المقتطف

الجزء الرابع من المجلد الحادي والتسعين

١ نوفمبر سنة ١٩٣٧ — ٢٧ شعبان سنة ١٣٥٦

سر التماسك الكوني

ما القوة التي تربط اجزاء الذرات؟

قوام الذرات

تحتوي قطرة الماء على مائتي مليون مليون مليون مليون جزيء من الماء. لم يتم أحد بإحصاء هذه الجزيئات ولكن عددها مستخرج من قسمة وزن القطرة على وزن الجزيء. ذلك أن قطرة الماء تزن ..... وحدة ذرية وجزيء الماء يزن ١٨ وحدة ذرية. ثم ان الجزيء لا يمكن رؤيته بأقوى المجاهر ولكن للعلماء أساليب طبيعية وكيماوية لمعرفته وقياسه فلندخل هذا العالم الخفي عن الانظار

أطلق تياراً كهربائياً في إناء يحتوي ماء وإذا جزيئات الماء قد أخذت تتحلل كل منها يتحلل إلى ثلاثة أجزاء جزء أكسجين وجزئين إيدروجين وهذه الاجزاء هي ذرة الاكسجين وذرتا الايدروجين التي يتركب منها جزيء الماء. ثم هناك وسائل أخرى تمكن العلماء من حل هذه الذرات إلى أجزاء أصغر منها هي البروتونات والالكترونات في ذرة الايدروجين عدد معين منها (بروتون واحدة والكترون واحد) وفي ذرة الاكسجين عدد معين منها هو ثمانية العدد الخاص بذرة الايدروجين

وعنصر الايدروجين يستوقفنا بوجه خاص فهو على ما يظهر أكثر العناصر في الكون وذرته أبسط

الذرات تركيباً . البروتون الثقيل الوزن (بالقياس الى الالكترون) في المركز ، والالكترون خارجه وحوله . البروتون موجب الكهربائية والالكترون سالبها

هذا البروتون في ذرة الايدروجين هو نواتها . ولو أتيح لنا أن نكبر هذه الذرة حتى تصبح نواتها في حدود النظر الانساني لكان المسلك الذي يسلكه الالكترون حول النواة بمسدعة ست أقدام . فذرة الايدروجين معظمها خواء والمسافة بين دقيقتها كالمسافة بين الارض والشمس على قياس نسبي

ان بروتون ذرة الايدروجين هو ابسط ما يعرف من نوى الذرات . فهو على ما نعلم دقيقة قائمة برأسها وفي وسع العلماء أن يجردوا نوى ذرات الايدروجين من الكتروناتها ثم يطلقونها بقوة عظيمة تسير بسرعة فائقة . ولكن لم يتمكن أحد حتى الآن ان يقول ان البروتون مركب ، ولذلك نسلم بأنهُ لا يتجزأ . ثم إنهُ ثقيل الوزن فاذا وضعتهُ في كفة ميزان ووضعت في الاخرى الكترونات لوجب ان تضع ١٨٣٥ الكتروناً لكي تتوازن الكفتان . فالبروتونات تمثل قدراً عظيماً جداً من الطاقة مركزاً في حيز صغير جداً

ويبدو للباحثين ان الكهربائية قوام هذه البروتونات ليست الا كهربائية موجبة كما ان الالكترون كهربائيته سالبة . ومن غريب ما يستوقف النظر ان الدقيقتين وإن تباينتا وزناً تباينا عظيماً فان شحنة الواحدة تعدل شحنة الاخرى . ولذلك نرى ان البروتون في الذرة لا يقابلهُ الا الكترون واحد مع ان وزن الاول يفوق وزن الثاني ١٨٣٥ ضعفاً . تستطيع ان تطلق على البروتون عشرات الالكترونات ولكن واحداً منها فقط يبقى ملازماً لهُ

