അധ്യായം 11

ദ്രവ്യത്തിന്റെ താപീയ സ്വഭാവങ്ങൾ
(THERMAL PROPERTIES OF MATTER)

11.1 ആമുഖം
11.2 താപനിലയും താപവും
11.3 താപനില അളക്കൽ
11.4 ആദർശവാതക സമവാക്യവും അബ്സൊല്യൂട്ട് താപനിലയും
11.5 താപീയവികാസം
11.6 വിശിഷ്ടതാപധാരിത
11.7 താപമിതി
11.8 അവസ്ഥാമാറ്റം
11.9 താപപ്രേഷണം
11.10 ന്യൂട്ടന്റെ കൂളിംഗ് നിയമം
സംഗ്രഹം
വിചിന്തനവിഷയങ്ങൾ
പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

P5M5W2

11.1 ആമുഖം

താപത്തേയും താപനിലയേയും കുറിച്ച് നമുക്കെല്ലാവർക്കും സാമാന്യബോധമുണ്ട്. താപനില എന്നത് ഒരു വസ്തുവിന്റെ ചൂടിന്റെ തീവ്രതയുടെ അളവാണ്. തിളച്ചവെള്ളമുള്ള ഒരു കെറ്റിൽ ഐസ് ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പെട്ടിയേക്കാൾ ചൂടുള്ളതാണ്. ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ താപം, താപനില തുടങ്ങിയ സങ്കൽപ്പങ്ങളെ വളരെ ശ്രദ്ധാപൂർവം നിർവചിക്കേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകതയുണ്ട്. ഈ അധ്യായത്തിൽ താപം എന്താണെന്നും അതെങ്ങനെ അളക്കുന്നുവെന്നും പഠിക്കാം. കൂടാതെ ഒരു വസ്തുവിൽനിന്നും മറ്റൊന്നിലേക്ക് താപം ഒഴുകുന്ന വിവിധതരം പ്രക്രിയകളെക്കുറിച്ചും പഠിക്കാം. അതിനോടൊപ്പം തന്നെ ലോഹപ്പണിക്കാരൻ ഒരു കാളവണ്ടിച്ചക്രത്തിന്റെ പുറംവക്കിൽ ഇരുമ്പ് വളയം ഉറപ്പിക്കുന്നതിനുമുൻപ് ചൂടാക്കുന്നത് എന്തിനാണെന്നും രാത്രിയിൽ കരക്കാറ്റും പകൽ കടൽക്കാറ്റും ഉണ്ടാകുന്നത് എന്തുകൊണ്ടെന്നും മനസ്സിലാക്കാം. ജലം തിളയ്ക്കുകയോ തണുത്തുറയുകയോ ചെയ്യുമ്പോൾ ഒരു വലിയ അളവ് താപം സ്വീകരിക്കുകയോ പുറത്തേക്കു വിടുകയോ ചെയ്യുന്നുണ്ടെങ്കിലും താപനിലയിൽ വ്യത്യാസം വരാത്തത് എന്തുകൊണ്ടെന്നും പഠിക്കാം.

11.2 താപനിലയും താപവും (Temperature and Heat)

താപനില, താപം എന്നിവയുടെ നിർവചനത്തോടുകൂടി പദാർഥങ്ങളുടെ താപീയസ്വഭാവങ്ങളെക്കുറിച്ചുള്ള നമ്മുടെ പഠനം തുടങ്ങാം. താപനില എന്നത് ചൂട് അല്ലെങ്കിൽ തണുപ്പ് എന്നതിന്റെ ഒരു ആപേക്ഷിക അളവോ അല്ലെങ്കിൽ സൂചനയോ ആകുന്നു. ചൂടായിരിക്കുന്ന ഒരു പാത്രത്തിന് ഉയർന്ന താപനിലയാണെന്നും ഐസ്കട്ടയ്ക്ക് താഴ്ന്ന താപനിലയാണെന്നും പറയുന്നു. ഒരു വസ്തുവിന് മറ്റൊരു വസ്തുവിനേക്കാൾ ഉയർന്ന താപനില ഉണ്ടെങ്കിൽ അതിനെ ചൂടുള്ളതായി പറയുന്നു. വലുതും ചെറുതുംപോലെ, ചൂടും തണുപ്പും ആപേക്ഷികമാണെന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുക. സ്പർശനത്തിലൂടെ താപനിലയെ നമുക്ക് ഗ്രഹിക്കാൻ കഴിയുന്നു.

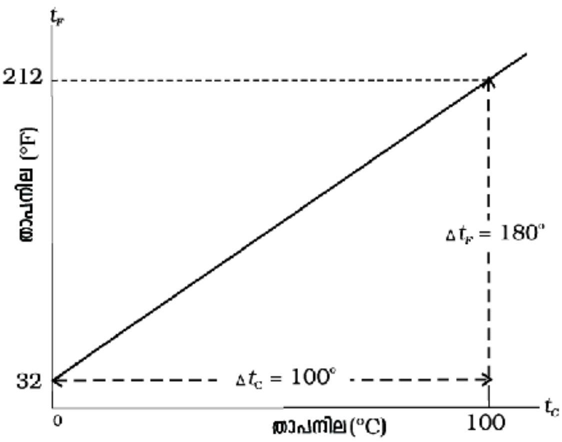
നല്ല ചൂടുള്ള ദിവസങ്ങളിൽ, മേശപ്പുറത്ത് വച്ചിരിക്കുന്ന, നന്നായി തണുത്ത ഒരു ഗ്ലാസ്സ് വെള്ളത്തിന്റെ തണുപ്പ് ക്രമേണ കുറയുന്നെന്നും ക്രമേണ ചൂടുള്ളതാകുമെന്നും അതേ മേശയിലുള്ള ഒരു കപ്പ് ചൂട് ചായ തണു

ക്കുന്നുവെന്നും അനുഭവത്തിൽ നിന്നും നമുക്കറിയാം. ഒരു വസ്തുവിന്റെ താപനിലയും (ഈ സാഹചര്യത്തിൽ തണുത്ത വെള്ളം അല്ലെങ്കിൽ ചൂടുചായ) അതിന്റെ ചുറ്റുപാടുള്ള മാധ്യമത്തിന്റെ താപനിലയും വ്യത്യസ്തമാണെങ്കിൽ വസ്തുവും ചുറ്റുപാടുള്ള മാധ്യമവും ഒരേ താപനിലയിൽ എത്തുന്നതുവരെ ഇവ തമ്മിൽ താപം കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. തണുത്ത വെള്ളം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഗ്ലാസ് ടംബ്ലറിന്റെ കാര്യത്തിൽ താപം ചുറ്റുപാടുകളിൽനിന്ന് ഗ്ലാസ് ടംബ്ലറിലേക്ക് ഒഴുകുകയും എന്നാൽ ചൂടുചായയുടെ കാര്യത്തിൽ താപം ചായ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന കപ്പിൽനിന്നും ചുറ്റുപാടുകളിലേക്ക് ഒഴുകുകയും ചെയ്യുന്നുവെന്ന് നമുക്ക് അറിയാം. അതുകൊണ്ട് രണ്ടു വസ്തുക്കൾ (അല്ലെങ്കിൽ അതിലധികമോ) തമ്മിലോ, ഒരു വസ്തുവും അതിന്റെ ചുറ്റുപാടുകളും തമ്മിലോ താപനില വ്യത്യാസത്തിന്റെ ഫലമായി കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ഊർജത്തിന്റെ രൂപമാണ് താപം എന്ന് നമുക്ക് പറയാൻ കഴിയും. താപോർജത്തിന്റെ SI യൂണിറ്റ് ജൂൾ (J) ആണ്. താപനിലയുടെ SI യൂണിറ്റ് കെൽവിനിലും (K) അതിന്റെ സാധാരണ യൂണിറ്റ് °C ലും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഒരു വസ്തുവിനെ ചൂടാക്കുമ്പോൾ പല മാറ്റങ്ങളും സംഭവിക്കും. അതിന്റെ താപനില ഉയരാം, അതിന് വികാസം സംഭവിക്കാം അല്ലെങ്കിൽ അതിന് അവസ്ഥാമാറ്റം ഉണ്ടാകാം. തുടർന്ന് വരുന്ന പാഠഭാഗങ്ങളിൽ നമുക്ക് വ്യത്യസ്ത വസ്തുക്കളിലെ താപത്തിന്റെ ഫലം പഠിക്കാം.

11.3 താപനില അളക്കൽ (Measurement of Temperature)

താപനില അളക്കുന്നതിനായി ഒരു തെർമോമീറ്റർ ഉപയോഗിക്കുന്നു. പദാർഥങ്ങളുടെ അനേകം ഭൗതികസ്വഭാവങ്ങൾ താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് മാറുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള ചില സ്വഭാവ സവിശേഷതകളാണ്. തെർമോമീറ്ററിന്റെ നിർമാണത്തിന് അടിസ്ഥാനമായി ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നത്. ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ വ്യാപ്തത്തിന് താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്നുവെന്നുള്ളതാണ്. സാധാരണ തെർമോമീറ്ററിൽ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന സ്വഭാവവിശേഷം. ഉദാഹരണത്തിന്, നിങ്ങൾക്കു പരിചിതമായ സാധാരണ തെർമോമീറ്ററുകളിൽ (ഗ്ലാസിനുള്ളിൽ ദ്രാവകം ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന തരം) മെർക്കുറിയോ ആൽക്കഹോളോ ആണ് ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നത്.

അളക്കേണ്ട താപനിലയ്ക്ക് ഒരു സംഖ്യാപരമായ വില ലഭിക്കത്തക്കവിധം തെർമോമീറ്ററുകൾ അങ്കനം ചെയ്തിരിക്കുന്നു. ഏത് അടിസ്ഥാനപരമായ സ്കെയിലിന്റെ നിർവചനത്തിനും രണ്ട് നിശ്ചിത അടിസ്ഥാന ബിന്ദുക്കൾ ആവശ്യമാണ്. താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് എല്ലാ വസ്തുക്കളുടേയും വലുപ്പം മാറുന്നതിനാൽ വികാസം ഉപയോഗിച്ച് താപനില അളക്കുന്നതിനനുയോജ്യമായ ഒരു ഉത്തമ സൂചകം (absolute reference) ലഭ്യമല്ല. എന്നിരുന്നാലും ആവശ്യമായ നിശ്ചിത ബിന്ദുക്കളെ അതേ താപനിലയിൽ എല്ലായ്പ്പോഴും സംഭവിക്കുന്ന ഒരു ഭൗതിക പ്രതിഭാസവുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയും. ജലത്തിന്റെ ഐസ് പോയിന്റും (ice point) സ്റ്റീം പോയിന്റും (steam point) രണ്ട് സൗകര്യപ്രദമായ സ്ഥിരബിന്ദുക്കളായി ഉറപ്പിക്കാം. ഇവ **ഫ്രീസിംഗ് പോയിന്റ്, ബോയിലിങ് പോയിന്റ്** എന്നിങ്ങനെ അറിയപ്പെടുന്നു. ശുദ്ധജലം അന്തരീക്ഷ മർദത്തിൽ (standard pressure) യഥാക്രമം ഘനീഭവിക്കുകയും തിളയ്ക്കുകയും ചെയ്യുന്ന താപനിലകളാണ് ഇവ. രണ്ട് പരിചിതങ്ങളായ സ്കെയിലുകൾ ഫാരൻഹീറ്റ് താപനില സ്കെയിലും സെൽഷിയസ് താപനില സ്കെയിലും ആകുന്നു. ഐസ് പോയിന്റ്, സ്റ്റീം പോയിന്റ് എന്നിവയ്ക്ക് ഫാരൻഹീറ്റ് സ്കെയിലിൽ യഥാക്രമം 32 F, 212 F എന്ന വിലകളും സെൽഷ്യസ് സ്കെയിലിൽ 0 °C, 100 °C എന്നീ വിലകളുമാണ് നൽകിയിരിക്കുന്നത്. ഫാരൻഹീറ്റ് സ്കെയിലിൽ രണ്ട് സൂചകബിന്ദുക്കൾക്ക് ഇടയിലായി 180 സമഭാഗങ്ങളും സെൽഷ്യസ് സ്കെയിലിൽ 100 സമഭാഗങ്ങളുമാണുള്ളത്.



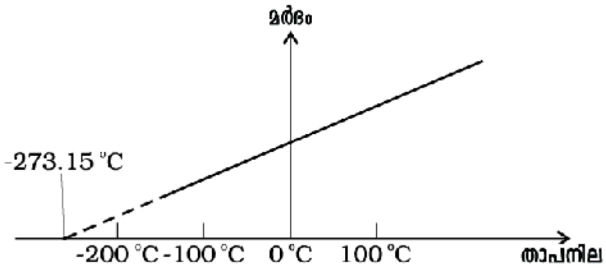
ചിത്രം 11.1 ഫാരൻഹീറ്റ് താപനിലയും (t_F) സെൽഷ്യസ് താപനിലയും (t_C) ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു ഗ്രാഫ്.

രണ്ട് സ്കെയിലുകളെയും പരസ്പരം മാറ്റുന്നതിനായി ഫാരൻഹീറ്റ് താപനിലയും (t_F) സെൽഷ്യസ് താപനിലയും (t_C) തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന നേർരേഖയിൽനിന്ന് (ചിത്രം 11.1) സമവാക്യം ലഭിക്കും.

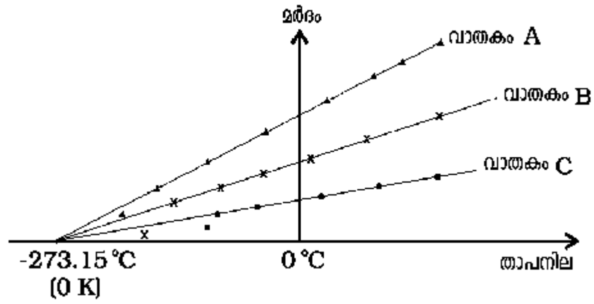
ഈ സമവാക്യം

$$\frac{t_F - 32}{180} = \frac{t_C}{100} \qquad (11.1)$$

എന്നാകുന്നു.



ചിത്രം 11.2 സ്ഥിരവ്യാപ്തത്തിൽ ഒരു താഴ്ന്ന സാന്ദ്രതയുള്ള വാതകത്തിന്റെ മർദവും താപനിലയും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്



ചിത്രം 11.3 താഴ്ന്ന സാന്ദ്രതയുള്ള വാതകങ്ങളുടെ മർദവും താപനിലയും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫിൽ ഒരേ കേവല പൂജ്യം താപനിലയെ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.

11.4 ആദർശ വാതകസമവാക്യവും കേവല താപനിലയും (Ideal gas Equation and Absolute Temperature)

ഗ്ലാസ്സ് കുഴലിൽ ദ്രാവകം നിറച്ച തെർമോമീറ്ററുകൾ ഒരേ താപനിലയ്ക്ക് വ്യത്യസ്ത റീഡിംഗുകൾ കാണിക്കുന്നതിനുകാരണം ദ്രാവകങ്ങളുടെ വികാസസ്വഭാവത്തിലുള്ള വ്യത്യാസമാണ്. എന്നാൽ വാതക തെർമോമീറ്ററുകൾ ഏത് വാതകമാണ് ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നതെന്നതിനെ ആശ്രയിക്കാതെ ഒരേ താപനിലയിൽ ഒരേ റീഡിംഗ് നൽകുന്നു. താഴ്ന്ന സാന്ദ്രതയിൽ എല്ലാ വാതകങ്ങളും ഒരേ വികാസ സവിശേഷതകൾ കാണിക്കുന്നുവെന്ന് പരീക്ഷണങ്ങൾ കാണിക്കുന്നു. ഒരു നിശ്ചിത അളവുള്ള (മാസ്) വാതകത്തിന്റെ സ്വഭാവം വിശദീകരിക്കുന്ന ചരങ്ങൾ മർദം, ഉള്ളളവ്, താപനില (P, V, T) എന്നിവ ആണ്. (ഇവിടെ $T = t + 273.15$; t എന്നത് °C ലെ താപനില ആകുന്നു). താപനില സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു നിശ്ചിത അളവ് വാതകത്തിന്റെ മർദവും ഉള്ളളവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം PV= സ്ഥിരസംഖ്യ എന്ന സമവാക്യം ഇംഗ്ലീഷ് രസതന്ത്രജ്ഞനായ റോബർട്ട് ബോയിലി (1627-1691) ന്റെ പേരിൽ ബോയിൽ നിയമം (Boyle's Law) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. മർദം സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ഒരു നിശ്ചിത അളവ് വാതകത്തിന്റെ വ്യാപ്തം താപനിലയുമായി, V/T = സ്ഥിരസംഖ്യ, എന്ന സമവാക്യത്താൽ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഈ ബന്ധം ഫ്രഞ്ച് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ജാക്വസ് ചാൾസിന്റെ പേരിൽ (1747-1823) ചാൾസ് നിയമം (Charles' law) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. താഴ്ന്ന സാന്ദ്രതയുള്ള വാതകങ്ങൾ ഈ നിയമങ്ങൾ അനുസരിക്കുന്നു. ഈ രണ്ടു നിയമങ്ങളെയും ഒരു സമവാക്യം കൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കാനാകും.

PV = സ്ഥിരസംഖ്യയും V/T = സ്ഥിരസംഖ്യയും ആയതിനാൽ ഒരു നിശ്ചിത അളവ് വാതകത്തിന് PV/T ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യ ആയിരിക്കണം. ഈ ബന്ധം ആദർശവാതകനിയമം (ideal gas law) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇതിനെ കുറച്ചുകൂടി പൊതുവായ രീതിയിൽ എഴുതാൻ കഴിയും. ആദർശവാതകസമവാക്യം (ideal gas equation) എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഈ സമവാക്യം ഒരു നിശ്ചിത അളവുള്ള ഏകാത്മക വാതകത്തിനു മാത്രമല്ല, ഏത് അളവിലുമുള്ള സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ വാതകത്തിനും ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്.

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

$$\text{അല്ലെങ്കിൽ } PV = \mu RT \tag{11.2}$$

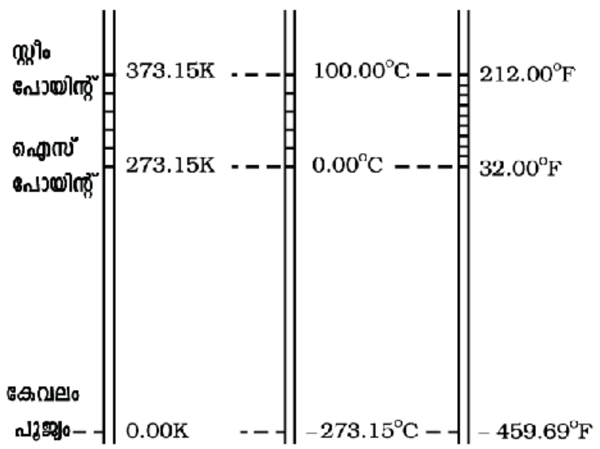
ഇവിടെ μ എന്നത് തന്നിരിക്കുന്ന വാതകത്തിലെ മോളുകളുടെ എണ്ണവും (number of moles) R എന്നത് സാർവ്വികവാതകസ്ഥിരാങ്കവും (universal gas constant) ആകുന്നു.

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

സമവാക്യം 11.2 ൽ മർദവും ഉള്ളളവും താപനിലയുമായി നേർ അനുപാതത്തിലാണെന്നു കാണാം. $PV \propto T$ എന്ന ഈ ബന്ധം ഒരു സ്ഥിരവ്യാപ്ത വാതക തെർമോമീറ്ററിൽ താപനില അളക്കാനായി ഒരു വാതകത്തെ ഉപയോഗിക്കാൻ സഹായിക്കുന്നു. ഒരു വാതകത്തിന്റെ ഉള്ളളവ് സ്ഥിരമായി വയ്ക്കുമ്പോൾ, മേൽപ്പറഞ്ഞ സമവാക്യം $P \propto T$ എന്നാകുന്നു. അതുകൊണ്ട് ഒരു സ്ഥിരഉള്ളളവ് വാതക തെർമോമീറ്റർ ഉപയോഗിച്ച് താപനിലയെ മർദത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ കണക്കാക്കുന്നു. ഇത്തരം വാതകത്തിന്റെ മർദവും താപനിലയും ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ഗ്രാഫ് ചിത്രം 11.2 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു നേർരേഖയാണ്.

എന്നിരുന്നാലും താഴ്ന്ന താപനിലകളിൽ സാധാരണ വാതകങ്ങ (real gases) ളിലെ അളവുകൾ ആദർശവാതകനിയമം പ്രവചിക്കുന്ന വിലകളിൽ നിന്നും വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഈ ബന്ധം ഒരു വലിയ താപനിലാ പരിധിവരെ രേഖീയ (linear) മായിരിക്കുകയും ഒരു

വാതകം വാതകമായി തുടരുമ്പോൾ തന്നെ താപനില കുറയുന്നതിനനുസരിച്ച് മർദം പൂജ്യത്തിനടുത്ത് എത്തിച്ചേരുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ട് ഒരു ആദർശവാതകത്തിന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ താപനില (ചിത്രം 11.3 ലെപ്പോലെ) നേർരേഖ അക്ഷവുമായി ചേരുന്ന ഭാഗം സൂചിപ്പിക്കുന്ന താപനിലയാണെന്ന് അനുമാനിക്കാം. ഈ താപനില –273.15 °C ആയി കാണപ്പെടുകയും ഇത് കേവലപൂജ്യം (absolute zero) എന്നു നിർണയിക്കുകയും ചെയ്തു. ബ്രിട്ടീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ലോഡ് കെൽവിന്റെ പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്ന കെൽവിൻ താപനിലാ സ്കെയിൽ അല്ലെങ്കിൽ അബ്സൊല്യൂട്ട് താപനില സ്കെയിലിന് (Absolute Scale) അടിസ്ഥാനം ഈ കേവലപൂജ്യം (absolute zero) ആണ്. അതായത് ഈ സ്കെയിലിലെ പൂജ്യമായി എടുത്തിരിക്കുന്നത് – 273.15 °C ആകുന്നു. (ചിത്രം 11.4) ഇതിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് 0 K എന്നാണ്.



ചിത്രം 11.4 കെൽവിൻ, സെൽഷ്യസ്, ഫാരൻഹീറ്റ് താപനില സ്കെയിലുകൾ തമ്മിലുള്ള താരതമ്യം.

കെൽവിൻ സ്കെയിലിലെ ഒരു യൂണിറ്റും സെൽഷ്യസ് സ്കെയിലിലെ ഒരു യൂണിറ്റും ഒരേ താപനില വ്യതിയാനത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നതു കൊണ്ട് ഈ സ്കെയിലുകളിലെ താപനില

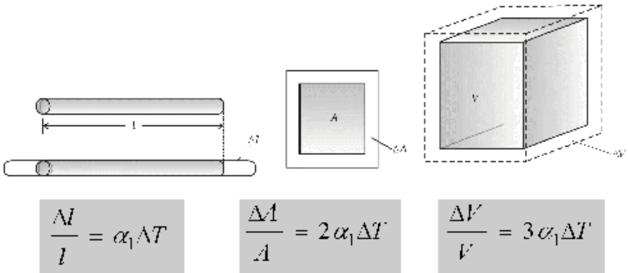
$$T = t_C + 273.15 \qquad (11.3)$$

എന്ന സമവാക്യത്താൽ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

11.5 താപീയ വികാസം (Thermal Expansion)

ചിലപ്പോൾ ലോഹ അടപ്പുകൾ കൊണ്ട് മുറുക്കി അടയ്ക്കപ്പെട്ട കുപ്പികൾ, അടപ്പു തുറക്കുന്നതിനായി ചൂടുവെള്ളത്തിലിടുന്നത് നിങ്ങൾ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുണ്ടാവാം. ഇത് ലോഹ അടപ്പുകൾ വികസിച്ച് എളുപ്പത്തിൽ കുപ്പി തുറക്കുന്നതിന് സഹായിക്കുന്നു. ദ്രാവകങ്ങളുടെ കാര്യത്തിൽ, ഒരു തെർമോമീറ്റർ ചെറിയ ചൂടുള്ള വെള്ളത്തിലിടുമ്പോൾ തെർമോമീറ്ററിലെ മെർക്കുറി ഉയരുന്നത് നിങ്ങൾ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുണ്ടാകാം. ചൂടുവെള്ളത്തിൽനിന്ന് തെർമോമീറ്റർ പുറത്തെടുക്കുമ്പോൾ മെർക്കുറി നിരപ്പ് വീണ്ടും താഴുന്നു. അതുപോലെ വാതകങ്ങളുടെ കാര്യത്തിൽ ഒരു തണുത്ത മുറിയിൽ വെച്ച് ഭാഗികമായി ഊതിവീർപ്പിച്ച ഒരു ബലൂൺ ഒരു ചൂടുള്ള മുറിയിൽ വയ്ക്കുമ്പോൾ വികസിച്ച് കൂടുതൽ വലുപ്പത്തിലാകുകയും പൂർണമായും വീർത്തിരിക്കുന്ന ബലൂൺ തണുത്ത ജലത്തിൽ മുക്കിവയ്ക്കുമ്പോൾ അതിനുള്ളിലെ വായുവിന്റെ സങ്കോചംമൂലം ബലൂൺ ചുരുങ്ങാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു.

