

Theory & Objective

Thoroughly Revised & Improved Edition

Thermodynamics ऊष्मागतिकी

*By
Team of
Engineers Academy*

- State Engineering Services Examinations.
- Public Sector Examinations.
- JEn (UPSSSC, SSC, RRB & State Level)
- Other Technical JEn Competitive Exams.

 **EAPublications[®]**

ENGINEERS ACADEMY PUBLICATIONS

 www.eapublications.com

 + 91-80944 41777



ऊष्मागतिकी

परिचय (Introduction)

ऊष्मागतिकी, ऊष्मा और कार्य में सम्बन्ध स्थापित करता है। इसमें तापीय ऊर्जा (heat energy) यान्त्रिक कार्य (mechanical work) में और यान्त्रिक कार्य तापीय ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। यह द्रव्य (matter) के गुणों (properties) के बीच बहुत से सम्बन्धों को स्थापित करता है।

ऊष्मागतिकी निकाय तथा परिवेश (Thermodynamic System and its Surroundings)

किसी द्रव्य (matter) की एक निश्चित मात्रा के उस भाग को जिस पर अध्ययन करने के लिए ध्यान केन्द्रित किया जाए, निकाय (system) कहलाता है। द्रव्य की यह निश्चित मात्रा किसी बन्द सीमा (boundary) से परिवद्ध (bounded) होती है। निकाय की परिसीमा काल्पनिक (imaginary) या वास्तविक (real) हो सकती है। यह निकाय को घेरता है तथा उसको परिवेश (surroundings) से अलग करता है। प्रत्येक वह वस्तु जो निकाय से बाहर है और निकाय के व्यवहार को प्रभावित करती है, निकाय का वातावरण या परिस्थान या परिवेश (surroundings) कहलाती है। अर्थात् परिवेश वह होता है जो निकाय के बाहर होता है और ऊर्जा का निकाय से ऊर्जा का आदान-प्रदान कर सकता है जिसका सीधा सम्बन्ध निकाय के व्यवहार पर होता है। निकाय और परिवेश स्वैच्छिक (arbitrary) होते हैं। संवृत या बन्द या पृथक् निकाय (closed system) में कार्य और ऊर्जा का निकाय और परिवेश के बीच आदान-प्रदान हो सकता है लेकिन द्रव्य का नहीं। विवृत या खुले निकाय (open system) में द्रव्य, कार्य तथा ऊर्जा का विनियम (exchange) हो सकता है। विलगित निकाय (isolated system) में किसी भी प्रकार का विनियम नहीं हो सकता है अर्थात् न ऊर्जा का, न कार्य का और न ही द्रव्य का विनियम हो सकता है। निकाय का व्यवहार दो गुणों से व्यक्त किया जाता है— स्थूल गुण (macroscopic properties) तथा सूक्ष्म गुण (microscopic properties)। बड़े परिमाण (large scale) में लिए गए पदार्थ को स्थूल निकाय कहा जाता है इसमें कुछ ऐसी स्थूल राशियों की आवश्यकता होती है जो निकाय के स्थूल लक्षणों (gross features) को बनाते हैं। यह राशियाँ यन्त्रों द्वारा मापी जा सकती हैं। ये गुण निकाय की रचना पर निर्भर नहीं करते। सूक्ष्म गुण निकाय की आन्तरिक संरचना जैसे अणु या परमाणु को बताते हैं। ये प्रयोगशाला में सीधे नहीं मापे जा सकते हैं। इन्हें अनुभव नहीं किया जा सकता है। निकाय के द्रव्यमान के आधार पर दो प्रकार के गुण होते हैं— तीव्रात्मक गुण (intensive property) तथा मात्रात्मक गुण (extensive property)। तीव्रात्मक गुण निकाय के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करते। जैसे—तापमान, दाब आदि। मात्रात्मक गुण निकाय के द्रव्यमान पर निर्भर करते हैं, जैसे—आयतन।

ऊष्मागतिकी गुण (Thermodynamic Properties)

कोई भी बन्द निकाय (closed system) पूरी तरह से परिभाषित किया जा सकता है जब हमें निम्नलिखित का ज्ञान हो

(अ) द्रव (fluid)। जैसे—हवा, पानी, आक्सीजन आदि।

(ब) द्रव और उसके परिवेश (surroundings) के बीच की परिसीमा (boundary)।

(स) परिसीमा के अन्दर द्रव का द्रव्यमान (mass)।

निकाय के गुण केवल निकाय की अवस्था पर निर्भर करते हैं निकाय अपनी उस अवस्था पर कैसे पहुँचा इस पर निकाय के गुण निर्भर नहीं करते हैं। निकाय की अवस्था को व्यक्त करने के लिए कुछ मापी जा सकने वाली चर राशियों (variables) की आवश्यकता पड़ती है। गैसीय निकाय के लिए ये राशियाँ दाब P , आयतन V तथा ताप T हैं। ये प्राचल (parameters) ऊष्मागतिक निर्देशांक (thermodynamic coordinates) या ऊष्मागतिक हैं। इन तीन चरों P, V तथा T में से दो राशियाँ स्वतन्त्र होती हैं तथा तीसरी उन दोनों का फलन (function) होती है। अवस्था समीकरण (equation of state) वह समीकरण होती है जो किसी पदार्थ के दाब, आयतन तथा ताप में सम्बन्ध स्थापित करती हो। अतः अवस्था समीकरण से,

$$f(P, V, T) = 0$$

यदि किसी विलग निकाय (isolated system) के विभिन्न भागों में आन्तरिक परिवर्तन नहीं होता है तो विलग निकाय का ताप संरक्षित रहता है।

ताप (Temperature)

