

પ્રકરણ 11

દ્વયના ઉભીય ગુણધર્મો (THERMAL PROPERTIES OF MATTER)

- 11.1 પ્રસ્તાવના
- 11.2 તાપમાન અને ઉખા
- 11.3 તાપમાનનું માપન
- 11.4 આદર્શ વાયુ સમીકરણ અને નિરપેક્ષ તાપમાન
- 11.5 ઉભીય પ્રસરણ
- 11.6 વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા
- 11.7 ડેલોરીમેટ્રી
- 11.8 અવસ્થાનો ફેરફાર
- 11.9 ઉખાનું સ્થાનાંતર (પ્રસરણ)
- 11.10 ન્યૂટનનો શીતનનો નિયમ
સારાંશ
ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ
સ્વાધ્યાય

11.1 પ્રસ્તાવના (INTRODUCTION)

ઉખા અને તાપમાન માટે આપણા બધા પાસે એક સામાન્ય બુદ્ધિજન્ય ઘ્યાલ છે. તાપમાન પદાર્થના ગરમપણાનું માપ છે. બરફથી ભરેલા બોક્સ કરતાં ઉકળતું પાણી ધરાવતી કીટલી વધુ ગરમ હોય છે. ભौતિકવિજ્ઞાનમાં આપણે ઉખા, તાપમાન વગેરેના ઘ્યાલ કાળજીપૂર્વક વ્યાખ્યાયિત કરવા જરૂરી છે. આ પ્રકરણમાં તમે ઉખા શું છે અને તેનું માપન કેવી રીતે થાય તે અંગે અભ્યાસ કરશો અને ઉખા એક પદાર્થમાંથી બીજા પદાર્થમાં વહન પામે તેવી જુદી જુદી પ્રક્રિયાઓનો અભ્યાસ કરશો. આ દરમિયાન તમે જાણશો કે લુહાર લોખંડની વલય (રિંગ)ને બળદગાડાનાં લાકડાનાં પૈડાં પર ફિટ કરતાં અગાઉ શા માટે ગરમ કરે છે અને શા માટે સૂર્યાસ્ત પછી પવન સમુદ્ર કિનારે ઘણી વાર વિરુદ્ધ દિશામાં ફુંકાય છે. તમે એ પણ શીખશો કે એવું શું થાય છે કે જ્યારે પાણી ઉકળે અથવા ઠારણ પામે ત્યારે આ પ્રક્રિયા દરમિયાન તેની અંદર કે બહાર તરફ ઘણી ઉખા વહન પામતી હોવા છીતાં તાપમાન બદલાતું નથી.

11.2 તાપમાન અને ઉખા (TEMPERATURE AND HEAT)

આપણે તાપમાન અને ઉખાની વ્યાખ્યાથી દ્વયના ઉભીય ગુણધર્મના અભ્યાસની શરૂઆત કરીશું. તાપમાન એ ગરમપણા કે ઠંડાપણાનું સાપેક્ષ માપ અથવા સૂચન છે. ગરમ વાસણ ઊંચું તાપમાન ધરાવે છે અને બરફનો ટુકડો નીચું તાપમાન ધરાવે છે, તેમ કહી શકાય. એક પદાર્થ કરતાં ઊંચું તાપમાન ધરાવતો બીજો પદાર્થ વધુ ગરમ છે તેમ કહેવાય. અહીં નોંધો કે ગરમ અને ઠંડું એ ઊંચા અને નીચા જેવી સાપેક્ષ સ્થિતિ છે. આપણે સ્પર્શ દ્વારા તાપમાન અનુભવી શકીએ છીએ પરંતુ આ તાપમાનની અનુભૂતિ અવિશ્વસનીય છે અને વૈજ્ઞાનિક હેતુસર તેનો ઉપયોગ કરવા માટે તેનો વિસ્તાર ઘણો મર્યાદિત હોય છે.

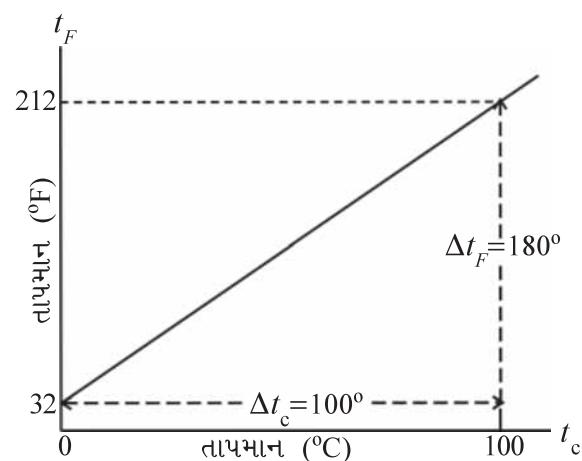
ઉનાળામાં ગરમ દિવસે બરફના પાણીથી ભરેલ ઘ્યાલાને ટેબલ પર મૂકીએ તો સમય જતાં ગરમ થાય છે અને આ જ ટેબલ પર ગરમ ચા ભરેલો કપ ઠંડો થાય છે, તેમ આપણે અનુભવ દ્વારા જોઈ શકીએ છીએ. આનો અર્થ એ થાય કે આ કિસ્સામાં જ્યારે બરફના ઠંડા પાણીનું અથવા ગરમ ચાનું તાપમાન તેની આસપાસનાં માધ્યમ કરતાં જુદું હોય ત્યારે તંત્ર

અને તેની આસપાસનાં માધ્યમનું તાપમાન સમાન ન થાય ત્યાં સુધી તંત્ર અને તેની આસપાસનાં માધ્યમ વચ્ચે ઉભાની આપ-લે થાય છે. આપણે એ પણ જાણીએ છીએ કે બરફનાં ઠંડા પાણીથી બરેલા કાચના ખાલાના ડિસ્સામાં ઉષ્મા વાતાવરણમાંથી કાચના ખાલા તરફ જ્યારે ગરમ ચાનાં ડિસ્સામાં તેનું વહન ચાના કપમાંથી વાતાવરણમાં થાય છે. આમ આપણે કહી શકીએ છીએ કે ઉષ્મા, ઊર્જાનું એવું સ્વરૂપ છે જેનું વહન બે (અથવા બેથી વધુ) તંત્રો વચ્ચે અથવા કોઈ તંત્ર અને તેના પરિસર વચ્ચે તાપમાનના તફાવતને કારણો થાય છે. વહન પામતી ઉષ્માઊર્જાનો SI એકમ જૂલ (J)માં દર્શાવાય છે જ્યારે તાપમાનનો SI એકમ કેલ્વિન (K) અને તાપમાન માટે સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતો એકમ $^{\circ}\text{C}$ છે. જ્યારે કોઈ પદાર્થને ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે તેમાં ઘડાબધા ફેરફારો થાય છે. તેનું તાપમાન વધી શકે છે, તે વિસ્તારિત (expand) થઈ શકે છે; તેની અવસ્થા બદલાઈ શકે છે. અનુવર્ત્તી પરિચ્છેદોમાં આપણે જુદા જુદા પદાર્થ પર ઉષ્માની અસર વિશેનો અભ્યાસ કરીશું.

11.3 તાપમાનનું માપન (MEASUREMENT OF TEMPERATURE)

થરમોમીટરનો ઉપયોગ કરીને તાપમાનનું માપન કરી શકાય છે. તાપમાનમાં વધારા સાથે દ્વયના ઘણા બૌતિક ગુણધર્મોમાં થતાં પર્યાપ્ત ફેરફારોનો, થરમોમીટરની રચનામાં આધાર તરીકે ઉપયોગ કરી શકાય છે. તાપમાન સાથે પ્રવાહીના કદમાં થતાં ફેરફારો એ સામાન્ય રીતે ઉપયોગમાં લેવાતો ગુણધર્મ છે. ઉદાહરણ તરીકે સામાન્ય થરમોમીટર (કાચમાં ભરેલ પ્રવાહી પ્રકારનું)થી તમે સૌ પરિચિત હો. પ્રવાહીકાચ થરમોમીટરમાં મોટે ભાગે પ્રવાહી તરીકે આલ્ટોહોલ અને પારાનો ઉપયોગ થાય છે.

થરમોમીટરોનું અંકન એવી રીતે કરવામાં આવે છે કે જેથી તે આપેલ તાપમાને આંકડાકીય મૂલ્ય આપી શકે. કોઈ એક પ્રમાણભૂત માપકમ વ્યાખ્યાપિત કરવા માટે બે નિશ્ચિત સંદર્ભ બિંદુઓની જરૂર પડે. હવે તાપમાન સાથે દરેક પદાર્થના પરિમાણ બદલાય છે. પ્રસરણ માટે નિરપેક્ષ સંદર્ભ ઉપલબ્ધ નથી. જોકે, જરૂરી નિશ્ચિત બિંદુ તે જ તાપમાને બનતી બૌતિક ઘટનાઓ સાથે સંબંધિત હોય જોઈએ. આવા બે સાનુકૂળ નિશ્ચિત બિંદુઓ જાણીતાં છે, પાણીનું ઠારણ બિંદુ અને ઉત્કલન બિંદુ. આ બે બિંદુઓ જે તાપમાનોએ પ્રમાણભૂત ઠારણ હેઠળ શુદ્ધ પાણી ઠારણ પામે અને ઉત્કલન પામે તે છે. ફેરનહીટ તાપમાન માપકમ અને સેલ્સિયસ તાપમાન માપકમ એ તાપમાનના બે જાણીતા માપકમ છે. ઠારણબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ માટે ફેરનહીટ માપકમ પર મૂલ્યો અનુક્રમે 32°F અને 212°F તથા સેલ્સિયસ માપકમ પર 0°C અને 100°C છે. આ બંને સંદર્ભ બિંદુઓ વચ્ચે ફેરનહીટ માપકમ પર 180 અને સેલ્સિયસ માપકમ પર 100 સમાન ગણાએ છે.



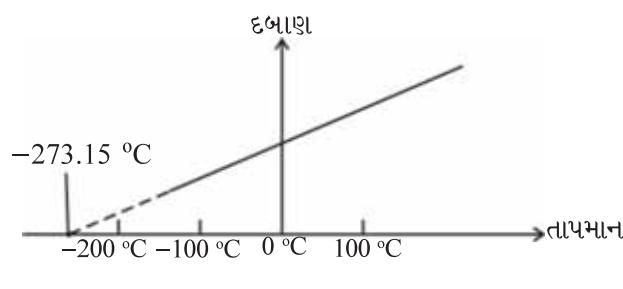
આકૃતિ 11.1 ફેરનહીટ તાપમાન (t_F) વિનુદ્ધ સેલ્સિયસ તાપમાન (t_c)નો આવેએ

બંને માપકમ વચ્ચેના રૂપાંતરણ માટેનો સંબંધ ફેરનહીટ તાપમાન (t_F) વિનુદ્ધ સેલ્સિયસ તાપમાન (t_c)નાં આવેએ પરથી મેળવી શકાય છે. જે એક સુરેખ છે (આકૃતિ 11.1). જેનું સમીકરણ નીચે મુજબ છે :

$$\frac{t_F - 32}{180} = \frac{t_c}{100} \quad (11.1)$$

11.4 આદર્શ વાયુ સમીકરણ અને નિરપેક્ષ તાપમાન (IDEAL-GAS EQUATION AND ABSOLUTE TEMPERATURE)

જુદા જુદા પ્રવાહીના ઉભીય પ્રસરણના ગુણધર્મો જુદા જુદા હોવાને કારણે પ્રવાહી-કાચ થરમોમીટરો વડે માપેલાં તાપમાનો નિયત બિંદુઓ કરતાં જુદાં હોય છે. પરંતુ કોઈ પણ વાયુ વાયુનો ઉપયોગ કરીને બનાવેલ વાયુ થરમોમીટર વડે તાપમાનનાં મૂલ્યો સમાન મળે છે. પ્રયોગો દર્શાવે છે કે ઓછી ઘનતા ઘરાવતા બધા જ વાયુઓની પ્રસરણની વર્તણૂક સમાન હોય છે. આપેલ જથ્થા (દળ)ના વાયુની વર્તણૂક દબાણ, કદ અને તાપમાન (P, V અને T) (જ્યાં $T = t + 273.15, t$ $^{\circ}\text{C}$ માં તાપમાન) જેવા ચલ વડે વાર્ષાવી શકાય છે. જ્યારે તાપમાન અચળ રાખવામાં આવે ત્યારે આપેલ જથ્થાના વાયુના દબાણ અને કદ વચ્ચેનો સંબંધ $PV =$ અચળ છે. આ સંબંધ બોઇલના નિયમ તરીકે જાણીતો છે. જે અંગ્રેજ રસાયણશાસ્ત્રી રોબર્ટ બોઇલ (1627-1691) શોધ્યો હતો. અચળ દબાણ આપેલ જથ્થાના વાયુના કદ અને તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ $V/T =$ અચળ છે. આ સંબંધ ફેન્ચ વૈજ્ઞાનિક જેક્સ ચાર્લ્સ (1747-1823)નાં નામ પરથી ચાર્લ્સના નિયમ તરીકે જાણીતો છે. પૂરતી ઓછી ઘનતાવાળા વાયુઓ આ નિયમોનું પાલન કરે છે, માટે તેમને એકત્રિત કરીને એક સંયુક્ત સંબંધ વડે દર્શાવી શકાય.



આકૃતિ 11.2 ઓછી ઘનતાવાળા વાયુના અચળ કંદ દબાણ વિરુદ્ધ તાપમાનનો આલેખ

એ નોંધો કે આપેલ જથ્થાના વાયુ માટે જો $PV = \text{અચળ}$ અને $V/T = \text{અચળ હોય}$ તો $PV/T = \text{અચળ}$ એ પણ અચળ થઈ શકે. આ સંબંધ આદર્શવાયુ નિયમ તરીકે જાણીતો છે. જેને વધુ વ્યાપક સ્વરૂપે લખી શકાય છે કે જેથી આપેલ જથ્થાના કોઈ એક વાયુ માટે નહિ પરંતુ કોઈ પણ જથ્થાના કોઈ પણ મંદ (dilute) વાયુને લાગુ પાડી શકાય છે, જેને આદર્શવાયુ સમીકરણ કહે છે.

$$\frac{PV}{T} = \mu R$$

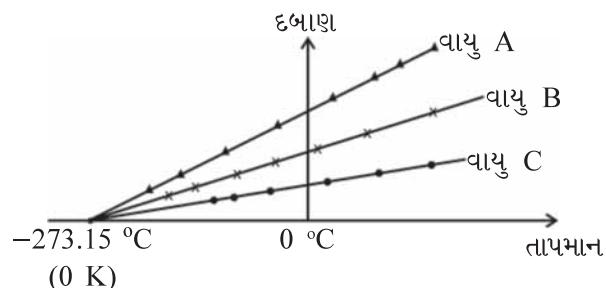
અથવા $PV = \mu RT$ (11.2)

જ્યાં, μ આપેલ વાયુની મોલ સંખ્યા છે અને R ને સાર્વત્રિક વાયુ નિયતાંક કહે છે.

$$R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

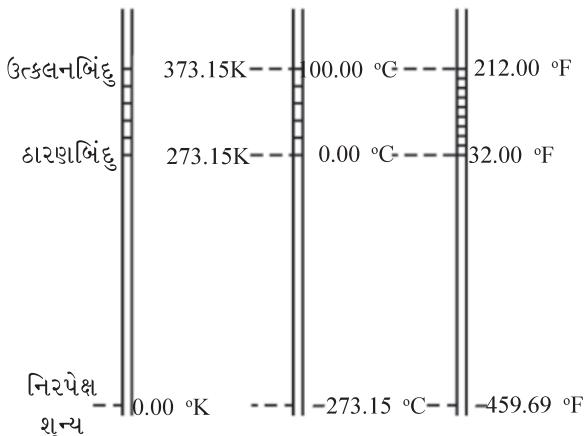
સમીકરણ (11.2) પરથી આપણે શીખ્યા કે દબાણ અને કંદ તાપમાનના સપ્રમાણમાં છે : $PV \propto T$. આ સંબંધ તાપમાનના માપન માટે અચળ કંદ વાયુ થરમોમીટરમાં વાયુનો ઉપયોગ કરવાની સ્વીકૃતિ આપે છે. વાયુનું કંદ અચળ રાખવામાં આવે ત્યારે $P \propto T$ મળે છે. આ રીતે અચળ કંદ વાયુ થરમોમીટર વડે મપાપેલ તાપમાન દબાણના પદમાં મળે છે. આ ડિસ્સામાં દબાણ વિરુદ્ધ તાપમાનનો આલેખ દોરવામાં આવે તો તે આકૃતિ 11.2 મુજબ સુરેખ મળે છે.

જો કે નીચા તાપમાને વાસ્તવિક વાયુ માટે મેળવેલા માપનનાં મૂલ્યો આદર્શવાયુ નિયમની ધારણા મુજબનાં મૂલ્યો કરતાં જુદાં પડે છે. પરંતુ તાપમાનના મોટા વિસ્તાર માટે સંબંધ રેખીય હોય છે તથા એવું જોવા મળે છે કે જો વાયુ વાયુમય અવસ્થામાં જ રહે તો તાપમાનમાં ઘટાડો કરતાં દબાણ શૂન્ય થઈ શકે છે. આકૃતિ 11.3માં દર્શાવ્યા મુજબ સુરેખ આલેખને અક્ષ સુધી લંબાવવામાં આવે તો આદર્શ વાયુ માટે નિરપેક લંબુતમ તાપમાન મેળવી શકાય છે. આ તાપમાનનું મૂલ્ય -273.15°C મળે છે અને તે નિરપેક શૂન્ય તરીકે ઓળખાય છે. બ્રિટિશ વૈજ્ઞાનિક લૉડ કેલ્વિને દર્શાવ્યું છે કે, કેલ્વિન તાપમાન માપકમ અથવા



આકૃતિ 11.3 દબાણ વિરુદ્ધ તાપમાનનો આલેખ જેને પાછળ તરફ લંબાવતા તે દર્શાવે છે કે નીચી ઘનતાવાળા વાયુઓ સમાન નિરપેક શૂન્ય તાપમાન દર્શાવે છે.

નિરપેક તાપમાન માપકમનો આધાર નિરપેક શૂન્ય છે. આ માપકમ પર -273.15°C ને શૂન્યબિંદુ તરીકે લેવામાં આવે છે અર્થાત તે 0 K (આકૃતિ 11.4) છે.



આકૃતિ 11.4 કેલ્વિન, સેલ્સિયસ અને ફેરનહીટ તાપમાન માપકમોની સરખામણી

કેલ્વિન તાપમાન માપકમ માટેના એકમનું પરિમાણ સેલ્સિયસ ડિગ્રી જેટલું સમાન છે. તેથી આ માપકમો પર તાપમાનનો સંબંધ નીચે મુજબ છે :

$$T = t_c + 273.15 \quad (11.3)$$

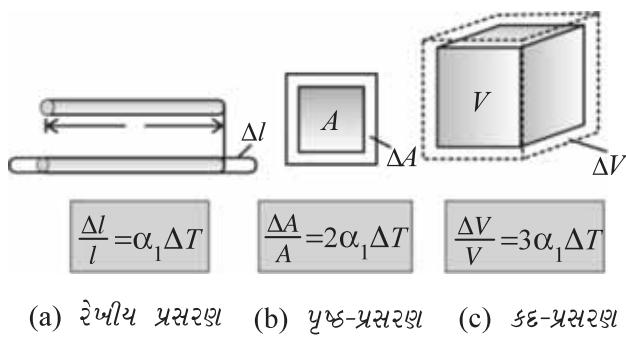
11.5 ઉષ્મીય પ્રસરણ

(THERMAL EXPANSION)

તમે ઘણી વખત અવલોકન કર્યું હશે કે ધાતુનાં આંટાવાળાં ઢાંકણાં (lid) વડે સખત રીતે બંધ કરેલી બોટલને ખોલવા માટે ગરમ પાણીમાં થોડા સમય માટે રાખવામાં આવે છે. આમ, કરવાથી ધાતુના ઢાંકણાનું પ્રસરણ થાય છે અને તેના આંટા સરળતાથી ખોલી શકાય છે. પ્રવાહીના ડિસ્સામાં તમે અવલોકન કર્યું હશે કે, જ્યારે થરમોમીટરને થોડા ગરમ પાણીમાં મૂકવામાં આવે ત્યારે પારો થરમોમીટરમાં ઉપર થણે છે. જો

આપણે થરમોમીટરને ગરમ પાણીમાંથી બહાર કાઢીએ તો પારાની સપાટી ફરી નીચે ઉતરે છે. આ જ રીતે વાયુના ડિસ્ટ્રામાં, એક કુર્ગાને ઠંડા ઓરડામાં થોડો ફુલાવી તેને ગરમ પાણીમાં મૂકવામાં આવે, તો તે તેના પૂર્ણ પરિમાણ સુધી ફૂલે છે. તેનાથી વિપરીત પૂર્ણ રીતે ફુલાવેલ કુર્ગાને ઠંડા પાણીમાં ડુબાડવામાં આવે છે ત્યારે તેની અંદર રહેલી હવાના સંકોચનને કારણે તે સંકોચાવાનું શરૂ કરે છે.

