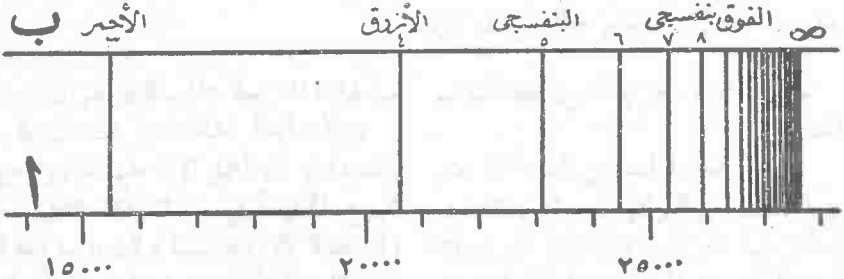
شهرية العلم

الألكترون الحائر وبوهر العظيم

عالمان : عالم ألكتروني عاش فيه البشر ملايين السنين، وأكبر خصائصه انبعاث الضوء والكهرباء ، وعالم نووي يشغل العلماء مرجعه نواة الذرة . وأظن اننا سنعيش فيه ملايين أخرى من السنين إن لم ينقطع بفعل الانسان حبل الحياة على الأرض . ولقد تحدثت عن العالم الألكتروني فذكرت أن ذرة كل عنصر تتركب من نواة وسطى يدور حولها عدد من الألكترونات كما تدور الأرض حول الشمس . وإني لا أدخل في أصل الفكرة عند رذرفورد ومدرسته الذين افترضا للمادة هذا النظام الشمسي ، ومع ذلك فانه لا يكفي أن يفترض رذرفورد ذلك ليكون افتراضه صحيحا ؛ فالعلم يتطلب التحقيق من طريقين طريق البحث النظري وطريق العلم التجريبي . ويتلخص الموقف في نظريتين ، إحداهما تعتمد على افتراض حركة بندولية لا حركة دورية للألكترون داخل الذرة ، وهذه تفسر الانبعاث الضوئي ولا تفسر مواضع خطوط الطيف . والثانية تفترض للألكترون حركة دورية حول النواة ، وهذه لا تفسر خطوط الطيف إلا على حساب حركة تقدمية للألكترون نحو النواة ، وهو ما ليس حادثاً ؛ لعدم تغير مواضع خطوط الطيف .

وهكذا لم يمكن الاحتفاظ في بادئ الأمر بنموذج رذرفورد الشمسي ، وهو النموذج المحبب إلى العلماء ، مع تفسير في الوقت ذاته للانبعاث الضوئي ووجود الخطوط الطيفية في مواضع ثابتة . صعاب تتلوها صعاب لم يمكن التغلب عليها إلا فيما بعد . على أن مهمتي اليوم أن أشرح كيف تغلب العلم على هذه الصعاب ، وكيف ثبت للعلماء دوران الألكترون المستمر حول النواة ، وكيف أمكن مع هذا تفسير الانبعاث الضوئي وتحديد مواضع الخطوط .

ولعل بدء النجاح في التغلب على هذه الصعاب يرجع إلى مجهود رجل متواضع ، مجهول الاسم في زمانه ، له مكانته اليوم بين العلماء المحدثين ، هذا الرجل هو بالمير الذي ظل منزويا في قاعات التدريس في ثانوية بال بسويسرا . عكف بالمير عام ١٨٨٥ على دراسة طيف الهيدروجين الذي تظهر له



سلسلة بالمير للهيدروجين

خطوط رأسية تقترب بعضها من بعض ابتداء من خطوطه الأولى فى الأحمر نحو البنفسجى كما فى الشكل ، وقد اتضح له فى بادئ الأمر عدم وجود نظام معين بين أوضاع هذه الخطوط ، ولكنه وجد أن هناك ارتباطا بينها وبين بعض ، كما لمس مثل هذا الارتباط لطيف العناصر الأخرى . وهكذا أصبحنا بعمل بالمير أمام دالة رياضية تشمل متغيرين أحدهما طول الموجة والآخر ترتيب الخط الطيفى ، بحيث وجدت علاقة لأول مرة بين الأعداد الصحيحة وموضع هذه الخطوط .

