

영재를 위한 세페이드

welcome back to physics

24강 열역학법칙



24강. 열역학 법칙

1. 정상 흐름과 이상 유체 2. 연속 방정식 3. 베르누이 법칙 4. 베르누이 법칙의 적용

1. 열역학 제 0법칙

(1) 열역학 제 0법칙 : 접촉하고 있는 두 물체의 온도를 각각 측정했을 때, 두 물체의 온도가 같다면 두 물체는 열평형 상태에 있다. ⇒ 물체 A와 C가 열평형을 이루고 물체 B와 C가 열평형을 이룬다면, 물체 A와 B는 열평형을 이룬다. 이를 열역학 제 0법칙이라 한다.

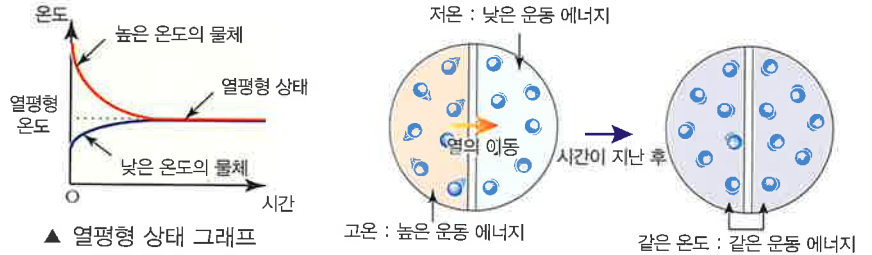


A와 C가 열평형을 이루고, B와 C가 열평형을 이루면 서로 접촉하고 있지 않은 A와 B는 열평형을 이룬다.

A와 B가 온도가 같다면 서로 접촉하고 있지 않은 A와 B는 열평형을 이룬다.

▲ 열역학 제 0법칙

- ① 열에너지 : 물체 내부의 분자 운동에 의해 나타나는 에너지이다.
 - 온도 : 물체의 차갑고 뜨거운 정도를 수치로 나타낸 것이다.
 - 열 : 온도가 다른 두 물체가 접촉해 있을 때 온도가 높은 물체에서 낮은 물체로 스스로 이동하는 에너지이다.
- ② 열평형 상태 : 접촉해 있는 두 물체의 온도가 같아져 더 이상 열의 이동이 없는 상태이다.
 - ⇒ 열평형 상태에서 두 물체의 분자들의 평균 운동 에너지는 같다.



▲ 열평형 상태 그래프

같은 온도 : 같은 운동 에너지

(2) 열량과 비열

비열(c)	물질 1 kg의 온도를 1K(°C) 올리는 데 필요한 열량 [단위 : J/kg·K, kcal/kg·K]
열용량(C)	어떤 물체(질량:m)의 온도를 1K(°C) 올리는 데 필요한 열량 [단위 : J/K, kcal/K] $C = mc$ (m : 질량, c : 비열)
열량(Q)	열의 이동에 의해 물체가 얻거나 잃은 열의 양 [단위 : J(줄), cal(칼로리)] $Q = C\Delta T = mc\Delta T$ (m : 질량, c : 비열, ΔT : 온도 변화량)

개념확인 1

두 물체가 접촉해 있을 때 두 물체의 온도가 같아져 더 이상 열의 이동이 없는 상태를 무슨 상태라 하는가?

() 상태

확인+1

질량이 0.05 kg인 구리의 열용량을 구하시오. (단, 구리의 비열은 0.09 kcal/kg·K이다.)

()

온도의 종류

· 섭씨 온도 : 1기압에서 순수한 물의 어는점을 0°C, 끓는점을 100°C로 하여 그 사이를 100 등분한 온도이다.
[단위 : °C]

· 화씨 온도 : 1기압에서 순수한 물의 어는점을 32°F, 끓는점을 212°F로 하여 그 사이를 180 등분한 온도이다.
[단위 : °F]

$$T_f(°F) = \frac{9}{5}T_c(°C) + 32$$

T_f : 화씨 온도
 T_c : 섭씨 온도

· 절대 온도 : 물질의 분자 운동이 0이 되었을 때(-273°C)를 가장 낮은 온도 0K으로 정하고 그 사이를 섭씨 온도와 같게 등분한 온도이다.
[단위 : (켈빈)K]

$$T(K) = T_c(°C) + 273$$

T : 절대 온도
 T_c : 섭씨 온도

여러 물질의 비열

물질 (15°C)	비열 (kcal/kg·K)
알루미늄	0.210
철	0.104
구리	0.091
은	0.056
납	0.030
물(15°C)	1.000
수소	3.390
얼음	0.939
유리	0.190

열의 일당량

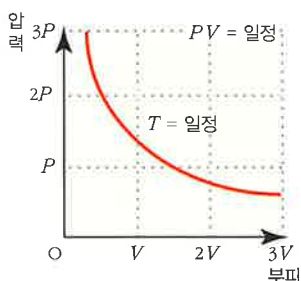
$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4186 \text{ J}$$

2. 이상 기체

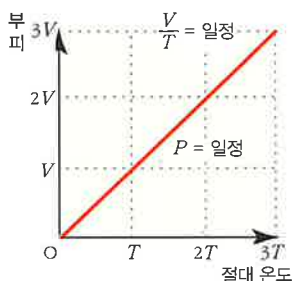
(1) 이상 기체 : 분자의 크기가 무시할 수 있을 만큼 작고, 분자들 사이에 인력이 작용하지 않는 이상적인 기체로 기체의 온도, 압력, 부피 사이에는 일정한 법칙이 적용된다.

(2) 보일-샤를 법칙

- ① 보일 법칙 : 온도가 일정할 때, 기체의 부피는 압력에 반비례 한다.
- ② 샤를 법칙 : 압력이 일정할 때, 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다.
- ③ 보일-샤를 법칙 : 용기 내부의 기체의 양이 일정하다면, 기체의 종류에 관계없이 기체의 부피는 압력에 반비례하고, 절대 온도에 비례한다.



▲ 보일 법칙



▲ 샤를 법칙



$$\frac{PV}{T} = \text{일정}$$

(3) 아보가드로 법칙 : 기체의 종류에 관계없이 모든 기체는 같은 온도, 같은 압력에서 같은 부피를 차지하며, 같은 수의 분자를 갖는다.

· 아보가드로 수 : 질량수가 A인 분자 A g(1몰) 속에 포함된 분자 수이다.

$$(\text{아보가드로 수}) N_A = 1\text{몰의 개수} = 6.02 \times 10^{23} \text{ 개}$$

(4) 기체 상수 : 보일-샤를 법칙에서 $\frac{PV}{T}$ 는 1몰의 기체에서 기체의 종류나 상태에 관계없이 항상 일정한 값(기체 상수)을 갖는다.

$$R(\text{기체상수}) = \frac{PV}{T} = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

(5) 이상 기체의 상태 방정식 : 보일-샤를 법칙에 따라 이상 기체의 mol 수를 n이라고 할 때, 다음과 같은 상태 방정식이 성립한다.

$$\frac{PV}{T} = nR \Rightarrow PV = nRT$$

개념확인2

용기 내부의 기체의 양이 일정할 때, 기체의 종류에 관계없이 기체의 부피는 압력에 반비례하고, 절대 온도에 비례한다. 이를 설명하는 법칙은 무엇인가?

()

확인+2

물질 1 mol 에 들어 있는 원자나 분자의 수는 몇 개인가?

()

이상 기체가 하는 일

피스톤의 단면적을 A, 기체의 압력을 P라고 할 때 기체가 피스톤에 작용하는 힘은

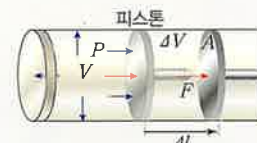
$$F = PA$$

기체에 의한 힘 F를 받아 피스톤이 Δl 만큼 밀려 나갈 때 기체가 피스톤에 대하여 하는 일 W는

$$W = F \cdot \Delta l = P \cdot A \Delta l = P \Delta V$$

(ΔV : 부피 변화량)

- ΔV = 0 일 때 : 기체가 외부에 대하여 한 일 W = 0 이다.
- ΔV > 0 (팽창) 일 때 : 기체는 외부에 일을 한다. (기체의 내부 에너지는 감소한다.)
- ΔV < 0 (압축) 일 때 : 기체는 외부로부터 일을 받는다. (기체의 내부 에너지는 증가한다.)



▲ 기체가 팽창할 때

mole(몰)

아보가드로수(N_A) 만큼의 물질의 양으로 n몰의 분자수 N 은 $N = nN_A$ 로 쓸 수 있다.

