गैसों का गत्यात्मक सिद्धान्त एवं ऊष्मागतिकी

गैसों का गत्यात्मक सिद्धान्त :

गैसों का गतिक सिद्धान्त निम्न परिकल्पनाओं (धारणाओं) पर आधारित हैं।

(a) एक गैस में बहुत अधिक संख्या में अणु होते हैं। ये अणु एक समान, पूर्णतः प्रत्यास्थ व ठोस गोले होते है। ये अणु इतने छोटे होते हैं कि इनका आयतन सम्पूर्ण गैस के आयतन की तुलना में नगण्य होता है।

(b) अणुओं की गति की कोई निश्चित दिशा नहीं होती है। अणु यादृच्छिक गति करते हैं।

(c) ये अणु सरल रेखा में गति करते है और अधिकांश समय मुक्त गति करते हैं। दो अणुओं के बीच होने वाली टक्कर का समय बहुत कम होता है।

(d) अणुओं व पात्र की दीवार के बीच होने वाली टक्कर पूर्णतया प्रत्यास्थ होती है। इसका अर्थ है कि प्रत्येक टक्कर में गतिज ऊर्जा संरक्षित रहती है।

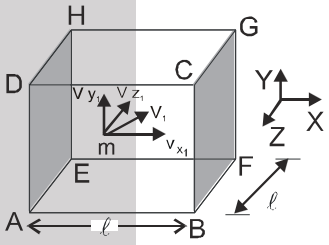
(e) दो टक्करों के बीच अणुओं द्वारा तय किये गये पथ को मुक्त पथ कहते है। और एक अणु द्वारा तय की गई इन दूरीयों के माध्य को माध्य मुक्त पथ कहते हैं।

(f) अणुओं की गति न्यूटन के नियमों के अनुसार होती है।

(g) अणुओं की गति पर गुरूत्व का प्रभाव नगण्य होता है।

गैस के दाब के लिये सूत्र :

माना एक गैस ℓ लम्बाई के एक घनाकार बक्से में भरी हुई है। माना गैस में 'N' एक समान अणु है जिनमें प्रत्येक का द्रव्यमान 'm' है। चूंकि सभी अणु प्रत्यास्थ व समान द्रव्यमान के हैं इसलिए इनके बीच होने वाली टक्करों के फलस्वरूप केवल इनके वेग परस्पर बदल जाते है। गैस का दाब केवल अणुओं द्वारा पात्र की दीवारों से टकराने के कारण ही होता है अब हम एक अणु जिसका वेग v_1 और वेग के घटक x, y और z अक्षों अनुदिश क्रमशः v_{x1} , v_{y1} और v_{z1} है। जैसा कि चित्र में प्रदर्शित है।



$v_1^2 = v^2_{x_1} + v^2_{y_1} + v^2_{z_1}$

दीवार BCGF से एक टक्कर के बाद अणु के संवेग में परिवर्तन $= m v_{x_1} - (-m v_{x_1}) = 2 m v_{x_1}$.

दीवार BCGF पर होने वाली दो क्रमागत टक्करों के बीच लगा समय $= \frac{\text{दूरी}}{\text{चाल}} = \frac{2\ell}{v_{x_1}}$

टक्करों के कारण संवेग में परिवर्तन की दर $= \frac{\text{संवेग में परविर्तन}}{\text{लिया गया समय}} = \frac{2mv_{x_1}}{2\ell / v_{x_1}} = \frac{mv^2_{x_1}}{\ell}$

दीवार BCGF पर N अणुओं की टक्कर के कारण लगने वाला कुल बल

$$F_x = \frac{mv^2_{x_1}}{\ell} + \frac{mv^2_{x_2}}{\ell} + \frac{mv^2_{x3}}{\ell} + ... + \frac{mv^2_{x_n}}{\ell} = \frac{m}{\ell}\left(v^2_{x_1} + v^2_{x_2} + v^2_{x_3} + ... + v^2_{x_n}\right) = \frac{mN}{\ell} < v^2_x >$$

यहाँ $< v^2_x >$ = x-दिशा में वर्ग माध्य वेग , चूंकि अणु किसी निश्चित दिशा में नहीं चलते है। इसलिए $< v^2_x > = < v^2_y >$

$= < v^2_z >$. लेकिन $< v^2 > = < v^2_x > + < v^2_y > + < v^2_z >$ $\Rightarrow$ $< v^2_x > = \frac{< v^2 >}{3}$

बल कों क्षेत्रफल से विभाजित करने पर दाब प्राप्त होता है।

$P = \frac{F_x}{\ell^2} = \frac{M}{3\ell^3} < v^2 > = \frac{M}{3V} < v^2 >$ दाब x, y, z दिशा पर निर्भर नहीं करता है।

जहाँ ℓ^3 = बर्तन का आयतन = V

M = गैस का कुल द्रव्यमान, $< v^2 >$ = अणुओ का वर्गमाध्य चाल $\Rightarrow$ $P = \frac{1}{3}\rho < v^2 >$

जैसा PV = n RT, तब **गैस की कुल स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा** = $\frac{1}{2}$ **M** $< v^2 >$ = $\frac{3}{2}$ **PV** = $\frac{3}{2}$ **n RT**

1 अणु की स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा = $\frac{3}{2}kT$ **(यह गैस की प्रकृत्ति पर निर्भर नहीं करता।)**

$< v^2 > = \frac{3P}{\rho}$ **या** $v_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{mole}}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ जहाँ v_{rms} गैस का वर्गमाध्य मूल चाल है।

गैस द्वारा उत्पन्न दाब $P = \frac{1}{3}\rho < v^2 > = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2}\rho < v^2 >$ या $P = \frac{2}{3}E$, $\mathbf{E} = \frac{3}{2}\mathbf{P}$

अतः प्रति एकांक आयतन गैस की कुल स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा (इसे ऊर्जा घनत्व कहते हैं) आंकिक रूप से गैस द्वारा लगाये गये दाब की $\frac{3}{2}$ गुना होती हैं।

मुख्य बिन्दु

(a) $v_{rms} \propto \sqrt{T}$ और $v_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{M_{mole}}}$

(b) परम शून्य ताप पर, गैस के सभी अणुओं की गति रूक जाती हैं।

(c) उच्च तापमान तथा कम दाब पर या उच्च तापमान व कम घनत्व पर एक वास्तविक गैस आदर्श गैस की तरह व्यवहार करती हैं।

(d) माध्य मुक्त पथ ℓ है जो दो क्रमागत टक्करों के मध्य एक अणु द्वारा तय की गई औसत दूरी है :

$$< \ell > = < v > \tau = \frac{1}{\sqrt{2}\,n d^2}$$

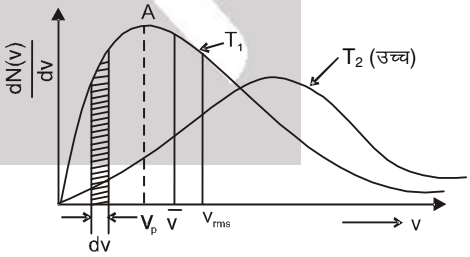
जहाँ n प्रति एकांक आयतन में अणुओं की संख्या (संख्या घनत्व) है तथा d अणु का व्यास है।

मैक्सवेल का वितरण नियम

वितरण वक्र – $\frac{dN(v)}{dv}$ (एकांक चाल अन्तराल में अणुओं की संख्या) व v के मध्य आरेख मेक्सवेल का वितरण वक्र कहलाता है। वक्र से सम्बद्ध कुल क्षेत्रफल समाकलन $\int_0^\infty \frac{dN(v)}{dv}dv = \int_0^\infty dN(v) = N$ द्वारा दिया जाता है।

[नोट : $\frac{dN(v)}{dv}$ **का वास्तविक सूत्र JEE पाठ्यक्रम में नहीं है।]**

चित्र में दो अलग अलग तापों के लिये वितरण वक्र दर्शाये गये है। किसी भी ताप पर एक निश्चित चाल अन्तराल dv में अणुओं की संख्या उस अन्तराल में वक्र से सम्बद्ध क्षैत्रफल के बराबर होती है। यह संख्या चाल के बढ़ने से एक अधिकतम मान तक बढ़ती है और फिर अनन्त स्पर्शी रूप से शून्य तक घटती है। इस प्रकार शीर्ष A के आस पास चाल की एक छोटी परास में अणुओं की संख्या अधिकतम होती है।



इस चाल को अधिकतम् संभाव्य चाल v_p या v_{mp} कहते हैं।

वितरण वक्र इसके चोटी (तीक्ष्ण) के सापेक्ष असममित हेाता है क्योंकि न्यूनतम संभव चाल शून्य होती है। जबकी दूसरी ओर अधिकतम चाल के लिये कोई सीमा नहीं होती है। इस प्रकार माध्य चाल $\bar{c}$ का मान, अधिकतम सम्भाव्य चाल v_p से थोड़ा अधिक होता है। वर्ग माध्य मूल चाल v_{rms} का मान अब भी इससे अधिक होता हैं। ($v_{rms} > \bar{v} > v_p$).

औसत (या माध्य) चाल : $\bar{v} = \sqrt{\frac{8}{\pi}\frac{kT}{m}} = 1.59\sqrt{kT/m}$. (सत्यापन पाठ्यक्रम में नही है।)

वर्गमाध्य मूल चाल : $v_{rms} = \sqrt{< v^2 >} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1.73\sqrt{\frac{kT}{m}}$

अधिकतम संभाव्य चाल : वह चाल जिससे अधिकतम अणु गति करते हैं, अधिकतम संभाव्य चाल v_p या v_{mp} कहलाती है। वितरण वक्र में यह चाल शीर्ष (तीक्ष्ण) के संगत होती है। गणितीय रूप में इसे निम्न शर्त द्वारा ज्ञात किया जाता है।

$\frac{dN(v)}{dv} = 0$ [dN(v) का सूत्र रखकर (जो कि पाठ्यक्रम में नही है।)]

अतः अधिकतम सम्भाव्य चाल $v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 1.41\ \sqrt{kT/m}$

उपरोक्त समीकरणों से हम पाते है। $v_{rms} > \bar{v} > v_p$

निम्न नियमों का निगमन गैसों के अणुगतिक सिद्धान्त की सहायता से किया जा सकता है।

(a) बॉयल का नियम
(b) चार्ल्स का नियम
(c) आवोगाद्रो परिकल्पना
(d) गैसों के ग्राह्म का विसरण का नियम
(e) रेंगाल्ट या गेलुसेक का नियम
(f) डाल्टन का आंशिक दाब का नियम
(g) आदर्श गैस समीकरण या अवस्था समीकरण

स्वतन्त्रता कोटियाँ :

किसी गतिक निकाय के स्थिति और विन्यास को पूर्ण रूप से दर्शाने के लिये जितने स्वतन्त्र चरों की आवश्यकता होती है, उस संख्या को स्वतन्त्रता की कोटि f कहते हैं।

(A) स्थानान्तरण की महत्तम तीन स्वतन्त्रता कोटियॉ $\left(\frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2\right)$ सम्भव हैं।

(B) धूर्णन की महत्तम तीन स्वतन्त्रता कोटियॉ $\left(\frac{1}{2}I_x\omega_x^2 + \frac{1}{2}\ I_y\omega_y^2 + \frac{1}{2}\ I_z\omega_z^2\right)$ सम्भव है।

(C) कम्पन्नों की दो स्वतन्त्रता कोटियॉ होती हैं (एक कम्पन्न की गतिज ऊर्जा तथा दूसरी कम्पन की स्थितिज ऊर्जा

(1) **एक परमाणुक :** (सभी अक्रिय गैसे, जैसे He, Ar आदि)

f = 3 (स्थानान्तरीय)

(2) **द्विपरमाणुक :** (H_2, N_2, O_2 आदि गैसें)

f = 5 (3 स्थानान्तरीय + 2 घूर्णी)

यदि ताप < 70 K (द्विपरमाणुक के लिये), तब f = 3

यदि ताप 250 K व 5000 K बीच हो तब f = 5

यदि ताप > 5000 K f = 7 [3 स्थानान्तरीय + 2 घूर्णी + 2 कम्पन्न]

मेक्सवेल का ऊर्जा समविभाजन का नियम :

प्रत्येक स्वतन्त्रता की कोटि से सम्बद्ध ऊर्जा = $\frac{1}{2}$ kT होती है यदि किसी अणु की स्वतन्त्रता की कोटि f हो तो उस अणु की कुल ऊर्जा $U = \frac{1}{2}fkT$

आन्तरिक ऊर्जा :

किसी निकाय की आन्तरिक ऊर्जा,निकाय के अणुओं की गतिज ऊर्जा व स्थितिज ऊर्जा के योग के बराबर होती है। इसे U से व्यक्त करते है। निकाय की आन्तरिक ऊर्जा (U) इसके परमताप (T) व आयतन (V) का फलन होती है अर्थात U = f (T, V)।

आदर्श गैस में, अन्तर आणविक बल शून्य होते है। जिससे इसकी स्थितिज ऊर्जा भी शून्य होती है। अतः इस स्थिति में आन्तरिक ऊर्जा केवल गतिज ऊर्जा के कारण होती है जो कि गैस के परमताप पर निर्भर करती है।

अर्थात U = f (T) आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा $U = \frac{f}{2}nRT$

Solved Example

Example 1. एक हल्का बर्तन जिसमें द्वि–परमाणुक गैस भरी है, V वेग से गतिमान है। गैस का द्रव्यमान M है और मोलों की संख्या n है।

(i) निकाय के द्रव्यमान केन्द्र के सापेक्ष गैस की गतिज ऊर्जा क्या है ?

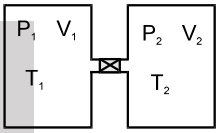
(ii) पृथ्वी के सापेक्ष गैस की गतिज ऊर्जा क्या है ?

Solution : (i) K.E. $= \frac{5}{2}$ nRT

गैस का द्रव्यमान = M, ताप T → V

(ii) पृथ्वी के सापेक्ष गैस की गतिज ऊर्जा = द्रव्यमान केद्र के सापेक्ष गैस की गतिज ऊर्जा + पृथ्वी के सापेक्ष द्रव्यमान केन्द्र की गतिज ऊर्जा K.E. $= \frac{1}{2} MV^2 + \frac{5}{2} nRT$

Example 2. दो कुचालक बर्तन जिनके आयतन V_1 और V_2 है में क्रमशः एकल परमाण्विय व द्विपरमाण्विय गैस भरी हुई है। चित्रानुसार जोड़े गये है। दोनों बर्तनों में दाब व ताप क्रमशः P_1, T_1 व P_2, T_2 है। प्रारम्भ में वाल्व बन्द है। यदि वाल्व को खोला जाय तो अन्तिम ताप व दाब बताओ।



Solution : $n_1 = \frac{P_1V_1}{RT_1}$ $n_2 = \frac{P_2V_2}{RT_2}$

$n = n_1 + n_2$ (मोलों की संख्या संरक्षित है।)

दोनों भागों में अन्तिम दाब व ताप समान हो जायेगा।

$$\frac{P(V_1+V_2)}{RT} = \frac{P_1V_1}{RT_1} + \frac{P_2V_2}{RT_2}$$

ऊर्जा संरक्षण से $\frac{3}{2} n_1RT_1 + \frac{5}{2} n_2RT_2 = \frac{3}{2} n_1RT + \frac{5}{2} n_2RT \Rightarrow T = \frac{(3P_1V_1 + 5P_2V_2)\ T_1T_2}{3P_1V_1T_2 + 5P_2V_2T_1}$

$$P = \left(\frac{3P_1V_1 + 5P_2V_2}{3P_1V_1T_2 + 5P_2V_2T_1}\right)\left(\frac{P_1V_1T_2 + P_2V_2T_1}{V_1+V_2}\right)$$

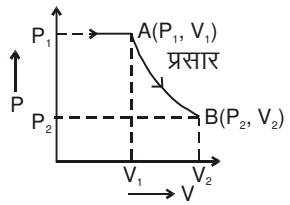
सूचक आरेख :

वह आरेख जो दाब में, ताप में या आयतन में एक दूसरे के साथ परिवर्तन को दर्शाता है सूचक आरेख कहलाता है।

सूचक आरेख → (P, V), (P, T), (V, T)

(A) सूचक आरेख का प्रत्येक बिन्दु गैस की एक एकल अवस्था (P, V, T) को दर्शाता है।

(B) सूचक आरेख में प्रत्येक वक्र एक एकल प्रक्रम दर्शाता है।



ऊष्मा गतिकी :

ऊष्मागतिकी मुख्य रूप से वस्तुओं के बीच ऊष्मा के आदान प्रदान का तथा ऊष्मा के यान्त्रिक कार्य में या विपरीत रूप में रूपान्तरण का अध्ययन हैं।

ऊष्मागतिकी निकाय :

निश्चित सीमाओं में बहुत अधिक अणुओं का संग्रह जिसका कोई दाब (P), आयतन (V) व ताप (T) होता है, ऊष्मागतिक निकाय कहलाता है। ऊष्मागतिक निकाय के बाहर कोई भी परिवेश जिसके साथ ऊर्जा का आदान प्रदान होता है, परिवेश कहलाता है।

निकाय व इसके परिवेश के बीच अन्योन्य क्रिया के आधार पर ऊष्मागतिक निकाय को तीन भागों में बांटा गया है।

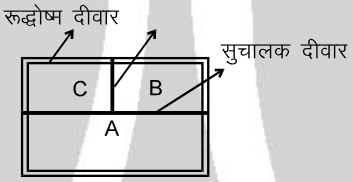
(a) **खुला निकाय :** वह निकाय जो परिवेश के साथ ऊर्जा व पदार्थ दोनों का आदान प्रदान कर सकता है, खुला निकाय कहलाता है।

(b) **बन्द निकाय :** वह निकाय जो परिवेश के साथ केवल ऊर्जा का आदान प्रदान कर सकता है पदार्थ का नहीं, बन्द निकाय कहलाता है।

(c) **विलगित निकाय :** वह निकाय जो परिवेश के साथ न ही ऊर्जा का और न ही पदार्थ का आदान प्रदान कर सकता है, विलगित निकाय कहलाता हैं।

ऊष्मागतिकी का शून्यांकी नियम :

यदि दो निकाय (B व C) अलग अलग, किसी तीसरे निकाय (A) के साथ ऊष्मीय साम्य में हो तो वे दोनों स्वयं भी एक दूसरे के साथ ऊष्मीय साम्य में होंगे।

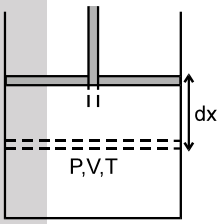


अवस्था समीकरण (एक आदर्श गैस के लिये) :

ऊष्मागतिक चरों (P, V, T) के मध्य सम्बन्ध को अवस्था समीकरण कहते हैं। n मोल की आदर्श गैस का अवस्था समीकरण निम्न होता है$PV = nRT$,

गैस द्वारा किया गया कार्य :

माना P व V एक गैस के दाब व आयतन है। यदि पिस्टन का क्षेत्रफल A हो तो गैस द्वारा पिस्टन पर लगाया गया बल $F = P \times A$. माना गैस के प्रसार के दौरान पिस्टन थोड़ी दूरी dx तक विस्थापित होता है। इस विस्थापन dx में कार्य



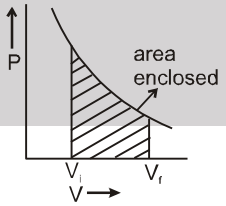
$\Rightarrow dW = F\,dx = PA\,dx$

चुंकि $A\,dx = dV$, गैस के आयतन में वृद्धि है।

अतः $dW = P\,dV$

या $W = \int dW = \int P dV$

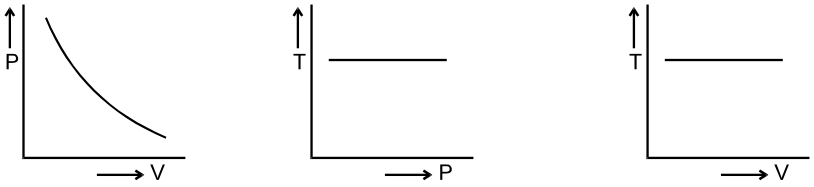
P-V वक्र से घिरा हुआ क्षेत्रफल प्रक्रम के दौरान किये गये कार्य के बराबर होता है।



विभिन्न प्रकार के प्रक्रम :

(a) **समतापी प्रक्रम :** T = नियत, PV = नियत (बॉयल का नियम लागू)

निकाय व परिवेश के मध्य ऊष्मा का आदान प्रदान होता है। निकाय को बहुत धीरे धीरे प्रसारित या संपीड़ित किया जाना चाहिए ताकि ताप को नियत रखने के लिए वातावरण से ऊष्मा के आदान–प्रदान के लिये पर्याप्त समय मिल सके।



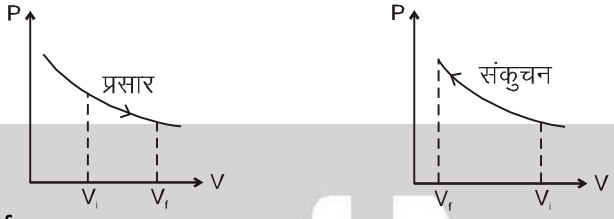
P–V वक्र का ढाल :

$PV = \text{नियत} = C \quad \Rightarrow \frac{dP}{dV} = -\frac{P}{V}$

समतापी प्रक्रम में किया गया कार्य :

$W = \left[P_i V_i \text{ or } P_f V_f \text{ or } n R T\right] \ell n \frac{V_f}{V_i} \begin{bmatrix} W = (+) & \text{यदि} & V_f > V_i \\ W = (-) & \text{यदि} & V_f < V_i \end{bmatrix}$

$W = \left[2.303 \quad nRT \quad \log_{10} \frac{V_f}{V_i}\right]$



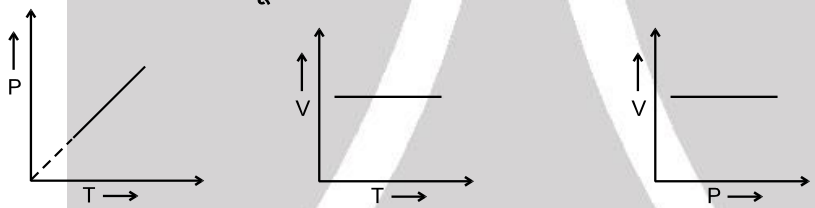
आन्तरिक ऊर्जा : $U = f(T) \quad \Rightarrow \quad \Delta U = 0$

(b) **सम आयतनिक प्रक्रम :** V = नियत, dV = 0 अर्थात् आयतन में परिवर्तन शून्य है।

$\frac{P}{T}$ = नियत (गेलूसेक का नियम)

समआयतनिक में किया गया कार्य : चूंकि आयतन में परिवर्तन शून्य है। अतः dW = PdV = 0 है।

समआयतनिक प्रक्रम के सूचक चित्र



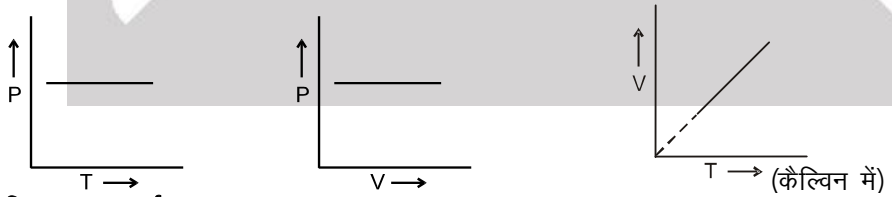
समआयतनिक प्रक्रम में आन्तिरक ऊर्जा में परिवर्तन $\Delta U = n\frac{f}{2}R\,\Delta T$

समआयतनिक प्रक्रम में दी गयी ऊष्मा $\Delta Q = \Delta U = n\frac{f}{2}R\,\Delta T$

(c) समदाबी प्रक्रम : समदाबी प्रक्रम में दाब नियत रहता है

$P = \text{नियत} \quad \Rightarrow \quad \frac{V}{T} = \text{नियत}$,

समदाबी प्रक्रम के सूचक वित्र :



किया गया कार्य = $\Delta W = P\,[V_f - V_i] = nR(T_{\text{अन्तिम}} - T_{\text{प्रारम्भिक}})$

आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $\Delta U = n\,C_V\,\Delta T$

ऊष्मा $\Delta Q = \Delta U + W \quad \Rightarrow \quad \Delta Q = n\frac{f}{2}R\,\Delta T + P\,[V_f - V_i] = n\frac{f}{2}R\,\Delta T + nR\,\Delta T$

उपरोक्त समीकरण से स्पष्ट होता है कि ताप ΔT से बढ़ाने के लिये आवश्यक ऊष्मा की मात्रा, समआयतनी प्रक्रम की तुलना में समदाबी प्रक्रम में अधिक होती है।

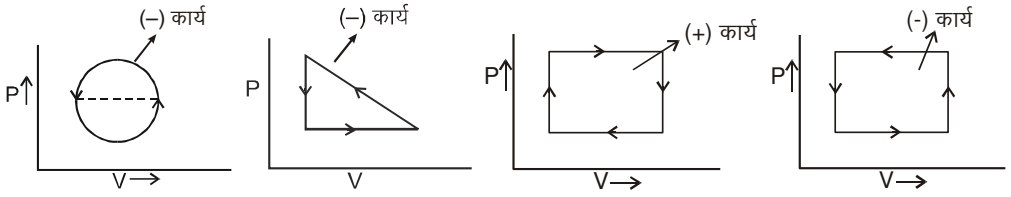
(d) चक्रीय प्रक्रम :

चक्रीय प्रक्रम में प्रारम्भिक व अन्तिम अवस्था समान होती है। अतः प्रारम्भिक अवस्था = अन्तिम अवस्था

किया गया कार्य = P-V सूचक आरेख में बन्द चक्र का क्षेत्रफल

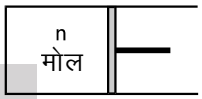
आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $\Delta U = 0$ $\Rightarrow$ $\Delta Q = \Delta U + W$ अर्थात $\Delta Q = W$

यदि P-V वक्र पर प्रक्रम दक्षिणावर्त दिशा में है तो कुल कार्य धनात्मक होता है तथा वामावर्त दिशा में ऋणात्मक होता है। इसी प्रकार नीचे दिया गया गाफ स्पष्ट करता है कि किया गया कार्य कब ऋणात्मक या धनात्मक होगा।

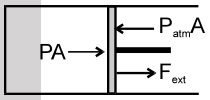


Solved Example

Example 3. चित्र में दिखाए गये बेलन की दीवारें चालक है तथा वातावरण का ताप T है। प्रारम्भ में पिस्टन सन्तुलन में है बेलन में n मोल गैस है। अब पिस्टन को बाह्य कारक द्वारा धीरे–धीरे खिसकाया जाता है। जिससे बेलन का आयतन प्रारम्भ के आयतन का दुगुना हो जाता है। n, R, T के पदों में बाह्य कारक द्वारा किया गया कार्य बताओ।



Solution : **प्रथम विधि :** बाह्य कारक द्वारा किया गया कार्य धनात्मक है क्योंकि F_{ext} और विस्थापन एक ही दिशा में है। चूंकि दीवारें चालक है इसलिए ताप नियत रहेगा। जब गैस का दाब P है तो सन्तुलन की शर्ते लगाने पर



$PA + F_{ext} = P_{atm} A$

$F_{ext} = P_{atm} A - PA$

$$W_{ext} = \int_0^d F_{ext}\,dx = \int_0^d P_{atm} A\,dx - \int_0^d PA\,dx = P_{atm} A\int_0^d dx - \int_V^{2V} \frac{nRT}{V}\,dV$$

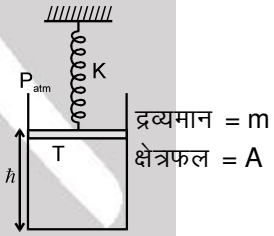
$= P_{atm} Ad - nRT \ln 2 = P_{atm} . V_0 - nRT\ln 2 = nRT (1 - \ln 2)$

द्वितीय विधि : पिस्टन पर कार्य ऊर्जा प्रमेय लगाने पर $W_{all} = \Delta K.E$

$\Delta K.E = 0$ (दिया गया है)

$$\Rightarrow W_{gas} + W_{atm} + W_{ext} = 0 \quad \Rightarrow \quad nRT \ln \frac{V_f}{V_i} - nRT + W_{ext} = 0 \quad \Rightarrow W_{ext} = nRT (1 - \ln 2)$$

Example 4. एक कुचालक पिस्टन जिसका द्रव्यमान m और अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल A है को चित्रानुसार कुचालक बेलन पर रखा गया है। ताप, स्प्रिंग नियतांक, पिस्टन की ऊचाँई क्रमशः T, K, h है। प्रारम्भ में स्प्रिंग तनाव रहित है तथा पिस्टन विराम में है ज्ञात करो।



(i) मोलों की संख्या

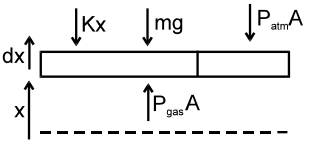
(ii) जब गैस को धीरे–धीरे गर्म करते है तो पिस्टन को d दूरी तक विस्थापित होने में गैस द्वारा किया गया कार्य।

(iii) अन्तिम ताप।

Solution. (i) $PV = nRT \Rightarrow \left(P_{atm} + \frac{mg}{A}\right) Ah = nRT \quad \Rightarrow \quad n = \frac{\left(P_{atm} + \frac{mg}{A}\right) Ah}{RT}$

(ii) **प्रथम विधि :** पिस्टन पर न्यूटन का नियम लगाने पर

$mg + P_{atm} A + Kx = P_{gas}A$



$$W_{gas} = \int_0^d P_{gas}\,Adx$$

$$\int_0^d = (mg + P_{atm} A + Kx)\,dx$$

$$\Rightarrow \quad W_{gas} = mgd + P_{atm}dA + \frac{1}{2} Kd^2$$

द्वितीय विधि : पिस्टन पर कार्य ऊर्जा प्रमेय लगाने पर

$W_{\text{सभी}} = \Delta KE$

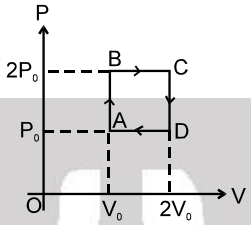
क्योंकि पिस्टन धीरे–धीरे चलता है इसलिए $\Delta KE = 0$

$W_{\text{गुरूत्व}} + W_{\text{गैस}} + W_{\text{वायुमण्डल}} + W_{\text{कमानी}} = 0$

$$-mgd + W_{\text{गैस}} + (-P_{\text{वायुमण्डल}}\, Ad) + [-(\frac{1}{2}Kd^2 - 0)] = 0$$

$$\Rightarrow \quad W_{\text{गैस}} = mgd + P_{\text{वायुमण्डल}}dA + \frac{1}{2}Kd^2$$

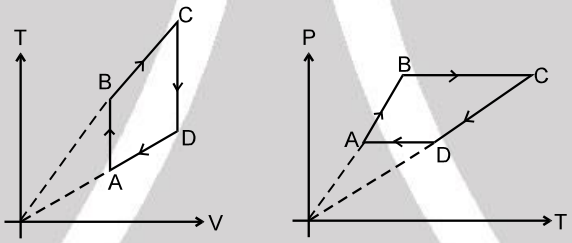
Example 5. दिये गये ग्राफ में किया गया कार्य ज्ञात करो। संगत T-V वक्र तथा P-T भी खींचो।



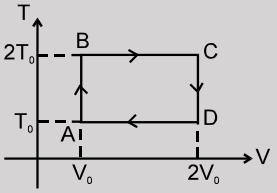
Solution : चूंकि P-V वक्र में चक्र के नीचे का क्षेत्रफल किये गये कार्य के बराबर होता है। इसलिए गैस द्वारा किया गया $P_0 V_0$ है।

AB व CD समयआयतनिक रेखाएं है। रेखाएं BC व DA समदाबी रेखाएं है।

$\therefore$ T-V वक्र व P-T वक्र चित्र में दिखाए गये है।



Example 6. एक चक्रीय प्रक्रम का T-V वक्र नीचे दिखाया गया है। गैस के मोलों की संख्या n है। पूरे चक्र के दौरान किया गया कार्य ज्ञात करो।



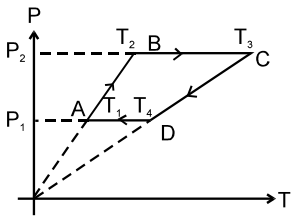
Solution : चूंकि पथ AB और CD समआयतनिक है इसलिए AB व CD के दौरान किया गया शून्य है।

प्रक्रम BC व DA समतापी है। इसलिए

$$W_{BC} = nR2T_0 \ln \frac{V_C}{V_B} = 2nRT_0 \ln 2 \quad \Rightarrow \quad W_{DA} = nRT_0 \ln \frac{V_A}{V_D} = -nRT_0 \ln 2$$

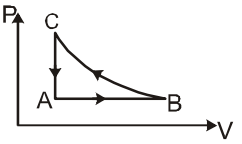
कुल किया गया कार्य $= W_{BC} + W_{DA} = 2nRT_0 \ln 2 - nRT_0 \ln 2 = nRT_0 \ln 2$

Example 7. चक्रीय प्रक्रम का P-T वक्र दिखाया गया है। दिये गये प्रक्रम में गैस द्वारा किया गया कार्य ज्ञात करो। यदि गैस के मोलों की संख्या n है।



Solution : चूंकि पथ AB और CD समआयतनिक है इसलिए AB व CD के दौरान किया गया शून्य है।
प्रक्रम BC व DA समदाबीय है।
अतः $W_{BC} = nR\Delta T = nR(T_3 - T_2)$
$W_{DA} = nR(T_1 - T_4)$
कुल किया गया कार्य = $W_{BC} + W_{DA} = nR(T_1 + T_3 - T_4 - T_2)$

Example 8. चित्र में 2.0 मोल आदर्श गैस के नमूने के लिए चक्रीय प्रक्रम ABCA दिखाया गया है। A व B पर ताप क्रमशः 300 K व 500 K है। प्रक्रम में नमूने से 1200 J ऊष्मा ली गई है। भाग BC में गैस द्वारा किया गया कार्य ज्ञात करो। R = 8.3 J/mol–K लीजिए।



Solution : चक्रीय प्रक्रम के दौरान आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य है। इसलिए गैस को दी गई ऊष्मा इसके द्वारा किये गये कार्य बराबर होगी। इसलिए
$W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} = -1200$ J. .....(i)
AB प्रक्रम के दौरान किया गया कार्य
$W_{AB} = P_A (V_B - V_A) = nR(T_B - T_A)$
= (2.0 mol) (8.3 J/mol–K) (200 K) = 3320 J
चूंकि CA प्रक्रम के दौरान आयतन नियत है। इसलिए CA प्रक्रम के दौरान किया गया कार्य शून्य है। इसलिए (i) से
3320 J + W_{BC} = –1200 J
या W_{BC} = –4520 J = –4520 J.

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम : (First law of Thermodynamics)

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम, ऊर्जा संरक्षण का नियम है। इसके अनुसार यदि एक निकाय dQ ऊष्मा अवशोषित करता है जिसके फलस्वरूप निकाय की आन्तरिक ऊर्जा dU से परिवर्तित हो जाती है और निकाय dW कार्य करता है। तब **dQ = dU + W**.
किन्तु W = P dV जिससे dQ = dU + P dV
जो कि ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का गणितीय कथन हैं।
निकाय द्वारा ली गई ऊष्मा, निकाय द्वारा किया गया कार्य और आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि को धनात्मक लिया जाता है। निकाय द्वारा दी गई ऊष्मा, निकाय पर किया गया कार्य और आन्तरिक ऊर्जा में कमी को ऋणात्मक लिया जाता है।

Solved Example

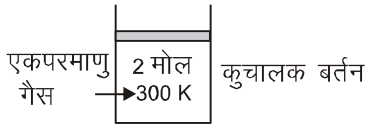
Example 9. 1 gm पानी जो 100°C पर है को एक वायुमण्डलीय दाब पर गर्म करके 100°C की भाप बनायी जाती है। पानी की आन्तरिक ऊर्जा मे परिवर्तन ज्ञात करो। दिया है 100°C पर 1 ग्राम पानी का आयतन = 1 सेमी०^3, 100°C पर 1 ग्राम वाष्प का आयतन = 1671 सेमी०^3, वाष्पन की गुप्त ऊष्मा = 540 cal/g (ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक J = 4.2J/cal.)

Solution : ऊष्मा गतिकी के प्रथम नियम से $\Delta Q = \Delta U + W$
$\Delta Q = mL = 1 \times 540$ cal. = 540 cal.

$$W = P\Delta V = \frac{10^5(1671-1)\times10^{-6}}{4.2} = \frac{10^5\times(1670)\times10^{-6}}{4.2} = 40 \text{ cal.}$$

ΔU = 540 – 40 = 500 cal.

Example 10. 300 K पर एकपरमाणुक गैस के दो मोल को कुचालक बर्तन में पिस्टन से बन्द करके रखा गया है। अब गैस को दबाकर ताप 300 K से 400 K बढ़ा दिया जाता है। गैस द्वारा किया गया कार्य बताओ। ($R = \frac{25}{3}$ J/mol–K)

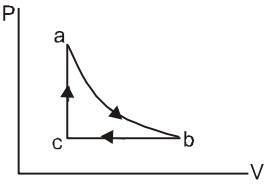


Solution : $\Delta Q = \Delta U + W$
चूंकि बर्तन कुचालक है इसलिए

$$\Delta Q = 0 = \Delta U + W \quad \Rightarrow \quad W = -\Delta U = -n\frac{f}{2}R\Delta T = -2\times\frac{3}{2}R(400-300)$$

$$= -3\times\frac{25}{3}\times100 \text{ J} = -2500 \text{ J}$$

Example 11. चित्र में आदर्श गैस के एक नमूने को एक चक्रीय प्रक्रम abca से ले जाया जाता है। पथ ab में गैस द्वारा किया गया कार्य 800 जूल है। यदि गैस ab प्रक्रम में कोई ऊष्मा अवशोषित नहीं करती है, bc के दौरान 100 जूल ऊष्मा त्यागती है एवं ca प्रक्रम के दौरान 500 जूल ऊष्मा अवशोषित करती है। तब (a) b व c पर गैस की आन्तरिक ऊर्जा ज्ञात कीजिये यदि यह a पर 1000 जूल है। (b) प्रक्रम bc के दौरान गैस द्वारा किये गये कार्य की गणना भी कीजिये।



Solution : (a) प्रक्रम ab में

$\Delta Q = \Delta U + W$

$0 = U_B - 100 + 800$

$U_B = 200\ J$

चक्रीय प्रक्रम के लिए

$\Delta Q = \Delta U + W$

$400 = 0 + 800 + W_{BC}$

$W_{BC} = -400\ J$

प्रक्रम bc के लिए

$\Delta Q = \Delta U + W$

$-100 = -400 + U_C - 200$

$\therefore \quad U_C = 500\ J$

Example 12. 10 cm^2 काट क्षेत्रफल के बेलनाकार पात्र में दो मोल नाइट्रोजन गैस के संग्रहित है। इस पात्र को हल्के घर्षणहीन पिस्टन द्वारा बन्द किया गया है। गैस को धीरे धीरे गर्म करने पर पिस्टन 50 cm विस्थापित होता है। जब 200 J ऊष्मा दी जाती है, तब गैस के ताप में वृद्वि ज्ञात करीये (वायुमण्डलीय दाब = 100 kPa, R = 25/3 J/mol-K)

Solution : गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $\Delta U = 5/2\ nR\ (\Delta T)$

$= 5/2 \times 2R \times (\Delta T) = 5R \times \Delta T$

गैस को दी गई ऊष्मा = 200 J

गैस द्वारा किया गया कार्य $W = \Delta Q - \Delta U$

$= 200\ J - 5R\ \Delta T$ .....(i)

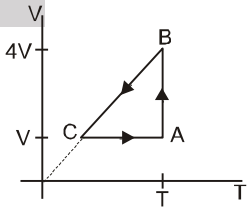
चूंकि पिस्टन द्वारा 50 cm दूरी तय की गई $\therefore$ किया गया कार्य

$\Delta W = P\Delta V = PA\Delta x = 10^5 \times 10 \times 10^{-4} \times 50 \times 10^{-2}$ .....(ii)

(i) व (ii) से

$\Delta T = 18/5\ K = 3.6\ K$

Example 13. आदर्श गैस के नमूने का दाब P आयतन V और ताप T है। इसको समतापी रूप से प्रसारित करके इसके आयतन को मूल आयतन का चार गुना कर दिया जाता है। पुनः इसको समान दाब पर सम्पीड़ित करके मूल आयतन V कर दिया जाता है। अन्त में गैस को नियत आयतन पर गर्म करके मूल ताप पर लाया जाता है। (a) प्रक्रम को V-T चित्र में दिखाइये। (b) प्रक्रम मे गैस द्वारा किया गया कार्य ज्ञात कीजिये। (दिया गया है $\ell n2 = 0.693$)



Solution : (a) प्रक्रम का V–T आरेख चित्र में दिखाया गया है। प्रारम्भिक अवस्था को बिन्दु A से व्यक्त किया गया है। प्रथम पद मे इसको समतापी रूप से 4V आयतन तक प्रसारित किया जाता है। इसको AB से दिखाया गया है। अब नियत दाब पर गैस को सम्पीड़ित करके आयतन V कर दिया जाता है। आदर्श गैस समीकरण से नियत दाब पर V/T नियत है। इसलिए प्रक्रम को रेखा BC से दिखाया गया है, जो मूल बिन्दु से गुजरता है। बिन्दु C पर आयतन V है। अन्तिम पद में गैस को नियत आयतन पर गर्म करके ताप T कर दिया जाता है। इसको CA से दिखाया गया है। अन्तिम अवस्था और प्रारम्भिक अवस्था एक समान है।

(b) गैस द्वारा किया गया कुल कार्य $W_{Total} = W_{AB} + W_{BC} + W_{CA}$

$W_{AB} = nRT \ln \frac{4V}{V} = 2nRT \ln 2 = 2PV \ln 2.$

अतः $P_A V_A = P_B V_B$ (चूंकि AB समतापीय प्रक्रम है) या $P_B = \frac{P_A V_A}{V_B} = \frac{PV}{4V} = \frac{P}{4}.$

BC में दाब नियत रहता है अतः किया गया कार्य $W_{BC} = \frac{P}{4}(V - 4V) = -\frac{3PV}{4}.$

CA में आयतन नियत रहता है। अतः किया गया कार्य शून्य है। चक्रिय प्रक्रम में गैस द्वारा किया गया कुल कार्य

$W = W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} = 2PV \ln 2 - \frac{3PV}{4} + 0$

अतः गैस द्वारा किया गया कार्य 0.636 PV.

