١) القسم الأول : الفيزياء الكلاسيكية

١-٢ نيوتن وعلم الميكانيكا

في بداية عام ١٦٦٥م وعن عمر يناهز ٢٣ عاماً وضع نيوتن مبادىء لعلم الميكانيكا واستطاع صياغة قوانين الجاذبية الكونية والتحليل الطيفي للضوء الأبيض الذى يأتى إلينا من الشمس. واقترح نظرية للإنتشار الضوئي واخترع نظام رياضى حديث لحساب التفاضل والتكامل. كما ساهم «نيوتن» فى العديد من الظواهر الطبيعية. وبين أن قوانين كيبلر فى وصف حركة الكواكب وكذلك قوانين السقوط للأجسام لجاليليو ما هى إلا حالات خاصة من القانون الثانى للحركة. كما تنبأ «نيوتن» بظهور المذنبات وشرح تأثير القمر على المناخ الأرضى.

العالم اسحاق نيوتن
(١٦٤٢-١٧٢٧م)

والجدير بالذكر أن التطور المتسارع فى علم الفيزياء يعود الفضل فيه إلى قوانين الحركة لنيوتن خاصة القانون الثانى للحركة والذى ينص على أن «القوة التى يحتاجها الجسم للتسارع تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلة الجسم فى تسارعه».

وإذا أعطيت القوة والوضع الابتدائى للجسم وسرعته عندئذ، يمكن حساب السرعات والمواقع المتتالية للجسم فى لحظات لاحقة أخرى، حتى لو كانت هذه القوة متغيرة كدالة فى الزمان أو المكان. هذه القوانين البسيطة أدت إلى معرفة خصائص الأجسام وعزم القصور الذاتى وتأثيره على الحركة. فكلما ازدادت الكتلة كلما قل التغير فى السرعة عند التأثير بقوة. والعكس صحيح كلما خف الجسم إزداد التغير فى السرعة عند التأثير بقوة.

أما القانون الثالث لنيوتن فيوضح ببساطة أن «لكل فعل رد فعل يساويه فى المقدار ويضاده فى الاتجاه». وبالتالى عرف الإنسان أن القوة بين الأجسام تكون مزدوجة وفى اتجاهات متعاكسة وليس بالضرورة على طول الخط الواصل بين الأجسام.

وضع العالم «نيوتن» بصمته الرئيسية فى علم الفيزياء عند دراسته لقوة الجاذبية. وفى العصر الحديث يعرف العلماء بالإضافة إلى قوة الجاذبية ثلاثة قوى رئيسية أخرى توفر إمكانية لمشاهدة الخصائص والأنشطة الكونية المختلفة. والقوى الثلاث الأخرى هى:

(أ) القوة الكهرومغناطيسية.

(ب) القوة النووية الشديدة.

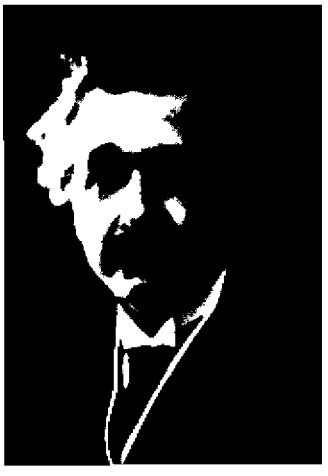
(جـ) القوة النووية الصغيفة.

والقوة النووية الشديدة هى المسئولة عن ربط النيوترونات والبروتونات داخل نوى الذرات. أما القوة النووية الضعيفة بين الجسيمات الأولية الأخرى فهى المسئولة عن ظاهرة النشاط الإشعاعى للمواد.

ومنذ معرفة قانون الجاذبية الكونية استطاع العلماء فهم طبيعة القوة الذى أدى بالتالى إلى معرفة أن الأجسام المادية ومكوناتها تملك خاصية «الكتلة الجاذبة» هذه الخاصية تسبب تجاذب أى جسمين بعضهما للآخر وعلى طول الخط الفاصل بينهما. وقوة التجاذب بين الجسمين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة التى تفصل بينهما.

والجدير بالذكر، أن قوة الجذب تجعل الكواكب تتحرك حول الشمس. وتمتلك الأرض مجالاً خاصاً بها للجاذبية، وقد تكون قوة الجذب هى المسئولة عن الانهيارات الجاذبية فى المرحلة النهائية من دورة حياة النجوم.

والأهمية الخاصة للربط بين تكافؤ قوة الجذب وعزم القصور الذاتى لم يفطن لها أحد من قبل حتى تمكن العالم الفيزيائى «ألبرت اينشتين» من إعلان نظرية النسبية ونجاحه فى التمييز بين مجال الجاذبية والإطار المرجعى للتسارع.