वस्तु का ताप उसकी गर्माहट या ठंडेपन की माप दर्शाता है। हम वस्तुओं को छूकर गर्म तथा ठंडे की पहचान कर सकते हैं। माना कि एक वस्तु A छूने पर गर्म लगती है तथा दूसरी वस्तु B छूने पर ठंडी लगती है। वस्तु A और वस्तु B को एक दूसरे के सम्पर्क में लाया जाता है। वस्तु A से ऊष्मा वस्तु B में बहने लगती है, यह तब तक होता रहता है जब तक कि दोनों वस्तुओं का तापमान बराबर न हो जाए। जब ऊष्मा का बहना रुक जाता है। इस अवस्था में A और B को एक दूसरे का तापीय साम्य (thermal equilibrium) में कहा जाता है। अब यदि वस्तु A को एक और वस्तु C के सम्पर्क में लाया जाता है और वे दोनों एक दूसरे के तापीय साम्य में हैं (अर्थात् दोनों के तापों का मान एक ही है) तब यदि वस्तु B को वस्तु C के सम्पर्क में लाया जाए तो वे भी तापीय साम्य में होंगे। यह ऊष्मागतिकी का शून्य नियम (Zeroth law of thermo-dynamics) कहलाता है। इस नियम के अनुसार, यदि दो वस्तुएँ किसी तीसरी वस्तु के साथ अलग-अलग तापीय साम्य में हैं तो ये एक-दूसरे के साथ भी तापीय साम्य में होते हैं। इस नियम से ही ताप की अवधारणा प्राप्त होती है। तापीय साम्य में सभी वस्तुओं का एक उभयनिष्ठ (common) गुण ताप कहलाता है। अतः किसी वस्तु का ताप वह गुण है जो यह बताते हैं कि एक वस्तु दूसरी वस्तुओं के साथ तापीय साम्य में है अथवा नहीं। किसी वस्तु की उष्णता की मात्रा को एक संख्या द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। इस संख्या को ज्ञात करने के लिए एक पैमाना बनाया जाता है जिसे तापमापी (thermometer) कहते हैं।

ऊष्मा तथा कार्य (Heat and Work)

यदि अलग-अलग तापमान वाली दो वस्तुओं A तथा B को एक दूसरे के सम्पर्क में रखा जाता है तो कुछ समय के बाद दोनों वस्तुएँ एक तापमान पर आ जाती हैं। अर्थात् उच्च ताप वाली वस्तु से कोई चीज निम्न ताप वाली वस्तु की ओर स्थानान्तरित (transfer) हो जाती है। यह कोई चीज ही ऊष्मा कहलाती है। अतः सम्पर्क में रखी दो वस्तुओं के तापों के अन्तर के कारण एक वस्तु से दूसरी वस्तु में स्थानान्तरित चीज को ऊष्मा कहते हैं। ऊष्मा, संक्रमण ऊर्जा (energy in transit) होती है।

ऊष्मागतिकी निकाय के अन्दर उसकी स्वयं की ऊर्जा एक निश्चित मात्रा में होती है। इसका प्रत्यक्ष आभास नहीं होता है लेकिन यह ऊर्जा निश्चित कार्य करने में समर्थ होता है। यह ऊर्जा, आन्तरिक ऊर्जा (internal energy) कहलाती है। पदार्थ में अणु निरन्तर गतिमान रहते हैं। इस प्रकार पदार्थ में गतिज ऊर्जा होती है। अणुओं की कुल गतिज ऊर्जा आन्तरिक ऊर्जा कहलाती है। इसे U द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$\Delta U = C_v (T_2 - T_1)$$

जब कोई वस्तु एक बल के अन्तर्गत विस्थापित होता है तो कुछ कार्य सम्पन्न होता है। यदि किसी निकाय की परिसीमा का कोई भाग उस पर दाब (pressure) लगने के कारण विस्थापित हो जाता है तो उस पर कार्य किया हुआ माना जाता है। यह कार्य बल (दाब $\times$ क्षेत्रफल) और बल की दिशा में परिसीमा के विस्थापन के गुणनफल के बराबर

होता है। यह भी एक संक्रमण ऊर्जा है। यदि सम्पूर्ण निकाय अपने परिवेश के विरुद्ध बल लगाकर विस्थापित होता है तो निकाय द्वारा किया गया कार्य बाह्य कार्य (external work) कहलाता है। यदि किसी निकाय के एक भाग द्वारा दूसरे भाग पर कार्य किया जाता है तो उसे आन्तरिक कार्य (internal work) कहते हैं।

माना कि घर्षण रहित पिस्टन वाले सिलिण्डर में कार्यकारी पदार्थ (माना गैस) का कुछ द्रव्यमान है। माना कि गैस का दाब P तथा आयतन V है। पिस्टन के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल A है। अब गैस धीरे-धीरे दूरी dx तक प्रसार करती है अर्थात् पिस्टन को बाहर की ओर धकेलती है। गैस द्वारा किया गया बाह्य कार्य

$$dW = \text{आरोपित बल} \times \text{विस्थापन} \\ = (P \times A) dx = P \times dV$$

जहाँ dV = गैस के आयतन में सूक्ष्म वृद्धि

माना कि गैस की प्रारम्भिक और अन्तिम अवस्थाएँ क्रमशः (P_1, V_1) और (P_2, V_2) है तो कुल कार्य

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad \dots(1)$$

किया गया कार्य और ऊष्मा स्थानान्तरण दोनों ही पथ पर निर्भर करते हैं।

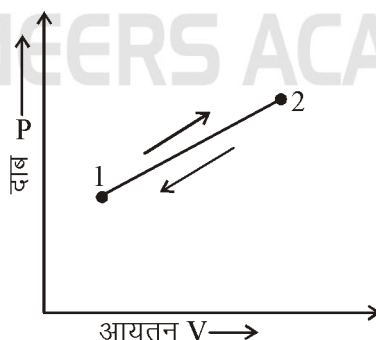
प्रक्रम (Process)

जब भी किसी निकाय में कोई परिवर्तन होता है तो उसको प्रक्रम कहते हैं। निकाय के चरों की प्रारम्भिक अवस्था बदल जाती है और वे नई अवस्था प्राप्त करते हैं।

उत्क्रमणीय या प्रतिवर्तीय प्रक्रम (Reversible Process)

किसी निकाय को सीधे प्रक्रम में सम्पन्न करने के पश्चात यदि विपरीत दिशा में ठीक-ठीक पुनरावृत्त किया जाए और निकाय अपनी प्रारम्भिक अवस्था में वापस आ जाए तो वह चक्र उत्क्रमणीय या प्रतिवर्तीय प्रक्रम कहलाता है।

