الأول: مدار كل كوكب هو عبارة عن قطع ناقص بيضاوي الشكل تقع الشمس في إحدى بؤره (القطع الناقص له بؤرتان مناظرتان لمركز الدائرة).

الثاني: الخط الواصل بين الكوكب والشمس – وهو خط وهمي– يغطي مساحات متساويةً في الأوقات المتساوية.

الثالث: يتناسب مربع مدة الدورة المدارية للكوكب تناسباً طردياً مع المحور الطويل لمداره الإهليلجي مرفوعاً إلى القوة الثالثة (الأس 3).

ومن المثير للدهشة أن كبلر قام باكتشافاته قبل صياغة نظرية الجاذبية النيوتونية (مع العلم بأن الجاذبية هي القوة المسؤولة في الحالتين)، وكان هذا بسبب الوقت الذي قضاه كبلر في العمل مع الفلكي الدنماركي تايكو براهي Tycho Brahe، وقد اشتهر براهي بملاحظاته الدقيقة لمواقع الكواكب والتي استفاد منها كبلر في صياغة معادلاته.

الحرارة

درجة الحرارة والضغط:

الديناميكا الحرارية هي الفرع من الفيزياء الذي يعنى بكيفية انتقال الطاقة ومعالجتها عبر الحرارة، واستخدامها لعمل شيء مفيد، ويعد من الخصائص الأساسية درجة الحرارة: حيث تنتقل الطاقة الحرارية من المنطقة ذات درجة الحرارة الأعلى إلى المنطقة ذات درجة الحرارة الأقل، وطبقاً لقانون إسحاق نيوتن المسمى قانون التبريد فإن معدل الانتقال يتناسب طردياً مع الفرق بين درجتي حرارة المنطقتين؛ لذا فإن كوباً من القهوة الساخنة يفقد حرارته بشكل أسرع من كوب القهوة الفاترة.

أما الضغط فهو متغير مهم آخر، عندما يتم تسخين غاز داخل وعاء فإن الغاز يمارس قوةً على جدران الوعاء، لكن القوة الكلية تعتمد على حجم الوعاء. الضغط ببساطة هو القوة الكلية مقسومةً على مساحة جدران الوعاء، ويقاس الضغط بوحدة نويتن/ م^2 المعروفة بوحدة باسكال، نسبةً إلى الرياضي الفرنسي (بليز باسكال Blaise Pascal) الذي عاش في القرن السابع عشر.

النظرية الحركية:

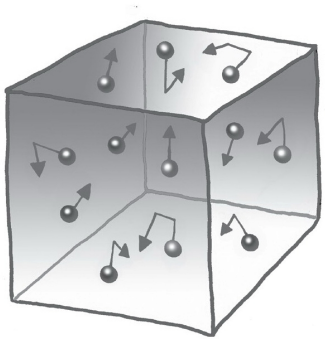
تعد النظرية الحركية طريقة لوصف الخصائص الحرارية للمواد – خصوصاً الغازات– على النطاق الواسع من ناحية حركة الجسيمات المكونة منها، خصوصاً الذرات أو الجزئيات.

تندفع الجسيمات داخل الغاز بشكل عشوائي حول بعضها البعض. وتقوم الفكرة الأساسية للنظرية الحركية على مساواة الطاقة الحرارية للغاز بمجموع الطاقات الحركية لكل هذه الجسيمات المتذبذبة، وهذا يعني إنه كلما ازدادت سخونة الغاز ازداد معدل سرعة حركة هذه الجسيمات، وازدادت قوة ارتطامها ببعضها، وبجدران الوعاء الذي يحتوي الغاز؛ وبالتالي زيادة درجة الحرارة والضغط. وقد تطابقت التوقعات الحسابية للنظرية الحركية مع التجارب العملية. وتقول النظرية الحركية أن هناك حداً أدنى من درجة الحرارة، حيث تصل الطاقة الحركية للجسيمات إلى الصفر، وهذه الدرجة هي °237 حيث لا يمكن لأي شيء أن يصبح أكثر برودةً من ذلك.

وقد تم وضع أساسات النظرية الحركية بواسطة الرياضي السويسري (دانييل برنولي Daniel Bernoulli) عام 1738، وتم تطويرها بعد ذلك في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، وكان العلماء آنذاك على بداية الطريق لاكتشاف النظرية الأقوى من هذه – نظرية الميكانيكا الإحصائية.