العالم البرت أينشتين
(١٨٧٩ - ١٩٥٥م)
حاصل على جائزة نوبل
عام ١٩٢٤م

وقوة الجاذبية هى أضعف القوى الطبيعية الأربعة سالفة الذكر، خاصة عندما نأخذ فى الاعتبار دراسة الأجسام الأولية دون الذرية. على سبيل المثال، قوة الجاذبية بين بروتونين (باعتبارهما من الجسيمات الأولية الثقيلة) وعند أى مسافة معطاة تقدر بـ ١٠ - ٣٥ مرة مقدار القوة تعتبر صغيرة جداً بالمقارنة بقوة التفاعل النووى الشديدة بين البروتونين داخل النواة فى الذرة. والجاذبية تظهر بقوة فى المقياس الميكروسكوبى لاعتبارين هما :

١) معرفة نوع وحيد للكتلة يؤدى إلى نوع محدد للقوة هى قوة الجذب. والعديد من الأجسام الأولية والتى يتشكل منها الأجسام الكبيرة مثل الأرض تبين التأثير التراكمى لقوى الجاذبية والتى تصبح كبير للغاية.

٢) تمثل قوة الجاذبية على مدى كبير وتقل بزيادة مربع المسافة التى تفصل بين الأجسام.

وعلى العكس، فالشحنات الكهربائية للجسيمات الأولية التى تعطى قيمة للقوى الكهروستاتيكية والقوى المغناطيسية، إما أن تكون موجبة أو سالبة أو تتلاشى معاً. على سبيل المثال، الشحنات المختلفة فقط هى التى تتجاذب كهربياً. وهذا يعنى أن القوى النووية الشديدة والضعيفة هى قوى قصيرة المدى ومن الصعب ملاحظتها على مسافات فى حدود أجزاء من ١٠ ١٢ جزءاً من السنتيمتر.

وبالرغم أن قوة الجاذبية تعتبر هامة فى المقياس الميكروسكوبى، إلا أنها تكون ضعيفة إلا فى حالة أن يكون الجسم ثقيل للغاية. وطبقاً لقانون الجاذبية الكونى العام أمكن دراسة حركة الكواكب قبل أى تجارب عملية. وفى عام ١٧٧١م، تمكن العالم الفيزيائى الإنجليزى هنرى كافيندس من استخدام كرات كبيرة لجذب كتل صغيرة مرتبطة بالبندول الدائرى (Torsion Pendulum) وتمكن بهذه الطريقة من تعيين كثافة الأرض.

وبعد قرنين من الزمان من اكتشافات «نيوتن» أمكن تحليل قوانين الميكانيكا وتطبيقاتها المثيرة خاصة على نظم أكثر تعقيداً. فقد استطاع العالم الرياضى السويسرى ليونارد أويلر من إعادة صياغة معادلات الحركة لأول مرة لوصف حركة الأجسام الصلدة، بينما كانت معادلات نيوتن تطبق فقط على الأجسام «النقطية» التى يمكن اعتبارها كأجسام. وهناك علماء فيزيائيون آخرون أمثال الفرنسى جوزيف لويس لاجرانج والأيرلندى سير ويليام روان هاميلتون اللذين تناولا القانون الثانى للحركة فى درجة متطورة وفى نفس الفترة تمكن أويلر والعالم الهولندى دانيال برنولى من تطوير ميكانيكا نيوتن لمعالجة ميكانيكا الموائع.

٢ـ٢ الكهربية والمغناطيسية

بالرغم أن اليونانيون القدماء هم أول من اهتموا بالخصائص الكهروستاتيكية لمادة العنبر (الكهرمان)، إلا أن العلماء لم يستطيعوا فهم الظواهر الكهربية والمغناطيسية حتى نهاية القرن الثامن عشر.

ففى عام ١٧٨٥م اكتشف العالم الفرنسى شارلى أوجستين دى كولوم لأول مرة عمليات تجاذب أو تنافر الشحنات الكهربية. ووجد أنها تتبع قانون التربيع العكسى بالمثل كما هو الحال فى قوة الجاذبية. واستطاع العالمان الفرنسى دنيس بواسون والألمانى كارل فريدريك من تطوير طريقة نظرية لحساب تأثير عدد من الشحنات الاستاتيكية (الساكنة فى حالة توزيع اختيارى). ووجدوا أن الشحنات الموجبة تجذب الشحنات السالبة وتميل إلى التسارع فى اتجاه أحدهما للآخر.

وإذا كان الوسط التى تتحرك فيه الأجسام يقاوم الحركة، فيعمل هذا الوسط على تقليل السرعات بدلاً من تسارعها. ولذلك يسخن الوسط وتتأثر الشحنات بمتغيرات أخرى.

وفى عام ١٨٠٠م تمكن العالم الإيطالى اليساندرو فولتا من تطوير البطارية الكيميائية التى سمحت بتوليد قوة دافعة كهربية تضمن استمرار حركة الشحنات الكهربية. والمفهوم البسيط عن الدائرة الكهربية يفرض أن نهايات البطارية يحتفظ أحداها بشحنة كهربية موجبة والنهاية الأخرى تحتفظ بشحنة كهربية سالبة ويتم ذلك من خلال الخصائص الداخلية للبطارية. وعند توصيل هذه النهايات بالسلك الكهربى، فإن الشحنات السالبة تندفع تلقائياً بعيداً عن النهاية السالبة للبطارية وتنجذب فى اتجاه النهاية الموجبة. وأثناء هذه العملية يسخن السلك وتنشأ مقاومة لحركة الشحنات السالبة. وعند وصول هذه الشحنات إلى النهاية الموجبة، تسبب البطارية قوة للأجسام فى اتجاه النهاية السالبة لتعادل القوى العسكية لقانون كولوم. وقد تمكن العالم الألمانى جورج سيمون أوم من اكتشاف ثابت التناسب البسيط بين شدة التيار الذى يمر فى السلك والقوة الدافعة الكهربية التى توفرها البطارية.

