അധ്യായം 10

ദ്രവങ്ങളുടെ ബലതന്ത്ര സവിശേഷതകൾ (MECHANICAL PROPERTIES OF FLUIDS)

10.1 ആമുഖം
10.2 മർദം
10.3 ധാരാ രേഖീയപ്രവാഹം
10.4 ബെർണൂയിയുടെ തത്വം
10.5 വിസ്കോസിറ്റി
10.6 റെയ്നോൾഡ് സംഖ്യ
10.7 പ്രതലബലം
സംഗ്രഹം
വിചിന്തനവിഷയങ്ങൾ
പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ
കൂടുതൽ പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ
അനുബന്ധം

S7N3L5

10.1 ആമുഖം (INTRODUCTION)

ദ്രാവകങ്ങളുടെയും വാതകങ്ങളുടെയും ചില പൊതുവായ ഭൗതിക സവിശേഷതകൾ നാം ഈ അധ്യായത്തിൽ പഠിക്കും. ദ്രാവകങ്ങൾക്കും വാതകങ്ങൾക്കും ഒഴുകാൻ സാധിക്കും. അതുകൊണ്ട് അവയെ 'ദ്രവങ്ങൾ' (fluids) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഈ സ്വഭാവമാണ് അടിസ്ഥാന പരമായി ദ്രാവകങ്ങളെയും വാതകങ്ങളെയും ഖരങ്ങളിൽ നിന്നും വേർതിരിക്കുന്നത്.

നമുക്ക് ചുറ്റും എല്ലായിടത്തും ദ്രവങ്ങൾ ഉണ്ട്. ഭൂമിക്ക് വായുവിന്റെ ഒരു ആവരണം ഉണ്ട്, അതൊടൊപ്പം ഭൂവൽക്കത്തിന്റെ മൂന്നിൽ രണ്ടു ഭാഗം ജലമാണ്. കേവലം നമ്മുടെ നിലനിൽപ്പിന്റെ ആവശ്യം എന്നതിലുപരി, എല്ലാ സസ്തിനികളുടെയും ശരീരത്തിന്റെ ഭൂരിഭാഗത്തിലും ജലം ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. സസ്യങ്ങൾ ഉൾപ്പെടെയുള്ള ജീവജാലങ്ങളിൽ നടക്കുന്ന എല്ലാ പ്രക്രിയകളുടെയും മാധ്യമമായി വർത്തിക്കുന്നതും ദ്രവങ്ങളാണ്. അതിനാൽ ദ്രവങ്ങളുടെ സ്വഭാവങ്ങളും സവിശേഷതകളും മനസ്സിലാക്കുന്നത് വളരെ പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്നു.

ദ്രവങ്ങൾ എങ്ങനെയാണ് ഖരപദാർത്ഥങ്ങളിൽ നിന്നും വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്? ദ്രാവകങ്ങളിലും വാതകങ്ങളിലും പൊതുവായുള്ളതെന്താണ്? ഖരപദാർത്ഥങ്ങളിൽ നിന്നും വിഭിന്നമായി ദ്രവങ്ങൾക്ക് സ്വന്തമായി നിശ്ചിത ആകൃതി ഇല്ല. ഖരങ്ങൾക്കും ദ്രാവകങ്ങൾക്കും നിശ്ചിതമായ ഉള്ളളവ് ഉണ്ട്, എന്നാൽ വാതകം അത് അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന പാത്രത്തിന്റെ മുഴുവൻ ഉള്ളളവും ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. സ്ട്രെസ്സ് മൂലം ഖരങ്ങളുടെ ഉള്ളളവിൽ വ്യത്യാസം വരുത്താവുന്നതാണ് എന്ന് കഴിഞ്ഞ അധ്യായത്തിൽ നാം പഠിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഖരത്തിന്റെയോ ദ്രാവകത്തിന്റെയോ വാതകത്തിന്റെയോ ഉള്ളളവ്, അതിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന സ്ട്രെസ്സ് അല്ലെങ്കിൽ മർദ്ദത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഖരത്തിന്റെയോ ദ്രാവകത്തിന്റെയോ നിശ്ചിത ഉള്ളളവ് എന്നു പറയുമ്പോൾ നാം അർത്ഥമാക്കുന്നത് സാധാരണ അന്തരീക്ഷ മർദ്ദത്തിലുള്ള ഉള്ളളവ് എന്നാണ്. ഖരങ്ങളിലോ ദ്രാവകങ്ങളിലോ ബാഹ്യമർദം ഉണ്ടാക്കുന്ന ഉള്ളളവ് വ്യത്യാസം തുലോം കുറവാണ് എന്നാൽ വാതകങ്ങളിൽ ഇത്തരം സാഹചര്യങ്ങൾ അതിന്റെ വ്യാപ്തത്തിൽ വലിയ മാറ്റം വരുത്തുന്നതായി കാണാം. അതായത് വാതകങ്ങളും ദ്രാവകങ്ങളും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം, ഖരങ്ങൾക്കും ദ്രാവകങ്ങൾക്കും വാതകങ്ങളുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ വളരെ കുറഞ്ഞ സങ്കോചക്ഷമത (Compressibility) യാണുള്ളതെന്നതാണ്.

ഒരു ഖരത്തിന്റെ ഉള്ളളവ് നിശ്ചിതമായി നിലനിർത്തികൊണ്ടു തന്നെ അതിന്റെ ആകൃതിക്കു മാറ്റം വരുത്താൻ ഷിയറിംഗ് സ്ട്രെസ്സിനു (shear stress) സാധിക്കും. ദ്രവങ്ങൾ ഷിയറിംഗ് സ്ട്രെസ്സിനു വളരെ കുറച്ചു പ്രതിരോധമേ കൊടുക്കുന്നുള്ളൂ എന്നതാണ് അവയുടെ പ്രധാന സ്വഭാവം. വളരെ ചെറിയ ഷിയറിംഗ് സ്ട്രെസ്സിന്റെ പ്രയോഗത്തിലൂടെ അവയുടെ ആകൃതി വ്യത്യാസപ്പെടുത്താം. ദ്രവങ്ങളുടെ ഷിയറിംഗ് സ്ട്രെസ്സ് ഖരങ്ങളേക്കാൾ ദശലക്ഷകണക്കിന് മടങ്ങ് ചെറുതാണ്.

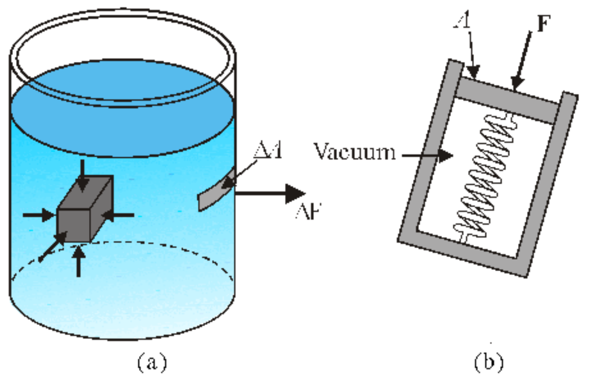
10.2 മർദം (Pressure)

ഒരു കൂർത്ത സൂചി നമ്മുടെ തൊലിയിൽ അമർത്തിയാൽ അത് തൊലിയിൽ തുളച്ചുകയറും. പക്ഷേ കൂടുതൽ സമ്പർക്ക പരപ്പളവുള്ള മൂർച്ചയില്ലാത്ത (ഒരു സ്പൂണിന്റെ പുറകുവശം പോലെ) വസ്തുക്കൾ ഉപയോഗിച്ച് തുല്യ ബലത്തോടെ അമർത്തിയാൽ നമ്മുടെ തൊലി തുളയുന്നില്ല. ഒരു മനുഷ്യന്റെ മാറിൽ ഒരാന കാല് കയറ്റി വെക്കുകയാണെങ്കിൽ അവന്റെ വാരിയെല്ലുകൾ പൊട്ടുന്നു. ഒരു സർക്കസ് അഭ്യാസിയുടെ മാറിടത്തിന് കുറുകേ, വലിയതും ഭാരം കുറഞ്ഞതും എന്നാൽ ബലമുള്ളതുമായ ഒരു പലകക്കഷണം, ആദ്യമേ തന്നെ വെച്ചാൽ ഈ അപകടത്തിൽ നിന്നും രക്ഷപ്പെടാവുന്നതാണ്. ബലം മാത്രമല്ല അത് പ്രയോഗിക്കുന്ന പരപ്പളവും പ്രധാനപ്പെട്ടതാണ് എന്ന് നിത്യ ജീവിത്തിലെ ഇതുപോലുള്ള അനുഭവങ്ങൾ നമ്മെ ബോധ്യപ്പെടുത്തുന്നു. ബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന പ്രതലം എത്ര ചെറുതാണോ അത്രയും വലുതായിരിക്കും ബലത്തിന്റെ ആഘാതം. ഈ ആശയം മർദം എന്നറിയപ്പെടുന്നു.

നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ഒരു ദ്രവത്തിൽ ഒരു വസ്തു മുങ്ങിയിരിക്കുമ്പോൾ, ദ്രവം ആ വസ്തുവിന്റെ പ്രതലത്തിൽ ഒരു ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നു. ഈ ബലം എല്ലായ്പ്പോഴും വസ്തുവിന്റെ പ്രതലത്തിനു ലംബമായിരിക്കും. പ്രതലത്തിനു സമാന്തരമായി ബലത്തിന്റെ ഒരു ഘടകം ഉണ്ടായിരിന്നുവെങ്കിൽ, ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം നിയമപ്രകാരം വസ്തുവും സമാന്തരമായി ഒരു ബലം ദ്രാവകത്തിൽ പ്രയോഗിച്ചേനെ. ഈ ബലം പ്രതലത്തിനു സമാന്തരമായി ദ്രാവകം ഒഴുകാൻ കാരണമായേനെ. ദ്രാവകം നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ ആയതിനാൽ ഇത് സംഭവിക്കുന്നില്ല. അതിനാൽ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ദ്രാവകം പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം അതുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്ന പ്രതലത്തിനു ലംബമായിരിക്കും. ഇത് ചിത്രം 10.1(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ദ്രവം ഒരു ബിന്ദുവിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബമായ ബലം അളക്കാൻ സാധിക്കും. ഇങ്ങനെയുള്ള, മർദം അളക്കുന്ന ഒരു ഉപകരണത്തിന്റെ മാതൃക ചിത്രം 10.1(b) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പിസ്റ്റണിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം അളക്കാൻ വേണ്ടി അങ്കനം ചെയ്യപ്പെട്ട (calibrated) സ്പ്രിംഗ് ഉൾക്കൊള്ളുന്ന വായു ശൂന്യമായ അറ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഈ ഉപകരണത്തെ ദ്രവത്തിനുള്ളിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ വെയ്ക്കുന്നു. ദ്രവം പിസ്റ്റണിൽ അകത്തേക്ക് പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലവും സ്പ്രിംഗ് പുറത്തേയ്ക്ക് പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലവും തുലനം ചെയ്യപ്പെടുകയും അതുവഴി അളക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു.

പരപ്പളവ് A ഉള്ള ഒരു പിസ്റ്റണിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന



ചിത്രം 10.1 (a) ബീക്കറിലെ ദ്രാവകം മുങ്ങിക്കിടക്കുന്ന വസ്തുവിലോ ഭിത്തിയിലോ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും പ്രതലത്തിനു ലംബമായിരിക്കും.

ചിത്രം 10.1 (b) മർദം അളക്കാനുള്ള ഉപകരണത്തിന്റെ ഉദാത്തമാതൃക.

ലംബ ബലത്തിന്റെ അളവ് 'F' ആണെങ്കിൽ ശരാശരി മർദം P_{av} നെ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബ ബലമായി നിർവചിക്കാം.

$$P_{av} = \frac{F}{A} \qquad (10.1)$$

തത്ത്വത്തിൽ, പിസ്റ്റണിന്റെ പരപ്പളവ് എത്ര വേണമെങ്കിലും ചെറുതാക്കാം. മർദത്തെ സൂക്ഷ്മമായി വിശകലനം ചെയ്താൽ

$$P = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$ എന്നു നിർവചിക്കാം (10.2)

മർദം ഒരു അദിശ അളവാണ്. സമവാക്യം 10.1 ലും 10.2 ലും അംശത്തിൽ കാണുന്ന സദിശ ബലം അല്ല, പകരം പരിഗണിക്കുന്നത് പരപ്പളവിനു ലംബമായ ബലത്തിന്റെ ഘടകമാണ് എന്ന് ഓർക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഇതിന്റെ ഡൈമൻഷൻ $ML^{-1}T^{-2}$ ആണ്. മർദത്തിന്റെ SI യൂണിറ്റ് $N\,m^{-2}$ ആണ്. ദ്രവമർദത്തിൽ മാർഗ്ഗോദ്ദീ

* STP യുടെ അർഥം, സ്റ്റാൻഡേർഡ് താപനിലയും (0^0C) 1 atm മർദവും ആണ്.

പകങ്ങളായ പഠനങ്ങൾ നടത്തിയ ഫ്രഞ്ച് ശാസ്ത്രജ്ഞൻ ബ്ലെയ്സ് പാസ്കലി (Blasic Pascal)ന്റെ (1623 –1662) ബഹുമാനാർത്ഥം ഇതിനെ പാസ്കൽ (Pa) എന്ന് നാമകരണം ചെയ്തിരിക്കുന്നു. മർദ്ദത്തിന്റെ പൊതുവായ യൂണിറ്റ് ആണ് അറ്റ്മോസ്ഫിയർ (atm.) അതായതു സമുദ്രനിരപ്പിൽ അന്തരീക്ഷം ചെലുത്തുന്ന മർദ്ദം (1 atm = 1.013×10^5 Pa).

ദ്രവങ്ങളുടെ സ്വഭാവങ്ങൾ വിശദീകരിക്കാൻ മറ്റൊരു പ്രധാന അളവാണ് സാന്ദ്രത ρ. 'm' മാസ്സും V ഉള്ളളവും ഉള്ള ഒരു ദ്രവത്തിന്റെ സാന്ദ്രത

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ ആണ്} \qquad (10.3)$$

സാന്ദ്രതയുടെ ഡൈമെൻഷൻ $[ML^{-3}]$ ആണ്. ഇതിന്റെ SI യൂണിറ്റ് $kg\ m^{-3}$ ആണ്. ഇതൊരു പോസിറ്റീവ് അദിശ അളവാണ്. ദ്രാവകങ്ങൾ വലിയൊരളവു വരെ പൊതുവേ സങ്കോചരഹിതങ്ങൾ (incompressible) ആയതുകൊണ്ട് അതിന്റെ സാന്ദ്രത എല്ലാ മർദത്തിലും ഏകദേശം സ്ഥിരമാണ്. നേരെ മറിച്ച്, വാതകങ്ങൾ മർദത്തിനനുസരിച്ച് സാന്ദ്രതയിൽ വലിയ മാറ്റം പ്രദർശിപ്പിക്കുന്നു.

$4^{\circ}C$ (277 K) ൽ ജലത്തിന്റെ സാന്ദ്രത $1.0 \times 10^3\ kg\ m^{-3}$ ആണ്. ഒരു വസ്തുവിന്റെ ആപേക്ഷിക സാന്ദ്രത എന്നത് വസ്തുവിന്റെ സാന്ദ്രതയും $4^{\circ}C$ ലുള്ള ജലത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയും തമ്മിലുള്ള അനുപാതമാണ്. ഇത് ഡൈമെൻഷൻ ഇല്ലാത്ത പോസിറ്റീവ് അദിശ അളവാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് അലൂമിനിയത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക സാന്ദ്രത 2.7 ആണ്. ഇതിന്റെ സാന്ദ്രത $2.7 \times 10^3\ kg\ m^{-3}$ ആണ്. സാധാരണ ചില ദ്രവങ്ങളുടെ സാന്ദ്രതകൾ പട്ടിക 10.1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

പട്ടിക 10.1 : സാധാരണ ചില ദ്രവങ്ങളുടെ STP യിലെ സാന്ദ്രതകൾ

ദ്രവം	ρ (kg m^{-3})
ജലം	1.00×10^3
സമുദ്രജലം	1.03×10^3
മെർക്കുറി	13.6×10^3
ഈഥൈൽ ആൽക്കഹോൾ	0.806×10^3
രക്തം	1.06×10^3
വായു	1.29
ഓക്സിജൻ	1.43
ഹൈഡ്രജൻ	9.0×10^{-2}
നക്ഷത്രാന്തര സ്പേസ്	$\approx 10^{-20}$

ഉദാഹരണം 10.1: 40 kg. മാസുള്ള ഒരു മനുഷ്യശരീരത്തിന്റെ മുകൾഭാഗത്തിനെ $10 cm^2$ ഛേദതലപരപ്പളവു വീതമുള്ള രണ്ടു തുടയെല്ലുകൾ (femurs) താങ്ങി നിർത്തുന്നു. തുടയെല്ലുകൾ വഹിക്കുന്ന ശരാശരി മർദം (average pressure) കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം: തുടയെല്ലുകളുടെ ആകെ ഛേദതല പരപ്പളവ് $A = 2 \times 10\ cm^2 = 20 \times 10^{-4}\ m^2$

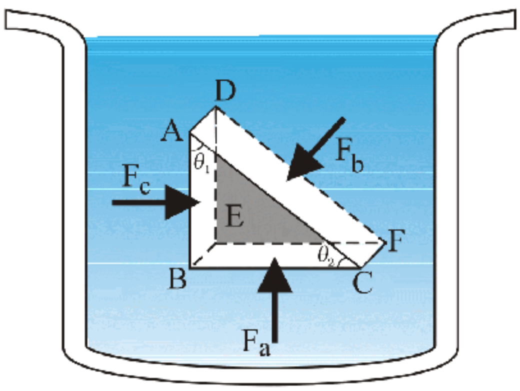
അതിൻമേൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ബലം, F = 40 kg wt = 400 N ആണ്.

($g = 10\ m\ s^{-2}$ എന്ന് എടുത്തിരിക്കുന്നു). നേരെ താഴോട്ട് പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഈ ബലം തുടയെല്ലുകൾക്ക് ലംബമായിരിക്കും. അതിനാൽ, ശരാശരി മർദ്ദം.

$$P_{av} = \frac{F}{A} = 2 \times 10^5\ N\ m^{-2}$$

10.2.1 പാസ്കലിന്റെ നിയമം (Pascal's law)

നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ദ്രവത്തിലെ ഒരേ ഉയരത്തിലുള്ള എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും ഒരേ മർദ്ദം ആയിരിക്കുമെന്ന് ഫ്രഞ്ച് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ബ്ലെയ്സ് പാസ്കൽ നിരീക്ഷിച്ചു. ഈ വസ്തുത ഒരു ലളിതമായ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കാണിക്കാവുന്നതാണ്.



ചിത്രം 10.2 പാസ്കൽ നിയമത്തിന്റെ തെളിവ്. നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ഒരു ദ്രവത്തിന്റെ ഉള്ളിലെ ഒരു സൂക്ഷ്മമായ മട്ടത്രികോണ ഭാഗമാണ് ABC-DEF. ഗുരുത്വ പ്രഭാവം തള്ളിക്കളയാവുന്നത്ര ചെറുതാണ്. പക്ഷേ വ്യക്തതയ്ക്കായി നാം ഈ ഭാഗത്തെ വലുതാക്കി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 10.2 ൽ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ഒരു ദ്രവത്തിന്റെ ഉള്ളിലെ ഒരു സൂക്ഷ്മഭാഗം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ ഭാഗം ABC-DEF ഒരു മട്ടത്രികോണ പ്രിസത്തിന്റെ (right angled prism) രൂപത്തിലാണ്. തത്വത്തിൽ, പ്രിസം രൂപത്തിലുള്ള ഈ സൂക്ഷ്മ ഭാഗം

വലിപ്പത്തിൽ വളരെ ചെറുതാണ്. ഇതു കാരണം ഇതിന്റെ എല്ലാ ഭാഗങ്ങളും ദ്രാവക ഉപരിതലത്തിൽ നിന്നും ഒരേ ആഴത്തിലാണെന്ന് സങ്കൽപ്പിക്കാവുന്നതാണ്. അതുകൊണ്ടുതന്നെ ഭൂഗുരുത്വ പ്രഭാവം എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും ഒരുപോലെയായിരിക്കും. വ്യക്തതയ്ക്കു വേണ്ടി നമ്മൾ ഇതിനെ വലുതാക്കി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ സൂക്ഷ്മഭാഗത്തിലെ ബലം ദ്രവത്തിലെ മറ്റു ഭാഗങ്ങൾ ചെലുത്തുന്നതാണ്. അതോടൊപ്പം മുകളിൽ ചർച്ച ചെയ്തതു പോലെ ഇവ സൂക്ഷ്മഭാഗത്തിന്റെ പ്രതലത്തിനു ലംബമായിരിക്കുകയും വേണം. BEFC, ADFC, ADEB എന്നീ പ്രതലങ്ങളിൽ ദ്രവം പ്രയോഗിക്കുന്ന ലംബബലം ആണ് F_a, F_b, F_c. ഈ പ്രതലങ്ങളുടെ പരപ്പളവ് യഥാക്രമം A_a, A_b, A_c ആണെങ്കിൽ അവയിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ദ്രവമർദം P_a, P_b, P_c എന്നിങ്ങനെയാണ്.

$F_b \sin\theta = F_c$, $F_b \cos\theta = F_a$ (സന്തുലിതാവസ്ഥ പ്രകാരം)

ചിത്രത്തിന്റെ ജ്യാമിതി പ്രകാരം

$A_b \sin\theta = A_c$ $\quad$ $A_b \cos\theta = A_a$

ഇവയുടെ ഹരണഫലം

$$\frac{F_b}{A_b} = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_a}{A_a}; \qquad P_b = P_c = P_a \qquad (10.4)$$

അതായത്, നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ഒരു ദ്രവത്തിൽ എല്ലാ ദിശകളിലും ചെലുത്തപ്പെടുന്ന ദ്രവമർദ്ദം ഒന്നു തന്നെയാണ്. മറ്റു തരത്തിലുള്ള സ്ട്രെസ്സുകളെപ്പോലെ മർദ്ദം ഒരു സദിശ അളവല്ലെന്നു ഇതു നമ്മെ ഓർമ്മപ്പെടുത്തുന്നു. ഇതിനു ഒരു ദിശയും കൊടുക്കാൻ സാധിക്കില്ല. നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള സമ്മർദ്ദത്തിലിരിക്കുന്ന ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ ഏതെങ്കിലും പ്രതലത്തിന് എതിരായുള്ള ബലം, പ്രതലത്തിന്റെ ക്രമീകരണം എങ്ങനെ ആയിരുന്നാലും, ആ പ്രതലത്തിന് ലംബമായിരിക്കും.

ഛേദതല പരപ്പളവ് ഒരുപോലെയുള്ളതും തിരശ്ചീന ദണ്ഡിന്റെ രൂപത്തിലുള്ളതുമായ ഒരു ദ്രവഭാഗം പരിഗണിക്കാം. ഈ ദ്രവദണ്ഡ് സന്തുലിതാവസ്ഥയിലാണ്. അതിനാൽ ഇതിന്റെ രണ്ടഗ്രങ്ങളിലും പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന തിരശ്ചീന ബലങ്ങൾ തുല്യമായിരിക്കണം അഥവാ രണ്ടഗ്രങ്ങളിലുമുള്ള മർദ്ദം തുല്യമായിരിക്കണം. സന്തുലിതാവസ്ഥയിലുള്ള ഒരു ദ്രാവകത്തിന് തിരശ്ചീന തലത്തിലെ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലുമുള്ള മർദ്ദം ഒന്നു തന്നെയാണ് എന്ന് ഇതു തെളിയിക്കുന്നു. ദ്രവത്തിന്റെ വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങളിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന മർദ്ദം തുല്യമല്ലെങ്കിൽ ദ്രവത്തിൻമേൽ ഒരു പരിണത ബലം പ്രയോഗിക്കപ്പെടുകയും ഒഴുകാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ ഒഴുക്കിന്റെ അഭാവത്തിൽ ദ്രവത്തിന്റെ ഒരു തിരശ്ചീന പ്രതലത്തിൽ എല്ലായിടത്തും മർദം ഒന്നു തന്നെ ആയിരിക്കണം. മർദ്ദ വ്യത്യാസം മൂലമുള്ള വായുവിന്റെ ഒഴുക്കാണ് കാറ്റ്.

10.2.2 ആഴത്തിനനുസരിച്ചു ഉണ്ടാകുന്ന മർദവ്യതിയാനം (Variation of pressure with depth)

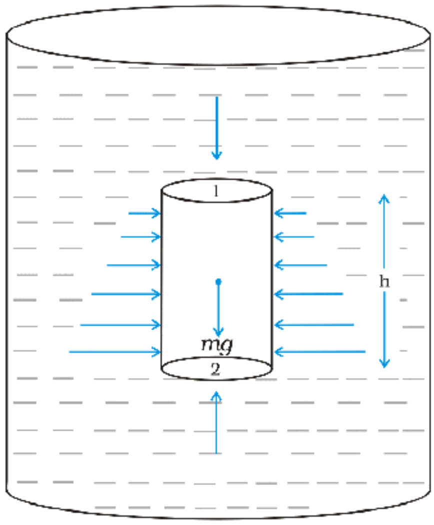
ഒരു പാത്രത്തിൽ വെച്ചിരിക്കുന്ന നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ദ്രവം പരിഗണിക്കുക. ചിത്രം 10.3 ൽ ബിന്ദു 2–ൽ നിന്നും h ഉയരത്തിലുള്ള ബിന്ദുവാണ് ബിന്ദു 1. ബിന്ദു 1 ലേയും 2 ലേയും മർദങ്ങൾ യഥാക്രമം P_1 ഉം P_2 ഉം ആണ് എന്നിരിക്കട്ടെ. ചിത്രത്തിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നതുപോലെ ബിന്ദു 1 ഉം 2 ഉം ഉൾക്കൊള്ളുന്നതും ചുവടിന്റെ പരപ്പളവ് A- യും ഉയരം h ഉം ഉള്ള ഒരു ദ്രവ സിലിണ്ടർ പരിഗണിക്കുക. ദ്രവം നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ ആയതിനാൽ ഇതിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ തിരശ്ചീനബലങ്ങൾ പൂജ്യമാകുകയും ആകെ ലംബബലം ഈ സിലിണ്ടറിന്റെ ഭാരത്തെ തുലനം ചെയ്യുകയും ചെയ്യും. സിലിണ്ടറിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ലംബബലം ചുവടെ പറയുന്ന രീതിയിൽ കണക്കാക്കാം. സിലിണ്ടറിന്റെ മുകളിലത്തെ അഗ്രത്തിൽ ദ്രവം പ്രയോഗിക്കുന്ന മർദം P_1 മൂലം ഉണ്ടാകുന്ന ബലം P_1A മുകളിൽ നിന്നും താഴേക്ക് അനുഭവപ്പെടുന്നു. അതേസമയം താഴെ ഉള്ള പ്രതലത്തിൽ ദ്രവമർദം P_2 ഉണ്ടാക്കുന്ന ബലം P_2A താഴെനിന്നും മുകളിലേക്കും അനുഭവപ്പെടുന്നു. അതുകൊണ്ട് സിലിണ്ടറിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ലംബബലം എന്നത് $(P_2-P_1)A$ എന്നാകുന്നു. ദ്രവസിലിണ്ടറിന്റെ ഭാരം 'mg' യ്ക്ക് തുല്യമായിരിക്കും.

അതിനാൽ $(P_2 - P_1)A = mg$ $\qquad$ (10.5)

ദ്രവത്തിന്റെ മാസ് സാന്ദ്രത (mass density) ρ ആണെങ്കിൽ, ദ്രവത്തിന്റെ മാസ്സ് $m = \rho V = \rho hA$

അതിനാൽ

$$P_2 - P_1 = \rho g h \qquad (10.6)$$

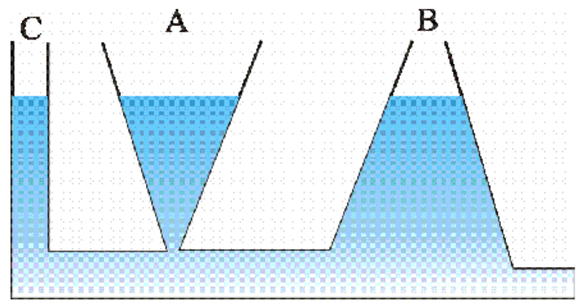


ചിത്രം 10.3 ഭൂഗുരുത്വത്തിനു വിധേയമായ ദ്രവം കുത്തനെയുള്ള ഒരു സിലിണ്ടർ രൂപത്തിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന മർദ്ദത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഭൂഗുരുത്വബലത്തെ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

ആയതിനാൽ സിലിണ്ടറിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന മർദ വ്യതിയാനം സിലണ്ടറിന്റെ ഉയരത്തെയും (ബിന്ദുക്കൾ 1നും 2നും ഇടയിലുള്ള ദൂരം) ദ്രവത്തിന്റെ സാന്ദ്രത 'ρ'യെയും ഗുരുത്വത്വരണം 'g'യെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ചർച്ചയിലുള്ള ബിന്ദു 1 ദ്രവത്തിന്റെ (ജലം എന്നു പറയാം) ഉപരിതലത്തിലേക്ക് മാറ്റുമ്പോൾ അത് അന്തരീക്ഷവുമായി സമ്പർക്കത്തിലാകുന്നു. അതിനാൽ P_1 നെ അന്തരീക്ഷമർദം (P_a) വച്ചും P_2 നെ P വച്ചും മാറ്റി എഴുതാം. അപ്പോൾ 'P_2' വിനെ 'P' കൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ സമവാക്യം (10.6).

$$P = P_a + \rho g h \qquad (10.7)$$

അന്തരീക്ഷത്തിലേക്കു തുറന്നിരിക്കുന്ന ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിനു താഴെ 'h' ആഴത്തിലുള്ള മർദ്ദം, അന്തരീക്ഷ മർദത്തേക്കാൾ ρgh കണ്ട് കൂടുതലാണ്. 'h' ആഴത്തിലുള്ള അധിക മർദം $P-P_a$ ആ ബിന്ദുവിലെ 'ഗേജ് മർദം' (Gauge pressure)എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു. സമവാക്യം 10.7 ൽ കേവല മർദത്തിന്റെ സമീകരണത്തിൽ സിലിണ്ടറിന്റെ പരപ്പളവ് പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നില്ല. അങ്ങനെ ഛേദതല അഥവാ ചുവട് പരപ്പളവിനോ പാത്രത്തിന്റെ ആകാരത്തിനോ അല്ല പ്രാധാന്യം, ദ്രവ സ്തൂപത്തിന്റെ (fluid column) ഉയരത്തിനാണ്. ഒരേ തിരശ്ചീന ലെവലിലുള്ള എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും ദ്രാവക മർദം ഒരു പോലെയാണ്. ഈ ഫലം ഹൈഡ്രോസ്റ്റാറ്റിക് പാരഡോക്സ് (Hydrostatic paradox) എന്ന ഉദാഹരണത്തിലൂടെ വ്യക്തമാകുന്നു. വ്യത്യസ്ത ആകൃതിയിലുള്ള മൂന്ന് പാത്രങ്ങൾ A, B,C (ചിത്രം 10.4) പരിഗണിക്കുക. അടിയിൽ ഒരു തിരശ്ചീന പൈപ്പ് ഉപയോഗിച്ച് അവയെ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. വെള്ളം നിറയ്ക്കുമ്പോൾ വ്യത്യസ്ത അളവ് വെള്ളമാണ് ഉൾക്കൊള്ളുന്നതെങ്കിലും മൂന്നു പാത്രത്തിലെയും നിരപ്പ് ഒരു പോലെയാണ്. പാത്രത്തിന്റെ ഓരോ ഭാഗത്തിനും അടിയിൽ ജലത്തിന് ഒരേ മർദ്ദമായതാണ് ഇതിനുള്ള കാരണം.



