كلية العلوم

القسم : **علم الحياة**

السنة : **الاولى**

المادة : فيزياء حيوية

المحاضرة : الخامسة/نظري/

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Z مكتبة

جامعة طرطوس- كلية العلوم
قسم علم الأحياء - السنة الأولى

الفصل الخامس

علم الترموديناميك (الديناميكا الحرارية)

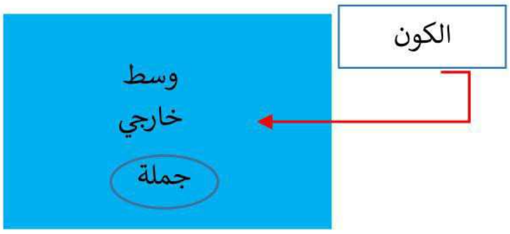
كلمة الترموديناميك :هي لفظة إنجليزية تنحدر أصلًا من كلمتين يونانيتين هما:

"تيرمو" وتعني حرارة، و"ديناميك" وتعني عمل.
إذًا، الترموديناميك هو العلم الذي يدرس تحولات الطاقة الداخلية إلى حرارة وعمل، وهو علم تجريبي يأخذ قراءاته من المتحولات الجهرية للجملة، المتمثلة بدرجة الحرارة $T(K)$، والحجم $V(m^3)$، والضغط $P(Pa)$، إضافةً إلى حالة الجملة الكيميائية المتمثلة بعدد المولات $n(mol)$.

من المناسب في بداية دراستنا للديناميكا الحرارية أن نتعرف على المفاهيم الأساسية في الترموديناميك:

أولًا: الجملة الترموديناميكية:

هي المادة المدروسة، وهي جزء من الفضاء محدد بسطح مغلق يحوي داخله جسمًا أو مجموعة أجسام مادية، وهذا السطح المغلق هو غلاف حقيقي أو وهمي يفصل الجملة عن الوسط الخارجي المحيط بها، ويسمى "حد الجملة."



أنواع الجمل الترموديناميكية:
من حيث علاقتها مع الوسط الخارجي
من حيث مظهرها

أولاً: من حيث علاقتها مع الوسط الخارجي

1. **جملة مفتوحة**:
هي الجملة التي تتبادل المادة والطاقة مع الوسط الخارجي المحيط بها.
مثال: جملة وعاء ماء عند تسخين الماء في وعاء مفتوح، أو بيشر، أو محرك سيارة يأخذ الهواء والوقود من الوسط الخارجي ويطرح نواتج الاحتراق إلى الخارج، كما يقدم عملًا ميكانيكيًا إلى الوسط الخارجي لتمكن السيارة من الحركة.

2. **جملة مغلقة**:
هي الجملة التي تتبادل الطاقة ولا تتبادل المادة مع الوسط الخارجي.
مثال: نقل الحرارة عند التماس معدني لجسمين لهما درجتا حرارة مختلفتان، أو **البراد** (خلال الفترة التي يكون فيها الباب مغلقًا)، إذ يأخذ البراد الطاقة الكهربائية من الوسط الخارجي ويقوم بإعطاء حرارة إلى الوسط الخارجي من خلال المشعات.

3. **جملة معزولة**:
هي الجملة التي لا تتبادل المادة ولا الطاقة مع الوسط الخارجي.

مثال: المسعر الحراري وهو وعاء زجاجي مضاعف الجدران، مفرغ من الهواء بينهما، ويُطلى الوعاء بالفضة لتخفيف التسرب الحراري بالإشعاع.

ثانياً: من حيث مظهرها

1. **جملة متجانسة**:
هي الجملة التي تحوي طورًا واحدًا (صلبًا – سائلًا – غازيًا).

2. **جملة غير متجانسة**:
هي الجملة التي تحوي طورين أو أكثر.

ثانيًا: الحالة – متحولات الحالة – معادلة الحالة:

لنتأمل الجملة الترموديناميكية التالية:
خزان ماء، حجمه $V = 50\ m^2$ ودرجة حرارته $T = 300\ K$ والضغط على سطح الماء $P = 10^5\ Pa$ نلاحظ أنه تم اختيار ثلاثة مقادير فيزيائية وهي الحجم، ودرجة الحرارة، والضغط، لوصف **متحولات الحالة** للجملة الترموديناميكية.
ولتحديد **حالة الجملة**، يُجرى إعطاء القيم العددية التي أخذتها تلك المتحولات في لحظة ما.
أما المعادلة التي تربط بين متحولات الحالة $f(P, V, T) = 0$ ، فتسمى **معادلة الحالة**.

