الفصل الرابع

القانون الاول في

التوحد والتفكك

القانون الاول في الثرموديناميكس
(The first law of thermodynamics)

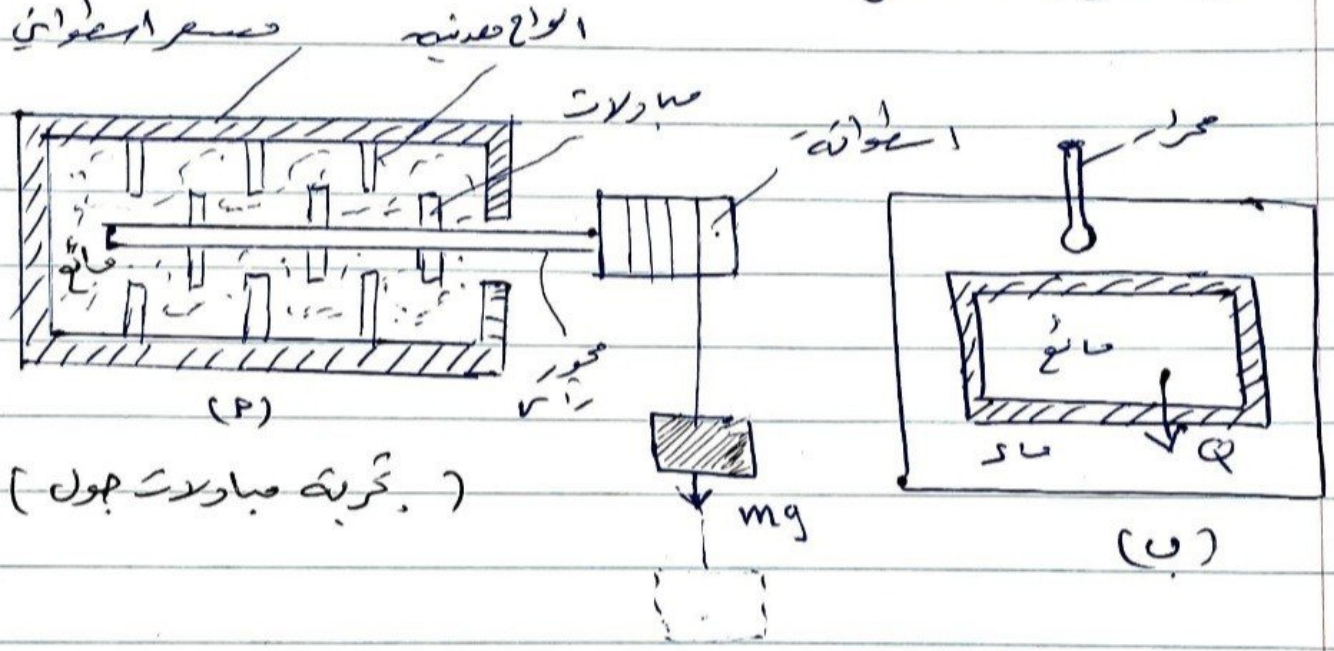
يعتبر القانون الاول في الثرموديناميكس هو صيغه خاصه من قانون حفظ الطاقة العام.
ان قانون حفظ الطاقة العام قد تطور عبر عصور طويلة الى ان اكتسب صيغته النهائية كقانون جوهري من اهم قوانين الفيزياء ينص على ان (الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ولكن تتحول من شكل الى آخر). هذا القانون يتناول كل اشكال الطاقة في الطبيعة، الطاقة المختزنة بكل اشكالها والطاقة العابرة بأشكالها الحرارة والشغل وحتى اختفاء شكل من الطاقة ظهر شكل آخر اي ان مجموع الطاقة في الكون (اي كيان معزول) ثابت دائماً.

الطاقة الداخلية (U) طاقة حركية انتقالية مرتبطة بسرعة الجسيمات (سرعتها عند درجة الحرارة).
طاقة حركية دورانية تعتمد على دوران الذرات في الجزيئات.
طاقة اهتزازية تعتمد على اهتزاز الذرات.
طاقة كامنة للذرات ناتجة عن وضع هذه الجزيئات بالنسبة الى بعضها البعض.
طاقات نووية والكترونية من تركيب الذرات والجزيئات.

تظهر الطاقة الداخلية على شكل
١) زيادة درجة حرارة الكيان.
٢) تغير حالة الكيان.
٣) زيادة المسافة الفاصلة بين الجزيئات (تمدد)

ان القانون الاول من الترموديناميك هو صيغة خاصة من قانون حفظ الطاقة العام لانه تعامل بشكل خاص مع الطاقة الحرارية اي الطاقة التي تنتقل عبر حدود الآلات مثل الحرارة والشغل هناك تجارب كثيرة جداً اجريت الى الذي ادت الى اقرار القانون الاول ولعل اهم تلك التجارب هي تجارب جول.

تجارب جول: قام العالم جيمس بريسكوت جول (١٨١٨ - ١٨٨٩) بين عامي ١٨٤٢، ١٨٤٨ بسلسلة من التجارب لايجاد العلاقة الكمية بين الحرارة والشغل.



(تجربة مبادرت جول)

وهي احدى التجارب التي ادت الى اقرار القانون الاول في الترموداينك حيث استخدم جول في تجربته الجهاز الموضح بالشكل اعلاه

يتركب الجهاز من مسعر اسطواني مبنية جدرانه الواح عازلة يتخلل بينها بحرية مجموعة من المجاديف تتصل بمحور راسي مثبت في نهايته اسطوانة ملفوف حولها خيط يمر فوق بكرتين وينتهي من كل طرف ثقل وزنه (mg) ويوضع ماء بالمسعر وتقاس درجة حرارته بواسطة ترمومتر حساس. اذا ترك الثقلان يسقطان مسافة (h cm) دار المحور الراسي داخل المسعر

محركاً المبادلات التي تحرك الماء بين الالواح الثابتة والاجزاء المتحركة ستحول بذلك الشغل الميكانيكي (1) طاقة حرارية بسبب الاحتكاك الحادث بين طبقات الماء المختلفة وتبدأ رفع الاشتال وترتفع نقطة تجمد جول من تحويل كميات مختلفة من الطاقة الميكانيكية وكذلك من حساب كميات الحرارة التي تكتسبها الماء ومحتوياته نتيجة ذلك وجد ان العلاقة خطية بين الشغل الميكانيكي (W) وكمية الحرارة المتولدة (Q)

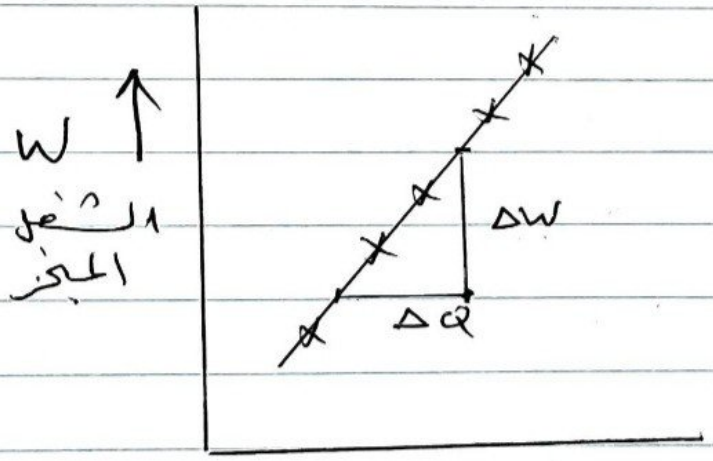
$$W \propto Q$$

$$W = JQ$$

حيث ان (J) هو مقدار ثابت عبارة عن ميل الخط المستقيم الذي يربط العلاقة بين (W, Q) وقد سماه العالم جول المكافئ الميكانيكي للحرارة كما وجد ان قيمته تساوي

4.18 جول / سعرة

4.2



$$\bar{J} = \frac{\Delta W}{\Delta Q}$$

$$\oint \delta W = J \oint \delta Q \quad \text{---} \quad (1)$$

ان المعادلة رقم (1) تعني ان تكامل الشغل خلال الدورة الكاملة (اي الشغل الصافي اثناء الدورة) يتناسب مع تكامل الحرارة للدورة (اي الحرارة الصافية اثناء الدورة) ومن هذه المعادلة سيتضح ان الشغل والحرارة لهما نفس

حث كامنتان دائماً وكان التعبير عنها بنفس الوحدات
اما سعرة او جول .
المعادلة رقم (1) يمثل قانون جول وهو تعبير رياضي
للقانون الاول للثرموداينمك بالنسبة للكيان مغلق
تمر خلال دورة واحدة او اكثر .