الا ان لعنصر الايدروجين نظيراً وزن ذرته ضعفا وزن ذرة الايدروجين العادي . فاذا درسنا ذرة هذا الايدروجين الثقيل — وهو يدعى في اميركا دوتيريوم وفي انكلترا دبلوجين — وجدنا في الذرة الكتروناً واحداً كما في ذرة الايدروجين المألوف . فالفرق في وزن الذرتين يجب ان يكون في النواة . خذ نواة « الدوتيريوم » وحللها فاذا ترى ؟ هذه كتلة مركبة من بروتون واحد ونوترون واحد . اما البروتون فنعرفهُ . واما النوترون فدقيقة متعادلة الكهربائية أي لا هي موجبة الشحنة ولا هي سالبتها وكتلتها او وزنها اكثر قليلاً من وزن البروتون فهي لتعادل شحنتها الكهربائية لا تجتذب الالكترونات ولا تدفعها

ثم ان لعنصر الايدروجين نظيراً آخر وزن ذرته يفوق وزن ذرة الايدروجين العادي ثلاثة اضعاف (وهو يدعى تريتيريوم في أميركا وتربلوجين في انكلترا) ومع ذلك فليس لذرته الا الكترون واحد . ولكن ان حللت نواتها وجدتها مؤلفة من بروتون ونوترونين فشحنة الالكترون الكهربائية تعدل شحنة البروتون وكل من النوترونين تعادل الكهربائية في نفسه

ولكن اذا كان في نواة ذرة ما اكثر من بروتون واحد وجب ان يكون لتلك الذرة عدد من الالكترونات يوازي عدد البروتونات التي في نواتها . فلنأخذ الاكسجين مثالاً على ذلك وهو قسيم الايدروجين في تكوين الماء . فمعظم ذرات الاوكسجين تحتوي الذرة منها على ثمانية بروتونات وقليل منها يحتوي على تسعة بروتونات أو عشرة بروتونات . ولكن قلب ذرة الاوكسجين كيف شئت وحلها كيف تريد فانك لا تجد فيها الا ثمانية الكترونات

فيظهر كأن هذه القاعدة ، اي قاعدة مقابلة الكترون واحد لكل بروتون حرّ في النواة ، من القواعد الاساسية في تركيب المادة ، لا يطرأ عليها تغيُّر ولا شذوذ ، وهي تصحُّ على جميع ذرات العناصر من الايدروجين الى الاورانيوم

التجاذب والتدافع

ثم هناك قاعدة كهربائية اخرى ، لا محيص عنها . ذلك انهُ اذا اخذت جسماً مشحوناً شحنة كهربائية موجبة ، وآخر مشحوناً شحنة كهربائية سالبة ، جذب احدهما الآخر . اما اذا كانت كهربائية الجسمين موجبة فان احدهما يدفع الآخر . ويعود الناموس الذي يجري عليه هذا الجذب والدفع الى ما قبل الثورة الفرنسية والى عبقرية عالم فرنسي يدعى كولومب Charles Augustin Coulomb . ومن نتائج مباحثه الدقيقة ، انهُ كلما زاد الاقتراب بين جسمين زادت قوة الجذب او الدفع كربّع المسافة بينهما . وهذا القانون يعرف في علم الكهربائية بقانون كولومب

أتذكر الفائل الذي يضربناه لذرة الايدروجين مكبرةً ؟ في مركزها النواة الصغيرة (وهي بروتون واحد) وعلى ست اقدام منها الالكترون ؟ لنفرض اننا قسنا القوة الكهربائية التي تجذب احدهما الى الآخر على تلك المسافة . ثم لنفرض اننا قربنا الالكترون حتى اصبح على بعد ثلاث اقدام من البروتون ، اي نصف المسافة السابقة . فاذا تصبح قوة التجاذب بينهما ؟ اتصبح ضعفي ما كانت ؟ كلاَّ بل اربعة اضعافها . واذا قربت الالكترون حتى يصير على تسعين من البروتون اي ثلث المسافة الاولى ، زادت قوة التجاذب بينهما تسعة اضعاف

وهذا يفسّر لنا لماذا تكون سرعة الالكترونات القريبة من النواة اعظم من سرعة الالكترونات البعيدة عنها

ولكنّ هناك شيئاً غريباً . فالصلة بين البروتون الموجب والالكترون السالب تخضع لقانون كولومب . وهذا يصدق على ذرات العناصر المعقدة صدقهُ على ذرة الايدروجين البسيطة . فالكترونات ذرة الاوكسجين الثمانية ، تتحرك في مسارات حول النواة بسرعة توافق بعدها عن النواة المؤلفة من ثمانية بروتونات

