യൂണിറ്റ് 5

C8A9R2

ദ്രവ്യത്തിന്റെ അവസ്ഥകൾ

ലക്ഷ്യങ്ങൾ

ഈ യൂണിറ്റ് പഠിക്കുന്നതിലൂടെ:

- അന്തർ തന്മാത്രാബലങ്ങളും കണികകളുടെ താപോർജവും തമ്മിലുള്ള ഏറ്റക്കുറച്ചിലുകളെ അടിസ്ഥാനമാക്കി ദ്രവ്യത്തിന്റെ വിവിധ അവസ്ഥകളുടെ നിലനിൽപ്പ് വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയും;
- ആദർശവാതകങ്ങളുടെ സ്വഭാവം നിർണയിക്കുന്ന നിയമങ്ങൾ വിശദമാക്കുവാൻ കഴിയും;
- നിത്യജീവിതത്തിലെ വിവിധ സാഹചര്യങ്ങളിൽ വാതകനിയമങ്ങൾ പ്രയോഗിക്കുവാൻ കഴിയും;
- യഥാർഥവാതകങ്ങളുടെ സ്വഭാവം വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയും;
- വാതകങ്ങളുടെ ദ്രവീകരണത്തിന് ആവശ്യമായ സാഹചര്യങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയും;
- വാതകാവസ്ഥയുടെ തുടർച്ചയാണ് ദ്രാവകാവസ്ഥയെന്ന് മനസിലാക്കാൻ കഴിയും.
- ബാഷ്പവും വാതകാവസ്ഥയും തമ്മിൽ വിവേചിച്ചറിയുന്നു.
- അന്തർ തന്മാത്രാ ആകർഷണ ബലത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ദ്രാവകങ്ങളുടെ ഗുണധർമങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയും.

"ശിശിരരാവിൽ ചൊരിയും മഞ്ഞിൻകണങ്ങൾ
ഒരു മൃദുകംബളമായെന്നും ഭൂമാതാവിനെ പൊതിയാതെ
സൗരകിരണങ്ങളേറ്റു ബാഷ്പമായ് ഉയരും
ജലമായ് ശിലാതടത്തിലൊഴുകും"

റോഡ് ഓകോണർ

ആമുഖം

മുൻ അധ്യായങ്ങളിൽ ദ്രവ്യത്തിന്റെ സൂക്ഷ്മകണങ്ങളുടെ ചില സ്വഭാവങ്ങളാണല്ലോ നാം പഠിച്ചത്. ആറ്റത്തിന്റെ വലിപ്പം, ഇലക്ട്രോൺ വിന്യാസം, തന്മാത്രാഘടന എന്നിവയെല്ലാം, ദ്രവ്യത്തിലെ സൂക്ഷ്മകണങ്ങളായ ആറ്റങ്ങളോ തന്മാത്രകളോ, അയോണുകളോ ആയിരിക്കുന്ന അവസ്ഥയിലുള്ള സ്വഭാവഗുണങ്ങളാണ്. പക്ഷേ ഒരു രാസവ്യൂഹത്തിന്റെ സ്വഭാവങ്ങൾ സാധാരണഗതിയിൽ അളക്കാൻ ശ്രമിക്കുമ്പോൾ, അതിന്റെ സമൂലഗുണധർമങ്ങൾ (bulk properties) അഥവാ വളരെയധികം ആറ്റങ്ങളോ തന്മാത്രകളോ ഒത്തുചേർന്ന് പ്രകടിപ്പിക്കുന്ന ഗുണധർമങ്ങൾ ആണ് ലഭിക്കുന്നത്.

ഒരൊറ്റ ജലതന്മാത്രയെയല്ല, വളരെയധികം ജലതന്മാത്രകൾ ചേർന്ന് ദ്രാവകാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന ജലത്തെയാണ് നമുക്ക് തിളപ്പിക്കാൻ കഴിയുന്നത്. അതുപോലെ നിരവധി ജലതന്മാത്രകൾ ചേർന്ന ഒരു ജലത്തുള്ളിയ്ക്കാണ് ചില പ്രതലങ്ങളെ നനയ്ക്കാൻ കഴിയുന്നത്. അതായത് സൂക്ഷ്മതലത്തിൽ നിന്ന് സ്ഥൂലതലത്തിലേക്കെത്തുമ്പോൾ ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ ഭൗതികസ്വഭാവങ്ങളിൽ മാറ്റം വരുന്നു. ഇതിനുള്ള കാരണമെന്തെന്ന് നിങ്ങൾ ചിന്തിച്ചിട്ടുണ്ടോ?

ജലത്തിന്റെ മൂന്നവസ്ഥകൾ നിങ്ങൾക്കറിയാമല്ലോ? ഐസും, ജലവും, നീരാവിയും H_2O തന്നെയാണ്. എന്നാൽ അവയുടെ ഭൗതികസ്വഭാവങ്ങളെല്ലാം തന്നെ തികച്ചും വ്യത്യസ്തമാണ്. ഇതിന്റെ കാരണങ്ങൾ തേടിയാൽ താപോർജം മൂലമുള്ള സൂക്ഷ്മകണങ്ങളുടെ ചലനവേഗതയുടെയും, അത് അന്തർതന്മാത്രാബലങ്ങളിൽ ഉണ്ടാക്കുന്ന വ്യതിയാനങ്ങളുടെയും പരിണതഫലങ്ങളാണെന്ന് കാണാം. അതിനാൽ അന്തർ തന്മാത്രാബലങ്ങളെക്കുറിച്ചുള്ള പഠനം പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്നു.

5.1 അന്തർതന്മാത്രാബലങ്ങൾ (Intermolecular Forces)

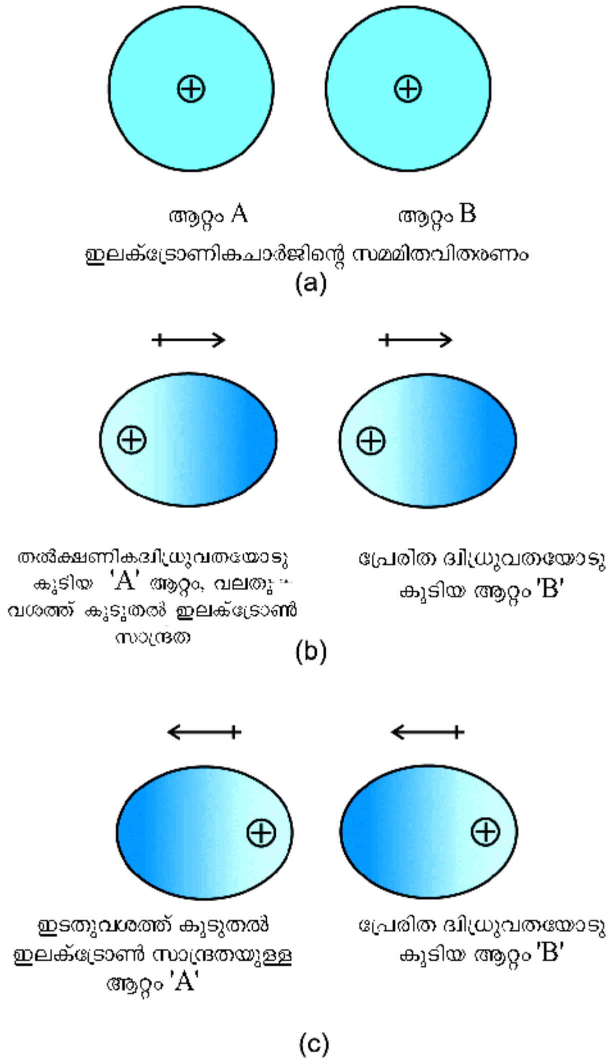
സഹസംയോജകബന്ധനം, അയോണിക ബന്ധനം എന്നീ രാസബന്ധനങ്ങളിലടങ്ങിയിരിക്കുന്ന ബലങ്ങളൊഴികെ, സൂക്ഷ്മകണങ്ങൾ (ആറ്റങ്ങൾ, തന്മാത്രകൾ) തമ്മിലുള്ള ആകർഷണ-വികർഷണബലങ്ങളെ അന്തർതന്മാത്രാബലങ്ങളെന്നു വിളിക്കാം. ഇവയിൽ അന്തർതന്മാത്രാആകർഷണബലങ്ങളെ വാൻഡർ വാൾസ് ബലങ്ങൾ എന്നുവിളിക്കുന്നു. പരിക്ഷേപണബലം (dispersion forces), ദ്വിധ്രുവ- ദ്വിധ്രുവബലങ്ങൾ, ദ്വിധ്രുവ-പ്രേരിത ബലങ്ങൾ എന്നിവയാണ് പ്രധാന വാൻഡെർ-വാൾസ് ബലങ്ങൾ. വളരെക്കുറച്ച് മൂലകങ്ങൾക്കു മാത്രം പങ്കെടുക്കാൻ കഴിയുന്ന ഒരു പ്രത്യേകതരത്തിലുള്ള ദ്വിധ്രുവ-ദ്വിധ്രുവ ബലമാണ് ഹൈഡ്രജൻബന്ധനം.

ഇവ കൂടാതെ, വാൻഡെർ വാൾസ് ബലങ്ങളിൽ ഉൾപ്പെടാത്ത അയോൺ-ദ്വിധ്രുവബലങ്ങൾ പോലെയുള്ളവയും പ്രധാന്യമർഹിക്കുന്ന ആകർഷണബലങ്ങളിൽപ്പെടുന്നവയാണ്. തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണബലങ്ങളെ പൊതുവെ വാൻഡെർ വാൾസ് ബലങ്ങളെന്നു വിളിക്കുന്നു. ഡച്ചു ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ജോഹന്നസ് വാൻഡെർ-വാൾസിനോടുള്ള ആദരസൂചകമായിട്ടാണ് ഈ പേര് നൽകിയിട്ടുള്ളത്. ഈ ബലങ്ങൾ ഏതെല്ലാമാണെന്ന് പരിശോധിക്കാം:

5.1.1 പരിക്ഷേപണബലങ്ങൾ അഥവാ ലണ്ടൻബലങ്ങൾ (Dispersion Forces or London Forces)

ജർമൻ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ 'ഫ്രിട്ട്സ് ലണ്ടൻ' ആണ് ഇത്തരം ബലങ്ങളെപ്പറ്റി ആദ്യം പ്രതിപാദിച്ചത്. വൈദ്യുതപരമായി ധ്രുവീകൃതമല്ലാത്ത (non polar) രണ്ട് ആറ്റങ്ങളോ തന്മാത്രകളോ അടുത്തടുത്തിരിക്കുമ്പോൾ ആകസ്മികമായി വൈദ്യുതധ്രുവീകരണം സംഭവിക്കുകയും തല്ഫലമായുണ്ടാകുന്ന താല്കാലിക വൈദ്യുത ചാർജുള്ള ആറ്റങ്ങൾ അഥവാ ധ്രുവീകൃത തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുണ്ടാവുകയും ചെയ്യുന്ന ആകർഷണബലമാണ് ലണ്ടൻബലം. ഉദാഹരണമായി 'A', 'B' എന്നീ ആറ്റങ്ങൾ അടുത്തുവരുമ്പോൾ ലണ്ടൻബലം എങ്ങനെ സംജാതമാകുന്നുവെന്ന് താഴെത്തന്നിട്ടുള്ള ചിത്രങ്ങളിൽ നിന്ന് മനസിലാക്കാം. (ചിത്രം 5.1)

രണ്ട് തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള പരിക്ഷേപണ ഊർജത്തിന്റെ തോത് അവ തമ്മിലുള്ള അകലത്തിന്റെ ആറാംവർഗത്തിന് (r^6) വിപരീതാനുപാതത്തിലായിരിക്കും (ഡിസ്പേർഷൻ ഊർജം $\alpha \frac{1}{r^6}$). ഏകദേശം 500 pm ൽ താഴെ ദൂരത്തിലുള്ള തന്മാത്രകളുടെ കാര്യത്തിൽ മാത്രമേ ഈ ബലത്തിന് പ്രാധാന്യമുള്ളു. വൈദ്യുതധ്രുവീകരണത്തിന് വിധേയമാകാനുള്ള തന്മാത്രകളുടെ കഴിവിനനുസരിച്ച് (polarisability) ഈ ബലത്തിന്റെ തോതിൽ വ്യത്യാസം വരുന്നു.



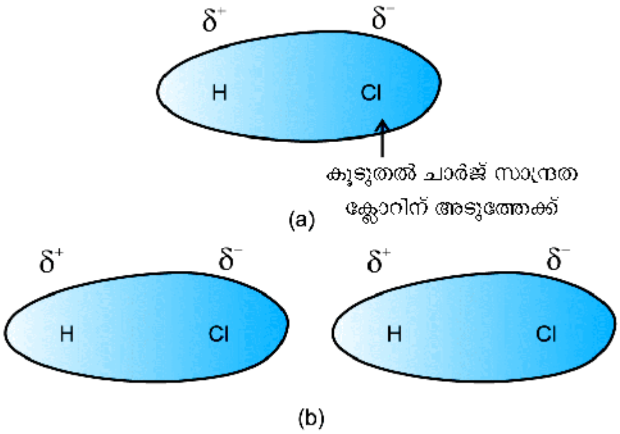
ചിത്രം 5.1: ആറ്റങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ഡിസ്പേർഷൻ ബലങ്ങൾ അഥവാ ലണ്ടൻ ബലങ്ങൾ

5.1.2 ദ്വിധ്രുവ-ദ്വിധ്രുവബലങ്ങൾ (Dipole - Dipole Forces)

സ്ഥിരമായി വൈദ്യുതധ്രുവീകരണം നടന്നിട്ടുള്ള തന്മാത്രകൾ (Polar molecules) തമ്മിലുള്ള ബലമാണ് ദ്വിധ്രുവ - ദ്വിധ്രുവ ബലം. ദ്വിധ്രുവങ്ങളുടെ അറ്റങ്ങളിൽ ഭാഗിക ചാർജ് ഉണ്ട്. ഇതിനെ δ എന്ന് കാണിക്കുന്നു. ഭാഗികചാർജ് എപ്പോഴും ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജിനേക്കാൾ (1.6×10^{-19}C) കുറവായിരിക്കും.

ഉദാഹരണമായി, HCl തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള ദ്വിധ്രുവ-ദ്വിധ്രുവ പാരസ്പര്യം ഇപ്രകാരം ചിത്രീകരിക്കാം (ചിത്രം 5.2). തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം

കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഈ ബലത്തിന്റെ തോത് കുറയുന്നു. നിശ്ചലതന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള ദ്വിധ്രുവ-ദ്വിധ്രുവ പാരസ്പര്യ ഊർജം അവ തമ്മിലുള്ള അകലത്തിന്റെ മൂന്നാം വർഗത്തിന് (r^3) വിപരീതാനുപാതത്തിൽ ആയിരിക്കും (ഖരം). കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന തന്മാത്രകളിൽ ഇത് അകലത്തിന്റെ ആറാം വർഗത്തിന് (r^6) വിപരീതാനുപാതത്തിൽ ആയിരിക്കും (ദ്രാവകം/വാതകം). ഈ ബലത്തിന്റെ തോത് ലണ്ടൻ ബലത്തേക്കാൾ കൂടുതലും അയോണുകൾ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണബലത്തേക്കാൾ കുറവുമായിരിക്കും. ഇത്തരം തന്മാത്രകളിൽ ലണ്ടൻ ബലങ്ങളും ഉള്ളതിനാൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ അന്തർതന്മാത്രാബലം, ദ്വിധ്രുവ-ദ്വിധ്രുവ ബലത്തിന്റേയും ലണ്ടൻ ബലത്തിന്റേയും, ആകെത്തുകയായിരിക്കും.

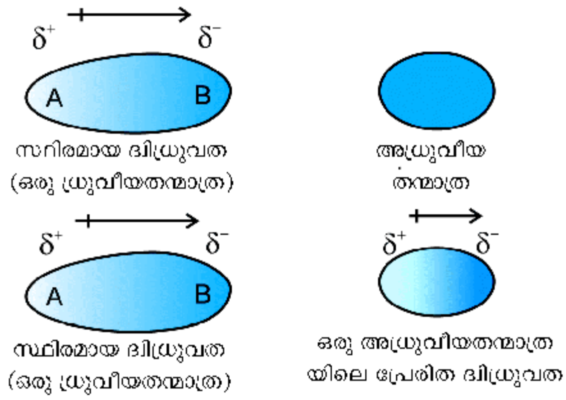


ചിത്രം 5.2: *(a)* **ഒരു ധ്രുവീയതന്മാത്രയായ** *HCl* **– ലെ ഇലക്ട്രോൺ ചാർജ് വിതരണം** *(b)* **രണ്ട്** *HCl* **തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള ദ്വിധ്രുവ–ദ്വിധ്രുവ പാരസ്പര്യം**

5.1.3 ദ്വിധ്രുവ–പ്രേരിത ദ്വിധ്രുവ ബലങ്ങൾ (Dipole–Induced Dipole Forces)

സ്ഥിരമായി വൈദ്യുതധ്രുവീകൃതമായ ഒരു തന്മാത്രയും (ധ്രുവീയതന്മാത്ര)വൈദ്യുതധ്രുവീകൃതമല്ലാത്ത ഒരു തന്മാത്രയും (അധ്രുവീയതന്മാത്ര) തമ്മിൽ അടുത്തുവരുന്ന സാഹചര്യത്തിൽ, ധ്രുവീയ തന്മാത്രയുടെ പ്രേരണമൂലം അധ്രുവീയ തന്മാത്ര താൽക്കാലികമായി ധ്രുവീയമായി മാറുന്നു. ഇവ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണബലമാണ് ദ്വിധ്രുവീയ–പ്രേരിത ദ്വിധ്രുവീയ ബലം. താഴെത്തന്നിട്ടുള്ള ചിത്രത്തിൽ നിന്ന് ഇത് വ്യക്തമാകും (ചിത്രം 5.3). ദ്വിധ്രുവ–പ്രേരിത ദ്വിധ്രുവ പാരസ്പര്യ ഊർജം തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള അകലത്തിന്റെ ആറാം വർഗത്തിന് (r^6) വിപരീതാനുപാതത്തിലായിരിക്കും. അധ്രുവീയ തന്മാത്രയുടെ അധ്രുവീകരണക്ഷമത കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ഈ ബലത്തിന്റെ തോത് കൂടും.

ഇങ്ങനെയുള്ള തന്മാത്രകളുടെ കാര്യത്തിലും ആകെ അന്തർതന്മാത്രാബലം, ലണ്ടൻ ബലത്തിന്റേയും, ദ്വിധ്രുവ-പ്രേരിത ദ്വിധ്രുവ ബലത്തിന്റേയും ആകെത്തുകയായിരിക്കും.



ചിത്രം 5.3: സ്ഥിരദ്വിധ്രുവതയും പ്രേരിതദ്വിധ്രുവതയും തമ്മിലുണ്ടാകുന്ന ദ്വിധ്രുവീയ പ്രേരിത ദ്വിധ്രുവീയ പാരസ്പര്യം

5.1.4 ഹൈഡ്രജൻ ബന്ധനം (Hydrogen bond)

വിദ്യുത്ഋണത കൂടിയ F, O, N എന്നീ ആറ്റങ്ങളുമായി സഹസംയോജകബന്ധനത്തിലുള്ള ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം അതേ തന്മാത്രയുടെ മറ്റൊരു ഭാഗത്തുള്ളതോ, മറ്റൊരു തന്മാത്രയുടെ ഭാഗമായുള്ളതോ ആയ വിദ്യുത്ഋണത കൂടിയ മറ്റൊരു ആറ്റവുമായി (F, O, N) ഉണ്ടാക്കുന്ന ആകർഷണബലത്തെ ഹൈഡ്രജൻ ബന്ധനം എന്നുവിളിക്കാം. ഹൈഡ്രജൻ ബന്ധനം ഉണ്ടാകുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് HF തന്മാത്രകൾ ഉദാഹരണമാക്കി ഇപ്രകാരം സൂചിപ്പിക്കാം.

$$\overset{\delta}{H}-\overset{\delta}{F}\cdots\overset{\delta}{H}-\overset{\delta}{F}$$

മറ്റ് അന്തർ തന്മാത്രാബലങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് (2-5 kJ mol^{-1}) താരതമ്യേന ഉയർന്ന (10 kJ mol^{-1} മുതൽ 100 KJ mol^{-1} വരെ) ഊർജമുള്ള ഹൈഡ്രജൻ ബന്ധനം, പല സംയുക്തങ്ങളുടേയും ഘടനയും ഗുണധർമങ്ങളും നിർണയിക്കുന്നതിന് കാരണമാകുന്നു. (ഉദാ:- പ്രോട്ടീനുകൾ, ന്യൂക്ലിക് അമ്ലങ്ങൾ)

അന്തർതന്മാത്രാ ആകർഷണബലങ്ങളാണ് നാം ഇതുവരെ ചർച്ചചെയ്തത്. എന്നാൽ രണ്ടുതന്മാത്രകൾ വളരെ അടുത്തെത്തിയാൽ (അടുപ്പിച്ചുനിർത്തിയാൽ) അവയുടെ ഇലക്ട്രോൺ സഞ്ചയങ്ങൾ തമ്മിലും ന്യൂക്ലിയസുകൾ തമ്മിലും ഉള്ള വികർഷണബലങ്ങൾ അനുഭവത്തിൽ വരുന്നു. തുടർന്ന്, അകലം കുറയുംതോറും ഈ വികർഷണബലങ്ങൾ വളരെ വർധിക്കുകയും

ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ തന്മാത്രകളെ ഒരു നിശ്ചിത പരിധിയിലധികം അടുപ്പിക്കാൻ കഴിയില്ല. ഖര-ദ്രാവകാവസ്ഥയിലുള്ള പദാർഥങ്ങളെ ഞെരുക്കിയമർത്താൻ കഴിയാത്തതിന് കാരണമിതാണ്.