ചിത്രം 10.4 ഹൈഡ്രോസ്റ്റാറ്റിക് പാരഡോക്സിന്റെ ചിത്രീകരണം A,B,C എന്ന മൂന്നു പാത്രങ്ങൾ, വ്യത്യസ്ത അളവ് ദ്രാവകം ഉൾക്കൊള്ളുന്നു, എല്ലാം ഒരേ ഉയരത്തിൽ

▶ ഉദാഹരണം 10.2: ഒരു തടാകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ നിന്നും 10 m താഴെ ഒരു നീന്തൽ താരത്തിന് അനുഭവപ്പെടുന്ന മർദം എത്രയാണ്?

ഉത്തരം: ഇവിടെ $h = 10 m$ ρ 1000 kg m^{-3}

സമവാക്യം 10.7 ൽ $g = 10\ m\ s^{-2}$ എന്ന് എടുക്കുക

$P = P_a + \rho g h$

$= 1.01 \times 10^5\ Pa + 1000\ kg\ m^{-3} \times 10\ m\ s^{-2} \times 10\ m$

$= 2.01 \times 10^5\ Pa$

≈ 2 atm

ഉപരിതലത്തിലെ മർദ്ദത്തിൽ നിന്നും 100% വർദ്ധനവ് ആണിത്. 1 km ആഴത്തിൽ മർദത്തിലുള്ള വർദ്ധനവ് 100atm. ആണ്. അന്തർവാഹിനികൾ രൂപ കൽപന ചെയ്തിരിക്കുന്നത് ഇതുപോലെയുള്ള ഉന്നത മർദം പ്രതിരോധിക്കാൻ പറ്റുന്ന രീതിയിലാണ്. ◀

10.2.3 അന്തരീക്ഷ മർദവും ഗേജ് മർദവും (Atmospheric pressure and gauge pressure)

ഒരു ബിന്ദുവിലെ അന്തരീക്ഷ മർദം എന്നത് ആ ബിന്ദുവിൽ നിന്നും അന്തരീക്ഷ ഉപരിതലം വരെ വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്ന യൂണിറ്റ് ഛേദതല പരപ്പളവുള്ള വായു

യൂപത്തിന്റെ ഭാരത്തിനു തുല്യമാണ്. സമുദ്ര നിരപ്പിൽ ഇത് 1.013×10^5 Pa (1 atm) ആണ്. ഇറ്റാലിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ഇവാൻജെലിസ്ട ടോറിസെല്ലിയാണ് (Evangelista Torricelli) (1608–1647) അന്തരീക്ഷ മർദം അളക്കാൻ ഒരു ഉപകരണം ആദ്യമായി രൂപകൽപന ചെയ്തത്. ചിത്രം 10.5 (a) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ ഒരഗ്രം അടച്ച ഒരു ഗ്ലാസ്സ് ട്യൂബിൽ മെർക്കുറി നിറച്ച ശേഷം അത് മെർക്കുറി ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു പാത്രത്തിലേക്ക് കമഴ്ത്തിവെച്ചിരിക്കുന്ന സംവിധാനമാണ് മെർക്കുറി ബാരോമീറ്റർ. കുഴലിലെ മെർക്കുറി യൂപത്തിന്റെ മുകൾഭാഗത്ത് നേരിയതോതിൽ മെർക്കുറി ബാഷ്പം മാത്രമാണുള്ളത്. അതുകൊണ്ട് ഈ മെർക്കുറി ബാഷ്പം യൂപത്തിൽ ചെലുത്തുന്ന മർദം അവഗണിക്കാവുന്നത്ര ചെറുതാണ്. അതിനാൽ മെർക്കുറിയൂപത്തിന്റെ മുകളിലുള്ള ബിന്ദു 'A' യിലെ മർദം പൂജ്യമായിരിക്കും. അതേസമയം മെർക്കുറിയൂപത്തിന്റെ താഴെ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന ബിന്ദു 'B' യിലും യൂപത്തിന് വെളിയിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന ബിന്ദു 'C' യിലും അനുഭവപ്പെടുന്ന മർദം തുല്യമായിരിക്കും. ബിന്ദു 'C' യിൽ അനുഭവപ്പെടുന്നത് അന്തരീക്ഷ മർദം 'P_a' ആണല്ലോ. അതുകൊണ്ട്

$$P_a = \rho g h \qquad (10.8)$$

ρ മെർക്കുറിയുടെ മാസ്സ് സാന്ദ്രതയും, h ട്യൂബിലെ മെർക്കുറി യൂപത്തിന്റെ ഉയരവുമാണ്.

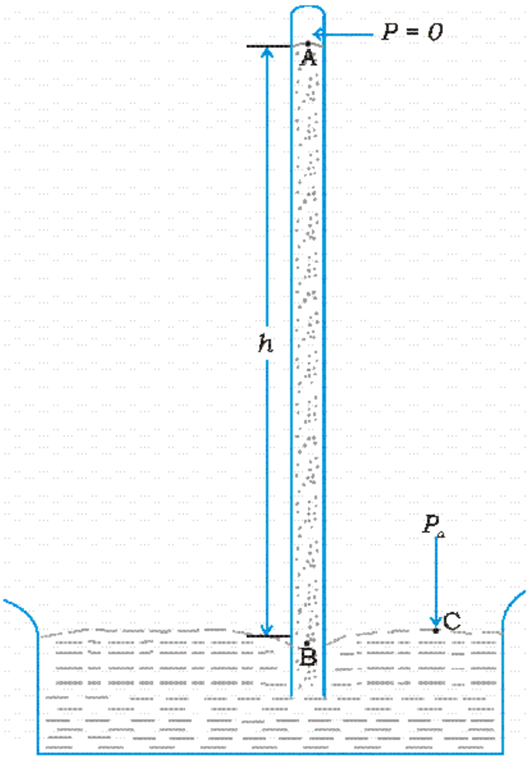
ബാരോമീറ്ററിലെ മെർക്കുറിയൂപത്തിന്റെ ഉയരം സമുദ്ര നിരപ്പിൽ 76cm ആണെന്ന് പരീക്ഷണത്തിൽ കണ്ടെത്തി. ഇത് ഒരു അറ്റ്മോസ്ഫിയറിന് (1 atm) സമാനമാണ്. സമവാക്യം 10.8ൽ മെർക്കുറിയുടെ സാന്ദ്രതാമൂല്യം കൊടുത്ത് ഇത് കണ്ടെത്താം. അന്തരീക്ഷ മർദം അളക്കാൻ സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന യൂണിറ്റ് മെർക്കുറി യൂപത്തിന്റെ cm ലോ mmലോ ഉള്ള ഉയരമാണ്. 1mm മെർക്കുറി യൂപത്തിന്റെ ഉയരം സൂചിപ്പിക്കുന്ന മർദത്തെ ഒരു ടോർ (ടോറിസെല്ലിയുടെ ബഹുമാനാർത്ഥം) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത് വൈദ്യശാസ്ത്രത്തിൽ മർദത്തിന്റെ യൂണിറ്റായി ഉപയോഗിക്കുന്നു.

1 torr = 133 Pa.

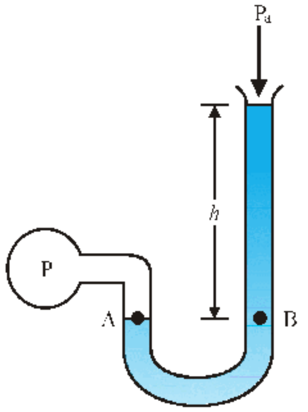
കാലാവസ്ഥാ ശാസ്ത്രത്തിൽ (Meteorology) മർദത്തിന്റെ സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന യൂണിറ്റ് ബാറും മില്ലി ബാറുമാണ്.

1 bar = 10^5 Pa

മർദവ്യത്യാസം അളക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗപ്രദമായ ഉപകരണമാണ് ഒരു തുറന്ന മാനോമീറ്റർ ട്യൂബ് (open tube manometer). അനുയോജ്യമായ ദ്രാവകം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു U- ട്യൂബ് ആണ് ഇതിന്റെ പ്രധാനഭാഗം. താഴ്ന്ന മർദവ്യത്യാസം അളക്കുവാനായി എണ്ണപോലെ കുറഞ്ഞ സാന്ദ്രതയുള്ള ദ്രാവകവും ഉയർന്ന മർദവ്യത്യാസം അളക്കുവാനായി മെർക്കുറിപോലെ ഉയർന്ന സാന്ദ്രതയുള്ള ദ്രാവകങ്ങളും ആണ് U- ട്യൂബിൽ ഉപയോഗിക്കാറുള്ളത്. ട്യൂബിന്റെ ഒരഗ്രം അന്തരീക്ഷത്തിലേക്ക് തുറന്നിരിക്കുന്നു. മറ്റേ അഗ്രം ഏത് സിസ്റ്റത്തിന്റെ മർദമാണോ നമുക്ക് അളക്കേണ്ടത് അതുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. (ചിത്രം 10.5 (b) കാണുക). 'A' യിലെ മർദം 'P', ബിന്ദു 'B' യിലെ മർദത്തിന് തുല്യമാണ്. നാം സാധാരണയായി അളക്കുന്നത് ഗേജ് മർദമാണ്. സമവാക്യം 10.8 ൽ തന്നിരിക്കുന്നതു പ്രകാരം ഇത് ($P-P_a$) ആണ് മാത്രമല്ല ഇത് മാനോമീറ്റർ ഉയരം 'h' ന് ആനുപാതികവുമാണ്.



ചിത്രം 10.5 (a) മെർക്കുറി ബാരോ മീറ്റർ



ചിത്രം 10.5 (b) തുറന്ന മാനോമീറ്റർ ട്യൂബ്

ചിത്രം 10.5 മർദ്ദം അളക്കുന്നതിനുള്ള രണ്ട് സംവിധാനങ്ങൾ

U-ട്യൂബിന്റെ ദ്രാവകം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന രണ്ടു വശങ്ങളിലും ഒരേ നിരപ്പിൽ ഒരേ മർദ്ദമാണ് അനുഭവപ്പെടുക. താപനിലയിലും മർദ്ദത്തിലും ഉണ്ടാകുന്ന വലിയ വ്യതിയാനങ്ങൾ, ദ്രാവകത്തിന്റെ മാസ്സ് സാന്ദ്രതയിൽ നേരിയ മാറ്റങ്ങൾ മാത്രമേ വരുത്തുന്നുള്ളൂ. അതിനാൽ സാന്ദ്രത സ്ഥിരമാണെന്ന് അനുമാനിക്കാനാകും. അതേ സമയം വാതകങ്ങളിൽ താപനിലയിലും മർദ്ദത്തിലും ഉണ്ടാകുന്ന മാറ്റങ്ങൾ വലിയ സാന്ദ്രതാവ്യത്യാസം വരുത്തുന്നു. അതിനാൽ വാതകങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് ദ്രാവകങ്ങൾ വലിയൊരളവു വരെ സങ്കോചരഹിതമാണെന്ന് (incompressible) കരുതുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.3: സമുദ്ര നിരപ്പിൽ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ സാന്ദ്രത 1.29 kg/m³ ആണ്. ഉയരത്തിനനുസരിച്ച് ഇത് മാറുന്നില്ല എന്ന് സങ്കൽപിക്കുക. എങ്കിൽ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ ഉയരം എത്ര?

ഉത്തരം: സമവാക്യം 10.7 ഉപയോഗിച്ച്

$\rho g h = 1.29\ \text{kg m}^{-3} \times 9.8\ \text{m s}^{-2} \times h\ \text{m} = 1.01 \times 10^5\ \text{Pa}$

$\therefore h = 7989\ \text{m} \approx 8\ \text{km}$

യഥാർത്ഥത്തിൽ വായുവിന്റെ സാന്ദ്രത ഉയരത്തിനനുസരിച്ച് കുറയുന്നു. 'g' യുടെ മൂല്യവും അങ്ങനെ തന്നെ. അന്തരീക്ഷമാകുന്ന ആവരണം ഈ മാറ്റം കൊണ്ട് 100km ലേറെ മുകളിൽ വ്യാപിച്ച് കിടക്കുന്നു. സമുദ്ര നിരപ്പിൽ അന്തരീക്ഷ മർദ്ദം എപ്പോഴും മെർക്കുറിയുടെ 760mm ആയിരിക്കണമെന്നില്ല. മെർക്കുറിയൂപത്തിന്റെ നിരപ്പ് 10 മില്ലിമീറ്ററോ അതിലധികമോ കുറയുന്നത്, കൊടുങ്കാറ്റിന്റെ വരവിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.4: സമുദ്രത്തിൽ 1000 m താഴ്ചയിൽ (a) കേവല മർദ്ദം എന്താണ് (b) ഗേജ് മർദ്ദം എത്രയാണ് (c) ഈ ആഴത്തിൽ ഒരു അന്തർവാഹിനിയുടെ 20cm x 20cm പരപ്പളവുള്ള ജനലിൽ ചെലുത്തുന്ന ബലം എത്രയായിരിക്കും. അന്തർവാഹിനിയുടെ ഉള്ളിലെ മർദ്ദം സമുദ്ര നിരപ്പിലെ അന്തരീക്ഷ മർദ്ദമായി നിലനിർത്തിയിരിക്കുന്നു. (കടൽ വെള്ളത്തിന്റെ സാന്ദ്രത 1.03×10^3 kg m^{-3} ആണ് $g = 10\text{m s}^{-2}$)

ഉത്തരം: ഇവിടെ h=1000m, $\rho = 1.03 \times 10^3$ kg m^{-3}

(a) സമവാക്യം 10.6 ൽ നിന്നും, കേവല മർദ്ദം

$P = P_a + \rho g h$

$= 1.01 \times 10^5$ Pa

$+ 1.03 \times 10^3\ \text{kg m}^{-3} \times 10\ \text{m s}^{-2} \times 1000\ \text{m}$

$= 104.01 \times 10^5$ Pa

≈ 104 atm

(b) ഗേജ് മർദ്ദം $P - P_a = \rho g h = P_g$ ആണ്.

$P_g = 1.03 \times 10^3\ \text{kg m}^{-3} \times 10\ \text{ms}^{2} \times 1000\ \text{m}$

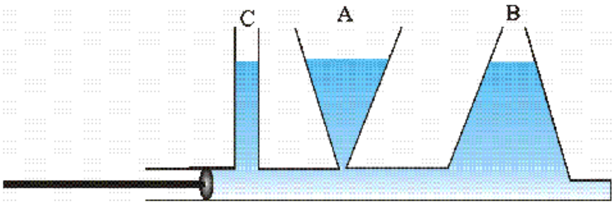
$= 103 \times 10^5$ Pa

≈ 103 atm

(c) മുങ്ങിക്കപ്പലിന്റെ പുറത്തെ മർദ്ദമാണ് $P = P_a + \rho g h$ അതിന്റെ അകത്തെ മർദ്ദം P_a ആണ്. അതിനാൽ ജാലകത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന പരിണിത മർദ്ദം ഗേജ് മർദ്ദമാണ്. അതായത് $P_g = \rho g h$. ജാലകത്തിന്റെ പരപ്പളവ് $A = 0.04\ \text{m}^2$ ആണ്, അതിൻമേൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം $F = P_g A = 103 \times 10^5 \text{Pa} \times 0.04\ \text{m}^2 = 4.12 \times 10^5$ N. ◀

10.2.4 ഹൈഡ്രോളിക് മെഷീനുകൾ (Hydraulic Machines)

ഒരു പാത്രത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ മർദ്ദം മാറ്റുമ്പോൾ എന്തു സംഭവിക്കുന്നു എന്ന് നോക്കാം. ഒരു പിസ്റ്റണോടുകൂടിയതും വ്യത്യസ്ത പോയിന്റുകളിൽ മൂന്നു ലംബകുഴലുകൾ ഉള്ളതുമായ ഒരു തിരശ്ചീന സിലിണ്ടർ പരിഗണിക്കുക. (ചിത്രം 10.6(a)) ലംബക്കുഴലുകളിലെ ദ്രാവകയൂപത്തിന്റെ ഉയരം തിരശ്ചീന സിലിണ്ടറിലെ മർദ്ദത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. എല്ലാ ട്യൂബുകളിലും ദ്രാവകയൂപത്തിന്റെ ഉയരം ഒന്നുതന്നെ ആണ്. പിസ്റ്റൺ തള്ളുമ്പോൾ എല്ലാ കുഴലുകളിലെയും ദ്രവ നിരപ്പ് ഉയരുന്നു, വീണ്ടും ഓരോന്നിലും തുല്യ നിരപ്പാകുന്നു.



ചിത്രം 10.6(a) ഒരു പാത്രത്തിലെ ദ്രവത്തിൽ ഏതെങ്കിലും ഭാഗത്ത് ബാഹ്യമർദം ചെലുത്തിയാൽ, ഇത് എല്ലാ ദിശകളിലും ഒരുപോലെ വിനിമയം ചെയ്യപ്പെടുന്നു.

ഇതു കാണിക്കുന്നത് സിലിണ്ടറിന്റെ മർദം വർദ്ധിപ്പിക്കുമ്പോൾ മർദം എല്ലായിടത്തും ഒരു പോലെ വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു എന്നാണ്. ഒരു പാത്രത്തിൽ ഉൾക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ ഏതെങ്കിലും ഭാഗത്ത്, എപ്പോഴെല്ലാം ബാഹ്യ മർദം പ്രയോഗിക്കുന്നുവോ, ഇത് അതേ അളവിൽ തന്നെ തുല്യമായി എല്ലാ ദിശകളിലും വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഇത് പാസ്കൽനിയമത്തിന്റെ തന്നെ മറ്റൊരു രൂപമാണ്. ഇതിന് ദൈനംദിന ജീവിതത്തിൽ ധാരാളം പ്രയോജനങ്ങൾ ഉണ്ട്.

ഹൈഡ്രോളിക് ലിഫ്റ്റും (Hydraulic lift) ഹൈഡ്രോളിക് ബ്രേക്കും (Hydraulic brake) പോലെ ധാരാളം ഉപകരണങ്ങൾ പാസ്ക്കൽ നിയമം അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തി പ്രവർത്തിക്കുന്നതാണ്. ഇത്തരം ഉപകരണങ്ങളിൽ മർദ്ദവിനിമയത്തിനുവേണ്ടി ദ്രവങ്ങളെ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു. ഹൈഡ്രോളിക് ലിഫ്റ്റിൽ ചിത്രം 10.6(b) ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ രണ്ടു പിസ്റ്റണുകൾ ദ്രാവകം നിറഞ്ഞ ഇടംകൊണ്ട് വേർതിരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ചെറിയ ഛേദതലം A_1 ഉള്ള പിസ്റ്റൺ ഉപയോഗിച്ച് ഒരു ബലം F_1 ദ്രാവകത്തിൻമേൽ പ്രയോഗിക്കുന്നു. ഇതുണ്ടാക്കുന്ന മർദ്ദം $P = \frac{F_1}{A_1}$ ദ്രാവകത്തിലുടനീളം വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതിനൊപ്പം പരപ്പളവ് A_2 ഉള്ള വലിയ പിസ്റ്റൺ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന വലിയ സിലിണ്ടറിലേക്ക് ലഭിക്കുന്നു. ഇതിന്റെ ഫലമായി മുകളിലേക്ക് $P \times A_2$ ബലം ഉണ്ടാകുന്നു. അതിനാൽ പിസ്റ്റണിന് വലിയ ബലം ലഭിക്കുന്നു. ഈ കഴിവ് കാറ് ട്രക്ക് തുടങ്ങിയ വലിയ ഭാരങ്ങളെ ഉയർത്തുവാൻ അതിനെ പ്രാപ്തമാക്കുന്നു.

ഇവിടെ $F_2 = PA_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$

A_1 ലെ ബലം മാറുന്നതനുസരിച്ച് പ്ലാറ്റ്ഫോമിൽ ഇരിക്കുന്ന വസ്തുവിനെ താഴ്ത്തുവാനോ ഉയർത്തുവാ

ആർക്കിമെഡിസ് തത്വം (Archimedes principle)

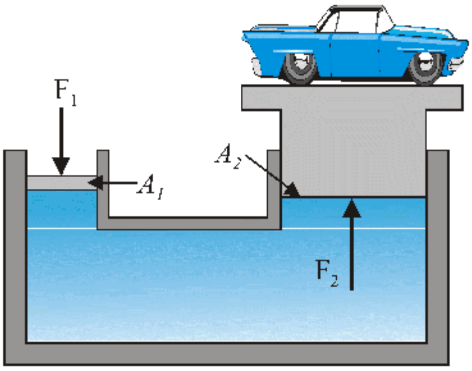
ദ്രവം അതിൽ വച്ച വസ്തുക്കളെ ഭാഗികമായി താങ്ങി നിർത്തുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. ഒരു വസ്തു മുഴുവനായോ, ഭാഗികമായോ നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ദ്രവത്തിൽ മുങ്ങിയിരിക്കുമ്പോൾ ദ്രവവുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രതലത്തിൽ, ദ്രവം ഒരു മർദ്ദം ചെലുത്തുന്നു. മർദം ആഴത്തിനനുസരിച്ച് വർദ്ധിക്കുന്നതിനാൽ, വസ്തുവിന്റെ താഴത്തെ പ്രതലത്തിൽ മുകളിലെത്തെ പ്രതലത്തെ അപേക്ഷിച്ച് മർദം കൂടുതലാണ്. ഈ ബലങ്ങളുടെയെല്ലാം പരിണതഫലം പ്ലവക്ഷമബലം എന്നു വിളിക്കുന്ന മുകളിലേക്കുള്ള ഒരു ബലമാണ്. സിലിണ്ടർ ആകൃതിയിലുള്ള ഒരു വസ്തു വെള്ളത്തിൽ മുക്കിയിട്ടിരിക്കുകയാണെന്ന് വിചാരിക്കുക. വസ്തുവിന്റെ താഴ് ഭാഗത്ത് അനുഭവപ്പെടുന്ന മുകളിലേക്കുള്ള ബലം, മുകൾ ഭാഗത്ത് താഴേക്കുള്ള ബലത്തിനേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. $(P_2-P_1)A$ യ്ക്ക് തുല്യമായ പരിണത ബലം അല്ലെങ്കിൽ പ്ലവക്ഷമ ബലം ദ്രവം മുകൾഭാഗത്തേക്ക് പ്രയോഗിക്കുന്നു. സമവാക്യം 10.4 ൽ $(P_2-P_1)A - \rho ghA$ ആണെന്ന് നമ്മൾ. കണ്ടു 'hA' വസ്തുവിന്റെ ഉള്ളളവും ρghA തത്തുല്യ ഉള്ളളവുമുള്ള ദ്രവത്തിന്റെ ഭാരവുമാണ് $(P_2-P_1)A - mg$ ആണ് അതിനാൽ ആദേശം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ ഭാരത്തിനു തുല്യമാണ് മുകളിലേക്കു പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലം.

ഇവിടെ സിലിണ്ടർ ആകൃതിയിലുള്ള വസ്തു പരിഗണിച്ചിരിക്കുന്നത് സൗകര്യത്തിനു വേണ്ടി മാത്രമാണ്. ഫലം വസ്തുവിന്റെ ആകാരത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. മുഴുവനായും മുങ്ങിക്കിടക്കുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക്, വസ്തു ആദേശം ചെയ്യുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ ഉള്ളളവ്, വസ്തുവിന്റെ ഉള്ളളവിന് തുല്യമായിരിക്കും. ഇതാണ് ആർക്കമെഡീസിന്റെ തത്വം. മുങ്ങിക്കിടക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ സാന്ദ്രത. ദ്രവത്തിന്റേതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ ആണെങ്കിൽ, വസ്തു താഴ്ന്നു പോകും, കാരണം വസ്തുവിന്റെ ഭാരം മുകളിലേക്കുള്ള ബലത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ ആണ്. വസ്തുവിന്റെ സാന്ദ്രത ദ്രവത്തിന്റേതിനേക്കാൾ കുറവാണെങ്കിൽ, അത് ഭാഗികമായി മുങ്ങിക്കിടന്നു കൊണ്ട് ഒഴുകുന്നു. മുങ്ങിക്കിടക്കുന്ന ഭാഗത്തിന്റെ വ്യാപ്തം കണക്കുകൂട്ടാൻ, വസ്തുവിന്റെ ആകെ വ്യാപ്തം V_s ഉം മുങ്ങി കിടക്കുന്ന ഭാഗത്തിന്റെ വ്യാപ്തം V_p യും ആണെന്നെടുക്കുക.

അപ്പോൾ മുകളിലേക്കുള്ള ബലം, അതായത് ആദേശം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ ഭാരം $\rho_f g V_p$, വസ്തുവിന്റെ ഭാരത്തിന് തുല്യമായിരിക്കും. $\rho_s g V_s - \rho_f g V_p$ അല്ലെങ്കിൽ $\rho_s / \rho_f - V_p / V_s$ പൊങ്ങിക്കിടക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ പ്രത്യക്ഷത്തിലുള്ള ഭാരം പൂജ്യമാണ്.

ഈ തത്വം ഇപ്രകാരം സംഗ്രഹിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു ദ്രവത്തിൽ ഭാഗികമായോ പൂർണ്ണമായോ മുങ്ങിക്കിടക്കുന്ന വസ്തുവിന്റെ ഭാരനഷ്ടം, ആദേശം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ ഭാരത്തിന് തുല്യമായിരിക്കും.

നോ സാധിക്കും. പ്ലാറ്റ്ഫോമിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം $\frac{A_2}{A_1}$ മടങ്ങായി വർദ്ധിക്കുന്നതായി കാണാം. ഇത് ഉപകരണത്തിന്റെ യാന്ത്രിക ലാഭം (Mechanical advantage) ആണ്. ചുവടെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ഉദാഹരണം ഈ വസ്തുത വ്യക്തമാക്കുന്നു.



ചിത്രം 10.6 (b) ദ്രവചലിത ലിഫ്റ്റി (hydraulic lift) ന്റെ (ഭാരമുള്ള ഘൂടക് ഉയർത്താൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന ഉപകരണം) പിന്നിലുള്ള തത്വം വിവരിക്കുന്ന രേഖാ ചിത്രം.

ഉദാഹരണം 10.5: വ്യത്യസ്ത ഛേദതലത്തോടുകൂടിയ രണ്ടു സിറിഞ്ചുകൾ (സൂചിയില്ലാത്തവ) വെള്ളം നിറച്ച് ഒരു ഇറുകിയ റബ്ബർ ട്യൂബുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. ചെറിയ പിസ്റ്റണിന്റെയും വലിയ പിസ്റ്റണിന്റെയും വ്യാസങ്ങൾ യഥാക്രമം 1.0cm ഉം 3.0cm ഉം ആണ്.

(a) ചെറിയ പിസ്റ്റണിൽ 10N ബലം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ വലിയ പിസ്റ്റണിലെ ബലം കണ്ടുപിടിക്കുക.

(b) ചെറിയ പിസ്റ്റൺ 6.0 cm അകത്തേക്കു തള്ളുമ്പോൾ വലിയ പിസ്റ്റൺ എത്ര മാത്രം പുറത്തേക്കു നീങ്ങുന്നു?

ഉത്തരം

(a) മർദ്ദം തുല്യമായി ദ്രവത്തിലുടനീളം വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതിനാൽ

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1}F_1 = \frac{\pi\left(3/2 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2}{\pi\left(1/2 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2} \times 10\ \text{N}$$

$$= 90\ \text{N}$$

(b) ജലം പൂർണ്ണമായും സങ്കോചരഹിതമാണെന്നു പരിഗണിച്ചാൽ, പിസ്റ്റൺ സിറിഞ്ചിനുള്ളിലേക്ക് നീങ്ങുന്നത് മൂലം ഉണ്ടാകുന്ന ഉള്ളളവ് നീക്കം രണ്ടാമത്തെ സിറിഞ്ചിലെ പിസ്റ്റൺ വെളിയിലേക്ക് നീങ്ങുന്നതുമൂലം ഉണ്ടാകുന്ന ഉള്ളളവിന് തുല്യമായിരിക്കും.

$$L_1 A_1 = L_2 A_2$$

$$L_2 = \frac{A_1}{A_2}L_1 = \frac{\pi\left(1/2 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2}{\pi\left(3/2 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2} \times 6 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

$$= 0.67 \times 10^{-2}\ \text{m} = 0.67\ \text{cm}$$

രണ്ടു പിസ്റ്റണുകൾക്കും അന്തരീക്ഷ മർദം ഒരുപോലെയായതിനാൽ അവഗണിച്ചിരിക്കുന്നു.

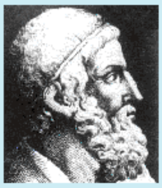
ഉദാഹരണം 10.6: ഒരു കാർ ലിഫ്റ്റിൽ 5.0cm ആരമുള്ള ചെറിയ പിസ്റ്റണിൽ സമ്മർദിത വായു F_1 ബലം പ്രയോഗിക്കുന്നു. ഈ മർദം ആരം 15cm ഉള്ള രണ്ടാമതൊരു പിസ്റ്റണിലേക്ക് നൽകപ്പെടുന്നു. ഉയർത്തേണ്ട കാറിന്റെ മാസ് 1350kg ആണെങ്കിൽ, F_1 കണക്കാക്കുക. ഈ ജോലി ചെയ്യാനാവശ്യമായ മർദം എത്രയാണ്?

($g = 9.8\ \text{ms}^{-2}$)

ഉത്തരം: മർദം തുല്യമായി ദ്രവത്തിലുടനീളം വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതിനാൽ

$$F_1 = \frac{A_1}{A_2}F_2 = \frac{\pi\left(5 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2}{\pi\left(15 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2}\left(1350\ \text{N} \times 9.8\ \text{m s}^{-2}\right)$$

$$= 1470\ \text{N}$$



ആർക്കിമെഡിസ് (287 – 212 ബി.സി)(Archimedes 287-212 BC)

ആർക്കിമെഡിസ് ഒരു ഗ്രീക്ക് തത്വചിന്തകനും ഗണിതഞ്ജനും ശാസ്ത്രജ്ഞനും എഞ്ചിനീയറുമായിരുന്നു. അദ്ദേഹം കവണ കണ്ടുപിടിക്കുകയും ഭാരമുള്ള വസ്തുക്കളെ കൈകാര്യം ചെയ്യാൻ കപ്പികളുടെയും ഉത്തോലകങ്ങളുടെയും ഒരു ക്രമീകരണം രൂപീകരിക്കുകയും ചെയ്തു. സ്വദേശമായ സിറാക്യൂസിലെ രാജാവ് ഹെറോ II (Hiero II) അദ്ദേഹത്തിന്റെ സ്വർണ്ണ കിരീടം വെള്ളിപോലെ വില കുറഞ്ഞ ലോഹവുമായി സങ്കരമാക്കിയിട്ടുണ്ടോ എന്ന് കിരീടം കേടുവരുത്താതെ നോക്കാൻ ആവശ്യപ്പെട്ടു. ബാത്ടബ്ബിൽ കിടക്കുമ്പോൾ ആർക്കമീഡീസ് അനുഭവിച്ച ഭാഗികമായ, ഭാരനഷ്ടം, അദ്ദേഹത്തിന് ഈ പ്രശ്നത്തിന് ഒരു പരിഹാരമായി തോന്നി. ഐതിഹ്യമനുസരിച്ച് സിറാക്യൂസിലെ തെരുവുകളിലൂടെ അദ്ദേഹം "ഞാൻ കണ്ടുപിടിച്ചു ഞാൻ കണ്ടുപിടിച്ചു" എന്നർത്ഥം വരുന്ന "യുറേക്കാ യുറേക്കാ" എന്ന് അലറി വിളിച്ചു കൊണ്ട് നഗ്നനായി ഓടിയെന്ന് പറയപ്പെടുന്നു.

$$\approx 1.5 \times 10^3 \text{ N}$$

ഈ ബലം മൂലമുണ്ടാകുന്ന വായു മർദമാണ്.