ولسهولة علاقة بالمير ولشعورى باهتمام فريق من القراء ببحوثه ، بل ولأهمية هذه البحوث ، أذكر أنه إذا فرضنا أن :

ا عدد الذبذبات الضوئية فى الثانية أى التردد
ب ترتيب الخط الطيفى فى الهيدروجين
حـ عدد ثابت يسمى ثابت ريدبرج ومقداره :

$$١٠٩٦٧٧٫٧٦ \text{ (س.م)}^{-١}$$

فان علاقة بالمير تكتب كالآتى :

$$ا = حـ \left(\frac{١}{٢^{٢}} - \frac{١}{ب^{٢}}\right)$$

ويلاحظ أنه إذا عوضنا فى السلسلة المتقدمة العدد ب بترتيب أى خط ابتداء من الخط الثالث نحصل على التردد الخاص بهذا الخط ، وبالتالى على طول موجته ، وقد طابق هذا الواقع إلى حد كبير .

ظلت أعمال بالمير منذ سنة ١٨٨٥ لا تجد تفسيراً إلى أن قام عالم دانمركى يافع فى سنة ١٩١٣ بالخطوة الحاسمة فى هذا الموضوع ، وهذا التاريخ الأخير يجب أن يذكره الانسان بكثير من الاهتمام ، فقد عرف نايلز بوهر لأول مرة أن هذه السلسلة لبالمير تجد تفسيراً علمياً لو أننا استخدمنا فكرة الكم عند بلانك ، وهو الذى يقول إن الطاقة ظاهرة غير متصلة ، وإنها لا تحدث إلا بكم معين أى بوحدة معينة . وتطلع بوهر بثاقب فكره نحو الالكترون محاولا أن يعطيه نموذجاً يتفق وفكرة الكم السابقة ، نموذجا يفسر به الانبعاث الضوئى ، مع الاحتفاظ بنموذج رذرفورد السابق .

حدثنا العلماء أن المادة لا توجد إلا بكم ووحدة معينة هى حبيبات ذرة العنصر ، وأن الكهرباء لا توجد إلا بكم معين أى وحدة لا تتجزأ هى الالكترون . ويحدثنا بلانك أن الطاقة فى هذا الكون مهما كان نوعها لا توجد بدورها إلا بكم معين لا ينقسم إلى وحدتين . ولندرك ذلك أذكر أننا إذا أردنا مثلا أن ندعو عدداً من الناس لتناول الطعام ، فاننا مخيرون أن ندعو ثمانية أشخاص مثلا أو تسعة او عشرة الخ . . . ، ولكننا لا نستطيع أن ندعو تسعة أشخاص ونصف شخص ، إذ الانسان موجود فى الخليقة بوحدات معينة ويستحيل وجوده بأنصاف هذه الوحدات — كذلك الحال فى الطاقة التى لا توجد فى الخليقة إلا بوحدة معينة وكم معين .

هذا الكم للطاقة تطلع إليه بوهر ليوفق بين أعمال جليسة لبالمير صاحب السلسلة ، واعمال هامة لبلانك صاحب الكم ، وأعمال أخرى لرذرفورد صاحب النموذج الذرى المحبب إلى العلماء لانسجامه مع بقية الكون . وهكذا بدأ بوهر عمله محاولا تفسير الشفرة التى عثر عليها بالمير ، وكأن بوهر يقول : « ليست هذه الورقة لبالمير عديمة القيمة ، إنما هى ورقة تحتاج إلى من يطالعها » . وهكذا تشبث بوهر بهذا المستند ، وهو يقول للعالم أجمع : « أعطونى وقتاً كافياً لعلى اوفق لقراءة هذه الرسالة العجيبة » .