5.2 താപോർജം (Thermal Energy)

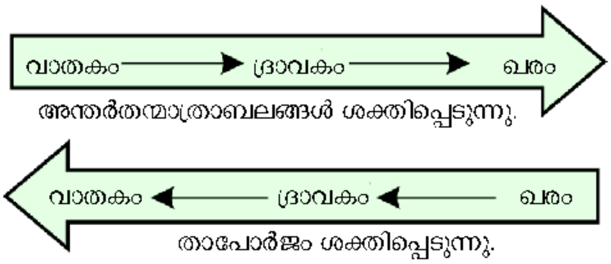
ഒരു വസ്തുവിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന ആറ്റങ്ങൾ അല്ലെങ്കിൽ തന്മാത്രകൾ പലവിധത്തിലുള്ള ചലനങ്ങൾക്ക് (കമ്പനം, സ്ഥാനാന്തരചലനം, തുടങ്ങിയവ) വിധേയമായിക്കൊണ്ടിരിക്കും. ഈ ചലനങ്ങളുടെ ഫലമായി രൂപപ്പെടുന്ന ഗതികോർജത്തിന്റെ അളവിനെ താപോർജം എന്നുവിളിക്കാം. മറ്റൊരുതരത്തിൽ വ്യാഖ്യാനിച്ചാൽ, ഒരു ദ്രവ്യഭാഗത്തിനുള്ളിലുള്ള കണികകളുടെ ചലനത്തിനുകാരണമാകുന്ന ഊർജമാണ് 'താപോർജം'. ഇപ്രകാരമുള്ള കണികാചാലനത്തിന് താപചലനം എന്നു പേരു നൽകിയിരിക്കുന്നു. ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ താപോർജം അതിന്റെ താപനിലയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും. ഇത് പദാർഥത്തിന്റെ സൂക്ഷ്മകണങ്ങളുടെ ശരാശരി ഗതികോർജത്തിന്റെ അളവ് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

5.3 അന്തർ തന്മാത്രികാബലങ്ങളും താപീയ–പാരസ്പര്യങ്ങളും (Intermolecular Forces *vs* Thermal Interactions)

വാൻഡെർ വാൾസ് ബലങ്ങളെപ്പോലെയുള്ള അന്തർതന്മാത്രികാബലങ്ങൾ, തന്മാത്രകളെ തമ്മിൽ അടുപ്പിച്ചു നിർത്തുന്നതിന് കാരണമാകുമെന്ന് നമുക്കറിയാം. എന്നാൽ താപോർജം തന്മാത്രകളെ ചലിപ്പിക്കുന്നതിനാൽ അവ തമ്മിൽ അകലുന്നതിന് കാരണമാകുന്നു.

അതുകൊണ്ട് അന്തർതന്മാത്രികാബലങ്ങളുടേയും താപോർജത്തിന്റേയും (thermal energy) ഏറ്റക്കുറച്ചിലുകളാണ് ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ മൂന്ന് അവസ്ഥകൾക്ക് കാരണം. ഉദാഹരണമായി, ഒരു പദാർഥം വാതകാവസ്ഥയിലായിരിക്കുമ്പോൾ, അന്തർതന്മാത്രികാബലങ്ങൾ വളരെ വളരെ കുറവായതിനാൽ, തന്മാത്രകൾക്ക് പരസ്പരം അടുത്തുവരാൻ കഴിയില്ല. കാരണം, ആ ഘട്ടത്തിൽ താപോർജം താരതമ്യേന കൂടുതലായിരിക്കും. എന്നാൽ താപനിലകുറഞ്ഞുവന്നാൽ, താപോർജം കുറയുകയും അന്തർതന്മാത്രികാബലങ്ങൾ കൂടുതൽ ശക്തിപ്പെട്ടുവരുകയും, പദാർഥം വാതകാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് ക്രമേണ ദ്രാവകാവസ്ഥയിലേക്കും പിന്നീട് ഖരാവസ്ഥയിലേക്കും മാറ്റപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ മൂന്ന് അവസ്ഥകളിൽ അന്തർതന്മാത്രികാബലങ്ങളുടേയും താപോർജത്തിന്റേയും ഏറ്റക്കുറച്ചിലുകളാണ് ഇവിടെ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നത്.

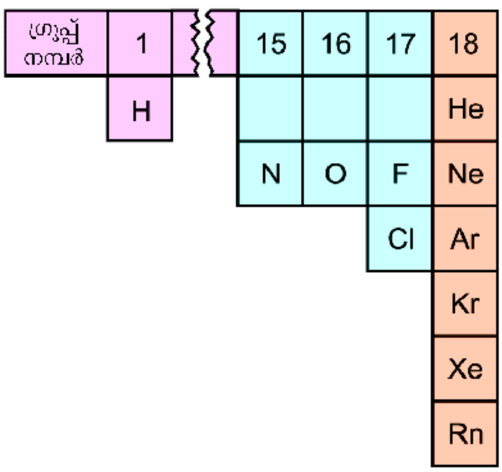
ദ്രവ്യത്തിന്റെ മൂന്നവസ്ഥകൾ സംജാതമാകുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് നാം മനസിലാക്കി. ഇനി നമുക്ക് വാതക, ദ്രാവക അവസ്ഥകളെപ്പറ്റി കൂടുതൽ പഠിക്കാം.



5.4 വാതകാവസ്ഥ (The Gaseous State)

ദ്രവ്യത്തിന്റെ ഏറ്റവും ലഘുവായ അവസ്ഥയാണ് വാതകാവസ്ഥ. ഭൂമിയിൽ ജീവൻ നിലനിൽക്കുന്നതിനുള്ളകാരണം തന്നെ വാതകാവസ്ഥയിലുള്ള ഭൗമാന്തരീക്ഷമാണ്. അന്തരീക്ഷത്തിലെ താഴ്ന്ന പാളിയായ ട്രോപോസ്ഫിയറിലാണ് നാം അധിവസിക്കുന്നത്. ഗുരുത്വാകർഷണബലമാണ് ഈ പാളിയെ ഭൂമിയോട് ചേർത്തുനിർത്തുന്നത്. അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ ഈ നേർത്ത പാളിയാണ് അപകടകാരികളായ വികിരണങ്ങളിൽ നിന്ന് ജീവജാലങ്ങളെ സംരക്ഷിക്കുന്നത്. ഡൈഓക്സിജൻ, ഡൈനൈട്രജൻ, ജലബാഷ്പം, കാർബൺ ഡൈഓക്സൈഡ് തുടങ്ങിയ നിരവധി വസ്തുക്കൾ (വാതകങ്ങൾ) ചേർന്നതാണ് അന്തരീക്ഷം എന്ന് നമുക്കറിയാം.

ആവർത്തനപ്പട്ടിക പരിശോധിച്ചാൽ പതിനൊന്ന് മൂലകങ്ങൾ മാത്രമാണ് സാധാരണ സാഹചര്യങ്ങളിൽ, വാതകാവസ്ഥയിൽ നിലനിൽക്കുന്നതെന്നു കാണാം.



ചിത്രം 5.4: വാതകാവസ്ഥയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന 11 മൂലകങ്ങൾ

സാധാരണതാപനിലയിലും മർദത്തിലും വാതകങ്ങൾ എങ്ങനെ പെരുമാറുന്നുവെന്ന് അപഗ്രഥിക്കേണ്ടതുണ്ട്. വാതകാവസ്ഥയിലുള്ള പദാർഥങ്ങൾ പ്രകടിപ്പിക്കുന്ന ചില പ്രത്യേക ഭൗതികഗുണങ്ങൾ ചുവടെ ചേർക്കുന്നു.

- വാതകങ്ങളെ വളരെയധികം അമർത്തി ഞെരുക്കാൻ കഴിയും.
- വാതകങ്ങൾ എല്ലാദിശയിലേക്കും ഒരുപോലെ മർദം ചെലുത്തുന്നു.
- ഒരു പദാർഥത്തിന് സാന്ദ്രത ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ അവസ്ഥയാണ് വാതകാവസ്ഥ (ഖര-ദ്രാവകാവസ്ഥകളെ അപേക്ഷിച്ച്)
- വാതകത്തിന് നിശ്ചിത ആകൃതിയോ നിശ്ചിതവ്യാപ്തമോ ഇല്ല. അത് ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ആകൃതിയും വ്യാപ്തവും സ്വീകരിക്കുന്നു.
- വാതകങ്ങൾ ഏതനുപാതത്തിൽ കലർത്തിയാലും, പുറമേനിന്നുള്ള സഹായമില്ലാതെതന്നെ അവ പൂർണമായും കൂടിക്കലർന്ന് ഏകാത്മകമിശ്രിതമായിമാറുന്നു.

വാതകങ്ങളിൽ തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണബലം നാമമാത്രമാണ്. പല ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരും പരീക്ഷണ-നിരീക്ഷണങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ വാതകങ്ങളുടെ പൊതുസ്വഭാവങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുവാൻ ശ്രമിച്ചിട്ടുണ്ട്. തല്ഫലമായി അളന്നു തിട്ടപ്പെടുത്താൻ കഴിയുന്ന സ്വഭാവഗുണങ്ങളായ മർദം, വ്യാപ്തം, താപനില, മാസ് എന്നിവയെ അടിസ്ഥാനമാക്കി വാതകനിയമങ്ങൾ ആവിഷ്ക്കരിക്കപ്പെട്ടു. വാതകനിയമങ്ങൾ വിശദമായി പരിശോധിക്കാം.

5.5 വാതക നിയമങ്ങൾ (The Gas Laws)

ഇന്നു നാം പഠിക്കുന്ന വാതകനിയമങ്ങൾ നിരവധി നൂറ്റാണ്ടുകൾ നീണ്ട ഗവേഷണങ്ങളുടെ പരിണതഫലങ്ങളാണ്. 1662 ൽ ആംഗ്ലോ–ഐറിഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ റോബർട്ട് ബോയ്ൽ ആണ് ആദ്യമായി വാതകങ്ങളുടെ ഭൗതികഗുണങ്ങൾ, അംഗീകരിക്കത്തക്ക നിലയിൽ അളന്ന് തിട്ടപ്പെടുത്തിയത്. തുടർന്ന് അദ്ദേഹം ആവിഷ്കരിച്ച വാതകനിയമമാണ് 'ബോയ്ൽ നിയമം' എന്നറിയപ്പെടുന്നത്. പിൽക്കാലത്ത് ഉഷ്ണവായു നിറച്ച ബലൂൺ പറത്തലിൽനിന്ന് പ്രചോദനം ഉൾക്കൊണ്ട്, ജാക്വിസ് ചാൾസ്, ജോസഫ് ലൂയിസ് ഗേ ലൂസാക് എന്നിവർ മറ്റു വാതകനിയമങ്ങൾ ആവിഷ്ക്കരിച്ചു. അവോഗാഡ്രോ തുടങ്ങിയ ശാസ്ത്രജ്ഞൻമാരും ഈ മേഖലയിൽ ഗണ്യമായ സംഭാവന നൽകി.

5.5.1 ബോയിൽ നിയമം (Boyle's Law (മർദ-വ്യാപ്തബന്ധം)

"താപനില സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു നിശ്ചിത അളവ് (മോൾസംഖ്യ) വാതകത്തിന്റെ മർദം, വ്യാപ്തത്തിന് വിപരീതാനുപാതത്തിലായിരിക്കും." ഇതാണ് ബോയിൽ നിയമം. ഈ പ്രസ്താവന ഗണിതരൂപത്തിലാക്കിയാൽ:

$p \propto \frac{1}{V}$ (സ്ഥിരമായ താപനിലയിലും മോളുകളുടെ എണ്ണത്തിലും) (5.1)

$$\Rightarrow \quad p = k_1 \frac{1}{V} \quad (5.2)$$

അഥവാ $pV = k_1$ (5.3)

ഇവിടെ 'p' എന്നത് മർദവും, 'V' എന്നത് വ്യാപ്തവും 'k_1'. സ്ഥിരസംഖ്യയുമാകുന്നു. k_1 ന്റെ മൂല്യം വാതകത്തിന്റെ അളവ്, താപനില, p യുടെയും V യുടെയും ഏകകങ്ങൾ എന്നിവയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

സമവാക്യം (5.3) പ്രകാരം, താപനില സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു നിശ്ചിത അളവ് വാതകത്തിന്റെ മർദവും വ്യാപ്തവും തമ്മിലുള്ള ഗുണനഫലം ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയായിരിക്കും.

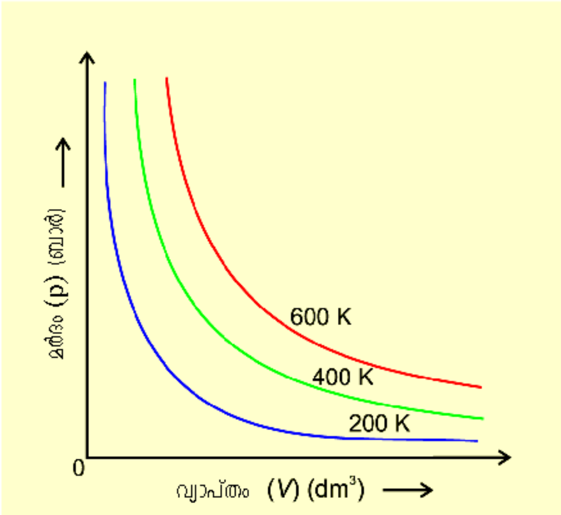
സ്ഥിരതാപനിലയിലുള്ള നിശ്ചിത അളവ് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം V_1 ഉം മർദം p_1 ഉം ആണെന്നു കരുതുക. ഇതിന്റെ വ്യാപ്തം കൂട്ടി V_2 ൽ എത്തുമ്പോൾ മർദം p_2, ആയിമാറുന്നു. അങ്ങനെയെങ്കിൽ ബോയിൽ നിയമമനുസരിച്ച് :

$$p_1V_1 = p_2V_2 = \text{ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യ} \quad (5.4)$$

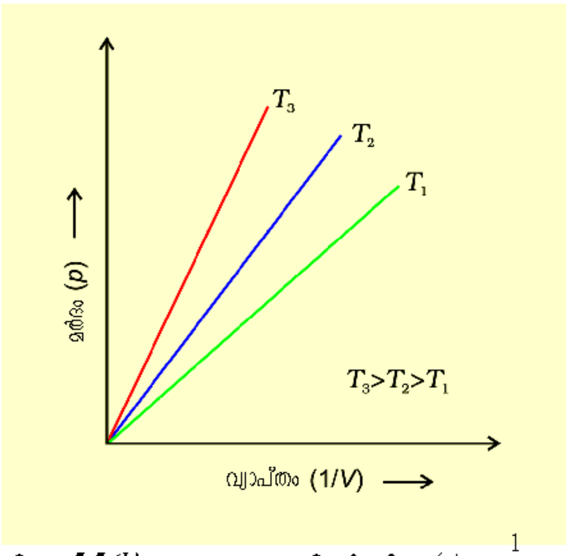
അഥവാ

$$\Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (5.5)$$

ഒരു നിശ്ചിത അളവ് വാതകത്തിന്റെ മർദവും വ്യാപ്തവും പരസ്പരം എങ്ങനെ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു വെന്ന് ബോയിൽ നിയമത്തിന്റെ ഗ്രാഫുകളിൽ നിന്ന് വളരെ എളുപ്പം മനസിലാക്കുവാൻ കഴിയും. P-V ഗ്രാഫ് (ചിത്രം 5.5(a)), $P-\frac{1}{V}$ ഗ്രാഫ് (ചിത്രം 5.5(b)) എന്നിവ ചുവടെ ചേർക്കുന്നു.



ചിത്രം 5.5:(a) വ്യത്യസ്ത ഊഷ്മാവുകളിൽ ഒരു വാതകത്തിന്റെ മർദവും *(p)* വ്യാപ്തവും *(V)* തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്



ചിത്രം 5.5 (b) ഒരു വാതകത്തിന്റെ മർദം *(p)* ഉം $\frac{1}{V}$ ഉം തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

മുകളിൽ തന്നിട്ടുള്ള രണ്ടു ചിത്രത്തിലും കാണുന്ന വക്രങ്ങൾ *(curves)* വ്യത്യസ്തമായ ഓരോ സ്ഥിരതാപനിലകളെ സൂചിപ്പിക്കുന്നവയാണ്. ഇങ്ങനെ ഒരു നിശ്ചിതതാപനിലയിൽ വരയ്ക്കുന്ന വക്രങ്ങളെ 'സമതാപിവക്രം' (*isotherm*) എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഓരോന്നിലും മുകളിലുള്ള വക്രങ്ങൾ കൂടിയ താപനിലയിലുള്ളവയാണ്. രണ്ടുഗ്രാഫുകളിലും മർദം വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് വ്യാപ്തം കുറയുന്നുവെന്ന് മനസിലാക്കാം. *300K* ൽ *0.09* മോൾ CO_2 – ന്റെ വ്യാപ്തത്തിൽ മർദം ഉണ്ടാക്കുന്ന വ്യതിയാനങ്ങൾ പട്ടിക 5.1 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. മർദം പകുതിയാകുമ്പോൾ വ്യാപ്തം ഇരട്ടിയാകുന്നത് ശ്രദ്ധിക്കു.

ഒരു നിശ്ചിതമാസ് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം കുറഞ്ഞാൽ സാന്ദ്രത കൂടുന്നു. അതായത് മർദം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് വാതകത്തിന്റെ സാന്ദ്രത കൂടുന്നു.

സാന്ദ്രത, $d = \frac{m}{V}$ (m = മാസ്, V = വ്യാപ്തം)

ബോയിൽ നിയമമനുസരിച്ച് $P = \frac{k_1}{V}$

$$\therefore V = \frac{k_1}{P}$$

അതായത് $d = \left(\frac{m}{k_1}\right) p = k'p$

അഥവാ, $d \propto P$

ഇതിൽനിന്ന് ബോയിൽ നിയമത്തെ, 'സ്ഥിരതാപനിലയിൽ ഒരു നിശ്ചിതമാസ് വാതകത്തിന്റെ സാന്ദ്രത മർദത്തിന് നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും', എന്നും പ്രസ്താവിക്കാം.

Table 5.1 300 കെൽവിനിൽ 0.09 മോൾ CO_2 ന്റെ വ്യാപ്തത്തിൽ മർദത്തിന്റെ സ്വാധീനം

മർദം/10^4 Pa	വ്യാപ്തം/10^{-3} m³	$(1/V)$/m^{-3}	pV/10^2 Pa m³
2.0	112.0	8.90	22.40
2.5	89.2	11.2	22.30
3.5	64.2	15.6	22.47
4.0	56.3	17.7	22.50
6.0	37.4	26.7	22.44
8.0	28.1	35.6	22.48
10.0	22.4	44.6	22.40

ചോദ്യം 5.1

ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിൽ ഹൈഡ്രജൻ വാതകം നിറച്ച ഒരു ബലൂണിന്റെ മർദം 0.2 bar നെക്കാൾ കൂടുതലായാൽ അത് പൊട്ടിപ്പോകും. 1 bar മർദത്തിൽ ആ വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം 2.27L ആണെങ്കിൽ, എത്ര വ്യാപ്തം എത്തുന്നതു വരെ ആ ബലൂണിന്റെ വലിപ്പം കൂട്ടാൻ കഴിയും?

