

١) القسم الأول : الفيزياء الكلاسيكية

١-٢ نيوتن وعلم الميكانيكا

فى بداية عام ١٦٦٥م وعن عمر يناهز ٢٣ عاماً وضع نيوتن مبادئ لعلم الميكانيكا واستطاع صياغة قوانين الجاذبية الكونية والتحليل الطيفى للضوء الأبيض الذى يأتى إلينا من الشمس . واقترح نظرية للإنتشار الضوئى 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 التغيير فى السرعة عند التأثير بقوة . والعكس صحيح كلما خف الجسم إزداد التغيير فى السرعة عند التأثير بقوة .

أما القانون الثالث لنيوتن فيوضح ببساطة أن «لكل فعل رد فعل يساويه فى المقدار ويضاده فى الاتجاه» . وبالتالي 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.

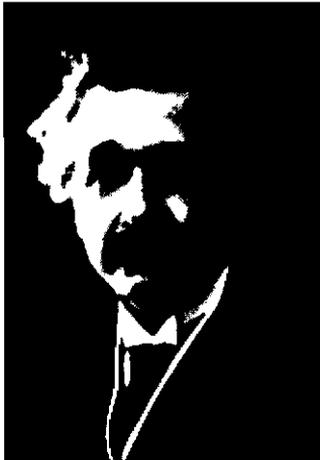
(ج) القوة النووية الضعيفة.

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 الجاذبية» 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 يفتن لها أحد من قبل حتى تمكن العالم الفيزيائى «ألبرت اينشتين» من إعلان نظرية النسبية ونجاحه فى التمييز بين مجال الجاذبية والإطار المرجعى للتمسار.



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



وقوة الجاذبية هي أضعف القوى الطبيعية الأربعة سالفة الذكر، خاصة عندما نأخذ في الاعتبار دراسة الأجسام الأولية دون الذرية. على سبيل المثال، قوة الجاذبية بين بروتونين (باعتبارهما من الجسيمات الأولية الثقيلة) وعند أى مسافة معطاة تقدر بـ 10^{-35} مرة مقدار القوة تعتبر صغيرة جداً بالمقارنة بقوة التفاعل النووي الشديدة بين البروتونين داخل النواة فى الذرة. والجاذبية تظهر بقوة فى المقياس الميكروسكوبى لاعتبارين هما :

١) معرفة نوع وحيد للكتلة يؤدي إلى نوع محدد للقوة هى قوة الجذب. والعديد من الأجسام الأولية والتي يتشكل منها الأجسام الكبيرة مثل الأرض تبين التأثير التراكمى لقوى الجاذبية والتي 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 10^{-12} جزءاً من السنتمتر.

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.

٢-٢ 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 دنىس بواسون والألمانى كارل فريدريك من تطوير طريقة نظرية لحساب تأثير عدد من الشحنات الاستاتيكية (الساكنة فى حالة توزيع اختياري) . 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 أحدها بشحنة كهربية موجبة والنهية الأخرى تحتفظ بشحنة كهربية سالبة ويتم ذلك من خلال الخصائص الداخلية للبطارية . وعند توصيل هذه النهايات بالسلك الكهبرى ، 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 الدانماركى هانس كريستين أوريستد الإبرة المغناطيسية والتي 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 فاراداي 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 الكهربائية المتحركة تولد مجالات مغناطيسية. وال مجالات الكهربائية 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 إحدائى 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 فاراداي، ولد في لندن بإنجلترا عام (١٧٩١م)

هذا المجال ينتج عن طريق تسارع الشحنات . والمجال الكهرومغناطيسي ينتشر في الفراغ بسرعة الضوء على هيئة موجات كهرومغناطيسية . ووجد أن شدة المجال تتبع قانون التربيع العكسي، أي أن شدة المجال تقل بزيادة مربع المسافة عن المصدر .

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

ويتشابه السلوك الموجي 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 والتي 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 الموجي الذى يساوى ناتج القسمة بين السرعة الموجية والتردد .

وفي حالة المجال الكهرومغناطيسي، يمكن للمرء أن يفكر في التغيير في شدة المجال الكهربائي كما يحدث في حالة الوتر، ويمثل المجال المغناطيسي عند اتجاه الزاوية اليمنى لهذا المجال الكهربائي. والمعروف الآن أن الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر بعيداً عن المصدر بسرعة تساوي سرعة الضوء.