볼츠만 상수를 이용한 이상 기체의 상태 방정식

분자수 N 일 때, 기체 상수 R 을 아보가드로수 N_A 로 나눈 값을 볼츠만 상수 k_B 라고 하면,

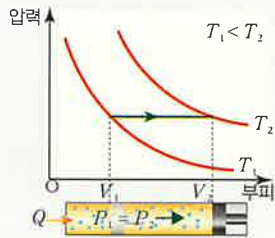
$$\begin{aligned} PV = nRT &= \frac{N}{N_A} RT \\ &= N k_B T \\ k_B &= \frac{n}{N} R = \frac{R}{N_A} \\ &= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \end{aligned}$$

이상 기체 상태 방정식의 정리

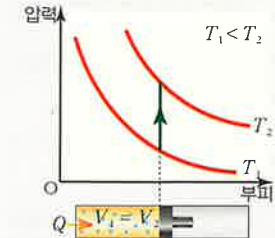
기체의 몰수를 n, 분자량을 M, 기체의 질량을 m, 분자수를 N이라 할 때, 상태 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} PV = nRT &= \frac{m}{M} RT \\ &= \frac{N}{N_A} RT \end{aligned}$$

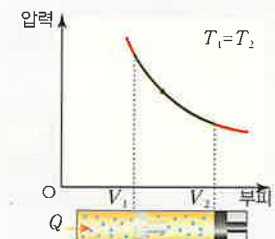
이상 기체의 변화 과정



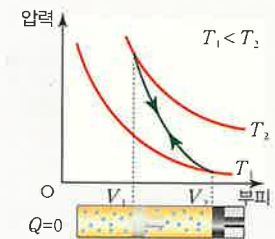
▲ 등압 과정(정압 과정)



▲ 등적 과정(정적 과정)



▲ 등온 과정



▲ 단열 과정

내부 에너지(운동 에너지)

이상 기체인 경우 분자의 위치 에너지는 존재하지 않으며, 운동 에너지는 내부 에너지와 같다.

· 단위자 기체일 때 분자 1개의 내부 에너지

$$E_k = \frac{3}{2} k_B T$$

E_k : 내부 에너지
 k_B : 볼츠만 상수
 T : 절대 온도

· 단위자 분자 n 몰(분자 수 N 개)의 내부 에너지

$$U = \frac{3}{2} k_B T \cdot N$$

$$= \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T \cdot n N_A$$

$$= \frac{3}{2} n R T$$

U : 내부 에너지
 n : 기체의 mol 수
 R : 기체 상수
 T : 절대 온도

3. 열역학 제1법칙

(1) 열역학 제1법칙: 외부에서 기체에 가해진 열량(Q)은 기체의 내부 에너지 증가량(ΔU)과 기체가 외부에 한 일의 양(W)의 합과 같다.

$$Q(\text{열량}) = \Delta U(\text{내부 에너지 증가량}) + W(\text{외부에 한 일의 양})$$

(2) 열역학 제1법칙과 이상 기체의 변화 과정(열역학 과정)

① 등압 과정(정압 과정): 압력을 일정하게 유지시키고 열을 가한다.

$$Q = \Delta U + W = \Delta U + P\Delta V$$

② 등적 과정(정적 과정): 부피를 일정하게 유지시키고 열을 가한다.

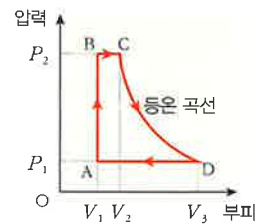
$$Q = \Delta U + W = \Delta U \quad (W = 0)$$

③ 등온 과정: 온도를 일정하게 유지시키며 열을 가한다.

$$Q = \Delta U + W = W \quad (\Delta U = 0)$$

④ 순환 과정: 기체가 여러 변화 과정을 거쳐 처음 상태로 되돌아오는 과정이다.

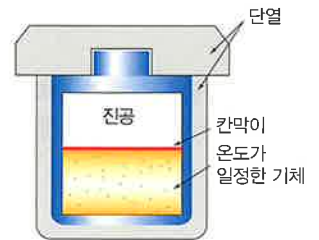
경로	과정	일정한 물리량	Q	ΔU	W
A → B	등적	V	+	+	0
B → C	등압	P	+	+	+
C → D	등온	T	+	0	+
D → A	등압	P	-	-	-



⑤ 단열 과정: 외부에서의 열 출입 없이 기체의 변화를 일으키는 과정이다.

$$\Delta U = -W = -P\Delta V \quad (Q = 0)$$

⑥ 자유 팽창: 한쪽은 기체로 가득 차 있고 다른 한쪽은 진공 상태인 공간을 가정하자. 단열된 상태로 외부와 주고 받는 열량이 없을 때, 중간 칸막이를 제거하면 기체는 빠르게 팽창하여 용기 전체를 채우게 된다. 이때 용기의 부피가 변하지 않으므로 외부에 한 일은 없다.



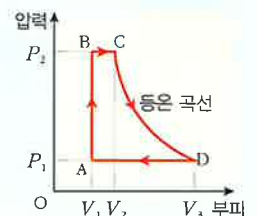
$$Q = 0, W = 0, \Delta U = 0$$

개념확인 3

외부에서 기체에 열(Q)을 가하면, 기체의 내부 온도가 올라가 부피가 팽창하게 된다. 그 결과 기체의 내부 온도와 비례하여 기체의 내부 에너지가 증가하고($\Delta U > 0$), 부피가 팽창하면서 외부에 일(W)을 하게 된다. 이때 $Q = \Delta U + W$ 관계를 무엇이라고 하는가?

확인+3

등압 과정, 등적 과정, 등온 과정, 단열 팽창, 자유 팽창 중 A → B 과정에 해당하는 것은 무엇인가?



4. 열역학 제2법칙

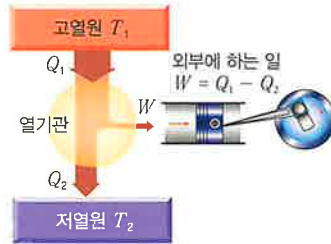
- (1) **열역학 제2법칙** : 자연 현상의 진행 방향에 관한 법칙으로 열 또는 에너지의 이동에 방향성이 있다는 것을 나타낸다.
 ⇒ 열은 항상 고온의 물체에서 저온의 물체로 흐르지만 그 반대 방향으로 흐를 수 없다.
- (2) **열기관** : 고열원의 열 (Q_1)을 사용하여 일(W)을 해주는 기관이다. 열기관의 한 순환 과정에서 공급한 열 (Q_1)에 대하여 외부에 한 일(W)의 비를 열효율(e)이라고 한다.

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

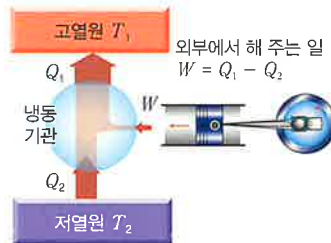
- (3) **냉동 기관** : 외부에서 일을 해 줌으로써 저열원의 열을 고열원으로 보내는 장치이다. 온도가 T_2 인 저열원에서 Q_2 의 열에너지를 흡수하여 온도가 T_1 인 고열원으로 Q_1 의 열에너지를 방출한다. 이때 저열원에서 고열원으로 스스로 열의 이동이 일어나지 않으므로 외부에서 일(W)을 해 주어야 한다. 냉동 기관의 성능은 성능 계수 K 로 정의하고, 성능 계수의 값이 클수록 효율이 좋다.

$$K = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

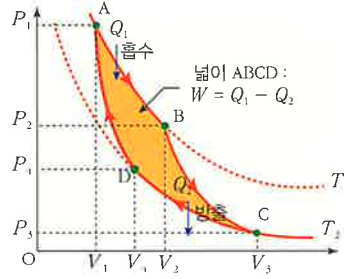
- (4) **카르노 열기관** : 프랑스 과학자 카르노는 최대의 열효율을 내는 이상적인 열기관을 이론적으로 고안하였다. 이때 열기관의 작동 물질로 이상 기체를 사용하여 4단계의 순환 과정을 거치도록 하였다.
 - ① **A → B(등온 팽창)** : 흡수한 열에너지는 외부에 한 일과 같고, 그 양은 ABV_2V_1 의 넓이와 같다.
 - ② **B → C(단열 팽창)** : 감소한 내부 에너지는 외부에 한 일과 같고, 그 양은 BCV_3V_2 의 넓이와 같다.
 - ③ **C → D(등온 압축)** : 방출한 열에너지는 외부에서 받은 일과 같고, 그 양은 CDV_1V_3 의 넓이와 같다.
 - ④ **D → A(단열 압축)** : 증가한 내부 에너지는 외부에서 받은 일과 같고, 그 양은 DAV_1V_1 의 넓이와 같다.