നമ്മുടെ സാധാരണ അനുഭവങ്ങളിൽ മിക്ക വസ്തുക്കളും, ചൂടാക്കുമ്പോൾ വികസിക്കുകയും തണുപ്പിക്കുമ്പോൾ ചുരുങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നുവെന്ന് കാണാം. ഒരു വസ്തുവിന്റെ താപനിലയിലുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം അതിന്റെ വലുപ്പത്തിൽ മാറ്റം വരുത്തുന്നു. താപനില വർധനയുടെ ഫലമായി ഒരു വസ്തുവിന്റെ വലുപ്പത്തിലുണ്ടാകുന്ന വർധനവിനെ താപീയ വികാസം (thermal expansion) എന്നു പറയുന്നു. നീളത്തിനുണ്ടാകുന്ന വികാസത്തെ രേഖീയവികാസം (linear expansion) എന്നുവിളിക്കുന്നു. പരപ്പളവിലുണ്ടാകുന്ന വികാസത്തെ പരപ്പളവുവികാസം (area expansion) എന്നും വിളിക്കുന്നു. ഉള്ളളവിലുണ്ടാകുന്ന വികാസത്തെ ഉള്ളളവുവികാസം (volume expansion) എന്നും പറയുന്നു. (ചിത്രം 11.5).



(a) രേഖീയ വികാസം (b) പരപ്പളവ് വികാസം (c) ഉള്ളളവു വികാസം

ചിത്രം 11.5 താപീയവികാസം

ഒരു വസ്തു ദണ്ഡ് രൂപത്തിലാണെങ്കിൽ ΔT, എന്ന ചെറിയ താപനിലാ വ്യതിയാനത്തിനുണ്ടാകുന്ന നീളത്തിന്റെ അംശീയമാറ്റം $\Delta l/l$ എന്നത് ΔT യ്ക്ക് നേർ അനുപാതത്തിലാകുന്നു.

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

ഇവിടെ α_1 എന്നത് രേഖീയവികാസ സ്ഥിരാങ്കം (**coefficient of linear expansion**) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇത് ദണ്ഡ് നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ സവിശേഷതയാണ്. ചില വസ്തുക്കളുടെ താപനില 0°C-100°C

പരിധിയിലെ രേഖീയവികാസസ്ഥിരാങ്കം പട്ടിക 11.1 ൽ തന്നിരിക്കുന്നു. ഈ പട്ടികയിൽ നിന്ന് ഗ്ലാസിന്റെയും കോപ്പറിന്റെയും α_l വിലകളെ താരതമ്യം ചെയ്യുക. ഒരേ താപനില വർധനയ്ക്ക് കോപ്പർ, ഗ്ലാസിനേക്കാൾ അഞ്ചു മടങ്ങ് കൂടുതൽ വികസിക്കുന്നതായി നമുക്കു കാണാം. സാധാരണയായി, ലോഹങ്ങൾ കൂടുതൽ വികസിക്കുന്നതിനാൽ അവയുടെ α_l ന് താരതമ്യേന ഉയർന്ന വിലകൾ കാണപ്പെടുന്നു.

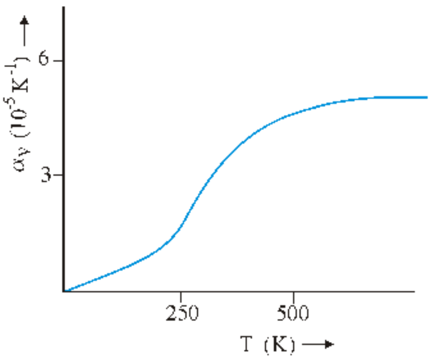
പട്ടിക 11.1 ചില വസ്തുക്കളുടെ രേഖീയവികാസ സ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ വിലകൾ

പദാർഥങ്ങൾ	α_l $(10^{-5}\ K^{-1})$
അലുമിനിയം	2.5
ബ്രാസ് (ഈയം)	1.8
ഇരുമ്പ്	1.2
കോപ്പർ (ചെമ്പ്)	1.7
വെള്ളി	1.9
സ്വർണം	1.4
ഗ്ലാസ് (പൈറക്സ്)	0.32
ലെഡ്	0.29

അതുപോലെ ഒരു വസ്തുവിന് ΔT താപനില വ്യത്യാസത്തിന് ഉള്ളളവിലുണ്ടാകുന്ന അംശീയമാറ്റം $\frac{\Delta V}{V}$, ആയി പരിഗണിച്ചാൽ ഉള്ളളവു വികാസസറിരാങ്കം (coefficient of volume expansion) α_V യെ താഴെക്കാണുന്നതുപോലെ നിർവചിക്കാം.

$$\alpha_V = \left(\frac{\Delta V}{V}\right)\frac{1}{\Delta T} \qquad (11.5)$$

ഇവിടെ α_V എന്നത് വസ്തുവിന്റെ ഒരു തനതു സ്വഭാവവുമാണ്. എന്നാൽ ഇതിന്റെ മൂല്യം കണിശമായും സറിരമാകണമെന്നില്ല. പൊതുവായി, ഇത് താപനിലയെ ആശ്രയിക്കുന്നു.(ചിത്രം 11.6). എന്നാൽ ഉയർന്ന താപനിലകളിൽ മാത്രം α_V യുടെ മൂല്യം സ്ഥിരമാകുന്നുവെന്ന് കാണാം.



ചിത്രം 11.6 താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് കോപ്പറിന്റെ ഉള്ളളവ് വികസന സറിരാങ്കം മാറുന്നതിന്റെ ഗ്രാഫ്

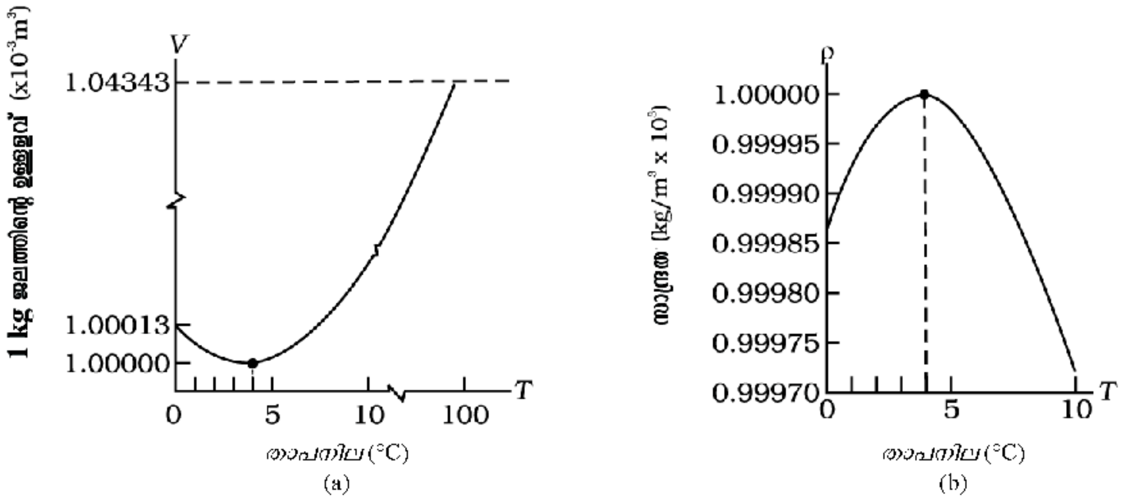
താപനില പരിധി 0 –100 °C ൽ ഉള്ള ചില സാധാരണ വസ്തുക്കളുടെ ഉള്ളളവ് വികസന സറിരാങ്കവില കൾ പട്ടിക 11.2 നൽകുന്നു. പൈറക്സ് ഗ്ലാസ്, ഇൻവാർ (ഒരു പ്രത്യേക ഇരുമ്പ് – നിക്കൽ ലോഹസങ്കരം) എന്നിവയ്ക്ക് പ്രത്യേകിച്ച് α_v യ്ക്ക് കുറഞ്ഞ വിലകൾ ആണ്. α_v യുടെ വില ആൽക്കഹോളിന് (ഈഥൈൽ) മെർക്കുറിയേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്നും ഒരേ താപനില വർധനവിന് ആൽക്കഹോളിന് മെർക്കുറിയേക്കാൾ വികാസം സംഭവിക്കുന്നുവെന്നും നമുക്ക് പട്ടികയിൽ നിന്നും മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയും.

പട്ടിക 11.2 ചില പദാർഥങ്ങളുടെ ഉള്ളളവു വികാസ സ്ഥിരാങ്കത്തിന്റെ വിലകൾ

പദാർഥം	α_v (K^{-1})
അലുമിനിയം	7×10^{-5}
ബ്രാസ്സ്	6×10^{-5}
ഇരുമ്പ്	3.55×10^{-5}
പാരഫിൻ	58.8×10^{-5}
ഗ്ലാസ്സ് (സാധാരണ)	2.5×10^{-5}
ഗ്ലാസ്സ് (പൈറക്സ്)	1×10^{-5}
ഹാർഡ് റബ്ബർ	2.4×10^{-4}
ഇൻവാർ	2×10^{-6}
മെർക്കുറി	18.2×10^{-5}
ജലം	20.7×10^{-5}
ആൽക്കഹോൾ (ഈഥൈൽ)	110×10^{-5}

ജലത്തിന്റെ താപീയ വികാസം മറ്റുള്ളവയിൽ നിന്നും വ്യത്യസ്തമാണ്. ഇത് ചൂടാക്കുമ്പോൾ 0°C മുതൽ 4°C വരെ സങ്കോചിക്കുന്നു. ഒരു നിശ്ചിത അളവ് ജലത്തിന്റെ വ്യാപ്തം സാധാരണ താപനിലയിൽ നിന്ന് തണുപ്പിച്ച് താപനില 4°C എത്തുന്നതുവരെ [ചിത്രം 11.7(a)] കുറയുന്നു. 4°C ൽ താഴെ ഉള്ളളവു കൂടുകയും തൽഫലമായി സാന്ദ്രത കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. [ചിത്രം 11.7(b)].

ഇത് അർഥമാക്കുന്നത് ജലത്തിന് 4°C ൽ പരമാവധി സാന്ദ്രതയുണ്ടെന്നാണ്. ഈ സവിശേഷത ഒരു പ്രധാനപ്പെട്ട പാരിസറിതികഫലം ഉണ്ടാക്കുന്നു. ശീതകാലത്ത് തടാകങ്ങൾ, കുളങ്ങൾ തുടങ്ങിയ ജലാശയങ്ങളിൽ ആദ്യം മുകൾഭാഗം തണുത്തുറയുന്നു. ഒരു തടാകം 4°C യിലേക്ക് തണുക്കുമ്പോൾ, ഉപരിതലത്തിനടുത്തുള്ള ജലത്തിന് അന്തരീക്ഷത്തിലേക്ക് ഊർജം നഷ്ടപ്പെടുകയും, സാന്ദ്രത കൂടുകയും അടിയിലേക്ക് താഴുകയും ചെയ്യുന്നു. അടിത്തട്ടിലുള്ള സാന്ദ്രത കുറഞ്ഞ ചൂട് ജലം മുകളിലേക്ക് ഉയരുന്നു. എന്നിരുന്നാലും മുകളിലുള്ള തണുത്ത ജലം ഒരിക്കൽ 4°C യിൽ താഴെ എത്തിച്ചേർന്നാൽ ഇതിന്റെ സാന്ദ്രത കുറയുകയും ഇത് ഉപരിതലത്തിൽ നിലനിൽക്കുകയും, അവിടെ ഖരീഭവിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതു വഴി ചൂട് അന്തരീക്ഷത്തിലേക്ക് കടത്തിവിടാത്ത ഒരു പാളി സൃഷ്ടിക്കുന്നതിനാൽ, താഴെയുള്ള ജലം ഖനീഭവിക്കുന്നില്ല. ഇതിനാൽ ജലത്തിനുള്ളിലെ സസ്യജീവജാലങ്ങളുടെ ജീവിതം താഴ്ന്ന താപനിലയിലും തുടരാനാകുന്നു.



ചിത്രം 11.7 ജലത്തിന്റെ താപീയവികാസം

സാധാരണ താപനിലയിൽ വാതകങ്ങൾ ഖര, ദ്രാവക വസ്തുക്കളേക്കാൾ കൂടുതൽ വികസിക്കുന്നു. ദ്രാവകങ്ങളുടെ ഉള്ളളവു വികസന സ്ഥിരാങ്കം പൊതുവെ താപനിലയെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ വാതകങ്ങളിൽ ഇത് താപനിലയെ ആശ്രയിക്കുന്നു. ആദർശവാതകങ്ങളിൽ മർദം സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ഉള്ളളവ് വികാസ സ്ഥിരാങ്കം ആദർശവാതക സമവാക്യത്തിൽനിന്നും കണ്ടുപിടിക്കാം.

$PV = \mu RT$

സ്ഥിരമായ മർദത്തിൽ

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

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

അതായത്, ആദർശവാതകങ്ങൾക്ക്,

$$\alpha_v = \frac{1}{T} \qquad (11.6)$$

0^0C യിൽ $\alpha_v = 3.7\times10^{-3}K^{-1}$ ഇത് ഖര ദ്രാവക വസ്തുക്കളേക്കാൾ കൂടുതലാകുന്നു. സമവാക്യം (11.6) α_v യുടെ താപആശ്രിതത്വം കാണിക്കുന്നു: താപനില കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് α_v കുറയുന്നു.

0^0C ൽ ഒരു വാതകത്തിന് സ്ഥിരമർദത്തിൽ α_v ഏകദേശം $3300\times10^{-6}K^{-1}$ ആകുന്നു. ഇത് സാധാരണ ദ്രാവകങ്ങളേക്കാൾ കൂടുതൽ ആണ്.

രേഖീയ വികാസസ്ഥിരാങ്കം (α_l), ഉള്ളളവ് വികാസ സ്ഥിരാങ്കം (α_v) ഇവ തമ്മിൽ ലളിതമായ ഒരു ബന്ധം ഉണ്ട്. l നീളമുള്ള ഒരു ക്യൂബ് സങ്കൽപ്പിക്കുക. ഇതിന്റെ താപനില ΔT വർധിക്കുമ്പോൾ ഇത് എല്ലാ ദിശകളിലേക്കും തുല്യമായി വികസിക്കുന്നു.

അപ്പോൾ $\Delta l = \alpha_l\, l\, \Delta T$

അതുകൊണ്ട്, $\Delta V = (l+\Delta l)^3 - l^3 \simeq 3l^2\,\Delta l \qquad (11.7)$

സമവാക്യം (11.7) ൽ, $(\Delta l)^2$, $(\Delta l)^3$ പദങ്ങൾ ഒഴിവാക്കിയിരിക്കുന്നു. കാരണം l ഉം ആയി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ Δl തീരെ ചെറുതാകുന്നു. അതുകൊണ്ട്,

$$\Delta V = \frac{3V\,\Delta l}{l} = 3V\alpha_l\;\Delta T \qquad (11.8)$$

ഇതിൽ നിന്ന്

$\alpha_v = 3\alpha_l$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു. (11.9)

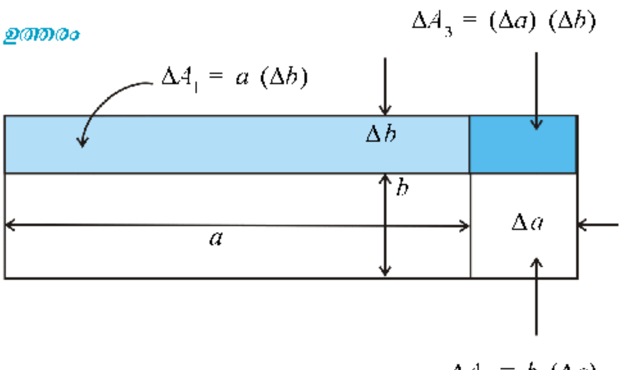
ഒരു ദണ്ഡിനെ അതിന്റെ അഗ്രങ്ങളിൽ ദൃഢമായി ഉറപ്പിച്ചുകൊണ്ട് അതിന്റെ താപീയവികാസം തടഞ്ഞാൽ എന്തു സംഭവിക്കും? വ്യക്തമായി പറഞ്ഞാൽ, ദണ്ഡിന്റെ അഗ്രങ്ങളിലെ ഉറച്ച താങ്ങുകൾ നൽകുന്ന ബാഹ്യബലങ്ങളുടെ ഫലമായി ഒരു സ്ട്രെയിനിന് (strain) വിധേയമാകുന്നു. ദണ്ഡിൽ രൂപീകൃതമാകുന്ന സ്ട്രെസ്സിനെ താപീയ സ്ട്രെസ്സ് എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, 5m നീളവും 40 cm^2 ഛേദതല പരപ്പളവുമുള്ള ഒരു സ്റ്റീൽ റെയിൽ പരിഗണിക്കുക. ഇതിന്റെ താപനില 10 °C ഉയർന്നാൽ താപീയ സ്ട്രെസ് എത്രയായിരിക്കും? സ്റ്റീലിന്റെ രേഖീയ വികാസസ്ഥിരാങ്കം $\alpha_{l(steel)} = 1.2\times10^{-5}\,K^{-1}$ ആകുന്നു. അതിനാൽ $\frac{\Delta l}{l} = \alpha_{l(steel)}\Delta T = 1.2\times10^{-5}\times10 = 1.2\times10^{-4}$. സ്റ്റീലിന്റെ യങ്സ് മോഡുലസ് $Y_{(steel)} = 2\times10^{11}\,N\,m^{-2}$. അതുകൊണ്ട് രൂപീകൃതമാകുന്ന താപീയസ്ട്രെസ്സ്

$\frac{\Delta F}{A} = Y_{steel}\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = 2.4 \times 10^7 \text{ N m}^{-2}$, ഇതിന് കാരണമായ ബാഹ്യബലം, $\Delta F = AY_{steel}\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = 2.4 \times 10^7 \times 40 \times 10^{-4} = 10^5\text{N}$.

ഇങ്ങനെയുള്ള രണ്ട് സ്റ്റീൽ റെയിലുകൾ അവയുടെ പുറംവശത്തുള്ള അഗ്രങ്ങൾ ഉറപ്പിക്കുകയും അകവശ അഗ്രങ്ങൾ സമ്പർക്കത്തിലിരിക്കുകയും ചെയ്താൽ, ഇത്രയും ബലത്തിന് റെയിലുകളെ എളുപ്പത്തിൽ വളയ്ക്കാൻ കഴിയുന്നു.

> ▶ ***ഉദാഹരണം 11.1*** ഒരു ഖര ചതുരഷീറ്റിന്റെ പരപ്പളവ് വികാസ സ്ഥിരാങ്കം $(\Delta A/A)/\Delta T$, അതിന്റെ രേഖീയ വികസനം, α_l ന്റെ ഇരട്ടിയാണെന്ന് തെളിയിക്കുക.

ഉത്തരം



ചിത്രം 11.8

a നീളവും b വീതിയുമുള്ള ഒരു ചതുരഷീറ്റ് പരിഗണിക്കുക. (ചിത്രം 11.8). താപനില ΔT വർധിക്കുമ്പോൾ, a എന്ന വശം $\Delta a = \alpha_l a \Delta T$ വർധിക്കുകകയും b വശം $\Delta b = \alpha_l b\ \Delta T$ വർധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 11.8 ൽ നിന്ന്, പരപ്പളവിലുണ്ടാകുന്ന വർധനവ്,

$$\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3$$
$$\Delta A = a\ \Delta b + b\ \Delta a + (\Delta a)\ (\Delta b)$$
$$= a\ \alpha_l b\ \Delta T + b\ \alpha_l\ a\ \Delta T + (\alpha_l)^2\ ab\ (\Delta T)^2$$
$$= \alpha_l\ ab\ \Delta T\,(2 + \alpha_l\,\Delta T) = \alpha_l A\ \Delta T\,(2 + \alpha_l\,\Delta T)$$

പട്ടിക 11.1 ൽനിന്ന് $\alpha_l \simeq 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ ആയതിനാൽ ചെറിയ താപനില വ്യതിയാനങ്ങൾക്ക് 2 ഉം ആയി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ ഗുണനഫലം $\alpha_l\,\Delta T$ അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്.

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

> ▶ ***ഉദാഹരണം 11.2*** ഒരു ലോഹപ്പണിക്കാരൻ ഒരു കാള വണ്ടിയുടെ തടിച്ചക്രത്തിന്റെ അരികിൽ (rim of wheel) ഇരുമ്പ് വളയം ഉറപ്പിക്കുന്നു. ഇരുമ്പ് ചക്രത്തിന്റെയും വളയത്തിന്റെയും വ്യാസങ്ങൾ 27 °C ൽ യഥാക്രമം 5.243 m ഉം 5.231 m ഉം ആകുന്നു. വളയത്തെ ഏത് താപനില വരെ ചൂടാക്കിയാൽ ചക്രത്തിന്റെ അരികിൽ ഉറപ്പിക്കാനാവും?

ഉത്തരം

തന്നിരിക്കുന്നത്, $T_1 = 27\ ^\circ\text{C}$

$$L_{T1} = 5.231\text{ m}$$
$$L_{T2} = 5.243\text{ m}$$

അതുകൊണ്ട്,

$$L_{T2} = L_{T1}\ [1+\alpha_l\,(T_2 - T_1)]$$

$5.243\text{ m} = 5.231\text{ m}\,[1 + 1.20\times10^{-5}\text{ K}^{-1}\,(T_2 - 27\ ^\circ\text{C})]$

അല്ലെങ്കിൽ $T_2 = 218\ ^\circ\text{C}$. ◀

11.6 വിശിഷ്ട താപധാരിത (Specific Heat Capacity)

കുറച്ചുജലം ഒരു പാത്രത്തിലെടുത്ത് ബർണറിൽവച്ച് ചൂടാക്കാൻ തുടങ്ങുക. പെട്ടെന്ന് നിങ്ങൾക്ക് കുമിളകൾ മുകളിലേക്ക് വരുന്നതായി കാണാൻ കഴിയും. ജലകണങ്ങളുടെ ചലനം വർധിച്ച് ജലം തിളച്ചുമറിയാൻ തുടങ്ങുന്നതുവരെ താപനില വർധിപ്പിക്കുക. ഒരു വസ്തുവിന്റെ താപനില വർധിപ്പിക്കാനാവശ്യമായ താപത്തിന്റെ അളവിനെ ആശ്രയിക്കുന്ന ഘടകങ്ങൾ എന്തെല്ലാം? ഈ ചോദ്യത്തിന്റെ ഉത്തരം ലഭിക്കുന്നതിന് ആദ്യപടിയായി ഒരു നിശ്ചിത അളവ് ജലത്തിന്റെ താപനില 20 °C വർധിക്കാനാവശ്യമായ സമയം ഒരു സ്റ്റോപ്പ് വാച്ച് ഉപയോഗിച്ച് രേഖപ്പെടുത്തുക. വീണ്ടും ഇതേ അളവ് ജലത്തിന്റെ താപനില അതേ താപസ്രോതസ്സ് ഉപയോഗിച്ച് ചൂടാക്കി 40°C വർധിക്കാനാവശ്യമായ സമയം കാണ്ടെത്തുക. ഒരേ അളവുള്ള ജലത്തിന്റെ താപനിലയ്ക്ക് ഇരട്ടി വർധനവുണ്ടാവാൻ ഇരട്ടിസമയം ആവശ്യമാണെന്ന് നിങ്ങൾക്ക് കാണാൻ കഴിയും.

രണ്ടാം പടിയായി, നിങ്ങൾ ആദ്യ അളവിന്റെ ഇരട്ടി ജലം എടുത്ത് അതേ സംവിധാനം ഉപയോഗിച്ച് ചൂടാക്കുക. താപനില 20°C വർധിക്കാൻ ആവശ്യമായ സമയം ആദ്യ പടിയിലുള്ളതിനേക്കാൾ ഇരട്ടിയാണെന്ന് നിങ്ങൾക്കു കാണാൻ കഴിയും.

മൂന്നാമത്തെ പ്രാവശ്യം, ജലത്തിനുപകരം അതേ അളവിലുള്ള ഏതെങ്കിലും എണ്ണ എടുത്ത് ചൂടാക്കി അതിന്റെ താപനില 20°C ഉയരാൻ ആവശ്യമായ സമയം സ്റ്റോപ്പ് വാച്ച് ഉപയോഗിച്ച് രേഖപ്പെടുത്തുക. ഈ സമയം അതേ അളവ് ജലത്തിന് അതേ താപനില വർധനവ് ഉണ്ടാകാനാവശ്യമായ സമയത്തേക്കാൾ കുറവാണെന്നു നിങ്ങൾക്ക് കാണാൻ കഴിയും.

