجوب وجود قوة جديدة هي القوة النووية التي هي في الأساس قوة جاذبة وأقوى بكثير من قوة كولوم عندما تصبح المسافة بين البروتونات (وكذلك النيوترونات) صغيرة جدا. أما المشكلة الثالثة فقام بحلها العالم الدنمركي بور Bohrفي العام 1913 حين وضع نظريته التي سنتناولها في المحاضرة القادمة والتي قلبت مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية رأسا على عقب ومهدت الطريق للميكانيكا الكمية أو الموجية التي أرسى أسسها العالم النمساوي(Austrian) شرودنغر Schroedingerفي العام 1926.