चित्र में p - V आरेख दर्शाया गया है। कोई निकाय किसी भी प्रक्रम द्वारा अपनी प्रारम्भिक अवस्था 1 से अन्तिम अवस्था 2 तक पहुँचता है और फिर विपरीत दिशा में उसी पथ द्वारा अपनी प्रारम्भिक स्थिति में पहुँच जाता है। इस प्रकार का प्रक्रम प्रतिवर्तीय प्रक्रम कहलाता है। इस प्रकार के प्रक्रम में सभी वस्तुओं में कोई भी परिवर्तन शेष नहीं रहता है। इस प्रक्रम में क्षयकारी बल नहीं होने चाहिए तथा प्रक्रम के प्रत्येक बीच की दशा में निकाय साम्यावस्था में होना चाहिए।



अनुत्क्रमणीय या अप्रतिवर्तीय प्रक्रम (Irreversible Process) : इस प्रकार के प्रक्रम को उत्क्रमित नहीं किया जा सकता। व्यवहार में सभी प्रक्रम अप्रतिवर्तीय प्रक्रम होते हैं।

चक्रीय प्रक्रम (Cyclic Process) : जब कोई निकाय विभिन्न अवस्थाओं में से होकर अपनी प्रारम्भिक अवस्था पर वापस आ जाता है तो वह प्रक्रम, चक्रीय प्रक्रम कहलाता है।

समतापी प्रक्रम (Isothermal Process) : यदि किसी निकाय में इस प्रकार भौतिक परिवर्तन हो कि पूरी प्रक्रिया के दौरान निकाय का ताप स्थिर बना रहे तो इस प्रकार का प्रक्रम, समतापी प्रक्रम कहलाता है।

समदाबी प्रक्रम (Isobaric Process) : यदि प्रक्रम के दौरान निकाय का दाब स्थिर रहता है तो वह समदाबी प्रक्रम कहलाता है।

समआयतनिक प्रक्रम (Isocharic Process) : इस प्रकार के प्रक्रम में प्रक्रम के दौरान निकाय का आयतन स्थिर रहता है।

रुद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic Process) : इस प्रकार के प्रक्रम में निकाय में प्रक्रम के दौरान ऊष्मा का कोई आदान-प्रदान नहीं होता है अर्थात् ऊष्मा न तो निकाय से बाहर जा सकती है और न ही बाहर से निकाय के अन्दर आ सकती है।

मुक्त प्रसार (Free Expansion) : इस प्रकार के प्रक्रम में न तो ऊष्मा निकाय से बाहर जा सकती है और न ही बाहर से अन्दर आ सकती है। इसके अतिरिक्त न तो कोई कार्य निकाय पर होता है।

विशिष्ट ऊष्मा (Specific Heat)

1 ग्राम पदार्थ का ताप 1°C बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा उस पदार्थ की विशिष्ट ऊष्मा (C_p) कहलाती है।

स्थिर दाब पर गैस की विशिष्ट ऊष्मा (C_p)

स्थिर दाब पर 1 ग्राम गैस का ताप 1°C बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा उस गैस की स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा कहलाती है।

स्थिर आयतन पर गैस की विशिष्ट ऊष्मा (C_v)

स्थिर आयतन पर 1 ग्राम गैस का ताप 1°C बढ़ाने के लिए आवश्यक ऊष्मा की मात्रा उस गैस की स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा कहलाती है।

किसी गैस के लिए अनुपात C_p / C_v एक स्थिरांक है जिसे γ द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। अतः

$$\frac{C_p}{C_v} = \gamma \quad \dots(2)$$

गैस के नियम (Gas Laws)

बॉयल का नियम (Boyle's Law) : यदि स्थिर ताप पर किसी गैस को गर्म किया जाता है तो गैस का दाब उसके आयतन के व्युत्क्रमानुपाती (inversely proportional) होता है। अर्थात्

$$PV = \text{स्थिरांक}$$

अवस्थाएँ (1) व (2) के लिए

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \dots(3)$$

चार्ल्स का नियम (Charle's Law) : यदि स्थिर दाब पर किसी गैस को गर्म किया जाता है तो गैस का आयतन उसके ताप के सीधे समानुपाती (direct proportional) होता है। अर्थात्

$$\frac{V}{T} = \text{स्थिरांक}$$

अवस्थाएँ (1) व (2) के लिए

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \dots(4)$$

गैस समीकरण (Gas Equation) : बायल व चार्ल्स के नियमों से,

$$\frac{pV}{T} = \text{स्थिरांक}$$

या

$$pV = RT$$

अवस्थाएँ (1) व (2) के लिए

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \dots(5)$$

आदर्श गैस (Ideal Gas) : वे गैसों जो बॉयल तथा चार्ल्स के नियमों का पालन करती हैं, आदर्श गैस कहलाती हैं।

आदर्श गैस की अवस्था समीकरण

$$pV = mRT \quad \dots(6)$$

वान्डर वाल्स समीकरण (Vander Wall's Equation) : वान्डर वाल्स ने आदर्श गैस समीकरण में संशोधित करके वास्तविक गैसों (real gases) के लिए अवस्था समीकरण को प्राप्त किया। उसने प्रभावी आयतन $V = V - b$ लिया जहाँ b एक स्थिर राशि है जो एक ग्राम अणु गैस के अणुओं के प्रभावी आकार तथा उनकी संख्या पर निर्भर करती है। उसने वास्तविक दाब $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)$ लिया जहाँ a एक नियतांक है। अतः वान्डर वाल के अनुसार वास्तविक गैसों की अवस्था समीकरण है—

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad \dots(7)$$

सम्पीडन गुणांक (compressibility factor)

$$Z = \frac{pV}{RT} \quad \dots(8)$$

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम (First Law of Thermodynamics)

यह नियम दो भिन्न रूपों में व्यक्त किया जाता है

जूल का नियम (Joule's Law) : जब यान्त्रिक कार्य ऊष्मा में अथवा ऊष्मा यान्त्रिक कार्य में पूर्णतः रूपान्तरित हो जाता है तो प्रत्येक दशा में यान्त्रिक कार्य तथा ऊष्मा के बीच एक निश्चित अनुपात होता है। अर्थात्

$$\text{कार्य} \propto \text{ऊष्मा}$$

या

$$W \propto Q$$

या

$$W = JQ \quad \dots(9)$$

जहाँ J एक नियतांक है जिसे ऊष्मा का यान्त्रिक तुल्यांक (mechanical equivalent of heat) कहते हैं। इसका मान 4.2×10^7 अर्ग/कैलोरी = 4.2 जूल/कैलोरी होता है।