▲ 열기관의 원리



▲ 냉동 기관의 원리



▲ 카르노 순환 과정

엔트로피(S)

자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 진행된다. 이때 무질서도의 정도를 엔트로피라고 한다. 잉크가 물속에서 퍼지는 경우 가장 골고루 퍼져 있을 때가 엔트로피(무질서도)가 가장 크다. 엔트로피 변화량은 다음 식으로 표현된다.

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

ΔS : 엔트로피 변화량
 ΔQ : 흡수하는 열량
 T : 절대 온도

카르노 열기관의 열효율

최대 효율을 갖는 이상적인 열기관이다. 따라서 카르노 기관보다 효율이 높은 기관을 만들 수 없으며, 실제 열기관의 경우 열효율은 40% 이하이다.

$$(\text{최대 효율}) e = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

실제 열기관의 열효율

실제 열기관의 경우 마찰 등에 의한 손실 때문에 열효율은 카르노 기관의 열효율 값보다 작아진다.

$$(\text{열효율}) e \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

열기관의 설계를 개선하면 열효율을 높일 수 있지만, 고열원의 열이 저열원으로 스스로 흐르는 것을 막을 수 없기 때문에 100%의 열효율을 갖는 열기관을 설계하는 것은 불가능하다.

여러 열기관의 열효율

열기관	열효율
증기 기관	10%
가솔린 기관	20 ~ 30%
증기 터빈	30 ~ 40%
디젤 기관	30 ~ 40%

개념확인 4

열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하지만, 반대로는 스스로 이동하지 않는다. 이는 열 또는 에너지 이동에 방향성이 있음을 나타내는데 이 법칙을 무엇이라고 하는가?

()

확인+4

열효율이 0.2인 120W의 열기관이 있다. 이 열기관은 1분에 120회 작동한다고 한다. 이 기관이 고온의 열원에서 1회 흡수한 열량은 얼마인가?

()

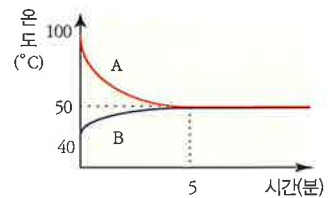


개념 다지기

01 113.5 °C의 쉿덩어리에 열을 가했더니 절대 온도가 2 배만큼 높아졌다. 열을 가한 후의 섭씨 온도와 화씨 온도를 바르게 짝지은 것은?

	섭씨 온도(°C)	화씨 온도(°F)		섭씨 온도(°C)	화씨 온도(°F)
①	300	932	②	500	952
③	300	952	④	500	972
⑤	500	932			

02 그림은 100 °C의 액체 A가 든 비커를 40 °C의 액체 B가 든 수조에 넣은 후 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부로 손실되는 열은 없다.)

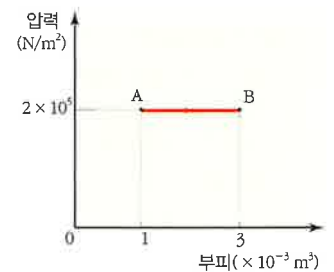


< 보기 >

ㄱ. 열평형 온도는 50 °C이다.
 ㄴ. A가 잃은 열량은 B가 얻은 열량보다 많다.
 ㄷ. 5분 이후 액체 A와 B 사이에서 열의 이동은 없다.

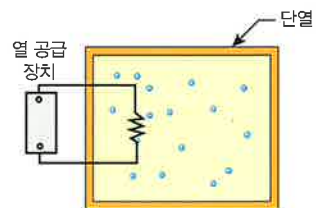
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림은 일정량의 이상 기체의 압력과 부피가 A 상태에서 B 상태로 변하는 것을 나타낸 것이다. A → B 과정에서 기체가 한 일은 몇 J 인가?



- ① 100 J ② 200 J ③ 300 J ④ 400 J ⑤ 500 J

04 그림은 일정량의 이상 기체가 들어 있는 부피가 변하지 않는 용기 안에 열 공급 장치를 연결하여 열을 공급한 모습을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

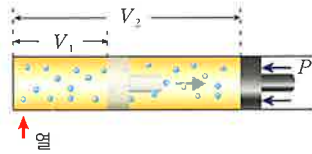


< 보기 >

ㄱ. 기체의 압력은 증가한다.
 ㄴ. 기체는 외부에 일을 한다.
 ㄷ. 기체의 내부 에너지는 변하지 않는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 실린더 안의 이상 기체에 서서히 열을 가했더니, 기체 내부 압력이 외부의 압력과 평형을 유지하면서 기체의 부피가 V_1 에서 V_2 까지 팽창하는 모습을 나타낸 것이다. 이때 외부의 압력은 P 로 일정하다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

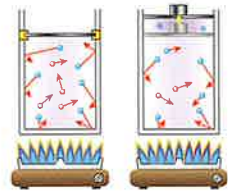


< 보기 >

ㄱ. 실린더 안 기체의 압력은 P 로 일정하다.
 ㄴ. 기체가 외부에 한 일은 $P(V_2 - V_1)$ 이다.
 ㄷ. 기체의 온도는 일정하다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림 (가), (나)는 단열 용기에 들어 있는 같은 양의 이상 기체를 가열하는 모습이다. (가)는 부피를, (나)는 압력을 일정하게 유지하면서 각각 가열하였다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부로 손실되는 열은 없고, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)



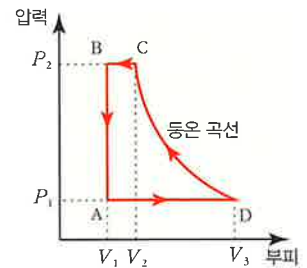
(가) (나)

< 보기 >

ㄱ. (가)에서 기체가 한 일은 0이다.
 ㄴ. (가)에서 기체의 압력은 증가한다.
 ㄷ. (나)에서 기체의 온도는 상승한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 오른쪽 그림은 압력-부피 그래프를 나타낸 것이다. B → A 과정에서 W , ΔU , Q 의 부호를 바르게 짝지은 것은?



	W	ΔU	Q		W	ΔU	Q
①	0	+	+	②	0	-	-
③	+	+	+	④	+	-	-
⑤	-	+	+				

08 어떤 이상적인 열기관에서 고열원의 온도가 500 K 이고 저열원의 온도가 400 K 이면, 이 열기관의 최대 열효율은 몇 % 인가?

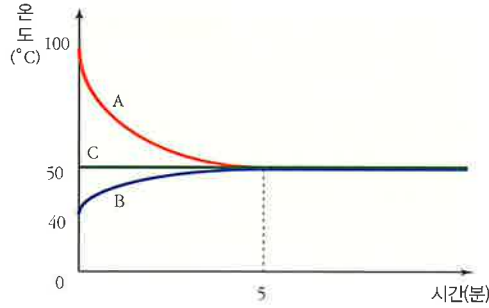
- ① 10 % ② 20 % ③ 30 % ④ 40 % ⑤ 50 %



유형 익히기 & 하브루타

[유형24-1] 열역학 제0법칙

그림은 온도가 다른 물 A, B, C를 단열 용기에 넣고 서로 접촉시켰을 때 각각의 온도를 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부와의 열 출입은 없다.)

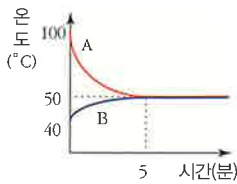


< 보기 >

- ㄱ. 질량은 B가 A의 5배이다.
- ㄴ. A가 잃은 열량은 B가 얻은 열량과 같다.
- ㄷ. 5분이 지난 후의 A, B, C는 열평형 상태이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 그림 (가)는 100 °C의 액체 A가 든 비커를 40 °C의 액체 B가 든 수조에 넣었을 때 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이고, 표 (나)는 두 액체 A와 B의 질량과 비열을 나타낸 것이다.



(가)

액체	A	B
질량(kg)	1.5	5
비열(kcal/kg·°C)	1	(가)

(나)

표에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부로 손실되는 열은 없다.)

< 보기 >

- ㄱ. (가)에 들어갈 값은 0.3이다.
- ㄴ. 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열량은 A가 B보다 작다.
- ㄷ. 같은 질량의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열량은 A와 B가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 표는 몇 가지 물질의 비열을 나타낸 것이다.