ويعرف ثابت التناسب بمقاومة الدائرة، وينص قانون أوم على أن «يساوى مقدار مقاومة الدائرة الكهربية خارج قسمة مقدار القوة الدافعة الكهربية على شدة التيار الكهربائى المار فى الدائرة». هذا القانون يصف سلوك المواد الصلبة عند تعرضها لمجال كهربائى فقط.

وفى القرن السابع عشر تم اكتشاف المغناطيسية الذى اعتمد على وجود أزواج من الأقطاب المشحونة. وقد اهتم العالم الفرنسى كولوم بهذه الظاهرة واستطاع الربط بين علم الكهربية والمغناطيسية.

وفى عام ١٨١٩م، اكتشف العالم الفيزيائى الدانيماركى هانس كريستين أورستد الإبرة المغناطيسية والتى تنحرف بواسطة سلك يحمل تيار كهربائى موضوع بالقرب منها. وبذلك نجح العالم الفرنسى اندريه مارى أمبير فى تأثير سلكين يحملان تياراً كهربائياً بعضهما على الآخر كما يحدث بين الأقطاب المغناطيسية. وفى عام ١٨٣٦م اكتشف العالم الإنجليزى ميشيل فاراداى طريقة الحث وإمرار التيار الكهربائى فى سلك دون أن يوصل بالبطارية، ويتم ذلك عن طريق تحريك مغناطيس أو يوضع سلك آخر يحمل تياراً كهربائياً بالقرب منه.

العالم كلارك ماكسويل
(١٨٣١ - ١٨٧٩م)

والتيار أو الشحنات الكهربية المتحركة تولد مجالات مغناطيسية. والمجالات الكهربية تتولد عن طريق تغيير فى شدة المجالات المغناطيسية والعكس صحيح. وقد عبر عن هذه العلاقة ووضعها فى صياغة رياضية العالم الفيزيائى الإنجليزى جيمس كلارك ماكسويل الذى استطاع تطبيق معادلات التفاضل الجزئى لربط إحداثي الفراغ» والزمن فى وصف التغيير فى شدة المجال الكهربائى وشدة المجال المغناطيسى عند نقطة عن طريق الشحنة وكثافة التيار الكهربى عند نفس النقطة. ومن حيث المبدأ، يمكن حساب شدة المجال فى أى مكان وعند أى لحظة بمعرفة الشحنة وشدة التيار. وعلى غير المتوقع ونتيجة لحل معادلات ماكسويل، أمكن التنبؤ بنوع جديد من المجالات وأطلق عليه «المجال الكهرومغناطيسى».

العالم ميشيل فاراداى، ولد فى لندن بإنجلترا عام (١٧٩١م)

هذا المجال ينتج عن طريق تسارع الشحنات. والمجال الكهرومغناطيسى ينتشر فى الفراغ بسرعة الضوء على هيئة موجات كهرومغناطيسية. ووجد أن شدة المجال تتبع قانون التربيع العكسى، أى أن شدة المجال تقل بزيادة مربع المسافة عن المصدر.

وفى عام ١٨٨٦م، نجح الفيزيائى الألمانى هينريتش رودلف هرتز من توليد موجات كهرومغناطيسية بطرق كهربائية، مما أدى إلى اكتشاف الراديو والرادار والتليفزيون وأشكال أخرى من وسائل الاتصالات.

ويتشابه السلوك الموجى للمجالين الكهربى والمغناطيسى مع الموجات الناشئة عن حركة الوتر الطويل الذى يتحرك أحد أطرافه بسرعة إلى أعلى وإلى أسفل بطريقة دورية. وعلى طول الوتر تتحرك نقطة ما تذبذباً إلى أعلى وإلى أسفل بنفس تردد المصدر. وجميع النقاط على طول الوتر والتى تبعد بمسافات مختلفة عن المصدر تصل إلى أقصى ارتفاع فى أزمنة مختلفة، وفى أطوار مختلفة. وينتقل التردد من نقطة إلى أخرى على طول الوتر بسرعة موجية تعتمد على الوسط والكتلة ومقدار الشد. وبعد فترة وجيزة من تحريك الوتر يصبح للنقاط المتواجدة على مسافات متساوية نفس الإزاحة والحركة. ويفصل بينها مسافة تعرف بالطول الموجى الذى يساوى ناتج القسمة بين السرعة الموجية والتردد.

