الوحـدة السادسـة

الديناميكـا الحراريـة

في السيارات و القطارات و الطائرات توجد محركات ما فكرة عملها وما مدى الاستفادة منها إلى أقصى حد هذا ما يقوم بدراسته (علم الديناميكا الحرارية)

الديناميكا الحرارية:

هي علم فيزيائي تجريبي يهتم بدراسة العلاقة بين الطاقة الحرارية و الشغل الميكانيكى ضمن أنظمه ديناميكية حرارية.

النظام الديناميكي الحراري:

هو عبارة عن كمية معينة من مادة **(صلبة سائلة غازية)** موضوعة في اسطوانة مزودة بمكبس.

وأنواعـه هي:

1) نظام مفتوح: وهو نظام يسمح بتبادل المادة و الطاقة مع الوسط الخارجي و بذلك يتغير مقدار الكتلة.

2) نظام مغلـق: وهو نظام لا يسمح بتبادل المادة مع النظام الخارجي ولكن يسمح بتبادل الطاقة (الشغل و الحرارة) بينما الكتلة ثابتة.

3)نظام معـزول: وهو النظام الذي لا يسمح بتبادل كل من المادة و الطاقة مع الوسط الخارجي.

العمليات الديناميكية الحرارية.

عند دراسة اى نظام نهتم بستة كميات فيزيائية و ما يطرأ عليها من تغير وهي (الحجم، الضغط، درجة الحرارة، كمية الحرارة، و الطاقة الحرارية والشغل)، وعند تغير أيً من الكميات أو كلاهما يقال أن هناك عملية ديناميكية حرارية حدثت على النظام.

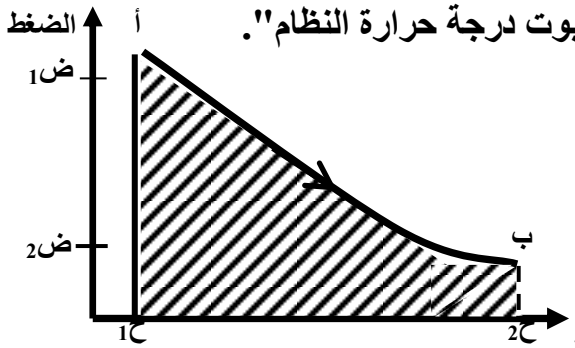
أولاً: عمليـــات ثابتـــة الحـــرارة

نفترض وجود غاز في اسطوانة يتحرك عليها مكبس فعندما يتحرك المكبس لأسفل يزداد الضغط ونجد أن حجم الغاز يقل و كل ذلك يتم في درجة حرارة الغرفة سواء خارج الاسطوانة أو داخلها و يمكن التعبير عنها بيانيا كالآتي:

وهذا يدل على أن العلاقة بينهم عكسية.

∴ **"حجم النظام يتناسب عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارة النظام".**

$$ح \propto \frac{1}{ض}$$



الشغل في العملية ثابتة الحرارة:

أ) بيانيـــاً: هـو المساحة المظللة اسفل العلاقة البيانية.

مقدار الشغل = مقدار المساحة المظللة

ب) جبريـــاً: يمكن حساب الشغل بدلالة كلا من الحجم و الضغط.

شغ = ح$_1$ × ص$_1$ لو$_c$ (ح$_2$ ÷ ح$_1$) = ح$_1$ × ص$_1$ (لو$_c$ $\frac{ض_1}{ض_2}$)

مثـــال(1): تحتوى اسطوانة بها مكبس على غاز حجمه 0.40 م3 عند ضغط 10^6 باسكال تمدد ببطء وأصبح حجمه 0.9 م3 و حدث هذا التحول دون تغير في درجة الحرارة فما مقدار الشغل المبذول. حيث لو2.25 = 0.8

الحـــل

ح$_1$=0.4 ، ح$_2$=0.9 ، ض$_1$= 10^6

الشغل = ح$_1$ص$_1$ لو$_c$ $(\frac{ح_1}{ح_2})$ = 0.4 × 10^6 لو$_c$ $(\frac{0,9}{0,4})$=0.4× 10^6×لو$_c$ 2.25

