દ્રવ્ય-અવસ્થા - વાયુ અને પ્રવાહી

2.1 પ્રસ્તાવના
- પદાર્થની અવસ્થા તથા આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળો.

2.2 વાયુના નિયમો
- બૉઇલનો નિયમ
- નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાન
- ચાર્લ્સનો નિયમ
- ગેલ્યુસેકનો નિયમ

2.3 પ્રમાણભૂત તાપમાન અને દબાણ
- એવોગેડ્રોનો નિયમ
- સંયુક્ત વાયુ સમીકરણ

2.4 આદર્શવાયુ સમીકરણ અને વાયુ અચળાંક Rનાં મૂલ્યો
- આદર્શવાયુનો ખ્યાલ
- વાયુનું આદર્શ વર્તણૂકથી વિચલન
- વાયુનું પ્રવાહીકરણ, ક્રાંતિક તાપમાન
- ગતિજ-ઊર્જા અને અણુઓની ગતિ

2.5 ડાલ્ટનનો આંશિક દબાણનો નિયમ

2.6 ગ્રેહામનો વાયુ પ્રસરણનો નિયમ

2.7 એવોગેડ્રોનો અધિતર્ક

2.8 પ્રવાહી-અવસ્થા અને તેના ભૌતિક ગુણધર્મોનો ખ્યાલ
- નિશ્ચિત કદ, વહનશીલતા, અસંકોચન, પ્રસરણ, બાષ્પીભવન, બાષ્પદબાણ, પૃષ્ઠતાણ, સ્નિગ્ધતા

2.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

રસાયણશાસ્ત્રી સામાન્ય રીતે એકાકી અણુનો અભ્યાસ કરી શકતા નથી. તેઓ કુદરતમાં અસ્તિત્વ ધરાવતા અણુઓના સમૂહોનો અભ્યાસ કરે છે. **આ અણુઓનો સમૂહ જે દળ ધરાવે છે અને જગ્યા રોકે છે તેને દ્રવ્ય કહે છે.** દ્રવ્ય નાના કણોનું બનેલું છે. દ્રવ્યની ત્રણ અવસ્થાઓ હોય છે : ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ. અન્ય બે અવસ્થાઓ જાણીતી છે : પ્લાઝ્મા અને બોઝ-આઈન્સ્ટાઈન કન્ડેનસેટ.

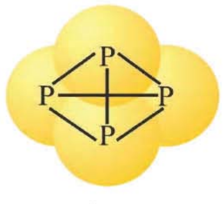
ઘન પદાર્થોને નિશ્ચિત કદ, ચોક્કસ આકાર અને પૃષ્ઠ હોય છે. પ્રવાહી પદાર્થોને નિશ્ચિત કદ અને પૃષ્ઠ હોય છે. તેમને પોતાનો સ્વતંત્ર આકાર હોતો નથી. તેમને જે પાત્રમાં ભરવામાં આવે છે, તે પાત્રનો આકાર ધારણ કરે છે. વાયુઓને નિશ્ચિત કદ, ચોક્કસ આકાર કે પૃષ્ઠ હોતાં નથી. તે પાત્રનો આકાર અને કદ પ્રાપ્ત કરે છે. તાપમાન બદલાતાં દ્રવ્યની ભૌતિક અવસ્થા (સ્થિતિ) બદલાતી રહે છે. દા.ત., 273 K તાપમાને H_2O ઘન સ્વરૂપે (બરફ), તેનાથી ઊંચા તાપમાને H_2O પ્રવાહી સ્વરૂપે (પાણી) અને 373 K તાપમાને વાયુ સ્વરૂપે (વરાળ) હોય છે. પદાર્થની ભૌતિક અવસ્થા બદલાય, તો તેના ભૌતિક ગુણધર્મોમાં ફેરફાર થાય છે. પણ તેના રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં ફેરફાર થતો નથી. કેટલીક વખત ભૌતિક અવસ્થા બદલાય, તો રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ બદલાય છે. વળી, રાસાયણિક ગણતરી કરતી વખતે પદાર્થની (પ્રક્રિયક અથવા નીપજ) ભૌતિક અવસ્થા જાણવી ખૂબ જ જરૂરી બને છે, તેથી પદાર્થની ભૌતિક અવસ્થા, તેના માટે અસરકર્તા પરિબળો અને તેને લગતા કેટલાક અગત્યના નિયમોનો અભ્યાસ કરવો જરૂરી બને છે. આ એકમમાં આપણે દ્રવ્યની વાયુ અને પ્રવાહી-અવસ્થાનો અભ્યાસ કરીશું. પદાર્થની અવસ્થા નક્કી કરનાર પરિબળો જેવાં કે આંતર-આણ્વિય બળો, આણ્વિય પારસ્પરિક ક્રિયા અને કણની ગતિ પર અસર કરતી ઉષ્મીય ઊર્જા છે. તેથી આ પરિબળોનો અભ્યાસ કરીશું.

પદાર્થની અવસ્થા તથા આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળો : અણુઓ વચ્ચે પ્રવર્તતાં અતિ નિર્બળ આકર્ષણબળોને આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળો (વાન્ ડર વાલ્સ આકર્ષણબળો) કહે છે, જે સાર્વત્રિક હોય છે. દ્રવ્યની બધી જ ભૌતિક

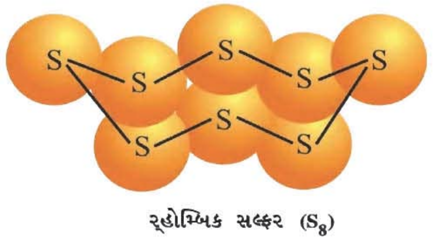
અવસ્થામાં આ બળો પ્રવર્તે છે, છતાં પદાર્થમાં રહેલા બીજા પ્રકારનાં પ્રબળ આકર્ષણબળોના (રાસાયણિક બંધ) પ્રભાવથી ઢંકાયેલા હોય છે. વાન્ ડર વાલ્સ બળો નીચેનાં પરિબળો પર આધાર રાખે છે : (1) અણુઓના આકાર (2) અણુઓમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા (3) અણુઓની સંપર્કસપાટીનું ક્ષેત્રફળ (4) સરેરાશ આંતર-આણ્વિય અંતર.

આ પરિબળો પદાર્થના ભૌતિક ગુણધર્મો જેવા કે ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ પર અસર કરે છે. દા.ત.,

(1) પીળો ફૉસ્ફરસ (P_4)નું ગલનબિંદુ ર્‌હોમ્બિક સલ્ફર (S_8) કરતાં ઓછું છે. તેનું કારણ નીચે દર્શાવેલા બંધારણથી સમજી શકાય છે. પીળો ફૉસ્ફરસ(P_4)નો અણુ ચાર P પરમાણુઓનો બનેલો છે. જેમાં કુલ ઇલેક્ટ્રૉન સંખ્યા $15 \times 4 = 60$ હોય છે. જ્યારે ર્‌હોમ્બિક સલ્ફર (S_8)નો અણુ આઠ S પરમાણુઓનો બનેલો છે, જેમાં કુલ ઇલેક્ટ્રૉન-સંખ્યા $16 \times 8 = 128$ હોય છે. (P_4)નું આણ્વિય કદ અને સંપર્કસપાટીનું ક્ષેત્રફળ S_8 કરતાં ઓછું હોવાથી P_4માં રહેલા વાન્ ડર વાલ્સ આકર્ષણબળોની પ્રબળતા S_8 કરતાં ઓછી હોવાથી પીળા ફૉસ્ફરસ (P_4)નું ગલનબિંદુ ર્‌હોમ્બિક સલ્ફર (S_8) કરતાં નીચું હોય છે.



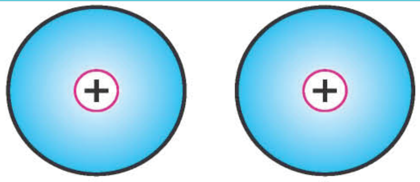
પીળો ફૉસ્ફરસ (P_4)



ર્‌હોમ્બિક સલ્ફર (S_8)

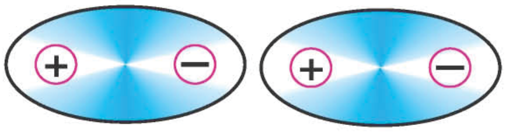
વાન્ ડર વાલ્સ આકર્ષણ બળ જુદા-જુદા પ્રકારનાં જેવાં કે (1) વિક્ષેપનબળ અથવા લંડનબળ (2) દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ અને (3) પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ છે.

(1) વિક્ષેપનબળ અથવા લંડનબળ : આ પ્રકારના આકર્ષણબળનો સૌપ્રથમ પ્રસ્તાવ જર્મન વૈજ્ઞાનિક ફ્રિત્ઝ લંડને (Fritz London) કર્યો હોવાથી તેને લંડનબળ તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. સામાન્ય રીતે પરમાણુઓ કે અધ્રુવીય અણુઓમાં તેમનાં ઇલેક્ટ્રૉનીય વીજભારનું વાદળ એકસરખી રીતે વહેંચાયેલું હોય છે. હવે આવા અણુમાં કે



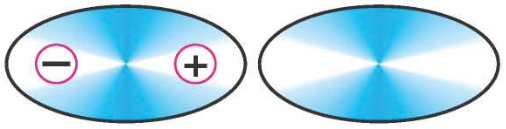
પરમાણુ - I પરમાણુ - II

આકૃતિ 2.1 (i) બંને પરમાણુમાં વિદ્યુતવાદળ એકસરખી રીતે વહેંચાયેલું છે.



પરમાણુ - I પરમાણુ - II

આકૃતિ 2.1 (ii) પરમાણુ I માં ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતા જમણી બાજુ વધારે છે. પરમાણુ II માં તેની અસર વર્તાય છે.



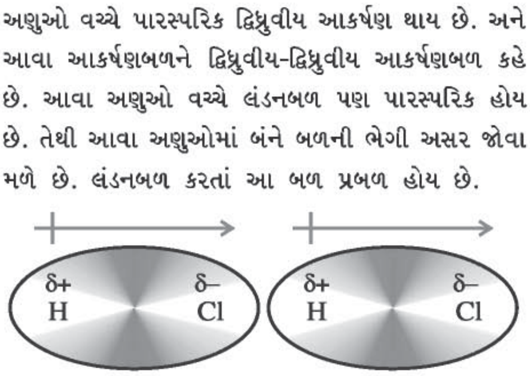
પરમાણુ - I પરમાણુ - II

આકૃતિ 2.1 (iii) પરમાણુ I માં ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતા ડાબી બાજુ વધારે છે. પરમાણુ II માં તેની અસર વર્તાય છે.

પરમાણુમાં કામચલાઉ ક્ષણિક દ્વિધ્રુવીયતા ઉદ્ભવે છે. તેને નીચે મુજબ સમજાવી શકાય. આકૃતિ 2.1 (i)માં દર્શાવ્યા મુજબ બે પરમાણુમાં (પરમાણુ I અને પરમાણુ II) ઇલેક્ટ્રૉનનું વિદ્યુતવાદળ એકસરખી રીતે વહેંચાયેલું છે. આવા બે પરમાણુ જ્યારે એકબીજાની નજીક આવે છે. ત્યારે એવું બને છે કે એક પરમાણુમાં (પરમાણુ I) ઇલેક્ટ્રૉનના વીજભારની ઘનતામાં ક્ષણિક વિક્ષેપન થતાં, આકૃતિ 2.1 (ii)માં દર્શાવ્યા મુજબ ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતા જમણા છેડા તરફ વધુ પ્રબળ થાય છે. તેનો ડાબો છેડો તેની ઊણપ અનુભવે છે, તેથી પરમાણુ I કામચલાઉ દ્વિધ્રુવીય બને છે. હવે તેના સંપર્કમાં આવતા બીજા પરમાણુમાં (પરમાણુ II) તેની અસર વર્તાતાં તેમાં રહેલી એકસરખી ઇલેક્ટ્રૉન ઘનતામાં વિક્ષેપ પડે છે. અને પરમાણુ IIમાં દ્વિધ્રુવીય લક્ષણ પ્રેરિત થાય છે. પરમાણુ Iનો જમણો છેડો જ્યાં ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતા વધુ છે, તે છેડાના સંપર્કમાં આવતા પરમાણુ IIના છેડે ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતામાં ઊણપ વર્તાય છે. તેના બીજા છેડે ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતા વધે છે. આમ પરમાણુમાં કામચલાઉ દ્વિધ્રુવીયતા ઉદ્ભવતાં પરમાણુ I અને પરમાણુ IIના અસમાન ધ્રુવ સંપર્કમાં આવતાં કામચલાઉ આકર્ષણ બળ ઉદ્ભવે છે. આવી જ રીતે આકૃતિ 2.1 (iii)માં દર્શાવેલ કામચલાઉ આકર્ષણબળ

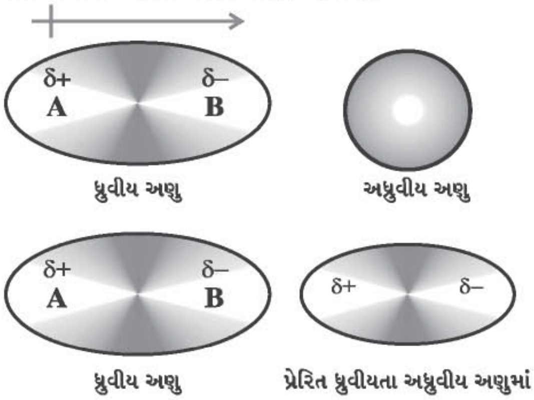
સમજાવી શકાય. આવાં કામચલાઉ આકર્ષણબળ આ પ્રમાણે બે અણુઓમાં પણ સમજાવી શકાય. આ પ્રકારના આકર્ષણ બળમાં એક અણુ કે પરમાણુના ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતામાં ક્ષણિક વિક્ષેપન પડતાં તેની અસર નજીકમાં આવેલા અણુ કે પરમાણુમાં પણ ઇલેક્ટ્રૉન ઘનતામાં વિક્ષેપન થાય છે. તેથી આ અસરને કારણે ઉદ્ભવતા આકર્ષણબળને વિક્ષેપનબળ કહે છે.

(2) દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ : વિદ્યુતઋણતામાં વધુ તફાવત ધરાવતા પરમાણુઓથી બનેલા અણુઓ હંમેશાં દ્વિધ્રુવીય હોય છે. આવા કાયમી દ્વિધ્રુવીય અણુઓમાં જે પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા વધુ હોય તે હંમેશાં આંશિક ઋણવીજભાર (–δ) અને ઓછી વિદ્યુતઋણતા ધરાવતો પરમાણુ આંશિક ધનવીજભાર (+δ) ધરાવે છે. આંશિક વીજભારનું મૂલ્ય હંમેશાં વિદ્યુતીય વીજભાર એકમ 1.6×10^{-19} C કરતાં ઓછું હોય છે. હવે આવા દ્વિધ્રુવીય અણુઓમાં વિરુદ્ધ આંશિક વીજભાર ધરાવતા પરમાણુઓના છેડાઓ વચ્ચે આકર્ષણ થાય છે. દા.ત., આકૃતિ 2.2માં દર્શાવ્યા મુજબ HClના અણુમાં હાઇડ્રોજન પરમાણુ કરતાં ક્લોરિન પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા વધુ હોવાથી હાઇડ્રોજન પરમાણુ આંશિક ધનવીજભાર અને ક્લોરિન પરમાણુ આંશિક ઋણવીજભાર પ્રાપ્ત કરે છે. તેથી HClના બે અણુઓ વચ્ચે પારસ્પરિક દ્વિધ્રુવીય આકર્ષણ થાય છે. અને આવા આકર્ષણબળને દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય આકર્ષણબળ કહે છે. આવા અણુઓ વચ્ચે લંડનબળ પણ પારસ્પરિક હોય છે. તેથી આવા અણુઓમાં બંને બળની ભેગી અસર જોવા મળે છે. લંડનબળ કરતાં આ બળ પ્રબળ હોય છે.



આકૃતિ 2.2 HClના અણુઓમાં દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય પારસ્પરિક આકર્ષણબળ

(3) દ્વિધ્રુવીય-પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય બળ : દ્વિધ્રુવીય અણુ જ્યારે અધ્રુવીય અણુની નજીક આવે છે, ત્યારે આ પ્રકારનાં આકર્ષણબળ જોવા મળે છે દ્વિધ્રુવીય અણુમાં હંમેશાં ઇલેક્ટ્રૉનના વાદળની ઘનતા અસમાન રીતે વહેંચાયેલી હોય છે. આવા દ્વિધ્રુવીય અણુની નજીક અધ્રુવીય અણુ આવતાં અધ્રુવીય અણુમાં પણ ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતામાં અસમાનતા પ્રેરિત થાય છે, જે નીચે મુજબ સમજાવી શકાય. આકૃતિ 2.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે AB ધ્રુવીય અણુમાં જો તેના $B^{\delta-}$ છેડા તરફ નજીકમાં અધ્રુવીય અણુ સંપર્કમાં આવે તો, સંપર્કમાં આવતા અધ્રુવીય અણુના છેડા તરફ આંશિક ધનવીજભાર પ્રેરિત થાય છે અને વિરુદ્ધ છેડો આંશિક ઋણવીજભારવાળો બનતાં તેમાં દ્વિધ્રુવીયતા પ્રેરિત થાય છે. પરિણામે દ્વિધ્રુવીય અણુ અને અધ્રુવીય અણુમાં પ્રેરિત થયેલ દ્વિધ્રુવીયતાને કારણે તેમની વચ્ચે આકર્ષણ ઉદ્ભવે છે. આ પ્રકારના આકર્ષણબળને દ્વિધ્રુવીય પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય આકર્ષણબળ કહે છે. આ પ્રકારના અણુઓમાં પણ લંડનબળ પારસ્પરિક હોય છે, તેથી આ પ્રકારના અણુમાં બંને બળની ભેગી અસર જોવા મળે છે.



આકૃતિ 2.3 દ્વિધ્રુવીય-પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય બળ

હાઇડ્રોજન-બંધ : આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળમાં આ અગત્યનું આકર્ષણબળ છે. પાંચમા, છઠ્ઠા અને સાતમા સમૂહનાં પ્રથમ તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતા વધુ હોવાથી હાઇડ્રોજન સાથે જોડાઈને બનતાં હાઇડ્રાઇડ સંયોજનોમાં હાઇડ્રોજનબંધ જોવા મળે છે, ત્યારે તેવા અણુઓમાં પારસ્પરિક દ્વિધ્રુવીય આકર્ષણબળના કારણે તેના સમૂહનાં તત્ત્વો કેટલાક ગુણધર્મોમાં વિચલન દર્શાવે છે. હાઇડ્રોજન-બંધની ઊર્જા 10 થી 100 કિ જૂલ મોલ$^{-1}$ જેટલી હોય છે. આમ, તે નિર્બળ આકર્ષણબળ છે.

હવે આંતર-આણ્વિય અપાકર્ષણબળનો અભ્યાસ કરીશું. જ્યારે બે પરમાણુઓ કે અણુઓ એકબીજાની નજીક આવે છે ત્યારે તેમાં આવેલા ઇલેક્ટ્રૉનનાં વાદળ વચ્ચે સમાન વીજભારને લીધે અપાકર્ષણ થાય છે. તેમજ બંનેના કેન્દ્ર વચ્ચે પણ અપાકર્ષણ થાય છે. બે અણુઓ કે પરમાણુઓ વચ્ચેનું અંતર ઘટતાં આ અપાકર્ષણબળની પ્રબળતામાં ખૂબ જ ઝડપથી વધારો થાય છે. તેથી જ વાયુઓ પર દબાણની અસર વધુ થાય છે. જ્યારે પ્રવાહીમાં ઓછી અને ઘન અવસ્થામાં ખૂબ જ ઓછી અથવા નહિવત્ અસર થાય છે. ઘન અવસ્થામાં અણુઓ પહેલેથી વાયુ-અવસ્થાની સરખામણીમાં નજીક ગોઠવાયેલા હોય છે. તેથી હવે દબાણ લગાડવાથી ઘન અવસ્થામાં અણુઓ વધુ નજીક જતા નથી,

કારણ કે અણુઓ નજીક હોવાથી તેમાં અપાકર્ષણ હોય છે. વધુ નજીક લઈ જવામાં આવે તો અપાકર્ષણબળ વધી જાય. તેથી અણુઓનું નજીક જવું અટકી જાય છે. એટલે કે ઘન અવસ્થામાં દબાણની અસર ખૂબ જ ઓછી થાય છે. હવે પ્રવાહી અવસ્થામાં અણુઓ ઘન અવસ્થાની સરખામણીમાં થોડા દૂર ગોઠવાયેલા હોવાથી તેના પર દબાણની અસર થતાં, અણુઓ થોડા નજીક જાય છે. તેથી પ્રવાહી પર દબાણની અસર થોડી વર્તાય છે. 293 K તાપમાને પાણી ઉપર 1000 બાર દબાણ આપવામાં આવે, તો તેનુ કદ માત્ર 4% જેટલું ઘટે છે. હવે વાયુ-અવસ્થામાં અણુઓ ખૂબ જ દૂર ગોઠવાયેલા હોવાથી દબાણ લગાડતાં અણુઓ નજીક આવે છે. તેથી વાયુ-અવસ્થા પર દબાણની અસર મહત્તમ થાય છે.

દ્રવ્યની ભૌતિક અવસ્થા નક્કી કરતું અગત્યનું પરિબળ ઉષ્મીય ઊર્જાની અણુઓની ગતિ પર થતી અસર છે. અણુઓ કે પરમાણુઓની ગતિના કારણે ઉદ્ભવતી ઊર્જાને તેની ઉષ્મીય ઊર્જા કહે છે. તેનો આધાર પદાર્થના તાપમાન પર છે. જેમ તાપમાન વધુ તેમ અણુ કે પરમાણુની ગતિ વધે છે. આ ગતિને ઉષ્મીય ગતિ (Thermal motion) પણ કહે છે.

હવે આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળ અણુને એકબીજાની નજીક ગોઠવણીનું વલણ ધરાવે છે, જ્યારે ઉષ્મીય ઊર્જા અણુને એકબીજાથી દૂર ગોઠવણીનું વલણ ધરાવે છે તેથી આ બંને વિરુદ્ધ પરિબળો વચ્ચેના સમતુલિત સમન્વયથી દ્રવ્યની ભૌતિક અવસ્થા ઘન, પ્રવાહી કે વાયુ નક્કી થાય છે. વાયુ-અવસ્થા ધરાવતા અણુઓમાં માત્ર આકર્ષણને કારણે અણુ નજીક ગોઠવાયેલા હોવાથી તે વાયુમાંથી પ્રવાહી કે ઘન અવસ્થા આપમેળે પ્રાપ્ત કરતી નથી, કારણ કે પ્રવાહી કે ઘન અવસ્થાને અનુરૂપ તેની ઉષ્મીય ઊર્જામાં પણ ઘટાડો થવો જરૂરી છે. આમ, માત્ર વાયુના સંકોચનથી તેનું ઘન કે પ્રવાહી અવસ્થામાં પરિવર્તન થતું નથી. પરંતુ વાયુનું તાપમાન નીચું લઈ જતાં તેની ઉષ્મીય ઊર્જામાં ઘટાડો થતાં તેનું સરળતાથી પ્રવાહીકરણ કરી શકાય છે. વાયુ-અવસ્થામાં અણુઓ વચ્ચે નિર્બળ આકર્ષણ હોવાથી તેની લાક્ષણિકતાઓ નીચે મુજબ છે :

(i) વાયુઓને ચોક્કસ આકાર, કદ અને સપાટી (પૃષ્ઠ) નથી. તે જે પાત્રમાં ભરવામાં આવે છે, તે પાત્રનો આકાર અને કદ પ્રાપ્ત કરે છે.