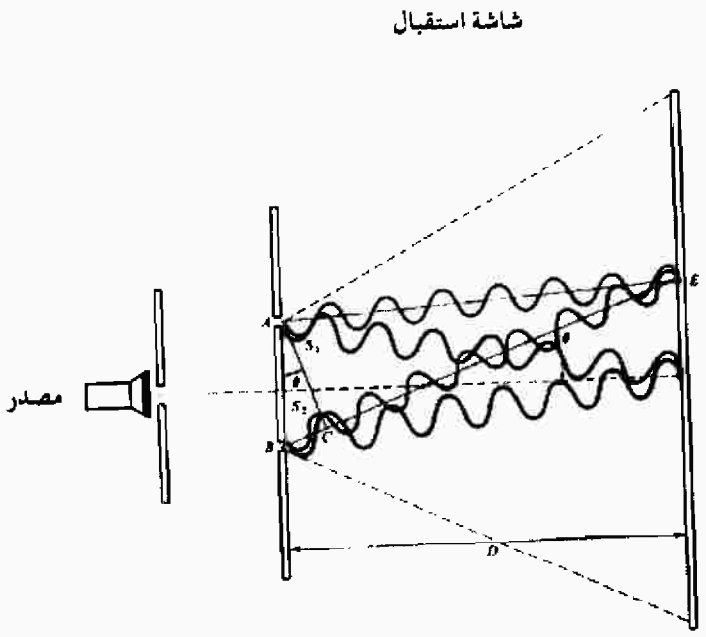
وفى حالة المجال الكهرومغناطيسى، يمكن للمرء أن يفكر فى التغيير فى شدة المجال الكهربائى كما يحدث فى حالة الوتر، ويمثل المجال المغناطيسى عند اتجاه الزاويا اليمنى لهذا المجال الكهربائى. والمعروف الآن أن الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر بعيداً عن المصدر بسرعة تساوى سرعة الضوء.

٣.٢ طبيعة الضوء

منذ القدم، عرف الإنسان الإنتشار الخطى للضوء، كما أعتقد الفلاسفة اليونانيون القدماء أن الضوء يتكون من جسيمات دقيقة. وكانوا غير متأكدين ما إذا كانت هذه الجسيمات الدقيقة تصدر من العين أو من الأجسام المشاهدة، حتى حسم الأمر العالم العربى الحسن بن الهيثم وذلك بتأكيد أن الضوء ينعكس من الأجسام إلى العين وليس العكس. ولم تعط أى من النظريات الضوئية أى تفسير مقنع لظهور واختفاء وتغير السرعة والاتجاه لهذه الجسيمات عند مرورها خلال الأوساط المختلفة. وفى القرن السابع عشر، طرح نيوتن بعض الإجابات الجزئية لهذه الأسئلة. فقد وضع فروض نظرية الجسيمات الدقيقة للضوء. وقد تمكن العالمان الإنجليزى روبرت هول والهولندى كريستيان هيجنز من وضع فروض النظرية الموجية للضوء. ولم يتم بالبرهان العملى للتمييز بين هاتين النظريتين إلا مع بداية القرن التاسع عشر على يد العالم الفيزيائى الإنجليزى «توماس يانج».

وتجربة يانج للتداخل الضوئى يمكن إجراؤها بوضع شريحة رقيقة أو شريحتين متباعدين أمام المصدر الضوئى. وبالنظر عند شاشة الاستقبال الموضوعة على مسافة ما خلف الشريحتين يتبين ظهور روابط مضيئة وأخرى مظلمة بدلاً من رؤية صورة منتظمة الشريحتين. فالأجسام الدقيقة للضوء والتى تأتى من نفس المصدر الضوئى وتصل إلى الشاشة من خلال الشريحتين لايمكن أن ينتج عنها شدة إضاءة مختلفة عند أماكن مختلفة من الشاشة. ولايمكن أن يلغى بعضهما البعض عند البقع المظلمة. أما إذا كانت طبيعة الضوء هى الموجات الضوئية، فيمكن أن ينتج عنها هذا التأثير. فى هذه الحالة، وكما فرض العالم هيجنز تصبح كل نقطة على الشريحتين كمصدر ضوئى ثانوى وينبعث الضوء فى جميع الاتجاهات وتصل نبضات متواصلة (ترلات) من الموجات إلى شاشة الاستقبال فى أطوار مختلفة، يعتمد ذلك على اختلاف المسار لهذا الترلات الموجية. فيصبح التداخل بناءً عندما تتقابل الموجات بنفس الطور ويصبح التداخل هداماً (إظلام) عندما تتقابل الموجات فى أطوار متعاكسة. وظهور البقع المضيئة يعانى من تغير منتظم عند تتابع الموجات ووصولها فى حالة عدم توافق طورى وتخفت الاستضاءة حتى تختفى ثم تتابع الموجات المتوافقة فى الطور فى الوصول إلى الشاشة ويحدث ارتفاع فى شدة الاستضاءة حتى تظهر البقعة المضيئة الثانية.. وهكذا. ولايمكن للعين المجرد من

متابعة سرعة الومضات التى تقدر فى حالة الضوء المرئى بتردد ٤×١٠^١٤ هرتز إلى ٧,٥ × ١٠^١٤ هرتز (١ هرتز = ١ دورة لكل ثانية). وبالرغم أن التردد الموجى لهذه الومضات لايمكن قياسها مباشرة، إلا أن التردد يمكن تعيينه بقياس الطول الموجى وسرعة الموجة. ويقاس الطول الموجى بمعرفة المسافة التى تفصل الشريحتين وكذلك المسافة بين البقع المضيئة المتتابعة على شاشة الاستقبال والتى وجد أنها تقدر بـ ٤× ١٠^-٥ سنتيمتر للضوء البنفسجى و٧,٥ × ١٠^-٥ سم للضوء الأحمر وبينهما يمكن تقدير الطول الموجى لألوان الطيف الضوئى الأخرى.