∴ شغ = 0.4 × 10^6× 0.8 = 0.32×10^6 = 32 × 10^4 جول

مثـــال: حرك شخص مكبس اسطوانة إلى الخارج فزاد حجم الهواء المحبوس فيها بمقدار3000 سم^3 فإذا كان مقدار الشغل المبذول 300 جول. أحسب ضغط الهواء داخل الأسطوانة؟

الحـــل

ح = 3000سم^3 = 3000 × 10^{-6} = 3× 10^{-3}م^3 شغ = 300 ض = ؟

∵ شغ = ص× Δ ح ∴ 300 = ض × 3 × 10^{-3}

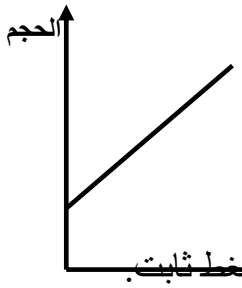
∴ ض = $\frac{300}{3 \times 10^{-3}}$ = 100 × 10^3 = 10^5 نيوتن / م^2

ثانيـــاً: عمليـــات ثابتـــة الضغـــط (الايـــزوباريـــة)

يتغير الحجم بتغير درجة الحرارة والعلاقة البيانية علاقة طردية فكلما زاد الارتفاع في درجة الحرارة زاد الحجم عند ثبوت الضغط.

مثـــال: عند وضع إناء يحبس كمية من الغاز بواسطة مكبس على لهب فإن الغاز يتمدد ويرتفع المكبس لأعلى.

∴ **"حجم النظام يتناسب طردياً مع درجة الحرارة عند ثبوت ضغط النظام"**



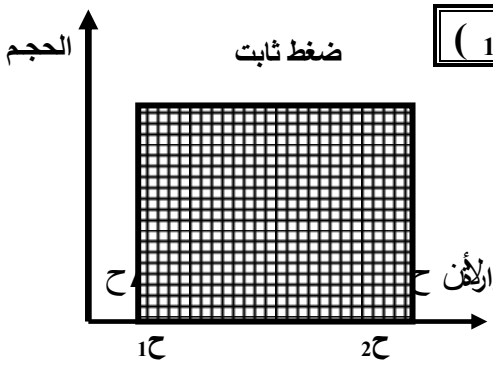
في هذه الحالة: ح α د

ولحساب الشغل في هذه الحالة:

أ) بيانيـــاً: شغ = مقدار المساحة المظللة كما بالشكل.

ب) جبريـــاً: يتغير حجم الغاز بالتمدد من ح$_1$ إلى ح$_2$ أي أن الحجم يزداد

∴ **الشغل**$_{(شغ)}$ = ص × Δ ح أو **شغ = ض×(ح$_2$ - ح$_1$)**



حيث ح$_1$ الحجم الابتدائي للغاز.

ح$_2$ الحجم النهائي للغـاز.

ملحوظـــة:

1) إذا انكمش الغاز يكون الشغل سالبا أي بذل على النظام شغل وارد أن

2) الحجم = المساحة × الارتفاع.

مثـــال: احسب الشغل المبذول على غاز موضوع في اسطوانة ذات مكبس متحرك إذا انكمش الغاز من 3000سم3 إلى 1000سم3 باستخدام ضغط 5 نيوتن /سم2.

الحـــــل

$ح_1 = 3000 سم^3 = 3000 \times 10^{-6} = 3 \times 10^{-3} م^3$

$ح_2 = 1000 سم^3 = 1000 \times 10^{-6} = 10^{-3} م^3$

$ض = \frac{5 \text{ نيوتن}}{سم^2} = \frac{5}{10 \times 1^{-4}} = 5 \times 10^4$ نيوتن/$م^2$

الشغل = ص × Δ ح = $5 \times 10^4 \times (1 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-3})$

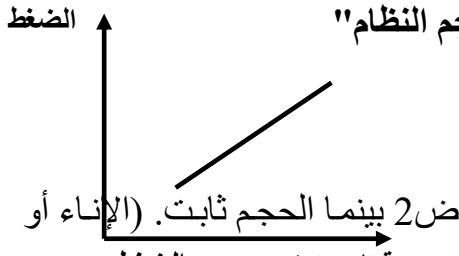
$= 5 \times 10^4 \times -2 \times 10^{-3} = -10 \times 10 = -100$جول

ثالثـــاً: العمليـــة ثابتــة الحجـــم

عند وضع إناء مقفل به ماء على سخان فكلما زاد الارتفاع في درجة الحرارة زاد الضغط و هذا يحدث في (القدر الكاتم) اى ان العلاقة طردية.