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{1.5 \times 10^3 \text{ N}}{\pi \left(5 \times 10^{-2}\right)^2 \text{ m}^2} = 1.9 \times 10^5 \text{ Pa}$$

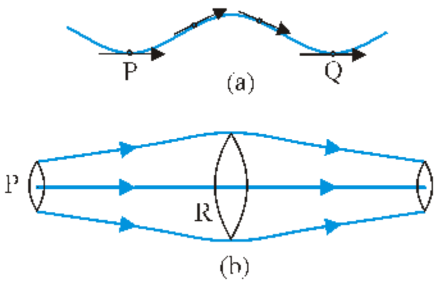
ഇത് അന്തരീക്ഷ മർദത്തിന്റെ ഏകദേശം രണ്ടിരട്ടിയാണ്. ◀

മോട്ടോർ വാഹനങ്ങളിലെ ഹൈഡ്രോളിക് ബ്രേക്കുകൾ പ്രവർത്തിക്കുന്നതും ഇതേ തത്വം അനുസരിച്ചാണ്. നാം കാലു കൊണ്ട് ചെറിയ ബലം ബ്രേക്ക് പെഡലിൽ കൊടുക്കുമ്പോൾ മാസ്റ്റർ പിസ്റ്റൺ മാസ്റ്റർ സിലിണ്ടറിന്റെ ഉള്ളിൽ ചലിക്കുന്നു. തത്ഫലമായി ഉണ്ടാകുന്ന മർദം ബ്രേക്ക് ഓയിലിൽ കൂടി സഞ്ചരിച്ച് വലിയ വിസ്തീർണ്ണം ഉള്ള പിസ്റ്റണിൽ ലഭിക്കുന്നു. പിസ്റ്റണിൽ ഒരു വലിയ ബലം ചെലുത്തപ്പെടുകയും പിസ്റ്റൺ താഴേക്കുപോയി ബ്രേക്ക് ലൈനിംഗിനെതിരെ ബ്രേക്ക് ഷൂകളെ വികസിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. പെഡലിലെ ഒരു ചെറിയ ബലം ചക്രത്തിൽ ഒരു വലിയ മന്ദീകരണ ബലം ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നു. പെഡൽ അമർത്തുമ്പോൾ സംജാതമാകുന്ന മർദ്ദം നാലു ചക്രങ്ങളിലും ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള എല്ലാ സിലിണ്ടറുകളിലും തുല്യമായി വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുകയും അതുവഴി ബ്രേക്കിന്റെ പ്രഭാവം എല്ലാ ചക്രങ്ങളിലും തുല്യമായി അനുഭവപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു എന്നതാണ് ഈ ക്രമീകരണത്തിന്റെ ഒരു പ്രധാന പ്രയോജനം.

10.3 ധാരാ രേഖീയ പ്രവാഹം (Streamline flow)

ഇതുവരെ നാം പഠിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നത് നിശ്ചലാവസ്ഥയിലുള്ള ദ്രവങ്ങളെക്കുറിച്ച് ആണ്. ചലനാവസ്ഥയിലുള്ള ദ്രവങ്ങളുടെ പഠനമാണ് ദ്രവ ഗതികം (Fluid Dynamics) എന്നറിയപ്പെടുന്നത്. നമ്മൾ ഒരു ടാപ്പിനെ പതുക്കെ തുറക്കുമ്പോൾ തുടക്കത്തിൽ വെള്ളത്തിന്റെ ഒഴുക്കിന്റെ വേഗം സുഗമമാണ്, പക്ഷേ പുറത്തേക്കുള്ള ഒഴുക്കിന്റെ വേഗം വർദ്ധിക്കുമ്പോൾ ഈ സുഗമത (Smoothness) നഷ്ടപ്പെടുന്നു. ദ്രവത്തിന്റെ ചലനത്തെപ്പറ്റി പഠിക്കുമ്പോൾ നാം ഒരു പ്രത്യേക സ്ഥലത്തെ ഒരു പ്രത്യേക സമയത്തിൽ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ ദ്രവ കണികകൾക്ക് എന്തു സംഭവിക്കുന്നു എന്നു പഠിക്കുന്നു. ഒരു പ്രത്യേക ബിന്ദുവിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്ന ഓരോ ദ്രവകണികയുടേയും പ്രവേഗം സമയത്തിനനുസരിച്ച് വ്യത്യാസം വരുന്നില്ലെങ്കിൽ അങ്ങനെയുള്ള ഒഴുക്കിനെ സ്ഥിര പ്രവാഹം (Steady flow) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ദ്രവം ഒഴുകുന്ന വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിൽ പ്രവേഗം ഒരുപോലെയായിരിക്കണം എന്ന് ഇതുകൊണ്ട് അർത്ഥമാക്കുന്നില്ല. ഒരു പ്രത്യേക കണിക ഒരു സ്ഥലത്തു നിന്നും മറ്റൊരു സ്ഥലത്തേക്കു ചലിക്കുമ്പോൾ, അതിന്റെ പ്രവേഗം മാറാനിടയുണ്ട്. അതായത് മറ്റൊരു സ്ഥലത്ത്, ഈ കണത്തിന് മറ്റൊരു പ്രവേഗം ഉണ്ടായിരിക്കാനുള്ള സാധ്യതയുണ്ട്. ഈ കണിക ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദുവിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ അതിനു തൊട്ടുമുമ്പ് ആ ബിന്ദുവിലൂടെ കടന്നു പോയകണികയുടെ എല്ലാ ചലന സവിശേഷതകളും കാണിക്കുന്നു. ഓരോ കണവും സുഗമമായ ഒരു പാത പിന്തുടരുന്നു. എന്നാൽ ഈ പാതകൾ തമ്മിൽ പരസ്പരം കൂട്ടിമുട്ടുന്നില്ല.

സ്ഥിര പ്രവാഹത്തിലെ ഒരു ദ്രവ കണികയുടെ പാത



ചിത്രം 10.7 ധാരാ രേഖ (Streamline) യുടെ അർത്ഥം (a) ഒരു ദ്രവ കണത്തിന്റെ മാതൃകാ പഥം (b) ധാരാരേഖീയ പ്രവാഹത്തിന്റെ ഒരു മണ്ഡലം

ഒരു സ്ട്രീം ലൈൻ (Streamline) ആണ്. ഇതിനെ ഒരു വക്രരേഖ (curve) ആയി നിർവ്വചിക്കാം. ഇതിന്റെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദുവിലെ തൊടുവര (tangent) , ആ ബിന്ദുവിലെ ദ്രവത്തിന്റെ പ്രവേഗ ദിശയിലായിരിക്കും. ചിത്രം 10.7(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പ്രകാരം ഒരു കണത്തിന്റെ പാത പരിഗണിക്കുക. ചിത്രം 10.7(a) യിൽ ഒരു കണികയുടെ സമയത്തിനനുസരിച്ചുള്ള വക്രപാതയെ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. PQ, എന്ന വക്രരേഖ ധാരാരേഖയിലൂടെയുള്ള ദ്രവ പ്രവാഹത്തിന്റെ സ്ഥിരമായ മാപ്പ് പോലെയാണ്. അത് ദ്രവം എങ്ങനെയാണ് ഒഴുകുന്നത് എന്നു സൂചിപ്പിക്കുന്നു. രണ്ട് ധാരാരേഖകൾ ഒരിക്കലും കൂട്ടിമുട്ടുകയില്ല. കാരണം അങ്ങനെ ചെയ്താൽ സമീപിക്കുന്ന ദ്രാവക കണങ്ങൾക്ക് ഒരു വഴിയിലൂടെയോ മറുവഴികളിലൂടെയോ സഞ്ചരിക്കാൻ സാധിക്കും. ഇത് ഒഴുക്കിനെ സ്ഥിരമല്ലാതാക്കുന്നു.

അങ്ങനെ സ്ഥിരമായ ഒഴുക്കിൽ, ഒഴുക്കിന്റെ മാപ്പ് സമയത്തിനനുസരിച്ച് സ്ഥിരമായിരിക്കുന്നു. സമീ

പസ്ഥങ്ങളായ ധാരാ രേഖകളെ എങ്ങനെ നമ്മൾ വരയ്ക്കും? ഒഴുകുന്ന എല്ലാ കണങ്ങളുടെയും ധാരാ രേഖ വരയ്ക്കണമെങ്കിൽ, നമുക്ക് അവിച്ഛിന്നമായ (continuum) വരകളായിരിക്കും കിട്ടുന്നത്. ദ്രവ പ്രവാഹത്തിന്റെ ദിശക്ക് ലംബമായ തലങ്ങൾ പരിഗണിക്കുക. ഉദാഹരണത്തിന് ചിത്രം 10.7(b) യിലെ P, R, Q എന്നീ ബിന്ദുക്കളിലെ തലങ്ങൾ. ഈ ലംബ തലങ്ങളുടെ അതിർത്തികൾ നിർണ്ണയിക്കപ്പെടേണ്ടത് ഒരേ കൂട്ടം ധാരാരേഖകളുടെ ഗണം കൊണ്ട് ആയിരിക്കണം. ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ പ്രതലത്തെ മുറിച്ചു കടക്കുന്ന ദ്രവ കണങ്ങളുടെ എണ്ണം P യിലും R ലും Q വിലും തുല്യമായിരിക്കും. ഈ ബിന്ദുക്കളിലെ ഛേദതല പരപ്പളവുകൾ A_P, A_R, A_Q ഉം, ഇവിടുത്തെ ദ്രവ കണങ്ങളുടെ വേഗത v_P, v_R v_Q ഉം ആണെന്ന് സങ്കൽപ്പിച്ചാൽ Δt എന്ന സമയത്തിൽ A_P യിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ മാസ് $\Delta m_P = \rho_P A_P v_P \Delta t$ ആണ്. ഇതുപോലെ A_R ൽ കൂടി Δt ഇടവേളയിൽ കടന്നു പോകുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ മാസ്സ് $\Delta m_R = \rho_R A_R v_R \Delta t$ ആണ്. A_Q വിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ മാസ്സ് $\Delta m_Q = \rho_Q A_Q v_Q \Delta t$ ആയിരിക്കും. എല്ലാ ഇടത്തും പുറത്തേക്കൊഴുകുന്ന ദ്രാവകത്തിന്റെ മാസ്സും അകത്തേക്കൊഴുകുന്ന ദ്രാവകത്തിന്റെ മാസും തുല്യമാണ്.

അതിനാൽ

$$\rho_P A_P v_P \Delta t = \rho_R A_R v_R \Delta t = \rho_Q A_Q v_Q \Delta t \qquad (10.9)$$

സങ്കോചരഹിതമായ ദ്രവത്തിന്റെ ഒഴുക്കിന്

$$\rho_P = \rho_R = \rho_Q$$

അപ്പോൾ സമവാക്യം 10.9

$$A_P v_P = A_R v_R = A_Q v_Q \qquad (10.10)$$ എന്ന് കാണാം.

ഇതിനെ കണ്ടിന്യൂയിറ്റി സമവാക്യം (equation of continuity) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത് സങ്കോച രഹിത ദ്രവങ്ങളുടെ (Incompressible fluids) ഒഴുക്കിലെ ദ്രവ്യ സംരക്ഷണ നിയമത്തിന്റെ പ്രസ്താവനയാണ്. പൊതുവായി പറഞ്ഞാൽ

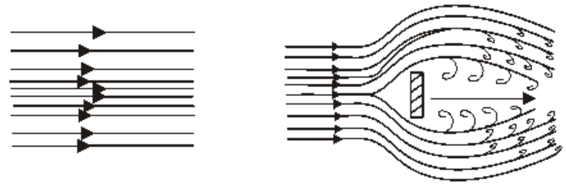
$$Av \quad \text{സ്ഥിരാങ്കം} \qquad (10.11)$$

Av ഉള്ളളവ് ഫ്ളക്സ് അല്ലെങ്കിൽ പ്രവാഹ നിരക്കിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇത് ധാരാ പ്രവാഹത്തിലുടനീളം സ്ഥിരമായിരിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട് ഇടുങ്ങിയ ഭാഗങ്ങളിൽ, ധാരാ രേഖകൾ അടുത്തടുത്ത് സ്ഥിതി ചെയ്യുമ്പോൾ, പ്രവേഗം വർദ്ധിക്കുന്നു അതുപോലെ നേരെതിരിച്ചും സംഭവിക്കുന്നു.

$A_R > A_Q$ അല്ലെങ്കിൽ $v_R < v_Q$ ആകുമ്പോൾ R ൽ നിന്നും Q വിലേക്ക് ദ്രവം ത്വരിതഗതിയിൽ ചലിക്കുന്നു എന്നു ചിത്രം 10.7(b) യിൽ നിന്നും വ്യക്തമാകും. ഈ ത്വരണം തിരശ്ചീനമായ പൈപ്പുകളിലൂടെയുള്ള ദ്രവപ്രവാഹത്തെ മർദവ്യതിയാനത്തിലേക്ക് നയിക്കുന്നു.

ചെറിയ വേഗതയിലുള്ള ഒഴുക്കിൽ ദ്രവം സ്ഥിര പ്രവാഹം (Steady flow) കൈവരിക്കുന്നു. ക്രിട്ടിക്കൽ വേഗം (Critical speed) എന്നു വിളിക്കുന്ന വേഗ പരിധിക്കു ശേഷം, ഈ ഒഴുക്കിന് സ്ഥിരത നഷ്ടപ്പെടുകയും, അത് പ്രക്ഷുബ്ധ പ്രവാഹം (turbulent flow) ആയി മാറുകയും ചെയ്യുന്നു. ദ്രുത ഗതിയിൽ ഒഴുകുന്ന ജല പ്രവാഹം, പാറയിൽ ഇടിക്കുമ്പോൾ, ചെറിയ പതയുള്ള ചുഴികൾ പോലെയുള്ള മേഖലകൾ ഉണ്ടാകുന്നു. ഇതിനെ ധവള ജലപാതങ്ങൾ (White water rapids) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ചിത്രം 10.8, ചില പ്രത്യേക ഒഴുക്കുകളുടെ ധാരാരേഖകൾ കാണിക്കുന്നു. ചിത്രം 10.8(a) ഒരു ലാമിനാർ പ്രവാഹത്തെ (laminar flow) വരച്ചു കാട്ടുന്നു. ദ്രവത്തിലെ വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിൽ പ്രവേഗങ്ങൾക്ക് വ്യത്യസ്തമായ അളവുകൾ ഉണ്ടായിരിക്കാം. പക്ഷേ അവയുടെ ദിശ സമാന്തരമായിരിക്കും. ചിത്രം 10.8(b) ൽ പ്രക്ഷുബ്ധ (turbulent) ഒഴുക്കിന്റെ രേഖാചിത്രം ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.



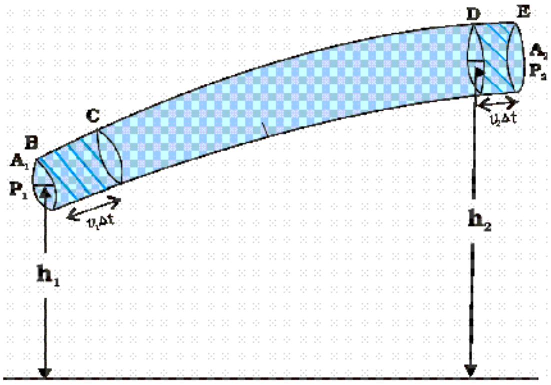
(a) (b)

ചിത്രം 10.8 (a) ദ്രവ ഒഴുക്കിന്റെ ചില ധാരാ രേഖകൾ (b) പ്രവാഹത്തിന് ലംബമായി വെച്ച പ്ലേറ്റിൽ വന്നിടിക്കുന്ന വായു ജെറ്റ് ഇത് പ്രക്ഷുബ്ധ പ്രവാഹത്തിന്റെ ഉദാഹരണമാണ്.

10.4 ബെർണൂയിയുടെ സിദ്ധാന്തം (BERNOULLI'S PRINCIPLE)

ദ്രവ പ്രവാഹം ഒരു സങ്കീർണ്ണമായ പ്രതിഭാസമാണ്. പക്ഷേ സ്ഥിര (steady) അല്ലെങ്കിൽ ധാരാരേഖീയ (Steamline) പ്രവാഹങ്ങളുടെ ചില വിശേഷപ്പെട്ട ഗുണങ്ങൾ ഊർജ സംരക്ഷണ നിയമം ഉപയോഗിച്ച് കണ്ടെത്താൻ സാധിക്കും.

വ്യത്യസ്ത ഛേദതലത്തോടുകൂടിയ ഒരു പൈപ്പിലെ ദ്രവത്തിന്റെ ഒഴുക്ക് പരിഗണിക്കുക ചിത്രം 10.9 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പ്രകാരം പൈപ്പ് വ്യത്യസ്ത ഉയരങ്ങളിൽ ആയിരിക്കട്ടെ. ഒരു അസങ്കോചിത



ചിത്രം 10.9 വ്യത്യസ്ത ഛേദതലമുള്ള ഒരു പൈപ്പിലെ ആദർശ ദ്രവ (Ideal fluid) ത്തിന്റെ ഒഴുക്ക് $v_1\Delta t$ നീളമുള്ള ഖണ്ഡത്തിലെ ദ്രവം, $v_2\Delta t$ നീളമുള്ള ഖണ്ഡത്തിലേക്ക് 'Δt' സമയം കൊണ്ട് ചലിക്കുന്നു.

ദ്രവം സ്ഥിരപ്രവാഹമായി പൈപ്പിൽക്കൂടി ഒഴുകുകയാണെന്ന് സങ്കൽപിക്കുക. കണ്ടിന്യൂയിറ്റി സമവാക്യമനുസരിച്ച് (Equation of continuity) ഇതിന്റെ പ്രവേഗം മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കും. ഈ ത്വരണം സാധ്യമാക്കാൻ ഒരു ബലത്തിന്റെ ആവശ്യമുണ്ട്. ഇത് ചുറ്റുപാടുമുള്ള ദ്രവത്തിൽ നിന്നുമാണ് ലഭിക്കുന്നത്. വ്യത്യസ്ത ഭാഗങ്ങളിൽ മർദം വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും. പൈപ്പിലെ രണ്ടു ബിന്ദുക്കളുടെ ഇടയ്ക്കുള്ള മർദ്ദ വ്യതിയാനത്തെ പ്രവേഗ മാറ്റവുമായും (ഗതികോർജ മാറ്റം) ഉയർച്ച (ഉയരം) മാറ്റവുമായും (സ്ഥിതികോർജ മാറ്റം) ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ഒരു പൊതു സമവാക്യമാണ് ബെർണൂയി സമവാക്യം. ഈ ബന്ധം സ്വിസ് ഭൗതിക ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ഡാനിയൽ ബർണൂയി (Daniel Bernoulli) യാണ് 1738ൽ കണ്ടെത്തിയത്. BC, DE എന്നീ രണ്ട് സ്ഥലങ്ങളിലെ ഒഴുക്ക് പരിഗണിക്കുക. തുടക്കത്തിൽ B യ്ക്കും D യ്ക്കും ഇടയ്ക്കുള്ള ദ്രവം പരിഗണിക്കുക. Δt എന്ന ചെറിയ ഇടവേളയിൽ, ഈ ദ്രാവകം ചലിക്കുന്നുവെന്ന് കരുതുക. B യിലെ വേഗത v_1 ഉം D യിലെ വേഗത v_2 ഉം ആണെന്നിരിക്കട്ടെ അപ്പോൾ B യിലെ ദ്രാവകം $v_1\Delta t$ ദൂരം സഞ്ചരിച്ച് C യിലേക്ക് പ്രവഹിച്ചിട്ടുണ്ടാകും. (BC ദിശയിൽ ഛേദതലം, സമാനമാണെന്നെടുക്കത്തക്കവിധം $v_1\Delta t$ ചെറുതാണെന്നു കണക്കാക്കാം.) ഇതേ ഇടവേള Δt യിൽ, ആരംഭത്തിൽ D യിലുള്ള ദ്രാവകം E യിലേക്ക് $v_2\Delta t$ ദൂരം പ്രവഹിക്കുന്നു. A_1, A_2 പ്രതല വിസ്തീർണമുള്ള തലങ്ങളിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന മർദങ്ങൾ യഥാക്രമം P_1, P_2 ആയി പരിഗണിക്കാം. BC എന്ന ഇടത്തേ അറ്റത്തിൽ, ദ്രാവകത്തിൻ മേൽ ചെയ്യപ്പെടുന്ന പ്രവൃത്തി $W_1 = P_1A_1(v_1\Delta t) = P_1\Delta V$ ഉം ആണ്. രണ്ട് പ്രതലങ്ങളിൽ കൂടിയും ΔV എന്ന ഒരേ അളവ് ദ്രാവകം കടന്നുപോകുന്നതിനാൽ (അഭംഗുര സമവാക്യ പ്രകാരം), അഗ്രം DE യിൽ ദ്രാവകം ചെയ്യുന്ന പ്രവൃത്തിയാണ് $W_2 = P_2A_2(v_2\Delta t) = P_2\Delta V$. അഥവാ ദ്രാവകത്തിൻമേൽ ചെയ്യപ്പെടുന്ന പ്രവൃത്തിയാണ് $P_2\Delta V$. അതിനാൽ ദ്രാവകത്തിൻമേൽ ചെയ്യപ്പെടുന്ന ആകെ പ്രവൃത്തിയാണ്

$$W_1 - W_2 = (P_1 - P_2)\Delta V$$

ഈ പ്രവൃത്തിയുടെ ഒരു ഭാഗം ഗതികോർജം മാറ്റാനും ഒരു ഭാഗം ഗുരുത്വാകർഷണ സ്ഥിതികോർജം മാറ്റാനും ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്നു. ദ്രാവകത്തിന്റെ സാന്ദ്രത ρ യും Δt സമയത്തിൽ പൈപ്പിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ മാസ്സ് $\Delta m = \rho A_1 v_1 \Delta t = \rho\Delta V$ ആണ്. അതിനാൽ ഗുരുത്വാകർഷണ സ്ഥിതികോർജത്തിലുള്ള മാറ്റമാണ്

$$\Delta U = \rho g \Delta V (h_2 - h_1)$$

ഗതികോർജത്തിലുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസം.

$$\Delta K = \left(\frac{1}{2}\right) \rho\, \Delta V (v_2^2 - v_1^2) \text{ ആണ്.}$$

ദ്രവത്തിൽ അധ്യായ 6 – ൽ പഠിച്ച പ്രവൃത്തി-ഊർജ സിദ്ധാന്തം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ

$$(P_1 - P_2)\Delta V = \left(\frac{1}{2}\right) \rho\, \Delta V (v_2^2 - v_1^2) + \rho g \Delta V (h_2 - h_1)$$

എന്ന് കിട്ടും.

ഡാനിയേൽ ബർണ്ണൂയി (1700 – 1782)

ഡാനിയേൽ ബർണ്ണൂയി ഒരു സ്വിസ് ശാസ്ത്രജ്ഞനും ഗണിതജ്ഞനും ആയിരുന്നു. ലിയോനാർഡ് ഓയ്ലറോടൊപ്പം (Leonard Euler) ഗണിത ശാസ്ത്രജ്ഞർക്കുള്ള ഫ്രെഞ്ച് അക്കാദമി പ്രൈസ് പത്തുതവണ അദ്ദേഹം നേടി. അദ്ദേഹം വൈദ്യശാസ്ത്രം പഠിക്കുകയും ശരീര ശാസ്ത്രത്തിന്റേയും സസ്യ ശാസ്ത്രത്തിന്റേയും പ്രൊഫസറായി സ്വിറ്റ്സർലൻഡിലെ ബേസിലിൽ കുറച്ചുകാലം സേവനമനുഷ്ഠിക്കുകയും ചെയ്തു. അദ്ദേഹത്തിന്റെ ഏറ്റവും അറിയപ്പെടുന്ന സംഭാവന ഊർജ സംരക്ഷണം എന്ന തത്വത്തിൽ നിന്നും അദ്ദേഹം വികസിപ്പിച്ചെടുത്ത ഹൈഡ്രോ ഡൈനാമിക്സിലാണ്. കലനം (calculus), പ്രോബബിലിറ്റി, കമ്പനം ചെയ്യുന്ന ചരടിന്റെ സിദ്ധാന്തം, പ്രായോഗിക ഗണിതം ഇവയെല്ലാം അദ്ദേഹത്തിന്റെ പ്രവർത്തന മേഖലകളിൽപ്പെടുന്നു. ഗണിത ഭൗതിക (Mathematical physics) ത്തിന്റെ പിതാവായി അദ്ദേഹം അറിയപ്പെടുന്നു.

ഓരോ പദത്തേയും ΔV കൊണ്ട് ഹരിക്കുമ്പോൾ

$(P_1 - P_2) = \left(\frac{1}{2}\right) \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (h_2 - h_1)$ എന്നു ലഭിക്കും.

മുകളിലെ പദങ്ങളെ പുനക്രമീകരിച്ചാൽ നമുക്ക് കിട്ടുന്നത്.

$$P_1 + \left(\frac{1}{2}\right) \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \left(\frac{1}{2}\right) \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (10.12)$$

എന്നാണ്.

ഇതാണ് ബെർണൂയി സമവാക്യം

1 ഉം 2 ഉം പൈപ്പിലെ ഏതെങ്കിലും രണ്ട് സ്ഥാനങ്ങളെയാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. അതിനാൽ നമുക്ക് പൊതുവായി ഇങ്ങനെ എഴുതാം.

$$P + \left(\frac{1}{2}\right) \rho v^2 + \rho g h = \text{ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യ} \quad (10.13)$$

ബെർണൂയി സമവാക്യം ഇപ്രകാരം പ്രസ്താവിക്കാവുന്നതാണ്: " നമ്മൾ ഒരു ധാരാ രേഖയിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ, മർദത്തിന്റെയും (P), യൂണിറ്റ് ഉള്ളളവിലെ ഗതികോർജത്തിന്റേയും $\left(\frac{\rho v^2}{2}\right)$ യൂണിറ്റ് ഉള്ളളവിലെ സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെയും ($\rho g h$) ആകെത്തുക എല്ലായ്പ്പോഴും സ്ഥിരമായിരിക്കും."

ഊർജ സംരക്ഷണ സിദ്ധാന്തം പ്രയോഗിക്കുന്നതിൽ ഘർഷണം മൂലം ഊർജ നഷ്ടമില്ല എന്ന് അനുമാനിച്ചിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ ദ്രാവകങ്ങൾ ഒഴുകുമ്പോൾ, ആന്തരിക ഘർഷണം മൂലം കുറച്ച് ഊർജം നഷ്ടപ്പെടും. ഒഴുകുന്ന ദ്രാവകത്തിലെ വ്യത്യസ്ത പാളികൾ വ്യത്യസ്ത പ്രവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നതിനാലാണ് ഇപ്രകാരം സംഭവിക്കുന്നത്. ഈ പാളികൾ പരസ്പരം ഘർഷണബലം പ്രയോഗിക്കുകയും തന്മൂലം ഊർജനഷ്ടം ഉണ്ടാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ദ്രാവകത്തിന്റെ ഈ സ്വഭാവത്തെയാണ് വിസ്കോസിറ്റി എന്നു വിളിക്കുന്നത് ഇത് കൂടുതൽ വിശദമായി അടുത്ത വിഭാഗത്തിൽ ചർച്ച ചെയ്യുന്നു. ദ്രാവകത്തിന്റെ നഷ്ടമാകുന്ന ഗതികോർജം താപോർജമായി മാറ്റപ്പെടുന്നു അങ്ങനെ ബെർണൂലിയുടെ സമവാക്യം യഥാർത്ഥമായി ബാധകമായിട്ടുള്ളത് പൂജ്യം വിസ്കോസിറ്റി അല്ലെങ്കിൽ വിസ്കസ് അല്ലാത്ത ദ്രവങ്ങൾക്കാണ്. ബെർണൂയിയുടെ സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കുന്നതിലെ മറ്റൊരു പരിമിതി എന്തെന്നാൽ, ദ്രാവകങ്ങളുടെ ഇലാസ്തിക ഊർജം പരിഗണിക്കാത്തതിനാൽ, ദ്രവം സങ്കോചരഹിതമായിരിക്കണം എന്നതാണ് (Incompressible). പ്രായോഗികമായി ഇതിന് ധാരാളം പ്രയോജനങ്ങളുണ്ട്, മാത്രമല്ല കുറഞ്ഞ വിസ്കോസിറ്റി ഉള്ള സങ്കോചരഹിത ദ്രാവകങ്ങളിലെ വൈവിധ്യമാർന്ന പ്രതിഭാസങ്ങൾ വിശദീകരിക്കാനും ഇതുപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. സ്ഥിരമല്ലാത്തതും, പ്രക്ഷുബ്ധവുമായ ഒഴുക്കിന് ബെർണൂയി സമവാക്യം ബാധകമല്ല കാരണം ആ സാഹചര്യത്തിൽ പ്രവേഗവും മർദവും നിരന്തരമായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു.

ഒരു ദ്രാവകം നിശ്ചലാവസ്ഥയിലായാൽ, അതായത് അതിന്റെ വേഗത എല്ലായിടത്തും പൂജ്യമായാൽ, ബെർണൂലി സമവാക്യം ഇപ്രകാരം ആകുന്നു.

$$P_1 + \rho g h_1 = P_2 + \rho g h_2$$

$$(P_1 - P_2) = \rho g (h_2 - h_1)$$

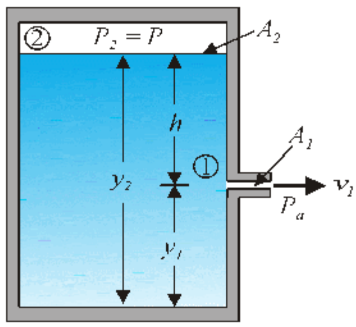
ഇത് സമവാക്യം 10.6 ന് തുല്യമാണ്.

10.4.1 ബഹിർഗമനവേഗം (Speed of Efflux) ടോറിസെല്ലിയുടെ നിയമം (Torricelli's law)

എഫ്ളക്സ് എന്നാൽ ദ്രാവകത്തിന്റെ ബഹിർഗമനം (out flow) എന്നാണ് അർത്ഥം. ഒരു തുറന്ന ടാങ്കിൽ നിന്നുള്ള ബഹിർഗമന വേഗതയുടെ സൂത്രവാക്യം, സ്വതന്ത്രമായി താഴേക്ക് വീഴുന്ന ഒരു വസ്തുവിന്റെ വേഗതയുടേതിന് സമാനമാണെന്ന് ടോറിസെല്ലി കണ്ടെത്തി. ρ സാന്ദ്രതയുള്ള ഒരു ദ്രാവകം വഹിക്കുന്നതും ഒരു വശത്ത് സുഷിരമുള്ളതുമായ ഒരു ടാങ്ക് പരിഗണിക്കുക. സുഷിരം ടാങ്കിന്റെ അടിയിൽ നിന്നും y_1 ഉയരത്തിലാണ് (ചിത്രം 10.10 കാണുക) ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉപരിതലം y_2 ഉയരത്തിലും, ഉപരിതലത്തിലെ വായു മർദം P യുമാണ്. കണ്ടിന്യൂയിറ്റി നിയമപ്രകാരം (സമവാക്യം 10.10)

$$v_1 A_1 \quad v_2 A_2$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$$



ചിത്രം 10.10 ടോറിസെല്ലിയുടെ നിയമം ടാങ്കിന്റെ വശത്തുകൂടിയുള്ള എഫ്ളക്സ് വേഗത v_1 ബെർണൂയി നിയമം ഉപയോഗിച്ച് കണ്ടെത്താൻ സാധിക്കും. ടാങ്ക് മുകളിൽ അന്തരീക്ഷത്തിലേക്ക് തുറന്നിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ $v_1 = \sqrt{2gh}$.

ടാങ്കിന്റെ ഛേദതല പരപ്പളവ് A_2 സുഷിരത്തിന്റേതിനേക്കാൾ വളരെ വലുതാണെങ്കിൽ ($A_2 >> A_1$)

ദ്രാവകം മുകളിൽ ഏകദേശം നിശ്ചലാവസ്ഥയിലാണെന്ന് എടുക്കാവുന്നതാണ്.