물질	비열(kcal/kg·°C)
알루미늄	0.22
철	0.11
구리	0.09
납	0.03

표에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

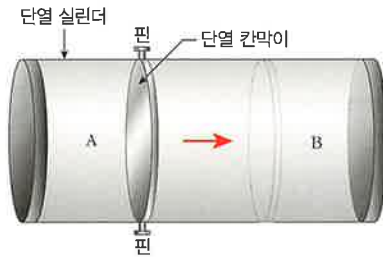
< 보기 >

- ㄱ. 구리 1 kg을 0 °C에서 1 °C로 높이는 데 필요한 열량은 9 kcal이다.
- ㄴ. 철 2 kg과 알루미늄 1 kg을 각각 100 °C 높이는 데 필요한 열량은 같다.
- ㄷ. 질량과 온도가 같은 알루미늄과 납에 같은 열량을 주면 알루미늄의 온도가 더 높아진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[유형24-2] 이상 기체

그림은 핀으로 고정된 단열 칸막이에 의해 A와 B 두 부분으로 나누어진 단열 실린더에 각각 일정량의 이상 기체가 들어 있는 모습을 나타낸 것이다. 핀을 제거하였더니 칸막이는 오른쪽으로 이동하였다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

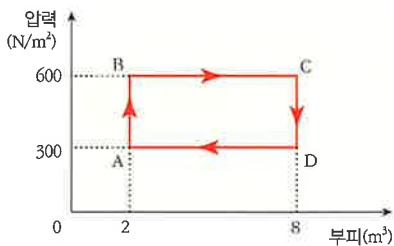


< 보기 >

- ㄱ. A 부분의 기체의 압력은 낮아진다.
- ㄴ. A 부분의 기체의 온도는 올라간다.
- ㄷ. B 부분의 기체의 내부 에너지는 증가한다.

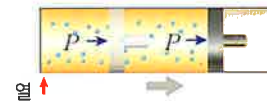
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 화살표 방향을 따라 변화하는 것을 나타낸 그래프이다. 이 기체가 A→B→C→D→A로 1회 순환하는 동안 외부에 한 일의 양은 몇 J 인가?



- ① 1.0×10^3 J ② 1.2×10^3 J ③ 1.4×10^3 J
 ④ 1.6×10^3 J ⑤ 1.8×10^3 J

04 그림은 실린더에 들어 있는 이상 기체에 열을 가 했더니 기체의 압력이 P로 일정하게 유지되면서 부피가 증가하는 모습을 나타낸 것이다.



부피가 증가하는 동안에 이상 기체에서 일어나는 현상에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

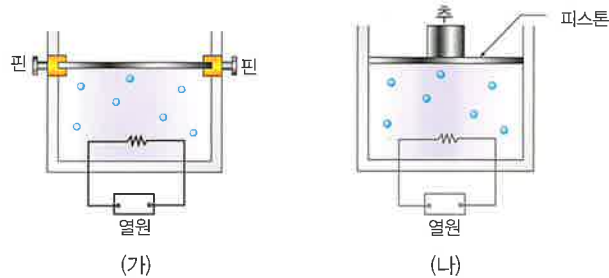
- ㄱ. 기체의 온도는 상승한다.
- ㄴ. 기체 분자의 평균 속력은 감소한다.
- ㄷ. 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
 ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

유형 익히기 & 하브루타

[유형24-3] 열역학 제1법칙

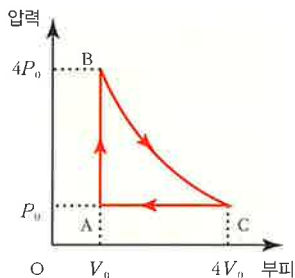
그림 (가)와 (나)는 대기압이 작용하는 지표면에서 외부와 단열된 실린더 내부의 기체를 같은 열원으로 가열하는 모습을 나타낸 것이다. 이때 그림 (가)는 피스톤을 핀으로 실린더에 고정시킨 모습이고, (나)는 피스톤 위에 추를 올린 후 피스톤이 자연스럽게 움직일 수 있게 한 모습이며, 가열하기 전 두 실린더에 각각 들어 있는 기체의 부피는 같다. 실린더 내부 기체의 상태 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 처음 온도와 압력은 각각 같으며, 피스톤의 무게는 무시한다.)



- < 보기 >
- ㄱ. 온도는 (나)보다 (가)가 높아진다.
 - ㄴ. 압력은 (나)보다 (가)가 커진다.
 - ㄷ. (나)에서 기체의 압력은 피스톤의 단위 면적당 추의 무게와 대기압을 합한 값과 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 밀폐된 그릇에 담긴 이상 기체의 압력과 부피 변화에 대해 나타낸 것이다.

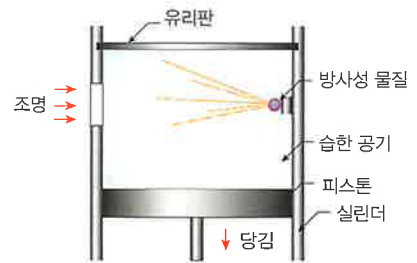


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. A → B 과정은 등온 과정이고, 기체의 내부에너지는 일정하다.
 - ㄴ. B → C 과정은 등온 팽창 과정이고, 기체는 외부로 열을 방출한다.
 - ㄷ. C → A 과정은 등압 압축 과정이고, 외부로부터 기체는 $3P_0V_0$ 만큼의 일을 받는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림은 단열 팽창 현상을 이용하여 방사선의 흔적을 관찰하는 윌슨의 안개상자를 나타낸 것이다.



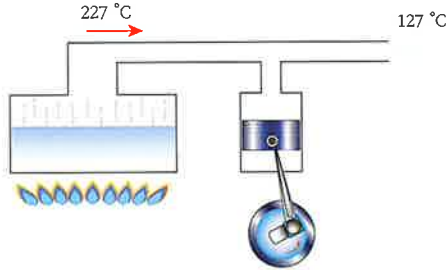
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. 피스톤을 아래로 당기면 습한 공기의 압력은 낮아진다.
 - ㄴ. 팽창된 습한 공기는 온도가 높아진다.
 - ㄷ. 상자 내에는 수증기가 응결된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[유형24-4] 열역학 제2법칙

그림은 어떤 열기관을 나타낸 것이다. 이 열기관에 들어가는 수증기의 온도는 227°C , 나오는 수증기의 온도는 127°C 이다. 이때 열기관에 공급한 열이 $4 \times 10^3 \text{ J}$ 일 때 물음에 답하시오.



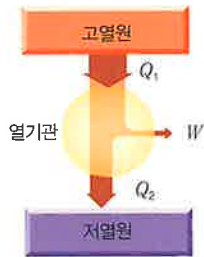
(1) 열기관의 최대 효율은 얼마인가?

- ① 10 % ② 15 % ③ 20 % ④ 25 % ⑤ 30 %

(2) 열기관이 최대로 할 수 있는 일은 얼마인가?

- ① 200 J ② 400 J ③ 600 J ④ 800 J ⑤ 1000 J

07 그림은 고열원에서 Q_1 의 열을 흡수하여 W 의 일을 외부에 하고 저열원으로 Q_2 의 열을 방출하는 열기관을 나타낸 것이다.



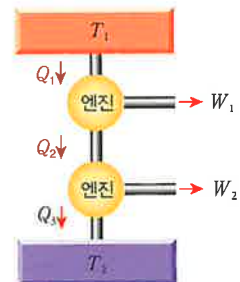
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. $\frac{Q_2}{Q_1}$ 가 커질수록 열효율은 높아진다.
- ㄴ. $Q_2 = W$ 이면 열 효율은 50%이다.
- ㄷ. $Q_1 = W$ 이면 열역학 제2법칙에 위배된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림과 같이 카르노 엔진 하나가 다른 카르노 엔진에 연결되어 작동하고 있다. 고열원 온도는 $T_1 = 1000 \text{ K}$ 이고, 저열원 온도는 $T_2 = 900 \text{ K}$ 이다. 위 엔진에서 방출한 열을 아랫 엔진이 흡수할 때, 엔진의 전체 효율은 몇 % 인가? (단, 전체 열효율은 위 엔진이 흡수한 열량에 대한 전체 일의 비율이다.)



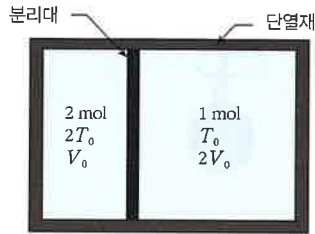
- ① 10 % ② 20 % ③ 30 %
 ④ 40 % ⑤ 50 %



창의력 & 토론마당

01

그림과 같이 실린더의 외벽은 단열재로 둘러싸여서 열의 출입이 없다. 실린더의 중간에 질량을 무시할 수 있는 분리대가 있고, 분리대는 열을 전달할 뿐 분리대 자체가 열을 흡수하지는 않는다. 처음에 왼쪽 칸에는 2 mol, 오른쪽 칸에는 1 mol의 이상 기체가 각각 들어 있다. 왼쪽 칸의 온도는 $2T_0$, 부피는 V_0 이고, 오른쪽 칸의 온도는 T_0 , 부피는 $2V_0$ 이다. 다음 물음에 답하시오.