تجربة يانج للتداخل الضوئى باستخدام شريحة تحتوى على ثقبين

أما بالنسبة لقياس سرعة الضوء، فقد نجح الفلكى الدانماركى أولاوس رومير عام ١٦٧٦م من قياس سرعة الضوء لأول مرة، وتم ذلك بمتابعة ظهور أقمار كوكب جيوبتر ومعرفة التغير فى المسافة بين كوكبى الأرض وجيوبتر. وبمعرفة الفرق الزمنى اللازم لوصول الضوء للأرض أمكن تعيين سرعة الضوء.

والمثير فى الموضوع أن هذه النتائج تتفق إلى حد كبير مع الطريقة الحديثة للعالم الفرنسى أرماند هيبوليت لويس فيزو والعالم الفيزيائى الأمريكى إبراهام ميكلسون، ونعرف اليوم أن سرعة انتشار الضوء فى الفراغ تساوى ٢٩٩٢٩٢,٦

كيلومتر فى الثانية، ويقل هذا المقدار فى حالة انتشار الضوء فى المواد المختلفة، كما يتميز الضوء بظاهرة «التفريق الضوئى».

والجدير بالذكر أن أعمال «ماكسويل» قد ساهمت فى فهم طبيعة الضوء، وتبين أن الضوء هو موجات كهرومغناطيسية، كما يتذبذب المجالان الكهربائى والمغناطيسى فى موجات ضوئية. وتنبأ «ماكسويل» بوجود الضوء غير المرئى فى مدى الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية. ومن المعروف الآن، أن الطيف الكهرومغناطيسى يغطى المدى الموجى لأشعة جاما بطول موجى ١٠-١٢ سنتيمتر ثم الأشعة السينية، فالضوء المرئى، ثم الموجات الدقيقة فموجات الراديو والتى يتعدى طولها الموجى عدة مئات من الكيلومترات. وقد أمكن دراسة خصائص المواد واعتمادها على التأثيرات الكهربية والمغناطيسية من خلال العلاقة الرياضية التى تربط بين سرعة الضوء فى الفراغ وسرعته خلال الوسط.

وفى الحقيقة، لم تحدد أعمال «ماكسويل» كيفية انتقال الضوء والموجات الكهرومغناطيسية الأخرى فى الوسط المحيط بنا. على سبيل المثال يعتبر الماء وسط يحمل الموجات الصوتية أو الموجات المرنة الأخرى. وقد فرض العلماء وجود وسط مشابه وهو «الأثير» وهو وسط عديم الكتلة وله سلوك الأجسام الصلبة، يسمح بانتقال الموجات الكهرومغناطيسية خلاله، والموجات الكهرومغناطيسية هى موجات مستعرضة تتذبذب فى إتجاه عمودى على اتجاه انتشار الموجة، وهذا الأثير مختلف عن الغازات أو السوائل كوسط يسمح فقط بانتقال الموجات الطولية مثل الموجات الصوتية. والبحث عن هذا السلوك الغامض «للأثير» أثار اهتمام العلماء لمدة طويلة خلال القرن التاسع عشر.

وفى عام ١٨٨٦م، حاول العالمان الأمريكيان ميكلسون وادوارد ويليامز مورلى استخدام جهاز مقياس التداخل لقياس سرعة الضوء مع الأخذ فى الاعتبار حركة الأرض خلال «الأثير المستقر».

وكانت نتائج التجربة مختلفة وتعتمد على كيفية انتقال الضوء فى اتجاه عمودى على حركة الأرض أو اتجاه الحركة الأرضية ذاتها.

وتختلف النتائج بتغير درجة التداخل الضوئى. وفى عام ١٩٠٥م بعد صياغة العالم «البرت اينشتين» نظرية النسبية أمكن تنفيذ طريقة ميكلسون ـ مورلى لقياس سرعة الضوء بدقة فائقة.

٢ـ٤ الديناميكا الحرارية

خلال القرن التاسع عشر، اعتبر العلماء الديناميكا الحرارية من أهم فروع الفيزياء وأكثرها شأناً خاصة فى ظل حالة الحيرة والبلبلة فى تفسير العلاقة بين

الحرارة ودرجة الحرارة. وقد أمكن التوصل للربط بينهما من خلال وضع مفاهيم جديدة لميكانيكا الشغل والطاقة.

