الالكترون [1]

نشوء فكرته وتحقيق وجوده

وبعض علاقاته بموضوع العلاج الاشعاعي

مصطفى نظيف بك

الاستاذ بكلية الهندسة بجامعة فؤاد الاول

نشوء فكرة الالكترون

في علم الطبيعة

(النظرية المغناطيسية الكهربائية وما ظهر من النقص فيها) وضع « كلارك مكسول » (C. Maxwell) في مبدىء الاعوام الثلاثين الاخيرة من القرن التاسع عشر أو قبل ذلك ، — وكان أستاذاً للطبيعة بجامعة كمبردج في ذلك العهد — نظريتهُ المغناطيسية الكهربائية في الضوء . تلك النظرية التي يصح ان توجز فكرتها الاساسية في انها تعد الضوء تغيراً دورياً في شدة المجال الكهربائي مصحوباً بتغير دوري في شدة مجال مغنطيسي اتجاههُ عمود على اتجاه الاول ، حيث ينتقل هذان التغيران في اتجاه عمود على الاتجاهين المذكورين ، بسرعة معينة يمكن تقديرها تكون هي سرعة الضوء

وقد كان دخول هذه النظرية في علم الطبيعة مبطلاً للنظرية القديمة في الضوء التي كانت تعد الضوء موجات عرضية تحدث في وسط موهوم هو « الاثير » أسبغت عليهِ خواص الجسم الصلب المرن فعرفت « بنظرية الصلب المرن » ، ومبطلاً للتناقض الذي نشأ عن نظرية الصلب المرن هذه بين رأي « فريزل » (Fresnel) العالم الطبيعي الفرنسي في تعيين اتجاه الاهتزازة في الضوء المستقطب بأنهُ عمود على مستوى الاستقطاب ، وبين رأي « نيومان » (Neumann) و « ماكّولاغ » (Mac Cullagh) و « غرين » (Green) في القول بأن اتجاهها موازٍ لمستوى الاستقطاب

---

(١) موضوع الكلمة التي ألقاها مصطفى نظيف بك الاستاذ بكلية الهندسة في الاجتماع الذي عقدته الجمعية المصرية للعلوم الرياضية والطبيعية يوم ٣٠ نوفمبر ١٩٣٨ في كلية العلوم بمناسبة اسبوع السرطان

وفكرة الحركة الموجية التي تتضمنها النظرية المغناطيسية الكهربائية جعلتها صالحة للاحاطة بالظواهر الضوئية التي تعزى الى الحركة الموجية ، كظاهرة التداخل وظاهرة الجود وظواهر الاستقطاب . وكانت النظرية أيضاً صالحة لشرح انعكاس الضوء ، ولشرح الانعطاف بصفة عامة . وأدت ايضاً الى نتائج كالتأثير الضغطي للضوء حققتها البحوث العملية

ولكن لم تكن للنظرية في مبدىء أمرها فيما عدا ذلك أدلة عملية مقنعة تعززها . ولم توجد صالحة لشرح ظاهرة « التشتت » (Dispersion) ولا ظاهرة « التشتت الشاذ » اذا صح ان نسميها كذلك (Abnormalous Dispersion) التي كانت معروفة وقتئذ ولا علاقتها « بالامتصاص الخاص » أي « الامتصاص المميز » (Selectvie Absorption)

***

« اتمام نقص النظرية المغناطيسية الكهربائية بنظرية نوم فيها وجود « الكترونات » » لذلك رأى « لورنتز » (Lorentz) العالم الهولندي سنة ١٨٧٨ ان يقيم بجانب النظرية المغناطيسية الكهربائية لظرية يكمل بها النقص الذي بدا فيها . ويتم بها شرح « ظاهرة التشتت » وظاهرة « التشتت الشاذ » . وبنى « لورنتز » نظريته على فروض ، فتصور وجود دقائق صغيرة لكل واحدة منها شحنة كهربائية بمقدار فرضها موجودة في المادة بوجه عام . وفرضها مطلقة الحركة في الاجسام الموصلة للكهرباء . وفرضها مقيدة الحركة ، مقيدة بجزيئات المادة أو ذراتها في الأجسام العازلة

فاذا وضع العازل في مجال كهربائي ، ازيحت هذه الدقائق عن مواضعها الاولى ، واذا زال المجال زالت الازاحة واذا كان المجال الكهربائي متردداً أحدث في هذه الدقائق « اهتزازة قسرية » (Forced vibration) ترددها كتردد ذلك المجال . واذا صادف ان كان تردد المجال مساوياً تردد الاهتزازة الطبيعية لهذه الدقائق ، اشتد اهتزازها ، وحصل « الرنين » (Resonance) وأصبحت تلك الدقائق في العازل منقادة لذلك المجال يسيّرها كما يسيّرها المجال في الأجسام الموصلة لولا أن حركتها تؤثر فيها قوة تقاومها ، فيصير لاتساع الاهتزازة حدٌّ ، وتستنفد طاقة المجال بعد ذلك في الشغل المبذول للتغلب على « قوة المقاومة » هذه

تلك بايجاز الفروض الاساسية التي بنى عليها « لورنتز » نظريته والنظرية من جراء هذه الفروض المحدودة المعاني ، تصور تصويراً مقبولاً فكرة « الازاحة » في العازل ، وفكرة « تيار الازاحة » اللتين كانت تنطوي عليهما نظرية مكسول ، واللتين كان غموض معناهما في مبدىء الأمر ، عائقاً الى حد ، عن انتشار النظرية وحسن قبولها لدى بعض علماء الطبيعة في ذلك العصر . وقد استطاع

« لورنتز » أن يتوصل على أساس هذه الفروض الى معادلة يقدر بها معامل انكسار الضوء في المادة العازلة ، وبينت معادلته أنّ معامل انكسار الضوء يتوقف على تردد الضوء . وذلك على صفة لا تتفق وظاهرة التشتت فحسب بل تصلح لشرح « التشتت الشاذ » وبيان علاقته بالامتصاص المميز بل والتنوّع بظاهرة لم تكن معروفة هي « الانعكاس المميز » (Selective Reflection)