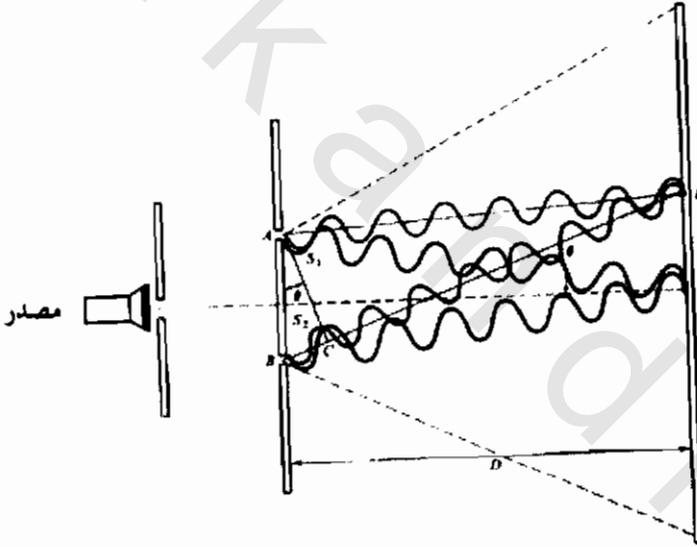
٣.٢ طبيعة الضوء

منذ القدم، عرف الإنسان الإنتشار الخطي 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 العربي الحسن بن الهيثم وذلك بتأكيد أن الضوء ينعكس من الأجسام إلى العين وليس العكس. ولم تعط أي من النظريات الضوئية أي تفسير مقنع لظهور واختفاء وتغير السرعة والاتجاه لهذه الجسيمات عند مرورها خلال الأوساط المختلفة. وفي القرن السابع عشر، طرح نيوتن بعض الإجابات الجزئية لهذه الأسئلة. فقد وضع فروض نظرية الجسيمات الدقيقة للضوء. وقد تمكن العالمان الإنجليزي روبرت هول والهولندي كريستيان هيجنز من وضع فروض النظرية الموجية للضوء. ولم يتم بالبرهان العملي للتمييز بين هاتين النظريتين إلا مع بداية القرن التاسع عشر على يد العالم الفيزيائي الإنجليزي «توماس يانج».

وتجربة يانج للتداخل الضوئي يمكن إجراؤها بوضع شريحة رقيقة أو شريحتين متباعدين أمام المصدر الضوئي. 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 والتي تأتي من نفس المصدر الضوئي وتصل إلى الشاشة من خلال الشريحتين لا يمكن أن ينتج عنها شدة إضاءة مختلفة عند أماكن مختلفة من الشاشة. ولا يمكن أن يلغى بعضهما البعض عند البقع المظلمة. أما إذا كانت طبيعة الضوء هي الموجات الضوئية، فيمكن أن ينتج عنها هذا التأثير. في هذه الحالة، وكما فرض العالم هيجنز تصبح كل نقطة على الشريحتين كمصدر ضوئي ثانوي وينبعث الضوء في جميع الاتجاهات وتصل نبضات متواصلة (ترلات) من الموجات إلى شاشة الاستقبال في أطوار مختلفة، يعتمد ذلك على اختلاف المسار لهذا التراتل الموجية. فيصبح التداخل بناءً عندما تتقابل الموجات بنفس الطور ويصبح التداخل هداماً (إظلام) عندما تتقابل الموجات في أطوار متعاكسة. وظهور البقع المضيئة يعاني من تغير منتظم عند تتابع الموجات ووصولها في حالة عدم توافق طوري وتخفت الاستضاءة حتى تختفي ثم تتابع الموجات المتوافقة في الطور في الوصول إلى الشاشة ويحدث ارتفاع في شدة الاستضاءة حتى تظهر البقعة المضيئة الثانية.. وهكذا. ولا يمكن للعين المجرد من

متابعة سرعة الومضات التي تقدر في حالة الضوء المرئي بتردد 4×10^{14} هرتز إلى $5,5 \times 10^{14}$ هرتز (١ هرتز = ١ دورة لكل ثانية). وبالرغم أن التردد الموجي لهذه الومضات لا يمكن قياسها مباشرة، إلا أن التردد يمكن تعيينه بقياس الطول الموجي وسرعة الموجة. ويقاس الطول الموجي بمعرفة المسافة التي تفصل الشريحتين وكذلك المسافة بين البقع المضيئة المتتالية على شاشة الاستقبال والتي وجد أنها تقدر بـ 4×10^{-5} سنتيمتر للضوء البنفسجي و $5,5 \times 10^{-5}$ سم للضوء الأحمر وبينهما يمكن تقدير الطول الموجي لألوان الطيف الضوئي الأخرى.