ഉത്തരം:

ബോയ്ൽ നിയമമനുസരിച്ച്, $p_1V_1 = p_2V_2$

p_1 = 1 bar ആണെങ്കിൽ

V_1 = 2.27 L

ബലൂണിന് താങ്ങാൻ കഴിയുന്ന ഉയർന്ന മർദം, p_2 = 0.2 bar എന്നു കരുതിയാൽ, ബലൂണിന് ആർജിക്കാൻ കഴിയുന്ന പരമാവധി വ്യാപ്തം,

$$V_2 = \frac{p_1V_1}{p_2}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{1\text{ bar} \times 2.27\text{ L}}{0.2\text{ bar}} = 11.35\text{ L}$$

മർദം 0.2 ബാർ-നേക്കാൾ കൂടുതലായാൽ ബലൂൺ പൊട്ടുമെന്നതിനാൽ അതിന്റെ വ്യാപ്തം തീർച്ചയായും 11.35 L ൽ താഴെയായിരിക്കും.

5.5.2 ചാൾസ്നിയമം (Charles' Law (താപനില-വ്യാപ്തബന്ധം))

ഉഷ്ണവായു നിറച്ച ബലൂൺസങ്കേതികവിദ്യ പരിഷ്കരിക്കുന്നതിനായി ചാൾസ്, ഗേ ലുസാക് എന്നിവർ പല പരീക്ഷണങ്ങളും വെവ്വേറേ നടത്തുകയുണ്ടായി. അവരുടെ നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്ന്, ഒരു നിശ്ചിത മർദവും മാസും ഉള്ള വാതകത്തിന്റെ താപനില ഉയരുന്നതിനനുസരിച്ച്, വ്യാപ്തം വർധിക്കുന്നതായും താപനില കുറയുന്നതിനനുസരിച്ച് വ്യാപ്തം കുറയുന്നതായും കണ്ടെത്തി. കുറച്ചുകൂടി വ്യക്തമായി പറഞ്ഞാൽ, ഒരു വാതകത്തിന്റെ താപനില ഓരോ ഡിഗ്രി കൂടുമ്പോഴും അതിന്റെ വ്യാപ്തം, 0^0c - ലുള്ള വ്യാപ്തത്തിന്റെ 273.15 ൽ ഒരു ഭാഗം കൂടുന്നതായി കണ്ടു. അതായത് 0^0c ലും, t^0c ലും ഒരു നിശ്ചിതമാസ് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തങ്ങൾ യഥാക്രമം V_0 ഉം V_t ഉം ആയാൽ,

$$V_t = V_0 + \frac{t}{273.15} V_0$$

$$\Rightarrow V_t = V_0\left(1 + \frac{t}{273.15}\right)$$

$$\Rightarrow V_t = V_0\left(\frac{273.15 + t}{273.15}\right) \qquad (5.6)$$

ഇവിടെ 273.15 + t = T എന്നും, 273.15 = T_0 എന്നും കണക്കാക്കിയാൽ, താപനിലയുടെ ഒരു പുതിയ തോത് ആവിർഭവിക്കുന്നതായി കാണാം. ആ തോതിനെ കെൽവിൻ സ്കെയ്ൽ അഥവാ അബ്സല്യൂട്ട് സ്കെയ്ൽ അഥവാ തെർമോഡൈനാമിക് സ്കെയ്ൽ എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ഈ തോതനുസരിച്ച് സമവാക്യം (5.6) പരിഷ്ക്കരിച്ചാൽ

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

$$\Rightarrow \frac{V_t}{V_0} = \frac{T_t}{T_0} \qquad (5.7)$$

ഈ സമവാക്യത്തെ ഒരു പൊതുരൂപത്തിലേക്കു

മാറ്റിയാൽ, $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$ (5.8)

എന്നെഴുതാം.

$$\Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ അഥവാ}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{T} = k_2, \text{ സ്ഥിരസംഖ്യ} \qquad (5.9)$$

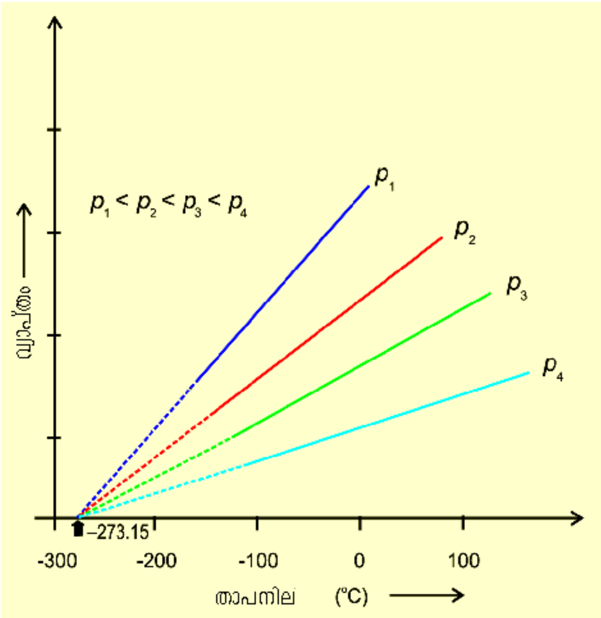
അല്ലെങ്കിൽ $V = k_2 T$ (5.10)

k_2 ന്റെ മൂല്യം വാതകത്തിന്റെ അളവ്, മർദം, V യുടെ ഏകകങ്ങൾ എന്നിവയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഈ സമവാക്യമാണ് ചാൾസ്നിയമത്തിന്റെ ഗണിത രൂപം. അതായത് ചാൾസ്നിയമം ഇപ്രകാരം പ്രസ്താവിക്കാം:

മർദം സ്ഥിരമായിരുന്നാൽ ഒരു നിശ്ചിതമാസ് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം അതിന്റെ കേവലതാപനിലയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും.

ചാൾസ്നിയമമനുസരിച്ച് ഒരു വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം - താപനില ഗ്രാഫ് എങ്ങനെയെന്ന് താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു (ചിത്രം 5.6).



ചിത്രം 5.6: വ്യാപ്തവും താപനില (^0C) യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

മുകളിലെ ഗ്രാഫിൽ, ഓരോ നേർരേഖയും ഓരോ നിശ്ചിതമർദത്തിലെ, വ്യാപ്തം–താപനില ബന്ധം സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇവയെ സമമർദവക്രം (isobar) എന്നുവിളിക്കുന്നു. ആ ഐസോബാറുകളെ താപനിലയുടെ അക്ഷത്തിലേക്ക് ദീർഘിപ്പിച്ചാൽ – 273.15^0c ൽ കൂട്ടിമുട്ടുന്നതുകാണാം. ഈ താപനിലയിൽ വാതകവ്യാപ്തം സാങ്കേതികമായി പൂജ്യമാണ്. ഇപ്രകാരം, ഏതൊരു വാതകത്തിന്റെയും വ്യാപ്തം സൈദ്ധാന്തികമായി പൂജ്യത്തിലേക്ക് എത്തിച്ചേരുമെന്ന് കരുതുന്ന താപനിലയെ (– 273.15^0c) 'അബ്സല്യൂട്ട് സീറോ' എന്നു വിളിക്കുന്നു. യഥാർഥത്തിൽ എല്ലാ വാതകങ്ങളും ഈ താപനിലയിൽ എത്തുന്നതിന് മുൻപ് ദ്രാവകമായി മാറും.

ചോദ്യം 5.2

23.4^0C, ൽ ഒരു ബലൂണിൽ 2 L വാതകം നിറയ്ക്കുന്നു. അതിന്റെ താപനില 26.1^0C ലേക്കെത്തിയാൽ (സ്ഥിരമർദത്തിൽ) വാതകത്തിന്റെ (ബലൂണിന്റെ) പുതിയ വ്യാപ്തം എത്ര?

ഉത്തരം:

$V_1 = 2$ L $\qquad T_2 = 26.1 + 273$

$T_1 = (23.4 + 273)$ K $\qquad = 299.1$ K

$= 296.4$ K

ചാൾസ് നിയമമനുസരിച്ച്

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

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

$$\Rightarrow V_2 = \frac{2\text{ L} \times 299.1\text{ K}}{296.4\text{ K}}$$

$$= 2\text{ L} \times 1.009$$

$$= 2.018\text{ L}$$

ബലൂണിന്റെ പുതിയ വ്യാപ്തം $= 2.018$ L

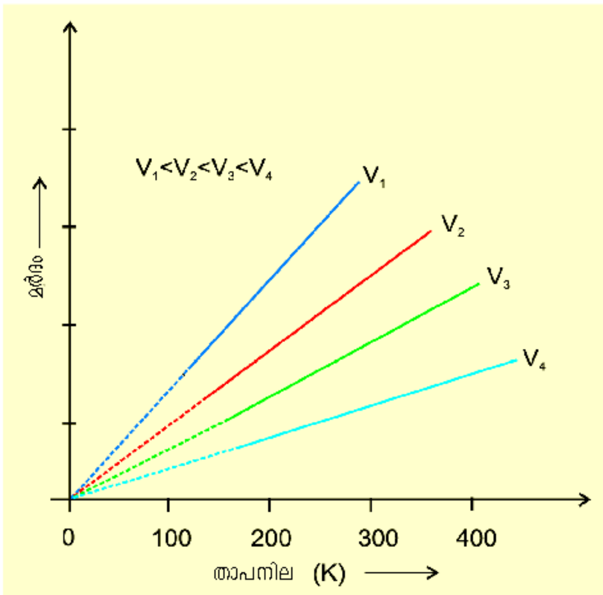
5.5.3 ഗേ ലൂസാക് നിയമം (Gay Lussac's Law (മർദ–താപബന്ധം)

വാതകങ്ങളുടെ മർദവും താപനിലയും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെക്കുറിച്ച് ആദ്യമായി വിശദീകരിച്ചത് ജോസഫ് ഗേ ലൂസാക് ആണ്. ഗേ ലൂസാക് നിയമപ്രകാരം ഒരു നിശ്ചിതമാസ് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം സ്ഥിരമായിരുന്നാൽ അതിന്റെ മർദം അബ്സല്യൂട്ട് സ്കെയിൽ താപനിലയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും. ഗണിതരൂപത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ.

$$p \propto T$$

$$\Rightarrow \frac{p}{T} = k_3 \text{ സ്ഥിരസംഖ്യ}$$

ബോയിൽ നിയമം, ചാൾസ് നിയമം എന്നിവയിൽ നിന്ന് ഈ ബന്ധം ഉണ്ടാക്കിയെടുക്കാൻ സാധിക്കും. സ്ഥിരമോളാർവ്യാപ്തത്തിൽ മർദവും താപനിലയും (കെൽവിൻ സ്കെയിൽ) തമ്മിൽ ചേർത്തുവരച്ചാൽ കിട്ടുന്ന ഗ്രാഫുകൾ ചിത്രം 5.7 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.



ചിത്രം 5.7: ഒരു വാതകത്തിന്റെ മർദവും താപനിലയും (K) തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

ഈ ഗ്രാഫിലെ ഓരോ നേർരേഖയേയും സമവ്യാപ്ത വക്രം (*isochore)* എന്നു വിളിക്കുന്നു.

5.5.4 അവോഗാഡ്രോ നിയമം (Avogadro Law (വ്യാപ്ത-മോൾ ബന്ധം)

ഡാൾട്ടന്റെ അറ്റോമിക സിദ്ധാന്തം, ഗേ ലുസാക്കിന്റെ വ്യാപ്തസംയോജകനിയമം എന്നിവയുടെ സാരാംശങ്ങൾ സംയോജിപ്പിച്ചുകൊണ്ട് 1811 ൽ ഇറ്റാലിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞനായ അമേഡിയോ അവോഗാഡ്രോ മുന്നോട്ടുവച്ച നിയമമാണ് അവോഗാഡ്രോ നിയമം എന്നറിയപ്പെടുന്നത്. ഇത് ഇപ്രകാരം പ്രസ്താവിക്കാം:

"ഒരേ താപനിലയിലും മർദത്തിലും സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന തുല്യവ്യാപ്തം വാതകങ്ങളിൽ ഉള്ള തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം തുല്യമായിരിക്കും"

മറ്റൊരുതരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, താപനിലയും മർദവും സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം അതിലുള്ള തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണത്തിന് അഥവാ പദാർഥത്തിന്റെ അളവിന് അഥവാ മോൾ സംഖ്യയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും.

അതായത്, $V \propto n$ (V−വ്യാപ്തം, n− മോൾസംഖ്യ)

$\Rightarrow V = k_4 n$ (K_4−സ്ഥിരസംഖ്യ) (5.11)

ഒരു മോൾവാതകത്തിലടങ്ങിയിട്ടുള്ള തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം കണ്ടുപിടിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഇത് 6.022×10^{23} ആണ്. ഈ സംഖ്യയെ അവോഗാഡ്രോ സ്ഥിരാങ്കം എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

താപനിലയും മർദവും സ്ഥിരമായിരിക്കുന്ന അവസ്ഥയിൽ തുല്യവ്യാപ്തം വാതകങ്ങളിലുള്ള തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം തുല്യമായതുകൊണ്ട്, തുല്യ എണ്ണം തന്മാത്രകളടങ്ങിയ വാതകങ്ങളുടെ വ്യാപ്തവും തുല്യമായിരിക്കും. ഏതൊരു വാതകത്തിന്റേയും ഒരു മോളിന്റെ വ്യാപ്തത്തെ മോളാർവ്യാപ്തം എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഇത് 6.022×10^{23} തന്മാത്രകളുടെ വ്യാപ്തമാണ്. മോളാർവ്യാപ്തം ഒരു നിശ്ചിതതാപനിലയിലും മർദത്തിലും എല്ലാ വാതകങ്ങൾക്കു തുല്യമായിരിക്കും എന്ന് വ്യക്തമാണല്ലോ. ഇത് കണക്കാക്കുന്നത് STP യിൽ ആണെങ്കിൽ അതിനെ സ്റ്റാൻഡേർഡ് മോളാർ വ്യാപ്തം എന്നുവിളിക്കുന്നു.

[STP : 273.15K (താപനില), 1 bar (മർദം) = 10^5pa]

(ഇവ യഥാക്രമം ജലത്തിന്റെ ഖരാങ്കം, സമുദ്രനിരപ്പിലെ അന്തരീക്ഷമർദം എന്നിവയ്ക്ക് തുല്യമാണ്.)

ഒരു ആദർശവാതകത്തിന്റെ അഥവാ ഒരു കൂട്ടം ആദർശവാതകങ്ങളുടെ സ്റ്റാൻഡേർഡ് മോളാർ വ്യാപ്തം ഏകദേശം **22.71098 L mol^{-1}** ആണ്

പട്ടിക 5.2 273.15 K ലും 1 ബാർ മർദത്തിലു (STP) മുള്ള ചില വാതകങ്ങളുടെ മോളാർ വ്യാപ്തങ്ങൾ (L/mol)

ആർഗൺ	22.37
കാർബൺഡയോക്സൈഡ്	22.54
ഡൈനൈട്രജൻ	22.69
ഡൈഓക്സിജൻ	22.69
ഡൈഹൈഡ്രജൻ	22.72
ആദർശവാതകം	22.71

'm' ഗ്രാം മാസുള്ള ഒരു വാതകത്തിന്റെ മോളാർ മാസ് M ഗ്രാം/മോൾ ആയാൽ, അതിലടങ്ങിയിട്ടുള്ള

മോളുകളുടെ എണ്ണം, $n = \frac{m}{M}$ ആയിരിക്കും (5.12)

അങ്ങനെയെങ്കിൽ സമവാക്യം 5.11 ഇപ്രകാരം എഴുതാം:

$$V = k_4 \frac{m}{M} \quad (5.13)$$

അഥവാ,
$$M = k_4 \frac{m}{V}$$

$$= k_4 d \quad \left(\therefore d = \frac{m}{V}\right) \quad (5.14)$$

അതായത് ഒരു വാതകത്തിന്റെ സാന്ദ്രത 'd', നിശ്ചിതതാപനിലയിലും മർദത്തിലും, മോളാർമാസിന് നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും.

5.6 ആദർശവാതകസമവാക്യം (IDEAL GAS EQUATION)

ഏതു സാഹചര്യത്തിലും ബോയ്ൽ നിയമം, ചാൾസ് നിയമം, അവോഗാഡ്രോ നിയമം എന്നിവ കൃത്യമായി അനുസരിക്കുന്ന വാതകത്തെ ആദർശവാതകം എന്നു വിളിക്കുന്നു. ആദർശവാതകം എന്നത് ഒരു സങ്കല്പമാണ്. ഒരു ആദർശവാതകത്തിൽ തന്മാത്രകൾ തമ്മിൽ യാതൊരു വിധത്തിലുള്ള ആകർഷണബലവും ഇല്ല എന്ന് അനുമാനിക്കാം. ഇനി നമുക്ക് ആദർശവാതകസമവാക്യം രൂപീകരിക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് നോക്കാം.

ബോയ്ൽ നിയമം, ചാൾസ് നിയമം, അവോഗാഡ്രോ നിയമം എന്നിവ സംയോജിപ്പിക്കുമ്പോഴാണ് ആദർശവാതകസമവാക്യം ലഭ്യമാകുന്നത്.

ബോയ്ൽ നിയമം ; $V \propto \frac{1}{p}$ (T, n എന്നിവ സ്ഥിരമാണ്)

ചാൾസ് നിയമം ; $V \propto T$ (P, n എന്നിവ സ്ഥിരമാണ്)

അവോഗാഡ്രോ നിയമം; $V \propto n$ (P, T എന്നിവ സ്ഥിരമാണ്)

ഇവ മൂന്നും കൂടി ചേർത്താൽ,

$$V \propto \frac{nT}{p} \quad (5.15)$$

ഇത് സമവാക്യരൂപത്തിലാക്കിയാൽ,

$$\Rightarrow \quad V = \mathrm{R}\frac{nT}{p}, (R - \text{സ്ഥിരസംഖ്യ}) \quad (5.16)$$

സമവാക്യം 5.16 നെ ക്രമപ്പെടുത്തിയാൽ,

$$pV = n\,\mathrm{R}T \quad (5.17)$$

ഇതാണ് **ആദർശവാതകസമവാക്യം**. ഇവിടെ ചേർത്തിട്ടുള്ള R - എന്ന സ്ഥിരസംഖ്യ **സാർവത്രിക വാതക സ്ഥിരാങ്കം (Universal Gas Constant)** എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇതനുസരിച്ച് 'n' മോൾ ഏതു വാതകത്തിന്റെയും വ്യാപ്തം $V = \frac{n\mathrm{R}T}{p}$ യാണ്. വാതകങ്ങൾ ആദർശസ്വഭാവം കാണിക്കുന്ന അവസരങ്ങളിൽ ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കാം.

$$\mathrm{R} = \frac{pV}{nT} \quad (5.18)$$

STP യിൽ (273.15 K, 1 bar മർദം) സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു മോൾ ആദർശവാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം 22.710981L mol^{-1} ആണെന്ന് നമുക്കറിയാം. സമവാക്യം 5.18 ൽ ഈ മൂല്യങ്ങൾ കൊടുത്താൽ ഒരു മോൾ ആദർശസമവാക്യത്തിന് R ന്റെ മൂല്യം നമുക്ക് താഴെ ക്കൊടുത്തിരിക്കുന്ന രീതിയിൽ കണക്കാക്കാം.

$$\mathrm{R} = \frac{(10^5\ \mathrm{Pa})(22.71 \times 10^{-3}\mathrm{m}^3)}{(1\ \mathrm{mol})(273.15\ \mathrm{K})}$$

$$= 8.314\ \mathrm{Pa\ m^3\ K^{-1}\ mol^{-1}}$$

$$= 8.314 \times 10^{-2}\ \mathrm{bar\ L\ K^{-1}\ mol^{-1}}$$

$$= 8.314\ \mathrm{J\ K^{-1}\ mol^{-1}}$$

മുൻപുപയോഗിച്ചിരുന്ന STP സാഹചര്യങ്ങളിൽ (0°C, 1atm മർദം), R ന്റെ മൂല്യം 8.20578 × 10^{-2} L $\mathrm{atmK^{-1}\ mol^{-1}}$ ആണ്. നാല് ചരങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം കാണിക്കുന്ന സമവാക്യമാണ് ആദർശവാതക സമവാക്യം. ഏതൊരു വാതകത്തിന്റേയും അവസ്ഥയെ അത് വിശദീകരിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് ഇത് അവസ്ഥാ സമവാക്യം (expansion of state) എന്നറിയപ്പെടുന്നു.

