الأسئلة

جامعة بنها
كلية الفنون التطبيقية
الفرقة الثانية (تخلف)
قسم طباعة المنسوجات

امتحان دور يناير ٢٠١٧
مادة: طبيعة
كود المادة (٢٥٠٢)
الزمن: ساعتان

أجب عن الأسئلة الآتية

١. أذكر الشروط التي وضعتها نظرية الحركة للغازات لتبسيط طريقة استنتاج قوانين الغاز المثالي مع كتابة القانون العام للغاز المثالي.

---

٢. أثبت أن الحرارة النوعية تحت حجم ثابت C_V أصغر من مثيلتها تحت ضغط ثابت C_P بمقدار R.

---

٣. أكتب ما تعرفه عن الآلة الحرارية وكيفية عملها والأجزاء الأساسية بها مع التركيز علي دور مادة الشغل في نقل الطاقة الحرارية من المصدر إلي المبرد

د . صلاح حمزة

نموذج إجابة

كلية الفنون التطبيقية

الفرقة الثانية (طباعة منسوجات) (تخلف)

مادة: الديناميكا الحرارية

د./ صلاح عيد ابراهيم حمزة

تاريخ الامتحان الخميسء ٢٠١٧/٠١/١٢

---

١. أذكر الشروط التي وضعتها نظرية الحركة للغازات لتبسيط طريقة استنتاج قوانين الغاز المثالي مع كتابة القانون العام للغاز المثالي.

---------- **Solution** ----------

تتركب المادة سواء كانت صلبة أو سائلة أو غازية، من جزيئات غاية في الصغر وفي حالة حركة دائمة. هذه الحركة قد تكون حركة اهتزازية Oscillating motion كما في حالة جزيئات الأجسام الصلبة أو تكون حركة انتقالية Translating motion كما في حالة الغازات، حيث تتحرك جزيئات الغاز حركة حرة من نقطة إلى أخرى، في أي اتجاه شاءت لها الصدفة أن تتحرك فيه وبأي سرعة كانت. والواقع أن قوى التماسك Binding forces التي توجد بين جزيئات الجسم الصلب، تحول دون الحركة الانتقالية للجزيئات، أما في الغازات، فلا توجد قوى تماسك بين جزيئاتها، مما يجعل الجزيئات حرة Free ذات حركة انتقالية. ولهذا كان من اللازم دراسة نظرية الحركة للغازات حيث لا تدخل في الاعتبار الحجم الحقيقي الذي تشغله جزيئات الغاز، أو قوى التجاذب المتبادلة بينها. ولتبسيط الدراسة سنضع على الغازات التي نتصدى لدراستها في هذا الباب الشروط الآتية:

(i) قوى التأثير المتبادل بين الجزيئات تساوى صفر. معنى ذلك أن جزيئات الغاز تتحرك حركة حرة ومساراتها خطوط مستقيمة.

(ii) سنهمل أبعاد الجزئ أي سنعتبر الجزيء نقطة مادية.

الغاز الذي ينطبق عليه هذان الشرطان يعرف بالغاز المثالي. سنرى فيما بعد أن الغازات الحقيقية تختلف عن الغاز المثالي.

ولكن الغازات (مثل أي جسم آخر) تتكون من عدد هائل من الجزيئات موجودة دائما في حالة حركة عشوائية وتؤثر بينها قوى تأثير متبادل. كيف سنتصرف إذن: هل سنتتبع حركة كل جزيء على حدة؟ وهل سنأخذ في الاعتبار كل القوى التي تؤثر على كل جزيء من جانب جميع الجزيئات الأخرى؟ واضح بالطبع أن الدراسة لا يمكن بل مستحيلة بهذه الطريقة. لأننا إذا طبقنا قوانين الميكانيكا على هذا العدد الهائل من الجزيئات فكل جزيء ستكون له ثلاثة معادلات تصف حركته وبالتالي فعلينا حل عدد هائل من معادلات الحركة يساوى ثلاثة أضعاف عدد الجزيئات نفسها (لأن مكان الجزيء يتحدد بثلاثة إحداثيات). ولكن حل هذا العدد الهائل من معادلات الحركة (وحتى كتابته) مستحيلة لأن عدد الجزيئات في $1\,Cm^3$ من الغاز عند الظروف العادية يساوى 2.7×10^{19} وعدد معادلات الحركة سيكون ثلاثة أضعاف هذا العدد. إذن تتبع حركة كل جزيء على حدة مستحيلة نتيجة للعدد الهائل من الجزيئات.