∴ " ضغط النظام يتناسب طردياً مع درجة الحرارة عند ثبوت حجم النظام"

ض α د



ولحساب الشغل في هذه الحالة

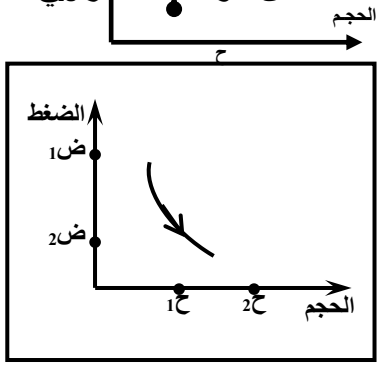
نرسم علاقة بيانية بين الحجم و الضغط. كما سبق

واضح عن الرسم ان الضغط هو الذى تغير من ض1 إلى ض2 بينما الحجم ثابت. (الإناء أو المكبس لم يتحرك)

∴ الشغل المبذول = صفر

العملية الكظمية أو الاديباتيكية.

هي عملية تحدث على نظام ديناميكي حراري معزول عزلا تماما عن الوسط الخارجي. بحيث يتغير فيها حجم النظام وضغطه دون حدوث تبادل حراري بين النظام والوسط المحيط به وهي تتم بسرعة كبيرة.



ويكون مقدار الشغل ايضا برسم علاقة بين الحجم و الضغط. ويكون مقدار الشغل = المساحة المظللة.

قوانيـن الديناميكا الحراريـة

القانـــون الأول:

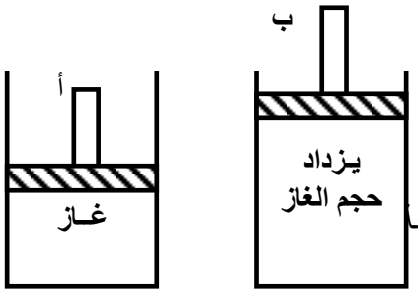
يستخدم في إيجاد العلاقة بين الشغل و الطاقة الحرارية (كمية الحرارة) والطاقة الداخلية للنظام.

فإذا رفعنا درجة حرارة الإناء أي اكتسب كمية حرارة فأنه يحدث الآتي.

1) يتحرك المكبس لأعلى (حدث شغل).

∴ الغاز زاد حجمه أي تمدد.

∴ النظام أنجز شغل.



2) زيادة الطاقة الداخلية لجزيئات الغاز. (النظام) لارتفاع درجة

∴ القانـون الأول ينـص علـى:

(كمية الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها أي نظام تساوى مجموع الشغل الذي يبذله النظام والتغير في الطاقة الداخلية للنظام).

ويمكن التعبير رياضياً عن ذلك:

كمية الحرارة = الشغل + الطاقة الداخلية

$$\text{حر} = \text{شغ} + \Delta \text{ طد}$$

أو $$\Delta \text{ طـ} = \text{حر} - \text{شغ}$$

ومع ملاحظة أن تستخدم قاعدة الإشارات كما يلي:

الشغل	كمية الحرارة	الطاقة الداخلية	إشارته
إذا حدث تمدد للغاز	إذا اكتسب النظام طاقة	زيادة طاقة الحركة والوضع	+
إذا حدث انكماش للغاز	إذا فقد النظام طاقة	—	-

ملاحظات هامة:

1) تعامل الحرارة كأنها شغل ولكنها تختلف عنه في أن انتقالها يرتبط بوجود فرق في درجة الحرارة بين النظام والوسط الخارجي.
2) عند إعطاء النظام حرارة فإنه يخزنها على شكل طاقة حركة وطاقة وضع لجزيئاته ولا تخزن على شكل حرارة.

تطبيقات القانون الأول.