القانون الاول للثرموديناميكس :-
قانون جول (المعادلة رقم -1-) تعطي العلاقة الكمية بين الشغل
والحرارة عندما يستخدم كل من الشغل المبذول على الكيان لتوليد
الحرارة او العكس بالعكس والعلاقة البسيطة بين الحرارة والشغل
يمثل هذه العلاقة هي :

$$W = JQ \quad ----- (2)$$

اذا فرضنا ان كمية الحرارة المجهزة للكيان خلال اي عملية هي (Q)
والشغل الخارج المنجز (W) واذا كانت (U_1) تمثل طاقة
الكيان الداخلية عند ابتداء العملية و (U_2) تمثل الطاقة عند
انتهاء العملية فان العلاقة الرياضية بين هذه الكميات هي

$$Q = W + (U_2 - U_1) \quad ----- (3)$$

هذه المعادلة تمثل القانون الاول للثرموداينمك وكل الكميات
في هذه المعادلة تقاس بوحدات الطاقة (الجول او السعرة)
ان المقدار ($U_2 - U_1$) يمثل الزيادة في الطاقة الداخلية للكيان
ولكن كتابة العلاقة (3) للعمليات غير السكونية وايه العمليات
التي يكون فيها تغير الحالة صغيراً جداً ويتم نهايته ببطء دون ان
يصاحبه ضياع في الطاقة اي عندما يمتص الكيان كمية صغيرة من
الحرارة dQ ينجز كمية صغيرة من الشغل δW بالشكل التالي

$$\delta Q = \delta W + \delta U \quad ----- (4)$$

هذه المعادلة تمثل الصيغة التفاضلية للثرموداينمك . ان كل
من المعادلتين (3,4) تتضمن ان الفرق بين كمية الحرارة

المضافة الى الكيان ومقدار الشغل المنتقل من الكيان الى الوسط المحيط يساوي مقدار الزيادة في الطاقة الداخلية للكيان اي ان هناك الطاقة العابرة بين الكيان ومحيطه (على شكل حرارة وشغل) يساوي مقدار التغير في الطاقة الداخلية للكيان. من ذلك نستنتج ان للقانون الاول للثرموداينميكس صيغتان الاول هي الصيغة المتمثلة بالمعادلة رقم (2) والثانية هي صيغة عامة متمثلة بالمعادلة رقم (4)

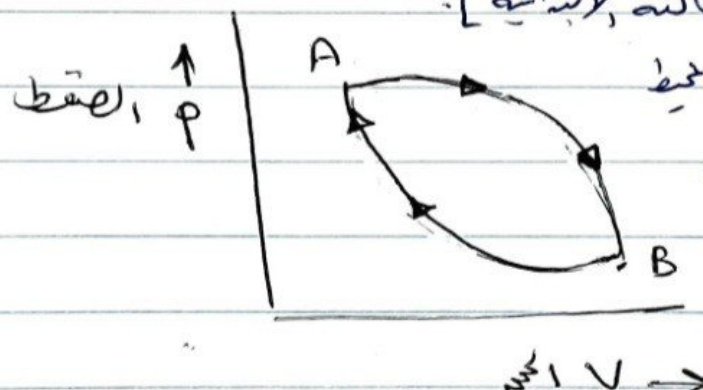
تطبيقات القانون الاول للثرموداينميكس

① بالنسبة لكيان مغلق يمر بدورة كاملة:

عندما يمر الكيان المغلق بدورة كاملة فان المجموع الجبري للطاقة الحرارية المنتقلة الى الكيان من الوسط الخارجي عبر غلاف الكيان تتناسب طرديا مع المجموع الجبري للشغل المنتقل من الكيان الى الوسط المحيط اي:

$$\Delta U = 0 \quad Q = W \quad \sum Q \propto \sum W$$

حيث ΔU لكيان مغلق سيرى هنا [اذا مر الكيان بدورة كاملة وعاد بعد انتهاء العملية الى نفس حالته الابتدائية].

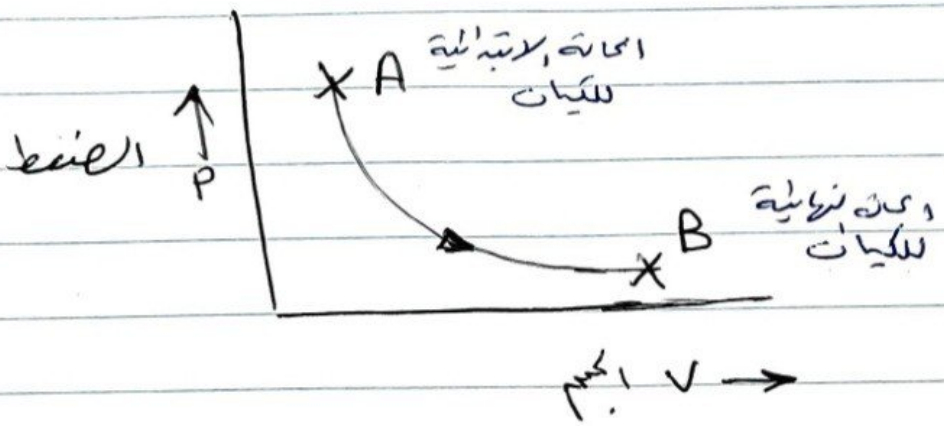


ان مجموع الشغل المنقول الى الوسط المحيط يتناسب طرديا مع مجموع كمية الحرارة المأخوذة من هذا الوسط كما في المعادلة اعلاه

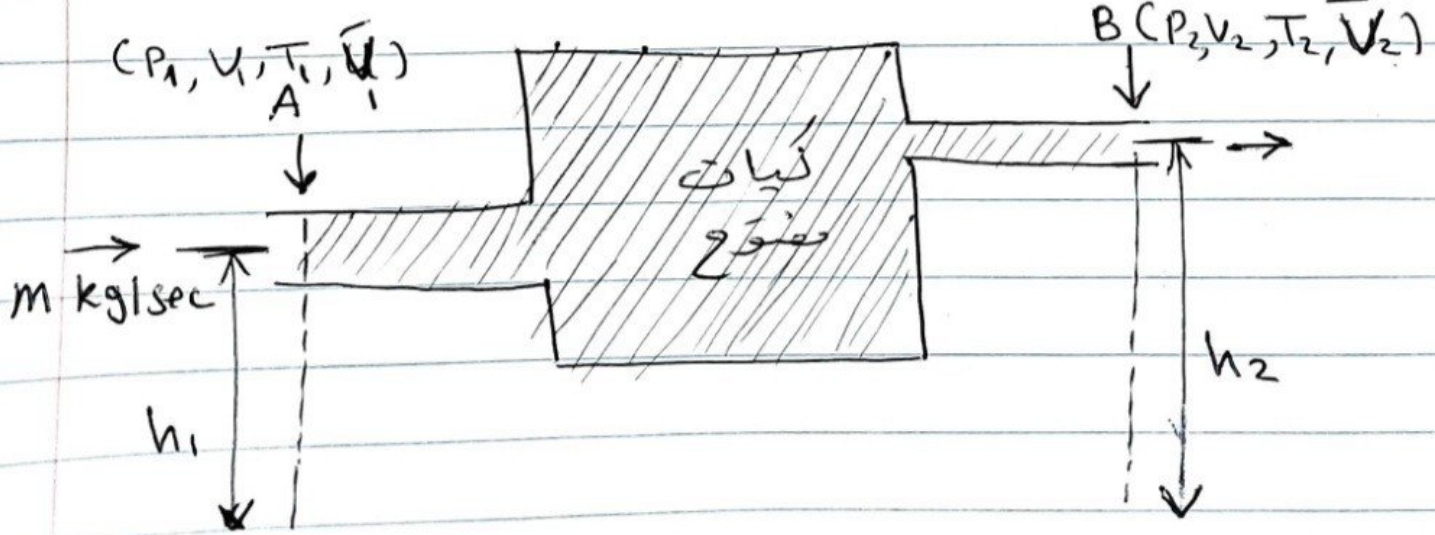
② بالنسبة الى كيان مغلق تتغير حالته:

عندما يمر الكيان خلال عملية هي جزء من دورة فان الزيادة في الطاقة الداخلية للكيان تساوي كمية الحرارة المضافة للكيان من المحيط ناقصا منها مقدار الشغل المنتقل من الكيان الى المحيط اي ان $U_2 - U_1 = Q - W$

ا بعبارة اخرى:
ان الزيادة في الطاقة الداخلية للكيان = كمية الحرارة المضافة الى الكيان - مقدار الشغل المنتقل من الكيان الى المحيط



③ بالنسبة لكيان مفتوح تتغير حالته :-
لاحظنا مما سبق ان الطاقة تخرج عبر حدود الكيان المغلق على شكل حرارة وشغل.
لكن بالنسبة للكيان المفتوح هناك اا جانب عبور الحرارة والشغل عبور للمادة. والمادة العابرة لحدود الكيان تحمل معها كمية معينة من الطاقة الى داخل الكيان وعلاوة ذلك فطاقة الكيان تتأثر بالحرارة والشغل والمادة التي تعبر حدودها لذلك يجب الاخذ بنظر الاعتبار مقدار الزيادة في طاقة الكيان الناتج عن عبور المادة لحدود الكيان وعندئذ يمكننا تحديد القانون الاول للكيان المفتوح



نفرض ان المائع ضمن هذا الكيان سيتدفق بانتظام حيث يدخل عند المدخل (A) بمعدل (m) كغم في الثانية ويخرج من (B) بنفس المعدل. ان شروط المائع عند المدخل (A) هي $P_1, V_1, T_1, \bar{V}_1$ حيث ان P_1 تمثل ضغط المائع، و V_1 هو حجم المائع الداخل في الثانية الواحدة، و T_1 درجة حرارة المائع الداخل، و $\bar{V}_1$ هي سرعته وهو المائع الشروط المائع عند خروجه من (B) هي $P_2, V_2, T_2, \bar{V}_2$

ان الطاقة التي تغير حدود الكيان المفتوح خلال الثانية الواحدة تشمل على

(a) الطاقة الداخلية: الداخلة U_1 والخارجة U_2

(b) الطاقة الحركية: الداخلة $\frac{1}{2}m\bar{V}_1^2$ والخارجة $\frac{1}{2}m\bar{V}_2^2$

(c) الطاقة الكامنة: الداخلة mgh_1 والخارجة mgh_2

حيث ان h_2 ، h_1 تمثل ارتفاع المائع

(d) طاقة الانسياب: الطاقة الناتجة بسبب جريان المائع

ان الشغل الانسيابي اللازم لدفع كيلوغرام واحد من المائع في الثانية الواحدة الى داخل الكيان يساوي (P_1V_1) والشغل الانسيابي اللازم لدفع كيلوغرام واحد من المائع في الثانية الواحدة الى المحيط الخارجي (P_2V_2) وعليه فان مقدار التغير في الطاقة الانسيابية لكل كغم $(P_2V_2 - P_1V_1)$

اذا جهزنا الكيان المفتوح بكمية من الحرارة مقدارها Q وكان الشغل الذي يؤديه الكيان على المحيط الخارجي هو W عند تطبيق قانون حفظ الطاقة عندما يتدفق المائع خلال الكيان المفتوح بمعدل (m) كغم/ثانية

$$Q + mgh_1 + \frac{m\bar{V}_1^2}{2} + P_1V_1 + U_1 = W + mgh_2 + \frac{m\bar{V}_2^2}{2} + P_2V_2 + U_2 \quad \text{---(5)}$$

هذه المعادلة تمثل القانون الاول للثرموداينميكس بالنسبة للكيان مفتوح وهي اكثر شمولا من المعادلات السابقة لانها تطبق على جميع العمليات الثرموديناميكية وعليه فهذه المعادلة تدعى بالمعادلة العامة للطاقة. وهنا الضروري ان نقارن كانة حدودها ونفس وحدة الطاقة (الجول او السعرة). ولكي اختزال المعادلة (5) الى معادلة ذات شكل بسيط نطبقها على عملية ساكنة حيث لا يوجد جريان للمائع ولا يحدث تغير في طاقة الكيان الاساسية والحركية والكامنة فينتج

$$Q = W + (U_2 - U_1)$$

هذه المعادلة هي نص المعادلة الناتجة من تطبيق القانون الاول على كيان مغلق عندما يتم جزء من لدورة اي لاكمل عملية دورة كاملة.

اما اذا اكمل الكيان عملية دورية كاملة فلا تتغير الطاقة الداخلية للكيان وبذلك تختزل المعادلة الاخيرة الى قانون جول.

نتائج القانون الاول للثرموداينميكس

1) العمليات الفكية :-

نأخذ كيان بسيط والمقصود بالكيان البسيط هو ذلك الكيان الذي يمكن تحديد حالته بدلالة الكتلة والضغط وحجم الحرارة والجهد فاذا اعطي الكيان كمية صغيرة من الحرارة مقدارها δQ من خلال عملية تجعل ساكنة فان مقدار الشغل (W) الذي يخزنه الكيان على المحيط يعبر عنه بحجم هو $p\delta V$ وعند تطبيق القانون الاول على هذه العملية الفكية ينتج

$$\delta Q = du + pdV \qquad Q - W = \Delta u$$

او $Q = \Delta u + P(V_2 - V_1)$

65

② العمليات الكظمية (الادياباتية):
لا يمكن للحرارة ان تدخل الكيان او تخرج منه $\delta Q = 0$
ولذلك فان القانون الاول يصبح كما يلي

$$0 = \delta U + \delta W$$
$$\delta W = -\delta U$$

اي ان الشغل الذي ينجزه الكيان يساوي مقدار النقص في طاقته الداخلية اي ان الشغل الخارج يكون على حساب الطاقة الداخلية للكيان.

③ العمليات الثابتة الحجم:-
اذا تم تزويد الكيان بكمية صغيرة من الحرارة تحت حجم ثابت فان مقدار الشغل المنجز يكون صفراً لان مقدار التغير في الحجم هو صفر ($dV=0$) لذلك تحت حجم ثابت يكون قانون الاول كالتالي

$$\delta Q = dU$$
$$Q = \Delta U$$

اي ان كمية الحرارة الداخلة للكيان او الخارجة منه تحت حجم ثابت تساوي مقدار التغير في الطاقة الداخلية للكيان.

④ العملية الايزوثرمية (العمليات التي تتم تحت درجة حرارة ثابتة)

$$dT = 0$$
$$dU = 0$$

يكون القانون الاول

$$\delta Q = \delta W$$

بما ان dT تقيس درجة الحرارة والتي لها علاقة على زيادة الطاقة الداخلية

عندما $dT=0$ ← الزيادة في الطاقة الداخلية

$$dU = 0$$

الانثالبي: (تغيرات الحرارة تحت ضغط ثابت)

