تحويل المادة الى طاقة والطاقة الى مادة في المختبر وفي الكون

بقلم الاب فرنسوا دوبره لانور اليسوعي

من جملة القوانين التي ارتكز عليها علم الكيمياء القديمة او الكلاسيكية طوال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر قانون يدعى قانون لافوازيي وبالرغم من ان لافوازيي لم يصرح به مرة واحدة ، الا ان تعليلاته وتدليلاته كانت كلها مبنية على افتراض صحة هذا القانون ، فكان من الصواب ان ينسب اليه . ومؤداه ان كتلة جرم ما ، او كتلة مجموعة ما من الاجرام باقية هي هي لا تزيد ولا تنقص مهما طرأ على الجرم او المجموعة من تحويلات فيزيائية وكيمائية .

وجاءت نظرية اينشتين في النسبية مؤيدة بتجارب عديدة فحورت النظرية القديمة القائلة بثبات الكتلة . لانه بناء على ما كتب اينشتين سنة ١٩٣٨ يُستنتج من النظرية النسبية الخاصة اي الفرعية ان بين الكتلة والطاقة ارتباطاً ونيقاً بحيث تكون الكتلة طاقة والطاقة ذات كتلة . فالنظرية النسبية توفق بين قانوني ثبات الكتلة والطاقة فتجمعهما في قانون واحد شامل لهما معاً ، هو قانون ثبات المجموع اعني الكتلة والطاقة. وضبط اينشتين بنفسه نسبة المبادلة بين الكتلة والطاقة على هذه الصورة :

ط (طاقة) = ك (كتلة) X ع^{٢} (مربع سرعة النور)

غير ان لافوازيي كان هو الآخر على صواب وكان قانونه صحيحاً لا غبار عليه انما في حدود المراقبة المقصورة على الظواهر المحسوسة وفي حدود ما يمكن الميزان ان يعطي من الدقة . لكن علم الفيزياء الحديثة اظهر ان هذا القانون ليس الا فرعاً خاصاً لقانون اشمل واعم .

فهو لا يصدق على عالم الذرة حيث لا الكتلة ثابتة بمفردها ولا الطاقة بمفردها بل الثبات يلازم المجموع من الكتلة والطاقة ليس غير . وتتوفر لدينا التجارب العملية لاثبات هذا الرأي منها تجربتان بليغتان بنوع خاص لانهما تصدمان اعتقاداتنا السائدة الا وهما : إحداث كتلة من صميم طاقة وملاشاة كتلة لفائدة طاقة. ويعتمد في كلتا الحالين معالجة اصغر كتلة كتلة الكهيرب او الالكترون

ولننظر في الحالة الاولى اي احداث كتلة من اصل طاقة : من الاشعة المنبعثة عن العناصر المشعة اشعة غما ɣ ، فضلاً عن الاشعة الجسيمية الفا وبيتا ⁻ و ⁺ . واشعة غما طبيعتها كهربائية — مغناطيسية اي انها مجانسة لاشعة النور وللاشعة السينية (إكس) . فاذا اخترق شعاع من اشعة غما ، وهو ذو موجة قصيرة جدًا اي ذو ذبذبة عالية جدًا ، حاجزًا من الرصاص مثلاً ، تولد عنه ، في بعض الحالات زوجا كهيربات ، كهيرب سالب وكهيرب موجب

ولقد دلل على هذه الحقيقة تجريبياً السيد والسيدة جوليو — كوري في سنة ١٩٣٤ . فالاشعة غما المنبثقة عن جرم مُشِع ، هو الراديوثوريوم ، تحدث عند اختراقها حاجزًا رقيقاً من الرصاص ازواجاً من الكهيربات . وتجري التجربة في « غرفة التمدد » او « غرفة ولسون » . وهي عبارة عن اناء اسطواني من زجاج ركبت على قعره غشاوة رقيقة من المطاط ، وفي داخله هواء وبضع نقط من الماء. فاذا جُذبت غشاوة المطاط جذبة سريعة برد الهواء المحصور في داخل الاناء وتكثف بخار الماء نقطاً دقيقة على مر الكهيربات . فاذا التقطت صورة فوتوغرافية للغرفة في تلك اللحظة ظهرت عليها المسارات التي اتبعتها الكهيربات . وبما ان الغرفة موضوعة بكاملها بين قطبي مغناطيس كهربائي ، فالمجال المغناطيسي يحوّل مسار الكهيربات المستقيم الخط الى اقواس دائرة يمكننا قياس نصف قطرها من معرفة الطاقة الحراكية لكل واحد من الكهيربات