Example 14. एक द्वि परमाणु गैस को नियत दाब पर गर्म किया जाता है। यदि गैस को 105 J उष्मा प्रदान की जाये तो ज्ञात कीजिये। (a) गैस की आंन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन (b) गैस द्वारा किया गया कार्य

Solution : माना कि आयतन V_1 से V_2 परिवर्तित होता है तथा तापमान T_1 से T_2 परिवर्तित होता है।

प्रदान की गई ऊष्मा

$\Delta Q = \Delta U + P\Delta V = \Delta U + nR\Delta T = \Delta U + \frac{2\Delta U}{f} \left[\Delta U = \frac{nfR\Delta T}{2}\right]$

(a) आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $\Delta Q = \Delta U \left[1 + \frac{2}{f}\right]$

$105 = \Delta U \left[1 + \frac{2}{5}\right], \Delta U = 75 \text{ J}$

(b) गैस द्वारा किया गया कार्य $W = \Delta Q - \Delta U = 105 \text{ J} - 75 \text{ J} = 30 \text{ J}.$

चक्र की दक्षता (η) :

$\eta = \frac{\text{सम्पूर्ण प्रक्रम में गैस द्वारा किया कुल यांत्रिक कार्य}}{\text{गैस द्वारा अवशोषित ऊष्मा (केवल धनात्मक)}} = \frac{\text{चक्र में P-V वक्र के नीचे का क्षेत्रफल}}{\text{निकाय को दी गई ऊष्मा}}$

$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right)$ ऊष्मा इंजन के लिए

$\Rightarrow \quad \eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$ कार्नोट चक्र के लिए

Solved Example

Example 15. द्विपरमाणुक गैस का n मोल, चक्रीय प्रक्रम ABCA से गुजरता है जैसा कि चित्र में प्रदर्शित है। A पर ताप T_0 है। ज्ञात करो।

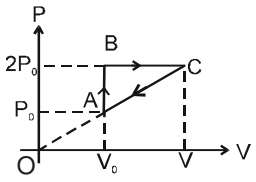
(i) C पर आयतन ?

(ii) अधिकतम ताप ?

(iii) गैस को दी गई कुल ऊष्मा ?

(iv) क्या गैस से ऊष्मा बाहर निकलती है। यदि हाँ तो कितनी ऊष्मा बाहर निकलती है।

(v) दक्षता ज्ञात करो।



Solution : (i) AC, प्रक्रम के लिए $P \propto V$;

$\frac{2P_0}{V_c} = \frac{P_0}{V_0} \Rightarrow V_c = 2V_0$

(ii) चूंकि प्रक्रम AB समआयतनिक है।

$$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B} \quad \Rightarrow T_B = 2T_0$$

चूंकि प्रक्रम BC समदाबीय है

इसलिए $\frac{T_B}{V_B} = \frac{T_C}{V_C} \quad \Rightarrow T_C = 2T_B = 4\,T_0 \qquad \therefore \qquad T_{max} = 4T_0$

(iii) चूंकि प्रक्रम चक्रीय है इसलिए $\Delta Q = W =$ चक्र के नीचे का क्षेत्रफल $= \frac{1}{2} P_0V_0$.

(iv) चूंकि ΔU और W , CA प्रक्रम में ऋणात्मक है।

अतः ΔQ, CA प्रक्रम में ऋणात्मक है और प्रक्रम CA में ऊष्मा निकलती है।

$$\Delta Q_{CA} = W_{CA} + \Delta U_{CA} = -\frac{1}{2}\,[P_0 + 2P_0]\,V_0 - \frac{5}{2} nR\,(T_C - T_A)$$

$$= -\frac{1}{2}\,[P_0 + 2P_0]\,V_0 - \frac{5}{2}\,nR\left(\frac{4P_0V_0}{nR} - \frac{P_0V_0}{nR}\right) = -9P_0V_0 \text{ (निर्गत ऊष्मा)}$$

(v) $\eta =$ चक्र की दक्षता $= \dfrac{\text{गैस द्वारा किया गया कार्य}}{\text{दी गई ऊष्मा}} \Rightarrow \eta = \dfrac{P_0V_0/2}{Q_{\text{निवेशित}}} \times 100$

$$\Delta Q_{inj} = \Delta Q_{AB} + \Delta Q_{BC} = \left[\frac{5}{2} nR(2T_0 - T_0)\right] + \left[\frac{5}{2} nR(2T_0) + 2P_0(2V_0 - V_0)\right]$$

$$= \frac{19}{2} P_0V_0. \Rightarrow \eta = \frac{100}{19}\%$$

विशिष्ट ऊष्मा : किसी पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा उसके एकांक द्रव्यमान का तापक्रम इकाई बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा से परिभाषित होती है। यदि m द्रव्यमान के पदार्थ को ΔQ ऊष्मा दी जाये तथा इसका तापक्रम ΔT से बढ़ जाये तो विशिष्ट ऊष्मा s को निम्न समीकरण से परिभाषित किया जा सकता है।

$$s = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

गैस की मोलर विशिष्ट ऊष्मा को 1 मोल गैस का तापक्रम इकाई बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा से परिभाषित किया जाता है स्थिर आयतन पर मोलर विशिष्ट ऊष्मा C_V, है :

$$C_v = \left(\frac{\Delta Q}{n\,\Delta T}\right)_{\text{स्थिर आयतन}} = \frac{f}{2} R$$

तथा स्थिर दाब पर मोलर विशिष्ट ऊष्मा C_p है –

$$C_P = \left(\frac{\Delta Q}{n\,\Delta T}\right)_{\text{स्थिर दाब}} = \left(\frac{f}{2} + 1\right) R$$

जहाँ n गैस के मोलों की संख्या तथा f स्वातन्त्रता कोटि है। सामान्यतः पद विशिष्ट ऊष्मीय धारिता या विशिष्ट ऊष्मा का प्रयोग मोलर विशिष्ट ऊष्मा के लिए करते है। यह सलाह दी जाती है कि मात्रक को ध्यान से देखकर सही अर्थ निकाल लें। विशिष्ट ऊष्मा का मात्रक J/kg-K है। जबकि मोलर विशिष्ट ऊष्मा का मात्रक J/mol–K है।

R के पदों में आदर्श गैस की विशिष्ट ऊष्मा :

(i) **एक परमाणुक गैस** (He, Ar) **:** f = 3

$$C_V = \frac{3}{2} R,\ C_P = \frac{5}{2} R \qquad \Rightarrow \text{तब, } \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3} = 1.67$$

(ii) **द्विपरमाणुक गैस** (O_2, N_2, H_2) **:** f = 5,

$$C_V = \frac{5}{2} R, \quad C_P = \frac{7}{2} R, \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1.4$$

(iii) **त्रिपरमाणुक गैस** (SO_2, H_2S) : $f = 6 \quad C_V = 3R, \quad C_P = 4R$

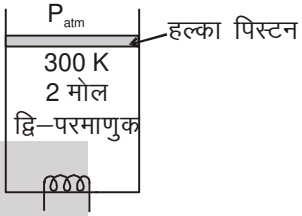
$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{4}{3} = 1.33 \quad [CO_2 \text{ के लिए } f = 5 \text{ यह रैखिक होता है}]$$

यदि f एक अणु की स्वतन्त्रता की कोटि है तब व्यापक रूप में

$$C_V = \frac{f}{2}R \ , \quad C_P = \left(\frac{f}{2}+1\right)R \ , \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \left[1+\frac{2}{f}\right]$$

Solved Example

Example 16. द्विपरमाणुक गैस के दो मोल चित्रानुसार किसी बेलन में 300 K पर बन्द है। पिस्टन हल्का है। दी गई ऊष्मा ज्ञात करो यदि गैस को नीचे दिये तीन प्रकरणों के अनुसार ताप 400 K तक धीरे धीरे गर्म किया जाता है।



(i) पिस्टन चलने के लिए स्वतन्त्र है।

(ii) यदि पिस्टन नहीं चलता है।

(iii) यदि पिस्टन भारी और चलायमान है।

Solution : (i) चूंकि दाब नियत है

$$\therefore \Delta Q = nC_P \Delta T = 2 \times \frac{7}{2} \times R \times (400 - 300) = 700\ R$$

(ii) चूंकि आयतन नियत है।

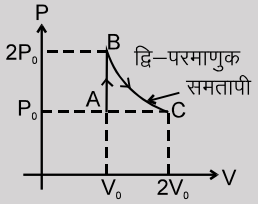
$\therefore$ $W = 0$ तथा $\Delta Q = \Delta U$ (प्रथम नियम से)

$$\Delta Q = \Delta U = nC_V\Delta T = 2 \times \frac{5}{2} \times R \times (400 - 300) = 500\ R$$

(iii) चूंकि दाब नियत है

$$\therefore \Delta Q = nC_P \Delta T = 2 \times \frac{7}{2} \times R \times (400 - 300) = 700\ R$$

Example 17. द्विपरमाणुक गैस का P-V लेखाचित्र, चित्र में दिखाया गया है। प्रक्रम AB और BC में गैस को दी गई कुल ऊष्मा ज्ञात करो।



Solution : ऊष्मा गति के प्रथम नियम से

$\Delta Q_{ABC} = \Delta U_{ABC} + W_{ABC}$

$$W_{ABC} = W_{AB} + W_{BC} = 0 + nR\ T_B \ln \frac{V_C}{V_B} = nR\ T_B \ln \frac{2V_0}{V_0} = nRT_B \ln 2 = 2P_0\ V_0 \ln 2$$

$$\Delta U = nC_V\ \Delta T = \frac{5}{2}\ (2P_0V_0 - P_0V_0) \qquad \Rightarrow \qquad \Delta Q_{ABC} = \frac{5}{2} P_0V_0 + 2P_0V_0 \ln 2.$$

Example 18. ऊष्मा के यांत्रिक तुल्यांक का मान निम्न आंकड़ो से ज्ञात करो। नियत आयतन पर हवा की विशिष्ट ऊष्मा = 170 cal/kg-K, $\gamma = C_p/C_v = 1.4$ और STP पर हवा का घनत्व = 1.29 kg/m^3, गैस नियतांक R = 8.3 J/mol-K

Solution : $pV = nRT$ का प्रयोग करने पर STP पर 1 मोल हवा का आयतन

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{(1\ \text{mol}) \times (8.3\ \text{J/mol-K}) \times (273\text{K})}{1.01 \times 10^5\ \text{N/m}^2} = 0.0224\text{m}^3.$$

इसलिए 1 मोल का द्रव्यमान (1.29 kg/m^3) × (0.0224 m^3) = 0.029 kg.

1 kg में मोलों की संख्या $\frac{1}{0.029}$ है। नियत आयतन पर मोलर ऊष्मा धारिता है

$C_v = \frac{170 \text{ cal}}{(1/0.029) \text{ mol} - K} = 4.93$ cal/mol-K.

इसलिए $C_p = \gamma C_v = 1.4 \times 4.93$ cal/mol-K

या $C_p - C_v = 0.4 \times 4.93$ cal/mol-K = 1.97 cal/mol-K.

भी $C_p - C_v = R = 8.3$ J/mol-K.

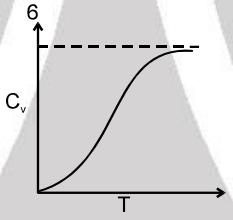
इस प्रकार 8.3 J = 1.97 cal.

ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक $\frac{8.3 \text{ J}}{1.97 \text{ cal}} = 4.2$ J/cal.

धातुओं की औसत मोलर विशिष्ट ऊष्मा :

(ड्यूलॉग तथा पेटिट का नियम) :

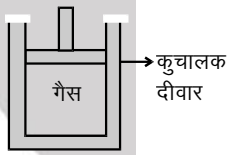
कमरे के ताप पर सभी धातुओं की औसत मोलर विशिष्ट ऊष्मा समान होती है और इसका मान लगभग 3R (6 कैलोरी मोल$^{-1}$ कैल्विन$^{-1}$) होता है। [वह ताप जिसके ऊपर धातुओं का C_V नियत होता है। वह डिवाई तापमान कहलाता है।]



मेयर का समीकरण : $C_P - C_V = R$ (केवल आदर्श गैस के लिए)

रूद्धोष्म प्रक्रम :

जब प्रक्रम में ऊष्मा का आदान–प्रदान नहीं होता है रूद्धोष्म प्रक्रम कहलाता है। प्रक्रम तीव्र होता है जिससे ऊष्मा विनिमय का समय ही नहीं मिल पाता है। यदि पात्र की दीवारें ऊष्मारोधी हो तो निकाय की सीमा से ऊष्मा संचरित नहीं हो सकती तथा प्रक्रिया रूद्धोष्म होती है।



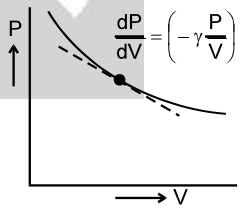
अवस्था समीकरण

PV^{γ} = नियत [पॉइसन का नियम]

$T^{\gamma} P^{1-\gamma}$ = नियत

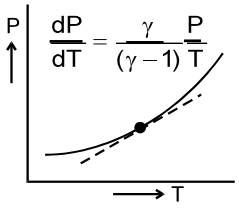
$T V^{\gamma - 1}$ = नियत

P–V वक्र का ढ़ाल : चूंकि PV^{γ} स्थिरांक है।



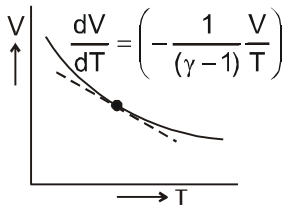
$\therefore \quad \frac{dP}{dV} = -\gamma\left(\frac{P}{V}\right)$

P–T वक्र का ढ़ाल : चूंकि $T^{\gamma} P^{1-\gamma}$ स्थिरांक है।



$\therefore \quad \frac{dP}{dT} = -\frac{\gamma}{(1-\gamma)}\frac{P}{T} = \frac{(\gamma)}{(\gamma-1)}\frac{P}{T}$

T–V वक्र का ढ़ाल :



$$\frac{dV}{dT} = -\frac{1}{(\gamma-1)}\frac{V}{T}$$

रूद्धोष्म प्रक्रम में किया गया कार्य : $\Delta W = -\Delta U = nC_v(T_i - T_f) = \frac{P_iV_i - P_fV_f}{(\gamma-1)} = \frac{nR(T_i - T_f)}{\gamma-1}$

निकाय के द्वारा किया गया कार्य धनात्मक होता है (+ve), यदि $T_i > T_f$ (प्रसार के लिए)

निकाय के द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक होता है (–ve) यदि $T_i < T_f$ (संपीड़न के लिए)

Solved Example

Example 19. हवा की कुछ मात्रा ऐसे बर्तन में रखी गई है जिसकी दीवारें अल्प चालक है। प्रारम्भिक ताप और आयतन क्रमशः 47ºC (वातावरण के ताप के बराबर) तथा 400cm³ है। यदि गैस को 200cm³ तक सम्पीड़ित किया जाय तो ताप वृद्वि ज्ञात कीजिये (a) अल्प समय में (b) दीर्घ समय में। $\gamma = 1.4$ लीजिए। $[2^{0.4} = 1.3]$

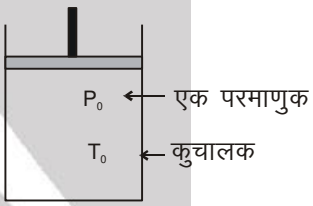
Solution : (a) जब गैस को अल्प समय में सम्पीड़ित किया जाता है तो प्रक्रम रूद्धोष्म है। अतः $T_2V_2^{\gamma-1} = T_1V_1^{\gamma-1}$

या $T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = (320\ K) \times = \left[\frac{400}{200}\right]^{0.4}$ 416 K.

ताप में वृद्धि $= T_2 - T_1 = 96$ K.

(b) जब गैस को दीर्घ समय में सम्पीड़ित किया जाता है तो प्रक्रम समतापी है। इस प्रकार ताप वातावरण के ताप 47ºC पर नियत रहता है। ताप में वृद्धि = 0.

Example 20. एक परमाणुक गैस को मुक्त रूप से चलायमान पिस्टन युक्त कुचालक बेलन में बंद किया गया है। गैस को एकाएक सम्पीड़ित करके आयतन प्रारम्भिक आयतन का 1/8 कर दिया जाता है। यदि प्रारम्भिक दाब व ताप क्रमशः P_0 और T_0 है तो अन्तिम ताप व दाब बताओ।



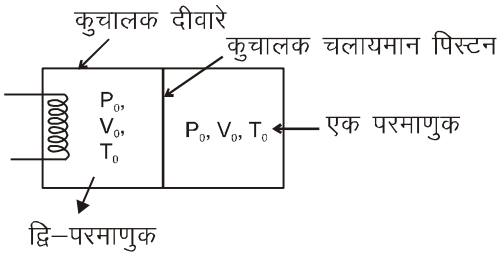
Solution : चूंकि प्रक्रम रूद्धोष्म है इसलिए

$$P_0V^{\frac{5}{3}} = P_{final}\left(\frac{V}{8}\right)^{5/3}\left[\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5R}{2}/\frac{3R}{2} = \frac{5}{3}\right] \quad \Rightarrow \quad P_{final} = 32\ P_0.$$

चूंकि प्रक्रम रूद्धोष्म है इसलिए

$$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1} \quad \Rightarrow \quad T_0V_0^{2/3} = T_{\text{अन्तिम}}\left(\frac{V_0}{8}\right)^{2/3} \quad \Rightarrow \quad T = 4T_0$$

Example 21. एक बेलनाकार बर्तन जिसकी दीवारें कुचालक है, को बराबर आयतन V_0 के दो भागों मे बांटा गया है। दोनों भागों के बीच में चलायमान कुचालक पिस्टन रखा गया है। बांयी तरफ की गैस को धीरे–धीरे गर्म किया जाता है, जिससे दांयी तरफ का आयतन $\frac{V_0}{8}$ हो जाता है। यदि प्रारम्भिक दाब व ताप क्रमशः P_0 व T_0 हो तो दोनों तरफ का ताप व दाब बताओ। हीटर द्वारा गैस को दी गई ऊष्मा भी ज्ञात करो। (प्रत्येक भाग में गैस के मोलों की संख्या n है।)



Solution : चूंकि दांयी तरफ का प्रक्रम रूद्धोष्म है इसलिए

PV^{γ} = नियतांक $\Rightarrow$ $P_0 V_0^{\gamma} = P_{\text{अन्तिम}} (V_0 / 8)^{\gamma}$ $\Rightarrow$ $P_{\text{अन्तिम}} = 32\ P_0$

$T_0 V_0^{\gamma-1} = T_{\text{अन्तिम}} (V_0/8)^{\gamma-1}$ $\Rightarrow$ $T_{\text{अन्तिम}} = 4T_0$

माना बायीं तरफ का आयतन V_1 है।

$\Rightarrow$ $2V_0 = V_1 + \frac{V_0}{8}$ $\Rightarrow$ $V_1 = \frac{15V_0}{8}$.

चूंकि दांयी तरफ वाले भाग में मोलों की संख्या नियत है। इसलिए $\frac{PV}{T}$ = नियतांक। दोनों तरफ अन्तिम दाब समान है।

$\Rightarrow$ $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_{\text{अन्तिम}} V_1}{T_{\text{अन्तिम}}}$ $\Rightarrow$ $T_{\text{अन्तिम}} = 60\ T_0$

$\Delta Q = \Delta U + W$

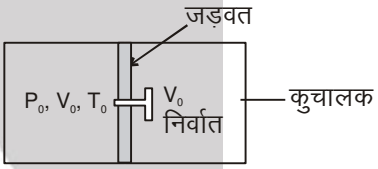
$\Delta Q = n\frac{5R}{2}(60T_0 - T_0) + n\frac{3R}{2}(4T_0 - T_0)$

$\Delta Q = \frac{5nR}{2} \times 59T_0 + \frac{3nR}{2} \times 3T_0 = 152\ nRT_0$

मुक्त प्रसार : यदि कोई निकाय जैसे गैस यदि इस प्रकार प्रसारित होती है कि ऊष्मा का आदान प्रदान न हो और न ही निकाय पर या निकाय द्वारा कोई कार्य हो तब प्रसार मुक्त प्रसार कहलाता है। $\Delta Q = 0$, $\Delta U = 0$ और $\Delta W = 0$ मुक्त प्रसार मे ताप नियत रहता है।

Solved Example

Example 22. एक कुचालक बेलन जिसका आयतन $2V_0$ है को जड़वत कुचालक दीवार से दो भागों में बांटा गया है तथा विभाजक में एक वॉल्व लगा हुआ है। दाहिने वाले भाग में निर्वात है तथा बांये वाले भाग में एक गैस भरी है जिसका दाब व ताप क्रमशः P_0 व T_0 है। यदि वॉल्व को खोल दिया जाए तो दोनों भागों का अन्तिम ताप व दाब ज्ञात करो।



Solution : ऊष्मा गतिकी के प्रथम नियम से $\Delta Q = \Delta U + W$

चूंकि गैस मुक्त रूप से प्रसारित होती है इसलिए $W = 0$, चूंकि गैस को कोई ऊष्मा नहीं दी जाती है।

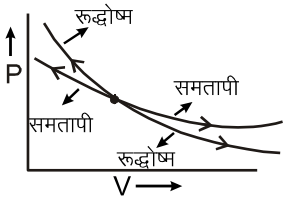
इसलिए $\Delta Q = 0$ $\Rightarrow$ $\Delta U = 0$ और ताप नियत रहता है।

$T_{\text{अन्तिम}} = T_0$

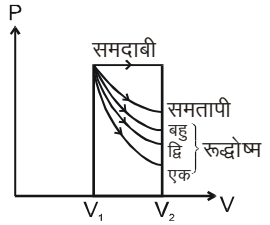
चूंकि प्रक्रम समतापी है

इसलिए $P_0 \times V_0 = P_{\text{अन्तिम}} \times 2V_0$ $\Rightarrow$ $P_{\text{अन्तिम}} = P_0/2$

समतापी व रूद्धोष्म वक्रों के ढ़ालों की तुलना



$\left|\frac{dP}{dV}\right|_{\text{रूद्धोष्म}} > \left|\frac{dP}{dV}\right|_{\text{समतापी}}$



$W_{\text{एक}} < W_{\text{द्वि}} < W_{\text{बहु}} < W_{\text{समतापी}} < W_{\text{समदाबी}}$

संपीड़न में उसी अन्तिम आयतन तक : $|W_{\text{रूद्धोष्म}}| > |W_{\text{समतापी}}|$

प्रसरण में उसी अन्तिम आयतन तक : $W_{\text{समतापी}} > W_{\text{रूद्धोष्म}}$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम की सीमायें :

ऊष्मा गतिकी का प्रथम नियम बताता है कि ऊष्मा व यान्त्रिक कार्य को परस्पर एक दूसरे में बदला जा सकता है। परन्तु यह नियम निम्न बिन्दुओ की व्याख्या नहीं कर पाता।

(i) यह ऊष्मा के प्रवाह (स्थानान्तरण) की दिशा को नहीं बताता है।

(ii) यह उन स्थितियों को नही बताता है जिनके अन्तर्गत ऊष्मा ऊर्जा यान्त्रिक कार्य में बदलती है।

(iii) यह इस बात को नही बताता है कि कोई प्रक्रम संभव है अथवा नहीं।

अक्रिय गैसों का मिश्रण

(a) अणु भार = $\frac{n_1M_1 + n_2M_2}{n_1 + n_2}$, M_1 व M_2 मोलर द्रव्यमान हैं।

(b) विशिष्ट ऊष्मा $C_V = \frac{n_1C_{V_1} + n_2C_{V_2}}{n_1 + n_2}$, $C_P = \frac{n_1C_{P_1} + n_2C_{P_2}}{n_1 + n_2}$

(c) मिश्रण के लिये $\gamma = \frac{C_{p_{mix}}}{C_{v_{mix}}} = \frac{n_1C_{p_1} + n_2C_{p_2} + ...}{n_1C_{v_1} + n_2C_{v_2} + ...}$

Solved Miscellaneous Problems

Problem 1. 2×10^{-2} m^3 आयतन के बर्तन में 47º C ताप व 4.15×10^5 N/m^2 दाब पर हाइड्रोजन और हीलियम का मिश्रण है। मिश्रण का द्रव्यमान 10^{-2} kg है। दिये गये मिश्रण में हाइड्रोजन व हीलियम का द्रव्यमान ज्ञात करो।

Solution: माना H_2 का द्रव्यमान m_1 तथा He का द्रव्यमान m_2 है –

$\therefore \quad m_1 + m_2 = 10^{-2}$ kg $= 10 \times 10^{-3}$ kg ....(1)

माना P_1 तथा P_2, H_2 तथा He के आंशिक दाब है –

$P_1 + P_2 = 4.15 \times 10^5$ N/m^2

मिश्रण के लिए $(P_1 + P_2)\, V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right) RT$

$\Rightarrow \quad 4.15 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-2} = \left(\frac{m_1}{2\times10^{-3}} + \frac{m_2}{4\times10^{-3}}\right) 8.31 \times 320$

$\Rightarrow \quad \frac{m_1}{2} + \frac{m_2}{4} = \frac{4.15\times2}{8.31\times320} = 0.00312 = 3.12 \times 10^{-3}$

$\Rightarrow \quad 2m_1 + m_2 = 12.48 \times 10^{-3}$ kg .....(2)

समीकरण (1) व (2) को हल करने पर

$m_1 = 2.48 \times 10^{-3}$ kg $\cong 2.5 \times 10^{-3}$ kg तथा $m_2 = 7.5 \times 10^{-3}$ kg.

Problem 2. एक परमाणुक गैस का दाब रेखीय रूप से 4×10^5 N m^{-2} से 8×10^5 N m^{-2} बढ़ता है। जब इसका आयतन 0.2 m^3 से 0.5 m^3 हो जाता है तो निम्न की गणना करो :

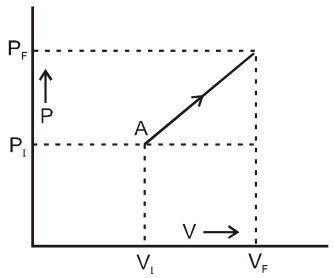
(a) गैस द्वारा किया गया कार्य (b) आन्तरिक ऊर्जा में बढ़ोतरी।

Solution : **(a)** क्योंकि यहाँ दाब, आयतन के साथ सरल रेखीय रूप में परिवर्तित है अतः गैस द्वारा किया गया कार्य -

$W = \int PdV$ = P-V वक्र का क्षेत्रफल

$W = P_I\left(V_F - V_I\right) + \frac{1}{2}\left(P_F - P_I\right) \times \left(V_F - V_I\right)$

अतः, $W = 4 \times 10^5 \times 0.3 + \frac{1}{2} \times 4 \times 10^5 \times 0.3$



अतः, $W = 1.8 \times 10^5$ J

(b) गैस की आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन निम्न होगा -

$$\Delta U = nC_V \Delta T = \frac{nR\Delta T}{(\gamma - 1)} = \frac{(P_F V_F - P_I V_I)}{(\gamma - 1)}$$

क्योंकि गैस एकलपरमाण्विक है $\gamma = (5/3)$

अतः, $\Delta U = \frac{10^5(8 \times 0.5 - 4 \times 0.2)}{[(5/3) - 1]} = \frac{3}{2} \times 10^5(4 - 0.8).$

अतः, $\mathbf{\Delta U = 4.8 \times 10^5\ J}$

Problem 3. दो बर्तन है, प्रत्येक में एक मोल एक परमाणुक गैस है। प्रत्येक बर्तन में गैस का प्रारम्भिक आयतन $8.3 \times 10^{-3}\ m^3$ तथा ताप 27º C है। प्रत्येक बर्तन को बराबर मात्रा में ऊष्मा दी जाती है। एक बर्तन में बिना आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन हुए गैस का आयतन दुगुना हो जाता है। जबकि दूसरे बर्तन में गैस का आयतन नियत रहता है। अब गैसो को मुक्त रूप से मिलने के लिए जोड़ दिया जाता है। संयुक्त गैस निकाय का अन्तिम ताप व दाब ज्ञात करो।

Solution : ऊष्मागतिकी के प्रथम नियमानुसार $\Delta Q = \Delta U + W$

अतः उस बर्तन के लिये, जिसकी आन्तरिक ऊर्जा (और इसलिए ताप भी) नियत रहती है -

$\Delta Q_1 = W = nRT \log_e (V_F/V_I)$

$\Delta Q_1 = 1 \times R \times 300 \log_e(2) = 0.693 \times 300\ R = 207.9\ R$

और उस बर्तन के लिये, जिसका आयतन नियत रहता है -

$\Delta Q_2 = \Delta U = nC_V \Delta T$ [चूंकि $W = 0$]

i.e., $\Delta Q_1 = 1(3/2)R\ \Delta T$

प्रश्न में दिये अनुसार $\Delta Q_1 = \Delta Q_2$ i.e.,

$207.9R = (3/2)R\Delta T$, $\Delta T = 138.6$

$T_F - T_I = 138.6$, $T_I = 300$ K

अतः, $T_F = 300 + 138.6 = \mathbf{438.6\ K}$

अब, जब गैसों को मुक्त रूप से मिलने दिया जाये तब

$U_1 + U_2 = U$

$n_1(C_V)_1T_1 + n_2 (C_V)_2T_2 = nC_VT$

$n = n_1 + n_2$

जहाँ $n_1 = n_2 = 1$

और $(C_V)_1 = (C_V)_2 = C_V$

अतः $1 \times 300 + 1 \times 438.6 = 2T$,

$T = 369.3$ K

मिश्रण के लिये, $PV = nRT$ से जहाँ $V = V + 2V = 3V$ और $n = n_1 + n_2 = 2$, है। हम प्राप्त करते हैं

$$P = \frac{nRT}{3V} = \frac{2 \times 8.3 \times 369.3}{3 \times 8.3 \times 10^{-3}} = \mathbf{2.462 \times 10^5\ N/m^2}$$

Problem 4. V आयतन के किसी बर्तन में बन्द गैस के मिश्रण में 1 ग्राम मोल गैस A है, जिसका $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$ है तथा दूसरी गैस B है जिसका $\gamma = \frac{7}{5}$ है। मिश्रण का ताप T है। गैसों A व B के ग्राम अणुभार क्रमशः 4 व 32 है। गैस A व B एक दूसरे से क्रिया नहीं करती है एवं गैसों को आर्दश मान सकते हो। गैस मिश्रण रूद्धोष्म प्रक्रम में समीकरण $PV^{19/13}$ = नियतांक का पालन करता है।

(a) गैसीय मिश्रण में गैस B के ग्राम मोलों की संख्या बताओ।

(b) T = 300 K पर गैसीय मिश्रण में ध्वनि की चाल ज्ञात करो।

(c) यदि T को 300 K से 1 K बढ़ा दिया जाय तो गैसीय मिश्रण में ध्वनि की चाल में प्रतिशत परिवर्तन ज्ञात करो।

Solution : **(a)** क्योंकि आदर्श गैस के लिये $C_P - C_V = R$ और $\gamma = (C_P/C_V)$,

अतः $\gamma - 1 = \frac{R}{C_V}$ या $C_V = \frac{R}{(\gamma - 1)}$

$\therefore \quad (C_V)_1 = \frac{R}{(5/3)-1} = \frac{3}{2}R$; $(C_V)_2 = \frac{R}{(7/5)-1} = \frac{5}{2}R$

तथा $(C_V)_{mix} = \frac{R}{(19/13)-1} = \frac{13}{6}R$

अब ऊर्जा संरक्षण से, $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$,

$(n_1 + n_2)\,(C_V)_{mix}\,\Delta T = [n_1(C_V)_1 + n_2(C_V)_2]\Delta T$

$(C_V)_{mix} = \frac{n_1(C_V)_1 + n_2(C_V)_2}{n_1 + n_2}$

हम जानते हैं $\frac{13}{6}R = \frac{1\times\frac{3}{2}R + n\times\frac{5}{2}R}{1+n} = \frac{(3+5n)}{2(1+n)}$

या, $13 + 13n = 9 + 15n$, **n = 2 mole.**

(b) मिश्रण का आणविक भार निम्न रूप से दिया जाता है –

$M = \frac{n_A M_A + n_B M_B}{n_A + n_B} = \frac{(1)(4)+2(32)}{1+2}$

$M = 22.67$

गैस में, ध्वनि का वेग निम्न रूप से दिया जाता है

$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

अतः गैस के मिश्रण से $v = \sqrt{\frac{(19/13)(8.31)(300)}{22.67\times10^{-3}}}$ m/s

$v \approx$ 401 m/s

(c) $v \propto \sqrt{T}$

or $v = KT^{1/2}$ .....(2)

$\Rightarrow \frac{dv}{dT} = \frac{1}{2}KT^{-1/2}$ $\Rightarrow dv = K\left(\frac{dT}{2\sqrt{T}}\right)$

$\Rightarrow \frac{dv}{v} = \frac{K}{v}\left(\frac{dT}{2\sqrt{T}}\right)$ $\Rightarrow \frac{dv}{v} = \frac{1}{\sqrt{T}}\left(\frac{dT}{2\sqrt{T}}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{dT}{T}\right)$

$\Rightarrow \frac{dv}{v}\times 100 = \frac{1}{2}\left(\frac{dT}{T}\right)\times 100 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{300}\right)\times 100 = \mathbf{0.167 = \frac{1}{6}}$

अतः चाल में प्रतिशत परिवर्तन 0.167% है।

उत्क्रमणीय तथा अनुत्क्रमणीय प्रक्रम (Reversible and Irreversible Process)

एक ऊष्मा गति प्रक्रम जो प्रारम्भिक अवस्था i से अन्तिम अवस्था f निकाय को ले जाता है, उत्क्रमणीय प्रक्रम कहलाता है यदि प्रक्रम वापस इस प्रकार लोट सकता है कि निकाय तथा वातावरण दोनों अपनी मुल अवस्था पर लोट आते है तथा ब्रंह्याण्ड़ में इसके अतिरिक्त कोई परिवर्तन नहीं है।

उत्क्रमणीय प्रक्रम होने के लिए निम्न शर्त आवश्यक है।

1. प्रक्रम की दर बहुत धीरे– धीरे होनी चाहिए। अर्थात प्रक्रम क्वासी (quasi) अवस्था में होता है जिससे निकाय प्रत्येक अवस्था पर वातावरण के साथ के साम्यवस्था में होता है अर्थात

(i) निकाय यांत्रिक साम्यवस्था में रहता है। अर्थात कोई असन्तुलित बल कार्यरत नहीं होता है

(ii) निकाय ऊष्मीय साम्यवस्था में रहता है अर्थात निकाय के सभी भाग तथा वातावरण समान ताप रहते है

(iii) निकाय यांत्रिक साम्यवस्था में रहता है अर्थात निकाय की आन्तरिक संरचना परिवर्तित नहीं होती।

2. निकाय क्षयित बल जैसे घर्षण बल, अप्रत्यास्थता, श्यानता इत्यादि से स्वतंत्र होना चाहिए क्योंकि ऐसे बलो के अतंर्गत क्षयित ऊर्जा को पुनः प्राप्त नहीं कर सकते

चूंकि उपरोक्त सभी शर्ते आदर्श प्रकृति की है अतः प्रकृति में कोई वास्तविक रूप से उत्क्रमणीय प्रक्रम नहीं होता है। वास्तव में उत्क्रमणीयता आदर्श विचार है जिसे कभी प्राप्त नहीं किया जा सकता।

लगभग उत्क्रमणीय प्रक्रम के कुछ उदाहरण निम्न है

(i) एक आदर्श गैस जो गतिशील घर्षण रहित पिस्टन युक्त बेलन में धीरे–धीरे प्रसारित या धीरे–धीरे संपीडित हो सकती है।

(ii) एक विद्युत अपघट्य को उत्क्रमणीय प्रक्रम के रूप में ले सकते है क्योंकि विद्युत अपघट्य द्वारा उत्पन्न अवरोध शून्य होता है।

(iii) स्प्रिंग का धीरे से संपीडित या प्रसारित होना उत्क्रमणीय प्रक्रम की भाति व्यवहार करता है।

अब निम्न प्रश्नों के उत्तर दिजिए।

Q.1 अनुत्क्रमणीय प्रक्रम क्या होता है।

Ans. एक प्रक्रम जो उत्क्रमणीय प्रक्रम की किसी भी शर्त को सन्तुष्ट नहीं करता है, अनुत्क्रमणीय प्रक्रम कहलाता है।
वास्तव में प्रकृति के सभी सतत् प्रक्रम अनुत्क्रमणीय प्रक्रम होते है। उदाहरण के लिए गर्म वस्तु से ठण्डी वस्तु की ओर ऊष्मा का स्थानान्तरण, गैस का सामान्य प्रसार, गैस का विसरण, घर्षण के कारण गतिमान वस्तु का रूकना इत्यादि सभी अनुत्क्रमणीय प्रक्रम है।

Q.2 अनुत्क्रमणीयता का मूल कारण क्या है।

Ans. अनुत्क्रमणीयता मुख्य रूप से दो कारणो से उत्पन्न होती है।

(i) कही प्रक्रम जैसे मुक्त प्रसार या रासायनिक समीकरण का विस्फोट जिसमें अस्थाई स्थितियां आती है।

(ii) घर्षण, श्यानता तथा अन्य क्षयित प्रभाव इसमें शामिल है

चूंकि क्षयित प्रभाव प्रत्येक जगह उपस्थित होते है तथा इन्हे केवल न्यूनतम किया जा सकता है किन्तु पूर्ण रूप से नहीं हटाया जा सकता अतः अधिकतर प्रक्रम को हम अनुत्क्रमणीय प्रक्रम लेते है।

Q.3 अनुत्क्रमणीय प्रक्रम के कुछ उदाहरण दीजिए।

Ans. अनुत्क्रमणीय प्रक्रम के उदाहरण निम्न है –

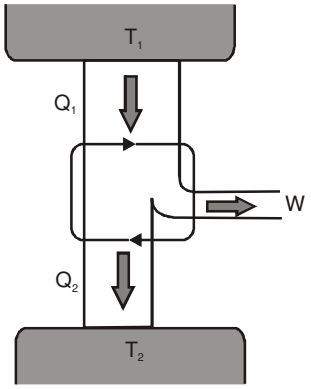
(i) अधिकतर रासायनिक अभिक्रिया अनुत्क्रमणीय होती है क्योंकि उनके अवयवों की आंतरिक संरचना में परिवर्तन होता है।

(ii) कार्बनिक पदार्थ का क्षय अनुत्क्रमीण प्रक्रम होता है।

(iii) लोहे पर जंग लगना अनुत्क्रमीण प्रक्रम होता है।

(iv) गैस का रूद्बोष्म (अचानक) संपिडन तथा प्रसार अनुत्क्रमणीय प्रक्रम होता है।

ऊष्मा इंजन



सांकेतिक रूप में ऊष्मा इंजन के सिद्धांत को चित्र द्वारा दर्शाया जा सकता है। इसमें कार्यकारी पदार्थ उच्च ताप T_1K पर ऊष्मा स्त्रोत से ऊष्मा Q_1 लेता है। यान्त्रिक व्यवस्था द्वारा इसका कुछ भाग उपयोगी कार्य W में परिवर्तित हो जाता है और शेष ऊष्मा Q ऊष्मा सिंक में निम्न ताप T_2K पर निष्कासित कर, कार्यकारी पदार्थ अपनी पूर्वावस्था में आ जाता है। परिवर्तनों की यह श्रृंखला (chain) एक चक्र (cycle) कहलाती है। प्रक्रम का भिन्न अवस्थाओं से गुजरते हुए प्रारम्भिक अवस्था में पुनः आ जाना चक्रिय प्रक्रम (cycle process) कहलाता है।

ऊष्मा इंजन की दक्षता

किसी इंजन में यांत्रिक द्वारा किया गया उपयोगी कार्य तथा इस कार्य को करने में स्त्रोत से ग्रहण की गई ऊष्मा अर्थात निविष्ट ऊष्मा का अनुपात इन्जन की दक्षता कहलती है।

$$\text{इजंन की दक्षता} = \frac{\text{उपयोगी कार्य}}{\text{ग्रहण की गई ऊष्मा}} \quad \text{या} \qquad \eta = W / Q_1$$

माना एक चक्रीय प्रक्रम में कार्यकारी पदार्थ ऊष्मीय स्त्रोत से T_1K ताप पर Q_1 ऊष्मा ग्रहण करता है और W उपयोगी कार्य करके शेष ऊष्मा Q_2 को ऊष्मा सिंक में T_2K ताप पर निष्कासित कर देता है। यदि ऊष्मा का क्षय किसी अन्य विधि द्वारा न हो तो चक्रीय प्रक्रम के अन्त में कार्यकारी पदार्थ पूर्वावस्था में आ जायेगा कार्यकारी पदार्थ की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य होगा

अतः ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से,

$dQ = dU + dW$

$Q_1 - Q_2 = 0 + dW$

$W = Q_1 - Q_2$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \qquad \text{प्रतिशत दक्षता } \eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100$$

यहाँ ऊष्मा Q_1 व Q_2 तथा कार्य W सभी को समान मात्रकों (जूल) में व्यक्त किया गया है।

अनुच्छेद

एक उष्मा इंजन प्रति मिनट 5.4×10^8 J कार्य प्रदान करता है तथा इसके बॉयलर से प्रति मिनट 3.6×10^9 J उष्मा लेता है।

अब निम्न प्रश्नो के उत्तर दीजिए:

1. कौनसे इंजन की दक्षता अधिकतम होती है।

(A) उत्क्रमणीय इंजन (B) अनुत्क्रमणीय इंजन

(C) दोनो की दक्षता समान होती है (D) कुछ कहा नही जा सकता

Ans. (A)

2. इजंन की दक्षता क्या होती है।

(A) 10% (B) 15% (C) 20% (D) 25%

Ans. (B)

3. प्रतिमिनट कितनी उष्मा व्ययित होती है।

(A) 3.06×10^9 (B) 3.06×10^8 (C) 3.6×10^9 (D) 3.6×10^8

Ans. (A)

4. यदि उष्मा इंजन जल पम्प के रूप में प्रयुक्त किया जाये तो 30 मीटर की ऊँचाई की मीनर पर प्रति मिनिट कितना पानी स्थानान्तरित होगा।

(A) 1.8×10^6 Kg (B) 1.8×10^5 Kg (C) 5.4×10^4 Kg (D) 5.4×10^3 Kg

Ans. (A)

Sol. प्रतिमिनट किया गया कार्य, निर्गत = 5.4×10^8 J

प्रतिमिनट अवशोषित ऊष्मा, निवेशी = 3.6×10^9 J

दक्षता, $\eta = \frac{5.4 \times 10^8}{3.6 \times 10^9} = 0.15$ $\quad \% \eta = 0.15 \times 100 = 15$

प्रतिमिनट व्ययित ऊष्मा ऊर्जा

प्रतिमिनट अवशोषित ऊष्मा ऊर्जा – प्रति मिनट किया गया उपयोगी कार्य

$= 3.6 \times 10^9 - 5.4 \times 10^8 = (3.6 \times 0.54) \times 10^9 = 3.06 \times 10^9$ J.