ഒരു നിശ്ചിത അളവ് (n സ്ഥിരമാണ്) ആദർശവാതകത്തിന്റെ മർദം, വ്യാപ്തം, താപനില എന്നിവ യഥാക്രമം P_1, V_1, T_1 എന്നിവയിൽ നിന്ന് P_2, V_2, T_2 എന്നിവയിലേക്ക് മാറിയാൽ ആദർശവാതക സമവാക്യമനുസരിച്ച്,

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = n\mathrm{R} \quad ; \quad \frac{p_2V_2}{T_2} = n\mathrm{R}$$

$$\Rightarrow \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \quad (5.19)$$

ഈ സമവാക്യത്തിലെ ഏതെങ്കിലും അഞ്ച് വിലകൾ അറിയാമെങ്കിൽ ആറാമത്തേത് കണ്ടുപിടിക്കാൻ കഴിയും. അതിനാൽ ഈ സമവാക്യം വളരെ ഉപയോഗപ്രദമാണ്. ഈ സമവാക്യം **സംയോജിതവാതക നിയമം (Combined gas law)** എന്നും അറിയപ്പെടുന്നു.

ചോദ്യം 5.3

25°C ലും 760 mm of Hg മർദത്തിലും സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം 600 mL ആണ്. എന്നാൽ ഇതിന്റെ താപനില 10°C ലേക്ക് താഴ്ത്തുകയും വ്യാപ്തം 640 mL ആവുകയും ചെയ്താൽ മർദം എത്രയാണെന്ന് കണക്കാക്കുക?

ഉത്തരം:

p_1 = 760 mm Hg, V_1 = 600 mL

T_1 = 25 + 273 = 298 K

V_2 = 640 mL, T_2 = 10 + 273 = 283 K

സംയോജിതവാതക നിയമപ്രകാരം.

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow p_2 = \frac{p_1V_1T_2}{T_1V_2}$$

$$\Rightarrow p_2 = \frac{(760\ \mathrm{mm\ Hg}) \times (600\ \mathrm{mL}) \times (283\ \mathrm{K})}{(640\ \mathrm{mL}) \times (298\ \mathrm{K})}$$

= 676.6 mm Hg

5.6.1 വാതകാവസ്ഥയിലുള്ള പദാർഥത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയും മോളാർമാസും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം (Density and Molar Mass of a Gaseous Substance)

ആദർശവാതകസമവാക്യം

$pV = nRT$ യെ

പുനഃക്രമീകരിച്ച് ഇപ്രകാരം എഴുതുക:

$$\frac{n}{V} = \frac{p}{RT}$$

$n = \frac{m}{M}$, ആയതിനാൽ

$$\frac{m}{MV} = \frac{p}{RT} \quad (5.20)$$

$\frac{m}{V} = d$, (സാന്ദ്രത) എന്നതിനെ സമവാക്യം 5.20 ൽ ആരോപിച്ചാൽ.

$$\frac{d}{M} = \frac{p}{RT} \quad (5.21)$$

അഥവാ $M = \frac{dRT}{p}$ (5.22)

5.6.2 ഡാൽട്ടന്റെ ഭാഗികമർദനിയമം (Dalton's Law of Partial Pressures)

ജോൺ ഡാൽട്ടൺ എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞൻ, 1801 ൽ ആണ് ഈ നിയമം ആവിഷ്കരിച്ചത്. ഈ നിയമം ഇപ്രകാരം പ്രസ്താവിക്കാം. **"പരസ്പരം രാസപ്രവർത്തനത്തിലേർപ്പെടാത്ത രണ്ടോ അതിലധികമോ വാതകപദാർഥങ്ങളുടെ മിശ്രിതത്തിന്റെ ആകെ മർദം അതിലെ ഘടകവാതകങ്ങളുടെ ഭാഗികമർദങ്ങളുടെ ആകെത്തുകയായിരിക്കും."**

അതായത് p_1, p_2, p_3....... എന്നിവ ഭാഗികമർദങ്ങളായുള്ള ഘടകവാതകങ്ങളുടെ മിശ്രിതത്തിന്റെ ആകെ മർദം $P_{ആകെ} = p_1+p_2+p_3+$ .... (5.23)

ഒരു മിശ്രിതത്തിലെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ഘടകവാതകത്തിന്റെ ***ഭാഗികമർദം*** **(partial pressures)** എന്നത്, വാതകമിശ്രിതം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന വ്യാപ്തം ഘടകവാതകം മാത്രമായി മിശ്രിതത്തിന്റെ അതേ താപനിലയിൽ ഉൾക്കൊള്ളുമ്പോൾ ചെലുത്തുന്ന മർദമാണ്.

സാധാരണയായി ചില വാതകങ്ങൾ ജലത്തിനു മീതെ ശേഖരിക്കപ്പെടുന്നു. തന്മൂലം അതിൽ ജലബാഷ്പം കൂടി ഉണ്ടാകും. ഇങ്ങനെ ശേഖരിക്കപ്പെടുന്ന വാതകങ്ങളുടെ മർദം കണക്കാക്കുന്നതിന് ഡാൽട്ടന്റെ നിയമം പ്രയോജനപ്പെടുത്താം. ഇവിടെ ആകെ മർദം എന്നത് ഈർപ്പരഹിതവാതകത്തിന്റെയും, ജലബാഷ്പത്തിന്റെയും ഭാഗികമർദങ്ങളുടെ തുകയായിരിക്കും. ജലബാഷ്പത്തിന്റെ ഭാഗികമർദത്തെ **ജലബാഷ്പമർദം (അക്വസ് ടെൻഷൻ)** എന്ന് വിളിക്കുന്നു. അതിനാൽ,

$p_{ആകെ} = p_{ഈർപ്പരഹിതവാതകം}$ + ജലബാഷ്പമർദം

$p_{ഈർപ്പരഹിതവാതകം} = p_{ആകെ}$ − ജലബാഷ്പമർദം (5.24)

ജലത്തിന്റെ ബാഷ്പമർദം വിവിധ താപനിലകളിൽ പട്ടിക 5.3 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

പട്ടിക 5.3: വിവിധ താപനിലകളിലുള്ള ജലത്തിന്റെ ജലബാഷ്പമർദം (*Vapour pressure*)

താപനില	മർദം/bar	താപനില	മർദം/bar
273.15	0.0060	295.15	0.0260
283.15	0.0121	297.15	0.0295
288.15	0.0168	299.15	0.0331
291.15	0.0204	301.15	0.0372
293.15	0.0230	303.15	0.0418

മോൾ ഫ്രാക്ഷന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിലുള്ള ഭാഗിക മർദം *(Partial pressure in terms of mole fraction)*

മൂന്നുവാതകങ്ങൾ ചേർന്ന ഒരു മിശ്രിതം T താപനിലയിൽ V വ്യാപ്തമുള്ള സംഭരണിയിൽ ഇരിക്കുന്നതായി സങ്കല്പിക്കുക. ഓരോ ഘടകവാതകവും ചെലുത്തുന്ന ഭാഗികമർദങ്ങൾ യഥാക്രമം p_1, p_2, p_3 എന്നിങ്ങനെയാണെന്ന് കരുതുക. അങ്ങനെയെങ്കിൽ ആദർശ വാതകസമവാക്യപ്രകാരം,

$$p_1 = \frac{n_1RT}{V} \quad (5.25)$$

$$p_2 = \frac{n_2RT}{V} \quad (5.26)$$

$$p_3 = \frac{n_3RT}{V} \quad (5.27)$$

ഇവിടെ n_1 n_2 n_3 എന്നിവ ഓരോ ഘടകവാതകത്തിലും അടങ്ങിയിട്ടുള്ള മോൾ എണ്ണമാണ്.

ഡാൽട്ടൻ നിയമമനുസരിച്ച് മിശ്രിതത്തിന്റെ ആകെ മർദം,

$$p_{Total} = p_1 + p_2 + p_3$$

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

$$= (n_1 + n_2 + n_3)\frac{RT}{V} \quad (5.28)$$

p_1 എന്നതിനെ p_{total} കൊണ്ട് ഹരിച്ചാൽ,

$$\frac{p_1}{p_{total}} = \left(\frac{n_1}{n_1+n_2+n_3}\right)\frac{RTV}{RTV}$$

$$= \frac{n_1}{n_1+n_2+n_3} = \frac{n_1}{n} = x_1$$

അതായത് $\frac{p_1}{p_{total}} = x_1$

x_1 എന്നത് ഒന്നാമത്തെ ഘടകത്തിന്റെ മോൾ ഫ്രാക്ഷനാണ്.

$\therefore p_1 = x_1\, p_{\text{ആകെ}}$

ഇതുപോലെ $p_2 = x_2\, p_{\text{ആകെ}}$

$p_3 = x_3\, p_{\text{ആകെ}}$

പൊതുവെ പറഞ്ഞാൽ,

$$p_i = x_i\, p_{total} \qquad (5.29)$$

ഇവിടെ p_i, x_i എന്നിവ 'i' എന്ന ഘടകത്തിന്റെ ഭാഗികമർദവും മോൾഫ്രാക്ഷനുമാണ്.

ചോദ്യം 5.4

70.6 g ഡൈഓക്സിജനും 167.5 g നിയോണും ചേർന്ന വാതകമിശ്രിതത്തിന്റെ ആകെ മർദം 25 bar ആണ്. എങ്കിൽ ഓരോ വാതകത്തിന്റേയും ഭാഗികമർദം കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം:

ഡൈഓക്സിജന്റെ മോളുകളുടെ എണ്ണം,

$$n_1 = \frac{70.6\ g}{32\ g\ mol^{-1}}$$

$$= 2.21\ mol$$

നിയോണിന്റെ മോളുകളുടെ എണ്ണം,

$$n_2 = \frac{167.5\ g}{20\ g\ mol^{-1}}$$

$$= 8.375\ mol$$

ആകെ മോളുകളുടെ എണ്ണം, $n = n_1 + n_2$

$$= (2.21 + 8.375)\ mol$$

$$= 10.585\ mol$$

ഡൈഓക്സിജന്റെ മോൾ ഫ്രാക്ഷൻ

$$x_1 = \frac{n_1}{n}$$

$$= \frac{2.21}{10.585}$$

$$= 0.21$$

നിയോണിന്റെ മോൾ ഫ്രാക്ഷൻ

$$x_2 = \frac{n_2}{n}$$

$$= \frac{8.375}{10.585}$$

$$= 0.79$$

ആകെ മർദം, p_{total} $= 25\ bar$

ഡൈഓക്സിജന്റെ ഭാഗികമർദം, $p_1 = x_1\, p_{\text{ആകെ}}$

$$= 0.21 \times 25\ bar$$

$$= 5.25\ bar$$

നിയോണിന്റെ ഭാഗികമർദം, $p_2 = x_2\, p_{\text{ആകെ}}$

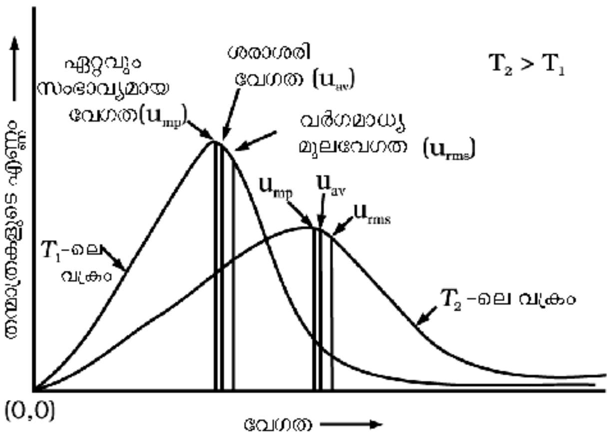
$$= 0.79 \times 25\ bar$$

$$= 19.75\ bar$$

5.7 ഗതികോർജവും തന്മാത്രകളുടെ പ്രവേഗവും (Kinetic Energy and Molecular speed)

വാതകതന്മാത്രകൾ നിരന്തരം ചലിക്കുന്നുണ്ടെന്നും, അവ തമ്മിലും, വാതകമുൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ഭിത്തികളിലും കൂട്ടിമുട്ടിക്കൊണ്ടിരിക്കുമെന്നും, നാം ഗതികസിദ്ധാന്തത്തിൽ കണ്ടു. അതുപോലെ തന്മാത്രകളുടെ കൂട്ടിമുട്ടലുകൾ ഇലാസ്തികമായതിനാൽ ആകെ ഊർജം വ്യത്യാസപ്പെടില്ലെന്നും മനസിലാക്കിയിട്ടുണ്ട്. അതുകൊണ്ടുതന്നെ, ഏതു സമയത്തും എല്ലാ തന്മാത്രകളുടെയും പ്രവേഗവും ഗതികോർജവും തുല്യമായിരിക്കുകയില്ല. അതിനാൽ നമുക്ക് കണക്കാക്കാൻ കഴിയുന്നത് തന്മാത്രകളുടെ ശരാശരി വേഗതയായിരിക്കും. ഒരു പാത്രത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന വാതകത്തിൽ 'n' എണ്ണം തന്മാത്രകളുണ്ടെന്നും, ഓരോ തന്മാത്രയുടെയും വേഗത $u_1, u_2, \ldots\ldots, u_n$, എന്നിങ്ങനെയാണെന്നും സങ്കല്പിച്ചാൽ, തന്മാത്രകളുടെ ശരാശരി വേഗത, $u_{av} = \frac{u_1 + u_2 + \ldots\ldots + u_n}{n}$, ആയിരിക്കും.

തന്മാത്രകളുടെ വേഗതയാകട്ടെ, താപനിലയെയും, തന്മാത്രാമാസിനെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്ന് മാക്സ്വെൽ, ബോൾട്ട്സ്മാൻ എന്നീ ശാസ്ത്രജ്ഞർ തെളിയിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഒരു നിശ്ചിതവേഗതയുള്ള തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള സമവാക്യം, മാക്സ്വെൽ മുന്നോട്ടുവച്ചിട്ടുണ്ട്. ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിലുള്ള വാതകവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണവും വേഗതയും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ് ചുവടെ ചേർക്കുന്നു:

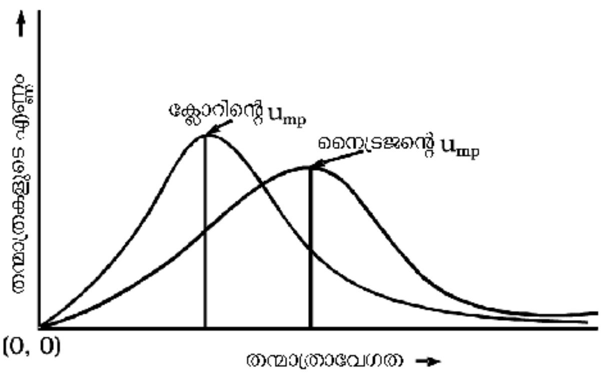


ചിത്രം 5.8: മാക്സ്വെൽ – ബോൾട്ട്സ്മാൻ വേഗതവിതരണ വക്രം

തന്മാത്രകളുടെ വേഗത സംബന്ധിച്ച മാക്സ്വെൽ-ബോൾട്ട്സ്മാൻ വിതരണഗ്രാഫ് എന്നാണ് ഈ ഗ്രാഫ് അറിയപ്പെടുന്നത്. ഗ്രാഫിൽ നിന്ന് മനസിലാകുന്നത്, വളരെക്കൂടിയ വേഗതയും വളരെ കുറഞ്ഞ വേഗതയും ഉള്ള തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം വളരെ കുറവാണെന്നാണ്. ഏറ്റവും കൂടുതൽ തന്മാത്രകൾ കൈവരിച്ചിട്ടുള്ള വേഗതയെ, ഗ്രാഫിലെ ഏറ്റവും ഉയർന്ന ബിന്ദു പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. ഈ വേഗതയെ **സംഭാവ്യമായ വേഗത (Most Probable Speed)**, U_{mp} എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ഇത് ശരാശരിവേഗതയുമായി അടുത്തു നിൽക്കുന്നതാണെന്ന് കാണാം. രണ്ട് വ്യത്യസ്തതാപനിലയിലുള്ള ഗ്രാഫുകളാണ് ചിത്രത്തിലുള്ളത് (T_1, T_2; $T_2 > T_1$). ഇത് വ്യക്തമാക്കുന്നത് താപനില ഉയരുമ്പോൾ ഏറ്റവും സംഭാവ്യമായവേഗത (U_{mp}) ഉയരുന്നുവെന്നാണ്. അതിനോടൊപ്പം ഉയർന്ന താപനിലയിൽ ഗ്രാഫിന്റെ മുകൾഭാഗം കൂടുതൽ പരന്നുവരുന്നുവെന്നു കാണാം. അതായത് താപനില കൂടുമ്പോൾ ഉയർന്ന വേഗതയുള്ള തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണവും കൂടിവരുന്നു.

ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിൽ, ഭാരം കുറഞ്ഞ വാതകതന്മാത്രകൾക്ക് വേഗത കൂടുലും ഭാരം കൂടിയ വാതകതന്മാത്രകൾക്ക് വേഗത കുറവും ആയിരിക്കും. ഉദാഹരണമായി, ഒരേ താപനിലയിൽ, നൈട്രജൻ തന്മാത്രകൾക്ക് ക്ലോറിൻ തന്മാത്രകളേക്കാൾ വേഗത കൂടുതലായിരിക്കും. അതായത് ഏതു താപനിലയിലും നൈട്രജൻ തന്മാത്രകളുടെ U_{mp}, ക്ലോറിൻ തന്മാത്രകളുടെ U_{mp} - യേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. ഈ രണ്ട് വാതകങ്ങളുടെയും മാക്സ്വെൽ-ബോൾട്ട്സ്മാൻ വിതരണ ഗ്രാഫുകൾ താഴെത്തന്നിരിക്കുന്നു:



ചിത്രം 5.9 ക്ലോറിന്റെയും നൈട്രജന്റെയും തന്മാത്രകളുടെ 300K നിലെ വേഗതയുടെ വിതരണഗ്രാഫ്

ഒരു കണികയുടെ ഗതികോർജം K.E. = $\frac{1}{2}mu^2$ എന്നെഴുതാം.

അതുകൊണ്ട് ഒരു വാതകത്തിലെ തന്മാത്രകളുടെ ശരാശരി ഗതികോർജം = $\frac{1}{2}m\overline{u}^2$; $\overline{u}^2$ എന്നത് ഇപ്രകാരം നിർവചിക്കാം:

$$\overline{u}^2 = \frac{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \ldots\ldots + u_n^2}{n}$$

അതായത് $\overline{u}^2$ എന്നത് തന്മാത്രകളുടെ വേഗതയുടെ വർഗത്തിന്റെ ശരാശരിയാണ് (mean square speed). ഇത് വാതകതന്മാത്രകളുടെ ശരാശരി ഗതികോർജത്തിന്റെ അളവിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇതിന്റെ വർഗമൂലം എടുത്താൽ നമുക്ക് പുതിയ ഒരു തന്മാത്രാവേഗത ലഭ്യമാകുന്നു. ഇതാണ് വർഗമാധ്യമൂല വേഗത (root mean square) $\left(u_{rms} = \sqrt{\overline{u}^2}\right)$.

ഈ ഭാഗത്ത് നാം കടന്നുപോയ മൂന്നുതരത്തിലുള്ള തന്മാത്രാവേഗതകളായ വർഗമാധ്യമൂല വേഗത (root mean square) (u_{rms}), ശരാശരി വേഗത (u_{av}), ഏറ്റവും സംഭാവ്യമായ വേഗത (u_{mp}) എന്നിവ തമ്മിൽ താരതമ്യം ചെയ്താൽ:

$u_{rms} > u_{av} > u_{mp}$.

ഇവ തമ്മിലുള്ള അനുപാതം താഴെ തന്നിരിക്കുന്നു:

$u_{mp} : u_{av} : u_{rms} = 1 : 1.128 : 1.224$

5.8 വാതകങ്ങളുടെ ഗതികതന്മാത്രാസിദ്ധാന്തം (Kinetic Molecular Theory of Gases)

വാതകങ്ങളുടെ പൊതുസ്വഭാവങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുന്ന, വാതകനിയമങ്ങളെല്ലാം തന്നെ പരീക്ഷണ-നിരീക്ഷണങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിലുള്ളവ ആയിരുന്നെങ്കിലും, അവയ്ക്ക് സൈദ്ധാന്തികമായ അടിത്തറ ഉണ്ടായിരുന്നില്ല. ഇത് പരിഹരിക്കുന്നതിനായി മാക്സ്വെൽ, ബോൾട്ട്സ്മാൻ, ബർനോളി, ക്ലേഷ്യസ് എന്നിങ്ങനെ നിരവധി ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ ചേർന്ന് മുന്നോട്ടുവച്ച സിദ്ധാന്തമാണ് വാതകതന്മാത്രകളുടെ ഗതികതന്മാത്രാസിദ്ധാന്തം (Kinetic Molecular Theory of Gases). ഈ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങൾ ചുവടെ ചേർക്കുന്നു.

