



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة ديالى

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء / المرحلة الأولى

العام الدراسي 2025 – 2026

محاضرات

الحرارة وخواص المادة

مدرس المادة

أ. د انتصار كاظم عبد

درجة الحرارة The Temperature:

يعد مفهوم درجة الحرارة من المفاهيم الأساسية في الفيزياء ، شأنه شأن المفاهيم الأساسية الأخرى كالقوى مثلاً. وعلى الرغم من أن الجميع يملك فكرة واضحة أو تصوراً معيناً عن معنى هذا المفهوم وذلك بدلالة إحاسيسه ، إلا أن مفهوم درجة الحرارة ليس سهلاً التعريف والتحديد بدقة. لذلك لابد لنا من معرفة ماهي الحرارة ودرجة الحرارة.

الحرارة : Heat هي شكل من أشكال الطاقة التي ترافق حركة الجزيئات أو الذرات أو أي جسيم يدخل في تركيب المادة (النواة أو مكوناتها). ويمكن الحصول على الحرارة إما بطرق فيزيائية مثل الاحتكاك أو تهيج جزيئات المادة، أو بطرق كيميائية مثل الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية والاحتراق والتفاعلات النووية وغيرها. والحرارة طاقة قابلة للانتقال بطرق مختلفة مثل الإشعاع والحمل والتوصيل. ولا يمكن للحرارة أن تنتقل بين جسمين إلا في حالة اختلاف درجة حرارتهما.

درجة الحرارة Temperature : يعتبر من المفاهيم الأساسية في الفيزياء متمثلة بالطاقة المنتقلة بسبب وجود فرق في درجة الحرارة بين جسمين والتي تنتقل ذاتياً من الجسم الأكثر سخونة إلى الجسم الأقل سخونة بمعنى آخر هي (مقياس لدرجة سخونة الجسم). ودرجة الحرارة هي الطاقة التي يتم قياسها باستخدام أداة تسمى "مقياس الحرارة" (thermometer)، والتي تأتي من الكلمتين اليونانيتين "thermos" (ساخن) و"metron" (قياس). وتقاس وفق أجهزة خاصة تسمى موازين الحرارة (المحاريير) والتي يمكن معايرتها لإظهار تدرجات مختلفة للحرارة. وهناك أنظمة عديدة لقياس درجة الحرارة ولكن النظام الأكثر شيوعاً بينها هما درجة الحرارة المطلقة (كلفن K) ودرجة الحرارة المئوية (السييليزية °C).

اسس قياس درجة الحرارة: Principles of Temperature Measurement

تسمى الاجهزة المستخدمة لقياس درجة الحرارة بالمحارير والتي تعتمد على تغير الخواص الفيزيائية للمادة، وتتغير هذه الخواص مع تغير درجة الحرارة. ومن هذه الخواص حجم المادة ومقاومة السلك الكهربائية وطول الساق المعدني وضغط الغاز المحفوظ تحت حجم ثابت وحجم الغاز المحفوظ تحت ضغط ثابت ولون سلك التسخين في المصباح الكهربائي، وغيرها. لقد استعان العلماء على العلاقة بين اي من هذه الخواص الفيزيائية ودرجة الحرارة في بناء مقياس مناسب لدرجة الحرارة (المحرار)

وان بناء اي مقياس لدرجة الحرارة يعتمد على عدة عوامل تعتمد على الاختيارات التالية:

- اختيار المادة المحرارية المناسبة.
- اختيار الصفة المحرارية المناسبة لتلك المادة.
- افتراض ان الصفة المحرارية المختارة تتغير باستمرار مع تغير درجة الحرارة.
- اختيار المدى المناسب لدرجات الحرارة التي يراد قياسها باستمرار.

مقاييس درجة الحرارة: The Temperature Scales

هناك ثلاثة مقاييس رئيسية لدرجة الحرارة وهي :

1. المقياس الفهرنهايتي: $^{\circ}\text{F}$ The Fahrenheit Scale

2. المقياس المئوي (السيليزي): $^{\circ}\text{C}$ The Celsius(Centigrade)Scale

3. المقياس المطلق (الكلفن): K The Kelvin Scale

1. المقياس الفهرنهايتي: °F The Fahrenheit Scale

كشف "دانييل غابرييل فهرنهايت" -الفيزيائي الهولندي عن مقياس حرارة يعتمد على الزئبق. والزئبق معدن سائل يتمدد ويتقلص بناء على درجة الحرارة المحيطة ،ان مقياس فهرنهايت أول مقياس درجة حرارة موحد يتم استخدامه على نطاق واسع.

عندما وضع فهرنهايت الزئبق في أنبوب مغلق مميز بمقياس مرقم، رأى الزئبق يرتفع وينخفض عندما تعرض لدرجات حرارة مختلفة. وكان هذا أول مقياس حرارة عملي ودقيق معروف في العالم، وفقا لـ"الجمعية الملكية" (The Royal Society) في المملكة المتحدة.

تمت معايرة مقياس فهرنهايت لجعله أكثر دقة (ان مسافة درجة الحرارة الفهرنهايتية على المقياس تساوي $(\frac{5}{9})$ مسافة درجة الحرارة السليزية). حيث تم تحديد نقاط التدرجة انجماد الماء عند 32 ودرجة غليان الماء عند 212 درجة فهرنهايت. كما ويتم التعبير غالبا عن درجات الحرارة بالفهرنهايت كرقم متبوعا بـ (°F) أو ببساطة "إف" "F".

2. المقياس المئوي (السليزي): °C The Celsius(Centigrade)Scale

اقترح سيلزيوس مقياسا يعتمد على نقطتين ثابتتين، الصفر كنقطة لغليان الماء و100 كنقطة لتجمد الماء. إلا أنه بعد وفاة سيلزيوس ، اقترح كارل ليننيوس عالم التصنيف السويدي الشهير تبديل النقاط الثابتة، حيث يشير صفر إلى نقطة تجمد الماء وتشير 100 إلى نقطة الغليان، وتم تمديد المقياس أيضا ليشمل الأرقام السالبة.

أطلق سيلزيوس على مقياسه في البداية "درجة مئوية" (Centigrade) وهي مشتقة من اللاتينية (Centi) وتعني "مئة" و(grade) وتعني درجة، وذلك لأن هناك مئة نقطة بين الماء المتجمد والغليان. إلا أنه في عام 1948 قام مؤتمر دولي حول الأوزان والمقاييس بتغيير الاسم إلى "سيلزيوس" (Celsius) تكريما لأندرس سيلزيوس .

ويمكن التعبير عن درجات الحرارة في مقياس سيلزيوس في صورة عدد من الدرجات متبوعة بالرموز ($^{\circ}\text{C}$)، أو ببساطة "سي" (C). وللمقارنة بين مقياس سيلزيوس وفهرنهايت سنجد أن مقياس سيلزيوس لديه 100 درجة بين غليان الماء وتجمده، بينما مقياس فهرنهايت لديه 180 درجة بينهما. وهذا يعني أن الدرجة المئوية الواحدة على مقياس سيلزيوس تساوي 1.8 درجة على مقياس فهرنهايت. إلا أنه عند درجة حرارة -40 درجة، يكون لكلا المقياسين نفس القيمة؛ -40 درجة مئوية = -40 درجة فهرنهايت.

3. المقياس المطلق (الكلفن): The Kelvin Scale K

اقترح عالم الرياضيات والعالم البريطاني وليام تومسون -المعروف أيضاً باسم اللورد كلفن- مقياس درجة حرارة مطلقة، والذي كان مستقلاً عن خصائص المادة مثل الجليد أو جسم الإنسان (لا يعتمد على أي مادة معينة). لم يكن مفهوم الحد الأدنى لدرجة الحرارة المطلقة جديداً، لكن كلفن تمكن من وضع رقم دقيق له، صفر كلفن يساوي -273.15 درجة مئوية.

إن درجة الحرارة الديناميكية الحرارية مطلقة، وليست نسبة إلى النقاط الثابتة. إنها تصف كمية الطاقة الحركية التي تحتويها الجسيمات التي تشكل كتلة من المادة، والتي تتأرجح وتهتز على مستويات شبه مجهرية". فمع انخفاض درجة الحرارة، تتباطأ الجسيمات حتى تتوقف كل الحركة عند نقطة ما. هذا هو الصفر المطلق بمعنى آخر (هو درجة الحرارة النظرية التي تتوقف فيها جميع جزيئات المادة عن الحركة تماماً. لا يمكن الوصول إليه عملياً، وهو أبرد برودة ممكنة في الكون)، وهو معيار مقياس كلفن". يحدث الصفر المطلق عند -273.15 درجة مئوية أو 459.67 فهرنهايت.

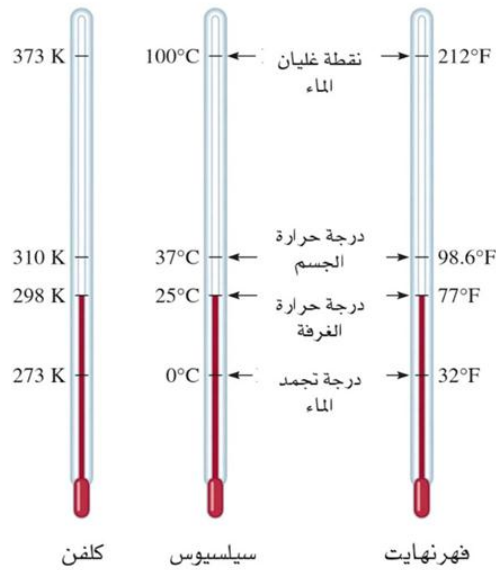
بالنسبة لكلفن، كان الصفر المطلق هو المكان الذي يجب أن يبدأ فيه مقياس درجة الحرارة، ولكن للسهولة استخدم العلامات والفواصل الموجودة في مقياس سيلزيوس كقاعدة

لمقياس درجة الحرارة الخاص به. على هذا النحو، في مقياس كلفن، يتجمد الماء عند 273.15 كلفن، أو صفر درجة مئوية وبغلي عند 373.15 كلفن، أو 100 درجة مئوية.

يشار إلى كلفن واحد على أنه وحدة، وليس درجة كما في مقياس سيلزيوس، والوحدة تساوي درجة واحدة على مقياس سيلزيوس. ويفضل العلماء استخدام مقياس كلفن بشكل أساسي، وأصبح تعريفه الآن مرتبطاً بـ"ثابت بولتزمان" (Boltzmann constant) الذي يربط درجة الحرارة بالطاقة الحركية داخل المادة.

ما المقياس الأفضل والأكثر دقة؟

يمكن أن يختلف أفضل مقياس لقياس درجات الحرارة اعتماداً على الظروف، أو المجتمع الذي تشارك معه المعلومات. تاريخياً، يستخدم الأميركيون مقياس فهرنهايت للحياة اليومية، بما في ذلك الطقس والطبخ، لكن معظم البلدان تستخدم مقياس سيلزيوس، لذلك من الأفضل استخدام هذا المقياس أثناء التواصل دولياً.



المقارنة بين مقاييس لدرجة الحرارة الفهرنهايتي وسيلسيوس والمطلق (كلفن)

التحويل من مقياس الى اخر : Conversion of Scales

يمكن تحويل درجة الحرارة من مقياس الى اخر حسب النسبة الاتية:

$$\frac{^{\circ}\text{C} - 0}{100} = \frac{K - 273}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

1. من المقياس الفهرنهايتي الى المقياس السيليزي نقوم بأخذ الحد الاول والثالث من المعادلة اعلاه.

$$\frac{^{\circ}\text{C} - 0}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

$$180^{\circ}\text{C} = 100(^{\circ}\text{F} - 32) \quad (\div 180)$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{100}{180} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

2. من المقياس السيليزي الى المقياس الفهرنهايتي : اخذ الحد الاول والثالث من المعادلة اعلاه:

$$\frac{^{\circ}\text{C} - 0}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

$$100^{\circ}\text{F} - 3200 = 180^{\circ}\text{C}$$

$$100^{\circ}\text{F} = 180^{\circ}\text{C} + 3200$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{180}{100} ^{\circ}\text{C} + \frac{3200}{100}$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9} ^{\circ}\text{C} + 32$$

3. من المقياس السيليزي الى المقياس الكلفني : اخذ الحد الاول والثاني من المعادلة اعلاه:

$$\frac{^{\circ}\text{C} - 0}{100} = \frac{K - 273}{100}$$

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273$$

4. من المقياس الكلفني الى المقياس السيليزي: اخذ الحد الاول والثاني من المعادلة اعلاه:

$$^{\circ}\text{C} = K - 273$$

5. من المقياس الفهرنهايت الى المقياس الكلفني : اخذ الحد الثاني والثالث من المعادلة اعلاه:

$$\frac{K - 273}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

$$180(K - 273) = 100(^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$K = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) + 273$$

6. من المقياس الكلفني الى المقياس الفهرنهايتي : اخذ الحد الثاني والثالث من المعادلة اعلاه:

$$\frac{K - 273}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

$$100(^{\circ}\text{F} - 32) = 180(K - 273)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (K - 273) + 32$$

Type of Thermometers: أنواع المحارير

المحارير : هي ادوات تستعمل لقياس درجات الحرارة .

مبدأ عمل الموازين الحرارية: كل ميزان حراري يعتمد على مبدأ واحد: إيجاد خاصية فيزيائية تتغير بشكل منتظم مع تغير درجة الحرارة مثل، تمدد الاجسام الصلبة والسائلة وتغير ضغط الغاز ذي الحجم الثابت ولون الجسم....الخ. هنالك انواع مختلفة من المحارير التي تستند على خواص فيزيائية مختلفة منها:

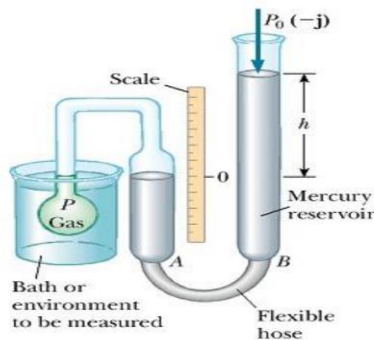
❖ المحارير السائلة: Liquid Thermomet

تعتمد على تغير حجم السائل مع تغير درجة الحرارة مثل محارير الزئبق والكحول.