والآن عودنا نسأل لماذا نرى فى الصوديوم خطوطاً طيفية معينة . ونرى للهيدروجين خطوطاً أخرى ؟ دعونا نسأل هل هناك علاقة بين ما نراه وبين ما هو داخل الذرة ؟ إننا لم نر لهذه القطعة من الصوديوم هذه الخطوط إلا بعد أن هيجناها فى اللهب — ترى ماذا جرى فى عالمها الالكترونى ؟ وما هذا النوع من الاضطراب ؟ وما الذى طرأ على الالكترونات الدائرة داخل ذرات هذا الصوديوم؟ ترى ما الذى حدث للصوديوم أو للهيدروجين أو غيره من أحداث عالمية جعلتنا نرى لكل منها خطوطه المنتظمة ؟

هنا احتفظ بوهر العظيم بنموذج رذرفورد ولكنه لم يوافق على ميكانيكة لورنتز البندولية ولا على تلك الفكرة التى تفسر الانبعاث الضوئى تفسيراً خاطئاً ، من تقدم مستمر للألكترون نحو النواة عند دورانه حولها . وأصر بوهر على أن الالكترون يدور ، ولكنه يدور فى مدار ذى قطر معين أو مدار آخر محدد ، وحسب أن لكل مدار كمية معينة من طاقة ألكترونية تزداد بازدياد المسار ، وفى هذا زدياد لطاقة الالكترون الكامنة ، وهى الطاقة التى يعطيها كاملة فيما لو وقع فى النواة مثلا . وهنا أدخل بوهر فرضاً جريئاً له علاقة بكم بلانك متقدم الذكر ، ففرض أنه لا توجد مسارات للألكترون إلا تلك التى تطابق التغير فى الطاقة بمقدار كم واحد . وهنا حسب هذا الكم الذى يرتبط بمقدار المسار وتتبع فى ذلك الأعداد الصحيحة ١ ، ٢ ، ٣ الخ وكأنه فرض فى الحيز حلقات معينة حول النواة لا يمكن للألكترون أن يدور إلا فيها . وأظن أنه يمكننا أن نفترض فى الحيز هذا النوع من عدم الاتصال بجوار المادة . بمعنى أنه يصح لنا أن نفكر أن وجود المادة تفرض على الحيز بجوارها أو عندها فرضية بوهر العظيمة المتقدمة . وهو رأى خطر لى أرجو أن ينال موافقة العلماء المعاصرين .

ولقد حاول بوهر بهذا أن يفسر عملية انبعاث الضوء التى لم يعزها إلى دوران الالكترون، وإنما عزاها إلى حادث عظيم وقع لهذا الكوكب الصغير ، حادث لم يقع على الاقل لكوكبنا الأرضى منذ دورانه حول الشمس ، وهذا الحادث الجسيم الذى وقع للألكترون هو وثبة له من إحدى المدارات إلى مدار آخر ليس له أن يتعداه إلا بحادث آخر مماثل للأول . على أن هذه الحوادث وأمثالها التى أحدثت تغييراً فى طاقة الالكترون هى التى سببت لنا على شبكة العين ما نراه من الأثر الضوئى الذى يرجع فى أصله إلى هذا الاضطراب الالكترونى . فنرى للصوديوم هذين الخطين ، ونرى هذا أحمر وذلك أصفر .

هنا يحررنا بوهر من كل قيودنا العلمية السابقة ، ويباعدنا عن كل معارفنا وعن كل ما ورثناه وورثه فيزيائيو هذا العصر من علوم . فمثلا كيف يمكننا أن نتصور مع بوهر ألكترونا دائراً فى مدار معين لا يرسل أمواجاً كهربائية وفق نظرية مكسويل ، تلك النظرية التى اضطر بوهر إلى هجرها . بل إننا نصادف بعد ذلك صعوبات جمة ، أولها أننا لا ندرك لماذا تعطى وثبة الالكترون إشعاعا ؟ وثانيها لماذا يتبع نظام المسارات وحدة بلانك؟ وأخيراً يقصر بنا الفكر أن نفهم لماذا وثب الالكترون ؟

ومهما يكن من خطورة هذه الأسئلة ، فان بوهر لم يعرها انتباها ، وربما كان هذا سر عظمته . وهكذا كلما عارضته فكرة قديمة عمد إلى ترك القديم ، وظل شاخصاً إلى الطيف لا يعبأ بكل تاريخ الفيزياء ، مادام يجد بطريقته الخاصة تفسيرا لوضع الخطوط الطيفية ، وهكذا أحدث ثورة علمية كبرى .