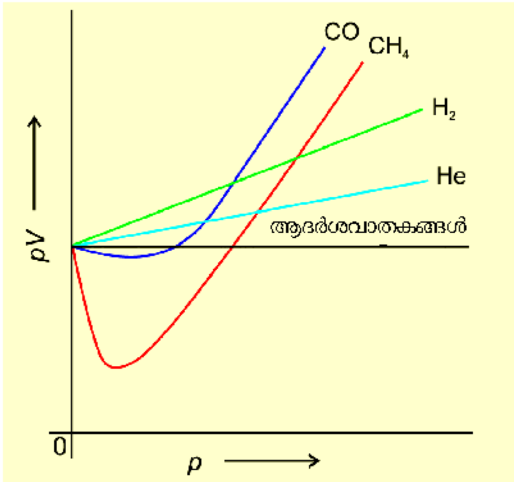
- എല്ലാ വാതകങ്ങളും സൂക്ഷ്മങ്ങളായ തന്മാത്രകളാൽ നിർമിതമാണ്.
- തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം വളരെ കൂടുതലായതിനാൽ വാതകതന്മാത്രകളുടെ ആകെ വ്യാപ്തം എന്നത് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തത്തെ അപേക്ഷിച്ച് തീരെക്കുറവായിരിക്കും. അതുകൊണ്ടാണ് മർദം കൂട്ടിയാൽ വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം വളരെയധികം കുറയുന്നത്.

- എല്ലായെപ്പോഴും വാതകതന്മാത്രകൾ വളരെ വേഗത്തിൽ പലദിശകളിലേക്ക് നേർരേഖയിൽ ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കും. അതിനാൽ തന്മാത്രകൾ തമ്മിലും, അത് ഉൾക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ഭിത്തിയിലും നിരന്തരം കൂട്ടിമുട്ടിക്കൊണ്ടിരിക്കും.
- തന്മാത്രകളുടെ എല്ലാ കൂട്ടിമുട്ടലുകളും ഇലാസ്തികമാണ്. (ഇലാസ്തികകൂട്ടിമുട്ടലെന്നാൽ, കൂട്ടിമുട്ടലിന് മുമ്പും ശേഷവുമുള്ള ആകെ ഊർജം തുല്യമായിരിക്കും എന്നതാണ്). തത്ഫലമായി തന്മാത്രകളുടെ ഊർജപരിമാണത്തിൽ പുനഃക്രമീകരണം നടക്കുമെങ്കിലും ആകെ ഊർജത്തിൽ വ്യത്യാസം വരുന്നില്ല.
- വാതകതന്മാത്രകൾ തമ്മിൽ യാതൊരുവിധ ആകർഷണബലവുമില്ല. അതുകൊണ്ട് അവയ്ക്ക് സ്വതന്ത്രമായി സഞ്ചരിക്കാൻ കഴിയും. ഇക്കാരണത്താലാണ് വാതകതന്മാത്രകൾക്ക്, അത് ഉൾക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന പാത്രത്തിൽ പൂർണമായും വ്യാപിക്കാൻ കഴിയുന്നത്.
- ഒരു വാതകം ചെലുത്തുന്ന മർദം എന്നത്, വാതകതന്മാത്രകൾ അതുൾക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ഭിത്തികളിൽ നടത്തുന്ന തുടർച്ചയായ കൂട്ടിമുട്ടലുകളുടെ പരിണതഫലമാണ്.
- ഒരു വാതകത്തിലെ തന്മാത്രകളുടെ പ്രവേഗം വ്യത്യസ്തമായിരിക്കുമെങ്കിലും, അവയുടെ ശരാശരി ഗതികോർജ്ജം വാതകത്തിന്റെ അബ്സല്യൂട്ട് താപനിലയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും.

മുൻഭാഗങ്ങളിൽ പഠിച്ച വാതകനിയമങ്ങളെ സൈദ്ധാന്തികമായി വ്യുൽപന്നം ചെയ്യുന്നതിന് സഹായിക്കുന്നു. ഗതികതന്മാത്രാസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ നടത്തുന്ന കണക്കുകൂട്ടലുകളും നിഗമനങ്ങളും പരീക്ഷണ-നിരീക്ഷണങ്ങളുമായി ചേർന്നു പോകുന്നതാകയാൽ ഈ മാതൃകയുടെ സ്വീകാര്യത ഉറപ്പിക്കുന്നു.

5.9 യഥാർഥ വാതകങ്ങളുടെ സ്വഭാവവും അവയുടെ ആദർശവാതകസ്വഭാവത്തിൽ നിന്നുള്ള വ്യതിയാനവും (Behaviour of real gases: Deviation from ideal gas behaviour)

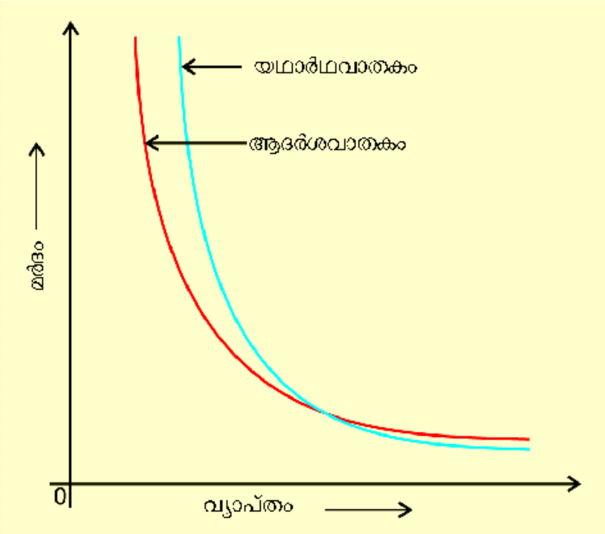
പരീക്ഷണ-നിരീക്ഷണങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ പരിശോധിച്ചാൽ വാതകനിയമങ്ങളെല്ലാം തന്നെ ഒരു പരിധിവരെ, യഥാർഥ വാതകങ്ങളുടെ സ്വഭാവങ്ങളുമായി ഒത്തു പോകുന്നുണ്ട്. ഈ നിയമങ്ങൾക്കടിസ്ഥാനമായ വാതകങ്ങളുടെ ഗതികതന്മാത്രാസിദ്ധാന്തം വാതകങ്ങൾ പാലിക്കുന്നു എന്നാണ് ഇതിൽ നിന്നനുമാനിക്കേണ്ടത്. എന്നാൽ, ആദർശവാതകസമവാക്യത്തിന് ($pV = nRT$), വാതകങ്ങളുടെ മർദ-വ്യാപ്ത-താപനിലബന്ധങ്ങളെ എത്രത്തോളം പ്രതിനിധീകരിക്കാൻ കഴിയുമെന്ന് പരിശോധിച്ചപ്പോൾ ചില പ്രശ്നങ്ങൾ ഉടലെടുക്കുന്നതായി കാണാൻ കഴിഞ്ഞു. ഉദാഹരണമായി, ബോയിൽ നിയമപ്രകാരം ഒരു നിശ്ചിത മാസുള്ള വാതകത്തിന്റെ താപനില സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ pV ഒരു സ്ഥിരാങ്കമായിരിക്കണം അഥവാ pV - ഉം p - യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ് പരിശോധിച്ചാൽ p – അക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായ നേർരേഖയായിക്കണം ലഭിക്കേണ്ടത്. 273K -ൽ തുല്യമോൾ എണ്ണം (n) വിവിധ വാതകങ്ങൾ പരീക്ഷണവിധേയമാക്കുമ്പോൾ യഥാർഥത്തിൽ ലഭിക്കുന്ന വിലകൾ ഉപയോഗിച്ച് വരച്ചിട്ടുള്ള pV-p ഗ്രാഫുകൾ ചുവടെ ചേർക്കുന്നു: (ചിത്രം 5.10)



ചിത്രം 5.10: യഥാർഥവാതകങ്ങളുടെയും ആദർശവാതകത്തിന്റെയും *pV* യും *p* യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

ഈ ഗ്രാഫ് കാണിക്കുന്നത്, ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിൽ യഥാർഥ വാതകങ്ങളുടെ pV-p ഗ്രാഫ് p – അക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായിരിക്കുന്നില്ലെന്നാണ്. ഇവിടെ രണ്ടുതരം ഗ്രാഫുകൾ കാണാൻ കഴിയും – H_2, He തുടങ്ങിയ വാതകങ്ങളിൽ മർദം വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് pV യും വർധിക്കുന്നതായി സൂചിപ്പിക്കുമ്പോൾ CO, CH_4 എന്നീ വാതകങ്ങളുടെ കാര്യത്തിൽ മർദം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് pV ആദ്യം കുറയുകയും (നെഗറ്റീവ് വ്യതിയാനം) പിന്നീട് കൂടിവരുകയും (പോസിറ്റീവ് വ്യതിയാനം) ചെയ്യുന്നു. ഇതിൽ നിന്ന് മനസ്സിലാകുന്നത് യഥാർഥവാതകങ്ങളൊന്നും തന്നെ, എല്ലാ സാഹചര്യങ്ങളിലും ആദർശവാതക സ്വഭാവം പാലിക്കുന്നില്ല എന്നാണ്.

ബോയിൽ നിയമം അനുസരിച്ച് സൈദ്ധാന്തികമായി ലഭിച്ച p, V മൂല്യങ്ങൾ (ആദർശവാതകങ്ങൾ) ഉപയോഗിച്ച് വരച്ച ഗ്രാഫും പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്ന് കിട്ടുന്ന p, V മൂല്യങ്ങൾ (യഥാർഥവാതകങ്ങൾ) ഉപയോഗിച്ച് വരച്ച ഗ്രാഫും താരതമ്യം ചെയ്താൽ വക്രങ്ങൾ തമ്മിൽ ഏകീഭവിക്കുന്നതായി കാണുന്നില്ല. (ചിത്രം 5.11)



ചിത്രം 5.11: യഥാർഥവാതകത്തിന്റേയും ആദർശവാതകത്തിന്റേയും മർദവും വ്യാപ്തവുമായുള്ള ഗ്രാഫ്

ഗ്രാഫിൽ നിന്ന് വ്യക്തമാകുന്നത്, ഉയർന്ന മർദത്തിൽ പരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്ന് ലഭിച്ച വ്യാപ്തം, ആദർശവാതകസമവാക്യത്തിൽനിന്ന് ലഭിച്ച വ്യാപ്തത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്നും, വളരെ താഴ്ന്ന മർദത്തിൽ രണ്ട് വ്യാപ്തങ്ങളും ഏകദേശം അടുത്താണെന്നുമാണ്. ഇതും തെളിയിക്കുന്നത് യഥാർഥവാതകങ്ങൾ ആദർശവാതകസ്വഭാവം എല്ലായിപ്പോഴും കാണിക്കുന്നില്ലെന്നുതന്നെയാണ്. ഈ ഘട്ടത്തിൽ രണ്ട് ചോദ്യങ്ങൾ പ്രസക്തമാകുന്നു.

1. എന്തുകൊണ്ടാണ് യഥാർഥവാതകങ്ങൾ ആദർശവാതകസ്വഭാവത്തിൽ നിന്ന് വ്യതിചലിക്കുന്നത്?
2. ഏതെല്ലാം സാഹചര്യത്തിലാണ് യഥാർഥവാതകങ്ങൾ, ആദർശവാതകസ്വഭാവത്തിൽ നിന്ന് വ്യതിചലിക്കുന്നത്?

ഇതിനുത്തരം കണ്ടെത്താൻ വാതകങ്ങളുടെ ഗതികതന്മാത്രാസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങൾ അപഗ്രഥിക്കുന്നത് നന്നായിരിക്കും. ഇവിടെ വ്യക്തമാകുന്നത്, ഈ സിദ്ധാന്തത്തിലെ രണ്ട് അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങൾ എല്ലായെപ്പോഴും ശരിയാകുന്നില്ലെന്നാണ്. അവ ചുവടെ ചേർക്കുന്നു:

1. വാതകതന്മാത്രകൾക്കിടയിൽ യാതൊരുവിധ ആകർഷണബലവുമില്ല.
2. തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള അകലം വളരെ കൂടുതലായതിനാൽ വാതകതന്മാത്രകളുടെ ആകെ വ്യാപ്തം എന്നത് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തത്തെ അപേക്ഷിച്ച് തീരെ കുറവായിരിക്കും.

ഒന്നാമത്തെ നിഗമനം ശരിയാണെങ്കിൽ വാതകങ്ങളെ ഒരിക്കലും ദ്രവീകരിക്കാൻ കഴിയില്ല. എന്നാൽ യഥാർഥത്തിൽ വാതകങ്ങളെ തണുപ്പിച്ച് ഞെരുക്കിയമർത്തി ദ്രാവകമാക്കാൻ കഴിയും. അതോടൊപ്പം തന്നെ ഈ ദ്രാവകങ്ങളെ വീണ്ടും ഞെരുക്കിയമർത്താൻ കഴിയില്ല. കാരണം, അടുത്തുനിൽക്കുന്ന ദ്രാവകതന്മാത്രകൾ വീണ്ടും അടുപ്പിച്ചാൽ വികർഷണബലം വളരെ കൂടുതലാണെന്നതാണ്.

രണ്ടാമത്തെ നിഗമനം ശരിയാണെങ്കിൽ P - V ഗ്രാഫിൽ, യഥാർഥ വാതകത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന വക്രവും ആദർശവാതകത്തിന്റെ വക്രവും ഒരുമിച്ച് ചേർന്ന് വരേണ്ടതാണ്.

യഥാർഥവാതകങ്ങൾ ആദർശവാതകസ്വഭാവത്തിൽ നിന്ന് വ്യതിചലിക്കുന്നതിനുള്ള കാരണം അന്തർതന്മാത്രാന്തര ബലങ്ങളാണ്. ഉയർന്ന മർദത്തിൽ തന്മാത്രകൾ അടുത്തുവരുമ്പോൾ അവ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണബലം ക്രമേണ ശക്തിപ്പെടുന്നു. അതിനാൽ ഉയർന്ന മർദത്തിൽ വാതകതന്മാത്രകൾ അത് ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ഭിത്തിയുമായുണ്ടാക്കുന്ന കൂട്ടിമുട്ടലുകളുടെ ശക്തി, ആദർശവാതകതന്മാത്രകളുണ്ടാക്കുന്നതിനേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. തന്മൂലം യഥാർഥവാതകം ചെലുത്തുന്ന മർദം, ആദർശവാതകത്തിന്റേതിനേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. അതിനാൽ ആദർശവാതകത്തിന്റേയും യഥാർഥവാതകത്തിന്റേയും മർദവ്യത്യാസം താഴെ പറയുന്നരീതിയിൽ വ്യക്തമാക്കാം.

$$p_{ideal} = p_{real} + \frac{an^2}{V^2} \qquad (5.30)$$

(P_{real} = യഥാർഥ വാതകത്തിന്റെ മർദം

$a\frac{n^2}{V^2}$ = മർദത്തിലുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസം പരിഹരിക്കുന്ന ഘടകം)

ഉയർന്ന മർദത്തിൽ തന്മാത്രകൾ കൂടുതൽ അടുത്തുവരുമെന്നും നാം മനസിലാക്കിയിട്ടുണ്ട്. അപ്പോൾ സംജാതമാകുന്ന വികർഷണബലം മൂലം തന്മാത്രകൾക്ക് ഒരു പരിധിക്കപ്പുറം അടുത്തുവരാൻ കഴിയില്ല. ഈ ഘട്ടത്തിൽ ഓരോ തന്മാത്രയേയും, ഒന്നിന് മറ്റൊന്നിലേക്ക് തുളച്ചുകയറാൻ കഴിയാത്ത ചെറുഗോളങ്ങളായി കരുതാം. ഇക്കാരണത്താൽ തന്മാത്രകളുടെ ആകെ വ്യാപ്തം അവഗണിക്കാൻ കഴിയില്ല. ഈ സമയത്ത് വാതകതന്മാത്രകൾ, അതുൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിന്റെ വ്യാപ്തത്തിൽ (V) സഞ്ചരിക്കുന്നതിനുപകരം, അതിനേക്കാൾ കുറഞ്ഞ വ്യാപ്തത്തിലേക്ക് പരിമിതപ്പെടുന്നു (V - nb). ഇതിൽ nb എന്നത് വാതകതന്മാത്രകളുടെ മാത്രം ആകെ വ്യാപ്തത്തിന് ഏകദേശം തുല്യ

മാണ്. മുകളിൽ വിശദമാക്കപ്പെട്ട രണ്ടുകാര്യങ്ങളും പരിഗണിച്ചാൽ ആദർശവാതകസമവാക്യത്തെ താഴെ തന്നിട്ടുള്ള രീതിയിൽ മാറ്റാം.

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \qquad (5.31)$$

ഈ സമവാക്യത്തെ വാൻഡെർ വാൾസ് സമവാക്യം എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഇതിൽ a, b എന്നിവ വാൻഡെർ വാൾസ് സ്ഥിരാങ്കങ്ങൾ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇവയുടെ മൂല്യം വാതകങ്ങളുടെ സ്വഭാവവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. 'a' യുടെ മൂല്യം അന്തർതന്മാത്രാ ആകർഷണബലത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു; ഇതിന് താപനിലയുമായും മർദവുമായും ബന്ധമില്ല. എന്നാൽ 'b' എന്നത് ഒരു മോൾ വാതക തന്മാത്രകൾക്ക് യഥാർഥത്തിൽ നിലനിൽക്കാനാവശ്യമായ വ്യാപ്തമാണ്.

വളരെ താഴ്ന്ന താപനിലയിൽ താപോർജം കുറയുന്നതിനാൽ അന്തർതന്മാത്രാആകർഷണബലം ശക്തിപ്പെടുകയും തന്മാത്രകൾ അടുത്തുവരികയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ ഉയർന്ന മർദവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് വിശദമാക്കിയ ചില സാഹചര്യങ്ങൾ ഇവിടെയും ബാധകമാകുന്നു.

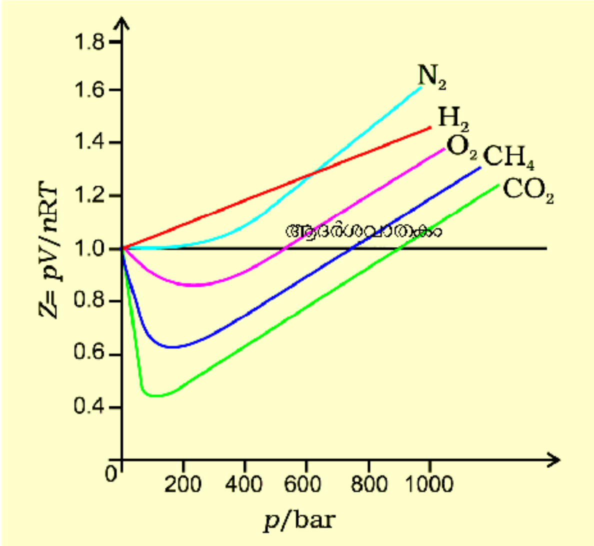
ചുരുക്കത്തിൽ അന്തർതന്മാത്രാബലങ്ങൾ തീരെ കുറവായി വരുന്ന സാഹചര്യങ്ങളിൽ (താഴ്ന്ന മർദം, ഉയർന്ന താപനില) യഥാർഥ വാതകങ്ങൾ ആദർശവാതകസ്വഭാവം കാണിക്കുന്നു.

സമ്മർദക്ഷമതാഘടകം (compressibility factor, Z), എന്ന ഒരു ഘടകത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിലും യഥാർഥവാതകങ്ങളുടെ, ആദർശവാതകസ്വഭാവത്തിൽ നിന്നുമുള്ള വ്യതിയാനം വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയും.

$$Z = \frac{pV}{nRT} \qquad (5.32)$$

എന്ന് നിർവ്വചിക്കാം.

pV = nRT ആയതിനാൽ ആദർശവാതകങ്ങൾക്ക് എല്ലാ താപനിലയിലും മർദത്തിലും Z = 1 ആയിരിക്കും. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ Z - ഉം P - ഉം തമ്മിലുള്ള ബന്ധം സൂചിപ്പിക്കുന്ന ഗ്രാഫ് വരച്ചാൽ, ആദർശവാതകങ്ങൾക്ക് P - അക്ഷത്തിന് സമാന്തരമായ രേഖയായിരിക്കും ലഭിക്കുന്നത്. ആദർശസ്വഭാവത്തിൽനിന്ന് വ്യതിചലിക്കുന്ന വാതകങ്ങൾക്ക് 'Z' ന്റെ മൂല്യവും 1 ൽ നിന്നും വ്യതിചലിക്കുന്നു.



