

○気体の内部エネルギー

気体の内部エネルギー = 熱運動のエネルギー + 分子間力によるエネルギー

これを無視できる気体を _____ という。

_____ 運動のエネルギー + _____ 運動のエネルギー

・並進運動のエネルギーは _____ である（気体の種類に無関係）。

・回転運動のエネルギーは
単原子分子： _____
二原子分子： _____

↓

単原子分子理想気体の内部エネルギー $U =$ _____

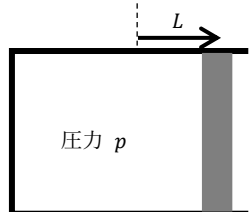
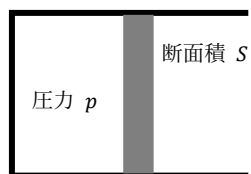
二原子分子理想気体の内部エネルギー $U =$ _____

(練習) 8.0 g、27 °Cの気体のヘリウムを理想気体とみなしたとき、その内部エネルギーはいくらか。気体定数を 8.31 J/mol・K とし、原子量は He=4.0 とする。

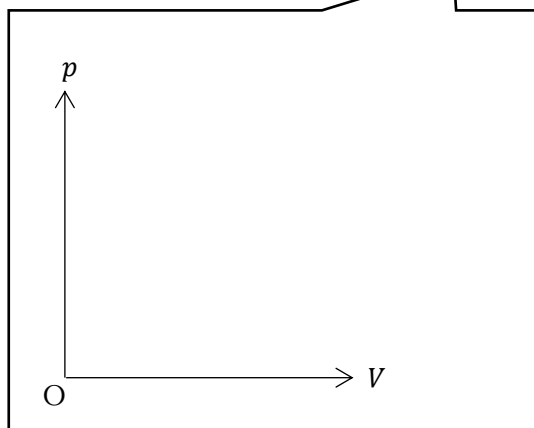
○気体が行う仕事

気体が加熱されると膨張する：気体は外部へ _____ をする

- ・気体の圧力が一定のとき

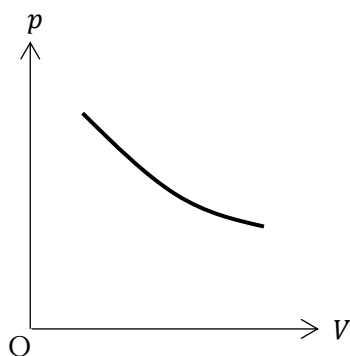


気体が外部へする仕事 $W =$ _____



- ・気体の圧力が一定でないとき

この場合も、気体が外部へする仕事 $W =$ _____



気体が

- ・膨張するとき：気体は外部へ仕事 _____ ので、

気体が外部へする仕事 W _____ 0

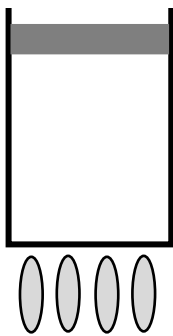
である。

- ・収縮するとき：気体は外部から仕事 _____ ので、

気体が外部へする仕事 W _____ 0

である。

(練習) 図のように、シリンダー内に断面積 $1.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ のなめらかに動くピストンで空気を閉じ込めたところ、シリンダー内の空気の圧力は $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。その空気を加熱すると、ピストンが 5.0 cm だけ上昇した。シリンダー内の空気が外部にした仕事、外部からされた仕事はそれぞれいくらか。