$mgh = W$

$m \times 10 \times 30 = 5.4 \times 10^8 \Rightarrow m = 1.8 \times 10^6$ kg

अनुच्छेद

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊष्मा ऊर्जा तथा यांत्रिक कार्य के मध्य आवश्यक तुल्यता को स्थापित करता है तथा यह बतलाता है कि दोनों को एक दूसरे में रूपान्तरित किया जाता है। एक किलो केलोरी ऊष्मा उत्पन्न करने के लिए 4.18 जुल कार्य की आवश्यता होती है तथा इसका व्युत्क्रम भी सत्य है। तथापि इस नियम की निम्न सीमांए है।

1. प्रथम नियम उस दिशा को प्रदर्शित नहीं करता है जिसमें परिवर्तन होता है।

उदहारण के लिए (i) जब दो भिन्न–भिन्न ताप की वस्तुऐं एक दूसरे के साथ तापीय साम्यवस्था में रखी जाती है तब ऊष्मा उच्चताप की वस्तु से निम्न ताप की वस्तु की ओर प्रवाहित होती है। हम जानते है कि ऊष्मा निम्न ताप की वस्तु से उच्च ताप की वस्तु की ओर प्रवाहित नहीं होती है यद्यपि ऊष्मा गतिकी का प्रथम नियम सदैव लागु होता है।

(ii) जब एक गतिमान कार ब्रैक लगाने पर रूक जाती है तब घर्षण के विरूद्ध किया गया कार्य ऊष्मा में रूपान्तरित हो जाता है। जब कार ठण्डी हो जाती है तब यह इसकी संपूर्ण ऊष्मा ऊर्जा के यांत्रिक कार्य में रूपान्तरण के साथ गति प्रारम्भ नहीं करती है।

(iii) जब एक गोली लक्ष्य से टकराती है तब गोली की गतिज ऊर्जा ऊष्मा ऊर्जा में रूपान्तरित हो जाती है किन्तु लक्ष्य में उत्पन्न ऊष्मा ऊर्जा वापस गोली की यांत्रिक ऊर्जा में रूपान्तरित नहीं हो सकती।

2. प्रथम नियम वर्तमान परिवर्तन के बारे में कोई विचार व्यक्त नहीं करता है।

हमारे प्रेक्षण तथा अनुभव यह बताते है कि यांत्रिक कार्य के ऊष्मा में रूपान्तरण पर कोई प्रतिबंध प्रतित नहीं होता है। किन्तु उत्क्रमणीय प्रक्रम में कई प्रतिबंध होते है अर्थात ऊष्मा ऊर्जा के यांत्रिक ऊर्जा में रूपान्तरण में कई अवरोध होते है। हम जानते है कि ऊष्मा स्वतः यांत्रिक ऊर्जा में रूपान्तरित नहीं होती है इस उद्देश्य के लिए बाह्य कारक की आवश्यकता होती है जो ऊष्मा इंजन कहलाता है।

ऐसा कोई ऊष्मा इंजन नहीं हो सकता जो स्त्रोत से ऊष्मा ऊर्जा ग्रहण करके सम्पूर्ण ऊर्जा को यांत्रिक ऊर्जा में रूपान्तरित कर सकें। ऊष्मा गतिकी का प्रथम नियम इसके बारे में कोई विचार व्यक्त नहीं करता।

3. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊष्मा स्त्रोत के बारे में कोई सूचना नहीं देता है। अर्थात यह गर्म वस्तु है या ठण्डी वस्तु है

ऊष्मागतिकी का द्वितिय नियम

(i) केल्विन एवं प्लांक का कथन : –

कोई भी ऐसा इंजन बनाना सम्भव नहीं है जो चक्रिय में कार्य करते हुए केवल एक स्त्रोत से ऊष्मा प्राप्त करके उसे पूर्णतः कार्य में परिवर्तित कर सके तथा कार्यकारी पदार्थ अप्रभावित रहे। अन्य रूप में कार्य की सतत् प्राप्ति के लिए ऊष्मा स्त्रोत के साथ सिंक का होना आवश्यक है। केल्विन के मूल कथन के अनुसार किसी निकाय से निरंतर ऊष्मा प्राप्त कर उसके ताप को परिवेश के ताप से कम करके कार्य की सत्त प्राप्ति असम्भव है।

उपर्युक्त कथन को कार्नो इंजन के इस तथ्य से समझाया जा सकता है कि जब कार्नो इंजन में ऊष्मा स्त्रोत एवं ऊष्मा सिंक के ताप बराबर होता है तो इंजन की दक्षता शून्य होती है अर्थात् उससे कार्य प्राप्त करना सम्भव नहीं होता है। स्त्रोत से ली गई ऊष्मा को पूर्ण रूप से कार्य में परिवर्तित करने का तात्पर्य है कि सिंक को कोई ऊष्मा निष्कासित न की जाय। यह अवस्था सिंक का ताप

0K रख कर ही प्राप्त हो सकती है जो असम्भव है।

इस प्रकार के इंजन में केवल एक ही ऊष्मा स्त्रोत से कार्य की सतत् प्राप्ति भी असम्भव होती है। अतः ऊष्मा सिंक होना तथा कुछ ऊष्मा निष्कासित करना अनिवार्य होता होती है।

(ii) क्लासियस का कथन :–

कोई भी ऐसी युक्ति सम्भव नहीं है जो चक्रिय प्रक्रम में कार्य करते हुए बिना किसी बाह्य कर्मक (ऐजन्सी) की सहायता के निम्न ताप पर (ठण्डे) निकाय से ऊष्मा ग्रहण करके अपेक्षाकृत अधिक ताप पर किसी अन्य निकाय को ऊष्मा स्थानांतरित कर सके अर्थात् ऊष्मा का स्वतः निम्न ताप वाले निकाय से उच्च ताप वाले निकाय की ओर प्रवाहित होना असम्भव होता है।

उपर्युक्त कथन रेफ्रिजरेटर के सिद्धांत पर आधारित है जिसमें कार्यकारी ठण्डे निकाय से ऊष्मा लेता है और गर्म निकाय को ऊष्मा निष्कासित करता है। ऐसा करने के लिये कार्यकारी पदार्थ बाह्य कर्मक कुछ कार्य करना आवश्यक होता है।

अब निम्न प्रश्नों के उत्तर दिजिए।

1. कार्य के पूर्णरूप से उष्मा में परिवर्तन होने में क्या निषेध है।

Ans. ऊष्मागतिकी का द्वित्तिय नियम

2. क्या यांत्रिक कार्य को पूर्णरूप से उष्मा में रूपान्तरित कर सकते है। क्या इसका व्यत्क्रम सम्भव है।

Ans. यांत्रिक कार्य पूर्ण रूप से उष्मा में परिवर्तित हो सकता है किन्तु किसी वस्तु से ली गई उष्मा पूर्ण रूप से उपयोगी कार्य में परिवर्तित नहीं हो सकती

3. **वक्तव्य-1 :** किसी निकाय के लिए यह संम्भव नही है कि बाहय कारक के बिना निम्न ताप पर एक वस्तु से उच्च ताप पर अन्य वस्तु में उष्मा का स्थानान्तरण किया जा सके।

वक्तव्य -2 : उष्मा गतिकी के द्वित्तीय नियम का उल्लंघन संभव नहीं है।

तब निम्न में से कौनसा सत्य है।

(A) T, T (B) T, F (C) F, T (D) F, F

Ans. **(A)**

4. " ऊष्मा स्वतः ही कम ताप वाली वस्तु से अधिक ताप वाली वस्तु की ओर प्रवाहित नही हो सकती" यह कथन है :

(A) ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का (B) संवेग संरक्षण के नियम का

(C) द्रव्यमान संरक्षण के नियम का (D) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का

Ans. **(A)**

Sol. ऊष्मा स्वतः ही निम्न ताप से उच्च ताप की ओर प्रवाहित नही हो सकती। यह ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम के संगत अनुसार है।

अनुच्छेद

ऐन्ट्रॉपी

दाब, आयतन, ताप तथा आन्तरिक ऊर्जा इत्यादि की तरह हम निकाय के अन्य ऊष्मागतिक चर पर विचार करते है जिसे ऐन्ट्रॉपी कहते है। दी गई साम्यवस्था में निकाय की एक निश्चित ऐन्ट्रॉपी होती है। यदि निकाय का ताप T (परम पैमाने में) तथा अल्प ऊष्मा की मात्राΔQ निकाय को दी गई है तब हम निकाय की ऐन्ट्रॉपी में परिवर्तन को निम्न प्रकार परिभाषित करते है

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \qquad .....(i)$$

सामान्यतः निकाय का ताप प्रक्रम के दोरान परिवर्तित हो सकता है। यदि प्रक्रम उत्क्रमणीय प्रक्रम है तो एन्ट्रॉपी में परिवर्तन को निम्न प्रकार परिभाषित कर सकते है।

$$S_f - S_i = \int_i^f \frac{\Delta Q}{T} \qquad .....(ii)$$

रूद्वोष्म उत्क्रमणीय प्रक्रम में निकाय को कोई ऊष्मा नहीं दी जाती है। ऐसे प्रक्रम में निकाय की ऐन्ट्रॉपी नियत रहती है निकाय में ऐन्ट्रॉपी अव्यवस्था से सम्बन्धित होती है। अतः गैस के दिये गये नमूने में सभी अणु समान वेग से समान दिशा में गति करते है तब एन्ट्रॉपी न्यूनतम होगी जबकि वास्तविक स्थिति में अणु सभी दिशाओं में अनियमितता से गति करते है ऐन्ट्रॉपी के बारे में एक रूचिकर तथ्य यह है कि यह संरक्षित राशि नहीं है। सर्वाधिक रूचिकर तथ्य यह है कि ऐन्ट्रॉपी को उत्पन्न किया जा सकता है किन्तु नष्ट नहीं किया जा सकता ऊष्मा गति के द्वितिय नियम को एन्ट्रॉपी के पदों में निम्न प्रकार व्यक्त कर सकते है

यह संभव नहीं है कि किसी प्रक्रम में विलगित निकाय की ऐन्ट्रॉपी घट जाये

निम्न प्रश्नों के उत्तर दिजिए।

1. किसकी एन्ट्रॉपी अधिकतम होगी, जन समूह या सेना के जवान

Ans. अनियमितता के कारण जनसमूह की एंट्रोपी अधिकतम होती है

2. रूद्वोष्म प्रक्रम के लिए एन्ट्रॉपी में परिवर्तन क्या होता है।

Ans. **शून्य**

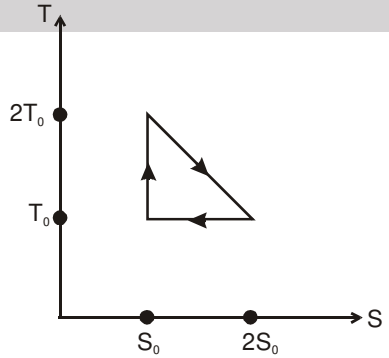
3. जब हम पानी से बर्फ के घन को बनाते है तब पानी की एन्ट्रॉपी

(A) परिवर्तित नही होती (B) बढती है

(C) घटती है (D) बढ या घट सकती है प्रयुक्त प्रक्रम पर निर्भर करती है।

Ans. **(C)**

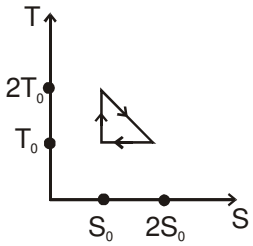
4. चित्र में ऊत्क्रमणीय इंजन के चक्र के लिए ताप–एन्ट्रोपी आरेख दर्शाया गया है। इसकी दक्षता होगी।



(A) $\frac{1}{2}$ (B) $\frac{1}{4}$ (C) $\frac{1}{3}$ (D) $\frac{2}{3}$

Ans. **(C)**

Sol. चित्रानुसार



$Q_1 = T_0S_0 + \frac{1}{2} T_0S_0 = \frac{3}{2} T_0S_0$

$Q_2 = T_0 (2S_0 - S_0) = T_0S_0$

$Q_3 = 0$

$\eta = \frac{W}{Q_1}$

$= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$

अनुच्छेद

कार्नो चक्र एवं कार्नो का आदर्श इंजन

ऊष्मा इंजन की कार्य विधि के अध्ययन के लिये सर्वप्रथम कार्नो (sadi Carnot) ने सन् 1824 में एक सैद्धांतिक इंजन की कल्पना की जिसमें ऊष्मा का उपयोगी कार्य में परिवर्तन के अतिरिक्त अन्य किसी प्रकार से क्षय, नहीं हो तो ऐसे इंजन की दक्षता

अधिकतम होगी। कार्नो ने अपने अध्ययन से यह जानने का प्रयत्न किया क्या वह अधिकतम दक्षता 100% हो सकती है। **कार्नो के इंजन में कार्यकारी पदार्थ की निश्चित अवस्था से प्रारम्भ कर विभिन्न उत्क्रमणीय प्रक्रमों द्वारा विभिन्न अवस्थाओं में से गुजरते हुए पुनः प्रारंभिक अवस्था में आना, कार्नो चक्र (carnot's cycle) कहलाता है।** कार्नो के आदर्श इंजन को चित्र में दर्शाया गया है। इस इंजन के मुख्य भाग भिन्न है :

(i) ऊष्मा स्त्रोत (Heat source)

यह उच्च ताप T_1K पर एक अनन्त ऊष्मा धारिता वाला ऊष्मा भंडार (heat reservoir) होता है जिससे कार्यकारी पदार्थ द्वारा ऊष्मा ग्रहण करने पर भी इसका ताप नियत बना रहता है। इसका ऊपरी पृष्ठ पूर्णतः सुचालक होता है ताकि कार्यकारी पदार्थ स्त्रोत से ऊष्मा का ग्रहरण कर सके।

(ii) यांत्रिक व्यवस्था एवं कार्यकारी पदार्थ (Mechanical arrangement and working substance)

यान्त्रिक व्यवस्था के रूप में एक खोखला सिलिंडर लेते हैं जिसकी दीवारे पूर्णतः कुचालक तथा आधार पूर्णतः सुचालक होते है इसमें पूर्णतः कुचालक पदार्थ से बना लगा होता है जो बिना घर्षण हानि के सिलेंण्डर में गति कर सकता है। सिलिंडर में आदर्श गैस (ideal gas) कार्यकारी पदार्थ के रूप में भरी होती है।

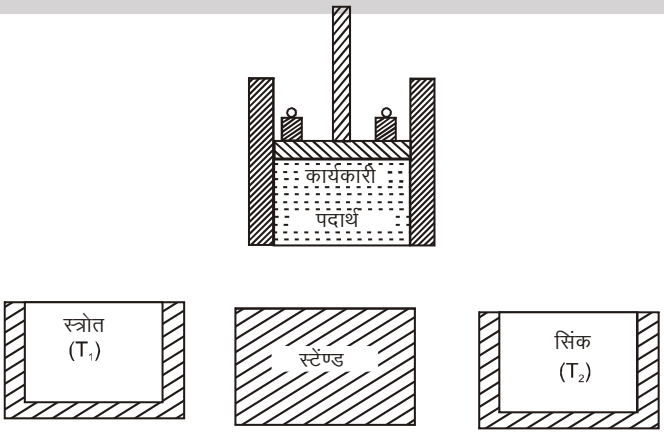


Fig. कार्नो आदर्श ऊष्मा इंजन

(iii) ऊष्मा सिंक (Heat sink)

निम्न ताप T_2 K पर यह एक अनन्त धारिता वाला ऊष्मा भंडार (heat reservoir) होता है जिसमें कार्यकारी पदार्थ द्वारा अनुपयोगी ऊष्मा निष्कासित की जाती है परन्तु इसका ताप नियत रहता है। इसका ऊपरी पृष्ठ पूर्णतः सुचालक होता है ताकि कार्यकारी पदार्थ की ऊष्मा का इसमें निष्कासन कर सकें।

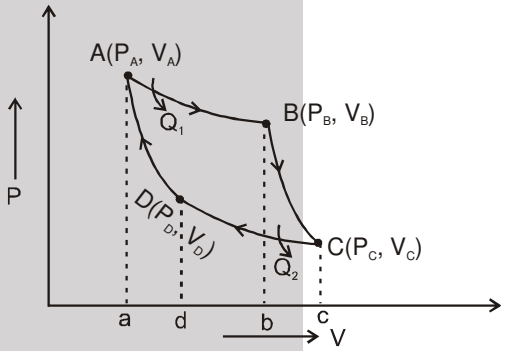
(iv) स्टेण्ड (stand)

यह एक पूर्णतः कुचालक पदार्थ का स्टेण्ड होता है जिस पर सिलिंडर को रख कर बिना ऊष्मा हानि के पदार्थ का रूद्धोष्म प्रसारण किया जा सकता है।

कार्यविधि (Working)

कार्नो के अनुसार उपर्युक्त प्रकार के आदर्श इंजन से अधिकतम कार्य प्राप्त करने के लिये इसे एक निश्चित क्रम में उत्क्रमणीय प्रक्रमों के द्वारा प्रारम्भिक अवस्था में लाया जाता है। पूर्ण कार्नो चक्र के चार चरणों में विभाजित कर सकते है। कार्नो चक्र की प्रक्रियाओं को एक सूचक आरेख (indicator diagram) चित्र द्वारा निरूपित किया जा सकता है। यह आरेख विभिन्न चरणों में कार्यकारी पदार्थ, आदर्श गैस,के दाब P व आयतन V के परिवर्तनों को प्रदर्शित करता है।

(i) प्रथम प्रक्रम : समतापी प्रसार (Isothermal expansion)



सर्वप्रथम सिलिंडर को ऊष्मा स्त्रोत पर रखते है जिससे कार्यकारी पदार्थ का ताप ऊष्मा स्त्रोत के ताप के बराबर T_1K हो जाता है। माना इस ताप पर कार्यकारी पदार्थ का दाब P_A तथा आयतन V_A है। यह कार्यकारी द्रव्य की प्रारम्भिक अवस्था कहलाती है। इसे चित्र में अवस्था A दर्शाया गया है।

अब पिस्टन पर धीरे–धीरे दाब घटकर इसे ऊपर खिसकने दिया जाता है जिससे गैस का समतापी प्रसार हो। इस प्रसार में गैस कुछ ऊष्मा Q_1 स्त्रोत से ग्रहण कर अवस्था B पर पहुंच जाती है। यह परिवर्तन सूचक आरेख में वक्र AB द्वारा निरूपित किया गया है। अवस्था B पर माना गैस का दाब P_B तथा आयतन V_B है।

चूंकि समतापी प्रसार में गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य होता है इसलिये ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से समतापी प्रसार में ग्रहण की गई ऊष्मा गैस द्वारा किये गये कार्य के बराबर होती है।

$$Q_1 = W_1 = \int_A^B PdV = \text{क्षे}.\,ABbaA \qquad .....(1)$$

यदि गैस का द्रव्यमान एक मोल लें तो T_1K ताप पर समतापी प्रक्रम के लिए

$PV = RT_1$

$$\therefore\ Q_1 = W_1 = RT_1\int_A^B \frac{dV}{V} = RT_1 \log_e \frac{V_B}{V_A} \qquad .....(2)$$

(ii) द्वितीय प्रक्रम : रूद्धोष्म प्रसार (Adiabatic expansion)

अब सिलिंडर को ऊष्मा स्त्रोत से हटाकर कुचालक स्टेंड पर रखते हैं ताकि कार्यकारी पदार्थ बाह्य परिवेश से पूर्णतया विलगित (isolated) हो जाये। पिस्टन पर पुनः धीरे–धीरे दाब घटाकर गैस का स्वतः रूद्धोष्म प्रसार होने दिया जाता है। रूद्धोष्म प्रसार इतना होने दिया जाता है। रूद्धोष्म प्रसार इतना होने दिया जाता है कि गैस का ताप घट कर ऊष्मा सिंक के ताप के बराबर T_2K, हो जाये। माना इस प्रकार गैस अवस्था C पर पहुंच जाती है जिस पर दाब P_c व आयतन V_c है। इस रूद्धोष्म प्रसार को सूचक आरेख में BC वक्र द्वारा दर्शाया गया है।

रूद्धोष्म प्रसार में गैस द्वारा किया गया कार्य

$$W_2 = \int_B^C PdV = \text{क्षे}.\,BCcbB$$

∵ रूदोष्म प्रसार के लिये अवस्था समीकरण है

$PV^\gamma = K$ जहाँ नियतांक γ गैस की दो विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात है,

$(\gamma = C_P / C_v)$

अतः इस प्रक्रम के लिये $P_B V_B^\gamma = P_C V_B^\gamma = K$

जिसमें $W_2 = K\int_B^C \frac{PV}{V^\gamma} = \frac{KV_B^{1-\gamma} - KV_C^{1-\gamma}}{\gamma - 1}$

$$\therefore W_2 = \frac{P_B V_B^\gamma V_B^{1-\gamma} - P_C V_C^\gamma V_C^{\gamma-1}}{\gamma - 1} = \frac{P_B V_B - P_C V_C}{\gamma - 1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \qquad .....(4)$$

क्योंकि गैस समीकरण से ४

$P_BV_B = RT_1 = RT_1$ तथा $P_C V_C = RT_2$

इस प्रक्रम पश्चात् गैस का दाब इतना कम हो जाता है कि गैस में और अधिक कार्य करने की क्षमता नहीं रह जाती है। अतः अब गैस को पुनः प्रारम्भिक अवस्था में लाने के लिये दाब को दो चरणों में बढ़ाते है।

(iii) तृतीय प्रक्रमः समतापी संपीडन (Isothermal compression)

अब सिलिंडर को कुचालक स्टेंड से हटाकर ऊष्मा सिंक पर रखते है। और धीरे–धीरें गैस को पिस्टन इतना संपीडित करते हैं कि गैस का ताप T_2K पर रहे और अवस्था D पर पहुंच जाये। माना अवस्था D पर गैस का दाब P_D व आयतन V_D है। इस समतापीय संपीडन को वक्र CD द्वारा दर्शाया गया है। इस संपीडन में ताप नियत होने के कारण गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन शून्य होता है जिसके कारण संपीडन के समय गैस से ऊष्मा Q_2 निष्कासित होती है। अतः ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम से समतापी संपीडन CD में किया गया कार्य

$$W_3 = Q_2 = \int_C^D PdV = \text{क्षेत्रफल CDdc} \quad .....(5)$$

अवस्था से $P_c V_c = P_D = V_D = RT_2$

$$\therefore Q_2 = W_3 = RT_2 \log_e \frac{V_D}{V_C} = -RT_2 \log \frac{V_C}{V_D} \quad .....(6)$$

(iv) चतुर्थ प्रक्रम : रूद्धोष्म संपीडन (Adiabatic compresssion)

अन्तिम प्रक्रम के रूप में सिलिंडर को ऊष्मा सिंक से हटाकर कुचालक स्टेंड पर रखते है और पिस्टन द्वारा गैस को इतना संपीडित करते हैं कि गैस अपनी प्रारम्भिंक अवस्था (P_A, V_A, T_1) पर पहुंच जाये। इस संपीडन को वक्र DA द्वारा दर्शाया गया है। इस स्थिति में कार्यकारी पदार्थ, गैस, बाह्य वातावरण से विगल होने के कारण इसका संपीडन रूद्धोष्म होता है।

∴ DA संपीडन में किया गया कार्य

$$W_4 = \int_D^A PdV = \text{क्षेत्रफल DAadD} \quad .....(7)$$

रूद्धोष्म संपीडन के लिये अवस्था समीकरण से,

$P_A V_A^{\gamma} = P_D V_D^{\gamma} = K$

अतः द्वितीय प्रक्रम में प्रयुक्त परिकलन विधि के अनुसार

$$W_4 = -\frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \quad .....(8)$$

(b) कार्नो चक्र में किया गया नेट कार्य

उपरोक्त चारों क्रियाओं से सम्पन्न पूर्ण प्रक्रम को कार्नो चक्र कहते है। इस चक्र के प्रथम दो चरणों में गैस (इंजन) द्वारा कार्य किया जाता है। (W_1 व W_2 का मान धनात्मक है) तथा अंतिम दो चरणों में गैस पर कार्य किया जाता है (W_3 व W_4 के मान ऋणात्मक है)

कार्नो चक्र में किया गया नेट कार्य

$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad (W_2 = W_4)$

समीकरण (1), (3), (5) व (7) से मान प्रयुक्त करने पर

W = क्षेत्रफल ABbaA+ क्षेत्रफल BCcbB–क्षेत्रफल CDdcC–क्षेत्रफल DAadD = क्षेत्रफल ABCD

= क्षेत्रफल ABbaA – क्षेत्रफल CDdcC = क्षेत्रफल ABCDA

कार्यकारी पदार्थ चक्र के माध्यम से बार–बार लिया जा सकता है। इस तरह से ईंजन द्वारा ज्यादा से ज्यादा कार्य किया जा सकता है। एक कार्नोट ईंजन की तापीय दक्षता को एक चक्र में बाह्य किया गया कार्य का स्त्रोत से निकाली गई ऊष्मा की संगत मात्रा से अनुपात के रूप में पारिभाषित किया गया है। चुंकि कार्यकारी पदार्थ इसकी प्रारम्भिक अवस्था से पुनः स्थापित होता है। इसलिए इसकी आन्तरिक ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं है।

$$W = Q_1 - Q_2$$

W, Q_1 तथा Q_2 सभी समान इकाइयों में नापी गई है। अर्थात् या तो ऊष्मा की इकाइयों में या कार्य की इकाइयों में

तापीय दक्षता, $\eta = \frac{\text{बाह्य किया गया कार्य}}{\text{निकाली गई ऊष्मा}}$ या $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

यहाँ, $Q_1 = W_1 = RT_1 \log_e \frac{V_2}{V_1}$ तथा $Q_2 = W_3 = RT_2 \log_e \frac{V_3}{V_4}$

अब, $\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{RT_2\log_e\left(\frac{V_3}{V_4}\right)}{RT_1\log_e\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$ या $\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}\frac{\log_e\left(\frac{V_3}{V_4}\right)}{\log_e\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}$ .....(i)

बिन्दु B तथा C समान रूद्धोष्म पर स्थित है।

$\therefore \quad T_1V_2^{\gamma-1}=T_2V_3^{\gamma-1}$ .....(ii)

बिन्दु A तथा D समान रूद्धोष्म पर स्थित है।

$\therefore \quad T_1V_1^{\gamma-1}=T_2V_4^{\gamma-1}$ .....(iii)

(2) को (3) से भाग देनें पर हम प्राप्त करते है

$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}=\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1}$ या $\frac{V_2}{V_1}=\frac{V_3}{V_4}$ समीकरण (i) में रखने पर

तब समीकरण (1) से, $\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}\Rightarrow\eta=1-\frac{T_2}{T_1}$

परिणाम (i) कार्नोट के आदर्श ईंजन की दक्षता कार्यकारी पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर नहीं है। यह केवल स्त्रोत तथा सिंक के तापमान पर निर्भर करती है। दो तापमानों के बीच ज्यादा अन्तर, कार्नोट ईंजन की दक्षता और ज्यादा होना है।

(ii) दक्षता सभी उत्क्रमणीय ईंजन जो T_1 तथा T_2 के तापमानों के बीच कार्य कर रहे है, के लिए समान है।

(iii) η हमेशा एक से कम है। η का मान केवल $T_2 = 0$ पर ही एक हो सकता है। अर्थात् यदि सिंक परम शून्य तापमान पर है। चूंकि परम शून्य तापमान प्राप्त नहीं हो सकता है, इसलिए η एक के बराबर नहीं हो सकता है।

(iv) जब $T_2 = T_1$, तब $\eta = 0$.

इसलिए, ऊष्मा तापमान अन्तर के बिना कार्य में नहीं बदली जा सकती है। दूसरे शब्दों में, ऊष्मा कार्य बदली जा सकती है यदि केवल एक सिंक एक निम्न तापमान पर उपलब्ध है। यह समझाता है कि क्यों समुद्री जल की ऊष्मा ऊर्जा की अधिक मात्रा को यांत्रिक कार्य प्राप्त करने के लिए काम में नहीं ले सकते हैं।

SOLVED EXAMPLE

Example 1. कार्यकारी पदार्थ की प्रकृति द्वारा कार्नो इंजन की दक्षता किस प्रकार प्रभावित होती है

Solution : दक्षता कार्यकारी पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर नहीं करती

Example 2. एक कार्नो इंजन 227ºC तथा 127ºC के मध्य कार्यरत है यदि यह उच्च ताप पर 60×10^4 कैलोरी उष्मा अवशोषित करता है तब इंजन द्वारा किया गया प्रतिचक्र कार्य होगा।

Solution : $T_1 = (227 + 273)\ K = 500\ K$

$T_2 = (127 + 273)\ K = 400\ K$

$\eta=1-\frac{T_2}{T_1}=1-\frac{400}{500}=\frac{100}{500}=\frac{1}{5}$

किन्तु $\eta=\frac{W}{Q_1}$ or $W = \eta Q_1$ या $W=\frac{1}{5}\times 60\times 10^4\ cal$ $[\because Q_1 = 60 \times 10^4\ cal]$

$= 12 \times 10^4\ cal = 12 \times 10^4 \times 4.2\ J [\because 4.2\ J = 1\ cal] = 5.04 \times 10^5\ J$

Example 3. एक कार्नो चक्र प्रारम्भ में वायु द्वारा 927ºC पर कार्य करता है। प्रत्येक अवस्था सम्पीडन या प्रसार को 1 : 32 के अनुपात में प्रदर्शित करती है गणना कीजिए (i) न्यूनतम तापमान (ii) चक्र की दक्षता, दिया गया है : $\gamma = 1.4$.

Solution : $T_1 = (927 + 273)\ K = 1200\ K$; $\frac{V_1}{V_2}=\frac{1}{6},\gamma=1.4$

(i) $T_2\ V_2^{\gamma-1} = T_1V_1^{\gamma-1}$ or $T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$ or $T_2 = 1200\left(\frac{1}{32}\right)^{1.4-1} = 300\ K$

(ii) दक्षता $\eta=1-\frac{T_2}{T_1}=1-\frac{300}{1200}=0.75$

% प्रतिशत दक्षता $\eta = 0.75 \times 100 = 75\%$

EXERCISE

1. क्या कार्नो इंजन को प्रयोगिक रूप में कार्यान्वित कर सकते है।

2. एक कार्नो उतक्रमणीय उष्मा इंजन 300K तथा 600K के मध्य कार्य करता है। संचालन के प्रत्येक चक्र में इंजन 600 K के स्रोत से 1000 J ऊर्जा लेता है, गणना कीजिए।
(i) 300 K पर सिंक को विसर्जित ऊर्जा (ii) इंजन द्वारा किया गया बाहय कार्य (iii) इंजन की दक्षता

3. एक शक्ति केन्द्र लगभग 473ºC पर अतितापित भाप (उच्च दाब पर) को प्रयुक्त करता है। ठण्डे सिंक के संगत ताप जिस पर भाप वायुमण्डलीय दाब पर संघनित हो जाती है, 100ºC है। शक्ति केन्द्र के लिए अधिकतम सैद्धांतिक दक्षता क्या होगी

4. एक कार्नो इंजन बर्फ बिन्दु तथा भाप बिन्दु के मध्य कार्य करता है। यदि हम दक्षता को निम्न स्थिति में 20% से बढाना चाहते है (a) स्रोत का तापमान नियत रख कर (b) सिंक का तापमान नियत रख कर। दोनो स्थितियों में ताप की गणना कीजिए। निम्न में से कौनसी स्थिति को आप प्रयुक्त करेगें तथा क्यो?

