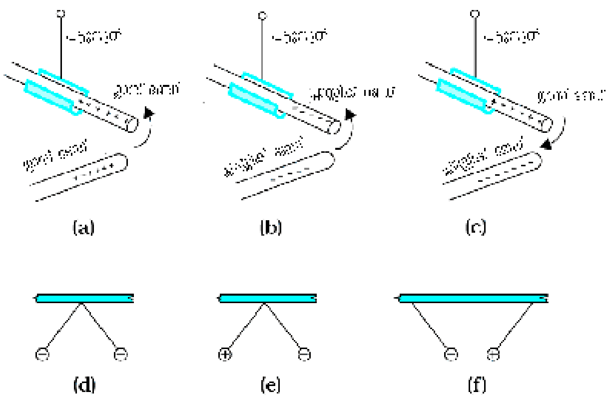
D2A3R3

അധ്യായം 1

വൈദ്യുത ചാർജുകളും മണ്ഡലങ്ങളും (Electric Charges and Fields)

1.1 ആമുഖം

വരണ്ട കാലാവസ്ഥയിൽ സിന്തറ്റിക് വസ്ത്രങ്ങളോ സ്വറ്ററോ അഴിക്കുമ്പോൾ ചെറിയ പൊട്ടൽ ശബ്ദം കേൾക്കുക, അല്ലെങ്കിൽ ഒരു തീപ്പൊരി കാണുക തുടങ്ങിയ അനുഭവങ്ങൾ നമ്മൾക്കെല്ലാമുണ്ട്. ഉഷ്ണകാലത്ത് വസ്ത്രങ്ങൾ ഇസ്തിരിയിടുമ്പോഴും മറ്റും ചെറിയ പൊട്ടൽ ശബ്ദം കേൾക്കാറുണ്ട്. പോളിസ്റ്റർ സാരികളിലും സാധാരണയായി ഈ പ്രതിഭാസം കാണാറുണ്ട്. ഇവയ്ക്ക് ഒരു വിശദീകരണം നൽകാൻ നിങ്ങൾക്ക് സാധിക്കുമോ? ഇതിനു സമാനമായ മറ്റൊരു പ്രതിഭാസമാണ് മഴമേഘങ്ങൾ ഉള്ളപ്പോൾ ആകാശത്തു കാണുന്ന ഇടിമിന്നൽ. യാത്രയ്ക്ക് ശേഷം കാറിന്റെ വാതിൽ തുറക്കുമ്പോൾ, അല്ലെങ്കിൽ ബസ്സിൽ നിന്ന് ഇറങ്ങാനായി സീറ്റിൽനിന്ന് നിരങ്ങി നീങ്ങി അടുത്തുള്ള ഇരുമ്പുകമ്പിയിൽ പിടിക്കുമ്പോൾ ചെറിയ ഒരു വൈദ്യുതാഘാതം ഏൽക്കുന്നതായും നമുക്ക് അനുഭവമുണ്ടാവാം. ഇൻസുലേറ്റിങ് പ്രതലങ്ങളിൽ (insulating surfaces) ഉരസുമ്പോൾ സംഭരിക്കപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത ചാർജുകൾ നമ്മുടെ ശരീരത്തിലൂടെ ഡിസ്ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നതാണ് ഇതിനു കാരണം. സ്ഥിതവൈദ്യുതി (static electricity) യുടെ ഉൽപ്പാദനം മൂലമാണ് ഇതെന്ന് നിങ്ങൾ കേട്ടിട്ടുണ്ടാവും. ഈ അധ്യായത്തിലും അടുത്ത അധ്യായത്തിലും നാം ചർച്ചചെയ്യുന്നത് ഇക്കാര്യമാണ്. സമയത്തിനനുസരിച്ച് ചലിക്കാത്തതോ വ്യത്യാസപ്പെടാത്തതോ ആയ എന്തിനെയും സ്ഥിതം (static) എന്ന് പറയാറുണ്ട്. നിശ്ചലമായ വൈദ്യുത ചാർജുകൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന ബലത്തെയും അവയുടെ മണ്ഡലത്തെയും പൊട്ടൻഷ്യലിനെയും പറ്റി പ്രതിപാദിക്കുന്ന ഭൗതികശാസ്ത്ര ശാഖയാണ് ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സ് (Electrostatics).