ചിത്രം 5.12: ചിലവാതകങ്ങളുടെ സമ്മർദക്ഷമതാഘടകത്തിന്റെ മർദത്തിനനുസരിച്ചുള്ള വ്യതിയാനം

വളരെ താഴ്ന്ന മർദത്തിൽ എല്ലാ വാതകങ്ങളും ആദർശനിയമം പാലിക്കുകയും $Z = 1$ ആവുകയും ചെയ്യും. എന്നാൽ ഉയർന്ന മർദത്തിൽ എല്ലാ വാതകങ്ങൾക്കും $Z > 1$ എന്നാകും. അതായത് ഉയർന്ന മർദത്തിലിരിക്കുന്ന വാതകത്തെ സമ്മർദത്തിനു വിധേയമാക്കാൻ (compress) പ്രയാസമാണ്. ഇടനിലയിലുള്ള മർദത്തിൽ മിക്ക വാതകങ്ങൾക്കും $Z < 1$ ആയിരിക്കും. ഇതിൽ നിന്ന് വ്യക്തമാകുന്നത്, വാതകങ്ങൾ വളരെ താഴ്ന്ന മർദത്തിൽ ആദർശവാതകസ്വഭാവം കാണിക്കുന്നു എന്നാണ്. കാരണം അവയുടെ വ്യാപ്തം തന്മാത്രകളുടെ യഥാർഥ വ്യാപ്തത്തേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലായിരിക്കും.

മർദം കുറയുന്നതിനനുസരിച്ച് ഒരു യഥാർഥ വാതകം ആദർശവാതകസ്വഭാവത്തിലേക്ക് അടുത്തുവരുന്നു. ഒരു വാതകം ഏതു മർദം വരെ ആദർശവാതകസ്വഭാവം കാണിക്കുമെന്നത് ആ വാതകത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തേയും താപനിലയേയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

പരിഗണിക്കത്തക്ക മർദപരിധിയിൽ, ഒരു വാതകം ആദർശസ്വഭാവം കാണിക്കുന്നത് ഏത് താപനിലയിലാണോ, ആ താപനിലയെ ആ വാതകത്തിന്റെ ബോയിൽ താപനില (Boyle temperature or Boyle point) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു വാതകത്തിന്റെ ബോയിൽ താപനിലയുടെ മൂല്യം ആ വാതകത്തിന്റെ പ്രകൃതത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ബോയിൽ പോയിന്റിനു മുകളിൽ വാതകങ്ങൾ ആദർശവാതകസ്വഭാവത്തിൽ നിന്ന് പോസിറ്റീവ് വ്യതിയാനം കാണിക്കുന്നു. ബോയിൽ

പോയിന്റിനു താഴെ, മർദം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് Z ന്റെ വില കുറഞ്ഞുവരുകയും ഒരു നിശ്ചിതമൂല്യത്തിലെത്തിയശേഷം കൂടിവരുകയും ചെയ്യുന്നു. പൊതുവെ കുറഞ്ഞ മർദത്തിലും കൂടിയ താപനിലയിലും വാതകങ്ങൾ ആദർശസ്വഭാവം കാണിക്കുന്നു.

സമ്മർദക്ഷമതാഘടകത്തിന്റെ *(Z)* ന്റെ പ്രത്യേകത കൂടുതൽ മനസിലാക്കാൻ ചുവടെ ചേർത്തിട്ടുള്ള നിർധാരണം സഹായകമാകും.

$$Z = \frac{pV_{\text{real}}}{n\,RT} \qquad (5.33)$$

ആണെന്ന് നമുക്കറിയാം. എന്നാൽ ആദർശവാതകനിയമം പാലിക്കുമെങ്കിൽ,

$V_{\text{ideal}} = \frac{n\,RT}{p}$. എന്നെഴുതാം $\frac{nRT}{p}$ യുടെ വില സമവാക്യം 5.33 ൽ ചേർത്തെഴുതിയാൽ

$$Z = \frac{V_{\text{real}}}{V_{\text{ideal}}} \qquad (5.34)$$

എന്നാകും.

അതായത് സമ്മർദക്ഷമതാഘടകം, യഥാർഥ മോളാർ വ്യാപ്തത്തിന്റെയും, ആദർശവാതകസമവാക്യത്തിൽ നിന്ന് ലഭിക്കുന്ന മോളാർ വ്യാപ്തത്തിന്റെയും അനുപാതമായിരിക്കും.

തുടർന്നുവരുന്ന പാഠഭാഗത്ത് നാം കാണുന്നത് ദ്രാവകാവസ്ഥ ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ വാതകാവസ്ഥയുടെ തുടർച്ചയാണെന്നും, ഒരു പ്രത്യേകതാപനിലയിൽ ആ മാറ്റം സംഭവിക്കുമ്പോൾ ദ്രാവക, വാതക അവസ്ഥകളെ തമ്മിൽ ഭൗതികമായി തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയില്ലെന്നുമാണ്. കൂടാതെ വാതകങ്ങളുടെ ദ്രവീകരണത്തിന് അനുയോജ്യമായ സാഹചര്യങ്ങൾ പ്രവചിക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്നും പരിശോധിക്കാം.

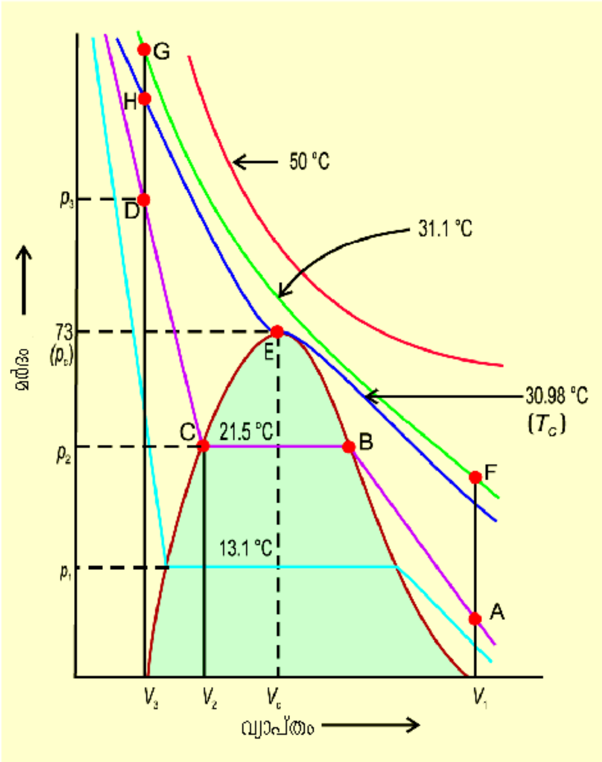
5.10 വാതകങ്ങളുടെ ദ്രവീകരണം (Liquifaction of Gases)

ഒരു പദാർഥത്തെ വാതകാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് ദ്രാവകാവസ്ഥയിലെത്തിക്കണമെങ്കിൽ താപോർജം കുറച്ച്, അന്തർ തന്മാത്രാബലം ശക്തിപ്പെടുത്തുന്ന സാഹചര്യങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കേണ്ടതുണ്ടെന്ന് നമുക്കറിയാം. ഒരു പദാർഥം അതിന്റെ വാതക-ദ്രാവക അവസ്ഥകളിൽ കാണിക്കുന്ന മർദ-വ്യാപ്ത-താപനില ബന്ധങ്ങൾ വസ്തുതകളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ആദ്യം വ്യക്തമാക്കിയത് തോമസ് ആൻഡ്രൂസ് എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞനാണ്. അദ്ദേഹം പരീക്ഷണം നടത്തിയത് CO_2 വാതകത്തിലാണ് അദ്ദേഹം പരീക്ഷണവിധേയമാക്കിയത്. ഇതിനായി വ്യത്യസ്ത താപനിലകളിലുള്ള സമതാപീയ വക്രങ്ങൾ പരിഗണിച്ചു. പിൽക്കാലത്ത് എല്ലാ യഥാർഥവാതകങ്ങളും CO_2 നെ പോലെയാണ് പെരുമാറുന്നതെന്ന് കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്.

യഥാർഥ വാതകങ്ങൾ ഉയർന്ന താപനിലയിൽ ആദർശവാതകങ്ങളെപ്പോലെയാണ് പെരുമാറുന്നതെന്നും, ഉയർന്ന താപനിലയിൽ എത്ര ഉയർന്ന മർദം ചെലുത്തിയാലും വാതകങ്ങളെ ദ്രാവകമാക്കിമാറ്റാൻ കഴിയില്ല എന്നും സമതാപീയവക്രങ്ങളിൽ നിന്ന് മനസിലാക്കി. താപനില താഴ്ന്നുവരുമ്പോൾ സമതാപീയവക്രങ്ങൾ ആദർശവാതകങ്ങളുടേതിൽ നിന്നും വളരെയധികം വ്യത്യാസപ്പെടുന്നതുകാണാം. കാർബൺഡൈഓക്സൈഡ് വാതകത്തിന് $30.98°C$ താപനിലയിൽ മർദം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം കുറഞ്ഞുവരുകയും, *73 atm* എന്ന മർദത്തിൽ വച്ച് *(E* എന്ന ബിന്ദു) ദ്രവീകൃത CO_2 ആദ്യമായി പ്രത്യക്ഷമാവുകയും ചെയ്യുന്നു. $30.98°C$ എന്ന താപനിലയെ CO_2 ന്റെ ക്രാന്തികതാപനില *(Critical temperature)* എന്നു വിളിക്കുന്നു. CO_2 നെ ദ്രാവകാവസ്ഥയിൽ കാണാൻ കഴിയുന്ന ഏറ്റവും ഉയർന്ന താപനിലയാണിത്. ഇതിനു മുകളിൽ CO_2 ന് വാതകാവസ്ഥയിലിരിക്കാൻ മാത്രമേ കഴിയൂ. ഒരു വാതകപദാർഥത്തെ മർദംചെലുത്തി ദ്രാവകമാക്കി മാറ്റാൻ കഴിയുന്ന, ഏറ്റവും ഉയർന്ന താപനിലയെ ആ വാതകത്തിന്റെ **ക്രാന്തികതാപനില *(Tc)*** എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു മോൾ വാതകത്തിന്, അതിന്റെ ക്രിട്ടിക്കൽ താപനിലയിലുള്ള വ്യാപ്തത്തെ **ക്രാന്തിക വ്യാപ്തം *(Vc)*** എന്നും, അപ്പോഴുള്ള മർദത്തെ **ക്രാന്തികമർദം *(Pc)*** എന്നും വിളിക്കുന്നു. ക്രാന്തിക താപനില, ക്രാന്തിക വ്യാപ്തം, ക്രാന്തിക മർദം എന്നിവയെ **ക്രാന്തികസ്ഥിരാങ്കങ്ങൾ** എന്നുവിളിക്കുന്നു.

$30.98°C$ ലുള്ള CO_2 ന്റെ സമതാപീയവക്രത്തിന്റെ, *'E'* എന്ന ബിന്ദുവിന് മുകളിലേക്കു പോകുമ്പോൾ, മർദത്തിൽ ഉയർന്ന വ്യത്യാസം കാണാമെങ്കിലും വ്യാപ്തം വളരെ കുറച്ചുമാത്രമേ കുറയുന്നുള്ളൂ. ഇതിൽ നിന്ന് മനസിലാകുന്നത്, ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് സമ്മർദക്ഷമത വളരെ കുറവാണെന്നാണ്. അതായത് *'E'* എന്ന ബിന്ദുവിനും മുകളിലേക്കുവരുന്ന കുത്തനെയുള്ള സമതാപീയവക്രത്തിന്റെ ഭാഗം ദ്രാവകത്തെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. $30.98°C$ നു താഴെയുള്ള താപനിലയിൽ CO_2 ന്റെ സമതാപീയവക്രം വളരെ

വ്യത്യസ്തമാണ്. ഉദാഹരണമായി ചിത്രം 5.13 ൽ, 21.5^oC ലെ സമതാപീയവക്രം പരിശോധിക്കുക. *'B'* എന്ന ബിന്ദു വരെ CO_2 വാതകാവസ്ഥയിലാണ്. ഈ



ചിത്രം 5.13: വ്യത്യസ്ത താപനിലകളിലുള്ള CO_2 ന്റെ ഐസോനേറ്റുകൾ

ബിന്ദുവിൽ വച്ച് ഒരു നിശ്ചിത വ്യാപ്തമുള്ള ദ്രാവകം രൂപപ്പെടുന്നു. തുടർന്നങ്ങോട്ട് ദ്രാവക-വാതക അവസ്ഥകൾ ഒരേ സമയം നിലനിൽക്കുകയും, വ്യാപ്തം കുറയുന്നതിനനുസരിച്ച് മർദത്തിൽ വ്യത്യാസം വരാതെ തന്നെ (തിരശ്ചീനവര) വാതകം ദ്രാവകാവസ്ഥയിലേക്ക് മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുകയും *'C'* എന്ന ബിന്ദുവിലെത്തുമ്പോൾ മുഴുവൻ വാതകവും ദ്രവീകരിയ്ക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. *'C'* യ്ക്ക് ശേഷം മർദം വർധിപ്പിച്ചാൽ വ്യാപ്തത്തിന് നേരിയ കുറവ് മാത്രമേ ഉണ്ടാകുന്നുള്ളൂ. ഇത് സമതാപീയവക്രത്തിന്റെ കുത്തനെയുള്ള ഭാഗം സൂചിപ്പിക്കുന്നു. അതായത് P_2 - ൽ നിന്നും P_3 - ലേക്ക് ഉയർന്ന മർദവ്യത്യാസം സംഭവിക്കുമ്പോൾ വ്യാപ്തത്തിൽ വളരെ തുച്ഛമായ കുറവാണ് (V_2 - ൽ നിന്നും V_3 - ലേക്ക്) സംഭവിക്കുന്നത്.

CO_2 ന്റെ ക്രാന്തിക താപനിലയ്ക്ക് താഴെയുള്ള ഏത് സമതാപീയവക്രങ്ങളും ഇതേ പ്രവണത കാണിക്കുന്നു. എന്നാൽ താപനില കുറയുന്നതിനനുസരിച്ച് തിരശ്ചീനഭാഗത്തിന്റെ നീളം കൂടികൂടി വരുന്നതുകാണാം. ക്രാന്തികബിന്ദുവിൽ *(E)* തിരശ്ചീനഭാഗം ചുരുങ്ങി ഒരു ബിന്ദുവിലേക്കെത്തുന്നതായി പരിഗണിക്കാം. ഇത്തരത്തിൽ നോക്കിയാൽ ചിത്രം 5.13 ൽ *'A'* എന്ന ബിന്ദു വാതകാവസ്ഥയേയും, *'D'* എന്ന ബിന്ദു ദ്രാവകാവസ്ഥയും, കുംഭാകൃതിയിൽ *(dome shaped)* എടുത്തുകാട്ടിയിട്ടുള്ള (ദ്വയാവസ്ഥാമേഖല - *two phase region)* ഭാഗത്തുള്ള ഏതു ബിന്ദുവും കാർബൺഡൈഓക്സൈഡിന്റെ ദ്രാവക-വാതക അവസ്ഥകളുടെ സന്തുലനത്തേയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. സ്ഥിരതാപനിലയിൽ മർദം ചെലുത്തിയാൽ എല്ലാ വാതകങ്ങളുടെയും സ്വഭാവം കാർബൺഡൈ ഓക്സൈഡിനോട് സാമ്യത പുലർത്തും.

എല്ലായെപ്പോഴും ഏതെങ്കിലും ഒരുപ്രാവസ്ഥ *(Phase)* മാത്രം നിലനിർത്തിക്കൊണ്ട് ഒരു വാതകത്തെ നേരിട്ട് ദ്രാവകമാക്കാനോ തിരിച്ച് ദ്രാവകത്തെ നേരിട്ട് വാതകമാക്കാനോ കഴിയും. ഉദാഹരണമായി ചിത്രം 5.13 അനുസരിച്ച് *'A'* യിൽ നിന്നും *'F'* ലേക്ക് എത്താൻ ഒരു വാതകത്തിന്റെ താപനില ഉയർത്തിയാൽ മതി. അതിനുശേഷം അതിനെ കംപ്രസ് ചെയ്താൽ 31.1^0C ലെ സമതാപീയവക്രത്തിലെ *'G'* എന്ന ബിന്ദുവിലെത്താം. ഇനി താപനിലകുറച്ചാൽ (വ്യാപ്തം സ്ഥിരമാക്കി നിർത്തി) *'D'* എന്ന ബിന്ദുവിലെത്താം. *G* - ൽ നിന്ന് *D* - ലേക്ക് വരുന്ന ഘട്ടത്തിൽ ക്രാന്തിക സമതാപീയ വക്രത്തിലെ *'H'* എന്ന ബിന്ദു മറികടക്കുമ്പോൾ വാതകം ദ്രാവകമായി മാറുന്നു. ഈ പ്രക്രിയയിൽ വാതക ദ്രാവകാവസ്ഥകൾ സംതുലനത്തിൽ നിൽക്കുന്ന കുംഭാകൃതിയിലുള്ള ഭാഗത്തുകൂടി കടന്നുപോകുന്നില്ല. വാതകം നേരിട്ട് പൂർണമായി ദ്രാവകമാകുന്നു.

ഈ പാഠഭാഗത്തിൽനിന്ന് നമുക്ക് മനസിലാക്കാൻ കഴിയുന്നത്, ഏതൊരു വാതകത്തെയും അതിന്റെ ക്രാന്തികതാപനിലയ്ക്ക് താഴെ വച്ചുമാത്രമേ ദ്രവീകരിക്കാൻ കഴിയുകയുള്ളുവെന്നാണ്. ക്രാന്തികതാപനിലയിൽ തന്നെയാണ് ദ്രവീകരണപ്രക്രിയ നടത്തുന്നതെങ്കിൽ ഒരവസ്ഥയിൽ മാത്രമായിരിക്കും എല്ലായെപ്പോഴും പദാർഥം കാണപ്പെടുന്നത്. അതായത്, വാതകാവസ്ഥയുടെ തുടർച്ചയാണ് ദ്രാവകാവസ്ഥ. ഇവയെ രണ്ടിനെയും ദ്രവം എന്ന് വിളിക്കാം. ഒരുതരത്തിൽ ദ്രാവകമെന്നത് കൂടുതൽ സാന്ദ്രീകൃതമായ വാതകമാണെന്ന് പറയാം. ക്രാന്തികതാപനിലയ്ക്കുതാഴെ ദ്രാവകവാതക അവസ്ഥകൾ തമ്മിൽ വേർതിരിച്ച് അറിയാൻ കഴിയും; എന്നാൽ ക്രാന്തികതാപനിലയിൽ അവയെ വേർതിരിക്കുന്ന പ്രതലം അപ്രത്യക്ഷമാകുന്നതിനാൽ അവയെ വേർതിരിച്ചറിയാൻ കഴിയില്ല.

ക്രാന്തികതാപനിലയ്ക്ക് താഴെ ഒരു വാതകത്തെ മർദം ചെലുത്തി ദ്രാവകമാക്കാൻ കഴിയുമെന്ന് നമുക്കറിയാം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ വാതകത്തെ ആ പദാർഥത്തിന്റെ 'ബാഷ്പം' എന്നുവിളിക്കാം. ചില പദാർഥങ്ങളുടെ ക്രാന്തികസ്ഥിരാങ്കങ്ങൾ ചുവടെ ചേർക്കുന്നു.

പട്ടിക 5.4: ചില പദാർഥങ്ങളുടെ ക്രാന്തികസ്ഥിരാങ്കങ്ങൾ

പദാർഥം	T_c /K	p_c /bar	V_c/$dm^3 mol^{-1}$
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

ചോദ്യം 5.5

NH_3, CO_2 എന്നിവയുടെ ക്രാന്തിക താപനിലകൾ യഥാക്രമം 405.5K, 304.10K എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഇവയെ 500K താപനിലയിൽ നിന്ന് തണുപ്പിച്ചുകൊണ്ടുവന്നാൽ ആദ്യം ദ്രവീകൃതമാകുന്നത് ഏത് പദാർഥമായിരിക്കും?

ഉത്തരം:

NH_3 യ്ക്ക് ആദ്യം ദ്രവീകരണം സംഭവിക്കും. (കാരണം : ഉയർന്ന താപനിലയിൽ നിന്ന് താഴേക്ക് വരുമ്പോൾ ആദ്യം എത്തുന്നത് NH_3 യുടെ ക്രാന്തിക താപനിലയാണ്.)