5. दो कार्नो इंजन A तथा B श्रेणी क्रम में कार्यरत है। प्रथम एक A 800 K पर उष्मा ग्रहण करता है तथा T K ताप पर भण्डार को उष्मा विसर्जित करता है। द्वितीय इंजन B प्रथम इंजन द्वारा विसर्जित उष्मा को ग्रहण करता है तथा निम्न स्थितियो के लिए ताप T K में होगा।
(i) दोनो इंजन की निर्गत समान है। (ii) दोनो इंजन की दक्षता समान है।

6. कार्नो चक्र के लिए ताप एन्ट्रॉपी रेखा चित्र खीचिये तथा दक्षता की गणना कीजिए तथा सिद्व कीजिए कि यह गर्म तथा ठंडी वस्तुओं के ताप पर निर्भर करती है।

7. कार्नो इन्जन में कार्यकारी पदार्थ के रूप में एक द्विपरमाणुक आदर्श गैस का प्रयोग किया जाता है। यदि चक्र के रूद्धोष्म प्रसार भाग के दौरान गैस का आयतन V से 32 V तक बढ़ता है, तब इंजन की कार्य क्षमता है
(A) 0.5 (B) 0.75 (C) 0.99 (D) 0.25

8. तापमान T_1 एवं T_2 के बीच कार्य कर रहे एक कानों इंजन की दक्षता $\frac{1}{6}$ है। जब T_2 को 62 K से घटा दिया जाता है, तब इसकी दक्षता बढ़कर $\frac{1}{3}$ हो जाती है। तब, क्रमशः T_1 एवं T_2 है :
(A) 372 K और 310 K (B) 372 K और 330 K (C) 330 K और 268 K (D) 310 K और 248 K

9. कौन–सा कथन असत्य है ?
(A) सभी उत्क्रमणीय चक्रों की दक्षता समान होती है
(B) उत्क्रमणीय चक्रों की दक्षता, अनुत्क्रमणीय चक्रों की दक्षता से अधिक होती है
(C) कार्नो चक्र उत्क्रमणीय है
(D) सभी चक्रो में कार्नो चक्र की दक्षता अधिकतम होती है

10. कार्नो इंजन की दक्षता 100% नही होती, क्योकि हम :
(A) विकिरण हानि नही रोक सकते (B) आदर्श स्रोत प्राप्त नही कर सकते
(C) परम शून्य ताप नही प्राप्त कर सकते (D) घर्षण को शून्य नही कर सकते

11. एक कार्नो इंजन भंडार स्रोत से 627ºC पर 3×10^6 कैलोरी ऊष्मा लेता है, व 27ºC पर सिंक को देता है। इंजन द्वारा किया गया कार्य है :
(A) 4.2×10^6 J (B) 8.4×10^6 J (C) 16.8×10^6 J (D) शून्य

12. एक कार्नो इन्जिन, जिसकी दक्षता 40% है, 500K के तापमान पर व्यवस्थित एक स्रोत से ऊष्मा लेता है। यह इच्छा की जाती है कि एक इंजन की दक्षता 60% हो। तब, उसी निष्कास (सिंक) तापमान के लिये स्रोत का तापमान होना चाहिए
(A) एक कार्नो इन्जिन की दक्षता 50% से अधिक नहीं बनायी जा सकती है।
(B) 1200 K
(C) 750 K
(D) 600 K

Assertion and Reason Problems

प्रत्येक समस्या में कथन A दिये गये है तथा कारण R के संगत वकतव्य उसके ठीक नीचें दिए गये है। वकतव्यों में से सही का चयन कीजिए

(A) यदि A तथा R दोनों सही है तथा R,A की सही व्याख्या करता है।

(B) यदि A तथा R दोनों सही है तथा R,A की सही व्याख्या नहीं करता है।

(C) यदि A सही है किन्तु R गलत है

(D) यदि A तथा R दोनों गलत है।

(E) यदि A गलत है किन्तु R सहीं है।

13. **कथन (A) :** कार्नो इंजन की दक्षता को स्रोत के ताप द्वारा मुख्य रूप से निर्धारित किया जाता है। इसके लिए सिंक का ताप आवश्यक नही है

कारण (R) : कार्नो इंजन की दक्षता 100% हो सकती है यदि स्रोत का ताप अनन्त हो या सिंक का ताप 0 K हो।

14. **कथन (A) :** स्रोत तथा सिंक के दिये गये दो तापो के मध्य कार्य करने वाला ऐसा कोई उष्मा इंजन नहीं है जिसकी दक्षता समान तापो के मध्य कार्य करने वाले पूर्ण उतक्रमणीय इंजन की दक्षता से अधिक प्रभावी हो सकती है।

कारण (R) : अनुत्क्रमणीय इंजन उच्चतम दक्षता वाला इंजन होता है।

अनुच्छेद

कार्नो इंजन तथा रेफ्रिजरेटर (ऊष्मा पंप)

जब कोई इंजन उच्च ताप T_1K पर ऊष्मा Q_1 ग्रहण करता है और यह कुछ उपयोगी कार्य W करके शेष ऊष्मा $Q_2 = Q_1–W$ को निम्न ताप T_2 K पर निष्कासित करता है तो इस प्रकार स्त्रोत से ली गई ऊष्मा का कुछ भाग उपयोगी कार्य में रूपान्तरित हो जाता है। इस युक्ति को ऊष्मा इंजन कहते है। इसका सांकेतिक सिद्धांत चित्र में दर्शाया गया है। इसके अवस्था परिवर्तन चक्र को सूचक आरेख चित्र में चक्र ABCD द्वारा प्रदर्शित किया गया है। जिसे कार्नो चक्र भी कहते है।

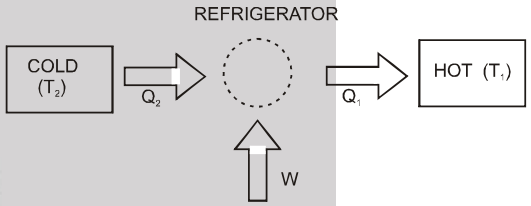


Fig. Refrigerator

यह कार्नो चक्र पूर्णतः उत्क्रमणीय होता है अतः इस प्रक्रम को विपरित दिशा में भी संचालित किया जा सकता है अर्थात् यदि यह निम्न ताप T_2K पर Q_2 ऊष्मा ग्रहण करें और इस पर बाह्य एजेंसी से कार्य W करवाया जाये तो इंजन कुल ऊष्मा $Q_2 + W = Q_1$ को उच्च ताप पर निष्कासित करेगा। इस प्रकार विपरीत क्रम में यह प्रक्रम रेफ्रिजरेटर से समान कार्य करता है क्योंकि यह प्रक्रम निम्न ताप से उच्च ताप की ओर ऊष्मा का स्थानान्तरण करता हैं। रेफ्रिजरेटर का सांकेतिक सिद्धांत चित्र मे दर्शाया गया है।

इस प्रकार यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि कार्नो चक्र ऊष्मा इंजन तथा रेफ्रिजरेटर दोनों के समान कार्य कर सकता है। कार्नो चक्र को रेफ्रिजरेटर (शीतलक) की भांति उपयोग करने पर इसकी क्षमता इसके कार्य गुणांक (work performance) द्वारा ज्ञात की जाती है। यदि निम्न

ताप T_1K पर रेफ्रिजरेटर द्वारा आवशोषित ऊष्मा = Q_2

उच्च ताप T_1K पर रेफ्रिजरेटर निष्कासित ऊष्मा = Q_1

$\therefore$ कार्यकारी पदार्थ (आदर्श गैस) पर किया गया कार्य = $W = Q_1 – Q_2$

इंजन का प्रशीतन प्रभाव उसके द्वारा अवशोषित ऊष्मा = Q_2 पर निर्भर है।

अतः प्रशीतन के लिये कार्य गुणांक = अवशोषित ऊष्मा/बाह्य एजेन्सी द्वारा किया कार्य $= \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$

This expression may be put in another form also.

$$\beta = \frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} - 1}$$

[Dividing the numerator and denominator of equation (1) by Q_2.]

But $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $\therefore$ $\beta = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1}$ .....(ii)

or $\beta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

निष्कर्ष

(i) वास्तविकता में β 2 से 6 तक परिवर्तित होता है। वास्तविक रेफ्रिजरेटर के लिए β का मान समीकरण (i) तथा (ii) से निर्धारित मान से कम होता है।

(ii) ठण्डे अक्ष तथा वायुमण्डल के ताप के मध्य अन्तर जितना कम होगा रेफ्रिजरेटर का कार्य गुणांक उतना ही अधिक होगा

(iii) ऊष्मा इंजन में दक्षता कभी–भी **100 %** से अधिक नहीं हो सकती किन्तु रेफ्रिजरेटर की स्थिति में कार्य गुणांक **100%** से अधिक हो सकता है।

(iv) जैसे ही रेफ्रिजरेटर कार्य करना प्रारम्भ करता है, तब बहुत अधिक मात्रा में बर्फ के बनने के कारण तापमान T_2 घटता जाता है। प्रायोगिक रूप से T_1 में कोई परिवर्तन नहीं होता यह β के मान को घटाता है।

Solved Example :

1. रेफ्रिजेरेटर ठंडी वस्तु से गर्म वस्तु को उष्मा स्थानान्तरित करता है। क्या यह उष्मागतिकी के द्वितीय नियम का उल्लंघन नही करता है।

Ans. नहीं, क्योंकि बाह्य कार्य किया जाता है।

2. क्या रेफ्रिजरेटर का क्रिया गुणांक नियत होता है।

Ans. नहीं, रेफ्रिजरेटर का कार्य गुणांक इसके अंदर के ताप में कमी करने के साथ घटता जाता है।

अब निम्न प्रश्नो के उत्तर दीजिए :

1. क्या हम कार्यकारी पदार्थ की मात्रा में वृद्वि करके रेफ्रिजरेटर का कार्य गुणांक बढा सकते है।

(A) नही (B) हॉ

(C) कुछ समय के लिए हॉ, कुछ समय के लिए नही (D) कहा नही जा सकता

Ans. **(A)**

2. संचालित रेफ्रिजरेटर का दरवाजा एक बन्द कमरे में खुला है तब कमरे का ताप

(A) थोडा सा बढेगा (B) थोडा सा घटेगा

(C) बढ सकता है या घट सकता है (D) कुछ कहा नही जा सकता

Ans. **(A)**

3. एक कॉनो इन्जन जिसकी दक्षता η = 1/10 ऊष्मा इन्जन की दक्षता है, रेफिजरेटर के रूप में प्रयोग किया जाता है। यदि निकाय पर किया गया कार्य 10 जूल है, तब न्यून तापमान पर कुण्ड से अवशोषित ऊष्मा की मात्रा है।

(A) 99 J (B) 90 J (C) 1 J (D) 100 J

Ans. **(B)**

Sol. कार्नो इजंन को रेफ्रिजरेटर की भाति प्रयोग करने के लिए

$$W = Q_2\left(\frac{T_1}{T_2}-1\right)$$

दिया गया है। $\eta = \frac{1}{10} \Rightarrow \eta = 1-\frac{T_2}{T_1}$

$$\Rightarrow \quad \frac{T_2}{T_1}=\frac{9}{10}$$

अतः $Q_2 = 90$ J (as W = 10 J)

EXERCISE

15. –3ºC तथा 27ºC के मध्य कार्य करने वाले रेफ्रिजरेटर का कार्य गुणांक ज्ञात कीजिए।

16. एक रेफ्रिजरेटर अपने अन्दर 9ºC ताप बनाये रखता है। यदि कमरे का ताप 36ºC है तो कार्य गुणांक की गणना कीजिए।

17. एक कार्नो रेफ्रिजरेटर 0ºC तथा 27ºC ताप के मध्य कार्य करता है। यदि 0ºC पर पानी का 10 kg, 0ºC पर बर्फ में परिवर्तित हो जाता है। तब गणना कीजिए। (a) उत्सर्जित उष्मा (b) रेफ्रिजरेटर को प्रदान की गई ऊर्जा। दिया गया है कि बर्फ की गुप्त उष्मा = 80 kcal kg^{-1}.

1. यह उस दिशा को प्रदर्शित नहीं करता है। जिसमें प्रक्रम में परिवर्तन होता है :

विश्लेषण

(i) जब एक गर्म वस्तु ठण्डी वस्तु के साथ तापीय सम्पर्क में लायी जाती है तब सदैव ऊष्मा गर्म वस्तु से ठण्डी वस्तु की ओर प्रवाहित होती है। ऊष्मा ठण्डी वस्तु से गर्म वस्तु की ओर प्रवाहित क्यों नहीं होती है। ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम इसके बारे में कुछ नहीं बताता है। अतः यह नियम ऊष्मा स्थानांतरण की दिशा को प्रदर्शित नहीं करता है।

(ii) यह किसी जहाज के लिए सम्भव नहीं है कि वह समुद्र के पानी की ऊष्मा की अधिकांश मात्रा को इसके इंजन को संचालित करने में प्रयुक्त कर सके। ऊष्मा के कार्य में रूपान्तरण में क्या कमियाँ हैं। प्रथम नियम पुनः इसके बारे में कुछ नहीं बताता है। अतः ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम उस शर्त को संतुष्ट नहीं करता है जिसमें ऊष्मा कार्य में रूपांतरित होती है।

2. ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम बाह्य कारक जिसके अंतर्गत परिवर्तन होते हैं के बारे में कोई विचार व्यक्त नहीं करता। यह प्रेक्षित किया जा चुका है कि कोई भी ऊष्मा इंजन सम्भव नहीं है जो स्त्रोत से ली गई सम्पूर्ण ऊष्मा को यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तित कर सके। ऊष्मा की सम्पूर्ण मात्रा यांत्रिक ऊर्जा में रूपांतरित क्यों नहीं होती। ऊष्मगतिकी का प्रथम नियम इस प्रश्न के बारे में कोई विचार व्यक्त नहीं करता।

कार्नो प्रमेय

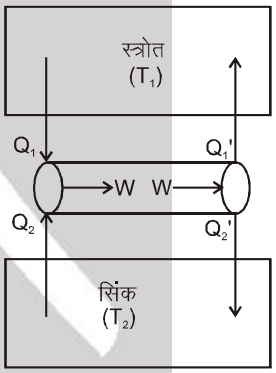
कार्नो ने प्रदर्शित किया कि किसी भी ऊष्मा इंजन की दक्षता पूर्ण रूप से उत्क्रमणीय इंजन की दक्षता से अधिक नहीं हो सकती। यह कार्नो प्रमेय के नाम से जानी जाती है तथा इसका कथन निम्न प्रकार है :

दिये गये तापों के मध्य कार्य करने वाला ऐसा कोई ऊष्मा इंजन नहीं है जिसकी दक्षता समान तापों के मध्य कार्य करने वाले उत्क्रमणीय इंजन की दक्षता से अधिक हो सकती है।

दो इंजनों पर विचार कीजिए – अनुत्क्रमणीय इंजन A तथा उत्क्रमणीय इंजन B। माना दो इंजनों को इस प्रकार युग्मित किया जाता है कि A, B के बाद चालन करता है। अतः B रेफ्रिजरेटर के रूप में कार्य करता है।

A स्त्रोत से Q_1 ऊष्मा अवशोषित करके W कार्य करता है तथा सिंक को Q_2 ऊष्मा विसर्जित करता है।

A की दक्षता, $\eta_A = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$



B सिंक से Q_2 ऊष्मा अवशोषित करके W कार्य करता है

तथा Q_1 ऊष्मा स्त्रोत को विसर्जित करता है

B की दक्षता, $\eta_B = \frac{W}{Q_1'} = \frac{Q_1' - Q_2'}{Q_1'}$

माना A, B की दक्षता से अधिक है

तब, $\eta_A > \eta_B$

$\therefore \quad \frac{W}{Q_1} > \frac{W}{Q_1'}$ या $Q_1 < Q_1'$

$\therefore Q_1 - Q_2$ धनात्मक होगा। अतः संयुक्त इंजन AB द्वारा T_1 ताप पर स्त्रोत को दी गई ऊष्मा की कुल मात्रा $(Q_1' - Q_1)$ है।

पुनः, $W = Q_1 - Q_2 = Q_1' - Q_2'$ या $Q_2' - Q_2 = Q_1' - Q_2$

$\therefore \quad Q_2' - Q_2$ धनात्मक है. $[\because Q_1' - Q_1$ धनात्मक है]

अतः संयुक्त इंजन AB द्वारा T_2 ताप पर सिंक से ली गई ऊष्मा की कुल मात्रा $(Q_2' - Q_2)$ है।

अतः संयुक्त इंजन AB स्वकार्यरत युक्ति है जो निम्न ताप पर ऊष्मा को उच्च ताप की ऊष्मा में स्थानांतरित करती है तथा इस प्रक्रिया में बाह्य कारक द्वारा कोई कार्य नहीं किया जाता। यह ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम से वर्जित है। अतः हमारी परिकल्पना है कि इंजन A की दक्षता B की दक्षता से अधिक है।

अतः कार्नो प्रमेय सिद्ध हुआ।

Example 1. तीन आदर्श इंजन निम्न तापों के मध्य स्थित भंण्डार के मध्य कार्यरत है (a) 400 K तथा 500 K; (b) 600 K तथा 800 K, तथा (c) 400 K तथा 600 K उष्मीय दक्षता के अनुसार इंजन का क्रम घटते हुये क्रम में लिखिये।

Answer : c, b, a.

Solution : (c) $\eta = 1-\frac{400}{600} = 1-\frac{2}{3} = \frac{1}{3}$ (b) $\eta = 1-\frac{600}{800} = 1-\frac{3}{4} = \frac{1}{4}$ (a) $\eta = 1-\frac{400}{500} = 1-\frac{4}{5} = \frac{1}{5}$

Example 2. आदर्श गैस के पांच मोल कार्नो इंजन में 100ºC तथा 30ºC के मध्य कार्य करते है। एक चक्र में किया गया उपयोगी कार्य 420 जूल है। समतापीय प्रसार के अन्त तथा प्रारम्भ में गैस के आयतन के अनुपात की गणना कीजिए। दिया गया है : $R = 8.4\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$.

Solution: $T_1 = (100 + 273)\ K = 373\ K$

$T_2 = (30 + 273)\ K = 303\ K$

उपयोगी कार्य, $W = Q_1 - Q_2 = 420\ J$ .....(i)

माना W_1 तथा W_2, T_1 ताप पर समतापीय प्रसार तथा T_2 ताप पर समतापीय संपीडन के अंतर्गत किये गये कार्य है।

अब, $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{373}{303}$ $\therefore$ $Q_1 = \frac{373}{303}Q_2$

समीकरण(1) से, $W = \frac{373}{303}Q_2 - Q_2$ या $420 = \left(\frac{373}{303}-1\right)Q_2$ या $Q_2 = 1818\ J$

पुनः, $Q_1 = \frac{373}{303}Q_2 = \frac{373}{303}\times 1818\,J = 2238\,J$

समतापीय प्रसार में प्रयुक्त ऊष्मा निम्न प्रकार दी जाती है।

$Q_1 = \mu RT\log_e\frac{V_2}{V_1} = 2.3026\times\mu RT\log_{10}\frac{V_2}{V_1}$ या $2238 = 2.3026 \times 5 \times 8.4 \times 373 \log_{10}\frac{V_2}{V_1}$

सरलीकरण करने पर, $V_2/V_1 = 1.15$

EXERCISE

18. किस प्रकार का प्रक्रम कार्नो चक्र होता है।

19. आदर्श गैस के एक मोल कार्नो इंजन में 27ºC तथा 270ºC के मध्य कार्य करते है। एक चक्र में किया गया उपयोगी कार्य 600 जूल है। समतापीय प्रसार के अन्त तथा प्रारम्भ में गैस के आयतन के अनुपात की गणना कीजिए। दिया गया है : $R = 8.3\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$.

20. एक कार्नो इंजन 627ºC के भण्डार से 1000 k उष्मा लेता है तथा 27ºC पर सिंक को उष्मा उत्सर्जित करता है इसकी दक्षता क्या होगी। कब इसकी दक्षता 100% होगी।

Example 1. आप एक आदर्श रेफ्रिजरेटर का कार्य गुणांक बढाना चहाते है तो आप इसे निम्न प्रकार बढा सकते है। (a) थोडे से उच्च ताप पर ठण्डे कक्ष को गति कराकर (b) थोडे से निम्न ताप पर इसे गति कराकर (c) यूनिट को थोडे से गर्म कमरे की ओर गति कराकर (d) इसे थोडे से ठण्डे कमरे की ओर गति कराकर। सभी चारो स्थितियो में ताप में परिवर्तन समान है परिणामी कार्य गुणांक के अनुसार परिवर्तन के क्रम को घटते हुये क्रम में लिखिये।

Answer : (a), (b), (c), (d)

Solution : दो भण्डारों के ताप एक दूसरे के समीप आने पर कार्य गुणांक का मान उतना ही उच्च होता है।

Example 2. यह मानिए कि उत्क्रमणीय इंजन के रूप में घरेलू रेफ्रिजरेटर बर्फ के गलनांक बिन्दु तथा कमरे के ताप 27ºC के मध्य कार्य करता है। जूल में ऊर्जा की गणना कीजिए जो 1kg पानी के जमने के लिए प्रदान की जाती है। दिया गया है पानी का ताप = 0ºC, $L = 80\ cal\ g^{-1}$.

Solution : $T_1 = (27 + 273)\ K = 300\ K$

$T_2 = (0 + 273)\ K = 273\ K$

निर्गत ऊष्मा , $Q_2 = mL$

जहाँ m पानी का द्रव्यमान तथा L गुप्त ऊष्मा है

$\therefore$ $Q_2 = 1000 \times 80\ cal = 8 \times 10^4\ cal$ [$\therefore$ m = 1 kg = 1000 g]

$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ या $Q_1 = \frac{T_1}{T_2}\times Q_2$ या $Q_1 = \frac{300}{273}\times 8\times 10^4\ cal = 87912.1\ cal$

आवश्यक ऊर्जा, $W = Q_1 - Q_2$ या $W = (87912.1 - 80{,}000)\ cal = 9712.1\ cal$

$= 7912.1 \times 4.2\ J = 33230.8\ J$

EXERCISE

21. 2 kg पानी को 0ºC की बर्फ में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक ऊर्जा को वाट घण्टे में लिखिये यह मानिये कि रेफ्रिजरेटर आदर्श है दिया गया है कि जमाव बिन्दु का ताप = – 15ºC, कमरे का ताप = 25ºC तथा पानी का प्रारम्भिक ताप = 25ºC.

Ans. 37.98 watt hour

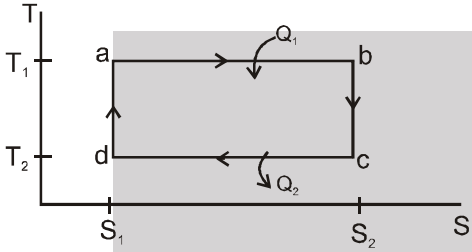
ANSWER KEY OF EXERCISE

1. नही, यह आदर्श उष्मा इंजन है। **2.** (i) 500 J (ii) 500 J (iii) 50% **3.** 50%

4. (a) 20ºC (b) 129.5ºC; प्रक्रम (a) जिसमें सिंक का ताप 20°C से घट जाता है, प्रयुक्त करेगे

5. (i) 550 K (ii) 489.9 K

6. कॉर्नो इंजन का मूल प्रक्रम T-S चित्र में (ताप एंट्रॉपी रेखाचित्र) प्रदर्शित है



बिन्दु a, b, c तथा d चित्र में प्रदर्शित समान अवस्था को प्रदर्शित करता है। माना अवस्था a में एन्ट्रॉपी में परिवर्तन S_1 है। ऊष्मा की मात्रा Q_1, T_1 ताप पर समतापीय प्रक्रम ab में निकाय को दी जाती है। इस भाग में एन्ट्रॉपी में वृद्धि निकाय को प्रदान की गई ऊष्मा के रूप में होती है। परिभाषा से

$$S_2 - S_1 = \frac{Q_1}{T_1} \qquad \text{.....(i)}$$

भाग bc में एन्ट्रॉपी नियत रहती है। क्योंकि यह रूद्धोष्म प्रक्रम से गुजरता है। अतः अवस्था c में एन्ट्रॉपी S_2 है। भाग cd में निकाय निम्न ताप T_2 पर Q_2 ऊष्मा देता है तथा इसकी एन्ट्रॉपी घटती है। भाग da रूद्धोष्म प्रक्रम को प्रकट करता है। तथा एन्ट्रॉपी नियत रहती है। चूंकि अवस्था a में एन्ट्रॉपी S_1 है तथा अवस्था d में भी एन्ट्रॉपी S_1 है। प्रक्रम cd के लिए एन्ट्रॉपी में परिवर्तन की परिभाषा को प्रयुक्त करते हुए,

$$S_1 - S_2 = \frac{Q_2}{T_2} \qquad \text{.....(ii)}$$

समीकरण (i) तथा (ii) से, $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$ or $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$

इंजन की दक्षता $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ .....(iii)

अतः, इंजन का दक्षता केवल गरम तथा ठंडी वस्तुओं के ताप (जिनके मध्य इंजन कार्य करता है) पर निर्भर करता है।

7. (B) **8.** **(A)** **9.** (A) **10.** (C) **11.** (B) **12.** (C) **13.** (E)

14. (C) **15.** 9 **16.** $T_1 = 36ºC = (36 + 273)\ K = 309\ K$, $T_2 = 9ºC = (9 + 273)\ K = 282\ K$

कार्य गुणांक $= \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{282}{309 - 282} = \frac{282}{27} = 10.4$

17. 879.1 kcal, 3.32×10^5 J

(i) किसी तार से धारा के गुजरने पर ऊष्मा का उत्पादन जब धारा की दिशा विपरीत हो जाती है तब दिये गये समय में उत्पन्न ऊष्मा की मात्रा समान होती है।

(ii) दो भिन्न भिन्न पदार्थों का मिलना जैसे पानी तथा एल्कोहॉल

(iii) पानी में ठोस के विलयन का बनना इत्यादि।

18. चक्रीय प्रक्रम **19.** 1.43

20. 66.67

दक्षता 100 % होगी यदि $T_2 = 0$, अर्थात् सिंक परम शून्य ताप पर व्यवस्थित हो।

21. 37.98 watt hour

Exercise-1

चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

भाग - I : विषयात्मक प्रश्न (SUBJECTIVE QUESTIONS)

खण्ड (A) : गैसों का गत्यात्मक सिद्धान्त

A-1. बर्तन में 300 केल्विन ताप पर हाइड्रोजन गैस के अणुओं का औसत संवेग ज्ञात करो।

A-2. एक ℓ भुजा का घनाकार बर्तन, गैस के N अणुओं से भरा है। प्रत्येक अणु का द्रव्यमान m है। यदि यह माना जाए कि प्रत्येक क्षण आधे अणु धनात्मक x-अक्ष की ओर तथा आधे ऋणात्मक x-अक्ष की ओर जाते है। दोनों दीवारें x-अक्ष के लम्बवत् है। दोनों दी गई दीवारों पर कार्यरत कुल बल ज्ञात करो ? यह मानिए कि सभी अणु v_0 चाल से गति कर रहे हैं।

खण्ड (B) : वर्ग माध्य मूल चाल, गतिज ऊर्जा और अवस्था समीकरण

B-1. तीन अणुओं की चाल 3V, 4V, 5V है। उनकी वर्गमाध्य मूल चाल ज्ञात करो।

B-2. कमरे के ताप (300 K) पर किसी द्वि–परमाणिवक गैस की वर्ग माध्य मूल चाल 1930 m/s है। क्या आप गैस के नाम का अनुमान कर सकते है। किस ताप पर वर्ग माध्य मूल चाल दुगुनी हो जायेगी ? (R = 25/3 J/mol – k)

B-3. दाब P_0 पर एक गैस किसी दृढ़ बर्तन में भरी है। यदि अणुओं की कुल संख्या समान रखते हुये प्रत्येक अणुओं का द्रव्यमान आधा और वर्ग माध्य मूल चाल दुगुना हो जाये तो नया दाब ज्ञात करो।

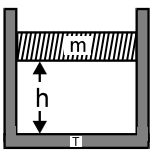
B-4. ब्यूटेन गैस हवा में निम्नांकित अभिक्रिया के अनुसार जलती है।

$$2\,C_4H_{10} + 13\,O_2 \longrightarrow 10\,H_2O + 8\,CO_2.$$

माना कि प्रारम्भिक तथा अन्तिम ताप समान हैं तथा यह तापमान इतना अधिक है कि क्रियाकारकों तथा उत्पादों को आदर्श गैस मान सकते हैं। ब्यूटेन के दो मोलों को ऑक्सीजन के 13 मोलों के साथ मिलाकर पूरी तरह क्रिया करते हैं। अगर आयतन अपरिवर्तित रहे तथा अभिक्रिया के प्रारम्भ में दाब P_0 हो तो अन्तिम दाब होगा–

B-5. एक साईकिल रिक्शे की ट्यूबों मे 3 atm दाब तक हवा (आदर्श गैस की भांति व्यवहार) भरी जाती है। इस दाब पर प्रत्येक ट्यूब का आयतन 0.004 m^3 है। इनमें से एक ट्यूब पंचर हो जाती है जिससे ट्यूब का आयतन घटकर 0.0008 m^3 हो जाता है। इस दौरान हवा के कितने मोलों का रिसाव हो जाता है ? मानें कि ताप 300 K पर नियत रहता है। ($R = 25/3\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$)

B–6. (i) एक चालक बैलनाकार पात्र का आन्तरिक व्यास 4.00 सेमी है। इसमें 13.0 किग्रा. द्रव्यमान वाले पिस्टन से हवा को संपीड़ित करके चित्रानुसार रखा जाता है। पिस्टन बैलनाकार पात्र में फिसलने के लिए स्वतन्त्र है। यह सारा निकाय एक पानी के टब में रखा जाता है, जिसका तापमान नियंत्रित किया जा सकता है प्रारम्भ में सम्पूर्ण निकाय, तापमान $t_i = 20°C$ पर साम्यावस्था में है। तली से पिस्टन की प्रारम्भिक ऊँचाई $h_i = 4.00$ cm हैं। $P_{atm} = 1 \times 10^5\ N/m^2$ तथा $g = 10\ m/s^2$ हैं। यदि पानी के टब का तापक्रम धीरे–धीरे $t_f = 100°C$ तक बढ़ाया जाए, तो इस क्षण पिस्टन की ऊचाँई h_f (सेमी० में) ज्ञात करो ?



(ii) उपरोक्त प्रश्न में, अगर हम फिर से प्रारम्भिक अवस्था से आरम्भ करते हैं तथा तापमान धीरे–धीरे बढ़ाते हैं। अगर पिस्टन की ऊँचाई h_i नियत रखने के लिए इस पर कुछ वजन धीरे–धीरे रखा जाता है जिसको आवश्यकतानुसार बदला जाता है। इस पर रखे कुल द्रव्यमान का मान क्या होगा जबकि अन्तिम ताप $t_f = 100°C$ हो जाये।

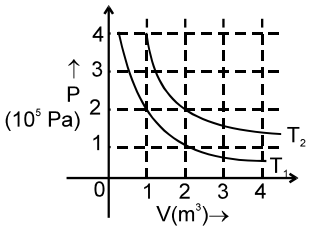
खण्ड (C) : मैक्सवेल वेग वितरण

C-1. किस ताप पर ऑक्सीजन के अणु की औसत चाल पृथ्वी से पलायन करने के लिए पर्याप्त है। (पृथ्वी पर पलायन चाल = 11.0 km/sec तथा $R = 25/3\ J\text{-}mol^{-1}K^{-1}$)

C-2. 150 π K ताप पर हीलियम गैस के नमूने में हीलियम के अणुओं के रेखीय संवेग के परिमाण का औसत बताओं। एक हीलियम अणु का द्रव्यमान = $(166/3) \times 10^{-27}$ kg व $R = 25/3\ J\text{-}mol^{-1}\ K^{-1}$ है।

C-3. हाइड्रोजन गैस के नमूने के अणुओं की औसत चाल हीलियम गैस के नमूने के अणुओं की औसत चाल के बराबर है। हाइड्रोजन नमूने के ताप और हीलियम नमूने के ताप का अनुपात बताओं।

C-4. निम्न ग्राफ नियत द्रव्यमान की आदर्श गैस के लिए दो समतापी वक्र प्रदर्शित करता है। T_1 और T_2 ताप पर अणुओं की वर्गमाध्य मूल चाल का अनुपात ज्ञात करो।



खण्ड (D) : ऊर्जा समविभाजन का नियम एवं आन्तरिक ऊर्जा

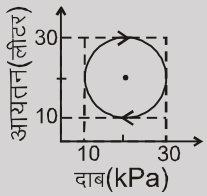
D-1. 37ºC पर 16 ग्राम ऑक्सीजन को 27ºC पर 14 ग्राम नाइट्रोजन से मिश्रित किया गया है। मिश्रण का ताप बताओं।

D-2. एक बन्द पात्र में He के 0.040 g द्रव्यमान को प्रारम्भ मे 100ºC ताप पर रखा जाता है। अब पात्र को गर्म किया जाता है। पात्र के प्रसार को नगण्य मानते हुए वह ताप ज्ञात कीजिए जिस ताप पर आन्तरिक ऊर्जा मे 12 J की वृद्धि हो जाती है। $\left[R = \frac{25}{3} J - mol^{-1} - k^{-1}\right]$

D-3. सिद्ध करो कि एक कमरे में उपस्थित हवा (आदर्श गैस मानें) की आन्तरिक ऊर्जा दिन व रात के बीच ताप बदलने के दौरान नियत रहती है। माना चारों ओर वायुमण्डलीय दाब नियत रहता है तथा कमरें में यह वायुमण्डलीय दाब खुली खिड़कियों आदि की वजह से नियत बना रहता है।

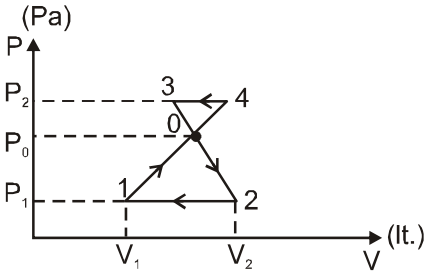
खण्ड (E) : कार्य की गणना

E-1. चित्रानुसार चक्रीय प्रकम से गुजरने के बाद गैस द्वारा किया गया कार्य ज्ञात करो।



E-2. एक आदर्श गैस को नियत दाब 10^5 Pa पर प्रारम्भिक आयतन के आधे आयतन तक संपीड़ित किया गया। यदि गैस का प्रारम्भिक आयतन 3.0×10^{-2} m^3 है, तो गैस पर किये गये कार्य की गणना कीजिए।

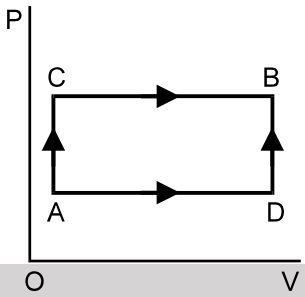
E-3. चित्रानुसार एक बन्द चक्रीय प्रक्रम $1 \to 4 \to 3 \to 2 \to 1$ में आदर्श गैस द्वारा किया गया कार्य ज्ञात करो। यदि $P_1 = 10^5$ Pa, $P_0 = 3 \times 10^5$ Pa, $P_2 = 4 \times 10^5$ Pa है तथा $V_2 - V_1 = 10$ लीटर है। रेखा खण्ड 4-3 तथा 2-1 V-अक्ष के समान्तर है।



E-4. कोई गैस वाण्डर वॉल के गैस अवस्था समीकरण $(p + an^2 / V^2)(V - bn) = nRT$ का पालन करती है। गैस को T_0 ताप पर V_1 से V_2 तक समतापी रूप से सम्पीड़न (या प्रसार) करने पर निकाय द्वारा किये गये कार्य के लिए व्यंजक प्राप्त करो ?

खण्ड (F) : ऊष्मा गतिकी का प्रथम नियम

F-1. निर्दिष्ठ चित्र में, जब किसी ऊष्मागतिक निकाय को अवस्था A से अवस्था B तक पथ ACB द्वारा ले जाया जाता है। तब निकाय को 100 कैलारी ऊष्मा दी जाती है तथा गैस द्वारा 60 कैलोरी कार्य किया जाता है। पथ ADB, के अनुदिश गैस द्वारा किया गया कार्य 20 कैलोरी है। इस प्रकरण में निकाय को दी गई ऊष्मा की गणना करो।



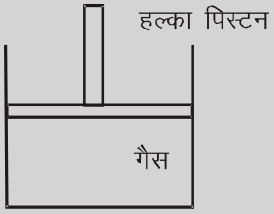
F-2. 400 K ताप पर एक आदर्श एक परमाणुक गैस पिस्टन युक्त सिलिण्डर में भरी है। पिस्टन स्थिर रखते हुए गैस को ΔQ ऊष्मा दी जाती है, तो गैस का ताप 20 K से बढ़ जाता है। एक समदाबी प्रक्रम में पिस्टन चलने के लिए स्वतंत्र है तथा इस प्रक्रम में धीरे–धीरे पुनः ΔQ ऊष्मा दी जाती है। दूसरे प्रक्रम में ताप में परिवर्तन की गणना करो।

F-3. जब 1 g जल 0ºC ताप और 1×10^5 N m^{-2} दाब पर 1.091 cm^3 आयतन की बर्फ में बदला जाता है तो जल द्वारा किये गये कार्य की गणना करो। (ρ_w = 1 gm/cm^3)

F-4. किसी आदर्श गैस को ऊष्मागतिकीय चक्रीय प्रक्रम के अनुदिश चार पदों से ले जाया जाता है। इन पदों में ऊष्मा क्रमशः Q_1 = 5960 J, Q_2 = – 5585 J, Q_3 = – 2980 J तथा Q_4 = 3645 J है। संगत किया गया कार्य क्रमशः W_1 = 2200 J, W_2 = – 825 J, W_3 = – 1100 J और W_4 है।

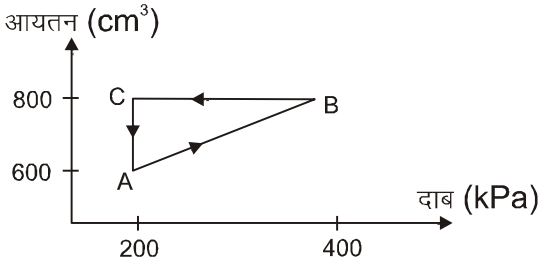
(i) W_4 का मान ज्ञात करो। (ii) चक्र की दक्षता बताओ।

F-5. निर्दिष्ट चित्र में गैस को कुछ समय के लिए गर्म किया जाता है। प्रक्रिया के दौरान, गैस की आन्तरिक ऊर्जा में 10 J की वृद्धि होती है व पिस्टन बाहर की ओर 25 cm गति करता है। दी गई ऊष्मा ज्ञात करिये। सिलेन्डर का काट क्षेत्रफल = 40 cm^2 तथा वायुमण्डलीय दाब = 100 kPa है।

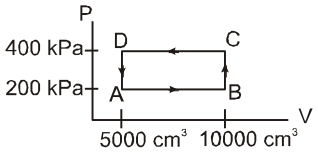


F-6. जब 2kg पानी को 0ºC से 4ºC तक गर्म किया जाता है तो उसकी आन्तरिक उर्जा में परिवर्तन की गणना कीजिए। पानी की विशिष्ट ऊष्मा धारिता 4200 J/kg-K तथा 0ºC तथा 4ºC पर घनत्व क्रमशः 999.9kg/m^3 तथा 1000 kg/m^3 है। वायुमण्डलीय दाब = 10^5 Pa ।

F-7. एक आदर्श गैस को चित्रानुसार चक्रीय प्रक्रम ABCA से गुजारा जाता है। यदि इस प्रक्रम में 4.8 कैलारी ऊष्मा दी गई हो तो, ऊष्मा के यांत्रिक तुल्यांक (J) का मान ज्ञात कीजिये?



F-8. दर्शाये चित्र में आदर्श गैस (γ = 7/5) के एक मोल को चक्रीय प्रक्रम ABCDA से गुजारा जाता है। R = $\frac{25}{3}$ J/mol–K लेते हुए ज्ञात करे



(a) A, B, C तथा D. अवस्थाओं पर गैस का तापमान ज्ञात करो।

(b) प्रक्रम AB, BC, CD तथा DA में दी गई अथवा मुक्त हुई ऊष्मा की मात्रा ज्ञात कीजिये।

(c) चक्रिय प्रक्रम में गैस द्वारा किया गया कार्य ज्ञात कीजिये।

खण्ड (G) : गैसो की विशिष्ट ऊष्मा

G-1. किसी आदर्श गैस की विशिष्ट ऊष्माओ (C_p & C_v) का अनुपात γ है। गैस के अणुओं की स्वतंत्रता की कोटि की गणना करो।

G-2. 2 मोल आदर्श गैस की आन्तरिक ऊर्जा का ताप 127ºC पर 1200 R है, तो गैस की मोलर विशिष्ट ऊष्मा नियत दाब पर ज्ञात करो।

G-3. आदर्श एकपरमाणुक गैस को प्रक्रम dQ = 2dU से ले जाया जाता है। प्रक्रम के लिए मोलर ऊष्मा धारिता (R के पद में) ज्ञात करो। (जहाँ dQ दी गई ऊष्मा तथा dU आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन है)

G-4. दिये गये मानों से ऊष्मा के यांत्रिक तुल्यांक का मान ज्ञात करिये। नियत आयतन तथा नियत दाब पर वायु की विशिष्ट ऊष्मा क्रमशः 4.93 cal/mol–K तथा 6.90 cal/mol–K है। गैस नियतांक R = 8.3 J/mol–K है।

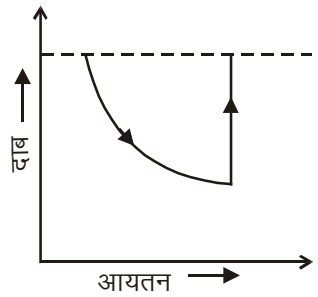
G-5. एक आदर्श गैस को 100 J ऊष्मा प्रदान की जाती है तो यह नियत दाब 3×10^5 Pa पर 200 cm^3 से 400 cm^3 तक प्रसारित होती है। गणना कीजिये (a) गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन, (b) यदि प्रारम्भिक ताप 400 K है, तो मोलों की संख्या (c) नियत दाब पर मोलर ऊष्माधारिता C_p तथा (d) नियत आयतन पर मोलर ऊष्माधारिता C_v $\left[R = \frac{25}{3} J/mol - k\right]$

G-6. 5 मोल गैस का ताप (जो नियत आयतन पर है) 100ºC से 120ºC तक बदल दिया जाता है तो आन्तरिक ऊर्जा में 80 J परिवर्तन हो जाता है। नियत आयतन पर गैस की मोलर ऊष्मा धारिता बताओ।

G-7. किसी गैस के लिए γ = 9/7 है। इस गैस के अणुओं के लिए स्वतंत्रता की कोटि ज्ञात करो।

खण्ड (H) : रूद्धोष्म प्रक्रम और मुक्त प्रसार

H-1. निर्दिष्ट चित्र में आदर्श गैस के एक प्रतिदर्श को, जिसकी प्रारम्भिक आन्तरिक ऊर्जा U_1 है, रूद्धोष्म रूप से प्रसारित होने दिया जाता है तो यह W कार्य करती है। आयतन के नये मान को नियत रखते हुए इसको Q ऊष्मा तब तक दी जाती है जब तक कि इसका दाब बढ़कर प्रारम्भिक मान के बराबर न हो जाये। तब इसकी आन्तरिक ऊर्जा U_2 है।



आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन ($U_2 - U_1$) ज्ञात करो ?