ചിത്രം 1.1 ദണ്ഡുകളും പിത്ത് ബോളുകളും : സജാതീയ ചാർജു കൾ വികർഷിക്കുകയും വിജാതീയ ചാർജുകൾ ആകർ ഷിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

1.2 വൈദ്യുത ചാർജ് (Electric Charge)

ബി.സി. 600 നോടടുത്ത് പ്രാചീന ഗ്രീസിലാണ് വൈദ്യുത ചാർജുകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ആദ്യ കാല കണ്ടെത്തലുകൾ നടന്നത്. ആംബർ (ഒരിനം ഫോസിലീകൃത മരപ്പശ) പട്ടുതുണിയു മായി ഉരസുമ്പോൾ അത് മറ്റു ചെറിയ വസ് തുക്കളെ ആകർഷിക്കുന്നത് മെലിറ്റസിലെ താലിസ് എന്ന ഗ്രീക്ക് ഗവേഷകൻ കണ്ടെത്തി. ഗ്രീക്ക് ഭാഷയിൽ ആംബറിനെ പരാമർശിക്കാ നുപയോഗിച്ച ഇലക്ട്രോൺ എന്ന പദത്തിൽ നിന്നാണ് ഇലക്ട്രിസിറ്റി എന്ന വാക്ക് ഉരുത്തി രിഞ്ഞത്. പരസ്പരം ഉരസിക്കഴിഞ്ഞാൽ സ്ഫടം, പിത്ത് ബോളുകൾ (Pith balls, കടലാസുകഷ ണങ്ങൾ പോലുള്ള ലഘുവായ വസ്തുക്കളെ ആകർഷിക്കുന്ന ഒട്ടേറെ പദാർഥ ജോടികളെപ്പറ്റി അക്കാലത്ത് അറിവുണ്ടായിരുന്നു. ഈ സവിശേഷതകൾ മനസ്സിലാ ക്കുന്നതിനായി വീട്ടിൽത്തന്നെ ചെയ്യാവുന്ന ഒരു പ്രവർത്തനം താഴെക്കൊടുത്തിരി ക്കുന്നു. കട്ടി കുറഞ്ഞ വെള്ളപേപ്പർ നീളത്തിൽ മുറിച്ചെടുക്കുക. ഇങ്ങനെ കിട്ടുന്ന കഷണങ്ങളെ ചെറുതായി ഇസ്തിരിയിടുക. അവയെ ഒരു ടെലിവിഷൻ സ്ക്രീനിന്റെയോ കമ്പ്യൂട്ടർ മോണിറ്ററിന്റെയോ സമീപത്തു കൊണ്ടുവരുക. ഈ കടലാസുതുണ്ടുകൾ സ്ക്രീനിലേക്ക് ആകർഷിക്കുന്നതായി കാണാം. അവ കുറച്ചു സമയം സ്ക്രീനിനോട് ചേർന്നു നിൽക്കുകയും ചെയ്യും.

കമ്പിളിയുമായോ പട്ടുതുണിയുമായോ ഉരസിയ രണ്ടു ഗ്ലാസ്ദണ്ഡുകൾ പരസ്പരം അടുപ്പിക്കുമ്പോൾ അവ വികർഷിക്കുന്നതായി കാണാം. [ചിത്രം1.1 (a)]. ദണ്ഡുകളെ ഉരസാൻ ഉപയോഗിച്ച കമ്പിളിയുടെയോ പട്ടിന്റെയോ ഓരോ ജോടി കഷണങ്ങൾ പരസ്പരം അടുപ്പിക്കുമ്പോഴും വികർഷിക്കുന്നു. എന്നാൽ, കമ്പിളിയും ഗ്ലാസ്ദണ്ഡും പരസ്പരം ആകർഷിക്കുന്നു. സമാനമായി, മൃദുരോമവുമായി ഉരസിയ രണ്ട് പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡുകൾ പരസ്പരം അടുത്തുകൊണ്ടു വരുകയാണെങ്കിൽ അവ വികർഷിക്കുന്നതായി കാണുന്നു [ചിത്രം 1.1 (b)]. മൃദുരോമവും പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡും പരസ്പരം ആകർഷിക്കപ്പെടുന്നു. എന്നാൽ, പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡ് ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിനെ ആകർ ഷിക്കുകയും [ചിത്രം 1.1 (c)] ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിന്മേൽ ഉരസാനുപയോഗിച്ച കമ്പിളിയെ വികർ ഷിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഗ്ലാസ് ദണ്ഡ് മൃദുരോമത്തെ വികർഷിക്കുന്നതും കാണാം.