شاشة استقبال



تجربة ياغ للتداخل الضوئي باستخدام شريحة تحتوي على ثقبين

أما بالنسبة لقياس سرعة الضوء، فقد نجح الفلكي الدانماركي أولوس رومير عام ١٦٧٦م من قياس سرعة الضوء لأول مرة، وتم ذلك بمتابعة ظهور أقمار كوكب جيوپتر ومعرفة التغير في المسافة بين كوكبي الأرض وجيوپتر. وبمعرفة الفرق الزمني اللازم لوصول الضوء للأرض أمكن تعيين سرعة الضوء.

والمثير في الموضوع أن هذه النتائج تتفق إلى حد كبير مع الطريقة الحديثة للعالم الفرنسي أرماند هيبوليت لويس فيزو والعالم الفيزيائي الأمريكي إبراهيم ميكلسون، ونعرف اليوم أن سرعة انتشار الضوء في الفراغ تساوي $299792,6$

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

والجدير بالذكر أن أعمال «ماكسويل» قد ساهمت في فهم طبيعة الضوء، وتبين أن الضوء هو موجات كهرومغناطيسية، كما يتذبذب المجالان الكهربائي والمغناطيسي في موجات ضوئية. وتنبأ «ماكسويل» بوجود الضوء غير المرئي في مدى الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية. ومن المعروف الآن، أن الطيف الكهرومغناطيسي يغطي المدى الموجي لأشعة جاما بطول موجي ١٠-١٢ سنتيمتر ثم الأشعة السينية، فالضوء المرئي، ثم الموجات الدقيقة فموجات الراديو والتي يتعدى طولها الموجي عدة مئات من الكيلومترات. وقد أمكن دراسة خصائص المواد واعتمادها على التأثيرات الكهربائية والمغناطيسية من خلال العلاقة الرياضية التي تربط بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته خلال الوسط.

وفي الحقيقة، لم تحدد أعمال «ماكسويل» كيفية انتقال الضوء والموجات الكهرومغناطيسية الأخرى في 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 هي موجات مستعرضة تتذبذب في إتجاه عمودي على إتجاه 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.

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

وكانت نتائج التجربة مختلفة وتعتمد على كيفية انتقال الضوء في إتجاه عمودي على حركة الأرض أو إتجاه الحركة الأرضية ذاتها.

وتختلف النتائج بتغير درجة التداخل الضوئي. وفي عام ١٩٠٥م بعد صياغة العالم «البرت اينشتين» نظرية النسبية أمكن تنفيذ طريقة ميكلسون - مورلي لقياس سرعة الضوء بدقة فائقة.

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

٤-٢ الديناميكا الحرارية

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

تختلف الأحاسيس عند لمس الأجسام الساخنة والأجسام الباردة، مما يؤدي إلى المعرفة الأولية عن مفهوم درجة الحرارة. ويؤدي إضافة حرارة إلى الجسم إلى زيادة درجة حرارته (بحيث لاتصل هذه الحرارة إلى درجة انصهار أو غليان الجسم). أما في 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 السائل. بينما تسخين غاز ما موجود في حجم محدد يزيد من ضغطه. وبذلك تمكن العلماء من تحديد طرق مختلفة لقياس درجة الحرارة بمعرفة الخصائص الفيزيائية للمواد، كما هو الحال عند استعمال الترمومتر الزئبقي التقليدي.

وطور العلماء بعض الطرق الرياضية لدراسة الخصائص الفيزيائية للمواد. وتمكن العالم الفيزيائي الإنجليزي روبرت بويل من وضع صيغة رياضية للربط بين درجة الحرارة لجسم ما (أو نظام ما) وخصائصه الفيزيائية، وابتكر ما يسمى «بمعادلة الحالة». ففي حالة الغاز المثالي، تربط معادلة الحالة ضغط الغاز (P) وحجمه (V) وعدد جزئياته في 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 جاي 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.

وفي عام ١٧٩٨م استطاع العالمان الفيزيائيان الأمريكي «بنيامين تومسون» والإنجليزي «كونت فون رومفورد» من الربط بين الحرارة وأشكال أخرى من الطاقة. ووجد أن الحرارة المتولدة في المدافع تتناسب تقريباً مع مقدار الشغل المبذول. وكما هو معروف رياضياً فإن مقدار الشغل هو حاصل ضرب القوة المؤثرة على الجسم في المسافة التي يتحركها الجسم تحت تأثير القوة.

أواسط القرن التاسع عشر تمكن العلماء الألمان «هيرمان لودفيج فيرديناند فون هيلمهولتز» والإنجليزيان «ويليام تومسون» و«بارون كيلفن» من شرح

الحرارة ودرجة الحرارة

القانون الأول للديناميكا الحرارية

معامل التكافؤ الحرارى والميكانيكى والذى يربط بين كمية الحرارة والشغل المبذول على النظام. وطبقاً لمبدأ التكافؤ فإن الشغل المبذول على النظام يؤدي 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.