H-2. आदर्श एक परमाणुक गैस $\left(\gamma = \frac{5}{3}\right)$ का एक मोल, द्विपरमाणुक गैस $\left(\gamma = \frac{7}{5}\right)$ के एक मोल में मिश्रित किया गया है (γ नियत दाब तथा नियत आयतन पर विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात व्यक्त करता है।) मिश्रण के लिए γ की गणना करो।

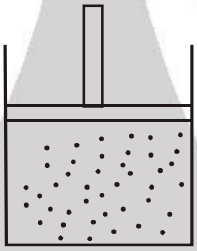
H-3. द्विपरमाणुक गैस $\left(\gamma = \frac{7}{5}\right)$ का दाब व घनत्व रूद्धोष्म रूप से (P, d) से (P', d') तक बदल दिया जाता है। यदि $\frac{d'}{d} = 32$ हो तो $\frac{P'}{P}$ का मान बताओ।

H-4. एक आदर्श गैस ($\gamma = \frac{5}{3}$) को 640 cm^3 आयतन से 80 cm^3 आयतन तक रूद्धोष्म रूप से संपीड़ित कर दिया जाता है। यदि प्रारम्भिक दाब P है तो अंतिम दाब बताओ।

H-5. रूद्धोष्म प्रक्रम में दाब $\frac{2}{3}$% बढ़ा दिया जाता है। यदि $\gamma = \frac{3}{2}$ हो तो आयतन में प्रतिशत कमी ज्ञात करो (लगभग)

H-6. एक आदर्श गैस जिसका दाब 4×10^5 Pa तथा तापमान 400 K है, का आयतन 100 cc है। इसे प्रारम्भिक आयतन से दुगुने आयतन तक रूद्धोष्म रूप से प्रसारित किया जाता है। गणना करिये (a) अन्तिम दाब, (b) अन्तिम तापमान तथा (c) प्रक्रिया के दौरान गैस द्वारा किया गया कार्य ($\gamma = 1.5$) :

H-7. चित्र में पात्र की दीवारें व पिस्टन अल्प चालक है। गैस का प्रारम्भिक दाब, आयतन तथा तापमान क्रमशः 200 K Pa, 800 cm^3 तथा 100 K है। गैस का दाब तथा तापमान ज्ञात करिये यदि इसे (a) धीरे–धीरे सम्पीड़ित किया जाये (b) अचानक 200 cm^3 पर सम्पीड़ित कर दिया जाये ($\gamma = 1.5$).



H-8. जब किसी निकाय को अवस्था A से अवस्था B तक रूद्धोष्म प्रक्रम के अनुसार ले जाते है तो निकाय पर 322 जूल कार्य किया जाता है। यदि उसी निकाय को अवस्था A से अवस्था B तक दूसरे प्रक्रम से ले जाते है, तो 50 कैलोरी ऊष्मा की आवश्यकता होती है। इस प्रक्रम में निकाय पर किये गये कार्य की गणना करो। (J = 4.2 J/cal)

खण्ड (I) : बहुआयामी प्रक्रम

I-1. $PV^{1/2}$ = नियतांक, इस प्रक्रम से गुजरने वाली एक परमाणुक आदर्श गैस की मोलर ऊष्मा धारिता (R के पद में) ज्ञात करो।

I-2. एक द्विपरमाणवीय आदर्श गैस को किसी प्रक्रम में Q ऊष्मा दी जाती है, जिससे यह बाह्य परिवेश (surrounding) पर $\frac{2Q}{3}$ कार्य करती है। प्रक्रम की मोलर ऊष्मा धारिता (R के पद में) की गणना कीजिए ?

I-3. एक मोल गैस ताप T के साथ इस प्रकार प्रसारित होती है कि इसका आयतन $V = kT^2$ के अनुसार बदलता है, जहाँ k एक नियतांक है। यदि गैस के ताप में 60º C का परिवर्तन किया जाता है तो गैस द्वारा किया गया कार्य बताओ। (R = 25/3 J/mol-K)

खण्ड (J) : JEE-MAIN के लिए

J-1 एक कार्नो इंजन 627ºC के स्त्रोत से 10^3 किलोकैलोरी ऊष्मा लेता है तथा इसे 27ºC के सिंक को विसर्जित करता है। इंजन की दक्षता होगी।

J-2. उपरोक्त प्रश्न में इंजन द्वारा किया गया कार्य होगा।

J-3. कार्नो इंजन की दक्षता 50% है। इसके सिंक का ताप 7ºC है। इसकी दक्षता 70% बढ़ाने के लिये स्त्रोत के ताप में वृद्धि होगी।

J-4 एक कार्नो इंजन 0ºC तथा 27ºC के मध्य प्रशीतक (रेफ्रिजरेटर) की तरह कार्य करता है 10 किलोग्राम बर्फ को 0ºC पर जमाने के लिये कितनी ऊष्मा की आवश्यकता होगी।

J-5 उपरोक्त प्रश्न में कार्य दक्षता गुणांक क्या है।

J-6 एक कार्नो इंजन 250K एवं 300K के मध्य रेफ्रिजरेटर की तरह कार्य करता है। यदि यह निम्न ताप पर स्त्रोत से 750 कैलोरी ऊष्मा प्राप्त करता है। तो उच्च ताप पर उत्पन्न ऊष्मा होगी।

भाग - II : केवल एक सही विकल्प प्रकार (ONLY ONE OPTION CORRECT TYPE)

खण्ड (A) : गैसों का गत्यात्मक सिद्धान्त

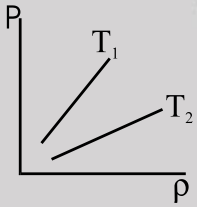
A-1. जब एक आदर्श गैस को समतापी रूप से सम्पीड़ित किया जाता है तो इसका दाब बढ़ता है क्योंकि –
(A) इसकी स्थितिज ऊर्जा घटती है।
(B) इसकी गतिज ऊर्जा बढ़ती है और अणु दूर हो जाते है।
(C) पात्र की दीवारों के साथ प्रति एकांक क्षेत्रफल पर टक्करों की संख्या बढ़ जाती है।
(D) आणविक ऊर्जा बढ़ती है।

A-2. तापीय साम्यावस्था में गैस के अणुओं के लिये निम्न में से कौनसा सत्य है
(A) सभी की चाल समान होती है। (B) सभी की चाल भिन्न–भिन्न होगी, जो नियत रहती है।
(C) सभी की माध्य चाल नियत रहती है। (D) अणु परस्पर टकराते नहीं है।

खण्ड (B) : वर्ग माध्य मूल चाल, गतिज ऊर्जा और अवस्था समीकरण

B-1. किस ताप पर ऑक्सीजन के अणुओं का वर्गमाध्य मूल वेग, नाइट्रोजन के अणुओं के 100ºC पर वर्गमाध्य मूल वेग के बराबर होगा :
(A) 426.3 K (B) 456.3 K (C) 436.3 K (D) 446.3 K

B-2. दिखाये गये चित्र में किसी आदर्श गैस के लिए दाब और घनत्व में दो तापों T_1 व T_2 पर ग्राफ खींचा गया है।



(A) $T_1 > T_2$ (B) $T_1 = T_2$ (C) $T_1 < T_2$ (D) तीनों में से कुछ भी संभव है।

B-3. मान लीजिए किसी पात्र को निर्वातित करके इसमें केवल एक अणु छोड़ दिया जाता है। माना v_{mp} तथा v_{av} क्रमशः गैस की अधिकतम सम्भाव्य चाल तथा औसत चाल व्यक्त करते है तब
(A) $v_{mp} > v_{av}$ (B) $v_{mp} < v_{av}$ (C) $v_{mp} = v_{av}$ (D) इनमें से कोई नहीं

B-4. किसी गैस में नाइट्रोजन अणुओं की औसत चाल v है। यदि ताप को दुगुना कर दिया जाये तथा N_2 अणु वियोजित होकर नाइट्रोजन परमाणुओं में टूट जाये तो औसत चाल होगी।
(A) v (B) $v\sqrt{2}$ (C) 2 v (D) 4v

B-5. चारों पात्रों में एक परमाणुक आदर्श गैस भरी है। प्रत्येक पात्र के लिए मोलों की संख्या, प्रत्येक के परमाणु का भार तथा परमाणुओं की वर्ग माध्य मूल चाल क्रमशः n, m तथा v_{rms} के पदों में दर्शायी गई है।यदि क्रमशः T_A, T_B, T_C तथा T_D उनके ताप हों, तो कौनसा विकल्प उनके सही क्रम को निरूपित करता है ?

	A	B	C	D
मोलों की संख्या	n	3n	2n	n
द्रव्यमान	4m	m	3m	2m
वर्ग माध्य मूल चाल	V_{rms}	$2V_{rms}$	V_{rms}	$2V_{rms}$
ताप	T_A	T_B	T_C	T_D

(A) $T_B = T_C > T_A > T_D$ (B) $T_D > T_A > T_C > T_B$ (C) $T_D > T_A = T_B > T_C$ (D) $T_B > T_C > T_A > T_D$

B-6. N_0 अणु संख्या वाले एक गैस प्रतिदर्श (नमूने) में $0 < V < V_0$ के लिए फलन : $N(V) = \frac{dN}{dV} = \left(\frac{3N_0}{V_0^3}\right)V^2$ द्वारा तथा $V > V_0$ के लिए $N(V) = 0$ से दिया जाता है। जहाँ चाल परास V से V + dV तक के लिए अणु संख्या dN है। अणुओं की वर्ग माध्य मूल चाल होगी।

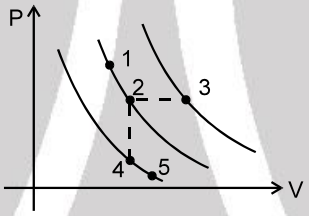
(A) $\sqrt{\frac{2}{5}}V_0$ (B) $\sqrt{\frac{3}{5}}V_0$ (C) $\sqrt{2}V_0$ (D) $\sqrt{3}V_0$

खण्ड (C) : मैक्सवेल का चाल वितरण

C-1. तीन बन्द पात्र A, B तथा C समान ताप T पर है एवं उनमें गैसे भरी हुई है जो मैक्सवेल के वेग वितरण नियम का पालन करती है। पात्र A में केवल O_2 है, B में केवल N_2 तथा C में O_2 और N_2 के बराबर मात्रा का मिश्रण है। यदि पात्र A में O_2 गैस के अणुओं की औसत चाल V_1, पात्र B में N_2 गैस के अणुओं की औसत चाल V_2 है, तो पात्र C में O_2 गैस के अणुओं की औसत चाल होगी।

(A) $(V_1 + V_2)/2$ (B) V_1 (C) $(V_1V_2)^{1/2}$ (D) $\frac{V_1}{2}$

C-2. एक गैस को पाँच अवस्थाओं तक ले जाते हैं जिनको वक्र पर बिन्दुओं द्वारा दर्शाया गया है। खींची गई रेखाऐं समतापी वक्र हैं। इन्हीं पांचों अवस्थाओं में अणुओं की महत्तम सम्भाव्य चाल v_p का क्रम है –



(A) $V_{P\text{ at }3} > V_{P\text{ at }1} = V_{P\text{ at }2} > V_{P\text{ at }4} = V_{P\text{ at }5}$ (B) $V_{P\text{ at }1} > V_{P\text{ at }2} = V_{P\text{ at }3} > V_{P\text{ at }4} > V_{P\text{ at }5}$
(C) $V_{P\text{ at }3} > V_{P\text{ at }2} = V_{P\text{ at }4} > V_{P\text{ at }1} > V_{P\text{ at }5}$ (D) परिणाम पता करने के लिए सूचना अपर्याप्त

खण्ड (D) : ऊर्जा का समविभाजन नियम एवं आन्तरिक ऊर्जा

D-1. किसी आदर्श गैस के लिए दाब $E = \frac{3PV}{2}$ के रूप में लिख सकते है। यहाँ E व्यक्त करता है।

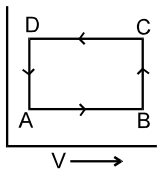
(A) औसत स्थानान्तरिय गतिज ऊर्जा (B) घूर्णीय गतिज ऊर्जा
(C) कुल गतिज ऊर्जा (D) उपरोक्त में से कोई नही।

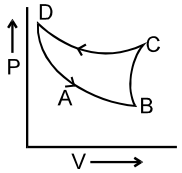
D-2. प्रत्येक आदर्श गैस के लिए समान ताप पर, निम्न में से कौन सी राशियाँ समान रहेगी –
(A) गैस के समान मोलों की गतिज ऊर्जा। (B) गैस के समान द्रव्यमान की गतिज ऊर्जा।
(C) गैस के समान मोलों में अणुओं की संख्या। (D) गैस के समान द्रव्यमान में अणुओं की संख्या।

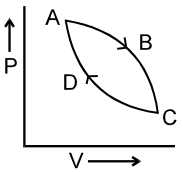
D-3. राशि $\frac{2U}{fkT}$ व्यक्त करती है – (जहाँ U = गैस की आन्तरिक ऊर्जा)
(A) गैस का द्रव्यमान। (B) गैस की गतिज ऊर्जा।
(C) गैस के मोलों की संख्या। (D) गैस में अणुओं की संख्या।

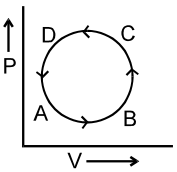
खण्ड (E) : कार्य की गणना

E-1. निम्न चित्रों (1) से (4) में दाब परिर्वतन के साथ आयतन के मान में परिवर्तन दिखाया गया है। एक गैस को पथ ABCDA के अनुदिश ले जाया जाता है। गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन होगा

(1) 

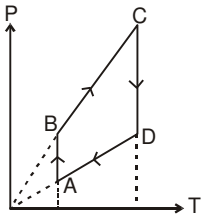
(2) 

(3) 

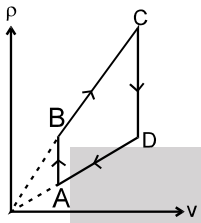
(4) 

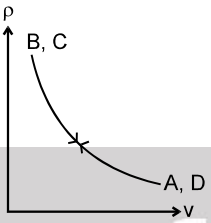
(A) (1) से (4) सभी में धनात्मक (B) (1), (2) तथा (3) में धनात्मक लेकिन (4) में शून्य
(C) (1), (2) तथा (3) में ऋणात्मक लेकिन (4) में शून्य (D) सभी में शून्य

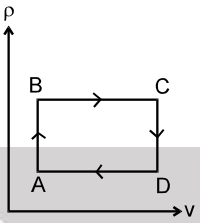
E-2. किसी आदर्श गैस के दाब तथा ताप के लिए आरेख दर्शाये अनुसार है –

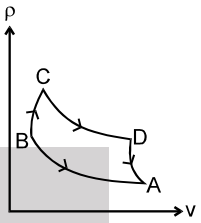


संगत घनत्व (ρ) और आयतन (v) में ग्राफ होगा :

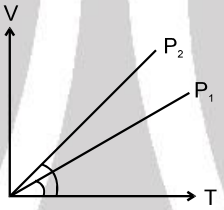
(A) 

(B) 

(C) 

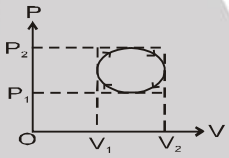
(D) 

E-3. V-T ग्राफ में P_1 व P_2 में क्या सम्बन्ध है :



(A) $P_2 = P_1$ (B) $P_2 > P_1$ (C) $P_2 < P_1$ (D) बताया नहीं जा सकता।

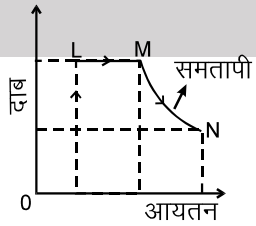
E-4. P – V चित्र में दिखाये गए एक चक्रीय प्रक्रम में किए गए कार्य का परिमाण है –



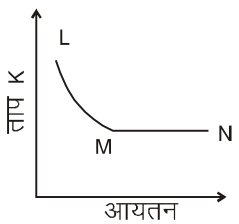
(A) $\pi\left(\frac{P_2 - P_1}{2}\right)^2$ (B) $\pi\left(\frac{V_2 - V_1}{2}\right)^2$

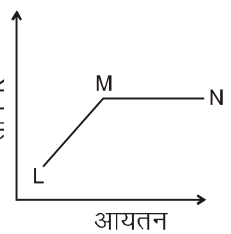
(C) $\frac{\pi}{4}(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)$ (D) $\pi(P_2V_2 - P_1V_1)$

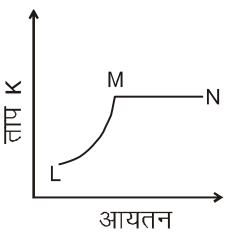
E-5. चित्रानुसार निश्चित द्रव्यमान की आदर्श गैस के लिए दाब तथा आयतन में परिवर्तन L से शुरू होता है –

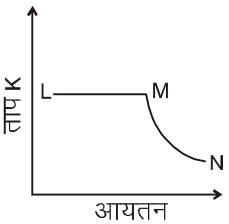


निम्न में कौन सही है –

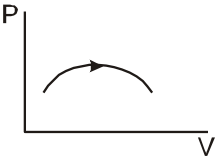
(A) 

(B) 

(C) 

(D) 

E-6. किसी आदर्श गैस के लिए P-V आरेख चित्र मे प्रदर्शित है। प्रक्रम के दौरान गैस द्वारा किया गया कुल संचयी कार्य –



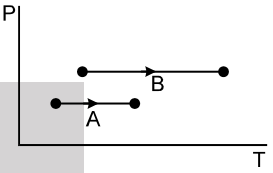
(A) निरन्तर बढ़ेगा।

(B) निरन्तर घटेगा।

(C) पहले बढ़ेगा तत्पश्चात् घटेगा।

(D) पहले घटेगा तत्पश्चात् बढ़ेगा।

E-7. निर्दिष्ट चित्र में माना ΔW_1 तथा ΔW_2 क्रमशः गैस द्वारा प्रक्रम A तथा B में किये गये कार्य है तब (दिये गये दोनों प्रक्रमों में आयतन में परिवर्तन समान हैं)



(A) $\Delta W_1 > \Delta W_2$

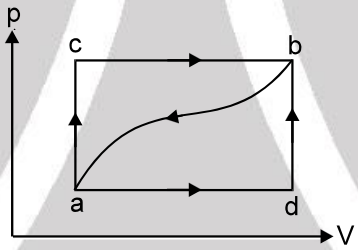
(B) $\Delta W_1 = \Delta W_2$

(C) $\Delta W_1 < \Delta W_2$

(D) ΔW_1 और ΔW_2 के संबंधों के बारे में कुछ नहीं कहा जा सकता है।

खण्ड (F) : ऊष्मा गतिकी का प्रथम नियम

F-1. जब एक निकाय को पथ 'acb' द्वारा अवस्था 'a' से अवस्था 'b' तक ले जाया जाता है तो Q = 200 J ऊष्मा निकाय द्वारा अवशोषित की जाती है तथा इसके द्वारा W = 80J कार्य किया जाता है। पथ 'adb' के अनुदिश, Q = 144 J है। पथ 'adb' के अनुदिश किया गया कार्य है –



(A) 6J (B) 12 J (C) 18 J (D) 24 J

F-2. उपरोक्त प्रश्न में, यदि वक्रीय पथ 'ba' के अनुदिश निकाय पर किया गया कार्य 52J है तो अवशोषित ऊष्मा होगी।

(A) – 140 J (B) – 172 J (C) 140 J (D) 172 J

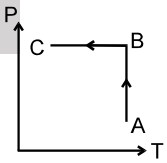
F-3. उपरोक्त प्रश्न में,यदि $U_a = 40J$ है तो U_b का मान होगा।

(A) – 50 J (B) 100 J (C) – 120 J (D) 160 J

F-4. उपरोक्त प्रश्न में यदि $U_d = 88J$ है तो पथ 'db' में अवशोषित ऊष्मा होगी।

(A) – 72 J (B) 72 J (C) 144 J (D) – 144 J

F-5. चित्र में दिखाये प्रक्रम के अनुसार, आदर्श गैस को ले जाया जाता है :



(A) प्रक्रम AB मे निकाय द्वारा किया गया कार्य धनात्मक है।

(B) प्रक्रम AB मे निकाय से ऊष्मा बाहर निकलती है।

(C) प्रक्रम AB में आन्तरिक ऊर्जा बढ़ती है।

(D) प्रक्रम AB में आन्तरिक ऊर्जा घटती है और प्रक्रम BC में आन्तरिक ऊर्जा बढ़ती है।

खण्ड (G) : गैसों की विशिष्ट ऊष्माऐं

G-1. हाइड्रोजन के लिए C_p/C_v का मान 30 K ताप पर 1.67 है लेकिन 300 K ताप पर घटकर 1.4 हो जाता है, क्योंकि अणुओं की अधिकांश स्वतन्त्रता की कोटियाँ सक्रिय हो जाती है। ताप की बढ़ोतरी के दौरान (H_2 आदर्श गैस माने)

(A) C_p नियत रहता है लेकिन C_v बढ़ जाता है।

(B) C_p घटता है लेकिन C_v बढ़ता है।

(C) दोनों C_p और C_v बराबर मात्रा से घट जाते है।

(D) दोनों C_p और C_v बराबर मात्रा से बढ़ जाते है।

G-2. उबलते पानी को वाष्प में बदला जाता है। इस स्थिति में पानी की विशिष्ट ऊष्मा है

(A) शून्य (B) एक (C) अनन्त (D) एक से कम

G-3. आदर्श गैस के लिए नियत दाब पर ऊष्मा धारिता नियत आयतन पर ऊष्मा धारिता से अधिक होती है क्योंकि

(A) गैस के प्रसार के दौरान, बाह्य दाब द्वारा धनात्मक कार्य किया जाता है।

(B) गैस के प्रसार के दौरान, गैस द्वारा बाह्य दाब के विरूद्ध धनात्मक कार्य किया जाता है।

(C) गैस के प्रसार के दौरान अन्तराणुक बलों के आकर्षण के विरूद्ध गैस द्वारा धनात्मक कार्य किया जाता है।

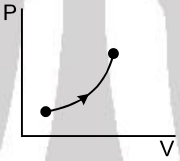
(D) प्रति सैकण्ड टक्करों की संख्या अधिक होती है, जब आयतन नियत रखते है।

G-4. एक गैस रखती है :

(A) केवल एक विशिष्ट ऊष्मा (B) केवल दो विशिष्ट ऊष्मा

(C) अनन्त विशिष्ट ऊष्माऐं (D) कोई विशिष्ट ऊष्मा नहीं।

G-5. यदि दिये गये प्रक्रम (चित्रानुसार) की मोलर ऊष्मा धारिता C है तो



(A) $C < C_V$ (B) $C = 0$ (C) $C > C_v$ (D) $C = C_v$

G-6. अल्प धनात्मक प्रसार गुणांक वाले ठोस के लिये,

(A) $C_p - C_v = R$ (B) $C_p - C_v = 2R$

(C) C_p , C_v से थोड़ा अधिक होता है (D) C_p , C_v से थोडा कम होता है।

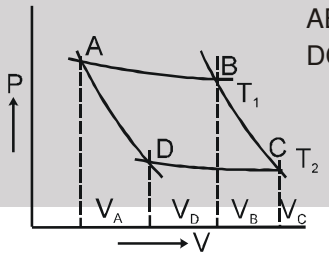
खण्ड (H) : रूद्धोष्म प्रक्रम और मुक्त प्रसार

H-1. पिस्टन लगे हुए एक धातु के बेलन में गैस भरी हुई है। पिस्टन को अचानक गैस को सम्पीड़ित करने के लिए नीचे की ओर चलाया जाता है और अन्त में इस स्थिति पर स्थिर कर दिया जाता है। इस प्रक्रिया के पश्चात् बेलन में भरी हुई गैस का दाब, समय के साथ –

(A) बढ़ेगा। (B) घटेगा।

(C) स्थिर रहेगा। (D) बढ़ेगा अथवा घटेगा, यह गैस की प्रकृति पर निर्भर करेगा।

H-2. आदर्श गैस के निम्न P–V आरेख में AB व CD समतापीय है जबकि BC व DA रूद्धोष्म प्रक्रम है। V_B/V_C का मान होगा।



(A) $= V_A / V_D$ (B) $< V_A / V_D$ (C) $> V_A / V_D$ (D) कह नहीं सकते

H-3. दो प्रतिदर्श 1 व 2 प्रारम्भ में एक ही अवस्था में रखे जाते है। प्रतिदर्श 1 को समतापीय प्रक्रम के अनुसार तथा प्रतिदर्श 2 को रूद्धोष्म प्रक्रम के अनुसार समान अन्तिम आयतन तक प्रसारित करते है। प्रक्रम 1 व 2 के अन्तिम ताप क्रमशः T_1 व T_2 है, तब

(A) $T_1 > T_2$ (B) $T_1 = T_2$

(C) $T_1 < T_2$ (D) T_1 व T_2 के मध्य सम्बन्ध ज्ञात नहीं किया जा सकता

H-4. उपरोक्त प्रश्न में माना प्रतिदर्श 1 व 2 में अन्तिम दाब क्रमशः P_1 व P_2 है, तो

(A) $P_1 < P_2$ (B) $P_1 = P_2$

(C) $P_1 > P_2$ (D) P_1 व P_2 के बीच सम्बन्ध ज्ञात नहीं किया जा सकता

H-5. उपरोक्त प्रश्न में माना निकाय 1 व 2 द्वारा क्रमशः ΔW_1 व ΔW_2 किये गये कार्य है, तो

(A) $\Delta W_1 > \Delta W_2$ (B) $\Delta W_1 = \Delta W_2$

(C) $\Delta W_1 < \Delta W_2$ (D) W_1 व W_2 के बीच सम्बन्ध ज्ञात नहीं किया जा सकता

H-6. जब एक आदर्श गैस में रूद्धोष्मीय परिवर्तन के कारण ताप परिवर्तन ΔT होता है , तो –

(i) गैस द्वारा कोई ऊष्मा न दी जाती है न ली जाती है।

(ii) गैस के द्वारा किया गया कार्य, आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन के बराबर होगा।

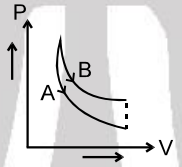
(iii) गैस के प्रति मोल आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $C_v \Delta T$ है। जहाँ C_v नियत आयतन पर मोलर ऊष्माधारिता है।

(A) (i), (ii), (iii) सही (B) (i), (ii) सही (C) (i), (iii) सही (D) (i) सही

H-7. दी गई गैस की मात्रा का दाब P व परम ताप T है। गैस का समतापी आयतन प्रत्यास्थता गुणांक है :

(A) $\frac{2}{3}P$ (B) P (C) $\frac{3}{2}P$ (D) 2P

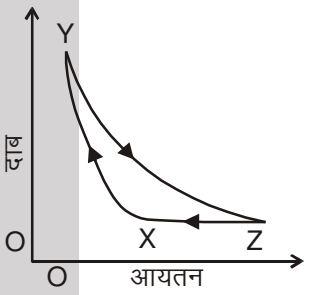
H-8. चित्र में A व B दो भिन्न गैसों के लिए रूद्धोष्म वक्र है तो A व B संगत है :



(A) क्रमशः Ar व He (B) क्रमशः He व H_2 (C) क्रमशः O_2 व H_2 (D) क्रमशः H_2 व He

H-9. दिये गए चित्र में, एक निश्चित द्रव्यमान की आदर्श गैस के लिए XYZX परिवर्तन दिखाया गया है। निम्न में कौनसा समूह परिवर्तनों को प्रदर्शित करता है ?

	X Y	Y Z	Z X
(A)	समतापी प्रसार	रूद्धोष्म सम्पीड़न	नियत दाब पर सम्पीड़न
(B)	रूद्धोष्म प्रसार	समतापी सम्पीड़न	नियत आयतन पर दाब मे कमी
(C)	समतापी सम्पीड़न	रूद्धोष्म प्रसार	नियत दाब पर सम्पीड़न
(D)	रूद्धोष्म सम्पीड़न	समतापी प्रसार	नियत दाब पर सम्पीड़न



H-10. रूद्धोष्म प्रक्रम के दौरान, किसी गैस का दाब परम ताप के घन के समानुपाती है। गैस के लिये C_p/C_v का मान होगा : **[AIEEE - 2003, 4/300]**

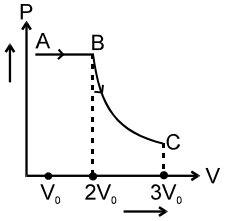
(A) 4/3 (B) 2 (C) 5/3 (D) 3/2

खण्ड (I) : बहुआयामी प्रक्रम

I-1. एक गैस ऐसे प्रक्रम से गुजरती है जिसके लिए दाब P और आयतन V में सम्बन्ध VP^n = नियतांक है। प्रक्रम में गैस का आयतन प्रत्यास्थता गुणांक होगा।

(A) nP (B) $P^{1/n}$ (C) P/n (D) P^n

I-2. गैस के 1 मोल को दो प्रक्रमों AB और BC से एक के बाद एक गुजारा जाता है जैसा चित्र में प्रदर्शित है। BC को PV^n = नियतांक से व्यक्त करते है। हम निष्कर्ष निकाल सकते है (जहाँ T = ताप, W = गैस द्वारा किया गया कार्य, V = आयतन और U = आन्तरिक ऊर्जा)।



(A) $T_A = T_B = T_C$ (B) $V_A < V_B$, $P_B < P_C$ (C) $W_{AB} < W_{BC}$ (D) $U_A < U_B$

I-3. दिये गये प्रक्रम के अनुसार गुजरने पर आदर्श गैस के लिए मोलर ऊष्मीय धारिता $C = \frac{a}{T}$, से व्यक्त की जाती है। जहाँ 'a' नियतांक है। यदि $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, तो T_0 से ηT_0 तक गर्म करने में एक मोल गैस द्वारा किया गया कार्य होगा।

(A) $a\,\ell n\,\eta$ (B) $\frac{1}{a\ell n\eta}$ (C) $a\ell n\eta - \left(\frac{\eta-1}{\gamma-1}\right)RT_0$ (D) $a\ell n\eta - (\gamma-1)RT_0$

I-4. आदर्श गैस का एक मोल उस प्रक्रिया से गुजरता है जिसमें $T = T_0 + aV^3$ है। जहाँ T_0, 'a' धनात्मक नियतांक तथा V आयतन है। वह आयतन जिसके लिए दाब न्यूनतम होगा –

(A) $\left(\frac{T_0}{2a}\right)^{1/3}$ (B) $\left(\frac{T_0}{3a}\right)^{1/3}$ (C) $\left(\frac{a}{2T_0}\right)^{2/3}$ (D) $\left(\frac{a}{3T_0}\right)^{2/3}$

I-5. उपरोक्त प्रश्न में प्राप्त न्यूनतम दाब है –

(A) $\frac{3}{4}\left(a^{5/3}R^{2/3}T_0^{2/3}\right)2^{1/3}$ (B) $\frac{3}{2}\left(a^{2/3}RT_0^{2/3}\right)3^{1/2}$ (C) $\frac{3}{2}\left(a^{1/2}R^{2/3}T_0^{3/4}\right)4^{1/3}$ (D) $\frac{3}{2}\left(a^{1/3}RT_0^{2/3}\right)2^{1/3}$

I-6. किसी एक गैस में, ध्वनि की चाल तथा वर्गमाध्य मूल चाल का अनुपात $\sqrt{\frac{5}{9}}$ हैं। PT = नियतांक द्वारा दिये जाने वाले प्रक्रम से गुजरने वाली गैस की मोलर ऊष्मा धारिता होगी (R = 2 कैलोरी/मोल केल्विन) गैस को आदर्श गैस माने

(A) $\frac{R}{2}$ (B) $\frac{3R}{2}$ (C) $\frac{5R}{2}$ (D) $\frac{7R}{2}$

I-7. एक आदर्श गैस की बहुविधि प्रक्रिया (polytropic process) को समीकरण PV^n = स्थिरांक द्वारा प्रदर्शित करते है। यदि γ, विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात $\left(\frac{C_p}{C_v}\right)$ है, तो उस प्रक्रिया जिसके लिए मोलर ऊष्मीय धारिता ऋणात्मक हो, के लिए n का मान बराबर है –

(A) $\gamma > n$ (B) $\gamma > n > 1$
(C) $n > \gamma$ (D) कोई नहीं, जैसाकि यह सम्भव नहीं है

खण्ड (J) : JEE Main के लिए

J-1. 300 K तथा 600 K के बीच कार्यरत कार्नो इन्जिन का निर्गत कार्य 800 J प्रति चक्र है। स्त्रोत से प्रतिचक्र इंजन को दी गई ऊष्मा ऊर्जा की मात्रा है।

(A) 1800 J/चक्र (B) 1000 J/चक्र (C) 2000 J/चक्र (D) 1600 J/चक्र

J-2. 30°C तथा 0°C के बीच कार्नो प्रशीतक का कार्यकारी गुणांक होगा

(A) 10 (B) 1 (C) 9 (D) 0

J-3. यदि एक रेफ्रिजरेटर का दरवाजा खोल कर रखा जाये, तो निम्न में से क्या सत्य है।

(A) कमरा ठण्डा हो जाएगा (B) कमरा गर्म हो जायेगा
(C) कमरा या तो ठण्डा हो जायेगा या गर्म (D) कमरा न तो ठण्डा होगा न गर्म

J-4. एक वैज्ञानिक कहता है कि 127°C स्त्रोत व 27°C सिंक के बीच कार्यरत ऊष्मा इंजन की दक्षता 26% है, तब

(A) यह असंभव है (B) यह संभव है पर बहुत कम
(C) यह लगभग संभव है (D) आंकडे पर्याप्त नहीं है

J-5. " ऊष्मा स्वतः ही कम ताप वाली वस्तु से अधिक ताप वाली वस्तु की ओर प्रवाहित नही हो सकती" यह कथन है :

[AIEEE - 2003, 4/300]

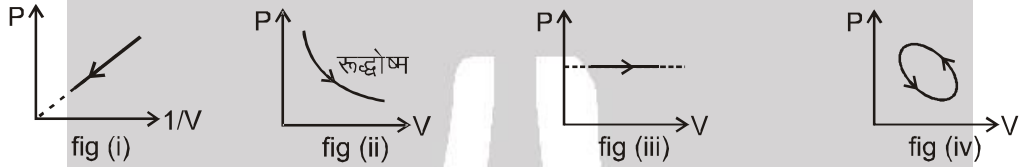
(A) ऊष्मागतिकी के द्वितीय नियम का (B) संवेग संरक्षण के नियम का
(C) द्रव्यमान संरक्षण के नियम का (D) ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम का

भाग - III : कॉलम को सुमेलित कीजिए (MATCH THE COLUMN)

1. एक आदर्श एकपरमाणुक गैस स्तम्भ-I में दिखाये गए विभिन्न प्रक्रमों का पालन करती है। स्तम्भ-II में संगत प्रभाव दिये गये है। पदों का सामान्य अर्थ है।

स्तम्भ-I	**स्तम्भ-II**
(A) $P = 2V^2$	(p) यदि आयतन बढ़ता है तो तापमान भी बढ़ेगा।
(B) PV^2 = नियत	(q) यदि आयतन बढ़ता है तो तापमान घटेगा।
(C) $C = C_V + 2R$	(r) प्रसार के लिए, गैस को ऊष्मा प्रदान की जानी आवश्यक है।
(D) $C = C_V - 2R$	(s) यदि तापमान बढ़ता है तब गैस द्वारा किया गया कार्य धनात्मक है।

2. दिये गये चित्र एक दी गई मात्रा की आदर्श गैस के लिए भिन्न–भिन्न प्रक्रम (दाब P व आयतन V से सम्बन्धित) को प्रदर्शित करते है। W गैस द्वारा किया गया कार्य व ΔQ गैस द्वारा अवशोषित ऊष्मा है।



स्तम्भ-I	**स्तम्भ-II**
(A) चित्र (i) में	(p) $\Delta Q > 0$
(B) चित्र (ii) में	(q) $W < 0$
(C) चित्र (iii) में	(r) $\Delta Q < 0$
(D) पूरे चक्र के लिए चित्र (iv) में	(s) $W > 0$

Exercise-2

चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।

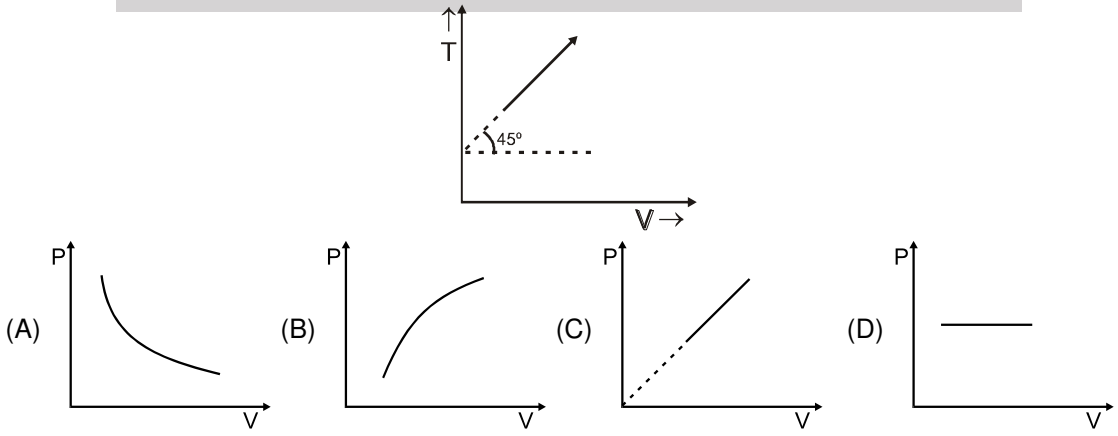
भाग-I : केवल एक सही विकल्प प्रकार (ONLY ONE OPTION CORRECT TYPE)

1. STP पर नाइट्रोजन गैंस की नियत दाब पर मोलर ऊष्मा धारिता लगभग 3.5 R है। जब ताप बढाया जाता है तो यह सतत् रूप से बढती है तथा 4.5 R का मान प्राप्त करती है। इस व्यवहार के लिये सर्वाधिक उपयुक्त कारण यह है कि उच्च तापों पर

(A) नाइट्रोजन, आदर्श गैंस की भांति व्यवहार नही करती है (B) नाइट्रोजन के अणु, परमाणुओं में विभक्त हो जाते है।

(C) अणु अधिक बारम्बारता से टकराने लगते है। (D) आण्विक कम्पन्न सतत् रूप से प्रभावी होने लगते है।

2. दिये गये वक्र में एक मोल आदर्श गैस के लिए ताप का आयतन के फलन के रूप में परिवर्तन दर्शाया गया है। दिये गये वक्रों में दाब का आयतन के फलन के रूप में परिवर्तन कौन सा सर्वाधिक उचित वक्र प्रदर्शित करता है–



3. एक कल्पित गैस की परिकल्पना करो जिसके अणु एक अक्ष के अनुदिश गतिमान हो सकते हैं। नीचे दी गई तालिका में चार परिस्थितियाँ दी गई हैं, जिसमें गैस में उपस्थिति चार अणुओं के वेग मी./से. में दिये गये हैं। धनात्मक एवं ऋणात्मक चिन्ह वेग की दिशा को अक्ष के अनुदिश दर्शाते हैं।

परिस्थिति				वेग
a	–2	+3	–4	+5
b	+1	–3	+4	–6
c	+2	+3	+4	+5
d	+3	+3	–4	–5

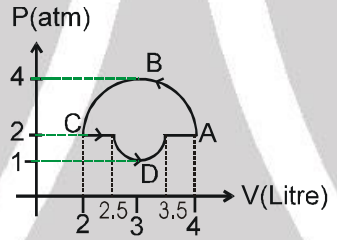
किस परिस्थिति में अणुओं का वर्ग माध्यमूल वेग सर्वाधिक होगा।

(A) a (B) b (C) c (D) d

4. किसी गैस नमूने की अवस्था A तथा अवस्था B के लिए $C_P - C_v$ का मान क्रमशः 1.09 R है तथा 1.00 R है। माना T_A, T_B तथा P_A और P_B क्रमशः अवस्था A तथा B के संगत ताप तथा दाब है, तो

(A) $P_A < P_B$ तथा $T_A > T_B$ (B) $P_A > P_B$ तथा $T_A > T_B$ (C) $P_A = P_B$ तथा $T_A < T_B$ (D) $P_A > P_B$ तथा $T_A < T_B$