ثمانية بروتونات ! ما اعجب هذا ! كيف يمكن ان تجتمع ثماني وحدات موجبة الشحنة الكهربائية في حيز ضيق صغير كحيز النواة من دون ان تتدافع ؟

هذه هي المشكلة . نعم ان نواة ذرة الاكسجين صغيرة الحجم ، لا تزيد زيادة كبيرة عن حجم نواة الايدروجين . ولكن الاعتراض ليس على وجود ثماني وحدات في حيز صغير ، بل على وجودها متلاصقة او تكاد وهي بحسب قانون كولومب يجب ان تتدافع لتشابه شحنتها الكهربائية . ان جميع الاقمار الكهربائية خاضعة لهذه القاعدة ، وقد حسب العالم الانكليزي الكبير ، فردريك صدي ، انهُ اذا أخذنا غراماً من البروتونات ووضعناه عند احد قطبي الارض ووضعنا غراماً آخر عند القطب الآخر ، كانت قوة الدفع بين الغرامين ، على هذه المسافة (نحو ٨٠٠٠ ميل) تعدل ضغط ٢٦ طنًّا . فاذا كانت هذه قوة الدفع العظيمة ، بين غرامين من البروتونات على بعد ٨٠٠٠ ميل ، وفقاً لقاعدة كولومب ، فانها يجب ان تكون أعظم جدًّا بين بروتونين متجاذبين حتى يكادا يكونان متلاصقين في حيز نواة ذرّية ، حيث المسافات تحسب بأعشار من مليون مليون جزء من البوصة

فبحسب قانون كولومب ، يجب ان يكون في عداد المستحيلات ، اجتماع اكثر من بروتون واحد ، في نواة أية ذرة ، واذا اتفق واصطدم بروتون ببروتون ، فقوة الدفع بينهما كافية ، لدفع أحدهما عن الآخر حالاً وبسرعة عظيمة

ولكننا ماذا نرى ؟ نرى ذرة الهليوم وفي نواتها بروتونين . فكيف لا يتدافعان ؟ وذرة الليثيوم وفي نواتها ثلاثة بروتونات . وذرة البريليوم وفي نواتها أربعة بروتونات . وذرة البورون وفي نواتها خمسة بروتونات . وذرة الكربون وفي نواتها ستة بروتونات . وذرة الاورانيوم وهي أعظم ذرات العناصر تعقيداً وفي نواتها اثنان وتسعون بروتوناً . والعناصر الاخرى بين الكربون والاورانيوم على هذا المنوال . فكيف لا تتدافع البروتونات التي في نوى هذه الذرات ؟

نعم ان في نوى هذه الذرات الدقائق المعروفة بالنوترونات . ولكنها كما قدّمنا متعادلة الكهربائية لا تجذب ولا تدفع . نعم ان ذرة الاورانيوم غير مستقرة التركيب ، وهي تطلق آناً بعد آخر ، مجموعة من بروتوناتها ونوتروناتها ، فتصبح ذرة راديوم . وذرة الراديوم تتحول على هذا المنوال الى ذرة بولونيوم ، وذرة البولونيوم الى رصاص

ولكن ذرة الرصاص ذرة مستقرة . فكيف يمكن ان تكون مستقرة ؟ ففي نواتها اثنان وثمانون بروتوناً ، وهذه البروتونات يجب ان تتدافع بقوة ، لتشابه شحنتها الكهربائية ، فلماذا لا تفعل ذلك ؟

هذه هي المفارقة ، التي مازالت مستعصية على الحل منذ عشرين سنة . فقانون كولومب

الذي ينطبق على جو الذرة، وعلى علاقة الالكترونات بالبروتونات ، لا ينطبق على أجزاء النواة ؟ فأية قوة . وبأي حكم ، أهملت الطبيعة سيطرتها في ذلك الحيز الصغير ؟

الى الجواب عن هذا السؤال اتجهت سلسلة من التجارب في وشنطن سنة ١٩٣٦ فأسفرت عن وجود قوة ، أعظم قدراً من قوة الدفع التي ينطوي عليها قانون كولومب . وأعظم جذباً ، من قوة الجاذبية التي استخرج نيوتن ناموسها . فكان القوة التي بدت فيها ، لا تقوم لحقيقة طبيعية قائمة من دونها ، لا معدن ولا كربون ولا خلايا حية ولا انسان ولا أرض ولا شمس ولا سديم وبكلمة ، لولاها لما امكن ان نجد في هذا الكون شيئاً أكثر تعقيداً في بنائه من الايدروجين، وذلك لان في ذرة الايدروجين للألوف بروتوناً واحداً