આપણો સામાન્ય અનુભવ એવો રહ્યો છે કે, મોટા ભાગના પદાર્થને ગરમ કરતાં તે પ્રસરણ પામે છે અને ઠંડા પાડતાં સંકોચાય છે. વસ્તુના તાપમાનમાં થતા ફેરફારને કારણે તેના પરિમાણમાં ફેરફાર થાય છે. વસ્તુના તાપમાનમાં વધારો થતાં તેનાં પરિમાણોમાં વધારો થાય છે. જેને ઉભીય પ્રસરણ કહે છે. લંબાઈમાં થતાં વધારાને રેખીય પ્રસરણ (linear expansion) કહે છે. ક્ષેત્રફળમાં થતાં વધારાને પૃષ્ઠ-પ્રસરણ (area expansion) કહે છે. કદમાં થતાં વધારાને કદ-પ્રસરણ (volume expansion) કહે છે. (આંકૃતિક 11.5)



આંકૃતિક 11.5 ઉભીય પ્રસરણ

જો પદાર્થ લાંબા સળિયા સ્વરૂપે હોય અને તેના તાપમાનમાં ΔT જેટલો નાનો ફેરફાર કરવામાં આવે, તો તેની લંબાઈમાં થતો આંશિક ફેરફાર $\Delta l/l$, ΔT ને સપ્રમાણ હોય છે.

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha_1 \Delta T \quad (11.4)$$

અહીં, α_1 એ રેખીય પ્રસરણાંક તરીકે ઓળખાય છે, અને તે સળિયાનાં દ્રવ્યનો વિશિષ્ટ ગુણ છે. કોઝક 11.1માં કેટલાક પદાર્થો માટે 0°C થી 100°C નાં તાપમાનનાં ગાળા માટે રેખીય પ્રસરણાંકનાં વિશિષ્ટ સરેરાશ મૂલ્યો આપેલાં છે. આ કોઝક પરથી કાચ અને તાંબા માટે α_1 નાં મૂલ્યોની સરખામણી કરીએ તો આપણે જોઈ શકીએ છીએ કે તાપમાનના સમાન વધારા માટે કાચ કરતાં તાંબું પાંચગઢું વધુ પ્રસરણ પામે છે. સામાન્ય રીતે ધાતુઓમાં પ્રસરણ વધુ થાય છે અને તેમના α_1 નાં મૂલ્યો પ્રમાણમાં ઊંચાં હોય છે.

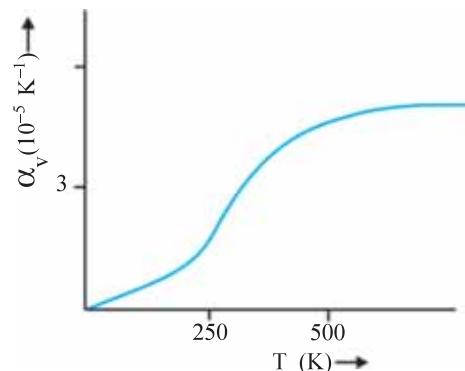
કોઝક 11.1 કેટલાંક દ્રવ્યો માટે રેખીય પ્રસરણાંકનાં મૂલ્યો

દ્રવ્યો	$\alpha_1 (10^{-5} \text{ K}^{-1})$
અલ્યુમિનિયમ	2.5
બ્રાસ (પિતણ)	1.8
લોઝંડ	1.2
તાંબું	1.7
ચાંદી	1.9
સોનું	1.4
કાચ (પાયરેક્સ)	0.32
સીસું	0.29

આ જ રીતે કોઈ પદાર્થનાં તાપમાનમાં ΔT જેટલો ફેરફાર કરતાં તેનાં કદમાં થતો આંશિક ફેરફાર $\Delta V/V$ લઈએ તો કદ-પ્રસરણાંક α_v નીચે મુજબ વ્યાખ્યાપિત કરી શકાય :

$$\alpha_v = \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \frac{1}{\Delta T} \quad (11.5)$$

અહીં, α_v પદાર્થની લાક્ષણિકતા છે પરંતુ ચોક્કસપણે અચળાંક નથી. સામાન્ય રીતે તે તાપમાન પર આધારિત છે (આંકૃતિક 11.6). એવું જોવા મળેલ છે કે માત્ર ઊંચા તાપમાને α_v અચળ થઈ જાય છે.



આંકૃતિક 11.6 તાપમાન વિધેય તરીકે તાંબાનાં કદ-પ્રસરણાંકનાં મૂલ્યો

કોઝક 11.2માં 0°C થી 100°C નાં તાપમાનના ગાળા માટે કેટલાંક સામાન્ય દ્રવ્યો માટે કદ-પ્રસરણાંકનાં મૂલ્યો આપેલાં છે. તમે જોઈ શકો છો કે આ પદાર્થો (ઘન કે પ્રવાહી) માટે કદ-પ્રસરણાંકનાં મૂલ્યો વધુ પ્રમાણમાં નાનાં છે. પરંતુ પાયરેક્સ

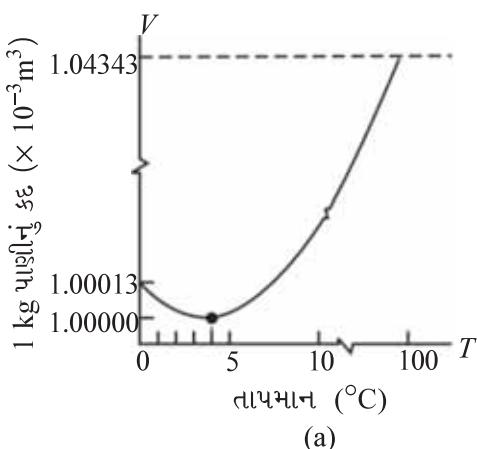
કાચ અને ઈન્વાર (આયન-નિકલની ખાસ મિશ્ર ધાતુ) જેવાં દ્રવ્યો માટે α_v નાં મૂલ્યો ચોક્કસપણે નીચાં છે. આ કોષ્ટક પરથી એ પણ જોઈ શકાય છે કે આલ્કોહોલ (ઇથાઇલ) માટે α_v નું મૂલ્ય પારા કરતાં વધુ છે અને તાપમાનના સમાન વધારા માટે પારા કરતાં પ્રસરણ પણ વધુ પામે છે.

કોષ્ટક 11.2 કેટલાક પદાર્થોનાં કદ-પ્રસરણાંકના મૂલ્યો

દ્રવ્યો	$\alpha_v (K^{-1})$
ઓલ્યુમિનિયમ	7×10^{-5}
ખ્રાસ (પિતાળ)	6×10^{-5}
લોઝંડ	3.55×10^{-5}
પેરાફિન	58.8×10^{-5}
કાચ (સામાન્ય)	2.5×10^{-5}
કાચ (પાયરેક્ષ)	1×10^{-5}
સખત રબર	2.4×10^{-4}
ઇન્વાર	2×10^{-6}
પારો	18.2×10^{-5}
પાણી	20.7×10^{-5}
આલ્કોહોલ (ઇથાઇલ)	110×10^{-5}

પાણી અનિયમિત વર્તણૂક દર્શાવે છે. તેને 0°C થી 4°C સુધી ગરમ કરતાં સંકોચન અનુભવે છે. આપેલ જથ્થાના પાણીનું ઓરડાના તાપમાનેથી ઠારણ કરતાં તેનું તાપમાન 4°C થાય ત્યાં સુધી કદ ઘટે છે [આફ્ટિ [11.7(a)]] . 4°C નીચે તેનું કદ વધે છે અને તેની ઘનતા ઘટે છે [આફ્ટિ [11.7(b)]] .

આનો અર્થ એ થાય કે 4°C તાપમાને પાણીની ઘનતા મહત્વમાં હોય છે. આ ગુણધર્મની એક મહત્વની પ્રાકૃતિક અસર



આફ્ટિ 11.7 પાણીનું ઉભીય પ્રસરણ

એ છે કે, તળાવ, સરોવર જેવાં જળાશયોની ઉપરની સપાટી પ્રથમ ઠારણ પામે છે. જેવું સરોવર 4°C સુધી ઠંડું થાય ત્યારે સપાટી નજીકનું પાણી પોતાની ઊર્જા વાતાવરણમાં ગુમાવે છે અને ઘણું થાય છે અને નીચે જાય છે. તળિયે રહેલું હુંકાણું ઓછું ઘણું પાણી ઉપર આવે છે. પરંતુ જયારે સપાટી પરના પાણીનું તાપમાન એક વખત 4°C નીચે પહોંચે છે ત્યારે તેની ઘનતા ઘટે છે અને તેથી તે સપાટી પર જ રહે છે અને ત્યાં તે ઠારણ પામી જાય છે. જો પાણીનો આવો ગુણધર્મ ન હોત, તો સરોવર અને તળાવનું પાણી તળિયાથી ઉપર સુધી ઠારણ પામી જાય જેથી મોટા ભાગનાં જળચર પ્રાણીઓ અને વનસ્પતિનાં જીવન નાશ પામી જત.

સામાન્ય તાપમાને ઘન અને પ્રવાહીઓ કરતાં વાયુઓ વધુ પ્રસરણ અનુભવે છે. પ્રવાહીઓ માટે કદ-પ્રસરણાંક સાપેક્ષ રીતે તાપમાન પર આધારિત નથી, પરંતુ વાયુઓ માટે તે તાપમાન પર આધારિત છે. આદર્શ વાયુ સમીકરણ પરથી અચળ દબાણે આદર્શ વાયુ માટે કદ-પ્રસરણાંક મેળવી શકાય છે.

$$PV = \mu RT$$

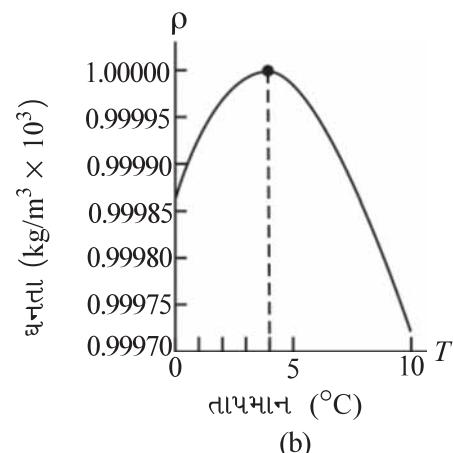
અચળ દબાણે

$$P\Delta V = \mu R\Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T}$$

$$\text{એટલે કે, } \alpha_v = \frac{1}{T} \text{ આદર્શ વાયુ માટે} \quad (11.6)$$

0°C તાપમાને $\alpha_v = 3.7 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ જે ઘન અને પ્રવાહીઓ કરતાં ઘણો મોટો છે. સમીકરણ (11.6) દર્શાવે છે કે α_v તાપમાન પર આધારિત છે, તે તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે. ઓરડાનાં તાપમાને વાયુ માટે અચળ



દ્વારા α_v લગભગ $3300 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ છે. આ મૂલ્ય વિશિષ્ટ પ્રવાહીઓનાં કદ-પ્રસરણાંક કરતાં ઘણા મોટા કમનું છે.

કદ-પ્રસરણાંક (α_v) અને રેખીય પ્રસરણાંક (α_l) વચ્ચે સરળ સંબંધ છે. ધારો કે l લંબાઈનો એક સમધન છે. જ્યારે તેનાં તાપમાનમાં ΔT જેટલો વધારો કરવામાં આવે છે ત્યારે તે બધી જ દિશામાં એક સમાન પ્રસરણ પામે છે.

$$\text{તેથી, } \Delta l = \alpha_l \Delta T$$

$$\text{માટે } \Delta V = (l + \Delta l)^3 - l^3 \approx 3l^2 \Delta l \quad (11.7)$$

સમીકરણ 11.7માં આપણે (Δl)ને l ની સરખામણીએ નાનો હોવાને કારણે $(\Delta l)^2$ અને $(\Delta l)^3$ ને અવગણેલ છે. તેથી,

$$\Delta V = \frac{3V \Delta l}{l} = 3V \alpha_l \Delta T \quad (11.8)$$

જે પરથી મળે છે કે,

$$\alpha_v = 3\alpha_l \quad (11.9)$$

એક સણિયાને તેના બંને છેડા દ્વારા આધાર સાથે સજજા જરૂર કરીને તેનું ઉભીય પ્રસરણ રોકવામાં આવે તો શું થાય ? સ્પષ્ટ છે કે દ્વારા આધારો વડે સણિયાના છેડા પર લાગુ પડતાં બાબ્ય બળોને કારણે તેમાં દાબીય વિકૃતિ ઉત્પન્ન થશે. જેને અનુરૂપ સણિયામાં ઉદ્ભબતાં પ્રતિબળને તાપીય પ્રતિબળ (thermal stress) કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે, ધારો કે સ્ટીલના એક પાટાની લંબાઈ 5 m અને તેના આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 40 cm² છે અને તાપમાનમાં 10 °C જેટલો વધારો કરી તેનું તાપીય પ્રસરણ રોકવામાં આવે છે. સ્ટીલનો રેખીય પ્રસરણાંક α_l (સ્ટીલ) = $1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ છે. તેથી દાબીય વિકૃતિ $\frac{\Delta l}{l} = \alpha_l$ (સ્ટીલ) $\Delta T = 1.2 \times 10^{-5} \times 10 = 1.2 \times 10^{-4}$ થાય.

$$\text{સ્ટીલ માટે યંગ મોડિયુલસ } Y_{(\text{સ્ટીલ})} = 2 \times 10^{11} \text{ N m}^{-2}$$

$$\text{તેથી ઉદ્ભબતું તાપીય પ્રતિબળ } \frac{\Delta F}{A} = Y_{(\text{સ્ટીલ})} \left(\frac{\Delta l}{l} \right) = 2.4 \times 10^7 \text{ N m}^{-2}.$$

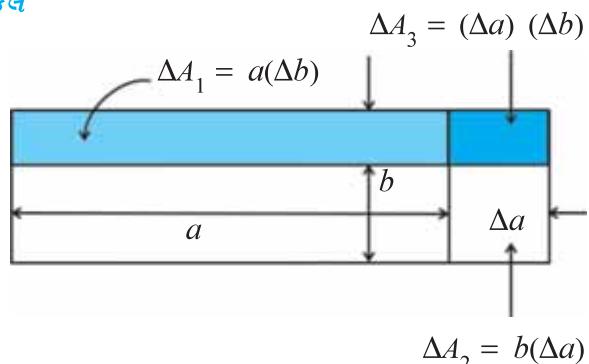
જેને અનુરૂપ બાબ્ય બળ

$$\Delta F = AY_{(\text{સ્ટીલ})} \left(\frac{\Delta l}{l} \right) = 2.4 \times 10^7 \times 40 \times 10^{-4} \simeq 10^5 \text{ N.}$$

જો સ્ટીલના આવા બે પાટાના બાબ્ય છેડાને જરૂર કરેલા હોય અને તેમનાં અંદર તરફના બે છેડા જોડેલા હોય, તો આટલા મૂલ્યનું બળ પાટાને સરળતાથી વાળી દેશે.

► ઉદાહરણ 11.1 દર્શાવો કે ઘન પદાર્થની લંબચોરસ તકતી માટે પૃષ્ઠ-પ્રસરણાંક ($\Delta A/A)/\Delta T$ તેના રેખીય પ્રસરણાંક α_l કરતાં બમણો હોય છે.

ઉકેલ



આકૃતિ 11.8

ધારો કે ઘન દ્વયની એક લંબચોરસ તકતીની લંબાઈ a અને પહોળાઈ b છે (આકૃતિ 11.8). જ્યારે તેનાં તાપમાનમાં ΔT જેટલો વધારો કરવામાં આવે છે ત્યારે a માં થતો વધારો $\Delta a = \alpha_l a \Delta T$ અને b માં થતો વધારો $\Delta b = \alpha_l b \Delta T$. આકૃતિ 11.8 પરથી, ક્ષેત્રફળમાં થતો વધારો

$$\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3$$

$$\Delta A = a \Delta b + b \Delta a + (\Delta a)(\Delta b)$$

$$= a \alpha_l b \Delta T + b \alpha_l a \Delta T + (\alpha_l)^2 ab (\Delta T)^2$$

$$= \alpha_l ab \Delta T (2 + \alpha_l \Delta T)$$

$$= \alpha_l A \Delta T (2 + \alpha_l \Delta T)$$

જોકે $\alpha_l \simeq 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. કોઈક 11.1 પરથી 2ની સરખામણીમાં આપેલ તાપમાનનાં ગાળા માટે $\alpha_l \Delta T$ નું ગુણનફળ નાનું હોવાથી તેને અવગણી શકાય છે. તેથી,

$$\left(\frac{\Delta A}{A} \right) \frac{1}{\Delta T} \simeq 2\alpha_l$$

► ઉદાહરણ 11.2 એક લુહાર બળદગાડાનાં લાકડાનાં પૈડાની ધાર પર લોખંડની રિંગ જડે છે. 27 °C તાપમાને પૈડાની ધાર અને રિંગનાં વ્યાસ અનુકૂળે 5.243 m અને 5.231 m છે, તો રિંગને પૈડાની ધાર પર જડવા માટે કેટલા તાપમાન સુધી ગરમ કરવી જોઈએ ? જ્યાં, $(\alpha_l = 1.20 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1})$

ઉકેલ આપેલ $T_1 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$L_{T_1} = 5.231 \text{ m}$$

$$L_{T_2} = 5.243 \text{ m}$$

તેથી,

$$L_{T_2} = L_{T_1} [1 + \alpha_l (T_2 - T_1)]$$

$$5.243 \text{ m} = 5.231 \text{ m} [1 + 1.20 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1} (T_2 - 27 \text{ } ^\circ\text{C})]$$

$$\therefore T_2 = 218 \text{ } ^\circ\text{C}$$

11.6 વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા (SPECIFIC HEAT CAPACITY)

એક પાત્રમાં પાણી લઈ તેને બરનર પર મૂકી ગરમ કરો. તમે જોશો કે, પાણીના પરપોટા ઉપર આવવાનું શરૂ કરશો. જેમ તાપમાન વધે તેમ પાણીના કણોની ગતિ વધે છે અને પાણી ઉકળવા લાગે ત્યાં સુધી તેની ગતિ પ્રકૃષ્ટ બની જાય છે. પદાર્થનાં તાપમાનમાં વધારો કરવા માટે જરૂરી ઉષ્માનો જથ્થો કર્યાં પરિબળો પર આધારિત છે? આ પ્રશ્નનો ઉત્તર મેળવવા માટે, પ્રથમ તબક્કામાં આપેલ જથ્થાનાં પાણીનું તાપમાન 20 °C જેટલું વધારવા માટે ગરમ કરો અને આ માટે લાગતો સમય નોંધો. ફરીથી સમાન જથ્થાના પાણીને તે જ ઉષ્માપ્રાપ્તિ સ્થાન વડે તેનાં તાપમાનમાં 40 °C જેટલો વધારો કરો. આ માટે લાગતો સમય સ્ટોપવોચની મદદથી નોંધો. તમે જોઈ શકશો કે, આ વખતે લગભગ બમણો સમય લાગે છે. એટલે કે, સમાન જથ્થાનાં પાણીના તાપમાનમાં બમણો વધારો કરવા માટે જરૂરી ઉષ્માનો જથ્થો બમણો હોય છે.