❖ المحارير الغازية: Gas Thermometers

تعتمد على مبدأ التغير في ضغط الغاز عند ثبوت الحجم او التغير في حجم الغاز عند ثبوت الضغط مع التغير في درجة الحرارة مثل محرار غاز الهيدروجين (تحت ضغط ثابت) وكذلك محرار جولي (تحت حجم ثابت).

المحرار الغازي ذو الحجم الثابت: يتكون من وعاء زجاجي او معدني تسمى (البصلة) يتصل بأنبوبة زجاجية (تكون انبوبة شعيرية الى المانومتر (مقياس زئبقي))، تحتوي البصلة على الغاز او الهواء موضوعة في وعاء خارجي يمثل الوسط او المحيط المراد قياس درجة حرارته كما في الشكل التالي:



الاسباب التي تؤدي الى عدم دقة هذا المحرار هي:

- تمدد او تقلص البصلة الذي يسبب في تغير حجم الغاز المحصور بداخلها .
- الاختلاف الحاصل بين درجتي حرارة الغاز المحصور في البصلة والغاز المحصور في الانبوبة الموصلة الى المانومتر .

فوائده:

- معامل التمدد للغازات كبير جدا بالمقارنة مع السوائل لذلك تكون هذه المحارير حساسة ودقيقة.
- معامل التمدد ثابت لكل الغازات اذ كانت تحت نفس الشروط.
- معامل التمدد للمادة المصنوع منها بصلة المحرار مهمة بالمقارنة مع معامل تمدد الغاز.
- يمكن استعمال هذه المحارير لمدى واسع جدا من درجات الحرارة.
- السعة الحرارية للغاز واطئة جدا بالمقارنة مع السوائل لذلك يمكن تسجيل القراءات بدقة حتى في التغيرات الصغيرة في درجات الحرارة.
- درجات الحرارة المسجلة لا تعتمد على طبيعة المادة.

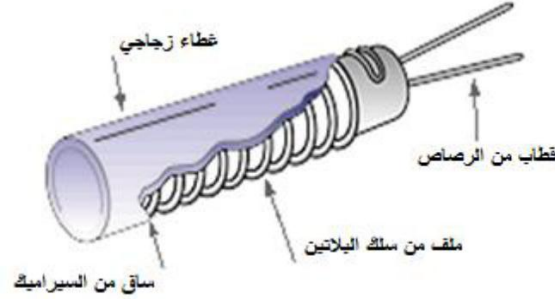
عيوبه:

- ضخامته وثقله وصعوبة نقله مما يحدد استعماله فقط في موقع واحد.
- لا يصلح لقياس درجات حرارة حيز اصغر من حجم البصلة.

❖ محارير المقاومة الكهربائية: Electric Resistance Thermometers

تعتمد هذه المحارير على مبدأ التغير في المقاومة الكهربائية مع تغير درجة الحرارة مثل محرار مقاومة البلاتين. ويتكون من سلك من مادة البلاتين ملفوف بصورة مزدوجة حول مادة

عازلة، يوضع في انبوبة مصنعة من مادة جيدة التوصيل الحراري كالفضة او المحاس للمحافظة عليه من التأثيرات الخارجية ، يستخدم هذا النوع في درجات الحرارة الواطئة كما في الشكل التالي.



مميزاته:

- يستخدم لمديات واسعة من درجات الحرارة (200-1000)
- دقيق جدا ويفيد في التغيرات البطيئة لدرجات الحرارة.

عيوبه:

- لا يكون كفؤا في قياس تغيرات درجات الحرارة السريعة ، وذلك لحاجته الى وقت كاف للوصول الى حالة التوازن الحراري ، بسبب سعته الحرارية العالية (حرارته النوعية كبيرة).

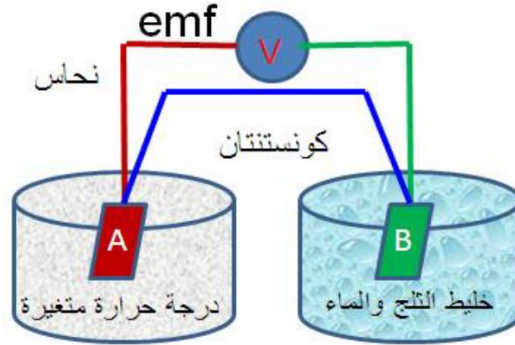
❖ محارير المزدوج الحراري: Thermocouple Thermometers

تعتمد على مبدأ تغير القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في دائرة المزدوج الحراري عندما يتغير الفرق بين درجتي حرارتي نقطتي الاتصال. تعتمد قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة على عاملين هما:

1. مقدار الفرق بين درجتي حرارة نهايتي المزدوج الحراري.

2. ونوع المواد المصنوع منها المزدوج الحراري.

يتكون هذا المحرار من سلكين مصنوعين من مادتين مختلفتين كالنحاس والكونستنتات او النحاس والحديد او البلاتين والروديوم وغيرها ، يتصل السلكان اتصالا جيدا في نهايتهما فقط كما في الشكل التالي :



من مميزاتة:

- سرعة وصوله الى حالة التوازن الحراري مع الجسم المراد قياس درجة حرارته وذلك لانخفاض سعته الحرارية.
- المدى الواسع لدرجات الحرارة التي يمكن قياسها (250-1500 °C) بشرط استخدام المواد المناسبة لكل مدى.
- صغر حجمه ودقته العالية نسبيا.
- يستخدم كثيرا في الصناعة وفي المجالات التي تتطلب تحديد موضعي (نقطي) لدرجة الحرارة وتعاني تغيرا سريعا في درجات الحرارة.

عيوبه:

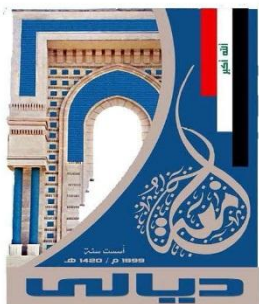
- غير دقيق لمدى واسع من درجات الحرارة اذ انه اقل دقة من المحارير الغازية والبلاتينية وعليه يستعمل في المديات التي تقل فيها حساسية هذه المحارير.
- يستعمل مزدوجات حرارية مختلفة لمديات مختلفة من درجات الحرارة.

❖ محارير ضغط البخار : Vapor Pressure Thermometers

تعتمد مبدأ تغير ضغط البخار مع تغير درجة الحرارة .تستعمل في قياس درجات الحرارة الواطئة مثل محرار ضغط بخار الهليوم.

❖ محارير الاشعاع : Radiation Thermometers

تعتمد هذه المحارير على كمية حرارة الاشعاع المنبعثة من الجسم المراد قياس درجة حرارته ،يستعمل مثل هذا المحرار لقياس درجات الحرارة المرتفعة جدا مثل درجة حرارة الافران . فمن المعروف عندما يسخن جسم لدرجة حرارة عالية يبدأ لونه في الاحمرار ثم يبيض ويتوهج عند درجات الحرارة المرتفعة جدا. هذا التغير في لون الجسم من اللون المعتم الى الاحمر الى الابيض يدل على ان درجة الحرارة تتحكم في طول الموجة الضوئية.



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة ديالى

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء / المرحلة الأولى

العام الدراسي 2025 – 2026

محاضرات

الحرارة وخواص المادة

مدرس المادة

م.م مروان رحمان رشيد

أ. د انتصار كاظم عبد

تأثير تغيير درجة الحرارة على المادة

الطاقة الداخلية: هي جميع انواع الطاقات التي يمكن ان تمتلكها الذرات او الجزيئات المكونة للمادة .كالطاقة الحركية ، الاهتزازية، النووية، الكيميائية وغيرها.

الطاقة الحرارية: اذا انتقلت الطاقة من جسم درجة حرارته عالية (الطاقة الاهتزازية للذرات عالية) الى جسم درجة حرارته منخفضة (الطاقة الاهتزازية للذرات اقل) ونتيجة فرق درجة الحرارة بينهما يسمى هذا بالطاقة الحرارية.

التمدد الحراري: ان تغير درجة حرارة المادة يؤدي إلى تغيرات في الخواص الاخرى للمادة، ومن ابرز هذه التغيرات هو تغير ابعاد المادة او تغير حالتها. ان رفع درجة حرارة المادة يؤدي إلى زيادة الطاقة الاهتزازية لذراتها او جزيئاتها وبزيادة سعة اهتزاز تلك الجسيمات يزداد متوسط المسافة بين الذرات او الجزيئات، وذلك يؤدي الى تغير جميع ابعاد المادة بتغير درجة الحرارة، فتزداد بزيادة درجة الحرارة وتتكماش بانخفاضها.

ومن المعروف ان معظم الاجسام تتمدد عندما تزداد درجة حرارتها، ويتوقف مقدار تمدد المادة بالتسخين على مقدار قوى التماسك بين جزيئاتها، فالمادة الصلبة يكون مقدار تمددها بالتسخين صغيراً جداً نظراً لكبر قوى التماسك بين جزيئاتها، في حين ان تمدد السوائل اكبر من تمدد المواد الصلبة. أما الغازات فيكون تمددها بالتسخين اكبر بكثير من السوائل لأن قوى التماسك بين جزيئات الغاز تكاد تكون معدومة. وهذه الظاهرة تلعب دوراً رئيسياً في العديد من التطبيقات الهندسية، فعلى سبيل المثال يتم ترك مسافات بين الوصلات الحديدية في المباني والجسور والسكك الحديدية والطرق السريعة لتعطي المجال للتمدد والانكماش. واذا لم يتم فعل ذلك يمكن ان يتصدع المبنى او تنهار الجسور وتلتوي السكك الحديدية بفعل التمدد الحراري للمواد المصنوعة منه. والتمدد الحراري Thermal expansion للأجسام ينتج عن التغير الذي يحدث للمسافات الفاصلة بين جزيئات وذرات المادة.

انواع التمدد الحراري:

❖ تمدد الاجسام الصلبة : -

عندما تتغير درجة حرارة مادة ما، فإن الطاقة المخزنة في الروابط الجزيئية بين ذراتها تتغير. عندما تزداد الطاقة المخزنة يزداد طول الروابط الجزيئية، وبالتالي فإن المواد الصلبة عادة تتمدد عند تسخينها وتقلص عند تبريدها. يطلق على الاستجابة بتغير الأبعاد عند تغير درجة الحرارة اسم التمدد الحراري، وتقاس هذه العلاقة بمعامل التمدد الحراري .

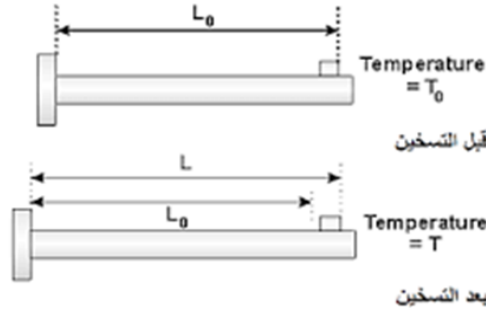
من الممكن تعريف عدة معاملات تمدد حراري بحسب قياس التمدد وهي :

- معامل التمدد الحراري الطولي.
- معامل التمدد الحراري السطحي.
- معامل التمدد الحراري الحجمي.

حيث من الممكن تعريف معامل التمدد الحراري الحجمي للأجسام الصلبة والسائلة والغازية، بينما معامل التمدد الطولي يعرف فقط للأجسام الصلبة وهو العامل المستخدم بكثرة في التطبيقات الهندسية. هناك بعض المواد التي تتمدد عند تبريدها مثل الماء المجمد، ولهذا يكون لها معامل تمدد حراري ذو قيمة سالبة .

● التمدد الطولي

يحدث التمدد على كافة ابعاد الجسم كالطول والعرض والسمك وتكون نسبة الزيادة حسب الابعاد الهندسية للمادة ومقدار الزيادة يتناسب طرديا مع الطول الاصلي لذا تكون الزيادة في الطول اكثر منها في العرض او السمك، انظر الشكل ادناه.



وقد اثبتت التجارب ان التغير في الطول يتناسب طرديا مع التغير في درجات الحرارة والطول الأصلي، لذا يمكن كتابة معادلة التغير في الطول على النحو التالي:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

التغير في درجة الحرارة

الطول الأصلي

معامل التمدد الطولي

التغير في الطول

حيث ان ثابت التناسب يسمى معامل التمدد الطولي ويعطى بالمعادلة التالية:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L \Delta T}$$

$$\Delta L = L_0 - L_1$$

$$L = L_0(1 + \alpha \Delta T)$$

وعليه يمكننا تعريف **معامل التمدد الطولي** على انه مقدار التغير في الطول لكل تغير في درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة. اما وحدة معامل التمدد الطولي فهي $(1/^\circ C)$ او اي درجة اخرى حسب المقياس المستخدم. $K^{-1}, ^\circ C^{-1}, ^\circ F^{-1}$.

ان جميع المواد تتمدد بالحرارة ولكن كل مادة لها معامل تمدد مختلف، وان قيمته ليست ثابتة تماما ولكنها تتغير بصورة بطيئة مع تغير درجة الحرارة، وان التمدد الطولي يشمل كافة ابعاد الجسم ويكون التمدد ذو علاقة خطية مع درجة الحرارة لجميع ابعاد الجسم.

العوامل التي يتوقف عليها التمدد الطولي:

1. الطول الأصلي للجسم.

2. مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم.

3. نوع مادة الجسم.

● **التمدد السطحي:** هو التغير في مساحة سطح المادة نتيجة التغير في درجة الحرارة اما بالنسبة لمعامل التمدد السطحي: فهو مقدار الزيادة في مساحة المادة لوحدة المساحة الاصلية نتيجة تغير درجة الحرارة بمقدار درجة حرارية واحدة . ومن الجدير بالذكر ان تغير معامل التمدد السطحي يعادل ضعفي تغير معامل التمدد الطولي. (اثبت ذلك)

العوامل التي يتوقف عليها التمدد السطحي :

1. المساحة الأصلية للجسم.

2. مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم.

3. نوع مادة الجسم.

ويعطى التغير بالمساحة ΔA مع درجة الحرارة T بالمعادلة التالية:

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta T$$

$$A_1 = A_0 (1 + \beta \Delta T)$$

ومنه نحصل على معامل التمدد السطحي β

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_o \Delta T}$$

وإذا كانت المادة الصلبة متجانسة الخواص فيكون التغير في وحدة الطول الناتج عن تغير درجة الحرارة متساويا في جميع الاتجاهات.

التمدد الحجمي: هو التغير في حجم المادة إذا تغيرت درجة الحرارة بنفس طريقتي التمدد الطولي والسطحي.

اما بالنسبة لمعامل التمدد الحجمي: هو مقدار الزيادة في حجم المادة الصلبة نتيجة تغير درجة الحرارة بمقدار درجة حرارية واحدة .

العوامل التي يتوقف عليها التمدد الحجمي :

1. الحجم الأصلي للجسم .
2. مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم .
3. نوع مادة الجسم .

وبالمثل فإن التغير بالحجم يعطى بالمعادلة:

$$\Delta V = \gamma V_o \Delta T$$

اما معامل التمدد الحجمي فيكون:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_o \Delta T}$$

واجب: اثبت ان $\beta = 2\alpha$ ، و ان $\gamma = 3\alpha$

❖ تمدد السوائل

بصفة عامة تتمدد السوائل ويزداد حجمها بزيادة درجة الحرارة، ويكون معامل تمددها الحجمي أكبر بعشرة مرات من تمدد المواد الصلبة . ولكن الماء يشذ عن باقي السوائل حيث أن كثافة الماء تزداد بزيادة درجة الحرارة من 0°C إلى 4°C وينكمش الماء، وإذا ازدادت درجة الحرارة أكثر من 4°C فإن الماء يتمدد بزيادة درجة الحرارة وتتناقص كثافته . تكون كثافة الماء أكبر ما يمكن عند درجة حرارة 4°C وتساوي 1000Kg/m^3 .

ولهذه النتيجة أهمية كبيرة على حالة البحيرات في المناطق الباردة في فصل الشتاء، حيث

تتشكل على سطحها طبقة جليدية درجة حرارتها 0°C دوماً بينما يكون الماء تحتها عند

درجة حرارة 4°C محافظاً على الحياة المائية فيها .

من أهم التطبيقات لظاهرة تمدد السوائل : الترمومترات الزئبقية و الكحولية

لنأخذ ورق مملوء بالسائل المراد دراسة تمدده الحجمي ، محكم الإغلاق بسدادة مطاطية يجتاها أنبوب خارجي رفيع (أنبوبة شعيرية) . عند وضع الدورق في ماء ساخن فإن مستوى السائل في الأنبوب الشعيري يهبط قليلاً ثم يرتفع و يثبت عند حد أعلى من المستوى الأول للسائل . وتجدر الإشارة الى ان السوائل يقاس تمددها حجمياً بنفس العلاقة المطبقة للجوامد، اذ لا يمكن قياس مدار تمددها طولياً او سطحياً.

❖ تمدد الغازات

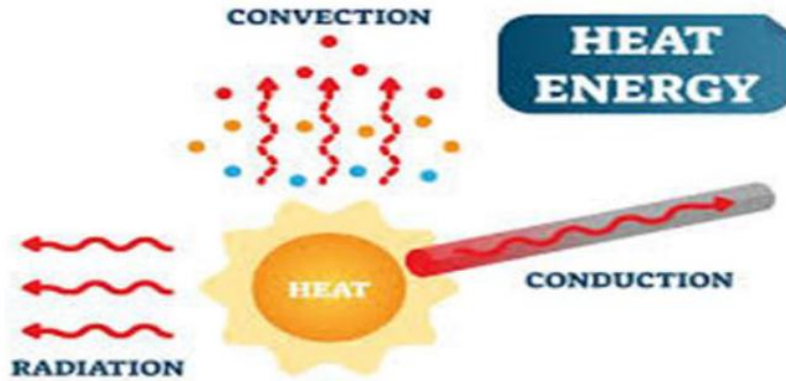
يتغير حجم الغازات تغيراً كبيراً اذا تغيرت درجة حرارته عند ثبوت الضغط المسلط عليه، وان قيمة معامل التمدد الحجمي للغازات يكاد يكون ثابتاً.

آليات انتقال الحرارة : Mechanisms Of Heat Transfer

انتقال الحرارة هو عملية انتقال الطاقة الحرارية من جسم ذي درجة حرارة أعلى إلى جسم ذي درجة حرارة أقل. يتم انتقال الحرارة وفقاً للقوانين الطبيعية التي تملي أن الحرارة تنتقل من المكان الأكثر سخونة إلى المكان الأكثر برودة حتى يتحقق التوازن الحراري .

هناك ثلاث آليات (طريقة) رئيسية لانتقال الحرارة :

- آلية التوصيل.
- آلية الحمل.
- آلية الإشعاع.



▪ طريقة أو آلية التوصيل : The Conduction Mechanism

عند تلامس جسمين مختلفين بدرجة الحرارة، فإن الطاقة الحرارية سوف تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، ويتوقف انتقال الطاقة الحرارية بينهما عندما تتساوى درجتي حرارتهما ويتحقق ما يعرف بالاتزان الحراري.

ان انتقال الحرارة يعني انتقال الطاقة الحركية وهي المسؤولة عن الحركة الاهتزازية لجزيئات وذرات المادة. أن الجسم الساخن تهتز جزيئاته بسعة اهتزازية اكبر من الجسم البارد ونتيجة التصادم بين هذه الجزيئات مع مجاوراتها تنتقل الطاقة الحركية (الطاقة الحرارية)

فتزداد سعة اهتزاز هذه الجزيئات وبدورها تنقلها الى مجاورتها، وتستمر هذه العملية الى ان تكتسب جميع الجزيئات (الجسيمات) نفس الطاقة الحرارية وعندها يتوقف انتقال الطاقة الحرارية. ان انتقال الطاقة الحرارية في الاجسام الصلبة يتم بواسطة التصادمات الذرية أو الجزيئية وتسمى هذه العملية للانتقال الطاقة الحرارية في الاجسام الصلبة بالتوصيل.

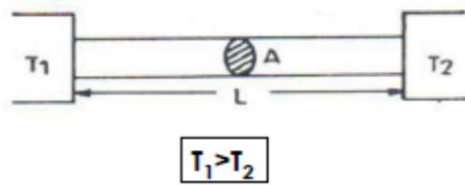
تعتبر المعادن من المواد ذات التوصيلية الحرارية والكهربائية العالية، لوجود الالكترونات التكافؤ والتي تتحرك بحرية تامة خلال المعدن حاملة معها الطاقة الحرارية او الكهربائية الى جميع أجزائه.

الميل الحراري

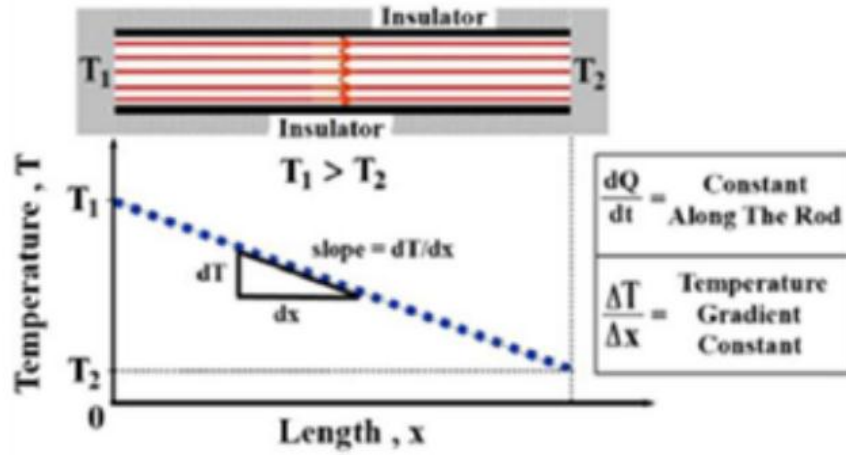
يعرف الميل الحراري على انه النسبة بين التغير في درجة الحرارة الى التغير في المسافة على طول الجسم. ويُعبر عن الميل الحراري رياضياً على أنه:

$$\text{Temperature gradient} = \frac{dT}{dX} \text{ or } \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

أن وحدة الميل الحراري هي (°C/m, °C/cm)

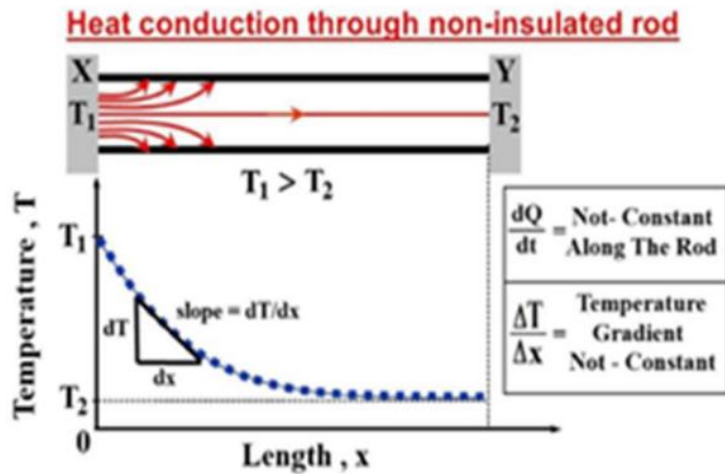


• شكل خطوط انتقال الحرارة خلال المادة يعتمد اساسا على طريقة العزل الحراري للمادة.



بوجود مادة عازلة تكون العلاقة خطية بين درجة الحرارة والمسافة ويكون الميل الحراري ثابتا .

عند عدم وجود مادة عازلة فإن خطوط انتقال الحرارة تكون غير منتظمة مما يؤدي الى ميل حراري غير ثابت وتكون العلاقة غير خطية بين درجة الحرارة والمسافة.



درجات الحرارة الواطئة

يطلق على العلم الذي يهتم بدراسة الخواص الفيزيائية للمواد في درجات الحرارة الواطئة بعلم الزمهرير ، وغالبا ما تطلق تسمية درجات الحرارة الواطئة على الدرجات الحرارية الاقل من مائة درجة كلفنية (100كلفن).

يمكن الحصول على درجات حرارية واطئة باستخدام العديد من الطرق . تستند جميع هذه الطرق على فكرة واحدة وهي يجب سحب جزء او كل الطاقة الداخلية للمادة المراد خفض درجة حرارتها.

ان طريقة التبريد المستخدمة في الثلاجات ومكيفات الهواء هي استخدام الضغط في درجة الحرارة الاعتيادية فقط، حيث تكبس غازات مثل الامونيا والفريون بمكبس، فيؤدي ذلك الى رفع درجة حرارتها (اي تسخين فوق درجة حرارة المحيط) ثم يتم تبريدها الى درجة حرارة المحيط، وبما ان هذا الغاز واقع تحت ضغط فيؤدي الى تحويله الى سائل .ثم يسمح لهذا السائل ان يتمدد ويتبخر فتتخفض درجة حرارته مما يؤدي الى سحب حرارة من المنطقة المحيطة به مؤديا الى خفض درجة حرارتها ، ومن ثم يعاد الغاز الى المكبس ثانية لاكمال الدورة . وبهذه الطريقة يقوم الغاز بنقل الحرارة من الجزء المراد خفض درجة حرارته الى المحيط الخارجي .

تعد طريقة تحويل الغاز الى سائل من الطرق المستخدمة على نطاق واسع في الحصول على درجات الحرارة المنخفضة ، وتشترك هذه الطرق المختلفة بما يأتي :

● خفض درجة حرارة الغاز المراد تسييله.

● زياد الضغط المسلط عليه.

يجب تبريد الغاز المراد تحويله الى سائل الى درجة حرارية اقل من الدرجة الحرارية الحرجة له. وتعرف الدرجة الحرجة للغاز بأنها الدرجة الحرارية التي لا يمكن تسييل الغاز فوقها مهما بلغ الضغط المسلط عليه .كما ويعرف الضغط الحرج على انه اقل قيمة للضغط اللازم لتسليطه على الغاز المراد تسييله عند درجة حرارته الحرجة . وكلما انخفضت درجة حرارة

الغاز المراد تسويله الى ما دون درجة حرارته الحرجة سهل تسويله وقلت قيمة الضغط الذي يجب تسويله لأجل تحويل الغاز الى سائل .

السعة الحرارية النوعية ومفهوم الطور

السعة الحرارية والحرارة النوعية للمواد : Heat Capacity And Specific Heat of Materials

هناك فرق بين السعة الحرارية والحرارة النوعية للمواد أذ أن:

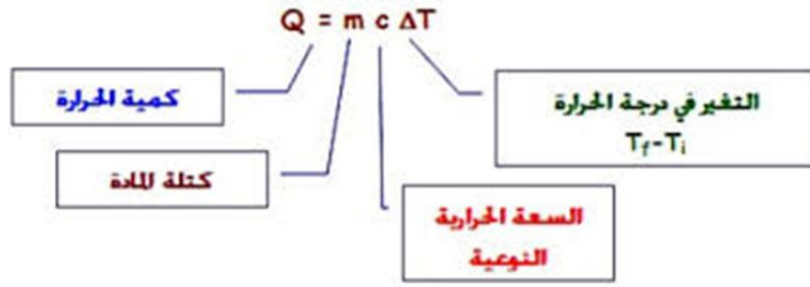
السعة الحرارية للمادة ((C : هي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة مادة ما درجة حرارة واحدة. لذلك هي ليست صفة مميزة للمادة، لأنها تتغير بتغير حجمها أو كتلتها. وحدتها هي $(J.K^{-1})$ أو $(Cal.K^{-1})$.