1- ***في العملية ثابتة الحرارة:*** أي لا يحدث تغير في درجات الحرارة

∴ **الطاقة الداخلية لا تتغير.** $$\text{شغ} = \text{حر} = \text{ح}_1 \times \text{ض}_1$$

2- ***في العملية ثابتة الضغط:*** أي لا يحدث تغير في الضغط ويتم ذلك في الآلات البخارية

$$\text{شغ} = \text{ض}(\text{ح}_2 - \text{ح}_1)$$

ومن القانون الأول Δ طـ = حر – شع

$$\therefore \quad \Delta \text{ طـ} = \text{حر} - \text{ض}_1 (\text{ح}_2 - \text{ح}_1)$$

مثـــال: آله البخارية تحتوى على 100 جم من الماء سخنت إلى درجة الغليان فتحولت إلى بخار حجمه 9500 سم3 عند الضغط الجوى المعتاد 1.013×10^5 نيوتن /م2 فإذا اكتسب البخار في هذه الحالة طاقة حرارية مقدارها 10800 سعر فأحسب

1) الشغل الذي تبذله هذه الآلة؟

2) الزيادة في الطاقة الداخلية للنظام؟

علمـاً بـأن: (1 سعر = 4.2 جول)

الحـــــــل

$ح_1$ = 100جم أي 100سم^3 = $100 \times 10^{-6} = 10^{-4}$ م^3

$ح_2$ = 9500سم^3 = $9500 \times 10^{-6} = 95 \times 10^{-4}$م^3

ض = 1.013×10^5

∵ شغ = ض ($ح_2 \times ح_1$) ∴ شغ = $1.013 \times 10^5 \times (95 \times 10^{-4} - 10^4)$

$= 1.013 \times 10^5 \times 94 \times 10^{-4}$

= 95.222 × 10 = 952.22 جول

لاحـظ: ⇐ الشغل كمية موجبة ∴ حدث تمدد للغاز

2) ∵ Δ ط = حر - شغ

∴ Δ ط = 10800 × 4.2 - 952.22 جول.

= 45360 – 952.22

= 44407.78 جول

3- في العمليـــة ثابتـــــة الحجـــم:
من المعروف انه لا يوجد تغير فى الحجم فلا يوجد شغل.

فيكون Δ **طـ د = حـر**

ويتضح من ذلك أن الطاقة الحرارية التى يكتسبها النظام لا تستخدم في بذل شغل ولكن في زيادة الطاقة الداخلية للغاز.

4-في العملية الكظميـة:
وهي التي لا يحدث بها تبادل حرارى بين النظام و الوسط لانه معزول حراريا

∴ **حـر = صفر**

∴ **العلاقة تكون:** Δ **طـ = شـغ**

العملية العكوسة: هـي العمليـة التـي يمكـن عكسهـا.
مثـل: تحول الحرارة إلى شغل، تعتبر عملية عكوسة لأنه يمكن تحويل الشغل إلى حرارة.
العملية اللا عكوسة: هي العملية التي لا يمكن عكسها إلا ببذل شغل.
مثـل: انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم بارد تعتبر عملية لا عكوسة لأنه يستحيل أن يفقد الجسم البارد الحرارة التي اكتسبها بدون بذل شغل.

مثـــال: نظام معزول حرارياً يحتوي على غاز فإذا بذل شغل عليه مقداره 400 جول فكم يكون مقدار التغير في الطاقة الداخلية للغاز؟

الحـــــــل

∵ النظام معزول حرارياً ∴ حر = صفر شغ = -150 جول لأنه بذل على النظام

∵ Δ طـ = حر – شغ = صفر – شغ

∴ Δ طـ = شغ

∴ Δ طـ = - (-150) = 150 جول.

تذكـــر أن

الديناميكا الحرارية: هي علم فيزيائي تجريبي يهتم بدراسة العلاقة بين الطاقة الحرارية و الشغل الميكانيكي في نظام معين.

الأنظمة الحراريـــة.

1- نظام مفتوح يسمح بتبادل الحرارة و المادة مع الوسط الخارجي و تقل كتلته.

2- نظام مغلق لا يسمح بتبادل الكتلة و لكن يسمح بتبادل الشغل و الطاقة.

3- نظام معزول لا يسمح بتبادل الكتلة أو الشغل و الطاقة مع الوسط الخارجي.