બીજા તબક્કામાં તમે બમણાં જથ્થાનું પાણી લઈ તે જ ઉષ્માપ્રાપ્તિ સ્થાનની ગોઠવણી દ્વારા તેનાં તાપમાનમાં 20 °Cનો વધારો કરો. તમે જોઈ શકશો કે આ માટે લાગતો સમય પ્રથમ તબક્કામાં લાગતાં સમય કરતાં બમણો હશે.

ત્રીજા તબક્કામાં, પાણીને બદલે તેટલા જ જથ્થામાં કોઈ તેલ (સરસવ તેલ)ને ગરમ કરી તેનું તાપમાન 20 °C વધારો. આ માટે લાગતો સમય તે જ સ્ટોપવોચ વડે નોંધો. તમે જોઈ શકશો કે આ માટે લાગતો સમય ઓછો હોય છે. એટલે કે, અહીં જરૂરી ઉષ્માનો જથ્થો, સમાન જથ્થાનાં પાણીના તાપમાનમાં સમાન વધારો કરવા માટે જરૂરી ઉષ્માના જથ્થા કરતાં ઓછો છે.

ઉપરનાં અવલોકનો દર્શાવે છે કે આપેલા પદાર્થને ગરમ કરવા માટે જરૂરી ઉષ્માનો જથ્થો, પદાર્થના દળ m, તાપમાનનો ફેરફાર ΔT અને પદાર્થની જાત પર આધારિત છે. જ્યારે આપેલ ઉષ્માનો જથ્થો પદાર્થ વડે શોષાય અથવા ઉત્સર્જય ત્યારે તેના તાપમાનમાં ફેરફાર થાય છે. આ લાક્ષણિકતા પદાર્થની ઉષ્માધારિતા (heat capacity) નામની રાશિ વડે ઓળખાય છે. આપણે ઉષ્માધારિતા Sને નીચે મુજબ વ્યાખ્યાપિત કરી શકીએ :

$$S = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (11.10)$$

જ્યાં, ΔQ પદાર્થનાં તાપમાનમાં T થી $T + \Delta T$ જેટલો ફેરફાર કરવામાં આપેલ ઉષ્માનો જથ્થો છે.

તમે અવલોકન કર્યું હશો કે, જુદા જુદા પદાર્થના સમાન જથ્થાને સમાન જથ્થાની ઉષ્મા આપતાં તેમનાં પરિણામી તાપમાનમાં થતો ફેરફાર સમાન હોતો નથી. તેનો નિષ્કર્ષ એવો નીકળો કે એકમ

દળ ધરાવતાં દરેક પદાર્થનાં તાપમાનમાં એક એકમનો ફેરફાર કરવા માટે શોષાતી કે ઉત્સર્જની ઉષ્માના જથ્થાનું મૂલ્ય અનન્ય (નિશ્ચિત) હોય છે. ઉષ્માના આ જથ્થાને તે પદાર્થની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા (Specific heat capacity) કહે છે.

જો m દળ ધરાવતાં પદાર્થનાં તાપમાનમાં ΔT જેટલો ફેરફાર કરવા માટે શોષાતી કે ઉત્સર્જન પામતી ઉષ્માનો જથ્થો ΔQ હોય, તો તે પદાર્થની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા નીચે મુજબ આપી શકીએ :

$$s = \frac{S}{m} = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (11.11)$$

વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા પદાર્થનો એક એવો ગુણધર્મ છે કે, જ્યારે આપેલ જથ્થાની ઉષ્માનું શોષણ (અથવા ઉત્સર્જન) થાય ત્યારે પદાર્થનાં (ભૌતિક સ્થિતિ બદલાતી ન હોય) તાપમાનમાં થતો ફેરફાર નક્કી કરે છે. એકમ દળના પદાર્થનાં તાપમાનમાં એક એકમનો ફેરફાર કરવા માટે શોષાતી કે ઉત્સર્જન પામતી ઉષ્માના જથ્થા વડે તેને વ્યાખ્યાપિત કરાય છે. તે પદાર્થની જાત અને તેના તાપમાન પર આધાર રાખે છે. વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાનો SI એકમ J kg⁻¹ K⁻¹ છે.

જો પદાર્થના જથ્થાનો ઉલ્લેખ દળ m, kg ને બદલે મોલ મનાં પદમાં દર્શાવવામાં આવે, તો આપણે પદાર્થની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા પ્રતિમોલ નીચે મુજબ વ્યાખ્યાપિત કરી શકીએ :

$$C = \frac{S}{\mu} = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (11.12)$$

જ્યાં, Cને પદાર્થની મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા (Molar heat capacity) કહે છે. ઇની માફક જ C પદાર્થની જાત અને તાપમાન પર આધાર રાખે છે. મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાનો SI એકમ J mol⁻¹ K⁻¹ છે. જોકે વાયુઓ માટે વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાના સંબંધમાં Cને વ્યાખ્યાપિત કરવા કેટલીક વધારાની શરતો જરૂરી હોય છે. આ કિસ્સામાં દબાણ અથવા કદ અચળ રાખીને ઉષ્માનો વિનિમય કરી શકાય છે. જો ઉષ્માના વિનિમય દરમિયાન વાયુનું દબાણ અચળ રાખવામાં આવે તો તેને આપેલા અચળ દબાણો મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા કહે છે. જેને C_p વડે દર્શાવાય છે. બીજી રીતે ઉષ્માના વિનિમય દરમિયાન વાયુનું કદ અચળ રાખવામાં આવે તો તેને આપેલા અચળ દબાણો મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા કહે છે. જેને C_v વડે દર્શાવાય છે. વિગતવાર માહિતી માટે પ્રકરણ 12 જુઓ. વાતાવરણનાં દબાણો અને સામાન્ય તાપમાને કેટલાક પદાર્થની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાની સૂચિ કોષ્ટક 11.3માં દર્શાવેલ છે. જ્યારે કોષ્ટક 11.4માં કેટલાક વાયુઓ માટે મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાની સૂચિ આપેલ છે.

કોષ્ટક 11.3 પરથી તમે જોઈ શકો છો કે અન્ય પદાર્થની સરખામણીમાં પાણી માટે વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાનું મૂલ્ય મહત્તમ છે. આ કારણસર, ઓટોમોબાઇલમાં રેઝિયેટરમાં શીતક તરીકે

કોઝિક 11.3 વાતાવરણના દબાણો અને ઓરડાના તાપમાને કેટલાક પદાર્થોની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા

પદાર્થો	વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	પદાર્થો	વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા (J kg ⁻¹ K ⁻¹)
એલ્યુમિનિયમ	900.0	બરફ	2060
કાર્బન	506.5	કાચ	840
તાંબું	386.4	લોઝંડ	450
સીસું	127.7	કેરોસીન	2118
ચાંદી	236.1	ખાદ્યતેલ	1965
ટંગસ્ટન	134.4	પારો	140
પાણી	4186.0		

અને ગરમ પાણીની બેગમાં તાપક તરીકે પાણીનો ઉપયોગ થાય છે. પોતાની ઊંચી વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાને કારણે ઉનાળામાં જમીન કરતાં પાણી ખૂબ જ ધીમી ગતિથી ગરમ થાય છે. જેને કારણે જ સમુદ્ર પરથી આવતા પવનો શીતળ હોય છે. હવે તમે કહી શકો છો કે, શા માટે રણ વિસ્તારમાં દિવસ દરમિયાન જમીન ઝડપથી ગરમ અને રાત્રે ઝડપથી ઢંડી પડે છે.

કોઝિક 11.4 કેટલાક વાયુઓ માટે મોલર વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા

વાયુ	C_p (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	C_v (J mol ⁻¹ K ⁻¹)
He	20.8	12.5
H ₂	28.8	20.4
N ₂	29.1	20.8
O ₂	29.4	21.1
CO ₂	37.0	28.5

11.7 કેલોરિમેટ્રી (CALORIMETRY)

તંત્ર અને તેના પરિસર વચ્ચે ઉષ્માનું આદાન-પ્રદાન અથવા વિનિમય થતો ન હોય તો તેવા તંત્રને અલગ કરેલું તંત્ર કહે છે. જ્યારે અલગ કરેલા તંત્રના જુદા જુદા ભાગો જુદાં જુદાં તાપમાને હોય ત્યારે ઊંચા તાપમાનવાળા ભાગમાંથી ઉષ્માના જથ્થાનું નીચા તાપમાનવાળા ભાગમાં વહન થાય છે. ઊંચા તાપમાને રહેલ ભાગે ગુમાવેલ ઉષ્મા, નીચા તાપમાને રહેલા ભાગે મેળવેલ ઉષ્મા બરાબર હોય છે.

કેલોરિમેટ્રી એટલે ઉષ્માનું માપન. જો પરિસર વડે ઉષ્મા ગુમાવતી ન હોય, તો ઊંચા તાપમાને રહેલી વસ્તુને બીજી નીચા તાપમાને રહેલી વસ્તુના સંપર્કમાં લાવવામાં આવે ત્યારે ગરમ વસ્તુએ ગુમાવેલ ઉષ્મા ઢંડી વસ્તુએ મેળવેલ ઉષ્મા બરાબર થાય છે. ઉષ્માનું માપન કરી શકાય એવી રચનાને કેલોરિમીટર કહે

છે. તે એક જ ધાતુ જેવી કે, તાંબું અથવા એલ્યુમિનિયમમાંથી બનાવેલ ધાતુપાત્ર અને તે જ ધાતુનું બેળક ધરાવે છે. આ પાત્રને જ્લાસવુલ જેવાં ઉષ્મારોધક દ્રવ્યો ધરાવતા લાકડાના આવરણમાં મૂકવામાં આવે છે. બહારનું આવરણ ઉષ્મા કવચ તરીકે વર્તે છે અને અંદરના પાત્રમાંથી થતો ઉષ્માવ્યય ઘટાડે છે. બાબુ આવરણમાં એક છિદ્ર (કાણું) હોય છે, જેનાં દ્વારા કેલોરીમીટરમાં પારાવાળું થરમોમીટર દાખલ કરવામાં આવે છે. ‘મેળવેલ ઉષ્મા અને ગુમાવેલ ઉષ્મા સમાન હોય છે.’ આ સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ કરીને આપેલ ઘન પદાર્થની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા નક્કી કરવાની રીત નીચે આપેલ ઉદાહરણ પુરું પાડે છે :

► **ઉદાહરણ 11.3** 0.047 kg દળ ધરાવતાં એલ્યુમિનિયમના એક ગોળાને પૂરતા સમય માટે ઉકળતું પાણી ધરાવતા પાત્રમાં મુકેલ છે. પરિણામે આ ગોળાનું તાપમાન 100 °C થાય છે. હવે આ ગોળાને તરત જ 20 °C તાપમાન ધરાવતા 0.25 kg પાણીને બરેલા, 0.14 kg દળવાળા તંબાના કેલોરીમીટરમાં સ્થાનાંતરીત કરવામાં આવે છે. પાણીનું તાપમાન વધીને 23 °C સ્થિર તાપમાન થાય છે, તો એલ્યુમિનિયમની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતાની ગણતરી કરો.

ઉકેલ આ ઉદાહરણના ઉકેલ માટે આપણો એ હકીકતનો ઉપયોગ કરીશું કે સ્થાયી અવસ્થામાં એલ્યુમિનિયમના ગોળાએ આપેલ ઉષ્મા, પાણી અને કેલોરીમીટર વડે શોષાતી ઉષ્મા જેટલી હોય છે.

$$\begin{aligned}
 & \text{એલ્યુમિનિયમના ગોળાનું દળ } (m_1) = 0.047 \text{ kg} \\
 & \text{એલ્યુમિનિયમના ગોળાનું પ્રારંભિક તાપમાન} = 100 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 & \text{અંતિમ તાપમાન} = 23 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 & \text{તાપમાનવાળા વસ્તુનું થતો ફેરફાર } (\Delta T) = (100 \text{ } ^\circ\text{C} - 23 \text{ } ^\circ\text{C}) \\
 & = 77 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 & \text{ધારો કે એલ્યુમિનિયમના ગોળાની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા} s_{Al} \text{ છે.}
 \end{aligned}$$

ઓલ્યુમિનિયમના ગોળાએ ગુમાવેલ ઉખાનો જથ્થો

$$= m_1 s_{AI} \Delta T = 0.047 \text{ kg} \times s_{AI} \times 77 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{પાણીનું દળ } (m_2) = 0.25 \text{ kg}$$

$$\text{ક્લોરીમીટરનું દળ } (m_3) = 0.14 \text{ kg}$$

$$\text{પાણી અને ક્લોરીમીટરનું પ્રારંભિક તાપમાન} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{મિશ્રણનું અંતિમ તાપમાન} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{તાપમાનમાં થતો ફેરફાર} (\Delta T_2) = 23 \text{ }^{\circ}\text{C} - 20 \text{ }^{\circ}\text{C} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{પાણીની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા} (s_w) = 4.18 \times 10^3$$

$$\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

તાંબાના ક્લોરીમીટરની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા

$$= s_{cu} = 0.386 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

પાણી અને ક્લોરીમીટરે મેળવેલ ઉખાનો જથ્થો

$$= m_2 s_w \Delta T_2 + m_3 s_{cu} \Delta T_2$$

$$= [m_2 s_w + m_3 s_{cu}] (\Delta T_2)$$

$$= [0.25 \text{ kg} \times 4.18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} + 0.14 \text{ kg} \times 0.386 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}] (23 \text{ }^{\circ}\text{C} - 20 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

સ્થાયી અવસ્થા માટે ઓલ્યુમિનિયમનાં ગોળાએ ગુમાવેલ ઉખા = પાણીએ મેળવેલી ઉખા + ક્લોરીમીટર દ્વારા મેળવેલી ઉખા

$$\text{માટે, } 0.047 \text{ kg} \times s_{AI} \times 77 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

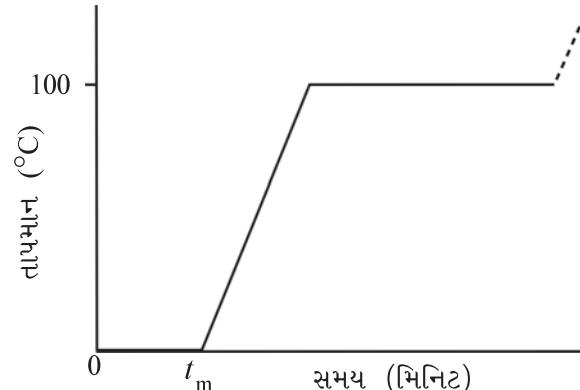
$$= (0.25 \text{ kg} \times 4.18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} + 0.14 \text{ kg} \times 0.386 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1})(3 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$s_{AI} = 0.911 \text{ KJ Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

11.8 અવસ્થાનો ફેરફાર (CHANGE OF STATE)

સામાન્ય રીતે દ્રવ્ય ત્રાણ અવસ્થાઓ ધરાવે છે : ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ. આ અવસ્થાઓ પૈકીની એક અવસ્થામાંથી બીજી અવસ્થામાં રૂપાંતર થાય તેને અવસ્થા-ફેરફાર કહે છે. બે સામાન્ય અવસ્થા-ફેરફાર ઘનમાંથી પ્રવાહી અને પ્રવાહીમાંથી વાયુ (તેનાથી ઊલદું પણ) છે. જ્યારે પદાર્થ અને તેના પરિસર વચ્ચે ઉખાનો વિનિમય થાય ત્યારે આ ફેરફાર થાય છે. ગરમ કરવાથી કે ઠારણથી થતી અવસ્થા-ફેરફારના અભ્યાસ માટે નીચે આપેલી પ્રવૃત્તિ કરીએ :

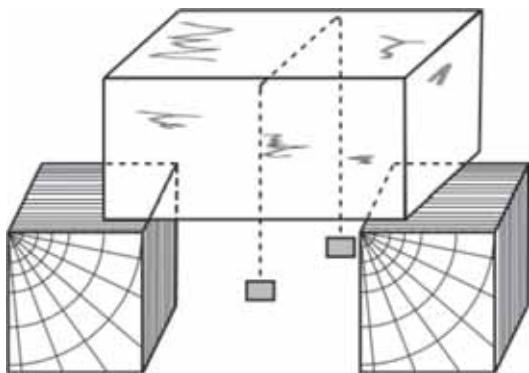
બરફના કેટલાક ટુકડા બીકરમાં લો. બરફનું તાપમાન ($0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) નોંધો. અચળ ઉખા પ્રાપ્તિસ્થાન વડે તેને ધીમે ધીમે ગરમ કરો. દરેક મિનિટે તાપમાન નોંધો. પાણી તથા બરફનાં મિશ્રણને સતત હલાવતાં રહો. તાપમાન અને સમય વચ્ચેનો આલોખ દોરો (આંકૃતિક 11.9) મુજબ. તમે જોઈ શકો છો કે જ્યાં સુધી બીકરમાં બરફ હોય ત્યાં સુધી તાપમાનમાં ફેરફાર થશે નહિ. આ પ્રક્રિયામાં, તંત્રને સતત ઉખા આપવા છતાં તેનાં તાપમાનમાં કોઈ જ ફેરફાર થતો નથી. અહીં, આપેલ ઉખા ઘન (બરફ) અવસ્થામાંથી પ્રવાહી (પાણી) અવસ્થાનાં રૂપાંતરણમાં વપરાય છે.



આંકૃતિક 11.9 બરફને ગરમ કરતાં તેની સ્થિતિમાં થતાં ફેરફાર દર્શાવતો તાપમાન વિરુદ્ધ સમયનો આલોખ (સ્કેલમાપ વગર)

ઘન અવસ્થામાંથી પ્રવાહી અવસ્થામાં થતાં રૂપાંતરને ગલન (melting) અને પ્રવાહી અવસ્થામાંથી ઘન અવસ્થામાં થતાં રૂપાંતરને ઠારણ (fusion) કહે છે. એવું અવલોકિત થયેલ છે કે સમગ્ર ઘન પદાર્થનો જથ્થો પીગળી ન જાય ત્યાં સુધી તાપમાન અચળ રહે છે. પદાર્થની ઘનમાંથી પ્રવાહી અવસ્થાનાં રૂપાંતર દરમિયાન ઘન અને પ્રવાહી બંને અવસ્થાઓ ઉખીય સંતુલનમાં સહઅસ્તિત્વ ધરાવે છે. જે તાપમાને પદાર્થની ઘન અને પ્રવાહી અવસ્થાઓ એકબીજા સાથે ઉખીય સંતુલનમાં હોય છે તે તાપમાનને પદાર્થનું ગલનબિંદુ (melting point) કહે છે. તે પદાર્થની એક લાક્ષણિકતા છે. તે દબાણ ઉપર પણ આધારિત છે. સામાન્ય વાતાવરણનાં દબાણે પદાર્થનાં ગલનબિંદુને પ્રસામાન્ય ગલનબિંદુ (normal melting point) કહે છે. હવે આપણે બરફના ગલનની પ્રક્રિયા સમજવા નીચેની પ્રવૃત્તિ કરીએ :

બરફનું એક ચોસલું લો. ધાતુનો એક તાર લો અને 5 kg દળના બે બ્લોક તારના છોડાઓ પર બાંધો. આંકૃતિક 11.10માં દર્શાવ્યા મુજબ ચોસલા પર તાર મૂકો. તમે જોઈ શકો કે તાર બરફના ચોસલામાંથી પસાર થાય છે. વાસ્તવિકતા છે કે તારની નીચે રહેલા બરફમાં નીચા તાપમાને દબાણમાં વધારો થતાં બરફ પીગળે છે. જ્યારે તાર પસાર થઈ જાય છે ત્યારે તારની ઉપરનું પાણી પુનઃઠારણ પામે છે. આમ, તાર પસાર થવાથી બરફનું ચોસલું વિભાજિત થતું નથી. ઠારણની આ ઘટનાને પુનઃઠારણ (regelation) કહે છે. બરફ (snow) પર સ્કેટની નીચે પાણી બનવાથી જ સ્કેટિંગ શક્ય બને છે. દબાણના વધવાને કારડો પાણી બને છે અને આ પાણી લુબ્ઝિકેટ (ઊંજણ) તરીકે વર્તે છે.