تعرف الانثالبي بانها مجموع الطاقة الداخلية (U) او حاصل ضرب الضغط في الحجم وهذا التعريف ليس له مفهوم فيزيائي محدد بل اكتسب مدلوله لكونه لاسباب رياضية بحته

$$H = U + (PV) \quad \text{---} ①$$

نفرض ان لدينا كيان بسيط قد امتص او بعث كمية من الحرارة مقدارها (Q) تحت ضغط ثابت فيكون كتابة القانون الاول في الثرموداينمك عند ثبوت الضغط وتغير الحجم بالشكل التالي

$$Q = \Delta U + W \quad \text{---} ②$$

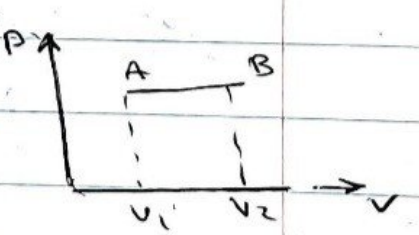
$$Q = (U_2 - U_1) + P(V_2 - V_1)$$

$$Q = (U_2 + PV_2) - (U_1 + PV_1) \quad \text{---} ③$$

نعوض (1) في (3)

$$Q = H_2 - H_1 \quad \text{---} ④$$

$$Q = \Delta H$$



وعلى فرض ان الكيان الذي كتلته (m) قد تغيرت حالته من (سائل ← بخار) اي تحول الى بخار او سائل الى سائل فانه يمتص كمية من الحرارة تسمى الحرارة الكامنة (الكامنة) والتي تساوي (L)

$$L = \frac{Q}{m}$$

$$Q = mL \quad \text{---} ⑤$$

نعوض ⑤ في ④ ينتج

$$mL = H_2 - H_1$$

$$L = \frac{H_2}{m} - \frac{H_1}{m} \quad \text{where } h = \frac{H}{m}$$

$$L = h_2 - h_1 \quad \text{---------} (6)$$

$$L = \Delta h$$

الكمية المكافئة لكمية التغير المتشابهة لنوعها

تجربة جول (المعدل الحراري للهواء) :-

في عام ١٨٤٥ اجرى العالم جول تجربة على المعدل الحراري للهواء حقيقي في محاولة لاثبات وجود قوى جزيئية جاذبية بين الجزيئات وتتلخص التجربة بما يلي :

يتألف جهاز جول من اسطوانتين (P ، ب) مصنوعتين من النحاس ويتصلان بانبوبة تفتح صمام كما في الشكل المبين لاحقاً. توضع الاسطوانتان في حمام مائي معزول عن المحيط الخارجي ويمكن قياس درجة حرارة الماء بدقة بواسطة محرار حساس. يوجد في الاسطوانة (P) هواء جاف مضغوط تحت ضغط (22) ضغط جوي بينما الاسطوانة (ب) مفرغ تماماً.

عند فتح الصمام يندفع الهواء من (P) الى (ب) حتى يتساوى الضغط في الاسطوانتين فانه بذلك يتمدد عدداً حراً يلزم خلاله شغلاً ميكانيكياً على حساب الطاقة الداخلية وبذلك تقل درجة حرارته.

لاحظ جول بعد هذه العملية حدوث انخفاض طفيف جداً في درجة حرارة الهواء المتبقي في الاسطوانة (P) بينما سجل ارتفاعاً طفيفاً جداً في درجة حرارة الهواء الذي ملأ الاسطوانة (ب) ان الانخفاض البسيط في درجة حرارة الهواء في الاسطوانة (P) يدل على وجود القوى الجزيئية الجاذبة بين جزيئات الهواء وبعد مرور فترة زمنية لاحظ جول تساوي درجة الحرارة في (P) ، (ب) بسبب انتقال الحرارة بينهما بواسطة الماء المحيط بهما. وجد ايضاً ان درجة حرارة الماء قبل وبعد فتح الصمام متساوية ايضاً

مما يدل على ان النقصان في درجة حرارة الهواء عن (P) يساوي الزيادة في درجة حرارة الهواء عن (V). اي عدم تغير حرارة الماء يعني ان الهواء لم يفقد او يكسب حرارة اذن كمية الحرارة (Q) المنتقلة عبر حدود الهواء المحور يساوي صفر.

لقد لاحظ ان الدفعة الاولى للهواء المندفع بعد فتح الصمام مباشرة لا تنجز شغلا خارجيا بسبب تحدده في الفراغ اما الهواء المندفع بعد ذلك لغاية وصول تأثير الضغط الى الاسطوانتين فانه ينجز شغلا على الهواء الذي تدفق قبله اي انه ينجز شغلا داخليا بمعنى ان جزء من الهواء ينجز شغلا على الجزء الاخر منه وبذلك فان الشغل الخارجي (W) الذي ينجزه الهواء ككل اثناء تمدده يساوي صفر.

وبتطبيق القانون الاول للثرموداينمك

$$W = 0 \qquad Q = 0$$

$$Q - W = \Delta U$$

$$\therefore \Delta U = 0 \qquad U_2 - U_1 = 0$$

$$\therefore U_2 = U_1$$

نستنتج من ذلك

ان الطاقة الداخلية ليست دالة للضغط او الحجم بل ان درجة حرارة الهواء هي الخاصية الوحيدة التي لم تتغير لذا يمكن الاستنتاج الى:

الطاقة الداخلية للغاز تعتمد فقط على درجة الحرارة.

وتمثل التعبير رياضيا

$$U = F(T)$$

نلاحظ من تجربة جول هذه الأتي

اذا كان الغاز في الاسطوانة (A)

① غازا مثاليا فعندئذ تكون قوى الجذب بين الجزيئات صفر وعليه حينما يتمدد هذا الغاز عددا كبيرا فان الجزيئات تتباعد عن بعضها دون ان تؤثر على اي قوة وبذلك

تكون الشغل المبذول للمول الحر للغاز المثالي صفراً.

② غازاً حقيقياً يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار قوى التجاذب المتبادلة بين الجزيئات وعليه حين تحدد هذا الغاز فان الجزيئات تتباعد عن بعضها وتبذل بذلك شغلاً للتغلب على القوى الجزيئية الجاذبة وهذا الشغل تحسبه

$$W = \oint_{V_1}^{V_2} \Delta P \, dV$$

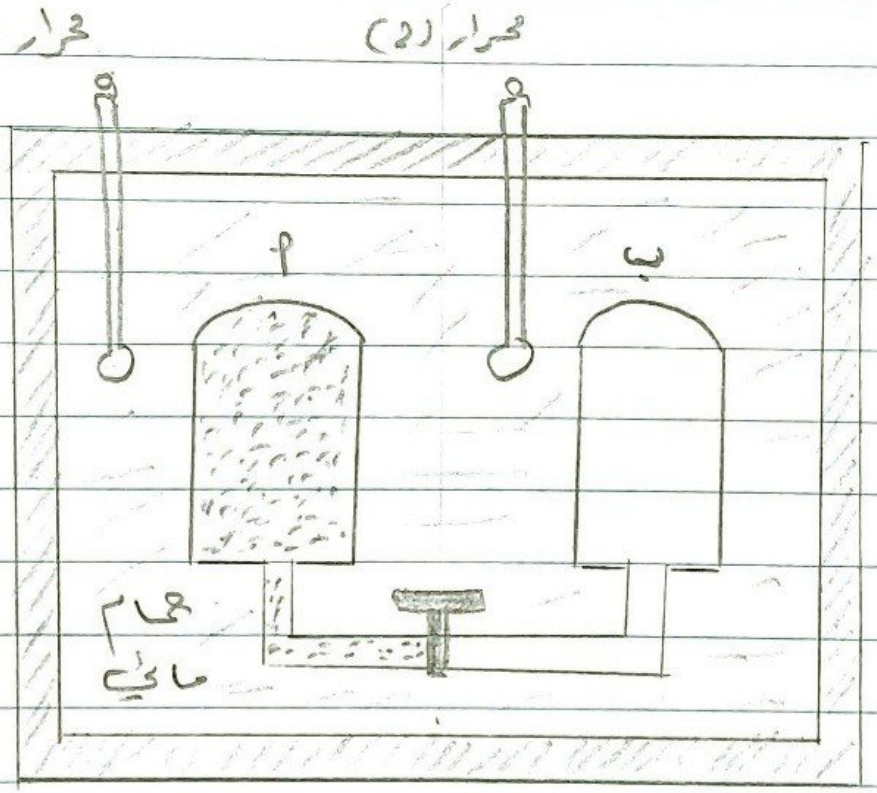
حيث الغاز عدد مول في الحجم V_1 الى الحجم V_2

$$\text{where} \quad \Delta P = \frac{a}{V^2}$$

$$\therefore W = \oint_{V_1}^{V_2} \frac{a}{V^2} dV = \boxed{\frac{a}{V_1} - \frac{a}{V_2}}$$