❖ في العمليات ثابتة الحرارة يتناسب الحجم مع الضغط عكسيا و يتم بذل شغل مقداره $ح_1 \times ص_1 \left(\frac{ح_1}{ح_2} \right)$

❖ في العمليات ثابتة الضغط يزداد الحجم بزيادة درجة الحرارة ويكون الشغل = ض × Δح و يمكن أن يكون موجباً إذا زاد الحجم وسالباً إذا انكمش الحجم

❖ في العمليات ثابتة الحجم اي لا يحدث تغير في الحجم لذلك الشغل = صفر

❖ **القانون الأول للديناميكا الحرارية:** كمية الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها نظام تساوي مجموع الشغل و التغير فى الطاقة الحرارية الداخلية.

حر = شغ + Δ ط د

Δ ط د = صفر إذا لم يحدث تغير في درجة الحرارة.

الشغل = صفر إذا لم يحدث تغير في الحجم.

❖ في العملية الكظيمة التي لا يحدث تبادل حرارى مع الوسط ∴ حر = صفر.

أسئلــة تقويم الوحـدة

السؤال الأول: أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها:

1- يهتم علم الديناميكا الحرارية بدراسة العلاقة بين الطاقة:..... و..... الميكانيكي.
2- تحتاج لوصف النظام الديناميكي الحراري إلى استخدام كل من:..... والضغط.....، والطاقة الداخلية للنظام، وكمية الحرارة، و.....
3- العملية الديناميكية الحرارية هي عملية يحدث فيها تغير في حالة النظام، وذلك بسبب اكتسابه، أو فقده ..... أو.....
4- من العمليات الديناميكية الحرارية، العملية.....، والعملية ثابته الضغط، والعملية..... والعملية الكظمية.
5- ينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن كمية الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها النظام تساوي مجموع..... الذي يبذله النظام، والتغير في الطاقة..... للنظام.
6- تعامل الحرارة في الديناميكا الحرارية، وكأنها شغل، ولكنها تختلف عن الشغل في أن انتقالها مشروط بوجود..... في درجات الحرارة بين النظام، والوسط المحيط به.
7- الشغل الذي تنجزه القوة التي يؤثر بها مكبس على كمية الغاز موضوع في أسطوانة يساوي حاصل ضرب ..... في .....

السؤال الثاني: ضع علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (×) أمام العبارة الخطأ فيما يأتي:

1- النظام الديناميكي الحراري المغلق، هو النظام الذي يسمح بتبادل المادة. ولا يسمح بتبادل الطاقة مع الوسط المحيط به. ( )
2- العملية الديناميكية الحرارية هي عملية تغير حالة النظام الديناميكي الحراري، وذلك بسبب اكتسابه، أو فقده حرارة أو شغل. ( )
3- في العملية ثابتة درجة الحرارة يكون التناسب بين حجم كمية من الغاز، وضغطه تناسباً عكسياً. ( )
4- يكون التناسب بين درجة حرارة النظام، وحجمه عند ثبوت ضغطه تناسباً عكسياً. ( )
5- إن التناسب بين درجة حرارة الغاز، وضغطه في العملية ثابتة الحجم تناسباً طردياً ( )
6- يكون الشغل في العملية الكظمية مساوياً لمجموع التغير في الطاقة الداخلية للنظام وكمية الحرارة. ( )
7- يوضح القانون الأول في الديناميكا الحرارية العلاقة بين كمية الحرارة التي يكتسبها، أو يفقدها النظام، والشغل الذي يبذله النظام، والتغير في الطاقة الداخلية للنظام ( )
8- يتبين من خلال القانون الأول للديناميكا الحرارية أن التغير في الطاقة الداخلية للنظام يساوي مجموع كمية الحرارة، والشغل المبذول. ( )
9- يكون الشغل كمية موجبة إذا بذله النظام، ويكون الشغل كمية سالبة إذا بُذل الشغل على النظام. ( )
10- تكون كمية الحرارة موجبة إذا فقد النظام طاقة حرارية وتكون سالبة إذا اكتسب النظام طاقة حرارية. ( )
11- تزويد النظام بالحرارة يؤدي إلى تخزينها في النظام على شكل حرارة ( )
12- إن عملية انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم آخر أبرد منه هي عملية عكوسه ( )

السؤال الثالث: ضع دائرة حول الحرف الذي يدل على الإجابة الصحيحة لكل عبارة من العبارات الآتية:

1- النظام الديناميكي الحراري الذي يسمح بتبادل المادة والطاقة مع الوسط المحيط به يسمى بالنظام:

أ- المفتوح. ب- المغلق. ج- المعزول. د- الكظمي.