وفي ابّان ذلك العهد شغل « لارمور » (Larmor) — وكان استاذاً للرياضة بجامعة كمبردج وقتئذٍ — ببحوث رياضية تناول فيها اهتزازة الدقيقة المشحونة ، وحركتها المستديرة حول محيط دائرة وحول محيط قطع ناقص وما ينشأ عن مثل هذه الحركة من التموجات الكهربائية ، أو بالأحرى المغناطيسية الكهربائية التي من جنسها موجات الضوء

« ولورنتز » لم يتقيد في نظريته أول الامر بقدر الشحنة الكهربائية على تلك الدقائق الموهومة التي فرضها . بل ولم يتقيد بنوع الشحنة : هل هي موجبة أم سالبة ؟

ولكن بحوث « فراداي » (Faraday) في أوائل العقد الرابع من القرن التاسع عشر عن توصيل السوائل للكهرباء والبحوث التي تلت بحوثه من منتصف ذلك القرن ولا سيما بحوث « هتورف » (Hittorf) و « كلوسيوس » (Clausius) و « كهلراوخ » (Kohlrausch) وغيرهم من التابعين ، دلت على أن توصيل المحاليل للكهرباء يحدث بفعل « أيونات » (Ions) هي اجزاء من جزيئات المذاب مفككة ، بعضها موجب التكهرب وبعضها سالبه ، وأن اصغر مقدار لشحنة هذه الايونات هي شحنة ايون الايدروجين ، وأن شحنة الايونات الاخرى اما هي تساوي شحنة ايون الايدروجين مقداراً ، واما هي تساوي اضعافها ، فكأن للشحنة الكهربائية على حسب تلك البحوث ، مقدار هو اصغر مقدار توجد عليه الكهرباء ، اي كأن للكهرباء جوهراً فرداً ، او جزءاً لا يتجزأ . هذا الرأي قد تردد في قبوله بعض كبار علماء الطبيعة في ذلك الوقت ولكنهُ لقي قبولاً حسناً لدى ناشئتهم فلم يك ما يحول دون أن تعد شحنة الواحدة من الدقائق الموهومة المفروضة في نظرية « لورنتز » هي الجوهر الفرد أو الجزء الذي لا يتجزأ من الكهرباء . وكان بهذه المناسبة ان اقترح « ستوني » (Johnstone Stoney) الطبيعي الانكليزي سنة ١٨٩١ ان يطلق على الواحدة منها اسم « الكترون » فعرفت نظرية « لورنتز » بالنظرية « الالكترونية »

والنجاح الذي صادف النظرية الالكترونية من الناحية المذكورة حث كثيرين من العلماء على تطبيقها في نواحٍ اخرى من علم الطبيعة . فأخذت تطبق لشرح كيفية توصيل الموصلات للكهرباء وتوصيلها للحرارة ولشرح ظواهر اخرى لا محل للخوض فيها هنا

تلك بإيجاز هي الملابسات والظروف التي افضت الى نشوء فكرة الالكترون في علم الطبيعة

اهم الكشوف والبحوث الحديثة
التي مهدت الى الكشف عن الالكترون

غير ان الامر لم يقف عند هذا الحد . فقد اخذت بحوث وكشوف اخرى يتتالى بعضها في اثر بعض (الاشعة الكاثودية) فمن احدى النواحي انه خطر لعالم فرنسي «ماسون» (Masson) حوالي منتصف القرن التاسع عشر ان يمرر شرارة كهربائية في فراغ «تورشيلي» الذي يطو الزئبق في انبوبة بارومترية فاستوقف نظره تغير شكل الشرارة واضاءة ذلك الفراغ بضوء متصل يضرب الى الاخضرار فأخذ الكثيرون يجربون امرار الشرارات في انابيب موجية ملتوية مختلفة الاشكال ، واخذ بعضهم هذا الامر لهواً ومتعة ، غير ان اصلاح مفرغة الهواء في ذلك العهد اتاح لفريق من العلماء دراسة الظاهرة بصفة جدية . ويكفيني ان اذكر منهم اثنين او ثلاثة ، هم « وليم كروكس » (William Crookes) في انكلترة « بلوكر » (Plucker) و« جولد شتين » (Goldstein) في المانيا . وسرعان ما بيّنت بحوثهم المتصلة ان احداث التفريغ الكهربائي في انابيب من الزجاج قد تغيرت حتى صار ضغط فضالة الهواء أو فضالة الغازات التي بها صغيراً جداً ، يحدث نوعاً من الاشعة مصدره «الكاثود» أي القطب السالب ، اذا ما وضع على جدران الانبوب من الداخل أو على بعض مواد مومضة [1] توضع فيها ، جعلها تومض أو تلون في الظلام ، واذا ما وضع حاجز أو ساتر بحيث يحول بين الكاثود وبينها ، حصل للحاجز او الساتر ظل ، دالاً ذلك على ان هذا النوع من الاشعة يصدر عن الكاثود وينتشر على صورة الخطوط المستقيمة . ولكنهم اختلفوا في طبيعة هذه الاشعة ، وانقسموا في ذلك فريقين احدهما على رأسه « كروكس » رأى ان طبيعتها مادية ، وسماها « كروكس » « المادة المشعة » والآخر يقوده « جولدشتين » رأى ان طبيعتها حركة موجية . وظل الفريقان يتنازعان . إذ لما تبين ان هذه الاشعة تنحرف بفعل المجال المغناطيسي اتخذ الفريق الاول هذا الامر عضداً لرأيه دون الآخر . ولما بيّن « هرتز » (Hertz) ثم من بعده « لنرد » (Lenard) أنها تنفذ خلال الصفائح الرقيقة من الالومنيوم وما شابهه اتخذ الفريق الثاني هذا الامر دليلاً يقيمه على صحة رأيهم دون الرأي الاول . اذ كيف يتسنى لهذه الاشعة لو كانت حقيقة دقائق من المادة من قبيل جزيئات المادة او ذراتها ان تنفذ من مثل تلك الصفائح ؟ ثم لما بين « پران » (Perrin) في مبدىء السنوات الخمس الاخيرة من القرن التاسع عشر ان هذه الاشعة اذا ما وكزت في اناء أجوف