حيث (a) مقدار ثابت ← الشغل الداخلي للغاز الحقيقي

وهذا الشغل يتم على حساب الطاقة الداخلية



العدد الحر للغاز

عملية الخنق (تجربة جول - كلفن):

تتألف الجهاز من اسطوانة معزولة حراريا جيدا غاز ويتألف من طرفين مكبسان (A, B) هذا الكرة يوجد بينهما حاجز مسامي (P) (او هام تخلله ثقوب صغيرة جدا) مهمتها تضعف الاسطوانة كما في الشكل ادناه

عندما يدفع المكبس (A) ويتحرك نحو الحاجز المسامي فان الغاز من الجهة اليسرى من الحاجز سينكبس ويصبح ضغطه (P_1) وعند تأثير هذا الضغط يمر جزيئات الغاز من خلال ثقوب الحاجز وتعبر الى الجهة اليمنى وهذه الجزيئات بدورها تدفع المكبس (B) حيث يصبح الضغط في الجهة اليمنى من الحاجز (P_2) وعادة يكون $P_1 > P_2$ بكثير ولوحظ هبوطا في درجة الحرارة اي ان $T_1 > T_2$ بمقدار يتناسب مع الفرق بين ضغطي الغاز على جانبي الحاجز (تناسبا طرديا) ولما كان الغاز معزول عزلا حراريا اي ان عملية الخنق تتم دون حدوث تبادل حراري (عملية ادياباتية) لذلك ($Q = 0$) وبتطبيق القانون الاول

* الشغل الصافي $(W) = P_2V_2 - P_1V_1$

$$Q = U_2 - U_1 + W$$

$$0 = U_2 - U_1 + P_2V_2 - P_1V_1$$

$$U_2 + P_2V_2 = U_1 + P_1V_1$$

$$H_2 = H_1$$

* هذه المعادلة تشير الى ان الحالتين الابتدائية والنهائية للغاز في عملية الخنق لهما نفس الانثالبي.

وتجدر الاشارة هنا الى ان معامل جول - كلفن والذي يعرف بانه ثابت يميز الغاز ويمثل مقدار التغير بدرجة الحرارة على جانبي الحاجز الى مقدار التغير في الضغط بثبوت الانثالبي.

$$\mu_{JK} = \left(\frac{\Delta T}{\Delta P}\right)_H$$

P) اذا كانت قيمة المعامل موجبة فهذا يعني حدوث تبريد عند التمدد $T_1 > T_2$ $P_1 > P_2$

ب) ، كانت قيمة المعامل سالبة فهذا يعني حدوث تسخين عند التمدد $T_2 > T_1$

وقد استنتج جول - كلفن ان هنالك درجة حرارة تدعى درجة حرارة التحول والتي تعرف بانها تلك الدرجة التي لا يحدث عندها تبريد او تسخين للغاز من خلال مروره بالحاجز المسامي (عدم حدوث تغير في درجة حرارة الغاز اثناء مروره الحاجز المسامي)

ملاحظة: اذا ابتدأت هذه التجربة في درجة حرارة اقل من درجة حرارة التحول فيحدث تبريد، اما اذا ابتدأت هذه التجربة في درجة حرارة اعلى من درجة حرارة التحول فيحدث تسخين.

على ضوء ما تقدم نجد ان هنالك ثلاث حالات وبالاعتماد على المعادلة $(H_1 = H_2)$

$$U_2 + P_2V_2 = U_1 + P_1V_1$$

الحالة الاولى: اذا كان $P_1V_1 = P_2V_2$

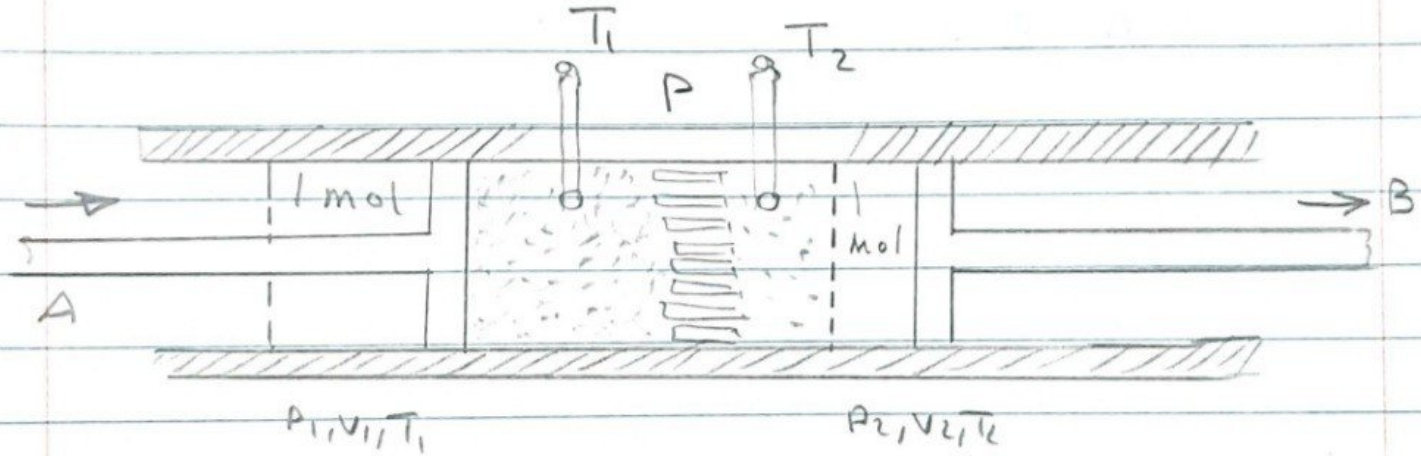
هذا يعني انه هذا الغاز مثالي لا يحدث له تحول عليه التمدد بالخنق تغير في الطاقة الداخلية اي لا يحدث للغاز تبريد او تسخين وتكون $\mu_{JK} = 0$ صفر لانه لا توجد قوى جاذبة بين جزيئاته. $\Delta T = 0$

الحالة الثانية: $P_1V_1 > P_2V_2$ فان قيمة U_2 ستكون اكبر من U_1 وهذا يعني ازدياد الطاقة الداخلية للغاز وبالتالي حدوث تسخين للغاز وبالمثل هذه الحالة ان قيمة μ_{JK} تكون سالبة.

$T_2 > T_1$

الحالة الثالثة: $P_1V_1 < P_2V_2$ فان قيمة U_1 أكبر من قيمة U_2 وهذا يدل على نقصان في الطاقة الداخلية للغاز بعد عبوره الحاجز المسامي وهذا يدل على حدوث تبريد للغاز وفي مثل هذه الحالة تكون قيمة μ_{JK} سالبة.

لاستخدام تأثير جول - كلفن في الثلاجات الكهربائية المنزلية حيث يضغط غاز الفريون بواسطة مضخة كهربائية (داخلية) ثم يترك ليبرد فجأة من خلال فتحة ضيقة فينخفض درجة حرارة الغاز ثم يجمع الغاز ويضغط ثانية داخل انابيب خاصة تحيط بقرنية التبريد في الثلاجة وتتكرار هذه العملية تنخفض درجة الحرارة داخل الثلاجة.



تجربة - جول - كلفن

الغاز الحر والغاز الخانق:

1) يعمل الغاز الحر عندما يتمدد الغاز فجأة في وعاء مفرغ من خلال فتحة واسعة نسبيا

2) جزيئات الغاز تغادر بسرعة عالية وبطاقة حركية كبيرة لان مقاومة الاحتكاك عند مرور الغاز خلال الفتحة يكون صفرا.