السعة الحرارية النوعية ((C : هي خاصية فيزيائية تعبر عن كمية الطاقة الحرارية التي يجب أن تتساب من أو الى وحدة الكتلة من المادة لتغير درجة حرارتها بمقدار درجة مئوية واحدة أو كلفن واحد وغالبا ما يرمز لها ب C . تُعد هذه الخاصية مميزة لكل مادة وتختلف حسب نوع المادة وحالتها الفيزيائية (صلبة، سائلة، أو غازية) .

أن السعة الحرارية للمادة ترتبط مع الحرارة النوعية لها بالعلاقة التالية:

$$Heat\ Capacity = Mass \times Specific\ Heat\ Capacity$$

تتناقص السعة الحرارية النوعية لجميع المواد بانخفاض درجة الحرارة وتصل الى قيمة الصفر عند درجة حرارة الصفر المطلق .ويمكن التعبير عن السعة الحرارية النوعية رياضياً بالمعادلة الآتية:



ان وحدة قياس الحرارة النوعية هي ($\text{Joul/ Kg } ^\circ\text{K}$) أو ($\text{Joul/ g.}^\circ\text{K}$) أو ($\text{J / mole.}^\circ\text{K}$) أو ($\text{cal/g.}^\circ\text{K}$).

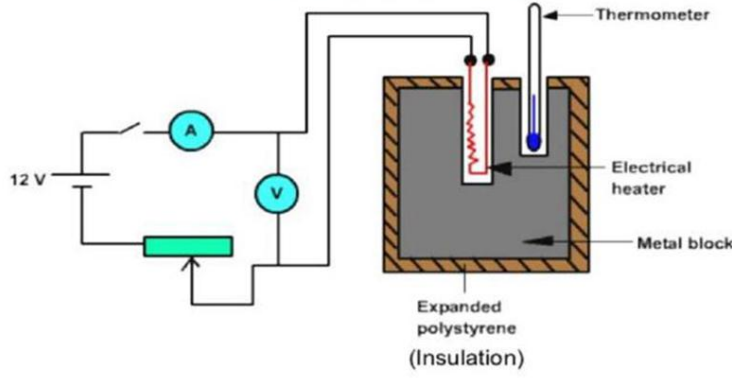
من اهم العوامل التي تؤثر على الحرارة النوعية :

- نوع المادة : تختلف الحرارة النوعية باختلاف نوع المادة. بعض المواد تمتص كمية أكبر من الحرارة مقارنة بغيرها لتغيير درجة حرارتها .
- الحالة الفيزيائية : قد تختلف الحرارة النوعية للمادة تبعاً لحالتها الفيزيائية (صلبة، سائلة، غازية) .
- الضغط ودرجة الحرارة : تعتمد الحرارة النوعية اعتماداً كبيراً على درجة الحرارة. وعليه يجب ذكر درجة الحرارة عند اعطاء قيمة الحرارة النوعية لمادة ما. في حالة الغازات خصوصاً، قد تتغير الحرارة النوعية حسب الظروف مثل الضغط ودرجة الحرارة

قياس الحرارة النوعية: The Specific Heat Measurement

تستخدم العديد من الطرق في قياس الحرارة النوعية وتختلف هذه الطرق باختلاف مديات درجات الحرارة، أذ نجد طرقاً وتقنيات معينة تستخدم في درجة حرارة الغرفة تختلف عن تلك الطرق والتقنيات المستخدمة في مديات درجات الحرارة الواطئة أو العالية جداً. ومن أبسط هذه الطرق ما يأتي:

- الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة: تفيد هذه الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد الصلبة جيدة التوصيل للحرارة مثل (الذهب، الفضة، النحاس والالمنيوم..... الخ).



على فرض ان الطاقة الحرارية المتسربة من القطعة المعدنية الى المحيط تساوي صفراً،
بالتالي، فإن الطاقة الكهر بائية المزودة من المسخن الكهربائي ستساوي الطاقة الحرارية التي
تكتسبها أو التي تزودت بها القطعة المعدنية وكالتالي:

$$V.I.t = \Delta Q = m_s . c_s . \Delta T$$

$$c_s = \frac{\Delta Q}{m_s . \Delta T} = \frac{V.I.t}{m(T_2 - T_1)}$$

حيث (c_s) تمثل الحرارة النوعية للمادة بوحدة (J/g.°C) أو (J/g.K)

(I) تمثل قيمة التيار بوحدة الأمبير المار بالدائرة

(V) تمثل قيمة الجهد الكهربائي المسلط بوحدة الفولت

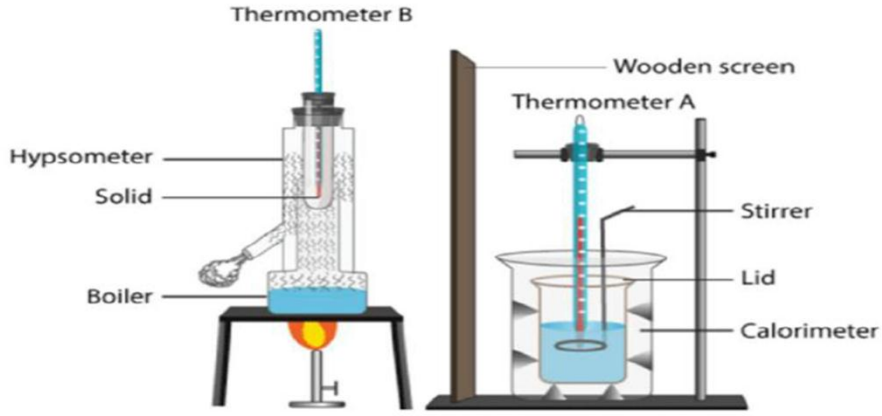
(t, sec) تمثل الفترة الزمنية المحددة بوحدة الثانية

(T_1) الى (T_2) تمثل درجة الحرارة الابتدائية و النهائية للقطعة المعدنية على التوالي بوحدة الكلفن أو السيليزية

(m , kg Or g) كتلة المادة او القطعة المعدنية.

- الطريقة الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة: النقطة الثلاثية للماء ان الطريقة
الكهربائية لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة تشبه الى كبير الطريقة الكهربائية لقياس
الحرارة النوعية للمواد الصلبة .

طريقة الخلط لإيجاد الحرارة النوعية للمواد الصلبة:



Determination of specific heat of solid by method of mixture

فإذا فرضنا ان كمية الحرارة التي فقدها الجسم الصلب خلال نقله الى المسعر الحراري تساوي صفراً، وعلى فرض ان الطاقة الحرارية المتسربة من المسعر الحراري المعزول حرارياً الى المحيط تساوي صفراً فإن الحرارة التي فقدها الجسم خلال انخفاض درجة حرارته من (T_3 الى T_2) ستساوي حاصل جمع كمية الحرارة التي اكتسبها الماء والمسعر خلال رفع درجة حرارتهما من (T_1 الى T_2)

Thermal Energy acquired from calorimeter and water = Thermal Energy from lost sample

$$m_s \cdot c_s \cdot (T_3 - T_2) = m_c c_c (T_2 - T_1) + m_w c_w (T_2 - T_1)$$

$$c_s = \frac{m_c c_c (T_2 - T_1) + m_w c_w (T_2 - T_1)}{m_s (T_3 - T_2)}$$

كمية الحرارة التي
اكتسبها المسعر
الحراري خلال رفع
درجة حرارته من
(T_1) الى (T_2)

+

كمية الحرارة التي
اكتسبها الماء خلال
رفع درجة حرارته
من (T_1) الى (T_2)

=

كمية الحرارة التي
فقدها الجسم الصلب
خلال انخفاض
درجة حرارته من
(T_3) الى (T_2)

طريقة الخلط لقياس الحرارة النوعية للمواد السائلة:

وهي الطريقة السابقة نفسها أذ يتم اختيار الجسم الصلب بحيث تكون قيمة حرارته النوعية معروفة، والسائل المراد قياس الحرارة النوعية له يكون بدل الماء وتستخدم المعادلات السابقة نفسها لإيجاد الحرارة النوعية للسائل.

هناك طرق أخرى لقياس الحرارة النوعية للمواد مثل طريقة الجريان المستمر والطريقة الميكانيكية وطريقة التبريد. وهنا السؤال على ماذا تعتمد الحرارة النوعية للمواد؟

تعتمد الحرارة النوعية على:

1. تركيب المادة (نوعها).
2. درجة حرارتها حيث تقل أو تتناقص الحرارة النوعية مع تناقص درجة الحرارة وبالعكس.

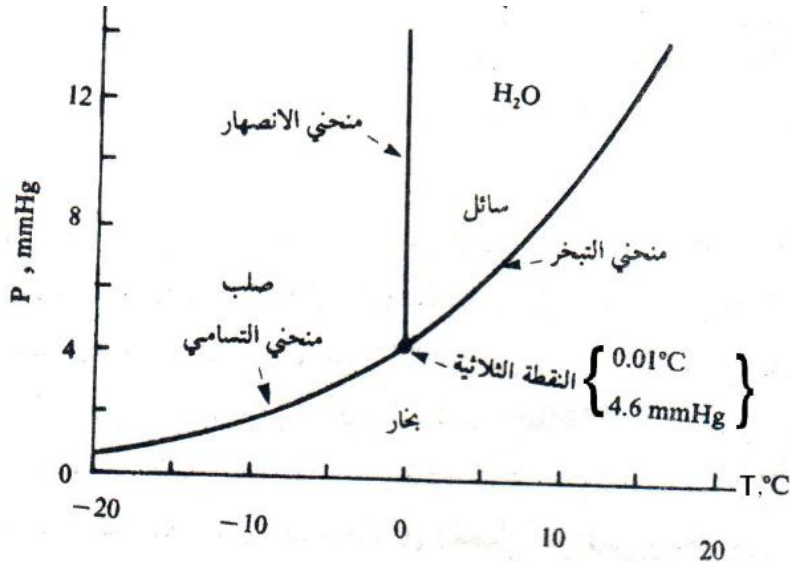
النقطة الثلاثية للمادة Triple Point

يؤثر الضغط المسلط على تغيرات حالات المادة عندما تتغير درجة حرارتها. فنجد ان درجة حرارة غليان الماء تزداد بزيادة الضغط المسلط عليها الى ان تصل قيمة حرجة لها، بحيث لا يمكن فوقها ان تبقى المادة في حالة السيولة مهما ازداد الضغط المسلط عليه. إن تغير درجة غليان المادة مع الضغط المسلط عليها يسمى بمنحني التبخر.

تعتمد درجة حرارة انصهار المواد الصلبة على الضغط المسلط عليها (ولكن بدرجة اقل مما هي عليه لدرجة حرارة الغليان). ان تغير درجة حرارة انصهار الثلج مع الضغط المسلط عليه يسمى بمنحني الانصهار. وقد وجد بان درجة حرارة انصهار الثلج تقل بزيادة الضغط المسلط عليه، على عكس معظم المواد الأخرى والتي تزداد درجة حرارة انصهارها بزيادة الضغط المسلط عليه. وهذا يعني انه يمكن صهر الثلج بطريقتين: بزيادة الضغط المسلط عليه أو

بتسخينه. وقد استغلت هذه الخاصية للتزلج في عمليات التزلج عليه، إذ تتكون طبقة من الماء بسبب ضغط المترلج تساعد على التزلج على الجليد.

يتقاطع منحني الانصهار والتبخر للماء عند درجة حرارة 0.01°C وتحت ضغط 4.6 mmHg ان نقطة التقاطع تسمى بالنقطة الثلاثية والتي يتواجد فيها الماء في حالاته الثلاث الصلبة والسائلة والغازية. الشكل يوضح النقطة الثلاثية للماء. وعند ضغط أقل من ضغط النقطة الثلاثية لا يمكن لأي مادة ان تبقى في حالتها السائلة. ان منحنى الضغط ودرجة الحرارة الذي يفصل بين الحالة الصلبة والحالة الغازية (البخار) للمادة يسمى منحنى التسامي والذي يمثل الظروف المطلوبة للصلب كي يتحول الى بخار أو البخار الى صلب مباشراً من دون المرور بالحالة السائلة.



الشكل يمثل النقطة الثلاثية للماء



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة ديالى

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء/ المرحلة الأولى

العام الدراسي 2025 – 2026

محاضرات

الحرارة وخواص المادة

مدرس المادة

أ. د انتصار كاظم عبد

تحولات حالة المادة

يطلق على العمليات التي تتغير فيها حالة المادة بعملية التغير في الطور، فمثلاً يحدث تغير في طور المادة المعدنية عند انصهارها وكذلك يحدث تغير في طور السائل عند غليانه وتحوله الى الحالة الغازية (طور البخار). ولكي يحدث التغير في الطور يجب اضافة الحرارة، ولكن على الرغم من اضافة الحرارة الى المادة فان درجة حرارتها لا ترتفع وهذا يعني ان الطاقة الداخلية للمادة هي التي تتغير عندما تتحول المادة من طور الى آخر. ومثال على ذلك الطاقة الداخلية لجزيئات الماء في الثلج هي أقل من الطاقة الداخلية لها في الماء السائل، وتكون الطاقة الداخلية لجزيئات الماء في بخار الماء اكبر من طاقتها الداخلية بعد ان تتكثف وتصبح سائلاً.

وهناك تحولات من نوع آخر تحدث داخل المادة وتغير من خواصها الفيزيائية أو الكيميائية كالتحولات المغناطيسية والكهربائية وتركيب المادة. يحدث هذا النوع من تغيرات الطور نتيجة لتسخين أو تبريد المادة الى درجة حرارة حرجة. ان هذه التحولات تكون مصحوبة بامتصاص أو تحرير كمية من الطاقة الحرارية فضلاً عن تغيرات خواص المادة. سنتناول بعض حالات تغير المادة كالتبخر والغليان والانصهار والانجماد وغيرها.