والطاقة الضرورية لاحداث زوجي كهيربات والتي تتلاشى حتماً عند ظهور الكهيربين ، يجب ان تعادل ، وفقاً للمعادلة التي وضعها اينشتين ، نحو مليون كهيرب — ڤولط (ويلخص هكذا : ١ م ك ف² = 1 Mev.) اي ما يكاد يعادل

اقصى طاقة تشحن كهربائياً ما داخلَ انبوبة اشعة x عندما يُسلَّط على الانبوبة جهد كهربائي يبلغ المليون فولط والتثبت من ذلك ميسور اذ ان طاقة الشعاع « غما » معلومة والخناءة المسارَين في المجال المغناطيسي تمكننا من قياس ما تبقى من الطاقة في شكل طاقة حراكية ، بعد تحول جزء منها الى مادة . فنجد ما يلي :

طاقة الشعاع = ١ م ك ف + طاقة الكهيربين الحراكية

ولقد اجريت تجربة معاكسة يقصد منها ملاشاة الكهيرب قام بها في آن واحد منفردين السيد والسيدة جوليو كوري في مختبر معهد الراديوم من جهة ، والسيد تيبو في مختبر الدوق دي بروى من جهة ثانية

من خصائص الكهيرب الموجب الذي ذكرنا انه لا يعيش الا جزءاً قصيراً جداً من الثانية . وذلك لان المادة خصبة بالكهيربات السالبة فسرعان ما يلتقي الكهيرب الموجب واحداً منها ، فيتلاشى اذ ذاك مجموع الكهيربين الموجب والسالب ويظهر شعاعان غما ؛ تعادل طاقة كل منهما ٠٫٥ م ك ف تقريباً . ولقد تمّ لنا تسجيل هذا الاشعاع اما بواسطة عدادات اما بواسطة التصوير الفوتوغرافي فجاء مطابقاً من حيث قوة اختراقه وزخمه لما كان متوقعاً نظرياً .

فهاتان اذاً تجربتان مثبتتان عملياً احداهما إحداث للمادة والثانية ملاشاة لها . والمادة في هذه الحالة هي الكهيرب . وليس هنا في الواقع احداث او ملاشاة بالمعنى الفلسفي بل مجرد تحويل من طاقة الى مادة وبالعكس . ولا نظن ان هذا التحويل ضرب من الشذوذ عن القاعدة بل هو القاعدة في تكون الذرات لان مسألة ثبات نوى الذرات وتحطيمها مرهونة بامكان هذا التحول المتبادل بين المادة والطاقة .

فالنواة في الذرة هي جزؤها المركزي الموجب كهربائياً والذي تدور حوله الكهيربات . وبينت لنا احدث الابحاث ان النواة كروية الشكل على وجه الاجمال ويتناسب حجمها تناسباً طردياً مع (ا) ، باعتبار ان ا هي عدد النوكليونات او الذريرات . وهذه النوكليونات تتألف من بروتونات عددها

(ب) ومن نوترونات عددها (ا — ب) ومجموعها يكوّن البناء النووي ، وهي تتراص في داخل النواة لزازًا . (تشبه النواة نقطة من سائل بالغ الكثافة : $١٠^{١٤}$) . لان البروتونات ذات الشحنة الموجبة اذا كانت تتنافر عندما تُراد على التقارب بعضها من بعض لما تكون المسافة الفاصلة بينها نحو $١٠^{-١٣}$ من السنتمتر ، فانها عندما تضيق المسافة الى $١٠^{-١٣}$ من السنتمتر تكتسب قوة تجاذب اعظم قدرًا من قوة التنافر فتنقاد هذه لتلك دون ان تتلاشى. ويحصل في امثال هذه المسافات الضئيلة ان يجتذب البروتون النوترون وتجتذب النوترونات بعضها بعضاً .

ويحدث بازاء هذه الطاقة الارتباطية « نقص كتلة » في مجموع البناء النووي . فيتحتم ارجاع هذه الطاقة اذا اريد تفكيك مقومات النواة . ونسبة « نقص الكتلة » الى عدد الذريرات يكوّن ما يسمى « كسر التحزم » . وكلما ازداد مقدار هذا الكسر ازدادت النواة ثباتاً ومتانة اذ تحطيمها يستهلك مزيدًا من الطاقة .

ويدل المنحنى البياني ان ثبات النواة يبلغ نهاية قصوى حوالي ا = ٥٠ (اي عند مرتبة الكروم) . وكل ازدياد في الكتلة يوافق نقصاً في الثبات ، حتى اذا بلغت الكتلة حدًا ما اصبحت كل العناصر مشعة ، اي اصبحت غير ثابتة بالطبع .