على أن هذا النجاح لبوهر ، وإن تعارض

مع ما ذهب إليه الفيزيائيون فى عصره ، لفت إليه نظر جيش كبير من هؤلاء . وقد تمكن من وضع حساب دقيق لخطوط الهيدروجين ، بل تمكن من تفسير ثابت ريدبرج الذى ذكرناه فى سلسلة بالمير المتقدمة ، والذى ظل العلماء يرون فيه عدداً بسيطاً لا يمت للذرة فى شئ ، فوجد أنه دالة لكتلة النواة وكتلة الالكترون وشحنته وثابت بلانك وسرعة الضوء .

ولم تكتمل هذه الصفحة المجيدة لبوهر دون أن يصادف صعابا لا تعدلها صعاب ، فقد امتحن العلماء طيف الهيليوم فوجدوا أن العدد الثابت يختلف قليلا عما يحتمه حساب بوهر . وهنا أخذ بوهر فى محل الاعتبار أثر الالكترون المتحرك على النواة مسبباً لها حركة ضعيفة ، فصحح بهذا ما ظنه العلماء خطأ . وأخيراً عند ما يعثر فيزيائى من ذلك العهد على خطوط غريبة فى أنبوبة هيدروجينية لا تتفق مواضعها مع معادلات بوهر ، فان بوهر يؤكد له خطأه التجريبى ، ويذكر له فى جرأة أنه لا بد أن يكون هناك أثر طفيف للهيليوم مثلا فى هذه الأنبوبة ، وهو أثر طالما اختفى عند تحضير الهيدروجين من جديد والحصول عليه بحالة نقية .

ومع كل ما ذكرت فقد تخلل عمل بوهر صعوبة علمية كبيرة . فبينما لا يشمل حساب مجموعتنا الشمسية إلا تسعة كواكب ، يصل عدد ألكترونات نواة العناصر المختلفة إلى ٩٢ . هنا نرى صعوبة يعرفها أولئك الذين وهبوا حياتهم لتتبع رياضيات بوهر المتقدمة . وتنحصر صعوبة الحساب فى تحديد ما لهذه الكواكب (الالكترونات) ، من أثر بعضها فى بعض ، وفى ميل مسارات الواحدة منها على الأخرى ، بل فى اختلاف هذا الميل من كوكب إلى آخر .

كل هذا يجعل الموضوع عسيراً ، ومع ذلك اندفع جيش من الفيزيائيين النظريين فى كل جامعات الأرض محاولين تتبع أعمال بوهر وتطبيقها والاضافة إليها ، وذلك بالانتقال من عنصر إلى عنصر والتغلب على صعوبة الحساب ، وتوالت الرسائل العلمية فى هذا الباب سنين طويلة حتى إننى كنت لا أصادف فى السوربون سنة ١٩٢٥ والعشر السنين التى تلتها إلا طلابا مشغولين بقضية الطيف ، وهم بالعشرات من جميع أجناس البشر ، بعضهم يتابع النظر إلى طيف العناصر فى المعامل ويحاول أن يقوم بتحسين فى المطياف ، وبعضهم يتابع الحساب ويقابل ذلك بما تحتمه التجارب . ومن هؤلاء وهؤلاء من يمكف على عمله أعواماً ليجد حلا موفقاً بين ما يصل إليه عن طريق الحساب وما يعثر عليه غيره من الطريق التجريبى .