ملاحظات:

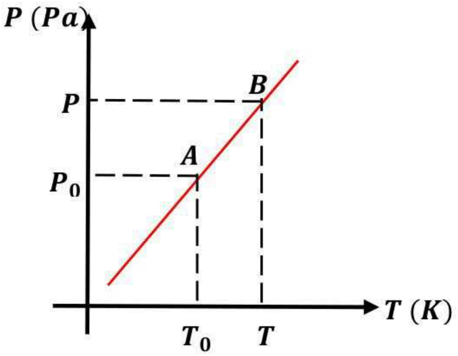
1. علم الترموديناميك يدرس الجمل الترموديناميكية الواقعة في حالة توازن فقط، دون الاهتمام بالاتجاه الذي تسلكه الجملة عند الانتقال من حالة التوازن إلى أخرى.
2. يُقصد هنا بحالة التوازن: هي الحالة التي تبقى فيها المتحولات الجهرية للجملة(P, V, T, n) ثابتة بمرور الزمن، أي لا يوجد أي تبادل طاقي (حرارة أو عمل) بين الجملة والوسط الخارجي.
3. عندما يكون أحد المتحولات في حالة تغير، تكون الجملة في **حالة عدم توازن**.

ثالثًا: التحولات التي تصيب الجملة

1. **التحولات متساوية الحجم:**

عندما تتحول الجملة بين وضعين A و B بحيث يبقى الحجم ثابتًا $V_A = V_B = cte$

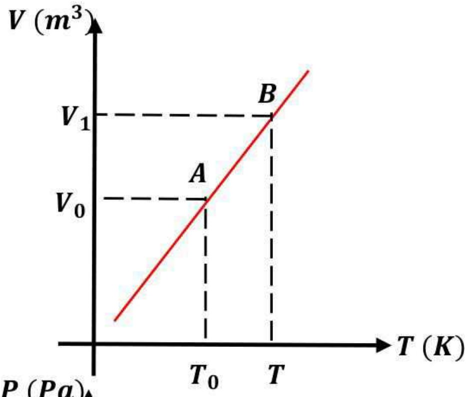
عندئذ يمكن تطبيق **قانون شارل** $\frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0} = cte$



2. **التحولات متساوية الضغط (المتوازن ميكانيكيًا):**

عندما تتحول الجملة بين وضعين A و B بحيث يبقى الضغط ثابتًا $P_A = P_B = cte$ ،

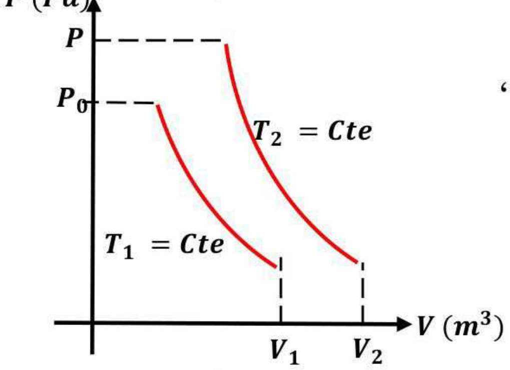
عندئذ يمكن تطبيق **قانون غاي لوساك** $\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} = cte$



3. **التحولات متساوية الحرارة (المتوازن حراريًا):**

عندما تتحول الجملة بين وضعين A و B بحيث تبقى درجة الحرارة ثابتة $T = T_A = T_B$ ،

عندئذ يمكن تطبيق **قانون بويل وماريوت** $p_A V_A = p_B V_B = cte$



4. **التحولات الكظومية (الأديباتيكية):**

هي التحولات التي تحدث دون تبادل الحرارة بين الجملة الترموديناميكية والوسط الخارجي، أي بثبات كمية الحرارة $Q = cte \Rightarrow dQ = 0$ ، وتتبادل الجملة مع الوسط الخارجي المادة والعمل.