الحرارة ودرجة الحرارة

تختلف الأحاسيس عند لمس الأجسام الساخنة والأجسام الباردة، مما يؤدى إلى المعرفة الأولية عن مفهوم درجة الحرارة. ويؤدى إضافة حرارة إلى الجسم إلى زيادة درجة حرارته (بحيث لاتصل هذه الحرارة إلى درجة انصهار أو غليان الجسم). أما فى حالة توصيل جسمان لهما درجات حرارة مختلفة، فيلاحظ انتقال الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، حتى تصل حرارتهما إلى درجة الاتزان (الاستقرار). واستطاع العلماء قياس درجة الحرارة عن طريق إضافة أو سحب الحرارة المعطاة للجسم. على سبيل المثال وجد أن إضافة كمية من الحرارة إلى عمود من السائل موجود تحت ضغط ثابت تزيد من تمدد واستطالة العمود السائلى. بينما تسخين غاز ما موجود فى حجم محدد يزيد من ضغطه. وبذلك تمكن العلماء من تحديد طرق مختلفة لقياس درجة الحرارة بمعرفة الخصائص الفيزيائية للمواد، كما هو الحال عند استعمال الثرمومتر الزئبقى التقليدى.

وطور العلماء بعض الطرق الرياضية لدراسة الخصائص الفيزيائية للمواد. وتمكن العالم الفيزيائى الإنجليزى روبرت بويل من وضع صيغة رياضية للربط بين درجة الحرارة لجسم ما (أو نظام ما) وخصائصه الفيزيائية، وابتكر ما يسمى «بمعادلة الحالة». ففى حالة الغاز المثالى، تربط معادلة الحالة ضغط الغاز (P) وحجمه (V) وعدد جزئياته فى الجرام (n) بدرجة حرارته المطلقة (T) بالعلاقة $PV = nRT$، حيث إن R هو ثابت الغازات المثالية العام. ويسمى هذا القانون «بقانون بويل». وقد ارتبط بهذه الدراسة العالمان الفرنسيان «جوزيف جاى لوساك»، و«جاك اليكسندر سيزار شارلز».

وحتى نهاية القرن التاسع عشر ظل العلماء يعتبرون الحرارة وسط مائع لا كتلى تحتويه المادة ويمكن ادخاله وخروجه من المادة.

وفى عام ١٧٩٨م استطاع العالمان الفيزيائيان الأمريكى «بنيامين طومسون» والانجليزى «كونت فون رومفورد» من الربط بين الحرارة وأشكال أخرى من الطاقة. ووجد أن الحرارة المتولدة فى المدافع تتناسب تقريباً مع مقدار الشغل المبذول. وكما هو معروف رياضياً فإن مقدار الشغل هو حاصل ضرب القوة المؤثرة على الجسم فى المسافة التى يتحركها الجسم تحت تأثير القوة.

القانون الأول للديناميكا الحرارية

أواسط القرن التاسع عشر تمكن العلماء الألمانى «هيرمان لودفيج فيرديناند فون هيلمهولتز» والإنجليزيان «ويليان طومسون» و«بارون كيلفن» من شرح

معامل التكافؤ الحرارى والميكانيكى والذى يربط بين كمية الحرارة والشغل المبذول على النظام. وطبقاً لمبدأ التكافؤ فإن الشغل المبذول على النظام يؤدى إلى زيادة درجة الحرارة بنفس المقدار الذى يسببه إضافة كمية مكافئة من الحرارة. وفى عام ١٨٤٩م، نجح العالم الإنجليزى «جيمس بريسكوت» فى تعيين القيمة العددية لثابت التكافؤ بواسطة مكبس بدال متحرك.

وعن طريق بذل الشغل أو إضافة كمية من الحرارة يمكن نقل الطاقة إلى النظام. وذلك يزيد مقدار الطاقة الداخلية للنظام بواسطة الحرارة أو الشغل المبذول. وفى حالة عدم تغيير مقدار الطاقة الداخلية للنظام، يعنى هذا أن كمية الشغل المبذول على النظام تساوى مقدار الحرارة المتولدة منه.

هذا هو القانون الأول للديناميكا الحرارية الذى يعتبر نصاً لقانون بقاء الطاقة.

القانون الثانى للديناميكا الحرارية

برغم أن القانون الأول للديناميكا الحرارية يعبر عن بقاء الطاقة للتفاعل بين النظام والوسط المحيط به، إلا أن هذا القانون لايعطى أى مؤشر عن تحول الطاقة من صورة إلى أخرى كطاقة ميكانيكية أو طاقة حرارية... وخلافه.

وفى عام ١٨٢٤م، توصل العالم الفيزيائى الفرنسى «نيكولاس ليونارد كارنوت» من تصميم آلة حرارية وهذا الجهاز ينتج شغلاً مستمراً عند تبديل الحرارة مع الوسط المحيط، تتطلب هذه الآلة جسماً ساخناً كمصدر حرارى وجسماً بارداً لامتصاص الحرارة. وعندما تنتج الآلة الشغل، تنتقل الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد والعكس صحيح. بهذه الطريقة تعمل الثلاجات، حيث إن امتصاص الحرارة من المصدر (الفضاء البارد) يتطلب بذل شغل (عادة على هيئة قدرة كهربائية)، وأيضاً إلى تفريغ حرارى إلى الوسط المحيط.

واستناداً على أفكار «كارنوت» وضع الفيزيائى الألمانى «رودلف جيوليوس كلوسس» والانجليزى «اللورد كليفن» طرقاً أخرى مختلفة نذكر منها صيغة متكافئة لمبدأ كارنوت وهى «أن الحرارة لاتنتقل من الجسم البارد إلى الجسم الساخن دون بذل شغل على النظام»، وفى حالة النظام المعزول الذى لايتفاعل مع الوسط المحيط به، تتوزع درجات الحرارة على أجزائه الداخلية وتعيد ضبطها عند درجة حرارة منتظمة وينتج عن ذلك حالة استقرار حرارى.