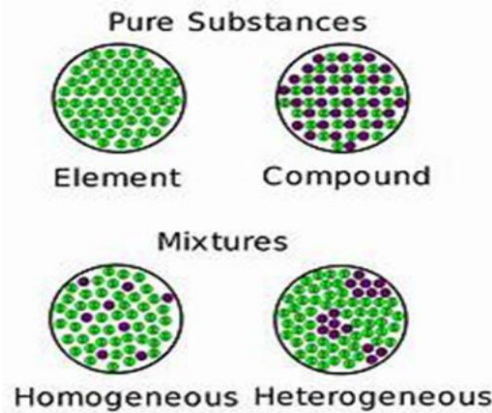
مفهوم الطور: The Concept of Phase

ان مفهوم الطور في العلوم الفيزيائية هو عبارة عن منطقة أو حيز من الفراغ (نظام ثرموديناميكي) أو شكل من أشكال المادة تكون متجانسة في التركيب الكيميائي والحالة الفيزيائية وخلال هذا الحيز أو الشكل تكون جميع الخواص الفيزيائية للمادة منتظمة بشكل اساسي ويمكن عادة فصله بشكل ميكانيكي عن بقية اجزاء المادة.

من امثلة هذه الخواص الفيزيائية للمادة هي الكثافة، معامل الانكسار، التمغنط (Magnetization) و التركيب الكيميائي. الخ يعرف الطور ثرموداينميكيا بأنه ذلك الجزء أو القسم المتجانس من النظام المعين والمفصول عن بقية اجزاء النظام بحدود واضحة بصفاتها الثرموداينميكية. حيث ان الأطوار داخل النظام تكون مختلفة عن بعضها البعض باختلاف طريقة تركيب جزيئاتها علما ان كل طور يكون مفصولا عن بقية أجزاء النظام بواسطة سطوح فاصلة و محددة. ان الاطوار النموذجية و المميزة للمادة عادة هي الطور الصلب ، الطور السائل ،الطور الغازي و طور البلازما.

ويعرف النظام المتجانس بأنه النظام الذي تتماثل خواصه الفيزيائية وتركيبه الكيميائي في أي جزء منه أو تتغير بصورة مستمرة من دون ظهور انقطاعات أو تغيرات فجائية في النظام (اي ان معدل التغير ثابت). أما النظام الغير متجانس فهو ذلك النظام الذي لا تتجانس أو تتماثل خصائصه الفيزيائية وتركيبه الكيميائي في جميع أجزاء النظام . أو هو ذلك النظام الذي يتألف من اثنين أو أكثر من الاجزاء او الاجسام المتجانسة.

مثال على النظام الغير متجانس هو الماء مع الثلج العائم فيه، هذا النظام له جسمان كيانان متجانسان، الماء والجليد. التركيب الكيميائي للطورين متماثلان لكن خصائصهما الفيزيائية تختلفان بشكل كبير.



يشار إلى الأجزاء أو الأجسام المتجانسة أنها أطوار . و كل طور مفصول عن الأطوار الأخرى بسطح بيني أو حدود ،وعند تجاوز أو عبور هذه الحدود ، سوف يتغير التركيب الكيميائي للمادة أو خصائصها الفيزيائية بشكل مفاجئ . ان حدود الطور يمكن اعتبارها كطبقة رقيقة تفصل بين الأطوار ، وهي طبقة يمكن اعتبارها على انها منطقة تحول سريعة من خصائص طور معين إلى خواص الطور الآخر. ففي النظام الترموديناميكي المكون من مكعبات الثلج (الماء بالحالة الصلبة) و الماء (الماء بالحالة السائلة) داخل دورق زجاجي. فأن عدد الأطوار في هذا النظام الترموديناميكي هي اربعة أطوار فمكعبات الثلج تعتبر طور واحد منفصل، الماء بالحالة السائلة يعتبر طور واحد منفصل، بخار الماء فوق سطح الماء و مكعبات الثلج يعتبر طور واحد منفصل و الدورق الزجاجي (مادة الزجاج) يعتبر طور واحد منفصل . كما يمكن اعتبار سائلين غير قابلين للامتزاج بشرط انهما مفصولين بحد مميز على انهما طورين مختلفين (الماء والزيت)، او مثل أي اثنين من المواد الصلبة الغير قابلة للامتزاج مثل الملح والرمل.



شكل التوضيحي لنظام ترموديناميكي يحتوي على مكعبات الثلج (الماء في الحالة الصلبة)

والماء السائل داخل دورق زجاجي شفاف. يُظهر التفاعل بين الحالتين الصلبة والسائلة، بما في ذلك انتقال الحرارة، والذي يظهر من خلال قطرات التكثيف على السطح الخارجي للدورق.

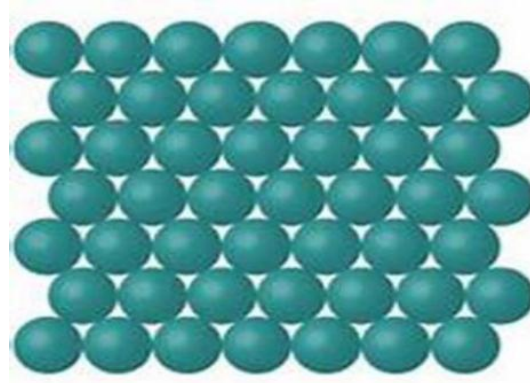
أنواع الأطوار: Types of Phase

أن الأطوار الواضحة ممكن أن توصف كحالات مختلفة من المادة مثل الحالة الصلبة ، الحالة السائلة، الحالة الغازية، حالة البلازما. كما ان الأطوار الوسيطة (Mesophases) بين الحالة الصلبة والحالة السائلة تشكل حالات من المادة ايضاً. أن الأطوار الواضحة والعديمة الامتزاج ممكن ان تتواجد في احدى حالات المادة أو ضمن احدى حالات المادة وخير مثال على ذلك ما نلاحظه في المخططات الطورية لسبائك الحديد حيث يتواجد العديد من الأطوار المختلفة في كل من الحالة الصلبة أو في الحالة السائلة. كما ان الأطوار ممكن ان تتباين بالاعتماد على قابلية الذوبان كما في السوائل القطبية (Liquid polar A) ومثال على ذلك لو تم خلط الماء وهو يعتبر من السوائل القطبية مع الزيت والذي يعتبر من السوائل الغير قطبية فأن المزيج سوف ينفصل بشكل أني الى طورين .

حيث ان الماء له قابلية ذوبان ضعيفة جداً (Is insoluble) في الزيت بالإضافة الى ان الزيت له قابلية ذوبان ضعيفة في الماء . حيث ان الذوبانية تمثل أقصى كمية من المذاب والتي يمكن لها ان تنتشر و تتلاشى (ذوبان) داخل المذيب و قبل ان يتوقف المذاب عن الذوبان والانتشار و يصبح بشكل طور منفصل .ان من الأمثلة على الاطوار النموذجية و المميزة للمادة هي الطور الصلب البلوري و الطور الصلب اللابلوري و الطور السائل وكالتالي:

1. الطور الصلب البلوري (Crystalline Solid Phase)

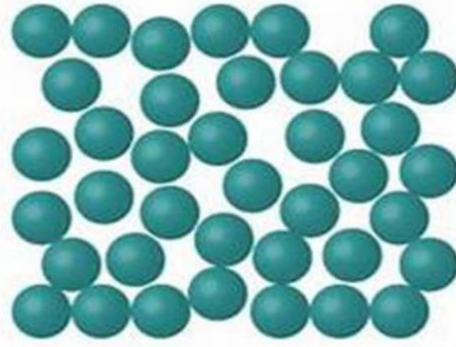
يتميز الطور الصلب البلوري للمادة بالترتيب الطويل المدى Long rang order لذراته وجزيئاته في الأبعاد الثلاثة، إذ يمتد الترتيب الى مسافات أكبر بآلاف أو مئات المرات من قطر الذرة أو الجزيئة كما أنه يتميز بالحجم الثابت والشكل الثابت.



Crystalline

2. الطور السائل: Liquid Phase

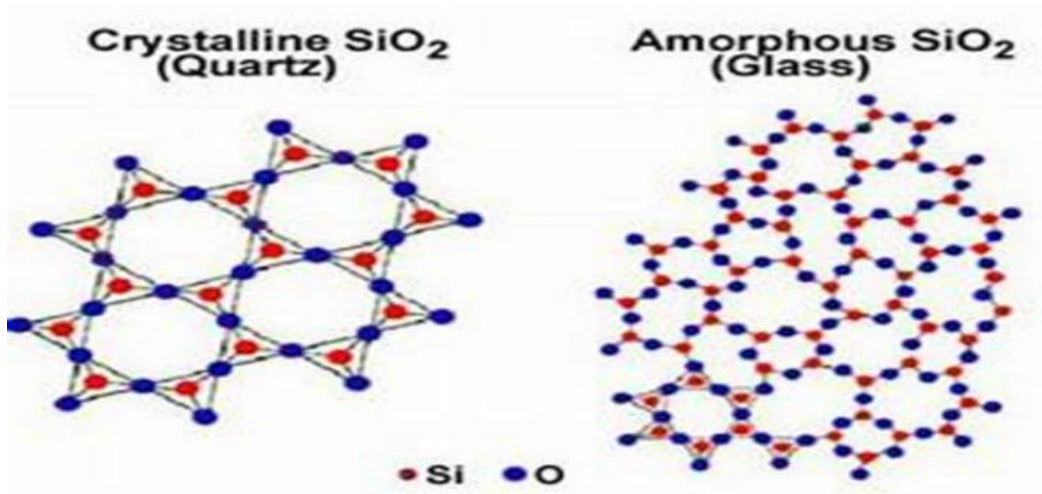
يتميز بعدم وجود الترتيب البلوري المميز للطور الصلب البلوري. إذ يمتلك الطور السائل الترتيب قصير المدى Short rang order ونجد نوعاً من الترتيب بين الجزيئات المجاورة للحيز المحدود الذي تشغله الجزيئة وسرعان ما ينعدم هذا الترتيب إذا ابتعدنا عن الجزيئة، كما أنه يتميز بالحجم الثابت والشكل المتغير. تشترك الغازات وخاصة حول درجات الحرارة الحرجة لها مع السوائل في خاصية الترتيب القصير المدى للجزيئات.



Amorphous

3. الطور الصلب اللابلوري (Amorphous Solid Phase) :

هو ذلك الطور الذي يشابه الطور السائل من حيث الترتيب قصير المدى للذرات أو الجزيئات وغالباً ما يوصف بأنه سائل متجمد فجأة لكنه يتشابه مع الصلب البلوري في كيفية حركة الذرات أو الجزيئات والكثافة، بالإضافة إلى الحجم الثابت والشكل الثابت. ومثال على ذلك الزجاج المكون من ثنائي أكسيد السيليكون أو السليكا.





وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة ديالى

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء / المرحلة الأولى

العام الدراسي 2025 – 2026

محاضرات

الحرارة وخواص المادة

مدرس المادة

أ. د انتصار كاظم عبد

الغازات

مقدمة

تتكون الغازات من جزيئات صغيرة، تكون الجزيئات مستقلة تقريباً بعضها عن البعض، أي لا تؤثر بعضها على البعض الآخر بأي قوى ما عدا في لحظات تصادمها. كما أنها في متصادمة مع بعضها من دون أن تتلاصق نتيجة (space) حركة مستمرة وتتجول في الفضاء هذا التصادم. تكون الطاقة الحركية لجزيئات الغاز كافية للتغلب على القوى الضئيلة التي تربط بين هذه الجزيئات. كما وتكون جزيئات الغاز متباعدة كثيراً عن بعضها، إذ يقدر معدل المسافة بين الجزيئات بعشرة أمثال قطر الجزيئة تقريباً. تكون سرعة جزيئات الغاز (في الأحوال الاعتيادية) مقارنة لسرعة الصوت في الهواء (أي 300 الى 400 متر في الثانية)، وبناء على ذلك يكون المعدل الزمني لعدد التصادمات بين جزيئات الغاز بحدود 109 تصادم لكل ثانية.

وتؤدي التصادمات بين جزيئات الغاز وجدران الوعاء الذي يحتويه إلى تكوين الضغط المؤثر على هذه الجدران. أن تباعد جزيئات الغاز بعضها عن البعض الآخر بمسافات أكبر من أقطار هذه الجزيئات أدى إلى انعدام الاحتكاك الداخلي بينها، وإلى هذا السبب أيضاً تعزى قابلية الغازات على الانكماش لكونها لا تمتلك شكلاً محدداً ولا حجماً ثابتاً، إذ تملأ جزيئات الغاز كل أنحاء الوعاء الذي توضع فيه.

أن التغيرات التي تطرأ (إثناء تصادم الجزيئات) على قيمة واتجاه سرعة أحد الجزيئات يقابله تغير معاكس (مضاد) في قيمة سرعة الجزيئة الثانية واتجاهها، إذ يكون معدل التغير في القيمة والاتجاه لسرع الجزيئات المختلفة مساوي للصفر، وعلى هذا الأساس يكون للكتلة المعينة المتزنة من الغاز وعند درجة الحرارة الثابتة ما يأتي:

1. تكون اتجاهات حركة الجزيئات موزعة بالتساوي على جميع الاتجاهات.
2. يكون معدل الطاقة الحركية لجميع جزيئات الغاز متساوية، ويعتمد على درجة الغاز المثالي.

الغاز المثالي The Ideal Gases:

هو الغاز الذي تكون جزيئاته متناهية في الصغر (نقطية) تامة المرونة، ينعلم بينها الاحتكاك لأنها لا تؤثر في بعضها البعض بأي قوى، ان الغاز المثالي غير موجود في الحقيقة.

الغاز الحقيقي The Real Gases

هو الغاز الذي تكون جزيئاته صغيرة ومتباعدة بعضها عن بعض. وعند الظروف الاعتيادية من ضغط ودرجة حرارة تقترب خواص الغازات الخفيفة من خواص الغاز المثالي، بشرط أن تكون درجة الحرارة اعلى بكثير من درجة حرارة تسييل الغاز.