മൃദുരോമവുമായി ഉരസിയ പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡ്, നൈലോൺ അഥവാ പട്ടുനൂൽ കൊണ്ട് തൂക്കിയിട്ടിരിക്കുന്ന ചെറിയ പിത്ത്ബോളുകളുമായി (പകരം ചെറിയ പോളിസ്റ്റിറീൻ പന്തുകൾ ഉപയോഗിച്ചാലും മതി) സമ്പർക്കത്തിൽ കൊണ്ടുവരുമ്പോൾ ബോളുകൾ പരസ്പരം വികർഷിക്കുന്നു [ചിത്രം 1.1 (d)]. കൂടാതെ അവ ഓരോന്നും ദണ്ഡിൽ നിന്നു വികർഷിക്കുന്നു. പട്ടുതുണിയുമായി ഉരസിയ ഗ്ലാസ്ദണ്ഡ്, പിത്ത് ബോളുകളുമായി സ്പർശിക്കുമ്പോഴും സമാനമായ ഒരു പ്രഭാവം ഉണ്ടാവുന്നു. [ചിത്രം 1.1 (e)]. ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിനാൽ സ്പർശിക്കപ്പെട്ട ഒരു പിത്ത്ബോൾ (മരപ്പൊങ്ങ്കൊണ്ടുള്ള ചെറിയ പന്ത്), പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡിനാൽ സ്പർശിക്കപ്പെട്ട മറ്റൊരു പിത്ത്ബോളിനെ ആകർഷിക്കുന്നതായും മനസ്സിലാക്കാം. [ചിത്രം 1.1 (f)].

Interactive animation on simple electrostatic experiments:
http://ephysics.physics.ucla.edu/travelpage/HTML/staticElectricity.htm

PHYSICS

വർഷങ്ങൾ നീണ്ട പ്രയത്നങ്ങളുടെയും നിരീക്ഷണവിശകലനങ്ങളുടെയും ഫലമായാണ് മുകളിൽ പ്രസ്താവിക്കപ്പെട്ട ലളിതമായ ഇത്തരം വസ്തുതകൾ സ്ഥാപിക്കപ്പെട്ടത്. പല ശാസ്ത്രജ്ഞരുടെയും ശ്രദ്ധാപൂർവമുള്ള പഠനഫലമായി, മേൽപ്പറഞ്ഞ പ്രതിഭാസങ്ങളുടെ കാരണം വൈദ്യുത ചാർജ് എന്ന സത്തയാണെന്നും അതു രണ്ടു വ്യത്യസ്ത തരത്തിലുണ്ടെന്നും മനസ്സിലാക്കി. മേൽപ്രവർത്തനങ്ങളിലെ ഗ്ലാസ്, പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡുകൾ, പട്ടുതുണി, മൃദുരോമം, പിത്ത്ബോളുകൾ എന്നിവ വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ടു എന്ന് നാം പറയാറുണ്ട്. ഉരസുമ്പോൾ അവയ്ക്ക് ഒരു വൈദ്യുത ചാർജ് ലഭിക്കുന്നു. പിത്ത്ബോളിൽ നടത്തിയ പരീക്ഷണം വൈദ്യുതീകരണം രണ്ടുവിധമുണ്ടെന്നാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. കൂടാതെ (i) സജാതീയ ചാർജുകൾ വികർഷിക്കുന്നതായും (ii) വിജാതീയ ചാർജുകൾ പരസ്പരം ആകർഷിക്കുന്നതായും കാണുന്നു. ദണ്ഡുകൾ പിത്ത്ബോളുകളുമായി സ്പർശിക്കുമ്പോൾ അവയ്ക്കിടയിൽ വൈദ്യുത ചാർജുകളുടെ കൈമാറ്റം നടക്കുന്നതായും പരീക്ഷണത്തിലൂടെ വ്യക്തമാവുന്നു. പിത്ത്ബോളുകൾ വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ടു എന്നോ അവ സ്പർശംമൂലം ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ടു എന്നോ പറയാം. രണ്ടുതരം ചാർജുകളെയും വേർതിരിക്കുന്ന പ്രധാന പ്രത്യേകത അവയുടെ ധ്രുവത (polarity)യാണ്.