	왼쪽	오른쪽
	2 mol	1 mol
초기 상태	$2T_0$	T_0
	V_0	$2V_0$

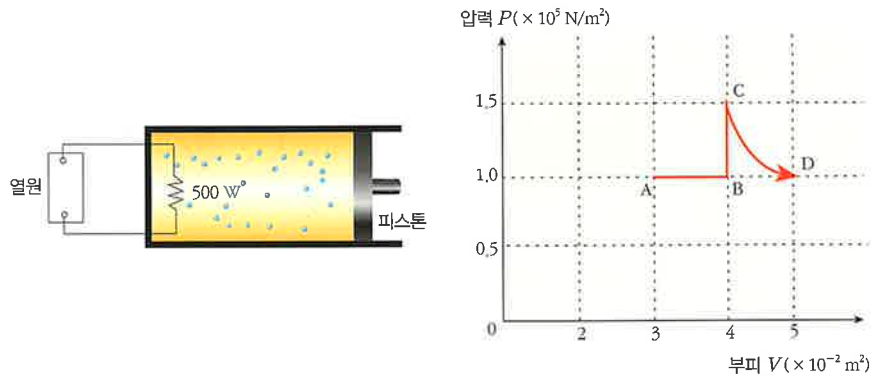
(1) 분리대는 움직이지 않게 고정되어 있고, 분리대를 통해서 열교환이 일어난다고 하자. 계가 평형 상태에 도달했을 때, 왼쪽 칸의 압력 P_1 과 오른쪽 칸의 압력 P_2 의 비 $P_1 : P_2$ 는 얼마인가?

(2) 분리대를 움직일 수 있고, 분리대를 통해서 열교환이 일어난다고 하자. 계가 평형 상태에 도달했을 때 평형 조건은 무엇인가?

(3) 위의 (2)번에서 왼쪽 칸의 부피 V_1 과 오른쪽 칸의 부피 V_2 의 비 $V_1 : V_2$ 는 얼마인가?

02

단원자 분자 이상 기체가 그림과 같이 피스톤 모양의 용기에 들어 있다. 피스톤과 용기는 단열재로 제작되었고 용기 속에는 500 W의 발열량을 낼 수 있는 열원이 부착되어 있다. 또 피스톤은 용기와 마찰이 없이 움직일 수 있다. 그래프는 이 기체의 상태를 A → B → C → D의 순으로 변화하는 모습을 보여주는 그래프이다. 상태 A에서의 온도는 300 K 이고 피스톤은 대기압과 평형을 이루고 있다.



상태 A에서 피스톤을 자유롭게 움직이게 한 상태에서 열원으로 기체를 5초 동안 가열하여 부피 $4 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 인 상태 B, 다시 상태 B에서 피스톤을 고정시켜 6초 동안 가열하여 상태 C가 되었다. 다시 피스톤을 자유로이 움직이게 하여 열은 가하지 않고 상태 C에서 기체의 압력이 대기압과 평형이 될 때까지 피스톤을 서서히 이동시킨다. 이때 압력이 대기압과 같아지는 순간이 부피가 $5 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 인 상태 D이다. 다음 물음에 답하시오. (단, 대기압은 $P_{\text{대기압}} = 1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 이고, 열원에 의한 가열은 용기 내의 기체에 균일하게 전달되며 용기, 피스톤, 열원에 의한 열 손실은 무시한다.)

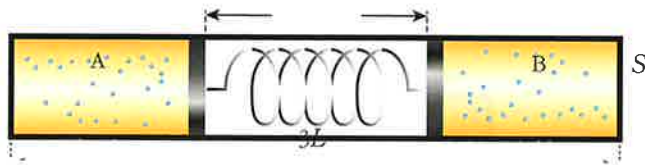
- (1) 상태 B, C, D의 기체의 온도는 각각 얼마인가?

- (2) 상태가 A → B → C 순으로 변할 때, 기체의 내부 에너지 증가량은 얼마인가?

- (3) 상태 C에서 D로 변화하는 동안 기체가 한 일은 얼마인가?



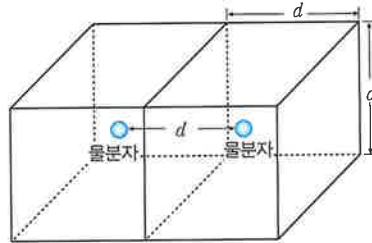
03 그림과 같이 단면적 S , 길이가 $3L$ 인 밀폐된 실린더 속에 마찰 없이 움직일 수 있는 두 개의 피스톤이 연결되어 있다. 용수철이 있는 방은 진공 상태이며, 피스톤의 두께는 무시한다. 각각의 방에 단원자 분자 이상 기체 1 mol 이 들어 있고, A, B 기체의 온도는 T_0 로 같으며, 용수철의 길이는 L 이다. 다음 물음에 답하시오. (단, 용수철이 늘어나지 않았을 때의 길이는 $2L$, 탄성 계수는 k , 기체 상수는 R 이다.)



(1) A, B 기체의 온도가 T_0 일 때 기체 A의 내부 에너지는 얼마인가?

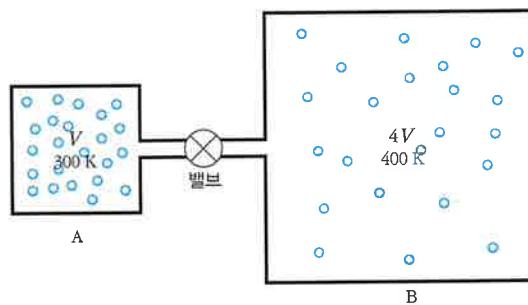
(2) 기체 A, B의 온도를 T_0 에서 $T_0 - t$ 로 내리면 용수철의 길이는 $\frac{3}{2}L$ 이 된다. 이때 t 는 얼마인가?

04 물 1 mol의 부피는 약 18 cm^3 이다. 즉, 물 분자가 아보가드로수(6×10^{23} 개)만큼 모여 있을 때 차지하는 부피가 18 cm^3 이다. 물을 가열하여 $100 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 기압의 수증기로 만들었을 때 수증기 분자 사이의 거리(d)는 약 몇 m 인가? (단, 1 기압 = $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, 기체 상수 $R = 8.3 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ 이다. 힌트 : 그림 참고)



▲ 수증기

05 그림처럼 용기 A에 압력 $5.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, 온도 300 K 의 이상 기체가 들어 있다. 용기 A는 가느다란 관과 닫힌 밸브로 용기 B와 연결되어 있고, 부피가 용기 A의 네 배인 용기 B에는 압력 $1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, 온도 400 K 의 이상 기체가 들어 있다. 밸브를 열어 압력이 같도록 만들되 각 용기의 온도는 처음 온도와 같게 유지한다. 두 용기의 압력은 얼마인가?

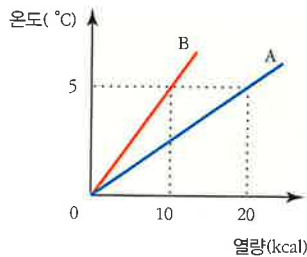




스스로 실력 높이기

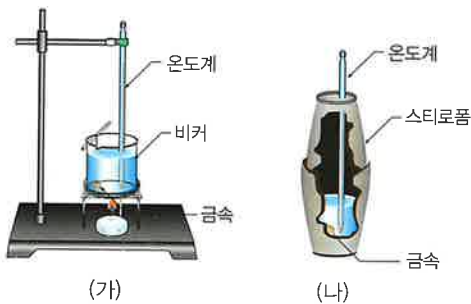
A

01 그림은 질량이 2kg, 비열이 c_A 인 물체 A와 질량이 1kg, 비열이 c_B 인 물체 B를 각각 가열할 때 열량과 온도 사이의 관계를 나타낸 것이다. 두 물질의 비열의 비 $c_A : c_B$ 는 얼마인가?



- ① 1 : 1 ② 1 : 2 ③ 2 : 1
- ④ 1 : 3 ⑤ 3 : 1

02 그림 (가)와 같이 금속을 끓는 물에 넣고 3~4분 정도 기다린 다음, 끓는 물에서 꺼내 그림 (나)와 같은 스티로폼 컵 안의 찬물에 재빨리 넣고 잘 저어주면서 찬물의 온도를 측정하였다. 실험 결과가 다음과 같을 때 이 금속의 비열은 얼마인가? (단, 물의 비열 $c_{\text{물}} = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 이다.)



- 금속의 질량 : 0.1 kg
- 찬물의 질량 : 0.2 kg
- 찬물의 처음 온도 : 20 °C
- 금속과 물의 열평형 온도 : 30 °C

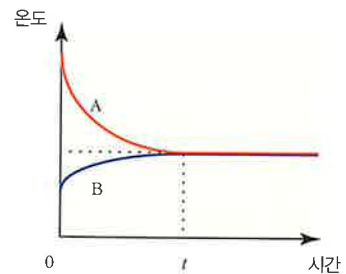
- ① 0.23 kcal/kg · °C ② 0.26 kcal/kg · °C
- ③ 0.29 kcal/kg · °C ④ 0.32 kcal/kg · °C
- ⑤ 0.35 kcal/kg · °C

03 표는 납, 구리, 철의 비열을 나타낸 것이다. 처음 온도가 같고, 납 0.1 kg, 구리 0.05 kg, 철 0.01 kg을 같은 조건에서 동시에 가열하여 시간이 지난 후 온도를 측정하였다. 시간이 지난 후의 온도를 바르게 비교한 것은?