هذه هي الصورة التي يخرج بها العلم من تجارب وشنطن التي اسفرت ، عن رابطة خفية تربط الكون ، وتماسك بين اجزائه من الذرات الى السدم

اكتشاف قوة عظيمة

ان طائفة غير يسيرة من المكتشفات العظيمة تمت اتفاقاً . ولكن اكتشاف هذه « القوة » التي ينطوي فيها سر التماسك الكوني ، جاء نتيجة مباشرة لتجارب دامت عشر سنوات متوالية ، وكان غرضها من البدء حل هذا اللغز العظيم

ففي سنة ١٩٠٤ انشأ معهد كارنيجي بوشنطن دائرة للبحث خاصة بالمغناطيسية الارضية . فأدرك علماء هذه الدائرة ، ان بحثهم لابد ان يقضي بهم عاجلاً او آجلاً الى علم الطبيعة الذرية. ولكن احداً لم يتصور في ذلك العهد ، ان الذرات قوامها نواة صلدة ثقيلة وحولها الكترونات دوّارة . ومع ذلك فانهم لم يتكتموا في ان اسرار مغناطيسية الارض لايجب ان تطلب في الارض نفسها وفي جوها فقط ، بل ايضاً في الجزيئات والذرات . اي ان العلم يجب ان يسبر غور المادة نفسها طلباً لاسرار المغناطيسية

وكان الجانب الاول من البحث مقتصراً على تبين الظاهرات المغناطيسية الكبيرة على سطوح القارات والمحيطات ووضع خرائط تبين الفصل المغناطيسي بها . ودام هذا البحث اثنتين وعشرين سنة . فلما كانت سنة ١٩٢٦ ، وضع برنامج للبحث في اجزاء الذرة والقوى السائدة هناك

بعد ما شرع علماء وشنطن في وضع هذا البرنامج لبحثهم ، كان علماء الطبيعة في اوربا وكندا والولايات المتحدة الاميركية ، قد كشفوا عن حقائق كثيرة تتعلق باجزاء الذرات . وكان مما كشفوه ، هذه المفارقة الذرية التي اطلقنا في وصفها ، وهي تجاذب البروتونات وتلاصقها في النواة ، مع ان قاعدة كولومب تقضي بتدافعها وتعرقها . ولما كان علماء وشنطن

متجهين خاصة الى فهم اسرار المغناطيسية، وجدوا هذه المفارقة ، في صميم موضوعهم، وكذلك جعلوها جزءاً اساسيًّا من برنامجهم وأنشأوا بناية خاصة لبحث هذا الموضوع وضعوا لهُ آلات خاصة

وقد اشترك في هذا البحث فريق من علماء الطبيعة المجرِّبين على رأسهم المستر ميرل توف Merle A. Tuve وفريق من علماء الطبيعة الرياضيين وعلى رأسهم المستر غريغوري برايت Breit

بنيت الخطة التي جرت الباحث بمقتضاها على الاعتبارات التالية . لقد ثبت بالمشاهدة أولاً — ان البروتونات تجتمع في حيز ضيق جدًّا هو النواة . ثانياً — ان البروتونات خارج النواة تتدافع . وإذن فيجب ان يكون هناك مسافة محدودة تتحوّل عندها وداخلها القوة التي تدفع البروتونات بعضها عن بعض ، الى قوة تجذبها بعضها الى بعض

واذن فالغرض الاول من هذه التجارب هو معرفة هذه المسافة

أما الاسلوب الذي استعمل في تحقيق هذه المسافة فهو الاسلوب المستعمل في معظم المباحث الذرية sub-atomic اي اسلوب أطلاق القذائف الدقيقة على الذرات ومراقبة نتائج الاصطدام بين الذرات والقذائف