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

القانون الثانى للديناميكا الحرارية

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 جيبوليسوس كلوسس» والإنجليزى «اللورد كليفتن» طرقاً أخرى مختلفة نذكر منها صبغة متكافئة لمبدأ كارنوت وهى «أن الحرارة لا تنتقل من الجسم البارد إلى الجسم الساخن دون بذل شغل على النظام»، وفى حالة النظام المعزول الذى لا يتفاعل 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 لا يحدث أى تغيير داخلى من أى نوع بالنظام. وبتطبيق هذا المبدأ على «نظام الكون ككل» فإن درجة حرارة الفضاء تصبح منتظمة وتؤدى بذلك إلى ما يسمى «حرارة الموت الكونى». وعملياً يمكن تقليل درجة الفوضى للنظام بواسطة المؤثرات الخارجية. وهذا ينطبق على الآلات الحرارية مثل الشلاجات، 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 إلى 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 لا تنطبق 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 «ويليارد جيبس» والألمانى «الترهيرمان نيرنست».

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 محاولة فهم المكونات الأساسية الداخلية أن هذه المكونات تعتمد على 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.

٥.٢) نظرية الحركة والميكانيكا الإحصائية

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

والجدير بالذكر أن من أهم الإنجازات فى نظرية الحركة هو المقدرة على معرفة درجة الحرارة للغازات . كما أن الخصائص الماكروسكوبية للديناميكا الحرارية (التي 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 .

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

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 أيدي الفيزيائى الأمريكى «روبرت أندروس ميليكان» ونجاحه فى تعيين مقدار شحنته السالبة بدقة عند مقدار 1.6×10^{-19} 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 10^{-7} إلى 10^{-8} سنتيمتر وذلك بإجراء تجارب التشتت الاشعاعى باستخدام الأشعة السينية أو جسيمات ألفا .

من أهم التطورات التى أدت إلى حدوث انقلابات فيزيائية تلو الأخرى من أجل معرفة العالم الداخلى للذرة كان «علم الأطياف» . هذا العلم مرتبط بتحليل اللطيف الكهرومغناطيسى المنبعث من الذرات . ففي عام 1823م أمكن للفلكى الإنجليزى «جون فريدريك ويليام هيرشيل» التمييز بين المواد الكيميائية المختلفة عن طريق معرفة الأطوال الموجية للمضوء المنبعث منها . وفى السنوات التالية لذلك

النظريات الذرية والجزيئية الأولية قانون أفوجادرو :

الطيفية :

تمكن العالمان الألمانيان «روبرت ويلهلم بانسين» و«جوستاف روبرت كيرتشفوف» من تصنيف أطيف 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 الهيدروجين 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 تتهيح الإلكترونات بها لتحتل مناسب طاقة مرتفعة. وبعد زوال المؤثر الخارجى تميل هذه الإلكترونات للعودة إلى مناسب طاقة منخفضة، وتنبعث الطاقة الزائدة على هيئة اشعاع كهرومغناطيسى، قد يكون فى المدى الطيفى للضوء المرئى أو فى المدى غير المرئى للأشعة تحت الحمراء أو الأشعة فوق البنفسجية. وقد وجد أن الطاقة الإشعاعية المنبعثة تتناسب بشدة مع درجة الحرارة. وتختلف الكثافة الإشعاعية باختلاف الأطوال الموجية.

حتى عام ١٨٨٠م، كان لدى العلماء طمأنينة وقناعة عن نجاحهم العلمى خاصة بعد تمكنهم من شرح معظم الظواهر الطبيعية فى الكون بواسطة قوانين نيوتن 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 الإشعاعى للغازات والأجسام الصلبة. وهذه الظواهر غير المشروحة كانت بمثابة بذور الثورة التى تأججت بفعل سلسلة من الملاحظات والاكتشافات المثيرة التى حدثت فى الجزء الأخير من القرن التاسع عشر. على سبيل المثال، عام ١٨٩٥م اكتشف العالم الألمانى «كونراد رونتجن» الأشعة السينية. وفى نفس العام اكتشف العالم الإنجليزي «جوزيف جون طومسون» الإلكترون. وفى عام ١٨٩٦م اكتشف الفيزيائى الإنجليزي «أنتونى هنرى بيكريل» النشاط الإشعاعى للمواد.

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

تقويض الفيزياء الكلاسيكية