(١) استعمل الكاتب في ترجمته وكتابه «البصريات» منذ زمن طويل لفظ «الوميض» للدلالة على الظاهرة المعروفة باسم (Phosphorescence) ولفظ «التلون» للدلالة على الظاهرة المعروفة باسم (Fluorescence) وللاولى نقل « أومض » وللثانية « تلون »

صفير ممزول ، تكسبهُ شحنة سالبة ، فاذا الرأي الاول فرجحت كفته . ولبث التنازع بين الرأيين قائماً حوالي عشرين عاماً

﴿ التأثير الكهربائي للضوء ﴾ ومن ناحية أخرى أتيح « هرتز » وهو يجري تجاربه الخالدة في الموجات المغناطيسية الكهربائية ان لاحظ ان وقوع الضوء ، أو بالاحرى الاشعة المافوق البنفسجية منه ، على فرجة الشرارات التي تحدث خلالها الشرارة الكهربائية في تجاربه ، يساعد على مرور الشرارة . فأخذت العناية تتجه الى البحث عن حقيقة تأثير الضوء ، او الاشعة المافوق البنفسجية ، في الامر . ويكفيني ان اذكر من عنوا ببحث هذا الامر في ذلك الوقت اثنين او ثلاثة مثل « هلواك » (Hallwach) و « الستر » (Elster) و « جيتل » (Geitel) فقد أدت بحوثهم الى معرفة ان الموصل تنبعث منه في الفراغ بتأثير الضوء ، ولا سيما الموجات القصيرة منه ، دقائق متكهربة يدل اتجاه انحرافها في المجال المغناطيسي على ان شحنها سالبة

ويدلُّ على هذه الصفة ظهور فرع من فروع الطبيعة الحديثة يعرف الآن باسم « الكهربائية الضوئية » (Photo-Electricity)

﴿ انبعاث الاجسام المتوهجة لدقائق متكهربة ﴾ وايضاً فقد كان من المعروف بوجه عام منذ اوائل القرن الثامن عشر ، ان الاجسام المشحونة المعزولة تفقد شحنتها بتأثير اللهب والتسخين الشديد . فعاد البحث عن حقيقة هذه الظاهرة يلقى شيئاً من عناية بعض العلماء في منتصف القرن التاسع عشر وقد وجدت الظاهرة في مبدىء الامر على جانب من التعقد . فلضغط الغاز ، ولدرجة الحرارة ، ولعوامل أخرى كنوع الغاز ونوع مادة الجسم وما الى ذلك ، تأثيرات مختلفة جعلت بعض النتائج الاولى متناقضة . ولكن تتبع البحث أدى في مبدىء السنوات العشر الاخيرة من القرن ، الى التوصل الى معرفة شيء عن حقيقة الظاهرة ، ويكفيني هنا ايضاً ان اذكر من بحثوا هذا الموضوع اثنين او ثلاثة هم « الستر » و « جيتل » و « فلمنج » (Fleming) . فقد دلت بحوثهم على انه اذا توهج سلك في اناء مفرغ من الهواء تفريغاً شديداً انبثت منهُ دقائق وجدت هي ايضاً متحملة بشحنة سالبة . وبدأ على هذه الصفة ظهور فرع آخر من فروع الطبيعة الحديثة يعرف باسم « الايونية الحرارية » (Thermo-Ionics)

﴿ اشعة رنتجن والنشاط الراديومي (١) ﴾ وما كادت تتجمع المعلومات والكشوف السابقة حتى أعلن « رنتجن » (Rontgen) سنة ١٨٩٥ كشفه عن الاشعة المعروفة باسمه . ثم أعقبهُ كشف آخر لا يقل عنهُ خطورة اتيح « لبكرل » (Becquerel) وهو خاصة انبعاث بعض العناصر مثل

(١) تناول حديث الاستاذ الدكتور علي مصطفى مشرفة بك عميد كلية العلوم في اجتماع الجمعية موضوع «أشعة رنتجن» وتناول حديث الدكتور محمد محمود غالي موضوع «النشاط الراديومي»

« الاورانيوم » لاشعاع لم يكن لعلم الطبيعي علم سابق به . ويكفينا أن نذكر هنا ان من بين هذا الاشعاع الصادر عن هذه المواد نوعاً يتكون من دقائق صغيرة متحطمة بسرعات سائبة تسمى الدقائق « البائية » او الاشعة « البائية » (Beta Rays).