ഗ്ലാസ്ദണ്ഡ് പട്ടുതുണിയുമായി ഉരസുമ്പോൾ ദണ്ഡ് ഒരുതരം ചാർജും പട്ടുതുണി മറ്റൊരുതരം ചാർജും ആർജിക്കുന്നു. പരസ്പര ഉരസൽമൂലം വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഏതൊരു ജോടി വസ്തുക്കൾക്കും ഇത് ബാധകമാണ്. വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ട ഗ്ലാസ് ദണ്ഡും പട്ടുമായി ഉണ്ടായിരുന്ന ആകർഷണം അവ പരസ്പരം സ്പർശിക്കുന്നതോടെ ഇല്ലാതാകുന്നു. വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ടപ്പോൾ അവ കാണിച്ചിരുന്നതുപോലെ, മറ്റു ലഘുവായ വസ്തുക്കളെ ഇപ്പോൾ ഇവ ആകർഷിക്കുകയോ വികർഷിക്കുകയോ ചെയ്യുന്നില്ല.

അതായത്, ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട വസ്തുക്കൾ സമ്പർക്കത്തിൽ വരുന്നതുമൂലം, ഉരസലിലൂടെ അവ നേടിയെടുത്ത ചാർജുകൾ നഷ്ടപ്പെടുന്നു. ഈ നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നു നിങ്ങൾ എന്ത് അനുമാനിക്കുന്നു? വിപരീത ചാർജുകൾ അവയുടെ പ്രഭാവങ്ങളെ പരസ്പരം നിർവീര്യമാക്കുകയോ ഇല്ലാതാക്കുകയോ ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ടാണ് അമേരിക്കൻ ശാസ്ത്രജ്ഞൻ ബെഞ്ചമിൻ ഫ്രാങ്ക്ളിൻ ചാർജുകളെ പോസിറ്റീവ് എന്നും നെഗറ്റീവ് എന്നും വിളിച്ചത്. ഒരേ അളവുകളിലുള്ള പോസിറ്റീവ് സംഖ്യയും നെഗറ്റീവ് സംഖ്യയും കൂട്ടുകയാണെങ്കിൽ അവയുടെ തുക പൂജ്യമാകുമെന്നു നമുക്കറിയാം. ചാർജുകളെ പോസിറ്റീവ് എന്നും നെഗറ്റീവ് എന്നും വിളിക്കുന്നതിനു പിന്നിലുള്ള യുക്തി ഇതാവാം. അക്കാലത്തെ രീതി പിന്തുടർന്ന് ഇന്നും, ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിലോ മൃദുരോമങ്ങളിലോ ഉള്ള ചാർജുകളെ പോസിറ്റീവ് എന്നും പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡിലോ പട്ടുതുണിയിലോ ഉള്ള ചാർജുകളെ നെഗറ്റീവ് എന്നും നാം വിളിക്കുന്നു. ഒരു വസ്തു അധികമായി വൈദ്യുത ചാർജ് നേടിയാൽ, ആ വസ്തു വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ടു അഥവാ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ടു എന്നു പറയാം. വസ്തുവിൽ അധിക ചാർജ് ഇല്ലെങ്കിൽ അതിനെ വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രലാണ് എന്നും പറയാം.

ഒരു വസ്തുവിലെ ചാർജ് കണ്ടെത്താനുള്ള ഒരു ലഘുവായ ഉപകരണമാണ് സ്വർണ ദള ഇലക്ട്രോസ്കോപ് (Gold Leaf Electroscope) [ചിത്രം 1.2 (a)]. ഒരു പെട്ടിക്കുള്ളിൽ ലംബമായി ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ലോഹദണ്ഡിന്റെ അടിയിലുള്ള അഗ്രത്തിലായി വളരെ കട്ടി കുറഞ്ഞ രണ്ടു സ്വർണദളങ്ങൾ ചേർത്തു വച്ചിരിക്കുന്നു. ദണ്ഡിന്റെ മുകളിലുള്ള ലോഹഗോളത്തിൽ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട വസ്തു സ്പർശിക്കുമ്പോൾ സ്വർണ ദളങ്ങളിലേക്ക് ചാർജുകൾ ഒഴുകുകയും അവ പരസ്പരം അകലുകയും ചെയ്യുന്നു. ദളങ്ങൾ തമ്മിൽ അകലുന്നതിന്റെ അളവ് വസ്തുവിലെ ചാർജിന്റെ സൂചകമാണ്.