આકૃતિ 11.10

બધો જ બરફ પાણીમાં રૂપાંતર પામે ત્યાર બાદ જો તેને ગરમ કરવાનું આગળ ચાલુ રાખીએ તો આપણો જોઈ શકીએ છીએ કે, તાપમાન વધવાનું શરૂ થાય છે. તાપમાન

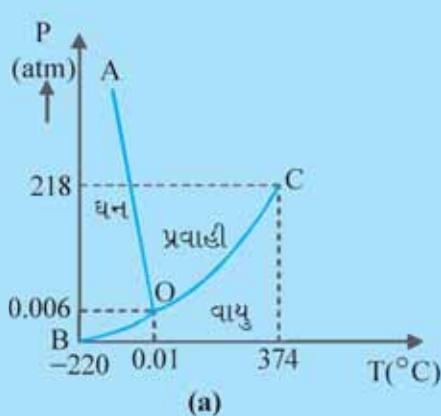
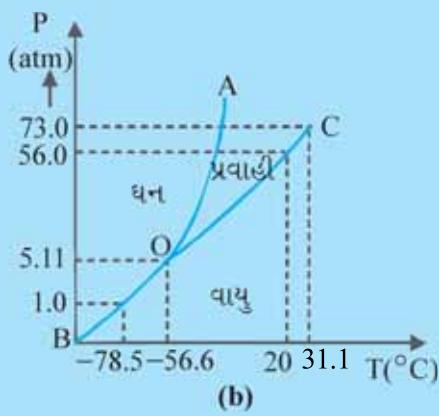
100 °C ની નજીક પહોંચે ત્યાં સુધી તેમાં વધારો થતો રહે છે અને તે સ્થિર બની જાય છે. આપેલી ઉષ્માનો જથ્થો, પ્રવાહી અવસ્થાને વરાળ અથવા વાયુ-અવસ્થામાં રૂપાંતર કરવામાં વપરાય છે.

પ્રવાહી-અવસ્થામાંથી વરાળ (અથવા વાયુ)માં થતા રૂપાંતરને બાષ્પીકરણ (vaporisation) કહે છે. જોઈ શકાયું છે કે પ્રવાહીનો સમગ્ર જથ્થો વરાળમાં રૂપાંતરિત થાય ત્યાં સુધી તાપમાન અચળ રહે છે. પ્રવાહીમાંથી વાયુ-અવસ્થાની રૂપાંતરણ પ્રક્રિયા દરમિયાન બંને અવસ્થાઓ ઉષ્મીય સંતુલનમાં સહઅસ્તિત્વ ધરાવે છે. જે તાપમાને પ્રવાહી અને વાયુ ઉષ્મીય સંતુલનમાં સહઅસ્તિત્વ ધરાવે છે. તેને પદાર્થનું ઉત્કલનબિંદુ (boiling point) કહે છે. પાણીની ઉકળવાની પ્રક્રિયા સમજાવા માટે હવે નીચે મુજબની પ્રવૃત્તિ કરીએ :

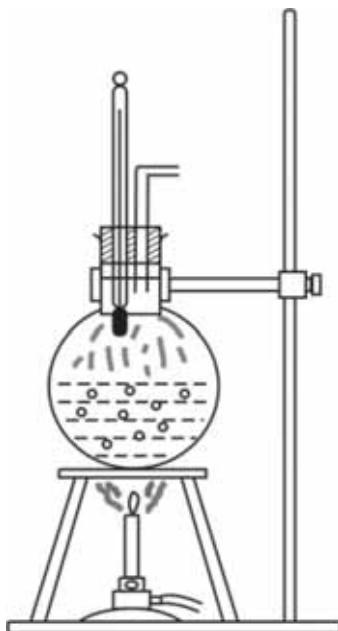
અડ્યાથી વધુ પાણી ભરેલો એક ગોળ તળિયાવાળો (રાઉન્ડ બોટમ) ફ્લાસ્ક લો. તેને બરનર પર મૂકો અને ફ્લાસ્કનાં બૂચમાં

ત્રિબિંદુ (Triple Point)

પદાર્થ તેની અવસ્થામાં ફેરફાર અનુભવે તે દરમિયાન તેનું તાપમાન અચળ રહે છે. (અવસ્થા-ફેરફાર). પદાર્થ માટે તાપમાન T અને દબાણ P વચ્ચેના આલેખને તેનો ફેર ડાયગ્રામ અથવા $P - T$ ડાયગ્રામ કહે છે. નીચે આકૃતિમાં પાણી અને CO_2 માટેનો ફેર ડાયગ્રામ દર્શાવેલ છે. આ ફેર ડાયગ્રામ $P - T$ સમતલને ઘન વિસ્તાર, વાયુ વિસ્તાર અને પ્રવાહી વિસ્તાર એમ નાણ વિસ્તારોમાં વિબાળે છે. આ ક્રેનો ઊર્ધ્વીકરણ (સાલ્બિમેશન) વક્ક (BO), ઠારણ (ફ્લ્યુઝન) વક્ક (AO) અને બાષ્પાયન (વેપરાઇઝેશન) વક્ક (CO) જેવા વક્કો વડે જુદા પડે છે. સાલ્બિમેશન વક્ક (BO) પરનાં બિંદુઓએ ઘન અને વાયુ સ્વરૂપો સહઅસ્તિત્વમાં ધરાવતાં હોય તેવી અવસ્થાઓ દર્શાવે છે. ફ્લ્યુઝન વક્ક OA પરનાં બિંદુઓએ ઘન અને પ્રવાહી સ્વરૂપો સહઅસ્તિત્વમાં હોય તેવી અવસ્થાઓ દર્શાવે છે. વેપરાઇઝેશન વક્ક (CO) પરનાં બિંદુઓએ પ્રવાહી અને વાયુ-સ્વરૂપો સહ અસ્તિત્વમાં હોય તેવી અવસ્થાઓ દર્શાવે છે. દબાણ અને તાપમાનનાં જે મૂલ્યો માટે ફ્લ્યુઝન વક્ક, વેપરાઇઝેશન વક્ક અને સાલ્બિમેશન વક્ક મળે છે અને પદાર્થનાં ગ્રાણેય સ્વરૂપો સહઅસ્તિત્વમાં હોય તે બિંદુને તે પદાર્થનું ત્રિબિંદુ કહે છે. ઉદાહરણ તરીકે, પાણીના ત્રિબિંદુને તાપમાન 273.16 K અને દબાણ 6.11×10^{-3} Pa વડે દર્શાવાય છે.

(a) પાણી માટે અને (b) CO_2 માટે (સ્કેલમાપ વગર)

થરમોમીટર તથા વરાળ નિષ્કાસ નળી પસાર કરીને તે બૂધાને ફીટ કરો (આકૃતિ 11.11). ફ્લાસ્કમાં રહેલું પાણી ગરમ કરતાં સૌપ્રથમ પાણીમાં ઓગળેલ હવા, નાના પરપોટા સ્વરૂપે બહાર આવે છે. પછી તથિયે વરાળના પરપોટા રચાય છે. જે ઠંડા પાણીમાં ઉર્ધ્વગમન પામી રોચ પર ઢારાડા પામે છે અને અદશ્ય થઈ જાય છે. અંતે સમગ્ર પાણીના જથ્થાનું તાપમાન 100°C પર પહોંચે ત્યારે વરાળના પરપોટા સપાટી પર પહોંચે છે. જેને પાણી ઉકળવા લાગ્યું તેમ કહેવાય છે. ફ્લાસ્કમાં રહેલી વરાળ જોઈ શકતી નથી પરંતુ તે જેવી ફ્લાસ્કની બહાર નીકળે છે ત્યારે સૂક્ષ્મ પાણીનાં બુંદો રૂપે ઢારાડા પામી ધૂંધ (foggy) સ્વરૂપે દેખાય છે.



આકૃતિ 11.11 ઉત્કલન પ્રક્રિયા

જો હવે વરાળ નિષ્કાસ નળીને થોડી સેકન્ડ માટે બંધ કરીને ફ્લાસ્કમાં દબાણ વધારવામાં આવે, તો તમે જોઈ શકશો કે પાણીનું ઉકળવાનું બંધ થાય છે. પાણીની ઉકળવાની પ્રક્રિયા ફરી શરૂ થાય તે પહેલાં તાપમાનમાં વધારો કરવા માટે વધુ ઉઘાની જરૂર પડે છે. (જે દબાણના વધારા પર આધારિત છે.) આમ દબાણના વધારા સાથે ઉત્કલનબિંદુમાં વધારો થાય છે.

હવે આપણે બર્નરને દૂર કરીને પાણીને 80°C સુધી ઠંડું થવા દો. થરમોમીટર અને વરાળ નિષ્કાસ નળી દૂર કરો. ફ્લાસ્કને હવાચુસ્ત બૂધ વડે બંધ કરો. સ્ટેન્ડ પર ફ્લાસ્કને

ઉંઘો મૂક્યો અને તેના પર બરફનું ઠંડું પાણી રેડો. આમ કરતાં ફ્લાસ્કની અંદર રહેલી પાણીની વરાળ ઠારણ પામે છે અને ફ્લાસ્કમાં રહેલા પાણીની સપાટી પરનું દબાણ ઘટે અને નીચા તાપમાને પાણી ફરીથી ઉકળે છે. આમ, દબાણમાં ઘટાડો થતાં તેના ઉત્કલનબિંદુમાં પણ ઘટાડો થાય છે.

આ પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે, શા માટે પહાડીક્ષેત્રોમાં રસોઈ કઠિન છે. વધુ ઊંચાઈએ વાતાવરણનું દબાણ નીચું હોવાને કારણે દરિયાની સપાટીની સરખામણીએ પાણીનું ઉત્કલનબિંદુ નીચું હોય છે. તેનાથી વિપરીત, પ્રેશરક્રમમાં દબાણમાં વધારો કરીને ઉત્કલનબિંદુમાં વધારો કરવામાં આવે છે. જેથી રસોઈ ઝડપી થાય છે. પ્રમાણભૂત વાતાવરણ દબાણો પદાર્થનાં ઉત્કલનબિંદુને પ્રસામાન્ય ઉત્કલનબિંદુ (**normal boiling point**) કહે છે.

જોકે, બધાં જ પદાર્થો ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ એમ ગ્રાણેય અવસ્થાઓમાંથી પસાર થતાં નથી. કેટલાક એવા પદાર્થો છે જે સામાન્ય રીતે ઘન-અવસ્થામાંથી સીધા જ વાયુ અવસ્થામાં (તેનાથી વિપરીત પણ) રૂપાંતર થઈ જાય છે. પ્રવાહી અવસ્થામાં રૂપાંતર થયા વગર ઘન અવસ્થામાંથી વાયુ-અવસ્થામાં થતાં રૂપાંતરણને **ઉર્ધ્વપાતન (sublimation)** કહે છે અને આવા પદાર્થને ઉર્ધ્વપાતી પદાર્થ કહે છે. સૂકો બરફ (ઘન CO_2) ઉર્ધ્વપાતન પામે છે. આયોર્ડિન પણ આવો જ પદાર્થ છે. ઉર્ધ્વપાતનની પ્રક્રિયા દરમિયાન પદાર્થની બંને ઘન અવસ્થા અને વાયુ અવસ્થા ઉઘ્ભીય સંતુલનમાં હોય છે.

11.8.1 ગુપ્ત ઉઘા (Latent Heat)

પરિચ્છેદ 11.8માં આપણે શીખ્યાં કે જ્યારે પદાર્થની અવસ્થામાં ફેરફાર થાય ત્યારે પદાર્થ અને તેના પરિસર વચ્ચે ચોક્કસ ઉઘાનો જથ્થો વિનિમય પામે છે. પદાર્થની અવસ્થા-ફેરફાર દરમિયાન પદાર્થના એકમ દળ દીઠ વિનિમય પામતી ઉઘાનાં જથ્થાને તે પ્રક્રિયા માટેની પદાર્થની ગુપ્ત ઉઘા કહે છે ઉદાહણ તરીકે, -10°C તાપમાન ધરાવતા આપેલ જથ્થાનાં બરફને ઉઘા આપવામાં આવે તો બરફનું તાપમાન તેના ગલનબિંદુ (0°C) સુધી પહોંચે ત્યાં સુધી વધે છે. આ તાપમાને વધુ ઉઘા આપતાં તાપમાનમાં વધારો થતો નથી પરંતુ બરફ પીગળવા લાગે છે અથવા પ્રવાહી અવસ્થામાં રૂપાંતર થાય છે. બધો જ બરફ પીગળી જાય પછી વધુ ઉઘા આપવામાં આવે, તો પાણીનાં તાપમાનમાં વધારો થાય છે. ઉત્કલનબિંદુએ પ્રવાહી વાયુ અવસ્થામાં રૂપાંતર દરમિયાન આવી જ પરિસ્થિતિનું નિર્માણ થાય છે. ઉકળતા પાણીને વધુ ઉઘા આપતા તાપમાનમાં વધારો થયા વગર વરાળમાં રૂપાંતરિત થાય છે.

કોષ્ટક 11.5 1 વાતાવરણ દબાણે કેટલાક પદાર્થોનાં અવસ્થા રૂપાંતરના તાપમાન અને ગુપ્તઉષ્માઓ

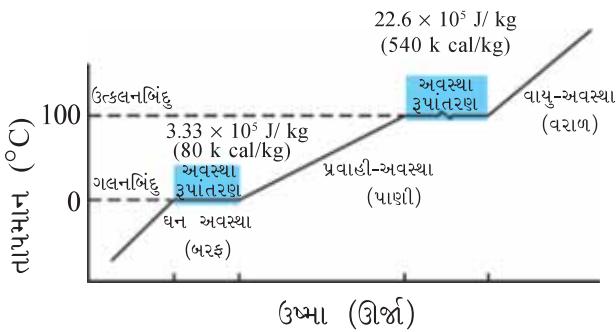
પદાર્થ	ગલનબિંદુ (°C)	L_f (10^5 J kg^{-1})	ઉત્કલનબિંદુ (°C)	L_v (10^5 J kg^{-1})
ઈથાઇલ આલ્કોહોલ	-114	1.0	78	8.5
સોનુ	1063	0.645	2660	15.8
સીસું	328	0.25	1744	8.67
પારો	-39	0.12	357	2.7
નાઈટ્રોજન	-210	0.26	-196	2.0
ઓક્સિજન	-219	0.14	-183	2.1
પાણી	0	3.33	100	22.6

અવસ્થા-ફેરફાર દરમિયાન જરૂરી ઉષ્માનો આધાર રૂપાંતરણ ઉષ્મા અને અવસ્થા ફેરફાર પામતાં પદાર્થના દળ ઉપર રહેલો છે. આમ, એક અવસ્થામાંથી બીજી અવસ્થામાં રૂપાંતર પામતાં પદાર્થનું દળ m અને તે માટે જરૂરી ઉષ્માનો જથ્થો Q હોય તો,

$$Q = m L$$

$$\text{અથવા } L = Q/m \quad (11.13)$$

જ્યાં, L ને ગુપ્ત ઉષ્મા કહે છે અને તે પદાર્થની લાક્ષણિકતા છે. તેનો SI એકમ J kg^{-1} છે. L નું મૂલ્ય દબાણ પર પણ આધારિત છે. સામાન્ય રીતે તેનું મૂલ્ય પ્રમાણભૂત વાતાવરણ દબાણે લેવામાં આવે છે. ઘન-પ્રવાહી અવસ્થા ફેરફાર માટેની ગુપ્તઉષ્માને ગલન ગુપ્તઉષ્મા (L_f) (Latent heat of fusion) કહે છે અને પ્રવાહી-વાયુ ફેરફાર માટે તેને ઉત્કલન ગુપ્તઉષ્મા (L_v) (Latent heat of vaporisation) કહે છે. ઘણી વાર તેને ગલનઉષ્મા અને બાધ્યાયન ઉષ્મા તરીકે ઉલ્લેખ કરવામાં આવે છે. આકૃતિ 11.12માં, પાણીના જથ્થા માટે તાપમાન વિરુદ્ધ ઉષ્માઓનો આલેખ દર્શાવેલ છે. કોષ્ટક 11.5માં કેટલાક પદાર્થોની ગુપ્તઉષ્મા તેમનાં ડારણબિંદુઓ અને ઉત્કલનબિંદુઓ માટે આપેલ છે.



આકૃતિ 11.12 1 વાતાવરણ દબાણે પાણી માટે તાપમાન વિરુદ્ધ ઉષ્માનો આલેખ (સ્કેલમાપ વગર)

અહીં નોંધો કે જ્યારે અવસ્થા-ફેરફાર દરમિયાન ઉષ્મા ઉમેરવામાં (કે દૂર કરવામાં) આવે ત્યારે તાપમાન અચય રહે છે. આકૃતિ 11.12 પરથી દર્શાવે છે કે, બધી જ અવસ્થા રેખાઓના ફાળ સમાન નથી. જે સૂચવે છે કે જુદી જુદી અવસ્થા માટે વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતનાં મૂલ્યો સમાન નથી. પાણીમાં ગલનગુપ્ત ઉષ્મા અને બાધ્ય ગુપ્તઉષ્મા અનુક્રમે $L_f = 3.33 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ અને $L_v = 22.6 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ છે એટલે કે 1 kg બરફને $0 \text{ }^\circ\text{C}$ તાપમાને પિગાળવા માટે $3.33 \times 10^5 \text{ J}$ ઉષ્મા અને 1 kg પાણીને $100 \text{ }^\circ\text{C}$ તાપમાને વરાળમાં ફેરવવા માટે $22.6 \times 10^5 \text{ J}$ ઉષ્માની જરૂર પડે છે. આથી $100 \text{ }^\circ\text{C}$ તાપમાને રહેલી વરાળ $100 \text{ }^\circ\text{C}$ તાપમાને રહેલા પાણી કરતાં $22.6 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ ઉષ્મા વધુ ધરાવે છે. આથી, ઉકળતા પાણી કરતાં સામાન્ય રીતે વરાળ વધુ ગંભીર રીતે દાખાય છે.

► ઉકાલ 11.4 જ્યારે એક પાત્રમાં $0 \text{ }^\circ\text{C}$ તાપમાને રહેલા 0.15 kg બરફને $50 \text{ }^\circ\text{C}$ તાપમાને રહેલા 0.30 kg પાણીમાં ભેળવવામાં આવે ત્યારે પરિણામી તાપમાન $6.7 \text{ }^\circ\text{C}$ થાય છે. બરફને ઓગાળવા માટે જરૂરી ઉષ્મા ગણો. ($s_{\text{water}} = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

ઉકાલ

$$\begin{aligned} \text{પાણી વડે ગુમાવાતી ઉષ્મા} &= ms_w (\theta_f - \theta_i)_w \\ &= (0.30 \text{ kg}) (4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}) (50.0 \text{ }^\circ\text{C} - 6.7 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &= 54376.14 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{બરફ પીગાળવા માટે જરૂરી ઉષ્મા} &= m_1 L_f = (0.15 \text{ kg}) L_f \\ \text{બરફના પાણીના તાપમાનને અંતિમ તાપમાન સુધી લઈ} \\ \text{જવા માટે જરૂરી ઉષ્મા} &= m_1 s_w (\theta_f - \theta_i)_I \\ &= (0.15 \text{ kg}) (4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}) (6.7 \text{ }^\circ\text{C} - 0 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &= 4206.93 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{ગુમાવાતી ઉષ્મા} = \text{મેળવાતી ઉષ્મા}$$

$$54376.14 \text{ J} = (0.15 \text{ kg}) L_f + 4206.93 \text{ J}$$

$$L_f = 3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

► ઉદાહરણ 11.5 એક કેલોરીમીટરમાં -12°C તાપમાને રહેલા 3 kg બરફને વાતાવરણના દબાણો 100°C તાપમાનવાળી વરાળમાં રૂપાંતરિત કરવા માટેની જરૂરી ઉખાની ગણતરી કરો. જ્યાં, બરફની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા $= 2100 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, પાણીની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા $= 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, બરફની ગલનગુપ્ત ઉખા $= 3.35 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ અને વરાળની બાખ્યાયન ગુપ્તઉખા $= 2.256 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ આપેલ છે.