തന്നിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിനെ ചൂടാക്കാൻ ആവശ്യമായ താപത്തിന്റെ അളവ് അതിന്റെ മാസ് m നേയും താപനിലാ വ്യതിയാനം ΔT യേയും വസ്തുവിന്റെ സ്വഭാവത്തേയും ആശ്രയിക്കുന്നുവെന്ന് മേൽപ്പറഞ്ഞ നിരീക്ഷണങ്ങൾ കാണിക്കുന്നു. തന്നിരിക്കുന്ന അളവ് താപം ആഗിരണം ചെയ്യുകയോ പുറത്തുവിടുകയോ ചെയ്യുമ്പോൾ ഒരു വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന താപനിലയിലെ വ്യതിയാനം വസ്തുവിന്റെ താപധാരിത (heat capacity) എന്ന അളവിനെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. ഒരു വസ്തുവിന്റെ താപധാരിത S നെ നമുക്കിങ്ങനെ നിർവചിക്കാം.

$$S = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \tag{11.10}$$

ഇവിടെ ΔQ എന്നത് വസ്തുവിന്റെ താപനില T യിൽനിന്ന് $T + \Delta T$ യിലേക്ക് മാറാൻ ആവശ്യമായ താപത്തിന്റെ അളവാകുന്നു.

ഒരേ മാസുള്ള വ്യത്യസ്ത വസ്തുക്കൾക്ക് ഒരേ അളവ് താപം നൽകിയാൽ, തൽഫലമായി ഉണ്ടാകുന്ന താപനിലാവ്യതിയാനങ്ങൾ ഒരേ പോലെയല്ലായെന്നത് നിങ്ങൾ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുണ്ടാവാം. യൂണിറ്റ് മാസുള്ള വസ്തുവിന്റെ താപനില ഒരു യൂണിറ്റ് മാറ്റം വരുത്താൻ ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന അല്ലെങ്കിൽ പുറത്തേക്കു വിടുന്ന താപത്തിന്റെ അളവ് ഓരോ വസ്തുവിനും വ്യത്യസ്തമാണെന്നാണ് ഇത് അർഥമാക്കുന്നത്. ഈ അളവിനെ വസ്തുവിന്റെ വിശിഷ്ടതാപധാരിത (specific heat capacity) എന്ന് പറയുന്നു.

m മാസുള്ള ഒരു പദാർഥം ΔT താപനിലാ മാറ്റം ഉണ്ടാകുന്നതിനുവേണ്ടി ΔQ താപോർജം ആഗിരണം ചെയ്യുകയോ ഉൽസർജിക്കുകയോ ചെയ്യുന്നുവെങ്കിൽ പദാർഥത്തിന്റെ വിശിഷ്ടതാപധാരിത

$$s = \frac{S}{m} = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{ആണ്.} \tag{11.11}$$

ഒരു പദാർഥം നിശ്ചിത അളവ് ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്യുകയോ ഉൽസർജിക്കുകയോ ചെയ്യുമ്പോൾ വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന താപനിലയിലെ വ്യത്യാസത്തെ (അവസ്ഥാമാറ്റം ഇല്ലാതെ) നിർണയിക്കുന്ന പദാർഥത്തിന്റെ സ്വഭാവസവിശേഷത താപധരിത ആകുന്നു. ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ യൂണിറ്റ് മാസ് അതിന്റെ താപനില ഒരു യൂണിറ്റ് മാറ്റം വരുത്താൻ ആഗിരണം ചെയ്യുകയോ പുറത്തേക്കുവിടുകയോ ചെയ്യുന്ന താപത്തിന്റെ അളവിനെ വിശിഷ്ടതാപധാരിത എന്നുപറയുന്നു. ഇത് പദാർഥത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തേയും അതിന്റെ താപനിലയേയും ആശ്രയിക്കുന്നു. വിശിഷ്ടതാപധാരിതയുടെ SI യൂണിറ്റ് $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ ആകുന്നു.

മാസിനുപകരം പദാർഥത്തിന്റെ അളവ് മോളുകളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ തന്നിരുന്നാൽ പദാർഥത്തിന്റെ താപധാരിത നമുക്കു താഴെക്കാണുംവിധം നിർവചിക്കാം.

$$C = \frac{S}{\mu} = \frac{1}{\mu}\frac{\Delta Q}{\Delta T} \tag{11.12}$$

ഇവിടെ C മോളാർ വിശിഷ്ടതാപധാരിത (molar specific heat capacity) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. S നെപ്പോലെ C യും പദാർഥത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തേയും താപനിലയേയും ആശ്രയിക്കുന്നു. മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിതയുടെ SI യൂണിറ്റ് $J\ mol^{-1}\ K^{-1}$ ആകുന്നു.

എന്നിരുന്നാലും വാതകങ്ങളുടെ വിശിഷ്ട താപധാരിതയുമായി ബന്ധപ്പെടുത്തി C യെ നിർവചിക്കാൻ മറ്റു നിബന്ധനകൾ കൂടി ആവശ്യമായി വരും. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ ഒന്നുകിൽ മർദം അല്ലെങ്കിൽ ഉള്ളളവ് സ്ഥിരമാക്കി വച്ചുകൊണ്ട് താപം കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടാം. മർദം സ്ഥിരമായിരിക്കുമ്പോൾ ഉള്ള മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിതയെ സ്ഥിരമർദ മോളാർവിശിഷ്ടതാപധാരിത C_p എന്നു സൂചിപ്പിക്കുന്നു. നേരെമറിച്ച്, താപകൈമാറ്റം നടക്കുമ്പോൾ വാതകത്തിന്റെ ഉള്ളളവ് സ്ഥിരമായിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ, അപ്പോഴുള്ള മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിതയെ സ്ഥിരവ്യാപ്ത മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിത (molar specific heat capacity at constant volume) എന്നു വിളിക്കുകയും ഇതിനെ C_v എന്ന് സൂചിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. കൂടുതൽ വിശദാംശങ്ങൾക്ക് അധ്യായം 12 കാണുക. പട്ടിക 11.3 ൽ ചില പദാർഥങ്ങളുടെ വിശിഷ്ട താപധാരിത സാധാരണ താപനിലയിലും അന്തരീക്ഷമർദത്തിലും അളന്നത് രേഖപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു. പട്ടിക 11.4 ൽ ചില വാതകങ്ങളുടെ മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിത തന്നിരിക്കുന്നു. പട്ടിക 11.3 ൽ നിന്ന് ജലത്തിന് മറ്റു പദാർഥങ്ങളുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ ഏറ്റവും കൂടുതൽ വിശിഷ്ടതാപധാരിതയുണ്ടെന്ന വസ്തുത നിങ്ങൾക്ക് ശ്രദ്ധിക്കാൻ കഴിയും. ഈ കാരണത്താൽ ജലത്തെ വാഹനങ്ങളുടെ റേഡിയേറ്ററുകളിൽ ശീതീകാരിയായും ചൂടുജലസഞ്ചികളിൽ (hot water bag) ഹീറ്ററായും ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഉയർന്ന വിശിഷ്ട താപധാരിതയുള്ളതിനാൽ, വേനൽക്കാലത്ത് ജലം കരയെക്കാൾ വളരെ സാവധാനം ചൂടുപിടിക്കുകയും തൽഫലമായി കടലിൽനിന്നുള്ള കാറ്റിന് ഒരു ശീതളിമ അനുഭവപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. മരുപ്രദേശങ്ങളിൽ ഉപരിതലത്തിലെ മണ്ണ് പകൽസമയത്ത് വേഗത്തിൽ ചൂടുപിടിക്കുകയും രാത്രിയിൽ പെട്ടെന്ന് തണുക്കുകയും ചെയ്യുന്നതെന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് ഇപ്പോൾ നിങ്ങൾക്കു പറയാൻ കഴിയുമല്ലോ.

പട്ടിക 11.3 ചില പദാർഥങ്ങളുടെ വിശിഷ്ട താപധാരിത

പദാർഥം	വിശിഷ്ട താപധാരിത ($J\,kg^{-1}K^{-1}$)	പദാർഥം	വിശിഷ്ട താപധാരിത ($J\,kg^{-1}K^{-1}$)
അലുമിനിയം	900.0	ഐസ്	2060
കാർബൺ	506.5	ഗ്ലാസ്	840
കോപ്പർ	386.4	ഇരുമ്പ്	450
ലെഡ്	127.7	മണ്ണെണ്ണ	2118
വെള്ളി	236.1	ഭക്ഷ്യഎണ്ണ	1965
ടങ്സ്റ്റൺ	134.4	മെർക്കുറി	140
ജലം	4186.0		

പട്ടിക 11.4 ചില വാതകങ്ങളുടെ മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിതകൾ

വാതകം	C_p ($J\,mol^{-1}K^{-1}$)	C_v ($J\,mol^{-1}K^{-1}$)
He	20.8	12.5
H_2	28.8	20.4
N_2	29.1	20.8
O_2	29.4	21.1
CO_2	37.0	28.5

11.7 താപമിതി (Calorimetry)

താപമിതി എന്നതർഥമാക്കുന്നത് താപത്തെ അളക്കലെന്നാണ്. ഉയർന്ന താപനിലയിലുള്ള ഒരു വസ്തു താഴ്ന്ന താപനിലയിലുള്ള മറ്റൊരു വസ്തുവുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ വന്നാൽ, ചുറ്റുപാടുകളിലേക്ക് താപം നഷ്ടപ്പെടുന്നില്ലെങ്കിൽ ചൂടു വസ്തുവിനുണ്ടാകുന്ന താപനഷ്ടവും തണുത്ത വസ്തുവിന്റെ താപലാഭവും തുല്യമാകുന്നു. താപം അളക്കൽ സാധ്യമാക്കുന്ന ഉപകരണത്തെ കലോറിമീറ്റർ എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഇതിൽ കോപ്പർ അല്ലെങ്കിൽ അലുമിനിയം പോലുള്ള ഒരു പദാർഥം കൊണ്ട് നിർമിക്കപ്പെട്ട ഒരു ലോഹപാത്രവും, ഇളക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു സംവിധാനവും ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. താപത്തെ കടത്തിവിടാത്ത പദാർഥങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന തടിപാത്രത്തിനുള്ളിലാണ് കലോറിമീറ്റർ സൂക്ഷിച്ചിരിക്കുന്നത്. പുറമേയുള്ള ആവരണം താപകവചമായി പ്രവർത്തിച്ച് അകത്തുള്ള പാത്രത്തിൽനിന്നുള്ള താപനഷ്ടത്തെ കുറയ്ക്കുന്നു. പുറമേയുള്ള ആവരണത്തിലെ വിടവിലൂടെ ഒരു മെർക്കുറി തെർമോമീറ്റർ കലോറിമീറ്ററിനുള്ളിലേക്ക് കടത്തിവച്ചിരിക്കുന്നു. താപനഷ്ടവും താപലാഭവും തുല്യമാണെന്ന തത്വം ഉപയോഗിച്ച് ഒരു ഖരവസ്തുവിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത കണ്ടുപിടിക്കുന്ന രീതി ഉദാഹരണം 11.3ൽ വിവരിച്ചിരിക്കുന്നു.

> ***ഉദാഹരണം 11.3*** 0.047 kg മാസുള്ള ഒരു അലുമിനിയം ഗോളം, 100°C താപനിലയിലെത്തുന്നതുവരെ തിളച്ച ജലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു പാത്രത്തിൽ കുറച്ചുസമയം വച്ചിരിക്കുന്നു. പെട്ടെന്നു തന്നെ ഇതിനെ 20 °C ൽ ഉള്ള 0.25 kg ജലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന 0.14 kg മാസുമുള്ള ഒരു കോപ്പർ കലോറി മീറ്ററിലേക്ക് മാറ്റുന്നു. ജലത്തിന്റെ താപനില ഉയർന്ന് 23°C ൽ സ്ഥിരമായി നിൽക്കുന്നു. അലുമിനിയത്തിന്റെ വിശിഷ്ടതാപധാരിത കാണുക.

ഉത്തരം ഈ ഉദാഹരണത്തിന്റെ ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ സ്ഥിരാവസ്ഥയിൽ അലുമിനിയം ഗോളം നൽകുന്ന താപവും ജലവും കലോറിമീറ്ററും ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന താപവും തുല്യമായിരിക്കുമെന്ന വസ്തുത നമുക്ക് ഉപയോഗിക്കാം.

അലുമിനിയം ഗോളത്തിന്റെ മാസ്(m_1)=0.047 kg

അലുമിനിയം ഗോളത്തിന്റെ ആദ്യ താപനില =100°C

അവസാന താപനില = 23°C

താപനില വ്യത്യാസം(ΔT)=100°C-23°C=77°C

അലുമിനിയത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത s_{Al} എന്നിരിക്കട്ടെ.

അലുമിനിയം ഗോളത്തിനുണ്ടാകുന്ന താപനഷ്ടം

$= m_1 s_{Al} \Delta T = 0.047 kg \times s_{Al} \times 77 °C$

ജലത്തിന്റെ മാസ് (m_2) = 0.25 kg

കലോറിമീറ്ററിന്റെ മാസ് (m_3)=0.14kg

ജലത്തിന്റെയും കലോറിമീറ്ററിന്റെയും ആദ്യതാപനില = 20 °C

മിശ്രിതത്തിന്റെ അവസാന താപനില =23°C

ജലത്തിന്റെ താപനിലയിലുള്ള വ്യതിയാനം,

(ΔT_2)=23°C–20°C=3°C

ജലത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത(s_w)

$=4.18 \times 10^3 J kg^{-1} K^{-1}$

കോപ്പറിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത

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

കലോറിമീറ്ററിനും ജലത്തിനുമുണ്ടായ താപലാഭത്തിന്റെ അളവ് $= m_2 s_w \Delta T_2 + m_3 s_{cu} \Delta T_2$

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

$= 0.25\ kg \times 4.18\times10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1} + 0.14\ kg \times 0.386 \times 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1})\ (23°C - 20°C)$

സന്തുലിതാവസ്ഥയിൽ അലൂമിനിയത്തിനുണ്ടാകുന്ന താപനഷ്ടം = ജലത്തിനുണ്ടാകുന്ന താപലാഭം + കലോറിമീറ്ററിനുണ്ടാകുന്ന താപലാഭം

അതുകൊണ്ട്, $0.047\ kg \times s_{Al} \times 77°C$

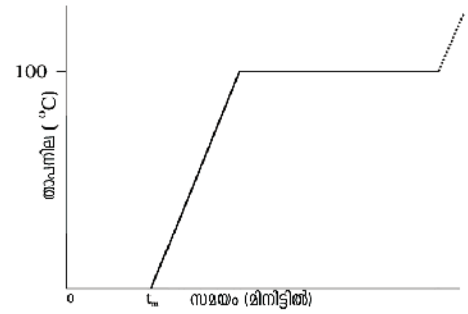
$= (0.25\ kg \times 4.18 \times 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1} + 0.14\ kg \times 0.386 \times 10^3\ J\ kg^{-1}\ K^{-1})(3\ °C)$

$s_{Al} = 0.911\ kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$

11.8 അവസ്ഥാമാറ്റം (Change of State)

ദ്രവ്യം സാധാരണയായി മൂന്ന് അവസ്ഥകളിൽ നിലനിൽക്കുന്നു. ഖരം, ദ്രാവകം, വാതകം. ഈ അവസ്ഥകളിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നിൽനിന്നും മറ്റൊന്നിലേക്കുള്ള പരിവർത്തനത്തെ അവസ്ഥാമാറ്റം (Change of state) എന്നുപറയുന്നു. ഖരത്തിൽനിന്നും ദ്രാവകത്തിലേക്കും ദ്രാവകത്തിൽനിന്നും വാതകത്തിലേക്കും (തിരിച്ചും) ആണ് സാധാരണയുള്ള രണ്ട് അവസ്ഥാമാറ്റങ്ങൾ. ഈ മാറ്റങ്ങൾ സംഭവിക്കണമെങ്കിൽ വസ്തുവും അതിന്റെ ചുറ്റുപാടുകളും തമ്മിൽ താപകൈമാറ്റം നടക്കുന്നു. ചൂടാക്കുമ്പോഴോ തണുപ്പിക്കുമ്പോഴോ ഉള്ള അവസ്ഥാമാറ്റങ്ങൾ പഠിക്കാൻ നമുക്ക് താഴെപ്പറയുന്ന പ്രവർത്തനം ചെയ്തുനോക്കാം.

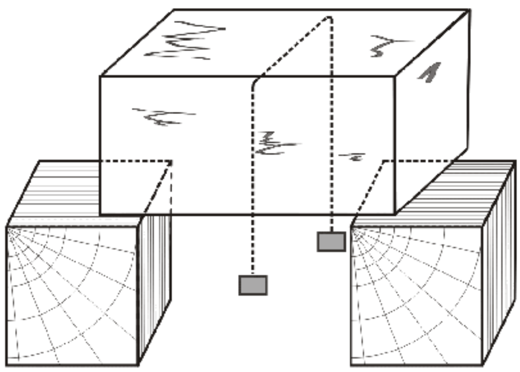
ഒരു ബീക്കറിൽ കുറച്ച് ഐസ് ക്യൂബുകൾ എടുക്കുക. ഐസിന്റെ താപനില (0°C) രേഖപ്പെടുത്തുക. ഒരു സ്ഥിര താപസ്രോതസ്സ് ഉപയോഗിച്ച് ഇതിനെ സാവധാനം ചൂടാക്കി തുടങ്ങുക. ഓരോ മിനിട്ട് കഴിയുമ്പോഴും താപനില രേഖപ്പെടുത്തുക. ഐസിന്റേയും ജലത്തിന്റേയും മിശ്രിതത്തെ തുടർച്ചയായി ഇളക്കുക. താപനിലയും സമയവും ഉപയോഗിച്ച് ഒരു ഗ്രാഫ് വരയ്ക്കുക (ചിത്രം 11.9). ബീക്കറിൽ ഐസ് ഉള്ളിടത്തോളം താപനില വ്യതിയാനം ഉണ്ടാകുന്നില്ലായെന്ന് നിങ്ങൾക്ക് നിരീക്ഷിക്കാൻ കഴിയും. മുകളിൽപ്പറഞ്ഞിരിക്കുന്ന പ്രവർത്തനത്തിൽ, തുടർച്ചയായി താപം നൽകിയാലും വ്യവസ്ഥയുടെ (system) താപനില മാറുന്നില്ല. നൽകുന്ന താപം ഖരത്തിൽ (ഐസ്) നിന്നും ദ്രാവകത്തിലേക്കുള്ള (ജലം) അവസ്ഥാമാറ്റത്തിന് ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്നു.



ചിത്രം 11.9 ഐസിനെ ചൂടാക്കുമ്പോഴുള്ള അവസ്ഥാമാറ്റം കാണിക്കുന്ന താപനിലയും സമയവും ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ഗ്രാഫ്

ഖരം, ദ്രാവകമായി മാറുന്ന അവസ്ഥാമാറ്റത്തെ ദ്രവീകരണം (melting) എന്നും ദ്രാവകം ഖരമായി മാറുന്നതിനെ ഫ്യൂഷൻ (fusion) എന്നും വിളിക്കുന്നു. ഖരവസ്തു മുഴുവൻ ഉരുകുന്നതുവരെ താപനില സ്ഥിരമായി നിലനിൽക്കുന്നുവെന്ന് നിരീക്ഷിക്കാം. അതായത്, ഒരു പദാർഥം ഖരത്തിൽനിന്നും ദ്രാവകത്തിലേക്ക് അവസ്ഥ മാറുമ്പോൾ ഖര-ദ്രാവക അവസ്ഥകൾ ഒരുമിച്ച് താപസന്തുലനത്തിൽ നിലനിൽക്കുന്നു. ഖര-ദ്രാവക അവസ്ഥകൾ പരസ്പരം താപസന്തുലനത്തിൽ നിൽക്കുന്ന താപനിലയെ ദ്രവണാങ്കം (melting point) എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഇത് ഒരു വസ്തുവിന്റെ സവിശേഷതയാണ്. ഒരു സ്റ്റാൻഡേർഡ് അന്തരീക്ഷമർദത്തിൽ ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ ദ്രവണാങ്കത്തെ സാധാരണ ദ്രവണാങ്കം (normal melting point) എന്നുപറയുന്നു. ഐസിന്റെ ദ്രവീകരണ പ്രവർത്തനം മനസ്സിലാക്കാൻ നമുക്ക് താഴെപ്പറയുന്ന പ്രവർത്തനം ചെയ്യാം.

ഒരു ഐസ്കട്ട എടുക്കുക. ഒരു ലോഹകമ്പി എടുത്ത് അതിന്റെ രണ്ടഗ്രങ്ങളിലും 5 kg വീതമുള്ള രണ്ട് കട്ടകൾ ഉറപ്പിക്കുക. ചിത്രം 11.10 ൽ കാണുന്നതുപോലെ കമ്പിയെ ഐസ്കട്ടയുടെ മുകളിലൂടെ വയ്ക്കുക. കമ്പി ഐസ്കട്ടയ്ക്കുള്ളിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നത് നിങ്ങൾക്ക് നിരീക്ഷിക്കാൻ കഴിയുന്നു. കമ്പിയ്ക്കുതൊട്ടു താഴെയായി മർദം കൂടുതലുള്ളതിനാൽ അവിടെ ഐസ് താഴ്ന്ന താപനിലയിൽ ഉരുകുന്നതുകൊണ്ടാണിത് സംഭവിക്കുന്നത്. കമ്പി കടന്നുകഴിയുമ്പോൾ കമ്പിക്കു മുകളിലുള്ള ജലം വീണ്ടും തണുത്തുറയുന്നു. കമ്പി ഐസിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതിന്റെ കാരണം ഇതാണ്. ഇവിടെ ഐസ്കട്ട മുറിഞ്ഞു മാറുന്നതുമില്ല. വീണ്ടും തണുത്തുറയുന്ന (refreezing) ഈ പ്രതിഭാസത്തെ പുനർഹിമായനം (regel-ation) എന്നു പറയുന്നു. മഞ്ഞിലൂടെയുള്ള സ്കേറ്റിംഗ് (skating) സാധ്യമാകുന്നത് സ്കേറ്റ്സി (scates) നടിയിൽ ജലം രൂപീകൃതമാകുന്നതുകൊണ്ടാണ്. മർദം കൂടുന്നതിന്റെ ഫലമായിട്ട് ജലം രൂപീകൃതമാകുകയും ഇത് ഒരു സ്നേഹകം (lubricant) ആയി പ്രവർത്തിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.



ചിത്രം 11.10

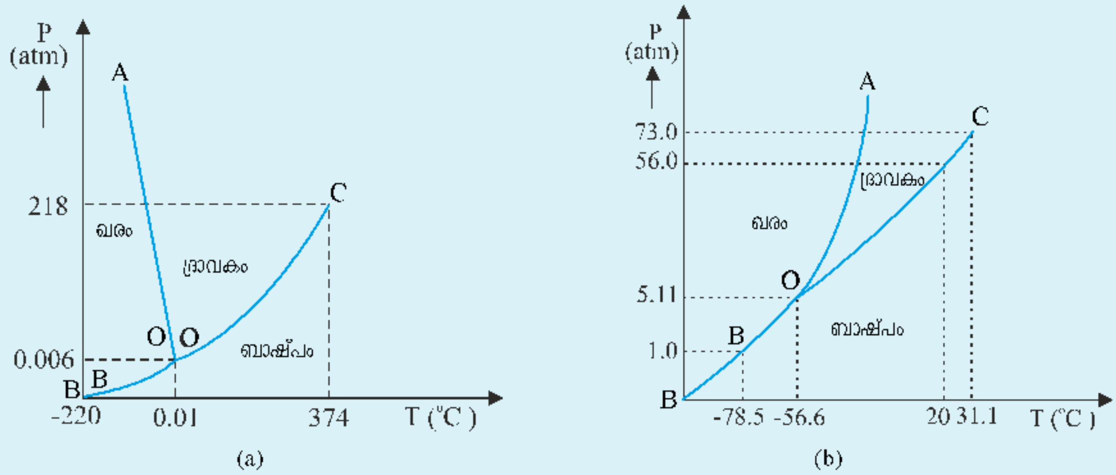
ഐസ് മുഴുവനും ജലമായി മാറിയതിനുശേഷം വീണ്ടും ചൂടാക്കൽ തുടരുക, $100^{0}C$ എത്തുന്നതുവരെ താപനില ഉയർന്നുകൊണ്ടിരിക്കും. താപനില വീണ്ടും $100^{0}C$ ൽ സ്ഥിരമായി നിലനിൽക്കും. ഇപ്പോൾ നൽക പ്പെടുന്ന താപം ജലത്തിന് ദ്രാവകാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് വാതകാവസ്ഥയിലേക്ക് മാറുന്നതിനായി ഉപയോഗിക്കുന്നു.