2- تسمى العملية التي تتم على الغاز: بالنظام بحيث يتغير حجمه بتغير درجة حرارته عند ثبوت ضغطه بالعملية:

أ- ثابتة درجة الحرارة. ب- ثابتة الضغط.

ج- ثابتة الحجم. د- الكظمية.

3- في العملية (ثابتة الضغط) تكون العلاقة بين درجة الحرارة و.....

أ- الضغط علاقة عكسية. ب- الحجم علاقة عكسية.

ج- الضغط علاقة طردية. د- الحجم علاقة طردية.

4- يكون الشغل الميكانيكي مساوياً الصفر، عندما يكون النظام:

أ- ثابت الضغط. ب- ثابت الحجم.

ج- ثابت درجة الحرارة. د- معزولاً عزلاً حرارياً.

5- يكون الشغل مساوياً التغير في الطاقة الداخلية للغاز، عندما تكون العملية الديناميكية الحرارية:

أ- ثابتة درجة الحرارة. ب- ثابتة الضغط. ج- ثابتة الحجم. د- الكظمية.

6- الصورة الرياضية للقانون الأول للديناميكا الحرارة هي:

أ- حر = شغ Δ طـ. ب- حر = شغ + Δ طـ

ج- حر = شغ× Δ طـ د- حر= شغ ÷ Δ طـ

السؤال الرابع: عرِّف ما يأتي:

- الديناميكا الحرارية. - النظام الديناميكي الحراري.
- النظام المفتوح. - النظام المغلق.
- النظام المعزول. - العملية الديناميكية الحرارية.
- العملية ثابتة درجة الحرارة. - العملية ثابتة الضغط.
- العملية ثابتة الحجم. - العملية الكظمية.
- العملية العكوسة. - العملية اللاّعكوسة.

السؤال الخامس: علل لما يأتي:

1- غالباً ما تكون كتلة المادة في النظام المفتوح غير ثابتة، بينما تكون في النظام المغلق ثابتة.

2- يكون الشغل في العملية ثابتة الحجم مساوياً الصفر.

3- تعد عملية تحول الشغل إلى حرارة عملية عكوسة، بينما تعد عملية انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم بارد عملية لا عكوسة.

السؤال السادس: ما الذي يوضحه القانون الأول للديناميكا الحرارية؟

السؤال السابع: متى يكون الشغل كمية موجبة؟ ومتى يكون كمية سالبة؟

السؤال الثامن: متى تكون كمية الحرارة كمية موجبة؟ ومتى تكون كمية سالبة؟

السؤال التاسع: ما وجه الاختلاف بين الشغل، والحرارة؟

السؤال العاشر: أين تذهب الطاقة الحرارية التي يكتسبها النظام الديناميكي الحراري عندما لا يبذل شغلاً؟

السؤال الحادي عشر: نظام مكون من غاز موضوع في أسطوانة بها مكبس، وحجم الغاز فيها= (0.04م^3)، أثر على المكبس ضغط مقداره (700×10^3) نيوتن/م^2، فتمدد الغاز، وأصبح حجمه =(0.044م^3)، فإذا تم هذا التحول (الانتقال) في عملية ثابتة الضغط فكم يكون مقدار الآتي:

أ- الشغل الذي بذله النظام.

ب- الإزاحة التي يحركها المكبس، إذا علمت أن مساحة قاعدة المكبس = (0.08)م^2؟

السؤال الثاني عشر: أحسب مقدار الشغل الذي يبذله غاز مثالي تمدد وفقاً لقانون بويل من حجم =(25000سم^3) إلى حجم = (5000سم^3)، وكان الضغط (10^5نيوتن/م^2)

السؤال الثالث عشر: سُلطت قوة مقدارها (200نيوتن) على مكبس في أسطوانة تحتوي على غاز، فنقص حجم الغاز من (5000سم^3) إلى (3000سم^3).
أحسب الشغل الذي أنجزته هذه القوة، إذا كانت مساحة قاعدة المكبس = (100سم^2)

إجابة تقويم الوحدة

جـ1/

1- الحرارة والشغل.
2- الحجم - درجة الحرارة - الشغل.
3- حرارة – شغل.
4- ثابتة درجة الحرارة – ثابتة الحجم.
5- الشغل – الداخلية
6- فرق.
7- القوة – الإزاحة التي يتحركها المكبس.