(ii) વાયુઓ સંકોચનનો ગુણધર્મ ધરાવતા હોવાથી તેના પર દબાણની અસર થાય છે, તેમજ તાપમાનની પણ અસર થાય છે.

(iii) વાયુના અણુઓ દરેક દિશામાં એકસરખું દબાણ કરે છે અને દરેક દિશામાં એકસરખી રીતે પ્રસરણ પામે છે.

(iv) વાયુઓ એકબીજામાં આપમેળે, એકસરખી રીતે સરળતાથી મિશ્ર થાય છે.

(v) ઘન અને પ્રવાહીની ઘનતા કરતાં વાયુની ઘનતા ખૂબ જ ઓછી હોય છે.

પદાર્થની ત્રણ અવસ્થામાંથી વાયુ-અવસ્થા સૌથી સાદી અવસ્થા છે, કારણ કે આ અવસ્થામાં અણુઓ વચ્ચે આકર્ષણબળ નહિવત્ છે અને તેની વર્તણૂકમાં સામ્ય દર્શાવે છે. જુદા-જુદા વાયુઓના રાસાયણિક ગુણધર્મો જુદા-જુદા હોય છે. છતાં પણ તેમની વર્તણૂકમાં સામ્ય જોવા મળે છે. તેમની વર્તણૂકને દળ, કદ, તાપમાન અને દબાણના જથ્થાત્મક સંબંધ વડે વર્ણવી શકાય છે, આ સંબંધોને પ્રાયોગિક અભ્યાસથી શોધવામાં આવ્યા છે. આવા સંબંધોને વાયુના નિયમો કહે છે. વાયુઓ માટે કેટલાક નિયમો ઉપજાવી શકાયા છે. જ્યારે પ્રવાહી માટે તેથી ઓછા અને ઘન માટે આવા નિયમો ઘણા જ ઓછા ઉપજાવી શકાયા છે.

2.2 વાયુના નિયમો (The Gas Laws)

નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુના કદનો આધાર તેના તાપમાન અને દબાણ પર હોય છે. આ બંને પરિબળો જુદા-જુદા સ્થળે અને વાતાવરણમાં ફેરફાર થતાં બદલાતા રહે છે. તેથી વાયુનું કદ અને તેના પર અસર કરનાર પરિબળો વચ્ચેનો સંબંધ સમજાવો જરૂરી છે. આ સંબંધના અભ્યાસ પરથી વાયુના નિયમો ઉપજાવવામાં આવ્યા છે.

બૉઈલનો નિયમ : 1662માં વૈજ્ઞાનિક રૉબર્ટ બૉઈલે (Robert Boyle) નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે અચળ તાપમાને તેના દબાણ અને કદ વચ્ચેના સંબંધનો અભ્યાસ કરવા પ્રયોગ કર્યા. અંતે પ્રયોગોના અવલોકન પરથી વાયુના દબાણ અને કદ વચ્ચેનો સંબંધ રજૂ કર્યો. તેને બૉઈલનો નિયમ કહે છે. તે નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

"નિશ્ચિત તાપમાને, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું દબાણ (P), તેના કદ (V) ના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે." ગાણિતીક રીતે બૉઈલનો નિયમ નીચે મુજબ લખી શકાય :

$$P \propto \frac{1}{V} \quad \text{(નિશ્ચિત તાપમાન, નિશ્ચિત જથ્થો)}$$

$$\therefore \; P = K \cdot \frac{1}{V}$$

જ્યાં K સપ્રમાણતા અચળાંક છે અને તેનો આધાર વાયુના તાપમાન અને જથ્થા પર છે.

$$PV = K$$

આથી બૉઈલના નિયમ પરથી એમ કહી શકાય કે "નિયત તાપમાને, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુના દબાણ અને કદનો ગુણાકાર અચળ હોય છે."

હવે નિયત તાપમાને નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુની પ્રારંભિક સ્થિતિએ દબાણ અને કદ અનુક્રમે P_1 અને V_1 છે તથા અંતિમ સ્થિતિએ P_2 અને V_2 થાય, તો બૉઈલના નિયમ પ્રમાણે,

$$P_1V_1 = K \quad (1)$$

$$P_2V_2 = K \quad (2)$$

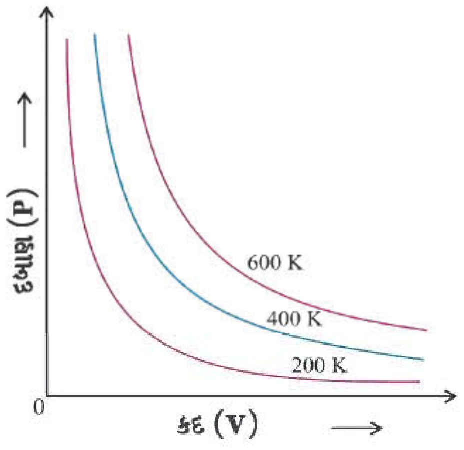
સમીકરણ (1) અને (2) પરથી,

$$\therefore P_1V_1 = P_2V_2 = K$$

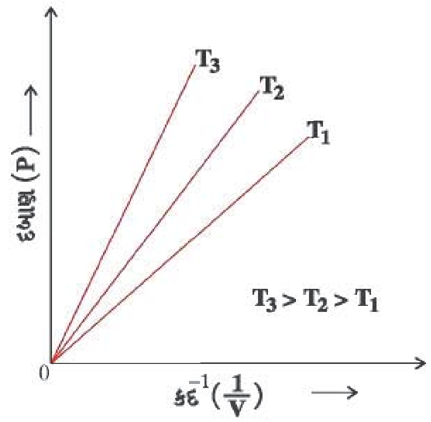
(નિયત તાપમાન-નિશ્ચિત જથ્થો)

બૉઈલનો નિયમ આલેખ દ્વારા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

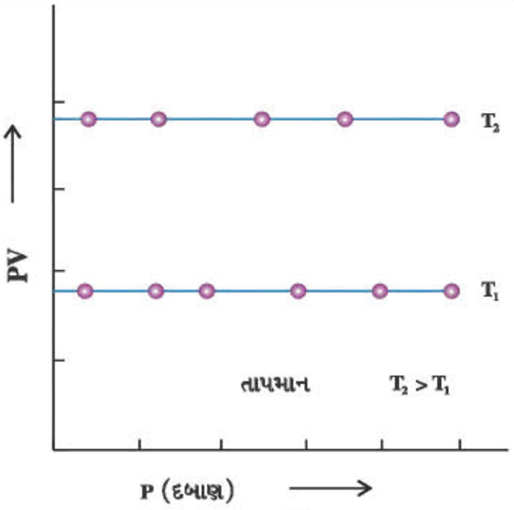
આકૃતિ 2.4 માં જુદા-જુદા અચળ તાપમાને નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે દબાણ અને કદ વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવતો આલેખ છે. આ આલેખને સમતાપી વક્ર (Isotherm)કહે છે. જુદા-જુદા અચળ તાપમાન માટે પ્રાપ્ત થતાં સમતાપી



આકૃતિ 2.4 આલેખ I



આકૃતિ 2.5 આલેખ II



આકૃતિ 2.6 આલેખ III

વક્ર માટે આલેખ પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે કોઈ એક અચળ તાપમાને વાયુનું દબાણ વધે તો તેના કદમાં ઘટાડો થાય છે અને કદ વધે તો દબાણમાં ઘટાડો થાય છે. એટલે કે દબાણ અને કદનો ગુણાકાર અચળ બને છે. પરંતુ તાપમાન બદલાય તો PV = Kમાં Kનું મૂલ્ય પણ બદલાય છે આલેખ III પરથી આ સ્પષ્ટ થાય છે.

વાયુ માટે તેની ઘનતા અને દબાણના સંબંધ ને દર્શાવતું સૂત્ર બૉઈલના નિયમ ઉપરથી નીચે મુજબ મેળવી શકાય :

બૉઈલના નિયમ મુજબ PV = K..... (2.1)

હવે ઘનતા $d = \frac{m}{V}$

$\therefore V = \frac{m}{d}$ સમીકરણ (2.1)માં મૂકતાં

$$p \cdot \frac{m}{d} = K$$

$$\therefore d = \left(\frac{m}{K}\right) \cdot P$$

પરંતુ નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે m અચળ હોવાથી $\left(\frac{m}{K}\right)$ નું મૂલ્ય પણ અચળ થશે, તેથી તેને K' વડે રજૂ કરતાં,

$$\therefore d = K' \cdot P \quad \therefore d \propto P$$

હવે $\frac{d}{P} = K'$ હોવાથી $\frac{d_1}{P_1} = \frac{d_2}{P_2}$ લખી શકાય.

આમ ઘનતા અને દબાણનો સંબંધ બૉઈલના નિયમ વડે તારવતાં, નીચે મુજબ લખી શકાય :

"નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે અચળ તાપમાને વાયુની ઘનતા તેના દબાણને સમપ્રમાણમાં હોય છે."

આ સંબંધ વ્યવહારુ ઉદાહરણ સમજવા માટે ઉપયોગી છે. દા.ત., માઉન્ટ આબુ ઉપર હવાનું દબાણ ઘટે છે. (લગભગ 0.5 બાર) તેથી હવાનું દબાણ ઘટતાં હવાની ઘનતા પણ ઘટશે, તેથી હવામાં રહેલા O_2 વાયુની ઘનતામાં પણ ઘટાડો થતાં શ્વાસ લેવામાં મુશ્કેલી પડે છે. તેવી જ રીતે ઊંચે ઊડતા વિમાનમાં પણ આવી જ મુશ્કેલી પડતી હોવાથી વિમાનમાં કૃત્રિમ રીતે હવાનું દબાણ જાળવવા પ્રયત્ન થયેલો હોય છે. છતાં પણ સંજોગોવશાત્ શ્વાસ લેવામાં તકલીફ પડે, તો O_2 વાયુની પણ ગોઠવણી કરેલી હોય છે.

દાખલો 1 : નિયત તાપમાને નિશ્ચિત જથ્થાના ક્લોરિન વાયુના એક નમૂનાને 2.5 લિટરના પાત્રમાં ભરવાથી તેનું દબાણ 4 બાર માલૂમ પડે છે. જો આ વાયુનું દબાણ 10 બાર કરવામાં આવે તો તેનું કદ કેટલું થશે ?

ઉકેલ :

બૉઇલના નિયમ મુજબ

$P_1V_1 = P_2V_2$

$P_1 = 4$ બાર, $V_1 = 2.5$ લિટર

$P_2 = 10$ બાર, $V_2 = ?$

$\therefore V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$

$= \frac{4 \text{ બાર} \times 2.5 \text{ લિટર}}{10 \text{ બાર}}$

$= 1$ લિટર

$\therefore$ ક્લોરિન વાયુનું કદ 1 લિટર થશે.

દાખલો 2 : નિયત તાપમાને, નિશ્ચિત જથ્થાનો O_2 વાયુ 200 મિલિબાર દબાણે 200 મિલિ કદ ધરાવતી બૉટલમાં ભર્યો છે. જો આ વાયુને 2 લિટર કદની બૉટલમાં ભરવામાં આવે તો વાયુનું દબાણ કેટલું થશે ?

ઉકેલ : બૉઇલના નિયમ મુજબ

$P_1V_1 = P_2V_2$

$P_1 = 200$ મિલિબાર, $V_1 = 200$ મિલિ

$P_2 = ?$, $V_2 = 2$ લિટર $= 2000$ મિલિ

$\therefore P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2}$

$= \frac{200 \times 200}{2000}$

$= 20$ મિલિબાર

$\therefore O_2$ વાયુનુ દબાણ 20 મિલિબાર થશે.

દાખલો 3 : સમુદ્રની સપાટી ઉપર અજ્ઞાત વાયુની ઘનતા 1.5 મિલિગ્રામ લિટર$^{-1}$ હોય તો, માઉન્ટ આબુ ઉપર 0.5 બાર દબાણે અજ્ઞાત વાયુની ઘનતા કેટલી થશે ?

ઉકેલ : સમુદ્રની સપાટી પર અજ્ઞાત વાયુનું દબાણ 1 બાર હોય છે.

હવે બૉઇલના નિયમ મુજબ,

$\frac{d_1}{P_1} = \frac{d_2}{P_2}$

$d_1 = 1.5$ મિલિગ્રામ લિટર$^{-1}$, $d_2 = ?$,

$P_1 = 1$ બાર, $P_2 = 0.5$ બાર

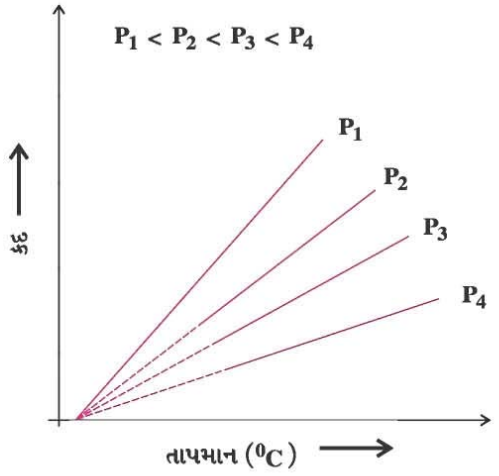
$\therefore d_2 = \frac{d_1 P_2}{P_1}$

$= \frac{1.5 \times 0.5}{1}$

$= 0.75$ મિલિગ્રામ લિટર$^{-1}$

$\therefore$ અજ્ઞાત વાયુની ઘનતા 0.75 મિલિગ્રામ લિટર$^{-1}$ થશે.

નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાન : નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે, અચળ દબાણે વાયુનું તાપમાન બદલાતાં તેના કદમાં થતો ફેરફાર સમજવા માટે પ્રયોગો કરી, અવલોકનો મેળવવામાં આવ્યાં. અવલોકનોના આધારે વાયુના કદ અને તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ મેળવી શકાયો. તેને ચાર્લ્સનો નિયમ (Charles law) કહે છે. આ પરિણામોનાં પૃથક્કરણ પરથી તાપમાનના નિરપેક્ષ માપક્રમનો વિચાર ઉદ્ભવ્યો હતો. તાપમાન અને કદના અવલોકન પરથી પ્રાપ્ત થયેલાં મૂલ્યોને આલેખમાં દર્શાવતાં આલેખ આકૃતિ 2.7 મળે છે.



આકૃતિ 2.7 કદ → તાપમાન (°C)

નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે અચળ દબાણે તાપમાન ઘટાડવાથી કદ ઘટે છે અને તાપમાન વધારવાથી કદ વધે છે. આમ, કદ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે. પ્રાયોગિક અવલોકન પરથી કદ અને તાપમાન દર્શાવતા આલેખને નીચા તાપમાન

તરફ લંબાવતાં તે -273.15^0 સે તાપમાને X-ધરીને છેદે છે. તે દર્શાવે છે કે સૈદ્ધાંતિક રીતે -273.15^0 સે તાપમાને વાયુનું કદ શૂન્ય થવું જોઈએ અને હજુ પણ તેનાથી નીચા તાપમાને વાયુનું કદ ઋણ બનશે, જે અર્થ વગરનું છે. આમ, -273.15^0 સે તાપમાન જ્યાં વાયુનું કદ શૂન્ય માનવામાં આવે છે. તે તાપમાનને નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાન કહે છે. નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાનનો ખ્યાલ બ્રિટિશ વૈજ્ઞાનિક લૉર્ડ કેલ્વિન (Lord Kelvin)ને આવ્યો હોવાથી આ નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાનને કેલ્વિન તાપમાન પણ કહે છે. તેને K સંજ્ઞા વડે દર્શાવાય છે. કેલ્વિન તાપમાન લખતી વખતે ડિગ્રી સંજ્ઞા વપરાતી નથી. સેલ્સિયસ અને કેલ્વિન તાપમાનની સરખામણી કરતાં, તેનો સંબંધ નીચે પ્રમાણે મળે છે :

$- 273.15^0$ સે $= 0\,K$

હવે બંને બાજુ 273.15 ઉમેરતાં

0^0 સે $= 273.15\ K$

1^0 સે $= (1 + 273.15)\ K$

$\therefore\ t^0$ સે $= (t + 273.15)\ K$ થશે, જે સેલ્સિયસ અને કેલ્વિન તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ છે. આ સંબંધ તાપમાન દર્શાવવા માટેનો નવો માપક્રમ પણ દર્શાવે છે. તેને કેલ્વિન માપક્રમ પણ કહે છે. નિરપેક્ષ તાપમાન અને વાયુના કદનો સંબંધ પ્રાયોગિક અવલોકનના અંતે પ્રાપ્ત થયો. તેને ચાર્લ્સનો નિયમ કહે છે. સરળતા માટે 273.15 મૂલ્યના સ્થાને લગભગ 273 મૂલ્ય લેતાં,

t^0 સે $= (t + 273)\ K$ થશે.

કેલ્વિન એકમને તાપમાનના SI એકમ તરીકે સ્વીકારવામાં આવે છે.

ચાર્લ્સનો નિયમ : 1787માં વૈજ્ઞાનિક ચાર્લ્સે (Charles) વાયુ માટે કેટલાક પ્રયોગ કરીને, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે અચળ દબાણે વાયુના કદ પર નિરપેક્ષ તાપમાનની અસરનો સંબંધ મેળવ્યો, તેને ચાર્લ્સનો નિયમ કહે છે.

ચાર્લ્સ અને ગેલ્યુસેકે કેટલાંક પ્રાયોગિક અવલોકનો દ્વારા શોધી કાઢ્યું કે, "અચળ દબાણે, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુના તાપમાનમાં 1^0 સે નો વધારો કે ઘટાડો કરતાં તેના કદમાં થતા ફેરફારનું મૂલ્ય 0^0 સે તાપમાને વાયુના અસલ કદના $\frac{1}{273}$ મા ભાગ જેટલું હોય છે."

હવે ધારો કે 0^0 સે તાપમાને વાયુનું કદ V_0 છે. તેથી તેનું તાપમાન એક ડિગ્રી સેલ્સિયસ વધારતાં વાયુના કદમાં થતો વધારો $(V_0 \times \frac{1}{273})$ થશે અને t^0 સે તાપમાનનો વધારો કરતાં, વાયુના કદમાં થતો વધારો $(V_0 \times \frac{t}{273})$ થશે. તેથી t^0 સે તાપમાને વાયુનું કદ $\left(V_0 + \frac{V_0 \times t}{273}\right)$ થશે.

$$\therefore\ V_t = \left(V_0 + \frac{V_0 \times t}{273}\right)$$

$$= V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

$$= V_0 \left(\frac{273 + t}{273}\right)$$

પરંતુ $t + 273 = T_t$ કેલ્વિન તાપમાન મૂકતાં અને 273 માટે T_0 મૂકતાં,

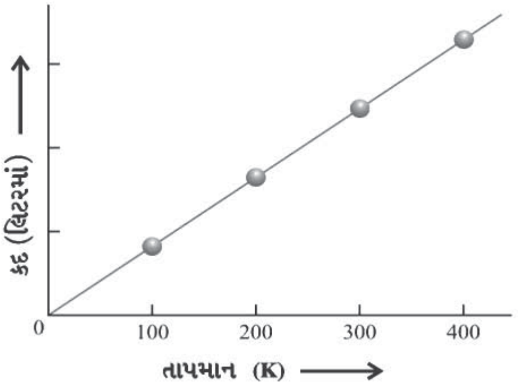
$$V_t = V_0\left(\frac{T_t}{T_0}\right)$$

$$V_t = \left(\frac{V_0 T_t}{T_0}\right)$$

$$\frac{V_t}{V_0} = \frac{T_t}{T_0} = K \text{ અથવા } \frac{V_t}{T_t} = \frac{V_0}{T_0} = K$$

$\therefore\ \frac{V}{T} = K$, $V = KT$ અથવા $V \alpha T$ (નિશ્ચિત જથ્થો અચળ દબાણ). તેથી ચાર્લ્સના નિયમને નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

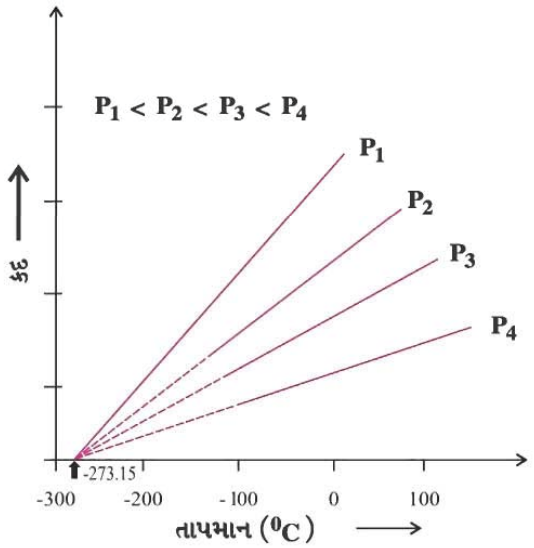
"અચળ દબાણે, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું કદ તેના નિરપેક્ષ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે."



આકૃતિ 2.8 ચાર્લ્સનો નિયમ
કદ → તાપમાન (K)

હવે અચળ દબાણે, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું પ્રારંભિક સ્થિતિએ કદ અને નિરપેક્ષ તાપમાને અનુક્રમે V_1 અને T_1 છે. અને અંતિમ સ્થિતિએ V_2 અને T_2 થાય, તો ચાર્લ્સના નિયમ મુજબ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ થશે.

ચાર્લ્સના નિયમને આલેખ દ્વારા નીચે મુજબ દર્શાવી શકાય. અહીં આપેલી આકૃતિ 2.5 પરથી કહી શકાય કે અચળ દબાણે નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું કદ તેના નિરપેક્ષ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે. જે સીધી રેખા દર્શાવે છે. જુદા-જુદા દબાણે $\frac{V}{T} = K$ અચળાંકનાં મૂલ્યો જુદાં-જુદાં હોય છે. તે આકૃતિ 2.9માં દર્શાવેલ છે આકૃતિમાં $P_1 < P_2 < P_3 < P_4$ છે.