വൈദ്യുത-കാന്തിക പ്രതിഭാസങ്ങളുടെ ഏകീകരണം
Unification of Electricity and Magnetism

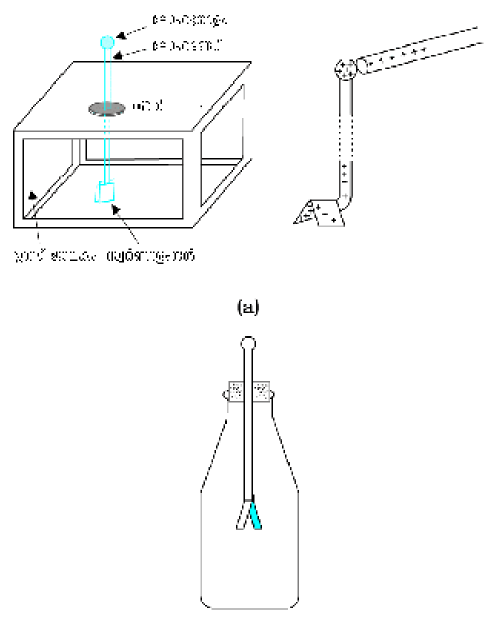
പണ്ട്, വിദ്യുച്ഛക്തിയും കാന്തികതയും രണ്ടു വ്യതിരിക്തമായ വിഷയങ്ങളായാണ് പരിഗണിക്കപ്പെട്ടിരുന്നത്. ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിലും മൃദുരോമക്കുപ്പായത്തിലും ബാറ്ററികളിലും ഇടിമിന്നലിലും ഒക്കെയുള്ള ചാർജുകളും മറ്റുമായി വൈദ്യുതിയുടെ പഠനമേഖല വ്യാപരിക്കുമ്പോൾ കോമ്പസ് സൂചി, ഇരുമ്പുചീളുകൾ, കാന്തം മുതലായവയുടെ കാന്തിക ഇടപെടലുകളുമായി സംവദിക്കുന്ന മേഖലയായിരുന്നു കാന്തികത. കാന്തിക സൂചിക്കു സമീപം സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു ലോഹക്കമ്പിയിലൂടെ വൈദ്യുതി കടന്നുപോകുമ്പോൾ കാന്തിക സൂചി വിഭ്രംശിക്കുന്നതായി 1820ൽ, ഡാനിഷ് ശാസ്ത്രകാരനായ ഏഴ്സ്റ്റഡ് (Oersted) കണ്ടെത്തി. ആമ്പിയർ, ഫാരഡെ എന്നിവരും ഈ നിരീക്ഷണങ്ങളെ പിന്താങ്ങി. മാത്രമല്ല, വൈദ്യുത ചാർജുകളുടെ ചലനം കാന്തികമണ്ഡലങ്ങളുണ്ടാക്കുന്നതു പോലെ, കാന്തങ്ങളുടെ ചലനം വൈദ്യുതപ്രവാഹത്തിനു കാരണമാകുമെന്നും അവർ സമർഥിച്ചു. വിദ്യുച്ഛക്തിയും കാന്തികതയും തമ്മിലുള്ള പരസ്പര ആശ്രിതത്വം വ്യക്തമാക്കുന്നതിനായി, സ്കോട്ടിഷ് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ മാക്സ്‌വെല്ലും ഡച്ച് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ ലോറൻസും ചേർന്നു മുന്നോട്ടുവച്ച ഒരു സിദ്ധാന്തമാണ് യഥാർഥത്തിൽ ഈ രണ്ടു ശാസ്ത്രമേഖലകളെയും ഏകീകരിച്ചത്. ഈ ശാസ്ത്രമേഖലയെ വൈദ്യുതകാന്തികത (Electro magnetism) എന്നു പറയുന്നു. നമുക്കു ചുറ്റും നടക്കുന്ന മിക്കവാറും എല്ലാ പ്രതിഭാസങ്ങളെയും വൈദ്യുതകാന്തികത ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കാനാവും. നമുക്ക് അറിയാവുന്ന ഏതാണ്ട് എല്ലാ ബലങ്ങളും, ഉദാഹരണത്തിന് ഘർഷണം, ദ്രവ്യത്തെ ഒന്നായി നിർത്തുന്ന ആറ്റങ്ങൾക്കിടയിലെ രാസബലം, ജീവജാലങ്ങളുടെ കോശങ്ങൾക്കുള്ളിലെ വിവിധ പ്രക്രിയകളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ബലങ്ങൾ തുടങ്ങിയവയുടെയെല്ലാം ഉറവിടം വൈദ്യുതകാന്തികബലം തന്നെയാണ്. പ്രകൃതിയിലെ അടിസ്ഥാനബലങ്ങളിലൊന്നാണ് വൈദ്യുതകാന്തികബലം.