هذا وازدياد مجموع الكتلة يستدعي نسبياً ازدياد التنافر الالكتروستاتيكي (الكهربية الساكنة) ، مما يشكل عاملًا جديدًا لعدم الثبات. فتبدو اذ ذاك ظاهرة جديدة = ظاهرة الانفلاق عندما يزيد حاصل $\frac{ب^٢}{ا}$ عن ٤٥ ($\frac{ب^٢}{ا} > ٤٥$) فحسب هذه النقطة الكروية المتضخمة ان يطرأ عليها عندئذ ادنى اضطراب حتى تنفلق الى شطرين .

* * *

دعنا ننتقل من عالم الذرة الى عالم النجوم

ما فتئ الانسان منذ القدم يشغل باله امر الكوكب الذي يمده بنوره وحرارته في النهار ، ونعني به الشمس ، كما ان النجوم قد حيره دأبها على الاشعاع دونما وهن او كلال .

سبق للقدماء ان اعتقدوا في شأن الشمس انها جرم متوقد آخذ في الخمود . ولقد اثبتت المراقبة والحسابات الرياضية ان الشمس ، البالغة حرارة طبقتها الخارجية ٦٠٠٠ درجة وحرارة مركزها ٢٠ مليون درجة ، تشع سنوياً ما يوازي ٢٫٨٥ × ١٠^٢٢ سعراً صغيراً . ولما كانت كتلتها ٢ × ١٠^٢٣ ، بينما حرارتها النوعية تقل حتماً عن الوحدة ، فمن المحتم ان ينتج عن الاشعاع هبوط في الحرارة يعادل ١٫٥ درجة في السنة . على انا نجد ان تغيراً لم يطرأ على المزروعات على الارض منذ عهد المملكة المصرية القديمة مثلاً ؛ وكان محتماً ايضاً على الشمس وفقاً لنظرية الخمود ان تنخفض حرارتها خلال خمسة الاف سنة ٥٠٠٠ × ١٫٥° = ٧٥٠٠ درجة . وهذا ضرب من المحال

ثم قالوا بان هناك احتراقاً . لكنه لو قدّر ان الشمس مكونة من الفحم وتوفرت تغذيتها بالاوكسجين ، لما دامت ٦٠٠٠ سنة . ولقد بيّن اللورد كلفن (Kelvin) حسابياً ان شمساً من قطن لهّاب اي مشبع بمادة قابلة للالتهاب السريع تفنى في مدى ٨٠٠٠ سنة .

في سنة ١٨٤٨ تقدم ماير بافتراض قوامه ان رُجُماً تقع على الشمس كما تقع على الارض انما بكثرة اوفر فتتحول طاقة الرجم الحراكية الى حرارة . لكن كتلة الشمس تكون في هذه الحالة على تزايد متواصل فينجم عن ازدياد الكتلة قِصَر في السنة معلوم القدر نستطيع احتسابه على اضبط وجه . على انا لا نتحقق شيئاً من هذا .

وارتأى هلمهولتز Helmholtz في سنة ١٨٥٤ ان استمرار الاشعاع الشمسي عائد الى تكاثف في الشمس يُحدث في داخلها احتكاكاً تنشأ عنه الحرارة .

انا تبين الحسابات اذ ذاك ان حياة الشمس لن تتجاوز في المستقبل ١٥ مليون سنة . وهذه مدة تبدو قصيرة جدًا .

وما اصبح ممكناً حل هذه المعضلة الا يوم عُرفت التحويلات الذرية وما يصدر عنها من حرارة عظيمة جدًا . والنظرية المسلم بها اليوم هي نظرية دَور بيته cycle de Bethe او دَور الكربون cycle du carbone الذي يطبّق على الشمس ما اعطته تجارب المختبَر من تفاعلات بين النوكليونات .

فالذرة تحتوي ، كما سبق لنا ان ذكرنا ، على نواة مركزية ذات شحنة كهربائية موجبة تحدق بها غالباً كهيربات سالبة تتحرك في افلاك دائرة على النواة . اما في الشمس فان الذرات في حركة دائبة سريعة للغاية بسبب حرارة الشمس العالية (٢٠ مليون درجة في داخل كتلتها) ، وان التصادمات المتعاقبة على الذرات قد تؤينها اي قد تسلبها بعض كهيرباتها .