المبادئ الأساسية في الترموديناميك:

يرتكز علم الترموديناميك على ثلاثة مبادئ أساسية، وهناك حالة خاصة تُعرف بالمبدأ الصفري في الترموديناميك.

المبدأ الصفري في الترموديناميك (مبدأ التوازن الحراري):

تعود تسمية هذا المبدأ ب"الصفري" لأنه عُرف بعد وضع المبدأ الأول في الترموديناميك.

وينص على أنه:

إذا وُجدت جملتان A و B ، وكل منهما في توازن حراري مع جملة ثالثة C ، فإن A و B في حالة توازن حراري فيما بينهما .

المبدأ الأول في الترموديناميك (مبدأ انحفاظ الطاقة):

ينص على أن:

الزيادة في الطاقة الداخلية للجملة تساوي كمية الحرارة التي يتم إضافتها إلى الجملة مطروحاً منها العمل الذي تتبادله الجملة مع الوسط الخارجي.

$$\Delta U = Q - W = dQ - PdV$$

وبشكل آخر:

تصرف كمية الحرارة $Q > 0$ المقدَّمة للجملة على زيادة طاقتها الداخلية، وعلى العمل الذي تُقدمه الجملة للوسط الخارجي.

$$Q = U + W$$

طاقة الجملة:

الطاقة هي قدرة الجسم على القيام بعمل، وهي على أشكال عدة:

1. **طاقة حركية** E_k:يمكن أن تكون انتقالية أو دورانية أو اهتزازية حول مركز ثقل الجسم.
2. **طاقة كامنة** E_p :وهي الطاقة الناتجة عن وجود الجسم في حقل القوى المؤثرة عليه، أو نتيجة الفعل المتبادل بين الجزيئات.
3. **طاقة داخلية** U:تتعلق بالتأثيرات الداخلية للجملة نتيجة حدوث تحول فيزيائي أو كيميائي.

وبالتالي، تكون الطاقة الكلية للجملة مساوية لمجموع هذه الطاقات المكونة لها.

$$E = E_K + E_P + U$$

وإذا حصل تغير لا متناهٍ في الصغر (مثل رفع درجة الحرارة درجة مئوية واحدة)، فإنه سوف يؤثر على الطاقة الكلية بمقدار صغير لا متناهٍ في الصغر.

$$\Delta E = \Delta E_K + \Delta E_P + \Delta U$$

وبما أن الطاقة الميكانيكية للجملة ثابتة:

$$E_K + E_P = cte$$

$$\Longrightarrow \Delta E_K + \Delta E_P = 0$$

تغير الطاقة الكلية للجملة يساوي تغير طاقتها الداخلية

$$\Longrightarrow \Delta E = \Delta U$$

ملاحظة:

لا يمكن أن نقول "الطاقة الداخلية لجسم ما"، وإنما نقول **تغير الطاقة الداخلية**.

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

هذا التغير لا يتعلق بالطريق المسلوك، بل يتعلق بالحالة البدائية والنهائية للجملة.

تبادل الجملة مع الوسط الخارجي طاقة على شكل حرارة أو عمل:

أولًا: كمية الحرارة المتبادلة بين الجملة والوسط الخارجي

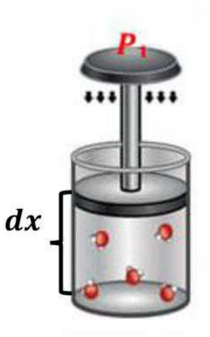
$$dQ = C\ dt \qquad (1)$$

حيث أن:

- $dQ > 0$ إذا **أخذت** الجملة المغلقة كمية من الحرارة من الوسط الخارجي، فإن الطاقة الداخلية **تتزايد**.
- $dQ < 0$ إذا **أعطت** الجملة المغلقة كمية من الحرارة إلى الوسط الخارجي، فإن الطاقة الداخلية **تتناقص**.

ثانيًا: العمل الذي تكتسبه الجملة أو تقدمه للوسط الخارجي dW:

العمل :هو الطاقة الناتجة عن انتقال جملة ما مسافة معينة dx تحت تأثير قوة ما F .