○熱力学第1法則

熱力学第1法則： $Q = \Delta U + W$

Q ：気体に _____ 熱

ΔU ：気体の内部エネルギーの _____

W ：気体が外部へ _____ 仕事

熱力学第1法則の意味すること

気体に熱が与えられると、それは
_____ と _____ に変化する。

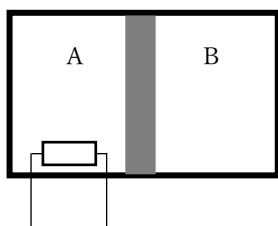
※ 注意点

- ・ 気体が外部へ仕事するとき : W _____ 0
- ・ 気体が外部から仕事されるとき : W _____ 0

- ・ 気体が外部から熱を吸収するとき : Q _____ 0
- ・ 気体が外部へ熱を放出するとき : Q _____ 0

(練習) 図のように、容器の中をピストンで2つの部屋A、Bに仕切る。いずれの部屋にも気体が閉じ込められていて、ピストンは容器内をなめらかに動くことができる。また、容器の壁とピストンは熱を通さない。部屋Aにつけられた加熱装置をはたらかせて熱量 Q を与えると、部屋Aの気体の内部エネルギーは ΔU だけ変化した。この変化について、以下の各問いに答えよ。

- (1) 部屋Aの気体がピストンを通じて部屋Bの気体にした仕事はいくらか。
- (2) 部屋Bの気体の内部エネルギーはいくら変化したか。



(練習) 上の練習で、容器の壁は熱を通さないがピストンは熱を通すものとする。部屋Aにつけられた加熱装置をはたらかせて熱量 Q を与えると、部屋Aの気体の内部エネルギーは $\Delta U'$ だけ変化した。このとき、部屋Bの気体の内部エネルギーはいくら変化したか。