ويتميز النظام الداخلى بخاصية الفوضى "Entropy" الذى صاغها لأول مرة العالم «كلوسس». وعن طريق معرفة درجة الفوضى يمكن قياس مدى قرب النظام من حالة الاستقرار. ووجد أن درجة الفوضى فى نظام معزول (مثل نظام الكون ككل) تزداد فقط.

وعندما تصل إلى حالة الاستقرار التام لايحدث أى تغيير داخلى من أى نوع بالنظام. وبتطبيق هذا المبدأ على «نظام الكون ككل» فإن درجة حرارة الفضاء تصبح منتظمة وتؤدى بذلك إلى مايسمى «حرارة الموت الكونى». وعملياً يمكن تقليل درجة الفوضى للنظام بواسطة المؤثرات الخارجية. وهذا ينطبق على الآلات الحرارية مثل الثلاجات، حيث يمكن تقليل الحرارة فى غرفة التبريد على حساب زيادة درجة الفوضى فى الوسط المحيط. وعمليات زيادة أو تقليل درجة الفوضى فى النظام تكون انعكاسية فى النظم الصغيرة (الميكروسكوبية). والانعكاسية التلقائية تؤدى ألى عودة النظام إلى الحالة الابتدائية القائم عليها بينه وبين الوسط المحيط به، بعد إزالة المؤثر الخارجى. وفى حالة انتهاك القانون الثانى للديناميكا الحرارية قد تبقى درجة الفوضى للنظام ثابتة. هذه العملية تكون حقيقية فى النظام الكبير الماكروسكوبى فقط، لكنها لاتنطبق على العمليات الخاصة بالنظم الصغيرة (الميكروسكوبية). على سبيل المثال، التفاعلات الكيميائية التى تتم بين الجزيئات الإنفرادية لاتخضع للقانون الثانى الذى ينطبق فقط على عينات ماكروسكوبية كبيرة.

وبإعلان القانون الثانى أصبح للديناميكا الحرارية تطبيقات عديدة فى مجالات الفيزياء والكيمياء والهندسة. وعمل فى هذا المجال العديد من العلماء مثل الأمريكى «ويلياردجيبس» والألمانى «والترهيرمان نيرنست».

٢ـ٥) نظرية الحركة والميكانيكا الإحصائية

فى عام ١٨٠٨م ولأول مرة نجح العالم الكيميائى الفيزيائى الإنجليزى «جون دالتون» فى وضع فروض وقواعد حديثة للذرة. واكتشف فى دراسته على العناصر الكيميائية المختلفة لمحاولة فهم المكونات الأساسية الداخلية أن هذه المكونات تعتمد علىّ نسبة ثابتة من أوزانها.

وفى عام ١٨١١م، استطاع الكيميائى / الفيزيائى الإيطالى «أميدو أفوجادرو» من فرض أن جزيئات المادة قد تتواجد فى حالة غازية عندما تكون المسافات البينية فيما بينها متباعدة. وظل هذا الفرض ولمدة خمسين عاماً حتى نال تأييد العلماء له، كما وضع «أفوجادرو» فروض نظرية الحركة للغازات، هذه النظرية تطورت فيما بعد على أيدى الفيزيائى النمساوى «لودفيج بولتزمان» عندما أمكنه تطبيق قوانين نيوتن الميكانيكية والاحتمالات على سلوك الجزيئات وهى فى حالة انفرادية. واستنبط «بولتزمان» قوانين إحصائية جديدة لوصف خصائص النظام ككل.

من أهم المشاكل الفيزيائية فى هذا الموضوع والتى تم حلها هو تعيين مدى السرعات المختلفة للجزيئات فى الغاز، وكذلك تعيين القيمة المتوسطة لطاقة حركة الجسم والتى يمكن معرفتها من القانون الثانى لنيوتن، حيث إن متوسط طاقة الحركة للجسم = نصف كتلته × مربع سرعته.

والجدير بالذكر أن من أهم الإنجازات فى نظرية الحركة هو المقدرة على معرفة درجة الحرارة للغازات. كما أن الخصائص الماكروسكوبية للديناميكا الحرارية (التى تصف النظام كوحدة كاملة) قد ارتبطت بعلاقة مباشرة مع متوسط طاقة الحركة للجزيئات. ومن الإنجازات الأخرى، تعريف درجة الفوضى للنظام عن طريق قانون الاحتمال الإحصائى لتوزيع الطاقة اللوغاريتمى. هذا القانون يبين أن حالة الاستقرار الحرارى تكون مناظرة لأكثر الاحتمالات لحدوث أقصى درجات الفوضى.

النظريات الذرية والجزيئية الأولية

كان لتطور النظرية الذرية لدالتون وكذلك القانون الجزيئى لأفوجادرو بالغ الأثر فى إضافة مفاهيم فيزيائية جديدة أدت إلى تطور علم الكيمياء ذاته.