افترض أن لدينا أسطوانة معزولة، مزودة بمكبس قابل للانزلاق ودون احتكاك، وتحتوي على كمية معينة من الغاز المثالي، بتطبيق قوة Fعلى سطح المكبس S ، فإن المكبس سينتقل مسافة مقدارها Δx، وبالتالي يكون هناك **عمل** قد قام به المكبس ، إذاً العمل الذي قام به المكبس:

$$dW = F.dx$$

نعلم أن:

$$P = \frac{F}{S}$$

$$\Longrightarrow F = P.S$$

$$\Longrightarrow dW = P.S.dx$$

$$\Longrightarrow S.dx = dV$$

$$\Longrightarrow dW = P.dV$$

$$dW = P.dV$$

$$\Rightarrow W = \int dW = \int_{V_1}^{V_2} P.dV \;= P(V_2 - V_1)$$

نميز هنا حالتين:

1. $dV < 0 \Rightarrow (V_2 - V_1) < 0$ **تناقص حجم الغاز (حالة انضغاط)** $W = -P.dV = -P(V_2 - V_1)$
   إذاً $dW < 0$ أخذت الجملة عملًا من الوسط الخارجي، فإن الطاقة الداخلية **تتزايد**.
2. $dV > 0 \Rightarrow (V_2 - V_1) > 0$ **تزايد حجم الغاز (حالة تمدد)** $W = P.dV = P(V_2 - V_1)$
   إذاً $dW > 0$ أعطت الجملة عملًا إلى الوسط الخارجي، فإن الطاقة الداخلية **تتناقص**.

ملاحظات:

1. العمل موجب إذا أخذت الجملة عمل من الوسط الخارجي، وسالب أعطت الجملة عمل إلى الوسط الخارجي.
2. كل ما يكتسبه الغاز من الوسط الخارجي (حرارة أو عمل) يكون موجبًا، وكل ما يفقده الغاز أو يعطيه إلى الوسط الخارجي يكون سالبًا.

تطبيق المبدأ الأول للترموديناميك في دراسة التحولات الترموديناميكية:

$$\Delta U = Q - W = dQ - PdV \qquad (*)$$

التحول متساوي الحجم:

$$V = cte \;\Rightarrow dV = 0$$

$$W = \int P\, dV \;= 0$$

$$\Rightarrow \Delta U = Q$$

نعوض في (*):

$$\Delta U = Q_V \qquad (2)$$

نستنتج أنه عند تحول متساوي الحجم فإن كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط الخارجي تساوي التغير في الطاقة الداخلية.

- ترتبط كمية الحرارة Q بالسعة الحرارية C للجملة عند حجم ثابت $V = const$ بالعلاقة (1):

$$\Rightarrow dQ = C_V\,.dt$$

$$\Rightarrow \mathrm{d}U = C_V\,.dt \qquad (3)$$

$$\Rightarrow \frac{dU}{dT} = C_V \qquad (4)$$

تُعطى الطاقة الداخلية للغاز المثالي عند حجم ثابت بالعلاقة:

$$U = \frac{f}{2} nRT$$

ومن أجل $1\ mol$ فإن:

$$dU = \frac{f}{2} RdT$$

نستنتج بالمقارنة مع العلاقة (3) أن:

$$C_V = \frac{f}{2} R \qquad (5)$$

وهي السعة الحرارية للغاز المثالي عند حجم ثابت.

- وترتبط السعة الحرارية المولية C_V مع السعة الحرارية C_V للجملة عند حجم ثابت $V = const$ بالعلاقة:

$$C_V = \mu\, c_V \Longrightarrow c_V = \frac{C_V}{\mu} = \frac{fR}{2\mu}$$

$$c_V = \frac{fR}{2\mu} \qquad (6)$$

f : عدد درجات الحرية

C_V : سعة حرارية وحدتها $[C_V]: J.mol^{-1}.K^{-1}$

c_V : سعة حرارية مولية وحدتها $[\,c_V]: \left[\frac{fR}{2\mu}\right] = \left[\frac{R}{\mu}\right] = \frac{J.mol^{-1}.K^{-1}}{g.mol^{-1}} = J.g^{-1}.K^{-1}$

μ : الكتلة المولية ووحدتها $[\mu]: g.mol^{-1}$ ، وهي كتلة مول واحد من الغاز المثالي.