ઉકેલ આપણી પાસે,

$$\text{બરફનું દળ } m = 3 \text{ kg}$$

$$\text{બરફની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા } s_{\text{ice}} \\ = 2100 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{પાણીની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા } s_{\text{water}} \\ = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{બરફની ગલનગુપ્ત ઉખા } L_{\text{f, ice}} \\ = 3.35 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

$$\text{વરાળની બાખ્યાયન ગુપ્તઉખા } L_{\text{steam}} \\ = 2.256 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

$$\text{હવે, } Q = -12^{\circ}\text{C} \text{ તાપમાને રહેલા } 3 \text{ kg} \text{ બરફને } 100^{\circ}\text{C} \text{ વરાળમાં રૂપાંતર કરવા માટે જરૂરી ઉખા}$$

$$Q_1 = -12^{\circ}\text{C} \text{ એ રહેલા } 3 \text{ kg} \text{ બરફનું તાપમાન } 0^{\circ}\text{C} \text{ માં રૂપાંતર કરવા માટે જરૂરી ઉખા} \\ = m s_{\text{ice}} \Delta T_1 = (3 \text{ kg}) (2100 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}) [0 - (-12)]^{\circ}\text{C} = 75600 \text{ J}$$

$$Q_2 = 0^{\circ}\text{C} \text{ તાપમાને રહેલા } 3 \text{ kg} \text{ બરફને } 0^{\circ}\text{C} \text{ તાપમાનવાળા પાણીમાં રૂપાંતરિત કરવા માટે જરૂરી ઉખા} \\ = m L_{\text{f, ice}} = (3 \text{ kg}) (3.35 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}) \\ = 1005000 \text{ J}$$

$$Q_3 = 0^{\circ}\text{C} \text{ એ રહેલા } 3 \text{ kg} \text{ પાણીને } 100^{\circ}\text{C} \text{ વાળા પાણીમાં રૂપાંતરિત કરવા માટેની જરૂરી ઉખા} \\ = m s_w \Delta T_2 = (3 \text{ kg}) (4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}) (100^{\circ}\text{C}) \\ = 1255800 \text{ J}$$

$$Q_4 = 100^{\circ}\text{C} \text{ વાળા } 3 \text{ kg} \text{ પાણીને } 100^{\circ}\text{C} \text{ વાળી વરાળમાં રૂપાંતર કરવા માટે જરૂરી ઉખા} \\ = m L_{\text{steam}} = (3 \text{ kg}) (2.256 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}) \\ = 6768000 \text{ J}$$

$$\text{માટે, } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\ = 75600 \text{ J} + 1005000 \text{ J} \\ + 1255800 \text{ J} + 6768000 \text{ J} \\ = 9.1 \times 10^6 \text{ J}$$

11.9 ઉખાનું પ્રસરણ (HEAT TRANSFER)

આપણો જાણીએ છીએ કે ઉખા એ ઊર્જા છે અને તાપમાનમાં તફાવતને કારણે ઊર્જાનું એક તત્ત્વમાંથી બીજા તત્ત્વમાં અથવા તત્ત્વનાં એક ભાગમાંથી બીજા ભાગમાં પ્રસરણ થાય છે. જુદા જુદા ક્ષાય પ્રકારો દ્વારા આ ઊર્જાનું પ્રસરણ થઈ શકે ? ઉખા સ્થાનાંતરની ગ્રાણ જુદી જુદી રીતો છે : ઉખાવહન, ઉખાનયન અને ઉખાવિકિરણ (આકૃતિ 11.13).



આકૃતિ 11.13 ઉખાવહન, ઉખાનયન તથા ઉખાવિકિરણ દ્વારા તાપન

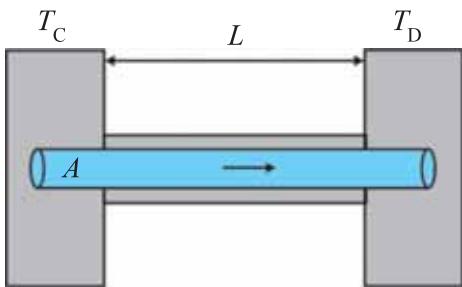
11.9.1 ઉખાવહન (Conduction)

પદાર્થના પાસપાસેના બે વિભાગો વચ્ચે તાપમાનના તફાવતને કારણે ઉખાના પ્રસરણ થવાની યાંત્રિક પ્રક્રિયાને ઉખાવહન કહે છે. ધારો કે ધાતુના સણિયાના એક છેડાને જ્યોતમાં મૂકીએ તો થોડી વારમાં જ સણિયાનો બીજો છેડો એટલો ગરમ થશે કે તમે ખુલ્લા હાથે તેને પકડી શકશો નહિ. અહીં, સણિયામાં ઉખાનું પ્રસરણ, ઉખાવહન દ્વારા સણિયાના ગરમ છેદેથી તેના જુદા જુદા ભાગમાંથી પસાર થઈને બીજો છેડા સુધી થાય છે. વાયુઓની ઉખાવાહકતા ઓછી હોય છે. જ્યારે પ્રવાહીઓની ઉખાવાહકતા ઘન અને વાયુઓની વચ્ચે હોય છે.

માત્રાત્મક રીતે ઉખાવહન, ‘કોઈ દ્રવ્યમાં આપેલ તાપમાનના તફાવત માટે ઉખાવહનના સમય-દર’ વડે વર્ણવવામાં આવે છે. ધારો કે, લંબાઈ L અને નિશ્ચિત આડછેદનું કોત્રણ A ધરાવતા એક ધાતુના સણિયાના બે છેડાઓ જુદાં જુદાં તાપમાને રાખેલા છે. ઉદાહરણ તરીકે સણિયાના છેડાઓને અનુકૂળે T_C અને T_D તાપમાન ધરાવતાં મોટા ઉખા સંગ્રહક સાથે ઉખીય સંપર્કમાં રાખેલા (આકૃતિ 11.14) છે.

આદર્શ સ્થિતિ માટે સણિયાની બાજુઓ સંપૂર્ણપણે ઉખીય અવાહક કરતાં સણિયાની બાજુઓ અને પરિસર વચ્ચે ઉખાવિનિમય થતો નથી.

થોડા સમય બાદ, સ્થાયી અવસ્થા મળશે. સણિયાનું તાપમાન T_C થી T_D સુધી ($T_C > T_D$) અંતર સાથે સમાન રીતે ઘટે છે. C પાસેનું ઉખાસંગ્રહક અચળ દરે ઉખા આપે છે. જે સણિયા દ્વારા પ્રસરણ પામી તે જ અચળ દરે D પાસે રહેલા સંગ્રહકને આપે છે.



આકૃતિ 11.14 બે છેડે T_C અને T_D ($T_C > T_D$) જેટલું તાપમાન જાળવાઈ રહેતું હોય તેવા સળિયામાં ઉભાવહન દ્વારા સ્થાયી સ્થિતિમાં ઉભાનું વહન

પ્રાયોગિક રીતે જોવા મળે છે કે, સ્થાયી અવસ્થામાં ઉભાવહનનો દર (અથવા ઉભાપ્રવાહ) H , તાપમાનના તફાવત ($T_C - T_D$) અને આડહેણના ક્ષેત્રફળ A ના સપ્રમાણમાં તથા સળિયાની લંબાઈ L ના વસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

$$H = KA \frac{T_C - T_D}{L} \quad (11.14)$$

સપ્રમાણાંક K ને દ્વયની ઉભાવહકતા (Thermal Conductivity) કહે છે. કોઈ દ્વય માટે K નું મૂલ્ય જેટલું વધારે તેટલું વધારે જરૂરી ઉભાનું વહન. K નો SI એકમ $J \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ અથવા $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ છે. કોઈક 11.5માં જુદા જુદા પદાર્થની ઉભાવહકતાની યાદી આપેલ છે. આ મૂલ્યો તાપમાન સાથે બહુ ધીમે બદલાય છે. તેથી તાપમાનના સામાન્ય વિસ્તાર માટે તેને અચળ ગાળી શકાય.

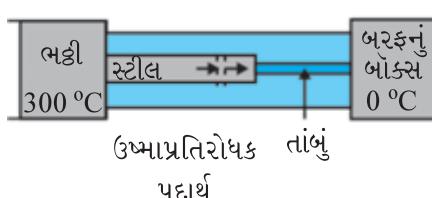
સારા ઉભાવહકો જેમકે ધાતુઓની પ્રમાણમાં વધારે ઉભાવહકતાની સરખામણી સારા ઉભા અવાહકો જેવાં કે લાકડું, ગ્લાસવુલ વગેરેની ઉભાવહકતા સાથે કરો. તમે નોંધ્યું હશે કે કેટલાંક રસોઈનાં વાસણોને તળિયે તાંબાનું આવરણ ચઢાવેલું હોય છે. તાંબું ઉભા સુવાહક હોવાને કારણો તે વાસણના સમગ્ર તળિયામાં ઉભાનું વિતરણ સારી રીતે થાય છે અને ખોરાક એકસરખો રાંધી શકાય. તેનાથી વિપરીત પ્લાસ્ટિક ફોમ કે જે મોટે ભાગે હવાના કોટરો (Air Pockets - હવા-સંચયિકા) ધરાવતા હોવાથી વધુ સારા ઉભા અવાહક હોય છે. યાદ કરો કે વાયુઓ મંદ ઉભાવહક છે અને કોઈક 11.5માં હવાની ઓછી ઉભાવહકતા નાંધો. બીજા ઘણા કિસ્સાઓમાં ઉભા સંગ્રહ અને પ્રસરણ મહત્વનાં હોય છે. ઉનાળાના દિવસોમાં કોકીટથી બનેલ મકાનોની છત બહુ જરૂરથી ગરમ થઈ જાય છે, કારણ કે કોકિટની ઉભાવહકતા ઘણી ઓછી હોતી નથી. (જોકે ધાતુઓની સરખામણીએ પૂરતી ઓછી છે.) માટે લોકો મોટે ભાગે મકાનોની છત પર માટી અથવા ઉભા પ્રતિરોધક ફોમનું આવરણ કરવાનું પસંદ કરે છે. જેથી ઉભાનું પ્રસરણ અટકે છે અને રૂમને ઠંડો રાખે છે. ઘણી

પરિસ્થિતિઓમાં ઉભાનું પ્રસરણ અનિવાર્ય (કાંતિક) (Critical) હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે ન્યુક્લિયર શીઅક્ટરમાં જટિલ ઉભા પ્રસરણ તંત્ર પ્રસ્થાપિત કરવું જરૂરી છે. જેથી રીએક્ટરના કોર વિભાગમાં ન્યુક્લિયર સંલયન (ફીશન) દ્વારા ઉદ્ભવતી પ્રચંડ ઊર્જાને પૂરતી જરૂરે બહાર તરફ સંક્રમણ કરાવી શકાય અને કોર (મધ્યભાગ)ને વધુ પડતી ગરમ થતી અટકાવી શકાય.

કોઈક 11.6 કેટલાંક દ્વયોની ઉભાવહકતાઓ

દ્વયો	ઉભા વાહકતા ($\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
ધાતુઓ	
ચાંડી	406
તાંબું	385
એલ્યુમિનિયમ	205
બ્રાસ (પિતળ)	109
સ્ટીલ	50.2
સીસું	34.7
પારો	8.3
અધાતુઓ	
અવાહક ઈંટ	0.15
કોકિટ	0.8
શરીરની ચરબી	0.20
ફેલ્ટ (ઉનનું કાપડ)	0.04
કાચ	0.8
બરફ	1.6
ગ્લાસવુલ	0.04
લાકડું	0.12
પાણી	0.8
વાયુઓ	
હવા	0.024
આર્ગોન	0.016
હાઇડ્રોજન	0.14

► ઉદાહરણ 11.6 આકૃતિ 11.15માં દર્શાવ્યા મુજબનું તંત્ર સ્થાયી અવસ્થામાં છે. તો સ્ટીલ તાંબાના જંકશનનું તાપમાન કેટલું હશે? સ્ટીલના સળિયાની લંબાઈ = 15.0 cm. તાંબાના સળિયાની લંબાઈ = 10.0 cm. બઢીનું તાપમાન = 300 °C. બીજા છેડાનું તાપમાન 0 °C. સ્ટીલના સળિયાના આડહેણનું ક્ષેત્રફળ તાંબાના સળિયાના આડહેણના ક્ષેત્રફળ કરતાં બમણું છે. (સ્ટીલની ઉભાવહકતા = 50.2 $\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ અને તાંબાની ઉભાવહકતા = 385 $\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)



આકૃતિ 11.15

ઉકેલ સળિયાઓની ફરતે રહેલું ઉખાપ્રતિરોધક આવરણ સળિયાની બાજુ પરથી થતો ઉખાનો વ્યય ઘટાડે છે. તેથી ઉખાનું વહન માત્ર સળિયાની લંબાઈની દિશામાં થાય છે. સળિયાના કોઈ પણ આડછેનો વિચાર કરો. સ્થાયી અવસ્થામાં કોઈ એક ભાગમાં દાખલ થતી ઉખા તેમાંથી બહાર નીકળતી ઉખા જેટલી જ હોય. નહિતર તે ભાગ ચોખ્ખી ઊર્જા મેળવે અથવા ગુમાવે અને તેનું તાપમાન સ્થાયી રહેશે નહિ. આમ, સ્થાયી અવસ્થામાં સ્ટીલ-તાંબાના સંયુક્ત સળિયાની લંબાઈ પરનાં દરેક બિંદુઓએ આડછેદમાંથી વહન પામતી ઉખાનો દર સળિયાના આડછેદમાંથી પસાર થતા ઉખાના દર જેટલો હોય છે. ધારો કે સ્થાયી સ્થિતિમાં સ્ટીલ-તાંબાના જંકશનનું તાપમાન T છે તો,

$$\frac{K_1 A_1 (300 - T)}{L_1} = \frac{K_2 A_2 (T - 0)}{L_2}$$

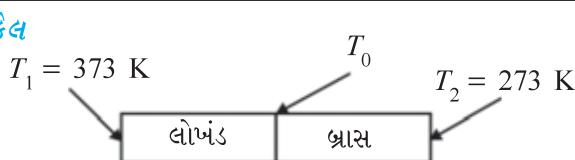
જ્યાં (1) અને (2) અનુકૂળ સ્ટીલ અને તાંબાના સળિયાનું સૂચન કરે છે. $A_1 = 2A_2$, $L_1 = 15.0 \text{ cm}$, $L_2 = 10.0 \text{ cm}$, $K_1 = 50.2 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $K_2 = 385 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ માટે,

$$\frac{50.2 \times 2(300 - T)}{15} = \frac{385 T}{10}$$

$$\text{જે પરથી, } T = 44.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

► **ઉદાહરણ 11.7** આકૃતિ 11.16માં દર્શાવ્યા મુજબ એક લોખંડના સળિયા ($L_1 = 0.1 \text{ m}$, $A_1 = 0.02 \text{ m}^2$, $K_1 = 79 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) અને એક બ્રાસના સળિયા ($L_2 = 0.1 \text{ m}$, $A_2 = 0.02 \text{ m}^2$, $K_2 = 109 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)ના છેડાઓને એકબીજા સાથે જોડેલ છે. લોખંડ અને બ્રાસના મુક્ત છેડાઓનું તાપમાન અનુકૂળ 373 K અને 273 K જેટલું જાળવી રાખવામાં આવે છે. (i) બંને સળિયાના જંકશનનું તાપમાન (ii) સંયુક્ત સળિયાની સમતુલ્ય ઉખાવાહકતા અને (iii) સંયુક્ત સળિયામાંથી પસાર થતાં ઉખાપ્રવાહ માટેના સૂચો મેળવો અને તેની ગણતરી પણ કરો.

ઉકેલ



આકૃતિ 11.16

$L_1 = L_2 = L = 0.1 \text{ m}$, $A_1 = A_2 = A = 0.02 \text{ m}^2$, $K_1 = 79 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $K_2 = 109 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $T_1 = 373 \text{ K}$ અને $T_2 = 273 \text{ K}$ આપેલ છે.

સ્થાયી અવસ્થા અંતર્ગત, લોખંડના સળિયામાં ઉખાપ્રવાહ (H_1) અને બ્રાસના સળિયામાં ઉખાપ્રવાહ (H_2) સમાન હોય છે.

$$\text{માટે, } H = H_1 = H_2$$

$$= \frac{K_1 A_1 (T_1 - T_0)}{L_1} = \frac{K_2 A_2 (T_0 - T_2)}{L_2}$$

$A_1 = A_2 = A$ અને $L_1 = L_2 = L$ હોવાથી આ સમીકરણ નીચે મુજબ હશે :

$$K_1 (T_1 - T_0) = K_2 (T_0 - T_2)$$

આમ, બે સળિયાના જંકશનનું તાપમાન

$$T_0 = \frac{(K_1 T_1 + K_2 T_2)}{(K_1 + K_2)}$$

આ સમીકરણનો ઉપયોગ કરતાં કોઈ પણ સળિયામાં ઉખાપ્રવાહ,

$$H = \frac{K_1 A (T_1 - T_0)}{L} = \frac{K_2 A (T_0 - T_2)}{L}$$

$$= \left(\frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \right) \frac{A (T_1 - T_2)}{L} = \frac{A (T_1 - T_2)}{L \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \right)}$$

આ સમીકરણનો ઉપયોગ કરતાં $L_1 + L_2 = 2L$ લંબાઈના સંયુક્ત સળિયા માટે ઉખાપ્રવાહ અને સંયુક્ત સળિયાની સમતુલ્ય ઉખાવાહકતા K' નીચે મુજબ મળે :

$$H' = \frac{K' A (T_1 - T_2)}{2L} = H$$

$$K' = \frac{2K_1 K_2}{K_1 + K_2}$$

$$(i) \quad T_0 = \frac{(K_1 T_1 + K_2 T_2)}{(K_1 + K_2)}$$

$$= \frac{(79 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}) (373 \text{ K}) + (109 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}) (273 \text{ K})}{79 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} + 109 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

$$= 315 \text{ K}$$

$$(ii) \quad K' = \frac{2K_1 K_2}{K_1 + K_2}$$

$$= \frac{2 \times (79 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (109 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1})}{79 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1} + 109 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

$$= 91.6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(iii)} \quad H' = H &= \frac{K' A (T_1 - T_2)}{2L} \\
 &= \frac{(91.6 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}) \times (0.02 \text{ m}^2) \times (373 \text{ K} - 273 \text{ K})}{2 \times (0.1 \text{ m})} \\
 &= 916 \text{ W}
 \end{aligned}$$

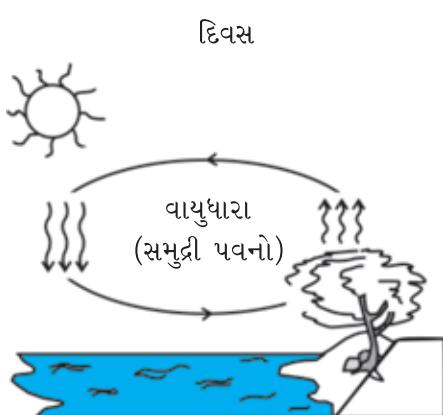
11.9.2 ઉષ્માનયન (Convection)

દ્વયની વાસ્તવિક ગતિ દ્વારા થતા ઉષ્મા સ્થાનાંતરના પ્રચલિત પ્રકારને ઉષ્માનયન કહે છે. તે માત્ર તરલ પદાર્થોમાં શક્ય છે. ઉષ્માનયન પ્રાકૃતિક કે પ્રેરિત હોઈ શકે. પ્રાકૃતિક ઉષ્માનયનમાં ગરમ કરતાં ગરમ ભાગ વિસ્તરે છે અને તેથી તેની ઘનતા ઘટે છે. ઉત્પલાવક બજાને કારણે તે ઉપર તરફ જાય છે અને ઉપરના ઠંડા ભાગને વિસ્થાપિત કરે છે. જે ફરી ગરમ થઈને ઉપર જાય છે અને તરલના ઠંડા ભાગને વિસ્થાપિત કરે છે. આ પ્રક્રિયા સતત ચાલ્યા કરે છે. ઉષ્મા સ્થાનાંતરનો આ પ્રકાર સ્પષ્ટ રીતે ઉષ્માવહન કરતાં જુદ્દો છે. ઉષ્માનયનમાં તરલના જુદા જુદા ભાગોનું વહન જથ્થામાં થાય છે. પ્રેરિત ઉષ્માનયનમાં દ્વયને પંપ અથવા અન્ય ભૌતિક સાધનો દ્વારા ગતિ કરાવવામાં આવે છે. ધર વપરાશમાં પ્રણોદીત-વાયુ તાપન તંત્ર, માનવ રૂષિયાભિસરણ તંત્ર અને વાહનોનાં ઓન્જિનમાં શીતક તંત્ર વગેરે પ્રેરિત ઉષ્માનયનનાં સામાન્ય ઉદાહરણો છે. માનવશરીરમાં હદ્ય એક પંપ તરીકે કાર્ય કરે છે. જે રૂષિરને શરીરના જુદા જુદા ભાગોમાં બ્રમજા કરાવે છે. આ રીતે પ્રેરિત ઉષ્માનયન વહે ઉષ્માનું સ્થાનાંતર કરીને શરીરનું તાપમાન એકસરખું જાળવી રાખે છે.