لنفرض ان عندنا إناء ملآناً بغاز الايدروجين الثقيل . وان كثافة الغاز في الاناء ليست وعرفت . ثم يسدَّد الى هذا الغاز تيار من البروتونات . فما يحدث ؟ انت تعلم أن نواة ذرة الايدروجين هي بروتون واحد . فكأنك باطلاقك تياراً من البروتونات على غاز الايدروجين تطلق بروتونات على بروتونات . بعض قذائفك يقترب من بروتونات الغاز، فتعمل قوة التدافع فعلها ، فترتدُّ القذائف او تنحرف وتتفرق على كل حال . ولكنك تجد هذا التفرُّق عند التدقيق، منتظماً . فكما انك تستطيع أن تعرف الخط الذي تسير فيه كرة من كرات «البلياردو» من معرفة الزاوية التي تصيب بها الكرةُ المتحركة الكرةَ الساكنة ، كذلك يستطيع العلماء أن يعرفوا خطوط انحراف قذائف البروتونات قبل اصطدامها بالبروتونات الغازية . وقد عنى الباحث الانكليزي موط Mott بدراسة تفرق البروتونات دراسة رياضية فحسب عدد البروتونات التي تنحرف من كل زاوية من زوايا الاصطدام وفقاً لقانون كولومب

فأخذ الدكتور توف وزملاؤه هذه الحقائق، وضعوا مثالاً سويًّا لتصرف قذائف البروتونات وفقاً لقانون كولومب . فكل انحراف عن هذا المثال السويّ دليل على تخلُّف القانون

ومن هنا قرر علماء معهد كارنيجي بوشنطن أن يطلقوا قذائف البروتونات على غاز الايدروجين بقوة معينة . ويلاحظوا مثال تفرقها . ثم يطلقونها بقوة أعظم ، فأعظم . وكلما زادت القوة زاد قرب القذائف المطلقة من بروتونات الغاز وزاد زخمها قدرةً على مقاومة قوة التدافع التي يخصُّ عليها قانون كولومب

كيف كشفت

فشرعوا أولاً في اطلاق قذائفهم بقوة ٦٠٠ الف فولط اي ان سرعة القذائف بلغت ٦٧٢٠ ميلاً في الثانية . ولاحظوا بأجهزة خاصة مثال تفرقها ، فاذا هو متفق والحساب النظري الذي استخرجهُ موط . وهذا يعني ان قانون كولومب فعّال لم يعتوره نقص او تخلف . ثم زادوا القوة الى ٧٧٠٠ الف فولط وسرعة المقذوفات الى ٧٢٠٠ ميل في الثانية واذا مثال التفرق لا يزال سويًّا وهو دليل على ان قانون كولومب لم يجر بعد . ثم زادوا القوة الى ٨٠٠ الف فولط والسرعة الى ٧٧٠٠ ميل في الثانية واذا في مثال تفرق البروتونات المقذوفة طلائع تدل على ان تغييراً بدأ يحدث عند اقتراب بروتون من بروتون ، فلما رفعت القوة القاذفة للبروتونات الى ٩٠٠ الف فولط وسرعة المقذوفات الى ٨٢٠٠ ميل في الثانية ، دلتهم أجهزتهم على وقوع شيء جديد

فبدلاً من تفرق البروتونات المقذوفة عند اقترابها من بروتونات الغاز ، بدا لهم ما يدل على ان القذائف تخطت بقوة اندفاعها وزخمها ، المسافة التي يتحول عندها التدافع الى تجاذب فكأنها تغلبت على حصون القلعة ودخلتها

وقد جُربت مئات من التجارب من هذا القبيل ، وكانت النتيجة واحدة فيها جميعها — اي ان هؤلاء الباحثين تغلبوا على قوة التدافع المفرغة في قانون كولومب

هنا انتهى الجانب التجريبي من البحث ، وجمعت الحقائق التي شوهدت ودوّنت ، وارسلت الى الدكتور غريغوري بريت ، وهو عالم طبيعي رياضي ، وكان قبلاً زميلاً للباحثين ثم قبل ان يتقلد منصب استاذ في جامعة وسكنصن . عرضت عليه هذه الحقائق لكي يحللها ويستخرج منها نتائجها ، وكان عند ما وصلتهُ يحضر دروساً في معهد الدروس العالية بجامعة برلين ، فاستعان باحثين آخرين ، اشتهرا بالناحية الرياضية العالية من البحوث الطبيعية ، فخرجوا من بحثهم وتحليلهم الرياضي الى النتائج الآتية :