1) يعمل الغاز الخانق عندما يتمدد الغاز من ضغط عالي الى ضغط منخفض نتيجة مرورة بفتحة ضيقة

2) جزيئات الغاز تغادر بسرعة بطيئة وبطاقة حركية واطئة لان مقاومة الاحتكاك عندما مرور الغاز خلال الفتحة الضيقة تكون شديدة مع جدران الفتحة

السعة الحرارية :

كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ذلك الكيان درجة حرارية واحدة

$$C = \frac{\text{كمية الحرارة التي تمتص الكيان}}{\text{مقدار الارتفاع في درجة حرارة الكيان}}$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$C = \lim_{\Delta T \to 0} \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\delta Q}{dT} \quad ---(1)$$

ان البسط δQ لا يمكن وصفه بانه مشتقة Q بالنسبة dT لـ (T) لان Q ليست خاصية للكيان ولا تعتمد دالة لدرجة الحرارة T فقط فالمقدار δQ يمثل كمية صغيرة من الحرارة داخله الكيان dT مقدار التغير في T عند دخول الحرارة.

ويمكن اعتبار كمية الحرارة دالة للمسار او الطريق الذي سلكه الكيان للوصول الى حالته النهائية عند تسخينه لذلك فان δQ تتفاضل غير تام وعليه فان السعة الحرارية لاي كيان تعتمد على المسار ايضاً وكان هناك عدة مسارات للوصول الى الحالة النهائية.

انواع السعة الحرارية :-

(P) السعة الحرارية تحت ضغط ثابت

$$C_p = \left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_p \quad ---(2)$$

$$Q = \Delta H)_p$$

$$\delta Q = dH \quad ---(3$$

بالتعويض في (2)

$$C_p = \frac{dH}{dT})_p \quad ---(4$$

$$\boxed{dH = C_p\, dT}$$

② السعة الحرارية عند حجم ثابت

$$C_v = \frac{\delta Q}{dT})_v$$

من القانون الأول وعند حجم ثابت

$$\delta Q = dU$$

$$C_v = \frac{dU}{dT})_v$$

$$\boxed{dU = C_v\, dT}$$

13
٥٤٦
٤٣

= تكون قيمة C_p أكبر من C_v وذلك لأن السعة الحرارية عند حجم ثابت (C_v) تساوي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الغاز درجة حرارة واحدة عندما يسخن هذا الغاز عند حجم ثابت فيزداد سعة لذلك ضغطه الا انه

لا يتأثر شغل على المحيط لتبوت حجم لذا السعة الحرارية
تحت ضغط ثابت تأخذ قيمة أكبر من السعة الحرارية اللازمة لرفع
درجة حرارة الغاز درجة حرارية واحدة عندما يسخن هذا الغاز
تحت ضغط ثابت فيزداد تبعاً لذلك حجمه فيؤدي إلى
انجاز شغل ميكانيكي على المحيط. أي أن الغاز يأخذ كمية
كافية لرفع درجة حرارته درجة حرارية واحدة
بالإضافة إلى طاقة حرارية لعدد محدود ولكي يبقى
ضغطه ثابت وبذلك فإن $C_p > C_v$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

حيث γ تعتمد على عدد درجات الحرية للجزيء الواحد

في الغاز الأحادي الذرة $\gamma = 1.66$

ثنائي الذرة $\gamma = 1.4$

ثلاثي الذرة $\gamma = 1.33$

وتعد أيادها قيمة (γ) بالطريقة التالية

1) طريقة كلمنت وديزورميز Clement & Desormes
2) طريقة بارتنكتون Partington
3) طريقة ريجارد Ruchhardt
4) الطريقة الصوتية.

ملاحظة: C_p : السعة الحرارية النوعية الجزيئية تحت ضغط ثابت

C_v : السعة الحرارية النوعية الجزيئية تحت حجم ثابت

$$C_p - C_v = R$$

طريقة رينهارد: في عام ١٩٢٩ م ريمارد جهاز لإيجاد قيمة γ تأخذ وعاء كبير وتملؤه بالهواء أو الغاز وتفرغ من خلال سداد هذا الوعاء انبوبة زجاجية منتظمة المقطع. توضع داخل الأنبوبة كرة كتلتها (m) وتحيط بطابق المحيط بداخلي للأنبوبة وبذلك تقفل الكرة على المكبس. عندما تكون الكرة في حالة توازن حيث يكون في النقطة (A) فان ضغط الهواء المحصور داخل الوعاء (P)

$$P = P_0 + \frac{mg}{A}$$

حيث P_0: ضغط جوي

A: مساحة المقطع الداخلي للأنبوبة الزجاجية

فاذا ازيحت الكرة قليلا عن نقطة الاتزان بمسافة (Y) نحو الاسفل فان الكرة ستتعرض لقوة مقيدة تحاول اعادتها لوضع التوازن وبتتبع الاستقرارية فان الكرة ستتحرك صاعدة ونازلة بحركة توافقية بسيطة. فاذا فرضنا ان التغير في حجم الغاز عند ازاحة الكرة مسافة (Y) يساوي (dV) والتغير في ضغط الغاز الذي يصاحب هذه العملية هو (dp) فان

$dV = YA$ ---① تغير الحجم Y: الازاحة A: المساحة

$dp = F/A$ ---② تغير الضغط

F: القوة الميكانيكية التي تحاول اعادة الكرة الى نقطة الاتزان

في العمليات الديناميكية تعتبر عمليات التضاغط والتخلخل عملية اديباتيكية لانها تحدث بسرعة مما لا يسمح للكميات بفقدان او اكتساب حرارة ولذلك تعتبر الحركة الاهتزازية التوافقية هنا (للمكبس) عملية اديباتيكية وتطبق عليها القانون البياني

$$PV^{\gamma} = \text{مقدار ثابت} \quad ---③$$

تفاضل هذه المعادلة

$$\gamma P V^{\gamma-1} dV + V^{\gamma} dp = 0$$

$$\gamma p dv + v dp = 0 \quad \text{---} (4$$

نعوض المعادلة (1)(2) في المعادلة (4)

$$\gamma p Y A + V \frac{F}{A} = 0$$

$$F = - \frac{\gamma p A^2}{V} y \quad \text{---} (5$$

لدينا قانون نيوتن الثاني

$$F = m \frac{d^2 y}{dt^2} \quad \text{---} (6$$

نعوض المعادلة (5) في المعادلة (6)

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{\gamma p A^2}{V_m} y = 0 \quad \text{---} (7$$

هذه المعادلة تمثل الحركة التوافقية البسيطة وهي تمثل المعادلة العامة للحركة التوافقية البسيطة

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -w^2 y \quad \text{---} (8$$

حيث $w = \frac{2\pi}{T}$

w : تردد زاوي T : زمن الدورة الواحدة

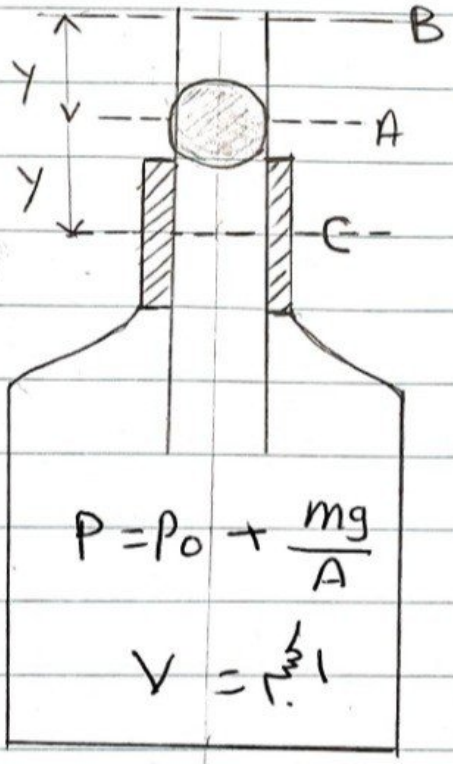
عن طريق المعادلتين (7) (8)

$$\frac{\gamma p A^2}{V_m} y = w^2 y$$

$$\frac{\gamma p A^2}{V_m} y = \frac{4\pi^2}{T^2} y$$

$$\gamma = \frac{4\pi^2 V m}{P A^2 T^2}$$

لما كانت الكميات V ، m ، P ، A معلومة ، T عن
طريق الساعة لذلك يمكن حساب قيمة γ
هذه الطريقة ليست مضبوطة تماما بسبب وجود القوة
الاحتكاكية اثناء تذبذب الكرة ولذلك لا يمكن تعيين زمن
الدورة الواحدة بدقة .



