الطاقة

من نيوتن الى اينشتين

لمحمد عاطف البرقوقي[1]

لعلّ أهم الابحاث التي شغلت عقول العلماء في العهد القديم والعهد الحديث هو موضوع الطاقة فمن علم الميكانيكا الذي وضع اساسه العالم الانكليزي نيوتن نعلم ان الجسم المتحرك لهُ طاقة تسمى طاقة الحركة فالسهم اذ يترك القوس يتحرك بسرعة وتصبح لهُ طاقة يظهر أثرها اذا صدم جسم غزال فان السهم يلهب جسمه ويجرحهُ وكذلك الجسم المقذوف الى اعلى تحت تأثير الجاذبية تقل سرعته وبذلك تقل طاقة حركته ولكن هل تقل الطاقة هكذا دون ان يظهر لها أثر آخر ؟ بل لا بد من تعويض الطاقة المفقودة بطاقة اخرى تسمى طاقة الوضع في هذه الحالة لان هذا الجسم المقذوف الى اعلى تقل سرعته الى ان تتلاشى وعندئذ تنعدم طاقة حركته وتتحول جميعها الى طاقة وضع بحيث اذا لم يمنع الجسم عائق فانهُ يتحرك الى اسفل ثانية من تلقاء نفسه

وليست الطاقة مقصورة على هذين النوعين فقط بل هناك مثلاً الطاقة الكيميائية والطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية . ويمكن للطاقة ان تتحوّل من صورة الى اخرى فالطاقة الكيميائية تتحول الى طاقة حرارية كما لو وضعت بعض المواد في بعض الحوامض فانها تحترق وكذلك الطاقة الكيميائية تتحول الى طاقة كهربائية كما في البطاريات اذ البطارية ما هي الاّ لوحان من معدنين مختلفين بينهما مواد كيميائية فمن التفاعل الكيميائي يشحن كل لوح بجهد مختلف ومن فرق الجهد بين اللوحين يسري التيار اذا وصل اللوحان بسلك وكذلك الطاقة الكهربائية تتحول الى طاقة حرارية كما لو مرّ التيار في المدفاة الكهربائية فيسخنها وتشع الحرارة في الغرفة

﴿ العلاقة بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية ﴾ : كان العلماء يعتقدون منذ قرن ان ارتفاع درجة حرارة الجسم ناشيء من وجود سائل خفيف الوزن في الجسم وكلما زاد مقدار هذا السائل في الجسم ارتفعت درجة حرارته فاذا وصل بجسم آخر اقل منهُ في درجة الحرارة سرى هذا السائل من الجسم الساخن الى الآخر وتعرف هذه النظرية بنظرية « السيال الحراري » ولكن هذه النظرية بعد ان مكثت مدة تفسر بعض الظواهر ارتطمت امام التجارب الاخرى اذا أدى الاخذ بها الى نتائج لا تحققها التجارب . وكان اول معول بدأ في هدم هذه النظرية معول «كونت رمفورد» فبينما كان

---

(١) نائل درجة شرف في العلوم من جامعة برستون واستاذ الطبيعة في المدرسة السعيدية الثانوية بالجيزة

يقوم بملاحظة تقوير الانابيب لعمل المدافع عام ١٧٩٨ كانت زيادة الحديد المتأثرة والناتجة من التقوير ساخنة جداً كما لو حككت قطعتي حجر احدهما بالاخرى فان حرارتهما ترتفع وتوقد الفتيل. وقد تبع هذا هادم آخر هو « السر همفري دافي » اذ تمكن من صهر قطعتي جليد دون تسخين إن بالاحتكاك وهما متلاصقتان . فهل كان هناك « سيال حراري » في احدى القطعتين دون الاخرى وهما دون الصفر . فلا بد ان يكون هناك علة اخرى وهي العلاقة المتينة بين الطاقة الميكانيكية او الشغل الميكانيكي وتوليد الحرارة وهذا ما اثبته العالم الانكليزي « جول » اذ اجرى عدة تجارب اثبت فيها ان مقدار الحرارة الناتجة من الشغل الميكانيكي تتناسب مع هذا الشغل وبذلك بطلت نظرية السيال الحراري نهائياً