وتبعاً لهذه الحركة تستطيع البروتونات الوفيرة في الشمس ان تحطم نويات الكربون التي تلتقيها . ثم تتحطم النواة الجديدة بدورها وهكذا داوليك . فيحصل اذ ذاك سلسلة من التفاعلات يكون للهيدروجين فيها نصيب ابدًا . ونجد في النهاية نواة الكربون وقد اصابها تحويل اول ونجد معها ذرة هليوم ، كأن كل ما في الامر ان اربع نويات هيدروجين تكثفت في نواة هليوم واحدة . ويقابل هذا التكثف « نقص في الكتلة» نسترده في شكل حرارة أطلق عقالها . وعلى هذا المنوال يخف جرم الشمس اربعة ملايين طن في الثانية .

وينبغي ألّا تقلقنا ضخامة هذا الرقم لان تناقص الشمس على هذه الوتيرة جزءا من الف يستغرق ٣٠ مليارًا من السنين .

فتحول المادة الى طاقة في العالم ليس اذًا الا ظاهرة جد مطروقة ومبذولة كل يوم .

ولنلاحظ كذلك التحول المعكوس اي تحول الطاقة الى مادة . يحدث هذا خاصة في الاشعة الكونية . كان قد لوحظ لنوات خلت ان الالكتروسكوب او الكاشف الكهربائي ذا الورقات الذهب اذا شُحن بالكهرباء فقَدَ شحنته

عفوًا في الهواء وفي شيء من السرعة ، مهما احتيط في عزله . ذلك ان اشعاعًا كان لا يزال مجهول الطبيعة آنذاك ، يجعل الهواء موصلًا للكهرباء .

وسرعان ما فطن البحّاث الى ان هذا التأين الغير التام كان يزيد مع العلو في الجو وينقص مع الهبوط تحت سطح البحر . فاستنتجوا ان الارض ليست هي مصدر هذه الاشعة . ولذلك دعوها الاشعة الكونية .

لا يتعدى درس الاشعاع الكوني درساً جديًا الثلاثين سنة الاخيرة . وتقدم البحث في هذا الباب تقدماً ملحوظًا منذ نهاية الحرب ، لما استنبطه العلميون من طرق فنية ووسائل جديدة كالمجونات الفوتوغرافية والمناطيد والصواريخ البالغة الى طبقات الجو العليا ، او الجو الطباقي

ويسود اليوم الاعتقاد ان الاشعة الاولية ، وهي التي تسير في الفضاء بين السيارات ، مؤلفة من بروتونات ونوى ذرات اشد ثقلًا . لكن هذه النوى قلما تنفذ الى جوّنا ، لتفاعلها مع الذرات الغازية التي تعترض طريقها ، فتتفكك الى بروتونات ونوترونات . اما البروتونات فانها تخترق النويات الغازية وتحطمها فلا تعتم ان تخلف وراءها بروتونات ونوترونات فحسب .

وهناك دقائق اخرى تدعى الميزونات . وهي جسيمات تتراوح كتلتها بين كتلة الكهيرب وكتلة البروتون . فتعادل كتلتها كتلة الكهيرب نحو ٢١٥ ضعفاً في الميزون الذي من نوع μ ، ونحو ٢٨٠ ضعفاً في الميزون من نوع π ، ونحو ١٠٠٠ ضعف في الميزون من نوع

هذه الميزونات لا وجود لها في الاشعاع الكوني الاولي ، بل هي وليدة تصادم الدقائق الاولية ذات الطاقة الكبيرة بالذرات الغازية في الجو الاعلى . وحياتها قصيرة جدًا . وهي تتحول اما الى ميزونات اخرى اما الى كهيربات .

ليست ظاهرة إحداث الميزونات هذه بواسطة الدقائق الاولية الظاهرة الوحيدة التي تُلاحظ في الاشعة الكونية . فالاشعة الاولية تولّد ايضًا ، فضلًا عن الميزونات ، كهيربات ذات طاقة قوية ، فيتألف منها « باقات » على النحو التالي :

عندما يمر كهيرب ذو طاقة كبيرة على مقربة من نواة ذرة ، فانه ينحرف انحرافاً عنيفاً بتأثير من المجال الكهربائي القوي الذي يكتنف النواة . فتثير هذه « الصدمة » اتجاه الكهيرب وسرعته فينطلق عندئذ عنه شعاع كهرطيسي .

يتولد عن شعاع γ (غما) هذا عند تحوله الى مادة زوجان من الكهيربات احدهما موجب والاخر سالب . ثم يأخذ هذان في الاشعاع بدورهما وهلم جرا. هكذا يتكون ما يدعى « باقة » كهيربات بعد ان لم تكن موجودة اساساً في الاشعاع الكوني ، لكن احدثتها عمليات ثانوية .