﴿ كيفية توصيل الغازات للكهرباء ﴾ تلك كانت حالة علم الطبيعة من الناحية التي نحصها هنا ، عند بدء السنوات الخمس الاخيرة من القرن التاسع عشر . فقد جاءت الكشوف والبحوث المذكورة يتبع بعضها الآخر بسرعة ولكن لم يكن يتراءى بادىء الامر أن بين تلك الكشوف والبحوث رابطاً يربطها بعضها بالآخر أو سلكاً ينظمها على وتيرة مفهومة تظهر في الميدان « جوزف طمسون » (J. J. Thomson) خليفة « مكسول » في استاذية الطبيعة بجعل « كفندش » في « كمبردج » ومعه « رذرفورد » (Rutherford) الذي خلف « طمسون » بعد اعتزاله ، وفقده العلم في السنة الماضية . وكان قد تبين إن للدقائق السالبة التي أتينا على ذكرها آنفاً ، وللاشعة « رنتجن » وللاشعة التي تنبعث من المواد الراديومية[1] خاصة هي انها تجعل الغاز الذي تنفذ فيه موصلاً للكهرباء . فبدأ « طمسون » و « رذرفورد » البحث عن كيفية توصيل الغازات للكهرباء . ويبدو لنا في بحوثهما ان توصيل الغازات للكهرباء يحدث من تولد دقائق بعضها موجب التكهرب وبعضها سالب التكهرب تحيث قياساً على نظائرها في السوائل « ايونات » تتولد في الغازات بفعل العوامل المذكورة ، وان هذه الايونات اذا ما تركت وشأنها تتعادل من جراء انجذاب الموجب منها بالسالب ، فتزول عنها صفة الايونية . فاذا ما تولدت هذه الايونات بفعل أحد تلك العوامل ، في مقدار ما من الغاز ، يوجد بين قطبين ، وجُعل بينهما فرق في الجهد اي مجال كهربائي ، انكتسح المجال بعض الايونات السالبة نحو القطب الموجب ، وبعض الايونات الموجبة نحو القطب السالب ، فمر التيار في الغاز من جراء انتقال الايونات على هذه الصفة . وفي الوقت نفسه تتعادل الايونات الاخرى وتزول عنها صفتها الايونية . واذا كان المجال مستمراً والعامل الذي يولد الايونات مستمراً باقياً ، مر تيار مستمر بحيث اذا زادت شدة المجال او القوة الدافعة بين الموصلين ، عظمت نسبة ما يكتسحه المجال من الايونات وصغرت نسبة ما يتعادل منها ، وزادت تبعاً لذلك شدة التيار . حتى اذا بلغت شدة المجال حداً معيناً اكتسح جميع الايونات بمجرد تولدها وبلغ التيار حالة التشبع

ثم عقب « تونسند » (Townsend) أستاذ الطبيعة في اكسفورد على ذلك بأنه اذا تجاوز المجال الكهربائي الحد المذكور كثيراً ، اكتسح الايونات بشدة عظيمة ، فتزيد سرعتها كثيراً ،

(١) النسبة هنا الى الراديوم وتؤثر استعمال « النشاط الراديوي » للدلالة على معنى "Radio - Activity" وتقصر استعمال الاشعاع للدلالة على معنى «Radiation»

فيحدث من جراء تصادمها بجزيئات الغاز أيونات جديدة ، وهكذا ، فيزيد عدد الايونات زيادة عظيمة في وقت قصير فيحدث في الغاز ما يعرف بالتفريغ الفجائي المصحوب بالشرارة الكهربائية المألوفة . وسرعان ما انتشرت هذه النظرية واتسعت البحوث على هداها ، وارتبطت المعلومات السابقة شيئاً ما بعضها بالآخر ، وأجريت بحوث عدة لا يسمح المجال بالخوض فيها قيست فيها سرعة الايونات ودرست فيها خواصها في الغازات المختلفة وفي الظروف العدة التي تتولد فيها بفعل تلك العوامل

الكشف عن الالكترون

وقد توج القرن التاسع عشر قبيل انصرامه بما هو من غير شك من اعظم الكشوف التي شهدها علم الطبيعة في تاريخ نموه . فقد اجرى «جوزف طمسون» خلال الثلاث السنوات الأخيرة منهُ ، سلسلة بحوث عن حقيقة الاشعة الكاثودية ، وبعض الدقائق السالبة التي أشرنا اليها فيما قبل . ففي بعض هذه البحوث حرّف « طمسون » الاشعة الكاثودية بفعل المجال المغناطيسي ثم سلط عليها مجالاً كهربائيًا حرفها في ضد الاتجاه ، وهيأ المجالين بحيث أبطل أحدهما فعل الآخر ، واستنبط من معرفة شدة كل من المجالين مقدار نسبة شحنة الدقيقة الواحدة الى كتلتها ، بل واستطاع أيضاً قياس سرعتها . فقضت هذه البحوث بالحكم القاطع بصحة الرأي القائل بأن الاشعة الكاثودية هي دقائق كل واحدة منها ذات كتلة ومتحملة بشحنة سالبة ودلت نتائج طمسون على ان نسبة الشحنة الى الكتلة لهذه الدقائق واحدة ، ليست تختلف تبعاً لاختلاف نوع غضالة الغاز المتخلف في الانابيب ولا تبعاً لاختلاف نوع مادة الكاثود

ثم عقب «طمسون» على هذه البحوث بأخرى عيّن فيها نسبة الشحنة الى الكتلة للدقائق السالبة التي تنبعث بفعل الاشعة الفائقة البنفسجية ، وبأخرى عيّن فيها تلك النسبة ايضاً للدقائق المنبعثة من الاجسام المتوهجة في الفراغ

فكانت نتائج البحوث جميعاً ان تلك النسبة واحدة . ولكنها وجدت اضعافاً مضاعفة للنسبة النظيرة لها لايون الايدروجين . فقد بلغت تلك النسبة على حسب نتائج طمسون في ذلك العهد ثمانمائة مرة قيمة النسبة الثانية وهي بحسب النتائج الحديثة حوالي ثمانمائة والف مرة . وهنا تتجلى ناحية الاهمام التي لا تخلو منها الكشوف العلمية الخطيرة . فطمسون فسّر هذه النتائج بأنها أزاء دقائق شحنتها سالبة ومقدارها هو الجوهر الفرد للكهرباء او الجزء الذي لا يتجزأ منها . اي ان مقدار شحنتها كمقدار شحنة ايون الايدروجين وان كانت تختلف عنها في النوع . واذن تكون كتلة الدقيقة الواحدة منها جزءا صغيراً جداً من كتلة ذرة الايدروجين ، التي هي اصغر ذرة من ذرات المادة معروفة في الكيمياء ، فتكون كتلة الدقيقة الواحدة على حسب هذا التفسير هي