A X nb X v $v_3 = 0$

ഇപ്പോൾ നമുക്ക് 1, 2 ബിന്ദുക്കളിൽ ബെർണൂയി നിയമം പ്രയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. സുഷിരത്തിൽ $P_1 = P_a$, അന്തരീക്ഷ മർദം ആണ് എന്ന് ശ്രദ്ധിക്കുക. സമവാക്യം 10.12 ൽ നിന്നും

$$P_a + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P + \rho g y_2$$

$$y_2 - y_1 = h$$

അതിനാൽ

$$v_1 = \sqrt{2g\,h + \frac{2(P - P_a)}{\rho}}$$ എന്നു ലഭിക്കും. (10.14)

$P >> P_a$ ആകുമ്പോൾ $2\,g\,h$ അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്. എഫ്ളക്സ് വേഗത നിർണ്ണയിക്കുന്നത് ടാങ്കിലെ മർദമാണ്. അത്തരമൊരു സറിതി വിശേഷം റോക്കറ്റിന്റെ മുന്നോട്ടു തള്ളലിൽ സംഭവിക്കുന്നുണ്ട്. നേരെമറിച്ച്, ടാങ്ക് അന്തരീക്ഷത്തിലേക്ക് തുറന്നിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ, $P = P_a$ ആകുന്നു. അങ്ങനെ

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$ ആകുന്നു (10.15)

ഇത് സ്വതന്ത്രമായി താഴേക്ക് പതിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിന്റെ വേഗതയാണ്. സമവാക്യം 10.15 ടോറിസെല്ലി നിയമം എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു.

10.4.2 വെഞ്ചുറി മീറ്റർ (Venturi - meter)

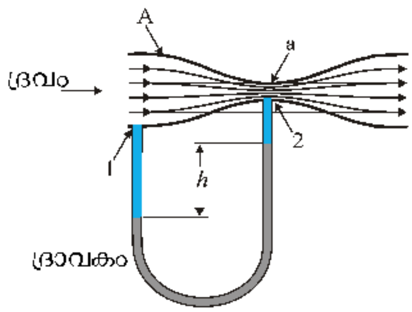
വെഞ്ചുറി മീറ്റർ ഒരു സങ്കോചരഹിത (incompressible) ദ്രവത്തിന്റെ പ്രവാഹവേഗത കണ്ടുപിടിക്കാനുള്ള ഉപകരണമാണ്. ചിത്രം 10.11 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വിശാലമായ വ്യാസവും മദ്ധ്യത്തിൽ ഒരു ഇടുങ്ങിയ ഭാഗവുമുള്ള പൈപ്പാണ് ഇത്. 'U' രൂപത്തിലുള്ള ഒരു മാനോമീറ്ററും ഇതിനോട് ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഇതിന്റെ ഒരു ഭുജം വിസ്തൃത വായ്‌വട്ടമുള്ള ബിന്ദുവിലും മറ്റേത് ഇടുങ്ങിയ ഭാഗത്തും ചിത്രം 10.11 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന രീതിയിൽ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. മാനോമീറ്ററിൽ ρ_m സാന്ദ്രതയുള്ള ദ്രാവകം നിറച്ചിരിക്കുന്നു. വിസ്തൃതമായ വായ്‌വട്ട (പരപ്പളവ് A) ത്തിൽക്കൂടി ഒഴുകുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ പ്രവേഗം v_1 ആണ് അളക്കേണ്ടത്. കണ്ടിന്യൂയിറ്റി സമവാക്യം 10.10 ഉപയോഗിച്ച് ഇടുങ്ങിയ ഭാഗത്തെ വേഗത $v_2 = \frac{A}{a} v_1$ ആണ്. ബർണൂയിയുടെ സമവാകൃത്തിൽ (സമവാക്യം 10.12) $h_1 = h_2$ എന്നെടുത്താൽ,

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 (A/a)^2$$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

അതുകൊണ്ട്

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 \left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right] \quad (10.16)$$

ഈ മർദവ്യത്യാസം, ഇടുങ്ങിയ വായ്‌വട്ടവുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള 'U' ട്യൂബിലെ ദ്രാവക നിരപ്പ് മറ്റേ ഭുജവുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ ഉയരാൻ കാരണമാകുന്നു. 'h' എന്ന ഈ ഉയരവ്യത്യാസം മർദ്ദം അളക്കാൻ സഹായിക്കുന്നു.



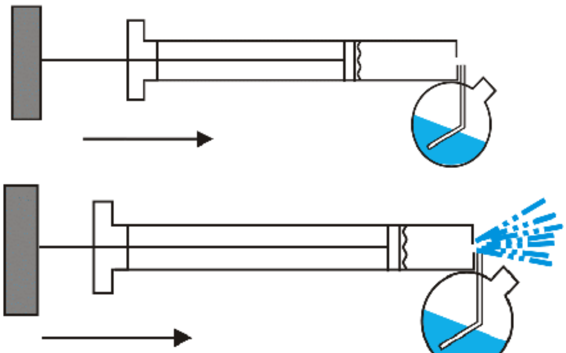
ചിത്രം 10.11 വെഞ്ചുറി മീറ്ററിന്റെ രേഖാചിത്രം

$$P_1 - P_2 = \rho_m g h = \frac{1}{2}\rho v_1^2 \left[\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right]$$

അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ വിശാലമായ വായ്‌വട്ടത്തിലെ ദ്രവത്തിന്റെ വേഗത.

$$v_1 = \sqrt{\left(\frac{2\rho_m gh}{\rho}\right)}\left(\left(\frac{A}{a}\right)^2 - 1\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (10.17)$$

ഈ മീറ്ററിന്റെ പ്രവർത്തന തത്വത്തെ ധാരാളം രീതിയിൽ പ്രയോജനപ്പെടുത്തിയിട്ടുണ്ട്. വാഹനങ്ങളുടെ കാർബറേറ്ററിൽ വെഞ്ചുറി ചാനൽ (നോസിൽ) ഉണ്ട്. ഇതിൽ കൂടി വായു തീവ്രവേഗതയിൽ പ്രവഹിക്കുന്നു. ഇടുങ്ങിയ കഴുത്തിലൂടെ ഇങ്ങനെ കടന്നുപോകുന്ന വായുവിന്റെ മർദം കുറയുകയും ചേമ്പറിലേക്ക് പെട്രോൾ വലിച്ചെടുത്ത് വായുവുമായി കൂട്ടികലർത്തി കത്താനുള്ള ശരിയായ മിശ്രിതം ഉണ്ടാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഫിൽട്ടർ പമ്പുകൾ അഥവാ ആസ്പിറേറ്ററുകൾ, ബുൺസൻ ബർണർ, പെർഫ്യൂമുകളിലെ സ്പ്രേയറുകൾ, കീടനാശികൾ തളിക്കാനുള്ള സ്പ്രേയറുകൾ, (ചിത്രം 10.12 കാണുക) അറ്റോമൈസറുകൾ എന്നിവ ഈ തത്വത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്.



ചിത്രം 10.12 സ്പ്രേഗൺ: പിസ്റ്റൺ ഉയർന്ന വേഗതയിൽ വായു ചലിപ്പിക്കുന്നതു മൂലം പാത്രത്തിന്റെ കഴുത്തിൽ മർദം കുറയാൻ ഇടയാകുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.7: രക്തത്തിന്റെ വേഗത: ബോധരഹിതമാക്കിയ ഒരു നായയുടെ വലിയധമനിയിലെ (large artery) രക്ത ഒഴുക്ക്, ഒരു വെഞ്ചുറി - മീറ്ററിലേക്ക് തിരിച്ച് വിടുന്നു. മീറ്ററിന്റെ വിസ്തൃത ഭാഗത്തിന്റെ ഛേദതല പരപ്പളവ് ധമനിയുടേതിന് തുല്യമാണ്. $A = 8\ mm^2$ ഇടുങ്ങിയ ഭാഗത്തിന്റെ വിസ്തീർണ്ണം $a = 4\ mm^2$ ആണ്. ധമനിയിലെ മർദ വീഴ്ച 24 Pa ആണ്. നായയുടെ രക്തധമനിയിലെ ഒഴുക്കിന്റെ വേഗത എന്താണ്?

ഉത്തരം

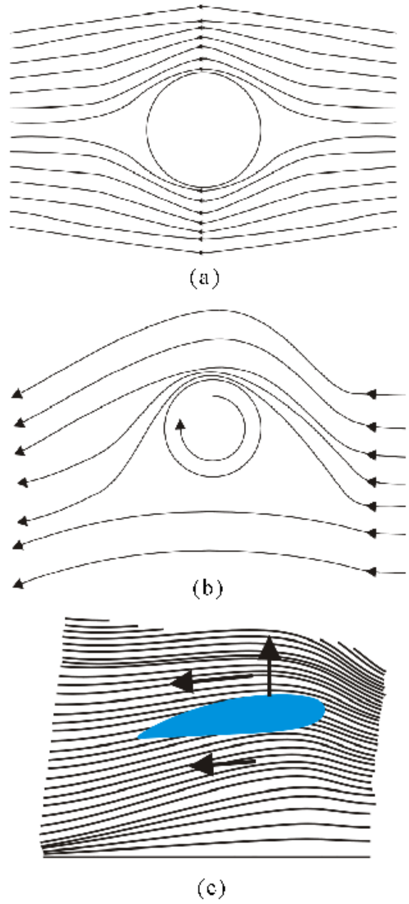
രക്തത്തിന്റെ സാന്ദ്രത ടേബിൾ 10.1 ൽ നിന്നും $1.06 \times 10^3\ kg\ m^{-3}$ എന്ന് കണക്കാക്കാം. വിസ്തീർണ്ണത്തിന്റെ അനുപാതം $\left(\frac{A}{a}\right) = 2$ ആണ്. സമവാക്യം 10.17 ഉപയോഗിച്ച്

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \times 24\ Pa}{1060\ kg\ m^{-3} \times (2^2 - 1)}} = 0.123\ m\ s^{-1}$$ എന്ന്

കിട്ടും. ◀

10.4.3 രക്ത പ്രവാഹവും ഹൃദയാഘാതവും (Blood flow and heart attack)

ബെർണൂയിയുടെ തത്ത്വം ധമനികളിൽ രക്തം ഒഴുകുന്നത് വിശദീകരിക്കാൻ സഹായിക്കുന്നു. രക്തധമനികളുടെ ആന്തരിക ഭിത്തികളിൽ പ്ലാക്ക് (Plaque) അടിയുന്നതു മൂലം ധമനികൾ ഞെരുങ്ങുന്നതിന് കാരണമാകുന്നു. ഈ ഞെരുക്കത്തിൽ കൂടി രക്തം കടത്തിവിടാൻ ഹൃദയത്തിന് കൂടുതൽ പ്രവർത്തിക്കേണ്ടി വരുന്നു. ഈ പ്രദേശത്തെ രക്തത്തിന്റെ ഒഴുക്കിന്റെ വേഗത ഉയരുകയും ഇത് അവിടുത്തെ മർദത്തെ കുറയ്ക്കുകയും ധമനി ബാഹ്യസമ്മർദം കാരണം ചുരുങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ ധമനി തുറന്ന് രക്തം കടത്തി വിടാൻ ഹൃദയം അധികം മർദം ചെലുത്തുന്നു. രക്തകുഴലിൽ കൂടി രക്തം കുതിക്കുമ്പോൾ നേരത്തെ പറഞ്ഞ കാരണത്താൽ ആന്തരിക മർദം വീണ്ടും കുറയുന്നു. ഇത് വീണ്ടും രക്തധമനിയുടെ തകർച്ചയിലേക്കെത്തിക്കുന്നു. ഇത് ഹൃദയാഘാതത്തിന് കാരണമാകും.



ചിത്രം 10.13 (a) ഒരു നിശ്ചല ഗോളത്തിനു സമീപം ദ്രാവകത്തിന്റെ ഒഴുക്ക്
(b) പ്രദക്ഷിണദിശയിൽ കറങ്ങുന്ന ഗോളത്തിന് ചുറ്റും ദ്രാവകത്തിന്റെ ധാരാ രേഖകൾ
(c) വായു ഒരു എയറോഫോയിലിനെ കടന്നുപോകുന്നു.

10.4.4 ഡൈനാമിക് ലിഫ്ട് (Dynamic Lift)

വിമാനത്തിന്റെ ചിറക്, ഒരു ഹൈഡ്രോ ഫോയിൽ അല്ലെങ്കിൽ തിരിയുന്ന പന്ത് ഇവ ദ്രവത്തിൽക്കൂടി ചലിക്കുമ്പോൾ അവയിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ബലമാണ് ഡൈനാമിക് ലിഫ്ട്. ക്രിക്കറ്റ്, ടെന്നീസ്, ബേസ്ബോൾ അല്ലെങ്കിൽ ഗോൾഫ് തുടങ്ങിയ കളികളിൽ തിരിയുന്ന പന്ത് അതിന്റെ പാരബോളിക് പഥത്തിൽ നിന്ന് വ്യതി ചലിക്കുന്നതായി കാണുന്നു. ഈ വ്യതിയാനം ബെർണൂയിയുടെ തത്വത്തിന്റെ

അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഭാഗികമായി വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയും.

(i) സ്പിൻ ഇല്ലാതെ നീങ്ങുന്ന പന്ത്

ചിത്രം 10.13(a) യിൽ വായുവിനെ അപേക്ഷിച്ച് ചലിക്കുന്ന തിരിയാത്ത പന്തിന്റെ ചുറ്റുമുള്ള ധാരാരേഖകൾ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ധാരാരേഖയുടെ സമമിതിയിൽ (symmetry) നിന്നും പന്തിന്റെ മുകളിലും താഴെയും ഉള്ള സദൃശ്യമായ ബിന്ദുക്കളിൽ ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രവേഗം തുല്യമാണെന്നും തൽഫലമായി മർദ വ്യത്യാസം പൂജ്യം ആണെന്നും സ്പഷ്ടമാവുന്നു. അതിനാൽ, വായു, പന്തിൻമേൽ മുകളിലേക്കോ താഴേക്കോ ബലം ചെലുത്തുന്നില്ല.

(ii) സ്പിന്നോടുകൂടി ചലിക്കുന്ന പന്ത് (Ball moving with spin)

തിരിയുന്ന പന്ത്, വായുവിനെ അതിന്റെ കൂടെ വലിച്ചുകൊണ്ടുപോവുന്നു. ഉപരിതലം പരുക്കൻ ആണെങ്കിൽ പന്ത് കൂടുതൽ വായു വലിച്ചുകൊണ്ടു പോകും. ചിത്രം 10.13 (b) ഒരേ സമയം നീങ്ങുന്നതും സ്പിൻ ചെയ്യുന്നതുമായ പന്തിന് ചുറ്റുമുള്ള വായുവിന്റെ ധാരാ രേഖകൾ കാണിക്കുന്നു. പന്ത് മുമ്പോട്ടും അതിനെ അപേക്ഷിച്ച് വായു പുറകോട്ടും ചലിക്കുന്നു. അതിനാൽ പന്തിന്റെ മുകളിലുള്ള വായുവിന്റെ പ്രവേഗം, പന്തിനെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതലും, താഴെ കുറവുമാണ്. (വിഭാഗം 10.3 കാണുക) അങ്ങനെ ധാരാ രേഖകൾ മുകളിൽ അടുത്തു വരുകയും താഴെ അകലത്തിലാകുകയും ചെയ്യുന്നു. വായുവിന്റെ വേഗതയിലുള്ള ഈ വ്യത്യാസം, മുകൾ ഭാഗത്തിനും താഴ് ഭാഗത്തിനുമിടയിൽ മർദ വ്യതിയാനം ഉണ്ടാക്കുന്നു. അങ്ങനെ പന്തിൽ ഒരു പരിണിതബലം മുകളിലേക്ക് ഉണ്ടാകുന്നു. സ്പിന്നിംഗ് മൂലമുള്ള ഈ ഡൈനാമിക് ലിഫ്റ്റിനെ (dynamic lift) മാഗ്നസ് പ്രതിഭാസം (Magnus effect) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

എറോഫോയിൽ (Aerofoil) അല്ലെങ്കിൽ വിമാന ചിറകിലെ മുകളിലേക്കുള്ള തള്ളൽ: ചിത്രം 10.13 (c) യിൽ ഒരു എറോഫോയിൽ ചിത്രീകരിക്കുന്നു ഇതിന്റെ ആകൃതി, വായുവിൽക്കൂടി തിരശ്ചീനമായി ചലിക്കുമ്പോൾ, മുകളിലേക്ക് ഡൈനാമിക് ലിഫ്ട് പ്രദാനം ചെയ്യത്തക്ക രീതിയിലുള്ളതാണ്. ഒരു വിമാനത്തിന്റെ ചിറകുകളുടെ ഛേദതലം ചിത്രം 10.13 (c) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നപോലെ ചുറ്റും ധാരാ രേഖകളുള്ള എയറോഫോയിൽ പോലെയാണ്. എയറോഫോയിൽ വായുവിന്റെ വിപരീത ദിശയിൽ ചലിക്കുമ്പോൾ, പ്രവാഹ ദിശയെ അപേക്ഷിച്ച് ചിറകിന്റെ ചരിവ്, ചിറകിന്റെ താഴത്തേതിനേക്കാൾ മുകളിൽ ധാരാരേഖകൾ തിങ്ങി ഞെരുങ്ങാൻ കാരണമാകുന്നു. മുകളിലെ പ്രവാഹ വേഗം താഴത്തേതിനേക്കാൾ കൂടുതലായതാണ് ഇതിനു കാരണം. ഇക്കാരണത്താൽ മുകളിലേക്കുള്ള ബലം ചിറകുകളിൽ ഡൈനാമിക് ലിഫ്റ്റ് ഉത്പാദിപ്പിക്കുകയും ഇത് വിമാനത്തിന്റെ ഭാരത്തിനെ ബാലൻസ് ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു. താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ഉദാഹരണം ഇത് കാണിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 10.8: പൂർണ്ണമായും ഭാരം കയറ്റിയ ഒരു ബോയിംഗ് വിമാനത്തിന്റെ മാസ് 3.3×10^5 kg. ആണ്. ഇതിന്റെ ചിറകിന്റെ ആകെ വിസ്തീർണ്ണം 500 m^2 ആകുന്നു. ഇത് 960 km/h വേഗത്തിൽ ഒരു നിശ്ചിത ഉയരത്തിൽ പറക്കുന്നു.

(a) ചിറകിന്റെ താഴത്തെ പ്രതലവും മുകളിലത്തെ പ്രതലവും തമ്മിലുള്ള മർദ വ്യത്യാസം കണക്കാക്കുക.

(b) ചിറകിന്റെ താഴത്തെ പ്രതലത്തെ അപേക്ഷിച്ച് മുകളിലത്തെ പ്രതലത്തിലെ, വായുവിന്റെ വേഗതയിലുണ്ടാകുന്ന അംശീയ വർദ്ധനവ് (Fractional Increase) കണ്ടെത്തുക.

(വായുവിന്റെ സാന്ദ്രത $\rho = 1.2$ kg m^{-3} ആണ്.)

ഉത്തരം

(a) മർദ വ്യത്യാസം കാരണം മുകളിലോട്ടുള്ള ബലം ബോയിംഗ് വിമാനത്തിന്റെ ഭാരത്തെ സംതുലിതമാക്കുന്നു.

$\Delta P \times A = 3.3 \times 10^5 \text{kg} \times 9.8$

$\Delta P = (3.3 \times 10^5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m s}^{-2}) / 500 \text{ m}^2$

$= 6.5 \times 10^3 \text{ Nm}^{-2}$

(b) സമവാക്യം 10.12 എടുക്കാം. ഇതിൽ വിമാനത്തിന്റെ മുകൾഭാഗവും താഴ്ഭാഗവും തമ്മിലുള്ള ഉയര വ്യത്യാസം നമ്മൾക്ക് അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്. അപ്പോൾ ഇതിനിടയിലുള്ള മർദ വ്യത്യാസമാണ്.

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(v_2^2 - v_1^2\right)$$

ഇവിടെ v_2 എന്നത് മുകൾ ഭാഗത്തെ വായുവിന്റെ വേഗതയാണ്. v_1 എന്നത് താഴ്ഭാഗത്തെ വായുവിന്റെ വേഗതയാണ്.

$$\left(v_2 - v_1\right) = \frac{2\,\Delta P}{\rho\left(v_2 + v_1\right)}$$

ശരാശരി വേഗത എടുത്താൽ

$v_{av} = (v_2 + v_1)/2 = 960$ km/h $= 267$ m s^{-1},

അപ്പോൾ

$$\left(v_2 - v_1\right)/\ v_{av} = \frac{\Delta P}{\rho v_{av}^2} \approx 0.08$$

ചിറകിനു മുകളിലുള്ള വേഗത, താഴത്തെ വേഗതയേക്കാൾ 8% കൂടുതലായിരിക്കും. ◀

10.5 വിസ്കോസിറ്റി (Viscosity)

ഭൂരിഭാഗം ദ്രവങ്ങളും ആദർശ ദ്രവങ്ങളല്ല (ideal fluid). അവ ഒഴുക്കിനെ ചെറിയ തോതിൽ പ്രതിരോധിക്കുന്നു. ദ്രവചലനത്തിന്റെ ഈ പ്രതിരോധം ഒരു ആന്തരിക ഘർഷണം പോലെയാണ്. ഈ ഘർഷണം ഒരു പ്രതലത്തിൽ കൂടി ചലിക്കുന്ന ഖരവസ്തുവിന് അനുഭവപ്പെടുന്ന ഘർഷണത്തിന് സമാനമാണ്. ഇതിനെ വിസ്കോസിറ്റി (viscosity) എന്നു വിളിക്കുന്നു. ദ്രാവകപാളികൾക്കിടയിലുള്ള ആപേക്ഷിക ചലനമാണ് ഈ ബലത്തിന് കാരണമാകുന്നത്. ചിത്രം 10.14 (a) യിൽ കാണിച്ചതുപോലെ, രണ്ടു ഗ്ലാസ് പ്ലേറ്റുകളുടെ ഇടയിലുള്ള എണ്ണ പോലൊരു ദ്രാവകം നമുക്ക് പരിഗണിക്കാം. താഴത്തെ പാളി ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുമ്പോൾ, മുകളിലത്തെ പാളി, താഴത്തെ പാളിയെ അപേക്ഷിച്ച് സ്ഥിര പ്രവേഗം 'v' യിൽ ചലിപ്പിക്കുന്നു. എണ്ണയ്ക്ക് പകരം തേൻ ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ അതേ പ്രവേഗത്തിൽ പ്ലേറ്റ് മാറ്റാൻ കൂടുതൽ ശക്തി ആവശ്യമാണ്. അതുകൊണ്ട് എണ്ണയേക്കാൾ തേൻ കൂടുതൽ വിസ്കസ് ആണെന്ന് പറയാം. ഒരു പ്രതലവുമായി സമ്പർക്കമുള്ള ദ്രാവക പാളിക്ക് പ്രതലത്തിന്റെ അതേ പ്രവേഗം ഉണ്ടായിരിക്കും. അതിനാൽ മുകളിൽ, ഉപരിതലവുമായി സമ്പർക്കത്തിലുള്ള ദ്രാവകത്തിന്റെ പാളി 'v' പ്രവേഗത്തിലും ഉറപ്പിച്ച പ്രതലവുമായി സമ്പർക്കത്തിലുള്ള പാളി നിശ്ചലമായിരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. താഴെ (പൂജ്യം പ്രവേഗം) നിന്നു മുകളിലത്തെ പാളിയിലേക്ക് പ്രവേഗം ക്രമമായി കൂടുന്നു. ദ്രാവകത്തിന്റെ ഏതെങ്കിലും പാളി പരിഗണിച്ചാൽ, മുകളിലെ പാളി അതിനെ മുന്നോട്ടും, താഴത്തെ പാളി പിറകോട്ടും വലിക്കുന്നു എന്നു കരുതാം. ഇത് പാളികൾക്കിടയിൽ ഒരു ബലത്തിന് കാരണമാവുന്നു. ഇത്തരം ബലത്തിനു വിധേയമായ ഒഴുക്ക് ലാമിനാർ (laminar) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഒരു ബുക്ക് മേശമേൽ വെച്ച് മുകളിലെ കവറിൽ തിരശ്ചീന ബലം കൊടുത്താൽ പേജുകൾ തമ്മിൽ നിരങ്ങുന്നതു പോലെ ദ്രാവകത്തിന്റെ പാളികളും ഒന്നിനു മുകളിൽ ഒന്നായി നിരങ്ങി നീങ്ങുന്നു. ഒരു ദ്രാവകം പൈപ്പ് അല്ലെങ്കിൽ ട്യൂബിൽ കൂടി ഒഴുകുമ്പോൾ, ട്യൂബിന്റെ അക്ഷത്തിലൂടെയുള്ള ദ്രാവക പാളിയുടെ പ്രവേഗം പരമാവധിയാണ്, അത് പൈപ്പിന്റെ ഭിത്തിക്കടുത്തേക്ക് നീങ്ങുമ്പോൾ ക്രമേണ കുറഞ്ഞ് പൂജ്യമാവുന്നു. ചിത്രം 10.14(b) ഒരു ട്യൂബിന്റെ ഉള്ളിലെ സിലിണ്ടറാകൃതിയുള്ള ഒരു ദ്രാവക പ്രതലത്തിൽ പ്രവേഗം സ്ഥിരമായിരിക്കും.

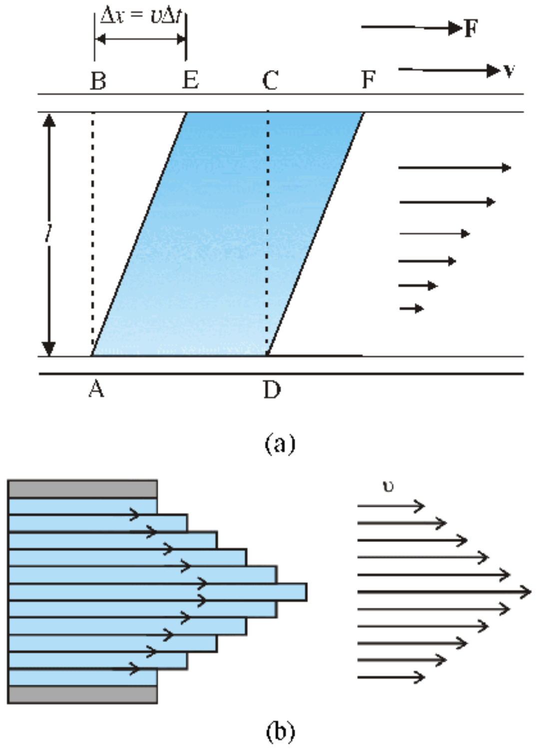
ഈ ചലനത്തിന്റെ പശ്ചാത്തലത്തിൽ ഒരു സമയത്ത് ABCD എന്ന ആകൃതി ഉണ്ടായിരുന്ന ദ്രാവകത്തിന്റെ ഒരു ഭാഗത്തിന്റെ ആകൃതി, Δt എന്ന ചെറിയ ഇടവേളയ്ക്കു ശേഷം AEFD ആകൃതിയിലേക്ക് മാറുന്നു. ഈ സമയത്ത്, ദ്രാവകം $\Delta x/l$ ഷിയർ സ്ട്രെയിനിന് (shear strain) വിധേയമാവുന്നു. ഒഴുകുന്ന ദ്രവത്തിലെ സ്ട്രെയിൻ സമയത്തിനനുസരിച്ച് തുടർച്ചയായി കൂടുന്നതിനാൽ ഖരത്തിൽ നിന്നും വ്യത്യസ്തമായി, സ്ട്രെയിൻ മാറ്റത്തിന്റെ നിരക്കിനെയാണ് സ്ട്രെസ്സ് ആശ്രയിക്കുന്നത് എന്നു പരീക്ഷണങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു. അതായത് സ്ട്രെസ്സ് സ്ട്രെയിനിന് പകരം സ്ട്രെയിനിന്റെ സമയനിരക്ക്, $\Delta x/(l\ \Delta t)$ അല്ലെങ്കിൽ v/l നെയാണ് ആശ്രയിക്കുന്നത്. ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റി ഗുണാങ്കം (coefficient of viscosity)η ('ഈറ്റ' എന്ന് ഉച്ചരിക്കാം) ഷിയറിംഗ് സ്ട്രെസ്സിന്റെയും സ്ട്രെയിൻ തോതിന്റെയും ഹരണഫലം ആണെന്ന് നിർവചിക്കാം.

$$\eta = \frac{F/A}{v/l} = \frac{Fl}{vA} \qquad (10.18)$$

വിസ്കോസിറ്റിയുടെ SI യൂണിറ്റ് പോയിസെൽ (Poiseiulle, Pl) ആണ്. ഇതിന്റെ മറ്റ് യൂണിറ്റുകളാണ് N s m^{-2} അല്ലെങ്കിൽ Pa s. വിസ്കോസിറ്റിയുടെ ഡൈമെൻഷൻ [ML^{-1}T^{-1}] ആണ്. പൊതുവായി കട്ടികൂടിയ ദ്രാവകങ്ങളായ കോൾടാർ, രക്തം, ഗ്ലിസറിൻ മുതലായവയെ അപേക്ഷിച്ച് കട്ടി കുറഞ്ഞ ദ്രാവകങ്ങളായ വെള്ളം, ആൾക്കഹോൾ മുതലായവയ്ക്ക് വിസ്കോസിറ്റി കുറവാണ്. നമുക്ക് പരിചിതങ്ങളായ ചില ദ്രാവകങ്ങളുടെ വിസ്കോസിറ്റിയുടെ ഗുണാങ്ക പട്ടിക 10.2 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. വെള്ളത്തെയും രക്തത്തെയും കുറിച്ച് നിങ്ങൾക്ക് രസകരമെന്ന് തോന്നുന്ന രണ്ട് വസ്തുതകൾ ചൂണ്ടിക്കാട്ടുന്നു. പട്ടിക 10.2 സൂചിപ്പിക്കുന്നതു പ്രകാരം രക്തം വെള്ളത്തേക്കാൾ കട്ടി

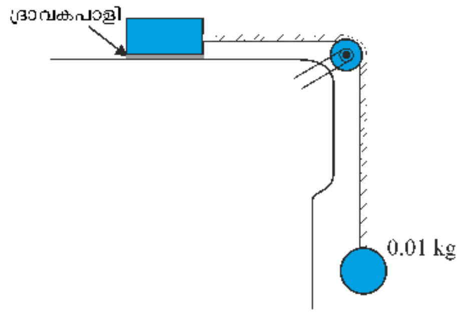
കൂടിയതാണ് (കൂടുതൽ വിസ്കസ്). മാത്രമല്ല രക്തത്തിന്റെ ജലവുമായുള്ള ആപേക്ഷിക വിസ്കോസിറ്റി (η/η_{water}) 0°C നും 37°C നും ഇടയിൽ സ്ഥിരമാണ്.

ദ്രാവകങ്ങളുടെ വിസ്കൊസിറ്റി താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് കുറയുമ്പോൾ, വാതകങ്ങളുടെ കാര്യത്തിൽ ഇത് കൂടുന്നു.



ചിത്രം 10.14 (a) രണ്ട് സമാന്തര ഗ്ലാസ്സ് പ്ലേറ്റുകൾക്കിടയിലുള്ള ദ്രാവത്തിന്റെ പാളി ഇതിലെ താഴത്തെ പ്ലേറ്റ് ഉറപ്പിച്ചതും മുകളിലത്തെ പ്ലേറ്റ് വലത്തോക്ക് 'v' പ്രവേഗത്തിൽ ചലിക്കുന്നതും ആണ്.
(b) പൈപ്പിലെ വിസ്കസ് പ്രവാഹത്തിന്റെ പ്രവേഗ വിതരണം.