ബലതന്ത്രത്തിൽ ന്യൂട്ടന്റെ ചലനസമവാക്യങ്ങളുടെയും ഗുരുത്വാകർഷണ നിയമത്തിന്റെയും അതേ പ്രാധാന്യമാണ് വൈദ്യുതകാന്തികതയിൽ മാക്സ്‌വെൽ മുന്നോട്ടുവച്ച നാല് സമവാക്യങ്ങൾക്കുമുള്ളത്. പ്രകാശത്തിന് വൈദ്യുതകാന്തിക സ്വഭാവമാണുള്ളതെന്നും കൃത്യമായ വൈദ്യുതകാന്തിക പ്രഭാവങ്ങളുടെ അളവുകളിലൂടെ പ്രകാശവേഗം കണ്ടെത്താമെന്നും മാക്സ്‌വെൽ വാദിച്ചു. പ്രകാശശാസ്ത്രമെന്ന ശാസ്ത്രശാഖയുമായി വിദ്യുച്ഛക്തിയും കാന്തികതയും തീവ്രമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതായും അദ്ദേഹം അവകാശപ്പെട്ടു.

ആധുനികസമൂഹത്തിന്റെ സാങ്കേതിക ഉണർവിന്റെ അടിസ്ഥാനം വിദ്യുച്ഛക്തി, കാന്തികത എന്നിവയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ശാസ്ത്രപുരോഗതിയാണ്. വൈദ്യുത പവർ, ടെലികമ്യൂണിക്കേഷൻ (വിദൂര വാർത്താവിനിമയം), റേഡിയോ, ടെലിവിഷൻ, കൂടാതെ നിത്യജീവിതത്തിൽ നാം ഉപയോഗിക്കുന്ന വ്യത്യസ്തങ്ങളായ പ്രായോഗിക ഉപകരണങ്ങൾ - ഇവയെല്ലാം തന്നെ ഈ ശാസ്ത്രശാഖയുടെ തത്ത്വങ്ങളിൽ അധിഷ്ഠിതമാണ്. ചലിക്കുന്ന വൈദ്യുത ചാർജുകൾ വൈദ്യുതകാന്തികബലങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്നുവെങ്കിലും നിശ്ചല ചാർജുകൾ മാത്രം വഹിക്കുന്ന ഏതൊരു ചട്ടക്കൂടിലും ബലങ്ങൾ പൂർണമായും വൈദ്യുത സ്വഭാവമുള്ളതായിരിക്കും. വളരെ ഉയർന്ന ദൂരപരിധിയുള്ള ഒരു ബലമാണ് ഗുരുത്വാകർഷണബലം. വസ്തുക്കൾക്കിടയിലെ ദൂരം വളരെ കൂടുതലാണെങ്കിലും അവയ്ക്കിടയിൽ ഒരു ഗുരുത്വാകർഷണബലം തീർച്ചയായും അനുഭവപ്പെടും. സമ്പർക്കത്തിലേർപ്പെടുന്ന വസ്തുക്കൾക്കിടയിലനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം, അവയ്ക്കിടയിലുള്ള ദൂരത്തിന്റെ വർഗവുമായി വിപരീതാനുപാതത്തിൽ ആകുന്നതാണ് ഇതിനു കാരണം. വൈദ്യുതബലം വ്യാപനശക്തിയുള്ളതാണെന്നും അത് ഗുരുത്വാകർഷണബലത്തേക്കാൾ പല മടങ്ങ് ശക്തിയുള്ളതാണെന്നും നമുക്ക് ഈ അധ്യായത്തിൽ പഠിക്കാം. (പതിനൊന്നാം ക്ലാസിലെ ഫിസിക്സ് പാഠപുസ്തകത്തിലെ അധ്യായം 1 പുനർവായിക്കുക)