التمدد الحراري:

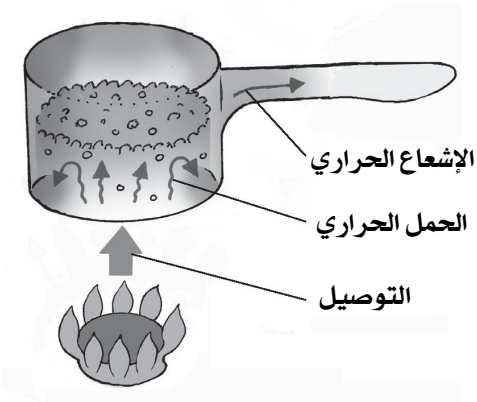
بشكل عام، تميل المواد عند تسخينها إلى أخذ حجم أكبر، وتعرف هذه الخاصية للمادة بالتمدد الحراري. وتفسر النظرية الحركية هذه خاصية التمدد الحراري: عندما يتم تسخين المادة، فإن التصادمات بين الجسيمات المكونة لها تصبح أقوى وأعنف منها لو كانت باردةً، ومع الارتدادات الكثيرة الحادثة بعد التصادمات يزداد متوسط المسافة بين الجسيمات؛ مما يؤدي إلى تمدد المادة.



ومن الممكن فهم التمدد وتوقعه بشكل أفضل رياضياً، وهذا مفيد بشكل خاص للمهندسين الذين

يعملون على تصميم تركيبات تحتاج للعمل في نطاق من درجات الحرارة. على سبيل المثال، الجسور تحتوي على وصلات توسعة منزلقة تجعلها تحتمل كلاً من برودة الشتاء وحرارة الصيف دون أن تنكسر أو تتجعد.

التوصيل والحمل:



تنتقل الطاقة الحرارية من الجسم الساخن إلى الجسم البارد بإحدى ثلاث طرق: التوصيل، والحمل، والإشعاع الحراري.

يحصل التوصيل عندما تصطدم جسيمات ساخنة (وبالتالي سريعة الحركة) في مادة مع جسيمات ذات درجة حرارة أقل منها، وينقل التصطادم الطاقة الحركية للجسيمات الأبرد فتصبح ساخنة، مما يؤدي إلى انتشار الحرارة خلال المادة.

وعلى الطرف الآخر فإن الحمل يحدث فقط في الغاز أو السائل. في الغاز الساخن يقوم التمدد الحراري بالتقليل من كثافة الغاز وزيادة طفوه (حسب مبدأ أرشميدس)، وهذا يجعل الغاز يرتفع – وهذا هو السبب في طيران مناطيد الهواء الساخن – وفي الوقت نفسه ينزل الهواء البارد للأسفل (لنفس السبب لكن بالعكس)، وتستمر هكذا دورة الحمل التي قد تشاهدها في حلة من الماء أو في فرن.

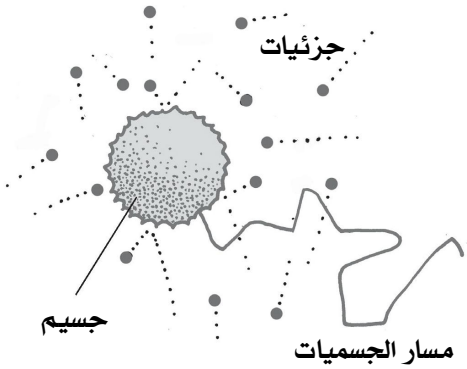
الحركة البراونية:

الجسيمات التي تنتشر في غاز أو سائل تخضع في حركتها لما يعرف بالحركة البراونية نسبة إلى مكتشفها عام 1827: الفيزيائي روبرت براون Robert Brown.

كانت ملاحظة براون الأصلية لمجموعة من الجسيمات الدقيقة الموجودة في فراغات تسمى تجويفات داخل حبوب اللقاح تحت المجهر، رأى براون هذه التجويفات تهتز كما لو أن قوةً

غير مرئية تقوم بصدمها، وبعد ذلك لاحظ التأثير نفسه عندما قام بتفحص حركة جسيمات الهباء (الغبار).