النظرية الحركية للغازات Kinetic Theory of Gases

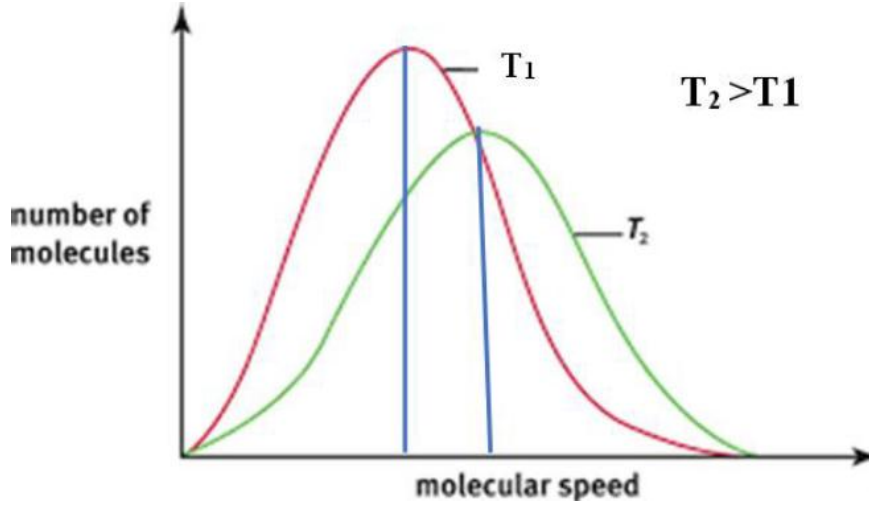
ان الكثير من خواص الغازات يمكن توقعها بالاعتماد على اساسيات النظرية الحركية للغازات وحيث تعتمد هذه النظرية على الفرضيات الرئيسية التالية:

1. تتكون الغازات من جزيئات متناهية في الصغر كتلتها نقطية، أي أنها تمتلك كتلة ولا تمتلك حجماً.
2. أهمل القوى المؤثرة بين الجزيئات مهمة عدا في لحظة تصادمها.
3. تكون حركة الجزيئات عشوائية و بخطوط مستقيمة فقط ما بين التصادمات.
4. تكون جزيئات الغاز تامة المرونة، كما ويكون التصادم بين هذه الجزيئات مرناً أيضاً اذ تهمل الطاقة المفقودة عند التصادم بين الجزيئات أو عند التصادم مع جدران الاناء الذي

يحتويها، اي ان طاقتها الحركية محفوظة وقد يحصل تبادل للطاقة بين الجزيئات. أن الوقت المستغرق خلال التصادم ضئيل جدا يمكن اهماله.

5. أن درجة حرارة الغاز هي مقياس لمتوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها الجزيئات نتيجة لحركتها.

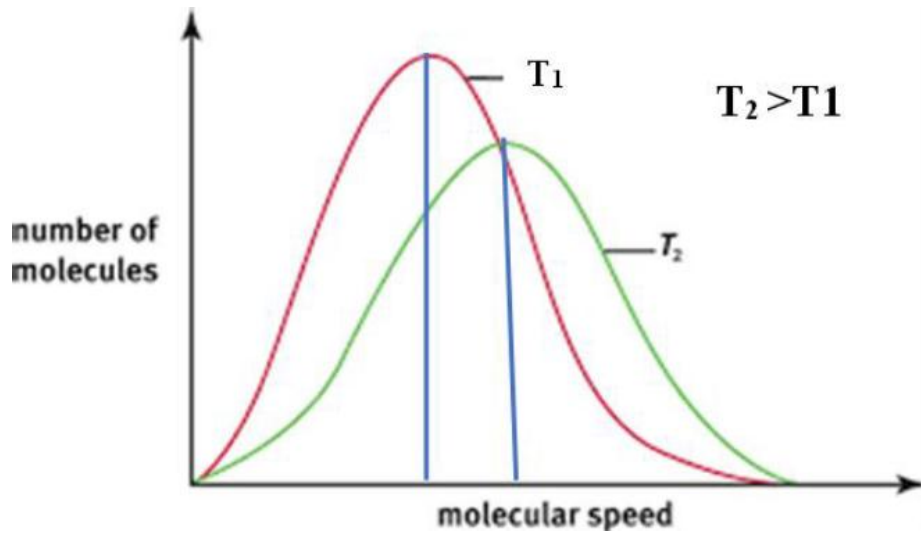
6. . تتوزع سرعة الجزيئات وبالتالي طاقتها الحركية توزيعا معيناً يعرف بتوزيع ماكسويل بولتزمان (Maxwell-Boltzmann) كدالة لدرجة الحرارة ودالة ايضاً للكتلة الجزيئية للغاز مع عدد الجزيئات التي تحمل تلك السرعة وتلك الطاقة الحركية.



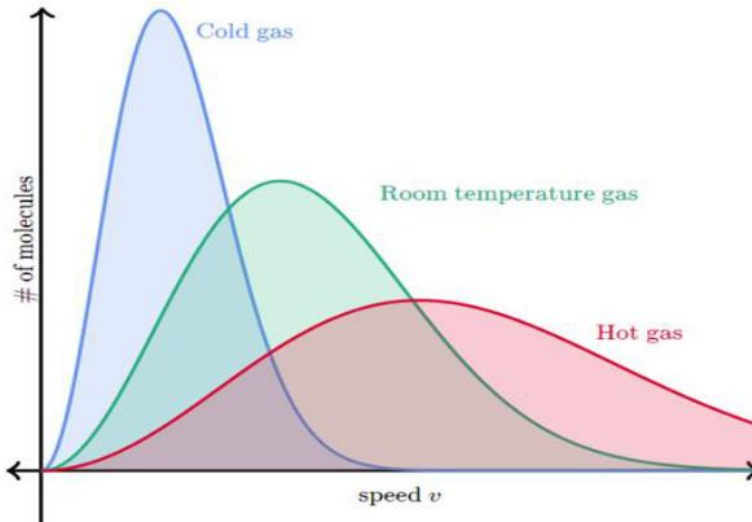
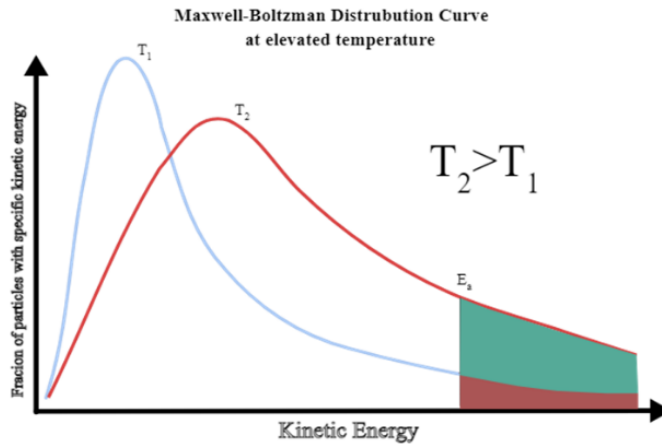
يوضح تغير عدد جزيئات الغاز مع سرعتها كدالة لدرجة الحرارة تبعا لتوزيع ماكسويل - بولتزمان

يعتمد توزيع ماكسويل - بولتزمان لسرعة الجزيئات على كتلة الجزيء. حيث في المتوسط، تتحرك الجزيئات الثقيلة بشكل أبطأ من الجزيئات الأخف. لذلك ، سيكون للجزيئات الأثقل توزيعاً أصغر للسرعة في حين أن الجزيئات الأخف سيكون لها توزيع سرعة أكثر انتشاراً.

أن معظم جسيمات الغاز تتحرك بمتوسط سرعة . وتختلف سرعة جسيمات الغاز باختلاف درجة الحرارة أو باختلاف كتلتها الذرية (m_A) أو الجزيئية (m_M) أو الكتلة المولية (M) ، حيث بارتفاع درجة الحرارة أو بانخفاض كتلة جسيمة الغاز سيتوسع منحنى توزيع السرعة ليعطي مدى واسع من السرعات المختلفة بالتالي فإن منحنى توزيع ماكسويل - بولتزمان لسرعة جسيمات الغاز يعتمد على درجة الحرارة وعلى كتلتها الذرية (m_A) أو الجزيئية (m_M) أو الكتلة المولية (M).



وحسب الشكل التالي فإن الطاقة الحركية لجسيمات الغاز تختلف باختلاف درجة الحرارة حيث بارتفاع درجة الحرارة يتوسع منحنى توزيع الطاقة الحركية ليعطي مدى واسع من الطاقات الحركية المختلفة . بالتالي فإن منحنى توزيع ماكسويل - بولتزمان للطاقة الحركية لجسيمات الغاز يعتمد فقط على درجة الحرارة.



منحني توزيع ماكسويل - بولتزمان للطاقة الحركية لجسيمات الغاز يعتمد فقط على درجة الحرارة.

أن الطاقة الحركية لجزيئات الغاز تتناسب طردياً مع مربع سرعتها (v^2) ومع كتلتها الذرية (m) أو الجزيئية (mM) أو الكتلة المولية (M) ويتساوى معدل الطاقة الحركية للجزيئات المختلفة عند درجة الحرارة نفسها، فإذا فرضنا أن m_1 و m_2 تمثلان كتلة جزيئتين من غازين مختلفين، فعند درجة الحرارة نفسها يكون:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

حيث ان v_1^2 و v_2^2 تمثلان متوسط قيم مربع سرع الجزيئتين ، وعليه فإن:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

عدد افوكادرو N_A

تحتوي الحجوم المتساوية للغازات جميعها على نفس العدد من الجزيئات، بشرط ان تكون تحت الظروف نفسها من ضغط ودرجة حرارة. وبناء على ما تقدم فان عدد افوكادرو من جزيئات أي غاز تشغل الحجم نفسه تحت الظروف نفسها من ضغط ودرجة حرارة.

وعلى وجه الدقة فان المول الواحد من أي غاز تحت الظروف القياسية من ضغط ودرجة حرارة سوف يشغل الحجم نفسه الذي مقداره 22.4 لتر. يعد عدد افوكادرو ذا أهمية اساسية وبخاصة عند التعامل مع الذرات والجزيئات، وغالباً ما يرمز لعدد افوكادرو N_A وهذا العدد يعني ان الكتلة الذرية او الجزيئية(الوزن الذري او الجزيئي) من المادة يحتوي على عدد محدد من الذرات او الجزيئات هو عدد افوكادرو.

ان احسن قيمة تجريبية لعدد افوكادرو هي :

$$N_A = 6.022 \times 10^{26} \text{ particles / Kg.mol}$$

وبما ان الكيلوغرام الواحد يساوي 1000 غرام, فان

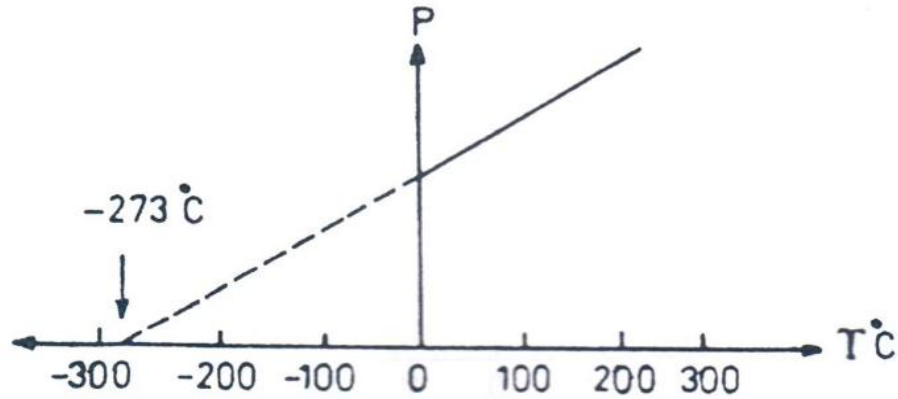
$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ particles / g.mol}$$

وغالباً ما يستخدم مصطلح المول عوضاً عن الجزيء الغرامي.

قانون الغاز

يعد قانون الغاز الذي يحكم سلوك الهواء وكثير من الغازات بسيطاً ويمكن تحقيقه تجريباً. يعتمد قانون الغاز على ثلاثة متغيرات هي الضغط ودرجة الحرارة وعدد الجزيئات في وحدة الحجم.

عند تسخين كمية من الغاز محبوسة في وعاء مغلق (الحجم ثابت) فإن ضغطها سوف يزداد زيادة خطية مع درجة الحرارة، شرط الا يكون الغاز قريباً من ظروف اسالته من ضغط ودرجة حرارة. ان العلاقة بين الضاغط ودرجة الحرارة في هذه الحالة تكون علاقة خطية وكما هو مبين في الشكل، إن امتداد الخط المستقيم سيقطع محور درجة الحرارة عند درجة الحرارة - 273.15 سليزيوس.



