

الفصل الثالث

ثرموداينمك الهواء

1.3 الثرموداينمك (Thermodynamics)

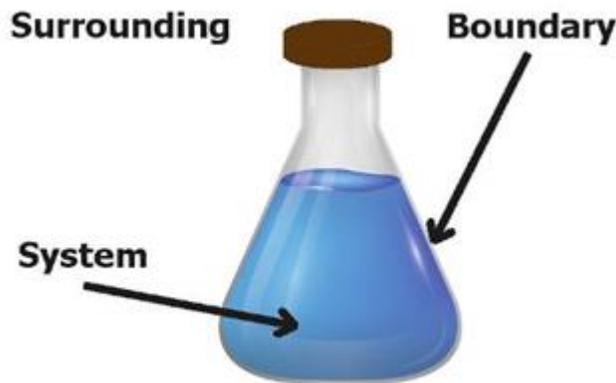
الثرموداينمك أو الديناميكا الحرارية هو فرع من فروع الفيزياء يعالج العلاقات الكائنة بين الحرارة وغيرها من أشكال الطاقة. أو يمكن تعريفه بالتحديد على أنه كيفية تحول الطاقة الحرارية الى أشكال مختلفة من الطاقة وكيف يؤثر على المادة.

2.3 العمليات الحرارية (Thermal Processes)

تعرف العمليات الحرارية بأنها عملية التحول من حالة إتزان إلى حالة إتزان آخر، ويمكن من خلال هذه العملية تثبيت خاصية التوازن فيما اذا كان (توازن ميكانيكي، توازن ثرموديناميكي، توازن حراري، توازن كيميائي).

3.3 الانظمة الديناميكية الحرارية (Thermodynamic System)

يمكن تعريف النظام الديناميكي الحراري على أنه جزء من الكون تحدث عليه بعض التغييرات، وفي الواقع يجب معرفة أنّ المناطق المحيطة بالنظام الديناميكي الحراري هي بقية الكون وتعبّر عن كل شيء ما عدا النظام، لذلك يمكن التعبير عن العلاقة بين النظام الديناميكي الحراري ومحيطه والكون على أن الكون هو نظام مضافا له المحيط.



النظام الديناميكي الحراري

1.3.3 أنواع الأنظمة في الترموديناميك (Types of Thermodynamic Systems)

1. النظام المغلق (Closed System): هو النظام الذي لا يحدث فيه انتقال للكتلة بين العينة والوسط المحيط بها، ولكن يمكن أن يحدث بينهما انتقال للحرارة. 
2. النظام المفتوح (Open System): هو النظام الذي يحدث فيه انتقال للكتلة والحرارة بين العينة والوسط المحيط بها. 
3. النظام المعزول (Isolated System): هو النظام الذي لا يحدث فيه انتقال للكتلة والحرارة بين العينة والوسط المحيط بها. 



Isolated system

Mass transfer (No)

Heat transfer (No)

Open system

Mass transfer (yes)

Heat transfer (yes)

Closed system

Mass transfer (No)

Heat transfer (yes)

4.3 القانون الأول للديناميكا الحرارية (First Law of Thermodynamics)

أن الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة، وإن عمليات وقوانين الترموديناميك تخضع إلى مبدأ الحفاظ على الطاقة (Conservation of Energy)، أي أن الطاقة تتغير من حالة إلى أخرى ومن طاقة كامنة إلى طاقة نشطة. لذلك فإن القانون الأول ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم ولكن تتحول من شكل إلى آخر. ويشخص القانون أن نقل الحرارة بين الأنظمة هو نوع من أنواع نقل الطاقة، وإن ارتفاع الطاقة الداخلية لنظام ترموديناميكي معين يساوي كمية الطاقة الحرارية المضافة للنظام، مطروح منه الشغل الميكانيكي المبذول من النظام إلى الوسط المحيط أي أن:

$$\Delta U = Q - W$$

حيث:

ΔU : التغير في الطاقة الداخلية بالجول (Joules)

Q : الطاقة المنقولة كحرارة بالجول (Joules)

W : الشغل المنجز على النظام او بواسطته بالجول (Joules)

مثال 1: اذا كان الشغل المنجز لعينة من الغاز مقابل محيطها هو 150 جول وتفقد 90 جول من الطاقة الداخلية في هذه العملية: 1- احسب كمية الحرارة المكتسبة او المفقودة. 2- هل يكتسب الغاز الحرارة أم يفقدها؟

الحل:

$$1- \Delta U = Q - W$$

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = (-90 \text{ J}) + (150 \text{ J})$$

$$Q = 60 \text{ J}$$

2- يتم امتصاص 60 جول من الحرارة لأنجاز الشغل المطلوب.

1.4.3 قانون الديناميكا الحرارية الأول للنظام المغلق

الطاقة الكلية للنظام المغلق تساوي مجموع الطاقة الداخلية في النظام والشغل الذي يؤديه أو المنصب عليه:

$$dU = dQ - dW$$

حيث:

(dU) هي التغير في الطاقة الداخلية للنظام بالجول وهي دالة لدرجة الحرارة فقط $U = f(T)$

(dQ) هي كمية الحرارة الداخلة أو الخارجة إلى النظام بالجول.

(dW) هي الشغل المبذول على أو من النظام بالجول. فإذا كان النظام غازا فيكون الشغل هو حاصل ضرب الضغط p في تغير الحجم dV .

أي أن الطاقة في نظام مغلق تبقى ثابتة لا تتغير. وبناءا على ذلك يمكن للطاقة أن تظهر في صور مختلفة.

2.4.3 قانون الديناميكا الحرارية الأول للنظام المفتوح

$$dQ - dW = dH + dKin + dPot$$

حيث:

dQ : كمية الحرارة المضافة أو المنزوعة من النظام،

dW : الشغل المبذول في النظام

dH : التغير في المحتوى الحراري (الانثالبية) (H)

$dKin$: التغير في طاقة الحركة (Kinetic energy)

$dPot$: التغير في الطاقة الكامنة (Potential energy).

إذا كان الحجم (V) ثابتاً فإن $dV = 0$ وبالتالي لا شغل يؤدي لذا ستكون $dW = 0$ وهذا يعني أن كمية الحرارة التي يمتصها النظام تتناسب مع الزيادة في درجة الحرارة وتكون:

$$dU = dH$$

أي يكون التغير في الانثالبية (المحتوى الحراري) مساوياً للتغير في الطاقة الداخلية.

إذا كانت درجة الحرارة (T) ثابتة فإن $dT = 0$ وهذا يعني أن $dU = 0$ وفي هذه الحالة تكون:

$$dH = dW$$

أي أن كمية الحرارة التي يمتصها النظام تساوي الشغل المبذول بواسطة الغاز.

5.3 ثرموديناميك الغلاف الجوي (Atmospheric Thermodynamics)

هو دراسة تأثير الحرارة في عمليات الطقس وتغيرات نظام جو الأرض، وذلك بتطبيق القوانين الأساسية للثرموديناميك التقليدي.

1.5.3 درجة الحرارة الافتراضية (Virtual Temperature)

وجد عملياً أن الوزن الجزيئي للهواء الرطب أقل من الوزن الجزيئي للهواء الجاف وأن ثابت الغاز لـ (1Kg) من الهواء الرطب أكبر من ثابت الغاز لـ (1Kg) من الهواء الجاف، وأن القيمة الدقيقة لثابت الغاز للهواء الرطب تعتمد على كمية بخار الماء الموجودة في الهواء. من غير الملائم حساب ثابت الغاز للهواء الرطب لذلك فمن الأنسب الاحتفاظ بثابت الغاز للهواء الجاف واستخدام درجة حرارة وهمية في معادلة الغاز المثالي تسمى **درجة الحرارة الافتراضية وهي درجة الحرارة المفترضة للهواء الجاف لتكون له نفس كثافة الهواء الرطب عند نفس الضغط.** ونظراً لأن الهواء الرطب أقل كثافة من الهواء الجاف، لذا تكون درجة الحرارة الافتراضية دائماً أكبر من درجة الحرارة الفعلية، ويمكن حساب درجة الحرارة الافتراضية من المعادلة:

$$T_v = \frac{T}{1 - \left(\frac{e}{p}\right)(1 - \varepsilon)}$$

حيث ان:

T_v : درجة الحرارة الافتراضية.

T : درجة الحرارة الحقيقية.

e : الضغط الجزئي الذي يسلمه الهواء الرطب.

p : الضغط الحقيقي (الكلي) ويحسب كما يلي:

$$P = p_d + e$$

عندما: p_d هي الضغط الجزئي الذي يسلمه الهواء الجاف.

e هي الضغط الجزئي الذي يسلمه الهواء الرطب.

ε : هي النسبة بين الوزن الجزئي للهواء الجاف (R_{dry}) والوزن الجزئي للهواء الرطب (R_{vapor}) وتحسب كما يأتي:

$$R_{dry} (R_d) = 278 \text{ J/deg kg}$$

$$R_{vapor} (R_v) = 461 \text{ J/deg kg}$$

$$\varepsilon = R_d / R_v$$

$$\varepsilon = 0.622$$

كما يمكن صياغة معادلة درجة الحرارة الافتراضية بالشكل الآتي:

$$T_v = (1 + 0.61w) T$$

حيث w هي نسبة الخلط بين الهواء الجاف والهواء الرطب (g/Kg).

2.5.3 التوازن الهيدروستاتيكي في الغلاف الجوي

يكون الغلاف الجوي في حالة توازن هيدروستاتيكي (Hydrostatic Balance)، عندما تتوازن قوة تدرج الضغط الموجهة نحو الأعلى وقوة الجاذبية الأرضية الموجهة نحو الأسفل، وهذا يعني ان قوة الضغط العمودي تساوي قوة الجاذبية الأرضية. ويعمل التوازن الهيدروستاتيكي على حماية الغلاف الجوي من الانهيار وعدم تكثفه في طبقة غلاف واحدة، لذا فإن قوة الجاذبية الأرضية لها دور في منع

الغلاف الجوي من التبعر في الفضاء الخارجى فهي تعمل كعامل يسيطر على الغلاف الجوي. ويتم التعبير عن التوازن الهيدروستاتيكي رياضيا بواسطة المعادلة التالية:

$$dp/dz = -\rho g$$

حيث:

dp/dz : المشتق الجزئي لـ p بالنسبة إلى z

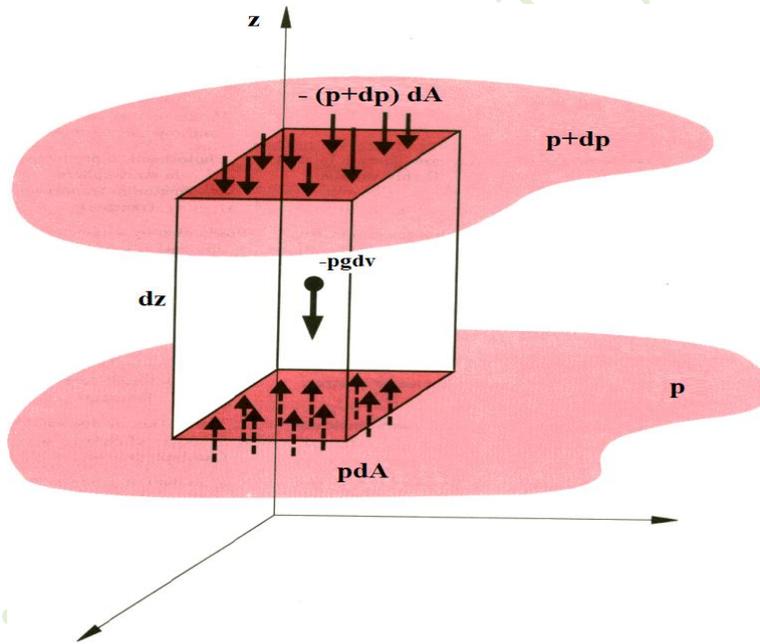
p : الضغط

z : الارتفاع

ρ : كثافة الهواء

g : تسارع الجاذبية (التعجيل الأرضي)

وتشير الاشارة السالبة (-) إلى أن الضغط يتناقص مع زيادة الارتفاع.



3.5.3 علاقة التوازن الهيدروستاتيكي بالارتفاع العمودي للغلاف الجوي

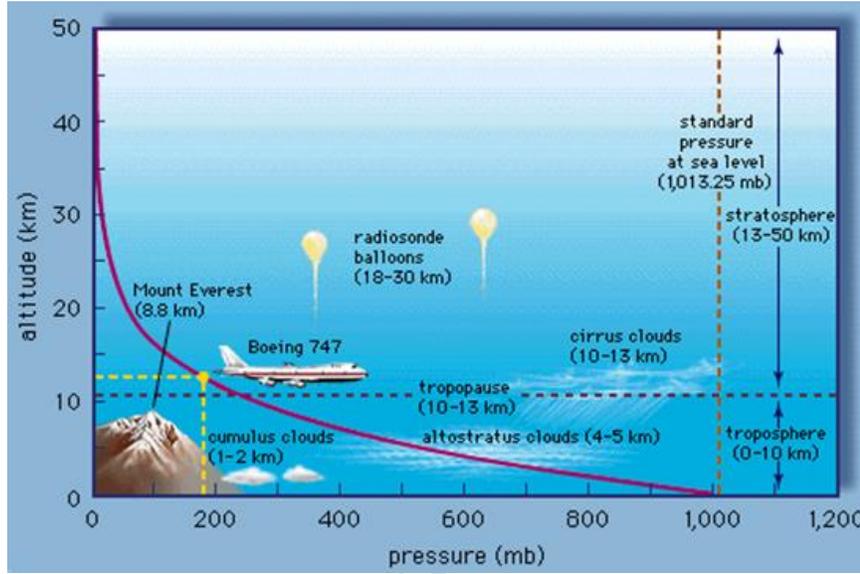
عند تعويض معادلة التوازن الهيدروستاتيكي في قانون الغاز المثالي تصبح المعادلة الهيدروستاتيكية كالتالي:

$$dP = -P/RT (gdz)$$

$$dP/P = -g/RT (dz)$$

$$P = P_s \exp (-gz/RT)$$

حيث تمثل P_s الضغط السطحي عند $(z = 0)$. ويوضح الشكل ادناه تناقص الضغط الجوي بشكل مضاعف مع زيادة الارتفاع.



6.3 قياس ارتفاع الغلاف الجوي (Scale Height of Atmosphere)

الارتفاع هو معلمة (parameter) تستخدم لوصف كيفية تلاشي معلمة أخرى مع زيادة المسافة. يتم تطبيقه على الغلاف الجوي للكواكب والأقمار الأرضية، فهو يجمع بين مفاهيم متنوعة مثل التوازن الهيدروستاتيكي، قانون الغاز المثالي، والتسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية. ويمكن حسابه بواسطة المعادلة:

$$H = \frac{RT}{mg}$$

حيث:

m : متوسط كتلة مول واحد من جسيمات الغلاف الجوي

H : مقياس الارتفاع

(0.029 kg/mol for Earth)

g : الجاذبية الأرضية

R : الثابت العام للغاز

T : درجة الحرارة