금속	비열(kcal/kg · °C)
납	0.03
구리	0.09
철	0.11

- ① 철 > 구리 > 납 ② 철 > 납 > 구리
- ③ 납 > 철 > 구리 ④ 납 > 구리 > 철
- ⑤ 구리 > 납 > 철

04 그림은 온도가 다른 두 물체 A, B를 접촉시켜 놓았을 때 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 그래프이다.



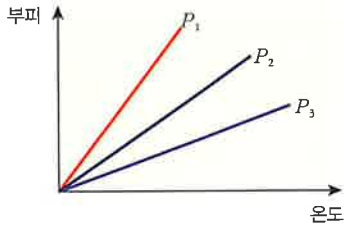
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. A와 B의 온도 변화량은 같다.
- ㄴ. 시간 t가 지나면, A와 B 사이의 열 이동은 더 이상 없다.
- ㄷ. A에서 B로 이동한 에너지를 열이라고 한다.

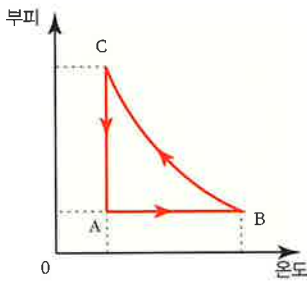
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 압력 P_1, P_2, P_3 를 기체의 부피와 온도 사이의 관계로 나타낸 것이다. P_1, P_2, P_3 의 크기를 바르게 비교한 것은?



- ① $P_1 < P_2 < P_3$
- ② $P_1 < P_3 < P_2$
- ③ $P_2 < P_1 < P_3$
- ④ $P_2 < P_3 < P_1$
- ⑤ $P_3 < P_2 < P_1$

06 그림은 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 과정을 온도와 부피에 대하여 나타낸 것이다.



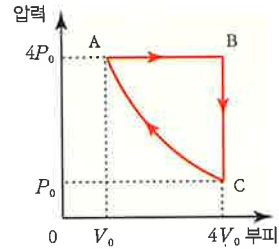
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $B \rightarrow C$ 과정은 단열 과정이다.)

— < 보기 —

ㄱ. $A \rightarrow B$ 과정은 등압 과정이다.
 ㄴ. $C \rightarrow A$ 과정에서는 내부 에너지의 변화가 없다.
 ㄷ. $B \rightarrow C$ 과정에서는 외부에서 이상 기체에 한 일은 0보다 작다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

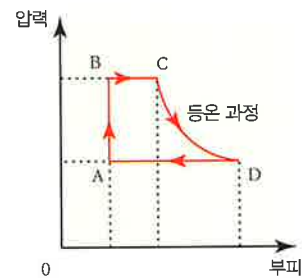
07 다음 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 과정을 압력과 부피에 대하여 나타낸 것이다. A 점에서 기체의 온도 $T_A = 200\text{ K}$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 —
- ㄱ. $A \rightarrow B$ 과정은 외부에 일을 한다.
 ㄴ. B점의 온도는 800 K 이다.
 ㄷ. C점의 온도는 200 K 이다.
- ① ㄱ
 - ② ㄴ
 - ③ ㄱ, ㄴ
 - ④ ㄴ, ㄷ
 - ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 과정을 압력과 부피에 대하여 나타낸 것이다. 이때 각 구간에서 기체의 내부 에너지 변화를 바르게 나타낸 것은? (단, $C \rightarrow D$ 는 등온 과정이며, 내부 에너지 증가는 +, 일정은 0, 감소는 -로 표시한다.)

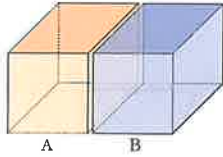


	$A \rightarrow B$	$B \rightarrow C$	$C \rightarrow D$	$D \rightarrow A$
①	+	+	0	-
②	+	+	0	0
③	-	-	0	0
④	-	+	+	-
⑤	0	-	+	+



스스로 실력 높이기

09 그림은 온도가 다른 두 기체 A, B를 나타낸 것이고, 표는 두 기체의 온도를 나타낸 것이다.



기체	온도
A	17 °C
B	290 K

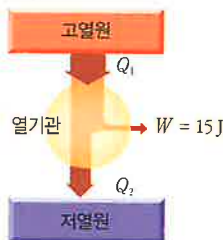
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 온도는 A가 B보다 높다.
- ㄴ. A와 B를 접촉시켜도 열의 이동은 없다.
- ㄷ. B가 A보다 기체 분자의 평균 운동 에너지가 작다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

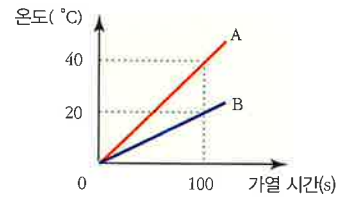
10 그림은 고열원으로부터 Q_1 의 열을 흡수하여 외부에 15J의 일을 하고 Q_2 의 열을 저열원으로 방출하는 열기관이다. 이 열기관의 열효율은 20% 일 때, Q_1 과 Q_2 를 바르게 짝지은 것은?



- | | Q_1 | Q_2 |
|---|-------|-------|
| ① | 70 J | 50 J |
| ② | 70 J | 60 J |
| ③ | 75 J | 50 J |
| ④ | 75 J | 60 J |
| ⑤ | 80 J | 60 J |

B

11 그림은 질량이 0.2 kg으로 같은 두 액체 A, B를 서로 다른 비커에 담고 소비 전력이 400 W인 열원으로 똑같이 가열하면서 일정한 간격으로 온도를 측정하는 것을 나타낸 것이다.



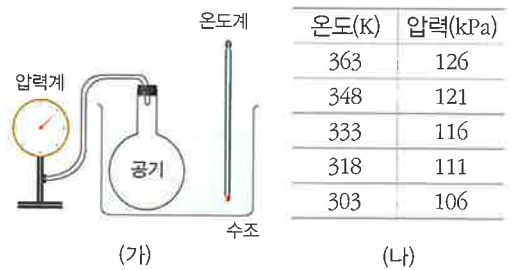
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 열원에서 나온 열은 모두 액체의 온도를 올리는데 사용된다.)

< 보기 >

- ㄱ. 100초 동안 A가 얻은 열량은 4×10^4 J이다.
- ㄴ. B의 비열은 1×10^4 J/kg·K이다.
- ㄷ. A의 열용량은 1×10^3 J/K이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림 (가)는 공기가 든 플라스크에 압력계를 연결하여 밀봉한 후, 이것을 뜨거운 물이 채워진 수조에 담고, 물이 식는 동안 물의 온도와 플라스크 내부 공기의 압력을 측정하는 모습이고, 표 (나)는 측정된 온도와 압력이다.



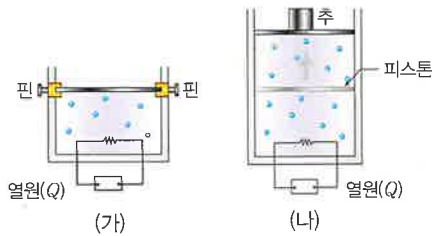
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 플라스크 안의 기체의 압력은 절대 온도에 비례한다.
- ㄴ. 온도가 0 °C 일 때, 기체의 압력은 약 96 kPa 일 것이다.
- ㄷ. 온도가 60 °C 일 때의 기체 분자의 평균 운동 에너지는 30 °C 일 때의 2 배이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13 그림 (가)와 (나)는 단열된 실린더에 들어 있는 같은 양의 동일한 이상 기체에, (가)는 부피를 (나)는 압력을 일정하게 유지시키면서 열원으로 각각 동일한 열량 Q 를 공급하는 모습이다. 가열 전 (가)와 (나)에서 기체의 부피와 절대 온도는 각각 V, T 로 같고, 가열 후 (나)에서 기체의 부피는 $2V$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더와 피스톤 사이의 마찰은 무시한다.)

[수능 기출 유형]

< 보기 >

- ㄱ. 가열 후 (나)에서 기체의 절대 온도는 $2T$ 이다.
- ㄴ. 가열 후 기체의 내부 에너지 변화량은 (가)의 경우가 (나)의 경우보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 기체가 외부에 한 일은 (가)에서 기체의 내부 에너지 증가량보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

14 그림은 단열된 실린더에 들어 있는 일정량의 이상 기체에 열을 공급하는 모습을 나타낸 것이다. 실린더 속의 기체는 (가)에서는 부피를 고정시켰고, (나)에서는 압력을 일정하게 유지시켰다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤은 단열되어 있고, 모든 마찰은 무시한다.)