جزء من ثمانمائة والف جزء من كتلة ذرة الايدروجين . وقد كان هذا التقدير ما يبرره ، فالنسبة واحدة لجميع تلك الدقائق التي يحصل عليها بالطرق المختلفة ، وليست تتوقف على نوع المادة ، والاشعة الكاثودية قد ثبت كما في تجارب « هرتز » و« لنرد » انها تنفذ من الصفائح الرقيقة، فذلك كله في مجموعه يبرر القول ، بأنها دقائق صغيرة أصغر من ذرة المادة ، ومن مقومات الذرة المادية

وما كاد « طمسون » يعلن نتائج بحوثه هذه ، حتى قام « بكرل » وتبعهُ آخرون يتعيين النسبة نفسها للدقائق الباثية المنبعثة من بعض المواد الراديومية . ودلت النتائج على ان النسبة لهذه الدقائق أيضاً تساوي النسبة النظيرة لها التي توصل اليها « تومسون » في تجاربه المختلفة

وفي أبان الوقت الذي كان طمسون يجري فيه بحوثه المذكورة كشف «زيمن» (Zeeman) العالم الهولندي ظاهرة في الضوء تتلخص في ابسط حالاتها في انَّ كل خط من خطي طيف الصوديوم يمرض قليلاً بفعل المجال المغناطيسي فأرسل الى « لورنتز » ينبئهُ بالامر ويستفسره فيه

واستطاع لورنتز ان يفسر هذه الظاهرة على اصول نظريته الالكترونية بل واستطاع أن يبين الاحوال التي ينتظر ان ينشق فيها الخط الواحد من خطوط الطيف خطين ، والاحوال التي ينشق فيها ثلاثة خطوط ، واستطاع ان يتنبأ عن حالة الاستقطاب في كل واحد من هذه الخطوط ، كل ذلك على اساس انَّ الضوء يحدث عن اهتزازة الالكترونات المفروضة في نظريته . بل واستطاع « لورنتز » ان يبين كيف يمكن التحقق من نوع الشحنة على تلك الالكترونات بل وأكثر من ذلك كيف يمكن بمعادلة توصل اليها ببرهان رياضي تعيين نسبة الشحنة الى الكتلة لتلك الالكترونات من قياس الفرق في التردد بين الخطوط المنشقة الحاصلة في الظاهرة

وكان مآل ذلك ان استطاع « زيمن » تعيين نسبة الشحنة الى الكتلة الالكترونات التي توهمها « لورنتز » وبنى عليها نظريته الالكترونية ووجدت هذه النسبة ايضاً مساوية النسبة التي توصل اليها طمسون في تجاربه . على هذه الصفة تبين ان الدقائق الكاثودية والدقائق التي تنبعث من الموصلات بفعل الاشعة الضوئية لا سيما الماغوق البنفسجية ، والدقائق التي تنبعث من الاجسام المتوهجة والدقائق الباثية التي تنبعث من بعض المواد الراديومية ، بل والالكترونات المفروضة الموهومة في نظرية لورنتز هي جميعها دقائق كنهها واحد ، وطبيعتها واحدة ، وهي كلها بحسب تفسير « طمسون » متحملة بشحنة سالبة هي الجوهر الفرد للكهرباء ، وكتلتها جزء صغير جداً من كتلة أصغر ذرة معروفة في الكيمياء

وان كان طمسون قد أطلق على الدقائق التي اختبرها في تجاربه اسم « ذوبرات » (Corpuscles) وحاول التمسك لها بهذا الاسم ، فقد غلب اطلاق اسم « الكترونات » عليها هي أيضاً ، وصار اسم «الالكترون» يدل على جميع تلك الدقائق ويقيسها جميعاً

تعيين شحنة الالكترون

وقد أراد « طمسون » ان يتحقق بالتجربة من أنّ رأيه القائل بأن الشحنة السالبة الموجودة على كل دقيقة من تلك الدقائق ، او على الالكترون بحسب الاسم الشائع ، هي الجوهر الفرد أو الجزء الذي لا يتجزأ للكهرباء ، أراد أن يتحقق من أنّ رأيه هذا لا تعوزه الادلة العملية . ولما كانت الغازات توصل الكهرباء بفعل الايونات التي تتولد فيها ، فان امكن قياس شحنة الايونات التي تتولد في الغازات ، وان دلت النتائج العملية على أن لشحنتها قدراً معيناً لا يوجد اصغر منهُ ويساوي قدر شحنة ايون الايدروجين ، كان هذا دليلاً على صحة القول بأن للشحنة الكهربائية جوهراً فرداً ، وان رأي طمسون في ان شحنة الالكترون هي الجوهر الفرد للكهرباء مقبول

مضى طمسون في معالجة هذا الموضوع ، واستطاع أن يتخذ المعلومات التي كانت معروفة في عصره مطية الى الغاية التي يريدها . والقصة طويلة . ولكنا نردها بايجاز . فقد كان من المعلوم ان وجود دقائق من الغبار أو الدخان في الهواء يساعد على تكاثف بخار الماء المشبع أي يساعد على تكون الضباب ثم تبين ان وجود أيونات في الهواء يساعد هو ايضاً على هذا الامر . وكان قد تبين من تجارب اجراها « ويلسون » (C.T.R. Wilson) بعمل « كفندش » في كمبردج سنة ١٨٩٧ انهُ اذا تمدد الهواء المشبع ببخار الماء فجاءة ، تمدداً نسبيه ثابت الحرارة (Adiabatic) حتى صار حجمه ما بين ١٫٢٥ ، ١٫٣٠ من حجمه الاصلي ، تكاثف بخار الماء على الايونات السالبة دون الموجبة ، اما اذا تمدد حجمه بمقدار اعظم من ذلك ، تكاثف بخار الماء على النوعين السالب والموجب من الايونات