جـ2/

1- (×) 2- (✓) 3- (✓) 4- (×) 5- (✓) 6-(×)
7- (✓) 8- (×) 9-(✓) 10-(×) 11- (×) 12-(×)

جـ3/

1- المفتوح
2- ثابته الضغط
3- الحجم علاقة طردية.
4- ثابت الحجم.
5- الكظمية.
6- حر = شغ + Δ طـ

جـ5/

1- لأنه فيالنظام المفتوح يسمح بتبادل المادة مع الوسط الخارجي المحيط فتكون الكتلة غير ثابتة.
2- أما في النظام المغلق فإنه لا يسمح بتبادل المادة مع الوسط الخارجي فتكون الكتلة ثابتة.
3- لأن تغير النظام في هذه الحالة يحدث في حجم ثابت فيتغير الضغط فقط ولذلك يكون الشغل مساوياً الصفر.
4- لأنه يمكن تحول الشغل إلى حرارة فتعتبر عملية عكوسة بينما من المستحيل رجوع الحرارة التي اكتسبها الجسم البارد إلى الجسم الساخن مرة ثانية ولذلك تعتبر عملية لا عكوسة.

جـ6/ يوضح القانون الأول للديناميكا الحرارية العلاقة بين الشغل المبذول على النظام والطاقة الحرارية التي تبادلها النظام مع الوسط المحيط به والتغير الحادث في الطاقة الداخلية للنظام نتيجة اكتسابه أو فقده طاقة حرارية.

جـ7/ الشغل كمية موجبة: عندما يبذله النظام أي يحدث تمدد للغاز.
الشكل كمية سالبة: إذا بذل شغل على النظام أي يحدث انكماش للغاز.

جـ8/ كمية الحرارة كمية موجبة: إذا اكتسب النظام طاقة حرارية.
كمية الحرارة كمية سالبة: إذا فقد النظام طاقة حرارية.

جـ9/ الحرارة عبارة عن طاقة تنتقل بين النظام والوسط الخارجي المحيط به وتختلف عن الشغل في أن انتقالها مشروط بوجود فرق في درجات الحرارة بين النظام والوسط الخارجي.

جـ10/ تستخدم الطاقة الحرارية المكتسبة في زيادة الطاقة الداخلية للغاز.

جـ11/ $ح_1 = 0.04$ م^3 $ح_2 = 0.044$ م^3 من $= 700 \times 10^3$ $\times 7 \times 10^5$ س $= 0.08$ م^2

أ) ∵ شغ = ص $(ح_2 - ح_1) \Leftarrow$ شغ $= 7 \times 10^5$ $(0.04 - 0.044) \times 7 \times 10^5 \times 0.004 = 2800$ جول

ب) ∵ شغ = ض×س × Δ ل ⇐ Δ ل = $\frac{\text{شغ}}{\text{ض} \times \text{س}}$ = $\frac{2800}{,08 \times 10^{5} \times 7}$ = $\frac{2800}{8 \times 7000}$ = 0.05 م

جـ12/ ح$_1$ = 25000سم^3 = 25 × 10^{-3} م^3 ح$_2$ = 50000سم^3 = 50 × 10^{-3} ص = 10^5 شغ = ؟

∴شغ = ص(ح$_2$ - ح$_1$) ⇐ 10^5(50 × 10^{-3} – 25 × 10^{-3}) = 10^5 × 25×10^{-3} = 2500 جول

جـ13/ ق=200 ح$_1$=5000سم^3=5 × 10^{-3}–5×10^{-3}م^{3}س = 100سم^2 = 100 × 10^{-4} = 10^{-2}م^2

Δ ح = ح$_2$ – ح$_1$ ⇐ Δح = 3 × 10^{-3} – 5 × 10^{-3} = -2 × 10^{-3} م^3

∵ Δ ح = س × Δ ل ⇐ Δ ل = $\frac{2 \times 10^{-3}}{10^{-2}}$ =-2 × 10^{-1} = -0.2 م

∵ شغ = ق × Δ ل ⇐ شغ = 200× -0.2 = -40 جول

لاحظ الشغل كمية سالبة لأنه حدث انكماش للغاز أي قل حجمه.