> ▶ **ഉദാഹരണം 10.9:** ചിത്രം 10.15ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന 0.10 m² വിസ്തീർണമുള്ള ഒരു ലോഹക്കട്ട 0.010kg മാസ്സുമായി ഒരു മാതൃകാ കപ്പിയിൽ (മാസ്സ് ഇല്ലാത്തതും ഘർഷണം ഇല്ലാത്തതും) കൂടി കടന്നു പോകുന്നു 0.30mm കനമുള്ള ഒരു ദ്രാവക പാളി ലോഹകട്ടയ്ക്കും മേശയ്ക്കുമിടയിൽ ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. സ്വതന്ത്രമാക്കപ്പെടുമ്പോൾ, ലോഹകട്ട വലതുവശത്തേക്ക് $0.085 ms^{-1}$ സ്ഥിരവേഗത്തിൽ ചലിക്കുന്നു. ദ്രാവകത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റി ഗുണാങ്കം കണ്ടുപിടിക്കുക.



ചിത്രം 10.15 ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റി ഗുണാങ്കത്തിന്റെ അളക്കൽ

ഉത്തരം: ലോഹക്കഷണം വലത്തു വശത്തേക്ക് ചലിക്കുന്നത് ചരടിലെ വലിവുബലം മൂലമാണ്. ഈ വലിവുബലം 'T' എന്നത് തൂക്കിയിട്ടിരിക്കുന്ന 'M' മാസ്സിന്റെ ഭാരത്തിന്റെ അളവിന് തുല്യമാണ്. ഇവിടെ ഷിയറിംഗ് ബലം F ആണ് $F = T = mg = 0.010 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m s}^{-2} = 9.8 \times 10^{-2}$ N ആണ്. ദ്രവത്തിലുള്ള ഷിയർ സ്ട്രെസ്സ്.

$$= F/A = \frac{9.8 \times 10^{-2}}{0.10} \text{N/m}^2$$

$$\text{സ്ട്രെയിൻ തോത്} = \frac{v}{l} = \frac{0.085}{0.30 \times 10^{-3}}$$

$$\eta = \frac{\text{ഷിയർ സ്ട്രെസ്സ്.}}{\text{സ്ട്രെയിൻ തോത്}} \text{ s}^{-1}$$

$$= \frac{(9.8 \times 10^{-2} \text{ N})(0.30 \times 10^{-3} \text{ m})}{(0.085 \text{ m s}^{-1})(0.10 \text{ m}^2)}$$

$$= 3.45 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$$ ◀

പട്ടിക 10.2 ചില ദ്രവങ്ങളുടെ വിസ്കോസിറ്റികൾ

ദ്രാവകം	T(°C)	വിസ്കോസിറ്റി (mPl)
വെള്ളം	20	1.0
	100	0.3
രക്തം	37	2.7
മെഷീൻ ഓയിൽ	16	113
	38	34
ഗ്ലിസറിൻ	20	830
തേൻ		200
വായു	0	0.017
	40	0.019

10.5.1 സ്റ്റോക്ക് നിയമം (Stoke's Law)

ഒരു വസ്തു ദ്രാവകത്തിൽകൂടി താഴേക്ക് വീഴുമ്പോൾ, അതുമായി സമ്പർക്കത്തിൽ ഇരിക്കുന്ന ദ്രാവകപാളിയെ ഒപ്പം വലിച്ചിഴയ്ക്കുന്നു. ദ്രാവകത്തിന്റെ വ്യത്യസ്ത പാളികൾ തമ്മിൽ ആപേക്ഷിക ചലനം ഉണ്ടാകുകയും അതിന്റെ ഫലമായി വസ്തുവിൽ ഒരു മന്ദീകരണബലം (retarding force) അനുഭ

വപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. മഴത്തുള്ളികളുടെ പതനവും പെൻഡുലത്തിന്റെ ദോലനവും അത്തരം ചലനങ്ങൾക്ക് ഏതാനും പൊതുവായ ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. വിസ്കസ് ബലം, വസ്തുവിന്റെ പ്രവേഗത്തിന് ആനുപാതികമാണെന്നും ചലനത്തിന്റെ ദിശയ്ക്ക് എതിരാണെന്നും കാണുന്നു. വിസ്കസ് ബലം 'F' ദ്രവത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റി 'η' യേയും ഗോളത്തിന്റെ ആരം 'a' യേയും ആശ്രയിക്കുന്നു. സർ. ജോർജ് ജി. സ്റ്റോക്സ് (Sir. George G. Stokes) (1819–1903) എന്ന ഇംഗ്ലീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞൻ വിസ്കസ് ബലത്തിന് താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന സമവാക്യം രൂപീകരിച്ചു.

$$F = 6\pi\eta a v \qquad (10.19)$$

ഇതിനെ സ്റ്റോക്ക് നിയമം (stokes' low) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഈ സമവാക്യം നാം ഇവിടെ രൂപീകരിക്കുന്നില്ല. പ്രവേഗത്തിന് ആനുപാതികമായ മന്ദീകരണബലത്തിന് നല്ലൊരു ഉദാഹരണമാണ് ഈ നിയമം. വിസ്കസ് മാദ്ധ്യമത്തിലൂടെ വസ്തു താഴേക്ക് പതിക്കുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന പരിണിത ഫലങ്ങൾ പഠിക്കാൻ ഈ നിയമം ഉപയോഗിക്കാൻ കഴിയും. വായുവിലൂടെ വീഴുന്ന ഒരു മഴത്തുള്ളിയെ നമുക്ക് പരിഗണിക്കാം. ഗുരുത്വം മൂലം മഴത്തുള്ളിക്ക് ത്വരണമുണ്ടാവും എന്ന് നമുക്കറിയാം. ഈ ത്വരണം മൂലം മഴത്തുള്ളിയുടെ പ്രവേഗം വർധിക്കുമ്പോൾ അതിന്മേൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന മന്ദീകരണബലവും വർധിക്കുന്നു. ഒടുവിൽ വിസ്കസ് ബലവും പ്ലവക്ഷമ ബലവും കൂടി ഗുരുത്വം മൂലമുള്ള ബലത്തിന് തുല്യമാകുമ്പോൾ, പരിണിത ബലവും ത്വരണവും പൂജ്യമാകുന്നു. ഈ സമയത്ത് ഗോളാകൃതിയിലുള്ള മഴത്തുള്ളി സ്ഥിര പ്രവേഗത്തോടുകൂടി താഴേക്കു പതിക്കുന്നു. ഈ സ്ഥിരപ്രവേഗത്തെ ടെർമിനൽ പ്രവേഗം (terminal velocity) എന്നു വിളിക്കുന്നു. സന്തുലനാവസ്ഥയിൽ ടെർമിനൽ പ്രവേഗം (terminal velocity) v_t ഉൾപ്പെട്ട സമവാക്യമാണ്.

$$6\pi\eta a v_t = (4\pi/3)\, a^3 (\rho-\sigma) g$$

ഇവിടെ ρ , σ എന്നിവ യഥാക്രമം ഗോളത്തിന്റെയും ദ്രാവകത്തിന്റെയും മാസ് സാന്ദ്രതയാണ് അപ്പോൾ

$v_t = 2a^2 (\rho-\sigma) g / (9\eta)$ ......(10.20) എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

അങ്ങനെ, ടെർമിനൽ പ്രവേഗം v_t ഗോളത്തിന്റെ ആരത്തിന്റെ വർഗ്ഗത്തിന് നേർ അനുപാതത്തിലും മാധ്യമത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റിക്ക് വിപരീത അനുപാതത്തിലും ആണ്.

ഉദാഹരണം 6.2 ഈ ആശയത്തിൽ കൂടുതൽ വ്യക്തത വരുത്തും.

> **ഉദാഹരണം 10.10:** 2.0mm ആരമുള്ള ചെമ്പു കൊണ്ടുള്ള ഒരു പന്ത്, 20°c താപനിലയിൽ 6.5cm s^{-1} ടെർമിനൽ പ്രവേഗത്തോടുകൂടി എണ്ണ നിറഞ്ഞിരിക്കുന്ന ടാങ്കിൽ താഴോട്ടു വീഴുന്നു. 20°c താപനിലയിൽ എണ്ണയുടെ വിസ്കോസിറ്റി കണ്ടുപിടിക്കുക. എണ്ണയുടെ സാന്ദ്രത 1.5×10^3 kg m^{-3} ആണ്. ചെമ്പിന്റെ സാന്ദ്രത 8.9×10^3 kg m^{-3}

ഉത്തരം: ഇവിടെ $v_t = 6.5 \times 10^{-2}$ ms^{-1}, $a = 2 \times 10^{-3}$ m, $g = 9.8$ ms^{-2}, $\rho = 8.9 \times 10^3$ kg m^{-3},

$\sigma = 1.5 \times 10^3$ kg m^{-3}. സമവാക്യം 10.20 ൽ നിന്നും

$$\eta = \frac{2}{9} \times \frac{(2\times10^{-3})^2\, m^2 \times 9.8\, m\, s^{-2}}{6.5 \times 10^{-2}\, m\, s^{-1}} \times 7.4 \times 10^3\, kg\, m^{-3}$$

$$= 9.9 \times 10^{-1}\, kg\, m^{1}\, s^{1}$$

10.6 റെയ്നോൾഡ്സ് സംഖ്യ (Reynold's number)

ഒരു ദ്രവത്തിന്റെ പ്രവാഹനിരക്ക് വലുതാകുമ്പോൾ പ്രവാഹം കൂടുതൽ സമയം ലാമിനാർ (laminar) ഒഴുക്കായി തുടരുന്നില്ല, അത് പ്രക്ഷുബ്ധമാകുന്നു (turbulent). പ്രക്ഷുബ്ധ പ്രവാഹത്തിനു വിധേയമായ ദ്രവത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലെ ദ്രവങ്ങളുടെ പ്രവേഗം സമയാനുസൃതമായി പെട്ടെന്നും ലക്ഷ്യമില്ലാതെയും മാറികൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ചുഴികൾ (eddies) എന്നു വിളിക്കപ്പെടുന്ന ചില വൃത്താകാര ചലനങ്ങളും അതോടൊപ്പം ഉൽപ്പാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്നു. വേഗത്തിൽ ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ പാതയിലെ തടസ്സം പ്രക്ഷുബ്ധതയ്ക്ക് കാരണമാകുന്നു. [ചിത്രം 10.8(b)] കത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു തടിക്കൂനയിൽ നിന്നും ഉയരുന്ന പുക പോലെ, സമുദ്ര ജല പ്രവാഹങ്ങൾ പ്രക്ഷുബ്ധമാണ്. നക്ഷത്രങ്ങൾ മിന്നിത്തിളങ്ങുന്നത് അന്തരീക്ഷ പ്രക്ഷുബ്ധതയുടെ ഫലമായാണ്. കാറുകളും വിമാനങ്ങളും ബോട്ടുകളും വായുവിലും ജലത്തിലും അവശേഷിപ്പിക്കുന്ന തരംഗങ്ങളും പ്രക്ഷുബ്ധമാണ്.

ഓസ്ബോൺ റെയ്നോൾഡ്സ് (Osborne Reynolds) (1842–1912) താഴ്ന്ന നിരക്കിൽ (low rates) പ്രവഹിക്കുന്ന വിസ്കസ് ദ്രവത്തിന് (viscous fluid) പ്രക്ഷുബ്ധ പ്രവാഹം ഉണ്ടാക്കാനുള്ള സാധ്യത കുറവാണ് എന്ന് നിരീക്ഷിച്ചു. അദ്ദേഹം, പ്രവാഹം പ്രക്ഷുബ്ധമാണോ എന്നതിനെകുറിച്ച് ഏകദേശ ധാരണ നൽകുന്ന ഒരു ഡൈമൻഷനില്ലാത്ത സംഖ്യ നിർവചിച്ചു. ഈ സംഖ്യയെ റെയ്നോൾഡ്സ് സംഖ്യ (Reynolds number) എന്നു വിളിക്കുന്നു.

$R_e = \rho v d / \eta$ (10.21)

ഇവിടെ v വേഗത്തിൽ പ്രവഹിക്കുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയാണ് ρ, d പൈപ്പിന്റെ അളവും (dimension) η ദ്രവത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റിയുമാണ്. R_e ഒരു ഡൈമൻഷനില്ലാത്ത സംഖ്യയാണ്, അതുകൊണ്ട് ഏതു യൂണിറ്റു വ്യവസ്ഥയിലും ഇത് തുല്യമായി നിൽക്കുന്നു. R_e, 1000-ൽ താഴെയാണെങ്കിൽ പ്രവാഹം ധാരാ രേഖീയം (stream line) അല്ലെങ്കിൽ ലാമിനാർ (laminar) ആയിരിക്കും. $R_e > 2000$ ആണെങ്കിൽ പ്രവാഹം പ്രക്ഷുബ്ധമായിരിക്കും. 1000-നും 2000-നും ഇടയിലാണെങ്കിൽ പ്രവാഹം അസ്ഥിരമാകുന്നു. ജ്യാമിതീയമായി ഒരു പോലെയുള്ള ഒഴുക്കുകളിൽ പ്രക്ഷുബ്ധത ഉളവാകുമ്പോഴുള്ള R_e യുടെ ക്രിട്ടിക്കൽ മൂല്യം *(critical Reynolds number)* ഒരു പോലെയാണ് എന്ന് കാണാം. ഉദാഹരണത്തിന് വ്യത്യസ്ത സാന്ദ്രതയും വിസ്കോസിറ്റികളുമുള്ള എണ്ണയും വെള്ളവും ഒരേ വലിപ്പവും ആകൃതിയും ഉള്ള പൈപ്പുകളിലൂടെ പ്രവഹിക്കുമ്പോൾ R_e യുടെ ഏകദേശം ഒരേ മൂല്യത്തിന് പ്രക്ഷുബ്ധത ആരംഭിക്കുന്നു. ഈ വസ്തുത ഉപയോഗിച്ച് ദ്രവ പ്രവാഹങ്ങളുടെ സ്വഭാവം പഠിക്കാൻ വേണ്ടി ചെറിയ തോതിലുള്ള ഒരു പരീക്ഷണശാലാ മാതൃക ഉണ്ടാക്കാൻ കഴിയും. കപ്പലുകൾ, അന്തർവാഹിനികൾ, മത്സരയോട്ടകാറുകൾ വിമാനങ്ങൾ എന്നിവ രൂപകൽപ്പന ചെയ്യുന്നതിൽ ഇവ ഉപകാരപ്രദമാണ്.

R_e ഇപ്രകാരം കൂടി എഴുതാവുന്നതാണ്.

$R_e = \rho v^2 / (\eta v/d) = \rho A v^2 / (\eta A v/d)$ (10.22)

$$R_e = \frac{\text{ജഡത്വ ബലം}}{\text{വിസ്കസ് ബലം}}$$

ഇപ്രകാരം ജഡത്വ ബലവും (ജഡത്വം അതായത് ചലിക്കുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ മാസ് മൂലമോ പാതയിലെ ചലന തടസ്സം ഉണ്ടാക്കുന്ന ജഡത്വം മൂലമോ ഉണ്ടാകുന്ന ബലം) വിസ്കോസ് ബലവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തെ R_e പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു.

ക്രിട്ടിക്കൽ പ്രവേഗം (*Critical velocity*)

ഒരു ട്യൂബിലെ ദ്രവത്തിന്റെ പ്രവാഹം ധാരാരേഖീയമായി തുടരുന്നതിന് ഉണ്ടാകേണ്ട പരമാവധി പ്രവേഗത്തെ ക്രിട്ടിക്കൽ പ്രവേഗം *(critical velocity)* എന്നു വിളിക്കുന്നു. സമവാക്യം 10.21ൽ നിന്നും ഇത്

$$v_c = R_e \times \eta / (\rho \times d).$$

പ്രക്ഷുബ്ധത ഗതികോർജത്തെ പൊതുവെ താപത്തിന്റെ രൂപത്തിൽ നഷ്ടപ്പെടുത്തുന്നു. മത്സരയോട്ട കാറുകളും (racing cars) വിമാനങ്ങളും പ്രക്ഷുബ്ധത ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ വിധത്തിൽ സൂക്ഷ്മമായി രൂപകൽപന ചെയ്തിരിക്കുന്നു. ഇതു പോലെയുള്ള വാഹനങ്ങളുടെ രൂപകൽപന തുടർച്ചയായ പരീക്ഷണങ്ങൾ വഴിയാണ് ചെയ്യുന്നത്. പ്രക്ഷുബ്ധത (ഘർഷണം പോലെ) ചില സമയത്ത് അഭിലഷണീയമാണ്. പ്രക്ഷുബ്ധത, മിശ്രണത്തെ (mixing) പ്രോത്സാഹിപ്പിക്കുകയും മാസ്, ആക്കം (momentum) ഊർജം എന്നിവയുടെ കൈമാറ്റത്തിന്റെ നിരക്കിനെ വർധിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അടുക്കളയിലെ മിക്സിയുടെ ബ്ലേഡുകൾ പ്രക്ഷുബ്ധ പ്രവാഹം ഉളവാക്കി കട്ടിയുള്ള മിൽക്ക് ഷേക്ക് ഉണ്ടാക്കുന്നതിനും മുട്ടപതപ്പിക്കുന്നതിനും ഉപയോഗിക്കാം.

ഉദാഹരണം 10.11: 1.25cm വ്യാസമുള്ള ഒരു ടാപ്പിൽ നിന്നും പ്രവഹിക്കുന്ന ജലത്തിന്റെ ഒഴുകുന്ന തോത് 0.48 L/min ആണ്. വെള്ളത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റിയുടെ ഗുണാങ്കം 10^{-3} Pa s ആണ്. കുറച്ചു സമയത്തിനു ശേഷം ഒഴുക്കിന്റെ തോത് 3 L/min ആയി വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു. രണ്ട് സാഹചര്യങ്ങളിലുമുള്ള പ്രവാഹത്തിന്റെ സ്വഭാവം പറയുക.

ഉത്തരം: ഒഴുക്കിന്റെ വേഗം v ആയിരിക്കട്ടെ ടാപ്പിന്റെ വ്യാസം 1.25cm ആണ്. ഒരു സെക്കന്റിൽ പുറത്തേക്കൊഴുകുന്ന വെള്ളത്തിന്റെ ഉള്ളളവാണ്.

$Q = v \times \pi d^2 / 4$

$v = 4 Q / d^2 \pi$

റെയ്നോൾഡ്സ് സംഖ്യ താഴെ പറയും പ്രകാരം കണക്കാക്കാം.

$R_e = 4 \rho Q / \pi d \eta$

$= 4 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3} \times Q / (3.14 \times 1.25 \times 10^{-2} \text{ m} \times 10^{-3} \text{ Pa s})$

$= 1.019 \times 10^8 \text{ m}^{-3} \text{ s } Q$

തുടക്കത്തിൽ

$Q = 0.48 \text{ L / min} = 8 \text{ cm}^3 / \text{s} = 8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$,

ആയതുകൊണ്ട് നമുക്ക് $R_e = 815$ എന്ന് കിട്ടും ഇത് 1000 ത്തിൽ താഴെ ആയതിനാൽ, ഒഴുക്ക് സ്ഥിരമാണ് (Steady flow) .

കുറച്ചു സമയത്തിന് ശേഷം

$Q = 3 \text{ L / min} = 50 \text{ cm}^3 / \text{s} = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$,

$R_e = 5095$ എന്നു ലഭിക്കുന്നു.

ഒഴുക്ക് പ്രക്ഷുബ്ധമാകുന്നു. ലാമിനറിൽ (laminar) നിന്നും പ്രക്ഷുബ്ധ ഒഴുക്കിലേക്ക് ഉള്ള മാറ്റം പരീക്ഷിക്കാൻ നിങ്ങളുടെ വാഷ്ബേസിനിൽ ഒരു പരീക്ഷണം നടത്താവുന്നതാണ്. ◀

10.7 പ്രതലബലം (Surface Tension)

എണ്ണയും വെള്ളവും കലരുകയില്ലെന്നത് നിങ്ങൾ ശ്രദ്ധിച്ചിരിക്കും. ജലം നമ്മെ നനയ്ക്കുമെങ്കിലും ജലത്തിൽ നീന്തുന്ന താറാവുകളെ അത് നനയ്ക്കുന്നില്ല. മെർക്കുറി ഗ്ലാസിനെ നനയ്ക്കുന്നില്ല, എന്നാൽ ജലം നനയ്ക്കുന്നു. ഗുരുത്വബലത്തെ അതിജീവിച്ച് എണ്ണ വിളക്കുതിരിയിലൂടെ മുകളിലേക്ക് ഉയരുന്നു. വൃക്ഷത്തിന്റെ ഉയരത്തിലുള്ള ഇലകളിലേക്ക് ജലവും ലവണങ്ങളും എത്തിച്ചേരുന്നു, പെയിന്റ് ബ്രഷിന്റെ നാരുകൾ ഉണങ്ങിയിരിക്കുമ്പോഴും വെള്ളത്തിൽ മുങ്ങിയിരിക്കുമ്പോഴും കൂടിച്ചേർന്നിരിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ ഇതിനെ വെള്ളത്തിൽ നിന്നും പുറത്തെടുക്കുമ്പോൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒരു കൂർത്ത അഗ്രം പോലെ ആകുന്നു. ഇത്തരം ധാരാളം ഉദാഹരണങ്ങളും അനുഭവങ്ങളും ദ്രാവകത്തിന്റെ സ്വതന്ത്ര ഉപരിതലത്തെ സംബന്ധിച്ചുണ്ട്. ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് കൃത്യമായ ഒരു രൂപമില്ലാത്തതിനാലും എന്നാൽ കൃത്യമായ ഒരു ഉള്ളളവ് ഉള്ളതിനാലും, അവ ഒരു പാത്രത്തിൽ പകരുമ്പോൾ, സ്വതന്ത്ര ഉപരിതലം കൈവരിക്കുന്നു. ഈ ഉപരിതലത്തിന് അധിക ഊർജം കൈവരിക്കാനാകും. ഈ പ്രതിഭാസം പ്രതല ബലം (surface tension) എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു. വാതകങ്ങൾക്ക് സ്വതന്ത്ര ഉപരിതലം ഇല്ലാത്തതിനാൽ ഈ പ്രതിഭാസം ദ്രാവകവുമായി മാത്രം ബന്ധപ്പെട്ടതാണ്. നമുക്ക് ഈ പ്രതിഭാസത്തെ കുറിച്ച് കൂടുതൽ മനസ്സിലാക്കാം.

10.7.1 പ്രതലോർജം (Surface Energy)

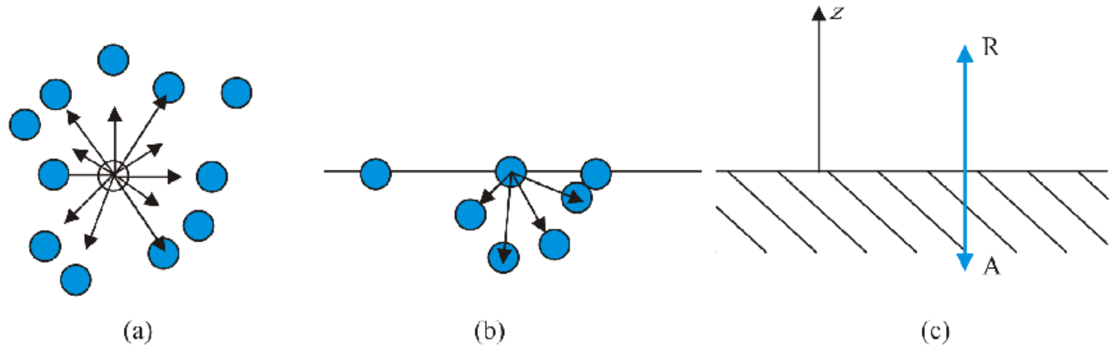
തന്മാത്രകൾ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണമാണ് ദ്രാവകം ഒന്നിച്ചു നിൽക്കാനുള്ള കാരണം. ദ്രാവകത്തിനുള്ളിലെ ഒരു തന്മാത്രയെ പരിഗണിച്ചാൽ ചുറ്റുപാടുള്ള എല്ലാ തന്മാത്രകളിലേക്കും അത് ആകർഷിക്കപ്പെടുന്ന വിധത്തിലാണ് തൻമാത്രാന്തര അകലങ്ങൾ (Inter molecular distances) [ചിത്രം 10.16(a)]. ഈ ആകർഷണം മൂലം തന്മാത്രകൾക്ക് നെഗറ്റീവ് സ്ഥിതികോർജം ഉണ്ടാവുന്നു. ഈ ഊർജം, അതിന്റെ ചുറ്റുപാടുമുള്ള തൻമാത്രകളുടെ എണ്ണത്തെയും വിന്യാസത്തെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. പക്ഷേ അതിലെ എല്ലാ തന്മാത്രകളുടെയും ശരാശരി സ്ഥിതികോർജം ഒരുപോലെയാണ്. അങ്ങനെയുള്ള കുറേ ദ്രാവക തന്മാത്രകളെ (ദ്രാവകത്തിൽ നിന്നും) പരസ്പരം അകറ്റി ബാഷ്പീകരിക്കുന്നതിനു വേണ്ടി വരുന്ന ബാഷ്പീകരണ ഊർജം വളരെ വലുതാണ് എന്നത് ഇതിന് തെളിവ് തരുന്ന വസ്തുതയാണ്. ജലത്തിന്, ഈ ഊർജം ഏകദേശം 40 kJ/mol ന്റെ അടുത്ത് വരും.

ചിത്രം 10.16(b) യിൽ പ്രതലത്തിന് സമീപം ഉള്ള ഒരു തന്മാത്ര പരിഗണിച്ചാൽ, അതിന്റെ താഴത്തെ പകുതി ഭാഗം മാത്രമേ ദ്രാവക തൻമാത്രകളാൽ ചുറ്റപ്പെട്ടിട്ടുള്ളൂ എന്നു കാണാം. ഇതുകാരണം തൻമാത്രക്ക് കുറച്ച് നെഗറ്റീവ് സ്ഥിതികോർജം ലഭിക്കും. എന്നാൽ ഇത് ഉൾഭാഗത്തെ തൻമാത്രയെക്കാളും കുറവാണ് എന്ന് വ്യക്തമാണ്. അതായത് ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉള്ളിലുള്ള തൻമാത്രയുടെ സ്ഥിതികോർജത്തിന്റെ പകുതിയോളം ഊർജമേ ദ്രാവക ഉപരിതലത്തിലെ തന്മാത്രക്ക് ഉണ്ടായിരിക്കുകയുള്ളൂ. അതിനാൽ ഉപരിതലത്തിലെ തൻമാത്രകൾക്ക് ഉൾഭാഗത്തെ തന്മാത്രകളെ അപേക്ഷിച്ച് ഊർജം അധികമാണ്. ഒരു ദ്രാവകത്തിന് ബാഹ്യ അവസ്ഥകൾ അനുവദിക്കുന്ന ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഉപരിതല പരപ്പളവ് ഉണ്ടാകാനുള്ള പ്രവണതയുണ്ട്. ഉപരിതല പരപ്പളവ് വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നതിന് ഊർജം ആവശ്യമാണ്. മിക്കവാറും എല്ലാ ഉപരിതല പ്രതിഭാസങ്ങളേയും ഈ വസ്തുത ഉപയോഗിച്ച് മനസ്സിലാക്കാൻ സാധിക്കുന്നതാണ്. ഉപരിതലത്തിൽ ഒരു തൻമാത്രയെ നിലനിർത്താനുള്ള ഊർജം എത്രയാണ്? മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ ഇത് തന്മാത്രയെ പൂർണ്ണമായും ദ്രാവകത്തിൽ നിന്നും നീക്കം ചെയ്യാൻ ആവശ്യമായ ഊർജത്തിന്റെ ഏകദേശം പകുതിയാണ് അതായത് ബാഷ്പീകരണ താപത്തിന്റെ പകുതി.

എന്താണ് ഒരു ദ്രാവക ഉപരിതലം? ദ്രാവകതൻമാത്രകൾ നിരന്തരം ചലിക്കുന്നതിനാൽ പൂർണമായതും കൃത്യമായതുമായ ഒരു ഉപരിതലം അസാദ്ധ്യമാണ്. ചിത്രം 10.16 (c) പ്രകാരം കാണിച്ചിരിക്കുന്ന ദിശയിൽ ചലിച്ചാൽ z=0 എന്ന ബിന്ദുവിൽ നിന്ന് കുറഞ്ഞ അകലത്തിൽ (ഏതാനും തൻമാത്രാവലിപ്പം മാത്രം) ദ്രാവകതന്മാത്രകളുടെ സാന്ദ്രത വളരെ വേഗത്തിൽ പൂജ്യത്തോട് അടുക്കുന്നതായി കാണാവുന്നതാണ്.

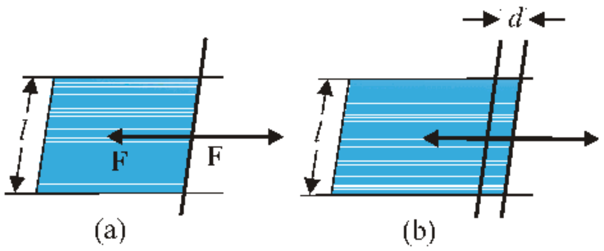
10.7.2 പ്രതല ഊർജവും പ്രതല ബലവും (Surface energy and surface tension)

ഒരു അധിക ഊർജം ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉപരിതലവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതായി നമ്മൾ ചർച്ച ചെയ്തു. അതിനാൽ, ഉള്ളളവ് സ്ഥിരമാക്കി വെച്ചു



ചിത്രം 10.16 ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉള്ളിലേയും ഉപരിതലത്തിലേയും തൻമാത്രകളുടെ രേഖാചിത്രവും, ബലങ്ങളുടെ തുലനവും (a) ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉള്ളിലെ തന്മാത്രകൾ ഒരു തന്മാത്രയിൽ മറ്റു തന്മാത്രകൾ കാരണമുള്ള ബലങ്ങൾ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. അമ്പടയാളദിശകൾ ആകർഷണത്തിന്റെയോ വികർഷണത്തിന്റെയോ ദിശയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു (b) സമാന സാഹചര്യം പ്രതലത്തിലെ തന്മാത്രകളിൽ (c) ആകർഷണ ബലം (d) വികർഷണബലം (d) ഇവയുടെ തുലനം.

കൊണ്ട് കൂടുതൽ ഉപരിതലം നിർമ്മിക്കാൻ അധികം ഊർജം ആവശ്യമാണ്. ഇതു മനസ്സിലാക്കാനായി, സ്വതന്ത്രമായി നിരങ്ങിനീങ്ങാൻ കഴിയുന്ന ഒരു കമ്പിയിൽ അവസാനിക്കുന്ന ഒരു തിരശ്ചീന ദ്രാവകപാളി പരിഗണിക്കുക. (ചിത്രം 10.17) ഈ കമ്പിക്ക് സമാന്തരമായ രണ്ടു മറ്റ് കമ്പികളുടെ മുകളിൽ ക്കൂടി സ്വതന്ത്രമായി ചലിക്കാൻ സാധിക്കും.



ചിത്രം 10.17 ഒരു പടലം വലിക്കുന്നു. (a) സന്തുലിതാവസ്ഥയിലുള്ള ദ്രാവക പാളി (b) അധിക ദൂരം വലിച്ച് നീട്ടിയ ദ്രാവക പാളി

ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ, 'd' എന്ന ചെറിയ ദൂരത്തേക്ക് കമ്പി ചലിപ്പിക്കുന്നു എന്നു കരുതുക. പരപ്പളവ് വർദ്ധിക്കുന്നതിനാൽ, ഈ വ്യൂഹത്തിന് ഇപ്പോൾ കൂടുതൽ ഊർജം ലഭിക്കുന്നു. ആന്തരിക ബലത്തിന് എതിരെ പ്രവൃത്തി ചെയ്തെന്നാണ് ഇത് അർത്ഥമാക്കുന്നത്. ഈ ആന്തരിക ബലം 'F' എന്നിരിക്കട്ടെ. പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം ചെയ്യുന്ന പ്രവൃത്തിയാണ് F.d= Fd. ഊർജ സംരക്ഷണ നിയമപ്രകാരം ഈ പ്രവൃത്തി അധിക ഊർജമായി പാളിയിൽ ശേഖരിക്കപ്പെടുന്നു. പാടയുടെ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിലുള്ള പ്രതല ഊർജം 'S' ആണെങ്കിൽ, അധിക പരപ്പളവ് 2dl ആകുന്നു. (പാടയ്ക്ക് രണ്ട് വശങ്ങൾ ഉണ്ട്. അതിനാൽ രണ്ട് ഉപരിതലങ്ങളുണ്ട്) അതിനാൽ അധികോർജം

$$S\,(2dl) = Fd \qquad (10.23)$$

അല്ലെങ്കിൽ $S \quad Fd/2dl = F/2l$ (10.24)

'S' എന്നത് പ്രതലബലത്തിന്റെ പരിമാണമാണ്. ഇത് യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിലെ പ്രതലോർജത്തിന് തുല്യമാണ്. നീങ്ങുന്ന കമ്പിയിൽ ദ്രാവകം യൂണിറ്റ് നീളത്തിൽ ചെലുത്തുന്ന ബലത്തിനും ഇതു തുല്യമാണ്.