ദ്രാവകത്തിൽനിന്നും വാതകത്തിലേക്കുള്ള അവസ്ഥാ മാറ്റത്തെ ബാഷ്പീകരണം (vapourisation) എന്നുപറയുന്നു. മുഴുവൻ ദ്രാവകവും നീരാവിയായി മാറ്റപ്പെടുന്നതുവരെ താപനില സ്ഥിരമായി നിലനിൽക്കുന്നു. ദ്രാവകത്തിൽനിന്നും വാതകത്തിലേക്കുള്ള അവസ്ഥാമാറ്റത്തിൽ അതായത് പദാർഥത്തിന്റെ ദ്രാവകവാതക അവസ്ഥകൾ രണ്ടും താപസന്തുലനത്തിൽ നിലനിൽക്കുന്നു. പദാർഥത്തിന്റെ ദ്രാവക-വാതക അവസ്ഥകൾ ഒരുമിച്ചു നിലനിൽക്കുന്ന താപനിലയെ തിളനില (boiling point) എന്നു പറയുന്നു. ജലത്തിന്റെ തിളയ്ക്കൽ എന്ന പ്രവർത്തനം മനസ്സിലാക്കുവാൻ താഴെപ്പറയുന്ന പ്രവർത്തനം ചെയ്തുനോക്കാം.

ചുവടുരുണ്ട ഒരു ഫ്ളാസ്കിൽ പകുതിയിലധികം ജലം എടുക്കുക. ഇതിനെ ഒരു കോർക്കുപയോഗിച്ച് അടയ്ക്കുക (ചിത്രം 11.11) ൽ കാണുന്നതുപോലെ ഒരു തെർമോമീറ്ററും നീരാവി കടന്നുപോകുന്നതിനുള്ള ഒരു ട്യൂബും ഇതിന്റെ കോർക്കിലൂടെ കടത്തിവയ്ക്കുക. ഫ്ളാസ്ക്കിലെ ജലം ചൂടാകുന്നതിനനുസരിച്ച് ജലത്തിൽ ലയിച്ചിരിക്കുന്ന വായു ചെറിയ കുമിളകളായി പുറത്തുവരുന്നത് ആദ്യം കാണാം. പിന്നീട് നീരാവിയുടെ കുമിളകൾ അടിയിൽ രൂപം കൊള്ളുകയും അവ ഉയർന്ന് മുകളിലുള്ള തണുത്ത ജലത്തിനടുത്ത് എത്തുകയും അവ അപ്രത്യക്ഷമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒടുവിൽ മുഴുവൻ ജലത്തിന്റേയും താപനില $100°C$ ൽ എത്തിച്ചേരുകയും ഉപരിതലത്തിൽ നീരാവിയുടെ കുമിളകൾ എത്തു

ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ് (Triple Point)

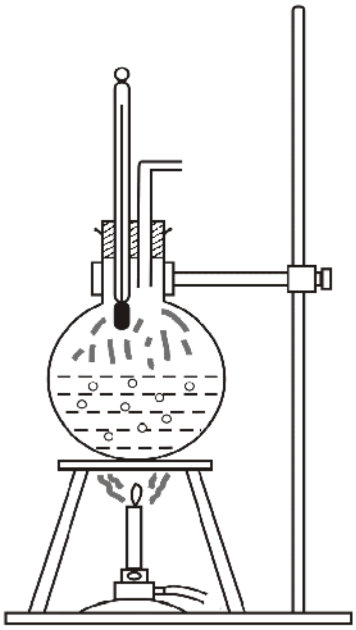
അവസ്ഥാമാറ്റം നടക്കുമ്പോൾ ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ താപനില T യും മർദം P യും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫിനെ ഫേസ് ഡയഗ്രം അല്ലെങ്കിൽ $P - T$ ഡയഗ്രം എന്നുപറയുന്നു. ജലത്തിന്റെയും CO_2 ന്റെയും ഫേസ് ഡയഗ്രങ്ങൾ താഴെ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. അങ്ങനെയുള്ള ഒരു ഫേസ് ഡയഗ്രം $P - T$ തലത്തെ ഖരഭാഗം, ദ്രാവകഭാഗം, വാതകഭാഗം എന്നിങ്ങനെ ഭാഗിക്കുന്നു. ഈ ഭാഗങ്ങളെ വേർതിരിക്കുന്ന ഗ്രാഫുകളാണ് ദ്രവീകരണഗ്രാഫ് (**fusion curve.** AO), ബാഷ്പീകരണഗ്രാഫ് (vapourisation curve CO) സബ്ലിമേഷൻ ഗ്രാഫ് (sublimation curve) ഉൽപതന ഗ്രാഫിലെ ബിന്ദുക്കൾ ഒരേ സമയം ഖരദ്രാവകഫേസുകൾ ആർജിക്കുവാൻ കഴിയുന്ന അവസ്ഥയെ കാണിക്കുന്നു. ബാഷ്പീകരണഗ്രാഫ് CO യിലെ ബിന്ദുക്കൾ ദ്രാവക-വാതകഫേസുകൾ ഒരുമിച്ചു നിലനിൽക്കുന്ന അവസ്ഥകളാണ്. ദ്രവീകരണഗ്രാഫ്, ബാഷ്പീകരണ ഗ്രാഫ്, സബ്ലിമേഷൻ ഗ്രാഫ് ഇവ കൂട്ടിമുട്ടുന്ന ബിന്ദുവിൽ മൂന്ന് ഫേസുകളും ഒരുമിച്ചു നിലനിൽക്കുന്നു. ഈ ഭാഗത്തെ താപനില, മർദം എന്നിവയെ പദാർഥത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റെന്നുപറയുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ് 273.16 K താപനിലയിലും $6.11 \times 10^{-3}\ Pa$ മർദത്തിലുമാണ്.



മർദ-താപനിലഫേസ് ഡയഗ്രങ്ങൾ (a) ജലം (b) CO_2

B

കയും ജലം തിളയ്ക്കാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. ഫ്ളാസ്ക്കിനുള്ളിലെ നീരാവി കാണാൻ കഴിയുന്നില്ല എന്നാൽ ഫ്ളാസ്ക്കിൽനിന്നും പുറത്തേക്കു വരുമ്പോൾ ഇത് ചെറിയ ജലത്തുള്ളികളായി ഘനീഭവിക്കുകയും മഞ്ഞിന്റെ പ്രതീതി ഉണ്ടാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.



ചിത്രം 11.11 തിളയ്ക്കൽ പ്രതിഭാസം

ഫ്ളാസ്ക്കിനുള്ളിലെ മർദം കൂട്ടുന്നതിനായി നീരാവി പുറത്തേക്കു വരുന്ന ട്യൂബ് കുറച്ചു സെക്കന്റ് സമയത്തേക്ക് അടയ്ക്കുകയാണെങ്കിൽ, തിളയ്ക്കൽ നിൽക്കുന്നത് നിങ്ങൾക്കു കാണാൻ കഴിയും. വീണ്ടും തിളയ്ക്കൽ ആരംഭിക്കുന്നതിനുമുമ്പ് താപനില ഉയർത്തുന്നതിനായി (മർദവർധനവിനനുസരിച്ച്) കൂടുതൽ താപം ആവശ്യമായിവരും. അതുകൊണ്ട് മർദം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് തിളനില വർധിക്കുന്നു.

ഇനി ബർണർ നീക്കം ചെയ്യാം. ജലത്തെ 80 °C വരെ തണുക്കാൻ അനുവദിക്കുക. തെർമോമീറ്ററും നീരാവി പുറത്തേക്കുവരുന്നതിനുള്ള ട്യൂബും നീക്കം ചെയ്യുക. ഫ്ളാസ്ക്കിനെ വായു കടത്തിവിടാത്ത ഒരു കോർക്ക് കൊണ്ട് അടയ്ക്കുക. ഫ്ളാസ്ക്കിനെ സ്റ്റാൻഡിൽ തല കീഴായി വയ്ക്കുക. ഐസ് പോലെ തണുത്തജലം ഫ്ളാസ്ക്കിലേക്ക് ഒഴിക്കുക. ഫ്ളാസ്കിനുള്ളിലെ ആവി ജലമായി മാറുന്നതിനാൽ ഫ്ളാസ്ക്കിനുള്ളിലെ ജലപ്രതലത്തിന്റെ മർദം കുറയുന്നു. ജലം വീണ്ടും ഒരു താഴ്ന്ന താപനിലയിൽ തിളയ്ക്കാൻ തുടങ്ങുന്നു. മർദം കുറയുമ്പോൾ തിളനിലയും കുറയുന്നുവെന്നാണ് ഇത് കാണിക്കുന്നത്.

എന്തുകൊണ്ടാണ് പർവത പ്രദേശങ്ങളിൽ പാചകം ചെയ്യുന്നത് പ്രയാസമാകുന്നതെന്ന് ഇത് വിശദീകരിക്കുന്നു. വലിയ ഉയരങ്ങളിൽ, അന്തരീക്ഷമർദം കുറയുന്നതിന്റെ ഫലമായി ജലത്തിന്റെ തിളനില സമുദ്രനിരപ്പിലുള്ളതിനേക്കാൾ കുറയുന്നു. നേരേമറിച്ച് പ്രഷർകുക്കറിനുള്ളിൽ മർദം കൂടുന്നതിന്റെ ഫലമായി തിളനിലയും കൂടുന്നു. അതുകൊണ്ട് പാചകം എളുപ്പമാകുന്നു. സാധാരണ അന്തരീക്ഷമർദത്തിലുള്ള ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ തിളനിലയെ സാധാരണ തിളനില (normal boiling point) എന്നു പറയുന്നു.

എല്ലാ പദാർഥങ്ങളും ഖരം-ദ്രാവകം-വാതകം എന്നീ മൂന്ന് അവസ്ഥകളിലൂടെ കടന്നുപോകണമെന്നില്ല. ചില വസ്തുക്കൾ ചിലപ്പോൾ ഖരാവസ്ഥയിൽനിന്ന് നേരിട്ട് വാതകാവസ്ഥയിലേക്കും തിരിച്ചും കടന്നുപോകുന്നു. ദ്രാവകാവസ്ഥയിലേക്ക് കടക്കാതെ ഖരാവസ്ഥയിൽ നിന്ന് നേരിട്ട് വാതകാവസ്ഥയിലേക്ക് പോകുന്നതിനെ സബ്ലിമേഷൻ (sublimation) എന്നും ഇത്തരം വസ്തുക്കളെ ഉൽപതനം (sublimation) സംഭവിക്കുന്നവ എന്നും പറയുന്നു. ഡ്രൈ ഐസ് (ഖരാവസ്ഥയിലുള്ള CO_2), അയോഡിൻ ഇവ ഉൽപതനം സംഭവിക്കുന്നവയാണ്. ഉൽപതനസമയത്ത് ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ ഖരാവസ്ഥയും വാതകാവസ്ഥയും താപസന്തുലനത്തിൽ നിലനിൽക്കുന്നു.

11.8.1 ലീനതാപം (Latent Heat)

ഒരു പദാർഥത്തിന് അവസ്ഥാമാറ്റം സംഭവിക്കുമ്പോൾ പദാർഥവും ചുറ്റുപാടുകളും തമ്മിൽ ഊർജം കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുമെന്ന് നിങ്ങൾ ഭാഗം 11.8 ൽ പഠിച്ചു. അവസ്ഥാമാറ്റം നടക്കാൻ യൂണിറ്റ് മാസുള്ള പദാർഥത്തിന് ആവശ്യമായ താപത്തെ ലീനതാപം എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, −10°C ലുള്ള നിശ്ചിത അളവുള്ള ഐസിലേക്ക് താപം കടത്തിവിട്ടാൽ അതിന്റെ താപനില ദ്രവണാങ്കത്തി (0°C) ൽ എത്തുന്നതുവരെ വർധിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഈ താപനിലയിൽ വീണ്ടും താപം നൽകിയാലും താപനില വർധിക്കാതെ ഐസ് ഉരുകുന്നു അല്ലെങ്കിൽ അവസ്ഥ മാറുന്നു. ഐസ് മുഴുവനും ഉരുകിക്കഴിയുമ്പോൾ, വീണ്ടും കൂടുതൽ താപം ചേർക്കപ്പെട്ടാൽ അത് ജലത്തിന്റെ താപനില വർധനയ്ക്ക് കാരണമാകുന്നു. ഐസ് ഉരുകുമ്പോഴുണ്ടായതിനു സമാനമായ സാഹചര്യം ദ്രാവക-വാതക അവസ്ഥാമാറ്റം തിളനില (boiling point) യിൽ നടക്കുമ്പോഴും ഉണ്ടാകുന്നു. തിളച്ച ജലത്തിലേക്ക് കൂടുതൽ താപം ചേർത്താൽ താപനില വ്യതിയാനം സംഭവിക്കാതെ ബാഷ്പീകരണം ഉണ്ടാകുന്നു.

പട്ടിക 11.5 സാധാരണ അന്തരീക്ഷ മർദത്തിൽ വ്യത്യസ്ത പദാർഥങ്ങളുടെ അവസ്ഥാമാറ്റ താപനിലകളും ലീനതാപങ്ങളും

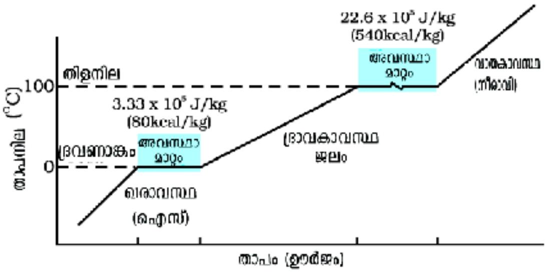
പദാർഥം	ദ്രവണാങ്കം (°C)	L_f (10^5 J kg^{-1})	തിളനില (°C)	L_v (10^5 J kg^{-1})
ഈഥൈൽ ആൽക്കഹോൾ	–114	1.0	78	8.5
സ്വർണം	1063	0.645	2660	15.8
ലെഡ്	328	0.25	1744	8.67
മെർക്കുറി	–39	0.12	357	2.7
നൈട്രജൻ	–210	0.26	–196	2.0
ഓക്സിജൻ	–219	0.14	–183	2.1
ജലം	0	3.33	100	22.6

അവസ്ഥാമാറ്റത്തിന് ആവശ്യമായ താപം, അവസ്ഥാമാറ്റത്തിനു വിധേയമാകുന്ന വസ്തുവിന്റെ മാസിനു ആനുപാതികമാണ്. m മാസമുള്ള ഒരു പദാർഥം ഒരു അവസ്ഥയിൽനിന്ന് മറ്റൊന്നിലേക്ക് മാറുമ്പോൾ ആവശ്യമായ താപത്തിന്റെ അളവ്

$$Q \quad m L$$

$$L \quad Q/m \tag{11.13}$$

ഇവിടെ L എന്നത് ലീനതാപം എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇത് പദാർഥത്തിന്റെ ഒരു സവിശേഷത ആണ്. ഇതിന്റെ SI യൂണിറ്റ് J kg^{-1} ആകുന്നു. L ന്റെ വില മർദത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു. സാധാരണയായി ഇതിന്റെ വില നൽകുന്നത് സ്റ്റാൻഡേർഡ് അന്തരീക്ഷ മർദത്തിലാണ്. ഖര-ദ്രാവക അവസ്ഥാമാറ്റത്തിനാവശ്യമായ ലീനതാപത്തെ ദ്രവീകരണ ലീനതാപം (latent heat of fusion) (L_f) എന്നും ദ്രാവക-വാതക അവസ്ഥാമാറ്റത്തിനാവശ്യമായ ലീനതാപത്തെ ബാഷ്പീകരണ ലീനതാപം (latent heat of vaporisation) (L_v) എന്നും പറയുന്നു. ഇവ മിക്കവാറും ദ്രവീകരണതാപം, ബാഷ്പീകരണതാപം എന്നിങ്ങനെ അറിയപ്പെടുന്നു. ഒരു നിശ്ചിത അളവ് ജലത്തിന്റെ താപനിലയും താപോർജവും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ് ചിത്രം 11.12 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ചില പദാർഥങ്ങളുടെ ലീനതാപങ്ങൾ, അവയുടെ ദ്രവണാങ്കം, തിളനിലകൾ എന്നിവ പട്ടിക 11.5 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.



ചിത്രം 11.12 ഒരു അന്തരീക്ഷമർദത്തിൽ താപനിലയും താപവും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

അവസ്ഥാമാറ്റത്തിനുവേണ്ടി താപം കൈമാറ്റം നടക്കുന്നുണ്ടെങ്കിലും, താപനില സ്ഥിരമായി നിലനിൽക്കുന്നു. ചിത്രം 11.12 ൽ ഫേസ്‌രേഖകളുടെ ചരിവുകൾ എല്ലാം ഒരേ പോലെയല്ല. വ്യത്യസ്ത അവസ്ഥകളിലെ വിശിഷ്ട താപധാരിതകൾ തുല്യമല്ല എന്നാണിത് അർഥമാക്കുന്നത്. ജലത്തിന്റെ ദ്രവീകരണ ലീനതാപം, ബാഷ്പീകരണ ലീനതാപം എന്നിവ യഥാക്രമം $L_f = 3.33 \times 10^5$ J kg^{-1}, $L_v = 22.6 \times 10^5$ J kg^{-1} ആകുന്നു. അതായത് 1 kg ഐസ് 0°C ൽ ഉരുകുന്നതിന് 3.33×10^5 J താപവും 1 kg ജലം 100°C ൽ ആവിയാകുന്നതിന് 22.6×10^5 J താപവും ആവശ്യമാണ്. അതുകൊണ്ട് 100°C ഉള്ള നീരാവിയിൽ 100°C ൽ ഉള്ള വെള്ളത്തേക്കാൾ 22.6×10^5 J kg^{-1} കൂടുതൽ താപോർജമുണ്ടാകും.

ഉദാഹരണം 11.4 0°C ലുള്ള 0.15 kg ഐസും 50°C ലുള്ള 0.30 kg ജലവും ഒരു പാത്രത്തിൽ വച്ച് മിശ്രണം ചെയ്തപ്പോൾ പരിണിത താപനില 6.7 °C ആകുന്നു. ഐസിന്റെ ദ്രവീകരണലീനതാപം കാണുക. ($s_{water} = 4186$ J kg^{-1} K^{-1})

ഉത്തരം

ജലത്തിനുണ്ടാകുന്ന താപനഷ്ടം = $m s_w (\theta_f - \theta_i)_w$

– (0.30 kg) (4186 J kg^{-1} K^{-1}) (50.0°C – 6.7 °C)

– 54376.14 J

ഐസ് ഉരുകാനാവശ്യമായ താപം – $m_2 L_f$ – (0.15 kg) L_f

ഐസ് വെള്ളത്തിന്റെ താപനില 6.7 °C ലെത്തിക്കാനാവശ്യമായ താപം – $m_I s_w (\theta_f - \theta_i)_I$

– (0.15 kg) (4186 J kg^{-1} K^{-1}) (6.7°C 0°C)

– 4206.93 J

താപനഷ്ടം = താപലാഭം

54376.14 J – (0.15 kg) L_f 4206.93 J

L_f – 3.34×10^5 J kg^{-1}.

ഉദാഹരണം 11.5 –12°C ൽ കലോറിമീറ്ററിൽ സൂക്ഷിച്ചിരിക്കുന്ന 3 kg ഐസ് 100°C ലുള്ള ആവിയായി മാറുന്നതിനാവശ്യമായ താപം കണക്കാക്കുക. ഐസിന്റെ വിശിഷ്ട

താപധാരിത = 2100 J kg $^{-1}$K $^{-1}$, ജലത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത = 4186 J kg $^{-1}$ K $^{-1}$, ഐസിന്റെ ദ്രവീകരണ ലീനതാപം = 3.35×10^5 J kg $^{-1}$ നീരാവിയുടെ ബാഷ്പീകരണലീനതാപം = 2.256×10^6 J kg $^{-1}$, എന്നിങ്ങനെയാണ്.

ഉത്തരം

ഐസിന്റെ മാസ്, m − 3 kg

ഐസിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത, s_{ice}

− 2100 J kg $^{-1}$ K $^{-1}$

ജലത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത, s_{water}

− 4186 J kg $^{-1}$ K $^{-1}$

ഐസിന്റെ ദ്രവീകരണലീനതാപം, L_{ice}

− 3.35×10^5 J kg $^{-1}$

നീരാവിയുടെ ബാഷ്പീകരണ ലീനതാപം, L_{steam}

− 2.256×10^6 J kg $^{-1}$

താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ഊർജ്ജ കൈമാറ്റങ്ങളെ പരിഗണിക്കാം.

Q − 3 kg ഐസ് 12°C ൽ നിന്ന് 100°C ലുള്ള ആവിയാകുന്നതിന് ആവശ്യമായ താപം

Q_1 − 12°C ലുള്ള ഐസിനെ 0°C ലുള്ള ഐസാക്കി മാറ്റാൻ ആവശ്യമായ താപം

− $m\, s_{ice}\, \Delta T_1$ − (3 kg) (2100 J kg^{-1} K^{-1}) [0–(–12)]°C − 75600 J

Q_2 − 0°C ലുള്ള ഐസിനെ 0°C ലുള്ള ജലമാക്കി മാറ്റാൻ ആവശ്യമായ താപം

= $m\, L_{f\,ice}$ − (3 kg) (3.35×10^5 J kg $^{-1}$)

− 1005000 J

Q_3 − ജലത്തെ 0°C ൽ നിന്ന് 100°C ലേക്ക് മാറ്റാനാവശ്യമായ താപം

= $ms_w\, \Delta T_2$ − (3kg) (4186J kg $^{-1}$ K $^{-1}$) (100 C)

− 1255800 J

Q_4 − 100°C ലുള്ള ജലത്തെ 100°C ലുള്ള നീരാവിയാക്കി മാറ്റാൻ ആവശ്യമായ താപം

$m\, L_{steam}$ − (3 kg) (2.256×10^6 J kg^{-1})

− 6768000 J

അതുകൊണ്ട്, Q − Q_1 Q_2 Q_3 Q_4

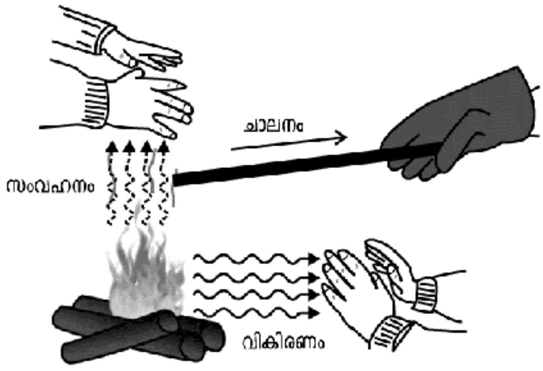
− 75600J + 1005000 J

1255800 J + 6768000 J

− 9.1×10^6 J ◀

11.9 താപപ്രേഷണം (Heat transfer)

ഒരു വസ്തുവിൽനിന്നും മറ്റൊരു വസ്തുവിലേക്കോ, ഒരു വസ്തുവിന്റെ ഒരു ഭാഗത്തുനിന്നും മറ്റൊരു ഭാഗത്തേക്കോ താപപ്രേഷണം നടക്കുന്നത് താപനില വ്യത്യാസത്തിന്റെ ഫലമായിട്ടാണെന്നു നമ്മൾ കണ്ടുകഴിഞ്ഞു. ഏതെല്ലാം വ്യത്യസ്തങ്ങളായ മാർഗങ്ങളിലൂടെയാണ് താപപ്രേഷണം നടക്കുന്നത്? മൂന്ന്തരം താപപ്രേഷണ രീതികൾ ഉണ്ട്. ചാലനം (conduction), സംവഹനം (convection), വികിരണം (radiation) (ചിത്രം 11.13).



ചിത്രം 11.13 ചാലനം, സംവഹനം, വികിരണം ഇവയുടെ ഫലമായുള്ള ചൂടുപിടിക്കൽ

11.9.1 ചാലനം (Conduction)

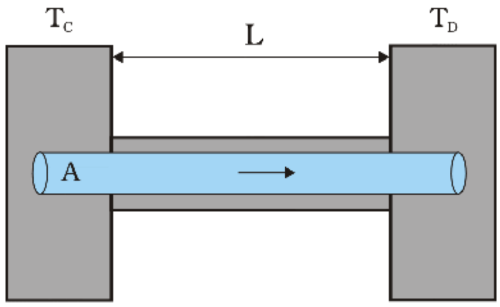
ഒരു വസ്തുവിന്റെ അടുത്തടുത്ത രണ്ട് ഭാഗങ്ങളുടെ താപനിലാ വ്യത്യാസത്തിന്റെ ഫലമായി താപം കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്ന രീതിയെ ചാലനം എന്നുപറയുന്നു. ഒരു ലോഹദണ്ഡിന്റെ ഒരഗ്രം തീജ്വാലയിൽ വച്ചിരിക്കുന്നതായി സങ്കൽപ്പിക്കുക. മറ്റേ അഗ്രം പെട്ടെന്നുതന്നെ ചൂട് പിടിക്കുകയും നിങ്ങൾക്ക് കൈകൾകൊണ്ട് അതിനെ പിടിക്കാൻ കഴിയാതെ വരുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇവിടെ ചാലനത്തിന്റെ ഫലമായി ദണ്ഡിന്റെ ചൂടുള്ള അഗ്രത്തിൽ നിന്നും വിവിധ ഭാഗങ്ങളിലൂടെ മറ്റേ അഗ്രത്തിലേക്ക് താപകൈമാറ്റം നടക്കുന്നു. വാതകങ്ങൾ താരതമ്യേന മോശം താപചാലകങ്ങൾ ആണ്. എന്നാൽ ദ്രാവകങ്ങളുടെ ചാലകത ഖരങ്ങൾക്കും വാതകങ്ങൾക്കും ഇടയിലായിട്ടാണ്.