ऊष्मागतिकी का प्रथम नियम ऊर्जा-संरक्षण के नियम का ही एक रूप है। अर्थात् इसके अनुसार ऊर्जा को न तो उत्पन्न किया जा सकता है और न ही उसको नष्ट किया जा सकता है। ऊर्जा को एक रूप से दूसरे रूप में परिवर्तित किया जा सकता है। जैसे कि ऊष्मा को यान्त्रिक ऊर्जा में और यान्त्रिक ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित किया जा सकता है। यदि कोई निकाय प्रारम्भिक अवस्था i से अन्तिम अवस्था f में पहुँचता है तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन होता है—

$$U_f - U_i = \Delta U = Q - W$$

माना किसी प्रक्रम में निकाय को अनन्त सूक्ष्म ऊर्जा दी जाती है जिससे अनन्त सूक्ष्म कार्य होता है तो निकाय की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन होता है

$$\Delta U = dQ - dW \quad \dots(10)$$

जूल का आन्तरिक ऊर्जा का नियम (Joule's Law of Internal Energy)

इस नियम के अनुसार आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन (dE) तापमान में परिवर्तन (dT) के समानुपाती होता है। अर्थात्

$$dE \propto dT$$

या

$$(E_2 - E_1) = C_v (T_2 - T_1) \quad \dots(11)$$

सूचक आरेख (Indicator Diagram)

यह किसी प्रक्रम के लिए निकाय के दाब तथा आयतन के बीच आरेख (graph) होता है।

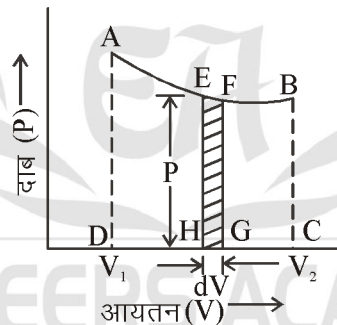
समीकरण (1) से प्रक्रम में किया गया कार्य

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

= क्षेत्रफल ABCD (चित्र)

गैसों की ऊष्मीय प्रसारीय प्रक्रम (Heating or Expanding Processes of Gases)

चित्र में माना कि बिन्दु A पर किसी गैस का दाब, आयतन तथा तापमान क्रमशः p_1 , V_1 तथा T_1 और बिन्दु B पर क्रमशः p_2 , V_2 तथा T_2 हैं।



चित्र

माना ली गई ऊष्मा Q है, किया गया कार्य W , आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन U तथा गैस का द्रव्यमान m है।

(अ) समतापी प्रक्रम (Constant Temperature Process)

इसमें स्थिर ताप पर गैस के दाब के साथ आयतन में परिवर्तन होता है।

इसमें गैस की समीकरण है,

$$pV = \text{constant} = RT \quad \dots(12)$$

इस प्रक्रम में गैस की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन नहीं होता है। अर्थात् $dU = 0$

अतः ऊष्मागतिकी के नियमानुसार,

$$dQ = dW = p dV$$

या
$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad \dots(13)$$

समीकरण (12) तथा (13) से,

$$W = p_1 V_1 \ln (V_2/V_1) \quad \dots(14)$$

गैस में प्रसार होने से कार्य धनात्मक होता है अतः गैस द्वारा कार्य किया जाता है और जब गैस में संपीड़न होता है तो गैस पर कार्य किया जाता है और कार्य ऋणात्मक होता है।

(ब) समदाबी प्रक्रम (Isobaric Process)

इस प्रक्रम में दाब स्थिर रहता है। गैस समीकरण है

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \dots(15)$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार,

$$dQ = dU + dW$$

1 मोल गैस के लिए,

$$dQ = C_V dT + p dV \quad \dots(16)$$

और

$$W = p (V_2 - V_1) \quad \dots(17)$$

$$\begin{aligned} Q &= \Delta U + W \\ &= (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1) \\ &= (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) \end{aligned} \quad \dots(18)$$

यहाँ एन्थेल्पी,

$$H = U + pV \quad \dots(19)$$

स्थिर दाब पर विशिष्ट ऊष्मा, एन्थेल्पी में परिवर्तन तथा तापमान में परिवर्तन का अनुपात होती है। अतः

$$C_P = \left(\frac{dh}{dT} \right)_P \quad \dots(20)$$

अब

$$\begin{aligned} Q &= (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1) \\ &= mC_V (T_2 - T_1) + mR (T_2 - T_1) \\ &= m(T_2 - T_1) (C_V + R) \end{aligned}$$

या,

$$mC_P(T_2 - T_1) = m(T_2 - T_1)(C_V + R)$$

∴

$$C_P = C_V + R$$

$$C_P - C_V = R \quad \dots(21)$$

(स) समायतनिक प्रक्रम (Constant Volume Process)

इस प्रकार के प्रक्रम में आयतन में परिवर्तन नहीं होता है। अर्थात् ऐसे प्रक्रम में निकाय द्वारा या निकाय पर कोई कार्य नहीं किया जाता। अतः

$$dW = 0$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम द्वारा

$$dQ = dU \quad \dots(22)$$

$$Q = mC_p(T_2 - T_1) \quad \dots(23)$$

तथा

$$U = mC_v(T_2 - T_1) \quad \dots(24)$$

इस प्रक्रम में दाब तथा ताप में निम्न सम्बन्ध होता है

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \dots(25)$$

(द) बहुविधि प्रक्रम (Polytropic Process)

गैस नियम $pV^n = \text{स्थिरांक}$ का पालन करती है।

इस नियम के अनुसार,

$$U = mC_v (T_2 - T_1) \quad \dots(26)$$

तथा

$$W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{n - 1} = \frac{mR(T_1 - T_2)}{n - 1} \quad \dots(27)$$

(य) रुद्धोष्म प्रक्रम (Adiabatic Process)