ഇതുവരെ നമ്മൾ ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രതലത്തെക്കുറിച്ച് പഠിച്ചു. മറ്റു ദ്രവങ്ങളുമായോ ഖരപ്രതലങ്ങളുമായോ സമ്പർക്കത്തിൽ ഏർപ്പെടുന്ന ദ്രവ പ്രതലങ്ങളെയും നമുക്ക് പരിഗണിക്കേണ്ടതുണ്ട്. ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രതലോർജം പ്രതലത്തിന്റെ ഇരു വശങ്ങളിലുമുള്ള പദാർത്ഥങ്ങളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന് പദാർത്ഥങ്ങളുടെ തന്മാത്രകൾ പരസ്പരം ആകർഷിക്കുകയാണെങ്കിൽ പ്രതലോർജം കുറയുകയും, പരസ്പരം വികർഷിക്കുകയാണെങ്കിൽ പ്രതലോർജം കൂടുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ രണ്ടു പദാർത്ഥങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള സമ്പർക്കമുഖ (interface) ത്തിന്റെ ഊർജം ഇരുവശവുമുള്ള പദാർത്ഥങ്ങളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. മേൽപറയുന്ന വസ്തുതകളിൽ നിന്നും താഴെ പറയുന്ന നിരീക്ഷണങ്ങളിലേക്കെത്തിച്ചേരാം.

(i) പ്രതലബലം എന്നാൽ യൂണിറ്റ് നീളത്തിലെ ബലമാണ് (അല്ലെങ്കിൽ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിലെ പ്രതലോർജമാണ്). ഇത് ദ്രാവകത്തിന്റെയോ മറ്റേതെങ്കിലും വസ്തുക്കളുടെയോ സമ്പർക്കതലത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നു. സമ്പർക്കതലത്തിലെ തൻമാത്രകൾക്ക് ഉൾഭാഗത്തെ തന്മാത്രകളെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള അധിക ഊർജവുമാണിത്.

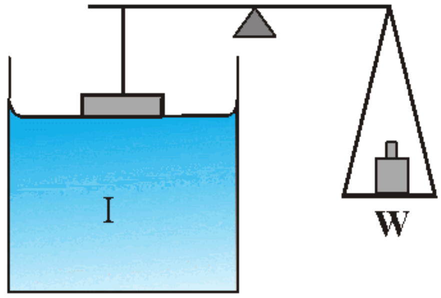
(ii) സമ്പർക്കമുഖത്തിലെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദുവിന്റെ, അതിരിൽ ഒരു സാങ്കൽപിക രേഖ വരയ്ക്കുക. യൂണിറ്റ് നീളത്തിൽ 's' പ്രതലബലം, തുല്യവും വിപരീതവുമായി വരയ്ക്ക് ഇരുവശവും ലംബമായി സമ്പർക്കമുഖത്തിന്റെ തലത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നതായി കരുതുക. വര സന്തുലിതാവസ്ഥയിലാണ്. കൂടുതൽ കൃത്യതയ്ക്കായി സമ്പർക്കമുഖത്തിൽ ഒരു വരി ആറ്റങ്ങളെയോ തൻമാത്രകളെയൊ സങ്കൽപിക്കുക. ഈ വരിയ്ക്ക് ഇടതു വശത്തുള്ള ആറ്റങ്ങൾ ഈ വരിയെ അവയ്ക്ക് അടത്തേയ്ക്കും, വലതു വശത്തുള്ളവ അവയ്ക്കടുത്തേയ്ക്കും വലിക്കുന്നു. ആറ്റങ്ങളുടെ ഈ വരി, വലിവു ബലം മൂലം സന്തുലിതാവസ്ഥയിലായിരിക്കും. വര, സമ്പർക്കമുഖത്തിന്റെ അവസാനത്തെയാണ് കാണിക്കുന്നതെങ്കിൽ ചിത്രം 10.16(a) ഉം (b) യും പ്രകാരം അകത്തേക്ക് യൂണിറ്റ് നീളത്തിൽ 's' ബലം മാത്രമേയുള്ളൂ.

ചില ദ്രാവകങ്ങളുടെ പ്രതലബലം പട്ടിക 10.3 തരുന്നു. പ്രതലബലത്തിന്റെ മൂല്യം താപനിലയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. വിസ്കൊസിറ്റി പോലെ ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രതലബലം താപനിലയ്ക്ക് അനുസരിച്ച് താഴുന്നു.

പട്ടിക 10.3 ചില ദ്രാവകങ്ങളുടെ പ്രതലബലം സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന താപനിലയിൽ അവയുടെ ബാഷ്പന താപത്തോടൊപ്പം L

ദ്രാവകം	താപനില	പ്രതലബലം (N/m)	ബാഷ്പീകരണ താപം (kJ/mol)
ഹീലിയം	270	0.000239	0.115
ഓക്സിജൻ	183	0.0132	7.1
എതനോൾ	20	0.0227	40.6
വെള്ളം	20	0.0727	44.16
മെർക്കുറി	20	0.4355	63.2

ദ്രാവകത്തിനും ഖരത്തിനും ഇടയിലുള്ള പ്രതലോർജം, ഖര-വായു, ദ്രാവക-വായു എന്നിവയ്ക്കിടയിലെ പ്രതലോർജത്തിന്റെ ആകെത്തുകയേക്കാൾ ചെറുതാണെങ്കിൽ ദ്രാവകം ഖര പ്രതലത്തിനോട് ഒട്ടി പിടിക്കും. ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിൽ ഖരപ്രതലവും ദ്രാവകവും തമ്മിൽ കൊഹെഷൻ (Cohesion) ഉണ്ട്. ചിത്രം 10.18 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഇതിനെ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ നേരിട്ട് അളക്കാൻ കഴിയും. ഒരു പരന്ന ലംബമായ ഗ്ലാസ്സ് പ്ലേറ്റ്, അതിനു താഴെ ഒരു ദ്രാവകം പാത്രത്തിൽ സൂക്ഷിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇതാണ് ബാലൻസിന്റെ ഒരു ഭുജമായി വർത്തിക്കുക. മറുവശത്തുള്ള ഭാരം പ്ലേറ്റിനെ സന്തുലിതമാക്കുന്നു. പ്ലേറ്റിന്റെ തിരശ്ചീന അഗ്രം ജലത്തിന് തൊട്ടുമുകളിലാണ്. ദ്രാവകം ഗ്ലാസ് പ്ലേറ്റിനെ ചെറുതായി സ്പർശിച്ച് പ്രതലബലം കാരണം അതിനെ താഴോട്ട് പിടിക്കുന്നതുവരെ പാത്രം മുകളിലോട്ട് ഉയർത്തുക. വെള്ളത്തിൽ നിന്നും പ്ലേറ്റ് വേർപെടും വരെ ത്രാസ്സിലേക്ക് ഭാരങ്ങൾ ചേർക്കുന്നു.



ചിത്രം 10.18: പ്രതലബലത്തിന്റെ അളക്കൽ

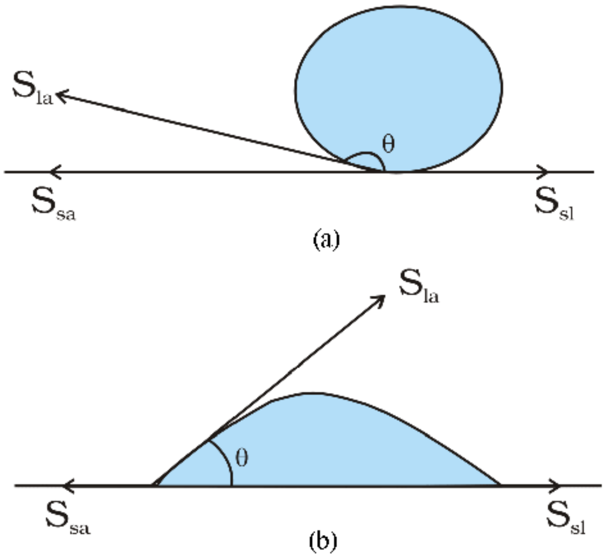
കൂടുതൽ വേണ്ടിവരുന്ന ഭാരം 'W' ആയിരിക്കട്ടെ. മുകളിലെ ചർച്ചയിൽ നിന്നും, സമവാക്യം 10.24ൽ നിന്നും, ദ്രാവക സമ്പർക്കമുഖത്തിന്റെ പ്രതലബലമാണ്.

$$S_{la} = (W/2l) = (mg/2l) \qquad (10.25)$$

'm' അധിക ഭാരവും പ്ലേറ്റിന്റെ അരിക് നീളം 'l' ഉം ആണ്. 's' നോടൊപ്പമുള്ള കീഴ്ക്കുറിപ്പ് (la) ദ്രാവക-വായു സമ്പർക്കം ഉൾപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു എന്ന് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

10.7.3 സമ്പർക്ക കോൺ (Angle of contact)

ഏതെങ്കിലും അന്യമാധ്യമവുമായുള്ള സമ്പർക്കതലത്തിന്റെ അടുത്ത് ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രതലം പൊതുവെ വക്രമാണ്. സമ്പർക്ക ബിന്ദുവിലൂടെ ദ്രാവക പ്രതലത്തിന് വരയ്ക്കുന്ന തൊടുവര (tangent) ഖര പ്രതലവുമായി ദ്രാവകത്തിനുള്ളിൽ ഉണ്ടാക്കുന്ന കോണാണ് സമ്പർക്ക കോൺ (angle of contact). ഇതിനെ 'θ' കൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കുന്നു. വ്യത്യസ്ത ജോടികളുള്ള ദ്രാവകങ്ങളുടെയും ഖരങ്ങളുടെയും സമ്പർക്കമുഖങ്ങൾക്ക് സമ്പർക്ക കോണുകൾ വ്യത്യസ്തമായി കാണപ്പെടുന്നു. ഒരു ദ്രാവകം ഒരു ഖരഉപരിതലത്തെ നനക്കുമോ അതോ അതിൻമേൽ ഒരു തുള്ളിയായി നിൽക്കുമോ എന്നുള്ളത് 'θ' യുടെ മൂല്യമാണ് നിർണ്ണയിക്കുന്നത്. ഉദാഹരണത്തിന് ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ താമരയിലയിൽ വെള്ളം തുള്ളികളായി രൂപപ്പെടുന്നു. അതേ സമയം ചിത്രം 10.19(b)യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു വൃത്തിയുള്ള പ്ലാസ്റ്റിക് പ്ലേറ്റിൽ ജലം പരക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.



ചിത്രം 10.19: വെള്ളത്തുള്ളികളുടെ വ്യത്യസ്ത ആകൃതികളും സമ്പർക്കമുഖ വലിവുകളും (a) താമരയിലയിൽ (b) വൃത്തിയുള്ള പ്ലാസ്റ്റിക് പ്ലേറ്റിൽ.

ദ്രാവകം-വായു, ഖരം-വായു, ഖരം-ദ്രാവകം എന്നീ മൂന്ന് സമ്പർക്കമുഖങ്ങളിലെ (interface) സമ്പർക്കമുഖവലിവുകൾ (interfacial tensions) യഥാക്രമം S_{la}, S_{sa}, S_{sl} എന്നിവയെ ചിത്രം 10.19(a)യിലും (b)യിലും കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. സമ്പർക്കരേഖയിൽ (line of contact) മൂന്നു മാദ്ധ്യമങ്ങൾക്കും ഇടയ്ക്കുള്ള പ്രതലബലങ്ങൾ സന്തുലിതാവസ്ഥയിലായിരിക്കണം. ചിത്രം 10.19(b) യിൽ നിന്നും താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ബന്ധം രൂപീകരിക്കാവുന്നതാണ്.

$$S_{la} \cos\theta + S_{sl} = S_{sa} \qquad (10.26)$$

ജലം – ഇല സമ്പർക്കമുഖം വരുന്ന സാഹചര്യത്തിലേതുപോലെ $S_{sl} > S_{la}$ ആണെങ്കിൽ സമ്പർക്ക കോൺ ഒരു ബൃഹദ്കോൺ (obtuse angle) ആയിരിക്കും. അതേ സമയം, ജലം-പ്ലാസ്റ്റിക് സമ്പർക്കമുഖത്തിലേതുപോലെ $S_{sl} < S_{la}$ ആണെങ്കിൽ അത് ഒരു ന്യൂനകോണായിരിക്കും (acute angle). 'θ' കോണളവ് ബൃഹദ്കോണാവുമ്പോൾ ദ്രാവകത്തിലെ തന്മാത്രകൾ പരസ്പരം ശക്തമായും ഖരതന്മാത്രകളുമായി ദുർബലമായും ആകർഷിക്കപ്പെടുന്നു. ഇതു മൂലം ദ്രാവക-ഖര സമ്പർക്കമുഖം സൃഷ്ടിക്കാൻ ധാരാളം ഊർജം ചെലവഴിക്കേണ്ടി വരും. അതിനാൽ ദ്രാവകം ഖരത്തെ നനയ്ക്കുന്നില്ല. നേരെമറിച്ച് ദ്രാവകത്തിലെ തൻമാത്രകൾ ഖരത്തിലെ തൻമാത്രകളുമായി ശക്തിയായി ആകർഷിക്കപ്പെടുകയാണെങ്കിൽ അത് S_{sl} നെ കുറയ്ക്കുകയും തൽഫലമായി cos'θ' കൂടുകയോ 'θ' കുറയുകയോ ചെയ്യുന്നു. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ 'θ' ഒരു ന്യൂനകോൺ ആണ്. ജലം ഗ്ലാസ്സിന്മേൽ പരക്കുമ്പോഴും, പ്ലാസ്റ്റിക്കിന്മേൽ മണ്ണെണ്ണ (മിക്കവാറും എല്ലാ വസ്തുവിന്മേലും മണ്ണെണ്ണ പരക്കുന്നു) പരക്കുമ്പോഴും സംഭവിക്കുന്നത് ഇതാണ്. സോപ്പുകൾ, ഡിറ്റർജന്റുകൾ, ഡൈയിംഗ് വസ്തുക്കൾ മുതലായവ പൊതുവേ നനയ്ക്കുന്ന സ്വഭാവമുള്ളവയാണ്. ജലവുമായി അവയെ ചേർക്കുമ്പോൾ സമ്പർക്കകോൺ ചെറുതാവുകയും അതുവഴി അവ തുളച്ചിറങ്ങാനും ഫലപ്രദമായി കഴുകാനും സഹായിക്കുന്നു. എന്നാൽ വസ്ത്രങ്ങളും മറ്റും നനയാതിരിക്കുവാനുപയോഗിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് (water proofing agents) ജലത്തിനും വസ്ത്രത്തിലെ നൂലിനുമിടയിൽ വലിയ സമ്പർക്ക കോണുകൾ ഉണ്ടാക്കുവാനുള്ള ശേഷിയുണ്ട്. അതുകൊണ്ട് അവ നനയുന്നതിനെ തടയുന്നു.

10.7.4 തുള്ളികളും കുമിളകളും (Drops and bubbles)

ഗുരുത്വാകർഷണബലത്തെ അവഗണിക്കുവാൻ കഴിയുമെങ്കിൽ സ്വതന്ത്ര ദ്രാവകത്തുള്ളികളും കുമിളകളും ഗോളാകാരം പ്രാപിക്കുന്നത് പ്രതലബലത്തിന്റെ ഒരു അനന്തരഫലമാണ്. നമ്മുടെ കുട്ടിക്കാലത്ത് നാം സോപ്പ് കുമിളകൾ ഊതി വീർപ്പിച്ചിരുന്ന അവസരത്തിലും ഹൈ സ്പീഡ് സ്പ്രേ അല്ലെങ്കിൽ ജെറ്റിൽ രൂപപ്പെടുന്ന ചെറിയ തുള്ളികളിലും നിങ്ങൾ ഈ പ്രവണത കണ്ടിട്ടുണ്ടാകും. തുള്ളികളും കുമിളകളും എന്തുകൊണ്ടാണ് ഗോളാകാരമായത്? സോപ്പ് കുമിളകളെ സ്ഥിരമായി നിലനിർത്തുന്നത് എന്താണ്?

നാം നേരത്തേ പറഞ്ഞതുപോലെ ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ വായുവുമായുള്ള സമ്പർക്കമുഖത്തിന് ഊർജമുണ്ട്, ദ്രാവക പ്രതലങ്ങൾ പൊതുവേ ഈ ഊർജം കുറയ്ക്കുവാൻ ശ്രമിക്കും. ഒരു നിശ്ചിത ഉള്ളളവിന്, ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജമുള്ള പ്രതലം, ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ പരപ്പളവോടുകൂടിയതായിരിക്കുമല്ലോ. ഒരു ഗോളത്തിന് ഈ സവിശേഷത ഉണ്ട്. അതിനാൽ ഗുരുത്വാകർഷണബലവും മറ്റ് ബലങ്ങളും (ഉദാ: വായുപ്രതിരോധം) ശക്തമല്ലെങ്കിൽ ദ്രാവകത്തുള്ളികൾ ഗോളാകാരമായിരിക്കും.

ഒരു ഗോളത്തുള്ളിയുടെ അകത്തെ മർദ്ദം (ചിത്രം 10.20(a)) പുറത്തെ മർദത്തെക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും എന്നത് പ്രതലബലത്തിന്റെ മറ്റൊരു സവിശേ

ഷതയാണ്. 'r' ആരമുള്ള ഗോളാകൃതിയിലുള്ള ഒരു തുള്ളി സന്തുലിതാവസ്ഥയിലാണെന്നിരിക്കട്ടെ ഇതിന്റെ ആരം Δr കണ്ട് വർദ്ധിപ്പിച്ചാൽ ലഭിക്കുന്ന അധിക പ്രതല ഊർജമാണ്.

$$[4\pi(r + \Delta r)^2 - 4\pi r^2]\, S_{la} = 8\pi r\, \Delta r\, S_{la} \qquad (10.27)$$

തുള്ളി സന്തുലിതാവസ്ഥയിലാണെങ്കിൽ അകത്തെയും പുറത്തേയും മർദവ്യത്യാസം (P_i-P_0) മൂലമുള്ള വികാസത്തിലൂടെ കിട്ടുന്ന ഊർജം.

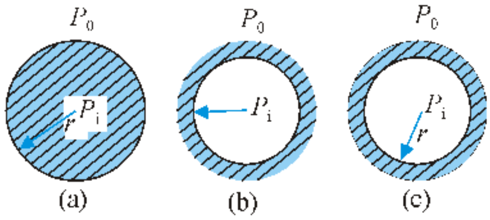
$$W = (P_i - P_o)\, 4\pi r^2 \Delta r \qquad (10.28)$$

മുകളിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന അധിക ഊർജത്തിനു തുല്യമായിരിക്കും.

ഇതിൽ നിന്നും

$$(P_i - P_o) = (2\, S_{la} / r) \qquad (10.29)$$

പൊതുവായി ദ്രാവക-വായു സമ്പർക്കമുഖത്തിൽ കോൺകേവ് വശത്ത് അനുഭവപ്പെടുന്ന മർദം കോൺവെക്സ് വശത്തിലേതിനേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും. ഉദാഹരണത്തിന് ദ്രാവകത്തിലെ വായുകുമിളകൾക്ക് അകത്ത് ഉയർന്ന മർദമുണ്ടാകും. ചിത്രം 10.20 (b) കാണുക.



ചിത്രം 10.20 'r' ആരമുള്ള തുള്ളിയും കുമിളയും, അറയും (cavity)

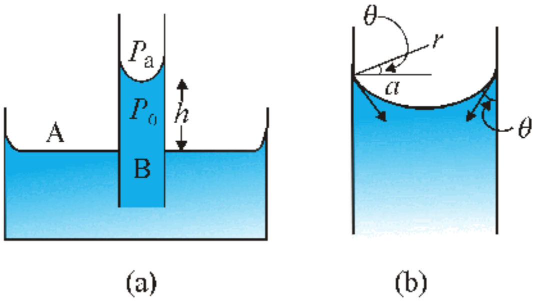
ഒരു ദ്രാവക കുമിള ചിത്രം 10.20(c) ഒരു ദ്രാവക തുള്ളിയിൽനിന്നും അതുപോലെ ദ്രാവകത്തിനുള്ളിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന വായു കുമിളയിൽ നിന്നും വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു; ഒരു കുമിളക്ക് രണ്ട് സമ്പർക്കമുഖങ്ങളുണ്ട്. മുകളിലത്തെ വാദം ഉപയോഗിച്ച് ഒരു കുമിളയിലെ മർദം

$$(P_i - P_o) = (4\, S_{la} / r) \text{ ആണ്} \qquad (10.30)$$

ഒരു സോപ്പു കുമിളയുടെ ഉള്ളിലെ മർദവും ഇതേ കാരണത്താൽ അതിന്റെ പുറത്തുള്ളതിനേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. അതുകൊണ്ടാണ് ഇത്തരം കുമിളകൾ ഉണ്ടാക്കുവാൻ വേണ്ടി ഊതേണ്ടി വരുന്നത്.

10.7.5 കേശിക ഉയർച്ച (capillary rise)

വക്രമായ ദ്രാവക-വായു സമ്പർക്കമുഖത്തിലെ മർദവ്യത്യാസത്തിന്റെ ഫലമായിട്ടാണ് ജലം ഇടുങ്ങിയ കുഴലിൽ കൂടി ഗുരുത്വാകർഷണത്തിനെ അതിജീവിച്ച് മുകളിലേക്ക് ഉയരുന്നത്. നേരിയ സുഷിരമുള്ള കാപ്പില്ലറി കുഴലുകളിൽ ഇത് വ്യക്തമായി കാണാം.



ചിത്രം 10.21 കേശിക ഉയർച്ച (a) ഇടുങ്ങിയ ട്യൂബ് വെള്ളത്തിൽ മുങ്ങി കടക്കുന്നതിന്റെ രേഖാചിത്രം. (b) സമ്പർക്കമുഖത്തിന്റെ വലുതാക്കിയ പടം.

'ക്യാപില്ല' എന്ന ലാറ്റിൻ വാക്കിന്റെ അർഥം മുടി എന്നാണ്. അതുകൊണ്ടാണ് നേരിയ വണ്ണമുള്ള കുഴലുകളെ ക്യാപിലറി കുഴലുകൾ എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ഇത്തരം കുഴലുകളിൽ കേശിക ഉയർച്ച വളരെ കൂടുതലായിരിക്കും. ഇത് കാണുന്നതിന് തുറന്ന പാത്രത്തിലെ ജലത്തിൽ ഇറക്കി വെച്ചിരിക്കുന്ന വൃത്തച്ഛേദതലമുള്ള ഒരു ക്യാപിലറിക്കുഴൽ (capillary tube) പരിഗണിക്കുക (ചിത്രം 10.21). വെള്ളത്തിനും ഗ്ലാസിനുമിടയിലുള്ള സമ്പർക്കകോൺ ന്യൂനകോൺ ആണ്. അതിനാൽ കേശികക്കുഴലിലെ ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലം കോൺകേവ് ആണ്. ഉപരിതലത്തിലെ രണ്ട് വശവും തമ്മിൽ മർദവ്യതിയാനം ഉണ്ടെന്നാണ് ഇതിനർഥം.

മർദവ്യത്യാസം

$$(P_i - P_o) \quad (2S/r) \quad 2S/(a \sec\theta)$$
$$= (2S/a) \cos\theta \qquad (10.31)$$

ട്യൂബിന്റെ ഉള്ളിലെ ജലത്തിന്റെ മർദം, മെനിസ്കസിനോട് തൊട്ടു ചേർന്ന് (വായു-ജലം സമ്പർക്കമുഖം) അന്തരീക്ഷ മർദത്തേക്കാൾ കുറവാണ്. ചിത്രം 10.21(a) യിൽ രണ്ടു പോയിന്റുകൾ A യും B യും പരിഗണിക്കുക. ഇവ രണ്ടും ഒരേ മർദ്ദത്തിലായിരിക്കും. ഈ മർദമാണ്

$$P_0 + h\rho g \quad P_i \quad P_A \qquad (10.32)$$

ഇവിടെ 'ρ' ജലത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയും 'h' കേശിക ഉയർച്ചയാണ്. സമവാക്യം 10.31 ഉം 10.32 ഉം ഉപയോഗിച്ച് നമ്മൾക്ക്

$$h\rho g \quad (P_i - P_0) \quad (2S\cos\theta)/a \qquad (10.33)$$ എന്ന് കിട്ടും.

ഇവിടുത്ത ചർച്ചയും സമവാക്യങ്ങൾ 10.28, 10.29 ഉം കേശിക ഉയർച്ച പ്രതലബലം മൂലം ആണെന്ന് വ്യക്തമാക്കുന്നു. 'a' ചെറുതാണെങ്കിൽ ഇത് വലുതായിരിക്കും. വളരെ നേർത്ത കേശികക്കുഴലുകൾക്ക്

കേശിക ഉയർച്ച ഏതാനും സെന്റീമീറ്ററോളം വരും. ഉദാഹരണത്തിന് a=0.05cm ആണെങ്കിൽ പട്ടിക 10.3ലെ ജലത്തിന്റെ പ്രതലബലത്തിന്റെ മൂല്യം ഉപയോഗിച്ചാൽ

$$h \quad 2S/(\rho g a)$$

$$= \frac{2 \times (0.073 \text{ N m}^{-1})}{(10^3 \text{ kg m}^{-3})(9.8 \text{ m s}^{-2})(5 \times 10^{-4} \text{ m})}$$

$$2.98 \times 10^{-2} \text{ m} \quad 2.98 \text{ cm}$$

ശ്രദ്ധിക്കുക: മെനിസ്കസ് കോൺവെക്സ് ആണെങ്കിൽ (മെർക്കുറിയുടേതുപോലെ), അതായത് Cosθ നെഗറ്റീവ് ആണെങ്കിൽ, സമവാക്യം 10.32ൽ നിന്നും ദ്രാവകം കേശികകുഴലിൽ താഴും എന്ന് വ്യക്തമാണ്.

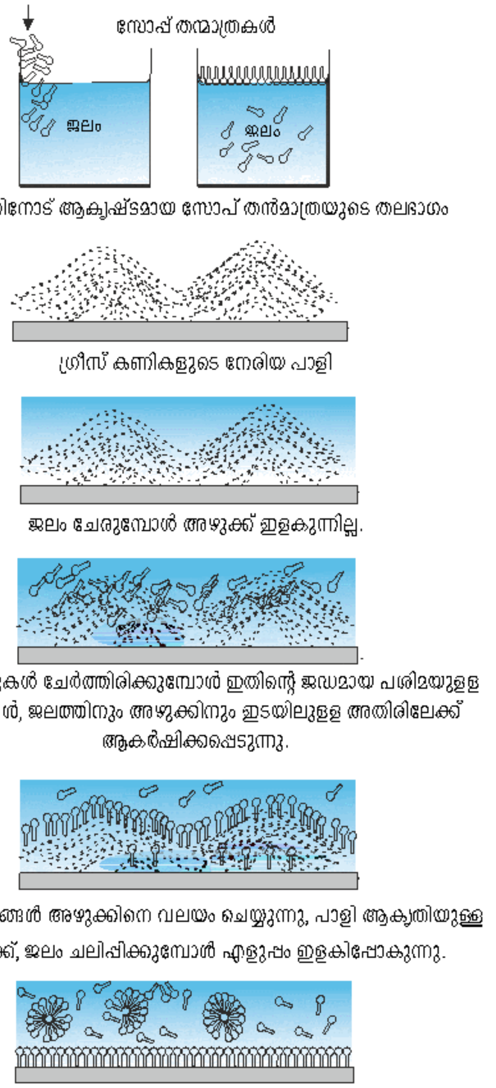
10.7.6 ഡിറ്റർജന്റുകളും പ്രതല ഊർജവും (Detergents and Surface Tension)

ഗ്രീസും എണ്ണയുടെ അഴുക്കുകളും മറ്റും പുരണ്ട പരുത്തി വസ്ത്രങ്ങൾ അഥവാ മറ്റു തുണികൾ ഡിറ്റർജന്റ് അഥവാ സോപ്പ് ചേർത്തിട്ടുള്ള ജലത്തിൽ കുതിർത്ത് ഉലച്ച് കഴുകുന്നു. എന്തായിരിക്കാമിതിനു കാരണം.

ജലം ഉപയോഗിച്ച് കഴുകുന്നത് ഗ്രീസിനെ നീക്കുകയില്ല. ജലം ഗ്രീസ് അഴുക്കിനെ നനക്കുന്നില്ല എന്നതാണ് ഇതിന് കാരണം. അവ തമ്മിലുള്ള സ്പർശനതലം വളരെ കുറവാണ്. ജലം ഗ്രീസിനെ നനയ്ക്കുമായിരുന്നെങ്കിൽ, ജലത്തിന്റ ഒഴുക്ക് കുറച്ച് ഗ്രീസിനെ കഴുകിക്കളയുമായിരുന്നു. ഗ്രീസിനെ നീക്കം ചെയ്യാൻ ഡിറ്റർജന്റ് ഉപയോഗിച്ചാൽ എളുപ്പം സാധിക്കും.

ഡിറ്റർജന്റിന്റെ തൻമാത്രകൾ ഹെയർപിൻ ആകൃതിയിലുള്ളവയാണ്. ഇതിന്റെ ഒരറ്റം വെള്ളത്തിന്റെ തന്മാത്രയിലേക്കും മറ്റേ അറ്റം ഗ്രീസ്, എണ്ണ അല്ലെങ്കിൽ മെഴുക്കിന്റെ തന്മാത്രകളിലേക്കും ആകർഷിക്കപ്പെടുന്നു. ഇപ്രകാരം ജലം-എണ്ണ സമ്പർക്കമുഖങ്ങൾ രൂപം കൊള്ളുന്നു. ഇതിന്റെ ഫലം ചിത്രങ്ങളുടെ ഒരു ശ്രേണിയായി 10.22ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഡിറ്റർജന്റ് ചേർക്കുമ്പോൾ, അവയുടെ തന്മാത്രകൾ ഒരുവശത്ത് വെള്ളത്തേയും മറുവശത്ത് എണ്ണയേയും ആകർഷിക്കുകയും, പ്രതലബലം S (ജലം-എണ്ണ) ഗണ്യമായി കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇപ്രകാരമുള്ള സമ്പർക്കമുഖങ്ങൾ അതായത് ഡിറ്റർജന്റാലും അതിൽ കൂടി ജലത്താലും ചുറ്റപ്പെട്ട അഴുക്കിന്റെ ഗോളം ഉണ്ടാകുന്നത് ഊർജപരമായും അനുകൂലമാണ്. ഡിറ്റർജന്റുകൾ അല്ലെങ്കിൽ സർഫാക്റ്റന്റുകൾ ഉപയോഗിച്ച് ഇത്തരത്തിലുള്ള ശുദ്ധീകരണ പ്രക്രിയ മാത്രമല്ല, എണ്ണ, അയിര് എന്നിവയെ വീണ്ടെടുക്കുന്നതിനും പ്രധാനമാണ്.