આકૃતિ 2.9 કદ → તાપમાન (^0C)

દાખલો 4 : 127^0 સે તાપમાને O_2 વાયુનું કદ 3 લિટર છે. જો તેનું કદ અડધું કરવું હોય તો તેનું તાપમાન કેટલું કરવું પડે ?

ઉકેલ : ચાર્લ્સના નિયમ મુજબ

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$V_1 = 3$ લિટર, $V_2 = \frac{3}{2}$ લિટર

$T_1 = 127 + 273 = 400$ K, $T_2 = ?$

$$\therefore T_2 = \frac{V_2 \, T_1}{V_1}$$

$$= \frac{1.5 \times 400}{3}$$

$= 200$ K

$\therefore t_2^0 = T_2 - 273 = 200 - 273 = -73^0$ સે.

$\therefore O_2$ વાયુનું તાપમાન -73^0 સે કરવું પડે.

દાખલો 5 : અચળ દબાણે અને 125^0 સે તાપમાને 2 લિટર કદના પાત્રમાં હિલિયમ વાયુ ભરેલો છે. તેનું તાપમાન સેલ્સિયસમાં બે ગણું કરતાં, તેને કેટલા લિટર કદના પાત્રમાં ભરવો પડે ?

ઉકેલ : ચાર્લ્સના નિયમ મુજબ,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$V_1 = 2$ લિટર, $V_2 = ?$

$T_1 = 125 + 273 = 398$ K,

$T_2 = 250 + 273 = 523$ K

$$\therefore V_2 = \frac{V_1 \, T_2}{T_1}$$

$$= \frac{2 \times 523}{398}$$

$= 2.628$ લિટર

∴ હિલિયમ વાયુને 2.628 લિટર કદના પાત્રમાં ભરવો પડે.

ગેલ્યુસેકનો નિયમ : નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે અચળ કદે તેના દબાણ અને નિરપેક્ષ તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ નક્કી કરવા ગેલ્યુસેકે કરેલ પ્રયોગો દરમિયાન પ્રાપ્ત થયેલાં અવલોકનો પરથી નીચે મુજબ સંબંધ માલૂમ પડ્યો. તને ગેલ્યુસેકનો નિયમ કહે છે.

"નિયત કદે, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું દબાણ વાયુના નિરપેક્ષ તાપમાનને સમપ્રમાણમાં હોય છે." ગાણિતીક રીતે ગેલ્યુસેકનો નિયમ $P \alpha T$ લખી શકાય.

હવે, $P \alpha T$ ...... (નિયત કદ, નિશ્ચિત જથ્થો)

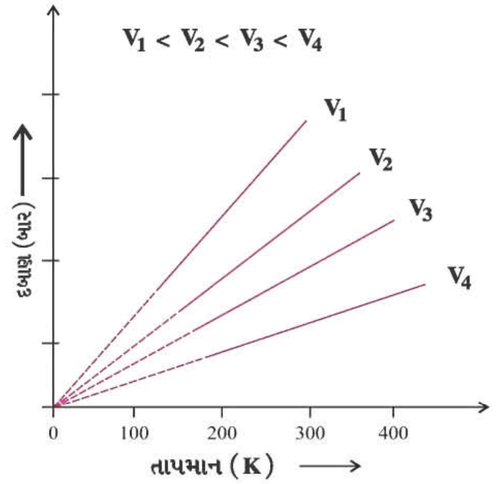
$\therefore P = KT$

$$\therefore \frac{P}{T} = K$$

નિયત કદે, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે જો પ્રારંભિક સ્થિતિએ તેના દબાણ અને નિરપેક્ષ તાપમાન અનુક્રમે P_1 અને T_1 હોય અને અંતિમ સ્થિતિએ P_2 અને T_2 હોય તો ગેલ્યુસેકનો નિયમ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ લખી શકાય.

ગેલ્યુસેકના નિયમની સમજૂતી આલેખ દ્વારા પણ સમજાવી શકાય. દબાણ અને નિરપેક્ષ તાપમાનનો સંબંધ

આકૃતિ 2.10માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પ્રાપ્ત થાય છે. હવે નિયત કદે, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે $\frac{P}{T}$ નું મૂલ્ય અચળ પ્રાપ્ત થાય છે. જુદાં-જુદાં અચળ કદ માટે $\frac{P}{T} = K$ નાં અચળાંકોનાં મૂલ્યો જુદાં-જુદાં હોય છે. તે આલેખ દ્વારા સ્પષ્ટ થાય છે. આલેખમાં દર્શાવ્યા મુજબ $V_1 < V_2 < V_3 < V_4$ છે.



આકૃતિ 2.10 ગેલ્યુસેકનો નિયમ
દબાણ (બાર) → તાપમાન (K)

દાખલો 6 : 2 લિટર કદના એક બંધપાત્રમાં ભરેલા N_2 વાયુનું 27^0 સે તાપમાને દબાણ 2 બાર છે. જો તેનું તાપમાન 77^0 સે કરવામાં આવે, તો વાયુનું દબાણ કેટલું થશે ?

ઉકેલ : ગેલ્યુસેકના નિયમ મુજબ

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$P_1 = 2$ બાર, $P_2 = ?$

$T_1 = 27 + 273 = 300$ K,

$T_2 = 77 + 273 = 350$ K

$$\therefore P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

$$= \frac{2 \times 350}{300}$$

$= 2.33$ બાર

$\therefore$ N_2 વાયુનું દબાણ 2.33 બાર થશે.

દાખલો 7 : 400 K તાપમાને 5 લિટર કદના બંધપાત્રમાં Cl_2 વાયુનું દબાણ 4 બાર છે જો તેનું દબાણ 5 બાર કરવું હોય, તો તેનું તાપમાન કેટલા ^{0}સે રાખવું જોઈએ ?

ઉકેલ : ગેલ્યુસેકના નિયમ મુજબ

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$P_1 = 4$ બાર, $P_2 = 5$ બાર,

$T_1 = 400$ K, $T_2 = ?$

$$\therefore T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1}$$

$$= \frac{5 \times 400}{4} = 500 \text{ K}$$

હવે, t^0 સે $= T_2 - 273$

$= 500–273 = 227^0$ સે

$\therefore$ Cl_2 વાયુનું તાપમાન 227^0 સે. રાખવું જોઈએ.

એવોગેડ્રોનો નિયમ : 1811માં ડાલ્ટનનો સિદ્ધાંત અને ગેલ્યુસેકનો સંયોજકતા કદના નિયમના તારણને ભેગાં કરવાનો પ્રયત્ન કરી. અચળ તાપમાને અને દબાણે વાયુના કદ અને અણુની સંખ્યા વચ્ચેનો સંબંધ એવોગેડ્રોએ રજૂ કર્યો. તે એવોગેડ્રોના નિયમ તરીકે જાણીતો થયો. એવોગેડ્રોના નિયમ મુજબ, **"સમાન તાપમાને અને દબાણે સરખાં કદ ધરાવતા બધા જ વાયુઓમાં અણુની સંખ્યા સમાન હોય છે."** તેથી અચળ તાપમાને અને દબાણે વાયુનું કદ (V) તેમાં રહેલા અણુની સંખ્યા (n)ને સમપ્રમાણમાં હોય છે.

$\therefore V \propto n$

$\therefore V = Kn$....... (એવોગેડ્રોના નિયમનું ગાણિતીક સ્વરૂપ).

2.3 પ્રમાણભૂત તાપમાન અને દબાણ (Standard Temperature and Pressure)

નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું કદ તેના તાપમાન અને દબાણ પર આધાર રાખે છે, તેથી 0^0 સે એટલે કે 273 K તાપમાને અને 1 બાર દબાણ (10^5 પાસ્કલ)ને SI પદ્ધતિ પ્રમાણે પ્રમાણિત સ્વીકારવામાં આવ્યાં છે. તેથી આ તાપમાન અને દબાણનાં મૂલ્યોને પ્રમાણિત તાપમાન અને દબાણ કહે છે. તેથી **કોઈ પણ 1 મોલ વાયુનું પ્રમાણિત સ્થિતિએ (STP) કદ એકસમાન (આદર્શવાયુ માટે 22.71098 લિટર મોલ$^{-1}$) હોય છે. આ કદને મોલરકદ (આણ્વિય કદ) કહે છે.** STP એ કેટલાક વાયુઓના મોલરકદ કોષ્ટક 2.1માં દર્શાવ્યાં છે. તેથી સામાન્ય રીતે STP એ 22.413996 લિટર એટલે કે આશરે 22.4 લિટરને વાયુના મોલરકદ

તરીકે સ્વીકારવામાં આવ્યું છે. એક મોલ વાયુમાં રહેલા અણુની સંખ્યા 6.022×10^{23} છે અને આ અચળ સંખ્યાને એવોગેડ્રો-આંક કહે છે. તેથી STP એ 22.4 લિટર વાયુમાં અણુની સંખ્યા 6.022×10^{23} હોય છે.

કોષ્ટક 2.1

કેટલાક વાયુઓના મોલર કદ (આણ્વિય કદ)

વાયુ	કદ (લિટર મોલ$^{-1}$)
આર્ગોન	22.37
કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ	22.54
ડાયનાઇટ્રોજન	22.69
ડાયઑક્સિજન	22.69
ડાયહાઇડ્રોજન	22.72
આદર્શવાયુ	22.71

સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ : બૉઇલ અને ચાર્લ્સનો નિયમ વાયુના કદ સાથે અનુક્રમે દબાણ અને તાપમાન સાથેનો સંબંધ દર્શાવે છે. તેથી આ બંને નિયમોનો સમન્વય કરવાથી નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુના કદ પર તાપમાન અને દબાણની એકીસાથે થતી અસરનો સંબંધ દર્શાવતું સમીકરણ મળે છે. તે સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ તરીકે જાણીતું છે અથવા તેને વાયુ-સમીકરણ પણ કહે છે.

બૉઇલના નિયમ મુજબ $V \propto \frac{1}{P}$ (નિશ્ચિત જથ્થો, અચળ તાપમાન)

ચાર્લ્સના નિયમ મુજબ $V \propto T$ (નિશ્ચિત જથ્થો, અચળ દબાણ)

બંને નિયમના સમીકરણ પરથી સંયુક્ત ચલન મેળવતાં

$$V \propto \frac{T}{P}$$

$$\therefore PV \propto T$$

$$\therefore PV = KT$$

$$\therefore \frac{PV}{T} = K \text{..... (સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ)}$$

હવે નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુ માટે તેની પ્રારંભિક સ્થિતિએ દબાણ, કદ અને નિરપેક્ષ તાપમાન અનુક્રમે P_1, V_1 અને T_1 હોય. તથા અંતિમ સ્થિતિએ અનુક્રમે P_2, V_2 અને T_2 હોય, તો સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ થશે.

દાખલો 8 : 27^0 સે તાપમાને 2 લિટર કદના પાત્રમાં CO નું દબાણ 4 બાર છે તો 77^0 સે તાપમાને 4 લિટર કદના પાત્રમાં તે ભરવાથી તેનું દબાણ કેટલું થશે ?

ઉકેલ : સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

$P_1 = 4.0$ બાર, $P_2 = ?$ બાર,

$V_1 = 2$ લિટર, $V_2 = 4.0$ લિટર

$T_1 = 27 + 273 = 300$ K,

$T_2 = 77 + 273 = 350$ K

$$\therefore P_2 = \frac{P_1 V_1}{T_1} \times \frac{T_2}{V_2}$$

$$= \frac{4 \times 2 \times 350}{300 \times 4}$$

$= 2.33$ બાર

$\therefore$ CO નું દબાણ 2.33 બાર થશે.

દાખલો 9 : 400 K તાપમાને 200 મિલિ N_2 વાયુનું દબાણ 1.5 બાર છે. N_2 વાયુનું STP એ કદ શોધો.

ઉકેલ : સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$P_1 = 1.5$ બાર, $P_2 = 1$ બાર,

$V_1 = 200$ મિલિ, $V_2 = ?$

$T_1 = 400$ K, $T_2 = 273$ K

$$\therefore V_2 = \frac{P_1V_1}{T_1} \times \frac{T_2}{P_2}$$

$$= \frac{1.5 \times 200 \times 273}{400 \times 1}$$

$= 204.75$ મિલિ

$\therefore$ N_2 વાયુનું STP એ કદ 204.75 મિલિ થશે.

દાખલો 10 : 2 લિટર કદના પાત્રમાં 27^0 સે તાપમાને CO_2 વાયુના 6.022×10^{22} અણુઓ દાખલ કરવાથી પાત્રમાંના CO_2 વાયુનું દબાણ શોધો.

ઉકેલ : 6.022×10^{23} અણુનું કદ STP એ 22.4 લિટર હોય છે.

6.022×10^{22} અણુઓનું STP એ કદ

$$= 22.4 \times \frac{6.022 \times 10^{22}}{6.022 \times 10^{23}}$$

= 2.24 લિટર થશે.

હવે સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ મુજબ

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

P_1 = 1 બાર, P_2 = ?

V_1 = 2.24 લિટર, V_2 = 2 લિટર

T_1 = 273 K, T_2 = 27 + 273 = 300 K

$$\therefore P_2 = \frac{P_1V_1}{T_1} \times \frac{T_2}{V_2}$$

$$= \frac{1 \times 2.24 \times 300}{273 \times 2}$$

= 1.231 બાર

∴ CO_2 વાયુનું દબાણ 1.231 બાર થશે.

2.4 આદર્શવાયુ-સમીકરણ (Ideal Gas Equation)

બૉઇલ, ચાર્લ્સ અને એવોગેડ્રોના નિયમોના સમીકરણના સમન્વયથી મળતા સંબંધને આદર્શવાયુ સમીકરણ કહે છે. આ સમીકરણમાં ચાર ચલાયમાન જેવાં કે તાપમાન, દબાણ, કદ અને વાયુનો જથ્થો, વાયુની અવસ્થા વર્ણવે છે. તેમની વચ્ચેનો જથ્થાત્મક સંબંધ દર્શાવતા આ સમીકરણને અવસ્થા-સમીકરણ (Equation of State) પણ કહે છે.

$V \propto \frac{1}{P}$ (બૉઇલનો નિયમ)

$V \propto T$ (ચાર્લ્સનો નિયમ)

$V \propto n$ (એવોગેડ્રો નિયમ)

$\therefore V \propto \frac{nT}{P}$

$\therefore PV \propto nT$

$\therefore PV = nRT$ (જ્યાં R સપ્રમાણતા અચળાંક છે.)

R ને સાર્વત્રિક અચળાંક (Universal Constant) પણ કહે છે. કારણ કે Rનું મૂલ્ય બધા જ વાયુઓ માટે એકસરખું હોય છે. તેમજ કોઈ પણ તાપમાન, દબાણ કે કદ માટે પણ એકસરખું રહે છે. એટલે કે એક જ અચળ મૂલ્ય રહે છે. તેના મૂલ્યમાં ફેરફેર થતો નથી. જોકે જુદી-જુદી એકમ પદ્ધતિમાં એકમને અનુરૂપ Rનાં મૂલ્યો જુદાં-જુદાં હોય છે.

આદર્શવાયુ સમીકરણને ઘનતા અને આણ્વિય દળ સાથે સંબંધ દર્શાવતા સમીકરણ સ્વરૂપે નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

આદર્શવાયુ સમીકરણ PV = nRT, જ્યાં n એ મોલસંખ્યા છે, પરંતુ $n = \frac{m}{M}$

(જ્યાં m = વાયુનું દળ અને M = આણ્વિય દળ)

ઉપરના સમીકરણમાં આ મૂલ્ય મૂકતાં,

$$\therefore PV = \frac{mRT}{M}$$

$$\therefore P = \left(\frac{m}{V}\right)\frac{RT}{M} \quad \text{પરંતુ} \quad \left(\frac{m}{V}\right) = d \text{ હોવાથી}$$

$$P = \frac{dRT}{M}$$

(જ્યાં d = ઘનતા અન M = આણ્વિય દળ)

વાયુ-અચળાંક Rનાં મૂલ્યો : વાયુ-અચળાંક (સાર્વત્રિક અચળાંક) Rનાં મૂલ્યો જુદી-જુદી એકમ પદ્ધતિમાં જુદાં-જુદાં હોય છે. કારણ કે Rનો એકમ કાર્યશક્તિ મોલ$^{-1}$ કૅલ્વિન$^{-1}$ હોવાથી, કાર્યનો એકમ જુદી-જુદી એકમ પદ્ધતિમાં જુદો-જુદો હોય છે.

સૌપ્રથમ સાર્વત્રિક અચળાંક Rનો એકમ સમજીશું.

આદર્શવાયુ સમીકરણ PV = nRT છે.

$$\therefore R = \frac{PV}{nT} = \frac{\text{દબાણ} \times \text{કદ}}{\text{મોલ} \times \text{તાપમાન}}$$

પરંતુ દબાણ = બળ ÷ ક્ષેત્રફળ હોવાથી,

$$R = \frac{(\text{બળ} \div \text{ક્ષેત્રફળ}) \times \text{કદ}}{\text{મોલ} \times \text{તાપમાન}}$$

$$R = \frac{\left[\text{બળ} \div (\text{લંબાઈ})^2\right] \times (\text{લંબાઈ})^3}{\text{મોલ} \times \text{તાપમાન}}$$

$$= \frac{\text{બળ} \times \text{લંબાઈ}}{\text{મોલ} \times \text{તાપમાન}} = \frac{\text{કાર્યશક્તિ}}{\text{મોલ} \times \text{તાપમાન}}$$

કારણ કે બળ × લંબાઈ = કાર્યશક્તિ

તેથી Rનો એકમ કાર્યશક્તિ મોલ$^{-1}$ કૅલ્વિન$^{-1}$ થશે. જુદા-જુદા એકમમાં Rનાં મૂલ્યોની ગણતરી નીચે મુજબ છે :

(1) જો દબાણ અને કદના એકમ અનુક્રમે વાતાવરણ અને લિટર હોય, તો Rનો એકમ લિટર-વાતાવરણ કેલ્વિન$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ થશે.

હવે એક મોલ વાયુનું STP એ કદ 22.4 લિટર છે.

તેથી, $R = \frac{PV}{nT}$

$= \frac{1 \text{ વાતા.} \times 22.4 \text{ લિટર}}{1 \text{ મોલ} \times 273 \text{ કેલ્વિન}}$

$\therefore$ R = 0.0821 લિટર વાતાવરણ કેલ્વિન$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ છે.

(2) જો દબાણ અને કદના એકમ અનુક્રમે વાતાવરણ અને સેમી^{3} હોય તો Rનો એકમ વાતા. સેમી^{3} કેલ્વિન$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ થશે.

$R = \frac{PV}{nT}$

$= \frac{1 \text{ વાતા.} \times 22400 \text{ સેમી}^3}{1 \text{ મોલ} \times 273 \text{ કેલ્વિન}}$

= 82.1 વાતા. સેમી^{3} મોલ$^{-1}$ કેલ્વિન$^{-1}$ છે.

(3) જો દબાણ અને કદના એકમ અનુક્રમે ડાઇન સેમી$^{-2}$ અને સેમી^{3} હોય, તો Rનો એકમ અર્ગ કેલ્વિન$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ થશે.

$R = \frac{PV}{nT}$

$= \frac{76 \text{ સેમી પારાની ઊંચાઈ} \times 22400 \text{ સેમી}^3}{1 \times 273}$

$= \frac{76 \times 13.6 \times 981 \times 22400}{1 \times 273}$

પારાની ઘનતા =13.6 ગ્રામ સેમી$^{-3}$, g = 981 ડાઇન

R = 8.314 × 10^7 અર્ગ કેલ્વિન$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ છે.

= 8.314 જૂલ કેલ્વિન$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ છે.

(1 જૂલ = 10^7 અર્ગ)

(4) હવે 4.184 જૂલ = 1 કેલરી

$R = \frac{8.314}{4.184}$

= 1.987 કેલરી કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ છે.

≅ 2 કેલરી કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$ છે.

≅ 2 × 10^{-3} કિ કેલરી કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$

(5) જો વાયુ આદર્શ હોય અને દબાણ અને કદના એકમ અનુક્રમે બાર અને લિટર હોય, તો

$R = \frac{PV}{nT}$

$= \frac{1 \text{ બાર} \times 22.71 \text{ લિટર}}{1 \text{ મોલ} \times 273.15 \text{ K}}$

R = 8.314 × 10^{-2} બાર લિટર મોલ$^{-1}$ કે$^{-1}$

= 8.314 જૂલ કેલ્વિન$^{-1}$ મોલ$^{-1}$

આમ, Rનાં મૂલ્યો દબાણ અને કદના જુદા-જુદા એકમ પ્રમાણે જુદાં-જુદાં હોય છે, જે નીચે કોષ્ટક 2.2માં દર્શાવ્યાં છે :

કોષ્ટક 2.2 R ના જુદાં-જુદાં મૂલ્યો

ક્રમ	Rનું મૂલ્ય	એકમ	P અને Vના એકમ
1	0.0821	લિટર વાતા. કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$	P વાતા. V લિટરમાં
2	82.1	મિલિ વાતા. કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$	P વાતા. V સેમી^{3}
3	8.314 × 10^7	અર્ગ કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$	P ડાઇન સેમી$^{-2}$, V સેમી^{3}
4	1.987	કેલરી કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$	P ડાઇન સેમી$^{-2}$, V સેમી^{3}
5	8.3144	જૂલ કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$	P પાસ્કલ અથવા ન્યૂટન મી$^{-2}$, V મી^{3}
6	8.314 × 10^{-2}	બાર લિટર કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$	P બાર, V લિટરમાં

દાખલો 11 : 27^0 સે તાપમાને 2 લિટર કદના પાત્રમાં 5 મોલ Cl_2 વાયુ ભરવાથી, પાત્રમાંના Cl_2 વાયુનું દબાણ શોધો.

ઉકેલ : PV = nRT

$\therefore P = \frac{nRT}{V}$

P = ? n = 5 મોલ

R = 8.314×10^{-2} બાર લિટર $કે^{-1}$ $મોલ^{-1}$,

T = 27 + 273 = 300 K, V = 2 લિટર

$P = \frac{5 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 300}{2}$

= 62.355 બાર

$\therefore$ Cl_2 વાયુનું દબાણ 62.355 બાર થશે.

દાખલો 12 : 350 K તાપમાને 500 મિલિ કદના પાત્રમાં કેટલા મોલ O_2 વાયુનું દબાણ 250 બાર થાય ?

ઉકેલ :

આદર્શવાયુ સમીકરણ

PV = nRT

$\therefore n = \frac{PV}{RT}$

P = 250 બાર, n = ?

R = 8.314×10^{-2} બાર લિટર $કે^{-1}$ $મોલ^{-1}$,

T = 350 K

V = 500 મિલિ = 0.5 લિટર

$\therefore n = \frac{250 \times 0.5}{8.314 \times 10^{-2} \times 350}$

= 4.296 મોલ

$\therefore$ 4.296 મોલ O_2 વાયુનું દબાણ 250 બાર થશે.