ولكن هذا العدد الهائل الذي وقف عقبة في سبيلنا هو نفسه الذي سيحل المشكلة. فوجود عدد هائل من الجزيئات يدلنا على أنه ليس من الضروري تتبع حركة كل جزيء ولكن يكفى فقط أن نتكلم عن متوسط الكميات التي تحدد هذه الحركة. وكلما كان العدد كبيرا جدا كلما كانت الكمية قريبه من متوسطها. وعلى هذا الأساس ستكون دراستنا لحركة الجزيئات.

وأبسط حالة من حالات المادة الثلاثة هي الحالة الغازية لصغر قوى التأثير المتبادل بين الجزيئات ولأننا نستطيع إهمال هذه القوى عند بعض الظروف، ولهذا سندرس فقط نظرية الحركة للغازات.

الضغط حسب التعريف هو القوة التي تؤثر على وحدة المساحات. ومن وجهة نظر نظرية الحركة فإن ضغط الغاز على جدران الوعاء ينشأ من تصادم جزيئاته مع الجدران. ولكن بما أن الغاز لا يحتاج إلى طاقة خارجية لكي يحافظ على حركته إذن تصادم الجزيئات فيما بينها وبين الجدار تصادم مرن أي لا ينتج عنه فقد في الطاقة. ويمكن ببساطة إثبات أن ضغط الغاز المثالي يعطى بالمعادلة:-

$$P = \frac{1}{3} n m \overline{c^2} = \frac{2}{3}\left(\frac{1}{2} n m \overline{c^2}\right) \qquad (1)$$

في المعادلة السابقة $\overline{c^2}$ هي متوسط مربع سرعة جزيئات الغاز، m كتلة الجزيء الواحد، n هي عدد الجزيئات الموجودة في وحدة الحجوم والتي تعطى بـ

$$n = \frac{N}{V} \qquad (2)$$

حيث N هي العدد الكلى للجزيئات، V حجم الغاز، الكمية $\frac{1}{2} m \overline{c^2}$ هي متوسط طاقة الحركة للجزيء. أي أن ضغط الغاز المثالي يساوى ثلثي متوسط طاقة الحركة للجزيئات الموجودة في وحدة الحجم. هذه النتيجة من أهم نتائج نظرية الحركة للغازات. والعلاقة (١) تربط بين الضغط كمقدار يعتمد على الغاز ككل وبين كميات تعتمد على حركة الجزيئات.

٢. أثبت أن الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت C_P أكبر من مثيلتها تحت حجم ثابت C_V بمقدار R.

---------- **Solution** ----------

السعة الحرارية هي كمية الحرارة المعطاة (أو المأخوذة) للغاز لتغيير درجة حرارته درجة واحدة. والحرارة النوعية هي كمية الحرارة المعطاة (أو المأخوذة) لجرام واحد من الغاز لتغيير درجة حرارته درجة واحدة. أما الحرارة النوعية الجزيئية فهي نفس الحرارة النوعية ولكن بالنسبة لكتلة من الغاز تساوى واحد جرام– جزئ ويرمز لها بالرمز C.

لنأخذ واحد جرام–جزئ من الغاز. كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارته بمقدار dT هي

$$dQ = C\,dT$$

$$\therefore \quad C = \frac{dQ}{dT} \tag{12}$$

واضح من البند السابق أن كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة الغاز تتوقف على ما إذا كان الغاز يبذل شغلا أم لا (يغير حجمه أم لا). فإذا أعطى الغاز كمية حرارة dQ وحافظنا على حجمه ثابت فإن الحرارة النوعية تعرف بالحرارة النوعية تحت حجم ثابت ويرمز لها بالرمز C_V:

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V \tag{13}$$

وإذا أعطى الغاز كمية حرارة dQ وحافظنا على ضغطه ثابت فإن الحرارة النوعية تعرف بالحرارة النوعية تحت ضغط ثابت ويرمز لها بالرمز C_P:

$$C_P = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_P \tag{14}$$

ولكن في حالة ثبات حجم الغاز $(V = \text{const.})$ فإن الغاز لا يبذل شغل وبالتالي فإن

$$dQ = dU + (P\,dV = 0) \tag{15}$$

ومنه

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V \Rightarrow \quad dU = C_V\, dT \tag{16}$$

وعليه يصبح القانون الأول للديناميكا الحرارية بصفة عامة في الصورة:

$$dQ = C_V\, dT + P\, dV \tag{17}$$

أي أن كمية الحرارة المعطاة للغاز تستخدم في رفع درجة حرارته بمقدار dT (تغيير طاقته الداخلية) وفى تغيير الحجم بالمقدار dV (بذل شغل).