قانون أفوجادرو:

يبين قانون أفوجادرو أن الغاز المتواجد فى حجم محدد عند درجة حرارة وضغط معينين، يحتوى على نفس العدد من الجزيئات بصرف النظر عن اختيار نوع الغاز.

وقد أمكن اثبات هذا القانون بواسطة نظرية الحركة للغازات.

ولم يحظى العلماء بالمعارف الذرية والجزيئية إلا فى بداية القرن العشرين خاصة بعد معرفة العدد الذرى الكتلى، وتعيين حجم الذرة واكتشاف الإلكترون كأحد الأجسام المكونة للذرة على أيدى الفيزيائى الأمريكى «روبرت أندروس ميليكان» ونجاحه فى تعيين مقدار شحنته السالبة بدقة عند مقدار $-١,٦ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم. وأخيراً أمكن تعيين عدد أفوجارد ووجد أن عدد الجزيئات فى كمية محدودة من المادة يساوى بالضبط وزنها الجزيئى.

وبفرض أن الذرة لها شكل كروى متماثل أمكن تحديد قطر الذرة الذى يتراوح بين $١٠^{-٧}$ إلى $١٠^{-٨}$ سنتيمتر وذلك بإجراء تجارب التشتت الاشعاعى باستخدام الأشعة السينية أو جسيمات ألفا.

المطيافية:

من أهم التطورات التى أدت إلى حدوث انقلابات فيزيائية تلو الأخرى من أجل معرفة العالم الداخلى للذرة كان «علم الأطياف». هذا العلم مرتبط بالتحليل للطيف الكهرومغناطيسى المنبعث من الذرات. ففى عام ١٨٢٣م أمكن للفلكى الإنجليزى «جون فريدريك ويليام هيرشيل» التمييز بين المواد الكيميائية المختلفة عن طريق معرفة الأطوال الموجية للضوء المنبعث منها. وفى السنوات التالية لذلك

تمكن العالمان الألمانيان «روبرت ويليهلم بانسين» و«جوستاف روبرت كيرتشوف» من تصنيف أطياف عدد كبير من المواد وتسجيلها في كتالوجات خاصة.

وفي عام ١٨٦٨م درس الفلكي الإنجليزي «جوزيف نورمان لوكير الطيف الشمسي المجهول، واكتشف أن غاز الهليوم، هو أحد العناصر الجديدة. بالإضافة إلى ذلك فقد درس بالتفصل طيف ذرة الهدروجين أبسط أنواع الذرات.

والجدير بالذكر أن الخطوط الطيفية للعناصر تكون منفصلة ويمكن شرحها بالمعارف الفيزيائية الحديثة للإلكترون.

على سبيل المثال عندما تتعرض الذرة للحرارة أو قذفها بواسطة جسيمات دون ذرية (مثل جسيمات الفا) يحدث أن تتهيج الإلكترونات بها لتحتل مناسيب طاقة مرتفعة. وبعد زوال المؤثر الخارجي تميل هذه الإلكترونات للعودة إلى مناسيب طاقية منخفضة، وتنبعث الطاقة الزائدة على هيئة اشعاع كهرومغناطيسي، قد يكون في المدى الطيفي للضوء المرئي أو في المدى غير المرئي للأشعة تحت الحمراء أو الأشعة فوق البنفسجية. وقد وجد أن الطاقة الإشعاعية المنبعثة تتناسب بشدة مع درجة الحرارة. وتختلف الكثافة الإشعاعية باختلاف الأطوال الموجية.

تقويض الفيزياء الكلاسيكية

حتى عام ١٨٨٠م، كان لدى العلماء طمأنينة وقناعة عن نجاحهم العلمي خاصة بعد تمكنهم من شرح معظم الظواهر الطبيعية في الكون بواسطة قوانين نيو تن الميكانيكية مثل نظريات ماكسويل الكهرومغناطيسية وميكانيكا بولتزمان الإحصائية والديناميكا الحرارية.. وغيرها. إلا أن بعض القضايا الهامة بقيت دون تفسير من أهمها معرفة خواص «الأثير وشرح الطيف الإشعاعي للغازات والأجسام الصلبة. وهذه الظواهر غير المشروحة كانت بمثابة بذور الثورة التي تأججت بفعل سلسلة من الملاحظات والاكتشافات المثيرة التي حدثت في الجزء الأخير من القرن التاسع عشر. على سبيل المثال، عام ١٨٩٥م اكتشف العالم الألماني «كونراد رونتجن» الأشعة السينية. وفي نفس العام اكتشف العالم الإنجليزي «جوزيف جون طومسون» الإلكترون. وفي عام ١٨٩٦م اكتشف الفيزيائي الإنجليزي «أنتوني هنري بيكريل» النشاط الإشعاعي للمواد.

وفي الفترة من ١٨٨٦م إلى ١٨٩٩م تمكن العلماء الألمان «هرتز» و«ويلهلم هالوواتش» و«فيليب ادوارد أنتون» من اكتشاف أشعة الكاثود والسيل الإلكتروني، هذه الاكتشافات تخطت في شرحها جميع النظريات للفيزياء الكلاسيكية المتاحة في ذلك الوقت.