പഠിതാക്കൾക്ക് ലഘുവായ ഒരു ഇലക്ട്രോസ്കോപ് നിർമിക്കാനുള്ള മാർഗമാണ് താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നത് [ചിത്രം 1.2 (b)]. ഇരു അഗ്രങ്ങളിലും ചെറു ഗോളങ്ങളോടു കൂടിയ അലുമിനിയം കർട്ടൻ ദണ്ഡ് എടുക്കുക. ഒരു ഭാഗത്തു ലോഹഗോളം വരുന്ന രീതിയിൽ ഏകദേശം 20 cm നീളത്തിൽ ഒരു കഷണം മുറിച്ചെടുക്കുകയും മുറിച്ച ഭാഗം പരത്തുകയും ചെയ്യുക. ഈ ദണ്ഡിനെ ഉൾക്കൊള്ളാൻ പാകത്തിൽ ഒരു വലിയ കുപ്പിയും അതിന്റെ വായ്ഭാഗത്ത് കൃത്യമായി ഉറയ്ക്കുന്ന തരത്തിലുള്ള ഒരു കോർക്കും എടുക്കുക. അലുമിനിയം ദണ്ഡ് സുഗമമായി കടന്നു പോകുന്ന വിധത്തിൽ കോർക്കിൽ

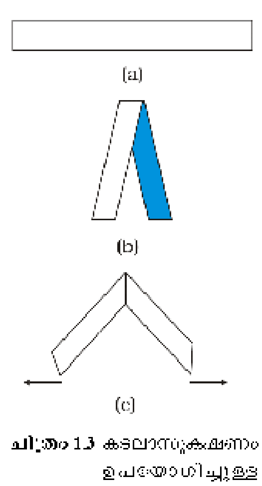
ഒരു ദ്വാരം ഇടുക. ദണ്ഡിന്റെ മുറിച്ച ഭാഗം താഴേക്കും ഗോള അഗ്രം മുകളിലേക്കും നിൽക്കുന്ന രീതിയിൽ ദണ്ഡ് കോർക്കിലൂടെ സാവധാനം ഉറപ്പിക്കുക. കട്ടി കുറഞ്ഞ, ചെറിയ അലുമിനിയം പാളി (ഏകദേശം 6 സെ.മീ. നീളമുള്ളത്) നടുവിലായി മടക്കിയ ശേഷം, ഒരു ടേപ്പുപയോഗിച്ച് ദണ്ഡിന്റെ പരന്ന അഗ്രത്തിൽ ഉറപ്പിക്കുന്നു. ഇവ, നിങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പിന്റെ ദളങ്ങളായി വർത്തിക്കുന്നു. ഗോള അഗ്രം ഏകദേശം 5 സെ.മീ. ഉയർന്നു നിൽക്കുന്ന രീതിയിൽ കോർക്ക് കുപ്പിയിൽ ഉറപ്പിക്കുക. ദളങ്ങളുടെ അകൽച്ച എത്രത്തോളമുണ്ടെന്ന് മനസ്സിലാക്കാനായി കുപ്പിക്കുള്ളിൽ ഒരു കടലാസ് സ്കെയിൽ മുൻകൂട്ടിത്തന്നെ ഉറപ്പിക്കാവുന്നതാണ്. ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പിലെത്തുന്ന ചാർജിന്റെ ഏകദേശ അളവായി ദളങ്ങൾക്കിടയിലെ അകൽച്ചയെ കാണാവുന്നതാണ്.