દાખલો 13 : 200 મિલિ કદના પાત્રમાં કેટલા ^{0}સે તાપમાને 6.4 ગ્રામ O_2 વાયુનું દબાણ 50 બાર થાય ?

ઉકેલ :

આદર્શવાયુ સમીકરણ

PV = nRT

$\therefore PV = \frac{gRT}{M} \quad (n = \frac{g}{M})$

$\therefore T = \frac{PVM}{gR}$

P = 50 બાર, M = 32 ગ્રામ $મોલ^{-1}$

R = 8.314×10^{-2} બાર લિટર $કે^{-1}$ $મોલ^{-1}$,

g = 6.4 ગ્રામ

V = 200 મિલિ = 0.2 લિટર, T = ?

$\therefore T = \frac{50 \times 0.2 \times 32}{8.314 \times 10^{-2} \times 6.4}$

= 601.4 K

$\therefore$ t^0 સે = T − 273

= 601.4 − 273

= 328.4^0 સે

$\therefore$ O_2 વાયુનું તાપમાન 328.4^0 સે જરૂરી છે.

દાખલો 14 : 350 K તાપમાને નિયોન વાયુની ઘનતા 0.9 ગ્રામ $લિટર^{-1}$ હોય, તો તેનું દબાણ શોધો.

ઉકેલ : આદર્શવાયુ સમીકરણ

$P = \frac{dRT}{M}$

P = ?, d = 0.9 ગ્રામ $લિટર^{-1}$

R = 8.314×10^{-2} બાર લિટર $કે^{-1}$ $મોલ^{-1}$,

T = 350 K, M = 20 ગ્રામ $મોલ^{-1}$

$\therefore P = \frac{0.9 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 350}{20}$

= 1.309 બાર

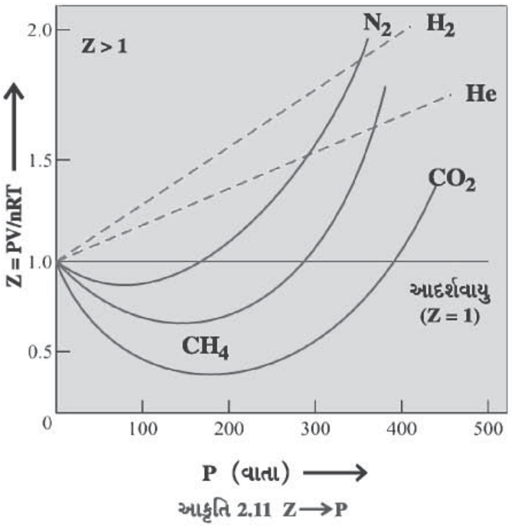
$\therefore$ નિયોન વાયુનું દબાણ 1.309 બાર થશે.

આદર્શવાયુનો ખ્યાલ : વાયુનું આદર્શ વર્તણૂકથી વિચલન : આદર્શવાયુ સમીકરણમાં આદર્શ શબ્દ વપરાયો છે. વાસ્તવમાં કોઈ પણ વાયુ એવો નથી, જે આ સમીકરણનું સંપૂર્ણપણે અમલીકરણ (પાલન) કરતો હોય. છતાં પણ વાસ્તવિક વાયુ ઊંચા તાપમાને અને નીચા દબાણે આદર્શવાયુ તરીકે વર્તે છે, એમ સ્વીકારવામાં આવ્યું છે.

તાપમાન અને દબાણના દરેક મૂલ્ય માટે આદર્શવાયુ સમીકરણ અને વાયુના નિયમોનું જે વાયુઓ પાલન કરે છે, તે વાયુઓને આદર્શવાયુઓ કહે છે. ખરેખર તો એક પણ વાયુ આવો આદર્શવાયુ જણાયો નથી. જો તાપમાન નીચું જાય તો અને ઊંચા દબાણે આદર્શવાયુ સમીકરણ અને વાયુના નિયમોમાં વિચલન માલૂમ પડે છે. આમ જે

વાયુઓ દરેક તાપમાને અને દબાણે આદર્શવાયુ સમીકરણ અને વાયુના નિયમોનું પાલન કરતા નથી, તેને બિનઆદર્શવાયુ (non-ideal gas) અથવા વાસ્તવિક વાયુ (real gas) કહે છે. દરેક વાયુ સામાન્ય રીતે વાસ્તવિક વાયુ છે. તે જુદા-જુદા પ્રમાણમાં આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવે છે. તેમાંના ઘણા બધા વાયુઓ નીચા દબાણે અને ઊંચા તાપમાને આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવે છે. કેટલાક વૈજ્ઞાનિકોએ તેનો બહોળો (extensive) અભ્યાસ કર્યો. છેવટે તારણ કાઢ્યું કે દરેક વાસ્તવિક વાયુ તાપમાન અને દબાણની દરેક પરિસ્થિતિએ આદર્શવાયુના નિયમોનું પાલન કરતો નથી અને વાસ્તવિક વાયુની વર્તણૂક એ આદર્શવાયુની વર્તણૂક કરતાં થોડું વિચલન અનુભવે છે. તેનો અભ્યાસ દબાણ અને તાપમાનની અસર દ્વારા સમજાવી શકાય છે.

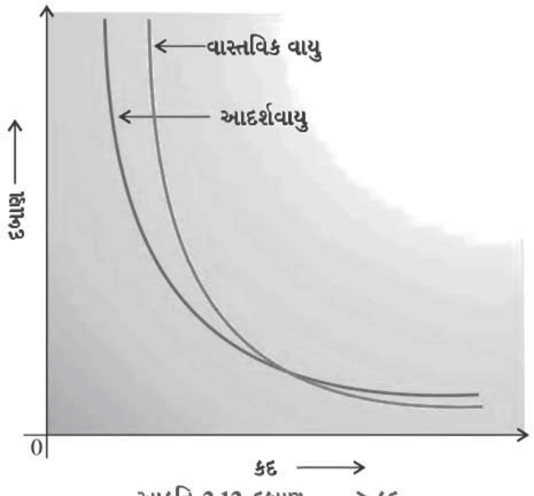
દબાણની અસર : વાસ્તવિક વાયુમાં આદર્શ વર્તણૂકથી થતા વિચલનના અભ્યાસ માટે $\frac{PV}{nRT}$ અને Pનો આલેખ દોરવાથી તેનો ખ્યાલ આવે છે. $\frac{PV}{nRT}$ ને **દબનીય અવયવ** (Comperessibility Factor) કહે છે તેને Z વડે દર્શાવાય છે. આદર્શવાયુ માટે Zનું મૂલ્ય 1 હોય છે, કારણ કે PV = nRT તે આદર્શવાયુ સમીકરણ હોવાથી $\frac{PV}{nRT}=1$ થશે. જ્યારે વાસ્તવિક વાયુઓ માટે $Z > 1$ અથવા $Z < 1$ પણ હોઈ શકે, એટલે કે $PV \neq nRT$ થશે. આકૃતિમાં 2.11માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે H_2 અને He વાયુ માટે હંમેશા $Z > 1$ હોય છે. તેને **ધન વિચલન** કહે છે. તે દર્શાવે છે કે દબાણના દરેક મૂલ્ય માટે તે આદર્શ વાયુ કરતાં ઓછો દબનીય છે, જ્યારે N_2 અને



આકૃતિ 2.11 Z⟶P

CO_2 વાયુ માટે નીચા દબાણે $Z < 1$ હોય છે, તેને **ઋણ વિચલન** કહે છે. તે દર્શાવે છે કે નીચા દબાણે તેઓ આદર્શ વાયુ કરતાં વધુ દબનીય છે અને ઊંચા દબાણે $Z > 1$ હોવાથી તેને ધન વિચલન કહે છે તે દર્શાવે છે કે ઊંચા દબાણે તેઓ આદર્શ વાયુ કરતાં ઓછા દબનીય છે. આલેખમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે દરેક વાયુનું દબાણ ઘટીને જ્યારે શૂન્ય થાય છે, ત્યારે $Z = 1$ થાય છે, એટલે કે શૂન્ય દબાણે દરેક વાયુ આદર્શવાયુ તરીકે વર્તે છે.

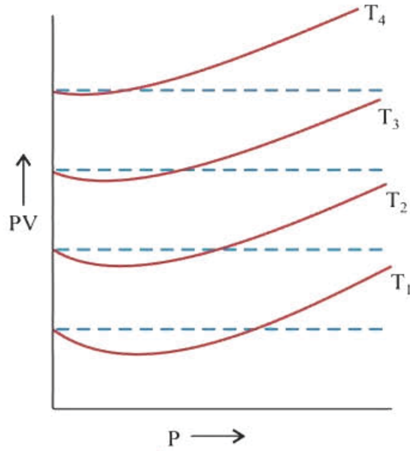
વિચલનના અભ્યાસ માટે વાસ્તવિક વાયુઓના જુદા-જુદા દબાણે પ્રાપ્ત થતા કદનાં પ્રાયોગિક મૂલ્યો અને આદર્શવાયુ માટે બૉઇલના નિયમને આધારે જુદા-જુદા દબાણે ગણતરી કરીને મેળવેલા કદનાં સૈદ્ધાંતિક મૂલ્યોને દબાણ અને કદ દર્શાવતા આલેખમાં આકૃતિ 2.12 દર્શાવતા સ્પષ્ટ થાય છે કે ઘણા ઊંચા દબાણે આદર્શવાયુના કદના મૂલ્ય કરતાં વાસ્તવિક વાયુના કદનું મૂલ્ય વધારે હોય છે. જેમજેમ દબાણ ઘટે છે તેમતેમ એટલે કે નીચા દબાણે આ



આકૃતિ 2.12 દબાણ ⟶ કદ

બંને પ્રકારના વાયુઓનાં કદ વચ્ચેના તફાવતનું મૂલ્ય ઘટે છે. છેવટે શૂન્ય થાય છે. ત્યાં બંને આલેખ એકબીજાને છેદે છે, ત્યાર બાદ દબાણ ઘટતાં ફરીથી બંને પ્રકારના વાયુઓના કદના મૂલ્યનો તફાવત માલૂમ પડે છે.

તાપમાનની અસર : વાસ્તવિક વાયુની વર્તણૂક પર તાપમાનની અસર સમજવા માટે જુદા-જુદા તાપમાને પ્રાપ્ત થતી N_2 વાયુની વાસ્તવિક વર્તણૂકની આદર્શ વર્તણૂક સાથે સરખામણી કરવાથી તે અસર જોઈ શકાય છે. આકૃતિ 2.13માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જુદા-જુદા તાપમાને N_2 વાયુ માટે PV અને Pના પ્રાપ્ત થયેલાં મૂલ્યો દર્શાવ્યાં છે. આલેખમાં ત્રુટકરેખા તે જ તાપમાને વાયુની આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવે છે. આલેખ પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે જેમજેમ તાપમાન વધતું જાય છે, $(T_1 < T_2 < T_3 < T_4)$ તેમતેમ N_2 વાયુ માટે પ્રાપ્ત થયેલા આલેખના વક્રભાગના ઊંડાણમાં



આકૃતિ 2.13 PV → P

ઘટાડો થાય છે. એટલે કે તાપમાન વધતાં વાયુની આદર્શ વર્તણૂકની સરખામણીમાં વાસ્તવિક વાયુનું વિચલન ઘટે છે અને ચોક્કસ તાપમાને દબાણના દેખીતા ગાળાના મૂલ્ય માટે આલેખનો વક્રભાગ ન્યૂનતમ થતાં છેવટે સીધી રેખા બને છે. તેથી આ ચોક્કસ તાપમાને N_2 વાયુ આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવે છે. આ ચોક્કસ તાપમાને તે બૉઇલના નિયમનું પાલન કરે છે, તેથી આ તાપમાનને વાયુનું બૉઇલ-તાપમાન (Boyle's Temperature) કહે છે. જુદા-જુદા વાયુઓ માટે તેનાં મૂલ્ય જુદાં-જુદાં હોય છે. જેમકે N_2 વાયુ માટે 332 K અને H_2 વાયુ માટે 108 K છે.

આથી કહી શકાય કે નીચા દબાણે અને ઊંચા તાપમાને વાસ્તવિક વાયુઓ આદર્શ વર્તણૂક દર્શાવે છે. અને નીચા તાપમાને અને ઊંચા દબાણે તેની વર્તણૂકમાં નોંધપાત્ર ફેરફાર થાય છે. વાસ્તવિક વાયુ આદર્શ વર્તણૂકથી વિચલન દર્શાવે છે. શા માટે ? કારણ કે વાયુના અણુ ગતિવાદમાં રજૂ થયેલી પૂર્વધારણામાંથી બે ધારણાઓ યોગ્ય ન હતી અને આ બે પૂર્વધારણાઓ છે :

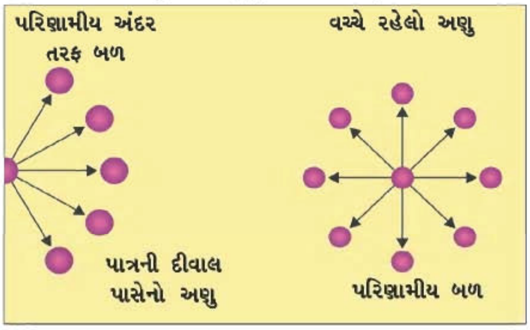
(1) વાયુના અણુઓ વચ્ચે આકર્ષણબળ નહિવત હોય છે.

(2) વાયુના કુલ કદની સરખામણીમાં વાયુના અણુનું કદ નહિવત્ છે. (જે અવગણી શકાય.)

હવે જો પૂર્વધારણા (1) જો સાચી હોય, તો વાયુના અણુઓમાં આકર્ષણબળ નહિવત્ હોવાથી તેને ઠંડું પાડતાં કે તેના પર દબાણની અસર લાગુ પાડી દબાવતાં, અણુઓ એકબીજાની નજીક ક્યારેય ગોઠવાયેલા રહેશે નહિ. તેથી વાયુનું પ્રવાહીકરણ શક્ય બનશે નહિ, આ રીતે પ્રવાહી માટે તેના પર તાપમાન કે દબાણની અસરથી તેને ઘનમાં ફેરવી શકાય નહિ.

હવે પૂર્વધારણા (2) જો સાચી હોય તો દબાણ અને કદના પ્રાયોગિક અને સૈદ્ધાંતિક આલેખ સરખા પ્રાપ્ત થાય. પરંતુ ખરેખર આ સાચું નથી. તેમાં વિચલન માલૂમ પડે છે. તેથી આ બંને પૂર્વધારણામાં સુધારો કરવો જરૂરી છે.

હવે જો વાયુના અણુઓ વચ્ચે આકર્ષણબળ અસ્તિત્વ ધરાવતું હોય, તો આકૃતિ 2.14માં દર્શાવ્યા મુજબ પાત્રમાં વચ્ચે રહેલા કોઇ પણ અણુઓને તેની બધી જ દિશામાં ગોઠવાયેલા અણુઓ દ્વારા એકસરખું આકર્ષણબળ લાગુ પડતું હોવાથી તેના પર પરિણામીય આકર્ષણબળ શૂન્ય થશે. જ્યારે આ અણુઓ પાત્રની દીવાલ તરફ જશે અને દીવાલ સાથે અડવાની તૈયારીમાં હશે, એટલે કે દીવાલના સંપર્કમાં આવવાની તૈયારીમાં હશે ત્યારે, આકૃતિ 2.14માં દર્શાવ્યા મુજબ તેની એક જ બાજુ અણુઓનું પરિણામી આકર્ષણબળ લાગુ પડશે (શૂન્ય થશે નહિ) અને દીવાલથી



આકૃતિ 2.14 વાયુઓના અણુઓમાં આકર્ષણબળ

વિરુદ્ધ દિશામાં તેને ખેંચવા પ્રયત્ન કરશે. આમ અંદર તરફ ખેંચતું આકર્ષણબળ અણુને દીવાલ સાથેની અથડામણમાં અવરોધ ઉત્પન્ન કરશે, તેથી માપવામાં આવતું વાસ્તવિક દબાણ તે આદર્શ દબાણ કરતાં ઓછું થશે. તેથી આદર્શ દબાણ મેળવવા માટે આપેલા દબાણ P માં કંઈક સુધારો કરવો પડે (કંઈક ઉમેરવું જોઈએ.) એમ વાન્ ડર વાલ્સે સૂચવ્યું અને આમ કુલ દબાણ (આકર્ષણ) વાયુની ઘનતાના વર્ગને સમપ્રમાણમાં અથવા વાયુના કદના (V) મૂલ્યના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે, તેથી કોઇ પણ વાયુનું આદર્શ દબાણનું મૂલ્ય P વાસ્તવિક અને $\frac{an^2}{V^2}$ ના સરવાળા જેટલું થાય.

વાયુનું આદર્શ દબાણ P વાસ્તવિક + $\frac{an^2}{V^2}$, જ્યાં a અચળાંક છે અને n વાયુની મોલસંખ્યા છે.

જો વાયુના અણુઓના કદને ગણતરીમાં લેવામાં આવે તો કોઈ પણ અણુના હલનચલન માટે વાયુએ રોકેલું કુલ કદ પ્રાપ્ત થશે નહિ. આથી અસરકારક અથવા આદર્શ કદ (પ્રાપ્ય કદ) મેળવવા માટે વાયુના માપેલા કદમાંથી,

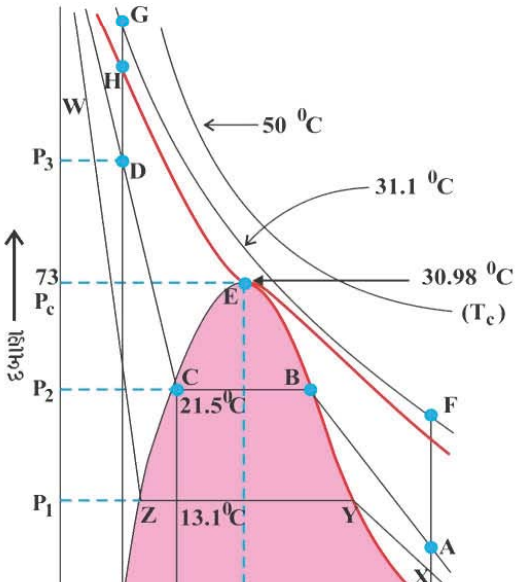
અણુએ રોકેલું કદ બાદ કરવું જોઈએ. આમ n મોલ અણુઓએ રોકેલું કદ જે આશરે nb જેટલું હોય તો તે કુલ કદ V માંથી બાદ કરવું જોઈએ, જ્યાં b અચળાંક છે. તેથી આ સુધારો આદર્શવાયુ સમીકરણમાં કરતાં, હવે આદર્શવાયુ સમીકરણ નીચે મુજબ લખી શકાય :

$$\left(P+\frac{an^2}{V^2}\right)(V-nb)=nRT$$

આ સમીકરણમાં **વાન્ ડર વાલ્સ સમીકરણ** તરીકે ઓળખાય છે, જ્યાં a અને b અચળાંક છે જેને વાન્ ડર વાલ્સ અચળાંક કહે છે. a અને bના મૂલ્યનો આધાર વાયુની લાક્ષણિકતા પર છે અચળાંક a આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળના પ્રમાણનું માપન દર્શાવે છે અને તે તાપમાન અને દબાણથી સ્વતંત્ર છે.

ખૂબ નીચા તાપમાને આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળ નોંધપાત્ર બને છે. અણુઓ ધીમી સરેરાશ ગતિથી ઘૂમતા હોય ત્યારે આ આકર્ષણબળને કારણે અણુઓ એકબીજા તરફ ખેંચાશે. તેથી દીવાલ સાથેની અથડામણમાં અવરોધ થતાં માપવામાં આવતું દબાણનું મૂલ્ય, આદર્શ દબાણ કરતાં ઓછું થશે. તેથી કહી શકાય કે વાસ્તવિક વાયુની વર્તણૂક આદર્શ ત્યારે જ હોઈ શકે જ્યારે આંતર-આણ્વિય બળ પ્રાયોગિક રીતે અવગણી શકાય તેવું હોય.