التحول متساوي الضغط $P = cet$:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P.dV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P\,\Delta V$$

$$\Delta U = Q - W = Q_P - P\,\Delta V = Q_P - P\,(V_2 - V_1)$$

$$Q_P = \Delta U + P\,(V_2 - V_1)$$

$$= U_2 - U_1 + P_2V_2 - P_1V_1$$

$$; P_1 = P_2 = P$$

$$(U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

نعرف دالة جديدة $(U + PV)$ تُدعى بالانتالبية ونرمز لها بالرمز H:

$$H = U + PV \qquad (7)$$

$$\Longrightarrow Q_P = H_2 - H_1$$

$$Q_P = \Delta H \qquad (8)$$

نستنتج أنه عند تحول متساوي الضغط، الحرارة المتبادلة مع الوسط الخارجي تساوي التغير في الإنتالبية $\Delta H = Q_P$

- ترتبط كمية الحرارة Q_P مع السعة الحرارية C_P للجملة عند ضغط ثابت $P = const$ بالعلاقة:

$$C_P = \frac{dQ}{dt}$$

$$\Longrightarrow dH = C_P . dT$$

$$\Longrightarrow \frac{dH}{dT} = C_P \qquad (9)$$

استنتاج علاقة ماير للغازات المثالية:

من الإنتالبية من العلاقة (7):

$$H = U + PV$$

$$PV = nRT$$

$$n = 1\,mol \ \Longrightarrow PV = RT$$

$$\Longrightarrow H = U + RT$$

$$\frac{dH}{dT} = \frac{dU}{dT} + R\frac{dT}{dT}$$

$$\Longrightarrow \frac{dH}{dT} = \frac{dU}{dT} + R$$

من العلاقة (4) والعلاقة (9):

$$\frac{dU}{dT} = C_V \quad \& \quad \frac{dH}{dT} = C_P$$

$$\Longrightarrow C_P = C_V + R$$

$$C_P - C_V = R \qquad (10)$$

وهي علاقة ماير للغازات المثالية.

يرمز للنسبة بين السعتين الحراريتين بالمعامل الكظومي γ ويُعطى بالعلاقة:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{dH}{dU}$$

من أجل درجات حرية الحرية عند ضغط ثابت:

$$C_P = C_V + R$$

ومن العلاقة (5):

$$C_V = \frac{fR}{2}$$

$$\Rightarrow C_P = \frac{fR}{2} + R$$

$$= R\left(\frac{f}{2} + 1\right) = R\left(\frac{f+2}{2}\right)$$

$$\Rightarrow C_P = R\left(\frac{f+2}{2}\right) \qquad (11)$$

- ترتبط السعة الحرارية C_P مع السعة الحرارية المولية c_P للجملة عند ضغط ثابت بالعلاقة:

$$C_P = \mu\, c_P$$

$$\Rightarrow c_P = \frac{C_P}{\mu} = \frac{R}{\mu}\left(\frac{f+2}{2}\right)$$

$$\Rightarrow c_P = \frac{R}{\mu}\left(\frac{f+2}{2}\right) \qquad (12)$$

تطبيقات

تطبيق 1:

تُعطى الكثافة المطلقة لغاز مثالي في الشروط النظامية $d = 1{,}428\ Kg.m^{-3}$

المطلوب:

1. ما هو هذا الغاز؟
2. احسب السعة الحرارية C_V عند حجم ثابت والسعة الحرارية C_P عند ضغط ثابت، ثم احسب السعة الحرارية المولية c_Vعند حجم ثابت والسعة الحرارية المولية c_Pعند الضغط الثابت.