وهكذا كان على بوهر أن يواجه فيزيائي هذا العصر ، يفسر ما هو معروف من ظواهر طبيعية ليس من اليسير هجرها ، وما قد يستجد من الظواهر . ألم يجد بوهر تفسيراً خالداً لظاهرة زيمان ، نسبة للفيزيائى الهولندى الذى كشفها ، وتتلخص فى أن للمجال المغناطيسى القوى أثراً فى الانبعاث الضوئى ، بحيث إذا وضعنا قطعة الصوديوم المتوهجة بين قطبى مجال مغناطيسى ، فان الخطوط الطيفية تنقسم فيما بينها ، فترى للخط الواحد اثنين وثلاثة . ويطول بنا الشرح لو فسرنا كيف استطاع بوهر دون أن يتخلى عن فكرته أن يفسر هذه الظاهرة تفسيراً صحيحاً ، بل إنه وجد تفسيراً لظاهرة أخرى اسمها ظاهرة ستارك من اسم مكتشفها الألمانى ، وهى ظاهرة خاصة بأثر المجال الكهربائى فى الضوء .

هذا هو بوهر العظيم ، وهذه هى الالكترونات الحائرة تدور حول النواة كما

تدور الأرض حول الشمس، هذه الألكترونات التى ذكرنا أن النسبة بين كتلة إحداها وحبة المسبحة كالنسبة بين هذه الحبة والكرة الأرضية، أصبحت معروفة فى دورانها ووثباتها داخل العالم الذرى بقدر ما نعرف من حركة السيارات داخل العالم الشمسى .

لقد عز على نفسى أن أذكر نايلز بوهر فيما نشرته بالكاتب المصرى فى بضع سطور (١) بعد أن لمع اسمه فى سنة ١٩١٣ والسنين التى تلتها ، وبعد أن لمع اسمه من جديد فى الطاقة الذرية وما جرى بين صحراء المكسيك وهيروشيما .

هذا هو بوهر العظيم الذى فسر الانبعاث الضوئى من وثبة للألكترون من مدار بعيد فى النواة إلى مدار أقرب منه ، وجمع فى هذ التفسير بين فكرة الكم وبين نظام الطيف .

هذا هو بوهر الدنمركى الذى يرأس اليوم أعمال الطاقة الذرية بأمريكا، والذى أفاد أخيراً من أعمال أوتوهان فى برلين ، قد أطلعتك على جزء من أعماله الخالدة التى هزت العالم هزاً ، وها نحن أولاء تجولنا فى الذرة معا بعيداً عن النواة وعن شمسها الخطيرة ، تجولنا معا فى هذه السيارات التى تدور حول نفسها وحول النواة . وأغلب الظن أن جولتنا كانت متعبة لك وعسيرة على نفسى ، فقد أمعنت الفكرة فيما أكتب ، وأطلت النظر فيما تطالع . ولكنها الدنيا خلقت على نحو هذه الحلقات المعقدة . والميراث العلمى يزداد على هذا النحو الذى تراه ، ومع ذلك فلم أعرض فى هذا المقال لأعمال ديراك الخالدة ، وما يحتمه من حالة مغناطيسية للألكترون ، ولم أعرض كذلك لدوران الألكترون حول نفسه ، وكلها أعمال متممة لأعمال بوهر .

ولقد تتبعت مع القارئ فى الجزء الأكبر من هذا العرض طريقتى الخاصة فى الكتابة والشرح ، واستعنت فى جزء منه بطريقة فى العرض لريشنباخ . وما هذا وذاك إلا محاولة منى لعرض آرائى وآراء غيرى . ومع ذلك فان لقى القارئ مشقة فى هذه الجولة ، فأكبر ظنى أنه أفاد مما تعب من أجله ، وسأحاول أن تكون جولاتى القادمة أيسر عنده من جولاتى السالفة .

محمد محمود غالى

---

(١) « القنبلة الذرية والعدام الذرة » ، الكاتب المصرى عدد ١ (أكتوبر ١٩٤٥) ، صفحة ٩٥ .