વાયુનું પ્રવાહીકરણ : તાપમાન ઘટાડવાથી અને દબાણ વધારવાથી વાયુઓનું પ્રવાહીમાં રૂપાંતર થઈ શકે છે. વાયુના પ્રવાહીકરણ માટે દબાણની અસર કરતાં તાપમાનની અસર વિશેષ મહત્ત્વની છે, કારણ કે દરેક વાયુ અમુક નિશ્ચિત તાપમાન સુધી ઠંડો થયા પછી જ દબાણની અસર હેઠળ તેનું પ્રવાહીમાં રૂપાંતરણ થાય છે; પરંતુ તેનાથી ઊંચા તાપમાને ગમે તેટલું દબાણ આપવા છતાં પણ પ્રવાહી થતો નથી. જુદા-જુદા વાયુઓ માટે આ તાપમાન જુદું-જુદું હોય છે, તેથી **જે અધિકતમ તાપમાને વાયુનું પ્રવાહીકરણ થઈ શકે છે, તે તાપમાનને તે વાયુનું ક્રાંતિક તાપમાન (Critical Temperature) T_C કહે છે.** વાયુના ક્રાંતિક તાપમાનથી (ઉપરના) ઊંચા તાપમાને ગમે તેટલું દબાણ આપવા છતાં પણ વાયુનું પ્રવાહીકરણ શક્ય નથી. આમ, વાયુના ક્રાંતિક તાપમાન કરતાં ઊંચા તાપમાને વાયુની પ્રવાહી અવસ્થા સંભવી શકે નહિ; પરંતુ ક્રાંતિક તાપમાનથી નીચા તાપમાને દબાણની અસર હેઠળ વાયુનું પ્રવાહીકરણ શક્ય બને છે. **ક્રાંતિક તાપમાને વાયુનું પ્રવાહીકરણ કરવા જે દબાણ આપવું પડે તે દબાણને તે વાયુનું ક્રાંતિક દબાણ (Critical Pressure) P_C કહે છે. ક્રાંતિક તાપમાને અને ક્રાંતિક દબાણે 1 મોલ વાયુ જે કદ રોકે તેને તે વાયુનું ક્રાંતિક કદ (Critical Volume) V_C કહે છે. આ પરિસ્થિતિને ક્રાંતિક અવસ્થા (Critical State) કહે છે.** દરેક વાયુને તેના P_C, T_C અને V_C નાં મૂલ્ય નિશ્ચિત હોય છે. તેથી તેને ક્રાંતિક અચળાંકો (Critical Constants) કહે છે. તે અન્ય વાયુ-અચળાંક કરતાં જુદા હોય છે. 1869માં થોમસ એન્ડ્રુઝે (Thomas Andrews) કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ વાયુ માટે દબાણ કદ અને તાપમાનના સંબંધોનો અભ્યાસ કરી, CO_2 માટે વાયુ અને પ્રવાહી અવસ્થા માટેનાં પ્રાયોગિક મૂલ્યો મેળવ્યાં આ માટે તેણે નિયત તાપમાને મજબૂત કાચની નળીમાં વાયુ ભરી, જુદા-જુદા દબાણે તે વાયુનું કદ માપ્યું. ત્યાર બાદ જુદા-જુદા નિયત તાપમાને વાયુના કદ પર દબાણની અસર દર્શાવતા આલેખ (સમતાપી અથવા આઇસોથર્મ) દોર્યા. આકૃતિ 2.15માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સૌથી નીચા તાપમાને એટલે કે 13.1^0 સે તાપમાને અને નીચા દબાણે બિંદુ X આગળ CO_2 વાયુ સ્વરૂપે છે. હવે દબાણ વધારતાં CO_2 વાયુનું કદ ઘટે છે. તે વક્ર XY દ્વારા દર્શાવેલ છે. હવે બિંદુ Y પર આપેલા



આકૃતિ 2.15 વાયુનું પ્રવાહીકરણ

દબાણે વાયુનું પ્રવાહીકરણ થતાં, છેવટે Z આગળ સઘળો વાયુ પ્રવાહી અવસ્થામાં ફેરવાય છે. આ દરમિયાન દબાણ અચળ રહે છે. તે આલેખમાંથી સ્પષ્ટ થાય છે. ત્યાર બાદ વક્ર ZW લગભગ સીધું ચઢાણ દર્શાવે છે, જે દબાણમાં વધારો થતાં પણ પ્રવાહીના કદ પર દબાણની અસર ખૂબ ઓછી થાય છે. આમ 13.1^0 સે તાપમાન પ્રાપ્ત થતાં સમતાપી વક્રમાં XY માત્ર વાયુસ્વરૂપ દર્શાવે છે. YZ વાયુ

અને પ્રવાહી વચ્ચેનું સમતોલન દર્શાવે છે. ZW માત્ર પ્રવાહી સ્વરૂપ છે. YZ સમક્ષિતિજ છે તે દર્શાવે છે કે વાયુના પ્રવાહીકરણ દરમિયાન દબાણ અચળ રહે છે. આ દબાણ તે પ્રવાહી વાયુનું બાષ્પ દબાણ છે. હવે 21.5^0 સે તાપમાને પ્રાયોગિક અવલોકનથી પ્રાપ્ત થયેલા સમતાપી વક્ર પણ 13.1^0સે તાપમાને પ્રાપ્ત થયેલા સમતાપી વક્ર જેવો જ છે. પરંતુ તેમાં પ્રવાહીકરણ દર્શાવતો સમક્ષિતિજ ભાગ BC તે YZ કરતાં નાનો છે. તાપમાન વધતાં આ પ્રવાહીકરણ દર્શાવતો સમક્ષિતિજ ભાગ નાનો થતો જાય છે. છેવટે 30.98^0 સે તાપમાને આ ભાગ માત્ર એક બિંદુ E બની જાય છે. તેનાથી ઊંચા તાપમાને 31.1^0 સે તાપમાને પ્રાપ્ત થતા સમતાપી વક્રમાં આ ભાગ જોવા મળતો નથી. એટલે કે આ તાપમાને CO_2 વાયુનું પ્રવાહીકરણ થતું નથી. તેથી 30.98^0 સે તાપમાને આ ભાગ માત્ર એક બિંદુ દર્શાવે છે કે તેનું આ બિંદુએ પ્રવાહીકરણ થાય છે. તેથી આ તાપમાનને CO_2 વાયુનું ક્રાંતિક તાપમાન કહે છે. તેનાથી ઊંચા તાપમાને ગમે તેટલું દબાણ આપવા છતાં પણ CO_2 વાયુનું પ્રવાહીકરણ શક્ય નથી. પરંતુ 30.98^0 સે કે તેથી નીચા તાપમાને, દબાણ હેઠળ તેનું પ્રવાહીકરણ શક્ય બને છે.

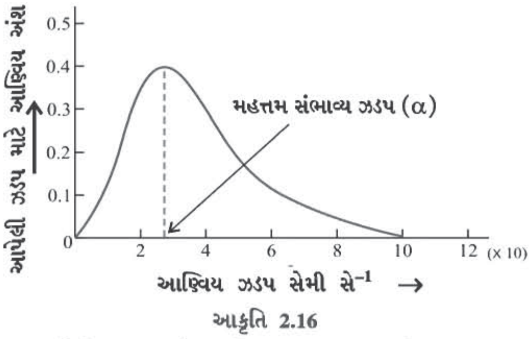
વાયુના આણ્વિય ગતિવાદના સિદ્ધાંત પ્રમાણે તાપમાન ઘટાડવાથી અણુઓની ગતિજ-ઊર્જા ઘટે છે. પરિણામે ધીમેથી ગતિ કરતા અણુઓ એકબીજાની નજીક આવે છે. યોગ્ય તાપમાન થતાં અણુઓ એકબીજાની એટલા બધા નજીક આવે છે, જેથી તે પ્રવાહીમાં ફેરવાય છે. તેવી જ રીતે દબાણ વધતાં કદ ઘટે છે. તેથી દબાણનો વધારો પણ વાયુનુ પ્રવાહીકરણ કરી શકે છે. આમ તાપમાન અને દબાણના સમન્વયથી, એટલે કે ક્રાંતિક તાપમાને કે તેથી નીચા તાપમાને દબાણ વધતાં વાયુનું પ્રવાહીકરણ થાય છે. કેટલાક વાયુના ક્રાંતિક અચળાંકો કોષ્ટક 2.3માં આપ્યા છે.

કોષ્ટક 2.3 ક્રાંતિક અચળાંકો

વાયુ-પદાર્થ	T_C (કે)	P_C (બાર)	V_C ડેસીમી³મોલ⁻¹
H_2	33.2	12.97	0.0650
He	5.3	2.29	0.0577
N_2	126	33.9	0.0900
O_2	154.3	50.4	0.0744
CO_2	304.10	73.9	0.0956
H_2O	647.1	220.6	0.0450
NH_3	405.5	113.0	0.0723

જુદા-જુદા ક્રાંતિક તાપમાન ધરાવતા બે વાયુઓના મિશ્રણને ઠંડા પાડવાથી, જેનું ક્રાંતિક તાપમાન વધારે હશે, તેનું પ્રવાહીકરણ ઝડપથી થશે. કારણ કે મિશ્રણને ઠંડું કરતાં જેનું ક્રાંતિક તાપમાનનું મૂલ્ય પહેલાં આવતું હશે તે તાપમાને તે ઝડપથી પ્રવાહીકરણ પામવાની શરૂઆત કરે છે. દા.ત., H_2 અને He ના ક્રાંતિક તાપમાન અનુક્રમે 33.2 K અને 5.3 K છે. તેથી તેમને ઠંડુ પાડતાં પ્રથમ 33.2 K તાપમાન આવતું હોવાથી H_2 વાયુનું પ્રવાહીકરણ પ્રથમ શરૂ થાય છે અને ત્યારે He વાયુનું પ્રવાહીકરણ થતું નથી.

ગતિજ-ઊર્જા અને અણુઓની ગતિ : અણુ નાના કણોનો બનેલો છે. વાયુ-અવસ્થા ધરાવતા પદાર્થમાં આ કણો એક બીજાથી દૂર વિશાળ જગ્યામાં દૂર-દૂર ગોઠવાયેલા હોય છે. આ કણો દરેક દિશામાં સતત ગતિ કરતા હોય છે. સતત ઘૂમતા કણો એકબીજા સાથે અને પાત્રની દીવાલ સાથે અથડાય છે, ત્યારે તેની ઝડપ અને દિશા બદલાય છે. તેથી પાત્રમાં રહેલા દરેક કણની ઝડપ સમાન હોતી નથી, પરંતુ જુદી-જુદી હોય છે અને તે પણ સતત બદલાતી રહે છે. છતાં પણ એક જ તાપમાને જુદા-જુદા અણુઓની ઝડપની વહેંચણી સરખી રહે છે. આ જુદી-જુદી શક્ય ઝડપની અણુઓની વહેંચણીનો અભ્યાસ મેક્સવેલ અને બોલ્ટ્ઝમેને (Maxwell and Boltzmann) કર્યો. તેણે અણુઓની ઝડપ અને તે ઝડપ ધરાવતા અણુઓના અંશનો અભ્યાસ કરી તેનો આલેખ દોરવાથી મળતા આલેખને મેક્સવેલનો વહેંચણી-વક્ર (Maxwell distribution curve) કહે છે. આકૃતિ 2.16 પરથી અણુઓની ઝડપનાં વલણ નીચે મુજબ માલૂમ પડે છે.



આકૃતિ 2.16

આપેલી ઝડપ માટે આણ્વિય અંશ → આણ્વિય ઝડપ

(1) ખૂબ જ વધુ કે ખૂબ જ ઓછી ઝડપ ધરાવતા અણુઓનો અંશ ઓછો હોય છે.

(2) અણુઓની ઝડપ વધતાં અણુઓનો અંશ વધે છે, મહત્તમ બની પછી ઘટે છે.

(3) વક્રનો ટોચનો ભાગ જે મહત્તમ અણુઓનો અંશ દર્શાવે છે, તે અણુઓની ઝડપને મહત્તમ (શક્ય) સંભાવ્ય ઝડપ (most probable speed) કહે છે તેને α વડે દર્શાવાય છે. તાપમાન વધતાં અણુઓની અથડામણ વધે છે. અને અણુઓની ઝડપ બદલાય છે.

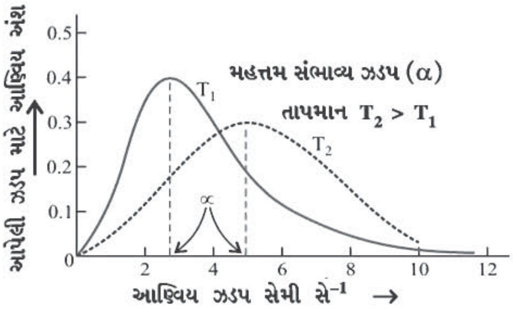
તાપમાન વધતાં મહત્તમ સંભાવ્ય ઝડપમાં વધારો થાય છે, જે આલેખ દ્વારા સ્પષ્ટ થાય છે. તાપમાન વધતાં તેનો આલેખ તે જમણી બાજુ ખસે છે. અને તે વધુ સપાટ બને છે. જો તાપમાન અચળ રહે તો ઝડપની વહેંચણીના વક્રમાં ફેરફાર થતો નથી. વાયુના અણુઓની ઝડપ મુખ્યત્વે ત્રણ પ્રકારની હોય છે :

(1) મહત્તમ સંભાવ્ય ઝડપ

(2) સરેરાશ ઝડપ

(3) મૂળ સરેરાશ વર્ગ ઝડપ

આ જુદા-જુદા પ્રકારની ઝડપ ધરાવતા અણુઓની ગતિજ-ઊર્જા પણ જુદી-જુદી હોય છે.



આકૃતિ 2.17

આપેલી ઝડપ માટે આણ્વિય અંશ → આણ્વિય ઝડપ બે જુદાં-જુદાં તાપમાને ઝડપની વહેંચણી

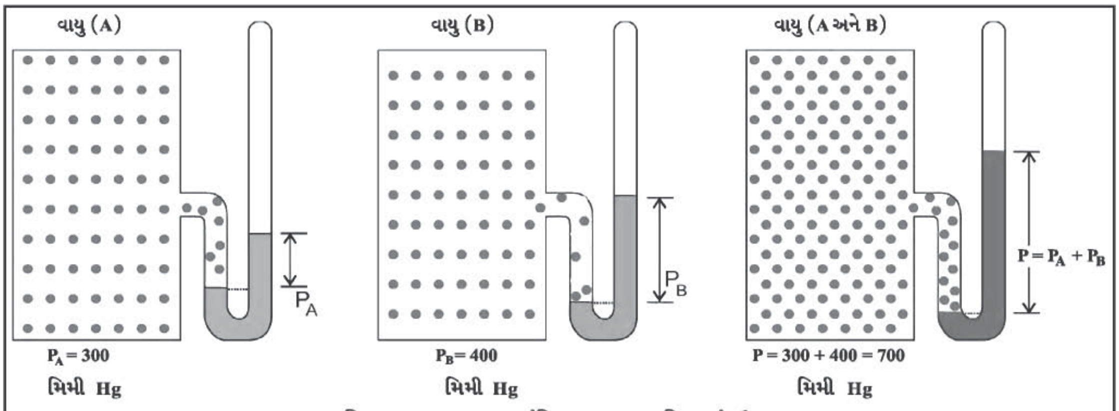
દ્વારા મેળવી શકાય છે. 1801માં રજૂ થયેલાં ડાલ્ટનનો નિયમ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.

"એકબીજા સાથે રાસાયણિક પ્રક્રિયા ન કરતા હોય તેવા વાયુઓના મિશ્રણનું કુલ દબાણ તે દરેક વાયુઓના આંશિક દબાણના સરવાળા જેટલું હોય છે." આંશિક દબાણ એટલે વાયુ અલગ રીતે આપેલા પાત્રમાં, આપેલી પરિસ્થિતિએ ભરેલો હોય ત્યારે મળતું વ્યક્તિગત દબાણ છે. ધારો કે એક પાત્રમાં વાયુઓ A, B, C, Dનું મિશ્રણ ભરેલું છે. તેનાં આંશિક દબાણ અનુક્રમે p_A, p_B, p_C, p_D હોય, તો ડાલ્ટનના નિયમ મુજબ તેને ગાણિતીક રીતે નીચે મુજબ લખી શકાય :

કુલ દબાણ $(P_{total}) = p_A + p_B + p_C + p_D$

ડાલ્ટનના નિયમને નીચેના ઉદાહરણ દ્વારા સમજાવી શકાય.

આકૃતિ 2.18માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એકસરખાં કદ ધરાવતાં ત્રણ પાત્રોને સમાન તાપમાને લો. હવે પ્રથમ પાત્રમાં વાયુ A ભરો. બીજા પાત્રમાં વાયુ B ભરો અને બંને પાત્રમાં ભરેલા વાયુઓનાં દબાણ નોંધો. ધારો કે પ્રથમ પાત્રમાં ભરેલા વાયુ A નું દબાણ p_A અને બીજા પાત્રમાં ભરેલા વાયુ Bનું દબાણ p_B છે. વાયુ A અને B ને મિશ્ર કરતાં રાસાયણિક પ્રક્રિયા થતી નથી. તેથી હવે બંને વાયુઓને ત્રીજા પાત્રમાં ભરો અને ત્રીજા પાત્રમાં



આકૃતિ 2.18 દબાણના આંશિક દબાણના નિયમનું ઉદાહરણ

2.5 ડાલ્ટનનો આંશિક દબાણનો નિયમ (Dalton's Law of Partial pressure)

વાયુમિશ્રણમાં રહેલા ઘટક વાયુઓ તેમના ગુણધર્મો બાબતમાં સ્વતંત્ર રીતે વર્તે છે. તદ્ઉપરાંત આ વાયુઓ મિશ્રણમાં રહ્યા હોવા છતાં દરેક વાયુ તેના નિયમોને અનુસરે છે. બે કે તેથી વધુ વાયુઓ જે એકબીજા સાથે રાસાયણિક પ્રક્રિયા ન કરતા હોય તેવા વાયુઓના મિશ્રણને બંધપાત્રમાં ભરતાં વાયુઓનું કુલ દબાણ ડાલ્ટનના નિયમ

રહેલા વાયુ મિશ્રણનું દબાણ નોંધો જે કુલ દબાણ છે. અવલોકન પરથી કુલ દબાણ $(P_{total}) = p_A + p_B$ પુરવાર થાય છે.

પ્રયોગશાળામાં વાયુની બનાવટ દરમિયાન વાયુને કેટલીક વખત પાણી ઉપર ભેગો કરવામાં આવે છે. ભેગો કરેલો વાયુ તે તાપમાને પાણીની બાષ્પથી સંતૃપ્ત થયેલો હોય છે. તેથી માપેલું દબાણ તે પાણી ઉપર એકત્ર કરેલા વાયુના આંશિક દબાણ અને તે તાપમાને વાયુમાં રહેલી

પાણીની બાષ્પના આંશિક દબાણના સરવાળા જેટલું હોય છે. આથી જો પાણી પર એકત્ર કરેલા શુષ્ક વાયુનું દબાણ મેળવવું હોય, તો માપેલા દબાણમાંથી તે તાપમાનને પાણીનું બાષ્પદબાણ બાદ કરવાથી મળે છે. દા.ત., 298 K તાપમાને પાણી પર એકત્ર કરેલા O_2 વાયુનું કુલ દબાણ (P_{total}) માંથી તે તાપમાને પાણીનું બાષ્પદબાણ (p_{H_2O}) બાદ કરતાં માત્ર શુષ્ક O_2 વાયુનું દબાણ (p_{O_2}) મળે છે.

$$\therefore p_{O_2} = \text{કુલ દબાણ } (P_{total}) - p_{H_2O}$$

આમ, ડાલ્ટનના નિયમનો ઉપયોગ કરીને પાણી પર એકત્ર કરેલા વાયુનું દબાણ મેળવી શકાય છે.

વાયુપાત્રમાં એકત્રિત વાયુના મિશ્રણ માટે કુલ દબાણ (P_{total}) નીચેના સૂત્ર દ્વારા મેળવી શકાય છે.

ધારો કે V લિટર કદના પાત્રમાં T તાપમાને ત્રણ વાયુઓ જેની મોલસંખ્યા અનુક્રમે n_1, n_2 અને n_3 છે અને પાત્રનું કુલ દબાણ (P_{total}) મેળવવું હોય તો, આ પાત્રમાં ત્રણેય વાયુનાં આંશિક દબાણ અનુક્રમે p_1, p_2 અને p_3 હોય તો, ડાલ્ટનના નિયમ મુજબ.

$$\text{કુલ દબાણ } (P_{total}) = p_1 + p_2 + p_3 \text{ થશે.}$$

પરંતુ $p_1 = \frac{n_1RT}{V}$, $p_2 = \frac{n_2RT}{V}$ અને $p_3 = \frac{n_3RT}{V}$

કિંમતો મૂકતાં

$$\text{કુલ દબાણ}(P_{total}) = \frac{n_1RT}{V} + \frac{n_2RT}{V} + \frac{n_3RT}{V}$$

$$= (n_1 + n_2 + n_3)\frac{RT}{V}$$

પરંતુ $(n_1+n_2+n_3)$ = વાયુમિશ્રણના કુલ મોલ હોવાથી

$$\text{કુલ દબાણ}(P_{total}) = (\text{કુલ મોલ}) \times \frac{RT}{V} \text{ દ્વારા મેળવી શકાય.}$$

તેવી જ રીતે કુલ દબાણ પરથી દરેક વાયુના આંશિક દબાણનું મૂલ્ય નીચેના સૂત્ર દ્વારા મેળવી શકાય :

હવે p_1 અને P કુલ દબાણનો ગુણોત્તર લેતાં,

$$\frac{p_1}{P_{\text{કુલ દબાણ}}} = \frac{n_1 \times R \times T \times V}{\text{કુલ મોલ } RT \times V} = \frac{n_1}{\text{કુલ મોલ}}$$

$$\frac{p_1}{P_{\text{કુલ મોલ}}} = X_1 ......$$

(કારણ કે $\frac{n_1}{\text{કુલ મોલ}}$ = મોલ-અંશ = X_1 લેતાં)

$\therefore p_1 = X_1 \cdot P_{\text{કુલ દબાણ}}$ તેવી જ રીતે

$p_2 = X_2 \cdot P_{\text{કુલ દબાણ}}$

$p_3 = X_3 \cdot P_{\text{કુલ દબાણ}}$

આમ, વાયુમિશ્રણમાં દરેક વાયુના મોલ-અંશ અને કુલ દબાણ પરથી દરેક વાયુનું આંશિક દબાણ મેળવી શકાય છે. તેવી જ રીતે વાયુ મિશ્રણમાં દરેક વાયુનું કદથી ટકાવાર પ્રમાણ પરથી નીચેના સૂત્રનો ઉપયોગ કરી આંશિક દબાણ શોધી શકાય.

A વાયુનું આંશિક દબાણ (p_A)

$$= \frac{\text{A વાયુના કદથી ટકા} \times \text{કુલ દબાણ}}{100}$$

દાખલો 15 : 2 લિટર કદના બંધપાત્રમાં 27^0 સે તાપમાને 10 ગ્રામ H_2 અને 22 ગ્રામ CO_2 વાયુનું મિશ્રણ ભરવાથી દરેક વાયુનું આંશિક દબાણ અને કુલ દબાણ શોધો.

ઉકેલ :

10 ગ્રામ H_2 વાયુના મોલ $= \frac{m}{M} = \frac{10}{2} = 5$ મોલ $= n_{H_2}$

22 ગ્રામ CO_2 વાયુના મોલ $= \frac{m}{M} = \frac{22}{44} = 0.5$ મોલ $= n_{CO_2}$

હવે H_2 વાયુના આંશિક દબાણ (p_{H_2})નું મૂલ્ય

$$(27 + 273) = 300 \text{ K}$$

K તાપમાને $p_{H_2} = \frac{nH_2RT}{V}$

$$= \frac{5 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 300}{2} = 62.355 \text{ બાર}$$

$$p_{CO_2} = \frac{nCO_2RT}{V}$$

$$= \frac{0.5 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 300}{2} = 6.236 \text{ બાર}$$

હવે ડાલ્ટનના નિયમ મુજબ

કુલ દબાણ $= p_{H_2} + p_{CO_2} = (62.355 + 6.236)$ બાર

$= 68.591$ બાર

તેથી કુલ દબાણ 68.591 બાર થશે.

દાખલો 16 : 5 લિટર કદના એક પાત્રમાં 4 મોલ Cl_2, 4 મોલ N_2 અને 2 મોલ O_2 વાયુને 27^0 સે તાપમાને ભરવાથી વાયુમિશ્રણનું કુલ દબાણ શોધો.

ઉકેલ : ડાલ્ટનના નિયમ મુજબ,

$$P_{total} = P_{\text{કુલ દબાણ}} = (n_{Cl_2} + n_{N_2} + n_{O_2}) \times \frac{RT}{V}$$

$$= (4 + 4 + 2) \times \frac{RT}{V} \quad (T = 27 + 273 = 300\ K)$$

$$= \frac{10 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 300}{5} = 49.88 \text{ બાર}$$

માટે વાયુ-મિશ્રણનું કુલ દબાણ 49.88 બાર થશે.

દાખલો 17 : 25^0 સે તાપમાને બંધપાત્રમાં 4 મોલ O_2, 3 મોલ Cl_2 અને 3 મોલ N_2 વાયુ ભેગા કરતાં, પાત્રનું કુલ દબાણ 50 બાર માલૂમ પડે, તો દરેક વાયુનું આંશિક દબાણ શોધો.