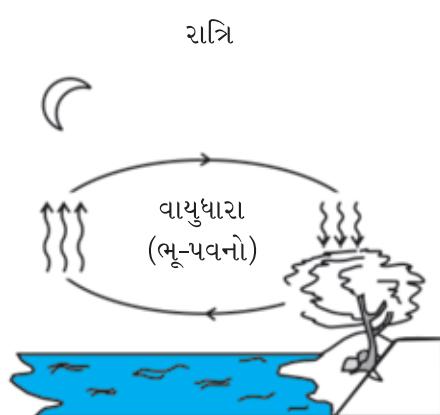
પ્રાકૃતિક ઉષ્માનયન ઘણી પ્રચલિત ઘટનાઓ માટે જવાબદાર છે. દિવસ દરમિયાન જળશયોનાં પાણી કરતાં જમીન ઝડપથી ગરમ થાય છે. કારણ કે પાણીની વિશિષ્ટ ઉષ્માધારિતા ઊંચી છે અને તેથી શોષાયેલી ઉષ્મા મિશ્રિતધારાઓ દ્વારા પાણીના

વિશાળ જથ્થામાં વિખેરાઈ જાય છે. ગરમ જમીનના સંપર્કમાં આવતી હવા ઉષ્માવહન વહે ગરમ થાય છે અને પ્રસરણ પામે છે. પરિણામે તેની આસપાસની ઠંડી હવા કરતાં તેની ઘનતા ઘટે છે. જેના પરિણામે ગરમ હવા (વાયુ ધારાઓ) ઉપર ચઢે છે અને ઠંડી હવા ગતિ કરીને (પવન) ખાલી પદેલી જગ્યા ભરી દે છે. આમ, મોટાં જળશયોની નજીક સમુદ્રીય પવનલહેરો ઉદ્ભવે છે. ઠંડી હવા નીચે આવે છે અને એક તાપીય ઉષ્માનયન ચક સ્થપાય છે. જે ઉષ્માને જમીનથી દૂર તરફ સ્થાનાંતરિત કરે છે. રાત્રિના સમયે જમીન ઉષ્મા ઝડપથી ગુમાવે છે અને પાણીની સપાટી જમીન કરતાં વધુ ગરમ હોય છે. જેને પરિણામે ચક ઉલટાઈ જાય છે (આકૃતિ 11.17).

પ્રાકૃતિક ઉષ્માનયનનું એક બીજું ઉદાહરણ ઉત્તર પૂર્વથી વિષુવવૃત્ત તરફ વહેણા પૃથ્વી પરના સ્થાયી પૃષ્ઠીય પવનો જેને પારંપરિક પવન (Trade wind) કહે છે. જેની વ્યવહારિક સ્પષ્ટતા આ મુજબ છે. પૃથ્વીનાં વિષુવવૃત્તીય અને ધ્રુવીય ક્ષેત્રો અસમાન સૂર્યઉષ્મા મેળવે છે. વિષુવવૃત્ત પાસે પૃથ્વીની સપાટી નજીક રહેલી હવા ગરમ હોય છે. જ્યારે ધ્રુવો પાસે ઉપરના વાતાવરણમાં હવા ઠંડી હોય છે. અન્ય પરિબળો (factor)ની ગેરહાજરીમાં, ઉષ્માનયનના પ્રવાહો રચાય છે. હવા વિષુવવૃત્તીય પૃષ્ઠથી ઉપર જઈને ધ્રુવો તરફ ગતિ કરે છે. ત્યાંથી ધારાઓ નીચે તરફ આવી પુનઃ વિષુવવૃત્ત તરફ વહન કરે છે. જોકે પૃથ્વીના પરિબ્રમણાને કારણે આ ઉષ્માનયન પ્રવાહોમાં ફેરફાર થાય છે. આના કારણે વિષુવવૃત્તની નજીક પૂર્વ તરફ ગતિ કરતી હવાની ઝડપ 1600 km/h જ્યારે ધ્રુવો પાસે તેની ઝડપ શૂન્ય હોય છે. જેનાં પરિણામે હવા ધ્રુવો પાસે નહિ, પરંતુ 30° N (ઉત્તર) અક્ષાંશ પાસે નીચે ઉત્તરે છે અને વિષુવવૃત્ત તરફ પાછી ફરે છે. જેને પારંપરિક પવન (trade wind) કહે છે.



જમીન પાણી કરતાં ગરમ હોય છે



પાણી જમીન કરતાં ગરમ હોય છે

11.9.3 ઉષ્માવિકિરણ (Radiation)

ઉષ્માવહન અને ઉષ્માનયનમાં વહન માધ્યમ તરીકે કેટલાંક દ્રવ્યોની જરૂર પડે છે. શૂન્યાવકાશમાં એકબીજાથી દૂર અલગ રહેલા પદાર્થોની વચ્ચે ઉષ્માનું વહન આ પદ્ધતિઓ વડે થઈ શકતું નથી. પરંતુ ખૂબ જ દૂરના અંતરે રહેલા સૂર્યમાંથી પૃથ્વી ઉષ્મા મેળવે છે અને હવા ઉષ્માની અલ્પવાહક હોવા છતાં તેમાં ઉષ્માનયન રચાય તે પહેલાં આપણને ગરમીનો અનુભવ જરૂરી થાય છે. ઉષ્મા પ્રસરણની ત્રીજી પદ્ધતિમાં માધ્યમની આવશ્યકતા હોતી નથી. તેને **ઉષ્માવિકિરણ (radiation)** કહે છે તથા વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો દ્વારા ઉત્સર્જિત ઊર્જાને **વિકિરણઊર્જા (radiant energy)** કહે છે. વિદ્યુત ચુંબકીય તરંગોમાં વિદ્યુત અને ચુંબકીયક્ષેત્રનાં દોલનો અવકાશમાં સમય સાથે થતાં હોય છે. કોઈ પણ તરંગોની માફક વિદ્યુતચુંબકીય તરંગો જુદી જુદી તરંગલંબાઈ ધરાવે છે અને શૂન્યાવકાશમાં એક સમાન જરૂરી ગતિ કરે છે, જેને પ્રકાશની જરૂર કહે છે, જે $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ છે. આ બાબતનો વિગતવાર વધુ અભ્યાસ હવે પછી કરશો. પરંતુ હવે તમે જાણો છો કે શા માટે વિકિરણ દ્વારા ઉષ્માનાં પ્રસરણ માટે માધ્યમની જરૂર નથી અને તે શા માટે જરૂર છે. આ રીતે ઉષ્મા શૂન્યાવકાશમાં સૂર્યથી પૃથ્વી સુધી સ્થાનાંતર કરે છે. બધા જ પદાર્થો વિકિરણ ઊર્જાનું ઉત્સર્જન કરે છે પછી ભલે ને તે ઘન, પ્રવાહી અથવા વાયુ હોય. કોઈ પણ પદાર્થ તેનાં તાપમાનને કારણે જે વિદ્યુત ચુંબકીય તરંગોનું ઉત્સર્જન કરે છે - ગરમ લાલચોળ લોખંડના સણિયામાંથી અથવા વિદ્યુત ગોળાનાં ફિલામેન્ટમાંથી નીકળતાં વિકિરણોની જેમ - તેને ઉષ્મીય વિકિરણ કહે છે.

જ્યારે ઉષ્મીય વિકિરણો અન્ય પદાર્થ પર પડે છે ત્યારે તેનું આંશિક પરાવર્તન અને આંશિક શોષણ થાય છે વિકિરણ દ્વારા પદાર્થ ઉષ્માના જે જથ્થાનું શોષણ કરી શકે છે, તે પદાર્થના રંગ પર આધાર રાખે છે.

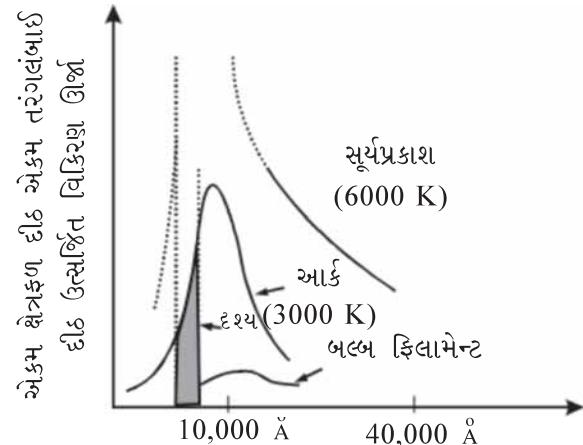
આપણે તે જોયું છે કે આધાર હલકા રંગના પદાર્થ કરતાં કાળા રંગના પદાર્થો વિકિરણ ઊર્જાનું શોષણ અને ઉત્સર્જન વધુ સારી રીતે કરે છે. આ વાસ્તવિકતા આપણા દૈનિક જીવનમાં ઘણા બધા ઉપયોજનમાં જોઈ શકાય છે. આપણે ઉનાણામાં સફેદ અથવા આધાર હલકા રંગનાં કપડાં પહેરીએ છીએ કે જેથી તે સૂર્યમાંથી ઓછી ઉષ્માનું શોષણ કરે. પરંતુ શિયાળા દરમિયાન આપણે વેરા રંગનાં કપડાં પહેરીએ છીએ કે જે સૂર્યમાંથી વધુ ઉષ્માનું શોષણ કરી આપણા શરીરને હુંફાળું રાખે. ખોરાક રાંધવાનાં વાસણોનાં તણિયા કાળા રંગનાં રાખવામાં આવે છે. જેથી તે ગેસ સ્ટ્રવના અભિમાંથી મહત્તમ ઉષ્માનું શોષણ કરીને તેને રાંધવા માટેના શાકભાજુને આપે.

આ જ રીતે બે દીવાલવાળો ફ્લાસ્ક અથવા થર્મોસ બોટલ એક એવી રચના છે કે બોટલમાં ભરેલ વસ્તુ અને બહારના પરિસર વચ્ચે ઉષ્માનો વિનિમય લઘુત્તમ કરતી કાચની બે દીવાલવાળું પાત્ર છે. જેની અંદર અને બહારની દીવાલ પર ચાંદીનો ઢોળ ચઢાવેલ હોય છે. અંદરની દીવાલ વડે વિકિરણ પરાવર્તન પામી બોટલમાં રહેલ વસ્તુમાં પાછું ફેરે છે. આ જ રીતે બહારની દીવાલ બહારથી આવતા કોઈ પણ વિકિરણોને

પરાવર્તિત કરે છે. બે દીવાલોની વચ્ચેની જગ્યાને શૂન્યાવકાશિત કરી વહન અને નયન દ્વારા થતાં ઉષ્માનો વય ઘટાડવામાં આવે છે અને ફ્લાસ્કને બુંધ (cork) જેવા ઉષ્મા પ્રતિરોધક પર મૂકવામાં આવે છે. માટે જ આ સાધન ગરમ વસ્તુ (જેમકે, દૂધ)ને ઠંડી થતી રોકે છે તેમજ વૈકલ્પિક રીતે ઠંડી વસ્તુ (જેમકે, બરફ) સંગ્રહીત કરવા માટે ઉપયોગી છે.

11.9.4 કાળા પદાર્થનું વિકિરણ (Black body Radiation)

હજુ સુધી આપણે ઉષ્મીય વિકિરણમાં તરંગલંબાઈની વિગતો દર્શાવેલ નથી. કોઈ પણ તાપમાને થતા ઉષ્મીય વિકિરણ માટે અગત્યની બાબત તે છે કે, તે કોઈ એક (અથવા થોડી ઘણી) તરંગલંબાઈઓ નહિ પણ નાનીથી મોટી તરંગલંબાઈ ધરાવતો સંણગ વર્ણપટ ધરાવે છે. જોકે, વિકિરણ ઊર્જા જુદી જુદી તરંગલંબાઈઓ માટે બદલાય છે. આકૃતિ A1 માં કાળા પદાર્થ દ્વારા એકમ ક્ષેત્રફળ દીક્રી એકમ તરંગલંબાઈ દીક્રી ઉત્સર્જિત વિકિરણ ઊર્જા વિરુદ્ધ જુદાં જુદાં તાપમાને તરંગલંબાઈના પ્રાયોગિક વકો દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ A1 : કાળા પદાર્થ માટે જુદાં જુદાં તાપમાને ઉત્સર્જિત ઊર્જા વિરુદ્ધ તરંગલંબાઈ

નોંધો કે મહત્તમ ઊર્જા માટે તરંગલંબાઈ λ_m તાપમાન વધે તેમ ઘટે છે. λ_m અને T વચ્ચેનો સંબંધ વીન-સ્થાનાંતર નિયમ તરીકે જાણીતો છે તે નીચે મુજબ દર્શાવાય છે :

$$\lambda_m T = \text{અંદર} \quad (A1)$$

અંદ્રાંકનું મૂલ્ય (વીન અંદ્રાંક) $2.9 \times 10^{-3} \text{ m K}$ છે. આ નિયમ સમજાવે છે કે શા માટે લોખંડના ટુકડાને ગરમ જયોતમાં તપાવતા તેનો રંગ પ્રથમ આધો લાલ થાય છે, પછી લાલાશપડતો પીળો અને છેલે સફેદ થાય છે. ચંદ્ર, સૂર્ય અને બીજા તારા જેવા અવકાશી પદાર્થોની સપાટીના તાપમાનનો અંદાજ કાઢવા માટે વીનનો નિયમ ઉપયોગી છે. ચંદ્રમાંથી આવતા 14 μm તરંગલંબાઈવાળા પ્રકાશની તીવ્રતા મહત્તમ મળે છે. વીનના નિયમ પરથી ચંદ્રની સપાટીનું તાપમાન 200 K અંદાજ શકાયું છે. સૂર્યના વિકિરણ ઊર્જા, $\lambda_m = 4753 \text{ \AA}$ માટે મહત્તમ હોય છે. જેને અનુરૂપ તાપમાન $T = 6060 \text{ K}$ છે. યાદ રાખો કે, આ તાપમાન સૂર્યની સપાટીનું છે. તેના અંદરના ભાગનું નથી.

આકૃતિ A1માં કાળા પદાર્થના વિકિરણ વક્તોનું ખૂબ જ અર્થપૂર્ણ લક્ષણ એ છે કે વકો સાર્વનિક છે. તે ફક્ત તાપમાન ઉપર આધાર છે પણ પરિમાણ, આકાર અથવા કાળા પદાર્થના દ્વય પર આધારિત નથી. વીસમી સદીની શરૂઆતમાં કાળા પદાર્થના વિકિરણનોની સૈદ્ધાંતિક સમજૂતીના પ્રયત્નોએ ભौતિકવિજ્ઞાનમાં કવોટમ વાદની કાંતિને ઉતેજન આપ્યું. જે તમે હવે પછીના અભ્યાસક્રમમાં શીખશો.

ખૂબ જ મોટાં અંતરો સુધી માધ્યમની ગેરહાજરીમાં (શૂન્યાવકાશમાં) ઊર્જાનું સ્થળાંતર વિકિરણ દ્વારા કરી શકાય છે. નિરપેક્ષ તાપમાન T એ પદાર્થમાંથી ઉત્સર્જિત કુલ વિદ્યુતયુભકીય ઊર્જા તેના પરિમાણ, તેની ઉત્સર્જન-ક્ષમતા (ઉત્સર્જકતા) અને સૌથી મહત્વનું તેનાં તાપમાન પર આધારિત હોય છે. સંપૂર્ણ ઉત્સર્જક પદાર્થ માટે એકમ સમયમાં ઉત્સર્જિત ઊર્જા (H) નીચે મુજબ આપી શકાય છે :

$$H = A\sigma T^4 \quad (A2)$$

જ્યાં, A ક્ષેત્રફળ અને T પદાર્થનું નિરપેક્ષ તાપમાન છે. આ સંબંધ પ્રાયોગિક રીતે સ્ટિફન દ્વારા સાબિત થયો અને પછી સૈદ્ધાંતિક રીતે બોલ્ટ્ઝમેને સાબિત કર્યો જેને સ્ટિફન બોલ્ટ્ઝમેન નિયમ કહે છે અને અચળાંક σ ને સ્ટિફન બોલ્ટ્ઝમેન અચળાંક કહે છે. તેનું SI એકમમાં મૂલ્ય $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^2 \text{ K}^4$ છે. મોટા ભાગના પદાર્થો સમીકરણ A2 વડે મળતી ઉભાના દરનો કેટલોક જ ભાગ ઉત્સર્જિત કરે છે. દીવાની મેશ (Lamp Black) જેવા પદાર્થ આ મર્યાદાની ખૂબ જ નજીક ગણી શકાય. માટે પરિમાણરહિત ઉત્સર્જકતા તરીકે ઓળખાતો ગુણોત્તર એને વ્યાખ્યાપિત કરીને,

$$H = Ae\sigma T^4 \quad (A3)$$

લખી શકાય છે :

અહીં સંપૂર્ણ ઉત્સર્જક માટે $e = 1$. ઉદાહરણ તરીકે ટંગસ્ટન બલ્બ માટે $e =$ લગભગ 0.4 છે. આથી, ટંગસ્ટન બલ્બના 3000 K તાપમાને અને 0.3 cm^2 સપાટીનાં ક્ષેત્રફળમાંથી ઉત્સર્જિત ઊર્જાનો દર $H = 0.3 \times 10^{-4} \times 0.4 \times 5.06 \times 10^{-8} \times (3000)^4 = 60 \text{ W}$.

T_s તાપમાનવાળા પરિસરમાં રાખેલ T તાપમાનવાળો પદાર્થ ઊર્જાનું ઉત્સર્જન કરે છે તે જ રીતે મેળવે છે. સંપૂર્ણ ઉત્સર્જક પદાર્થ માટે વિકિરણ ઊર્જા ગુમાવવાનો ચોખ્યો દર

$$H = \sigma A(T^4 - T_s^4)$$

e ઉત્સર્જકતા ધરાવતા પદાર્થ માટે ઉપર્યુક્ત સંબંધ થોડા ફેરફાર સાથે નીચે મુજબ આપી શકાય :

$$H = e\sigma A(T^4 - T_s^4) \quad (A4)$$

ઉદાહરણ તરીકે, આપણા શરીરમાંથી ઉત્સર્જિત ઉભાનો અંદાજ કાઢીએ. ધારો કે એક વ્યક્તિનાં શરીરની સપાટીનું ક્ષેત્રફળ 1.9 m^2 જેટલું છે અને ઓરડાનું તાપમાન 22°C છે. આપણે જાણીએ છીએ તે મુજબ શરીરનું અંતરિક તાપમાન 37°C જેટલું હોય છે. ચામડીનું તાપમાન 28°C (ધારો કે) હોઈ શકે. વિદ્યુતયુભકીય વિકિરણ ઉત્સર્જન માટે સંકળાયેલ ચામડીની ઉત્સર્જકતા 0.97 છે, તો ઊર્જા ગુમાવવાનો દર;

$$H = 5.67 \times 10^{-8} \times 1.9 \times 0.97 \times \{(301)^4 - (295)^4\} = 66.4 \text{ W}$$

જે સ્થિર સ્થિતિમાં શરીર દ્વારા ઉત્પાદિત થતી ઊર્જાના દર (120 W) કરતાં અડ્યાથી વધુ છે. આ ઉભાવ્યય અસરકારક રીતે ઘટાડવા (સામાન્ય કપડાં કરતાં વધુ સારાં) આધુનિક આર્કિટિક (ઉત્તર ધ્રુવ પ્રદેશના) કપડાંઓમાં પાતળું, ચણકાટવાળું ધાતુનું વધારાનું આવરણ હોય છે, જે ચામડીની આગળ હોવાથી શરીરનાં વિકિરણને પરાવર્તિત કરે છે.