الحل:

1. لمعرفة هذا الغاز يجب معرفة كتلته المولية μ
ننطلق من الشروط النظامية لغاز مثالي:

$$P = 1\ atm = 101300\ Pa$$

$$T = 0\ ℃ = 273{,}15\ K$$

$$\Rightarrow d = \frac{\mu P}{RT}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{dRT}{P} = \frac{1{,}428\ .\ 10^{+3} g.m^{-3}\ 8{,}314\ Pa.m^3.mol^{-1}.K^{-1}.273{,}15\ K}{1{,}01300\ .\ 10^5\ Pa}$$

$$= 31{,}99\ g.mol^{-1} \approx 32\ g.mol^{-1}$$

$$\mu_{O_2} = (2\ \times 16) = 32\ g.mol^{-1}$$

الغاز هو غاز الأوكسجين،
وهو ثنائي الذرة، أي أن عدد درجات الحرية $f\ = 5$ لهذا الغاز تساوي 5

$$C_V = \frac{fR}{2} = \frac{5\ .\ 8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}}{2} = 20{,}775\ J.mol^{-1}.K^{-1}$$

$$C_P = R\left(\frac{f+2}{2}\right) = R\left(\frac{5+2}{2}\right) = 8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}.\frac{7}{2} = 29\ J.mol^{-1}.K^{-1}$$

$$c_V = \frac{fR}{2\mu} = \frac{5}{2}\ .\frac{8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}}{32\ g.mol^{-1}} = 0{,}64\ J.g^{-1}.K^{-1} = 640\ J.Kg^{-1}.K^{-1}$$

$$c_P = \frac{R}{\mu}\left(\frac{f+2}{2}\right) = \frac{R}{\mu}\left(\frac{5+2}{2}\right) = \frac{8{,}314\ J.mol^{-1}.K^{-1}}{32\ g.mol^{-1}}.\frac{7}{2}$$

$$= 0{,}908\ J.g^{-1}.K^{-1} = 908\ J.Kg^{-1}.K^{-1}$$

تطبيق 2:

إذا كانت السعة الحرارية لغاز مثالي بحجم ثابت $C_V = 400\, J.mol^{-1}.K^{-1}$

المطلوب:

1. احسب السعة الحرارية C_P لهذا الغاز تحت ضغط ثابت، ثم ناقش معامل التمدد الكظومي من أجل غاز أحادي، وثنائي، وثلاثي الذرة.
2. بفرض أن كتلة المول من هذا الغاز $\mu = 8\, g.mol^{-1}$ وإذا كان $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1{,}4$
   a. احسب عدد درجات الحرية لهذا الغاز.
   b. ما نوع هذا الغاز؟
   c. احسب السعة الحرارية c_P لهذا الغاز تحت ضغط ثابت.

الحل:

$$C_P = C_V + R$$

$$400 + 8{,}31 = 408{,}3129\, J.mol^{-1}.K^{-1}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{R\left(\frac{f+2}{2}\right)}{\frac{fR}{2}} = \frac{f+2}{f}$$

$$\gamma = \frac{f+2}{f}$$

نُميز الحالات التالية:

1- إذا كان الغاز المثالي أحادي الذرة فإن:

$$f = 3$$

$$\gamma = \frac{3+2}{3} = \frac{5}{3} = 1{,}66$$

2- إذا كان الغاز المثالي ثنائي الذرة فإن:

$$f = 5$$

$$\gamma = \frac{5+2}{5} = \frac{7}{5} = 1{,}4$$

3- إذا كان الغاز المثالي ثلاثي الذرة أو أكثر فإن:

$$f = 6$$

$$\gamma = \frac{6+2}{6} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3} = 1{,}33$$

-2

a- حساب عدد درجات الحرية:

$$= \frac{f+2}{f}$$

$$\Longrightarrow \frac{f+2}{f} = 1{,}4$$

$$\Longrightarrow f = 2 = 1{,}4\, f$$

$$\Longrightarrow 1{,}4\, f - f = 2$$

$$0{,}4\, f = 2$$

$$f = \frac{2}{0{,}4} = \frac{20}{4} = 5$$

$$f = 5$$

b- نوع الغاز ثنائي الذرة.

c- السعة الحرارية المولية:

$$c_P = \frac{R}{\mu}\left(\frac{f+2}{2}\right) = \frac{R}{\mu}\left(\frac{5+2}{2}\right) = \frac{8{,}314\, J.mol^{-1}.K^{-1}}{8\ g.mol^{-1}}.\frac{7}{2}$$

$$= \frac{8{,}314\, J.mol^{-1}.K^{-1}}{8\ g.mol^{-1}}.1{,}4 = 1{,}454\, J.g^{-1}.K^{-1}$$

انتهى الفصل الخامس