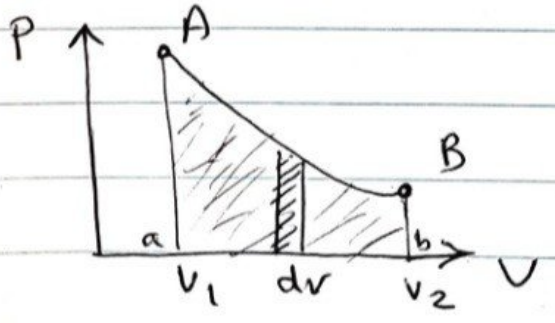
الشغل المبذول عمليات مختلفة :

(P) الشغل في العملية الايزوبارية :

عندما يتمدد غاز من V_1 الى V_2 عمليه ايزوبارية
فانه ينجز شغلا يقيس بالمساحة المظللة تحت المنحنى كما في
الشكل وهي

$$W = \oint_{V_1}^{V_2} P dv \quad \text{---} (1)$$

= المساحة ABab



ولمول واحد لدينا

$$PV = RT$$

$$P = \frac{RT}{V} \quad \text{---} \quad (2)$$

وبالتعويض في (1)

$$W = \oint_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} dV$$

$$W = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{---} \quad (3) \times$$

وبما ان A,B تقعان على نفس المنحني الايزوثرمي وبذلك

$$P_1V_1 = P_2V_2 \longrightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$$

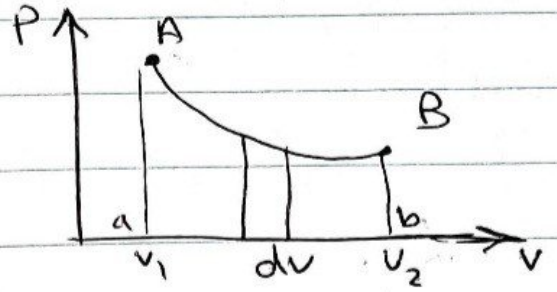
وبالتعويض في المعادلة (3)

$$W = RT \ln \frac{P_1}{P_2} \times$$

في هذه العملية يكون مقدار التغير في الطاقة الداخلية للغاز صفراً لان درجة الحرارة ثابتة لذلك فان الحرارة المنتقلة تساوي مقدار الشغل المنجز

ب) الشغل في العملية الاديباتية (الكظمية):

عندما يتمدد غاز من V_1 الى V_2 خلال عملية اديباتية فانه ينجز شغلا يتمثل بالمساحة الواقعة تحت المنحني ليس في الشغل ادناه وساوي



$$W = \oint_{V_1}^{V_2} P dV \quad \text{---} \quad (1)$$

في العملية الاديباتية

$$PV^{\gamma} = K$$

$$P = \frac{K}{V^{\gamma}} \quad \text{---} \quad (2)$$

وبالتعويض في (1)

$$W = k \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{\gamma}}$$

$$W = \frac{k}{\gamma - 1} \left[V_2^{\frac{1}{\gamma-1}} - V_1^{\frac{1}{\gamma-1}} \right] \quad --- (3)$$

وبما كانت النقاط A, B تقع على نفس المنحنى الأديباتيكي

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma} = k$$

بالتعويض في المعادلة أعلاه

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} \left[\frac{k}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{k}{V_1^{\gamma-1}} \right]$$

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} \left[\frac{P_2 V_2^{\gamma}}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{P_1 V_1^{\gamma}}{V_1^{\gamma-1}} \right]$$

$$W = \frac{P_2 V_2^{\gamma} \cdot V_2^{1-\gamma} - P_1 V_1^{\gamma} \cdot V_1^{1-\gamma}}{1 - \gamma}$$

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - \gamma}$$

$$\boxed{W = \frac{1}{1-\gamma} \left[P_2 V_2 - P_1 V_1 \right]}$$

المعادلة الرئيسية

وعلى اعتبار أن T_1, T_2 تمثلان درجات الحرارة في A, B وبذلك يمكن كتابة المعادلة بشكل واضح

$P_1V_1 = RT_1$

$P_2V_2 = RT_2$

وبالتعويض في المعادلة الرئيسية

$$W = \frac{R}{1-\gamma}\left[T_2 - T_1\right]$$

في حالة العملية $\Delta Q = 0$ وبذلك $W = \Delta U$ ويمكن تعويض قيمة ΔU بدلالة (W) في المعادلتين الأولى والرئيسية

c) العملية تحت ضغط ثابت

$$W = \int p\,dw$$

d) العملية بحجم ثابت $W = 0$

ملاحظة: قوانين الطاقة الداخلية

$$C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v \qquad C_v = \left(\frac{du}{dT}\right)_v$$

$$du = C_v\,dT$$

C_v: السعة الحرارية النوعية بحجم ثابت

طاقة داخلية نوعية $du = m\,C_v\,dT$

$$\Delta u = \frac{3}{2} n R\,\Delta T \qquad \text{where } n = \frac{N}{N_a}$$

$$\Delta u = \frac{3}{2} N \frac{R}{N_a}\Delta T \qquad \text{where } \frac{R}{N_a} = K \text{ بولتزمان}$$

$$\boxed{\Delta u = \frac{3}{2} NK\,\Delta T}$$ = غاز احادي الذرة

عند المقارنة مع العلاقة $du = C_v\,dT$ نستنتج

$$\boxed{\Delta u\ \frac{5}{2} NK\,\Delta T}$$ غاز ثنائي الذرة

$C_v = \frac{3}{2}NK$ احادي $\qquad C_v = \frac{5}{2}NK$ ثنائي

$C_v = \frac{3}{2} NK$ احادي الذرة

$C_v = \frac{5}{2} NK$ ثنائي الذرة

امثلة:

مثال حجم غرام واحد من الماء عند الضغط الجوي ($1\ cm^3$) وتتبخر لغليان الماء تحول الى بخار حجمه ($1671\ cm^3$) فما هو التغير في الطاقة الداخلية عندما يتبخر الماء يحتاج الى $2256.25\ J/gm$ عندما يتحول الى بخار عند الضغط الجوي.

$$Q = m \cdot L$$
$$= 1 * 2256.25 = 2256.25 \text{ Joule}$$
$$Q - W = \Delta U$$
$$\Delta U = Q - W$$
$$= Q - pdv$$
$$= Q - p(V_2 - V_1)$$
$$\Delta U = 2256.25 - 1 \times 10^5 [1671 - 1) \times 10^{-6}] \quad (1671. - 1) \times 10^{-6} = 1670 \times 10^{-6}$$
$$\Delta U = 2089.25 \text{ Joule.}$$

$2256.25 - 167 = 2089.25$

مثال كمية من الاوكسجين كانت تحت ضغط ($1\ bar$) $10^5\ N/m^2$ ودرجة حرارة ($300K$) كبست هذه الكمية بعملية كظمية (اديباتيكية) الى $\frac{1}{16}$ من حجمها الابتدائي احسب درجة الحرارة والضغط عند نهاية العملية والشغل المنجز اذا كانت

$$V_2 = \frac{1}{16} V_1, \quad \gamma = 1.4$$

في العملية الاديباتيكية $P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma}$$

$$P_2 = 10^5 \left(\frac{V_1}{\frac{1}{16} V_1} \right)^{1.4}$$

$$P_2 = 1.5\,(16)^{1.4} = \checkmark \quad N/m^2$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

$$T_2 = 300\left(\frac{V_1}{\frac{1}{16}V_1}\right)^{1.4-1}$$

$Q = mc_p\Delta T$
وحدة $\frac{J}{kg.K}$

$$T_2 = 300\,(16)^{0.4} = \checkmark \quad K$$

$$W = \frac{R}{1-\gamma}\left[T_2 - T_1\right] \quad \text{Joule}$$

مثال: احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (2 mole) من غاز الهليوم من 20°C الى 50°C في
① عملية ثابتة الضغط ② عملية ثابتة الحجم