5.11 ദ്രാവകാവസ്ഥ (Liquid State)

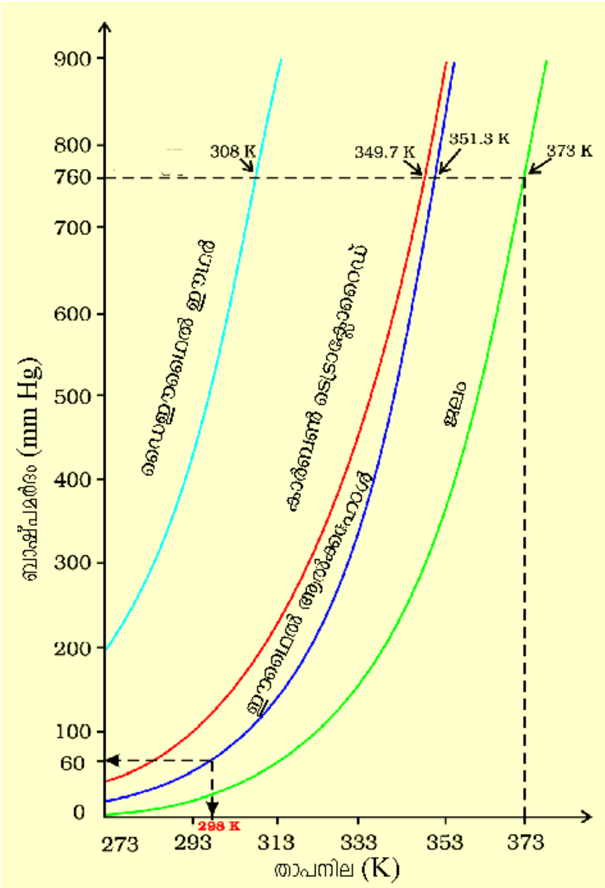
വാതകങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് അന്തർതന്മാത്രികാബലങ്ങൾ ദ്രാവകങ്ങളിൽ കൂടുതൽ ശക്തമാണ്. ദ്രാവകാവസ്ഥയിൽ തന്മാത്രകൾ അടുത്ത് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതിനാൽ തന്മാത്രകൾക്കിടയിലുള്ള ശൂന്യസ്ഥലത്തിന്റെ അളവ് തീരെ കുറവായിരിക്കും. അതിനാൽ സാധാരണ സാഹചര്യങ്ങളിൽ ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് വാതകങ്ങളെക്കാൾ സാന്ദ്രത കൂടുതലായിരിക്കും.

ദ്രാവകാവസ്ഥയിൽ അന്തർതന്മാത്രാ ആകർഷണബലം തന്മാത്രകളെ അടുപ്പിച്ച് നിർത്തിയിരിക്കുന്നതിനാൽ, തന്മാത്രകൾക്ക് നിശ്ചിതവ്യാപ്തമുണ്ട്. എന്നിരുന്നാലും, തന്മാത്രകൾക്ക് സ്വതന്ത്രമായി സഞ്ചരിക്കാൻ കഴിയുന്നതിനാലാണ് ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് ഒഴുകിമാറുന്നതിനും, ഒന്നിൽനിന്ന് മറ്റൊന്നിലേക്ക് ഒഴുകുന്നതിനും കഴിയുന്നത്. കൂടാതെ, ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ആകൃതി സ്വീകരിക്കാനും കഴിയുന്നു. തുടർന്നുവരുന്ന ഭാഗങ്ങളിൽ ദ്രാവകങ്ങളുടെ ചില ഭൗതികസ്വഭാവങ്ങളായ ബാഷ്പമർദം (Vapour pressure), പ്രതലബലം (Surface tension), ശ്യാനത (Viscosity) എന്നിവയെക്കുറിച്ച് നമുക്ക് മനസിലാക്കാം.

5.11.1 ബാഷ്പമർദം (Vapour Pressure)

വായു പൂർണമായും നീക്കം ചെയ്ത ഒരു അടപ്പുള്ള പാത്രത്തിൽ കുറച്ച് ദ്രാവകം എടുത്താൽ, ദ്രാവകത്തിന്റെ ഒരു ഭാഗം ബാഷ്പീകരിച്ച്, ബാഷ്പം പാത്രത്തിന്റെ ഒഴിഞ്ഞ സ്ഥലങ്ങളിൽ പൂർണമായും നിറയുന്നതായി മനസിലാക്കാം. ഇങ്ങനെ ബാഷ്പീകരിച്ചുണ്ടാകുന്ന ദ്രാവകബാഷ്പം, അത് സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന പാത്രത്തിന്റെ വശങ്ങളിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന മർദത്തിന്റെ അളവ് കൂടിവരികയും ചെയ്യുന്നു. കുറച്ചുകഴിയുമ്പോൾ ദ്രാവകാവസ്ഥയും ബാഷ്പാവസ്ഥയും തമ്മിൽ ഒരു സംതുലനം സംജാതമാകുകയും, മർദം സ്ഥിരമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇപ്പോൾ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബാഷ്പമർദം സംതുലനബാഷ്പമർദം (equilibrium vapour pressure) അഥവാ പൂരിതബാഷ്പമർദം (saturated vapour pressure) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ബാഷ്പീകരണപ്രക്രിയ താപനിലയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ, ബാഷ്പീകരണമർദം പ്രതിപാദിക്കുമ്പോൾ താപനിലയും വ്യക്തമാക്കേണ്ടതുണ്ട്.

ഒരു തുറന്ന പാത്രത്തിലിരിക്കുന്ന ദ്രാവകത്തെ ചൂടാക്കിയാൽ, ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രതലത്തിൽനിന്ന് ബാഷ്പീകരണം സംഭവിക്കുന്നു. അന്തരീക്ഷമർദം, ബാഷ്പമർദവുമായി തുലനം ചെയ്യുന്ന താപനിലയിൽ ദ്രാവകത്തിന്റെ എല്ലാഭാഗങ്ങളിൽനിന്നും ബാഷ്പീകരണം സംഭവിക്കുകയും ബാഷ്പം ചുറ്റുപാടുകളിലേക്ക് സ്വതന്ത്രമായി വ്യാപിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെ ദ്രാവകങ്ങളുടെ എല്ലാഭാഗത്തുനിന്നും സംഭവിക്കുന്ന സ്വതന്ത്രമായ ബാഷ്പീകരണത്തെ **തിളയ്ക്കൽ (boiling)** എന്നുപറയുന്നു. ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ ബാഷ്പമർദം ബാഹ്യമർദത്തിന് തുല്യമാകുന്ന താപനിലയെ ദ്രാവകത്തിന്റെ **തിളനില (boiling** temperature) എന്നുപറയുന്നു. ചില സാധാരണ ദ്രാവകങ്ങളുടെ വ്യത്യസ്ത താപനിലയിലുള്ള ബാഷ്പമർദം താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. (ചിത്രം 5.14)



ചിത്രം 5.14: ചില സാധാരണ ദ്രാവകങ്ങളുടെ ബാഷ്പ മർദ-താപനിലയുടെ രേഖാചിത്രം

1 atm മർദത്തിലുള്ള ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ തിളനിലയെ സാധാരണ തിളനിലയെന്നും, (normal boiling point) 1 bar മർദത്തിലുള്ള തിളനിലയെ **പ്രമാണ തിളനില** (standard boiling point)എന്നുംപറയുന്നു. 1 bar മർദം എന്നത് 1am മർദത്തെക്കാൾ അല്പം കുറവായതിനാൽ ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രമാണതിളനില സാധാരണ തിളനിലയേക്കാൾ അല്പം കുറവായിരിക്കും. ജലത്തിന്റെ സാധാരണ താപനില 100^0C (373K) ഉം, പ്രമാണ താപനില 99.6^0C (372.6K) ഉം ആകുന്നു.

ഉയർന്ന പ്രദേശങ്ങളിലെ അന്തരീക്ഷമർദം, കടൽനിരപ്പിലെ അന്തരീക്ഷമർദത്തേക്കാൾ കുറവായതിനാൽ പർവതപ്രദേശങ്ങളിൽ ദ്രാവകങ്ങളുടെ തിളനില കുറവായിരിക്കും. ഇതിനാൽ പർവതപ്രദേശങ്ങളിൽ ആഹാരം പാകം ചെയ്യുന്നതിന് പ്രഷർകുക്കർ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ആശുപത്രികളിൽ സർജിക്കൽ ഉപകരണങ്ങളെ അണുവിമുക്തമാക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ആട്ടോക്ലേവുകളിൽ, ജലത്തിന്റെ തിളനില ഉയർത്തുന്നതിനായി, അതിന്റെ മൂടികൾക്ക് ഉയർന്നഭാരം നൽകി അന്തരീക്ഷമർദത്തേക്കാൾ ഉയർന്ന മർദം സൃഷ്ടിക്കുന്നുണ്ട്.

ദ്രാവകങ്ങൾ അടച്ചുറപ്പുള്ള പാത്രങ്ങളിലെടുത്ത് ചൂടാക്കിയാൽ, അവ തിളയ്ക്കുന്നില്ല. തുടർച്ചയായി ചൂടാക്കിയാൽ ബാഷ്പമർദം ക്രമേണ വർധിക്കുന്നു. തുടക്കത്തിൽ ബാഷ്പാവസ്ഥയും ദ്രാവകാവസ്ഥയും തമ്മിലുള്ള വേർതിരിവ് വ്യക്തമായി കാണാൻ കഴിയും. കാരണം, ദ്രാവകത്തിന് ബാഷ്പത്തേക്കാൾ സാന്ദ്രത കൂടുതലാണ്. എന്നാൽ ചൂടാക്കൽ പ്രക്രിയ തുടർന്നുകൊണ്ടിരുന്നാൽ ബാഷ്പത്തിന്റെ സാന്ദ്രത വർധിക്കുകയും, ദ്രാവകത്തിന്റെ സാന്ദ്രത കുറയുകയും, ഒടുവിൽ രണ്ടും തുല്യമാവുകയും ചെയ്യും. ഇക്കാരണത്താൽ ദ്രാവകവും ബാഷ്പവുമായുള്ള വ്യക്തമായ വേർതിരിവ് ഇല്ലാതാവും. ഈ പ്രത്യേക അവസ്ഥ സംജാതമാക്കുന്ന താപനിലയെ ക്രാന്തിക താപനിലയെന്ന് പറയുന്നു. ഇതിനേക്കുറിച്ച് ഈ അധ്യായത്തിൽതന്നെ ഭാഗം 5.10 ൽ നാം ചർച്ച ചെയ്തിട്ടുണ്ട്.

5.11.2 പ്രതലബലം (Surface Tension)

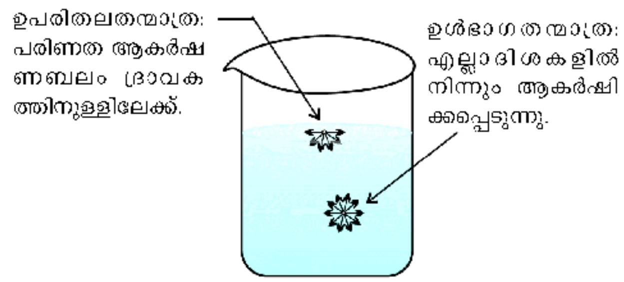
ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് അവയെ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിന്റെ രൂപമാണ് ഉള്ളതെന്ന് നമുക്കറിയാം. എന്നാൽ എന്തുകൊണ്ടായിരിക്കും മെർക്കുറിയുടെ ചെറുതുള്ളികൾ ഉപരിതലത്തിൽ പടരുന്നതിനുപകരം ഗോളാകൃതിയുള്ള മുത്തുകളായി സ്ഥിതിചെയ്യുന്നത്? എന്തുകൊണ്ടാണ് പുഴയുടെ അടിത്തട്ടിൽ വേർപെട്ടിരിക്കുന്ന മണൽത്തരികൾ പുറത്തെടുക്കുമ്പോൾ ഒട്ടിച്ചേർന്നിരിക്കുന്നത്? ഒരു കേശിക നാളി (capillar tube) ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രതലത്തിൽ താഴ്ത്തിയാൽ അതിന്റെ ചെറു സുഷിരത്തിൽക്കൂടി ദ്രാവകം ഉയരുകയോ അഥവാ താഴുകയോ ചെയ്യുന്നത് എന്തുകൊണ്ടായിരിക്കും? ഈ പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കെല്ലാം കാരണം ദ്രാവകങ്ങളുടെ സവിശേഷഗുണമായ പ്രതലബലമാണ്.

ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉൾഭാഗത്തുള്ള ഒരു തന്മാത്രയ്ക്ക് എല്ലാ വശങ്ങളിൽ നിന്നും അനുഭവപ്പെടുന്ന അന്തർതന്മാത്രാബലം തുല്യമായിരിക്കും. ആയതിനാൽ തന്മാത്രയിൽ പരിണതബലം അനുഭവപ്പെടുന്നില്ല. എന്നാൽ ദ്രാവക ഉപരിതലത്തിലെ തന്മാത്രയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന പരിണത ആകർഷണബലം ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉൾവശത്തേയ്ക്കായിരിക്കും. (ചിത്രം 5.15) ഇതിനുകാരണം ഉപരിതല തന്മാത്രകൾക്കടിയിൽ തന്മാത്രകൾ ഉണ്ടായിരിക്കുന്നതും മുകളിൽ തന്മാത്രകൾ ഇല്ലാതിരിക്കുന്നതുമാണ്.

ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് അവയുടെ ഉപരിതലവിസ്തീർണം കുറയ്ക്കാനുള്ള പ്രവണതയുണ്ട്. ഉപരിതലത്തിലെ തന്മാത്രകളിൽ ചെലുത്തപ്പെടുന്ന പരിണതബലം കീഴ്ഭാഗത്തേയ്ക്കാണ്. മാത്രവുമല്ല, അവയ്ക്ക് പരിണത

ബലം ഒട്ടും തന്നെ ചെലുത്തപ്പെടാത്ത ഉൾഭാഗത്തെ തന്മാത്രകളെക്കാൾ ഊർജവും കൂടുതലാണ്. ആയതിനാൽ ദ്രാവകങ്ങൾ അവയുടെ ഉപരിതലത്തിൽ തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം കുറയ്ക്കാൻ ശ്രമിക്കുന്നു.

ഉൾഭാഗത്ത് നിന്ന് ഒരു തന്മാത്രയെ വലിച്ച് ദ്രാവക ഉപരിതലം വികസിപ്പിക്കുന്നതിന് ആകർഷണബലത്തെ അതിജീവിക്കേണ്ടതായിവരുന്നു. ഇതിനായി ഊർജം ചെലവഴിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ദ്രാവകഉപരിതല വിസ്തീർണം ഒരു യൂണിറ്റ് വർധിപ്പിക്കുന്നതിനാവശ്യമായി വരുന്ന ഊർജത്തെയാണ് ഉപരിതലഊർജം (surface energy) എന്നുവിളിക്കുന്നത്.



ചിത്രം 5.15 : ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിലുള്ള ഒരു തന്മാത്രയിലും ഉൾഭാഗത്തുള്ള ഒരു തന്മാത്രയിലും അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലങ്ങൾ.

ഇതിന്റെ ഏകകം ആണ് $J\ m^{-2}$. ദ്രാവക ഉപരിതലത്തിൽ വരയ്ക്കപ്പെടുന്ന സാങ്കൽപികരേഖയിൽ യൂണിറ്റ് നീളത്തിൽ ലംബമായി അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമാണ് പ്രതലബലം. ഇതിനെ ഗ്രീക്ക് അക്ഷരമായ γ (ഗാമ) കൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇതിന്റെ അളവ് $Kg\ S^{-2}$ ഉം SI ഏകകം Nm^{-1} ആണ്. ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ ഊർജനില കുറഞ്ഞിരിക്കുന്നത് അതിന്റെ ഉപരിതലവിസ്തീർണം കുറവായിരിക്കുമ്പോഴാണ്. ഉപരിതലവിസ്തീർണം ഏറ്റവും കുറവുള്ളത് ഗോളാകൃതിയ്ക്കാണ്. ഇതുകൊണ്ടാണ് മെർക്കുറിത്തുള്ളികൾക്ക് ഗോളാകൃതിയുള്ളത്. ഈ കാരണം തന്നെയാണ് കൂർത്ത ഗ്ലാസ് വക്കുകൾ ചൂടാക്കി മിനുസമുള്ളതാക്കി മാറ്റുന്നതിന് പിന്നിലുള്ളതും. ചൂടാക്കുമ്പോൾ ഗ്ലാസ് ഉരുകുകയും, വക്കുകളിൽ ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉപരിതലം ഉരുണ്ട ആകൃതിയിൽ മിനുസമുള്ളതായി മാറുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതിനെയാണ് ഗ്ലാസിന്റെ ഫയർപോളീഷിംഗ് എന്നുവിളിക്കുന്നത്.

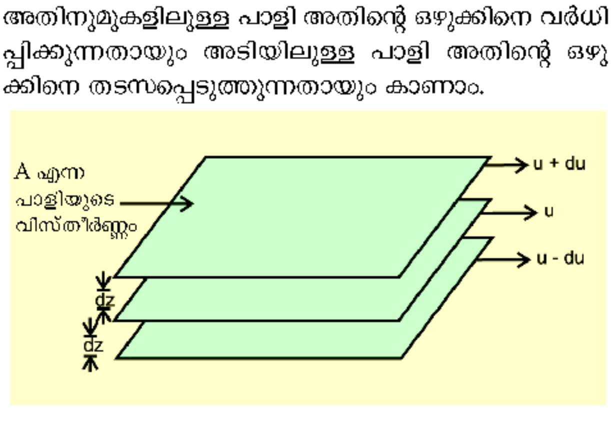
ദ്രാവകങ്ങളുടെ കേശികത്വത്തിന് (capillarity) കാരണം പ്രതലബലമാണ്. ദ്രാവകങ്ങൾ വസ്തുക്കളെ നനയ്ക്കുന്നതിന് കാരണം അവ നേർത്ത ഫിലിമുകളുടെ (സ്തരങ്ങളുടെ) രൂപത്തിൽ വസ്തുക്കളുടെ ഉപരിതലത്തിൽ പടരുന്നതാണ്. നനഞ്ഞ മണൽത്തരികൾ ഒട്ടിച്ചേർന്നിരിക്കാൻ കാരണം അവയ്ക്കിടയിലെ നേർത്ത ജലസ്തരങ്ങളുടെ ഉപരിതലവിസ്തീർണം കുറയുന്നതാണ്. ദ്രാവകഉപരിതലത്തിന് വലിവുഗുണം നൽകുന്നതും പ്രതലബലമാണ്. നിരന്ന പ്രതലത്തിൽ, ഗുരുത്വാകർഷണം മൂലം തുള്ളികൾ ചെറുതായി പടർന്നിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഭൂഗുരുത്വത്തിന്റെ അഭാവത്തിൽ തുള്ളികൾ കൃത്യമായും ഗോളാകൃതിയിലായിരിക്കും.

ഒരു ദ്രാവകത്തിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന പ്രതലബലത്തിന്റെ തോത് അതിലെ തന്മാത്രകൾക്കിടയിലുള്ള ആകർഷണബലത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ആകർഷണബലം കൂടുതലാണെങ്കിൽ പ്രതലബലവും കൂടുതലായിരിക്കും. താപനില വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് തന്മാത്രകളുടെ ഗതികോർജം കൂടുകയും അവയ്ക്കിടയിലുള്ള ആകർഷണബലം കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. ആയതിനാൽ താപനില വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് പ്രതലബലം കുറയുന്നു.