علاقة ضغط الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت الحجم

عند ثبوت حجم الغاز فان:

$$P \propto T$$

$$P = (\text{constant}) \times T$$

بشرط أن يعبر عن قيمة درجة الحرارة بالمقياس الكلفني (المطلق)

أما عند تسخين الكمية نفسها من الغاز تحت ضغط ثابت فإن حجمها سيتغير تغيراً خطياً مشابهاً إلى التغير السابق، وسنحصل على علاقة خطية بين حجم الغاز ودرجة الحرارة، وإن امتداد الخط المستقيم سوف يقطع محور درجة الحرارة مرةً أخرى عند درجة حرارة -273.15 . يبين الشكل التالي العلاقة بين حجم الغاز ودرجة الحرارة ويوضح أن انكماش الغاز تحت ضغط ثابت سيصاحبه انخفاض في درجة حرارته. وباستخدام المقياس الكلفني (المطلق) يكون:

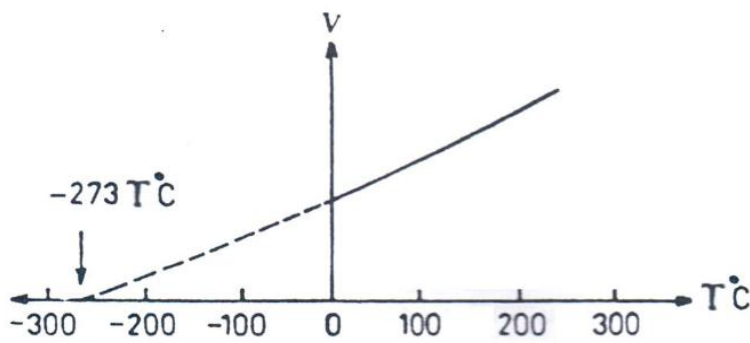
$$V \propto T$$

عند ثبوت الضغط المسلط على الغاز

$$V = (\text{constant}) \times T$$

يمكن إعادة صياغة العلاقتين السابقتين بعلاقة واحدة وهي:

$$PV = (\text{constant}) \times T$$



علاقة حجم الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت الضغط

يتبع الغاز هذه المعادلة بشرط أن تكون قيم كل من الضغط المسلط على الغاز ودرجة حرارته بعيدتين عن قيم شروط أسالته.

إن قانون الغاز المثالي ينطوي على قانونين ثانويين وهما:

قانون بويل

وينص على انه حاصل ضرب ضغط كمية محدودة من غاز في حجمها يجب ان تكون

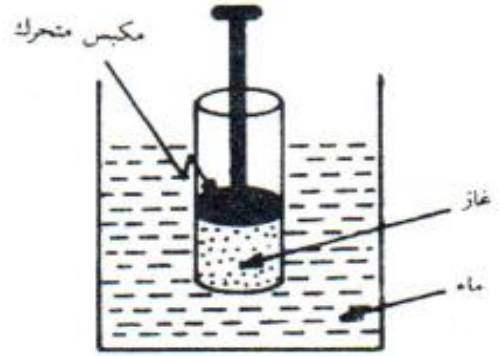
كمية ثابتة في حالة التمدد او الانكماش بشرط ثبوت درجة الحرارة، أي انه:

$$PV = \text{constant} \text{ (عند ثبوت درجة الحرارة)}$$

يمكن التحقق من صحة هذا القانون وذلك بوضع كمية محددة من الغاز في اسطوانة ذات

مكبس متحرك محاطة بمادة ذات درجة حرارة ثابتة (كحمام الماء مثلاً) وذلك للمحافظة على

درجة حرارة ثابتة للغاز. كما الشكل



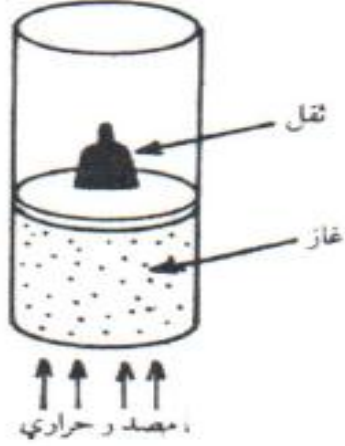
قانون شارل

وينص على انه ثبوت الضغط فان نسبة حجم كمية من الغاز الى درجة حرارته المطلقة

تبقى ثابتة في حالة التسخين او التبريد، أي ان:

$$\frac{V}{T} = \text{constant} \text{ (عند ثبوت الضغط)}$$

يمكن التحقق من هذه العلاقة وذلك بوضع كمية محددة من الغاز في اسطوانة ذات مكبس متحرك ووضع ثقل ثابت فوق المكبس. ثم يسخن الغاز لأجل تغيير درجة حرارته كما في الشكل



ثابت الغاز

يطلق على القانون الاتي

$$P V = (\text{constant}) T$$

بقانون الغاز المثالي .

تمثل P ضغط كمية معينة من الغاز المثالي و V حجم الغاز و T درجة حرارة الغاز المطلقة .
وتم تحديد قيمة الكمية الثابتة تجريبيا فوجد بانها مساوية الى nR اي ان :

$$\text{constant} = n R$$

تمثل n عدد الجزيئات الكيلو غرامية او الغرامية (المولات) من الغاز الموجود في الحجم V ، اما R فتمثل ثابت الغاز . ان احسن قيمة تم ايجادها لثابت الغاز مساوية الى :

$$R = 8314 \text{ J/Kmol.k}$$

أو

$$R = 8.314 \text{ J/mol.k}$$

قانون الغاز المثالي

يمكن الان اعادة كتابة قانون الغاز ، كما في الصيغة الآتية:

$$P V = n R T$$

وغالبا ما يطلق على هذا القانون. قانون الغاز المثالي او العام.

هناك عدة نقاط مهمة يجب مراعاتها عند تطبيق هذا القانون واهمها:

1. ان قيمة درجة الحرارة T يجب ان تكون دائما بالدرجة الكلفينية.

2. استخدام الوحدات المناسبة لمختلف الكميات المستخدمة

3. ان قيمة R تكون اما

1. مساوية الى 8314 في حالة كون n تمثل عدد الجزيئات الكيلو غرامية في الحجم

2. مساوية الى 8.314 في حالة كون n تمثل عدد الجزيئات الغرامية في الحجم V

3. يجب ان يكون الحجم الذي تشغله جزيئات الغاز نفسها صغيرا جدا (مهملا) مقارنة

بالحجم الذي يشغله الغاز

4. يجب ان يكون الغاز بعيدا عن شروط اسالته من ضغط الغاز

ولتحقيق هذا الشرط يجب ان تكون درجة حرارة الغاز عالية لدرجة حرارية تكفي لان

يكون عدداً قليلاً جداً من الجزيئات ترتبط ببعضها.

السوائل

تتميّز السوائل عن الحالة الصلبة والغازية:

- بامتلاكها لحجم ثابت وشكل متغيّر إذ تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه
- تكون قوى الترابط بين ذرات أو جزيئات السائل أقل كثيرا مما هي في الحالة الصلبة ونتيجة لذلك فإن السوائل لا تظهر مقاومة للإجهاد المسلط عليها.
- أما الموائع فتتضمن السوائل والغازات فهي مواد تستطيع الجريان مع بعض الفروقات فالغازات تنكس بسهولة بينما السوائل غير قابلة للكبس حيث يحصل تغيّر في الجسم عند الضغط على السائل ولكن صغير جدا يهمل غالبا عند الضغوط الواطئة .

الكثافة

ان كثافة المواد أو الموائع تقسم الى قسمين وهما الكثافة الكتلية و الكثافة الوزنية.

الكثافة الكتلية: (Density Mass) وهي كتلة وحدة الحجم و الكثافة الكتلية لا تتأثر بتغير نظام الجاذبية، والكثافة خاصية مكثفة للمادة من حيث أن زيادة كمية المادة لا يزيد من كثافتها بل على العكس سيزيد من كتلتها وتأخذ الرمز ρ وحداتها $3g/cm^3, Kg/m$ في نظام الوحدات العالمية SI ، ان كثافة مادة ما كتلتها m وحجمها V يعبر بالمعادلة التالية :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

الكثافة الوزنية Density Weight : وهي وزن وحدة الحجم ، أي قوة جذب الارض لوحدة الحجم وهذه الكثافة تتغير بتغير نظام الجذب وتأخذ الرمز D ووحدتها $3N/m^3, dyne/cm$ ويعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$D = \frac{w}{V} = \frac{m g}{V} = \rho g$$

ان كثافة المادة تتغير مع تغير درجة حرارتها، وعليه فأن معدل المسافة بين الجزيئات سوف يزداد، اي ان كتلة المادة ستشغل حجما اكبر مما يؤدي الى تغير كثافة المادة بتغير درجة حرارتها . وبصورة عامة تقل كثافة المواد بارتفاع درجة حرارتها. ما عدا بعض الاستثناءات والتي تزداد فيها كثافة المادة بارتفاع درجة حرارتها، مثل ازدياد كثافة الماء عندما ترتفع درجة حرارته من 0 °C الى 4 °C) ان كثافة أي مادة تعتمد على العوامل الرئيسية التالية وهي:

1. كتلة الذرات أو الجزيئات (نوع المادة).

2. درجة الحرارة (تغير الحجم).

3. الضغط (تغير الحجم).

ان تغير كثافة المادة بتغير درجة حرارتها أو الضغط المسلط عليها عادة ما يكون هذا التغير صغيرا بالنسبة للمواد الصلبة والسوائل . حيث تتأثر كثافة السائل بشكل قليل و لمدى واسع من الضغط و درجة الحرارة لذلك يمكن اعتبارها ثابتة في الظروف الطبيعية من ضغط ودرجة حرارة، أما كثافة الغاز فتتأثر بشكل كبير لتغيرات درجة الحرارة و الضغط . تؤدي زيادة الضغط على الجسم الى تقليل حجمه وبالتالي زيادة كثافته بسبب نقصان المسافة البينية بين الذرات . أما زيادة درجة حرارة مادة ما يؤدي إلى تقليل كثافتها عن طريق زيادة حجمها بسبب زيادة المسافة البينية بين الذرات .

الشد السطحي (γ) (The Surface Tension)

ان من خواص السوائل المهمة هي ميل سطحها للتقلص من أجل الحصول على أقل مساحة سطحية ممكنة ونظرا لأمتلاك الكرة أقل مساحة سطحية لأي حجم معين من المادة لذلك تكون قطرات ماء المطر الساقطة خلال الهواء كروية الشكل تقريبا . وللسبب نفسه تمتلك فقاعات الهواء في الماء و قطرات الزيت في الماء كرويا أيضا . ان عدم امتلاك القطرات الكبيرة للماء أو الزيت شكل كرويا تماما بل شكلا شبه بيضوي وذلك يرجع الى تأثير وزن المادة فيها بالإضافة الى ذلك فأن هناك الكثير من الظواهر المألوفة في السوائل مثل: تحذب سطح الماء الموجود في دورق صغير مملوء بأكثر من سعته قليلا وعدم انسكابه طفو بعض القطع المعدنية كالإبرة وشفرة الحلاقة الجافتين على سطح الماء الساكن.

•وقوف أو سير بعض الحشرات على سطح الماء دون ان تغطس مع ان كثافة تلك الاجسام تفوق كثيرا كثافة الماء كما مبين في الشكل:

•ظاهرة ارتفاع الماء في الانابيب الشعرية أو انخفاض الزيت فيها عن المستوى الخارجي لهما . ان كل هذه الظواهر تعزى ظاهرة أو خاصية الشد السطحي في السوائل والتي يكون فيها سطح السائل عبارة عن غشاء مشدود.



اذن الشد السطحي ابداء مقاومة لأي قوة خارجية تحاول تغيير حالته وذلك بسبب الطبيعة المتماسكة لجزيئاته لذلك يتصرف سطح السائل كما لو كان غشاء مرن ممتد . اذن الشد

السطحي يمثل القوة المؤثرة لكل وحدة طول من سطح السائل و وحدته (N/m , dyn/cm)
وبذلك يعتبر بمثابة القوة المماسية للسطح .

تعتمد قيمة الشد السطحي للسائل على:

1.نوع السائل : نوع وطبيعة الجسيمات المكونة للسائل (ذرات او جزيئات) والقوى الناشئة بين تلك الجسيمات فكلما كانت القوى بين الجزيئات كبيرة كلما كانت قيمة الشد السطحي للسائل كبيرا ايضا.

2.درجة حرارة السائل حيث تقل قيمة الشد السطحي للسائل بارتفاع درجة حرارته وذلك لزيادة سرعة الحركة الجزيئية للسائل وبالتالي تقل قوة التماسك بين جزيئات السائل. وهذا يفسر لماذا يستخدم الماء الحار والصابون لأزالة البقع الدهنية، أذ يقل الشد السطحي للبقع الدهنية بتأثير الحرارة وتتفتت تلك البقع.

ولدراسة الشد السطحي يجب علينا ان نتعرف المفاهيم الفيزيائية التالية:

1.قوة التماسك : ((Cohesion Force هي قوة التجاذب بين جزيئات المادة نفسها
جزيئات المادة قيد الدراسة (intermolecular Force) وتعتمد على:

a. طبيعة ذرات أو جزيئات المادة السائلة.

b. المسافة الفاصلة بين ذرات أو جزيئات المادة السائلة. قد تكون قوة التماسك بين جزيئين صغيرة لكن عندما تتجمع ملايين الجزيئات فأن هذه القوة تكبر فمثلا سلك من الحديد قطره (10 mm) يتحمل ثقل كتلته أكثر من طن وهذا مقياس لقوة التماسك بين ملايين الذرات في مقطع السلك. وتكون قوة التماسك بين جزيئات الصلب أكبر من السوائل وفي السوائل أكبر من الغازات.

2. **قوة التلاصق: Adhesion Force** هي قوة التجاذب بين جزيئات مختلفة بالنوع مثلا (جزيئات مادة الزجاج مع جزيئات مادة الماء) وتختلف قيمتها باختلاف المواد .

3. **مدى التأثير الجزيئي: The Molecular Extent Effect** هي أقصى مسافة يمكن ان تظهر فيها قوة التماسك بين جزيئين متشابهتين في النوع أو قوة التلاصق جزيئتين مختلفتين في النوع .

4. **سطح السائل : The Liquid Surface** يكون سطح السائل الساكن عموديا على محصلة القوة المؤثرة عليه . وخلاف ذلك يعني وجود مركبة قوة موازية لهذه القوة المحصلة، ان مركبة القوه هذه تكون موازية للسطح وتسبب حركة السائل. وبصورة عامة يكون سطح السائل افقيا . أي يصنع زاوية قائمة مع قوة الجاذبية . بينما ينحني سطح السائل عند اتصاله بسطوح الأجسام الصلبة .