5. दिखाए गए प्रक्रम के लिए गैस द्वारा किये गये कार्य की गणना करो।

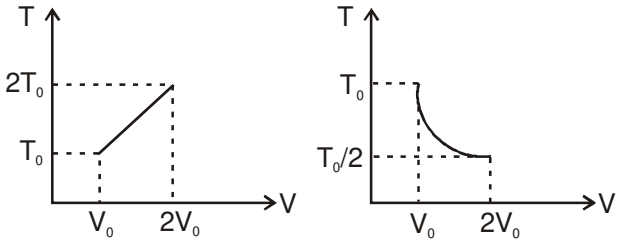


(A) $\frac{5}{2}\pi$ atm L (B) $\frac{5}{2}$ atm L (C) $-\frac{3}{2}\pi$ atm L (D) $-\frac{5}{4}\pi$ atm L

6. एकपरमाणुक आदर्श गैस की प्रथम अवस्था में दाब $P_1 = 20$ atm तथा आयतन $V_1 = 1500$ cm^3 है। इसको द्वितीय अवस्था में दाब $P_2 = 1.5\ P_1$ तथा आयतन $V_2 = 2V_1$ तक ले जाया जाता है. प्रथम अवस्था से द्वितीय अवस्था तक आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन बराबर है -

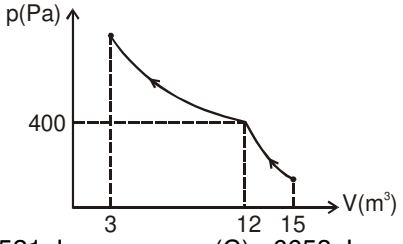
(A) 2000 J (B) 3000 J (C) 6000 J (D) 9000 J

7. दो ऊष्मागतिकी प्रक्रियाओं के लिए तापमान तथा आयतन चित्र में दिए गये है। प्रथम प्रक्रिया में यह एक सरल रेखा है जिसके प्रारम्भिक तथा अन्तिम निर्देशांक क्रमशः (V_0, T_0) तथा $(2V_0, 2T_0)$ है, जहाँ दूसरे प्रक्रम में यह आयतिय अतिपरवलय है। जिसके प्रारम्भिक व अंतिम निर्देशांक क्रमशः(V_0, T_0) तथा $(2V_0, T_0/2)$ है। तब दोनों प्रक्रमों में किये गये कार्य का अनुपात $(W_1 : W_2)$ होगा।



(A) 1 : 2 (B) 2 : 1 (C) 1 : 1 (D) इनमें से कोई नहीं

8. चित्र में वक्र एक आदर्श गैस का 15 मी.^{3} से 12 मी.^{3} तक रूद्धोष्म संपीडन दर्शाता है, बाद में समतापी संपीडन से अन्तिम आयतन 3.0 मी.^{3} है। गैस के 2.0 मोल है। गैस को दी गई कुल ऊष्मा बराबर है। ($\ell n2 = 0.693$)

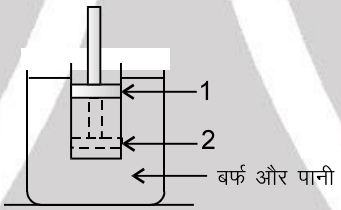


(A) 4521 J (B) –4521 J (C) –6653 J (D) –8476 J

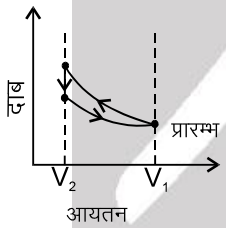
9. किसी ऊष्मा गतिक निकाय में गैस का प्रारम्भिक दाब तथा आयतन क्रमशः P_i, V_i और अंतिम आयतन V_f है। यदि PV^n = नियतांक तो गैस द्वारा किया गया कार्य होगा। (सभी प्रक्रमों में समान प्रारम्भिक अवस्था व समान अंतिम आयतन मानियें)

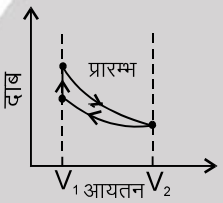
(A) $n = \gamma$ के लिए न्यूनतम (B) $n = 1$ के लिए न्यूनतम (C) $n = 0$ के लिए न्यूनतम (D) $n = \frac{1}{\gamma}$ के लिए न्यूनतम

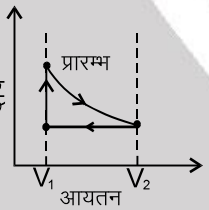
10. चित्र में एक चालक बेलन जिसमें गैस भरी हुई है को चलायमान पिस्टन से बन्द करते है। बेलन को बर्फ–पानी के मिश्रण में डुबोया जाता हैं। पिस्टन को तेजी से स्थिति (1) से स्थिति (2) तक ले जाया जाता है। पिस्टन को स्थिति (2) पर तब तक रखा जाता हैं, जब तक गैस का तापमान पुनः 0°C नही हो जाता। इसके पश्चात् इसे पुनः धीरे धीरे अवस्था (1) पर ले जाया जाता हैं।

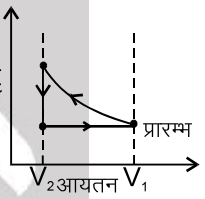


इस परिवर्तन का P-V वक्र होगा।

(A) 

(B) 

(C) 

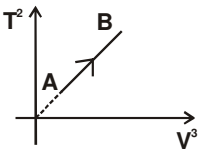
(D) 

11. दो भिन्न आदर्श द्वि–परमाणुक गैसें A व B प्रारम्भ में समान अवस्था में है। A व B को एक समान अन्तिम आयतन तक क्रमशः रूद्धोष्म और समतापी प्रक्रम के अनुसार प्रसारित होने दिया जाता है। यदि P_A, P_B तथा T_A, T_B क्रमशः A व B के दाब व ताप व्यक्त करते है तो :

(A) $P_A < P_B$ और $T_A < T_B$ (B) $P_A > P_B$ और $T_A > T_B$

(C) $P_A > P_B$ और $T_A < T_B$ (D) $P_A < P_B$ और $T_A > T_B$

12. यदि आदर्श द्विपरमाणु गैस आरेख में दर्शाये प्रक्रम का अनुसरण करती है, जहाँ T केल्विन में तापमान तथा V आयतन (m^3) है, तब इस प्रक्रम की मोलर ऊष्मा धारिता होगी [गैस नियतांक R के पदों में] :



(A) $\frac{7R}{2}$ (B) 5R (C) $\frac{19R}{6}$ D) $\frac{11R}{2}$

13. एक परमाणुक आदर्श गैस को आयतन V से V/2 तक विभिन्न प्रक्रमों द्वारा सम्पीड़ित किया जाता है। निम्न में से किस प्रक्रम के लिए अन्तिम दाब अधिकतम होगा –

(A) समदाबीय (B) समतापीय (C) रूद्धोष्म (D) PV^2 = अचर

14. 500 K पर H_2 के 4 मोल को 400 K पर He के 2 मोलों के साथ मिलाया जाता है। मिश्रण का तापमान T तथा आयतन V है। अब मिश्रण को आयतन V' तथा ताप T' तक रूद्धोष्म रूप से सम्पीड़ित किया जाता है तथा यदि $\frac{T'}{T}=\left(\frac{V}{V'}\right)^n$, 13n का मान ज्ञात करो।

(A) 4 (B) 6 (C) 5 (D) 13

15. एक कोयले पर आधारित तापीय वैद्युत शक्ति प्लांट 27ºC एवं 227ºC तापमान के मध्य संचालित होकर वैद्युत शक्ति उत्पन्न कर रहा है। प्लांट उसकी अधिकतम सैद्धान्तिक दक्षता के 80% पर कार्यरत् है। 1 kg कोयले के पूर्ण रूप से जलने पर 3600 KJ ऊष्मा प्राप्त होती है। एक घर को प्रतिदिन 10 यूनिट वैद्युत शक्ति की आवश्यकता होती है। इस घर में एक वर्ष तक वैद्युत शक्ति आपूर्ती के लिए उपयोग किये गये कोयले की मात्रा होगी। **[Olympiad 2014 (stage –1)]**

(A) 1141 kg (B) 580 kg (C) 605 kg (D) 765 kg

16. एक घर में दो एकसमान कमरे एक खुले दरवाजे द्वारा जुड़े हुए है। दोनों कमरों में तापमान दो भिन्न भिन्न मान पर बना रहता है। इसीलिए

(A) उच्च ताप का कमरा अधिक मात्रा में वायु रखता है।

(B) कम ताप का कमरा अधिक मात्रा में वायु रखता है।

(C) दोनों कमरे समान मात्रा में वायु रखते है।

(D) कमरा जो उच्च दाब पर स्थित है, अधिक मात्र में वायु रखता है।

17. एक गैस प्रारम्भिक अवस्था से अंतिम अवस्था तक भिन्न–भिन्न पथों के अनुदिश केवल रूद्धोष्म प्रक्रम द्वारा गुजारी जाती है। इसीलिए

(A) भिन्न–भिन्न पथों के लिए किया गया कार्य भिन्न–भिन्न होगा।

(B) सभी पथों के लिए किया गया कार्य समान होगा।

(C) यहाँ कोई कार्य नहीं किया जाता है जैसा कि कोई ऊष्मा स्थानान्तरित नही होती है।

(D) निकाय की कुल आंतरिक ऊर्जा परिवर्तित नही होगी।

18. हाइड्रोजन के दो मोलों को हीलियम के n मोलों के साथ मिलाया जाता है। मिश्रण में गैस अणुओं की मूल माध्य वर्ग चाल मिश्रण में ध्वनि की चाल से $\sqrt{2}$ गुणा है, तो n है **[Olympiad (Stage-1) 2017]**

(A) 3 (B) 2 (C) 1.5 (D) 2.5

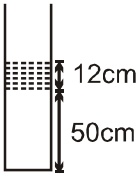
भाग - II : एकल एवं द्वि–पूर्णांक मान प्रकार (SINGLE AND DOUBLE VALUE INTEGER TYPE)

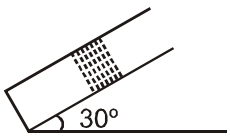
1. 1500 K ताप पर V = 5 लीटर आयतन के बर्तन में 1.4 ग्राम नाइट्रोजन और 0.4 ग्राम हीलियम है। यदि नाइट्रोजन के 30% अणु परमाणुओं में विघटित हो जायें, तो गैस का दाब $\frac{N}{8}\times10^5\ N/m^2$ है, N ज्ञात करो। (ताप नियत माने)

$\left[R=\frac{25}{3}J/mol\ K\right]$

2. दिये गये चित्र में एक समरूप ऊर्ध्वाधर ट्यूब के बन्द सिरे व इसमें स्थित पारे के स्तम्भ के बीच एक आदर्श गैस स्थित है। ट्यूब का ऊपरी सिरा वायुमण्डल में खुला हुआ है। पारे के स्तम्भ व वायु स्तम्भ की प्रारम्भिक लम्बाईयां क्रमशः 12 cm व 50 cm है। जब ट्यूब को धीरे–धीरे ऊर्ध्वाधर तल में क्षैतिज से 30º कोण पर झुकाया जाता है, तब वायु स्तम्भ की नई लम्बाई $\frac{x}{41}$ m है, x क्या होगा। मानें कि ताप नियत रहता है।

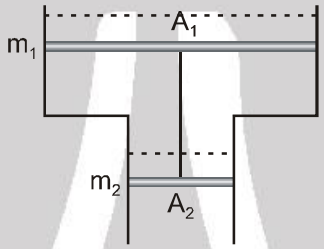
(P_{atm} = Hg का 76 cm)





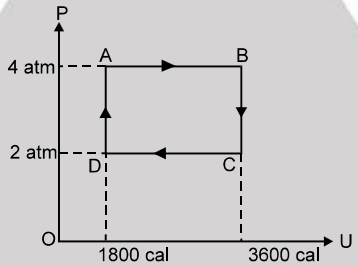
3. दो तापीय रूप से कुचालक पात्रों A व B में एक परमाणुक आदर्श गैस भरी है। एक वॉल्व युक्त छोटी नली दोनों बर्तनों को जोड़ती है। प्रारम्भ में बर्तन A में 300 K ताप तथा 2×10^5 N m^{-2} दाब पर 2 लीटर गैस है। जबकि बर्तन B में 350 K ताप तथा $4 \times 10^5 Nm^{-2}$ दाब पर 4 लीटर गैस है। अब वॉल्व को खोल दिया जाता है और गैस निकाय दाब और ताप में साम्यावस्था प्राप्त करता है। नए दाब का मान $\frac{310}{93} \times 10^n$ (N/m^2) है, n ज्ञात करो।

4. दोनों सिरों पर खुली एक ऊर्ध्वाधर नलिका लें। नलिका के भिन्न अनुप्रस्थ काट के दो भाग हैं, जिनमें पिस्टन लगे हैं ताकि ये एक साथ अपने भाग में आसानी से चल सकते हैं। दोनों पिस्टनों को न खिंचनें वाले तार से जोड़ा गया है। दोनों पिस्टनों का संयुक्त द्रव्यमान 5 किग्रा. है तथा ऊपर वाले पिस्टन का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल नीचे वाले पिस्टन से 10 सेमी.^{2} ज्यादा है। पिस्टनों के बीच घिरी गैस की मात्रा 1 मोल है। जब गैस को धीरे–धीरे गर्म करते हैं, तो पिस्टन 50 सेमी. (चित्रानुसार) चलता है। गैस के ताप में वृद्धि $\frac{X}{R}$K के रूप में है, जहाँ R सार्वत्रिक गैस नियतांक है। g = 10 मी./से.^{2} तथा बाहरी दाब = 10^5 न्यूटन/मी.^{2} लें। X का मान भरें।

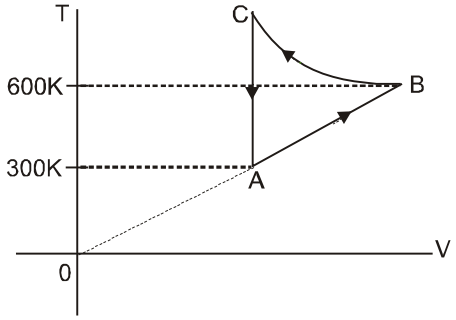


5. यदि 2 ग्राम गैस A एक निर्वातित फ्लास्क में जो 25^{0}C पर है, प्रवेश कराई जाती है तो दाब 1atm पाया जाता है। इसके बाद यदि 3 ग्राम एक अन्य गैस B इसी फ्लास्क में भरी जाय तो कुल दाब 1.5atm हो जाता है। A व B के अणु भारों का अनुपात 1 : n है। n ज्ञात करो।

6. एक आदर्श एकपरमाणुक गैस के दो मोल एक चक्रीय प्रक्रम से गुजरते हैं, जो कि P-U लेखाचित्र में दर्शाये गये हैं। जहाँ U गैस की आन्तरिक ऊर्जा हैं। चक्र में गैस द्वारा किया गया कार्य $k \times 10^2 \ln 2$ है, k ज्ञात करो :



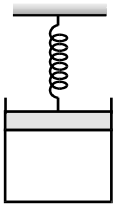
7. निर्दिष्ट चित्र में आदर्श गैस के 3 मोल को चक्रिय प्रक्रम ABCA से गुजारा जाता है। इस प्रक्रिया में प्रतिदर्श से कुल 1500 J ऊष्मा निकाली जाती है। BC में गैस द्वारा किया गया कार्य –P kJ है। P ज्ञात करियें (R = $\frac{25}{3}$ J/mole K)



8. एक प्रसरण प्रक्रम के दौरान गैस का आयतन $4m^3$ से $6m^3$ परिवर्तित होता है, जबकि दाब P = 30V + 100 के अनुसार परिवर्तित होता है, यहाँ दाब Pa में आयतन m^3 में है। गैस द्वारा किया कार्य N $\times 10^2$ J है। N ज्ञात करो।

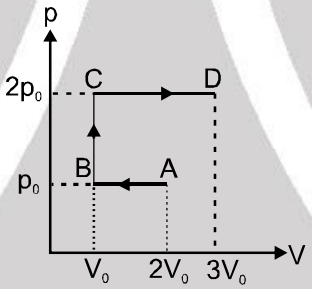
9. एक गुब्बारे में भरी आदर्श गैस का आयतन 10 लीटर एवं ताप 17ºC है। यदि इसे धीरे–धीरे 75ºC तक गर्म किया जाये तो गुब्बारे के अन्दर गैस द्वारा किया गया कार्य 2×10^x J है। x का मान ज्ञात करो। (गुब्बारे की प्रत्यास्थता को नगण्य मानें एवं वायुमण्डलीय दाब 10^5 पास्कल है)

10. एक आदर्श गैस का एक मोल एक सम्पीड़ित स्प्रिंग (स्प्रिंग नियतांक 100 N/m) से जुड़े हल्के पिस्टन (क्षेत्रफल $=10^{-2}$ m^2) के नीचे है। गैस का आयतन 0.83 m^3 है तथा इसका ताप 100K है। गैस इस प्रकार गर्म की जाती है कि यह स्प्रिंग को 0.1 m ओर दबाती है। प्रक्रिया में गैस द्वारा किया गया कार्य $N \times 10^{-1}$ J है। N का मान है : (R = 8.3 J/K-mole लें तथा यह मानें कि वायुमण्डल नहीं है)



11. चित्र में रूद्धोष्म दीवारों वाली एक बेलनाकार नलिका दर्शायी गयी है जिसमें एक रूद्धोष्म विभाजक लगा है । प्रारम्भ में विभाजक साम्यावस्था में है तथा नलिका को दो समान भागों में विभाजित करता है। विभाजक को बाह्य युक्ति द्वारा विस्थापित किया जा सकता है। दोनों भागों में समान दाब एंव ताप पर एक आदर्श गैस (γ = 1.5) भरी जाती है। अब विभाजक को ऐसी स्थिति तक विस्थापित किया जाता है जहां यह नलिका को 7 : 3. अनुपात में बांटता है। नलिका के दोनों भागों में ताप का अनुपात $\sqrt{n} : \sqrt{7}$ है। n ज्ञात करिये।

12. प्रदर्शित चित्र में एक परमाणुक, आदर्श गैस के नमूने के लिए P–V वक्र प्रदर्शित है। प्रक्रम ABCD के लिए औसत मोलर विशिष्ट ऊष्मा धारिता यदि $\frac{xR}{4}$ है तो x का मान बताइये : (R सार्वत्रिक गैस नियतांक है)



भाग - III : एक या एक से अधिक सही विकल्प प्रकार

1. कमरे के ताप पर नाइट्रोजन और हीलीयम का मिश्रण मानिए। हीलीयम अणुओं की तुलना में, नाइट्रोजन अणु दीवार से टक्कर करते हैं –

(A) अधिक औसत चाल से। (B) कम औसत चाल से।

(C) अधिक औसत गतिज ऊर्जा से। (D) कम औसत गतिज ऊर्जा से।

2. कमरे के ताप पर आर्गन और नाइट्रोजन के मिश्रण में आर्गन और नाइट्रोजन के अणुओं में टक्कर के लिए निम्न में से कौनसे विकल्प सम्भव है।

(A) दोनों अणुओं की गतिज ऊर्जाएँ घटती है।

(B) दोनों अणुओं की गतिज ऊर्जाएँ बढ़ती है।

(C) आर्गन अणु की गतिज ऊर्जा बढ़ेगी तथा नाइट्रोजन अणु की गतिज ऊर्जा घटेगी।

(D) नाइट्रोजन अणु की गतिज ऊर्जा बढ़ेगी तथा आर्गन अणु की गतिज ऊर्जा घटेगी।

3. नगण्य ऊष्मीय धारिता के एक दृढ़ बर्तन में आदर्श गैस का एक मोल संग्रहित है। यदि इसको 25 J ऊष्मा दी जाती है, तो गैस का ताप 2ºC से बढ जाता है तो गैस हो सकती है।

(A) हीलियम (B) आर्गन (C) ऑक्सीजन (D) कार्बनडाइऑक्साइड

4. सही कथन/कथनों को चुनिए –

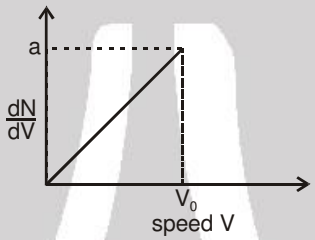
(A) सभी आदर्श गैस अणुओं की वर्ग माध्य मूल स्थानान्तरीय चाल समान ताप पर समान नहीं होती बल्कि द्रव्यमान पर निर्भर करती है।

(B) गैस के प्रत्येक कण में औसत स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा होती है तथा समीकरण $\frac{1}{2}mv^2_{rms} = \frac{3}{2}kT$ प्रतिकण औसत स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा तथा आदर्श गैस के ताप में सम्बन्ध स्थापित करता है। अतः निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि एकल कण, ताप रखता है।

(C) आदर्श गैस का ताप 100°C से 200°C तक दुगुना करते हैं। प्रत्येक कण की औसत गतिज ऊर्जा भी दुगुनी हो जाती है।

(D) एक परमाणुक गैस के दाब तथा आयतन दोनों में परिवर्तन एक साथ सम्भव है, जब कि गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन न किया जायें।

5. ग्राफ में N-गैस कणों के लिए, एक कल्पित चाल वितरण दर्शाया गया है ($V > V_0$ के लिए, $\frac{dN}{dV} = 0$)



(A) aV_0 का मान 2N है।

(B) $V_{\text{औसत}}/V_0$ का अनुपात 2/3 के बराबर है।

(C) $V_{\text{व.मा.चाल}}/V_0$ का अनुपात $1/\sqrt{2}$ के बराबर है।

(D) कुल कणों के तीन–चौथाई कणों की चाल $0.5\ V_0$ तथा V_0 के बीच है।

6. एक निकाय चक्रीय प्रक्रम के दौरान Q_1 ऊष्मा अवशोषित तथा Q_2 ऊष्मा बाहर निकालता है। प्रक्रम की दक्षता η है तथा किया गया कार्य W है। सही कथन चुनिए।

(A) $W = Q_1 - Q_2$ (B) $\eta = \frac{W}{Q_1}$ (C) $\eta = \frac{Q_2}{Q_1}$ (D) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

7. एक प्रक्रम मे आदर्श गैस के दाब P व आयतन V दोनों में कमी होती है तो –

(A) गैस द्वारा किया गया कार्य ऋणात्मक है।

(B) गैस द्वारा किया गया कार्य धनात्मक है।

(C) गैस का तापमान अवश्य ही घटेगा

(D) गैस को दी गई ऊष्मा, आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन के तुल्य होगी।

8. एक आदर्श गैस को प्रारम्भिक अवस्था 1 से अन्तिम अवस्था 2 तक दो प्रक्रमों द्वारा ले जाया जा सकता है। माना ΔQ व W क्रमशः निकाय को दी गई ऊष्मा और निकाय द्वारा किये गये कार्य को प्रदर्शित करते है तो दोनों प्रक्रमों के लिए निम्न में से कौनसा/कौनसी राशियाँ समान होगी (यहाँ ΔU = गैस की आन्तरिक ऊर्जा)

(A) ΔQ (B) W (C) ΔU (D) ΔQ - W

9. आदर्श गैस के C_v तथा C_p के मानों का समुच्च्य विभिन्न छात्रों द्वारा दिया गया है। इनकी इकाई cal $mole^{-1}$ K^{-1} है। निम्न में से कौनसा समूह सबसे उचित मान दर्शाता है ?

(A) $C_v = 3, C_p = 5$ (B) $C_v = 4, C_p = 6$ (C) $C_v = 3, C_p = 2$ (D) $C_v = 3, C_p = 4.2$

10. एक आदर्श गैस के लिए –

(A) नियत दाब प्रक्रम मे ताप T_1 से T_2 तक होने में आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $nC_v(T_2 - T_1)$ है, जहाँ C_v मोलर विशिष्ट ऊष्मा (नियत आयतन पर) और n गैस के मोलों की संख्या है।

(B) रूद्धोष्म प्रक्रम में, आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन तथा गैस द्वारा किये गये कार्य के परिमाण आपस में बराबर है।

(C) समतापी प्रक्रम मे आन्तरिक ऊर्जा नहीं बदलती है।

(D) रूद्धोष्म प्रक्रम में कोई ऊष्मा न दी जाती है, न ली जाती है।

11. एक गैसीय मिश्रण दो आदर्श गैसों के समान मोलों की संख्या से बना हुआ है तथा इन आदर्श गैसों के रूद्धोष्म चरघातांक γ_1 तथा γ_2 एवं नियत आयतन पर मोलर विशिष्ट ऊष्मायें क्रमशः C_{v_1} तथा C_{v_2} हैं। निम्न में कौन सा/से कथन सही है/हैं

(A) गैस मिश्रण का रूद्धोष्म चरघातांक $\frac{\gamma_1+\gamma_2}{2}$ के बराबर है।

(B) गैस मिश्रण की नियत आयतन पर मोलर विशिष्ट ऊष्मा $\frac{C_{v_1}+C_{v_2}}{2}$ के बराबर है।

(C) गैस मिश्रण की नियत दाब पर मोलर विशिष्ट ऊष्मा $\frac{C_{v_1}+C_{v_2}+R}{2}$ है।

(D) गैस मिश्रण का रूद्धोष्म चरघातांक $1+\frac{2R}{C_{v_1}+C_{v_2}}$ है।

12. दो विभिन्न आदर्श गैसों के n_1 और n_2 मोलों को मिश्रित किया जाता है जिनके रूद्धोष्म गुणांक क्रमशः γ_1 तथा γ_2 है, तो मिश्रण का रूद्धोष्म गुणांक γ ज्ञात करो

(A) $(n_1+n_2)\gamma = n_1\gamma_1 + n_1\gamma_2$

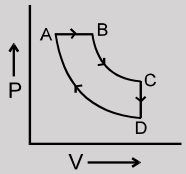
(B) $\frac{(n_1+n_2)}{\gamma-1} = \frac{n_1}{\gamma_1-1}+\frac{n_2}{\gamma_2-1}$

(C) $(n_1+n_2)\ \frac{\gamma}{\gamma-1} = n_1\frac{\gamma_1}{\gamma_1-1}+n_2\frac{\gamma_2}{\gamma_2-1}$

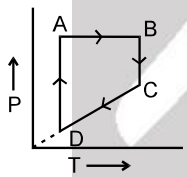
(D) $(n_1+n_2)(\gamma-1) = n_1(\gamma_1-1)+n_2(\gamma_2-1)$

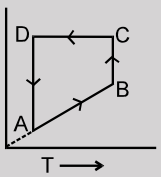
13. एक आदर्श गैस प्रारम्भिक अवस्था से निश्चित आयतन तक दो प्रक्रियाओं द्वारा प्रसारित होती है
(i) PV^2 = स्थिरांक तथा (ii) $P = KV^2$ जहाँ K एक धनात्मक स्थिरांक है तब –
(A) अन्तिम ताप, प्रक्रिया (i) में प्रक्रिया (ii) से ज्यादा होगा।
(B) अन्तिम ताप, प्रक्रिया (ii) में प्रक्रिया (i) से ज्यादा होगा।
(C) गैस को दी गई कुल ऊष्मा, प्रक्रिया (i) में प्रक्रिया (ii) से ज्यादा होगी।
(D) गैस को दी गई कुल ऊष्मा, प्रक्रिया (ii) में प्रक्रिया (i) से ज्यादा होगी।

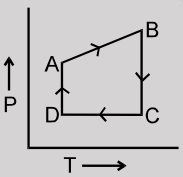
14. P–V चित्र में दिखाया गया प्रक्रम ABCD चक्रीय है (BC और DA समतापी है)।

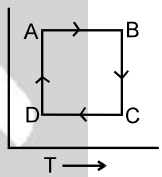


निम्न मे से कौनसे वक्र समान प्रक्रम को दर्शाते है ?

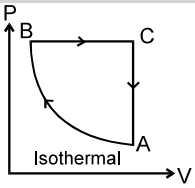
(A) 

(B) 

(C) 

(D) 

15. चित्र में आदर्श एक परमाणुक गैस के लिए चक्रीय प्रक्रम प्रदर्शित है। सही कथन है –



(A) प्रक्रम AB मे गैस द्वारा किया गया कार्य प्रक्रम BC में किये गये कार्य से अधिक है।
(B) निकाय को कुल ऊष्मा दी जाती है।
(C) अवस्था B में गैस का ताप अधिकतम है।
(D) प्रक्रम CA में निकाय से ऊष्मा बाहर निकलती है।

16. एक पात्र में गैस भरी है, यदि पात्र परिमित चालकता का है तब प्रक्रम –
(A) निश्चित रूप से लगभग रूद्धोष्म होगा।
(B) निश्चित रूप से लगभग समतापी होगा।
(C) लगभग रूद्धोष्म हो सकता है।
(D) लगभग समतापी हो सकता है।

17. तीन समान रूद्धोष्म पात्र P, Q तथा R में समान दाब पर क्रमशः ऑक्सीजन, नाइट्रोजन तथा हीलियम गैस भरी है। गैसों को सम्पीडित करके उनका आयतन प्रारम्भिक आयतन का आधा कर दिया जाता है। (प्रारम्भिक ताप समान है।)

(A) तीनों पात्रों में अन्तिम ताप समान होगा।

(B) तीनों पात्रों में अन्तिम दाब समान होगा।

(C) ऑक्सीजन और नाइट्रोजन का दाब समान होगा लेकिन हीलियम का भिन्न होगा।

(D) ऑक्सीजन और नाइट्रोजन का ताप समान होगा लेकिन हीलियम का भिन्न होगा।

18. एक प्रयोग के दौरान एक आदर्श गैस $\frac{P^2}{\rho}$ = नियतांक का पालन करती पायी गई [ρ = गैस का घनत्व]। गैस का प्रारम्भ में ताप T, दाब P और घनत्व ρ था। अब गैस प्रसारित होती है जिससे उसका घनत्व $\frac{\rho}{2}$ हो जाता है।

(A) गैस का दाब परिवर्तित होकर $\sqrt{2}$ P हो जाता है। (B) गैस का ताप परिवर्तित होकर $\sqrt{2}$ T हो जाता है।

(C) इस प्रक्रम में P-T वक्र परवलय होगा। (D) इस प्रक्रम में P-T वर्क अतिपरवलय होगा।

19. निम्न में से कौनसा/कौनसे कथन एक ऊष्मागतिकीय प्रक्रम के लिए सही है। **[Olympiad 2015 (stage-1)]**

(A) $\Delta E_{int} = W$ एक रूद्धोष्म प्रक्रम को दर्शाता है। (B) $\Delta E_{int} = Q$ एक समआयतनिक प्रक्रम बताता है।

(C) $\Delta E_{int} = 0$ एक चक्रीय प्रक्रम के लिए सही है। (D) $\Delta E_{int} = -W$ एक रूद्धोष्म प्रक्रम दर्शाता है।

20. यदि एक निकाय केवल रूद्धोष्म प्रक्रम द्वारा प्रारम्भिक अवस्था से अन्तिम अवस्था में परिवर्तन के अर्न्तगत बनाया गया है, तो **[Olympiad (Stage-1) 2017]**

(A) दोनों अवस्थाओं को जोड़ने वाले अलग अलग पथों के लिए किया गया कार्य अलग है।

(B) चूंकि ऊष्मा का स्थानान्तरण नहीं है अतः कोई कार्य नहीं होगा

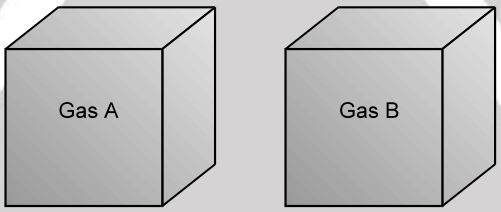
(C) निकाय की आन्तरिक ऊर्जा परिवर्तित होगी

(D) सभी रूद्धोष्म पथों के लिए किया गया कार्य समान है।

भाग - IV : अनुच्छेद (COMPREHENSION)

अनुच्छेद-1

किसी वृद्ध वैज्ञानिक की प्रयोगशाला में दो एक समान बन्द चालकीय बक्से मिले। गैस की सम्पुष्टि के लिए दो बक्सों पर कुछ प्रयोग किये गये और परिणाम अंकित किए गए।



प्रयोग 1.

जब दोनों को तोला गया तो $W_A = 225$ g, $W_B = 160$ g और निर्वातित बक्से का द्रव्यमान $W_C = 100$g है।

प्रयोग 2.

जब दोनों को समान ऊष्मा दी गई तो दोनों के ताप में समान वृद्धि पायी गई। दाब का परिवर्तन पाया गया

$\Delta P_A = 2.5$ atm. $\Delta P_B = 1.5$ atm.

अज्ञात गैस के लिए अभीष्ठ आंकड़े

एक परमाणु (मोलर द्रव्यमान)	He 4g	Ne 20g	Ar 40 g	Kr 84 g	Xe 131 g	Rd 222 g
द्विपरमाणुक (मोलर द्रव्यमान)	H_2 2g	F_2 19 g	N_2 28g	O_2 32g	Cl_2 71 g	

1. A और B बक्सों में गैस के प्रकार को पहचानों :

(A) एक परमाणुक, एक परमाणुक (B) द्विपरमाणुक, द्विपरमाणुक

(C) एक परमाणुक, द्विपरमाणुक (D) द्विपरमाणुक, एक परमाणुक

2. पात्र A और B में गैस को पहचानों
(A) N_2, Ne (B) He, H_2 (C) O_2, Ar (D) Ar, O_2

3. A में कुल अणु कितने हैं (यहाँ N_A = आवोगाद्रो संख्या)
(A) $\frac{125}{64}N_A$ (B) 3.125 N_A (C) $\frac{125}{28}N_A$ (D) 31.25 N_A

4. पात्र 'A' में गैस की प्रारम्भिक आंतरिक ऊर्जा क्या होगी, यदि प्रारम्भ में कमरे का ताप 300 K हो –
(A) 1406.25 cal (B) 1000 cal (C) 2812.5 cal (D) इनमें से कोई नहीं

अनुच्छेद-2

एकपरमाणुक एक आदर्श गैस को अचालक पात्र में भरा जाता है। गैस को एक गति करने योग्य अचालक पिस्टन से दबाया जा सकता है। गैस को प्रारम्भिक आयतन के 12.5% तक धीरे धीरे संपीडित किया जाता है।

5. गैस के ताप में प्रतिशत वृद्धि –
(A) 400% (B) 300% (C) – 87.5% (D) 0%

6. गैस के प्रारम्भिक रूद्धोष्म आयतन प्रत्यास्थता गुणांक तथा अन्तिम रूद्धोष्म आयतन प्रत्यास्थता गुणांक में अनुपात है –
(A) 32 (B) 1 (C) 1/32 (D) 4

7. गैस द्वारा किये गये कार्य का गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन के साथ अनुपात है –
(A) 1 (B) –1 (C) ∞ (D) 0

अनुच्छेद-3

एक आदर्श गैस प्रारम्भिक दाब p_0 से मुक्त प्रसार (निर्वात में रूद्धोष्म स्थितियों में प्रसार) करती है जब तक कि इसका आयतन, प्रारम्भिक आयतन का 3 गुना हो जाता है। आगे गैस को रूद्धोष्म रूप से वापस मूल आयतन तक संपीड़ित करते हैं। संपीड़न के बाद दाब $3^{2/3}\, p_0$ है।

8. मुक्त प्रसार के बाद गैस का दाब है –
(A) $\frac{p_0}{3}$ (B) $p_0^{1/3}$ (C) p_0 (D) $3p_0$

9. गैस है –
(A) एक परमाणुक (B) द्वि परमाणुक
(C) बहु परमाणुक (D) दी गई सूचना के आधार पर प्रकार नहीं बताया जा सकता।

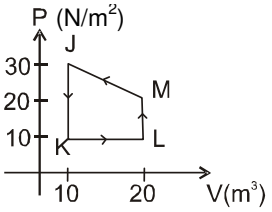
10. अन्तिम अवस्था एवं प्रारम्भिक अवस्था की प्रति अणु औसत गतिज ऊर्जाओं का अनुपात है –
(A) 1 (B) $3^{2/3}$ (C) $3^{1/3}$ (D) $3^{1/6}$

Exercise-3

चिन्हित प्रश्न दोहराने योग्य प्रश्न है।
*** चिन्हित प्रश्न एक से अधिक सही विकल्प वाले प्रश्न है।**

भाग - I : JEE (ADVANCED) / IIT-JEE (पिछले वर्षो) के प्रश्न

1. निम्न को दी गयी प्रक्रिया के अनुसार सुमेलित करो : **[JEE 2006, 6/184]**



(A) प्रक्रम J → K (p) W > 0
(B) प्रक्रम K → L (q) W < 0
(C) प्रक्रम L → M (r) Q > 0
(D) प्रक्रम M → J (s) Q < 0

2. **वक्तव्य-1 :** एक आदर्श गैस के दिये गये द्रव्यमान में सभी अणुओं की कुल स्थानान्तरीय गतिज ऊर्जा उसके दाब एवं आयतन के गुणनफल का 1.5 गुना होता है। क्योंकि **[JEE 2007; 3/162)]**

वक्तव्य-2 : किसी गैस के अणु आपस में एक दूसरे से टकराते रहते है और टक्करों के कारण अणुओं के वेग बदलते रहते है।

(A) वक्तव्य-1 सत्य है, वक्तव्य-2 सत्य है; वक्तव्य-2 वक्तव्य-1 का सही स्पष्टीकरण है।

(B) वक्तव्य-1 सत्य है, वक्तव्य-2 सत्य है ; वक्तव्य-2 वक्तव्य-1 का सही स्पष्टीकरण नहीं है।

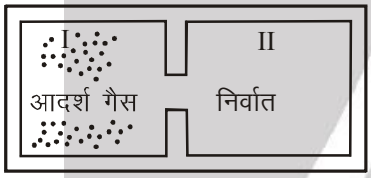
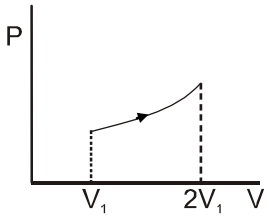
(C) वक्तव्य-1 सत्य है, वक्तव्य-2 असत्य है।

(D) वक्तव्य-1 असत्य है, वक्तव्य-2 सत्य है।

3. एक आदर्श गैस इस प्रकार से फैलती है कि PT^2 = अचल। गैस का आयतन–प्रसार गुणांक (coefficient of volume expansion) है

(A) $\frac{1}{T}$ (B) $\frac{2}{T}$ (C) $\frac{3}{T}$ (D) $\frac{4}{T}$ **[JEE 2008' 3/163]**

4. **कॉलम I** में आदर्श गैस के प्रसार से संबंधित प्रक्रमों (processes) की एक सूची दी गई है। **कॉलम II** में दिये गये ऊष्मागतिक परिवर्तनों को **कॉलम** I से सुमेल करें। अपने ऊपर को ORS में दिया गया 4×4 मैट्रिक्स के उचित स्तमभों को काला करके दर्शाएं। **[JEE 2008' 6/163]**

कॉलम I	**कॉलम II**
(A) एक ऊष्मारोधी (insulated) पात्र में दो कक्ष हैं जो एक वाल्व के द्वारा जुड़े हैं। कक्ष I में आदर्श गैस है और कक्ष II में निर्वात (vacuum) है। वाल्व को खोल दिया जाता है। 	(p) गैस का तापमान घटता है।
(B) एक आदर्श एक–परमाणुक (monoatomic) गैस का मूल आयतन फैल कर दो गुना इस प्रकार से हो जाता है कि $P \propto \frac{1}{V^2}$, जहाँ V गैस का आयतन है तथा P दबाव है	(q) गैस का तापमान बढ़ता है या स्थिर रहता है
(C) एक आदर्श एक–परमाणुक गैस का मूल आयतन फैल कर इस प्रकार से दो गुना हो जाता है कि $P \propto \frac{1}{V^{4/3}}$, जहाँ V गैस का आयतन है।	(r) गैस ऊष्मा का क्षय करती है
(D) एक आदर्श एक–परमाणुक गैस इस प्रकार से फैलती है कि इसका दाब P तथा आयतन V चित्र में दर्शाये ग्राफ का अनुसरण करते हैं 	(s) गैस ऊष्मा का अर्जन करती है

5.* किसी गैस की आणविक विशिष्ट ऊष्मा धारिता को नियत आयतन तथा नियम दाब पर क्रमशः C_v तथा C_p से दर्शाया जाता है। तब **[JEE, 2009, 4/160, –1]**