< 보기 >

- ㄱ. (가)에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.
- ㄴ. (나)에서 기체는 외부에 일을 한다.
- ㄷ. (가)와 (나)에서 기체의 온도는 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

15 그림 (가)는 이상 기체가 들어 있는 단열 실린더가 단열 피스톤에 의해 A, B 로 구간이 나누어져 있는 모습을, 그림 (나)는 (가)에서 A 의 기체에 열량 Q 를 가했더니 피스톤이 천천히 B 쪽으로 이동하다가 정지한 모습을 나타낸 것이다.

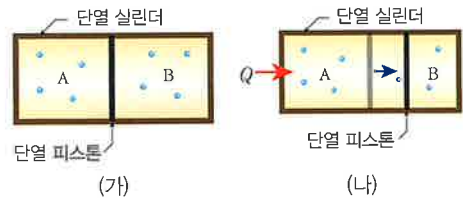


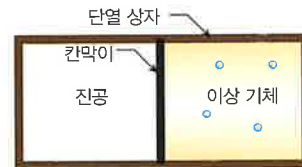
그림 (나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

< 보기 >

- ㄱ. A와 B의 기체 내부 에너지 변화량의 합은 Q 이다.
- ㄴ. B의 기체가 받은 일은 Q 보다 크다.
- ㄷ. B의 기체는 온도가 감소하였다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16 그림은 외부로부터 단열시킨 상자의 절반을 칸막이로 막고 오른쪽에만 이상 기체를 채워 놓았다.



칸막이를 제거했을 때 나타나는 현상으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 다른 한쪽은 진공 상태이다.)

< 보기 >

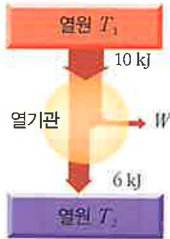
- ㄱ. 온도는 일정하다.
- ㄴ. 내부 에너지는 감소한다.
- ㄷ. 외부에 일을 한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



스스로 실력 높이기

17 그림은 온도가 T_1 인 열원에서 10 kJ의 열을 흡수하여 W 의 일을 하고 온도가 T_2 인 열원으로 6 kJ의 열을 방출하는 열기관을 나타낸 것이다.

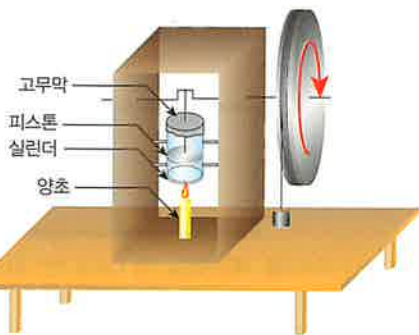


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. T_1 은 T_2 보다 크다.
 - ㄴ. $W = 16$ kJ이다.
 - ㄷ. 열기관의 열효율은 0.6이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

18 그림은 양초로 작동하는 간단한 열기관을 나타낸 것이다. 양초로 실린더를 가열하면 실린더 안의 공기가 팽창하면서 피스톤을 위로 밀어 올린다. 이때 고무막을 통해서 뜨거운 공기가 밖으로 빠져 나가면 실린더 밖으로부터 낮은 온도의 공기가 유입되면서 피스톤이 내려간다. 이러한 과정을 통한 피스톤의 왕복 운동으로 일을 할 수 있다.

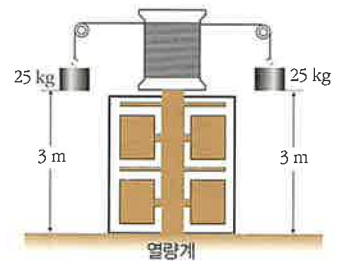


이 열기관은 피스톤이 한 번 왕복할 때마다 촛불로부터 받은 열($Q = 1.0$ J)의 일부를 일에 사용하고 나머지 열을 실린더 밖으로 방출한다. 이 열기관의 열효율이 10%라고 한다면 피스톤이 한 번 왕복할 때마다 열기관이 할 수 있는 일은 얼마인가? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

- ① 0.1 J ② 0.2 J ③ 0.3 J
- ④ 0.4 J ⑤ 0.5 J

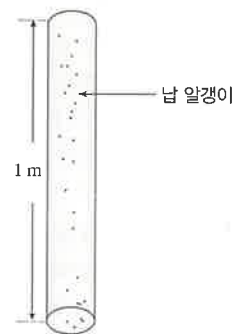
C

19 그림과 같이 질량이 25 kg인 두 개의 추를 매달아 3 m 높이에서 지면까지 낙하시키면서 열량계 속의 회전 날개로 물을 저어 물의 온도를 높였다. 열량계 속의 물의 질량이 1 kg일 때, 중력이 추에 한 일과 증가한 물의 온도를 바르게 짝지은 것은? (단, 열의 일당량은 4.2 J/cal, 중력 가속도 $g = 9.8$ m/s², 물의 비열 $c = 1$ kcal/kg · °C 이고, 열량계에 의한 열손실과 모든 마찰은 무시한다.)



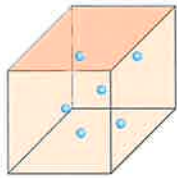
	중력이 추에 한 일	증가한 물의 온도
①	1470 J	0.30 °C
②	1470 J	0.35 °C
③	1475 J	0.30 °C
④	1475 J	0.35 °C
⑤	1480 J	0.35 °C

20 처음 온도가 21 °C인 납 알갱이들이 담겨 있는 길이 1 m인 원통형 용기를 10회 반복하여 연직면 상에서 흔들었다. 이때 납 알갱이들의 온도가 22 °C로 상승하였다면 납의 비열은 얼마인가? (단, 중력 가속도 $g = 10$ m/s²이다.)



- ① 100 J/kg · K ② 200 J/kg · K
- ③ 300 J/kg · K ④ 400 J/kg · K
- ⑤ 500 J/kg · K

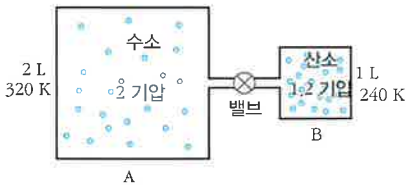
21 그림과 같은 부피 $V = 16.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 인 용기 속에 온도 $T = 300 \text{ K}$ 이고, 압력 $P = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 인 수소 기체가 들어 있다. 용기 속에 들어 있는 수소의 mol 수 n 과 수소 분자의 수 N 을 바르게 짝지은 것은? (단, 기체 상수 $R = 8.3 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, 아보가드로수 $N_A = 6 \times 10^{23}$ 개/mol 이다.)



$V = 16.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 $T = 300 \text{ K}$
 $P = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

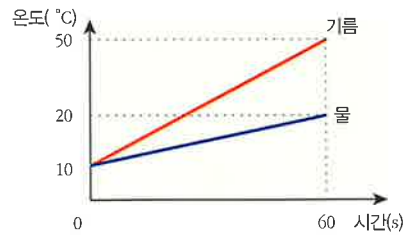
- | | n | N |
|---|-------|------------------------|
| ① | 1 mol | 1.1×10^{24} 개 |
| ② | 1 mol | 1.2×10^{24} 개 |
| ③ | 2 mol | 1.1×10^{24} 개 |
| ④ | 2 mol | 1.2×10^{24} 개 |
| ⑤ | 2 mol | 1.3×10^{24} 개 |

22 그림과 같이 부피가 각각 2 L, 1 L 인 두 용기 A, B 를 밸브가 달린 가느다란 관으로 서로 연결하였다. 용기 A 에는 320 K, 2 기압의 수소 기체가 들어 있고, 용기 B 에는 240 K, 1.2 기압의 산소 기체가 들어 있다. 밸브를 열고 두 용기의 온도를 300 K 로 유지했을 때 용기 내부의 압력 P 와 혼합 기체의 mol 수 n 을 바르게 짝지은 것은? (단, 기체 상수 $R = 0.082 \text{ 기압} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$ 이다.)



- | | P | n |
|---|---------|----------|
| ① | 1.75 기압 | 0.11 mol |
| ② | 1.75 기압 | 0.21 mol |
| ③ | 1.85 기압 | 0.11 mol |
| ④ | 1.85 기압 | 0.21 mol |
| ⑤ | 1.85 기압 | 0.31 mol |

23 그림은 질량이 0.05 kg 인 기름과 0.1 kg 인 물을 똑같은 열원으로 각각 가열하였을 때 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다.