इसमें निकाय तथा उसके परिवेश के मध्य ऊष्मा का कोई भी आदान-प्रदान नहीं होता है। अर्थात्

$$dQ = 0$$

ऊष्मागतिकी के प्रथम नियम के अनुसार,

$$dQ = dU + dW$$

⇒

$$0 = dU + dW$$

⇒

$$dU = - dW \quad \dots(28)$$

गैस द्वारा किया गया कार्य, $W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$

आदर्श गैस समीकरण, $pV = RT$

रुद्धोष्म प्रक्रम में दाब व आयतन के मध्य सम्बन्ध होता है,

$$pV^\gamma = \text{स्थिरांक}$$

उपरोक्त तीनों समीकरणों से,

$$W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1} \quad \dots(29)$$

तथा

$$U = mC_v(T_2 - T_1) \quad \dots(30)$$

यदि गैस की प्रारम्भिक अवस्था में उसका दाब, आयतन तथा तापमान क्रमशः p_1, V_1, T_1 तथा अन्तिम अवस्था में क्रमशः p_2, V_2, T_2 हैं, तो

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \quad \dots(31)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \dots(32)$$

$$= \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \quad \dots(33)$$

अप्रतिवर्तीय अप्रवाह प्रक्रम (Irreversible Non-Flow Process)

ऊष्मागतिकी में अधिकतर प्रक्रम अप्रतिवर्तीय होते हैं। इसका कारण घर्षण, विक्षुब्धता (turbulence) आदि की उपस्थिति का होना है। अप्रतिवर्तीय के कारण हानि होती है। अर्थात् प्रक्रम से कम कार्य प्राप्त होता है। स्वतन्त्र प्रसार (free expansion) इसका एक महत्वपूर्ण प्रक्रम है।

स्वतन्त्र प्रसार (Free Expansion)

इसमें बड़े आकार के ऑरिफिस द्वारा निर्वात कक्ष (vacuum chamber) में गैस का अचानक प्रसार होता है। यह प्रक्रम बहुत तेजी से होता है अतः निकाय के भीतर या बाहर से ऊष्मा का स्थानान्तरण नहीं होता है अर्थात् $Q = 0$ इस प्रक्रम में आन्तरिक ऊर्जा में कोई भी परिवर्तन नहीं होता है अतः प्रक्रम के दौरान एन्थेल्पी स्थिर रहती है। किया गया बाह्य कार्य भी शून्य होता है अर्थात्

$$W = 0$$

इस प्रकार,

$$T_2 = T_1 \quad \dots(34)$$

स्थिर प्रवाह प्रक्रम (Steady Flow Process)

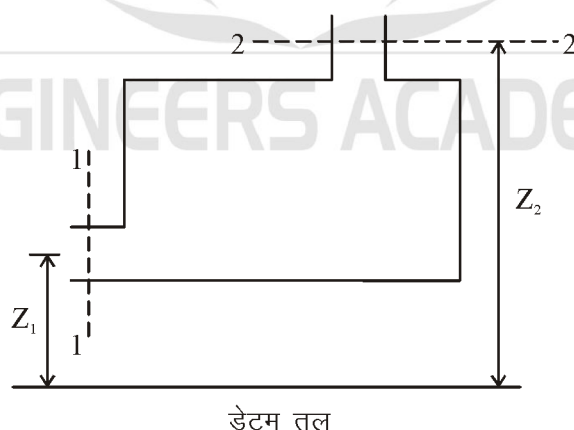
वास्तव में कार्यकारी पदार्थ का निकाय के अन्दर तथा बाहर लगातार प्रवाह होता रहता है। इस प्रकार के प्रक्रम को प्रवाह प्रक्रम (flow process) कहते हैं और निकाय, खुला निकाय (open system) कहलाता है। स्थिर प्रवाह (steady flow) वह प्रवाह होता है जिसमें प्रवाह की दर स्थिर (constant) होती है।

नियन्त्रण आयतन एवं नियन्त्रण सतह (Control Volume and Control Surface)

स्थिर आकार एवं स्थिति (fixed shape and position) का आयतन, नियन्त्रण आयतन (control volume) कहलाता है। यह आयतन प्रयोग करने वाले व्यक्ति पर निर्भर करता है। जिस काल्पनिक आवरण (imaginary envelope) से नियन्त्रण आयतन घिरा होता है उसकी सतह को नियन्त्रण सतह (control surface) कहते हैं।

स्थिर प्रवाह ऊर्जा समीकरण (Steady Flow Energy Equation)

स्थिर प्रवाह के लिए ऊर्जा की न तो वृद्धि होती है और न ही ह्रास। अर्थात् प्रारम्भिक सीमा के अन्तर्गत ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता है।



माना कि नियन्त्रण आयतन के प्रवेश बिन्दु 1 पर दाब, आयतन, आन्तरिक ऊर्जा तथा वेग क्रमशः p_1, V_1, E_1 तथा C_1 हैं। माना कि डेटम तल (datum level) से द्रव पदार्थ की ऊँचाई Z_1 है। माना कि नियन्त्रण आयतन के निकास बिन्दु 2 पर दाब, आयतन, आन्तरिक ऊर्जा, वेग तथा डेटम ऊँचाई क्रमशः p_2, V_2, E_2, C_2 तथा Z_2 हैं। अतः ऊर्जा के संरक्षण सिद्धान्त के अनुसार,

$$Q - W = (E_2 - E_1) + (p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{1}{2}(C_2^2 - C_1^2) + g(Z_2 - Z_1)$$

या,

$$Q - W = (h_2 - h_1) + \frac{1}{2}(C_2^2 - C_1^2) + g(Z_2 - Z_1) \quad \dots(35)$$

स्थिर प्रवाह प्रक्रमों के लिए कार्य (Work Done in Steady Flow Process)

गतिज तथा स्थितिज ऊर्जाओं को नगण्य मानने पर

$$Q - W = (E_2 - E_1) + (p_2 V_2 - p_1 V_1) \quad \dots(36)$$

स्थिर आयतन प्रक्रम (Constant Volume Process)

स्थिर प्रवाह के लिए कार्य,

$$W = -\int_1^2 V dp = V(p_1 - p_2)$$

समीकरण (36) से,

$$Q - V(p_1 - p_2) = (E_2 - E_1) + (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