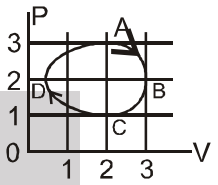
(A) $C_p - C_v$ का मान एकपरमाणुक आदर्श गैस की अपेक्षा द्विपरमाणुक आदर्श गैस में अधिक होता है।

(B) $C_p + C_v$ का मान एकपरमाणुक आदर्श गैस की अपेक्षा द्विपरमाणुक आदर्श गैस में अधिक होता है।

(C) C_p / C_v का मान एकपरमाणुक आदर्श गैस की अपेक्षा द्विपरमाणुक आदर्श गैस में अधिक होता है।

(D) $C_p . C_v$ का मान एकपरमाणुक आदर्श गैस की अपेक्षा द्विपरमाणुक आदर्श गैस में अधिक होता है।

6.* एक आदर्श गैस को चक्र ABCDA से गुजारा जाता है और इसका P-V ग्राफ चित्र में दिखाया गया है। ABC एक अर्ध–वृत्त है और CDA आधा दीर्घवृत्त है। तब



(A) प्रक्रिया $A \to B$ समतापीय है। **[JEE, 2009, 4/160, –1]**

(B) पथ $B \to C \to D$ के दौरान गैस से ऊष्मा बाहर निकलती है।

(C) पथ $A \to B \to C$ के दौरान किया गया कार्य शून्य है।

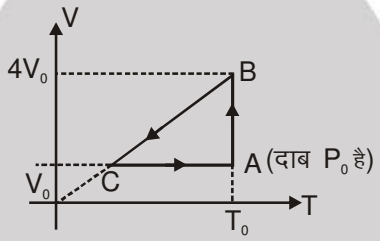
(D) चक्र ABCDA में गैस द्वारा धनात्मक कार्य किया गया है।

7. एक वास्तविक गैस, एक आदर्श गैस की तरह व्यवहार करती है, यदि **[JEE, 2010, 3/163, –1]**

(A) इसका दाब व तापमान दोनों उच्च है (B) इसका दाब व तापमान दोनों निम्न है

(C) इसका दाब उच्च है तथा तापमान निम्न है (D) इसका दाब निम्न है तथा तापमान उच्च है

8.* चित्र में दर्शाये अनुसार एक मोल परिमाण की एक आदर्श गैस अपनी प्रारंभिक अवस्था A से चक्रिय प्रक्रम ABCA से गुजरती है। A पर इसका दाब P_0 है। निम्न में से सही विकल्पों (विकल्प) को चुनिये। **[JEE, 2010, 3/163]**



(A) A तथा B पर आन्तरिक ऊर्जा एक समान है (B) प्रक्रिया AB में गैस द्वारा किया गया कार्य $P_0V_0 \ell n\, 4$ है

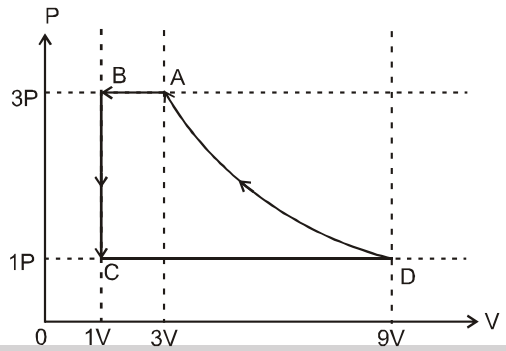
(C) C पर दाब $\frac{P_0}{4}$ है (D) C पर तापमान $\frac{T_0}{4}$ है

9. एक द्विपरमाणुक आदर्श गैस को इसके प्रारंभिक आयतन के $\frac{1}{32}$ वें भाग तक रूद्धोष्म रूप से संपीडित किया जाता है। यदि गैस का प्रारंभिक तापमान T_i (केल्विन में) है तथा अंतिम तापमान aT_i है तो a का मान कितना है ? **[JEE, 2010, 3/163]**

10. STP पर स्थित 5.6 लीटर हीलियम गैस को रूद्धोष्म (adiabatic) प्रक्रम द्वारा 0.7 लीटर कर दिया जाता है। यदि आरम्भिक तापमान को T_1 माने, तब इस प्रक्रम में किया गया कार्य है। **[JEE, 2011, 3/160, –1]**

(A) $\frac{9}{8}RT_1$ (B) $\frac{3}{2}RT_1$ (C) $\frac{15}{8}RT_1$ (D) $\frac{9}{2}RT_1$

11. एक–परमाण्विक (monatomic) आदर्श गैस के 1 mole को चक्र ABCDA से ले जाने पर बना P-V रेखाचित्र (diagram) दिखाया गया है। इस चक्र में आने वाले परिणाम कॉलम II में दिये गये हैं। इनका मिलान कॉलम I में दिये गये प्रत्येक प्रक्रम से करें **[JEE, 2011, 8/160]**



कॉलम I	**कॉलम II**
(A) प्रक्रम A → B	(p) आंतरिक ऊर्जा घटती है
(B) प्रक्रम B → C	(q) आंतरिक ऊर्जा बढ़ती है
(C) प्रक्रम C → D	(r) ऊष्मा बाहर निकलती है
(D) प्रक्रम D → A	(s) ऊष्मा अन्दर जाती है
	(t) गैस पर कार्य होता है

12. एक बर्तन में दो मोल हीलियम गैस (परमाणु द्रव्यमान = 4 amu) और एक मोल ऑर्गन गैस (परमाणु द्रव्यमान = 40 amu) का मिश्रण 300 K तापमान पर है। इनकी वर्ग माध्य–मूल चाल का अनुपात, v_{rms} (हीलियम)/ v_{rms}(ऑर्गन) है

[IIT-JEE-2012, P-1 : 3/70, –1]

(A) 0.32 (B) 0.45 (C) 2.24 (D) 3.16

13. एक रबर के गुब्बारे में दो मोल आदर्श हीलियम गैस 30° C पर है। गुब्बारा पूरी तरह फैल सकता है और उसमें फैलने में कोई ऊर्जा खर्च नहीं होती, ऐसा मान लें। गुब्बारे में गैस का तापमान धीरे–धीरे 35°C कर दिया जाता है, तब उसका तापमान बढ़ाने में खर्च हुई ऊष्मा लगभग कितनी है ? (R = 8.31 J/mol.K लें) **[IIT-JEE-2012, Paper-2 : 3/66, –1]**

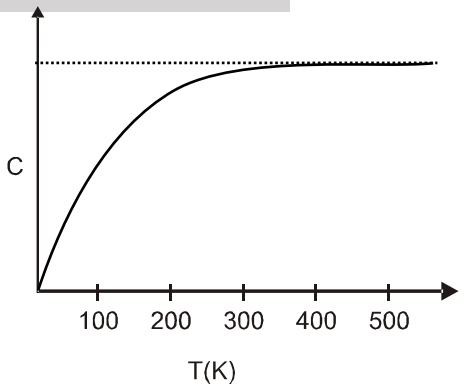
(A) 62J (B) 104 J (C) 124 J (D) 208 J

14. दो अन–अभिक्रियाशील एक–परमाणुक आदर्श गैसों का परमाणु द्रव्यमान 2 : 3 के अनुपात में है। जब इनको एक स्थिरतापीय बर्तन में परिबद्ध किया जाता है, तब इनके आंशिक दाबों का अनुपात 4 : 3 है। इनके घनत्व का अनुपात है :

[JEE (Advanced) 2013, 3/60,–1]

(A) 1 : 4 (B) 1 : 2 (C) 6 : 9 (D) 8 : 9

15.* चित्र में किसी ठोस की विशिष्ट ऊष्मा धारिता (C) का तापमान (T) पर निर्भरता को दर्शाया गया है। तापमान में 0 से 500 K तक समान दर से संतत् वृद्धि होती है। मान कर कि आयतन में परिवर्तन उपेक्षनीय है, निम्न प्रकथन में कौन सा (से) तर्कसंगत सन्निकट सही है (हैं)?



[JEE (Advanced) 2013, 2/60, –1]

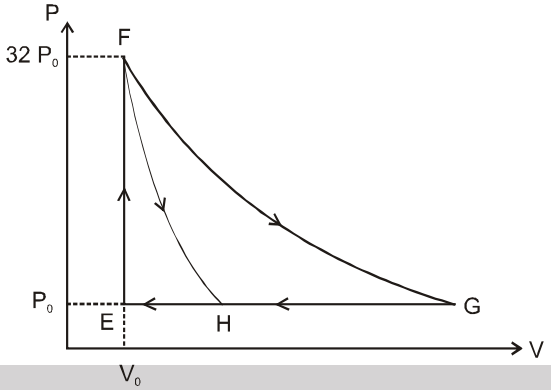
(A) 0–100 K के बीच, अवशोषित ऊष्मा की दर तापमान पर रैखिक आश्रितता दिखाएगी।

(B) 0–100 K तक तापमान को बढ़ाने पर अवशोषित ऊष्मा, 400–500 K तापमान के बीच बढ़ाने की ऊष्मा की तुलना में कम है।

(C) अवशोषित ऊष्मा की दर 400–500 K तापमान के बीच अपरिवर्तित है।

(D) ऊष्मा अवशोषण की दर 200–300 K तापमान के बीच बढ़ रही है।

16. एक एक–परमाणुक आदर्श गैस के एक मोल को, चित्र में दर्शाये PV आरेख के अनुसार दो चक्रीय प्रक्रमों $E \to F \to G \to E$ व $E \to F \to H \to E$ में ले जाया जाता है। संबद्धित प्रक्रम शुद्धतः समआयतनिक, समदाबी, समतापीय या रूद्धोष्म है।



सूची I में दिये गये पथों को सूची II में किये गये कार्य के परिमाण के साथ सुमेलित कीजिए और सूचियों के नीचे दिये गये कोड का प्रयोग करके सही उत्तर चुनिये। **[JEE (Advanced) 2013; 9/60]**

List I

P. $G \to E$
Q. $G \to H$
R. $F \to H$
S. $F \to G$

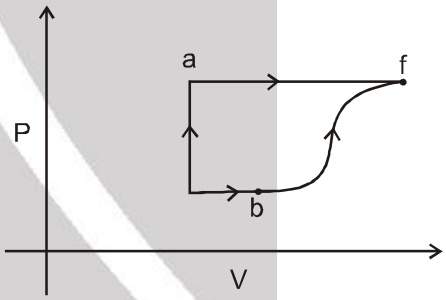
List II

1. $160\ P_0V_0\ \ln 2$
2. $36\ P_0V_0$
3. $24\ P_0V_0$
4. $31\ P_0V_0$

Codes :

	P	Q	R	S
(A)	4	3	2	1
(B)	4	3	1	2
(C)	3	1	2	4
(D)	1	3	2	4

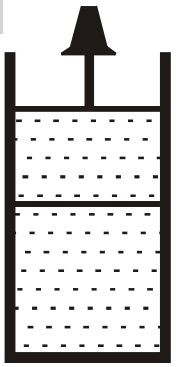
17. एक ऊष्मागतिक तंत्र (thermodynamic system) अपनी प्रारम्भिक अवस्था i जिस पर उसकी आन्तरिक ऊर्जा $U_i = 100$ J है, से अन्तिम अवस्था f तक दो भिन्न पथों iaf तथा ibf के अनुदिश लाया जाता है, जैसा चित्र में दर्शाया गया है। पथ af, ib तथा bf के लिए किया गया कार्य क्रमशः $W_{af} = 200$ J, $W_{ib} = 50$ J तथा $W_{bf} = 100$ J है। पथ iaf, ib तथा bf के अनुदिश तंत्र को दी गई ऊष्मा क्रमशः Q_{iaf}, Q_{ib} तथा Q_{bf} है। यदि अवस्था b पर तंत्र की आन्तरिक ऊर्जा $U_b = 200$ J तथा $Q_{iaf} = 500$ J, है तब अनुपात Q_{bf}/Q_{ib} होगा।



[JEE (Advanced) 2014,P-1, 3/60]

प्रश्न संख्या 18 और 19 के लिए अनुच्छेद

चित्र में दिखाए गए पात्र में ऊपर की ओर एक घर्षणरहित चल पिस्टन लगा है। पात्र तथा पिस्टन सभी ताप अवरोधी पदार्थ से निर्मित हैं, जिससे पात्र के अन्दर तथा बाहर ऊर्जा का आदान प्रदान संभव नहीं है। पात्र को एक ऊष्मा चालक पदार्थ से बने हुए दृढ़ विभाजक पटल द्वारा दो भागों में बॉटा गया है जिससे ऊष्मा का क्षीण प्रवाह संभव है। पात्र का निचला भाग एक आदर्श एक.परमाणविक (monatomic) गैस के 2 मोल से, जिसका ताप 700 K है, से भरा हुआ है। पात्र का ऊपरी भाग एक द्विपरमाणविक गैस (diatomic) के 2 मोल से, जिसका तापमान 400 K है, से भरा हुआ है। गैस की प्रतिमोल ऊष्मा धारिता आदर्श एक–परमाणविक गैस के लिए क्रमशः $C_V = \frac{3}{2}R$, $C_P = \frac{5}{2}R$ तथा आदर्श द्विपरमाणविक गैस के लिए क्रमशः $C_V = \frac{5}{2}R$, $C_P = \frac{7}{2}R$ हैं।



18. यदि विभाजक पटल पात्र से दृढ़ता से जुड़ा है, तब साम्यावस्था में आने पर गैसों का अन्तिम तापमान होगा। **[JEE (Advanced) 2014, 3/60, –1]**

(A) 550 K (B) 525 K (C) 513 K (D) 490 K

19. अब मान लीजिए कि विभाजक पटल घर्षणहीन गति के लिए स्वतंत्र है, जिससे दोनों भागों में गैस का दबाव समान है। गैसों द्वारा साम्यावस्था में पहुँचने तक किया गया कुल कार्य होगा। **[JEE (Advanced) 2014, 3/60, –1]**

(A) 250 R (B) 200 R (C) 100 R (D) –100 R

20.* एक मोल हाइड्रोजन और एक मोल हीलियम का गैस मिश्रण एक नियत आयतन के बर्तन में T तापमान पर साम्यावस्था में रखा है। यदि गैसों का व्यवहार आदर्श है, तब सही विकल्प है (है।) **[JEE (Advanced) 2015 ; 4/88, –2]**

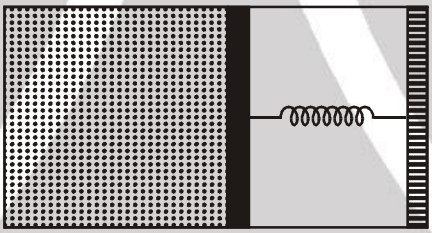
(A) गैस के मिश्रण में प्रति मोल औसत ऊर्जा 2RT है।

(B) गैस के मिश्रण तथा हीलियम गैस में ध्वनि की गतियों का अनुपात $\sqrt{6/5}$ है।

(C) हीलियम के परमाणुओं तथा हाइड्रोजन के अणुओं की rms चालों का अनुपात 1/2 है।

(D) हीलियम के परमाणुओं तथा हाइड्रोजन के अणुओं की rms चालों का अनुपात $1/\sqrt{2}$ है।

21.* एक एकपरमाणुक आदर्श गैस एक क्षैतिज बर्तन (horizontal cylinder) में स्प्रिंग युक्त पिस्टन द्वारा बंद है (दर्शाये चित्रानुसार)। प्रारम्भ में गैस का तापमान T_1, दाब P_1 तथा आयतन V_1 है तथा स्प्रिंग विश्रांत अवस्था में है। अब गैस को बहुत धीरे–धीरे तापमान T_2 तक गर्म करने पर दाब P_2 तथा आयतन V_2 हो जाता है। इस प्रक्रिया में पिस्टन x दूरी तय करता है। पिस्टन एवं बर्तन के मध्य घर्षण को नगण्य मानते हुए, सही कथन है(है) **[JEE (Advanced) 2015 ; P-2,4/88, –2]**



(A) यदि $V_2 = 2V_1$ तथा $T_2 = 3T_1$ है, तब स्प्रिंग में संचित ऊर्जा $\frac{1}{4}P_1V_1$ है।

(B) यदि $V_2 = 2V_1$ तथा $T_2 = 3T_1$ है, तब आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन $3P_1V_1$ है।

(C) यदि $V_2 = 3V_1$ तथा $T_2 = 4T_1$ है, तब गैस द्वारा किया गया कार्य $\frac{7}{3}P_1V_1$ है।

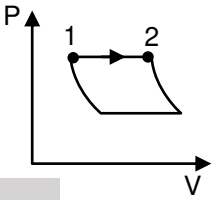
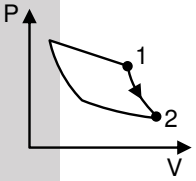
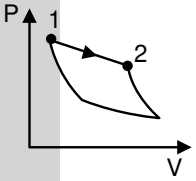
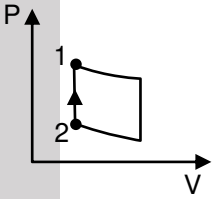
(D) यदि $V_2 = 3V_1$ तथा $T_2 = 4T_1$ है, तब गैस को दी गयी ऊष्मा $\frac{17}{6}P_1V_1$ है।

22. एक खोखले बेलन, जिसमें एक घर्षण–रहित चलायमान पिस्टन लगा है, में एक गैस बंद है। निकाय की प्रारम्भिक ऊष्मागतिकी अवस्था (thermodynamic state) में गैस का दबाव $P_i = 10^5$ Pa एवं आयतन $V_i = 10^{-3}$ m^3 है। एक रूद्धोष्म स्थैतिककल्प (adiabatic quasi-static) की प्रक्रिया, जिसमें P^3V^5 = स्थिरांक है, से निकाय अंतिम ऊष्मागतिकी अवस्था $P_f = (1/32) \times 10^5$ Pa एवं $V_f = 8 \times 10^{-3}$ m^3 में परिवर्तित हो जाता है। एक दूसरी ऊष्मागतिकी प्रक्रिया में वही प्रारम्भिक एवं अंतिम अवस्थाएं दो चरणों में पूर्ण की जाती हैं : पहले चरण में P_i पर समान दबाव वृद्धि (isobaric expansion) के बाद दूसरे चरण में एक समान आयतन प्रक्रिया (isochoric /isovolumetric process) V_f आयतन पर होती है। दो चरणों वाली प्रक्रिया में निकाय को दी गई ऊष्मा की मात्रा लगभग है। **[JEE (Advanced) 2016; P-2, 3/62, –1]**

(A) 112 J (B) 294 J (C) 588 J (D) 813 J

नीचे दी गयी टेबल के तीन कॉलनों मे उपलब्ध सूचना का उपयुक्त ढंग से सुमेल कर प्रश्नों Q.23, Q.24 और Q.25 के उत्तर दीजिए।

एक आदर्श गैस (ideal gas) विभिन्न चक्रीय उष्मपातिक प्रक्रमों से गुजरता है। यह निम्न कॉलम 3 में P–V ओरख द्वारा दर्शाया गया है। केवल स्थिति 1 से स्थिति 2 जानेवाले पथ की ओर ध्यान दें। इस पथपर निकाय पर हुआ कार्य W है (work on the system) यहाँ γ नियम दाब एवं नियत आयतन ऊष्मा–धारिताओं का अनुपात है (ratio of the heat capacities) गैस मोलों (moles) की संख्या n है।

	कॉलम-1		**कॉलम-2**		**कॉलम-3**
(I)	$W_{1\to2}=\frac{1}{\gamma-1}(P_2V_2-P_1V_1)$	(i)	समतापीय	(P)	
(II)	$W_{1\to2}=-PV_2+PV_1$	(ii)	समआयतनिक (Isochoric)	(Q)	
(III)	$W_{1\to2}=0$	(iii)	समदाबीय	(R)	
(IV)	$W_{1\to2}=-nRT\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	(iv)	रूधोष्म (Adiabatic)	(S)	

23. निम्न दिए विकल्पों में कौन सा संयोजन $\Delta U = \Delta Q - P\Delta V$ प्रक्रिया का अकेले सही प्रतिनिधित्व करता है ?

[JEE (Advanced) 2017; P-1, 3/61, –1]

(A) (II) (iii) (P) (B) (II) (iii) (S) (C) (III) (iii) (P) (D) (II) (iv) (R)

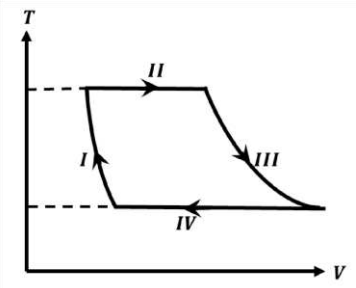
24. निम्न विकल्पों में कौन सा संयोजन सही है ? **[JEE (Advanced) 2017 ; P-1, 3/61, –1]**

(A) (II) (iv) (P) (B) (IV) (ii) (S) (C) (II) (iv) (R) (D) (III) (ii) (S)

25. निम्न विकल्पों में से कौन सा संयोजन आदर्श गैस में ध्वनि की गति की माप के संशोधन में प्रयुक्त ऊष्मागतिक प्रक्रिया को सही दर्शाता है। **[JEE (Advanced) 2017; P-1, 3/61, –1]**

(A) (III) (iv) (R) (B) (I) (ii) (Q) (C) (IV) (ii) (R) (D) (I) (iv) (Q)

26*. एकपरमाण्विक आदर्श गैस (monatomic ideal gas) का एक मोल चित्र में दर्शाये गये चक्रीय प्रक्रम (cyclic process) से गुजरता है (जहाँ V आयतन है तथा T तापमान है) । निम्नलिखित कथनों में से कौनसा (से) सही है (हैं) ?



[JEE (Advanced) 2018; P-1, 4/60, –2]

(A) प्रक्रम I एक समआयतनिक (isochoric) प्रक्रम है।

(B) प्रक्रम II में गैस ऊष्मा को अवशोषित (absorbs) करती है।

(C) प्रक्रम IV में गैस ऊष्मा को निष्कासित (releases) करती है।

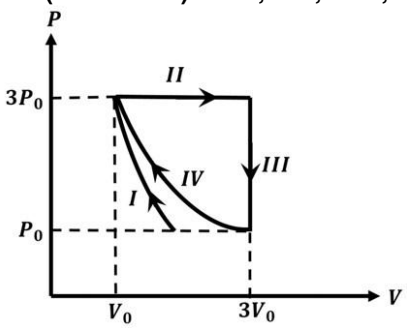
(D) प्रक्रम I और प्रक्रम III (isobaric) **नहीं** है।

27. एक परमाण्विक आदर्श गैस (monatomic ideal gas) के एक मोल का आयतन (volume), रूद्धोष्म प्रसार (adiabatic expansion) से, अपने आरंभिक मान का आठ गुना बढ़ जाता है। सार्वत्रिक गैस नियतांक (universal gas constant) R का मान 8.0 J mol^{-1} K^{-1} लें। यदि गैस का आरंभिक तापमान 100 K हो, तो इस प्रक्रिया में गैस की आंतरिक ऊर्जा (internal energy) _____ जूल (Joule) से कम हो जाती है। **[JEE (Advanced) 2018; P-2, 3/60]**

28. एकपरमाण्विक आदर्श गैस (monatomic ideal gas) का एक मोल (one mole), चार ऊष्मागतीय प्रक्रमों (thermodynamic process) से गुजरता है, जैसा कि नीचे PV व्यवस्था चित्र (schematic diagram) में दर्शाया गया है। यहाँ दिए गये प्रक्रमों में एक समदाबीय (isobaric), एक समआयतनिक (isochoric), समतापीय (isothermal) और एक रूद्धोष्म (adiabatic) हैं। सूची-I में दिए गए प्रक्रमों का सूची-II में दिए गए संगत कथनों से सुमेल करें।

[JEE (Advanced) 2018; P-2, 3/60, –1]

सूची-I		**सूची-II**	
P.	प्रक्रम-I में	1.	गैस द्वारा किया गया कार्य शून्य है
Q.	प्रक्रम-II में	2.	गैस का तापमान नहीं बदलता है
R.	प्रक्रम-III में	3.	गैस और परिवेश के बीच ऊष्मा प्रवाह नहीं होता है
S.	प्रक्रम-IV में	4.	गैस द्वारा किया गया कार्य $6P_0V_0$



(A) P → 4; Q → 3; R → 1; S → 2 (B) P → 1; Q → 3; R → 2; S → 4
(C) P → 3; Q → 4; R → 1; S → 2 (D) P → 3; Q → 4; R → 2; S → 1

भाग - II : JEE (MAIN) / AIEEE (पिछले वर्षो) के प्रश्न

1. विभिन्न आदर्श गैसों से युक्त दो दृढ बक्से एक मेज पर रखे है। बक्से A में T_o तापमान पर नाइट्रोजन का एक मोल रखा है जबकि बक्से B में तापमान $(7/3)T_o$ पर हीलियम का एक मोल रखा है। बक्से को अब एक दूसरे के तापीय स्पर्श में लाया जाता है और ऊष्मा एक से दूसरे में तब तक प्रवाहित होती है जब तक कि उनका परिणामी तापमान एकसमान नही हो जाता है। (बक्सों की ऊष्मा धारिता नगण्य मानें)। तब गैसों का अन्तिम तापमान T_f, T_o के पदों में है :

[AIEEE - 2006, 4½/180]

(1) $T_f = \frac{3}{7}T_0$ (2) $T_f = \frac{7}{3}T_0$ (3) $T_f = \frac{3}{2}T_0$ (4) $T_f = \frac{5}{2}T_0$

2. एक गैस के एक किलो मोल को रूद्धोष्म समपीडित करने के लिए 146 kJ कार्य करना होता है, ओर इस प्रक्रिया मे गैस की ताप वृद्धि 7 °C है तो गैस होगी– **[AIEEE - 2006, 3/180]**

(1) द्विपरमाणविक (2) त्रिपरमाणविक
(3) एकल परमाणविक व द्विपरमाणविक का मिश्रण (4) एक परमाणविक

3. एक कॉनो इन्जन जिसकी दक्षता $\eta = 1/10$ ऊष्मा इन्जन की दक्षता है, रेफिजरेटर के रूप में प्रयोग किया जाता है। यदि निकाय पर किया गया कार्य 10 जूल है, तब न्यून तापमान पर कुण्ड से अवशोषित ऊष्मा की मात्रा है। **[AIEEE - 2007, 3/120]**

(1) 99 J (2) 90 J (3) 1 J (4) 100 J

4. यदि C_p और C_V नाइट्रोजन की प्रति एकांक द्रव्यमान के लिए क्रमशः नियत दाब और नियत आयतन पर विशिष्ठ ऊष्माओं को व्यक्त करते है, तब **[AIEEE - 2007, 3/120]**

(1) $C_p - C_v = R/28$ (2) $C_p - C_v = R/14$ (3) $C_p - C_v = R$ (4) $C_p - C_v = 28R$

5. एक निकाय को अवस्था i से अवस्था f तक पथ iaf के अनुदिश ले जाया जाता है, तो Q = 50 cal तथा W = 20 cal पाया गया है। पथ ibf के अनुदिश Q = 36 cal है, तो पथ ibf के अनुदिश W होगा : **[AIEEE - 2007, 3/120]**

(1) 6 cal (2) 16 cal (3) 66 cal (4) 14 cal

6. किसी गैस के ऊष्मारोधी पात्र मे दो प्रकोष्ठ हैं जिन्हें ऊष्मारोधी दीवारों से पृथक किया गया है। इनमें से एक प्रकोष्ठ का आयतन V_1 है जिसमें कोई आदर्श गैस दाब p_1 तथा ताप T_1 पर भरी है। दूसरे प्रकोष्ठ का आयतन V_2 है जिसमें दाब p_2 तथा ताप T_2 पर आदर्श गैस भरी है। यदि ऊष्मारोधी दीवार को, गैस पर कोई कार्य किए बिना, हटा दिया जाए, तो पात्र में भरी गैस का अंतिम साम्य ताप होगा

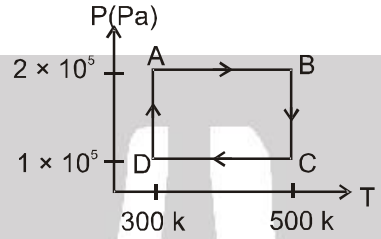
[AIEEE - 2008, 3/105]

(1) $\frac{T_1T_2(p_1V_1+p_2V_2)}{p_1V_1T_2+p_2V_2T_1}$ (2) $\frac{p_1V_1T_1+p_2V_2T_2}{p_1V_1+p_2V_2}$ (3) $\frac{p_1V_1T_2+p_2V_2T_1}{p_1V_1+p_2V_2}$ (4) $\frac{T_1T_2(p_1V_1+p_2V_2)}{p_1V_1T_1+p_2V_2T_2}$

निर्देश : प्रश्न **7, 8** तथा **9** निम्न गद्यांश पर आधारित है।

हीलियम गैस के दो मोल चक्र ABCDA पर ले जाये जाते है, जैसा कि P-T चित्र में दिखाया गया है :

[AIEEE - 2009, 4×3/144]



7. गैस को आदर्श मानते हुए, A से B तक ले जाने में गैस पर किया गया कार्य का परिमाण है।

(1) 200 R (2) 300 R (3) 400 R (4) 500 R

8. D से A तक ले जाने में गैस पर किया गया कार्य है :

(1) –414 R (2) + 414 R (3) – 690 R (4) + 690 R

9. चक्र ABCDA में गैस पर किया गया परिणामी कार्य का परिमाण है :

(1) शून्य (2) 276 R (3) 1076 R (4) 1904 R

10. एक द्विपरमाणुक गैस का एक किलोग्राम 8×10^4 N/m^2 के दाब पर है। गैस का घनत्व 4 kg/m^3 है। इसकी ऊष्मीय गति के कारण गैस की ऊर्जा क्या है? **[AIEEE - 2009, 4/144]**

(1) 5×10^4J (2) 6×10^4J (3) 7×10^4J (4) 3×10^4J

11. कार्नो इन्जन में कार्यकारी पदार्थ के रूप में एक द्विपरमाणुक आदर्श गैस का प्रयोग किया जाता है। यदि चक्र के रूद्धोष्म प्रसार भाग के दौरान गैस का आयतन V से 32 V तक बढ़ता है, तब इंजन की कार्य क्षमता है

[AIEEE - 2010, 4/144, –1]

(1) 0.5 (2) 0.75 (3) 0.99 (4) 0.25

12. 100g पानी को 30ºC से 50ºC तक गर्म किया जाता है। पानी के सूक्ष्म प्रसार को नगण्य मानकर, उसकी आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन है। (पानी की विशिष्ट ऊष्मा 4184 J/Kg/K है) : **[AIEEE - 2011, 4/120, –1]**

(1) 4.2 kJ (2) 8.4 kJ (3) 84 kJ (4) 2.1 kJ

13. तापमान T_1 एवं T_2 के बीच कार्य कर रहे एक कानों इंजन की दक्षता $\frac{1}{6}$ है। जब T_2 को 62 K से घटा दिया जाता है, तब इसकी दक्षता बढ़कर $\frac{1}{3}$ हो जाती है। तब, क्रमशः T_1 एवं T_2 है : **[AIEEE - 2011, 4/120, –1]**

(1) 372 K और 310 K (2) 372 K और 330 K (3) 330 K और 268 K (4) 310 K और 248 K

14. तीन आदर्श गैसों, जिनके परम तापमान T_1, T_2 तथा T_3 है, को मिश्रित किया जाता है। उनके अणुओं के द्रव्यमान क्रमशः m_1, m_2 तथा m_3 और अणुओं की संख्या क्रमशः n_1, n_2 तथा n_3 है। यदि ऊर्जा का क्षय न हो, तब मिश्रण का तापमान होगा **[AIEEE - 2011, 4/120, –1]**

(1) $\frac{(T_1+T_2+T_3)}{3}$ (2) $\frac{n_1T_1+n_2T_2+n_3T_3}{n_1+n_2+n_3}$ (3) $\frac{n_1T_1^2+n_2T_2^2+n_3T_3^2}{n_1T_1+n_2T_2+n_3T_3}$ (4) $\frac{n_1^2T_1^2+n_2^2T_2^2+n_3^2T_3^2}{n_1T_1+n_2T_2+n_3T_3}$

15. एक ऊष्मारोधी बर्तन में आण्विक द्रव्यमान M और विशिष्ट ऊष्मा अनुपात γ वाली एक आदर्श गैस है। यह चाल v से गतिशील है और अचानक विराम अवस्था में लाई जाती है। यह मान लें कि वातावरण में ऊष्मा की कोई हानि नहीं होती है, तब गैस के तापमान में वृद्धि होगी : **[AIEEE - 2011, 4/120, –1]**

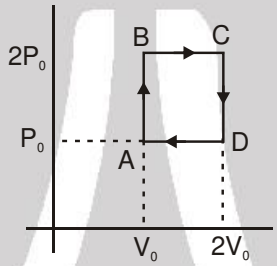
(1) $\frac{(\gamma-1)}{2(\gamma+1)R}Mv^2K$ (2) $\frac{(\gamma-1)}{2\gamma R}Mv^2K$ (3) $\frac{\gamma Mv^2}{2R}K$ (4) $\frac{(\gamma-1)}{2R}Mv^2K$

16. कुचालक दीवारों वाले एक पात्र को वाल्व से समंजित विभाजक द्वारा दो एकसमान भागों में बाँटा जाता है। एक भाग को दाब P तथा तापमान T पर एक आदर्श गैस से भरा जाता है जबकि दूसरे भाग में निर्वात लाया जाता है। यदि वाल्व को अचानक खोल दिया जाए, तब गैस का दाब और तापमाप होगा :

[AIEEE 2011, 11 May; 4/120, –1]

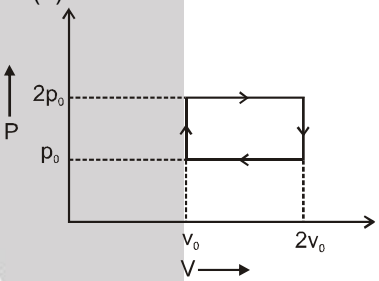
(1) $\frac{P}{2},\frac{T}{2}$ (2) P, T (3) P, $\frac{T}{2}$ (4) $\frac{P}{2}$, T

17. हीलियम गैस एक चक्र ABCDA से गुजरती है। ABCDA दो समआयतनीय और दो समदाबी रेखाओं से बना है जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है। इस चक्र की दक्षता है (यह मान लें कि गैस लगभग आदर्श गैस है) **[AIEEE 2012 ; 4/120, –1]**



(1) 15.4% (2) 9.1% (3) 10.5% (4) 12.5%

18. उपरोक्त p-v चित्र एक आदर्श एक परमाणुक गैस के साथ कार्य कर रहे एक इन्जिन के ऊष्मागतिक चक्र को दर्शाता है। एक एकल चक्र में स्त्रोत से ली गई ऊष्मा की मात्रा है : **[JEE (Main) 2013, 4/120, –1]**



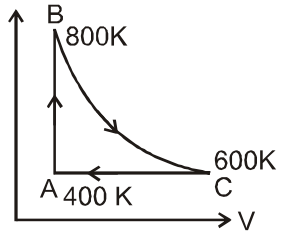
(1) p_0v_0 (2) $\left(\frac{13}{2}\right)p_0v_0$

(3) $\left(\frac{11}{2}\right)p_0v_0$ (4) $4p_0v_0$

19. एक ऊर्ध्वाधर बेलनाकार पात्र में रखी एक आदर्श गैस एक द्रव्यमान M के स्वतंत्र रूप से गतिशील पिस्टन को आधार देती है। पिस्टन और बेलन के अनुप्रस्थ परिच्छेद क्षेत्रफल एकसमान A हैं। जब पिस्टन साम्यावस्था में हैं, तब गैस का आयतन V_0 हैं और इसका दाब P_0 है। पिस्टन को इसी साम्यावस्था स्थिति से थोड़ा सा विस्थापित किया जाता है और फिर छोड़ दिया जाता है। यह मान लें कि निकाय अपने परिवेश से पूर्णतः रोधी हैं तब पिस्टन इस आवृत्ति की सरल आवर्त गति करेगा। **[JEE (Main) 2013, 4/120]**

(1) $\frac{1}{2\pi}\frac{A\gamma P_0}{V_0M}$ (2) $\frac{1}{2\pi}\frac{V_0MP_0}{A^2\gamma}$ (3) $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{A^2\gamma P_0}{MV_0}}$ (4) $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{MV_0}{A\gamma P_0}}$

20. द्विपरमाणुक आदर्श गैस का एक मोल चक्रिय प्रक्रिया ABC से गुजरता है जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है। प्रक्रिया BC रूद्धोष्म है। A, B एवं C के तापमान क्रमशः 400K, 800K एवं 600 K है। सही कथन चुनिये



(1) सम्पूर्ण चक्रीय प्रक्रिया में आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन 250 R है।
(2) प्रक्रिया CA में आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन 700 R है।
(3) प्रक्रिया AB में आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन – 350 R है।
(4) प्रक्रिया BC में आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन – 500 R है।

21. एक खुली काँच की नली को पारे में इस प्रकार डुबोया जाता है कि पारे के स्तर से 8 cm ऊपर काँच की नली की लम्बाई है। नली के खुले सिरे को अब बन्द कर सील कर दिया जाता है और नली को ऊर्ध्वाधर अतिरिक्त 46 cm से ऊपर उठाया जाता हैं नली में पारे के ऊपर वायु स्तम्भ की लम्बाई अब क्या होगी ? (वायुमण्डलीय दाब = Hg का 76 cm) **[JEE (Main) 2014, 4/120, –1]**

(1) 16 cm (2) 22 cm (3) 38 cm (4) 6 cm

22. किसी गोलीय कोश (शैल) की त्रिज्या R है और इसका ताप T हैं इसके भीतर कृष्णिका विकिरणों को फोटोनों की एक ऐसी आदर्श गैस माना जा सकता है जिसकी प्रति इकाई आयतन आन्तरिक ऊर्जा $u = \frac{U}{V} \propto T^4$ तथा दाब $P = \frac{1}{3}\left(\frac{U}{V}\right)$ है। यदि इस कोश में रूद्धोष्म प्रसार हो तो T तथा R के बीच सम्बन्ध होगा **[JEE (Main) 2015; 4/120, –1]**

(1) $T \propto e^{-R}$ (2) $T \propto e^{-3R}$ (3) $T \propto 1/R$ (4) $T \propto 1/R^3$

23. एक ठोस पिंड (वस्तु) की स्थिर ऊष्मा धारिता 1 J/°C है। इसको ऊष्मकों (ऊष्मा भण्डारों) के सम्पर्क में रखकर निम्न दो प्रकार से गर्म किया जाता है।

(i) अनुक्रमिक रूप से 2 ऊष्मकों के सम्पर्क में इस प्रकार रखकर कि प्रत्येक ऊष्मक समान मात्रा में ऊष्मा देता है।

(ii) अनुक्रमिक रूप से 8 ऊष्मकों के सम्पर्क में इस प्रकार रखकर कि प्रत्येक ऊष्मक समान मात्र में ऊष्मा देता है।

दोनों स्थितियों में पिंड का प्रारम्भिक ताप 100°C तथा अन्तिम ताप 200°C है। तो इन दो स्थितियों में पिण्ड की एन्ट्रॉपी में परिवर्तन होगा, क्रमशः **[JEE (Main) 2015 ; 4/120, –1]**

(1) ℓn 2, 4ℓn2 (2) ℓn 2, ℓn 2 (3) ℓn 2, 2 ℓn 2 (4) 2 ℓn 2, 8 ℓn 2

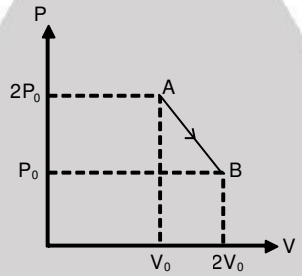
24. एक आदर्श गैस किसी बन्द (संवृत), वियुक्त (विलगित) कक्ष में सीमित (रखी) है। इस गैस में रूद्धोष्म प्रसार होने पर, इसके अणुओं के बीच टक्कर का औसत काल (समय) V^q के अनुसार बढ़ जाता है, जहॉ V गैस का आयतन है। तो q का मान होगा। ($\gamma = C_P/C_V$) **[JEE (Main) 2015 ; 4/120, –1]**