ઉકેલ :

$$\text{કુલ મોલ} = n_{O_2} + n_{Cl_2} + n_{N_2}$$

$$= 4 + 3 + 3$$

$$= 10 \text{ મોલ}$$

ડાલ્ટનના નિયમ મુજબ O_2 વાયુનું આંશિક દબાણ

$$p_{O_2} = \left(\frac{n_{O_2}}{\text{કુલ મોલ}}\right) \times P_{\text{કુલ દબાણ}}$$

$$= \frac{4}{10} \times 50 = 20 \text{ બાર}$$

$$p_{Cl_2} = \left(\frac{n_{Cl_2}}{\text{કુલ મોલ}}\right) \times P_{\text{કુલ દબાણ}}$$

$$= \frac{3}{10} \times 50 = 15 \text{ બાર}$$

$$p_{N_2} = \left(\frac{n_{N_2}}{\text{કુલ મોલ}}\right) \times P_{\text{કુલ દબાણ}}$$

$$= \frac{3}{10} \times 50 = 15 \text{ બાર}$$

∴ O_2, Cl_2, અને N_2 ના આંશિક દબાણ અનુક્રમે 20 બાર, 15 બાર અને 15 બાર થશે.

દાખલો 18 : 400 કેલ્વિન તાપમાને બંધપાત્રમાં લીધેલા H_2, Ne અને Ar વાયુનું કદથી ટકાવાર પ્રમાણ અનુક્રમે 40%, 40% અને 20% છે. જો કુલ દબાણ 25 બાર હોય, તો દરેક વાયુનું આંશિક દબાણ શોધો.

ઉકેલ : He વાયુનું આંશિક દબાણ

$$p_{He} = \frac{\text{કદ થી He ના ટકા} \times \text{કુલ દબાણ}}{100}$$

$$= \frac{40 \times 25}{100} = 10 \text{ બાર}$$

$$p_{Ne} = \frac{\text{કદથી Ne ના ટકા} \times \text{કુલ દબાણ}}{100}$$

$$= \frac{40 \times 25}{100} = 10 \text{ બાર}$$

$$p_{Ar} = \frac{\text{કદથી Ar ના ટકા} \times \text{કુલ દબાણ}}{100}$$

$$= \frac{20 \times 25}{100} = 5 \text{ બાર}$$

∴ He, Ne, અને Arનાં આંશિક દબાણ અનુક્રમે 10 બાર, 10 બાર અને 5 બાર થશે.

દાખલો 19 : 500 કેલ્વિન તાપમાને 2 લિટર કદના પાત્રમાં પાણી પર 0.32 ગ્રામ O_2 વાયુ એકત્રિત કર્યો છે. જો 500 K તાપમાને પાણીનું બાષ્પદબાણ 32 મિલિબાર હોય, તો શુષ્ક O_2 વાયુનું દબાણ શોધો.

ઉકેલ :

પાણી પર એકત્રિત કરેલા O_2 વાયુનું દબાણ

$$P_{O_2} = \frac{mRT}{MV}$$

$$= \frac{0.32 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 500}{32 \times 2} = 0.2079 \text{ બાર}$$

પરંતુ આ P_{O_2}નું મૂલ્ય તે શુષ્ક O_2 નું દબાણ (p_{O_2}) અને પાણીના બાષ્પદબાણનો સરવાળો છે. હવે પાણીનું બાષ્પદબાણ 32 મિલિબાર એટલે કે 0.032 બાર છે.

તેથી ડાલ્ટનના નિયમ મુજબ

$$P_{O_2} = p_{O_2(\text{શુષ્ક})} + p_{H_2O}$$

$$p_{O_2(\text{શુષ્ક})} = P_{O_2} - p_{H_2O}$$

$$= (0.2079 - 0.032) \text{ બાર}$$

$$= 0.1759 \text{ બાર}$$

∴ શુષ્ક O_2 વાયુનું દબાણ 0.1759 બાર થશે.

2.6 ગ્રેહામનો વાયુ-પ્રસરણનો નિયમ (Graham's Law of Gaseous diffusion)

પ્રયોગશાળાના એક ખૂણામાં મૂકેલ જલીય H_2S વાયુની બૉટલ ખુલ્લી કરતાં થોડા સમય બાદ તેની વાસ પ્રયોગશાળામાં બધે જ ફેલાય છે. વળી, બદામી રંગ ધરાવતો NO_2 વાયુ ભરેલા ફ્લાસ્કને રંગવિહીન H_2 વાયુ ધરાવતા ફ્લાસ્ક સાથે જોડાવાથી બંને ફ્લાસ્કનાં દબાણ સરખાં હોવા છતાં થોડા સમય બાદ બંને પાત્રમાં રંગની તીવ્રતા એકસરખી (આછી બદામી) માલૂમ પડે છે. આમ

થવાનું કારણ મિશ્ર થતા વાયુઓના અણુઓનું એકબીજામાં, એકસરખી રીતે મિશ્ર થઈ, સમાંગ પ્રણાલી બનાવવાનો ગુણધર્મ છે. વાયુઓના આ ગુણધર્મને પ્રસરણ કહે છે. **આમ, વાયુઓનું પ્રસરણ એટલે કે બે કે તેથી વધુ વાયુઓનું આપમેળે મિશ્ર થઈને સમાંગ પ્રણાલી બનાવવા માટેની ક્રિયા છે.** મિશ્ર થતા વાયુઓની ઘનતાને ગણતરીમાં લીધા સિવાય એકબીજામાં તે આપમેળે મિશ્ર થાય છે. આમ, થવાનું કારણ પદાર્થની વાયુ-અવસ્થામાં અણુઓ વચ્ચે ખૂબ જ ખાલી જગ્યા હોય છે. તેથી જુદા-જુદા વાયુઓના અણુઓ એકબીજાના સંપર્કમાં આવતાં તેના અણુઓ ગતિ કરીને બીજા વાયુની વચ્ચે રહેલી ખાલી જગ્યામાં દાખલ થઈ ગોઠવાય છે. સમાંગ પ્રણાલીનું સર્જન થાય ત્યાં સુધી આ ગતિ ચાલુ રહે છે. આમ, વાયુના અણુઓની ગતિને પ્રસરણ કહે છે અને તેના વેગને પ્રસરણ-વેગ કહે છે.

પ્રયોગ દ્વારા સાબિત થયું કે બધા જ વાયુઓ તેના પ્રસરણ-વેગ અને તેની ઘનતા વચ્ચે સંબંધ ધરાવે છે. ઓછી ઘનતા ધરાવતા વાયુ વધારે વેગથી પ્રસરે છે અને વધુ ઘનતા ધરાવતા વાયુ ઓછા વેગથી પ્રસરે છે. વાયુ, પ્રસરણનો અભ્યાસ કરી 1928 માં વૈજ્ઞાનિક ગ્રેહામે વાયુનો પ્રસરણ-વેગ અને તેની ઘનતા વચ્ચેનો સંબંધ ગ્રેહામના વાયુ-પ્રસરણના નિયમ તરીકે રજૂ કર્યો. તેને નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

"તાપમાન અને દબાણની સમાન પરિસ્થિતિએ જુદા-જુદા વાયુઓના પ્રસરણ વેગ તેમની ઘનતાના વર્ગમૂળના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે."

જો વાયુની ઘનતા (d) અને પ્રસરણ-વેગ (r) હોય, તો ગ્રેહામના નિયમનું ગાણિતિક સ્વરૂપ $r \propto \frac{1}{\sqrt{d}}$ થશે. વાયુ-પ્રસરણ વેગના માપનને આધારે વાયુનું આણ્વિય દળ નક્કી થઈ શકે છે. આ માટે સમાન તાપમાને અને દબાણે પ્રયોગ કરીને બે વાયુઓના પ્રસરણ-વેગ સરખાવવામાં આવે છે.

ધારો કે વાયુ–1 અને વાયુ–2 ના પ્રસરણ-વેગ અનુક્રમે r_1 અને r_2 છે, આ બંને વાયુની ઘનતા d_1 અને d_2 હોય, તો ગ્રેહામના વાયુ-પ્રસરણના નિયમના આધારે નીચેનું સમીકરણ લખી શકાય.

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

હવે સમાન તાપમાને અને દબાણે વાયુની ઘનતા તેના આણ્વિય દળ (M) ને સમપ્રમાણમાં હોય છે.

$$\therefore d \propto M$$

હવે સમીકરણ $r \propto \frac{1}{\sqrt{d}}$ અને $d \propto M$ ને સંકલિત કરતાં $r \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$ થશે તેથી બે જુદા-જુદા વાયુઓના પ્રસરણવેગની સરખામણી માટે $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ અને $\frac{d_2}{d_1} = \frac{M_2}{M_1}$ થશે.

આથી સાબિત થાય છે કે, સમાન તાપમાને અને દબાણે કોઈ પણ બે વાયુઓની માપવામાં આવેલી ઘનતાઓનો ગુણોત્તર તે બંને વાયુઓના આણ્વિય દળના ગુણોત્તર બરાબર થાય છે.

આ સમીકરણનો ઉપયોગ કરીને બે વાયુઓના પ્રસરણ-વેગનો ગુણોત્તર પ્રાયોગિક રીતે મેળવેલો હોય અને બે વાયુમાંથી એક વાયુનું આણ્વિય દળ જાણતા હોઈએ, તો બીજા વાયુનું આણ્વિય દળ શોધી શકાય છે.

હવે એકમસમયમાં પ્રસરણ પામેલા વાયુના કદને પ્રસરણ-વેગ કહે છે.

$$\therefore \text{પ્રસરણ-વેગ } (r) = \frac{\text{પ્રસરણ પામતા વાયુનું કદ}(V)}{\text{પ્રસરણ માટે જરૂરી સમય}(t)}$$

$$\therefore r = \frac{V}{t}$$

હવે સમાન તાપમાને અને દબાણે જુદા-જુદા બે વાયુઓ માટે પ્રસરણ-વેગ $r_1 = \frac{V_1}{t_1}$ અને $r_2 = \frac{V_2}{t_2}$ થશે.

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{V_1/t_1}{V_2/t_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{V_1 \cdot t_2}{V_2 \cdot t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

પ્રયોગ દરમિયાન સરળતા માટે બંને વાયુઓના સમાન કદને પ્રસરણ પામવા માટેનો જરૂરી સમય માપવામાં આવે છે અથવા સમાન સમયમાં પ્રસરણ પામતાં બંને વાયુના કદ માપવામાં આવે છે, તેથી આવા પ્રયોગ દરમિયાન મેળવેલા અવલોકનની ગણતરી માટે ઉપર દર્શાવેલા સમીકરણને નીચે મુજબ પણ લખી શકાય :

$\frac{V_1 \cdot t_2}{V_2 \cdot t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$ માં જો $t_1 = t_2$ હોય, તો

$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$ અને જો $V_1 = V_2$ હોય, તો

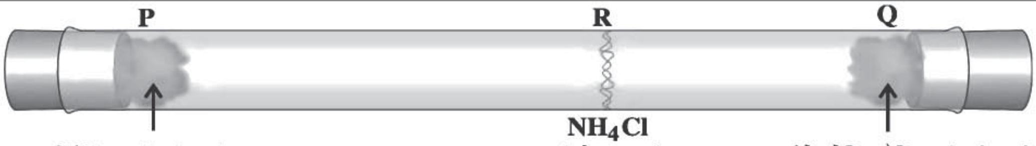
$\frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$ થશે.

પ્રાયોગિક રીતે બે વાયુના પ્રસરણ-વેગનો ગુણોત્તર નક્કી કરવા માટે પ્રયોગશાળામાં પ્રયોગ કરી શકાય. તેના માટે સમાન તાપમાને અને દબાણે તેમજ એકસરખા સમયમાં બે વાયુઓના પ્રસરણ દરમિયાન કેટલું કદ રોકે છે તે નક્કી કરવા માટે નીચે મુજબ પ્રયોગ કરવામાં આવે છે.

પ્રયોગ : પ્રયોગશાળામાં NH_3 અને HCl વાયુના પ્રસરણ-વેગનો ગુણોત્તર નક્કી કરવા માટે આકૃતિ 2.19માં દર્શાવ્યા મુજબ લગભગ 100 સેમી લંબાઈ અને એક સમાન વ્યાસવાળી કાચની નળી PQમાં P છેડે જલીય NH_3માં બોળેલા રૂના પૂમડાવાળો બૂચ અને Q છેડે જલીય HClમાં બોળેલા રૂના પૂમડાવાળો બૂચ એક જ સમયે બેસાડવામાં આવે છે. આ બંને વાયુઓનું નળીમાં પ્રસરણ થતાં આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સફેદ, ધુમાડાયુક્ત NH_4Clનું પાતળું વલય R સ્થાને બનશે. તે નોંધી તેના પરથી અંતર PR અને QR મેળવો.

ગ્રેહામના વાયુ-પ્રસરણના નિયમની ઉપયોગિતા : ગ્રેહામના વાયુ-પ્રસરણના નિયમની ઉપયોગિતા નીચે મુજબ છે.

(i) બે સમસ્થાનિકોના મિશ્રણને અલગ કરવા માટે ઉપયોગી છે. દા.ત., યુરેનિયમ ધાતુના બે સમસ્થાનિકો ^{235}U અને ^{238}U છે. પરમાણુશક્તિના ઉત્પાદનમાં ^{235}U ખૂબ જ અગત્યનો છે. યુરેનિયમ ધાતુમાં ^{235}Uનું પ્રમાણ માત્ર 0.7% છે. તેથી તેને અલગ કરવા માટે, ઘન સ્વરૂપ યુરેનિયમનું બાષ્પશીલ યુરેનિયમ હેક્ઝાફ્લોરાઇડ (UF_6) સ્વરૂપે બંને સમઘટકોનું રૂપાંતર કરવામાં આવે છે. હવે $^{235}UF_6$ અને $^{238}UF_6$ ના આણ્વિય દળનો તફાવત ઘણો ઓછો છે. આથી વાયુઓના પ્રસરણ-વેગનો ગુણોત્તર 1.0047 થશે. હવે એક છિદ્રાળુ પાત્રમાં $^{235}UF_6$ અને $^{238}UF_6$ના મિશ્રણને ભરી તેનું પ્રસરણ થતાં, પ્રસરણ પામેલા વાયુમિશ્રણમાં ઓછા આણ્વિય દળવાળા $^{235}UF_6$ નું પ્રમાણ કંઈક અંશે વધારે હશે. પ્રસરણ વેગના તફાવતને આધારે અલગ પ્રયોગમાં એક પછી એક એવી અનેક પ્રયોગોની હારમાળા રચવામાં આવે છે. અમેરિકાના ટેનેસી રાજ્યમાં ઑકરિજ (Oak-ridge) ખાતે કિલોમીટર સુધી વિસ્તરેલી પ્રયોગશાળામાં આ કામ થાય છે. કિલોમીટર સુધી વિસ્તરેલા છિદ્રાળુ પડદાઓમાંથી આ વાયુમિશ્રણનું પ્રસરણ થતાં, લાંબા સમયે શુદ્ધ $^{235}UF_6$ અલગ મળે છે. જેનું વિઘટન-પ્રક્રિયા કરી શુદ્ધ ^{235}U મેળવાય છે. આમ, યુરેનિયમના સમસ્થાનિકોને જુદા પાડી શકાય છે.



આકૃતિ 2.19 NH_3 અને HCl ના પ્રસરણ વેગનો ગુણોત્તર

પ્રક્રિયા : $NH_{3(g)} + HCl_{(g)} \rightarrow \underset{\text{સફેદ ધુમાડો (વલય)}}{NH_4Cl_{(s)}}$

જ્યાં NH_4Cl નો સફેદ ધુમાડો (વલય) દેખાય છે ત્યાં એકસરખા સમયમાં નળીના PR વિભાગમાં સમાઈ શકે તેટલો NH_3 વાયુ અને નળીના QR વિભાગમાં સમાઈ શકે તેટલો HCl વાયુ પ્રસરણ પામ્યો છે. નળીનો વ્યાસ એકસમાન હોવાથી,

$$\frac{V_{NH_3}}{V_{HCl}} = \frac{\text{અંતર PR}}{\text{અંતર QR}}$$

આ પ્રમાણે પ્રયોગનું ત્રણ વખત પુનરાવર્તન કરી $\frac{PR}{QR}$ નો સરેરાશ ગુણોત્તર કાઢતાં તે 1.46 ± 0.01 જેટલો મળે છે. તે ગ્રેહામના નિયમ મુજબ NH_3 અને HCl ના પ્રસરણ-વેગનો ગુણોત્તર દર્શાવે છે.

(ii) ગ્રેહામના વાયુ પ્રસરણના નિયમનો ઉપયોગ કરી, વાયુઓના અણુભાર અને ઘનતા નક્કી કરી શકાય છે.

(iii) ગ્રેહામના વાયુ પ્રસરણના નિયમનો ઉપયોગ કરી કોઈ પણ બે વાયુના પ્રસરણ વેગનો ગુણોત્તર શોધી શકાય છે.

દાખલો 20 : સમાન પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિએ O_3 અને SO_2 વાયુના પ્રસરણ વેગનો ગુણોત્તર શોધો

ઉકેલ : O_3 અને SO_2 વાયુનાં આણ્વિય દળ અનુક્રમે 48 અને 64 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

હવે ગ્રેહામના નિયમ મુજબ

$$\frac{r_{O_3}}{r_{SO_2}} = \sqrt{\frac{M_{SO_2}}{M_{O_3}}}$$

$$= \sqrt{\frac{64}{48}} = 1.1547$$

$\therefore$ O_3 અને SO_2 વાયુના પ્રસરણ-વેગનો ગુણોત્તર 1.1547 છે.

દાખલો 21 : સૂર્યથી પૃથ્વી પર આવતાં O_2 વાયુને 80 સેકન્ડ સમય લાગે તો He વાયુને કેટલો સમય લાગશે ?

ઉકેલ : અહીં બંને વાયુના પ્રસરણ માટેનું અંતર સમાન હોવાથી, ગ્રેહામના નિયમ મુજબ

$$\frac{t_{O_2}}{t_{He}} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{He}}}$$

$$\frac{80}{t_{He}} = \sqrt{\frac{32}{4}} = \sqrt{8}$$

(કારણ કે O_2 અને Heનાં આણ્વિય દળ અનુક્રમે 32 અને 4 ગ્રામમોલ$^{-1}$ છે.)

$$\therefore t_{He} = \frac{80}{\sqrt{8}}$$

$= 28.288$ સેકન્ડ $\cong 28.29$ સેકન્ડ

$\therefore$ He વાયુને પૃથ્વી ઉપર આવતાં લાગતો સમય 28.29 સેકન્ડ છે.

દાખલો 22 : N_2 વાયુ અને અજ્ઞાત વાયુનું એકસરખા સમયમાં પ્રસરણ કદ અનુક્રમે 50 મિલિ અને 70 મિલિ હોય, તો, અજ્ઞાત વાયુનું આણ્વિય દળ શોધો.

ઉકેલ :

$$\frac{r_{N_2}}{r_{\text{અજ્ઞાત વાયુ}}} = \frac{V_{N_2}}{V_{\text{અજ્ઞાત વાયુ}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{અજ્ઞાત વાયુ}}}{M_{N_2}}}$$

$$\therefore \frac{50}{70} = \sqrt{\frac{M_{\text{અજ્ઞાતવાયુ}}}{28}}$$

(કારણ કે N_2નું આણ્વિય દળ 28 ગ્રામમોલ$^{-1}$ છે.)

$$\therefore M_{\text{અજ્ઞાત વાયુ}} = \frac{2500 \times 28}{4900}$$

$= 14.29$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

$\therefore$ અજ્ઞાત વાયુનું આણ્વિય દળ 14.29 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ હશે.

2.7 એવોગેડ્રોનો અધિતર્ક (Avogadro's Hypothesis)

1811માં એવોગેડ્રોએ અધિતર્ક રજૂ કર્યો કે "પ્રમાણિત તાપમાને અને દબાણે સમાન કદના કોઈ પણ વાયુમાં તેના અણુઓની સંખ્યા સમાન હોય છે."

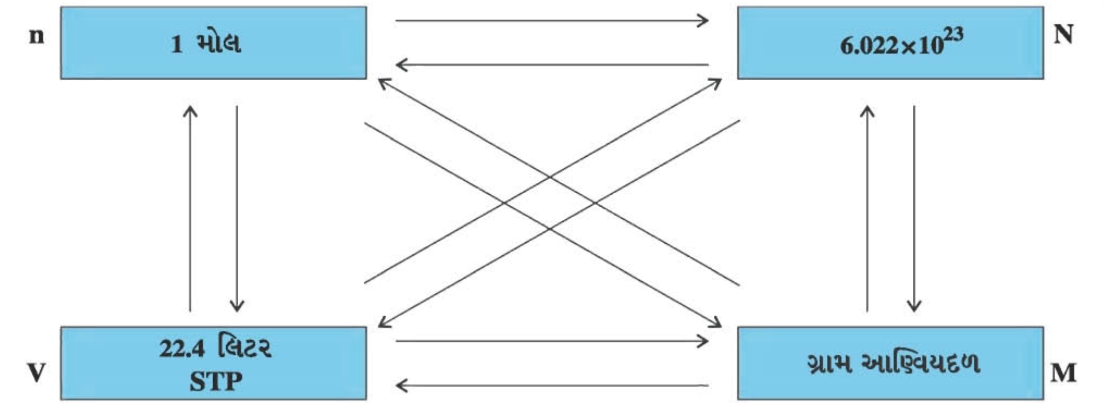
આદર્શવાયુ સમીકરણ એ એવોગેડ્રોના અધિતર્કને રજૂ કરવાની એક રીત છે. આ વાયુ-સમીકરણમાં એવોગેડ્રોના અધિતર્ક પરથી ફલિત થતા બધા જ સંબંધો સમાઈ ગયા છે. આ વાયુ-સમીકરણ અનુકૂળ પરિસ્થિતિમાં બધા જ વાયુઓને લાગુ પડે છે. સંજ્ઞા સ્વરૂપે આ સમીકરણની રજૂઆત નીચે પ્રમાણે કરી શકાય :

P બાર દબાણે T કેલ્વિન તાપમાને કોઇ પણ વાયુના V લિટર કદમાં તે વાયુના n મોલ અણુઓ એટલે કે (n × N) અણુઓ હોય છે. જ્યાં $N = 6.022 \times 10^{23}$ જેને એવોગેડ્રો-અચળાંક અથવા એવોગેડ્રો-આંક કહે છે.