या,

$$\begin{aligned} Q &= p_1 V - p_2 V + E_2 - E_1 + p_2 V - p_1 V \\ &= E_2 - E_1 \end{aligned} \quad \dots(37)$$

स्थिर दाब प्रक्रम (Constant Pressure Process)

स्थिर प्रवाह में स्थिर दाब प्रक्रम पर कार्य शून्य होता है। अतः

$$\begin{aligned} Q &= (E_2 + p_2 V_2) - (E_1 + p_1 V_1) \\ &= H_2 - H_1 = \text{एन्थैल्पी में परिवर्तन} \end{aligned} \quad \dots(38)$$

स्थिर दाब प्रक्रम का प्रयोग अधिकतम ऊष्मा विनिमयक (heat exchanger), भट्टियों (furnaces), रेडियेटर (radiator), बॉयलर (boiler), रेफ्रिजरेटर (refrigerator) आदि में होता है।

स्थिर तापमान प्रक्रम (Constant Temperature Process)

स्थिर ताप पर बॉयलर का नियम लागू होता है। अतः

$$pV = C$$

इस प्रक्रम में किया गया कार्य,

$$W = -\int_1^2 V dp = p_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1} \quad \dots(39)$$

आदर्श गैस के लिए स्थिर ताप पर, $W = Q$

OBJECTIVE QUESTION

- पूर्ण गैस (perfect gas) के लिए कौन-सा नियम लागू होता है—
(a) चार्ल्स का नियम (b) बायल का नियम
(c) गे-लूसाक नियम (d) उपर्युक्त सभी
- पूर्ण गैस के लिए बायल का नियम है—
(a) $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$ (तापमान को स्थिर रखने पर)
(b) $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ (आयतन को स्थिर रखने पर)
(c) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ (दाब को स्थिर रखने पर)
(d) इनमें से कोई नहीं
- पूर्ण गैस के लिए चार्ल्स का नियम है—
(a) $\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_1}{T_1}$ (आयतन को स्थिर रखने पर)
(b) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$ (तापमान को स्थिर रखने पर)
(c) $\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$ (दाब को स्थिर रखने पर)
(d) $\frac{PV}{T} = \text{स्थिर}$
- गैस नियम को निम्न (following) के लिए प्रयोग किया जाता है—
(a) गैसों तथा भाप
(b) भाप तथा वाष्प
(c) गैसों और वाष्पों
(d) केवल गैसों पर और वाष्पों में नहीं
- S.I. प्रणाली में दाब का मात्रक होता है—
(a) पास्कल (b) बार
(c) किग्रा./सेमी² (d) डाइन/सेमी²
- S.I. प्रणाली में तापमान का मात्रक होता है—
(a) सेल्सियस (b) कैल्विन
(c) रैंकिन (d) फारेनहाइट
- व्यापक गैस समीकरण (general gas equation) है—
(a) $pV = n RT$ (b) $pV = m RT$
(c) $pV^n = C$ (d) $C_p - C_v = R/J$
- बन्द निकाय में ऊर्जा स्थानान्तरण होता है—
(a) निकाय से परिवेश (surroundings) को
(b) निकाय से परिवेश को तथा परिवेश से निकाय को
(c) परिवेश से निकाय को
(d) इनमें से कोई नहीं
- निम्न गुणधर्मों में निकाय का कौन-सा तीव्रतात्मक गुणधर्म (intensive properties) है—
(a) गतिज ऊर्जा (b) स्थैतिज ऊर्जा
(c) तापमान (d) आयतन
- निम्न में से निकाय का कौन-सा मात्रात्मक गुणधर्म (extensive properties) है—
(a) श्यानता (b) स्थैतिक ऊर्जा
(c) दाब (d) तापमान
- निम्न राशियों में से कौन-सा निकाय का गुणधर्म नहीं है—
(a) ऊष्मा (b) तापमान
(c) दाब (d) विशिष्ट आयतन
- निम्न में से कौन-सी राशि निकाय का गुणधर्म है—
(a) दाब तथा तापमान (b) एन्थैल्पी तथा एन्ट्रॉपी
(c) आन्तरिक ऊर्जा (d) उपरोक्त सभी
- निम्न में से कौन-सा तीव्रतात्मक गुणधर्म नहीं है—
(a) दाब (b) तापमान
(c) ऊष्मा (d) घनत्व
- मीट्रिक प्रणाली में ऊष्मा का मात्रक है—
(a) कैल्विन
(b) किलो कैलोरी (kcal)
(c) ब्रिटिश ऊष्मा मात्रक (B.Th.U.)
(d) सेन्टीग्रेड ऊष्मा मात्रक (C.H.U.)