5.11.3 ശ്യാനത (Viscosity)

ദ്രാവകങ്ങളുടെ സവിശേഷഗുണങ്ങളിൽ ഒന്നാണ് ശ്യാനത. ദ്രാവകപാളികളിൽ ഒന്ന് മറ്റൊന്നിന് മുകളിലൂടെ നിരങ്ങിനീങ്ങുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന ആന്തരിക ഘർഷണം കാരണം ദ്രാവകത്തിന്റെ ഒഴുക്കിലുണ്ടാകുന്ന പ്രതിരോധത്തിന്റെ അളവാണ് ശ്യാനബലം. കൂടിയ തന്മാത്രാന്തര ആകർഷണബലം തന്മാത്രകളെ ഒരുമിച്ച് നിർത്തുകയും ദ്രാവകപാളികളുടെ ചലനത്തെ തടയുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഉറപ്പുള്ള ഒരു ഉപരിതലത്തിലൂടെ ദ്രാവകമൊഴുകുമ്പോൾ, ഉപരിതലത്തിനോട് ചേർന്നിരിക്കുന്ന തന്മാത്രാപാളി നിശ്ചലമായിരിക്കും. നിശ്ചലമായിരിക്കുന്ന പാളികളിൽ നിന്നുള്ള അകലം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് മുകളിലുള്ള പാളികളുടെ പ്രവേഗവും കൂടുന്നു. ഒരു പാളിയിൽനിന്ന് മറ്റൊരു പാളിയിലേക്ക് പോകുമ്പോൾ അവയുടെ പ്രവേഗത്തിൽ ക്രമമായ വ്യതിയാനമുണ്ടാകുന്നു. ഇത്തരത്തിലുള്ള ഒഴുക്കിനെയാണ് 'ലാമിനാർ ഫ്ളോ' എന്നു പറയുന്നത്. ഒഴുകുന്ന ദ്രാവകത്തിലെ ഏതെങ്കിലും ഒരു പാളിയെ പരിഗണിച്ചാൽ (ചിത്രം 5.16) അതിനുമുകളിലുള്ള പാളി അതിന്റെ ഒഴുക്കിനെ വർധിപ്പിക്കുന്നതായും അടിയിലുള്ള പാളി അതിന്റെ ഒഴുക്കിനെ തടസപ്പെടുത്തുന്നതായും കാണാം.



ചിത്രം 5.16: ലാമിനാർ ഫ്ളോയിൽ പ്രവേഗത്തിലുണ്ടാകുന്ന ക്രമമായ മാറ്റം

'dz' അകലത്തിലുള്ള പാളിയുടെ പ്രവേഗ വ്യത്യാസം 'du' ആണെങ്കിൽ പ്രവേഗവ്യതിയാനമാനം (velocity gradient) $\frac{du}{dz}$. ദ്രാവകപാളികളുടെ ഒഴുക്കിനെ നിലനിർത്താൻ ഒരു ബലം ആവശ്യമാണ്. ഈ ബലം സമ്പർക്കവിസ്തീർണത്തിനും പ്രവേഗ വ്യതിയാനമാനത്തിനും നേർ അനുപാതത്തിലായിരിക്കും.

ആതായത്, $F \propto A$ (A സമ്പർക്കവിസ്തീർണം)

$F \propto \frac{du}{dz}$ (ഇവിടെ, $\frac{du}{dz}$ പ്രവേഗവ്യതിയാനമാനം : ദൂരത്തിനനുസരിച്ച് പ്രവേഗത്തിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം)

$$F \propto A.\frac{du}{dz}$$

$$\Rightarrow F = \eta A\frac{du}{dz}$$

അനുപാതസ്ഥിരാങ്കമായ 'η' ശ്യാനതഗുണാങ്കം '(Coefficient of viscosity) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. പ്രവേഗവ്യതിയാനമാനവും സമ്പർക്കവിസ്തീർണവും ഒരു യൂണിറ്റ് വീതമാകുമ്പോൾ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമാണ് ശ്യാനതാഗുണാങ്കം. ആയതിനാൽ 'η' ശ്യാനതയുടെ അളവാണ്. ശ്യാനതാഗുണാങ്കത്തിന്റെ SI ഏകകമാണ് ന്യൂട്ടൺ സെക്കന്റ് മീറ്റർ സ്ക്വയർ (Nsm^{-2}) = പാസ്ക്കൽ സെക്കന്റ് ($1Pa\ s = 1kg\ m^{-1}s^{-1}$). cgs വ്യവസ്ഥയിൽ ശ്യാനതാഗുണാങ്കത്തിന്റെ ഏകകമാണ് പോയ്സ് (മഹാനായ ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ജീൻലൂയി പോയ്സെല്ലിയുടെ പേരിലറിയപ്പെടുന്നു.)

1 പോയ്സ് (Poise) = $1\ g\ cm^{-1}s^{-1} = 10^{-1}kg\ m^{-1}s^{-1}$

ശ്യാനതാബലം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ദ്രാവകത്തിന്റെ ഒഴുക്ക് കുറയുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ബന്ധനവും വാൻഡെർ വാൾസ് ബലങ്ങളും ഉയർന്ന ശ്യാനത സൃഷ്ടിക്കുന്നതിന് അനുയോജ്യമായ ശക്തിയുള്ളവയാണ്. ഗ്ലാസ് ഉയർന്ന ശ്യാനതയുള്ള ഒരു ദ്രാവകമാണ്. ഇതുകാരണമാണ് ഇതിന്റെ പല ഗുണങ്ങളും ഖരത്തിനോട് സാദൃശ്യമുള്ളതാകുന്നത്. ഗ്ലാസുകളുടെ ഒഴുകുവാനുള്ള കഴിവ് പഴയകെട്ടിടങ്ങളുടെ ജനൽ പാളികളുടെ കനത്തിൽ നിന്ന് മനസിലാക്കാൻ കഴിയും. ഇവയുടെ കനം മുകളിൽ കുറവും താഴെ അൽപ്പം കൂടുതലുമായിരിക്കും.

താപനില കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് ശ്യാനത കുറയുന്നു. ഇതിനുകാരണം, ഉയർന്ന താപനിലയിൽ തന്മാത്രകൾക്ക് ഉയർന്ന ഗതികോർജമുണ്ടായിരിക്കുകയും അത് പാളികൾക്കിടയിലുള്ള അന്തർതന്മാത്രാബലത്തെ അതിജീവിക്കാൻ സഹായിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതാണ്.

സംഗ്രഹം

അന്തർതന്മാത്രാബലങ്ങൾ സാധ്യമാകുന്നത് ദ്രവ്യത്തിലെ കണങ്ങൾ തമ്മിലാണ്. 'ഈ ബലങ്ങൾ രണ്ട് വ്യത്യസ്ത ചാർജുകളുള്ള അയോണുകൾ തമ്മിലുള്ള സ്ഥിതവൈദ്യുതബലത്തിൽ നിന്ന് വിഭിന്നമാണ്. കൂടാതെ ഈ ആകർഷണബലം ഒരു സഹസംയോജക തന്മാത്രയിലെ ആറ്റങ്ങളെ യോജിപ്പിച്ചുനിർത്തുന്ന ബലത്തിലും ഉൾപ്പെടുന്നില്ല. താപോർജത്തിലും അന്തർതന്മാത്രാബലത്തിലുമുള്ള ഏറ്റക്കുറച്ചിലുകളാണ് ദ്രവ്യത്തിന്റെ അവസ്ഥ തീരുമാനിക്കുന്നത്. വാതകങ്ങളുടെ പ്രവർത്തനരീതി, ഖരാവസ്ഥയുടെയും ദ്രാവകാവസ്ഥയുടെയും ലക്ഷണങ്ങൾ, ദ്രവ്യത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന കണികയുടെ ഊർജവും, അവ തമ്മിലുള്ള പാരസ്പര്യത്തിന്റെയും ഫലമായിട്ടുള്ള അവസ്ഥാന്തരം എന്നിവയാണ്. ദ്രവ്യത്തിന്റെ സ്ഥൂലസ്വഭാവങ്ങൾ. അവസ്ഥയിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം രാസഗുണങ്ങളെ വ്യത്യാസപ്പെടുത്തുന്നില്ല. എങ്കിലും, പ്രവർത്തനക്ഷമത ഭൗതികാവസ്ഥയെ ആശ്രയിച്ചായിരിക്കും.

ഒരു വാതകത്തിലെ തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള പാരസ്പര്യബലം തുലോം കുറവാണ്. കൂടാതെ, രാസസ്വഭാവത്തിന് ഇതിൽ യാതൊരു സ്വാധീനവും ഉണ്ടായിരിക്കില്ല. പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ മനസിലാക്കിയ മർദം, താപനില, വ്യാപ്തം, മാസ് എന്നീ തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുന്ന ഗുണങ്ങളുടെ പരസ്പരാശ്രയത്വം വ്യത്യസ്ത വാതകനിയമങ്ങൾ സൃഷ്ടിച്ചു. ബോയിൽ നിയമപ്രകാരം സമതാപീയാവസ്ഥയിൽ ഒരു നിശ്ചിതമാസ് വാതകത്തിന്റെ മർദം, വ്യാപ്തത്തിന് വിപരീതാനുപാതത്തിലായിരിക്കും. ചാൾസ് നിയമം സമമർദാവസ്ഥയിൽ കേവലതാപനിലയും വ്യാപ്തവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഈ നിയമപ്രകാരം നിശ്ചിതമാസ് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം അതിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന കേവലതാപനിലയ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിൽ ആയിരിക്കും. $(V \propto T)$ ഒരു വാതകത്തിന്റെ പ്രാരംഭ അവസ്ഥ p_1, V_1, T_1 എന്നും പുതിയ അവസ്ഥ p_2, V_2, T_2 എന്നും പ്രതിനിധീകരിച്ചാൽ, ഈ അവസ്ഥകൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം സംയോജിതവാതകനിയമ (combined gas law) പ്രകാരം $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$ എന്നായിരിക്കും. ഇതിൽ ഏതെങ്കിലും അഞ്ച് അവസ്ഥകളുടെ മൂല്യം അറിയാമെങ്കിൽ ആറാമത്തേതിന്റെ മൂല്യം കണ്ടുപിടിക്കാം. അവഗാഡ്രോനിയമപ്രകാരം ഒരേ താപനിലയിലും മർദത്തിലും സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന തുല്യവ്യാപ്തം വാതകങ്ങളിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം തുല്യമായിരിക്കും. ഡാൾട്ടന്റെ ഭാഗിക മർദനിയമ **(Dalton's law of partial pressure)** പ്രകാരം പ്രവർത്തനങ്ങളിൽ ഏർപ്പെടാത്ത വാതകങ്ങളുടെ ഒരു മിശ്രിതത്തിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ മർദം ഘടകവാതകങ്ങളുടെ ഭാഗികമർദങ്ങളുടെ (partial pressure) ആകെ തുകയായിരിക്കും. അതായത്, ആകെ മർദം $p = p_1+p_2+p_3+ \ldots$ വാതകങ്ങളുടെ മർദം, വ്യാപ്തം, താപനില, മോളുകളുടെ എണ്ണം എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം, വാതകത്തിന്റെ അവസ്ഥയെ വിശദമാക്കുന്നു. അതിനാൽ, അതിനെ വാതകാവസ്ഥയുടെ സമവാക്യം എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ആദർശവാതകസമവാക്യമാണ് $pV=n\mathrm{R}T$, ഇവിടെ R എന്നത് ഒരു സ്ഥിരാങ്കമാണ്, ഇതിന്റെ മൂല്യം, മർദം, വ്യാപ്തം, ഊഷ്മാവ് എന്നിവയുടെ യൂണിറ്റിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും.

ഉയർന്ന മർദത്തിലും താഴ്ന്ന താപനിലയിലും വാതകതന്മാത്രകൾ തമ്മിൽ ഉയർന്ന അന്തർതന്മാത്രാബലം സാധ്യമാവുകയും, തന്മാത്രകൾ പരസ്പരം അടുത്തുവരുകയും ചെയ്യുന്നു. അനുയോജ്യമായ താപനിലയിലും മർദത്തിലും വാതകങ്ങളെ ദ്രവീകരിക്കാൻ കഴിയും. കുറഞ്ഞ വ്യാപ്തവും വളരെ ഉയർന്ന അന്തർതന്മാത്രാആകർഷണബലമുള്ളതുമായ വാതകത്തിന്റെ തുടർ അവസ്ഥയായാണ് ദ്രാവകാവസ്ഥയെ പരിഗണിക്കുന്നത്. പ്രതലബലം, ശ്യാനത (Viscosity) എന്നീ ദ്രാവകഗുണങ്ങൾക്കുകാരണം ഉയർന്ന അന്തർതന്മാത്രാ ആകർഷണബലമാണ്.

പരിശീലനചോദ്യങ്ങൾ

5.1 500 dm^3 വ്യാപ്തവും, 1 bar മർദത്തിലുള്ള വായുവിനെ 30°C ൽ 200 dm^3 വ്യാപ്തത്തിലേക്ക് ചുരുക്കുന്നതിന് ആവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ മർദം എത്രയാണ്?

5.2 നിശ്ചിത അളവ് വാതകം 35°C യും 1.2 bar മർദത്തിലും 120 mL വലിപ്പമുള്ള ഒരു പാത്രത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. വാതകത്തെ 35°C ൽ 180 mL വലിപ്പമുള്ള മറ്റൊരു പാത്രത്തിലേക്ക് മാറ്റുകയാണെങ്കിൽ, അതിന്റെ മർദം എന്തായിരിക്കും?

5.3 അവസ്ഥാസമവാക്യം, $pV=nRT$ ഉപയോഗിച്ച്, ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിൽ ഒരു വാതകത്തിന്റെ സാന്ദ്രത മർദത്തിന് നേർ അനുപാതത്തിലാണെന്ന് കാണിക്കുക?

5.4 0°C, ലും 2 bar മർദത്തിലും ഒരു വാതകത്തിന്റെ ഓക്സൈഡിന്റെ സാന്ദ്രത, 5 bar മർദത്തിലുള്ള ഡൈനൈട്രജന്റേതിന് തുല്യമാണ്. ആ ഓക്സൈഡിന്റെ തന്മാത്രാഭാരം എന്തായിരിക്കും?

5.5 ഒരു ഗ്രാം A എന്ന ആദർശവാതകത്തിന്റെ 27°C ലെ മർദം 2 bar എന്ന് കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്. 2 ഗ്രാം B എന്ന മറ്റൊരു ആദർശവാതകം അതേ ഫ്ളാസ്കിലേക്ക് അതേ താപനിലയിൽ കടത്തിയാൽ മർദം 3 bar ആകുന്നു. എങ്കിൽ അവയുടെ തന്മാത്രാഭാരങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം കണ്ടെത്തുക?

5.6 ഡ്രെയിൻ ക്ലീനറായ, ഡ്രെയിനക്സ് എന്ന പദാർഥത്തിൽ ചെറിയ അളവിൽ അലൂമിനിയം അടങ്ങിയിട്ടുണ്ട്; ഇത് കാസ്റ്റിക് സോഡയുമായി പ്രവർത്തിച്ച് ഡൈഹൈഡ്രജൻ ഉണ്ടാകുന്നു. 20°C ലും 1 bar ലും 0.15g അലൂമിനിയം പ്രവർത്തിച്ചാൽ പുറത്തേക്ക് വിടുന്ന ഡൈഹൈഡ്രജന്റെ വ്യാപ്തം എത്രയായിരിക്കും?

5.7 9 dm^3 വ്യാപ്തമുള്ള ഒരു ഫ്ളാസ്ക്കിൽ 27°C ൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന 3.2 ഗ്രാം മീഥെയ്ന്റെയും, 4.4 ഗ്രാം കാർബൺ മോണോക്സൈഡിന്റെയും ഒരു മിശ്രിതം ചെലുത്തുന്ന മർദം എത്രയായിരിക്കും?

5.8 27°C ഉള്ള ഒരു 1L പാത്രത്തിലേക്ക് 0.8 bar മർദത്തിലുള്ള 0.5 L ഡൈഹൈഡ്രജനും, 0.7 bar മർദത്തിലുള്ള 2.0L ഡൈഓക്സിജനും കടത്തിവിട്ടാൽ, ലഭിക്കുന്ന വാതകമിശ്രിതത്തിന്റെ മർദം എത്രയായിരിക്കും?

5.9 27°C ലും 2 bar മർദത്തിലും സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു വാതകത്തിന്റെ സാന്ദ്രത 5.46 g/dm^3 എന്ന് കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്. ഇതിന്റെ STP യിലുള്ള സാന്ദ്രത എത്രയായിരിക്കും?

5.10 546°C ലും 0.1 bar മർദത്തിലും 34.05 mL ഫോസ്ഫറസ് ബാഷ്പത്തിന്റെ തൂക്കം 0.0625gm ആണ്. ഫോസ്ഫറസിന്റെ മോളാർമാസ് എത്രയായിരിക്കും?

5.11 27°C ൽ അടിവശം ഉരുണ്ട ഫ്ളാസ്കിലേക്ക് പ്രവർത്തനമിശ്രിതം ചേർത്തുകൊടുക്കാൻ ഒരു വിദ്യാർഥി മറന്നുപോയി, എന്നിട്ട് ഫ്ളാസ്ക്കിനെ അവൻ/അവൾ തീജ്വാലയ്ക്ക് മുകളിലേക്ക് വെച്ചു. കുറച്ച് സമയം കഴിഞ്ഞ് ഈ തെറ്റ് മനസിലാക്കുകയും, ഒരു പൈറോമീറ്റർ ഉപയോഗിച്ച് ഫ്ളാസ്ക്കിന്റെ താപനില 477°C ആണെന്നു കണ്ടെത്തുകയുമുണ്ടായി. എത്രഭാഗം വായു പുറത്തേക്ക് നഷ്ടപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടാകും?

5.12 4.0 mol വാതകം 3.22 bar മർദത്തിൽ 5 dm^3 വ്യാപ്തം ഉൾക്കൊള്ളുന്നു എങ്കിൽ അതിന്റെ താപനില കണക്കാക്കുക? (R = 0.083 bar dm^3 K ^{1} mol ^{1}).

5.13 1.4 ഗ്രാം ഡൈനൈട്രജൻ വാതകത്തിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന ആകെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം എത്രയായിരിക്കും.

5.14 ഒരു സെക്കന്റിൽ 10^{10} ഗോതമ്പുമണി വീതം വിതരണം ചെയ്യുകയാണെങ്കിൽ, ഒരു അവഗാഡ്രോ സംഖ്യ ഗോതമ്പുമണികളെ വിതരണം ചെയ്യാൻ എത്രസമയം വേണ്ടിവരും?

5.15 27°C ൽ 1 dm^3 വ്യാപ്തമുള്ള ഒരു പാത്രത്തിൽ സൂക്ഷിച്ചിരിക്കുന്ന, 8 ഗ്രാം ഡൈഓക്സൈഡിന്റെയും 4 ഗ്രാം ഡൈഹൈഡ്രജന്റെയും മിശ്രിതത്തിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ മർദം കണക്കാക്കുക?

5.16 നീക്കം ചെയ്യപ്പെടുന്ന വായുവിന്റെ മാസും ബലൂണിന്റെ മാസ്സും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസത്തെ പേലോഡ് എന്ന് നിർവചിക്കാം. 10 മീറ്റർ ആരവും, 100 കിലോഗ്രാം മാസ്സും ഉള്ള ഒരു ബലൂണിൽ, 27°C ൽ 1.66 bar മർദത്തിൽ ഹീലിയം വാതകം നിറച്ചാൽ ഉണ്ടാകുന്ന പേലോഡ് കണക്കാക്കുക.

5.17 31.1°C ലും 1 bar മർദത്തിലും സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന 8.8 ഗ്രാം കാർബൺ ഡൈഓക്സൈഡിന്റെ വ്യാപ്തം കണക്കാക്കുക?

5.18 ഒരേ മർദത്തിൽ, 95°C ൽ 2.9 ഗ്രാം വാതകം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന അതേ വ്യാപ്തമാണ് 17°C ൽ 0.184 ഗ്രാം ഡൈഹൈഡ്രജനുള്ളത്. ആ വാതകത്തിന്റെ മോളാർ മാസ് എന്തായിരിക്കും?

5.19 ഡൈഹൈഡ്രജന്റെയും ഡൈഓക്സിജന്റെയും ഒരു മിശ്രിതം 1 bar മർദത്തിൽ ആണ്. ഡൈഹൈഡ്രജന്റെ പിണ്ഡശതമാനം 20 ആണെങ്കിൽ ഹൈഡ്രജന്റെ ഭാഗികമർദം കണക്കാക്കുക.

5.20 $\frac{pV^2T^2}{n}$ എന്നതിന്റെ SI യൂണിറ്റ് എന്തായിരിക്കും?

5.21 –273°C സാധ്യമായതിൽ ഏറ്റവും ചെറിയ താപനിലയാണ്. എന്തുകൊണ്ടെന്ന് ഉദാഹരണസഹിതം ചാൾസ് നിയമത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ വിശദമാക്കുക?

5.22 31.1°C, –81.9°C എന്നിവ യഥാക്രമം കാർബൺഡൈ ഓക്സൈഡ്, മീഥെയ്ൻ എന്നിവയുടെ ക്രാന്തികതാപനിലയാണ്. ഇതിൽ ഏതിനാണ് ശക്തമായ തന്മാത്രാന്തര ബലമുള്ളത്? എന്തുകൊണ്ട്?

5.23 വാൻഡെർ വാൾസ് പരാമീറ്ററുകളുടെ ഭൗതികപ്രാധാന്യം വിശദമാക്കുക?