﴿ طاقة موجات الضوء والحرارة ﴾ : كما ان الحرارة طاقة فكذلك لموجات الضوء طاقة فموجات الحرارة وموجات الضوء كلاهما موجات مستعرضة الا ان طول الموجات الحرارية أكبر من طول الاخرى بل هي لكبرها لا تثير حاسة الابصار ويمكن ان ندرك ذلك بالرجوع الى حالة الصوت فنحن نعلم ان كل صوت لا بد ان يحدث من اهتزاز الجسم فالناقوس اذا يدق يهتز والكمان اذ تعطي اي نغمة فان وترها لا بد ان يهتز ويقوي النغمة عمودها الهوائي وهكذا . ولكن هل كل جسم يهتز لا بد ان يصدر صوتاً ؟ لا . وذلك لان الجسم المهتز والذي لا يصدر صوتاً يسبب موجة لا تثير حاسة السمع . رأيت اذا اذكر هذا المثل للمقارنة بحالة يسهل ادراكها بسرعة لاننا نشاهدها يومياً في الحياة . ولكن هذه الحقيقة — الضوء والحرارة موجات من نوع واحد — يمكن اثباتها بتجارب كثيرة منها انك اذا أمررت اشعة الشمس من منشور فان الضوء الابيض يتحلل الى ألوان الطيف بحيث يبدأ الطيف باللون الاحمر وينتهي الى البنفسجي فاذا أمررت جهازاً حساساً لادراك الطاقة الحرارية الصغيرة — كالتي نحن بصددها — فان تأثر هذا الجهاز في حالة وجوده عند الجزء الاحمر اقوى منهُ عند الجزء البنفسجي فاذا حركت الجهاز الى ان يقع في الجزء الذي قبل الاحمر فانه يتأثر أيضاً ولو انه في الجزء الذي لا يثير حاسة الابصار. وقد وجد ان لكل لون — او لكل موجة — طاقة خاصة وقد حاول كثير من العلماء تفسير هذه العلاقة فلم يفلحوا حتى جاء بلانك Planck واخرج نظريته المسماة « نظرية الكم » Quantum theory التي يقول فيها ان طاقة الاشعاع او طاقة موجات الضوء والحرارة ليست متصلة بل متقطعة — وكل جزء من الطاقة — ويسمى « كماً » — يساوي مقدار ثابت × تردد الموجة . ويسمى هذا المقدار الثابت بثابت بلانك لأهميته الرياضية وقد امكن تفسير ظواهر كثيرة بهذه النظرية وخصوصاً تلك الظواهر الخاصة بالالكترون واشعة اكس

﴿ الطاقة والمادة ﴾ : والطاقة هنا يقصد بها طاقة موجات الضوء والحرارة . كان نيوتن يعتبر ان الشعاع الضوئي يتركب من دقائق تسير في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس ويمكن بنظريته هذه المسماة « نظرية الدقائق » Corpuscular Theory — اقول قد تمكن ان يفسر ظواهر كثيرة

مثل حدوث الظل والانعكاس ولكنهُ عند ما حاول تفسير الانكسار وصل الى نتائج خطأ اذ وجب ان تكون سرعة الضوء في الماء اكبر من سرعته في الهواء وهذا ما لم تثبته التجارب بل اثبتت عكسه لان سرعة الضوء في الماء اقل من سرعته في الهواء فبطلت هذه النظرية وتبعتها النظرية الموجية Wave Theory وهي تفرض ان الضوء لا يتكون من دقائق كما يقول نيوتن بل من موجات ممتدة تنتشر في الاثير كما تنتشر موجات الماء على سطح البحر ولكن بسرعة هي اكبر سرعة معروفة للآن . وامكن بهذه النظرية تفسير الانكسار تفسيراً يتفق مع التجارب وكذلك تفسير التداخل Interference وتحليل الضوء والزيغ Diffraction وقد عاشت هذه النظرية الموجية الى الآن ولكن في السنين الاخيرة جدت تجارب وظواهر لا يمكن تفسيرها الاَّ اذا افترضنا ان الموجات بها دقائق اي لها بعض صفات المادة وكذلك المادة لها صفات الموجات وبالفعل حاول العلماء تحقيق هذه الفكرة فأطلقوا تياراً من الالكترونات — Stream of electrons — حتى تسقط عمودية على لوح رقيق من المعدن فبدلاً من ان تنفذ مع هبوط في سرعتها او هبوط في شدتها — بدلاً من ذلك نفذت وكوّنت حلقات كما تفعل الموجات تماماً اي ان الالكترونات وهي مادة عملت عمل الموجات — كموجات اشعة اكس مثلاً — وعلى ذلك لم تكن هناك مندوحة من فرض ان الطاقة والمادة اسمان لمسمى واحد يمكن لاحدهما ان ينتج أثر الآخر