15. आदर्श गैस के लिए गे-लूसाक नियम के अनुसार, गैस के दिए हुए द्रव्यमान का निरपेक्ष दाब (absolute pressure) सीधे समानुपाती होता है—
 (a) आयतन, यदि तापमान स्थिर रखा जाए
 (b) निरपेक्ष तापमान, यदि आयतन स्थिर रखा जाए
 (c) निरपेक्ष
 (d) तापमान
16. कोई निकाय, परिवेश के साथ ऊष्मागतिकी साम्यावस्था में होता है, तब—
 (a) ऊर्जा और द्रव्यमान दोनों का स्थानान्तरण होता है
 (b) निकाय से परिवेश की ओर ऊर्जा का स्थानान्तरण होता है
 (c) परिवेश से निकाय की ओर ऊर्जा का स्थानान्तरण होता है
 (d) ऊर्जा का स्थानान्तरण नहीं होता है
17. विशिष्ट आयतन का विलोम होता है—
 (a) त्वरण (b) घनत्व
 (c) द्रव्यमान (d) आयतन
18. डाल्टन के नियम के अनुसार, गैसों के मिश्रण का कुल दाब बराबर होता है—
 (a) सब गैसों के आंशिक दाबों के योग के
 (b) सब गैसों के आंशिक दाबों का औसत
 (c) सब गैसों के आंशिक दाबों में सबसे अधिक दाब
 (d) वायुमण्डलीय दाब
19. बन्द निकाय वह होता है जिसमें—
 (a) द्रव्यमान निकाय की सीमा पार करता है, लेकिन ऊर्जा नहीं
 (b) द्रव्यमान और ऊर्जा दोनों ही निकाय की सीमा पार नहीं करते
 (c) द्रव्यमान निकाय की सीमा पार नहीं करता है, यद्यपि ऊर्जा सीमा पार कर सकती है
 (d) ऊष्मागतिकी क्रियाएँ होती हैं
20. समीकरण $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$ होती है—
 (a) वान्डरवाल का समीकरण
 (b) वास्तविक गैस समीकरण
 (c) एवोगाड्रो का समीकरण
 (d) मैक्सवेल का समीकरण
21. किसी गैस के ठण्डे होने पर उसकी एन्थैल्पी में परिवर्तन होता है—
 (a) घनात्मक
 (b) ऋणात्मक
 (c) धनात्मक या ऋणात्मक
 (d) इनमें से कोई नहीं
22. परम शून्य दाब (absolute zero pressure) होता है—
 (a) पृथ्वी के केन्द्र पर
 (b) समुद्र तल पर
 (c) -273°K तापमान पर
 (d) जब निकाय के अणुओं का संवेग शून्य हो जाता है
23. गैसों के गतिज सिद्धान्त के अनुसार परम शून्य तापमान (absolute zero temperature) होता है, जब—
 (a) गैस का आयतन शून्य हो
 (b) गैस का दाब शून्य हो
 (c) अणुओं की गतिज ऊर्जा शून्य हो
 (d) गैस की विशिष्ट ऊष्मा शून्य हो
24. हवा के लिए विशिष्ट ऊष्माओं (specific heats) का अनुपात होता है—
 (a) 2.71 (b) 1.41
 (c) 0.24 (d) 0.17
25. गैसों की होती है—
 (a) एक विशिष्ट ऊष्मा
 (b) दो विशिष्ट ऊष्माएँ
 (c) तीन विशिष्ट ऊष्माएँ
 (d) कोई विशिष्ट ऊष्मा नहीं
26. निम्न में से कौन-सा पद, पथ (path) का फलन (function) नहीं है—
 (a) कार्य (b) ऊष्मा
 (c) गतिज ऊर्जा (d) तापीय चालकता
27. पानी और बर्फ का मिश्रण बनाता है—
 (a) बन्द निकाय (closed system)
 (b) खुला निकाय (open system)
 (c) विषमांग निकाय (heterogeneous system)
 (d) विच्छिन्न निकाय (isolated system)

28. हवा की स्थिर आयतन पर विशिष्ट ऊष्मा (C_V) होती है—
 (a) 1.41 KJ/kg.k (b) 1.0 KJ/kg.k
 (c) 0.24 KJ/kg.k (d) 0.718 KJ/kg.k
29. ऊष्मा और कार्य होते हैं—
 (a) पथ फलन (b) बिन्दु फलन
 (c) तीव्रतात्मक गुणधर्म (d) मात्रात्मक गुणधर्म
30. ठोस और द्रव की होती है—
 (a) एक विशिष्ट ऊष्मा
 (b) दो विशिष्ट ऊष्माएँ
 (c) तीन विशिष्ट ऊष्माएँ
 (d) कोई विशिष्ट ऊष्मा नहीं
31. किसी निकाय के एन्थैल्पी में परिवर्तन होता है, निम्न पर दी गई ऊष्मा—
 (a) स्थिर आयतन पर (b) स्थिर तापमान पर
 (c) स्थिर दाब पर (d) स्थिर एन्ट्रॉपी
32. मोलर आयतन बराबर होता है—
 (a) सा. ता. दा. (N.T.P.) पर 22.41 मी.³
 (b) सा. ता. दा. पर 1.03 मी.³
 (c) सा. ता. दा. पर 29.27 मी.³
 (d) सा. ता. दा. पर 2.241 मी.³
33. किसी गैस के स्थिर आयतन पर ऊष्मा देने पर उसकी एन्ट्रॉपी में परिवर्तन को निम्न सम्बन्ध द्वारा दिया जाता है—
 (a) $mR \log_e \frac{T_2}{T_1}$ (b) $mC_V \log_e \frac{T_2}{T_1}$
 (c) $m \frac{R}{J} \log_e \frac{T_2}{T_1}$ (d) $mC_p \log_e \frac{T_2}{T_1}$
34. आदर्श श्राटलिंग प्रक्रम में—
 (a) दाब स्थिर रहता है
 (b) एन्थैल्पी स्थिर रहती है
 (c) PV स्थिर रहती है
 (d) आन्तरिक ऊर्जा स्थिर रहती है
35. किसी गैस के लिए—
 (a) $C_V > C_P$ (b) $C_P > C_V$
 (c) $C_P = C_V$ (d) इनमें से कोई नहीं
36. एन्थैल्पी (H) बराबर होती है—
 (a) $U + \frac{pV}{J}$ (b) $U - \frac{pV}{J}$
 (c) $U + J pV$ (d) $U + \frac{J}{pV}$
37. बहुविध प्रक्रम के दौरान किया गया कार्य व्यक्त किया जाता है—
 (a) $P (V_2 - V_1)$ (b) $\frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1 - n}$
 (c) $p_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1}$ (d) $p_1 V_1 \log_e \frac{p_2}{p_1}$
38. S.I. प्रणाली में 1 बार का मान होता है—
 (a) 1 kN/m² (b) 1 N/m²
 (c) 1×10^5 N/m² (d) 1×10^6 N/m²
39. एक पदार्थ की आन्तरिक ऊर्जा निर्भर करती है—
 (a) दाब पर (b) तापमान पर
 (c) आयतन पर (d) एन्थैल्पी पर
40. एक पूर्ण गैस के लिए बहुविध प्रक्रम $pV^n = C$ में एन्ट्रॉपी में परिवर्तन व्यक्त किया जाता है—
 (a) $\frac{\gamma - n}{\gamma - 1} R \log_e \frac{V_2}{V_1}$ (b) $C_V \frac{\gamma - n}{1 - n} \log_e \frac{T_2}{T_1}$
 (c) $\frac{\gamma - n}{\gamma} R \log_e \frac{V_2}{V_1}$ (d) उपरोक्त (a) तथा (b) दोनों
41. कौर्नाट चक्र में ऊष्मा का स्थानान्तरण होता है—
 (a) स्थिर दाब पर (b) स्थिर तापमान पर
 (c) स्थिर आयतन पर (d) स्थिर एन्थैल्पी पर
42. बहुविध प्रक्रम में—
 (a) $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{n-1}{n}}$
 (b) $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{n-1}$
 (c) $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$
 (d) $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{n-1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^n$