وفي عام 1905 قام ألبرت آينشتاين Albert Einstein بتفسير الحركة البراونية، حيث قال أن الحركة نتجت عن ضربات تلقتها حبوب اللقاح من الذرات والجزيئات التي في الهواء، والتي تتحرك حسب النظرية الحركية. وقام آينشتاين بحساب المسافة التي تتحركها الجسيمات بعد كل ضربة تتلقاها، وقد تطابقت توقعاته مع الملاحظة. وقد أصبح اكتشاف براون وتفسير آينشتاين معاً واحداً من التأكيدات المبكرة على وجود الذرات.



التوازن الثيرموديناميكي:

يكون النظام في حالة توازن ثيرموديناميكي عندما تكون خصائصه الثيرموديناميكية – كالحرارة– ثابتة مع الزمن، أي أنها توقفت عن التطور حرارياً. مثال بسيط على ذلك: دلو من الثلج موضوع في غرفة دافئة، عندما ينصهر الثلج يكون قد امتص حرارةً من الغرفة، فترتفع بذلك درجة حراراته وتنخفض درجة حرارة الغرفة حتى تقترب الدرجتان من درجة واحدة، هذا هو التوازن الثيرموديناميكي.

الإنتروبية:

الإنتروبية هي كمية تستخدم في قياس معدل الطاقة الموجودة في النظام والجاهزة لأداء شغل مفيد. ازدادت الإنتروبية كلما قلت قدرة النظام على أداء أي شغل، فأداء الشغل يلزمه أن يكون النظام خارج حالة التوازن الثيرموديناميكي، تخيل نظاماً من مصدر للحرارة ومكبس بداخله غاز بارد، تتدفق الحرارة من المصدر إلى المكبس مسببة تمدد الغاز وحركة ذراع المكبس مما يعني أداء شغل، ولكن إذا كان النظام في حالة توازن

ثيرموديناميكي فلن يتم أداء أي شغل. وهناك طريقة أخرى للتفكير في مفهوم الإنتروبية: وهي ربطه بدرجة الفوضى في النظام، فمثلاً المكتب المرتب الذي فيه كل شيء مكدس في أكوام أنيقة وجميلة يعد ذا إنتروبية قليل، أما المكتب الذي فيه كل شيء مبعثر بشكل فوضوي فيعد ذا إنتروبية مرتفع.

قوانين الديناميكا الحرارية:

كما أن الديناميكا والكينماتيكا تعطي قوانين رياضيةً تحكم أنظمة ميكانيكية، فإن هناك أربعة قوانين رئيسة تحكم سلوك النظام الثيرموديناميكي.

يقول القانون الصفري (وسمي بذلك لأنه تمت صياغته بعد القوانين الثلاثة الأخرى، لكنه أساسي أكثر منها): إذا كان لدينا ثلاثة أنظمة حرارية هي A,B,C، وكانت الأنظمة A,B في حالة توازن ثيرموديناميكي، وكذلك كانت B,C في حالة توازن ثيرموديناميكي، فإن النظامين A,C يعدان في حالة توازن ثيرموديناميكي.

أما القانون: الأول فهو تقرير لقانون حفظ الطاقة، حيث يقول أن التغير في الطاقة الثيرموديناميكية الكلية لنظام ما تساوي الطاقة الحرارية التي وضعت في النظام مطروحاً منها الشغل الذي يبذله النظام.

ويقول القانون الثاني: أن الإنتروبية دائماً تزداد، بعبارة أخرى: الأنظمة الثيرموديناميكية حتماً تتحرك باتجاه التوازن، وبالتالي تتضاءل مقدرتها على أداء شغل مفيد.

وينص القانون الثالث: على أن درجة حرارة الصفر المطلق (-273 حسب تحديد النظرية الحركية) تكون الإنتروبية عندها أقل ما يمكن، وبضم هذا القانون إلى القانون الثاني ينتج لدينا أن الإنتروبية تزداد بازدياد درجة الحرارة.

الميكانيكا الإحصائية:

تعد امتداداً للنظرية الحركية للغازات، حيث تتناول الميكانيكا الإحصائية خصائص جسيمات المادة بشكل فردي وتطبق عليها قوانين الإحصاء الرياضي المعقدة لتستخلص نتائج عن الخصائص الثيرموديناميكية الواسعة (الهائلة) للمواد.