$C_p = 1.5R \qquad C_v = 2.4R$

① $C_p = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$ لو كان ثابت

$Q = n C_p \Delta T$
وحدة $mol.\frac{J}{kg.K}$ K

$Q = 2 * 1.5 * 8.314\left[(50+273)-(20+273)\right]$

$Q = 1240\ J$

② $C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$

$Q = n C_v \Delta T$

$= 2 * 2.4 * 8.314 * \left[(50+273)-(20+273)\right]$

$Q = 748\ J$

مثال: كمية من غاز حجمه ($0.12\ m^3$) عند درجة حرارة $20^\circ C$ وضغط جو واحد. ضغط الغاز بعملية كاظمية حتى صار حجمه ($0.024\ m^3$) احسب الشغل اذا علمت ان

$C_v = 0.718\ J/kg.K$

$C_p = 1.005\ J/kg.K$

Sol:

في العملية الادبياتية $PV^\gamma = C$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1.005}{0.718} = 1.4$$

$$P_2 = 1.0135 \left(\frac{0.12}{0.024}\right)^{1.4}$$

$P_2 =$ N/m^2

$$W = \frac{1}{1-\gamma}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

$W =$ J

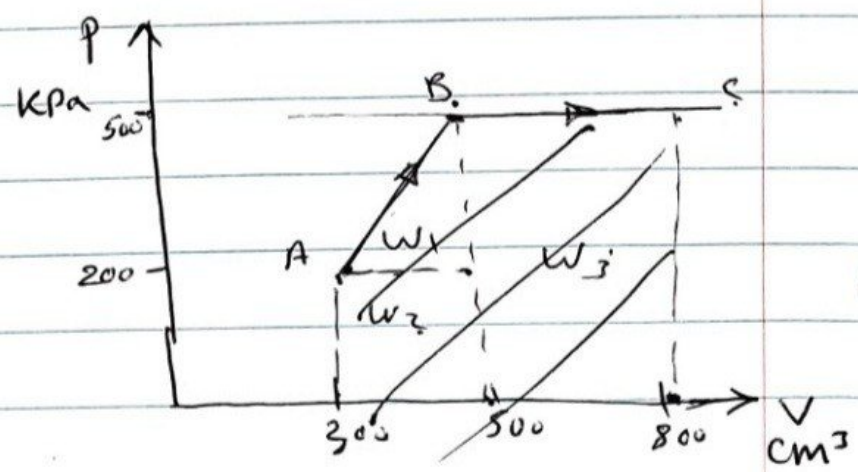
احسب الشغل المبذل للانتقال من A ← B ومنها الى C

$W_1 =$ △

$= \frac{1}{2} \times 200 \times 10^{-6} \times 300 \times 10^{3}$

$W_1 =$ Joule

$W_2 =$ □



$W_2 = 200 \times 10^{3} * 200 \times 10^{-6}$

$W_2 =$ Joule

$W_3 =$ ⬜

$= 300 \times 10^{-6} * 500 \times 10^{3}$

$W =$ Joule

$W_{Total} = W_1 + W_2 + W_3$

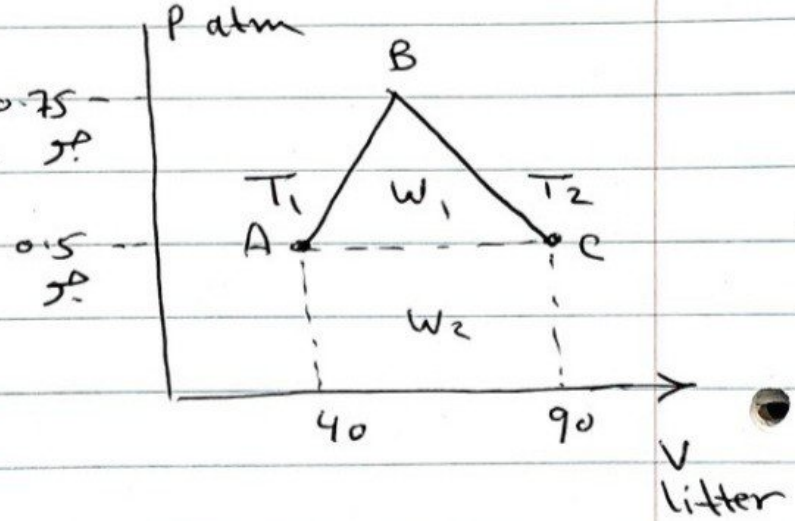
مثال في الشكل التالي 2mole من غاز المركون انتقل من A ← B
والمطلوب ١) احسب الشغل المبذول ٢) مقدار التغير في الطاقة الداخلية
وكذلك الطاقة الحرارية المعطاة.

1 litter $= 10^{-3}\ m^3$

1 atm $= 10^{5}\ N/m^2$

$W_1 = \frac{1}{2} * 50 \times 10^{-3} * 0.25 \times 10^{5}$

$W_1 = 625$ J



$W_2 = 50 \times 10^{-3} * 0.5 \times 10^{5}$

$= 2500$ J

$W_T = W_1 + W_2$

$= 625 + 2500 = 3125$ Joule.

$P_1V_1 = nRT_1$

$0.5 \times 10^{5} * 40 \times 10^{-3} = 2 * 8.314 * T_1$

$T_1 = 120$ k

$P_2V_2 = nRT_2$

$0.5 \times 10^{5} * 90 \times 10^{-3} = 2 * 8.314\ T_2$

$T_2 = 270$ K

86

$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$ اضافة الطاقة الداخلية

$\Delta U = 1.5 \times 2 \times 8.31 \times (270 - 120)$

$\Delta U =$ J

$\Delta Q = \Delta U + W$

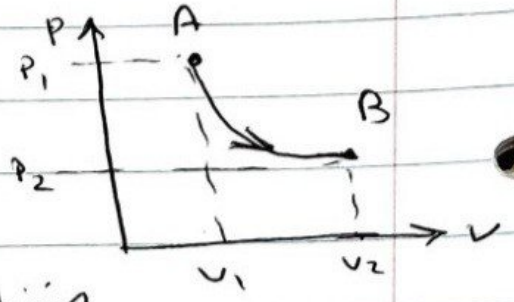
$\Delta Q =$ $+ 3185 =$ Joule

مثال: يخضع كمية من (N_2) كتلتها (1 gm) لعملية شبه ساكنة متعاقبة
في اسطوانة ذات مكبس متحرك ① تحدد الغاز بحدود ادياباتيكي
بيضاف فوقه حجم الغاز ② عليه ثابت الضغط يعود فيه الغاز
الى الحجم الاصلي ③ انضغاط ثابت الحجم يعود به النظام الى حالته
الابتدائية . احسب الشغل الصافي . اذا علمت

$P_1 = 5\ atm \quad T_1 = 150\ c^\circ \quad \gamma = 1.4 \quad C_v = 741.1\ J/kg.k$

$C_p = 1038.3\ J/kg.k \quad M_{N_2} = 28$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1}{28} = 0.035\ mole$$



في الموضع (A) لا يجزيء على الغاز اية عملية وصرت
ضغط واخذ تقريبا فيمكن معاملته معاملة الغاز المثالي

$$P_1V_1 = nRT_1$$

$$5 \times 10^5 V_1 = 0.035 * 8.314 * (150+273)$$

$$V_1 = 2.48 \times 10^{-4}\ m^3$$

عملية اديباتيكية $P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma}$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma}$$

$$P_2 = 5 \times 10^5 \left(\frac{V_1}{2V_1}\right)^{1.4} = 1.92 \times 10^5\ N/m^2$$

$$V_2 = 2V_1 = 2 \times 2.48 \times 10^{-4} = 4.96 \times 10^{-4}\ m^3$$

$$W_1 = \frac{1}{1-\gamma}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

$$W_1 = \frac{1}{1-1.4}(1.92 \times 10^5 * 4.96 \times 10^{-4} - 5 \times 10^5 * 2.48 \times 10^{-4})$$

$$W_1 = 76.012\ J$$

$$W_2 = p\,dV$$
$$= p_2(V_2 - V_1)$$
$$W_2 = 1.92 \times 10^5 (2.96 \times 10^{-4} - 4.9 \times 10^{-4})$$

$$W_2 = 47.66\ J$$

$W_3 = 0$ در ایزوکوریک

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3$$

$W_T =$ Joule.