ANSWER SHEETS

- | | | | | |
|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 1. Ans. (d) | 41. Ans. (b) | 81. Ans. (b) | 121. Ans. (a) | 161. Ans. (c) |
| 2. Ans. (a) | 42. Ans. (a) | 82. Ans. (d) | 122. Ans. (b) | 162. Ans. (d) |
| 3. Ans. (c) | 43. Ans. (a) | 83. Ans. (c) | 123. Ans. (d) | 163. Ans. (b) |
| 4. Ans. (d) | 44. Ans. (d) | 84. Ans. (d) | 124. Ans. (b) | 164. Ans. (c) |
| 5. Ans. (a) | 45. Ans. (c) | 85. Ans. (c) | 125. Ans. (c) | 165. Ans. (a) |
| 6. Ans. (b) | 46. Ans. (b) | 86. Ans. (c) | 126. Ans. (a) | 166. Ans. (b) |
| 7. Ans. (b) | 47. Ans. (c) | 87. Ans. (a) | 127. Ans. (b) | 167. Ans. (d) |
| 8. Ans. (b) | 48. Ans. (c) | 88. Ans. (a) | 128. Ans. (b) | 168. Ans. (b) |
| 9. Ans. (c) | 49. Ans. (b) | 89. Ans. (a) | 129. Ans. (a) | 169. Ans. (b) |
| 10. Ans. (b) | 50. Ans. (a) | 90. Ans. (a) | 130. Ans. (b) | 170. Ans. (c) |
| 11. Ans. (a) | 51. Ans. (c) | 91. Ans. (b) | 131. Ans. (d) | 171. Ans. (d) |
| 12. Ans. (d) | 52. Ans. (a) | 92. Ans. (d) | 132. Ans. (a) | 172. Ans. (c) |
| 13. Ans. (c) | 53. Ans. (c) | 93. Ans. (a) | 133. Ans. (c) | 173. Ans. (a) |
| 14. Ans. (b) | 54. Ans. (a) | 94. Ans. (c) | 134. Ans. (a) | 174. Ans. (c) |
| 15. Ans. (b) | 55. Ans. (d) | 95. Ans. (a) | 135. Ans. (d) | 175. Ans. (c) |
| 16. Ans. (d) | 56. Ans. (b) | 96. Ans. (c) | 136. Ans. (a) | 176. Ans. (b) |
| 17. Ans. (b) | 57. Ans. (b) | 97. Ans. (a) | 137. Ans. (b) | 177. Ans. (c) |
| 18. Ans. (a) | 58. Ans. (d) | 98. Ans. (c) | 138. Ans. (c) | 178. Ans. (c) |
| 19. Ans. (c) | 59. Ans. (a) | 99. Ans. (a) | 139. Ans. (d) | 179. Ans. (b) |
| 20. Ans. (a) | 60. Ans. (c) | 100. Ans. (a) | 140. Ans. (c) | 180. Ans. (a) |
| 21. Ans. (b) | 61. Ans. (d) | 101. Ans. (c) | 141. Ans. (b) | 181. Ans. (d) |
| 22. Ans. (d) | 62. Ans. (b) | 102. Ans. (d) | 142. Ans. (a) | 182. Ans. (a) |
| 23. Ans. (c) | 63. Ans. (a) | 103. Ans. (b) | 143. Ans. (d) | 183. Ans. (c) |
| 24. Ans. (b) | 64. Ans. (c) | 104. Ans. (a) | 144. Ans. (a) | 184. Ans. (c) |
| 25. Ans. (b) | 65. Ans. (a) | 105. Ans. (c) | 145. Ans. (b) | 185. Ans. (b) |
| 26. Ans. (d) | 66. Ans. (d) | 106. Ans. (b) | 146. Ans. (c) | 186. Ans. (d) |
| 27. Ans. (c) | 67. Ans. (b) | 107. Ans. (d) | 147. Ans. (b) | 187. Ans. (c) |
| 28. Ans. (d) | 68. Ans. (a) | 108. Ans. (c) | 148. Ans. (b) | 188. Ans. (d) |
| 29. Ans. (a) | 69. Ans. (d) | 109. Ans. (b) | 149. Ans. (d) | 189. Ans. (b) |
| 30. Ans. (a) | 70. Ans. (a) | 110. Ans. (b) | 150. Ans. (b) | 190. Ans. (a) |
| 31. Ans. (c) | 71. Ans. (b) | 111. Ans. (a) | 151. Ans. (c) | 191. Ans. (b) |
| 32. Ans. (a) | 72. Ans. (b) | 112. Ans. (a) | 152. Ans. (d) | 192. Ans. (d) |
| 33. Ans. (b) | 73. Ans. (b) | 113. Ans. (b) | 153. Ans. (a) | 193. Ans. (c) |
| 34. Ans. (b) | 74. Ans. (c) | 114. Ans. (b) | 154. Ans. (b) | 194. Ans. (b) |
| 35. Ans. (b) | 75. Ans. (a) | 115. Ans. (c) | 155. Ans. (d) | 195. Ans. (c) |
| 36. Ans. (a) | 76. Ans. (c) | 116. Ans. (c) | 156. Ans. (b) | 196. Ans. (d) |
| 37. Ans. (b) | 77. Ans. (d) | 117. Ans. (b) | 157. Ans. (a) | 197. Ans. (a) |
| 38. Ans. (c) | 78. Ans. (b) | 118. Ans. (b) | 158. Ans. (d) | 198. Ans. (a) |
| 39. Ans. (b) | 79. Ans. (d) | 119. Ans. (b) | 159. Ans. (b) | 199. Ans. (c) |
| 40. Ans. (d) | 80. Ans. (a) | 120. Ans. (b) | 160. Ans. (a) | 200. Ans. (d) |