એવોગેડ્રોના અધિતર્ક પરથી ફલિત થતો એક ઉપયોગી ખ્યાલ મોલરકદ છે. આદર્શવાયુ સમીકરણના ઉપયોગથી મોલર કદ સમજાવી શકાય છે. મોલરકદ એટલે કે ગ્રામમાં દર્શાવેલ કોઈ પણ વાયુના આણ્વિય દળ જેટલા જથ્થાએ રોકેલું કદ છે. 273 K તાપમાને અને એક બાર દબાણે કોઈ પણ વાયુના એક મોલનું કદ સામાન્ય વાયુ સમીકરણનો ઉપયોગ કરી શોધી શકાય છે. તેનું મૂલ્ય 22.4 લિટર સ્વીકારવામાં આવ્યું છે મોલરકદને આણ્વિય કદ અથવા ગ્રામ આણ્વિય કદ પણ કહે છે. એવોગેડ્રોના સિદ્ધાંતની રજૂઆત મોલરકદના આધારે નીચે પ્રમાણે કરી શકાય.

"273 K તાપમાને અને એક બાર દબાણે કોઈ પણ વાયુના 22.4 લિટર કદમાંના ગ્રામમાં વજન (દળ)ને તેનું આણ્વિય દળ કહે છે." એવોગેડ્રોના સિદ્ધાંત મુજબ "કોઈ પણ વાયુના એક મોલરકદમાં રહેલા અણુઓની સંખ્યા 6.022×10^{23} છે."

"કોઈ પણ પદાર્થના એક મોલ અણુનું ગ્રામમાં વજન તે તેનું મોલર ભાર છે." કોઈ પણ પદાર્થ માટે તેની મોલસંખ્યા (n), કણોની સંખ્યા (N), STPએ કદ (V) અને ગ્રામ આણ્વિય દળ (M) વચ્ચેનો પરસ્પર સંબંધ આકૃતિ 2.20 પ્રમાણે છે.



આકૃતિ 2.20 મોલ (n), કણોની સંખ્યા (N), વાયુનું કદ (STP) અને ગ્રામ-આણ્વિયદળ વચ્ચેનો પરસ્પર સંબંધ

દાખલો 23 : 20 ગ્રામ $CaCO_3$માં રહેલાં અણુની સંખ્યા, પરમાણુઓની સંખ્યા અને કુલ પરમાણુઓની સંખ્યા શોધો.

ઉકેલ :

$CaCO_3$ નું આણ્વિય દળ 100 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

$\therefore$ $CaCO_3$ના મોલ $\frac{m}{M} = \frac{20}{100} = 0.2$ મોલ

હવે $CaCO_3$ના અણુની સંખ્યા

= મોલ × એવોગેડ્રો-અચળાંક

= $0.2 \times 6.022 \times 10^{23}$ અણુઓ

= 1.2044×10^{23} અણુઓ

$CaCO_3$ના એક અણુમાં Caનો એક પરમાણુ, કાર્બનનો એક પરમાણુ અને ઑક્સિજનના ત્રણ પરમાણુઓ અને કુલ પાંચ પરમાણુઓ છે.

તેથી Caના પરમાણુઓની સંખ્યા

= અણુઓની સંખ્યા × 1

= 1.2044×10^{23}

કાર્બનના પરમાણુઓની સંખ્યા

= અણુઓની સંખ્યા × 1

= 1.2044×10^{23}

ઑક્સિજનના પરમાણુઓની સંખ્યા

= અણુઓની સંખ્યા × 3

= $1.2044 \times 10^{23} \times 3$

= 3.6132×10^{23}

કુલ પરમાણુઓની સંખ્યા

= અણુઓની સંખ્યા × 5

= $1.2044 \times 10^{23} \times 5$

= 6.022×10^{23}

દાખલો 24 : STP એ 5.6 લિટર CH_4 માં રહેલા અણુઓની સંખ્યા, પરમાણુઓની સંખ્યા અને કુલ પરમાણુઓની સંખ્યા શોધો.

ઉકેલ : CH_4ના મોલ = $\frac{5.6}{22.4} = 0.25$ મોલ

હવે CH_4ના અણુમાં એક કાર્બન પરમાણુ, ચાર હાઇડ્રોજન પરમાણુ અને કુલ 5 પરમાણુઓ આવેલા છે.

$\therefore$ 0.25 મોલ CH_4માં અણુની સંખ્યા

= મોલ × N

= $0.25 \times 6.022 \times 10^{23}$

= 1.5055×10^{23} અણુઓ

તેથી કાર્બન પરમાણુઓની સંખ્યા

= અણુઓની સંખ્યા × 1

= $1.5055 \times 10^{23} \times 1$

= 1.5055×10^{23} પરમાણુઓ

હાઇડ્રોજન પરમાણુઓની સંખ્યા

= અણુઓની સંખ્યા × 4

= $1.5055 \times 10^{23} \times 4$

= 6.022×10^{23} પરમાણુઓ

કુલ પરમાણુઓની સંખ્યા

= અણુઓની સંખ્યા × 5

= $1.5055 \times 10^{23} \times 5$

= 7.5275×10^{23} પરમાણુઓ

દાખલો 25 : 6.022×10^{22} ઑક્સિજનના અણુઓનું STPએ કદ અને વજન શોધો.

ઉકેલ :

$$O_2 \text{ ના મોલ } = \frac{\text{અણુઓની સંખ્યા}}{\text{એવોગેડ્રો-અચળાંક}}$$

$$= \frac{6.022 \times 10^{22}}{6.022 \times 10^{23}} = 0.1 \text{ મોલ}$$

$\therefore$ O_2 વાયુના STPએ કદ

= મોલ × 22.4 લિટર

= 0.1 × 22.4

= 2.24 લિટર

$\therefore$ O_2 વાયુનું વજન

= મોલ × આણ્વિય દળ

= 0.1 × 32

= 3.2 ગ્રામ

2.8 પ્રવાહી અવસ્થા અને તેના ભૌતિક ગુણધર્મો (Liquid State and its Physical Properties)

પ્રવાહી અવસ્થાને નિશ્ચિત કદ હોય છે, પણ ચોક્કસ આકાર હોતો નથી. જે પાત્રમાં પ્રવાહી ભર્યું હોય તે પાત્રનો આકાર તે ધારણ કરે છે. વાયુ-અવસ્થાની સરખામણીમાં પ્રવાહીમાં અણુઓની ગોઠવણી એકબીજાની નજીક હોય છે. પ્રવાહી અવસ્થામાં અણુઓ વચ્ચે આંતર આણ્વિય અંતર ઓછું હોવાથી આકર્ષણબળ વાયુ-અવસ્થા કરતાં વધુ પણ ઘન અવસ્થા કરતાં ઓછું હોય છે. પરિણામે પ્રવાહીને ચોક્કસ કદ હોય છે, પણ ચોક્કસ આકાર હોતો નથી. પ્રવાહી અવસ્થામાં અણુઓની ગોઠવણી વાયુ-અવસ્થા કરતાં વ્યવસ્થિત પરંતુ ઘન અવસ્થા ઓછી વ્યવસ્થિત થયેલી હોય છે. આમ, પ્રવાહી અવસ્થા તે ઘન અને વાયુ-અવસ્થાને જોડતી મધ્યસ્થ અવસ્થા છે. દરેક પ્રવાહીમાં માપી શકાય તેવા કેટલાક ભૌતિક ગુણધર્મોની વિશિષ્ટતા હોય છે, જે નીચે મુજબ છે :

(i) નિશ્ચિત કદ : પ્રવાહીને નિશ્ચિત કદ હોય છે. તે વાયુની માફક ફેલાઈને આખા પાત્રને ભરી દેતો નથી. પ્રવાહીની એક સપાટી મુક્ત હોય છે. જ્યારે બાકીની સપાટીઓ સંપર્કમાં રહેલા પાત્રને આધારિત હોય છે. પ્રવાહીને નિશ્ચિત કદ હોવાથી કોઈ પણ પાત્રમાં ભરવાથી કદમાં ફેરફાર થતો નથી. દા.ત., 500 મિલિ પાણીને બીકર, કૉનિકલ ફ્લાસ્ક, તપેલી કે ડોલમાં ભરવાથી તેનું કદ 500 મિલિ જ રહે છે. તેનું કદ બદલાતું નથી, પરંતુ તે પાત્રનો આકાર ધારણ કરે છે.

(ii) વહનશીલતા : પ્રવાહીને વહેવડાવી શકાય છે અને એક પાત્રમાંથી બીજા પાત્રમાં રેડી શકાય છે. પાત્રના આકાર મુજબ તે આકાર ધારણ કરે છે, કારણ કે પ્રવાહી વહનશીલતાનો ગુણ ધરાવે છે.

(iii) અસંકોચનીયતા : વાયુની સરખામણીમાં પ્રવાહીમાં સંકોચનીયતા ગુણધર્મ ખૂબ જ ઓછો માલૂમ પડે છે. દા.ત., 298 K તાપમાને વાયુ-અવસ્થા માટે તેના ઉપર લાગતું દબાણ બે ગણું કરતાં કદ અડધું થાય છે. જ્યારે પ્રવાહીમાં દબાણ બે ગણું કરતાં કદમાં ફક્ત 0.0045% નો ઘટાડો થાય છે. વળી 293 K તાપમાને પાણી પર 1000 બાર દબાણ આપવાથી તેના કદમાં માત્ર 4% જેટલો ઘટાડો થાય છે. આમ, વાયુઓની સરખામણીમાં પ્રવાહીમાં અસંકોચનનો ગુણધર્મ છે.

(iv) પ્રસરણ : પાણીથી ભરેલા અડધા નળાકારપાત્રમાં ઇથાઇલ આલ્કોહૉલને પાત્રની અંદરની બાજુની સપાટીએથી ખૂબ જ ધીમેથી, કાળજીપૂર્વક ઉમેરવામાં આવે તો પાણીની સપાટી ઉપર ઇથાઇલ આલ્કોહૉલને તરતો રાખી શકાય છે અને બંને વચ્ચેની ભેદરેખા સ્પષ્ટ જોઈ શકાય છે. પરંતુ આ પ્રણાલીને થોડો સમય રાખી પછી અવલોકન કરતાં સમય જતા તેમની વચ્ચેની ભેદરેખા ધીમે-ધીમે અસ્પષ્ટ થાય છે અને છેવટે નાબૂદ થાય છે. આથી કહી શકાય કે ઇથાઇલ આલ્કોહૉલ પાણીમાં ધીમે પ્રસરણ પામે છે. આ પ્રણાલીને જો વધુ લાંબો સમય રાખી મૂકીએ, તો બંને પ્રવાહીનું સમાંગ મિશ્રણ બને છે. વાયુઓ કરતાં, પ્રવાહીમાં પ્રસરણ ધીમું થાય છે. કારણ કે પ્રવાહીમાં અણુઓની ગોઠવણી નજીક હોવાથી જ્યારે તે પ્રસરણ પામે છે, ત્યારે બાજુમાં ગોઠવાયેલા અણુ સાથે અથડામણ અનુભવે છે. જે પ્રસરણમાં અવરોધ ઊભો કરે છે. વળી, વાયુ કરતાં પ્રવાહીમાં અણુઓ વચ્ચે આંતર આણ્વિય આકર્ષણ વધુ હોવાથી અણુઓને ઝડપથી પ્રસરણ પામતા અટકાવે છે. તેથી પ્રસરણ ધીમું થાય છે. જોકે તાપમાન વધતાં પ્રવાહીમાં પ્રસરણ-વેગ વધે છે, કારણ કે તાપમાન વધતાં પ્રવાહીના અણુઓની ગતિજ-ઊર્જામાં વધારો થાય છે. તેથી અણુઓ ઝડપથી ગતિ કરી શકે છે. પ્રસરણનો ગુણધર્મ સમાન પ્રકારની ધ્રુવીયતા ધરાવતા પ્રવાહીમાં માલૂમ પડે છે. જેમકે ધ્રુવીય પ્રવાહી બીજા ધ્રુવીય પ્રવાહીના સંપર્કમાં આવતાં પ્રસરણ પામે છે. પરંતુ અધ્રુવીય પ્રવાહીના સંપર્કમાં પ્રસરણ થતું નથી. તેનાથી વિરુદ્ધ પણ સાચું છે.

(v) બાષ્પીભવન : જો પ્રવાહીને ખુલ્લી સપાટી પર રેડવામાં આવે તો, સમય જતાં તે ઊડી જશે. આનું કારણ એ છે કે કેટલાક પ્રવાહીઓ સામાન્ય તાપમાને સ્વતઃ વાયુ-અવસ્થામાં ફેરવાઈ જાય છે. આ ઘટનાને બાષ્પીભવન કહે છે. દરેક તાપમાને પ્રવાહીનું બાષ્પીભવન ઓછુંવત્તું થતું રહે છે. વાયુની જેમ પ્રવાહીમાં પણ બધા જ અણુઓની ગતિ

સમાન હોતી નથી. કેટલાક અણુઓની ગતિ મહત્તમ, કેટલાકની મધ્યમ તો કેટલાકની ધીમી હોય છે. હવે જે અણુઓની ગતિ મહત્તમ હોય છે, તેની ગતિજ-ઊર્જા પણ વધારે હોય છે અને તેવા અણુઓનું બાષ્પીભવન ઝડપી થાય છે અને તે અણુઓ પ્રવાહીની સપાટી છોડી જતા રહે છે. પરિણામે પ્રવાહીમાં બાકી રહેલા અણુઓની ગતિ ઓછી અને ગતિજ-ઊર્જા પણ ઓછી થવાથી તાપમાન ઘટે છે. આથી, પ્રવાહીનું બાષ્પીભવન થતાં તાપમાન ઘટે છે, તેથી ઠંડક પેદા થાય છે. બાષ્પીભવનનો આધાર તાપમાન, આંતર આણ્વિય બળની પ્રબળતા અને પ્રવાહીની ખુલ્લી સપાટીના ક્ષેત્રફળ પર છે.

(vi) બાષ્પદબાણ : જેવી રીતે વાયુઓ બંધ પાત્રમાં દબાણ દર્શાવે છે, તેવી જ રીતે પ્રવાહી પણ બંધ પાત્રમાં દબાણ દર્શાવે છે. બાષ્પીભવન થવાને કારણે અણુઓ પ્રવાહીની સપાટી છોડી જતા હોય છે પણ પાત્રને છોડી દેતા નથી. તે બાષ્પ સ્વરૂપે પ્રવાહીની સપાટી પર એકત્રિત થાય છે. બાષ્પ-અવસ્થા ધરાવતા અણુઓ બધી જ દિશામાં આમતેમ ઘૂમતા હોય છે. તે એકબીજા સાથે અને પાત્રની દીવાલ સાથે પ્રવાહીની સપાટી સાથે અથડાય છે. આ દરમિયાન કેટલાક ધીમી ગતિથી ઘૂમતા અણુઓ જ્યારે પ્રવાહીની સપાટી પર અથડાય છે, ત્યારે તે ફરીથી આંતર આણ્વિય આકર્ષણબળથી સપાટી પર પકડાય છે અને પ્રવાહીમાં ફેરવાય છે. તેને ઠારણ કહે છે. શરૂઆતમાં બાષ્પીભવન અને ઠારણનો વેગ સમાન હોતો નથી પણ થોડા સમય પછી બંને વેગ સમાન બને છે. આ અવસ્થાને ગતિશીલ સંતુલન કહે છે. હવે વાયુ-અવસ્થા ધરાવતા અણુઓની સાંદ્રતા અચળ બને છે અને બાષ્પના અણુઓ જ્યારે તેની પ્રવાહી અવસ્થા સાથે સંતુલનમાં હોય, ત્યારે બાષ્પના અણુ દ્વારા ઉદ્ભવતા દબાણને બાષ્પદબાણ કહે છે. બાષ્પ દબાણનો આધાર પ્રવાહીના પ્રકાર અને પ્રવાહીના તાપમાન પર છે. પ્રવાહીનો પ્રકાર એટલે કે પ્રવાહીના અણુમાં લાગતું આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળ છે. જેમ આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળ ઓછું તેમ બાષ્પદબાણ વધુ હોય છે. પ્રવાહીનું તાપમાન વધુ હોય તો બાષ્પદબાણ વધુ હોય છે.

(vii) પૃષ્ઠતાણ : પ્રવાહીની મુક્ત સપાટી પર કલ્પેલી એકમલંબાઈની રેખાની એક બાજુ પરના પ્રવાહીના અણુઓ, રેખાની બીજી બાજુ પરના પ્રવાહીના અણુઓ પર રેખાને લંબરૂપે અને સપાટીને સમાંતર જે બળ લગાડે છે, તેને પ્રવાહીનું પૃષ્ઠતાણ કહે છે. પૃષ્ઠતાણને કારણે ટીપું હંમેશા લગભગ ગોળ આકારનું હોય છે. પાતળી કેશનળીમાં પાણી કેટલીક ઊંચાઈ સુધી ઉપર ચડે છે, તેનું કારણ પણ પૃષ્ઠતાણ છે.

(viii) સ્નિગ્ધતા : સ્તરીય વહનમાં કોઈ પણ બે ક્રમિક સ્તરો વચ્ચે વેગ હોય છે. પરિણામે તેમની સંપર્ક સપાટી પર સ્પર્શીય અવરોધક બળ ઉદ્ભવે છે. આવા આંતરિક અવરોધક બળને સ્નિગ્ધતાબળ કહે છે. પ્રવાહીમાં આવું બળ હોવાના ગુણધર્મને સ્નિગ્ધતા કહે છે. સ્નિગ્ધતાનો આધાર આંતર આણ્વિય બળ ઉપર છે. જેમ આંતર-આણ્વિય બળ વધુ તેમ સ્નિગ્ધતા વધુ હોય છે. વળી, તાપમાન વધતાં સ્નિગ્ધતા ઘટે છે.

સારાંશ

અણુઓના સમૂહને દ્રવ્ય કહે છે. દ્રવ્ય નાના કણોનો બનેલ છે. દ્રવ્યની ત્રણ અવસ્થા છે, ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ અને બીજી બે અવસ્થા પ્લાઝ્મા અને બોઝ આઈન્સ્ટાઈન કન્ડેનસેટ તરીકે જાણીતી છે. પદાર્થની ભૌતિક અવસ્થા તાપમાનમાં ફેરફાર થતાં બદલાય છે. ભૌતિક અવસ્થા બદલાતાં તેના ભૌતિક ગુણધર્મો બદલાય છે. પરંતુ રાસાયણિક ગુણધર્મો બદલાતા નથી. કેટલીક વખત રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ તેની ભૌતિક અવસ્થા બદલાતાં બદલાય છે, પરંતુ રાસાયણિક ગુણધર્મો બદલાતાં નથી. કેટલીક વખત રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો વેગ તેની ભૌતિક અવસ્થા બદલાતાં બદલાય છે. રાસાયણિક ગણતરી કરતી વખતે પદાર્થ (પ્રક્રિયક અથવા નીપજ)ની ભૌતિક અવસ્થા જાણવી ખૂબ જ જરૂરી બને છે અને તેથી પદાર્થની ભૌતિક અવસ્થા, તેના માટે જવાબદાર પરિબળો અને તેને લગતા કેટલાક અગત્યના નિયમોનો અભ્યાસ કરવો જરૂરી બને છે. પદાર્થની અવસ્થા નક્કી કરનાર પરિબળો જેવાં કે આંતર-આણ્વિય બળો, આણ્વિય પારસ્પરિક ક્રિયા અને કણની ગતિ ઉપર અસર કરતી ઉષ્મીય ઊર્જા છે.

ડચ વૈજ્ઞાનિક વાન્ ડર વાલ્સે અણુઓ વચ્ચે ઉદ્ભવતું નિર્બળ આકર્ષણ દર્શાવ્યું છે, જે બીજા કોઈ પણ રાસાયણિક આકર્ષણ (આયનીય બંધ કે સહસંયોજક બંધ) વડે સમજાવી શકાતું નથી અને તેને વાન્ ડર વાલ્સ આકર્ષણબળ કહે છે. આ બળ સાર્વત્રિક છે. પદાર્થમાં આ આકર્ષણબળ $4.5\ \overset{0}{A}$ અંતર સુધી પ્રવર્તે છે. વાન્ ડર વાલ્સના બળનો આધાર અણુનો આકાર અણુઓમાં રહેલ ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા, અણુઓની

સંપર્કસપાટી અને સરેરાશ આંતર-આણ્વિય અંતર પર છે. વાન્ ડર વાલ્સ આકર્ષણબળ જુદા-જુદા પ્રકારનાં જેવાં કે (1) વિક્ષેપનબળ અથવા લંડનબળો (2) દ્વિ-ધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ અને (3) પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ છે.