○熱力学第1法則の使い方

気体がどのように状態変化するときにも熱力学第1法則が成り立つが、状態変化の仕方によって使い方の注意点がある。

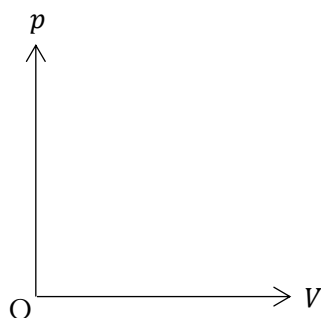
- ・定積変化（体積が一定：ピストンが固定されている場合など）

$$Q = \Delta U + W$$



与えられた熱 Q が _____ 内部エネルギーの変化 ΔU になる。

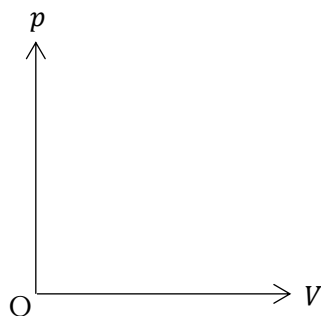
※ $p - V$ グラフは次のようになる。



- ・定圧変化（圧力が一定：ピストンが自由に動ける場合など）

$$Q = \Delta U + W$$

※ $p - V$ グラフは次のようになる。



※ モル比熱について

モル比熱 (_____) = 気体 1 mol の温度を 1 K 上昇させるのに必要な熱量

- ・ 定積モル比熱 (定積変化におけるモル比熱) C_V

n (mol) の気体の体積を一定に保ったまま温度を ΔT (K) 上昇させるのに
熱量 Q (J) が必要なとき、

$$C_V = \underline{\hspace{2cm}}$$

と表される。



定積変化では熱力学第 1 法則は _____ と表せるので、

気体の内部エネルギーの変化 ΔU は

$$\Delta U = \underline{\hspace{2cm}}$$

と求められる。

定積変化でなくてもいつでも使える式



気体の内部エネルギー U は

$$U = \underline{\hspace{2cm}}$$

と表されることが分かる。

定積変化でなくてもいつでも使える式

- ・定圧モル比熱（定圧変化におけるモル比熱） C_p

n (mol) の気体の圧力を一定に保ったまま温度を ΔT (K) 上昇させるのに
熱量 Q (J) が必要なとき、

$$C_p = \underline{\hspace{2cm}}$$

と表される。



・定圧変化では熱力学第1法則は $\Delta U = Q - p\Delta V$ と表せる。

・定圧変化でも、 $\Delta U = nC_v\Delta T$ と表せる。



定積変化でなくてもいつでも使える式

定圧モル比熱 C_p は、定積モル比熱 C_v を使って

$$C_p = C_v + R \quad (\text{マイヤーの式})$$

と表せる。

気体の内部エネルギー U は

・単原子分子理想気体： $U = \frac{3}{2}nRT$

・二原子分子理想気体： $U = \frac{5}{2}nRT$

と求められたので、 $U = nC_vT$ と比較して

・単原子分子理想気体： $C_v = \frac{3}{2}R$ $C_p = \frac{5}{2}R$

・二原子分子理想気体： $C_v = \frac{5}{2}R$ $C_p = \frac{7}{2}R$

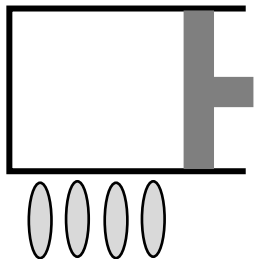
であることが分かる。

(練習) ピストンのついたシリンダーに空気 0.80 mol を入れた。ピストンを固定して、空気の温度を 10 K だけ上げるのに 170 J の熱量を要した。

- (1) 空気の定積モル比熱はいくらか。
- (2) 空気の温度を 50 K だけ上げると、空気の内部エネルギーはどれだけ増加するか。

(練習) 図のようななめらかに動くピストンのついたシリンダーに、物質質量 n 、圧力 p の気体のヘリウムが入っている。これに熱を加えたところ、温度が ΔT だけ上昇した。このとき、気体定数を R として、次の量を求めよ。ただし、ヘリウムは単原子分子理想気体とみなすことができ、シリンダー内の気体は定圧変化したものとする。

- (1) 気体の体積の変化
- (2) 気体がピストンにした仕事
- (3) 気体に加えた熱量



(練習) なめらかに動くピストンのついた断面積 0.20 m^2 のシリンダーに、圧力 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の理想気体が入っている。これに $2.0 \times 10^4 \text{ J}$ の熱を加えたところ、容器内の気体は定圧変化をし、ピストンが外向きに 0.40 m 移動した。

- (1) 気体が外部にした仕事はいくらか。
- (2) 気体の内部エネルギーの増加はいくらか。

(練習) なめらかに動くピストンのついたシリンダーに、空気 0.80 mol が入っている。これに熱を加えたところ、シリンダー内の空気は定圧変化をし、温度が 50 K だけ上昇した。空気に加えた熱量はいくらか。ただし、空気は理想気体とみなせるものとし、空気の定積モル比熱を $21 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ 、気体定数を $8.31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ とする。

- ・等温変化（温度が一定：熱を通しやすい容器に入っている場合など）

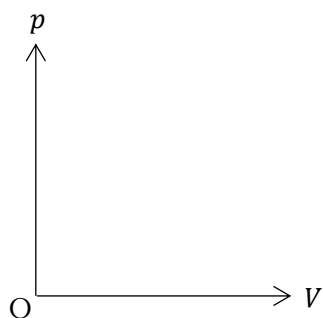
$$Q = \Delta U + W$$

U は T に _____ するから



与えられた熱 Q が _____ 外部への仕事 W になる。

※ $p - V$ グラフは次のようになる。



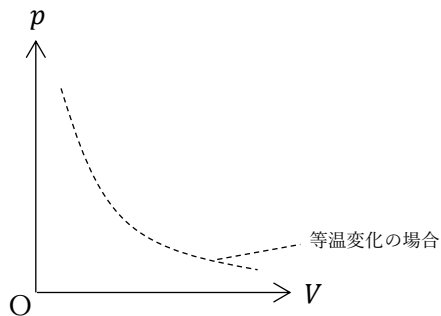
- ・断熱変化（熱の出入りが無い：断熱材のできた容器に入っている場合など）

$$Q = \Delta U + W$$



- ・断熱膨張：外部へする仕事 W _____ 0 なので、
気体の内部エネルギー U は _____ する。
- ・断熱圧縮：外部へする仕事 W _____ 0 なので、
気体の内部エネルギー U は _____ する。

※ $p - V$ グラフは次のようになる。



(練習) ピストンのついたシリンダーに気体を入れ、温度を一定に保ちながら膨張させた。このとき、気体に加えた熱量は 48 J であった。気体が外部にした仕事はいくらか。