11.9.5 ગ્રીનહાઉસ અસર (Green House Effect)

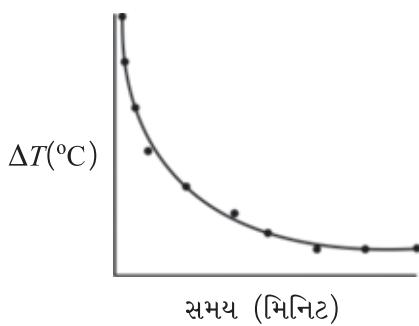
સૂર્યમાંથી મેળવેલ ઊર્જાનું પૃથ્વી શોષણ કરી ઉત્સર્જન કરે છે, તેથી તેની સપાટી ઉભીય વિકિરણનો સોત છે. આ વિકિરણની તરંગલંબાઈ લાંબી તરંગલંબાઈના (ઇન્ફારેડ) વિભાગમાં હોય છે. પરંતુ આ વિકિરણનો મોટો ભાગ ગ્રીનહાઉસ વાયુઓ જેવા કે, કાર્બન ડાયોક્સાઇડ (CO_2), મીથેન (CH_4), નાઈટ્રસ ઓક્સાઇડ (N_2O), ક્લોરોફ્લોરો કાર્બન (CF_xCl_x) અને ટ્રોપોસ્ફીરિક ઓઝોન (O_3) વડે શોષણ છે. આ ઉભા વાતાવરણને ગરમ કરે છે અને ફરીથી પૃથ્વીને વધુ ઊર્જા આપે છે. પરિણામે પૃથ્વીની સપાટી હુંકાળી રહે છે. આને કારણે સપાટીનાં વિકિરણની તીવ્રતા વધે છે. ઉપર વર્ષાવેલ પ્રક્રિયાનું ચક, શોષણ માટે વિકિરણ ન મળે ત્યાં સુધી ચાલુ રહે છે. અંતિમ પરિણામ સ્વરૂપે પૃથ્વીની સપાટી અને વાતાવરણ ગરમ થાય છે. જેને ગ્રીનહાઉસ અસર કહે છે. ગ્રીનહાઉસ અસર ન હોય તો પૃથ્વીનું તાપમાન -18°C હોત.

માનવીય પ્રવૃત્તિઓને કારણે ગ્રીનહાઉસ વાયુની સાંક્રતામાં વધારો થયો છે જે પૃથ્વીને વધુ ગરમ બનાવી રહી છે. આ વધારાને કારણે એક અંદાજ મુજબ આ શતાબ્દીની શરૂઆતથી પૃથ્વીના સરેરાશ તાપમાનમાં 0.3 થી 0.6°C જેટલો વધારો થઈ રહ્યો છે. પરંતુ હવે પછીની શતાબ્દીના મધ્ય ભાગે આખી પૃથ્વીનું (ગ્લોબલ વિશ્વ વ્યાપક) તાપમાન આજના તાપમાન કરતાં 1°C થી 3°C જેટલું વધારે હશે. આ ગ્લોબલ વોર્મિંગ માનવજીવન, વનસ્પતિઓ અને પ્રાણીઓ માટે મુસીબતનું કારણ બનશે. ગ્લોબલ વોર્મિંગ (વિશ્વ વ્યાપક ગરમી)ને કારણે હિમશીલાઓ ઝડપથી પીગળશે, સમુદ્રની સપાટી વધશે અને વાતાવરણની રચના (ભાત) બદલાશે. ઘણા દરિયાકિનારાનાં શહેરો ડૂબી જવાનાં ભયસ્થાને છે. ગ્રીનહાઉસ અસરનાં વધારાને પરિણામે રણ વિસ્તારમાં વધારો થશે. સમગ્ર દુનિયા ગ્લોબલ વોર્મિંગની અસરને લધુતમ કરવા માટેના પ્રયત્નો કરે છે.

11.10 ન્યૂટનનો શીતનનો નિયમ (NEWTON'S LAW OF COOLING)

આપણે જાણીએ છીએ કે ગરમ પાણી કે ગરમ દૂધને ટેબલ પર મૂકી રાખવામાં આવે, તો તે ધીમે ધીમે ઠંડા પડવાની શરૂઆત કરે છે અને છેવટે પરિસરનાં તાપમાને પહોંચે છે. આપેલ પદાર્થ તેના પરિસર સાથે ઉભાનો વિનિમય કરીને કેવી રીતે ઠંડા પડે છે. તેનો અભ્યાસ કરવા નીચે મુજબની પ્રવૃત્તિ કરીએ :

બેળક સાથેના કેલોરિમીટરમાં કેટલુંક પાણી, ધારો કે 300 ml લઈ તેને બે છિદ્રોવાળાં ઢાંકણાં વડે બંધ કરો. થરમોમીટરને એક છિદ્રમાંથી પસાર કરી તે માં મૂકો. થરમોમીટરનો બલ્બ (પારાવાળો ભાગ) પાણીમાં હૂબે તેની ખાતરી કરો. થરમોમીટરનું અવલોકન નોંધો. આ અવલોકન પરિસરનું તાપમાન T_1 છે. કેલોરિમીટરમાં લીધેલા પાણીનું તાપમાન ઓરડાનાં તાપમાનથી વધુ (એટલે કે પરિસરનાં તાપમાન) એટલે કે 40 °C થાય ત્યાં સુધી ગરમ કરો. ઉઝ્માપ્રાપ્તિસ્થાન દૂર કરી પાણીને ગરમ કરવાનું બંધ કરો. સ્ટોપવોચ શરૂ કરીને સમયના ચોક્કસ ગાળાઓ માટે, જેમકે, પ્રત્યેક મિનિટે બેળક વડે પાણીને સતત હલાવતાં રહો અને થરમોમીટરના અવલોકનો નોંધો. પાણીનું તાપમાન T_2 પરિસરના તાપમાનથી 5 °C વધુ થાય ત્યાં સુધી સતત તાપમાન નોંધો. ત્યાર બાદ તાપમાનનાં બધાં જ મૂલ્યો માટે $\Delta T = T_2 - T_1$ ને Y-અક્ષ પર અને તેને અનુરૂપ સમય ને X-અક્ષ પર લઈ આલેખ દોરો (આકૃતિ 11.18).



આકૃતિ 11.18 સમય સાથે ગરમ પાણીનું શીતન દર્શાવતો આલેખ

આલેખ પરથી તમે તારવી શકો છો કે કેવી રીતે ગરમ પાણીનું શીતન પોતાના અને પરિસરનાં તાપમાનના તફાવત પર આધારિત છે. તમે તે પણ નોંધ લઈ શકો છો કે પ્રારંભમાં શીતનનો દર વધારે અને પદાર્થનું તાપમાન ઘટે તેમ તે ઘટે છે.

ઉપર્યુક્ત પ્રવૃત્તિ દર્શાવે છે કે ગરમ પદાર્થ તેની ઉઝ્મા પરિસરમાં ઉઝ્માવિકિરણ સ્વરૂપે ગુમાવે છે. ઉઝ્મા ગુમાવવાનો દર પદાર્થ અને તેના પરિસર વચ્ચેનાં તાપમાનના તફાવત પર આધારિત છે. ન્યૂટન એવા પ્રથમ વૈજ્ઞાનિક હતા જેમણે બંધ પ્રણાલીની અંદર રહેલા પદાર્થ દ્વારા ગુમાવતી ઉઝ્મા તથા તેના તાપમાન વચ્ચેના સંબંધનો યોજનાબદ્ધ અભ્યાસ કર્યો.

ન્યૂટનના શીતનના નિયમ અનુસાર, કોઈ પદાર્થના ઉઝ્મા ગુમાવવાનો દર $-dQ/dt$ પદાર્થ અને તેના પરિસર વચ્ચેનાં તાપમાનના તફાવત $\Delta T = (T_2 - T_1)$ ને સપ્રમાણ હોય છે. આ નિયમ નાના તાપમાન તફાવત માટે જ પળાય છે. ઉપરાંત વિકિરણ દ્વારા ગુમાવતી ઉઝ્મા પદાર્થની સપાટીની પ્રકૃતિ અને ખૂલ્લી સપાટીનાં ક્ષેત્રફળ પર આધારિત છે. માટે આપણે લખી શકીએ કે,

$$-\frac{dQ}{dt} = k(T_2 - T_1) \quad (11.15)$$

જ્યાં, k સપ્રમાણતાનો ધન અચળાંક છે. જે પદાર્થની સપાટીની પ્રકૃતિ અને ક્ષેત્રફળ પર આધારિત છે. ધારો કે, T_2 તાપમાને પદાર્થનું દળ m અને વિશિષ્ટ ઉઝ્માધારિતા s છે. ધારો કે પરિસરનું તાપમાન T_1 છે. જે dt જેટલા સમયમાં તાપમાનમાં થતો નાનો ઘટાડો dT_2 હોય, તો ગુમાવવાની ઉઝ્માનો જથ્થો,

$$dQ = ms dT_2$$

\therefore ઉઝ્મા ગુમાવવાનો દર,

$$\frac{dQ}{dt} = ms \frac{dT_2}{dt} \quad (11.16)$$

સમીકરણ (11.15) અને (11.16) પરથી,

$$-ms \frac{dT_2}{dt} = k(T_2 - T_1)$$

$$\frac{dT_2}{T_2 - T_1} = -\frac{k}{ms} dt = -Kdt \quad (11.17)$$

જ્યાં, $K = k / m s$

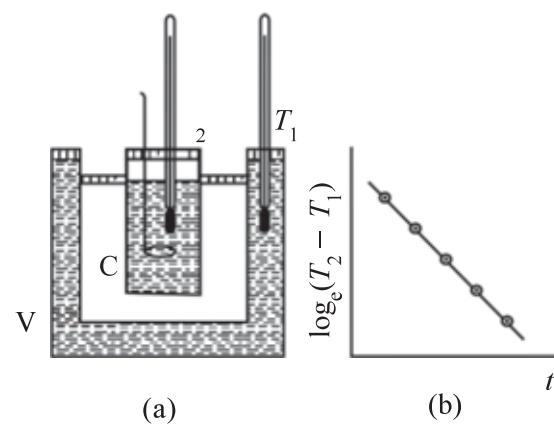
સંકલન કરતાં,

$$\log_e(T_2 - T_1) = -K t + c \quad (11.18)$$

$$\text{અથવા } T_2 = T_1 + C' e^{-Kt}; \text{ જ્યાં, } C' = e^c \quad (11.19)$$

સમીકરણ (11.19)ની મદદથી તાપમાનના ચોક્કસ વિસ્તાર માટે પદાર્થનાં શીતનના સમયની ગણાતરી શક્ય છે.

તાપમાન તફાવતના નાના ગાળા માટે ઉઝ્માવહન, ઉઝ્માનયન અને ઉઝ્માવિકિરણની સંયુક્ત રીતે શીતનનો દર તાપમાનના ફેરફારને સપ્રમાણ હોય છે. કોઈ રેટિએટરમાંથી ઓરડામાં સ્થાનાંતર પામતી ઉઝ્મા, ઓરડાની દીવાલો દ્વારા થતો ઉઝ્માવ્યય અથવા ટેબલ પર મૂકેલ કપમાં રહેલી ચાના શીતનમાં સાચી પડતી સંનિકટતા છે.



આકૃતિ 11.19 ન્યૂટનના શીતનના નિયમની ચકાસણી

આકૃતિ 11.19(a)માં દર્શાવેલ પ્રાયોગિક ગોઠવણી દ્વારા ન્યૂટનનો શીતનનો નિયમ ચકાસી શકાય છે. આ ગોઠવણીમાં બે દીવાલ ધરાવતા પાત્ર (V)ની બે દીવાલોની વચ્ચે પાણી ભરેલું હોય છે. ગરમ પાણી ભરેલું તાંબાનું કેલોરિમીટર (C) બે

દીવાલ ધરાવતાં પાત્રની અંદર મૂકવામાં આવે છે. બૂચની અંદરથી પસાર કરેલાં બે થરમોમીટરની મદદથી કેલોરિમીટરમાં રહેલા પાણીનું તાપમાન T_2 અને બે દીવાલોની વચ્ચે રહેલા ગરમ પાણીનું તાપમાન T_1 નોંધી શકાય છે. કેલોરિમીટરમાં રહેલા ગરમ પાણીનું તાપમાન સમયના સમાન ગાળા માટે નોંધવામાં આવે છે. $\log_e(T_2 - T_1)$ અને સમય (t) વચ્ચે આલેખ દોરવામાં આવે છે. આ આલેખની પ્રકૃતિ આકૃતિ 11.19(b)માં દર્શાવ્યા મુજબ જગ્ઝા ઢળ ધરાવતી સુરેખા છે, જે સમીકરણ (11.18)ને અનુમોદિત કરે છે.

ઉદાહરણ 11.8 20 °C ઓરડાનાં તાપમાને એક વાસણમાં ભરેલ ગરમ ભોજન બે મિનિટમાં 94 °Cથી 86 °C જેટલું ઠંડું થાય છે. તેનું તાપમાન 71 °Cથી 69 °C થવા માટે કેટલો સમય લાગશે ?

ઉકેલ 94 °C અને 86 °Cનું સરેરાશ તાપમાન 90 °C થશે જે ઓરડાનાં તાપમાન કરતાં 70 °C વધુ છે. આ સ્થિતિમાં વાસણ 2 મિનિટમાં 8 °C જેટલું ઠંડું થાય છે. સમીકરણ 11.17નો ઉપયોગ કરતાં,

$$\frac{\text{તાપમાનમાં થતો ફેરફાર}}{\text{સમય}} = K\Delta T$$

$$\frac{8 \text{ } ^\circ\text{C}}{2 \text{ min}} = K(70 \text{ } ^\circ\text{C})$$

69 °C અને 71 °Cનું સરેરાશ તાપમાન 70 °C છે, જે ઓરડાના તાપમાન કરતાં 50 °C વધુ છે. આ સ્થિતિ માટે પણ K મૂળ સ્થિતિ જેટલો સમાન છે.

$$\frac{2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{સમય}} = K(50 \text{ } ^\circ\text{C})$$

ઉપરનાં બંને સમીકરણોનો ભાગાકાર કરતાં,

$$\frac{8 \text{ } ^\circ\text{C}/2 \text{ min}}{2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{સમય}} = \frac{K(70 \text{ } ^\circ\text{C})}{K(50 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

$$\begin{aligned} \text{સમય} &= 0.7 \text{ min} \\ &= 42 \text{ s} \end{aligned}$$

સારાંશ

1. ઉખા એ ઊર્જાનું સ્વરૂપ છે. જે પદાર્થ અને તેની આસપાસનાં માધ્યમ વચ્ચેનાં તાપમાનના તફાવતને કારણો તેમની વચ્ચે વહન પામે છે. પદાર્થનું ગરમપણું માત્રાત્મકરૂપે તાપમાન સ્વરૂપે નિરૂપિત કરવામાં આવે છે.
2. તાપમાનમાપક રચના (થરમોમીટર)માં કેટલાક માપી શકાય તેવા ગુણધર્મો (જેને તાપીય ગુણધર્મો કહે છે)નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે, જે તાપમાન સાથે ફેરફાર અનુભવે છે. જુદાં જુદાં થરમોમીટરો જુદાં જુદાં તાપમાન માપકમ ધરાવે છે. તાપમાન માપકમ તૈયાર કરવા માટે બે નિયત બિંદુઓ નક્કી કરવામાં આવે છે અને તેને અનુરૂપ તાપમાનનાં બે યાદચિક મૂલ્યો નક્કી કરવામાં આવે છે. આ બે સંખ્યાઓ માપકમના ઉદ્ગમ અને તેના એકમનાં પરિમાણ નિશ્ચિત કરે છે.
3. સેલ્સિયસ માપકમ (t_C) અને ફેરનહીટ (t_F) વચ્ચેનો સંબંધ

$$t_F = (9/5) t_C + 32$$

4. દબાંશ (P), કદ (V) અને નિરપેક્ષ તાપમાન (T) વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવતું આદર્શવાયુ સમીકરણ,

$$PV = \mu RT$$

જ્યાં, μ મોલ સંખ્યા અને R સાર્વત્રિક વાયુ નિયતાંક છે.

5. નિરપેક્ષ તાપમાન માપકમનાં માપકમનું શૂન્ય અને તાપમાન નિરપેક્ષ શૂન્ય છે. આ એવું તાપમાન છે કે જ્યાં, કુદરતમાં રહેલા પદાર્થોમાં થતી આણિક પ્રક્રિયાઓ લઘુત્તમ હોય છે. કેલ્વિન નિરપેક્ષ તાપમાન માપકમ (T)ના એકમનું પરિમાણ અને સેલ્સિયસ તાપમાન માપકમ (t_C)ના એકમના પરિમાણ સમાન હોય છે. પરંતુ મૂળ બિંદુઓમાં તફાવત હોય છે.

$$T_C = T - 273.15$$

6. રેખીય પ્રસરણાંક (α_l) અને કદ-પ્રસરણાંક (α_v)ને નીચે આપેલ સંબંધ વડે વ્યાખ્યાયિત કરાય છે :

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha_l \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \alpha_v \Delta T$$

જ્યાં, Δl અને ΔV અનુક્રમે લંબાઈ l અને કદ V નાં ΔT તાપમાને થતાં ફેરફારો દર્શાવે છે. તેમની વચ્ચેનો સંબંધ :

$$\alpha_v = 3 \alpha_l$$

7. પદાર્થની વિશિષ્ટ ઉભાધારિતા નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરાય છે :

$$S = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

જ્યાં, m પદાર્થનું દળ અને ΔQ તેના તાપમાનમાં ΔT જેટલો ફેરફાર કરવા માટેની જરૂરી ઉભા છે. પદાર્થની મોલર વિશિષ્ટ ઉભાધારિતા નીચે મુજબ વ્યાખ્યાયિત કરાય છે :

$$C = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

જ્યાં, μ પદાર્થની મોલ સંખ્યા છે.

8. ગલન ગુપ્ત ઉભા (L_p), સમાન તાપમાન અને દબાણો એકમ દળ ધરાવતાં ઘન પદાર્થને પ્રવાહીમાં રૂપાંતર કરવા માટે જરૂરી ઉભા છે.

બાધ્યાયન ગુપ્ત ઉભા (L_v), તાપમાન અને દબાણમાં ફેરફાર થયા વગર એકમ દળનાં પ્રવાહીને વાયુમાં રૂપાંતર કરવા માટે જરૂરી ઉભા છે.

9. ઉભા-પ્રસરણની ત્રણ રીતો છે : ઉભાવહન, ઉભાનયન અને ઉભાવિકિરણ.

10. ઉભાવહનમાં, પદાર્થના પાસપાસે રહેલા વિભાગો વચ્ચે ઉભાનું પ્રસરણ અણુઓનાં દોલનો મારફતે થાય છે. જેમાં દ્રવ્યનું વહન થતું નથી. L લંબાઈ અને A નિયમિત આડહેદનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતાં સણિયાના બે છેડાનું તાપમાન T_C અને T_D જેટલું જાળવી રાખવામાં આવેલ હોય ત્યારે ઉભાવહનનો દર H :

$$H = KA \frac{T_C - T_D}{L}$$

જ્યાં, K સણિયાના દ્રવ્યની ઉભાવાહકતા છે.

11. ન્યૂટનના શીતનના નિયમ અનુસાર, પદાર્થમાં શીતનનો દર પરિસર સાપેક્ષે પદાર્થના વધારાનાં તાપમાનને સપ્રમાણ હોય છે. $\frac{dQ}{dt} = -k(T_2 - T_1)$

જ્યાં, T_1 પરિસર માધ્યમનું તાપમાન અને T_2 પદાર્થનું તાપમાન છે.