على هدى هذه المعلومات رسم طمسون بحوثه . فبدأ بحجم معلوم من الهواء النقي المجرد من الغبار والدخان وما إلى ذلك ، فوق سطح قليل من الماء في اناء خاص بحيث كان الهواء مشبعاً ببخار الماء . وأحدث في الهواء ايونات بفعل اشعة رنتجن . ثم جعله يتمدد بالقدر الذي يجعل التكاثف على الايونات السالبة ، وكانت هي في بعض البحوث المقصودة ، دون الموجبة . فحدث في الاناء ضباب بالتكاثف على الايونات السالبة . فراقب الضباب وهو يرسب الى قرار الاناء ، وقاس سرعة رسوبه رأساً . ومن معرفة هذه السرعة امكنهُ من قانون كان قد اثبتهُ « ستوكس » (Stokes) ببرهان رياضي ، ان يقدّر نصف قطر قطيرة الماء في ذلك الضباب ، واذن حساب حجم القطيرة ثم حساب كتلتها . ثم قدّر بطريقة حسابية كثيراً ما تردعليها امثلة في امتحانات الطبيعة ، كتلة بخار الماء المشبع الموجود في الهواء قبل التكاثف ثم كتلة بخار الماء المشبع الموجود فيه بعد

التكاثف ، واذن كتلة ما تكاثف منهُ ضباباً هي كتلة الضباب الحادث في التجربة . فاذا ما عرفت على هذه الكيفية كتلة الضباب الحادث وكتلة كل قطيرة منهُ . عرف عدد القطيرات . فاذا فرض ان كل قطيرة تتكاثف حول ايون واحد . كان هذا العدد هو عدد الايونات السالبة الموجودة في الهواء . فاذا قيست الشحنة الكهربائية التي تحملها جميع الايونات ، امكن معرفة شحنة كل ايون منها على حدته

كانت هذه الطريقة اول طريقة قيست بها شحنة ايون الغاز . وقد أصلحت الطريقة فيما بعد ، اصلحها «ويلسون» H. A. Wilson ، فسلط على الايونات مجالاً كهربائيًّا يجذبها الى اعلى بحيث تبقى قطيرات الضباب معلقة . ثم أصلحها من بعده «ملكان» (Millikan) استاذ الطبيعة في جامعة « شيكاغو» فاستبدل بقطيرات الضباب قطيرات من رذاذ من الزيت ، فلا تتبخر بسرعة ، وأحدث الايونات. فاذا ما اتصل بعض القطيرات ببعض الايونات أصبحت مشحونة ، فسلط عليها مجالاً يجذب المشحونة بشحنة سالبة الى اعلى أو يجذب المشحونة بشحنة موجبة الى اعلى ، وبحيث يتعادل الجذب الكهربائي الى اعلى بجذب الارض لها الى اسفل فتبقى القطيرات معلقة ، لا تهوى ولا تعلو ، واستطاع ان يرقب منها واحدة ، لطالما بمكرسكوب ، فتيسر له ان يقيس قطرها ويستخرج وزنها ، ثم قدّر بعد ذلك شحنتها ، دون ان يلتجيء الى مثل ما انطوت عليه طريقة طمسون الاولى من القوانين والحسابات المختلفة

وجاءت نتائج هذه البحوث معاضدة لرأي طمسون . فالشحنة الموجودة على ايونات الغاز سواء منها الموجب أو السالب توجد بمقدار له قيمة معينة محدودة بمعنى ان الايون قد تكون شحنته مساوية هذا المقدار، أو ضعفه ، أو أضعافه ، ولكنها ليست تساوي في حال من الاحوال ، نصفهُ مثلاً أو جزءاً منهُ . وذلك المقدار وجد مساوياً مقدار شحنة ايون الايدروجين ، فهو اذن الجوهر الفرد للكهرباء ، وهو اذن مقدار الشحنة السالبة للالكترون

الصفات الذاتية للالكترون

وبعض نواحيه الخاصة

وقد اتجه الفكر منذ أول نشأة النظرية الالكترونية الى تكييف معنى كتلة الالكترون تكييفاً خاصًّا . وكان « لطمسون » بحث رياضي ، بيّن فيه انهُ اذا فرضت كرة ، وكانت عليها شحنة وأريد تحريكها بسرعة معينة ، نظراً لان حركة الشحنة هي بمنزلة تيار كهربائي ، وللتيار الكهربائي مجال مغناطيسي يتطلب حدوثه مقداراً معيناً من الشغل ، فان الشغل اللازم لتحريك الكرة وهي مشحونة يساوي طاقة حركتها بصفة كونها كتلة متحركة بسرعة معينة والطاقة

اللازمة لاحداث المجال المغناطيسي المذكور . واذن الشغل اللازم لتحريك كرة معينة ذات كتلة معينة وهي مشحونة أكبر من الشغل اللازم لتحريك الكرة نفسها بالسرعة نفسها اذا كانت مجردة عن الشحنة . فكأن وجود الشحنة على الكرة يزيد من قصورها الذاتي ، أو هو يزيد من كتلتها . أي كأن للجسم المشحون كتلة تعرض عليه من جراء وجود الشحنة الكهربائية عليه . وأيضاً اذا فرضنا شحنة كهربائية معينة متكاثفة في حجم كري صغير ، وهو موجودة مجردة عن وجود كرة مادية تشغل ذلك الحجم ، فانهُ يلزم لتحريكها بسرعة معينة مقدار من الشغل يساوي الطاقة الموجودة في المجال المغناطيسي الذي يحدث من جراء حركتها ، ومن السهل حساب الكتلة التي يلزم لها المقدار نفسه من الطاقة لكي تتحرك بالسرعة نفسها . على هذا الاساس وبهذا المعنى يمكن ان نعد كتلة الالكترون ، كتلة عارضة من جراء حركة شحنة الالكترون بالسرعة التي يتحرك بها ، وليست كتلة مادية من جراء كونه دقيقة من المادة لها كتلة . وهذا هو المعنى المقصود من القول بأن ماهية كتلة الالكترون هي «مغناطيسية كهربائية» وينتظر على هذا الاعتبار ان تتغير كتلة الالكترون تبعاً لتغير سرعته ، فتزداد تبعاً لزيادة السرعة على وتيرة معينة تعين ببرهان رياضي . وقد دلت التجارب فعلاً على ذلك . بل يمكن أيضاً على أساس كون كتلة الالكترون « كتلة مغناطيسية كهربائية » تعيين نصف قطره . وبذلك يتم تعيين الصفات الذاتية للالكترون . فيكون الالكترون شيئاً لهُ شحنة سالبة معينة معلومة ولهُ كتلة معينة معلومة ولهُ حجم معلوم . وبحسب التقديرات الحديثة