(練習) ピストンのついたシリンダーに閉じ込められた気体がある。この気体の温度が 10 K だけ変化するとき、その内部エネルギーは 48 J だけ変化するものとする。ピストンを急速に動かして、この気体を断熱的に圧縮したところ、温度が 50 K だけ上昇した。

- (1) 気体の内部エネルギーの変化はいくらか。
- (2) 気体が外部からされた仕事はいくらか。

○熱効率

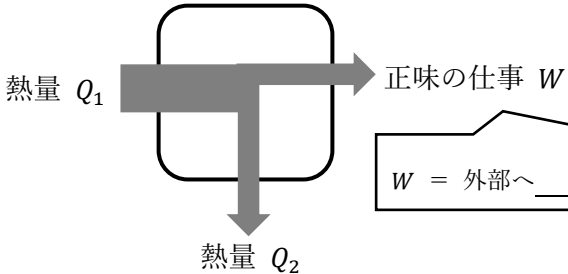
熱機関 = 熱を使って _____ をする装置

↑

(例) エンジン・タービン・蒸気機関

熱サイクル (気体が状態変化しながら最初の状態に戻る) の繰り返し

次のような熱サイクルにおいて、



正味の仕事 W

$W = \text{外部へ} \text{ ______ } \text{仕事} - \text{外部から} \text{ ______ } \text{仕事}$

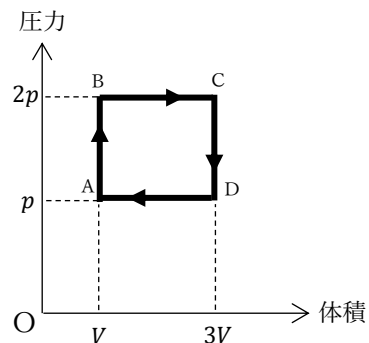
熱効率 = _____ = _____

$W = \text{ ______ }$

(練習) 毎秒 2.0×10^5 J の熱エネルギーを消費して、毎秒 6.0×10^4 J の仕事をするエンジンがある。このエンジンの熱効率はいくらか。また、放出する熱エネルギーは毎秒何 J か。

(練習) 物質質量 n の単原子分子理想気体をピストンのついたシリンダーに閉じ込めた熱機関において、図のように圧力と体積を変化させた。初めの状態 A の絶対温度を T 、気体定数を R として、次の量を求めよ。

- (1) 状態 B、C、D の絶対温度
- (2) 過程 $A \rightarrow B \rightarrow C$ で気体に加えられた熱量
- (3) 過程 $C \rightarrow D \rightarrow A$ で気体が放出した熱量
- (4) 1 サイクルの間に気体が外部にした正味の仕事
- (5) この熱機関の熱効率



○エネルギーの変換

エネルギーは、形（種類）を変えることができる。

(例)

・熱エネルギー ⇒ 電気エネルギー： _____

・電気エネルギー ⇒ 運動エネルギー： _____

・電気エネルギー ⇒ 化学エネルギー： _____

・光エネルギー ⇒ 電気エネルギー： _____

・光エネルギー ⇒ 化学エネルギー： _____

・化学エネルギー ⇒ 光エネルギー： _____

・核エネルギー ⇒ 熱エネルギー： _____

・核エネルギー ⇒ 光エネルギー： _____

エネルギーの形が変換されても、総量は変わらない（エネルギー保存の法則）

→ 永久機関（教科書 p231）を作るのは _____ であることが分かる。

○不可逆変化

不可逆変化 = 変化が一方向にのみ進み、自然に逆向きに進むことがないもの

(例)

- ・ 水に絵の具を混ぜたとき：拡散が進む（自然にもとへ戻ることはない）
- ・ 温度差のある 2 物体を接触させると：熱は一方向（高温⇒低温）に伝わる

熱機関では、高温部から与えられる熱の一部は低温部へ排出される。
低温部へ排出された熱エネルギーを利用するのは難しい。



エネルギー保存の法則が成り立つのにエネルギーの枯渇が心配されるのは、
_____形のエネルギーが減少しているから。