ചിത്രം 10.22 ഡിറ്റർജന്റിന്റെ പ്രവർത്തനം ഡിറ്റർജന്റ് തൻമാത്രകളുടെ പ്രവർത്തനത്തിന്റെ രൂപത്തിൽ

▶ **ഉദാഹരണം 10.12** 2.00 mm വ്യാസമുള്ള ഒരു ക്യാപിലറിക്കുഴലിന്റെ താഴത്തെ അഗ്രം ഒരു ബീക്കറിലെ ജലത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിന് താഴെ 8.00 cm മുക്കിയിട്ടിരിക്കുന്നു. ജലത്തിന്റെ അടിയിൽ കുഴലിന്റെ അഗ്രത്തിൽ ഒരു അർധ ഗോളീയ കുമിള ഊതിയുണ്ടാക്കുവാൻ കുഴലിൽ എത്ര മർദം വേണം. ജലത്തിന്റെ പ്രതലബലം പരീക്ഷണത്തിന്റെ ഊഷ്മാവിൽ 7.30×10^{-2} Nm^{-1} ആണ്. അന്തരീക്ഷ മർദം =1.01×10^5 Pa ജലത്തിന്റെ സാന്ദ്രത = 1000 kg/m^3, g = 9.80 m s^{-2} അധിക മർദവും കണ്ടുപിടിക്കുക.

ഉത്തരം: ഒരു ദ്രാവകത്തിലെ വാതക കുമിളയിലെ അധിക മർദം $2S/r$ ആണ്. S എന്നാൽ ദ്രാവക-വായു സമ്പർക്കമുഖത്തിലെ പ്രതലബലം ആണ്. ഇവിടെ ഒരു ദ്രാവക പ്രതലമേയുള്ളു എന്നത് ശ്രദ്ധി ക്കേണ്ടതാണ്. (വായുവിലെ ദ്രാവക കുമിളയ്ക്ക് രണ്ട് ദ്രാവക പ്രതലമുണ്ട്, അതിനാൽ അധിക മർദത്തിന്റെ ഫോർമുല $4S/r$ ആണ്). കുമിളയുടെ ആരം 'r' ആണ്. കുമിളയുടെ പുറത്തെ മർദം 'P_o' അന്തരീക്ഷ മർദത്തിന്റെയും 8.00 cm ജലയൂപത്തിന്റെ മർദത്തിന്റെയും ആകെത്തുകയാണ്. അതായത്,

$$P_o = (1.01 \times 10^5 \text{ Pa} - 0.08 \text{ m} \times 1000 \text{ kg m}^{-3} \times 9.80 \text{ m s}^{-2})$$

$$= 1.01784 \times 10^5 \text{ Pa}$$

അതിനാൽ കുമിളയ്ക്കുള്ളിലെ മർദമാണ്.

$$P_i = P_o + 2S/r$$

$$= 1.01784 \times 10^5 \text{ Pa} + (2 \times 7.3 \times 10^{-2} \text{ Pa m}/10^{-3} \text{ m})$$

$$= (1.01784 + 0.00146) \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$= 1.02 \times 10^5 \text{ Pa}$$

കുമിള അർദ്ധഗോളാകൃതിയായതിനാൽ കുമിളയുടെ ആരവും ക്യാപിലറിക്കുഴലിന്റെ ആരവും തുല്യമായി എടുത്തിരിക്കുന്നു. (ഉത്തരം 3 സാർഥകാങ്കത്തിൽ റൗണ്ട് ചെയ്തിരിക്കുന്നു.) കുമിളയിലെ അധികമർദം 146 Pa ആണ്. ◀

സംഗ്രഹം

1. ദ്രവത്തിന്റെ അടിസ്ഥാന സ്വഭാവം അതിന് ഒഴുകാൻ കഴിയുമെന്നതാണ്. ദ്രവത്തിന് ആകൃതി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നതിന് തടസ്സമൊന്നും നേരിടുന്നില്ല. അതായത് ദ്രവത്തിന്റെ ആകൃതി അതുൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ആകൃതിയാണ്.

2. ദ്രാവകം സങ്കോചരഹിതവും സ്വന്തമായി ഒരു സ്വതന്ത്ര ഉപരിതലം ഉള്ളവയുമാണ്. ഒരു വാതകം സങ്കോചക്ഷമമാണ് (compressible), അത് വികസിച്ച് ലഭ്യമായ എല്ലാ സ്ഥലവും ഉൾക്കൊള്ളുന്നു.

3. 'A' പരപ്പളവുള്ള ഒരു പ്രതലത്തിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ലംബബലം (Normal force) F ആണെങ്കിൽ ശരാശരി മർദം Pav ബലത്തിന്റെയും (F) പരപ്പളവിന്റെയും (A) ഹരണഫലമായി നിർവചിക്കാം.

$$P_{av} = \frac{F}{A}$$

4. മർദത്തിന്റെ യൂണിറ്റ് (unit) പാസ്ക്കൽ (Pa) ആണ്. ഇത് Nm^{-2} ന് സമാനമാണ്. മർദ്ദത്തിന്റെ പൊതുവായ യൂണിറ്റുകളാണ്.

   1 atm = 1.01×10^5 Pa

   1 ബാർ = 10^5 Pa

   1 ടോർ = 133 Pa = 0.133 kPa

   1 mm മെർക്കുറി = 1 ടോർ = 133 Pa

5. പാസ്കൽ നിയമം പ്രസ്താവിക്കുന്നത്: ദ്രവത്തിന്റെ നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ ഒരേ ഉയരത്തിലുള്ള എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും മർദം ഒരു പോലെയായിരിക്കും എന്നാണ്

6. താഴെ പറയുന്ന സമവാക്യം പ്രകാരം ആഴത്തിനനുസരിച്ച് ദ്രവത്തിന്റെ മർദ്ദം വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു.

   $P = P_a - \rho g h$

   ഇതിൽ ρ ദ്രവത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയാണ്. (സാന്ദ്രത എല്ലായിടത്തും ഒരു പോലെയാണെന്ന് കരുതുക)

7. സ്ഥിരമായ ഒഴുക്കിൽ സമാനമല്ലാത്ത ഛേദതലത്തോടുകൂടിയ പൈപ്പിലെ ഏതെങ്കിലും ബിന്ദുവിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്ന സങ്കോചരഹിത ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉള്ളളവ് (volume) ഓരോ സെക്കന്റിലും ഒന്നുതന്നെയാണ്.

   v A = സ്ഥിരാങ്കം ('v' പ്രവേഗവും 'A' ഛേദതലത്തിന്റെ പരപ്പളവുമാണ്.) സങ്കോചരഹിത ദ്രാവകത്തിലെ ദ്രവ്യ സംരക്ഷണ നിയമംമൂലമാണ് ഈ നിയമം ഉണ്ടായിരിക്കുന്നത്.

8. ധാരാരേഖയിലൂടെ മുന്നോട്ടുപോകുമ്പോൾ മർദ്ദം (P), യൂണിറ്റ് ഉള്ളളവിലെ ഗതികോർജവും ($\rho v^2/2$) യൂണിറ്റ് ഉള്ളളവിലെ സ്ഥിതികോർജം ($\rho g y$), ഇവയുടെ ആകെ തുക സ്ഥിരമായിരിക്കും. ഇതാണ് ബെർണൂയി തത്വം

   $P + \rho v^2/2 + \rho g y$ = സ്ഥിരാങ്കം

അടിസ്ഥാനപരമായി ഇത് വിസ്കസ് അല്ലാത്ത ദ്രവത്തിന്റെ സ്ഥിരമായ പ്രവാഹത്തിന്റെ ഊർജ സംരക്ഷണ നിയമമാണ്. പൂജ്യം വിസ്കൊസിറ്റി ഉള്ള ദ്രവങ്ങളില്ല. അതിനാൽ മുകളിലെ പ്രസ്താവന ഒരു ഏകദേശനം ആണ്. വിസ്കൊസിറ്റി ഘർഷണം പോലെയാണ്. ഇത് ഗതികോർജത്തെ താപോർജമായി മാറ്റുന്നു.

9. ഒരു ദ്രവത്തിലെ ഷിയർ സ്ട്രെയിനിന്, ഷിയറിംഗ് സ്ട്രെസ്സ് ആവശ്യമില്ലെങ്കിലും, ഷിയറിങ്ങ് സ്ട്രെസ്സ് കൊടക്കുമ്പോൾ, അത് സമയത്തിനനുസരിച്ച് വർദ്ധിക്കുന്ന ഒരു ഷിയറിങ്ങ് സ്ട്രെയിൻ സൃഷ്ടിക്കുന്നു.

10. സ്റ്റോക്സ് നിയമം പ്രസ്താവിക്കുന്നത് 'a' ആരമുള്ള 'v' പ്രവേഗത്തോടുകൂടി വിസ്കസ് മാദ്ധ്യത്തിൽ ചലിക്കുന്ന ഒരു ഗോളത്തിൻ മേലുള്ള വിസ്കസ് ബലം $F = 6\pi\eta av$. എന്നാണ്.

11. ദ്രവത്തിലെ പ്രക്ഷുബ്ദ്ധതയുടെ തുടക്കം നിർണ്ണയിക്കുന്നത് റെയ്നോൾഡ്സ് നമ്പർ ആണ്. ഇത് ഒരു ഡൈമൻഷനില്ലാത്ത പരാമീറ്ററാണ്. റെയ്നോൾഡ്സ് സംഖ്യ $R_e = \rho vd/\eta$ ആണ്. ഇവിടെ 'd' എന്നത് ദ്രവപ്രവാഹത്തിനോട് ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ഒരു പ്രത്യേക ജ്യാമിതീയ നീളമാണ്. മറ്റു ചിഹ്നങ്ങൾക്ക് സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന അർഥം തന്നെയാണ്.

12. പ്രതലബലം എന്നത് ദ്രാവകത്തിനും അതിരിടുന്ന പ്രതലത്തിനും ഇടയിലുള്ള സമ്പർക്കമുഖത്തിന്റെ പ്രതലത്തിൽ ചെലുത്തുന്ന പ്രതിനീളത്തിലെ ബലമാണ് (അല്ലെങ്കിൽ യൂണിറ്റ് വിസ്തീർണ്ണത്തിലെ പ്രതല ഊർജം) ഇത് ഉൾഭാഗത്തെ തൻമാത്രകളുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ സമ്പർക്കമുഖത്തിലെ തൻമാത്രകളുടെ അധിക ഊർജമാണ്.

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. മർദം ഒരു അദിശ അളവാണ്. യൂണിറ്റ് വിസ്തീർണത്തിലെ ബലം എന്ന മർദത്തിന്റെ നിർവചനം മർദം ഒരു സദിശ അളവാണെന്നുള്ള തെറ്റായ സൂചന നൽകുന്നു. നിർവചനത്തിന്റെ ഹാരകത്തിലെ ബലം അത് പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന പ്രതലത്തിന് ലംബമായ ഘടകം ആണ്. ദ്രവങ്ങളെ ആശയപരമായി സമീപിക്കുമ്പോൾ, കണികാ മെക്കാനിക്സിൽ നിന്നും, റിജിഡ് ബോഡി മെക്കാനിക്സിൽ നിന്നും മാറി ചിന്തിക്കേണ്ടി വരും. ദ്രവത്തിലെ, ഓരോ ബിന്ദുവിലും മാറി മാറി വരുന്ന ഗുണവിശേഷങ്ങളാണ് നമ്മൾ പരിഗണിക്കേണ്ടത്.

2. ദ്രാവകത്തിൽ മുങ്ങിക്കിടക്കുന്ന ഒരു കഷണം ഖരപദാർത്ഥത്തിലും, ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിന്റെ ഭിത്തികളിലും ചെലുത്തപ്പെടുന്ന ബലമായി മാത്രം മർദത്തെക്കുറിച്ച് ചിന്തിക്കാൻ പാടുള്ളതല്ല. മർദം ദ്രവത്തിലെ എല്ലാ ബിന്ദുകളിലും സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 10.2ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന ദ്രവത്തിന്റെ ഒരു അംശം സന്തുലിതാവസ്ഥയിലാണ്. കാരണം അതിന്റെ വിവിധ മുഖങ്ങളിൽ ചെലുത്തപ്പെടുന്ന മർദം തുല്യമാണ്.

3. മർദത്തിന്റെ സമവാക്യം $P - P_a = \rho gh$, ദ്രവം സങ്കോചരഹിതമാണെങ്കിലേ സത്യമാകുന്നുള്ളു. പ്രായോഗികമായി പറഞ്ഞാൽ ഇത് സങ്കോചരഹിതമായ ദ്രാവകങ്ങൾക്ക് മാത്രമേ സാധ്യമാകുന്നുള്ളു. അതുകൊണ്ടു തന്നെ ഉയരത്തിനനുസരിച്ച് മാറ്റമില്ലാത്തതായിരിക്കും.

4. ഗേജ് മർദം, യഥാർത്ഥത്തിലുള്ള മർദവും അന്തരീക്ഷ മർദവും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസമാണ്. $P - P_a = P_g$

മർദം അളക്കാനുള്ള പല ഉപകരണങ്ങളും ഗേജ് മർദം അളക്കുന്നു. ടയർ മർദ ഗേജും രക്തമർദ ഗേജും (സ്ഫിഗ്മോമാനോമീറ്റർ) ഇതിൽ പെടുന്നു.

5. ധാരാരേഖ ദ്രവഒഴുക്കിന്റെ മാപ്പ് ആണ്. സ്ഥിര ഒഴുക്കിൽ, രണ്ടു ധാരാരേഖകൾ തമ്മിൽകൂട്ടിമുട്ടില്ല. കാരണം അങ്ങനെയായാൽ ഒരു ബിന്ദുവിൽ ദ്രവകണങ്ങൾക്ക് രണ്ട് സാധ്യമായ പ്രവേഗം ഉണ്ട് എന്ന് അർഥം വരും.

6. ദ്രവത്തിൽ വിസ്കസ് വലിവ് ഉള്ളപ്പോൾ, ബെർണൂയിയുടെ തത്വം ബാധകമല്ല. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ ക്ഷയകാരണമായ വിസ്കോസ് ബലം ചെയ്യുന്ന പ്രവൃത്തിയും കണക്കിലെടുക്കേണ്ടതുണ്ട്. P_2 (ചിത്രം 10.9) സമവാക്യം 10.12 തരുന്ന മൂല്യത്തെക്കാൾ ചെറുതായിരിക്കും.

7. ഊഷ്മാവ് ഉയരുമ്പോൾ, ദ്രാവകത്തിലെ കണങ്ങൾ കൂടുതൽ ചലനാത്മകമാവുന്നു, വിസ്കോസിറ്റിയുടെ ഗുണാങ്കം (η) താഴുന്നു. വാതകത്തിൽ ഊഷ്മാവിലുള്ള ഉയർച്ച കണികകളുടെ ക്രമില്ലാത്ത ചലനത്തെ വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു അങ്ങനെ η വർദ്ധിക്കുന്നു.

8. പ്രക്ഷുബ്ദ്ദ പ്രവാഹത്തിന്റെ തുടക്കത്തിനുള്ള ക്രിട്ടിക്കൽ റെയ്നോൾഡ്സ് നമ്പർ ജ്യാമിതി അനുസരിച്ച് 1000ത്തിനു 10,000ത്തിനും ഇടയിലാണ്. മിക്കവാറും സാഹചര്യങ്ങളിൽ $R_e<1000$ ലാമിനാർ ഒഴുക്കിനെയും $1000<R_e<2000$ അസ്ഥിര ഒഴുക്കിനേയും $R_e>2000$ പ്രക്ഷുബ്ധ ഒഴുക്കിനെയും കുറിക്കുന്നു.

9. ദ്രാവക പ്രതലത്തിലെ തൻമാത്രകളെ ഉൾഭാഗത്തെ തൻമാത്രകളുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോഴുള്ള അധികോർജമാണ് പ്രതലബലത്തിന് കാരണമാവുന്നത്. രണ്ട് വസ്തുക്കളെ വേർതിരിക്കുന്ന പ്രതലത്തിൽ ഒരു വസ്തു എങ്കിലും ദ്രവമാണെങ്കിൽ അങ്ങനെയുള്ള വസ്തുക്കളെ വേർതിരിക്കുന്ന സമ്പർക്കമുഖത്തിൽ പ്രതലോർജത്തിന്റെ സാന്നിധ്യം ഉണ്ട്. ഇതു ഒരു ദ്രവത്തിന്റെ മാത്രം സ്വഭാവം അല്ല.

ഭൗതിക അളവ്	ചിഹ്നം	ഡൈമെൻഷനുകൾ	യൂണിറ്റ്	റിമാർക്കുകൾ
മർദം	P	$[M L^{-1} T^{-2}]$	pascal (Pa)	1 atm = 1.013×10^{5} Pa, അദിശം
സാന്ദ്രത	ρ	$[M L^{-3}]$	kg m^{-3}	അദിശം
സ്പെസിഫിക് ഗ്രാവിറ്റി		ഇല്ല	ഇല്ല	$\frac{\rho_{substance}}{\rho_{water}}$, അദിശം
വിസ്കോസിറ്റിയുടെ ഗുണാങ്കം	η	$[M L^{-1} T^{-1}]$	Pa s അല്ലെങ്കിൽ poiseiulles (Pl)	അദിശം
റെയിനോൾഡ് നമ്പർ	R_e	ഇല്ല	ഇല്ല	$R_e = \frac{\rho v d}{\eta}$
പ്രതലബലം	S	$[M T^{-2}]$	N m^{-1}	അദിശം

പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

10.1 എന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് വിശദീകരിക്കുക

(a) മനുഷ്യരിലെ രക്തസമ്മർദ്ദം മസ്തിഷ്കത്തിലേതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ പാദങ്ങളിലാണ്.

(b) അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ ഉയരം 100 km - ൽ കൂടുതൽ ആണെങ്കിലും, 6 km ഉയരത്തിലുള്ള അന്തരീക്ഷ മർദ്ദം സമുദ്രനിരപ്പിലെ മർദ്ദത്തിന്റെ പകുതിയായി കുറയുന്നു.

(c) ബലം എന്ന സദിശത്തെ പരപ്പളവ്കൊണ്ട് ഹരിക്കുമ്പോഴാണ് മർദം ലഭിക്കുന്നതെങ്കിലും, ദ്രാവകമർദം (Hydrostatic pressure) ഒരു അദിശ അളവാണ്.

10.2. എന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് വിശദീകരിക്കുക.

(a) മെർക്കുറിയുടെ ഗ്ലാസ്സുമായുള്ള സമ്പർക്കകോൺ ബൃഹത് കോണാണ്, അതേ സമയം വെള്ളത്തിന്റെ ഗ്ലാസ്സുമായുള്ള സമ്പർക്ക കോൺ ന്യൂനകോണാണ്.

(b) വൃത്തിയുള്ള ഗ്ലാസ്സ് പ്രതലത്തിൽ വെള്ളം വ്യാപിക്കാനുള്ള പ്രവണത കാണിക്കുമ്പോൾ, അതേ പ്രതലത്തിലെ മെർക്കുറി തുള്ളികളാകാനുള്ള പ്രവണത കാണിക്കുന്നു. (ജലം ഗ്ലാസ്സിനെ നനയ്ക്കുന്നു, അതേ സമയം മെർക്കുറി നനയ്ക്കുന്നില്ല.)

(c) ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ പ്രതലബലം അതിന്റെ പ്രതല പരപ്പളവിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

(d) ഡിറ്റർജന്റ് ലയിപ്പിച്ച വെള്ളത്തിന്റെ സമ്പർക്കകോൺ ചെറുതായിരിക്കും.

(e) ബാഹ്യബലത്തിനു വിധേയമല്ലാത്ത ഒരു ദ്രാവകതുള്ളി എല്ലായ്പ്പോഴും ഗോളാകൃതി സ്വീകരിക്കുന്നു.

10.3. ഓരോ പ്രസ്താവനയ്ക്കും അനുബന്ധമായി പട്ടികയിലുള്ള വാക്കുകൾ ഉപയോഗിച്ച് വിട്ടുപോയത് പൂരിപ്പിക്കുക.

(a) ദ്രാവകങ്ങളുടെ പ്രതലബലം പൊതുവെ താപനിലയനുസരിച്ച് .... (കൂടുന്നു/ കുറയുന്നു).

(b) വാതകങ്ങളുടെ വിസ്കോസിറ്റി (viscosity) താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് ...., അതേ സമയം ദ്രാവകങ്ങളുടെ വിസ്കോസിറ്റി (viscosity) താപനിലയ്ക്കനുസരിച്ച് .... (കൂടുന്നു/ കുറയുന്നു).

(c) റിജിഡിറ്റി മോഡുലസ് ഉള്ള ഖരപദാർഥങ്ങൾക്ക് ഷിയറിങ് സ്ട്രെസ്സ് (shearing stress) ___________ ന് ആനുപാതികമാണ്, അതേ സമയം ദ്രവങ്ങൾക്ക് ഷിയറിങ് സ്ട്രെസ്സ് _____________ ന് ആനുപാതികമാണ്. [ഷിയർ സ്ട്രെയിൻ (shear strain) / ഷിയർ സ്ട്രെയിനിന്റെ തോത് (rate of shear strain)]

(d) സറിര പ്രവാഹത്തിലുള്ള (steady flow) ഒരു ദ്രവത്തിൽ, ഇടുങ്ങിയ ഭാഗത്ത് ഉണ്ടാകുന്ന പ്രവാഹവേഗതാ വർദ്ധനവ് ....നെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണ്.

(ദ്രവ്യസംരക്ഷണം, ബെർണൂയിയുടെ തത്വം)

(e) വിൻഡ് ടണലിലുള്ള വിമാനമാതൃകയിൽ പ്രക്ഷുബ്ധത സംഭവിക്കുന്ന വേഗത്തേക്കാൾ .... വേഗതയിലാണ് ഒരു യഥാർഥ വിമാനത്തിൽ പ്രക്ഷുബ്ധത സംഭവിക്കുന്നത്. (കൂടുതൽ/കുറവ്)

10.4. എന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് വിശദീകരിക്കുക.

(a) ഒരു കഷണം പേപ്പറിനെ തിരശ്ചീനമായി നിർത്താൻ, അതിന്റെ മുകളിൽ കൂടി ഊതണം, താഴെക്കൂടിയല്ല.

(b) നമ്മൾ വിരലുകൾ കൊണ്ട് ഒരു ടാപ്പ് അടയ്ക്കാൻ ശ്രമിക്കുമ്പോൾ, ജലധാര വിരലുകൾക്കിടയിലൂടെ വേഗത്തിൽ ഒഴുകുന്നു.

(c) കുത്തിവെയ്പ്പ് എടുക്കുമ്പോൾ ഒരു ഡോക്ടറുടെ വിരൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന മർദ്ദത്തേക്കാൾ, സിറിഞ്ചിന്റെ സൂചിയുടെ വലിപ്പമാണ് പ്രവാഹ തോതിനെ നിയന്ത്രിക്കുന്നത്.

(d) ഒരു പാത്രത്തിലെ ചെറിയ ദ്വാരത്തിലൂടെ ഒഴുകുന്ന ദ്രവം, പാത്രത്തിൽ, പിന്നോട്ട് ഒരു വ്യാപകമർദ്ദം (backward thrust) ഉളവാക്കുന്നു.

(e) വായുവിൽ സ്പിൻ ചെയ്യുന്ന ക്രിക്കറ്റ് ബോൾ പരാബോളാകൃതിയിലുള്ള പാത (parabolic trajectory) സ്വീകരിക്കുന്നില്ല.

10.5. ഉയർന്ന ഹീലുള്ള ഷൂസു ധരിച്ചിരിക്കുന്ന 50 kg ഭാരമുള്ള പെൺകുട്ടി ഒറ്റ ഹീലിൽ ബാലൻസു ചെയ്യുന്നു. ഹീൽ വൃത്താകാരവും 1 cm വ്യാസമുള്ളതുമാണ്. തിരശ്ചീനമായ തറയിൽ ഹീൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന മർദ്ദം എത്രയാണ്?

10.6. ടോറിസെല്ലിയുടെ ബാരോമീറ്ററിൽ മെർക്കുറി ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു. സാന്ദ്രത 984 kg m^{-3} ഉള്ള ഫ്രെഞ്ച് വീഞ്ഞ് (French wine) ഉപയോഗിച്ച് പാസ്കൽ അതിന്റെ ശരിപ്പകർപ്പ് ഉണ്ടാക്കി. സാധാരണ അന്തരീക്ഷ മർദ്ദത്തിൽ വീഞ്ഞ് യൂപത്തിന്റെ (Wine column) ഉയരം നിർണ്ണയിക്കുക.

10.7. പരമാവധി 10^9 Pa സ്ട്രെസ്സിനെ (stress) പ്രതിരോധിക്കാൻ വേണ്ടി ലംബമായ ഒരു ഉൾക്കടൽ സംവിധാനം (off shore structure) നിർമ്മിക്കുന്നു. സമുദ്രത്തിലെ ഒരു എണ്ണക്കിണറിന്റെ മുകളിൽ വയ്ക്കാൻ ഈ സംവിധാനം അനുയോജ്യമാണോ? സമുദ്രജലപ്രവാഹങ്ങളെ പരിഗണിക്കാതിരിക്കുകയും സമുദ്രത്തിന്റെ ആഴം ഏകദേശം 3 km ആണെന്ന് എടുക്കുകയും ചെയ്യുക.

10.8. പരമാവധി 3000 kg ഭാരമുള്ള കാറുകളെ ഉയർത്താൻ ഒരു ഹൈഡ്രോളിക് മോട്ടോർവാഹന ലിഫ്റ്റ് (Hydraulic automobile lift) രൂപകൽപ്പന ചെയ്യുന്നു. ഭാരം വഹിക്കുന്ന പിസ്റ്റണിന്റെ ഛേദതലപരപ്പളവ് 425 cm^2 ആണ്. ചെറിയ പിസ്റ്റൺ വഹിക്കേണ്ട പരമാവധി മർദ്ദം എത്രയാണ്?

10.9. U-ട്യൂബിൽ വെള്ളവും മെഥിലേറ്റഡ്സ്പിരിറ്റും മെർക്കുറി കൊണ്ട് വേർതിരിച്ചിരിക്കുന്നു. രണ്ടു ഭുജങ്ങളിലെയും മെർക്കുറി കോളങ്ങൾ, ഒരു ഭുജത്തിൽ 10.0 cm വെള്ളവുമായും മറ്റേ ഭുജത്തിൽ 12.5 cm സ്പരിറ്റുമായും ഒരേ നിരപ്പിലാണ്. സ്പിരിറ്റിന്റെ ആപേക്ഷിക സാന്ദ്രത (Specific gravity) എത്രയാണ്?

10.10. മുൻ പ്രശ്നത്തിൽ, 15.0 cm, വെള്ളം, സ്പിരിറ്റ് ഇവ ഓരോന്നും ട്യൂബിന്റെ അതാതു ഭുജങ്ങളിലേക്ക് വീണ്ടും ഒഴിച്ചാൽ, രണ്ടു ഭുജങ്ങളിലെയും മെർക്കുറിയുടെ നിരപ്പിലുള്ള വ്യത്യാസം എന്താണ്?

(മെർക്കുറിയുടെ ആപേക്ഷിക സാന്ദ്രത = 13.6)

10.11 പ്രക്ഷുബ്ധമായ ഒരു നദിയിലൂടെയുള്ള വെള്ളത്തിന്റെ ഒഴുക്കിനെ വിവരിക്കാൻ ബെർണൂയിയുടെ സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കാമോ? വ്യക്തമാക്കുക.

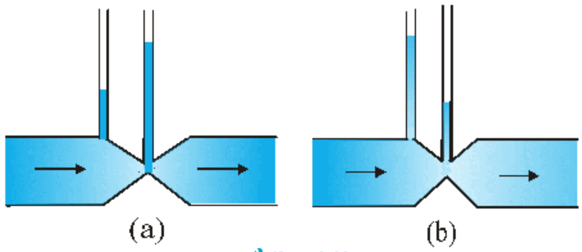
10.12 ബെർണൂയിയുടെ സമവാക്യം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ ഒരാൾ കേവല മർദ്ദത്തിനു പകരം ഗേജ് മർദ്ദം ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ അത് ശരിയാകുമോ? വ്യക്തമാക്കുക.

10.13 നീളം 1.5 m - ഉം ആരം 1.0 cm - ഉം ഉള്ള ഒരു തിരശ്ചീനമായ ട്യൂബിലൂടെ (കുഴലിലൂടെ) ഗ്ലിസറിൻ അനുസ്യൂതമായി പ്രവഹിക്കുന്നു. ട്യൂബിന്റെ ഒരറ്റത്ത് ഒരു സെക്കൻഡിൽ ശേഖരിക്കപ്പെടുന്ന ഗ്ലിസറിന്റെ അളവ് 4.0×10^{-3} kg S^{-1}, ആണെങ്കിൽ, രണ്ടഗ്രങ്ങളുടെയും ഇടയ്ക്കുള്ള മർദ്ദവ്യത്യാസം എത്രയാണ്? (ഗ്ലിസറിന്റെ സാന്ദ്രത = 1.3×10^{3} kg m^{-3}, ഗ്ലിസറിന്റെ വിസ്കോസിറ്റി(viscosity) = 0.83 Pa s)

(ട്യൂബിലെ ലാമിനാർ ഒഴുക്ക് (laminar flow) എന്ന സങ്കല്പം ശരിയാണോ എന്ന് നിങ്ങൾക്ക് പരിശോധിക്കാവുന്നതാണ്).

10.14 വിൻഡ് ടണലിലെ വിമാന മാതൃകയുടെ പരീക്ഷണപ്പറക്കലിൽ (flying test), ചിറകിന്റെ മുകളിലെത്തെയും താഴത്തെയും പ്രതലങ്ങളിലെ പ്രവാഹവേഗത യഥാക്രമം 70 ms^{-1} - ഉം 63 ms^{-1} - ഉം ആണ്. ചിറകിന്റെ പരപ്പളവ് 2.5 m^2 ആണെങ്കിൽ അതിൻമേലുള്ള ഉയർച്ച (lift) എന്താണ്? വായുവിന്റെ സാന്ദ്രത 1.3 kg m^{-3} ആണെന്നു എടുക്കുക.

10.15 ചിത്രങ്ങൾ 10.23(a)-യും (b)-യും ഒരു വിസ്കസ് അല്ലാത്ത ദ്രാവകത്തിന്റെ സ്ഥിര പ്രവാഹത്തെ സുചിപ്പിക്കുന്നു. രണ്ടു ചിത്രങ്ങളിൽ ശരിയല്ലാത്തത് ഏത്? എന്തുകൊണ്ട്?

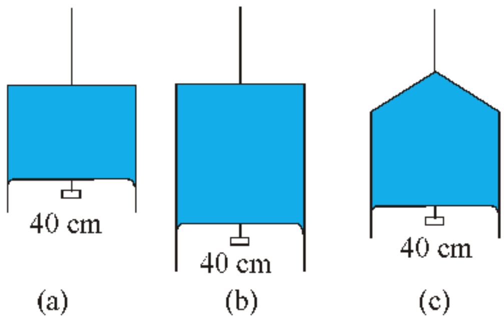


ചിത്രം 10.23

10.16 ഒരു സ്പ്രേ പമ്പിന്റെ വൃത്തസ്തംഭാകൃതിയിലുള്ള ട്യൂബിന് 8.0 cm^2 ഛേദതലമുണ്ട്. അതിന്റെ ഒരറ്റത്ത് 40 സൂക്ഷ്മ സുഷിരങ്ങളുണ്ട്, ഓരോന്നിനും 1.0 mm വ്യാസമാണുള്ളത്. ട്യൂബിനുള്ളിലെ ജലപ്രവാഹം 1.5 m min^{-1} ആണെങ്കിൽ ദ്രാവകം ദ്വാരങ്ങളിലൂടെ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്നതിന്റെ വേഗത എന്താണ്?

10.17 *U*- ആകൃതിയിലുള്ള ഒരു വയർ സോപ്പുലായനിയിൽ മുക്കിയെടുക്കുന്നു. വയറിനും ഭാരം കുറഞ്ഞ സ്ലൈഡറിനു (slider) ഇടയിൽ രൂപപ്പെടുന്ന കനംകുറഞ്ഞ സോപ്പുപാട 1.5×10^{-2} N ഭാരം താങ്ങുന്നു. (അതിൽ നീങ്ങുന്ന ഭാഗത്തിന്റെ (slider) ചെറിയ ഭാരവും ഉൾപ്പെടുന്നു.) സ്ലൈഡറിന്റെ നീളം 30 cm ആണ്. സോപ്പുപാടയുടെ പ്രതലബലം എത്രയാണ്?