بالنسبة للأنظمة ذات الجسيمات الكبيرة يتم تطبيق قانون الميكانيكا الإحصائية الخاصة بماكسويل وبولتيزمان، أما في الجسيمات الأصغر منها فينبغي استخدام فيزياء الكم، وتعرف هذه النظريات الإحصائية الكمية بأسماء: إحصائيات (بوز- آينشتاين Bose-Einstein) و(فيرمي- دايراك Fermi-Dirac) على التوالي، اعتماداً على الغزل الكمي للجسيمات قيد الدراسة. وقد ساعدت الميكانيكا الإحصائية الفيزيائيين على اكتشاف التركيب الداخلي للنجوم الميتة المعروفة باسم (الأقزام البيضاء)، كما تصف بشكل صحيح سلوك الإشعاع الحراري الذي تطلقه الأجسام الساخنة.

الإشعاع الحراري:

قف في أي مكان بالقرب من موقد مشتعل، ستدرك أن الأجسام الساخنة تبعث حرارتها على شكل إشعاع، وفي الواقع فإن أي شيء حرارته أعلى من الصفر المطلق يبعث إشعاعاً حرارياً. وتتوقع الحسابات التي تستخدم الميكانيكا الإحصائية مقدار الطاقة المنبعثة من جسم ساخن عند كل تردد على طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي، وتتوقع النظرية أن هذا يأخذ منحنى ذا قمة يقل فيه الطول الموجي للقمة مع درجة حرارة الجسم الباعث.

عندما يتم تسخين جسم قضيب معدني في النار ليصل إلى مئات الدرجات السيلسيزيوسية فإنه يتوهج بضوء مرئي (عادةً ما يكون أحمر أو برتقالياً)، وكذلك تبعث كل الأجسام إشعاعاً له قمة تقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي؛ وهذا يفسر استخدام الجنود لمناظير الأشعة تحت الحمراء ليروا بها في الليل. ويكمن الفرق بين الإشعاع الحراري وكل من التوصيل والحمل في أن الإشعاع الحراري ينتقل عبر الفراغ؛ وهذا يفسر انتقال أشعة الشمس عبر الفراغ ووصولها إلى الأرض.

السعة الحرارية:

أضف حرارةً إلى أية مادة وسوف تصبح المادة أسخن، وبالأسلوب العلمي: سوف تزداد درجة حرارتها، لكن كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة الحرارة - بمقدار درجة واحدة مثلاً - تختلف من مادة لأخرى، وهذا - حسب النظرية الحركية- لأن درجة

الحرارة تعد من خصائص الطاقة الحركية **للذرات أو الجزيئات** في المادة، حيث تتجمع الذرات أو الجزيئات حول بعضها البعض، ولكن في الجزيئات المعقدة لا تتحول الطاقة الممتصة كلها إلى حركة، بعضها - على سبيل المثال- يتسبب في حدوث اهتزازات في الروابط الداخلية التي تكون الجزيء.

وتعد السعة الحرارية طريقةً لقياس كمية الطاقة الحرارية الممتصة التي تتحول إلى طاقة حركية في المادة مؤديةً إلى رفع درجة حرارتها (وتقاس بوحدة جول لكل درجة لكل كيلوجرام).

المـادة

المواد الصلبة، والسائلة، والغازية:

توجد المادة بحالات ثلاث رئيسة: الحالة الصلبة، والسائلة، والغازية، وتمر المادة بهذه الحالات - بهذا الترتيب - بازدياد درجة حرارتها، فالماء الذي درجة حرارته أقل من صفر سيليزيوسية هو صلب (ثلج)، فإذا كانت درجة حرارته بين الصفر والمائة كان سائلاً، أما إذا كان فوق المائة فهو غاز (بخار)، وهذا يحدث لأن درجة الحرارة - أو لنقل: الحركة الدؤوب لجسيمات المادة (حسب النظرية الحركية)- تكسر الروابط الموجودة بين الذرات والجزيئات والتي تجعل المادة صلبةً.

تعد الحالة الصلبة الأكثر انتظاماً من بين حالات المادة، فجزيئاتها الأساسية موجودة في شبكة منتظمة، وعلى النقيض منها الغازات، فالغازات ليس في ذراتها أو جزيئاتها انتظام، فالغاز يتمدد حتى يملأ الوعاء الموجود فيه، وتقبع السوائل بين المواد الصلبة والغازات؛ إذ أنها ليس فيها البناء الصلب الذي في المواد الصلبة، لكن القوى التي تربط بين الجسيمات فيها ما زالت قادرة على إمساك تكتلات من الذرات أو الجزيئات معاً والحفاظ على الترتيب إلى حد ما.