പരിമാണപരമായി, തന്നിരിക്കുന്ന താപനിലാ വ്യത്യാസത്തിൽ ഒരു വസ്തുവിന്റെ താപചാലകതയെ താപപ്രസരണത്തിന്റെ സമയാധിഷ്ഠിത നിരക്കായി പ്രതിപാദിക്കാം. L നീളവും A സമച്ഛേദതല പരപ്പളവുമുള്ള ഒരു ലോഹദണ്ഡിന്റെ രണ്ടഗ്രങ്ങളും വ്യത്യസ്ത താപനിലയിലാണെന്ന് സങ്കൽപ്പിക്കുക. ഇത് സാധ്യമാകണമെങ്കിൽ ചിത്രം 11.14 ൽ കാണുന്നതുപോലെ ദണ്ഡിന്റെ രണ്ടഗ്രങ്ങളും യഥാക്രമം T_C, T_D താപനിലകൾ ഉള്ള രണ്ട് താപറിസർവോയറുകളിൽ വയ്ക്കുക. ഈ ദണ്ഡിന്റെ രണ്ടുവശങ്ങളും പൂർണമായും ഇൻസുലേഷൻ ചെയ്ത് വശങ്ങളും ചുറ്റുപാടുകളും തമ്മിൽ യാതൊരു താപകൈമാറ്റവും ഇല്ലാത്ത ഒരു ആദർശ അവസ്ഥ (ideal situation) നമുക്ക് സങ്കൽപ്പിക്കാം.

കുറച്ചു സമയത്തിനുശേഷം, താപനിലകളുടെ ഒരു സ്ഥിരാവസ്ഥയിൽ ദണ്ഡ് എത്തിച്ചേരുന്നു. ദണ്ഡിന്റെ താപനില T_C യിൽ നിന്നു T_D യിലേക്ക് അകലത്തിനനുസരിച്ച് ക്രമമായി കുറയുകയും അവ സ്ഥിരമൂല്യത്തിൽ നിൽക്കുകയും ചെയ്യുന്നു ($T_C > T_D$). C യിലുള്ള റിസർവോയർ സ്ഥിരമായ നിരക്കിൽ താപം പ്രേഷണം

ചെയ്യുകയും ഇത് ദണ്ഡിലൂടെ കടന്ന് അതേ നിരക്കിൽ D എന്ന സംഭരണിക്ക് ലഭിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. സ്ഥിരാവസ്ഥയിൽ, താപ ഒഴുക്കിന്റെ (അല്ലെങ്കിൽ താപപ്രവാഹം) നിരക്ക് H, താപനിലാ വ്യതിയാനം ($T_C - T_D$) യ്ക്കും ഛേദതലപരപ്പളവ് A യ്ക്കും നേർ അനുപാതത്തിലും നീളം L ന് വിപരീതാനുപാതത്തിലുമായിരിക്കുമെന്ന് പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്.

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



ചിത്രം 11.14 ഒരു ദണ്ഡിലൂടെയുള്ള ചാലനത്തിന്റെ സ്ഥിരാവസ്ഥ. ദണ്ഡിന്റെ രണ്ടഗ്രങ്ങളും T_C, T_D എന്നീ താപനിലകളിൽ സ്ഥിരമായി വച്ചിരിക്കുന്നു.($T_C > T_D$).

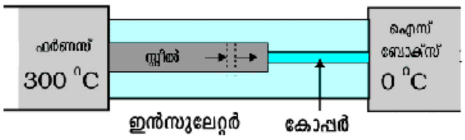
ആനുപാതിക സ്ഥിരാങ്കം K യെ പദാർഥത്തിന്റെ താപീയചാലകത (thermal conductivity) എന്നു പറയുന്നു. ഒരു പദാർഥത്തിന് K യുടെ വില കൂടുതലാണെങ്കിൽ അത് കൂടുതൽ നന്നായി താപത്തെ ചാലനം ചെയ്യും. K യുടെ യൂണിറ്റ് $J\,s^{-1}\,m^{-1}\,K^{-1}$ അല്ലെങ്കിൽ $W\,m^{-1}\,K^{-1}$ ആകുന്നു. വിവിധ വസ്തുക്കളുടെ താപചാലകതകൾ പട്ടിക 11.5 ൽ ലിസ്റ്റ് ചെയ്തിരിക്കുന്നു. ഈ വിലകൾ താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് ചെറിയ തോതിൽ മാറുന്നു. എന്നാൽ ഒരു സാധാരണ താപനില അന്തരത്തിൽ (temperature difference) ഇത് സ്ഥിരമാണെന്ന് പരിഗണിക്കാം.

താരതമ്യേന വലിയ താപചാലകതകൾ ഉള്ള നല്ല താപചാലകങ്ങളായ ലോഹങ്ങളും താരതമ്യേന ചെറിയ താപചാലകതകൾ ഉള്ള തടി, ഗ്ലാസ്, കമ്പിളി തുടങ്ങിയവ നല്ല താപ – ഇൻസുലേറ്ററുകളുമാണ്. പാചകപ്പാത്രങ്ങളുടെ അടിവശം കോപ്പർ ആവരണം ഉള്ളത് നിങ്ങൾ ശ്രദ്ധിച്ചുകാണുമല്ലോ? താപത്തിന്റെ ഒരു നല്ല ചാലകം ആയതുകൊണ്ട് പാത്രത്തിന്റെ അടിവശത്തുനിന്നും താപത്തെ എല്ലായിടത്തും ഒരേപോലെ വിതരണം ചെയ്ത് സമമായ പാചകം നടത്താൻ കോപ്പർ സഹായിക്കുന്നു. നേരേമറിച്ച് വായു അറകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നതിനാൽ പ്ലാസ്റ്റിക് ഫോം വസ്തുക്കൾ നല്ല ഇൻസുലേറ്ററുകളാകുന്നു. വാതകങ്ങൾ മോശം ചാലകങ്ങളാണെന്ന് ഓർമിക്കുക. പട്ടിക 11.6 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന വായുവിന്റെ താഴ്ന്ന താപചാലകത ശ്രദ്ധിക്കുക. താപആഗിരണവും പ്രേഷണവും നമുക്ക് പരിമിതങ്ങളായ അനേകം കാര്യങ്ങൾക്ക് അത്യാവശ്യമാണ്. കോൺക്രീറ്റ് മേൽക്കൂരയാൽ നിർമിക്കപ്പെട്ട കെട്ടിടങ്ങൾ വേനൽക്കാലത്ത് വളരെ ചൂടുള്ളതായി തോന്നുന്നതിനുകാരണം കോൺക്രീറ്റിന്റെ താപചാലകത ചെറുതല്ലാത്തതിനാലാണ് (ലോഹങ്ങളെക്കാൾ കുറവാണെങ്കിൽപ്പോലും) അതുകൊണ്ട് സാധാരണയായി സീലിംഗുകളിൽ മണ്ണുകൊണ്ടോ അല്ലെങ്കിൽ ഇൻസുലേഷൻ പദാർഥങ്ങൾ കൊണ്ടോ ഉള്ള ഒരു ആവരണം ഉണ്ടാക്കി താപപ്രേഷണം തടഞ്ഞ് മുറികളെ തണുപ്പുള്ളതാക്കി വയ്ക്കാറുണ്ട്. ചില സാഹചര്യങ്ങളിൽ താപപ്രേഷണം വളരെ ആവശ്യമായി വരുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് ന്യൂക്ലിയർഫിഷന്റെ ഫലമായി ഒരു ആണവനിലയത്തിന്റെ കോറിൽ ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന വലിയ അളവിലുള്ള ഊർജത്തെ വളരെ വേഗത്തിൽ പുറത്തേയ്ക്ക് കടത്തിവിട്ട് കോറുകൾ അമിതമായി ചൂടാകുന്നതിൽ നിന്നും തടയുന്നത് താപപ്രേഷണമാണ്.

പട്ടിക 11.6 ചില പദാർഥങ്ങളുടെ താപചാലകത

പദാർഥങ്ങൾ	താപചാലകത ($J\,s^{-1}\,m^{-1}\,K^{-1}$)
ലോഹങ്ങൾ	
സിൽവർ	406
കോപ്പർ	385
അലൂമിനിയം	205
ബ്രാസ്സ്	109
സ്റ്റീൽ	50.2
ലെഡ്	34.7
മെർക്കുറി	8.3
അലോഹങ്ങൾ	
ഇൻസുലേറ്റിംഗ് ചുടുകട്ട	0.15
കോൺക്രീറ്റ്	0.8
ശരീരത്തിലെ കൊഴുപ്പ്	0.20
കമ്പിളി	0.04
ഗ്ലാസ്സ്	0.8
ഐസ്	1.6
ഗ്ലാസ്സ് നാരുകൾ	0.04
തടി	0.12
ജലം	0.8
വാതകങ്ങൾ	
വായു	0.024
ആർഗൺ	0.016
ഹൈഡ്രജൻ	0.14

ഉദാഹരണം 11.6 ചിത്രം 11.15 ൽ കാണുന്ന സിസ്റ്റത്തിൽ സറിരാവസ്ഥയിൽ സ്റ്റീൽ-കോപ്പർ ജംഗ്ഷനിലെ താപനില എന്ത്? സ്റ്റീൽ ദണ്ഡിന്റെ നീളം = 15.0 cm, കോപ്പർ ദണ്ഡിന്റെ നീളം = 10.0 cm, ഫർണസിന്റെ താപനില = 300°C, മറ്റേ അറ്റത്തെ താപനില = 0°C. സ്റ്റീൽ ദണ്ഡിന്റെ ഛേദതല പരപ്പളവ് കോപ്പർ ദണ്ഡിന്റെ ഇരട്ടി ആകുന്നു. (സ്റ്റീലിന്റെ താപ ചാലകത = 50.2 J s^{-1} m^{-1}K^{-1}; ഉം കോപ്പറിന്റെ താപ ചാലകത = 385 J s^{-1}m^{-1}K^{-1}).



ചിത്രം 11.15

ഉത്തരം: ദണ്ഡിനുചുറ്റുമുള്ള ഇൻസുലേറ്റിംഗ് പദാർഥങ്ങൾ ദണ്ഡിന്റെ വശങ്ങളിൽ നിന്നുള്ള താപനഷ്ടം കുറയ്ക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട്, താപം ദണ്ഡിന്റെ നീളത്തിൽക്കൂടി മാത്രം ഒഴുകുന്നു. ദണ്ഡിന്റെ ഏതെങ്കിലും ഛേദതലം പരിഗണിക്കുക. സ്ഥിരാവസ്ഥയിൽ ഒരു എലിമെന്റിലേക്ക് ഒഴുകുന്ന താപവും അവിടെ നിന്നും പുറത്തു കടക്കുന്ന താപവും തുല്യമായിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് സറിരാവസറയിൽ ദണ്ഡിന്റെ ഓരോ ഛേദതലത്തിനും കുറുകെയുള്ള താപഒഴുക്കിന്റെ നിരക്ക് സ്റ്റീൽ-കോപ്പർ ദണ്ഡിന്റെ നീളത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിലും തുല്യമായിരിക്കും. സറിരാവസറയിൽ സ്റ്റീൽ-കോപ്പർ ജംഗ്ഷനിലെ താപനില T ആണെന്നിരിക്കട്ടെ. അപ്പോൾ,

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

ഇവിടെ 1, 2 എന്നത് യഥാക്രമം സ്റ്റീലിന്റേയും കോപ്പറിന്റെയും ദണ്ഡുകളെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

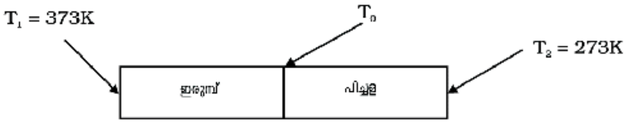
$A_1 = 2A_2$, $L_1 = 15.0$cm, $L_2 = 1.0$cm, $K_1 = 5.2$Js^{-1} m^{-1}K^{-1}, $K_2 = 385$Js^{-1}m^{-1}K^{-1},

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

$T = 44.4\,^{\circ}$C

ഉദാഹരണം 11.7 ഒരു ഇരുമ്പ് ദണ്ഡും ($L_1 = 0.1$ m, $A_1 = 0.02$ m^2, $K_1 = 79$ W m^{-1} K^{-1}) ബ്രാസ്സ് ദണ്ഡും ($L_2 = 0.1$ m, $A_2 = 0.02$ m^2, $K_2 = 109$ W m^{-1}K^{-1}) ചിത്രം 11.16 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒന്നിനു പിന്നാലെ ഒന്നായി സോൾഡർ ചെയ്തിരിക്കുന്നു. ഇരുമ്പ് ദണ്ഡിന്റേയും പിച്ചള ദണ്ഡിന്റേയും അഗ്രങ്ങൾ യഥാക്രമം 373 K, 273 K ആയി നിലനിർത്തിയിരിക്കുന്നു. (i) രണ്ടു ദണ്ഡുകളുടെയും ജംഗ്ഷനിലെ താപനില (ii) യുഗ്മദണ്ഡിന്റെ സഫല താപചാലകത, (iii) യുഗ്മദണ്ഡിലൂടെയുള്ള താപപ്രവാഹം ഇവയുടെ സമവാക്യം രൂപീകരിച്ച് വിലകൾ കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം



ചിത്രം 11.16

തന്നിരിക്കുന്നത്,

$L_1 = L_2 = L = 0.1$ m, $A_1 = A_2 = A = 0.02$ m^2

$K_1 = 79$ W m^{-1} K^{-1}, $K_2 = 109$ W m^{-1} K^{-1}, $T_1 = 373$ K, $T_2 = 273$ K.

സ്ഥിരാവസ്ഥയിൽ ഇരുമ്പ് ദണ്ഡിലൂടെയുള്ള താപ പ്രവാഹവും പിച്ചള ദണ്ഡിലൂടെയുള്ള താപപ്രവാഹവും തുല്യമാകുന്നു.

അതുകൊണ്ട്, $H = H_1 = H_2$

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

$A_1 = A_2 = A$ ഉം $L_1 = L_2 = L$, ഉം ആയാൽ, ഈ സമവാക്യം

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

അതുകൊണ്ട് രണ്ട് ദണ്ഡിലേയും ജംഗ്ഷൻ താപനില T_0

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

ഈ സമവാക്യം ഉപയോഗിച്ച്, ഓരോ ദണ്ഡിലൂടെയുമുള്ള താപപ്രവാഹം

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

$$= \left(\frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}\right) \frac{A (T_1 - T_0)}{L} = \frac{A (T_1 - T_2)}{L\left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}\right)}$$

ഈ സമവാക്യങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച്, $L_1 + L_2 = 2L$ നീളമുള്ള യുഗ്മദണ്ഡിലൂടെയുള്ള താപപ്രവാഹം H' ആണെങ്കിൽ യുഗ്മദണ്ഡിന്റെ സഫലതാപീയചാലകത, K'

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

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

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

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

$$= 315\ \mathrm{K}$$

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

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

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

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

$$= \frac{(91.6\ \mathrm{W\,m^{-1}K^{-1}}) \times (0.02\ \mathrm{m^2}) \times (373\ \mathrm{K} - 273\ \mathrm{K})}{2 \times (0.1\ \mathrm{m})}$$

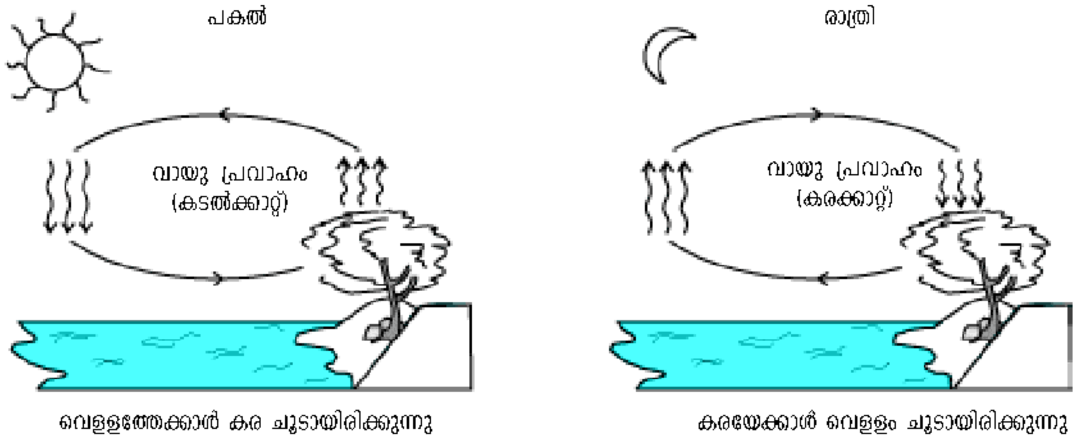
$$= 916.1\ \mathrm{W}$$

11.9.2 സംവഹനം (Convection)

സംവഹനം എന്നത് ദ്രവ്യത്തിന്റെ യഥാർഥ ചലനം കൊണ്ടുള്ള താപപ്രേഷണ രീതിയാണ്. ഇത് ദ്രവങ്ങളിൽ മാത്രമേ സാധ്യമാകുന്നുള്ളൂ. സംവഹനം ഉണ്ടാകുന്നത് സ്വാഭാവികമായോ പ്രേരിതമായോ ആകാം. സ്വാഭാവിക സംവഹനത്തിൽ ഗ്രാവിറ്റിക്ക് ഒരു പ്രധാന പങ്കുണ്ട്. ഒരു ദ്രവത്തെ ഏറ്റവും അടിയിൽനിന്ന് ചൂടാക്കുമ്പോൾ, ചൂടാകുന്ന ഭാഗം വികസിച്ച് സാന്ദ്രത (density) കുറയുന്നു. പ്ലവനത്തിന്റെ ഫലമായി ഇത് ഉയരുകയും മുകളിലുള്ള താരതമ്യേന തണുത്ത ഭാഗങ്ങൾ താഴോട്ടു വരികയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെ വരുന്ന ഭാഗങ്ങൾ വീണ്ടും ചൂടാക്കപ്പെടുന്നു, അതുവഴി മുകളിലേക്ക് ഉയരുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ പ്രവർത്തനം തുടരുന്നു. ഇത്തരം താപപ്രേഷണം ചാലനത്തിൽ നിന്നും വളരെയേറെ വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ദ്രവത്തിന്റെ വിവിധഭാഗങ്ങളിൽ മൊത്തമായി ഉണ്ടാകുന്ന ചലനം മൂലമാണ് സംവഹനം സാധ്യമാകുന്നത്. പ്രേരിത സംവഹനത്തിൽ പദാർഥങ്ങൾ ഒരു പമ്പിന്റെയോ മറ്റേതെങ്കിലും ഭൗതികസാഹചര്യങ്ങളുടെയോ സ്വാധീനത്താൽ ചലിക്കാൻ പ്രേരിപ്പിക്കപ്പെടുന്നു. തണുപ്പു രാജ്യങ്ങളിലെ വീടുകളിലെ പ്രേരിതവായു ചൂടാക്കൽ സംവിധാനങ്ങൾ, മനുഷ്യനിലെ രക്ത ചംക്രമണ വ്യവസ്ഥ, ഓട്ടോമൊബൈൽ എൻജിനുകളിലെ കൂളിംഗ് സിസ്റ്റം തുടങ്ങിയവ പ്രേരിത സംവഹനത്തിന്റെ ചില ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. മനുഷ്യശരീരത്തിൽ ഹൃദയം ഒരു പമ്പുപോലെ പ്രവർത്തിച്ച് രക്തത്തെ ശരീരത്തിന്റെ വിവിധ ഭാഗങ്ങളിലേക്ക് പമ്പുചെയ്യുമ്പോൾ, പ്രേരിതസംവഹന താപപ്രേഷണത്തിലൂടെ ശരീരത്തിൽ ഒരേ താപനില നിലനിർത്തുവാൻ കഴിയുന്നു.

നമുക്ക് പരിചിതമായ ഒട്ടേറെ പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കു കാരണം സ്വാഭാവികസംവഹനമാണ്. പകൽസമയത്ത്, കര ജലാശയങ്ങളേക്കാൾ പെട്ടെന്ന് ചൂടുപിടിക്കുന്നു. ഇതിനുകാരണം ജലത്തിന്റെ ഉയർന്ന വിശിഷ്ട താപധാരിതയും ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന താപം അവിടെയുണ്ടാകുന്ന ജലപ്രവാഹം മൂലം മറ്റു പ്രദേശങ്ങളിലേക്ക് കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്നതുമാണ്. ചൂടുള്ള കരയുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്ന വായു ചാലനത്തിന്റെ ഫലമായി ചൂടുപിടിക്കുന്നു. ഇത് വികസിക്കുകയും ചുറ്റുപാടുമുള്ള തണുത്ത വാതകത്തെ അപേക്ഷിച്ച് സാന്ദ്രത കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതിന്റെ ഫലമായി ചൂടുള്ള വായു പൊങ്ങുകയും (വാതകപ്രവാഹങ്ങൾ) തണുത്ത വായു (കാറ്റുകൾ) ഈ സ്ഥലത്ത് എത്തിച്ചേരുകയും അങ്ങനെ കടൽക്കാറ്റ് (sea breeze) ഉണ്ടാകുകയും ചെയ്യുന്നു. തണുത്ത വായു താഴേക്ക് വരുകയും ഒരു താപ സംവഹന ചക്രം ഉണ്ടാകുകയും ഇത് തറയിൽനിന്നുള്ള താപപ്രേഷണം ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു. രാത്രിയിൽ, കരയ്ക്ക് വേഗത്തിൽ താപം നഷ്ടപ്പെടുകയും ജലോപരിതലം കരയേക്കാൾ ചൂടുപിടിച്ചിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. തൽഫലമായി ഈ ചക്രം നേരെ തിരിഞ്ഞു സംഭവിക്കുന്നു. (ചിത്രം 11.17).

സ്വഭാവികസംവഹനത്തിനുള്ള മറ്റൊരുദാഹരണമാണ് വാണിജ്യവാതങ്ങൾ (trade winds) എന്നറിയപ്പെടുന്ന, ഭൂമിയുടെ വടക്ക്-കിഴക്ക് നിന്നും ഭൂമധ്യരേഖയിലേക്ക് വീശുന്ന സ്ഥിര ഉപരിതലവാതങ്ങൾ (steady surface winds). ഇതിന്റെ വിശദീകരണം താഴെപ്പറയും വിധമാണ്. ഭൂമധ്യരേഖാപ്രദേശങ്ങളും ധ്രുവപ്രദേശങ്ങളും സൗരതാപം സ്വീകരിക്കുന്നത് ഒരേപോലെയല്ല. ഭൂമിയുടെ പ്രതലത്തിൽ ഭൂമധ്യരേഖാപ്രദേശത്തിന് സമീപമുള്ള വായു ചൂടുപിടിക്കുമ്പോൾ ധ്രുവപ്രദേശത്തെ മുകളിലുള്ള അന്തരീക്ഷത്തിലെ വായു തണുത്തതായിരിക്കും. ഇതിനാൽ ഭൂമധ്യരേഖാപ്രദേശത്തെ വായു ഉയർന്ന് ധ്രുവങ്ങളിലേക്ക് ചലിക്കുകയും ഭൂമധ്യരേഖയിലേക്ക് കാറ്റുവീശുകയും ചെയ്യുന്നു. ഭൂമിയുടെ ഭ്രമണം ഈ സംവഹനപ്രവാഹത്തിന് മാറ്റം വരുത്തുന്നു. ഭൂമിയുടെ കറക്കം കാരണം ഭൂമധ്യരേഖയോട് അടുത്ത വായുവിന് കിഴക്ക് ദിശയിലേക്ക് 1600 km/h വേഗതയുണ്ടാകുന്നു. അതേസമയം ധ്രുവങ്ങളോട് അടുത്ത് ഇതിന്റെ വില പൂജ്യം ആകുന്നു. ഇതിന്റെ ഫലമായി ധ്രുവങ്ങളിലല്ല, മറിച്ച് 30° N അക്ഷാംശത്തിൽവച്ച് വായു താഴോട്ടിറങ്ങുകയും ഭൂമധ്യരേഖയിലേക്ക് തിരിച്ചുപോകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതിനെ വാണിജ്യവാതം (trade wind) എന്നു വിളിക്കുന്നു.



ചിത്രം 11.17 സംവഹന ചക്രങ്ങൾ (Convection cycles.)