معادلة برنولي

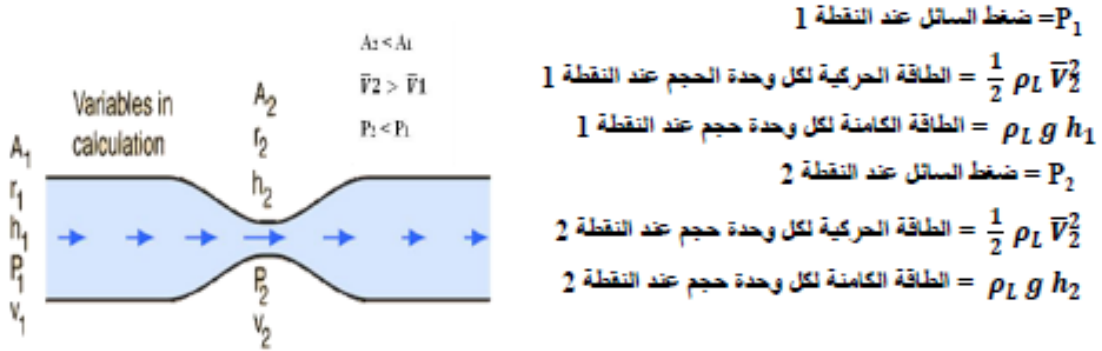
معادلة برنولي Bernoulli's Equation

عندما تتحرك السوائل الحقيقية تؤثر فيها القوى الاحتكاكية (قوى اللزوجة)، وتعمل هذه القوة الاحتكاكية على مقاومة الطاقة الميكانيكية الحركية للسائل، مما يتطلب بذل شغل كبير لدفع السوائل في الأنابيب. حيث تمكن العالم برنولي من ايجاد معادلة الضغط في السوائل ذات القوى الاحتكاكية القليلة، والتي يمكن اهمالها .

ان هذه المعادلة عبارة عن تطبيق لقانون حفظ الطاقة حيث تتكلم المعادلة عن سائل ذو جريان انسيابي عديم اللزوجة غير قابل للانضغاط و كثافته لا تتغير (سائل مثالي)، تنص المعادلة على ان مجموع الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجم (كثافة الطاقة الحركية) و الطاقة الكامنة لوحدة الحجم (كثافة الطاقة الكامنة) من السائل ثابتة لعمليات جريان السائل اي

متساوي لجميع النقاط في السائل ذو الجريان الأنسيابي وكما في الشكل والذي يبين انبوب مخصر ذو مقطعين، مساحة المقطع الاول تكون أكبر من مساحة المقطع الثاني يجري فيه سائل بشكل انسيابي.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_L \bar{V}_1^2 + \rho_L g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_L \bar{V}_2^2 + \rho_L g h_2$$



حيث يلاحظ التالي :

$$\frac{1}{2} \rho_L \bar{V}_1^2 = \frac{1}{2} \frac{m \bar{V}_1^2}{V_L} = \frac{\text{kinetic energy}}{V_L}, \rho_L = \frac{m_L}{V_L}$$

$$\rho_L g h = \frac{m_L g h}{V_L}, \quad \rho_L = \frac{m_L}{V_L}$$

حيث أن (P) يمثل ضغط السائل و (m_L) كتلة السائل و (h) ارتفاع السائل عن مستوى سطح الأرض، ($\bar{V}$) تمثل سرعة السائل داخل المقطع و (ρ_L) كثافة السائل و (g) التمعيل الأرضي.

نستنتج من معادلة برنولي التالي:

- ان النقطة التي يكون فيها الضغط كبير تكون السرعة قليلة.
- عند مساحة المقطع الكبير تكون السرعة قليلة و اذا كانت مساحة صغيرة تكون السرعة عالية.
- الضغط يكون كبير عند المقطع الكبير و بالعكس.

وهذا يقودنا الى حقيقة مهمة جدا هي ان سرعة جريان السائل تكون كبيرة و الضغط منخفضا في مساحة المقطع الصغيرة للأنبوب و بالعكس وهذا ما تلخصه المعادلة ادناه:

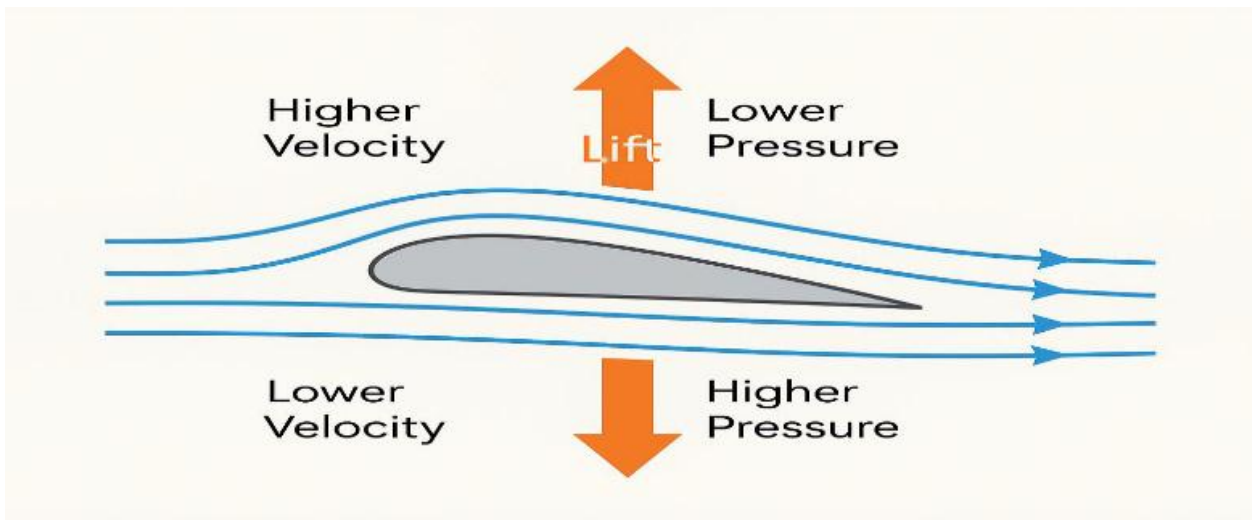
$$\text{When } A_1 > A_2 \text{ Then } P_1 > P_2 \text{ and } \bar{V}_1 < \bar{V}_2$$

من الجدير بالذكر ان هناك حالة خاصة في معادلة برنولي وهي عندما يكون الأنبوب بالحالة الأفقية اي أن $(h_1 = h_2)$ لذلك فان الطاقة الكامنة لوحدة الحجم (كثافة الطاقة الكامنة لوحدة الحجم $(\rho_L gh)$ ستحذف من طرفي المعادلة بالتالي ستصبح (، المعادلة كما يلي:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_L \bar{V}_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_L \bar{V}_2^2 .$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho_L (\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2) \dots\dots .$$

ان من ضمن تطبيقات معادلة برنولي هي استخدامها في تصميم أجنحة الطائرة و هيكلها العام حيث يكون الضغط اسفل أجنحة الطائرة اكبر من فوقها عند بدأ حركة الطائرة لان سرعة الهواء اسفل أجنحة الطائرة تكون اقل من اعلى أجنحة الطائرة.



معادلة تورشيلي

ينص مبدأ تورشيلي على أن سرعة تدفق السائل تحت قوة الجاذبية من فتحة في الخزان تتناسب مع الجذر التربيعي للمسافة h بين سطح السائل ومركز الفتحة وتتناسب سرعة تدفق السائل أيضا والجذر التربيعي لضعف التعجيل الناتج عن الجاذبية

(2g) ، أو ببساطة $(\bar{V} = \sqrt{2gh})$ ان قيمة التسارع الناجم عن الجاذبية الارضية على سطح الارض يبلغ حوالي (9.8 m/s^2) .

الخواص الميكانيكية للمادة

المرونة : Elasticity

يتطرق موضوع المرونة الى دراسة الكيفية التي يتغير فيها شكل وحجم المواد الحقيقية مثل الخشب والحديد والخرسانة عند تسليط قوة خارجية عليها . ويسمى هذا الموضوع بمقاومة المواد of strength material .

ان المواد تتأثر بالقوة الخارجية المؤثرة عليها بدرجات متفاوتة ، فالجسم الصلب او المتماسك يعرف بانه الجسم الذي ال يتغير شكله او حجمه بتأثير القوى الخارجية .اما المادة التي تسترجع شكلها وحجمها الأصليين عند زوال القوة فتعرف بانها مادة تامة المرونة وخالفا لذلك فأنها تسمى مادة لدنة plastic وتفقد المادة خاصية المرونة اذا ازدادت القوة عن مقدار معين يسمى حد المرونة (limit Elastic) وتدرس خواص المرونة للمواد بواسطة كميتين هما الاجهاد (stress) والمطاوعة (Strain).

❖ الاجهاد : Stress

هو القوة المؤثرة على وحدة المساحة A/F حيث ان

F : القوة و A : المساحة. وهناك انواع من الإجهاد وهي :

1. **اجهاد الشد** : فيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه على

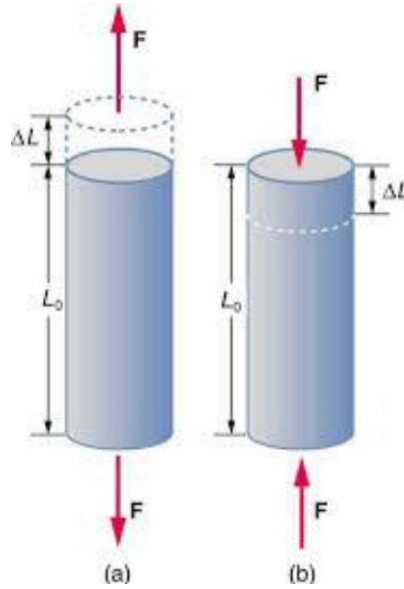
نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير وعليه فان تأثير القوتين هو العمل على استطالة

الجسم، حيث تنتزع القوة بالتساوي على جميع المساحة ماعدا نهايتي الجسم .

2. **اجهاد الكبس** : فيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه على

نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير وعليه فان تأثير القوتين هو العمل على ضغط

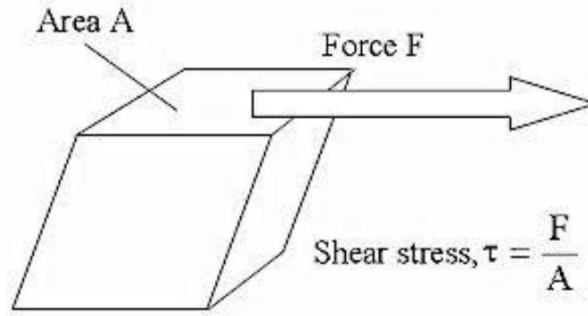
الجسم وتقصير طوله شكل يبين اجهاد الشد واجهاد الكبس.



1. **اجهاد القص** : وفيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار متعاكستان في الاتجاه على

نهايتي الجسم وعلى خطوط تأثير مختلفة كما في الشكل، وعليه فان تأثير القوتان

تؤدي إلى تغير شكل الجسم دون تغير حجمه



❖ المطاوعة Strain (N) :

تعرف مطاوعة مادة وتسمى ايضا (الانفعال) بانها التغير النسبي الذي يسببه الاجهاد لأبعاد الجسم او شكله او حجمه ويعرف ايضا انه تشوه تلك المادة وبما انه هناك عدة انواع للإجهاد فانه هناك عدة انواع للمطاوعة تبعا لذلك فهناك مطاوعة الشد (التوتر) ومطاوعة الكبس ومطاوعة القص . ان المطاوعة بجميع انواعها خالية من الوحدات .

1. **مطاوعة الشد (التوتر)** N_τ ويعرف بانه نسبة الاستطالة الى الطول الاصلي وتساوي الاستطالة / الطول الاصلي اي انه :

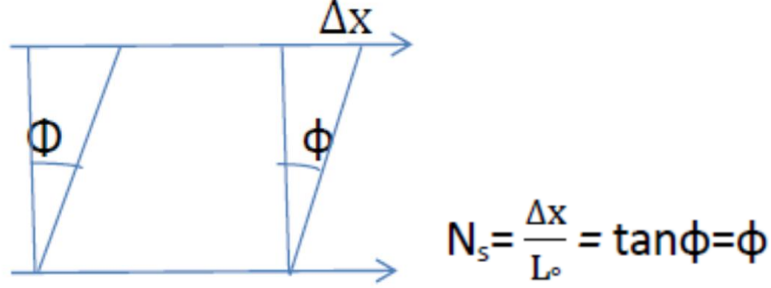
$$N_\tau = \frac{\Delta L}{L_0}$$

2. **مطاوعة الكبس N_c** : وتعرف بانها نسبة الانكماش (التقلص) الى الطول الاصلي وتساوي الانكماش / الطول الاصلي اي انه :

$$N_c = \frac{\Delta L}{L_0}$$

3. مطاوعة قصية N_s : ويعبر عن المطاوعة القصية ب مقدار الإزاحة الجانبية للطول

مثال للطول الأصلي وتساوي:



منحني الاجهاد والمطاوعة :

وهو منحنى يبين العلاقة بين الاجهاد والمطاوعة للمادة وكل مادة لها خصائص محددة لذلك تختلف كل مادة عن اخرى في درجة المطاوعة .

ويبدأ المنحني بعلاقة خطية حيث تزداد المطاوعة بزيادة الاجهاد الى ان تصل نقطه معينة تسمى مقاومة الخضوع حيث يبدأ التشوه بالجسم بعد هذه النقطة ويكون التشوه دائمي اي لا تعود المادة الى شكلها الاصلي بعد زوال الاجهاد .

ومن ثم وباستمرار زيادة الاجهاد على المادة يزداد مقدار التشوه او الانفعال في المادة الى ان تصل الى مرحلة مقاومة المادة للاجهاد الى ان يحصل تكسر في المادة وتسمى هذه النقطة اجهاد الكسر اي ان المادة تتلف كلياً بتأثير الاجهاد المسلط عليها . والشكل ادناه يبين المنحني بين الاجهاد والمطاوعة .