(1) $\frac{3\gamma+5}{6}$ (2) $\frac{3\gamma-5}{6}$ (3) $\frac{\gamma+1}{2}$ (4) $\frac{\gamma-1}{2}$

25. एक आदर्श गैस उत्क्रमणीय स्थैतिक–कल्प प्रक्रम से गुजरती है तथा उसकी मोलर –ऊष्मा धारिता C स्थिर रहती है। यदि इस प्रक्रम में उसके दाब P व आयतन V के बीच संबंध PV^n = constant है। (C_p तथा C_v क्रमशः स्थिर दाब व स्थिर आयतन पर ऊष्मा धारिता है) तब 'n' के लिये समीकरण है। **[JEE (Main) 2016, 4/120, –1]**

(1) $n = \frac{C-C_p}{C-C_V}$ (2) $n = \frac{C_p-C}{C-C_V}$ (3) $n = \frac{C-C_V}{C-C_p}$ (4) $n = \frac{C_p}{C_V}$

26. 'n' मोल आदर्श गैस एक प्रक्रम $A \rightarrow B$ से गुजरती है (चित्र देखिये) इस प्रक्रम के दौरान उसका अधिकतम् तापमान होगा **[JEE (Main) 2016, 4/120, –1]**



(1) $\frac{3P_0V_0}{2nR}$ (2) $\frac{9P_0V_0}{2nR}$ (3) $\frac{9P_0V_0}{nR}$ (4) $\frac{9P_0V_0}{4nR}$

27. स्थिर दाब तथा स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा C_p तथा C_v है पाया जाता है
हाइड्रोजन के लिये $C_p - C_v = a$; नाइट्रोजन के लिये $C_p - C_v = b$
a तथा b के बीच का सही सम्बन्ध होगा। **[JEE (Main) 2017, 4/120, –1]**

(1) a = 28 b (2) a = 1/14b (3) a = b (4) a = 14 b

28. सूर्य की किरणों से एक खुले हुए 30 m^3 आयतन वाले कमरे का तापमान 17ºC से 27ºC हो जाता है। कमरे के अन्दर वायुमण्डलीय दाब 1×10^5 Pa ही रहता है। यदि कमरे के अन्दर अणुओं की संख्या गर्म होने से पहले एवं बाद में क्रमशः n_i व n_f हैं तो $n_f - n_i$ का मान होगा। **[JEE (Main) 2017, 4/120, –1]**

(1) -2.5×10^{25} (2) -1.61×10^{23} (3) 1.38×10^{23} (4) 2.5×10^{25}

29. किसी एकपरमाणु आदर्श गैस के 2 मोल 27°C तापमान पर V आयतन घेरते है। गैस का आयतन रूद्धोष्म प्रक्रम द्वारा फैल कर 2V हो जाता है। गैस के (a) अंतिम तापमान का मान एवं (b) उसकी आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन का मान होगा। **[JEE (Main) 2018; 4/120, –1]**

(1) (a) 189 K (b) –2.7 kJ (2) (a) 195 K (b) 2.7 kJ
(3) (a) 189 K (b) 2.7 kJ (4) (a) 195 K (b) –2.7 kj

Answers

EXERCISE-1

भाग - I

खण्ड़ (A) :

A-1 शून्य **A-2.** $\left(\frac{mv_0^2}{\ell}\right)N$

खण्ड़ (B) :

B-1. $\sqrt{\frac{50}{3}}$ V **B-2.** H_2, 1200 K

B-3. $2P_0$ **B-4.** $\frac{6P_0}{5}$ **B-5.** $\frac{112}{250}$ मोल

B-6. (i) $\frac{1492}{293}$ cm (ii) $\frac{320\pi}{293}\left(1+\frac{13}{4\pi}\right)$ kg

खण्ड़ (C) :

C-1. $\frac{1452\pi}{25}\times10^3$ K **C-2.** $\frac{83}{3\sqrt{10}}\times10^{-23}$ kg-m/s

C-3. 1 : 2 **C-4.** 1 : $\sqrt{2}$

खण्ड़ (D) :

D-1. 32ºC **D-2.** 196ºC

D-3. $U=\frac{fnRT}{2}=\frac{f}{2}PV=\frac{f}{2}P_{atm}\,.\,V_{room}$ = नियतांक

खण्ड़ (E) :

E-1. –100 πJ **E-2.** 1500 J

E-3. 750 J

E-4. $nRT_0\,\ell n\left(\frac{V_2-nb}{V_1-nb}\right)+an^2\left(\frac{V_1-V_2}{V_1V_2}\right)$

खण्ड़ (F) :

F-1. 60 cal **F-2.** 12 K **F-3.** 0.0091 J

F-4. (i) 765 J (ii) $\frac{208}{1921}$

F-5. 110 J **F-6.** (33600 + 0.02) J

F-7. $\frac{25}{6}$ J/cal

F-8. (a) 120 K, 240 K, 480 K, 240 K,
(b) 3500 J, 5000 J, 7000 J, 2500 J
(c) –1000 J

खण्ड़ (G) :

G-1. $\frac{2}{\gamma-1}$ **G-2.** 2.5 R **G-3.** 3R

G-4. 4.2J/cal

G-5. (a) 40 J (b) $\frac{9}{500}$ मोल (c) $\frac{125}{9}$ J/mol–K
(d) $\frac{50}{9}$ J/mol–K

G-6. 0.8 JK^{-1} **G-7.** 7

खण्ड़ (H) :

H-1. Q – W **H-2.** $\frac{3}{2}$ **H-3.** 128

H-4. 32P **H-5.** 4/9 %

H-6. (a) $\sqrt{2}\times10^5$ Pa (b) $200\sqrt{2}$ K
(c) $40(2-\sqrt{2})$ J

H-7. (a) 800 kPa, 100 K (b) 1600 kPa, 200 K

H-8. 112 जूल

खण्ड़ (I) :

I-1. $\frac{7}{2}$R **I-2.** 7.5 R **I-3.** 1000 J

खण्ड़ (J) :

J-1 66.6 % **J-2** 2.8×10^6 जूल

J-3 373.3 K **J-4** 879 kcal

J-5 10.13 **J-6** 900 कैलोरी

भाग - II

खण्ड़ (A) :

A-1. (C) **A-2.** (C)

खण्ड़ (B) :

B-1. (A) **B-2.** (A) **B-3.** (C)

B-4. (C) **B-5.** (C) **B-6.** (B)

खण्ड़ (C) :

C-1. (B) **C-2.** (A)

खण्ड़ (D) :

D-1. (A) **D-2.** (C) **D-3.** (D)

खण्ड़ (E) :

E-1. (D) **E-2.** (B) **E-3.** (C)
E-4. (C) **E-5.** (B) **E-6.** (A)
E-7. (C)

खण्ड़ (F) :

F-1. (D) **F-2.** (B) **F-3.** (D)
F-4. (B) **F-5.** (B)

खण्ड़ (G) :

G-1. (D) **G-2.** (C) **G-3.** (B)
G-4. (C) **G-5.** (C) **G-6.** (C)

खण्ड़ (H) :

H-1. (B) **H-2.** (A) **H-3.** (A)
H-4. (C) **H-5.** (A) **H-6.** (C)
H-7. (B) **H-8.** (B) **H-9.** (D)
H-10. (D)

खण्ड़ (I) :

I-1. (C) **I-2.** (D) **I-3.** (C)
I-4. (A) **I-5.** (D) **I-6.** (D)
I-7. (B)

खण्ड़ (J) :

J-1. (D) **J-2.** (C) **J-3.** (B)
J-4. (A) **J-5.** (A)

भाग - III

1. (A) → p, r, s ; (B) → q ; (C) → p, r, s ; (D) → q, r
2. (A) → p, s ; (B) → s ; (C) → p, s ; (D) → q, r

EXERCISE-2

भाग - I

1. (D) **2.** (A) **3.** (B)
4. (D) **5.** (D) **6.** (D)
7. (B) **8.** (C) **9.** (A)
10. (A) **11.** (A) **12.** (C)
13. (D) **14.** (B) **15.** (A)
16. (B) **17.** (B) **18.** (B)

भाग - II

1. 33 **2.** 22 **3.** 5
4. 75 **5.** 3 **6.** 12
7. 9 **8.** 5 **9.** 2
10. 15 **11.** 3 **12.** 9

भाग - III

1. (BC) **2.** (CD) **3.** (AB)
4. (AD) **5.** (ABCD) **6.** (ABD)
7. (AC) **8.** (CD) **9.** (AB)
10. (ABCD) **11.** (BD) **12.** (BC)
13. (BD) **14.** (AB) **15.** (BD)
16. (CD) **17.** (CD) **18.** (BD)
19. (BCD) **20.** (CD)

भाग - IV

1. (C) **2.** (D) **3.** (B)
4. (C) **5.** (B) **6.** (C)
7. (B) **8.** (A) **9.** (A)
10. (B)

EXERCISE-3

भाग - I

1. (A) – s, (B) – p, r ; (C) – r ; (D) – q, s
2. (B)
3. (C)
4. (A) → (q); (B) → (p, r); (C) → p,s; (D) → (q, s)
5. (BD) **6.** (BD) **7.** (D)
8. (ABCD) **9.** 4 **10.** (A)
11. (A) – p,r,t , (B) – p,r (C) – q,s, (D) – r, t
12. (D) **13.** (D) **14** (D)
15. (BCD) **16.** (A) **17.** 2
18. (D) **19.** (D) **20.** (ABD)
21. (ABC) **22.** (C) **23.** (A)
24. (D) **25.** (D) **26.** (BCD)
27. 900 J **28.** (C)

भाग - II

1. (3) **2.** (1) **3.** (2)
4. (1) **5.** (1) **6.** (1)
7. (3) **8.** (2) **9.** (2)
10. (1) **11.** (2) **12.** (2)
13. (1) **14.** (2) **15.** (4)
16. (4) **17.** (1) **18.** (2)
19. (3) **20.** (4) **21.** (1)
22. (3) **23.** (2) **24.** (3)
25. (1) **26.** (4) **27.** (4)
28. (1) **29.** (1)

High Level Problems (HLP)

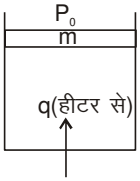
विषयात्मक प्रश्न (SUBJECTIVE QUESTIONS)

1. V आयतन का एक पात्र निर्वात पम्प द्वारा खाली किया जाता है। प्रथम चरण में जब पिस्टन बाहर खीचा जाता है, तो आयतन $V + \Delta V$ होता है, यहाँ ΔV निकाली गयी गैस का आयतन तथा V बेलन में शेष गैस का आयतन है। दाब को प्रारम्भिक दाब का $1/\eta$ गुना घटानें के लिये कितने चरणों की आवश्यकता होगी ? प्रक्रम समतापीय है, एवं गैस आदर्श है।

2. एक पात्र को खाली करते समय दाब, खाली करने के समय t के फलन के रूप में ज्ञात करो। पात्र का आयतन V है, प्रारम्भिक दाब p_0 है। प्रक्रम समतापीय है तथा पात्र को खाली करने की दर C, दाब पर निर्भर नहीं करती है।
Note : खाली करने की दर प्रति एंकाक समय में निर्गत गैस का आयतन है। उस समय पर प्राप्त दाब पर इस आयतन को मापा गया है।

3. निम्न प्रक्रमों में आदर्श गैस का प्राप्त किया जा सकने वाला अधिकतम तापमान ज्ञात करो।
(a) $p = p_0 - \alpha V^2$; (b) $p = p_0 e^{-\beta V}$, यहाँ, P_0, α व β धनात्मक स्थिरांक है, तथा V एक मोल गैस का आयतन है।

4. चित्र में दर्शाये अनुसार एक ऊर्ध्व बेलन जिसका अनुप्रस्थ काट A है, में 2 मोल आदर्श एकपरमाणुक गैस भरी है। पिस्टन घर्षणहीन है, तथा इसका द्रव्यमान m है। किसी निश्चित क्षण पर एक विद्युत तापक (हीटर) एक ही नियत दर q J/s से गैस को ऊष्मा प्रदान करता है। समदाबीय स्थिति में पिस्टन का नियत वेग ज्ञात करो। सभी दीवारें (Boundaries) ऊष्मारोधी हैं।

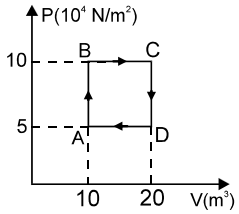


5. दोनों सिरों पर बन्द एक क्षैतिज बेलन के अन्दर एक पिस्टन स्वतन्त्रता–पूर्वक गति कर सकता है। बेलन के आन्तरिक भाग को पिस्टन दो भागों में विभक्त करता है, प्रत्येक भाग का आयतन V_0 है, इनमें समान दाब P_0 तथा समान ताप पर आदर्श गैस भरी है। पिस्टन को समतापीय रूप से धीरे–धीरे चलाकर एक भाग का आयतन, दूसरे भाग की अपेक्षा η गुना करने के लिये किये कार्य का मान क्या होगा ?

6. 27º C पर एक आदर्श एकपरमाणुक गैस के दो मोल V आयतन घेरते हैं। गैस रूद्धोष्म प्रक्रम द्वारा 2V आयतन तक प्रसारित होती है। गणना कीजिए : **[JEE 1996, 5/100]**
(i) गैस का अन्तिम ताप, (ii) गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन (iii) इस प्रक्रिया में गैस द्वारा किया गया कार्य।
(माना $R = \frac{25}{3}$ J/mol-K)

7. एक ऊर्ध्व खोखले बेलन में एक आदर्श गैस भरी है। बेलन के अन्दर गैस के साथ एक चलायमान पिस्टन जिसका अनुप्रस्थ क्षेत्रफल 5×10^{-3} m^2 तथा द्रव्यमान 5 kg है, लगा है। अब, गैस को 300 K से 350 K तक धीरे–धीरे गर्म किया जाता है तथा पिस्टन 0.1 m ऊपर उठता है। अब पिस्टन को इस स्थिति पर कस दिया जाता है तथा गैस को पुनः 300 K तक ठण्डा किया जाता है। गर्म करने की प्रक्रिया में दी गई ऊष्मा ऊर्जा तथा ठण्डा करने में क्षय हुई ऊर्जा में अन्तर ज्ञात करो। [1 वायुमण्डलीय दाब = 10^5 N m^{-2}] **[REE 1996, 5]**

8. एक परमाणुक हीलियम गैस (आदर्श गैस मानते हुए) के 2 किग्रा० नमूने को प्रक्रिया ABC पर तथा समान गैस के अन्य 2 किग्रा० नमूने को प्रक्रिया ADC पर ले जाते है। देखें चित्र। दिया है हीलियम के अणु का भार = 4



(i) A, B, C और D में प्रत्येक अवस्था पर हीलियम का तापमान क्या है ?

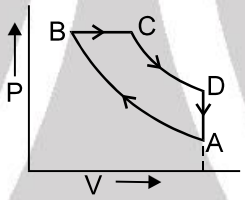
(ii) बाद में क्या किसी प्रकार यह बताया जा सकता है कि किस नमूने को प्रक्रिया ABC पर तथा किसको प्रक्रिया ADC पर ले जाया गया। अपने उत्तर में हाँ या नहीं लिखे ?

(iii) ABC और ADC में प्रत्येक प्रक्रिया में कितनी ऊष्मा उत्पन्न हुई ? **[JEE 1997, 5/100]**

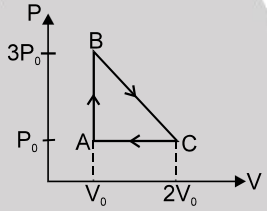
9. एक एकपरमाणुक आदर्श गैस के दो मोल एक बेलन के अन्दर एक भारहीन एवम् घर्षणरहित स्प्रिंग द्वारा 4×10^{-3} m^2 परिच्छेद (अनुप्रस्थ काट) क्षेत्रफल के पिस्टन द्वारा निहित किये गये है। आरम्भ में स्प्रिंग विश्रान्त अवस्था (relaxed state) में है। अब गैस को बेलन के अन्दर रखे हुए वैद्युत हीटर (electric heater) द्वारा कुछ देर के लिए गर्म किया जाता है। इस समय में गैस प्रसारित होती है तथा पिस्टन को 0.10 m दूरी चलाने में 50 J जूल कार्य करती है। गैस के ताप में 50 K वृद्धि होती है। स्प्रिंग नियतांक एवम् हीटर द्वारा प्रदत्त ऊष्मा की गणना करो। $P_{atm} = 1 \times 10^5$ N/m^2. $R = 8.314$ J/mol-K **[REE 1997, 5]**

10. दो ऊष्मारोधी बर्तन A तथा B एक आदर्श एकपरमाणुक गैस से भरे हैं। एक छोटी नलिका जिसमें वाल्व लगा है, इन दोनों बर्तनों को जोड़ती है। प्रारम्भिक अवस्था में बर्तन A में 2 लीटर गैस 300 K ताप व 2×10^5 N m^{-2} दाब पर तथा बर्तन B में 4 लीटर गैस 350 K ताप व 4×10^5 Nm^{-2} दाब पर भरी गई है। वाल्व को खोल देने पर पूरा निकाय दाब तथा ताप में संतुलित हो जाता है। नये दाब तथा ताप की गणना कीजिए। ($R = \frac{25}{3}$ J/mol-K) **[REE 1997, 5]**

11. एक द्विपरमाणुक आदर्श गैस ($\gamma = 1.4$) का एक मोल बिन्दु A से आरम्भ कर एक चक्रीय प्रक्रिया (cyclic process) पर ले जाते है। प्रक्रिया $A \rightarrow B$ रूद्धोष्म सम्पीड़न है। $B \rightarrow C$ समदाबीय प्रसार (isobaric expansion) है। $C \rightarrow D$ रूद्धोष्म प्रसार है तथा $D \rightarrow A$ सम आयतन प्रक्रिया (isochoric) (P-V आरेख में दर्शाये अनुसार) है। आयतन के अनुपात $\frac{V_A}{V_B} = 16$ तथा $\frac{V_C}{V_B} = 2$ तथा A पर ताप $T_A = 300$ K है। बिन्दुओं B व D पर गैस के ताप ज्ञात करो तथा चक्र की दक्षता (efficiency) ज्ञात करो। **[JEE 1997, 5/100]**



12. एक एकपरमाणुक आदर्श गैस के एक मोल को चित्र के अनुसार चक्रीय प्रक्रिया ABCA पर ले जाते है। गणना करो।



(a) गैस द्वारा किया गया कार्य
(b) मार्ग CA पर गैस द्वारा मुक्त की गयी ऊष्मा तथा मार्ग AB पर गैस द्वारा अवशोषित ऊष्मा ;
(c) मार्ग BC पर गैस द्वारा अवशोषित कुल ऊष्मा ;
(d) पूर्ण चक्र में गैस द्वारा प्राप्त किया गया अधिकतम ताप। **[JEE1998, 8/200]**

13. दो मोल एकपरमाणुक आदर्श गैस का प्रारम्भ में दाब P_1 तथा आयतन V_1 है। इसके आयतन को V_2 तक रूद्धोष्म सम्पीड़न द्वारा किया जाता है। फिर इसको नियत आयतन V_2 पर Q ऊष्मा दी जाती है।

(a) पूरी प्रक्रिया को P-V आरेख पर चित्रित कीजिए।

(b) गैस द्वारा किया गया कुल कार्य इसकी आन्तरिक ऊर्जा में कुल परिवर्तन तथा इसका अन्तिम ताप ज्ञात कीजिए।

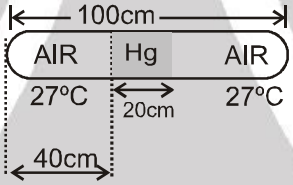
[JEE 1999, 2 + 8 / 200]

14. एक भारहीन पिस्टन एक ऊष्मीय–रोधी बेलन को दो भागों में विभाजित करता है जिनके आयतन V तथा 3V है। 2 मोल आदर्श गैस P = 2 वायुमण्डलीय दाब पर V = 1 लीटर वाले भाग में भरी है। सिलेण्डर का दूसरा भाग निर्वातित कर दिया गया है। अब पिस्टन को छोड़ दिया जाता है जिससे कि गैस फैलकर पूरे सिलेण्डर में भर जाती है। पिस्टन को पुनः दबाकर प्रारम्भिक स्थिति में लाया जाता है। इस प्रक्रिया में गैस की आन्तरिक ऊर्जा में वृद्धि तथा गैस के अन्तिम ताप की गणना कीजिए। गैस की विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात $\gamma = 1.5$ है। **[REE -1999]**

15. समान आयतन $V_0/2$ वाले दो पात्र A तथा B एक पतली नलिका द्वारा जोड़े जाते हैं, जिसको एक वाल्व द्वारा बंद किया जा सकता है। पात्रो में पिस्टन लगे हुए हैं जिनके द्वारा इनका आयतन बदला जा सकता है। प्रारम्भ में वाल्व खुला है तथा पात्र में एक आदर्श गैस ($C_p/C_v = \gamma$) वायुमण्डलीय दाब P_0 तथा वायुमण्डलीय ताप $2T_0$ पर भरी हैं। पात्र A की दीवारें ऊष्मा सुग्राही (अत्यन्त चालकता वाली) है तथा पात्र B की दीवारें ऊष्मारोधी (ऊष्मीय कुचालक) है। अब वाल्व को बन्द करते हैं तथा पिस्टनों को धीरे–धीरे खींचकर पात्रो का आयतन मूल आयतन का दुगुना करते हैं। (a) दोनों पात्रों में ताप एवं दाब ज्ञात करो (b) अब वाल्व को पर्याप्त समय तक खोलते हैं जिससे गैसें उभयनिष्ठ ताप एवं दाब प्राप्त करती है। नये ताप एवं दाब का मान ज्ञात करिये।

16. चित्र में $2V_0$ आयतन की ऊष्मारोधी बेलनाकार नलिका दर्शायी गयी हैं, जिसको घर्षण रहित ऊष्मारोधी विभाजक द्वारा दो बराबर भागों में बांटा गया है। एक आदर्श गैस को दाब P_1 तथा ताप T_1 पर बाये भाग में भरते हैं तथा दाब P_2 तथा ताप T_2 पर दांये भाग में भरते हैं। $C_p/C_v = \gamma$, दोनो गैसों के लिए समान है। विभाजक को धीरे धीरे खिसका कर उस स्थिति में छोड़ते हैं जहां ये साम्यावस्था में रहे। ज्ञात करिये – (a) दोनो भागों के अन्तिम आयतन (b) बाये भाग में गैस को दी गई ऊष्मा (c) गैसों का अन्तिम उभयनिष्ट दाब।

17. दर्शाये चित्र में क्षेतिजतः रखी कांच की नलिका में केन्द्रीय 20 cm भाग में पारा भरा है। इस नलिका के दोनो सिरो पर 27ºC ताप है तथा इनमें 76 cm पारे के दाब पर वायु भरी हुई है। अब एक सिरे के वायु स्तम्भ को 0ºC ताप पर तथा दूसरे सिरे की वायु को 127ºC ताप पर रखा जाता है। ठण्डे सिरे की ओर वायु स्तम्भ की नई लम्बाई ज्ञात करिये। पारे व नलिका के आयतन में परिवर्तन नगण्य मानिये।



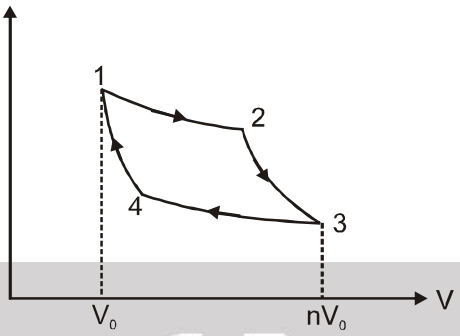
18. चित्रानुसार $2V_0$ आयतन की बेलनाकार ट्यूब में, जिसकी दीवारे रूद्धोष्म है, इसमें आदर्श एकलपरमाणविक गैस भरी हुई है। यह नलिका एक स्थिर अति चालक दीवार द्वारा दो समान भागों में विभाजित है। प्रारम्भ में बायी ओर दाब तथा ताप P_0, T_0 तथा दांयी ओर $2P_0, 2T_0$ है। निकाय को पर्याप्त समय तक छोडने पर दोनो भागो का ताप समान हो जाता है।

(a) गैस द्वारा दांये भाग पर कितना कार्य किया गया।
(b) दोनों ओर अन्तिम दाब की गणना कीजिए।
(c) अन्तिम साम्य तापमान की गणना कीजिए।
(d) दॉयी भाग की गैस से बांयी भाग की तरफ कितनी ऊष्मा प्रवाहित हुई है।

19. आदर्श गैस ($C_p/C_v = \gamma$) के दिये गये नमूने को लें जिसके प्रारम्भिक दाब P_0 तथा आयतन V_0 है।
(a) गैस को समतापी रूप से दाब $2P_0$ तक ले जाते है तथा फिर इसे रूद्धोष्म रूप से दाब $4P_0$ तक ले जाते है। अन्तिम आयतन ज्ञात कीजिये।
(b) गैस को पुनः प्रारम्भिक अवस्था तक लाते हैं। फिर इसे रूद्धोष्म रूप से दाब $2P_0$ तक ले जाते हैं तथा यहां से इसे समतापी रूप से $4P_0$ दाब पर ले जाते है। अन्तिम आयतन ज्ञात करो।

20. समान गैंस के दो प्रतिदर्श A तथा B के आयतन एवं दाब समान हैं। गैस प्रतिदर्श A को समतापी रूप से प्रारम्भिक आयतन के चार गुने आयतन तक प्रसारित करते हैं तथा गैस प्रतिदर्श B को रूद्धोष्म रूप से दुगुने आयतन तक प्रसारित करते है। यदि समतापी प्रक्रम में, रूद्धोष्म प्रक्रिया से दुगुना कार्य करना पड़ता है तो दर्शाइये की γ निम्न समीकरण को सन्तुष्ट करेगा $1 - 2^{1-\gamma} = (\gamma - 1)\,\ell n 2$.

21. एक कार्नो इंजन चक्र चित्र (2) में दर्शाया गया है। चक्र ताप $T_H = \alpha T_0$ तथा $T_L = T_0$ ($\alpha > 1$) के मध्य कार्य करता है। अवस्था 1 तथा 3 पर न्यूनतम तथा अधिकतम आयतन क्रमशः V_0 तथा nV_0 है। चक्र आर्दश गैस के एक मोल के लिए प्रयुक्त किया गया है तथा $C_P / C_V = \gamma$ है। यहाँ C_P तथा C_V क्रमशः नियत दाब तथा नियत आयतन पर विशिष्ट ऊष्मायें है। सभी उत्तरों को दिये गये प्राचल {α, n, T_0, V_0, ?} तथा सार्वत्रिक गैस नियतांक R के पदों में व्यक्त किजिऐं। **[Olympiad 2011]**



(a) सभी अवस्थाओं के लिए P, V, T ज्ञात करो

(b) प्रत्येक प्रक्रम में इंजन द्वारा किया गया कार्य W_{12}, W_{23}, W_{34}, W_{41} ज्ञात करों।

(c) चक्र में अवशोषित ऊष्मा Q ज्ञात करो

22. एक ऊष्मीय कुचालक पिस्टन अचालक पात्र को दो भागों में विभाजित करता है। दांये भाग में आयतन ताप व दाब क्रमशः 2V, T तथा 2P है, जबकि बांये भाग में यह क्रमशः V, T तथा P है। दोनो भागो के कुल निकाय में कुल मोल 5 मोल है।(दोनों भाग में समान मोलर द्रव्यमान) यदि पिस्टन स्वतन्त्रतापूर्वक फिसलता है, और अन्तिम साम्यावस्था में दांयें भाग का आयतन $\frac{xV}{5}$ है। तो x का मान बताइये ।

23. बादल निर्माण शर्त

बादल निर्माण के सरलीकृत प्रतिरूप पर विचार करते है। पृथ्वी के सतह के सम्पर्क में स्थित गर्म हवा पानी की वाष्प रखती है। यह हवा तब तक संवहित होती है, जब तक कि पानी की वाष्प इसके सतृप्त दाब को प्राप्त नही कर लेती। जब यह घटीत होता है तब पानी की वाष्प संघनित होना प्रारम्भ करती है तथा बूंद का निर्माण होना प्रारम्भ होता है। हम वह ऊचाई ज्ञात करना चाहते है जहां यह घटित होता है। हम यह मानते है कि वायु मण्डल, द्विपरमाण्विक गैसे ऑक्सीजन तथा नॉइट्रोजन से मिलकर बनी होती है जिनके द्रव्यमान अनुपात क्रमशः 21:79 है। हम पुनः यह मानते है कि वायुमण्डल आर्दश गैसे है, g गुरूत्विय त्वरण नियत है तथा वायु प्रक्रम रूद्धोष्म है। इन परिकल्पनाओं के अन्तर्गत हम प्रदर्शित कर सकते है कि दाब निम्न प्रकार दिया जाता है **[OLYMPIAD 2012]**

$$p = p_0\left(\frac{T_0 - \Gamma z}{T_0}\right)^{\alpha}$$

यहां p_0 तथा T_0 समुद्री स्तर ($z = 0$) पर, क्रमशः दाब तथा ताप है। Γ व्यतित दर है (पृथ्वी की सतह के ऊपर z ऊँचाई के साथ ताप में परिर्वतन का परिमाण अर्थात $\Gamma > 0$).

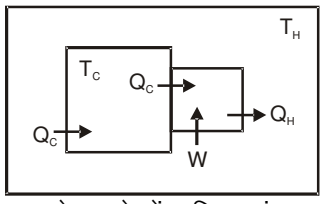
(a) γ, R, g तथा m_a के पदों में व्यतित दर Γ के लिए व्यंजक प्राप्त किजिए। यहां γ नियत दाब तथा नियत आयतन पर विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात है। R, गैस नियतांक तथा m_a आपेक्षिक मोलर द्रव्यमान है

(b) जब हम एक किलोमीटर की ऊचाई पर चढ़ते है तब ताप में परिवर्तन गणना किजिए।

(c) प्रदर्शित किजिए कि ऊचाई के साथ दाब की निर्भता समीकरण (1) द्वारा दी जाती है। γ के पदों घातांक α के लिए व्यंजक ज्ञात करो।

(d) इस प्रतिरूप के अनुसार किस ऊचाई तक वायुमण्डल उपस्थित है। $T_0 = 300$ K तथा $p_0 = 1$ atm लिजिए।

24. यह सभी बहुत अच्छे से जानते है कि बन्द कमरे का तापमान बढ़ जाता है, यदि इसके अन्दर रेफ्रिजरेटर का स्विच चालु है। लेह (लद्दाख) में एक झोपड़ी के अन्दर एक रेफ्रिजरेटर उपखण्ड़ T_c तापमान पर स्थापित किया जाता है। वायुमण्डल (झोपड़ी के बाहर का क्षेत्र) को नियत तापमान T_0 का विशाल ऊष्मक सिंक माना जा सकता है। झोपड़ी की दीवार एवं रेफ्रिजरेटर का उपखण्ड़ चालक हैं। रेफ्रिजरेटर उपखण्ड़ का तापमान एक सम्पिड़क ईंजन की सहायता से T_c पर बनाये रखते है। हम संलग्न चित्र की सहायता से रेफ्रिजरेटर ईंजन की कार्य प्रणाली एवं ऊष्मा प्रवाह को समझते है।



वह्द वर्ग से प्रदर्शित रेफ्रिजरेटर उपखण्ड़ से कमरे में प्रति एकांक समय में अन्दर आने वाली ऊष्मा Q_c है। प्रति एकांक समय में समान ऊष्मा Q_c ईंजन (संपीड़क भी कहलाता है एवं छोटे वर्ग द्वारा दर्शाया गया है) द्वारा बाहर खींची जाती है। संपीड़क W कार्य करता है एवं झोपड़ी में प्रति एकांक समय Q_H ऊष्मा त्यागता है। उपखण्ड़ तथा झोपड़ी की दीवारों की ऊष्मीय चालकता (वॉट/केल्विन मात्रक में) क्रमशः K_c तथा K_H है। बहुत लम्बे समय पश्चात् यह पाया जाता है कि झोपड़ी का तापमान T_H है। संपीड़क एक उत्क्रमणीय कॉर्नोट ईंजन की तरह कार्य कर रहा है एवं यह ऊष्मा चालन प्रक्रिया में भाग नहीं लेता है। **[Olympiad 2014]**

(a) झोपड़ी दीवार एवं रेफ्रिजरेटर उपखण्ड़ के लिए ऊष्मा चालन का नियम लिखिए।

(b) हम विमाहीन राशियाँ $k = K_H/K_c$, $h = T_H/T_o$ तथा $c = T_c/T_o$ को परिभाषित करते है। h को c तथा k के पदों में व्यक्त कीजिए।

(c) स्थायी तापमान T_H की गणना कीजिए। दिया हुआ है $T_o = 280.0$ K, $T_c = 252.0$ K तथा $k = 0.90$।

(d) अब झोपड़ी के अन्दर एक अन्य समरूप रेफ्रिजरेटर रखा जाता है। T_c तथा T_o परिवर्तित नहीं होते, लेकिन झोपड़ी का तापमान T_H से परिवर्तित होकर T'_H हो जाता है। झोपड़ी एवं दो एकसमान रेफ्रिजरेटर उपखण्ड़ में से एक के लिए ऊष्मा चालन का नियम लिखिए।

(e) मानिए कि विमाहीन राशियाँ k तथा c परिवर्तित नहीं होती है। माना $h' = T'_H/T_o$ है। h′ के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

HLP Answers

1. $n = \dfrac{\ln\eta}{\ln(1+\Delta V/V)}$ **2.** $p = p_0 e^{-Ct/V}$ **3.** (a) $T_{max} = \dfrac{2}{3}(p_0/R)\sqrt{p_0/3\alpha}$](b) $T_{max} = p_0/e\beta R.$

4. $\dfrac{2q}{5(mg + P_0A)}$ **5.** $W = p_0V_0 \ln[(\eta+1)^2/4\eta$

6. (i) $300\left(\dfrac{1}{2}\right)^{2/3}$ K (ii) $7500\left(2^{-2/3}-1\right)$ J (iii) $-7500\left(2^{-2/3}-1\right)$J **7.** 55 J

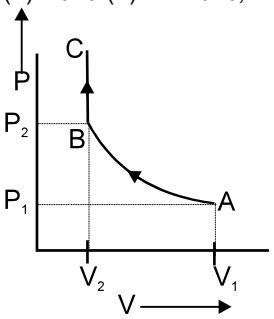
8. (i) $T_A = 120$ K, $T_B = 241$ K, $T_C = 481$ K, $T_D = 241$ K, (ii) नहीं, (iii) $\Delta Q_{ABC} = \dfrac{13}{4}\times10^6$ J ; $\Delta Q_{ADC} = \dfrac{11}{4}\times10^6$ J

9. K = 2000 N/m, Q = 923 जूल लगभग **10.** $P = \dfrac{10}{3}\times10^5$ N/m², $T = \dfrac{10500}{31}$ K $\simeq 338.71$ K

11. $T_B = 600 \times 2^{3/5}$ K, $T_D = 1200 \times 2^{-3/5}$ K, $\eta = 61.37\%$

12. (a) P_0V_0 (b) $5/2P_0V_0$, $3P_0V_0$ (c) $1/2P_0V_0$ (d) $25P_0V_0/8R$

13.



$$, W = \frac{3}{2}P_1V_1\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{2/3}\right]; \Delta U = Q - \frac{3}{2}P_1V_1\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{2/3}\right], T_{final} = \frac{Q}{3R} + \frac{P_1V_1}{2R}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{2/3}$$

$$= \left[\frac{P_1V_1^{5/3}\cdot V_2^{-2/3}}{2\ R} + \frac{Q}{3\ R}\right]$$

14. 400 J, 24 K **15.** (a) पात्र A में $2T_0$, $\frac{p_0}{2}$ तथा पात्र B मे $\frac{T_0}{2^{\gamma-2}}$, $p_0/2^\gamma$ (b) $2T_0$, $P_0/2$

16. (a) $\frac{2p_1^{1/\gamma}V_0}{A}$, $\frac{2p_2^{1/\gamma}V_0}{A}$, (b) शून्य, (c) $(A/2)^\gamma$ जहाँ $A = p_1^{1/\gamma} + p_2^{1/\gamma}$ **17.** $\ell = \frac{21840}{673}$ cm

18. (a) शून्य (b) बायीं तरफ $\frac{3P_0}{2}$ तथा दायीं तरफ $\frac{3P_0}{2}$ (c) $\frac{3T_0}{2}$ (d) $\frac{3P_0V_0}{4}$

19. $\frac{V_0}{2^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}}$ प्रत्येक स्थिति में

20. गैस A द्वारा समतापी प्रक्रिया में किया गया कार्य $W_A = P_0 V_0 \ell n \left(\frac{4V_0}{V_0}\right) = 2P_0 V_0 \ell n 2$

गैस B द्वारा रूद्धोष्म प्रक्रिया में किया गया कार्य $W_B = \frac{P_iV_i - P_fV_f}{\gamma-1} = \frac{P_0V_0 - P_0(2)^{-\gamma}2V_0}{\gamma-1} = \frac{P_0V_0(1-2^{1-\gamma})}{\gamma-1}$

प्रश्नानुसार $W_A = 2W_B$

$2P_0 V_0 \ell n 2 = \frac{2P_0V_0(1-2^{1-\gamma})}{\gamma-1} \Rightarrow 1 - 2^{1-\gamma} = (\gamma-1)\ell n 2$

21. (a) $P_1 = \frac{R\alpha T_0}{V_0}$, $P_2 = \frac{\alpha^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}RT_0}{nV_0}$, $P_3 = \frac{RT_0}{nV_0}$, $P_4 = \frac{RT_0}{\alpha^{\frac{1}{\gamma-1}}V_0}$

$V_1 = V_0$, $V_2 = \frac{nV_0}{\alpha^{\frac{1}{\gamma-1}}}$, $V_3 = nV_0$, $V_4 = \alpha^{\frac{1}{\gamma-1}}.V_0$

$T_1 = \alpha T_0$, $T_2 = \alpha T_0$, $T_3 = T_0$, $T_4 = T_0$

(b) $W_{12} = R\alpha T_0 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \alpha R T_0 \ln\left(\frac{n}{\alpha^{\frac{1}{\gamma-1}}}\right)$; $W_{23} = -\frac{R}{\gamma-1}(T_0 - \alpha T_0)$

$W_{34} = RT_0\left(\frac{\alpha^{\frac{1}{\gamma-1}}}{n}\right)$; $W_{41} = -\frac{R}{\gamma-1}(\alpha T_0 - T_0)$; (c) $Q = RT_0(\alpha-1)\ell n\left(\frac{n}{\alpha^{\left(\frac{1}{\gamma-1}\right)}}\right)$.

22. 12

23. (a) $\Gamma = \frac{dT}{dz} = \left(\frac{\rho T}{P}\right)g\frac{\gamma-1}{\gamma} = \frac{m_a}{R}g\frac{(\gamma-1)}{\gamma}$ (b) ताप में परिवर्तन = 9.9 Kelvin

(c) तुलना करने पर $\alpha = \frac{\gamma}{\gamma-1}$ (d) $z = \frac{T_0}{\Gamma} = \frac{300}{9.9} = 30.3$ km

24. (a) झोपड़ी के लिए $Q_H - Q_C = K_H(T_H - T_o)$. रेफ्रिजरेटर उपखण्ड़ के लिए: $Q_c = K_c(T_H - T_c)$

(b) $h^2 - h(2c + kc) + c^2 + kc = 0$; $h = \frac{(2c+kc) \pm \sqrt{(2c+kc)^2 - 4(c^2+kc)}}{2}$

(c) $h = 1.02$ ((ऋणात्मक चिन्ह का चयन करने पर) $\Rightarrow$ $T_H = 284.7K$

(d) झोपड़ी के लिए : $2(Q'_H - Q'_H) = K_H(T'_H - T_o)$
रेफ्रिजरेटर उपखण्ड़ के लिए : $Q'_c = K_c(T'_H - T_c)$

(e) $h'^2 - h'\left(2c + \frac{k}{2}c\right) + c^2 + \frac{k}{2}c = 0$

$h' = \frac{\left(2c+\frac{k}{2}c\right) \pm \sqrt{\left(2c+\frac{k}{2}c\right)^2 - 4\left(c^2+\frac{k}{2}c\right)}}{2}$