١ — أن المسافة التي يبطل عندها فعل قانون كولومب (أي المسافة التي يتحول عندها فعل التدافع بين البروتونات الى تجاذب) هي جزء من ١٢ مليون مليون جزء من البوصة $\left(\frac{1}{12{,}000{,}000{,}000{,}000}\right)$

٢ — أن التغير الذي يقع في علاقة بروتونين عند ما تبلغ المسافة بينهما هذا الحدّ يمكن تفسيره بفرض قوة جاذبة تسيطر على الدقيقتين عندما تكون المسافة بينهما $\frac{1}{12{,}000{,}000{,}000{,}000}$ من البوصة أو أقل

٣ — ان مقدار هذه القوة الجاذبة التي تفعل على هذه المسافة او اقل منها بين بروتونين ، اعظم من قوة الجذب النيوتوني بين كتلتي البروتونين بنحو 10^{36} مرة

٤ — ليست البروتونات وحدها خاصة لهذه القوة بل والنترونات كذلك فيما بين بروتون ونترون او بين نترون ونترون آخر . فكأن التجاذب بين النترونين على هذه المسافة او اقل منها ، لاصلة لهُ الاَّ بكتلتها دون شحنتها الكهربائية وهي متعادلة كما تعلم

وللدلالة على مبلغ هذه القوة نضرب مثلاً . ان البروتون صغير جداً فكتلتهُ لا تزيد على $\frac{1}{6000000000000000000000000}$ من الغرام . والغرام جزء من ٤٥٤ جزءاً من الرطل (Pound) ومع ذلك فان بروتونين موجودين على هذه المسافة يجذب احدهما الآخر جذباً يساوي ضغطاً يقابل من عشرة أرطال الى خمسين رطلاً . ولو بلغت قوة الجذب النيوتونية هذا المبلغ لكان وزن ريشة على سطح الارض بلايين من الاطنان

الطاقة الزربرية

اذا اصطدمت بروتونات أو نترونات حرّة بنواة ذرّة بقوة كافية تمكنها من تخطي الحد الذي تتحول عنده قوة التدافع الى قوة التجاذب ، اندمج البروتون او النترون الحرّ في النواة التي يصطدم بها على هذا المنوال . ولكنهُ في خلال فعل الاندماج ، يتحول جانب يسير من كتلته الى طاقة . وكذلك تكون النواة أخف قليلاً من مجموع اوزان اجزائها . لان كل جزء منها يكون اخف قليلاً بعد اندماجه منهُ قبلهُ . فاذا اوزن بروتون على حدة بلغ وزنهُ ١٫٠٠٨١ ، واذا وزن نترون على حدة بلغ وزنه ١٫٠٠٩١ ومجموع وزنهما ٢٫٠١٧٢ ولكنهما اذا اندمجا فتألفت من اندماجهما نواة ذرة من الايدروجين الثقيل كان وزن النواة ٢٫٠١٤٧ وهو أقل من مجموع وزني الوحدتين بـ ٠٫٠٠٢٥ . وهذا الوزن يمثل قدر الكتلة الذي تحول طاقة في عمل الاندماج . ويؤخذ من الحساب الطبيعي الرياضي أنهُ اذا تحوّل هذا القدر من الكتلة الى طاقة كان مقدار الطاقة ٢٫٠٠٠٠٠٠٠ فولط . ويؤيد هذا ان فصل النترون من البروتون في نواة الايدروجين الثقيل يقتضي قذيفة تسلطة بطاقة ٢٫٠٠٠٠٠٠٠ فولط

هنا سرّ ما يعرف بالطاقة الذرية التي يرنو العلماء الى السيطرة عليها ، وهم يزعمون انهم اذا سيطروا عليها ، تمكنوا من ان يستخرجوا من ماء يملأ كوبة عادية طاقة تكفي لدفع سفينة كبيرة من سواحل أوربا الى سواحل اميركا

الاَّ ان إطلاق هذه الطاقة من نوى الذرات واستعمالها ، لايزال في رأي العلماء — على ما جاء في مقال نشر في هاربرز للكاتب العلمي الاميركي جورج غراي وعليهِ اعتمدنا في كتابة هذا المقال — هدفاً بعيداً جداً