﴿ اينشتين ﴾ ذلك العالم الدائم الصيت وصاحب النظريات التي حيرت عقول اكبر اساتذة الطبيعة في الجامعات الاوربية ومع ذلك فالعالم مضطر لقبولها لانها تفسر عدداً غير قليل من المشاهدات الفلكية والتجارب العملية ولعل ادهش وأظهر ما في نظريته النسبية Theory of Relativity افتراض ان كتلة الجسم تزداد بازدياد سرعته تبعاً للعلاقة المشهورة التي استنتجها اينشتين وهي :

$$\text{كتلة الجسم اثناء حركته} = \frac{\text{كتلة الجسم وهو ساكن}}{\sqrt{1 - \frac{\text{مربع سرعة الجسم}}{\text{مربع سرعة الضوء}}}}$$

$$\text{أما بالرموز} \quad ك = \frac{ك_{.}}{\sqrt{1 - \frac{ع^{٢}}{٢٥^{٢}}}}$$

بحيث يدل كل رمز على ما يماثله في القانون السابق وباختصار هذه المعادلة نجد ان

$$ك = ك_{.} \left(1 - \frac{ع^{٢}}{٢٥^{٢}}\right)^{-\frac{١}{٢}}$$

$$= ك_{.} \left(1 + \frac{١}{٢}\frac{ع^{٢}}{٢٥^{٢}} + \dots\dots\right)$$

$$= ك_0 + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} ك ع^2 + \cdots)$$

اي ان كتلة الجسم وهو متحرك = كتلة الجسم وهو ساكن + $\frac{\text{طاقة الحركة للجسم}}{\text{مربع سرعة الضوء}}$

ومن هذه المعادلة نرى ان الجسم اذا تحرك زادت كتلته . وهي نتيجة يدهش لها القارىء المفكر — على ما اعتقد — لانه ربما يسأل وهل القطار المتحرك تزداد كتلته او الطيارة المتحركة تزداد كتلتها . والجواب عن مثل هذا السؤال هو بالايجاب بناء على نظرية اينشتين . ولكن لاتدهش ايها القارىء الكريم فسوف يقل عجبك اذا علمت ان الزيادة لا تكاد تذكر في حالة اسرع قطار او اسرع طيارة ولكن الزيادة كبيرة جداً اذا كانت سرعة الجسم تقرب من سرعة الضوء التي هي اكبر سرعة معلومة للآن كما ذكرت سابقاً . وسأثبت ذلك بمثال :

اكبر سرعة لطائرة في عالم الطيران هي حول ٤٨٠ ميل في الساعة اي حوالي ٢١١٢٠ سنتمتراً في الثانية تقريباً . ولنفرض انه كان يمكن ان تصل الى سرعة ٣٠٠٠٠ سنتمتر في الثانية فتكون نسبة سرعة الجسم الى سرعة الضوء تساوي $\frac{1}{\text{مليون}}$ وهي نسبة صغيرة فما بالك بمربعها

$$\frac{\text{مربع سرعة الطيارة}}{\text{مربع سرعة الضوء}} = \frac{ع^2}{٢٥} = \frac{1}{\text{مليون تربيع}} = ٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١$$

وتكون الزيادة في كتلة الطيارة = $\frac{1}{2} \times \frac{1}{\text{مليون تربيع}}$ × كتلة الطيارة وهي ساكنة

فاذا كانت كتلة الطيارة وهي ساكنة تساوي ٥٠٫٠٠٠ كيلو جرام اي حوالي ٥٠ طناً

فتكون هذه الزيادة في كتلة الطيارة = $\frac{1}{2} \times$ ٥٠٫٠٠٠ × ٠٠٠٠٠٠٠٠٠١

= ٠٫٠٠٠٠٠٠٠٢٥ جرام

فالنظر الى هذه الزيادة الطفيفة جداً بل المهملة في كثير من عملياتنا الدقيقة مع هذه السرعة الزائدة في حياتنا العملية

ولعل القارىء الكريم يقول وما لنا اذن ولهذه النظرية التي لا تجدي ولا تؤثر — حقاً انها لا تؤثر في كتلة مثل هذه الاجسام وفي مثل هذه السرعة ولكن احسب لنفسك الزيادة في كتلة جسم يسير بسرعة تساوي عشر سرعة الضوء — وليس جزء من مليون — تجد ان الزيادة في الكتلة لا تبلغ جزءاً من الكتلة الاصلية بل اكثر من ضعفين — بل ٢٫٣ مرة من كتلتها وهي ساكنة وهذا ما يحصل في حالة دقائق بيتا التي تقذف من الراديوم

ولهذه الزيادة قيمتها في عالم التجارب الدقيقة التي تعمل على الالكترون المتحرك بهذه السرعة الكبيرة وبهذه النظرية حققت كثير من التجارب وثبتت نهائياً قيمة الشحنة التي على الالكترون