વિક્ષેપન આકર્ષણબળનો સૌપ્રથમ પ્રસ્તાવ જર્મન વૈજ્ઞાનિક ફ્રિટ્ઝ લંડને (Fritz London) કર્યો હોવાથી તે લંડનબળ તરીકે પણ ઓળખાય છે. આ પ્રકારના આકર્ષણબળ અણુઓ કે પરમાણુઓમાં જોવા મળે છે. ઇલેક્ટ્રૉનની ઘનતામાં ક્ષણિક વિક્ષેપન થતાં તે બાજુમાં આવેલા અણુ કે પરમાણુની ઇલેક્ટ્રૉનઘનતા પર અસર કરે છે, તેથી આકર્ષણબળ ઉત્પન્ન થાય છે અને આવી અસરને વિક્ષેપનબળ કહે છે. કાયમી દ્વિધ્રુવીય અણુઓમાં દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ ઉત્પન્ન થાય છે. આવા દ્વિધ્રુવીય અણુઓમાં આંતર-આણ્વિય લંડનબળ પણ પારસ્પરિક રહેલાં હોય છે. તેથી બંને બળોની ભેગી અસર જોવા મળે છે. લંડનબળ કરતાં દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ વધુ પ્રબળ હોય છે. જ્યારે દ્વિધ્રુવીય અણુ અધ્રુવીય અણુના સંપર્કમાં આવે છે, ત્યારે ધ્રુવીય પ્રેરિત ધ્રુવીય બળ જોવા મળે છે. આ પ્રકારના અણુઓમાં લંડનબળ પણ હોય છે, તેથી બંને બળની ભેગી અસર જોવા મળે છે. હાઇડ્રોજન બંધ અગત્યનું આંતર-આણ્વિય બળ છે. સમૂહ 5, 6 અને 7ના પ્રથમ તત્ત્વની ઊંચી વિદ્યુતઋણતાના કારણે તે હાઇડ્રોજન સાથે હાઇડ્રાઇડ સંયોજનો બનાવે છે, જેમાં હાઇડ્રોજન બંધ જોવા મળે છે. આંતર-આણ્વિય અપાકર્ષણબળ પણ જોવા મળે છે. અને તેના પર આધારિત દબાણની ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ પર થતી અસર સહેલાઈથી સમજાવી શકાય છે. દ્રવ્યની ભૌતિક અવસ્થા નક્કી કરતું અગત્યનું પરિબળ ઉષ્મીય ઊર્જાની અણુઓની ગતિ પર થતી અસર છે. અણુ કે પરમાણુઓની ગતિના કારણે ઉદ્ભવતી ઊર્જાને તેની ઉષ્મીય ઊર્જા કહે છે. તેનો આધાર પદાર્થના તાપમાન પર છે. હવે આંતર-આણ્વિય આકર્ષણબળ અણુને એકબીજાની નજીક રાખવાનું વલણ ધરાવે છે. જ્યારે ઉષ્મીય ઊર્જા અણુઓને દૂર રાખવાનુ વલણ ધરાવે છે, તેથી આ બંને વિરુદ્ધ પરિબળો વચ્ચેના સમતુલિત સમન્વયથી દ્રવ્યની ભૌતિક અવસ્થા ઘન, પ્રવાહી કે વાયુ નક્કી થાય છે. વાયુ-અવસ્થામાં અણુઓ વચ્ચે નિર્બળ આકર્ષણ હોવાથી તેમાં કેટલીક લાક્ષણિકતા છે. વાયુઓની વર્તણૂકને દળ, કદ, તાપમાન અને દબાણના જથ્થાત્મક સંબંધ વડે દર્શાવી શકાય છે અને આવા સંબંધને પ્રાયોગિક અભ્યાસથી શોધવામાં આવ્યા છે. આવા સંબંધને વાયુના નિયમો કહે છે. વાયુના દબાણ અને કદનો સંબંધ રજૂ કર્યો. તેને બૉઇલનો નિયમ કહે છે. નિશ્ચિત તાપમાને, નિશ્ચિત જથ્થાના વાયુનું દબાણ (P), તેના કદ (V)ના વ્યસ્તપ્રમાણમાં હોય છે. ગાણિતિક રીતે બૉઇલનો નિયમ $PV = K$ અથવા $P_1V_1 = P_2V_2$ લખી શકાય. બૉઇલના નિયમ પરથી ઘનતા (d) અને દબાણ (p) વચ્ચે $d/P = K$ સંબંધ પણ તારવવામાં આવ્યો. કેલ્વિન તાપમાનને SI એકમ તરીકે સ્વીકારવામાં આવ્યો. $T = (t\,^0C + 273.15)$ K સંબંધ મેળવ્યો. પ્રાયોગિક અવલોકનોને આધારે નિરપેક્ષ તાપમાન અને કદ વચ્ચેનો સંબંધ મેળવ્યો. તેને ચાર્લ્સનો નિયમ કહે છે. ગાણિતિક રીતે તેને $\frac{V}{T} = K$ અથવા $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ લખી શકાય, જ્યાં V = કદ છે. દબાણ અને નિરપેક્ષ તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ પ્રાયોગિક અવલોકનોને આધારે ગેલ્યુસેકે મેળવ્યો, તેને ગેલ્યુસેકનો નિયમ કહે છે. ગાણિતિક રીતે તેને $\frac{P}{T} = K$ અથવા $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ લખી શકાય, જ્યાં T = તાપમાન કેલ્વિનમાં છે. વાયુનું કદ અને અણુઓની સંખ્યા વચ્ચેનો સંબંધ. એવોગેડ્રો રજૂ કર્યો તેને એવોગેડ્રોનો નિયમ કહે છે. ગાણિતિક રીતે તેને $V = Kn$ સ્વરૂપે લખી શકાય. 0^0સે અથવા 273 K તાપમાને અને 1 બાર દબાણને SI પદ્ધતિ દ્વારા પ્રમાણિત મૂલ્ય તરીકે સ્વીકાર્યાં છે અને તેથી આ મૂલ્યો પ્રમાણિત તાપમાન અને દબાણ (STP) તરીકે જાણીતાં છે. STPએ 1 મોલ વાયુનું કદ 22.4 લિટર અને 6.022×10^{23} અણુની સંખ્યાને અનુક્રમે મોલરકદ અને એવોગેડ્રો-આંક કહે છે. બૉઇલ અને ચાર્લ્સના નિયમના સમન્વયથી પ્રાપ્ત થતો સંબંધ $\frac{PV}{T} = K$ અથવા $\frac{P_1\ V_1}{T_1} = \frac{P_2\ V_2}{T_2}$ તેને સંયુક્ત વાયુ સમીકરણ કહે છે. આદર્શવાયુ સમીકરણ $PV = nRT$ ને અવસ્થા-સમીકરણ પણ કહે છે અને Rને સાર્વત્રિક અચળાંક કહે છે અને જુદાં-જુદાં એકમમાં તેનાં મૂલ્યો જુદાં-જુદાં હોય છે. ઊંચા તાપમાને

અને નીચા દબાણે વાસ્તવિક વાયુ તે આદર્શવાયુ તરીકે વર્તે છે. દરેક તાપમાને અને દબાણે જે વાયુઓ વાયુના નિયમો અને આદર્શવાયુ સમીકરણનું પાલન કરે છે. તેને આદર્શવાયુઓ કહે છે. વાસ્તવિક વાયુની વર્તણૂક આદર્શવાયુ કરતાં વિચલન અનુભવે છે. અને તેનો અભ્યાસ તાપમાન અને દબાણની અસર દ્વારા કરવામાં આવ્યો અને તેથી આદર્શવાયુ સમીકરણ $\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$ લખી શકાય, અને આ સમીકરણને વાન્ ડર વાલ્સ સમીકરણ કહે છે. તાપમાન ઘટાડવાથી અને દબાણ વધારવાથી વાયુનું પ્રવાહીકરણ થઈ શકે છે, જે મહત્તમ તાપમાન અને લગાડેલા દબાણ પર વાયુનું પ્રવાહીકરણ થાય છે. તેને અનુક્રમે ક્રાંતિક તાપમાન (T_C) અને ક્રાંતિક દબાણ (P_C) કહે છે અને ક્રાંતિક તાપમાને અને ક્રાંતિક દબાણે 1 મોલ વાયુના કદને ક્રાંતિક કદ (V_C) અને આ અવસ્થાને ક્રાંતિક અવસ્થા કહે છે. P_C, T_C અને V_Cનાં મૂલ્યો નિશ્ચિત હોય છે, તેથી તેને ક્રાંતિક અચળાંકો કહે છે. આલેખ દ્વારા વાયુનું પ્રવાહીકરણ સમજાવી શકાય. અણુઓની જુદી-જુદી શક્ય ગતિની વહેંચણીનો અભ્યાસ મેક્સવેલ અને બોલ્ટ્ઝમેને કર્યો અને આલેખ દોર્યો, જે ને મેક્સવેલનો વહેંચણી-વક્ર કહે છે.

બે કરતાં વધુ વાયુના મિશ્રણનું કુલ દબાણ ડાલ્ટનના આંશિક દબાણના નિયમના સમીકરણ પ્રમાણે કુલ દબાણ = $p_A + p_B + p_C + p_D$ દ્વારા મેળવી શકાય છે. કુલદબાણ (P) ઉપરથી વાયુનું આંશિક દબાણ (p); $p = X \cdot P$ સમીકરણ દ્વારા મેળવી શકાય છે. જો વાયુના કદથી ટકા આપેલા હોય, તો વાયુનું આંશિક દબાણ $p_A = \frac{\text{A વાયુના કદથી ટકા} \times \text{કુલ દબાણ}}{100}$ સમીકરણ દ્વારા ગણી શકાય છે. ગ્રેહામનો વાયુ-પ્રસરણનો નિયમ $r \propto \frac{1}{\sqrt{d}}$ અને આ સૂત્રનો ઉપયોગ કરીને પ્રસરણ વેગ (r) NH_3 અને HCl વાયુ માટે પ્રાયોગિક રીતે 1.46 ± 0.01 મેળવી શકાય. ગ્રેહામના વાયુ પ્રસરણના નિયમની ઉપયોગિતા એકમમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે છે. એવોગેડ્રોનો અધિતર્ક તે અણુઓની સંખ્યા, પરમાણુ અને કુલ પરમાણુઓની સંખ્યા આપેલા જથ્થાના વાયુ માટે ગણતરી કરવા ઉપયોગી છે.

પ્રવાહી અવસ્થા અને તેના ભૌતિક ગુણધર્મો જેવા કે નિશ્ચિત કદ, વહનશીલતા, અસંકોચન, પ્રસરણ, બાષ્પીભવન, બાષ્પદબાણ, પૃષ્ઠતાણ અને સ્નિગ્ધતા છે.

સ્વાધ્યાય

1. આપેલા બહુવિકલ્પમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) લંડનબળ કયા પ્રકારનું આકર્ષણબળ છે ?

(A) આયનીય (B) સહસંયોજક (C) વાન્ ડર વાલ્સ (D) હાઇડ્રોજન-બંધ

(2) HCl અને O_2ના અણુઓ વચ્ચે કયા પ્રકારનાં વાન્ ડર વાલ્સ બળ હશે ?

(A) લંડન (B) દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય

(C) દ્વિધ્રુવીય-પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય (D) ધ્રુવીય-ધ્રુવીય

(3) એક મોલ હાઇડ્રોજન-બંધની ઊર્જા કેટલી હશે ?

(A) 10 કિ કેલરી (B) 10 કિ જૂલ (C) 100 કિ કેલરી (D) 10 - 100 કિ જૂલ

(4) સામાન્ય પરિસ્થિતિએ કયા પદાર્થની ઘનતા સૌથી ઓછી હશે ?

(A) બરફ (B) પાણી (C) તાંબું (D) પિત્તળ

(5) ઘનતા ∝ દબાણ સંબંધ દર્શાવતો કયો નિયમ છે ?

(A) બૉઇલ (B) ચાર્લ્સ (C) ગેલ્યુસેક (D) એવોગેડ્રો

(6) 25^0 સે તાપમાન ધરાવતા O_2 વાયુનું તાપમાન 50^0 સે કરવામાં આવે, તો O_2 વાયુનું કદ કેટલું થશે ?

(A) બે ગણું (B) બે ગણાં કરતાં વધુ

(C) અડધું (D) બે ગણાં કરતાં ઓછું

(7) દબનીય અવયવ Zનું મૂલ્ય He માટે હંમેશાં કેવું હોય છે ?

(A) 1 (B) >1 (C) <1 (D) શૂન્ય

(8) કયા તાપમાને વાયુનું પ્રવાહીકરણ શક્ય બને છે ?

(A) T_C (B) $> T_C$ (C) $< T_C$ (D) T_C અથવા $< T_C$

(9) બાષ્પીભવન થવાથી વાતાવરણમાં કયો ફેરફાર થશે ?

(A) ગરમી વધે (B) ઠંડક વધે (C) A અને B બંને (D) એક પણ નહિ

(10) 1 ગ્રામ H_2 વાયુમાં હાઇડ્રોજન પરમાણુની સંખ્યા કેટલી હશે ?

(A) 6.022×10^{23} (A) 3.011×10^{23} (C) 6.022×10^{21} (D) 3.011×10^{21}

(11) જેનું ક્રાંતિક તાપમાન વધારે હોય, તેનું પ્રવાહીકરણ .... થાય.

(A) ધીમું (B) ઝડપી

(C) ધીમું અથવા ઝડપી (D) એક પણ નહિ

(12) 4 ગ્રામ Heમાં અણુ અને પરમાણુની સંખ્યા કેટલી હશે ?

(A) અણુ કરતાં પરમાણુની સંખ્યા બે ગણી

(B) અણુ કરતાં પરમાણુની સંખ્યા ચાર ગણી

(C) અણુ અને પરમાણુની સંખ્યા સરખી

(D) અણુ કરતાં પરમાણુની સંખ્યા અડધી

(13) તાપમાન વધતાં સ્નિગ્ધતાના મૂલ્યમાં શું ફેરફાર થાય છે ?

(A) વધારો (B) ઘટાડો

(C) વધારો અને ઘટાડો (D) શૂન્ય

(14) કયા બે પ્રવાહી સંપર્કમાં આવતાં પ્રસરણ પામશે ?

(A) પાણી-કેરોસીન (B) પાણી-બેન્ઝિન

(C) પાણી-પેટ્રોલ (D) પાણી-ઇથાઇલ આલ્કોહૉલ

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

(1) વાન્ ડર વાલ્સ બળના પ્રકારો લખો.

(2) કયા પ્રકારના અણુ કે પરમાણુમાં લંડનબળ જોવા મળે છે ?

(3) કયા અણુઓમાં હાઇડ્રોજન-બંધ જોવા મળે છે ?

(4) કયાં બળોના સમન્વયથી પદાર્થની ભૌતિક અવસ્થા નક્કી થાય છે ?

(5) બૉઇલનો નિયમ લખો.

(6) નિરપેક્ષ તાપમાન એટલે શું ?

(7) પ્રમાણિત તાપમાન અને દબાણ જણાવો.

(8) ચાર્લ્સનો નિયમ લખો.

(9) એવોગેડ્રોનો નિયમ લખો.

(10) ગેલ્યુસેકનો નિયમ લખો.

(11) સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ લખો.

(12) આદર્શવાયુ સમીકરણમાં ચલાયમાન રાશિ જણાવો.

(13) વાસ્તવિક વાયુ એટલે શું ?

(14) કઈ પરિસ્થિતિમાં વાસ્તવિક વાયુ આદર્શવાયુ તરીકે વર્તે છે ?

(15) આદર્શવાયુ એટલે શું ?

(16) દબનીય અચળાંક Zનું સમીકરણ લખો.

(17) વાન્ ડર વાલ્સ સમીકરણ લખો.

(18) ક્રાંતિક તાપમાન એટલે શું ?

(19) ક્રાંતિક દળ એટલે શું ?

(20) ગ્રેહામનો નિયમ લખો .

(21) એવોગેડ્રો અધિતર્ક લખો.

(22) વ્યાખ્યા આપો : સ્નિગ્ધતા, પ્રસરણ, બાષ્પદબાણ

(23) ક્રાંતિક અચળાંકો જણાવો.

(24) પ્રવાહીનું બાષ્પદબાણ કયાં પરિબળો પર આધાર રાખે છે ?

3. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :

(1) વાન્ ડર વાલ્સનાં બળોમાં કયાં-કયાં બળોનો સમાવેશ થાય છે ?

(2) દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય બળ સમજાવો.

(3) લંડનબળ એટલે શું ? સમજાવો.

(4) દ્વિધ્રુવીય-પ્રેરિત દ્વિધ્રુવીય બળ સમજાવો.

(5) કેલ્વિન માપક્રમ સમજાવો.

(6) એવોગેડ્રોનો નિયમ લખી સમજાવો.

(7) સંયુક્ત વાયુ-સમીકરણ તારવો.

(8) આદર્શવાયુ સમીકરણ પરથી Rનો એકમ તારવો.

(9) પ્રવાહી અવસ્થા સમજાવી, તેના ગુણધર્મો લખો.

(10) અણુઓની ગતિજ-ઊર્જા સમજાવો.

(11) ધન વિચલન અને ઋણ વિચલન વાસ્તવિક વાયુમાં સમજાવો.

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર લખો :

(1) ટૂંક નોંધ લખો : હાઇડ્રોજન-બંધ અને વાયુની લાક્ષણિકતાઓ

(2) વાયુ-અવસ્થાની લાક્ષણિકતા સમજાવો.

(3) વાયુના નિયમો લખી, આદર્શવાયુ સમીકરણ તારવો.

(4) જુદી-જુદી એકમ પદ્ધતિમાં Rના એકમ મેળવો.

(5) વાયુની આદર્શ વર્તણૂકથી વિચલન સમજાવો.

(6) વાયુનું પ્રવાહીકરણ સમજાવો.

(7) વાયુના પ્રવાહીકરણ માટેનો સમતાપી વક્ર દોરી સમજાવો.

(8) ગ્રેહામનો વાયુ-પ્રસરણનો નિયમ લખી સમજાવો.

(9) ડાલ્ટનનો આંશિક દબાણનો નિયમ યોગ્ય ઉદાહરણ દ્વારા સમજાવી તેની ઉપયોગિતા લખો.

(10) NH_3 અને HClના પ્રસરણનો પ્રયોગ વર્ણવો.

(11) પ્રવાહી અવસ્થાની લાક્ષણિકતા લખી સમજાવો.

5. નીચેના દાખલાઓની ગણતરી કરો :

(1) 6.022×10^{21} કાર્બન ડાયૉક્સાઇડના અણુનું 2 બાર દબાણે અને 300 K તાપમાને કદ શોધો.

(2) 10^3 પાસ્કલ દબાણે અને 350 K તાપમાને 4 લિટર SO_2 વાયુમાં રહેલી અણુઓ, પરમાણુઓ અને કુલ પરમાણુઓની સંખ્યા ગણો.

(3) 400 મિલિ કદના પાત્રમાં 2×10^6 અણુઓ N_2 વાયુના દાખલ કરવાથી 400 K તાપમાને વાયુનું દબાણ શોધો.

(4) Cl_2, H_2 અને N_2 નું કદથી ટકાવાર પ્રમાણ અનુક્રમે 1:2:7 હોય અને પાત્રમાં વાયુનું કુલ દબાણ 40 બાર માલૂમ પડે, તો દરેક વાયુનાં આંશિક દબાણ શોધો.

(5) 298 કે તાપમાને 500 મિલિ પાત્રમાં 4 ગ્રામ H_2 વાયુ ભરેલા છે. પાત્રને નાનું છિદ્ર હોવાથી થોડા સમય બાદ પાત્રનું દબાણ 50 બાર માલૂમ પડે, તો પાત્રમાંથી H_2 વાયુના કેટલા અણુઓ બહાર નીકળી ગયા હશે ?

(6) 400 કે તાપમાને 2 લિટર કદના પાત્રમાં પાણી ઉપર 2 મોલ O_2 વાયુ એકત્રિત કર્યો છે. જો શુષ્ક O_2 વાયુનું દબાણ 32.20 બાર માલૂમ પડે તો, આ પરિસ્થિતિએ પાણીનું બાષ્પદબાણ શોધો.

(7) 50 ફૂટ લંબાઈ ધરાવતા ચોરસ ખેતરના વિકર્ણના એક છેડે NH_3 અને બીજા છેડે HCl વાયુની બૉટલ ખોલવાથી, સૌપ્રથમ વિકર્ણ ઉપર કયા સ્થાને સફેદ ધુમાડા દેખાશે ? (ધારી લો કે વાયુઓ વિકર્ણ પર જ પ્રસરણ પામે છે.)

(8) 2 લિટર કદના પાત્રમાં 300 કે. તાપમાને 20 ગ્રામ H_2, 220 ગ્રામ CO_2 અને 140 ગ્રામ N_2 દાખલ કરવાથી પાત્રનુ કુલ દબાણ કેટલા બાર થશે ? કયો એક વાયુપાત્રમાંથી સંપૂર્ણ દૂર કરતાં દબાણમાં 50%નો ઘટાડો થશે ?

(9) 5000 કિલોમીટરનું અંતર કાપવા માટે CO_2 વાયુને 2 સેકન્ડનો સમય લાગે તો, આ અંતર કાપવા માટે Cl_2 વાયુને કેટલો સમય લાગશે ?

(10) હવામાં કદથી N_2 નું પ્રમાણ 79%, O_2 નું પ્રમાણ 20% અને CO_2 નું પ્રમાણ 1% છે. જો હવાનું કુલ દબાણ 1 બાર હોય, તો હવામાંના દરેક વાયુનાં આંશિક દબાણ શોધો.

•

પ્રો. ત્રિભુવનદાસ ગજ્જર

પ્રો. ત્રિભુવનદાસ ગજ્જરનો જન્મ ગુજરાત રાજ્યના સુરત શહેરમાં 1863ના ઑગસ્ટ માસમાં થયો હતો. તેમના પિતા કલ્યાણદાસ મોટા શિલ્પી હતા. કૉલેજનું શિક્ષણ મેળવવા તે મુંબઈ ગયા હતા અને ત્યાં તેમને ઍલ્ફિન્સ્ટન કૉલેજમાં પ્રવેશ મેળવ્યો હતો. B.Sc. માં પ્રથમ વર્ગ મેળવ્યા બાદ તેમણે M.Sc. પણ કર્યું હતું. અભ્યાસ બાદ તે વડોદરામાં કલાભવનમાં રસાયણવિજ્ઞાનના અધ્યાપક તરીકે જોડાયા હતા. અહીં તેમણે છાપકામ અને રંગાટીકામની પ્રયોગશાળા શરૂ કરી હતી. ત્યાર બાદ તે મુંબઈમાં આવી સ્થિર થયા.

1898માં મુંબઈના કોટ વિસ્તારના ઍસ્ટલેનેડ રોડ ઉપર આવેલા મહારાણી વિક્ટોરિયાના પૂતળાના મુખ પર કોઈએ કાળો રંગ નાખીને રંગી નાખ્યું હતું. આ રંગ એટલો પાકો હતો કે ઘણી મહેનત કરવા છતાં તે નીકળી શક્યો નહિ. આ રંગ દૂર કરવા માટે સરકારે ઘણા રસાયણવિજ્ઞાનીઓને બોલાવ્યા હતા. પૂતળા પર ઘણા પ્રયોગો કરવામાં આવ્યા પણ તે રંગ દૂર થઈ શક્યો નહિ. છેવટે આ કાર્ય માટે યુરોપના વૈજ્ઞાનિકોને પણ બોલાવવામાં આવ્યા હતા, પણ તેઓ પણ સફળ રહ્યા નહિ. દેશમાં અને દેશની બહાર આ વાત બહુ ચર્ચાવા લાગી હતી. તે વખતે મુંબઈની વિલ્સન કૉલેજના રસાયણવિજ્ઞાનના પ્રોફેસર ત્રિભુવનદાસ ગજ્જરે મુંબઈ મહાનગરપાલિકાને પત્ર લખી તે કામ પોતાને સોંપવા વિનંતી કરી. પરંતુ સરકારને અગાઉના વૈજ્ઞાનિકોના થયેલા અનુભવ પરથી ત્રિભુવનદાસને આ કામ સોંપવા યોગ્ય ન લાગ્યું. આથી ત્રિભુવનદાસે બીજી અરજી કરી. ત્યાર બાદ તેમણે એક ભાગ ઉપર રંગ દૂર કરવાની મંજૂરી આપી. ત્રિભુવનદાસે તેમની સૂઝ પ્રમાણે કામ શરૂ કર્યું. થોડી વારમાં જ વિક્ટોરિયાના પૂતળાના મુખ પરથી બધો જ રંગ દૂર થઈ ગયો. પરિણામે દેશના લોકો ત્રિભુવનદાસને માનથી જોવા લાગ્યા.

મુંબઈમાં ફાટી નીકળેલા પ્લેગને નાબૂદ કરવા માટે ત્રિભુવનદાસે સંશોધનના આધારે 'આયોડિન ટરક્લોરાઇડ' દવા શોધી તે ખૂબ જ અસરકારક નીવડી. સમાજે તેમનાં આ કાર્યોના વખાણ કર્યા. કેટલાક મિત્રોએ તેમને દવાની શોધ માટે પેટન્ટ લઈ કીર્તિ અને ધન કમાવવાની સલાહ આપી પણ દેશદાઝવાળા ત્રિભુવનદાસ તે વાતમાં આવ્યા નહિ. તેમને પ્લેગની આ દવા વિશ્વ સમક્ષ મૂકી હતી.

16 જુલાઈ, 1920ના દિવસે તેમનું અવસાન થયું.