11.9.3 വികിരണം (Radiation)

ചാലനം, സംവഹനം എന്നിവയ്ക്ക് ഏതെങ്കിലും താപവാഹിയായ പദാർഥം മാധ്യമമായി വർത്തിക്കുന്നു. ശൂന്യതയിൽ അകലത്തിലിരിക്കുന്ന രണ്ടു വസ്തുക്കൾക്കിടയിൽ ഈ താപപ്രേഷണ രീതികൾ സാധ്യമല്ല. പക്ഷേ സൂര്യനിൽ നിന്നുള്ള താപം ഒരു വലിയ ദൂരം കടന്ന് ഭൂമിയിലെത്തുന്നു. വായുവിന്റെ താപചാലനം മോശമാണെങ്കിലും, സംവഹനം തുടങ്ങുന്നതിനുമുമ്പു തന്നെ സമീപത്തുള്ള തീയുടെ ചൂട് നമുക്ക് അനുഭവപ്പെടുന്നു. താപപ്രേഷണത്തിന്റെ ഈ മൂന്നാം രീതിക്ക് മാധ്യമ rsâ B h i ywCÀ .CXrs\ h ri rcW -(radiation) മെന്നു വിളിക്കുന്നു. വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങൾ (electromagnetic wave) വഴിയാണ് ഇവിടെ താപോർജം പ്രേഷണം ചെയ്യപ്പെടുന്നത്. ഇങ്ങനെ വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളാൽ വികിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ഊർജത്തെ വികിരണോർജം എന്നുപറയുന്നു. ഒരു വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗത്തിൽ വൈദ്യുതകാന്തികമണ്ഡലങ്ങൾ സ്ഥലത്തിനും സമയത്തിനും അനുസൃതമായി ദോലനം ചെയ്യുന്നു. ഏതൊരു തരംഗത്തെപ്പോലെയും, വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗങ്ങൾക്ക് വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ ഉണ്ടാകാം. ഇവയ്ക്ക് ശൂന്യതയിൽ ഒരേവേഗതയിൽ സഞ്ചരിക്കാൻ കഴിയും. ഈ വേഗതയെ പ്രകാശപ്രവേഗം എന്നുപറയുന്നു. അതായത് $3 \times 10^8\ m\ s^{-1}$. ഈ കാര്യങ്ങളെക്കുറിച്ച് കൂടുതൽ വിശദമായി നിങ്ങൾക്കു പിന്നീട് പഠിക്കാം. വികിരണം മൂലമുള്ള താപപ്രേഷണത്തിന് യാതൊരു മാധ്യമത്തിന്റെയും ആവശ്യമില്ലാത്തത് എന്തുകൊണ്ട്? എന്തുകൊണ്ടാണ് ഇത് വളരെ വേഗത്തിൽ സാധ്യമാകുന്നത്? സൂര്യനിൽനിന്നുള്ള താപം ശൂന്യതയിലൂടെ ഭൂമിയിലേക്ക് എങ്ങനെ പ്രേഷണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു? വികിരണത്തെ കുറിച്ച് ഇത്തരം ധാരാളം ചോദ്യങ്ങൾ നമ്മുടെ മനസ്സിലുണ്ടാകാം. എല്ലാ വസ്തുക്കളും വികിരണോർജം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു. അവ ഖരമോ, ദ്രാവകമോ, വാതകമോ ആകാം. ഒരു ഫിലമെന്റ് ലാമ്പിൽ നിന്നുള്ള പ്രകാശം, അല്ലെങ്കിൽ ചൂടുപിടിച്ച ചുവന്ന ഇരുമ്പുകഷണം പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന വികിരണം എന്നിവയെപ്പോലെ ഉന്നത താപനിലയിലുള്ള ഒരു വസ്തു ഉൽസർജിക്കുന്ന വൈദ്യുത കാന്തികവികിരണങ്ങളെ താപവികിരണങ്ങൾ (thermal radiation) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ഈ താപവികിരണങ്ങൾ മറ്റു വസ്തുക്കളിൽ പതിക്കുമ്പോൾ, ഭാഗികമായി പ്രതിപതിക്കുകയും ഭാഗികമായി ആഗിരണം ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു വസ്തുവിന് വികിരണ രൂപത്തിൽ ആഗിരണം ചെയ്യാൻ കഴിയുന്ന താപത്തിന്റെ അളവ് വസ്തുവിന്റെ നിറത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു.

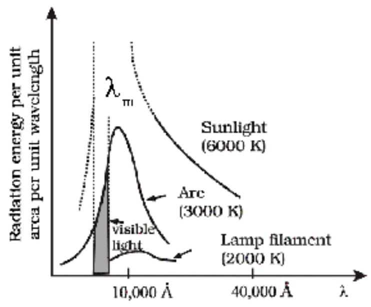
കറുത്ത വസ്തുക്കൾ ഇളംനിറങ്ങളിലുള്ള വസ്തുക്കളെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതൽ വികിരണോർജം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നുവെന്ന് നമുക്കറിയാം. ഈ വസ്തുതയ്ക്ക് നമ്മുടെ ദൈനംദിന ജീവിതത്തിൽ വളരെയധികം ഉപയോഗങ്ങൾ ഉണ്ട്. വേനൽക്കാലത്ത് നമ്മൾ വെളുത്തതോ ഇളംനിറത്തിലുള്ളതോ ആയ വസ്ത്രങ്ങൾ ധരിക്കുന്നതിനുകാരണം ഇവ സൂര്യനിൽനിന്നും ഏറ്റവും കുറവ് താപം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതാണ്. തണുപ്പ് കാലത്ത് നമ്മൾ ഇരുണ്ട നിറമുള്ള വസ്ത്രങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇരുണ്ട നിറമുള്ള വസ്ത്രങ്ങൾ സൂര്യനിൽ നിന്നും താപം ആഗിരണം ചെയ്ത് നമ്മുടെ ശരീരം ചൂടുള്ളതായി സൂക്ഷിക്കുന്നു. ചില പാചക പാത്രങ്ങളുടെ അടിവശം കറുത്തിരിക്കുന്നത് ശ്രദ്ധിച്ചിട്ടുണ്ടാവുമല്ലോ? തീ ജ്വാലയിൽ നിന്നും പരമാവധി താപം ആഗീരണം ചെയ്ത് അത് പാചകം ചെയ്യപ്പെടേണ്ട വസ്തുക്കൾക്ക് നൽകി പാചകം എളുപ്പമാക്കുവാൻ വേണ്ടിയാണ് ഇങ്ങനെ ചെയ്തിരിക്കുന്നത്.

അതുപോലെ, തെർമോ ഫ്ളാസ്ക് എന്നത് പാത്രത്തിനുള്ളിലെ വസ്തുക്കളും ചുറ്റുപാടുകളും തമ്മിലുള്ള താപപ്രേഷണം കുറയ്ക്കാനുള്ള ഒരു സംവിധാനമാണ്. ഇത് ഇരട്ട ഭിത്തിയുള്ള ഒരു പാത്രം ഉൾപ്പെടുന്നതാണ്.

പാത്രത്തിന്റെ അകത്തേയും പുറത്തേയും ഭിത്തികൾ താപവികിരണങ്ങളെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നു. അകത്തെ ഭിത്തിയിൽ നിന്നുള്ള വികിരണത്തെ പാത്രത്തിനുള്ളിലുള്ള വസ്തുക്കളിലേക്ക് തിരികെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നു. പുറത്തെ ഭിത്തി ഇതുപോലെ അകത്തേക്കു വരുന്ന വികിരണത്തെ തിരികെ പ്രതിപതിപ്പിക്കുന്നു. ഭിത്തികൾക്കിടയിലുള്ള സ്ഥലം വായുശൂന്യമാക്കപ്പെട്ടതിനാൽ ചാലനം, സംവഹനം ഇവയുടെ ഫലമായുള്ള താപനഷ്ടം കുറയ്ക്കുന്നു. ഫ്ളാസ്കിനെ കോർക്ക് പോലെയുള്ള ഒരു ഇൻസുലേറ്റർ ഉപയോഗിച്ചാണ് അതിന്റെ കവചങ്ങളിൽ ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്നത്. അതുകൊണ്ട് ഈ സംവിധാനം ചൂടുള്ള വസ്തുക്കൾ (പാലുപോലെയുള്ള) തണുക്കാതിരിക്കാനും അല്ലെങ്കിൽ ഐസ് പോലെയുള്ള തണുത്ത വസ്തുക്കളെ സംഭരിച്ചുവയ്ക്കാനും ഉപയോഗപ്രദമാണ്.

11.9.4 ബ്ലാക്ക്ബോഡി വികിരണം (Blackbody radiation)

താപവികിരണങ്ങളുടെ തരംഗദൈർഘ്യ സവിശേഷതകളെക്കുറിച്ചാണ് നാം ഇനി ചർച്ച ചെയ്യുന്നത്. ഏതെങ്കിലും ഒരു നിശ്ചിത തരംഗദൈർഘ്യമോ അല്ലെങ്കിൽ ഏതാനും തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളോ മാത്രമുള്ള വികിരണങ്ങളായിട്ടല്ല ഒരു പ്രത്യേക താപനിലയിൽ ഉള്ള ബ്ലാക്ക്ബോഡിയിൽ നിന്നും ഉത്ഭവിക്കുന്ന വികിരണങ്ങൾ കാണപ്പെടുന്നത്. മറിച്ച് ഈ തരംഗങ്ങളുടെ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ വളരെ ചെറിയ മൂല്യം മുതൽ വളരെ വലിയ മൂല്യം വരെ തുടർച്ചയായി വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്നവയാണ്. ഇത്തരണം വികിരണങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഓരോ തരംഗത്തിലെയും (ഓരോ തരംഗദൈർഘ്യത്തിലെയും) ഊർജവിതരണ രീതി വ്യത്യസ്തമാണ്. ഓരോ നിശ്ചിത താപനിലയിലും ഒരു ബ്ലാക്ക്ബോഡിയിൽ നിന്നും വരുന്ന വികിരണങ്ങളിൽ നടത്തിയ പരീക്ഷണങ്ങൾ വഴി ലഭിച്ച ഡാറ്റ (അളവുകൾ) ഉപയോഗിച്ച് വരച്ച ചിത്രം 11.18 ഇത് വ്യക്തമാക്കുന്നു. x അക്ഷത്തിൽ വികിരണ തരംഗദൈർഘ്യവും (λ) y അക്ഷത്തിൽ



ചിത്രം 11.18 വിവിധ താപനിലയിൽ ഒരു ബ്ലാക്ക്ബോഡിയിൽ നിന്നും വരുന്ന ഊർജവും തരംഗദൈർഘ്യവും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്

പ്രതലത്തിലെ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിൽ ലഭ്യമായ വികിരണോർജം പ്രതിയൂണിറ്റ് തരംഗദൈർഘ്യവുമാണ് രേഖപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ളത്.

ഗ്രാഫിൽ λm സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ഒരു പ്രത്യേക താപനിലയിൽ ഏറ്റവും കൂടുതൽ ഊർജം വഹിക്കുന്നതായി കാണപ്പെടുന്ന തരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യമാണ്. ഇവിടെ താപനില വർദ്ധിക്കുന്നതനുസരിച്ച് λm കുറയുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. താപനിലയും λm –ം തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ നിർവചിക്കുന്ന നിബന്ധനയാണ് വീൻസ് ഡിസ്പ്ലേസ്മെന്റ് നിയമം (Wien's Displacement Law). ഗണിതരൂപത്തിൽ ഈ നിയമത്തെ

λm T= ഒരു സ്ഥിരാങ്കം (11.15) എന്നെഴുതാം.

ഈ സ്ഥിരാങ്കം വീൻസ് സ്ഥിരാങ്കം (Wien's constant) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇതിന്റെ മൂല്യം 2.9×10^{-3}mK ആണ്. ഒരു ഇരുമ്പ് ദണ്ഡ് നന്നായി ചൂടാക്കുമ്പോൾ താപനില വർദ്ധിക്കുന്നതനുസരിച്ച് അതിന്റെ നിറം ചുവപ്പ്, ചുവപ്പ് കലർന്ന മഞ്ഞ, വെളുപ്പ് എന്നീ ക്രമത്തിൽ മാറുന്നതായി നാം കണ്ടിട്ടുണ്ടല്ലോ? ഈ വർണ്ണ വ്യതിയാനം എങ്ങനെ സംഭവിക്കുന്നുവെന്ന് വീൻസ് ഡിസ്പ്ലേസ്മെന്റ് നിയമം ഉപയോഗിച്ച് വളരെ എളുപ്പത്തിൽ വിശദീകരിക്കുവാൻ കഴിയും. സൂര്യചന്ദ്രന്മാരുടെയും നക്ഷത്രങ്ങളുടെയും പ്രതല താപനില നിർണ്ണയിക്കാനും ഇതേ നിയമം ഉപയോഗിച്ചു വരുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് ചന്ദ്രനിൽ നിന്നു വരുന്ന പ്രകാശത്തിൽ ഏറ്റവും കൂടുതൽ പ്രകാശ തീവ്രത കാപ്പെടുന്ന വികിരണ തരംഗത്തിന്റെ ഏകദേശ തരംഗദൈർഘ്യം 14μm ആണ്. വീൻസിന്റെ നിയമം ഉപയോഗിച്ച് ചന്ദ്രന്റെ ഉപരിതല താപനില ഏകദേശം 200K ആണെന്ന് കണക്കാക്കാം.

ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിലിരിക്കുന്ന ഒരു ബ്ലാക്ക്ബോഡിയുടെ A പരപ്പളവിൽ നിന്നും വരുന്ന വികിരണങ്ങളിലെ $\Delta\lambda$ തരംഗദൈർഘ്യ ഇടവേളയിലുള്ള തരംഗങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന വികിരണോർജം ΔE ആണെന്നിരിക്കട്ടെ. $\frac{\Delta E}{\Delta\lambda}/A$ ആണ് യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിലുള്ള വികിരണോർജം പ്രതിയൂണിറ്റ് തരംഗദൈർഘ്യം. എന്ന് കണക്കാക്കാനാകും. അതുപോലെ സൗരവികിരണങ്ങളുടെ $\lambda m = 4753$ Å ആണ്. അതുകൊണ്ട് ഇതേ നിയമം ഉപയോഗിച്ച് സൂര്യന്റെ പ്രതല താപനില T = 6060K ആണെന്ന് നിർണ്ണയിക്കാം.

ചിത്രം 11.18 ലെ ബ്ലാക്ക്ബോഡി വികിരണഗ്രാഫിൽ നിന്നും ലഭിക്കുന്ന നിഗമനങ്ങളുടെ ഏറ്റവും വലിയ പ്രത്യേകത അവ സാർവികമാണ് എന്നുള്ളതാണ്. അവ ബ്ലാക്ക്ബോഡിയുടെ വലുപ്പത്തെയോ, ആകൃതിയെയോ പ്രകൃതിയെയോ ആശ്രയിക്കാതെ കേവലം അതിന്റെ താപനിലയെ മാത്രം ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇരുപതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ തുടക്കത്തിൽ ബ്ലാക്ക്ബോഡി റേഡിയേഷനെ സൈദ്ധാന്തികമായി വിശദീകരിക്കാനുള്ള ശാസ്ത്രലോകത്തിന്റെ ശ്രമങ്ങൾ ക്വാണ്ടം ഭൗതീകത്തിലേക്കുള്ള വാതായനങ്ങൾ തുറന്നു.

മാധ്യമത്തിന്റെ അഭാവത്തിൽ പോലും ഒരു ദിക്കിൽ

നിന്നും മറ്റൊരു ദിക്കിലേക്ക് ഊർജ സംപ്രേഷണം നടത്തുവാൻ കഴിയും എന്ന് നാം മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ട്. (ശൂന്യതയിലൂടെയുള്ള ഊർജ പ്രസരണം) കേവല താപനില T K യിലുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും ഉണ്ടാകുന്ന ഇലക്ട്രോ മാഗ്നറ്റിക് വികിരണോർജം അതിന്റെ താപനിലയ്ക്ക് നേർഅനുപാതത്തിലായിരിക്കും. കൂടാതെ വസ്തുവിന്റെ വലുപ്പം അതിന്റെ വികിരണ ശേഷി എന്നിവയ്ക്കും നേർഅനുപാതത്തിലാണെന്ന് കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്. ഒരു പൂർണ്ണ വികിരണശേഷിയുള്ള വസ്തുവിൽ നിന്നും (perfect radiator) യൂണിറ്റ് സമയത്തിൽ ഉത്സർജിക്കുന്ന ഊർജത്തിന്റെ അളവ്

$$H = \sigma T^4 \qquad (11.16)$$

എന്ന സമവാക്യത്തിലൂടെ കണക്കാക്കാം. ഇവിടെ H എന്നത് ഊർജത്തിന്റെ വികിരണ നിരക്കും, A, T എന്നിവ യഥാക്രമം വസ്തുവിന്റെ പരപ്പളവും കേവല താപനിലയുമാണ്. ഈ ബന്ധം സ്റ്റെഫാൻ (Stefan) എന്ന ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞൻ തന്റെ പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ കണ്ടെത്തി. പിന്നീട് ബോൾട്ട്സ്മാൻ (Boltzmann) ഇത് സൈദ്ധാന്തികമായി തെളിയിക്കുകയും ചെയ്തു. അതിനാൽ ഈ സമവാക്യം സ്റ്റെഫാൻ – ബോൾട്ട്സ്മാൻ (Stefan - Boltzmann) നിയമം എന്നറിയപ്പെടുന്നു. (Stefan - Boltzmann constant) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇതിന്റെ SI മൂല്യം $5.67 \times 10^{-8} W\, m^{-2} K^{-4}$ ആണ്. മിക്ക വസ്തുക്കളുടെയും വികിരണ നിരക്ക് സമവാക്യം 11.16 തരുന്ന വിലയേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. ഈ സമവാക്യത്തോട് ഏകദേശം ഒത്തുപോകുന്ന വികിരണ നിരക്ക് ഉള്ള അപൂർവം ചില വസ്തുക്കളിലൊന്നാണ് വിളക്ക് കരി (lamp black). അതുകൊണ്ട് വസ്തുക്കളുടെ വികിരണ നിരക്ക് മുകളിലത്തെ സമവാക്യവുമായി ചേർന്നു പോകത്തക്കവിധത്തിൽ വികിരണശേഷി (emissivity) എന്ന ആശയം നിർവചിച്ചു. വികിരണശേഷി (emissivity) യെ e എന്ന സൂചകം കൊണ്ടു സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇതൊരു ഡൈമൻഷനില്ലാത്ത ഭിന്നസംഖ്യയാണ്. ഈ ആശയത്തെ കൂടി ഉൾപ്പെടുത്തി വികിരണ നിരക്കിനെ

$$Q = Ae\sigma T^4 \qquad (11.17)$$ എന്നെഴുതാം.

പൂർണ്ണ വികിരണശേഷിയുള്ള ഒരു വസ്തുവിന് e=1 ആയിരിക്കും. ഒരു ടംങ്സ്റ്റൺ ബൾബിന്റെ കാര്യത്തിൽ e = 0.4 ആണ്. അതിനാൽ 3000 K താപനിലയിലുള്ള 0.3 cm² പരപ്പളവുള്ള ഒരു ടങ്സ്റ്റൺ ബൾബിന്റെ വികിരണ നിരക്ക് $H = 0.3 \times 10^{-4} \times 0.4 \times 5.67 \times 10^{-8} (3000)^4 = 60W$ ആയിരിക്കും.

T_s താപനിലയുള്ള ഒരാവരണത്താൽ ചുറ്റപ്പെട്ട T താപനിലയിലുള്ള ഒരു വസ്തു ഒരേ സമയം വികിരണോർജം പുറത്തുവിടുകയും വെളിയിൽ നിന്നും ഊർജം സ്വീകരിക്കുകയും ചെയ്യും. അതുകൊണ്ട് പൂർണ്ണ വിസരണ ശേഷിയുള്ള (perfect radiator) ഇത്തരത്തിലുള്ള ഒരു വസ്തുവിന്റെ വികിരണ നിരക്ക്

$$H = e\sigma A (T^4 - T_s^4) \qquad (11.18)$$ എന്നായി മാറും.

ഒരു ഉദാഹരണമെന്ന നിലയിൽ നമ്മുടെ ശരീരം പുറത്തുവിടുന്ന വികിരണ താപം എത്രയാണെന്നു കണക്കാക്കി നോക്കാം. ഒരാളുടെ ശരീരത്തിന്റെ പരപ്പളവ് ഏകദേശം 1.9m² ആണെന്നിരിക്കട്ടെ. അയാൾ ഇരിക്കുന്ന മുറിയിലെ താപനില 22°C ആണെന്നും കരുതുക. നമ്മുടെ ശരീരത്തിന്റെ ആന്തരിക താപനില ഏകദേശം 37°C ആണെന്നു നമുക്കറിയാം. ശരീരത്തിന്റെ പുറം പ്രതലത്തിന്റെ ശരാശരി താപനില 28°C എന്നെടുക്കാം. നമ്മുടെ തൊലിയുടെ വികിരണശേഷി (emissivity) ഏകദേശം 0.97 വരും. അതുകൊണ്ട് ശരീരത്തിന്റെ താപനഷ്ട നിരക്ക് $H = 5.67 \times 10^{-8} \times 1.9 \times 0.97 \times (301^4 - 295^4) = 66.4$ W.

നാം വെറുതെ ഇരിക്കുമ്പോൾ നമ്മുടെ ശരീര താപോർജം ഉത്പാദിപ്പിക്കുന്ന നിരക്കിന്റെ (120 W) പകുതിയേക്കാൾ കൂടുതലാണ് ഇത്. ഇത്തരം ഊർജ നഷ്ടം തടയുന്നതിനായി അതിശൈത്യ മേഖലയിൽ താമസിക്കുന്നവർ സാധാരണ വസ്ത്രങ്ങളോടൊപ്പം ലോഹ നിർമ്മിതമായ നല്ല തിളക്കമുള്ള ഒരു ആവരണം കൂടി ധരിക്കുന്നു. ഈ ആവരണം ശരീരത്തിൽ നിന്നും പുറത്തു വരുന്ന താപകിരണങ്ങളെ പ്രതിപതിപ്പിച്ച് ശരീരത്തിലേക്ക് തന്നെവിടുന്നതിനാൽ താപനഷ്ടം ഒഴിവാക്കാനാകുന്നു.

11.9.5 ഹരിതഗേഹ പ്രഭാവം (Greenhouse effect)

സൂര്യനിൽ നിന്നും ലഭിക്കുന്ന ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നത് മൂലം ഭൂവൽക്കം ഒരു താപവികിരണ സ്രോതസ്സായി പ്രവർത്തിക്കുന്നു. ഭൂമി വെളിയിലേക്കു വിടുന്ന ഈ താപവികിരണങ്ങൾ നമുക്ക് പരിചിതമായ ദൃശ്യപ്രകാശത്തേക്കാൾ തരംഗദൈർഘ്യം കൂടിയ ഇൻഫ്രാറെഡ് (infrared) കിരണങ്ങളുടെ ഗണത്തിൽപെടും. ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലെ ഹരിതഗേഹ വാതകങ്ങളായ (greenhouse gases) കാർബൺഡൈ ഓക്സൈഡ് (CO_2), മീതേൻ (CH_4), നൈട്രസ് ഓക്സൈഡ് (N_2O), ക്ലോറോഫ്ളൂറോ കാർബൺ ($C_2F_2C_2$), ട്രോപ്പോസ്ഫിയർ ഓസോൺ (O_3) തുടങ്ങിയവ ഈ താപവികിരണങ്ങളെ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു. അതുവഴി അന്തരീക്ഷം ചൂടാവുകയും ഇങ്ങനെ ചൂടാകുന്ന അന്തരീക്ഷം ഭൂവൽക്കത്തിന് കൂടുതൽ താപം നൽകുകയും ചെയ്യും. കൂടുതൽ താപോർജം ലഭിക്കുന്ന ഭൂവൽക്കത്തിന്റെ താപനില വീണ്ടും ഉയരുകയും അതുവഴി ഭൂമി കൂടുതൽ താപവികിരണങ്ങളെ അന്തരീക്ഷത്തിൽ എത്തിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇത് വീണ്ടും അന്തരീക്ഷ താപനില ഉയർത്തും. അങ്ങനെ ഇതൊരു ചാക്രീക പ്രക്രിയ (cyclic process) യായി മാറും. ഭൂവൽക്കത്തിന് അതിൽ നിന്നും വികിരണം ചെയ്യുന്ന താപത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ താപം ആഗിരണം ചെയ്യാനാവാത്ത ഒരു അവസ്ഥ

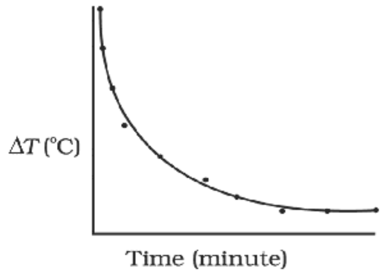
എത്തുന്നതു വരെ ഈ ചാക്രീക പ്രക്രിയ (cyclic process) തുടരും. ഇത്തരം പ്രവർത്തനം വഴി ഭൗമോപരിതലത്തിന്റേയും അന്തരീക്ഷത്തിന്റേയും താപനില ഉയരുന്ന പ്രതിഭാസം ഹരിതഗേഹ പ്രഭാവം (greenhouse effect) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഹരിതഗേഹ പ്രഭാവത്തിന്റെ അഭാവത്തിൽ ഭൗമോപരിതലത്തിലെ ശരാശരി താപനില -18°C മാത്രമേ വരൂ.