10.18 4.5×10^{-2} N എന്ന ചെറിയ ഭാരം താങ്ങാൻ സാധിക്കുന്ന ഒരു കനം കുറഞ്ഞ ദ്രാവകപാട ചിത്രം 10.24 (a) - യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒരേ താപനിലയിൽ അതേ ദ്രാവകത്തിന്റെ പാടയ്ക്ക് ചിത്രം (b) യിലും (c) യിലും താങ്ങാൻ പറ്റുന്ന ഭാരം എന്തായിരിക്കും? നിങ്ങളുടെ ഉത്തരം ഭൗതികമായി വ്യക്തമാക്കുക.



ചിത്രം 10.24

10.19 3.00 mm ആരമുള്ള രസത്തുള്ളിയുടെ ഉള്ളിലുള്ള മർദ്ദം സാധാരണ ഊഷ്മാവിൽ എന്തായിരിക്കും? ആ ഊഷ്മാവിൽ (20^{0}C) രസത്തിന്റെ പ്രതലബലം 4.65×10^{-1} Nm^{-1} ആണ്. അന്തരീക്ഷ മർദ്ദം 1.01×10^{5} Pa ആണ്. തുള്ളിയുടെ ഉള്ളിലുള്ള അധികമർദ്ദവും കൂടി കണക്കാക്കുക.

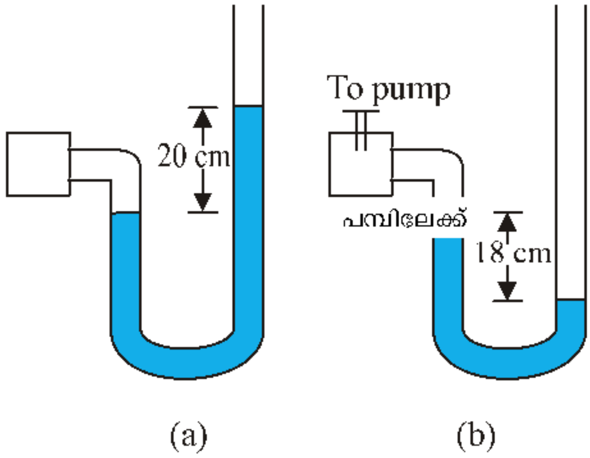
10.20 ആരം 5.00 mm ഉള്ള സോപ്പുകുമിളയുടെ ഉള്ളിലെ അധിക മർദ്ദം എന്താണെന്ന് കണ്ടുപിടിക്കുക. 20^{0}C ഊഷ്മാവിൽ സോപ്പുലായനിയുടെ പ്രതലബലം 2.50×10^{-2} N m^{-1} ആണെന്ന് തന്നിരിക്കുന്നു. സോപ്പുലായനി (1.20 ആപേക്ഷികസാന്ദ്രത ഉള്ളത്) ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിനുള്ളിൽ 40.0 cm ആഴത്തിൽ അതേ പരിമാണത്തിലുള്ള ഒരു വായുകുമിള രൂപപ്പെട്ടുവെങ്കിൽ കുമിളക്കുള്ളിലെ മർദ്ദം എന്തായിരിക്കും? (ഒരു അന്തരീക്ഷ മർദ്ദം 1.01×10^{5} Pa - ന് തുല്യമാണ്).

അധിക പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

10.21 വിസ്തീർണ്ണം $1.0\ m^2$ ഉള്ള സമചതുര അടിത്തറയോടുകൂടിയ ഒരു ടാങ്കിനെ ലംബമായ ഒരു ഇടഭിത്തിയാൽ മദ്ധ്യത്തിലൂടെ വിഭജിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇടഭിത്തിയുടെ അടിഭാഗത്ത് $20\ cm^2$ പരപ്പളവുള്ള ഒരു ചെറിയ വിജാഗിരിയോടുകൂടിയ വാതിൽ ഉണ്ട്. ടാങ്കിന്റെ ഒരു ഭാഗം വെള്ളം കൊണ്ടും മറ്റേ ഭാഗം ആസിഡ് (ആപേക്ഷിക സാന്ദ്രത 1.7) കൊണ്ടും നിറയ്ക്കുന്നു, രണ്ടും 4.0 m ഉയരം വരെ വാതിൽ അടഞ്ഞിരിക്കാനാവശ്യമായ ബലം കണക്കാക്കുക.

10.22 ചിത്രം 10.25 (a) - യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു അടച്ച പാത്രത്തിലുള്ള വാതകത്തിന്റെ മർദം ഒരു മാനോമീറ്റർ ഉപയോഗിച്ച് അളക്കുന്നു. കുറച്ചു വാതകം ഒരു പമ്പ് ഉപയോഗിച്ച് പുറന്തള്ളിയാൽ, മാനോമീറ്റർ ചിത്രം 10.25 (b) - യിലേതുപോലെ അളവ് നൽകുന്നു. മാനോമീറ്ററിൽ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്ന ദ്രാവകം മെർക്കുറിയും അന്തരീക്ഷമർദ്ദം മെർക്കുറിയുടെ 76 cm ഉം ആണ്.

(a) (a), (b) എന്ന രണ്ടു സാഹചര്യങ്ങളിലെയും പാത്രത്തിലെ വാതകത്തിന്റെ കേവലമർദ്ദവും ഗേജ് മർദ്ദവും മെർക്കുറിയുടെ cm യൂണിറ്റിൽ പറയുക.



ചിത്രം 10.25

(b) 13.6 cm ജലം(മെർക്കുറിയുമായി കലരാത്ത) മാനോമീറ്ററിന്റ വലത്തെ ഭുജത്തിലേക്ക് ഒഴിക്കുകയാണെങ്കിൽ മെർക്കുറിയുടെ ലെവൽ എങ്ങനെ മാറും? (വാതകത്തിന്റെ ഉള്ളളവുള്ള ചെറിയ വ്യതിയാനം അവഗണിക്കുക).

10.23 രണ്ടു പാത്രങ്ങൾക്ക് ഒരേ ചുവടു പരപ്പളവും വ്യത്യസ്ത ആകൃതിയുമാണ്. ഒരു പ്രത്യേക പൊതു ഉയരം (particular common height) വരെ നിറയാൻ ആദ്യത്തെ പാത്രത്തിന്, രണ്ടാമത്തെ പാത്രത്തിനു വേണ്ടിയതിനേക്കാൾ ഇരട്ടി ഉള്ളളവ് വെള്ളം എടുക്കണം. പാത്രത്തിന്റെ അടിത്തട്ടിൽ വെള്ളം പ്രയോഗിക്കുന്ന ബലം രണ്ടു സാഹചര്യങ്ങളിലും ഒരു പോലെയാണോ? അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ ആ പ്രത്യേകപൊതു ഉയരം വരെ വെള്ളം നിറച്ച പാത്രങ്ങളെ ഒരു ത്രാസ്സിൽ തൂക്കുമ്പോൾ വ്യത്യസ്തമായ അളവുകൾ നൽകുന്നതെന്തുകൊണ്ട്?

10.24 രക്ത ദാനത്തിൽ സൂചി ഒരു ഞരമ്പിലേക്ക് കുത്തിവെച്ചിരിക്കുന്നു, അവിടെ ഗേജ്മർദ്ദം 2000 Pa ആണ്. രക്തം കഷ്ടിച്ച് ഞരമ്പിൽ പ്രവേശിക്കണമെങ്കിൽ, രക്തം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രം എന്തുയരത്തിൽ വെക്കണം? (പട്ടിക 10.1 - ൽ നിന്ന് രക്തത്തിന്റെ സാന്ദ്രത ഉപയോഗിക്കുക).

10.25 ബെർണൂയിയുടെ സമവാക്യം രൂപീകരിക്കുമ്പോൾ ട്യൂബിലെ ദ്രവത്തിൻമേൽ ചെയ്ത പ്രവൃത്തിയെ സ്ഥിതികോർജത്തിലെയും ഗതികോർജത്തിലെയും വ്യതിയാനവുമായി നാം തുലനപ്പെടുത്തുന്നു.

(a) രക്തപ്രവാഹം ലാമിനാർ (laminar) ആയി തുടർന്നു പോകുന്നുവെങ്കിൽ, വ്യാസം 2×10^{-3} m ഉള്ള ഒരു ധമനിയിലെ രക്തപ്രവാഹത്തിന്റെ ഏറ്റവും കൂടിയ ശരാശരി പ്രവേഗം എന്തായിരിക്കും?

(b) ദ്രവപ്രവേഗം വർദ്ധിക്കുമ്പോൾ ശോഷണ ബലങ്ങൾ (dissipative forces) കൂടുതൽ പ്രധാനമായിത്തീരുന്നുവോ? വിശകലനം ചെയ്യുക.

10.26 (a) രക്തപ്രവാഹം ലാമിനാർ (laminar) ആയി തുടർന്നു പോകുന്നുവെങ്കിൽ, ആരം 2×10^{-3} m ഉള്ള ഒരു ധമനിയിലെ

പ്രവാഹത്തിന്റെ ഏറ്റവും കൂടിയ ശരാശരി പ്രവേഗം എന്താണ്? (b) അനുരൂപമായ പ്രവാഹനിരക്ക് എന്താണ്? (രക്തത്തിന്റെ വിസ്കോസിറ്റി 2.084×10^{-3} Pa s എന്നു എടുക്കുക.)

10.27 ഒരു വിമാനം സ്ഥിരവേഗതയിൽ സമതുലിതമായി പറന്നു കൊണ്ടിരിക്കുന്നു, അതിന്റെ രണ്ട് ചിറകുകളിൽ ഓരോന്നിനും 25 m^2 വിസ്തീർണ്ണമുണ്ട്. താഴത്തെ ചിറകിൻമേൽ വായുവിന്റെ വേഗത 180 km/h -ഉം മേൽ ചിറകിന്റെ പ്രതലത്തിൽ 234 km/h-ഉം ആണ് എങ്കിൽ വിമാനത്തിന്റെ മാസ് നിർണ്ണയിക്കുക. (വായുവിന്റെ സാന്ദ്രത 1 kg m^{-3} ആണെന്ന് എടുക്കുക).

10.28 മില്ലിക്കന്റെ ഓയിൽ ഡ്രോപ്പ് പരീക്ഷണത്തിൽ, ആരം 2.0×10^{-5} m - ഉം സാന്ദ്രത 1.2×10^{3} kg m^{-3} - ഉം ഉള്ള ചാർജുരഹിതമായ ഒരു തുള്ളിയുടെ ടെർമിനൽ വേഗത (terminal speed) എന്താണ്? പരീക്ഷണം നടക്കുമ്പോഴുള്ള താപനിലയിൽ വായുവിന്റെ വിസ്കോസിറ്റി (viscosity) 1.8×10^{-5} Pa s ആണെന്നു എടുക്കുക. ആ വേഗതയിൽ തുള്ളിയിലുള്ള വിസ്കസ് ബലം (viscous force) എത്രമാത്രമാണ്? വായുമൂലമുള്ള തുള്ളിയുടെ പ്ലവക്ഷമത (buoyancy) അവഗണിക്കുക.

10.29 സോഡാലൈം ഗ്ലാസ്സുമായി മെർക്കുറി 140° സമ്പർക്ക കോൺ ഉണ്ടാക്കുന്നു. ഈ ഗ്ലാസ്സു കൊണ്ടുണ്ടാക്കിയതും ആരം 1.00 mm ഉള്ളതുമായ ഒരു ഇടുങ്ങിയ ട്യൂബ് മെർക്കുറി ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പാത്രത്തിൽ മുക്കിവയ്ക്കുന്നു. പുറത്തെ ദ്രാവകപ്രതലത്തിന് ആപേക്ഷികമായി ട്യൂബിലെ മെർക്കുറി ഏതളവ് വരെ താഴും? പരീക്ഷണത്തിന്റെ ഊഷ്മാവിലെ മെർക്കുറിയുടെ പ്രതലബലം 0.465 Nm^{-1} മെർക്കുറിയുടെസാന്ദ്രത = 13.6×10^{3} Kg m^{-3}.

10.30 വ്യാസം 3.0 mm -ഉം 6.0 mm - ഉം ഉള്ള രണ്ട് ഇടുങ്ങിയ കുഴലുകൾ (bores), രണ്ടഗ്രങ്ങളും തുറന്ന ഒരു U - ട്യൂബ് ഉണ്ടാക്കാൻ വേണ്ടി യോജിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. U - ട്യൂബ് വെള്ളം ഉൾക്കൊള്ളുന്നവെങ്കിൽ, ട്യൂബിനെ രണ്ടു ഭുജങ്ങളിലെയും നിരപ്പുകൾ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം എന്താണ്? പരീക്ഷണ താപനിലയിൽ വെള്ളത്തിന്റെ പ്രതലബലം 7.3×10^{-2} Nm^{-1} ആണ്. സമ്പർക്ക കോൺ പൂജ്യമാണെന്നും വെള്ളത്തിന്റെ സാന്ദ്രത 1.0×10^{3} kg m^{-3} എന്നും എടുക്കുക. ($g = 9.8$ ms^{-2})

കാൽക്കുലേറ്റർ / കമ്പ്യൂട്ടർ അടിസ്ഥാനമാക്കിയ പ്രശ്നം

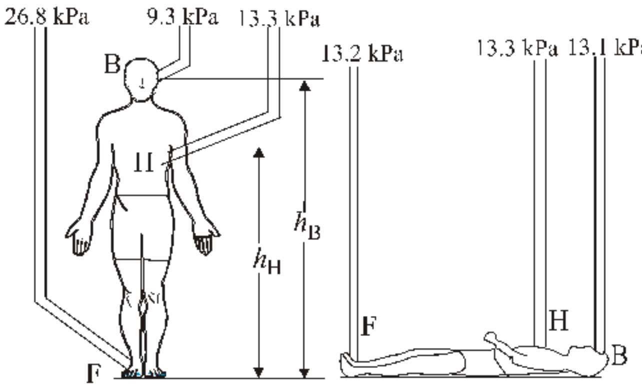
10.31(a) വായുവിന്റെ സാന്ദ്രത ρ, ഉയരം y - യ്ക്ക് അനുസൃതമായി താഴെ പറയുന്ന രീതിയിൽ കുറയുന്നു. $\rho = \rho_0 e^{-y/y_0}$. ഇവിടെ ρ_0 1.25 kg m^{-3} സമുദ്രനിരപ്പിലെ സാന്ദ്രതയാണ്. 'y_0' ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയുമാണ്. സാന്ദ്രയിലുള്ള ഈ വ്യതിയാനം അന്തരീക്ഷങ്ങളുടെ നിയമം (law of atmospheres) എന്ന് വിളിക്കപ്പെടുന്നു. അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ താപനില സ്ഥിരമായി നിൽക്കുന്നു (സമതാപ അവസ്ഥ (isothermal conditions)) എന്നു അനുമാനിച്ചു കൊണ്ട് ഈ നിയമം രൂപീകരിക്കുക. അതോടൊപ്പം g - യുടെ മൂല്യം സ്ഥിരമാണെന്നും സങ്കൽപിക്കുക.

(b) വ്യാപ്തം 1425 m^3 ഉള്ള ഒരു വലിയ ഹീലിയം ബലൂൺ 400 kg ഭാരം ഉയർത്താൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ബലൂൺ ഉയരുമ്പോൾ, അത് സ്ഥിരമായ ആരം നിലനിർത്തുന്നുവെന്ന് വിചാരിക്കുക. എത്ര ഉയരം വരെ അത് ഉയരും.

($y_0 = 8000$ m - ഉം $\rho_{He} = 0.18$ kg m^{-3} - ഉം ആണെന്ന് എടുക്കുക)

അനുബന്ധം 10.1 : എന്താണ് രക്ത സമ്മർദം (What is blood pressure?)

പരിണാമ ചരിത്രത്തിൽ മൃഗങ്ങൾ സമയത്തിന്റെ ഏറിയപങ്കും നിവർന്ന നിലയിൽ ചെലവഴിക്കാൻ തുടങ്ങിയ ഒരു കാലമുണ്ടായി. ഈ കാലത്ത് രക്തചംക്രമണ വ്യവസ്ഥയിൽ കുറേ നിബന്ധനകൾ പാലിക്കേണ്ടതായി വന്നു. ഇത് താഴെ കൈകാലുകളിൽ നിന്ന് ഹൃദയത്തിലേക്കു രക്തത്തെ തിരിച്ചുകൊണ്ടുവരുന്ന ധമനീ വ്യവസ്ഥ, പരിണാമങ്ങളിലൂടെ കടന്നുപോയി. രക്തത്തെ ഹൃദയത്തിലേക്കു തിരിച്ചുകൊണ്ടുവരുന്ന രക്തക്കുഴലുകളാണ് ധമനികൾ എന്ന് നിങ്ങൾക്ക് അറിയാമല്ലോ. ഭൂഗുരുത്വത്തിന് എതിരായി രക്തം ഉയരത്തിലേക്ക് എത്തിക്കുക എന്ന പ്രശ്നത്തെ മറികടക്കാനുള്ള കഴിവ് മനുഷ്യരും, ജിറാഫ് പോലെ ഉയരമുള്ള മൃഗങ്ങളും ആർജിച്ചിട്ടുണ്ട്. എന്നാൽ പാമ്പ്, എലി, മുയൽ പോലെയുള്ള മൃഗങ്ങളെ നിവർത്തിനിർത്തിയാൽ അവയുടെ ജീവൻ നഷ്ടപ്പെടും. ശരീരത്തിന്റെ താഴ്ന്ന ഭാഗത്തിലെ രക്തം ഹൃദയത്തിലേക്കെത്തിക്കാനുള്ള ധമനിവ്യവസ്ഥയുടെ കഴിവില്ലായ്മയാണ് ഇതിന് കാരണം.



ചിത്രം 10.26 നിൽക്കുകയോ, താഴെ കിടക്കുകയോ ചെയ്യുന്ന മനുഷ്യശരീരത്തിന്റെ വിവിധ ഭാഗങ്ങളിലുള്ള സിരകളിലെ ഗേജ്മർദ്ദത്തിന്റെ സചിത്ര ദൃശ്യം. കാണിച്ചിരിക്കുന്ന മർദം ഒരു ഹൃദയ ചാക്രികത്തിലെ (ഒലമൃദ ര്യരഹല) ശരാശരിയാണ്.

ചിത്രം 10.26 കാണിക്കുന്നത് മനുഷ്യശരീരത്തിലെ വ്യത്യസ്ത സ്ഥാനങ്ങളിലെ സിരകളിൽ കാണപ്പെടുന്ന ശരാശരി മർദ്ദമാണ്.

വിസ്കസ് പ്രഭാവം ചെറുതായതിനാൽ ഈ മർദ്ദമൂല്യങ്ങൾ മനസ്സിലാക്കാൻ നമുക്ക് ബെർണ്ണൂയിയുടെ $P+\frac{1}{2}\rho v^2+\rho gy$ = സ്ഥിരാങ്കം എന്ന സമവാക്യം ഉപയോഗിക്കാം, [സമവാക്യം (10.13)]. മൂന്നു സിരകളിലെയും രക്തവേഗം കുറവും സ്ഥിരവുമായതിനാൽ, ഗതികോർജ്ജത്തിന്റെ പദം ($\rho v^2 / 2$) ഒഴിവാക്കാം. ഈ കാരണത്താൽ മസ്തിഷ്കത്തിലെ ഗേജ് മർദ്ദം P_B നും, ഹൃദയത്തിലേത് P_H - ഉം കാലിലേത് P_F ഉം തമ്മിൽ താഴെ തന്നിരിക്കുന്ന സമവാക്യത്താൽ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

$$P_F = P_H + \rho g h_H = P_B + \rho g h_B \qquad (10.34)$$

ഇവിടെ ρ രക്തത്തിന്റെ സാന്ദ്രത ആണ്.

ഹൃദയത്തിലേക്കും മസ്തിഷ്കത്തിലേക്കുമുള്ള ഉയരത്തിന്റെ ഏകദേശ മൂല്യങ്ങളാണ് h_H = 1.3 m - ഉം h_B = 1.7 m. ρ = 1.06 x 10^3 kg m^{-3} എന്നു എടുക്കുകയാണെങ്കിൽ, P_F = 26.8 k Pa (കിലോപാസ്കൽ) – ഉം P_B = 9.3 k Pa - ഉം എന്നു നമുക്കുകിട്ടുന്നു, p_H = 13.3 k Pa. ഇപ്രകാരം ശരീരത്തിന്റെ താഴത്തെയും മുകളിലത്തെയും മർദ്ദങ്ങൾ ഒരു വ്യക്തി നിൽക്കുമ്പോൾ വ്യത്യസ്തമാണ്. എന്നാൽ അയാൾ കിടക്കുമ്പോൾ ഏകദേശം തുല്യമാകുന്നു. പുസ്തകത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ വൈദ്യ ശാസ്ത്രത്തിലും ശരീരശാസ്ത്ര

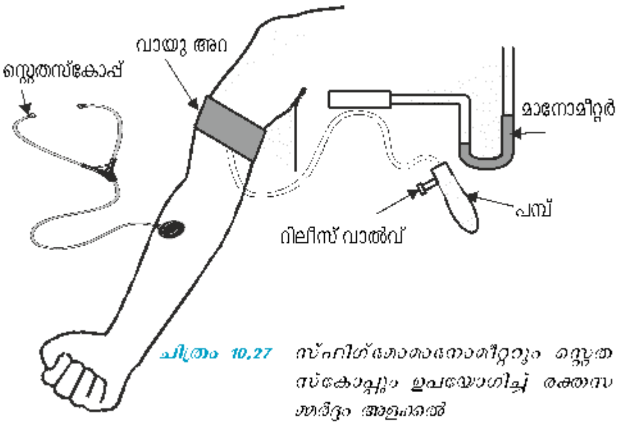
ത്തിലും ഏറെ പൊതുവായി ഉപയോഗിക്കാറുള്ള മർദ്ദത്തിന്റെ യൂണിറ്റുകളാണ് ടോറും, മെർക്കുറി എന്നതും [1 mm Hg = 1 torr = 0.133 kPa]. ഹൃദയത്തിലെ ശരാശരിമർദ്ദമാണ് P_H = 13.3 k Pa = 100 mm Hg.

മനുഷ്യശരീരം പ്രകൃതിയുടെ അത്ഭുതങ്ങളിൽ ഒന്നാണ്. താഴെ കൈ കാലുകളിലെ ഞരമ്പുകൾക്ക് വാൽവുകൾ സജ്ജീകരിച്ചിരിക്കുന്നു, അത് ഹൃദയത്തിലേക്ക് രക്തം പ്രവഹിക്കുമ്പോൾ തുറന്നിരിക്കുകയും താഴേക്കുവരാനുള്ള പ്രവണത കാണിക്കുമ്പോൾ അടയുകയും ചെയ്യുന്നു. ശ്വസനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട പമ്പ് ചെയ്യൽ വഴിയും നടക്കുമ്പോൾ അസ്ഥിപേശികളുടെ മടങ്ങൽ വഴിയും രക്തം ഭാഗികമായിട്ടെങ്കിലും തിരിച്ചുവരുന്നു. പട്ടാളച്ചിട്ടയിൽ നേരെയുള്ള നില (attention) - ൽ നിൽക്കേണ്ടതായി വരുന്ന സൈനികൻ ഹൃദയത്തിലേക്കു പര്യാപ്തമായ രക്തത്തിന്റെ തിരിച്ചു വരവില്ലാത്തതുകൊണ്ട് ബോധം കെടുന്നതെന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് ഇതു വിശദീകരിക്കുന്നു. ഒരുതവണ അയാളെ കിടക്കാൻ അനുവദിച്ചാൽ, മർദ്ദങ്ങൾ തുല്യമാക്കപ്പെടുകയും അയാൾ ബോധം വീണ്ടെടുക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

സ്ഫിഗ്മോമാനോമീറ്റർ എന്നു വിളിക്കുന്ന ഒരു ഉപകരണം സാധാരണയായി മനുഷ്യന്റെ രക്തസമ്മർദ്ദം അളക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്നു. വേഗത്തിലും വേദനാരഹിതമായും മുറിവുണ്ടാക്കാതെയും ഇത് പ്രവർത്തിക്കുകയും രോഗിയുടെ ആരോഗ്യത്തെക്കുറിച്ച് വിശ്വസനീയമായ അറിവ് നൽകുകയും ചെയ്യുന്നു. അളക്കുന്ന രീതി ചിത്രം 10.27 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. കൈയുടെ മുകളിലത്തെഭാഗം ഉപയോഗിക്കുന്നതിന് രണ്ടു കാരണങ്ങളുണ്ട്. ഒന്നാമതായി ഇത് ഹൃദയത്തിന്റെ അതേ നിരപ്പിലായതുകൊണ്ട് ഇവിടത്തെ അളവുകൾ നൽകുന്ന മൂല്യങ്ങൾ ഹൃദയത്തിലേതിനോട് അടുത്തതായിരിക്കും. രണ്ടാമതായി അവിടെ ഒറ്റ അസ്ഥി മാത്രം ഉള്ളതുകൊണ്ട് സിരയെ [(ബ്രാക്കിയൽ സിര (കൈയ്യുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സിര, brachial artery എന്നു വിളിക്കുന്നു)] എളുപ്പത്തിൽ സങ്കോചിപ്പിക്കാൻ സാധിക്കുന്നു. മണിബന്ധത്തിൽ (wrist) നമ്മുടെ വിരലുകൾ വച്ച് നമ്മളെല്ലാവരും നാഡീ സ്പന്ദനത്തിന്റെ തോത് അളന്നിട്ടുണ്ട്. ഒരു സ്പന്ദനം ഒരു സെക്കൻഡിനേക്കാൾ കുറവു സമയം എടുക്കുന്നു. ഓരോ സ്പന്ദനത്തിനു മിടയ്ക്ക് ഹൃദയം രക്തം പമ്പു ചെയ്യുമ്പോൾ, ഹൃദയത്തിലെയും രക്തചംക്രമണ വ്യവസ്ഥയിലെയും മർദം പരമാവധി ആകുകയും, പരമാവധി രക്തം പമ്പ് ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു.

സിസ്റ്റോളിക് മർദം (Systolic pressure)

ഹൃദയം വിശ്രാന്താവസ്ഥയിലേക്കു വരുമ്പോൾ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ മർദം ആയിരിക്കുന്നു. (ഡയസ്റ്റോളിക് മർദ്ദം, diastolic pressure) സ്ഫിഗ്മോമാനോമീറ്റർ ഈ പരമാവധി മർദങ്ങളെ (അഗ്രമർദ്ദങ്ങളെ) അളക്കാനുള്ള ഉപകരണമാണ്. ബ്രാക്കിയൽ (മേൽ ഭുജം) സിരയിലെ രക്തപ്രവാഹം അനുയോജ്യമായ അമർത്തൽ വഴി ലാമിനാർ പ്രവാഹത്തിൽ (laminar flow) നിന്ന് പ്രക്ഷുബ്ധമാക്കാം (turbulent flow) എന്ന തത്വത്തിലാണ് ഇത് പ്രവർത്തിക്കുന്നത്. പ്രക്ഷുബ്ധ പ്രവാഹത്തിന് ശോഷണം സംഭവിക്കുകയും ഇത് സൃഷ്ടിക്കുന്ന ശബ്ദം സ്റ്റെതസ്കോപ്പിന് പിടിച്ചെടുക്കാനും കഴിയും.



ചിത്രം 10.27 സ്ഫിഗ്മോമാനോമീറ്ററും സ്റ്റെതസ്കോപ്പും ഉപയോഗിച്ച് രക്തസമ്മർദ്ദം അളക്കൽ

കൈയുടെ മേൽഭാഗത്തിലൂടെ ചുറ്റിയിരിക്കുന്ന വായുസഞ്ചിയുടെ ഗേജ് മർദം ഒരു മാനോമീറ്റർ അല്ലെങ്കിൽ ഒരു ഡയൽ മർദ്ദ ഗേജ് (Dial pressure ഗേജ്) ഉപയോഗിച്ച് അളക്കാവുന്നതാണ്. ബ്രാക്കിയൽ ആർട്ടറി അടയുന്നതുവരെ സഞ്ചിയിലെ മർദം ആദ്യം വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നു. സഞ്ചിയിലെ മർദം സാവധാനം കുറയ്

ക്കുകയും അതേ സമയം സഞ്ചിയുടെ തൊട്ടുതാഴെ വച്ചിരിക്കുന്ന സ്റ്റെതസ്കോപ്പ് ഉപയോഗിച്ച് ബ്രാക്കിയൽ ആർട്ടറിയിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ശബ്ദങ്ങൾ ശ്രദ്ധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. മർദം സിസ്റ്റോളിക് മർദ്ദത്തിനു (പരമാവധി വില) തൊട്ടുതാഴെയാകുമ്പോൾ, ആർട്ടറി ചുരുങ്ങിയ സമയത്തേക്കു തുറക്കുന്നു. ഈ ചുരുങ്ങിയ സമയത്തിനിടയ്ക്ക്, വളരെ ചുരുങ്ങിയ ആർട്ടറിയിലെ രക്തത്തിന്റെ വേഗത ഉയർന്നതും പ്രക്ഷുബ്ധവും അതുകൊണ്ടുതന്നെ ശബ്ദായമാനവുമായിരിക്കും. തത്ഫലമായി സ്റ്റെതസ്കോപ്പിൽ ഒരു ശബ്ദം കേൾക്കുന്നു. സഞ്ചിയിലെ മർദം വീണ്ടും (കുറച്ചാൽ), ഹൃദയചക്രത്തിന്റെ ഒരു നീണ്ട സമയത്തേക്ക് ആർട്ടറി തുറന്നിരിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും ഹൃദയസ്പന്ദനത്തിന്റെ ഡയസ്റ്റോളിക് ഘട്ടത്തിനിടയ്ക്ക് (ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ മർദം) ഇത് അടഞ്ഞുതന്നെ ഇരിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരം ശബ്ദത്തിന്റെ (tapping sound) ഇടവേള കൂടുതലായിരിക്കും. സഞ്ചിയിലെ മർദം ഡയസ്റ്റോളിക് മർദത്തിൽ എത്തുമ്പോൾ ഹൃദയ ചക്രത്തിനിടയിൽ മുഴുവൻ ആർട്ടറി തുറന്നിരിക്കുന്നു. എങ്ങനെ ആയാലും പ്രവാഹം അപ്പോഴും പ്രക്ഷുബ്ധവും ശബ്ദായമാനവുമായിരിക്കും. പക്ഷേ സ്റ്റെതസ്കോപ്പിൽ മുട്ടൽ ശബ്ദത്തിനു പകരം നാം ഒരു സ്വരിരവും തുടർച്ചയുള്ളതുമായ ഒരു അലറൽ ശബ്ദം കേൾക്കുന്നു.

ഒരു രോഗിയുടെ രക്തസമ്മർദം സിസ്റ്റോളിക്/ഡയസ്റ്റോളിക് മർദങ്ങളുടെ അംശബന്ധമായിട്ടാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. ഒരു വിശ്രമാവസ്ഥയിലിരിക്കുന്ന ആരോഗ്യമുള്ള മുതിർന്ന ആൾക്ക് ഇത് വിശേഷിച്ചും 120/80 mm Hg (120 / 80 torr) ആയിരിക്കും. 140 / 90 - ൽ മേലെയുള്ള രക്തസമ്മർദത്തിന് വൈദ്യസഹായവും വിദഗ്ധ ഉപദേശവും വേണ്ടതാണ്. ഉയർന്ന രക്തസമ്മർദം ഹൃദയത്തിനും വൃക്കയ്ക്കും മറ്റ് അവയവങ്ങൾക്കും വളരെ ഹാനികരമാണ്, അതുകൊണ്ടു തന്നെ നിയന്ത്രിക്കപ്പെടേണ്ടതാണ്.