لنحاول إيجاد العلاقة بين C_P, C_V للغاز المثالي. بما أن الطاقة الداخلية لواحد جرام جزئ من الغاز المثالي تساوى

$$U = \frac{3}{2}RT$$

فإن

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = \frac{3}{2}R \tag{١٨}$$

بتفاضل المعادلة (١٧) بالنسبة لدرجة الحرارة مع الحفاظ على الضغط ثابت نجد أن

$$\left(\frac{dQ}{dT}\right)_P = C_V\left(\frac{dT}{dT}\right)_P + P\left(\frac{dV}{dT}\right)_P$$

$$C_P = \frac{3}{2}R + P\left(\frac{dV}{dT}\right)_P \tag{19}$$

من معادلة الغاز المثالي $PV = RT$ نحصل على

$$P\left(\frac{dV}{dT}\right)_P = R \tag{20}$$

بالتعويض في (١٩)

$$C_P = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R \qquad (21)$$

وبالتالي فإن الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت C_P أكبر من مثيلتها تحت حجم ثابت بمقدار R أي أن

$$C_P - C_V = R \qquad (22)$$

لنرمز للنسبة بين C_P إلي C_V بالرمز γ حيث:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \qquad (23)$$

فإذا اعتبرنا أن $R = 2\ Cal/mol \cdot deg$ فإن

$$C_V = 3\ Cal/mol \cdot deg\ , \qquad C_P = 5\ Cal/mol \cdot deg \qquad (24)$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1.66 \qquad (25)$$

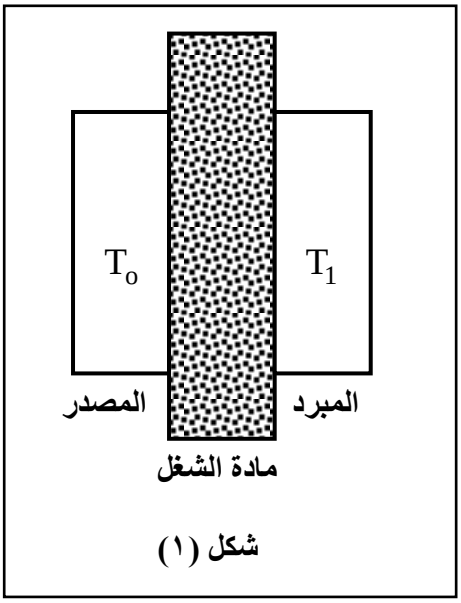
بالطبع هذه النتائج صالحة للتطبيق على الغازات أحادية الذرة فقط.

٣. أكتب ما تعرفه عن الآلة الحرارية وكيفية عملها والأجزاء الأساسية بها مع التركيز علي دور مادة الشغل في نقل الطاقة الحرارية من المصدر إلي المبرد

---------- **Solution** ----------

لتحويل الحرارة إلي شغل ميكانيكي يلزم نزع كمية حرارة من أي جسم ساخن. هذا يمكن أن يتم إذا جعلنا هذا الجسم يلامس جسم آخر له درجة حرارة أقل. ونتيجة للتوصيل الحراري ستنتقل الحرارة من جسم لآخر وفى النهاية تتساوى درجة حرارتهما. ولكن عملية التوصيل الحراري لن تكون مصحوبة بشغل ميكانيكي لأنه لن يحدث انتقال للأجسام أثناء العملية. أي أن انتقال الحرارة عن طريق التلامس بين جسمين لهما درجتي حرارة مختلفة لا ينتج عنه شغل ميكانيكي. إذن يلزم جسم ثالث يأخذ الحرارة من الجسم الساخن ويوصلها إلي الجسم البارد وأثناء ذلك يبذل

شغلا ميكانيكيا كما في شكل (١). لقد أصطلح العلماء على تسمية الجسم الساخن **بالمصدر** والجسم البارد **بالمبرد** والجسم الثالث **مادة الشغل**.