പ്രകൃതിയിലെ മനുഷ്യ ഇടപെടൽ മൂലം അന്തരീക്ഷത്തിലെ ഹരിതഗേഹ വാതകങ്ങളുടെ (greenhouse gases) അളവ് ഇന്ന് ദിനംപ്രതി വർധിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഇത് അന്തരീക്ഷ താപനിലയെ ഉയർത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ നൂറ്റാണ്ടിന്റെ ആരംഭത്തിലുണ്ടായിരുന്ന ശരാശരി അന്തരീക്ഷ താപനിലയേക്കാൾ ഇന്ന് താപനില ഏതാണ്ട് 0.3°C മുതൽ 0.6°C വരെ ഉയർന്നിരിക്കുന്നു. ഈ നില തുടർന്നാൽ അടുത്ത അർധശതകത്തിന്റെ അവസാനം ആകുമ്പോഴേക്കും ആഗോള താപനില ഇന്നത്തേതിനേക്കാൾ 1°C മുതൽ 3°C വരെ ഉയരാനുള്ള സാധ്യതയാണ് കണക്കാക്കിയിരിക്കുന്നത്. ഈ ആഗോള താപനം ഭൂമിയിലെ ജൈവ വൈവിധ്യങ്ങൾക്ക് മാത്രമല്ല മനുഷ്യ ജീവനുപോലും ഭീഷണി ഉയർത്തുന്നു. ആഗോളതാപനം ഭൂമിയിലെ മഞ്ഞുപാളികളുടെ ഉരുകൽ നിരക്കിനെ വർദ്ധിപ്പിക്കുകയും ഇത് സമുദ്രജലവിതാനം അപകടകരമായ നിലയിലേക്കു ഉയർത്തുകയും ചെയ്യും. തന്മൂലം സമുദ്രതീരങ്ങളിലെ നഗരങ്ങൾ ഉൾപ്പെടെ പല പ്രദേശങ്ങളെയും വെള്ളത്തിലാഴ്ത്തും. ആഗോള താപനം കാലാവസ്ഥ വ്യതിയാനത്തിനും നിദാനമാകും. കൂടാതെ ഇത് ഭൂവൽക്കത്തിൽ മരുഭൂമിയുടെ വ്യാപനത്തിനും വഴിയൊരുക്കും. അത്യന്തം അപകടകരമായ ആഗോള താപനത്തിന്റെ പ്രഭാവം കുറയ്ക്കുന്നതിനായി ലോകമെമ്പാടും ഇന്ന് പരിശ്രമിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്നു.

11.10 ന്യൂട്ടന്റെ കൂളിംഗ് നിയമം (Newton's Law of Cooling)

ചൂടുവെള്ളമോ പാലോ ഒരു മേശപ്പുറത്ത് വച്ചിരുന്നാൽ ക്രമേണ തണുക്കാൻ തുടങ്ങുമെന്ന് നമുക്കെല്ലാം അറിയാം. ഒടുവിൽ ഇതിന്റെ താപനില ചുറ്റുപാടുകളിലെ താപനിലയിലെത്തിച്ചേരുന്നു. തന്നിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തു ചുറ്റുപാടുകളിലേക്ക് താപം കൈമാറ്റം ചെയ്ത് തണുക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് പഠിക്കാൻ നമുക്ക് താഴെപ്പറയുന്ന പ്രവർത്തനം ചെയ്തുനോക്കാം.

ഏകദേശം 300 ml ജലം ഒരു സ്റ്റിറർ (stirrer) ഉൾപ്പെടുന്ന കലോറിമീറ്ററിൽ എടുത്ത് രണ്ട് ദ്വാരമുള്ള ഒരു അടപ്പുകൊണ്ട് അടയ്ക്കുക. അടപ്പിലെ ഒരു ദ്വാരത്തിലൂടെ ഒരു തെർമോമീറ്റർ കടത്തിവയ്ക്കുക. തെർമോമീറ്ററിന്റെ ബൾബ് വെള്ളത്തിൽ മുങ്ങിയിരിക്കുകയാണെന്ന് ഉറപ്പു വരുത്തുക. ഇപ്പോഴത്തെ തെർമോമീറ്റർ റീഡിംഗ് T_1 എന്നത് ചുറ്റുപാടിന്റെ താപനിലയായിരിക്കും. കലോറി മീറ്ററിനുള്ളിലെ ജലത്തെ ചുറ്റുപാടുമുള്ള താപനിലയേക്കാൾ 40°C മുകളിൽ ആകുന്നതുവരെ ചൂടാക്കുക. താപസ്രോതസ്സ് നീക്കം ചെയ്ത് ചൂടാക്കൽ പ്രക്രിയ അവസാനിപ്പിക്കുക. ഒരു സ്റ്റോപ്പ് വാച്ച് ഉപയോഗിച്ച് നിശ്ചിതസമയ ഇടവേളകളിൽ താപനില നിരീക്ഷിച്ച് രേഖപ്പെടുത്തുക. ഉദാഹരണത്തിന് ഓരോ മിനിട്ടും കഴിയുമ്പോൾ സാവധാനം ജലത്തെ സ്റ്റിറർ ഉപയോഗിച്ച് ഇളക്കിയതിനുശേഷം നിരീക്ഷിച്ച് താപനില രേഖപ്പെടുത്തുക. ചുറ്റുപാടുകളെ അപേക്ഷിച്ച് 5°C കൂടുതൽ താപനില എത്തുന്നതുവരെ ജലത്തിന്റെ താപനില (T_2) രേഖപ്പെടുത്തുന്നത് തുടരുക. താപനിലയുടെ ഓരോ വിലയും $\Delta T = T_2 - T_1$ Y അക്ഷത്തിലും അതിന് എടുക്കുന്ന സമയം X അക്ഷത്തിലും വരത്തക്കവിധത്തിൽ (ചിത്രം 11.19) ഒരു ഗ്രാഫ് വരയ്ക്കുക.



ചിത്രം 11.19 ചൂടുവെള്ളത്തിന് സമയത്തിനനുസൃതമായ കൂളിംഗ് കാണിക്കുന്ന ഗ്രാഫ്

ചൂടുവെള്ളത്തിന്റെ തണുക്കൽ അതിന്റെ താപനിലയും ചുറ്റുപാടുകളുടെ താപനിലയും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസത്തിനെ എങ്ങനെ ആശ്രയിക്കുന്നുവെന്ന് ഗ്രാഫിൽനിന്ന് നിങ്ങൾക്ക് മനസ്സിലാക്കാവുന്നതാണ്. ആദ്യം കൂളിംഗ് നിരക്ക് കൂടുതലായിരിക്കുമെന്നതും വസ്തുവിന്റെ താപനില കുറയുന്നതിനനുസരിച്ച് കൂളിംഗ് നിരക്ക് കുറയുമെന്നതും ഈ ഗ്രാഫിൽ നിന്നും നമുക്ക് നേരിട്ട് ബോധ്യപ്പെടും.

ചൂടുള്ള വസ്തു ചുറ്റുപാടിലേക്ക് താപവികിരണരൂപത്തിൽ താപം നഷ്ടപ്പെടുത്തുന്നു എന്ന് മുകളിൽപ്പറഞ്ഞ പ്രവർത്തനം കാണിക്കുന്നു. താപനഷ്ടനിരക്ക് വസ്തുവും ചുറ്റുപാടുകളും തമ്മിലുള്ള താപനിലാ വ്യത്യാസത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നു. തന്നിരിക്കുന്ന അടച്ച പാത്രത്തിലുള്ള വസ്തുവിന്റെ താപനഷ്ടവും അതിന്റെ താപനിലയും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം വ്യവസ്ഥിതമായ രീതിയിൽ ആദ്യമായി പഠിച്ചത് ന്യൂട്ടൺ ആയിരുന്നു.

ന്യൂട്ടന്റെ കൂളിംഗ് നിയമം അനുസരിച്ച് ഒരു വസ്തുവിന്റെ താപനഷ്ടനിരക്ക് $-dQ/dt$ വസ്തുവും ചുറ്റുപാടുകളും തമ്മിലുള്ള താപനില വ്യത്യാസത്തിന് നേർ അനുപാതത്തിലാകുന്നു. ചെറിയ താപനില വ്യത്യാസങ്ങൾക്കാണ് ഈ നിയമം ശരിയാകുന്നത്. വികിരണഫലമായി ഉണ്ടാകുന്ന താപനഷ്ടം വസ്തുവിന്റെ പ്രതലസ്വഭാവത്തേയും തുറന്നുവച്ചിരിക്കുന്ന പ്രതലത്തിന്റെ പരപ്പളവിനേയും ആശ്രയിക്കുന്നു. അതായത്,

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

ഇവിടെ k എന്നത് വസ്തുവിന്റെ പരപ്പളവിനെയും സ്വഭാവത്തേയും ആശ്രയിക്കുന്ന ഒരു പോസിറ്റീവ് സ്ഥിരാങ്കം ആകുന്നു. 'm' മാസും 's' വിശിഷ്ടതാപധാരിതയും T_2 താപനിലയുമായ ഒരു വസ്തുവിനെ സങ്കൽപ്പിക്കുക. ചുറ്റുപാടുകളുടെ താപനില T_1 എന്നിരിക്കട്ടെ. dt സമയത്തിൽ താപനില dT_2 താഴ്ന്നുവെന്നിരിക്കട്ടെ, അപ്പോൾ താപനഷ്ടം

$$dQ = ms\,dT_2$$

∴ താപനഷ്ടത്തിന്റെ നിരക്ക്

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

സമവാക്യം (11.19) സമവാക്യം (11.20) ഇവയിൽനിന്ന്

$$-m\,s\,\frac{dT_2}{dt}=k\,(T_2-T_1)$$

$$\frac{dT_2}{T_2-T_1}=-\frac{k}{ms}dt=-K\,dt \qquad (11.17)$$

ഇവിടെ $K = k/m\,s$

സമാകലനം ചെയ്യുമ്പോൾ

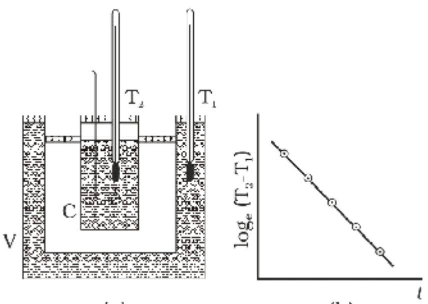
$$\log_e(T_2-T_1)=-Kt+c \qquad (11.18)$$

$$T_2-T_1=e^{-Kt}e^c$$

അല്ലെങ്കിൽ $T_2=T_1+C'e^{-Kt}$; ഇവിടെ $C'=e^c$ (11.19)

ഒരു പ്രത്യേക താപനിലാ പരിധിയിൽ ഒരു വസ്തുവിന്റെ കൂളിംഗ് സമയം കണക്കാക്കാൻ സമവാക്യം (11.19) നിങ്ങളെ സഹായിക്കുന്നു.

ചെറിയ താപനില വ്യത്യാസങ്ങൾക്ക് ചാലനം, സംവഹനം, വികിരണം ഇവയുടെ സംയുക്ത ഫലമായുള്ള കൂളിംഗ് നിരക്ക് താപനില വ്യത്യാസത്തിന് അനുപാതികമാണ്. റേഡിയേറ്ററിൽനിന്നും ഒരു മുറിയിലേക്കുള്ള താപപ്രേഷണം, ഒരു മുറിയുടെ ഭിത്തിയിലൂടെയുള്ള താപനഷ്ടം അല്ലെങ്കിൽ ഒരു മേശപ്പുറത്ത് വച്ചിരിക്കുന്ന കപ്പിലെ ചായയുടെ തണുക്കൽ എന്നിവയിൽ ഇത് സാമാന്യം നല്ല ഏകദേശമാണ്.



ചിത്രം 11.19(a) ന്യൂട്ടന്റെ കൂളിംഗ് നിയമത്തിന്റെ സാധൂകരണം

ചിത്രം 11.19(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന പരീക്ഷണത്തിന്റെ സഹായത്തോടെ ന്യൂട്ടന്റെ കൂളിംഗ് നിയമം തെളിയിക്കാൻ കഴിയും. പരീക്ഷണ ക്രമീകരണത്തിൽ രണ്ടു ഭിത്തികൾക്കിടയിൽ ജലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു ഇരട്ടഭിത്തിയുള്ള പാത്രം (V) ഉൾപ്പെടുന്നു. ഇരട്ട ഭിത്തിയുള്ള പാത്രത്തിനുള്ളിൽ ചൂടുവെള്ളം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു കോപ്പർ കലോറിമീറ്റർ (C) വച്ചിരിക്കുന്നു. കലോറിമീറ്ററിലെ ജലത്തിന്റെ താപനില T_2 ഇരട്ടഭിത്തികൾക്കിടയിലുള്ള ചൂടുജലത്തിന്റെ താപനില T_1 ഇവ യഥാക്രമം രേഖപ്പെടുത്താനായി കോർക്കിനുള്ളിലൂടെ വച്ചിരിക്കുന്ന രണ്ടു തെർമോമീറ്ററുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. കലോറിമീറ്ററിലെ ചൂടുജലത്തിന്റെ താപനില തുല്യ ഇടവേളകളിൽ രേഖപ്പെടുത്തുന്നു. $\log_e(T_2-T_1)$ യും സമയ (t) വും തമ്മിലുള്ള ഒരു ഗ്രാഫ് വരയ്ക്കുന്നു. ഗ്രാഫിന്റെ സ്വഭാവം ചിത്രം 11.19(b) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ നെഗറ്റീവ് ചരിവുള്ള (Negative slope) ഒരു നേർരേഖയാണെന്ന് കാണാം. ഇത് സമവാക്യം (11.18) നെ സാധൂകരിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 11.8 സാധാരണ താപനില 20°C ൽ നിൽക്കുമ്പോൾ ചൂട് ആഹാരം നിറച്ച ഒരു പാത്രം 94°C ൽ നിന്നും രണ്ട് മിനിട്ടുകൊണ്ട് 86°C ലേയ്ക്കു താഴുന്നു. 71°C ൽ നിന്ന് 69°C ലേയ്ക്കു തണുക്കാൻ ഇത് എടുക്കുന്ന സമയം എത്ര?

ഉത്തരം 94°C ന്റേയും 86°C ന്റേയും ശരാശരി താപനിലയായ 90°C മുറിയിലെ താപനിലയേക്കാൾ 70°C കൂടുതലാണ്. ഈ സാഹചര്യത്തിലാണ് പാത്രം 2 മിനിട്ടുകൊണ്ട് 8°C തണുക്കുന്നത്.

സമവാക്യം (11.21), ഉപയോഗിച്ച്,

$$\frac{\text{താപനിലാ വ്യതിയാനം}}{\text{സമയം}}=K\Delta T$$

$$\frac{8\ °C}{2\ \text{min}}=K\,(70\ °C)$$

69°C ന്റേയും 71°C ന്റേയും ശരാശരി 70°C ആകുന്നു. ഇത് മുറിയിലെ താപനിലയേക്കാൾ 50°C കൂടുതലാകുന്നു. ഈ സാഹചര്യത്തിനും, യഥാർഥ സാഹചര്യത്തിനും K ഒരുപോലെയാണ്.

$$\frac{2\ °C}{\text{സമയം}}=K\,(50\ °C)$$

ഈ രണ്ടു സമവാക്യങ്ങൾ തമ്മിൽ ഭാഗിക്കുമ്പോൾ,

$$\frac{8°C/2\text{മിനിറ്റ്}}{2°C/\text{സമയം}}=\frac{K(70°C)}{K(50°C)}$$

$$\text{സമയം} = 0.7\ \text{min}$$

$$= 42\ \text{s}$$

സംഗ്രഹം

1. ഒരു വസ്തുവിൽനിന്നും അതിന്റെ ചുറ്റുപാടിലുള്ള മാധ്യമത്തിലേക്ക്, അവ തമ്മിലുള്ള താപനില വ്യത്യാസത്തിന്റെ ഫലമായി ഒഴുകുന്ന ഊർജരൂപമാണ് താപം. ഒരു വസ്തുവിന്റെ ചൂടിന്റെ അവസ്ഥ താപനിലകൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

2. ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് മാറുന്നതും അളക്കാൻ കഴിയുന്നതുമായ ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ ഏതെങ്കിലും സവിശേഷത താപനില അളക്കുന്നതിനുള്ള തെർമോമീറ്ററിൽ ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു. വിവിധയിനം തെർമോമീറ്ററുകൾ വിവിധയിനം താപനില സ്കെയിലുകൾ നൽകുന്നു. ഒരു താപനില സ്കെയിൽ നിർമിക്കാൻ രണ്ട് സ്ഥിരബിന്ദുക്കൾ തിരഞ്ഞെടുത്ത് അവയ്ക്ക് അനുയോജ്യമായ താപനിലകൾ നൽകുന്നു. ഈ രണ്ട് വിലകൾ സ്കെയിലിന്റെ തുടക്കവും യൂണിറ്റിന്റെ വലിപ്പവും ഉറപ്പിക്കുന്നു.

3. സെൽഷ്യസ് സ്കെയിൽ (t_C) യും ഫാരൻഹീറ്റ് സ്കെയിൽ (t_F) ഉം തമ്മിൽ $t_F = (9/5)\ t_C + 32$ എന്ന സമവാക്യത്താൽ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

4. മർദം (P), വ്യാപ്തം (V), കേവല താപനില (T) ഇവ തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ആദർശ വാതകസമവാക്യം $PV = \mu RT$ എന്നാകുന്നു. ഇവിടെ μ മോളുകളുടെ എണ്ണവും R സാർവിക വാതക സ്ഥിരാങ്കവും ആകുന്നു.

5. അബ്സൊല്യൂട്ട് സ്കെയിലിൽ, സ്കെയിലിലെ പൂജ്യം, താപനിലയുടെ അബ്സൊല്യൂട്ട് പൂജ്യം ആകുന്നു. ഈ താപനിലയിൽ എല്ലാ പദാർഥങ്ങൾക്കും സാധ്യമായതിൽ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ തന്മാത്രാപ്രവർത്തനമാണുള്ളത്. കെൽവിൻ അബ്സൊല്യൂട്ട് സ്കെയിൽ താപനില (T) യ്ക്ക് സെൽഷ്യസ് സ്കെയിലിന്റെ (T_c) അതേ യൂണിറ്റ് വലിപ്പമുണ്ടെങ്കിലും അവ തുടങ്ങുന്ന താപനില വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

$$T_C = T - 273.15$$

6. രേഖീയ വികാസ സ്ഥിരാങ്കം (α_l) ഉം വ്യാപ്ത വികാസ സ്ഥിരാങ്ക (α_V) വും നിർവചിക്കപ്പെടുന്നത് താഴെപ്പറയുന്ന സമവാക്യങ്ങളാലാണ്.

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

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

ഇവിടെ Δl ,ΔV എന്നിവ യഥാക്രമം താപനിലാമാറ്റത്തിന്റെ (ΔT) ഫലമായി വസ്തുവിന്റെ നീളം l , വ്യാപ്തം V എന്നിവയിലുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസങ്ങൾ ആണ്. അതുപോലെ $\alpha_v = 3\alpha_l$ ആണ്.

7. ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത നിർവചിക്കപ്പെടുന്നത്, $s = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$ എന്നാണ്. ഇവിടെ m എന്നത് പദാർഥത്തിന്റെ മാസും, ΔQ എന്നത് താപനിലയിൽ ΔT വ്യത്യാസം വരുത്താനാവശ്യമായ താപവുമാണ്. പദാർഥത്തിന്റെ മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിത നിർവചിക്കപ്പെടുന്നത്, $C = \frac{1}{\mu}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$ എന്നാണ്. ഇവിടെ μ എന്നത് പദാർഥത്തിലെ മോളുകളുടെ എണ്ണം ആണ്.

8. ഒരേ താപനിലയിലും മർദത്തിലും ഒരു കിലോഗ്രാം മാസുള്ള പദാർഥം ഖരാവസ്ഥയിൽനിന്ന് ദ്രാവകാവസ്ഥയിലേക്ക് മാറുന്നതിനാവശ്യമായ താപത്തെ ദ്രവീകരണലീനതാപം (L_f) എന്നുപറയുന്നു. താപനിലയിലും മർദത്തിലും മാറ്റം ഉണ്ടാകാതെ ഒരു കിലോഗ്രാം മാസുള്ള പദാർഥം ദ്രാവകാവസ്ഥയിൽനിന്ന് വാതകാവസ്ഥയിലേക്ക് മാറുന്നതിനാവശ്യമായ താപത്തെ ബാഷ്പീകരണ ലീനതാപം (L_v) എന്നുപറയുന്നു.

9. ചാലനം, സംവഹനം, വികിരണം എന്നിവ താപപ്രേഷണത്തിന്റെ മൂന്ന് രീതികളാണ്.

10. ചാലനത്തിൽ, ദ്രവത്തിന്റെ ഒഴുക്കില്ലാതെ, തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള കൂട്ടിയിടികളുടെ ഫലമായി താപം

ഒരു വസ്തുവിന്റെ സമീപസ്ഥങ്ങളായ ഭാഗങ്ങളിലേക്ക് കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. L നീളവും A സമ ഛേദതല പരപ്പളവുമുള്ള ഒരു ദണ്ഡിന്റെ അഗ്രങ്ങൾ T_C, T_D എന്നീ താപനിലകളിൽ നിലനിർത്തപ്പെടുന്നുവെങ്കിൽ, താപ ഒഴുക്കിന്റെ നിരക്ക് H,

$$H = K A \frac{T_C - T_D}{L}$$ ആകുന്നു.

ഇവിടെ K എന്നത് ദണ്ഡിന്റെ പദാർഥത്തിന്റെ താപീയ ചാലകത ആകുന്നു.

11. ഒരു വസ്തുവിന്റെ കൂളിംഗിന്റെ നിരക്ക് (ശീതീകരണ നിരക്ക്) വസ്തുവിന്റെ ചുറ്റുപാടിനെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള അധികതാപനിലയ്ക്ക് ആനുപാതികമാണ്.

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

ഇവിടെ T_1 ചുറ്റുപാടുമുള്ള മാധ്യമത്തിന്റെ താപനിലയും T_2 വസ്തുവിന്റെ താപനിലയും ആകുന്നു.