شحنة الالكترون = ٤٫٧٧ × ١٠^-١٠ من الوحدات الاستاتيكية الكهربائية

أو = ١٫٥٩ × ١٠^-٢٠ من الوحدات المغناطيسية الكهربائية

وكتلته = ٩ × ١٠^-٢٨ من الجرام

ونصف قطره = ١٫٩ × ١٠^-١٣ من السنتمتر بالتقريب

في حين ان ذرة الايدروجين كتلتها تسعة وثلاثون وثمانمائة وألف مرة كتلة الالكترون ونصف قطرها حوالي خمسين الف مرة نصف قطر الالكترون

ولا يسمح المجال بالاسترسال في بيان ما يقال عن أن الكتلة بوجه عام وضعاً كتلة الالكترون مظهر من مظاهر الطاقة ، بالمعنى المفهوم من نظرية « الاضافة [1] » ولا في بيان ما يدور من الآراء الحديثة حول « هوية » الالكترون وكنه طبيعته . هل هو

(١) استعمل الكاتب مندوزن طويل لفظ «الاضافة» للدلالة على نظرية « اينشتين » في النسبية . وذلك احياء لاصطلاح استخدم قديماً في الفلسفة العربية في معنى قريب من الفكرة الاساسية التي بنى عليها اينشتين أول الامر نظريته

كتلة ذات شحنة ؟ ام هل هو مجموعة من الموجات ؟ ام هويته وكنهه ووجوده ، ثنائية ، يبدو في ظروف معينة كدقيقة ذات كتلة وذات شحنة ، ويبدو في ظروف اخرى كمجموعة من الموجات ؟

ولا يسمح المجال بالاسترسال في بيان ما تم منذ خمس سنوات من الكشف عن شقيق الالكترون . ذلك الذي كتلته ككتلة الالكترون ، وشحنته كشحنة الالكترون في المقدار ولكنها تخالفها في النوع . ذلك الذي يسمونه (Positron) ويصح ان نسميه « الموجبرون » ونضع للالكترون اسماً مرادفاً ونسبه «السالبرون» فيختص كل منهما باسم يدل عليه يميزه عن الآخر . ولا يسمح المجال ايضاً بالتوسع في بيان الرأي القائل بأن « الكم الجيمي » ذا الطاقة الشديدة والتردد المرتفع اذا صدم ذرة من ذرات المادة ، انتجر شقين ، احدهما «السالبرون» والآخر شقيقه « الموجبرون » . ولا يسمح المجال بتفصيل الكشف الذي اتيح خلال هذا العام عن «الكترون» ، ولا يزالون يسمونه الكتروناً ، كتلته ستون ومائة مرة او يزيد كتلة الالكترون الذي هو موضوعنا في هذا المقام . ولنكتف بذكر هذه الامور ولنشر اشارة موجزة الى الدور الذي يؤديه الالكترون في العالم الطبيعي . هو لا شك ركن من اركان الذرة او بالاحرى هو كذلك على حسب المعلومات الحالية . وهو مصدر النور والحرارة وجميع الاشعاع (الاثيري) اذا جاز لنا الآن ان نستعير من علم الطبيعة القديم احد اصطلاحاته ، او فلنقل هو مصدر جميع الموجات المغناطيسية الكهربائية سواء منها ما طالت موجته فكانت اذرعها عشرات الكيلومترات ، او ما قصرت فكان ذرعها جزءاً من عشرة او عشرة من السنتمتر الواحد

هذا الالكترون الخطير الشأن في عالم الوجود استطاع الانسان ان يتسيطر عليه ويسخره في مآربه . استطاع ان يستخدمه لاحداث موجات اللاسلكي ولاستقبالها وما الى ذلك [1] واستطاع ايضاً ان يستخدمه لضبط اللصوص ، ولحصر عدد الارتفة التي تجيز في الافران الكبيرة ، ولتوقيت الزمن سواء في حلبات السباق او في المراصد ، ولايقاف القطرات او تحويل مجراها بل ولقياس طمي النيل ولتقدير (عكارة) السوائل ومقادير الدخان والغبار المنتشر في اجواء المصانع والمعامل [2]

ولكن ما علاقة هذا الالكترون بموضوع العلاج الاشعاعي عامة وموضوع السرطان خاصة

(١) الاشارة هنا الى الصمام الايوني الحراري وتطبيقه في اللاسلكي وغيره

(٢) الاشارة هنا الى الخلية الضوئية (Photo-cell) وتطبيقها في الاغراض المذكورة ومنها ما نشر من تجارب للدكتور محمد محمود غالي في تقدير طمي النيل

بعض عبقريات الالكترون
بموضوع العلاج الاشعاعي

لندع جانباً القول بأن الالكترونات هي الوسيلة العملية للحصول على أشعة ونتجن التي يعالج بها السرطان . ولندع جانباً القول بأن الالكترونات ذات علاقة وثيقة بحدوث الاشعة الجيمية التي يعالج بها هي أيضاً هذا الداء ، وسواء لدينا أكان انطلاق الالكترونات من ذرات المادة هو الذي يسبب صدور الاشعة الجيمية أم كان صدور الاشعة الجيمية هو الذي يسبب انطلاق الالكترونات . فالمهم والنتيجة من الالفاظ التي تغيرت معانيها في الوقت الحاضر