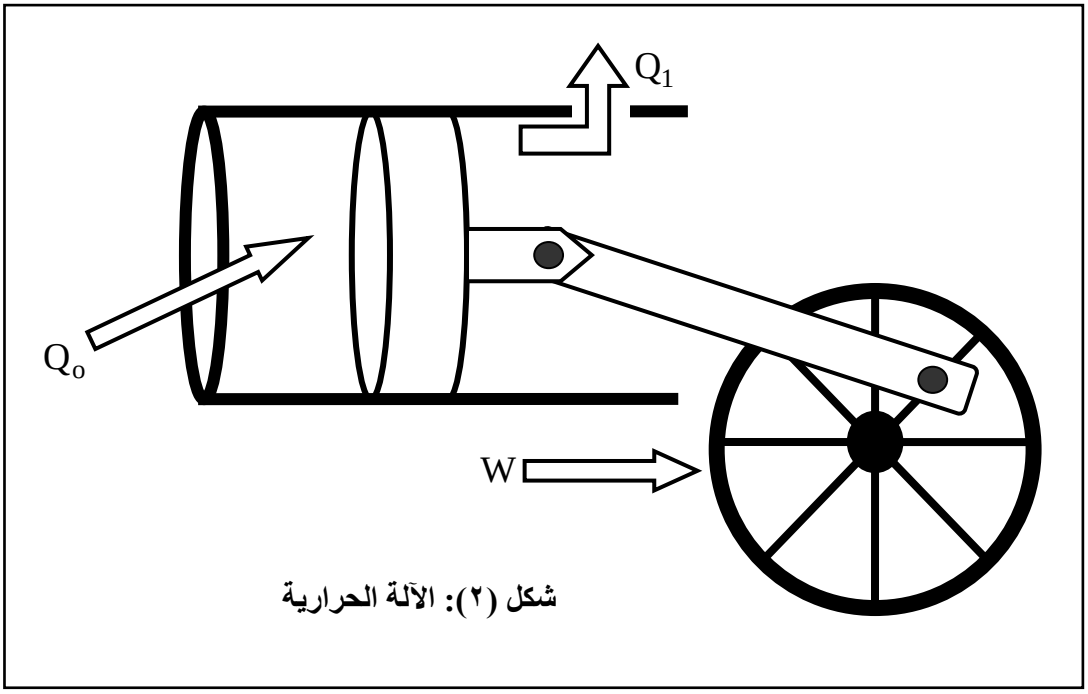


شكل (١)

ولما كانت عملية نزع الحرارة من جسم عن طريق ملامسته لجسم آخر درجة حرارته أقل لا ينتج عنها شغل ميكانيكي إذن أفضل طريقة للحصول على شغل ميكانيكي أثناء انتقال الحرارة من المصدر إلى المبرد هي أن يتم انتقال الحرارة من المصدر إلي مادة الشغل ثم انتقال الحرارة من مادة الشغل إلي المبرد بدون فارق بين درجتي حرارتهما. معنى ذلك أنه عندما تأخذ مادة الشغل الحرارة من المصدر يجب أن تكون درجتا حرارتهما متساوية وكذلك عندما تنقل مادة الشغل الحرارة إلى المبرد يجب أن تكون درجتا حرارتهما متساوية. إذا لم يتحقق ذلك فإن التوصيل الحراري سيؤدى الى فقد للطاقة وعدم الاستفادة بها كشغل ميكانيكي.

والآلة الحرارية هي آلة تعمل على تحويل الحرارة إلى شغل ميكانيكي وتتكون من اسطوانة معزولة الجوانب (ما عدا قاعدتها) ولها مكبس حر الحركة كما في شكل (٢). ويوجد بداخل الاسطوانة مادة الشغل والتي يمكنها أن تمتص أو تطرد حرارة. وتقوم مادة الشغل بعمل شغل وذلك بتمددها وتغير حجمها. فإذا فرضنا أن الآلة بدأت عملها عند درجة الحرارة العظمى فإن درجة الحرارة تنخفض بالتدريج نتيجة لتمدد مادة الشغل حتى تصل إلى درجة الحرارة الصغرى، ثم ترتفع ثانية نتيجة لانكماش مادة الشغل حتى تصل إلى درجة الحرارة العظمى وتعود مادة الشغل إلى حالتها الابتدائية. وعندئذ يقال أن الغاز قد أتم دورة كاملة، وخلال تلك الدورة، يكون الغاز قد حصل على كمية من الحرارة Q_o من المصدر وأعطى كمية حرارة Q_1 إلي

المبرد.ونتيجة لامتصاص كمية الحرارة فإن الغاز يتمدد ويتحرك بالتبعية المكبس ويكون متصلا بذراع توصيل فيتحرك بالتبعية ذراع التوصيل ناقلا الحركة إلى الأجزاء المراد حركتها.



شكل (٢): الآلة الحرارية