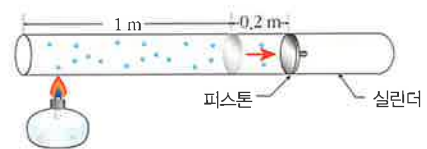
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단 c 는 비열이고, C 는 열용량이다.)

< 보기 >

ㄱ. $c_{\text{기름}} : c_{\text{물}} = 1 : 2$ 이다.
 ㄴ. $C_{\text{기름}} : C_{\text{물}} = 1 : 4$ 이다.
 ㄷ. 같은 시간 동안 기름과 물에 가해진 총 열에너지는 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

24 그림과 같은 실린더 내부에 $T = 300 \text{ K}$, $P = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 인 이상 기체가 들어 있다. 처음 피스톤은 왼쪽 끝에서부터 1 m 떨어진 지점에 위치해 있다가 실린더에 열을 가하였더니 피스톤이 오른쪽으로 0.2 m 만큼 밀려났다. 피스톤의 단면적이 $1 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 이고, 외부로부터 기체가 흡수한 열량이 420 J 일 때 기체가 팽창하는 동안 기체의 온도는 몇 °C 증가하는가? (단, 기체 상수 $R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ 이고, 피스톤이 밀려나는 동안 압력은 일정하게 유지된다.)



- ① 14.1 °C ② 24.1 °C ③ 34.1 °C
 ④ 44.1 °C ⑤ 54.1 °C



스스로 실력 높이기

심화

25 그림 (가)는 추, 밀도가 균일한 유체, 이상 기체가 평형 상태를 유지하고 있는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 기체에 일정 시간 동안 열을 가했더니 기체의 부피가 증가한 상태로 피스톤이 정지한 모습을 나타낸 것이다. 실린더와 피스톤을 통한 열 출입은 없고, 아래 피스톤의 단면적은 위 피스톤의 단면적보다 크다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤의 질량, 모든 마찰은 무시하고, 대기압은 일정하다.)

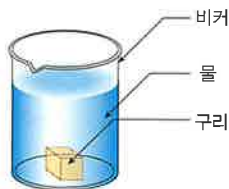
[수능 기출 유형]

< 보기 >

- ㄱ. (가)에서 (나)로 변하는 동안 기체가 한 일은 추의 중력에 의한 퍼텐셜 에너지 변화량과 같다.
- ㄴ. 기체의 내부 에너지 변화량은 기체가 받은 열량보다 작다.
- ㄷ. (가)에서의 압력과 (나)에서의 압력은 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

26 그림처럼 질량 $m_c = 75 \text{ g}$ 의 구리 덩어리를 실험실에서 $T_c = 312 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 가열한 후, 질량 $m_w = 220 \text{ g}$ 의 물이 담긴 유리 비커에 떨어뜨렸다. 비커의 열용량 $C_b = 45 \text{ cal/K}$ 이고, 물과 비커의 초기 온도는 $T_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다. 물은 증발하지 않는다고 가정할 때, 열평형을 이루는 최종 온도 T_f 는 얼마인가? (단, 구리의 비열 $c_c = 0.0923 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$, 물의 비열 $c_w = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$ 이고, 비커 외부의 열방출은 일어나지 않는다.)



- ① $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ② $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ③ $30 \text{ }^\circ\text{C}$
- ④ $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ⑤ $50 \text{ }^\circ\text{C}$

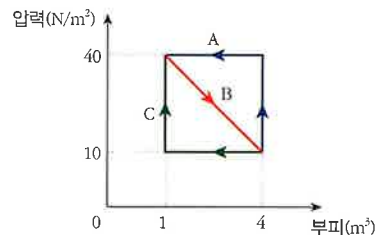
27 온도가 $7 \text{ }^\circ\text{C}$ 인 60 m 깊이의 물속에 생긴 부피 10 cm^3 인 공기 방울이 온도가 $27 \text{ }^\circ\text{C}$ 인 수면으로 천천히 떠올랐다. 이때의 부피는 얼마인가?

- ① 15 cm^3 ② 35 cm^3 ③ 55 cm^3
- ④ 75 cm^3 ⑤ 95 cm^3

28 절대 온도가 T 인 단원자 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 $E_k = \frac{3}{2} k_B T$ 이다. 같은 온도에서 네온 기체 분자 한 개의 질량이 헬륨 기체 분자 한 개의 질량의 5배일 때, 헬륨 기체 분자의 평균 속력은 네온 기체 분자의 평균 속력의 몇 배인가? (단, k_B 는 볼츠만 상수이다.)

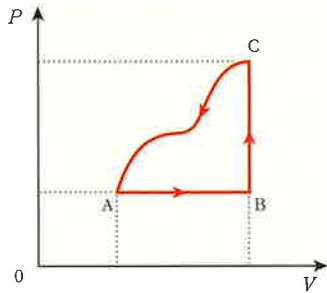
- ① 1 ② 2 ③ $\sqrt{5}$
- ④ $2\sqrt{5}$ ⑤ $3\sqrt{5}$

29 그림은 이상 기체의 상태가 경로 B를 따라 $V_1 = 1 \text{ m}^3$, $P_1 = 40 \text{ N/m}^2$ 에서 $V_2 = 4 \text{ m}^3$, $P_2 = 10 \text{ N/m}^2$ 으로 팽창한 후, 다시 경로 B \rightarrow A 또는 B \rightarrow C를 따라 부피 V_1 으로 압축되는 과정을 압력과 부피에 대하여 나타낸 것이다. 순환 과정 동안 경로 B \rightarrow A와 경로 B \rightarrow C에 대해 기체가 한 일을 바르게 짝지은 것은?



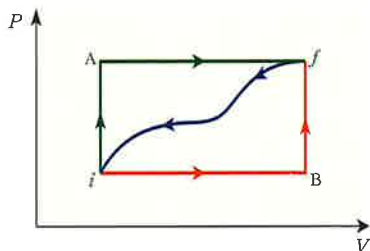
- | | | |
|---|-------------------|-------------------|
| | B \rightarrow A | B \rightarrow C |
| ① | 0 | +45 J |
| ② | +45 J | +45 J |
| ③ | +45 J | -45 J |
| ④ | -45 J | +45 J |
| ⑤ | -45 J | -45 J |

30 그림은 이상 기체의 상태가 A → B → C → A 를 따라 순환하는 과정을 압력과 부피에 대하여 나타낸 것이다. 경로 C → A 에서 내부 에너지는 -160 J 만큼 변하고, 기체에 전달된 열에너지는 경로 A → B 에서 200 J 이고, 경로 B → C 에서는 40 J 이다. 경로 A → B → C 와 경로 A → B 에 대해 기체가 한 일을 바르게 짝지은 것은?



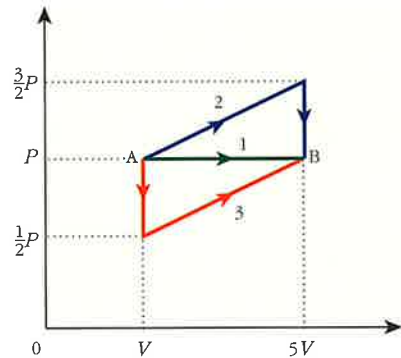
	A → B → C	A → B
①	0	+80 J
②	+80 J	+80 J
③	+80 J	-80 J
④	-80 J	+80 J
⑤	-80 J	-80 J

31 이상 기체가 상태 *i* 에서 상태 *f* 로 그림과 같이 경로 *i* → A → *f* 를 따라 변할 때 $Q_{i \rightarrow A \rightarrow f} = 50$ cal 이고, $W_{i \rightarrow A \rightarrow f} = 20$ cal 이다. 돌아오는 경로 *f* → *i* (파란색 경로)에 대해 $W_{f \rightarrow i} = -13$ cal 일 때 $Q_{f \rightarrow i}$ 를 구하고, $U_i = 10$ cal, $U_B = 22$ cal 일 때 경로 B → *f* 에서의 $Q_{B \rightarrow f}$ 를 구해서 바르게 짝지은 것은?



	Q	$Q_{B \rightarrow f}$
①	-43 cal	+18 cal
②	-43 cal	+36 cal
③	-53 cal	+18 cal
④	-53 cal	+36 cal
⑤	+53 cal	+18 cal

32 그림은 이상 기체의 상태가 A 에서 B 로 바뀌는 세 가지 과정을 나타낸 것이다. 과정 1 에서 기체에 전달된 열에너지가 10 PV 일 때, 과정 1 에서의 $U_B - U_A$ 와 과정 2 에서 기체에 전달된 열에너지(Q)를 PV의 단위로 바르게 짝지은 것은? (단, U는 내부 에너지이다.)



	$(U_B - U_A)$ (과정 1)	Q(과정 2)
①	5 PV	10 PV
②	5 PV	11 PV
③	6 PV	10 PV
④	6 PV	11 PV
⑤	6 PV	12 PV