ભौતિકરાશી	સંખ્યા	પારિમાણિક સૂત્ર	એકમ	નોંધ
પદાર્થનો જથ્થો	μ	[mol]	mol	
સેલ્બિયસ તાપમાન	t_c	[K]	°C	$t_c = T - 273.15$
કોલ્વિન નિરપેક્ષ તાપમાન	T	[K]	K	
રેખીય પ્રસરણાંક	α_1	[K ⁻¹]	K ⁻¹	
કદ-પ્રસરણાંક	α_v	[K ⁻¹]	K ⁻¹	$\alpha_v = 3 \alpha_1$
તંત્રને આપેલ ઉભા	ΔQ	[ML ² T ⁻²]	J	Q ચલિત અવસ્થા માટે નથી.
વિશિષ્ટ ઉભા	s	[L ² T ⁻² K ⁻¹]	J kg ⁻¹ K ⁻¹	
ઉભાવાહકતા	K	[MLT ⁻³ K ⁻¹]	J s ⁻¹ K ⁻¹	$H = -KA \frac{dT}{dx}$

ગહન વિચારણાના મુદ્દાઓ

1. કેલ્વિન તાપમાન (T) અને સેલ્વિયસ તાપમાન (t_c)ને સંકળતો સંબંધ

$$T = t_c + 273.15$$

અને પાણીનાં ત્રિભિંદુ માટે $T = 273.16\text{ K}$ સંબંધ યથાર્થ છે (પસંદગી મુજબ). આ પસંદગી મુજબ, સેલ્વિયસ માપકમ પર બરફનું ગલનબિંદુ અને પાણીનું ઉત્કલનબિંદુ (બંને 1 વાતાવરણ દબાણો) અનુક્રમે 0°C અને 100°C ની ખૂબ જ નજીક છે, પરંતુ યથાર્થ રીતે તેનાં જેટલા જ નથી. તાજેતરમાં આ નિયત બિંદુનાં આ મૂલ્યો મૂળ સેલ્વિયસ માપકમમાં 0°C અને 100°C ના જેટલા છે (પસંદગી મુજબ) પરંતુ હવે નિયત બિંદુ તરીકે પાણીનાં ત્રિભિંદુને પસંદ કરવામાં આવે છે. કારણ કે તેનું તાપમાન અન્ય હોય છે.

2. પ્રવાહી વાયુ સાથે સંતુલિત સ્થિતિમાં હોય ત્યારે સમગ્ર તંત્રમાં તેમનાં તાપમાન તથા દબાણ સમાન હોય છે. સંતુલનમાં રહેલી બે અવસ્થાઓ તેમના કદ માટે જુદી પે છે (એટલે કે ઘનતા). સંતુલિત સ્થિતિમાં રહેલી ગમે તેટલી સંખ્યાની અવસ્થા માટે આ બાબત સાચી છે.
3. ઉષ્ણા સ્થાનાંતરમાં હુમેશાં બે તંત્રો અથવા એક જ તંત્રના બે ભાગો વચ્ચે તાપમાનનો તફાવત સંકળાયેલ હોય છે. ઊર્જાનું સ્થાનાંતર જેમાં કોઈ પણ તાપમાનનો તફાવત સંકળાયેલ ના હોય તે ઉષ્ણ ન હોય.
4. ઉષ્ણાનયનમાં તરલના ભાગોનાં અસમાન તાપમાનને કારણે દ્વયનું વહન સંકળાયેલ છે. કોઈ નળીમાંથી પડી રહેલ પાણીની ધાર નીચે ગરમ સણિયો મૂકૃતાં થતો ઉષ્ણાનો ઘટાડો, સણિયાની સપાટી અને પાણી વચ્ચે ઉષ્ણાવહનને લીધે થાય છે, નહિ કે પાણીમાં ઉષ્ણાનયનની રીતે.

સ્વાધ્યાય

- 11.1** નિયોન અને કાર્બન ડાયોક્સાઈડનાં ત્રિભિંદુ અનુક્રમે 24.57 K અને 216.55 K છે. આ તાપમાન મૂલ્યોને સેલ્વિયસ અને ફેરનહીટ માપકમમાં દર્શાવો.

- 11.2** બે નિરપેક્ષ માપકમ A અને B પર પાણીનું ત્રિભિંદુ 200 A અને 350 B દ્વારા વ્યાખ્યાપિત કરેલ છે, તો T_A અને T_B વચ્ચે શું સંબંધ હોઈ શકે ?

- 11.3** કેટલાક થરમોમીટરનો વિદ્યુતીય અવરોધ ઓહ્મમાં તાપમાન સાથે નીચે દર્શાવેલ અંદાજિત નિયમ અનુસાર બદલાય છે :

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

પાણીનાં ત્રિભિંદુ (273.16 K) એ થરમોમીટરનો અવરોધ $101.6\ \Omega$ અને સીસાનાં સામાન્ય ગલનબિંદુ (600.5 K) પર અવરોધ $165.5\ \Omega$ છે, તો થરમોમીટરનો અવરોધ $123.4\ \Omega$ હોય ત્યારે તેનું તાપમાન કેટલું હશે ?

- 11.4** નીચેનાના જવાબ આપો :

(a) આધુનિક થરમોમેટ્રીનાં પાણીનું ત્રિભિંદુ પ્રમાણિત નિયત બિંદુ છે. શા માટે ? બરફનું ગલનબિંદુ અને પાણીના ઉત્કલન બિંદુને પ્રમાણભૂત નિયતબિંદુ સ્વીકારવામાં (જેમ મૂળ સેલ્વિયસ માપકમમાં સ્વીકારેલ) ખોટું શું છે ?

(b) ઉપર દર્શાવ્યા મૂલ્ય સેલ્વિયસ માપકમમાં બે નિયત બિંદુઓને અનુરૂપ નક્કી કરેલ સંખ્યાઓ અનુક્રમે 0°C અને 100°C છે. નિરપેક્ષ માપકમ પર બેમાંથી એક નિયત બિંદુ પાણી માટેનું ત્રિભિંદુ લેવામાં આવે છે. જેમાં કેલ્વિન પ્રમાણભૂત માપકમ પર તેને અનુરૂપ સંખ્યા 273.16 K નક્કી કરેલ છે. આ માપકમ પર (કેલ્વિન) બીજું નિયત બિંદુ શું હશે ?

(c) નિરપેક્ષ તાપમાન (કેલ્વિન માપકમ) T નો સેલ્વિયસ માપકમ તાપમાન t_c સાથેનો સંબંધ નીચે મુજબ છે :

$$t_c = T - 273.15$$

શા માટે આપણે આ સંબંધીમાં 273.16 ને બદલે 273.15 લીધા છે ?

(d) નિરપેક્ષ માપકમ પર પાણીનાં ત્રિભિંદુ માટે એવું કયું તાપમાન છે કે જેના માટે એકમ ગાળાનું પરિમાણ ફેરનહીટ માપકમ પરના એકમ ગાળાનાં પરિમાણ જેટલું જ હશે ?

- 11.5** બે આર્દ્ર વાયુ, થરમોમીટર A અને B માં અનુક્રમે ઓક્સિસિઝન અને હાઇડ્રોજનનો ઉપયોગ કરવામાં આવો છે. મળતાં અવલોકનો નીચે મુજબ છે :

તાપમાન	દબાણ થરમોમીટર A	દબાણ થરમોમીટર B
પાણીનું ત્રિભિંદુ	$1.250 \times 10^5\text{ Pa}$	$0.200 \times 10^5\text{ Pa}$
સલ્ફરનું સામાન્ય ગલનબિંદુ	$1.797 \times 10^5\text{ Pa}$	$0.287 \times 10^5\text{ Pa}$

- (a) સલ્ફરનું સામાન્ય ગલનબિંદુનું નિરપેક્ષ તાપમાન થરમોભીટર A અને B નાં વાંચન મુજબ શું હશે ?
 (b) થરમોભીટર A અને B ના જવાબમાં થોડો તફાવત હોવાનું કારણ તમારા મંતવ્ય મુજબ શું હોઈ શકે ? (બંને થરમોભીટર ક્ષતિરહિત છે.) બંને વાંચનાંકો વચ્ચેની વિસંગતતા ઘટાડવા માટે આ પ્રયોગમાં કઈ પદ્ધતિ (કાર્યપ્રકાશાલી) જરૂરી છે ?
- 11.6** 1 m લાંબી સ્ટીલની પણીનું 27.0 °C તાપમાને ચોકસાઈપૂર્વક અંકન કરેલ છે. ગરમ દિવસે જ્યારે તાપમાન 45 °C હોય ત્યારે સ્ટીલનાં એક સળિયાની લંબાઈ આ પણી વડે માપતાં તે 63.0 cm મળે છે. તો આ દિવસે સળિયાની વાસ્તવિક લંબાઈ શું હશે ? આ જ સ્ટીલનાં સળિયાની લંબાઈ 27.0 °C તાપમાનવાળા દિવસે કેટલી હશે ? સ્ટીલ માટે રેખીય પ્રસરણાંક = $1.20 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
- 11.7** એક મોટા સ્ટીલનાં પૈડાને તે જ દ્રવ્યની બનેલી મોટી ધરી ઉપર બંધબેસતું કરવું છે. 27 °C તાપમાને ધરીનો બહારનો વ્યાસ 8.70 cm અને પૈડાના કેન્દ્રમાં રહેલ છિદ્ર (હોલ)નો વ્યાસ 8.69 cm છે. સૂક્ષ્મ બરફ વડે ધરીને ઠંડી કરેલ છે. ધરીનાં કયા તાપમાને પૈંપું તેના પર સરકવા લાગશે. જરૂરી તાપમાનના વિસ્તાર માટે સ્ટીલનો રેખીય પ્રસરણાંક અચળ રહે છે. તેમ સ્વીકારો $\alpha_{\text{સ્ટીલ}} = 1.20 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.
- 11.8** તાંબાની એક તક્તીમાં છિદ્ર પાંચલ છે. જેનો 27.0 °C તાપમાને વ્યાસ 4.24 cm છે. આ તાંબાની તક્તીને 227 °C સુધી ગરમ કરવામાં આવે, તો છિદ્રનાં વ્યાસમાં થતો ફેરફાર કેટલો હશે ? તાંબાનો રેખીય પ્રસરણાંક = $1.70 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
- 11.9** 27 °C તાપમાને 1.8 m લાંબા પિતળના તારને બે દઢ આધારો વચ્ચે અથ્વ તાણાવ સાથે જડિત કરેલ છે. જો તારને -39 °C તાપમાન સુધી ઠંડો પાડવામાં આવે તો તારમાં ઉદ્ભબતો તાણાવ કેટલો હશે ? શું જંક્શન પર ઉખીય પ્રતિબળ ઉદ્ભબશે ? સળિયાના છેડાઓ પ્રસરણ પામવા માટે મુક્ત છે. (પિતળ માટે રેખીય પ્રસરણાંક = $2.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, સ્ટીલ માટે રેખીય પ્રસરણાંક = $1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$).
- 11.10** 50 cm લંબાઈ અને 3.0 mm વ્યાસવાળા પિતળના સળિયાને તેટલી જ લંબાઈ અને તેટલા જ વ્યાસ ધરાવતાં સ્ટીલના સળિયા સાથે જોડવામાં આવે છે. સંયુક્ત સળિયાની મૂળ લંબાઈ 40 °C તાપમાને છે. જે તાપમાન 250 °C કરવામાં આવે, તો આ લંબાઈમાં થતો ફેરફાર કેટલો હશે ? શું જંક્શન પર ઉખીય પ્રતિબળ ઉદ્ભબશે ? સળિયાના છેડાઓ પ્રસરણ પામવા માટે મુક્ત છે. (પિતળ માટે રેખીય પ્રસરણાંક = $2.0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, સ્ટીલ માટે રેખીય પ્રસરણાંક = $1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$).
- 11.11** જિલ્સરિન માટે કદ-પ્રસરણાંક $49 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ છે. જો તેનાં તાપમાનમાં 30 °C નો વધારો કરવામાં આવે, તો તેની ઘનતામાં થતો આંશિક ફેરફાર કેટલો હશે ?
- 11.12** 8.0 kg દળના ઔદ્યુમનિયમના એક બ્લોકમાં છિદ્ર પાડવા માટે 10 kWનાં દ્રિલમશીનનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. 2.5 મિનિટમાં બ્લોકનાં તાપમાનમાં કેટલો વધારો થશે ? 50 % પાવર દ્રિલમશીનને ગરમ થવામાં અથવા પરિસરમાં વ્યય થાય છે તેમ ધારો. ઔદ્યુમનિયમની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા = $0.91 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$.
- 11.13** 2.5 kg દળના તાંબાના એક બ્લોકને ભડીમાં 500 °C તાપમાન સુધી ગરમ કરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ તેને મોટા બરફના બ્લોક ઉપર મૂકવામાં આવે છે. કેટલા મહત્તમ જથ્થાનો બરફ ઓગળશે ? (તાંબાની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા = $0.39 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$, પાણી માટે ગલન ગુપ્ત ઉખા = 335 J g^{-1}).
- 11.14** ધાતુની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતાનાં પ્રયોગમાં 150 °C તાપમાને રહેલા 0.20 kg દળવાળા ધાતુના બ્લોકને તાંબાનાં કેલોરિમીટરમાં મૂકવામાં આવે છે. (પાણીનો જળતુલ્યાંક 0.025 kg) જે માં 150 cm³ પાણી 27 °C તાપમાને આવેલું છે. અંતિમ તાપમાન 40 °C થાય છે. ધાતુની વિશિષ્ટ ઉખાધારિતાની ગણતરી કરો. જો પરિસરમાં વ્યય થતી ઉખાને અવગાણવામાં ન આવે તો કરેલ ગણતરી દ્વારા મળતો આપનો જવાબ ધાતુની વાસ્તવિક ઉખાધારિતાના મૂલ્યથી વધુ હશે કે ઓછો ?
- 11.15** ઓરડાનાં તાપમાને કેટલાક સામાન્ય વાયુઓ માટે મોલર વિશિષ્ટ ઉખાધારિતાનાં અવગાણવામાં નીચે આપેલા છે :

ગોસ	મોલર વિશિષ્ટ ઉખાધારિતા (C_v) (cal mol ⁻¹ K ⁻¹)
ધાઈઝોજન	4.87
નાઇટ્રોજન	4.97
ઓક્સિજન	5.02
નાઇટ્રિક ઓક્સાઈડ	4.99
કાર્બન મોનોક્સાઈડ	5.01
ક્લોરિન	6.17

આ વાયુઓ માટે આપેલ મોલર વિશિષ્ટ ઉભાધારિતાઓ એક પરમાણવિક વાયુની મોલર વિશિષ્ટ ઉભાધારિતાથી સ્પષ્ટ રીતે જુદી છે. પ્રતિકાત્મક રીતે એક પરમાણવિક વાયુની મોલર વિશિષ્ટ ઉભાધારિતા 2.92 cal/mol K છે. આ તફાવતનું સ્પષ્ટીકરણ કરો. કલોરિન માટે આ મૂલ્ય વધુ (બાકીના કરતાં) છે. તે માટે તમે શું નિર્જર્ખ તારવશો ?

11.16 કાર્બન ડાયોક્સાઈડ માટેના $P - T$ ફેઝ ડાયગ્રામ પર આધારિત નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

- ક્યા તાપમાને અને દબાણો CO_2 ના ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ અવસ્થાઓ સંતુલિત સ્થિતિમાં સહ અસ્તિત્વમાં હશે ?
- દબાણના ઘટાડા સાથે CO_2 ના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ પર શું અસર થશે ?
- CO_2 માટે કાંતિક તાપમાન અને દબાણ શું છે ? તેનું મહત્વ શું છે ?
- (i) -70°C તાપમાને અને 1 વાતાવરણ દબાણો
(ii) -60°C તાપમાને અને 10 વાતાવરણ દબાણો
(iii) 15°C તાપમાને અને 56 વાતાવરણ દબાણો
 CO_2 ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ પૈકી કઈ અવસ્થામાં હશે ?

11.17 CO_2 ના $P - T$ ફેઝ ડાયગ્રામને આધારે નીચેના પ્રશ્નોના જવાબ આપો :

- 1 વાતાવરણ દબાણો અને -60°C તાપમાને CO_2 નું સમતાપી સંકોચન કરવામાં આવે છે. શું તે પ્રવાહી અવસ્થામાં જશે ?
- CO_2 નું દબાણ 4 વાતાવરણ જેટલું અચળ રાખીને તેનું ઓરડાનાં તાપમાન સુધી ઠારણ કરાવવામાં આવે તો શું થાય ?
- 10 વાતાવરણ દબાણો અને -65°C તાપમાને આપેલ જથ્થાનાં ઘન CO_2 નું દબાણ અચળ રાખી ઓરડાનાં તાપમાને તેને ગરમ કરતાં થતાં ગુણાત્મક ફેરફારોનું વર્ણન કરો.
- CO_2 ને 70°C સુધી ગરમ કરી સમતાપી સંકોચન કરવામાં આવે છે. અવલોકન માટે તમે તેનાં ક્યા ગુણધર્મોમાં ફેરફારની અપેક્ષા રાખશો ?

11.18 101°F તાપમાન ધરાવતા એક બાળકને એન્ટિપાઇરિન (તાવ ઘટાડવા માટેની દવા) આપવામાં આવે છે. જેને કારણે તેના શરીરમાં પરસેવાનો બાધ્યાયનો સરેરાશ દર વધે છે. જો 20 મિનિટમાં તાવ 98°F સુધી નીચે આવી જાય છે તો દવા દ્વારા થતાં વધારાના બાધ્યાયનનો દર કેટલો હશે ? એમ સ્વીકારો કે ઉભાવ્યનો એકમાત્ર રસ્તો બાધ્યાયન છે. બાળકનું દ્રવ્યમાન 30 kg છે. માનવશરીરની વિશિષ્ટ ઉભાધારિતા આશરે પાણીની ઉભાધારિતા જેટલી જ છે. આ તાપમાને પાણીની બાધ્યાયન ગુપ્ત ઉભા 580 cal g^{-1} છે.

11.19 થરમોકોલના આઈસબોક્સમાં ઉનાળાની ઋતુમાં ઓછી માત્રામાં રાંધેલા ખોરાકને સાચવવાની રીત સસ્તી અને કાર્યક્ષમ છે. 30 cm^3 ની બાજુવાળા સમધન આઈસબોક્સની જાડાઈ 5.0 cm છે. જો 4.0 kg બરફને તેમાં મુકવામાં આવે તો 6 કલાક બાદ તેમાં રહેલા બરફનાં જથ્થાનો અંદાજ મેળવો. બહારનું તાપમાન 45°C છે. થરમોકોલની ઉભાવાહકતા $0.01 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ છે.

(પાણીની ગલનગુપ્ત ઉભા = $335 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}$)

11.20 0.15 m^2 પાયાનું ક્ષેત્રફળ ધરાવતા પિતળનાં બોઇલરની જાડાઈ 1.0 cm છે. તેને ગોસસ્ટવ પર મૂકતાં તે 6.0 kg/min ના દરથી પાણી ઉકાણે છે. બોઇલરનાં સંપર્કમાં રહેલી જ્યોતનાં તાપમાનનું અનુમાન કરો. પિતળની ઉભાવાહકતા = $109 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, પાણીની બાધ્યાયન ઉભા = $2256 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}$.

11.21 સ્પષ્ટતા કરો શા માટે :

- વધુ પરાવર્તકતા ધરાવતો પદાર્થ ઓછો ઉત્સર્જક હોય છે.
- ખૂબ ઠંડીના દિવસોમાં પિતળનું ટખ્ખાલર, લાકડાની ટ્રે કરતાં વધુ ઠંડુ લાગે છે.
- આદર્શ કાળા પદાર્થના વિકિરણ માટે જેનું અંકન કરવામાં આવ્યું છે, તેવું ઓસ્ટિકલ પાયરોમીટર (ઉંચા તાપમાન માપવા માટે) ખુલ્લામાં રાંધેલ ગરમ લાલચોળ લોખડાના ટુકડાનું તાપમાન નીચું દર્શાવે છે. પરંતુ તે જ લોખંડાના ટુકડાને ભકીમાં મૂકેલ હોય ત્યારે તાપમાનનું સાચું મૂલ્ય આપે છે.
- પૃથ્વી તેના વાતાવરણ વગર પ્રતિકૂળ રીતે ઠંડી થઈ જાય છે.
- બિલ્ડિંગને હુંકાણું રાખવા માટેનાં, ગરમ પાણીનાં ભ્રમણ પર આધારિત તાપયંત્રો કરતાં વરણ પરિભ્રમણ પર આધારિત તાપયંત્રો વધુ કાર્યક્ષમ હોય છે.

11.22 એક પદાર્થ 5 min માં 80°C થી 50°C સુધી ઠંડો થાય છે. તેને 60°C થી 30°C સુધી ઠંડો પાડવા માટે લાગતો સમય શોધો. પરિસરનું તાપમાન 20°C છે.