ولنقل انه من الثابت المؤكد أن للالكترونات تأثيراً حيوياً في الانسجة وفي الخلايا . وان لم تكن الالكترونات قد تم استخدامها كطريقة من طرق العلاج الاشعاعي فان دراسة تأثيرها الحيوي اخذت تنتزعي في الوقت الحاضر انتباه فريق من العلماء لا سيما في اميركا. وما يدرينا لعلها أصلح فعلاً وامعن تأثيراً

ولربما تكون علاقة الالكترونات بالعلاج الاشعاعي اشد صلة في الواقع مما يبدو في الظاهر فان كان التأثير الطبيعي لاشعة ونتجن مثلاً وهو تأيين الغاز ، انما هو بفعل الالكترونات الثانوية التي تحدثها هذه الاشعة ، وبالمثل أن كان التأثير الطبيعي للاشعة المافوق البنفسجية كذلك، ألا يصح التساؤل هل التأثير العلاجي لهذه الاشعة هو ايضاً بفعل الالكترونات الثانوية التي تحدثها وهل معنى المثل القائل « ان الاسم لطوبه والفعل لامشير » ينطبق هنا ايضاً

وايضاً ان كان «الكم الجيمي» كما اشرنا الى ذلك من قبل، ينفجر عند تصادمه بذرة المادة شقين احدهما « النيترون » والثاني « الموجيرون » ألا يصح التساؤل هل لهذا الموجيرون ايضاً علاقة بالفعل العلاجي للاشعة الجيمية ، تلك خواطر اكتفي بذكرها مجردة عن التعليق عليها بالنفي او الاثبات

***

وعلاوة على كل هذا فقد تبين ان للالكترونات علاقة بموضوع العلاج الاشعاعي من ناحية اخرى . في سنة ١٩٣٢ كشف عما يسمونه (Neutron) ويصح ان نسميه « المتعادلون » وهو دقيقة كتلتها كذرة الايدروجين ولكنها في حالة تعادل كهربائي ليست لها شحنة كهربائية وقد وجد ان للنيوترونات خواص تميزها لتجعل لها شأناً خاصاً في موضوع العلاج الاشعاعي. فمثلاً من خواصها ان المواد الايدروجينية اى المركبات التي تحتوي على عنصر الايدروجين تمتصها بشدة دون غيرها . فهي من جراء ذلك تمتصها الانسجة الايدروجينية بشدة دون العظام وايضاً

فان الفعل التأييني لهذه النيوترونات أشد كثيراً من نظيره لاشعة رنتجن او الاشعة الجيبية وتجارب «لورنس» (Lawrance) وزملائه في اميركا في الوقت الحاضر تدل على ان فعلها الحيوي ايضاً اشد كثيراً من نظيره لاشعة رنتجن او الاشعة الجيبية بل وتدل علاوة على ذلك على ان فعلها الحيوي يميز[1]، وهو من هذه الناحية أشد تميزاً من نظيره لتلك الاشعة ولهذه النيوترونات خاصة اخرى هي انها تثير في المواد التي ليست لها بطبيعتها خاصة «الراديومية» ، هذه الخاصة وتكسبها هذه الخاصة بشدة

والمواد التي تثار فيها هذه الخاصة بالطرق الصناعية نسميها «مواد راديومية صناعية» ومن المرجح كثيراً انه سيكون لها في القريب العاجل شأن عظيم ربما يتجاوز حد التصور في وقتنا الحاضر لا في علاج السرطان وغيره من الامراض فحسب ، بل في نواحي شتى كثيرة منها ما يتعلق بالطب بوجه عام ، ومنها مايتعلق بالصناعة وغيرها

***

والحصول على هذه النيوترونات في الوقت الحاضر طرق مختلفة . والذي يشبنا امره هنا ان من هذه الطرق طريقة تسدَّد فيها اشعة رنتجن ذات طاقة عظيمة الى مادة «البريليوم» والوسيلة لتوليد هذه الاشعة الرنتجنية ذات الطاقة العظيمة ان تصوب الكترونات هي الاخرى ذات طاقة عظيمة تتجاوز مليوناً من الفولطات الى هدف من مادة «الطنجستن» ومما يستعان به للحصول على هذه الالكترونات جهاز خاص اخترع حديثاً ونسميه «المولد الدفعي»[2] يولد قوة دافعة كهربائية فجائية تبلغ مليوناً ومليونين أو يزيد من الفولطات . ويكفيني في هذا المقام ان اذكر ان من بين ما يُعدُّ به الآن الاستاذ «جوليو» (Joliot) ، معمله الحديث بباريس ، جهازاً من هذا القبيل من المنتظر ان تبلغ القوة الدافعة التي تتولد منهُ ثلاثة ملايين فولط او اكثر ، فيحدث الكترونات ذات طاقة عظيمة تقع على هدف من الطنجستن ، واذا أحيط حوله بمادة البريليوم انتشرت خلال هذه المادة الاشعة الرنتجنية التي تتولد فتحدث النيوترونات ، حيث تستخدم هذه النيوترونات بعد ذلك للاغراض المطلوبة ، كاثارة الراديوسية الصناعية في المواد التي يراد اختبارها او استعمالها ، وما الى ذلك

---

(١) نعني بتميز هنا انها تبيد أو تتلف الخلايا أو الانسجة المريضة وتنشط السليمة

(٢) هو Impulse Generator ويسمى احياناً Surge Generator وأول مانشر عن توليد النيوترونات بهذه الطريقة خطاب في مجلة Nature في العدد الصادر في ٨ دسمبر سنة ١٩٣٤ وكان مذيلا بسمة اسماء وكان من بينها اسم «عدنان والي» المدرس الآن بقسم الطبيعة بكلية الهندسة