അളവ്	പ്രതീകം	ഡൈമൻഷൻ	യൂണിറ്റ്	
ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ അളവ്	μ	[mol]	mol	
സെൽഷ്യസ് താപനില	t_c	[K]	°C	
കെൽവിൻ അബ്സൊല്യൂട്ട് താപനില	T	[K]	K	$t_c = T - 273.15$
രേഖീയ വികസനസ്ഥിരാങ്കം	α_l	$[K^{-1}]$	K^{-1}	
ഉള്ളളവ് വികസന സ്ഥിരാങ്കം	α_v	$[K^{-1}]$	K^{-1}	$\alpha_v = 3\,\alpha_l$
ഒരു വ്യൂഹത്തിനു നൽകുന്ന താപം	ΔQ	$[ML^2T^{-2}]$	J	Q ഒരു അവസ്ഥാചരം അല്ല
വിശിഷ്ട താപധാരിത	s	$[L^2T^{-2}K^{-1}]$	$J\,kg^{-1}\,K^{-1}$	
താപീയ ചാലകത	K	$[MLT^{-3}K^{-1}]$	$J\,s^{-1}\,K^{-1}$	$H = -KA\frac{dT}{dx}$

വിചിന്തനവിഷയങ്ങൾ

1. കെൽവിനിലെ താപനില (T) യും സെൽഷ്യസ് താപനില t_c യും തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന സമവാക്യം $T - t_c$ | 273.15 യും ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ് $T - 273.16$ K ആണെന്നുള്ള അനുമാനവും വളരെ യോജിച്ച സമവാക്യങ്ങളാണ്. ഈ രീതിയിൽ ജലത്തിന്റെ ഖരണാങ്കവും തിളനിലയും (രണ്ടും 1 അന്തരീക്ഷമർദത്തിൽ) വളരെ അടുത്തുവരുന്നുണ്ടെങ്കിലും, പൂർണമായും യഥാക്രമം 0°C , 100°C ഇവയ്ക്കു തുല്യമല്ല. യഥാർഥ സെൽഷ്യസ് സ്കെയിലിൽ ഇവയുടെ സ്ഥിരബിന്ദുക്കൾ ഏകദേശം 0°C യും 100°C യും ആകുന്നു, എന്നാൽ ഇപ്പോൾ ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ് ആണ് നിശ്ചിതബിന്ദുവായി തിരഞ്ഞെടുക്കുക. എന്തുകൊണ്ടെന്നാൽ ഇതിന് വേറിട്ട ഒരു താപനിലയുണ്ട്.
2. ഒരു ദ്രാവകം വാതകവുമായി സന്തുലനാവസ്ഥയിലാകുമ്പോൾ വ്യൂഹത്തിലുടനീളം മർദവും താപനിലയും ഒരേപോലെ നിലനിൽക്കുന്നു. സന്തുലനാവസ്ഥയിലുള്ള രണ്ട് അവസ്ഥകളും അവരുടെ മോളാർ വ്യാപ്തത്തിൽ (അതായത് സാന്ദ്രത) വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. ഇത് അനേകം അവസ്ഥകൾ സന്തുലനാവസ്ഥയിൽ നിൽക്കുന്ന ഒരു വ്യൂഹത്തിനു ശരിയായിരിക്കും.
3. രണ്ടു വ്യൂഹങ്ങൾ തമ്മിലോ അല്ലെങ്കിൽ ഒരേ വ്യൂഹത്തിലെ രണ്ടു ബിന്ദുക്കൾ തമ്മിലോ ഉള്ള ഈ താപനിലാ വ്യത്യാസത്തിന്റെ ഫലമായാണ് താപപ്രേഷണം ഉണ്ടാകുന്നത്. ഏതെങ്കിലും രീതിയിൽ താപനില വ്യത്യാസം ഇല്ലാതെ കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ഊർജം താപം അല്ല.
4. ഒരു ദ്രവത്തിനുള്ളിലെ വ്യത്യസ്തഭാഗങ്ങളിലെ താപനിലാവ്യത്യാസത്താൽ ആണ് കണികകളുടെ (ദ്രവ്യത്തിന്റെ) ഒഴുക്കുമൂലമുള്ള സംവഹനം സാധ്യമാകുന്നത്. ഒരു തുറന്നുവച്ചിരിക്കുന്ന പൈപ്പിനടിയിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന സ്റ്റീൽദണ്ഡിന് താപനഷ്ടം സംഭവിക്കുന്നത് ദണ്ഡിന്റെ പ്രതലവും ജലവും തമ്മിലുള്ള ചാലനത്തിന്റെ ഫലമായാണ്, അല്ലാതെ ജലത്തിനുള്ളിലെ സംവഹനത്തിന്റെ ഫലമായല്ല.

പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

11.1 നിയോൺ, കാർബൺഡയോക്സൈഡ് എന്നിവയുടെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റുകൾ യഥാക്രമം 24.57 K ഉം 216.55 K ഉം ആകുന്നു. ഈ താപനില സെൽഷ്യസിലും ഫാരൻഹീറ്റ് സ്കെയിലിലും എഴുതുക.

11.2 രണ്ട് അബ്സൊല്യൂട്ട് സ്കെയിലുകൾ *A*, *B* എന്നിവയിൽ ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ് 200 A യും 350 B യും ആകുന്നു. T_A യും T_B യും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം എന്ത്?

11.3 ഒരു പ്രതിരോധകത്തിന്റെ വൈദ്യുത പ്രതിരോധം താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. പ്രതിരോധം *R* എന്നത് ഓമിൽ താഴെപ്പറയുന്ന സമവാക്യം അനുസരിച്ച്,

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

ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റായ 273.16 K ൽ പ്രതിരോധം 101.6 Ω ഉം ലെഡിന്റെ സാധാരണ ദ്രവണാങ്കത്തിൽ (600.5 K) , 165.5 Ω ആകുന്നു. പ്രതിരോധം 123.4 Ω ആകുമ്പോഴുള്ള താപനില എന്ത്?

11.4 താഴെപ്പറയുന്നവയ്ക്ക് ഉത്തരം എഴുതുക.

(a) ആധുനിക താപമിതിയിൽ അടിസ്ഥാന സ്ഥിരബിന്ദുവായി ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾപോയിന്റ് ഉപയോഗിക്കുന്നതെന്തുകൊണ്ട്? സെൽഷ്യസ് സ്കെയിലിൽ തുടക്കത്തിൽ ചെയ്തപോലെ ഐസിന്റെ ദ്രവണാങ്കവും ജലത്തിന്റെ തിളനിലയും സ്ഥിരബിന്ദുക്കളായി ഉപയോഗിക്കാത്തതെന്തുകൊണ്ടാണ്?

(b) യഥാർഥ സെൽഷ്യസ് സ്കെയിലിൽ മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ യഥാക്രമം 0°C, 100°C എന്നീ രണ്ടു സ്ഥിര ബിന്ദുക്കൾ ഉണ്ട്. അബ്സൊല്യൂട്ട് സ്കെയിലിൽ ഒരു സ്ഥിര ബിന്ദുവായി ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇതിന്റെ വില 273.16 K ആയി നിർണയിച്ചിരിക്കുന്നു. കെൽവിൻ സ്കെയിലിലെ രണ്ടാമത്തെ സ്ഥിരബിന്ദു ഏത്?

(c) അബ്സൊല്യൂട്ട് താപനില (കെൽവിൻ സ്കെയിൽ) സെൽഷ്യസ് താപനിലയുമായി $t_c = T - 273.15$ എന്ന സമവാക്യത്താൽ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. എന്തുകൊണ്ടാണ് ഈ സമവാക്യത്തിൽ 273.16 നുപകരം 273.15 ഉപയോഗിക്കുന്നത്?

(d) ഫാരൻഹീറ്റ് സ്കെയിലിനു തുല്യമായ യൂണിറ്റ് വലിപ്പമുള്ള അബ്സൊല്യൂട്ട് സ്കെയിലിൽ ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ് എത്ര?

11.5 രണ്ട് ആദർശവാതക തെർമോമീറ്ററുകൾ *A* യിലും *B* യിലും യഥാക്രമം ഓക്സിജനും ഹൈഡ്രജനും ഉപയോഗിക്കുന്നു. അവ ഉപയോഗിച്ച് താഴെപ്പറയുന്ന നിരീക്ഷണങ്ങൾ ലഭിക്കുന്നു.

താപനില	**മർദം തെർമോമീറ്റർ A**	**മർദം തെർമോമീറ്റർ B**
ജലത്തിന്റെ ട്രിപ്പിൾ പോയിന്റ്	1.250×10^5 Pa	0.200×10^5 Pa
സൾഫറിന്റെ സാധാരണ ദ്രവണാങ്കം (*Normal melting point*)	1.797×10^5 Pa	0.287×10^5 Pa

(a) തെർമോമീറ്റർ *A* , *B* എന്നിവ കാണിക്കുന്ന സൾഫറിന്റെ സാധാരണ ദ്രവണാങ്കം അബ്സൊല്യൂട്ട് താപനിലഎത്ര?

(b) തെർമോമീറ്റർ *A* , *B* എന്നിവയുടെ ഉത്തരങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ചെറിയ വ്യത്യാസത്തിനുള്ള കാരണം എന്താണ്? (തെർമോമീറ്ററുകൾ കുറ്റമറ്റതാണെങ്കിൽ) ഈ രണ്ടു റീഡിംഗുകൾ തമ്മിലുള്ള അന്തരം കുറയ്ക്കാൻ ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ എന്ത് മാറ്റമാണ് ആവശ്യമുള്ളത്?

11.6 1m നീളമുള്ള ഒരു സ്റ്റീൽടേപ്പ് കൃത്യമായി 27.0°C താപനിലയിൽ അളന്നുവച്ചിരിക്കുന്നു. താപനില 45.0°C ഉള്ള ഒരു ചൂടുള്ള ദിവസത്തിൽ ഒരു സ്റ്റീൽ ദണ്ഡിന്റെ നീളം അളന്നപ്പോൾ 63.0 cm എന്നു കണ്ടു. ആ ദിവസത്തെ സ്റ്റീൽദണ്ഡിന്റെ യഥാർഥ നീളം എന്ത്? അതേ സ്റ്റീൽ ദണ്ഡിന് 27.0°C താപനിലയുള്ളപ്പോൾ എന്ത് നീളമുണ്ടാകും? സ്റ്റീലിന്റെ രേഖീയവികാസ സ്ഥിരാങ്കം $= 1.20 \times 10^{-5} K^{-1}$.

11.7 ഒരു വലിയ സ്റ്റീൽചക്രം അതേ പദാർഥം കൊണ്ടു നിർമിച്ച ഒരു ഷാഫ്റ്റിൽ ഉറപ്പിക്കണം. 27°C ൽ ഷാഫ്റ്റിന്റെ ബാഹ്യ വ്യാസം 8.70 cm ഉം ചക്രത്തിന്റെ മധ്യത്തിലുള്ള സുഷിരത്തിന്റെ വ്യാസം 8.69 cm ഉം ആകുന്നു. ഷാഫ്റ്റ് ഡ്രൈ ഐസ് ഉപയോഗിച്ച് തണുപ്പിക്കുന്നു. ഷാഫ്റ്റിന്റെ ഏത് താപനിലയിലാണ് ചക്രം ഷാഫ്റ്റിൽനിന്നും തെന്നിമാറുന്നത്? തന്നിരിക്കുന്ന താപനില അന്തരത്തിൽ സ്റ്റീലിന്റെ രേഖീയ വികാസസ്ഥിരാങ്കം സ്ഥിരമായി നിൽക്കുന്നുവെന്ന് അനുമാനിക്കുക.

$\alpha_{steel} = 1.20 \times 10^{-5} K^{-1}$.

11.8 കോപ്പർ ഷീറ്റിനുള്ളിൽ ഒരു ദ്വാരം ഉണ്ടാക്കിയിരിക്കുന്നു. ദ്വാരത്തിന്റെ വ്യാസം $27.0^{\circ}C$ യിൽ 4.24 cm ആകുന്നു. ഷീറ്റ് $227^{\circ}C$ വരെ ചൂടാക്കുമ്പോൾ ദ്വാരത്തിന്റെ വ്യാസത്തിനുണ്ടാകുന്ന മാറ്റം എന്ത്? കോപ്പറിന്റെ രേഖീയവികാസ സറിരാങ്കം $- 1.70 \times 10^{-5}\ K^{-1}$.

11.9 $27^{\circ}C$ ൽ 1.8m നീളമുള്ള ബ്രാസ്സ് കമ്പി ചെറിയബലം ഉപയോഗിച്ച് രണ്ട് ഉറച്ച താങ്ങുകൾക്കിടയിൽ വച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ കമ്പി $39^{\circ}C$ വരെ തണുപ്പിച്ചാൽ, കമ്പിയിലുണ്ടാകുന്ന ബലം (tension) എന്ത്? ഇതിന്റെ വ്യാസം 2.0 mm ആകുന്നു. ബ്രാസിന്റെ രേഖീയവികാസ സറിരാങ്കം $- 2.0 \times 10^{-5}\ K^{-1}$; ബ്രാസിന്റെ യംഗ്സ് മോഡുലസ് $- 0.91 \times 10^{11}$ Pa.

11.10 നീളം 50 cm ഉം വ്യാസം 3.0 mm ഉം ഉള്ള ഒരു ബ്രാസ്സ് ദണ്ഡ് അതേ നീളവും വ്യാസമുള്ളതുമായ സ്റ്റീൽദണ്ഡുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. യഥാർഥനീളം അളന്നിട്ടുള്ളത് $40.0^{\circ}C$ ൽ ആയാൽ $250^{\circ}C$ ൽ ഈ യുഗ്മദണ്ഡിന്റെ നീളത്തിലുണ്ടാകുന്ന നീള വ്യത്യാസം എന്ത്? ജംഗ്ഷനിൽ തെർമൽ സ്ട്രെസ്സ് (thermal stress) ഉടലെടുക്കുന്നുണ്ടോ? ദണ്ഡിന്റെ അഗ്രങ്ങൾക്ക് സ്വതന്ത്രമായി വികസിക്കാൻ കഴിയും. രേഖീയ വികാസസറിരാങ്കം ബ്രാസ്സ് $- 2.0 \times 10^{-5}\ K^{-1}$, സ്റ്റീൽ $- 1.2 \times 10^{-5}\ K^{-1}$).

11.11 ഗ്ലിസറിന്റെ വ്യാപ്ത വികാസ സ്ഥിരാങ്കം $49 \times 10^{-5}\ K^{-1}$ ആകുന്നു. $30^{\circ}C$ താപനില വർധനയിലൂടെ ഇതിന്റെ സാന്ദ്രതയിലുണ്ടാകുന്ന അംശീയ മാറ്റം (fractional change) എന്ത്?

11.12 8.0 kg മാസുള്ള ഒരു ചെറിയ അലൂമിനിയം കട്ടയിൽ ഒരു സുഷിരം തുരക്കാൻ 10 kW ഡ്രില്ലിംഗ് മെഷീൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു. 50% പവർ മെഷീൻ സ്വയം ചൂടാക്കുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുകയോ ചുറ്റുപാടിലേക്ക് നഷ്ടപ്പെടുകയോ ചെയ്യുന്നതായി സങ്കൽപ്പിച്ചാൽ 2.5 മിനിട്ടിനുള്ളിൽ എത്ര താപനില വർധന ഉണ്ടാകും? അലൂമിനിയത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത $-0.91\ J g^{-1} K^{-1}$.

11.13 2.5 kg മാസുള്ള ഒരു കോപ്പർ ബ്ലോക്ക്, $500^{\circ}C$ താപനിലയുള്ള ഒരു ഫർണസിലിട്ട് ചൂടാക്കിയതിനുശേഷം ഒരു വലിയ ഐസ് കഷണത്തിൽ വയ്ക്കുന്നു. ഉരുകുന്ന പരമാവധി ഐസിന്റെ മാസ് എന്ത്? (കോപ്പറിന്റെ വിശിഷ്ടതാപധാരിത $- 0.39\ J g^{-1} K^{-1}$; ജലത്തിന്റെ താപധാരിത $- 335\ J g^{-1}$).

11.14 ഒരു ലോഹത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത കാണാനുള്ള പരീക്ഷണത്തിൽ, ഒരു 0.20 kg ലോഹക്കഷണം $150^{\circ}C$ യിൽ $150\ cm^3$ ജലം $27^{\circ}C$ ൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു കോപ്പർ കലോറിമീറ്ററിലേക്ക് (വാട്ടർ ഇകിലന്റ് 0.025 kg) ഇടുന്നു. അവസാന താപനില $40^{\circ}C$ ആകുന്നു. ലോഹത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത കണക്കാക്കുക. ചുറ്റുപാടുകളിലേക്കുള്ള താപനഷ്ടം അവഗണിക്കാമെങ്കിൽ, നിങ്ങളുടെ ഉത്തരം യഥാർഥ ലോഹത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിതയേക്കാൾ കൂടുമോ അല്ലെങ്കിൽ കുറയുമോ?

11.15 ചില സാധാരണ വാതകങ്ങളുടെ സാധാരണ താപനിലയിലെ മോളാർ വിശിഷ്ടതാപധാരിതയുടെ വിലകളാണ് താഴെ ക്കൊടുത്തിരിക്കുന്നത് .

വാതകം	**മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിത (C_v) ($cal\ mol^{-1}\ K^{-1}$)**
ഹൈഡ്രജൻ	4.87
നൈട്രജൻ	4.97
ഓക്സിജൻ	5.02
നൈട്രിക് ഓക്സൈഡ്	4.99
കാർബൺ മോണോക്സൈഡ്	5.01
ക്ലോറിൻ	6.17

ഈ വാതകങ്ങളുടെ അളക്കപ്പെട്ട മോളാർ വിശിഷ്ട താപധാരിത ഏക അറ്റോമിക വാതകങ്ങളുടേതിൽ നിന്നും വ്യത്യസ്തമാണ്. ഒരു ഏകഅറ്റോമിക വാതകത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത 2.92 cal/mol K ആകുന്നു. ഈ വ്യത്യാസം എന്തുകൊണ്ടായിരിക്കും ഉണ്ടായിരിക്കുന്നത്? വിശദീകരിക്കുക. ക്ലോറിന് താരതമ്യേന ഉയർന്ന വില (മറ്റുള്ളവയെ അപേക്ഷിച്ച്) ഉള്ളതിന്റെ കാരണം എന്താണെന്ന് നിങ്ങൾ കണ്ടെത്തുക.

11.16 $101^{\circ}F$ താപനിലയിൽ പനിയുള്ള ഒരു കുട്ടിക്ക് ഒരു ആന്റിപൈറിൻ (പനി കുറയ്ക്കുന്നതിനുള്ള മരുന്ന്) നൽകുന്നതിന്റെ ഫലമായി അവന്റെ ശരീരത്തിൽനിന്നുമുള്ള ബാഷ്പീകരണനിരക്ക് കൂടുന്നു. 20 മിനിറ്റിനുള്ളിൽ പനി $98^{\circ}F$ ലേക്ക് താഴ്ന്നെങ്കിൽ മരുന്നിന്റെ ഫലമായി ഉണ്ടായ ശരാശരി അധിക ബാഷ്പീകരണ നിരക്ക് എന്ത്? ബാഷ്പീകരണ

ത്തിലൂടെ മാത്രമേ താപനഷ്ടം ഉണ്ടാകുന്നുള്ളൂ എന്ന് സങ്കൽപ്പിക്കുക. കുട്ടിയുടെ മാസ് 30 kg ആകുന്നു. മനുഷ്യശരീരത്തിന്റെ വിശിഷ്ട താപധാരിത ഏകദേശം ജലത്തിന്റേതിനു തുല്യമാണ്. ജലത്തിന്റെ ബാഷ്പീകരണ ലീനതാപം ഈ താപനിലയിൽ ഏകദേശം 580 cal g^{-1} ആണ്.

11.17 ഒരു തെർമോകോൾ ഐസ്പെട്ടി ചെറിയ അളവിലുള്ള പാചകം ചെയ്ത ആഹാരത്തെ വേനൽക്കാലത്ത്, സംഭരിച്ചു വയ്ക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കാവുന്ന ചിലവു കുറഞ്ഞതും കാര്യക്ഷമവുമായ ഉപാധികളിലൊന്നാണ്. ക്യൂബ് ആകൃതിയുള്ള ഒരു ഐസ് പാത്രത്തിന് 30 cm വശവും 5.0 cm കനവുമുണ്ട്. 4.0 kg ഐസ് ബോക്സിൽ വച്ചിരുന്നാൽ 6 മണിക്കൂറിനുശേഷം അവശേഷിക്കുന്ന ഐസിന്റെ അളവ് എന്ത്? പുറത്തെ താപനില 45 °C ഉം തെർമോകോളിന്റെ താപീയ ചാലകത സ്ഥിരാങ്കം 0.01 J s^{-1} m^{-1} K^{-1} ആകുന്നു. [ജലത്തിന്റെ ദ്രവീകരണ ലീനതാപം $= 335 \times 10^3$ J kg^{-1}]

11.18 ഒരു ബ്രാസ്സ് ബോയിലറിന് 0.15 m^2 ബേസ് വിസ്തീർണവും 1.0 cm കനവുമുണ്ട്. ഒരു ഗ്യാസ് സ്റ്റൗവിൽ വയ്ക്കുമ്പോൾ ഇത് 6.0 kg/min എന്ന നിരക്കിൽ ജലത്തെ തിളപ്പിക്കുന്നു. ബോയിലറുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്ന ഭാഗത്തെ ഭാഗികമായ ജ്വാലയുടെ താപനില കാണുക. ബ്രാസ്സിന്റെ താപീയചാലകത = 109 J s^{-1} m^{-1} K^{-1} ജലത്തിന്റെ ബാഷ്പീകരണലീനതാപം = 2256 $\times 10^3$ J kg^{-1}.

11.19 താഴെകൊടുത്തിരിക്കുന്ന കാര്യങ്ങൾ എന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് വിശദീകരിക്കുക.

(a) നല്ല പ്രതിഫലകമായ ഒരു വസ്തു ഒരു മോശം ഉത്സർജകം ആകുന്നു.

(b) തണുപ്പുള്ള ദിവസം ഒരു തടിപ്പാത്രത്തേക്കാൾ തണുപ്പ് തോന്നുക ബ്രാസ്സ് ടംബ്ലറിനാണ്.

(c) ഒരു പ്രകാശിക പൈറോമീറ്റർ (ഉയർന്ന താപനിലഅളക്കുന്നതിന്) ശരിയായ തമോവസ്തു വികിരണം/ബ്ലാക്ക് ബോഡി വികിരണം (ideal black body radiation) അളക്കാനായി അടയാളപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു. ഇത് തുറസ്സായിരിക്കുന്ന ചുട്ടുപഴുത്ത ഇരുമ്പുകഷണത്തിന്റെ താപനില അളക്കുമ്പോൾ യഥാർത്ഥ വിലയേക്കാൾ താഴ്ന്ന വിലയാണ് നൽകുന്നത്, എന്നാൽ അതേ കഷണം ഒരു ഫർണസിൽ വച്ചിരുന്നാൽ യഥാർഥവില നൽകുന്നു.

(d) ഭൂമിക്ക് അന്തരീക്ഷമില്ലായിരുന്നെങ്കിൽ ഇവിടെ ജീവിക്കാൻ പറ്റാത്തവിധം തണുപ്പാകുമായിരുന്നു.

(e) ഒരു കെട്ടിടം ചൂടുപിടിപ്പിക്കാൻ ആവിയുടെ ചാക്രികപ്രവാഹം ആധാരമാക്കി പ്രവർത്തിക്കുന്ന ചൂടാക്കുന്നതിനുള്ള സംവിധാനങ്ങൾ ചൂടുവെള്ളത്തിന്റെ ചാക്രിക പ്രവാഹം അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള സംവിധാനത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ കാര്യക്ഷമമാണ്.

11.20 ഒരു വസ്തു 5 മിനിറ്റുകൊണ്ട് 80°C ൽ നിന്ന് 50°C ലേക്ക് തണുക്കുന്നു. ഇത് 60°C ൽനിന്ന് 20°C ലേക്ക് തണുക്കാനാവശ്യമായ സമയം കണക്കാക്കുക. ചുറ്റുപാടുകളുടെ താപനില 20°C ആകുന്നു.

11.21 കാർബൺഡയോക്സൈഡിന്റെ *P-T* ഡയഗ്രത്തെ ആധാരമാക്കി താഴെപ്പറയുന്ന ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരമെഴുതുക.

(a) ഏത് താപനിലയിലും മർദത്തിലുമാണ് CO_2 ന്റെ ഖരം, ദ്രാവക, വാതക അവസ്ഥകൾ തുലനാവസ്ഥയിൽ നിലനിൽക്കുന്നത്?

(b) മർദത്തിലുണ്ടാകുന്ന കുറവ് CO_2 ന്റെ ഖരണാങ്കം, തിളനില എന്നിവയെ എങ്ങനെ സ്വാധീനിക്കുന്നു?

(c) CO_2 ന്റെ ക്രിട്ടിക്കൽ (critical)താപനിലയും മർദവും എന്ത്? അവയുടെ പ്രാധാന്യം എന്ത്?

(d) (a) ഒരു അന്തരീക്ഷമർദത്തിലും 70°C താപനിലയിലും CO_2 ഖരമാണോ, ദ്രാവകമാണോ അതോ വാതകമാണോ? (b) 10 atm –60 °C ൽ CO_2 ഖരം, ദ്രാവകം, വാതകം ഇവയിലേതാണ്? (c) 56 atm 15 °C ൽ CO_2 ഖരം, ദ്രാവകം, വാതകം ഇവയിലെ ഏത് അവസ്ഥയിലാണ്?

അധിക പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

11.22 CO_2 ന്റെ $P-T$ ഡയഗ്രത്തെ ആധാരമാക്കി ചുവടെയുള്ള ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഉത്തരമെഴുതുക.

(a) ഒരു അന്തരീക്ഷമർദത്തിൽ - 60°C ലും CO_2 നെ സമതാപനിലയിൽ (isothermally) സങ്കോചിപ്പിച്ചാൽ ഇത് ദ്രാവകാവസ്ഥയിലേക്ക് കടക്കുമോ?

(b) 4 അന്തരീക്ഷമർദം എന്ന സ്ഥിരമർദത്തിൽ CO_2 നെ സാധാരണ താപനിലയിൽനിന്നു തണുപ്പിച്ചാൽ എന്തുസംഭവിക്കും?

(c) ഒരു നിശ്ചിത മാസ് ഖര CO_2 10 atm എന്ന സ്ഥിരമർദത്തിൽ 65°C ൽ നിന്ന് അന്തരീക്ഷ താപനിലയിലേക്ക് ചൂടാക്കിയാൽ ഉണ്ടാകുന്ന മാറ്റങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുക.

(d) CO_2 നെ 70°C താപനിലയിൽ ചൂടാക്കിയതിനുശേഷം സമതാപീയമായി സങ്കോചിപ്പിച്ചാൽ, അതിന്റെ സ്വഭാവങ്ങളിൽ എന്തെല്ലാം മാറ്റങ്ങൾ നിങ്ങൾ പ്രതീക്ഷിക്കുന്നു?