لقد تمكن العلميون من تحويل الكهيربات والميزونات الخفيفة الى مادة في المختبر مستعينين على ذلك بالات قوية تدعى السنكروترون synchrotrons فاستطاعوا بذلك تكرار جزء من الظواهر الملاحظة في الاشعاع الكوني .

ان تبادل التحول بين المادة والطاقة يضطرنا عندما نسلط تفكيرنا الفلسفي على الظواهر الطبيعية الى اعادة النظر في صحة مدركاتنا ، لانها ان لم تردد مرونة لن تستطيع الانطباق على الحقيقة كما اخذت تبدو في تجاربنا ومشاهداتنا في هذه السنين الاخيرة .

ولا محيد عن الاعتراف بان العلم الحديث قد اراد عقولنا على كثير من المرونة بما طالعنا به من فتوحات وتحقيقات جديدة لو انبا عرضت لفلاسفة الامس الغابر لاولتهم الحيرة . منها عدم اتصال الطاقة التي — كالمادة — ليست قابلة للتجزؤ الى ما لا نهاية ، واستحالة تعيين الوضع والحركة في آن واحد لاي جسم كان ، واستحالة تخصيص الجسيمات الداخلة في مجموع ما بذاتية منفردة ومستقرة ، والعثور على « فوتونات » اي وحدات ضوء (photons) متحيزة تتركز فيها طاقة سطح الموجة ، وايلاج الرجحيات في صلب الحتمية ، فهذه كلها عقبات تعترض سبيل العقل اذا ما افرط في التمسك بالنظريات التقليدية المأثورة .

لكنها تنقلب باعثاً على الاعجاب لمن ينعم النظر في صرح معلوماتنا الجديد . فانه لن يتمالك عن الانشاد مع صاحب الزبور :

ما الانسان حتى تذكره
وما ابن البشر حتى تفتقده
لقد نقصته من الله قليلاً
وكللته بالمجد والكرامة

* * *

سلطته على اعمال يديك
واخضعتَ كل شيء تحت قدميه
ايها الاله ربنا
ما اعظم اسمك في كل الارض !

غير ان العالم الحق لا يملك الا ان يستشعر الرهبة والتهيب امام سر الطبيعة الذي يظهر العلم بُعد غوره .

اود ان اختم هذه المقالة بصفحة لعالم من اكبر علمائنا هو الاميرلويس دي بروي :

« العلم ماض في طريق التقدم . فهو سائر بسرعة سوف تتزايد مع الايام الى تفهم ظواهر الطبيعة تفهماً اصح . ويمكن البشرية ان تتوقع نجاح كل اعمالها من هذا القبيل كما انها سوف تجني ثمار الجهود التي بذلها عقل الانسان خلال اجيال متصلة طمعاً منه في استجلاء صفحات جديدة من غوامض الكائنات . والعلم له جمال في ذاته وقيمة معنوية فضلاً عما ييسر للناس من اسباب الرقي وعما يبعث في النفوس من نشوة العرفان . فهذه لا ريب فضائل تبرر التحمس له

غير ان الانصاف يحتم علينا ان نذكر بازاء ما للعلم من فضل ما قد يكون عليه من مأخذ . فاذا كان حلالاً مشروعاً لرجل العلم والفكر ان يباهي ويفاخر عندما يرى انه يعمل على زيادة معارفنا وزيادة نفعها ، فانه لزام عليه الا يتجاوز الى الزهو والعُجب فيستهين كل عمل ونشاط لا يدخل في نطاق العلم . اذ انه حقيق الا ينسى ان علمنا بلغ ما بلغ سيظل محدوداً بينما جهلنا لا حدود له . فحسبة هذا الاعتبار باعثاً على بعض الخشوع حيال المهمة العظيمة التي لا تزال تقتضي اهتمامه وسعيه

على اولي العلم ان يذكروا ابدًا ان طبقة الناس المنصرفين الى الناحية العملية من الحياة ، وعامة الذين على جبلهم العلم واسراره يقومون بواجباتهم كل يوم بنفس سخية ، يمدون للمجتمعات البشرية خدمة ما احوجها اليها لتسير سيرًا منتظمًا . فكلٌ من هؤلاء وأولئك عامل من جانبه من عوامل الرقي . فلا شيء يخول العالم او المفكر مهما علا شأنه ان يعتقد بان القيم الحقة لا تتمثل الا في التفوق العقلي او في سعة المعارف . كلا ليس له ان يستخف بما في التفاني والامانة على القيام بالواجب من العظمة ، ولا ان يستهين بما في مختلف الاعمال من النفع » .