ചിത്രം 1.2 : ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പുകൾ: (a) സ്വർണ്ണപത്ര ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പ് (b) ലഘുവായ ഒരു ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പിന്റെ രേഖാചിത്രം

ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പ് എങ്ങനെ പ്രവർത്തിക്കുന്നു എന്നറിയാനായി, ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട വസ്തുക്കളുടെ ആകർഷണം മനസ്സിലാക്കാൻ മുൻപ് നാം ഉപയോഗിച്ച അതേ കടലാസുകഷണം തന്നെ ഉപയോഗിക്കാം. മടക്കിയ ഭാഗത്ത് ഒരു അടയാളം വരുന്ന രീതിയിൽ കടലാസുകഷണം പകുതിയായി മടക്കുക. ചിത്രം 1.3 ൽ കാണുന്നതു പോലെ, മടങ്ങിയ ഭാഗം മുകളിൽ വരുന്ന വിധം, കടലാസിനെ ചെറുതായി ഇസ്തിരിയിടുക.

മടക്കിൽ പിടിച്ചുകൊണ്ട് കടലാസുകഷണം സാവധാനം ഉയർത്തുക. ഇരു പകുതികളും പരസ്പരം അകലുന്നതായി കാണാം. ഇസ്തിരിയിട്ടപ്പോൾ കടലാസുകഷണം ചാർജ് നേടിയതാണ് ഇതിനു കാരണം. ഇരു പകുതികളിലും ഒരേ ചാർജ് ലഭിച്ചതിനാൽ അവ പരസ്പരം വികർഷിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോസ്കോപ്പിൽ ദൃശ്യമാകുന്നതും ഇതേ പ്രഭാവം തന്നെയാണ്. വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ട വസ്തു കർട്ടൻ ദണ്ഡിന്റെ ഗോളഅഗ്രത്തിൽ സ്പർശിക്കുക വഴി കർട്ടൻ ദണ്ഡിൽനിന്ന് അലുമിനിയം ഫോയിലിലേക്ക് ചാർജിന്റെ കൈമാറ്റം നടക്കുന്നു. ഇരുപാളികളിലേക്കും ഒരേ ചാർജ് തന്നെ ലഭിക്കുന്നതിനാൽ അവ പരസ്പരം വികർഷിക്കുന്നു. ദളങ്ങളുടെ അകൽച്ച അവയിലെ ചാർജിന്റെ അളവിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. വസ്തുക്കൾ ചാർജ് നേടുന്നതെങ്ങനെയെന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ നമുക്ക് ശ്രമിക്കാം.



ചിത്രം 1.3 കടലാസുകഷണം ഉപയോഗിച്ചുള്ള പരീക്ഷണം

ദ്രവ്യം നിർമിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് ആറ്റങ്ങളാൽ/തന്മാത്രകളാൽ ആണെന്ന് നമുക്കറിയാം. സാധാരണയായി എല്ലാ പദാർഥങ്ങളും വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രൽ ആണെങ്കിലും അവ തീർച്ചയായും ചാർജുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നുണ്ട്. പക്ഷേ, അവയിലെ ചാർജുകൾ എല്ലാം കൃത്യമായി സമീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കും. പദാർഥത്തിലെ തന്മാത്രകളെ ഉറപ്പിച്ചു നിർത്തുന്നതും ഖരവസ്തുക്കളിൽ ആറ്റങ്ങളെ ഉറപ്പിച്ചുനിർത്തുന്നതും, പ്രതലബലവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടതും പശയുടെ ഒട്ടൽസ്വഭാവത്തിനു കാരണമായതുമായ എല്ലാ ബലങ്ങളും അടിസ്ഥാനപരമായി വൈദ്യുത സ്വഭാവമുള്ളവയാണ്. ഇവയെല്ലാം ഉടലെടുക്കുന്നത് ചാർജുകൾ തമ്മിലുള്ള ബലത്തിൽ നിന്നാണ്. ജീവിതത്തിലെ സമസ്ത മേഖലകളുമായി ബന്ധമുള്ളതുമാണ് സർവവ്യാപിയായ വൈദ്യുതബലം. അതുകൊണ്ടുതന്നെ, ഇത്തരമൊരു ബലത്തെപ്പറ്റി കൂടുതൽ മനസ്സിലാക്കേണ്ടത് അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്.

വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രലായ ഒരു വസ്തുവിനെ വൈദ്യുതീകരിക്കാനായി അതിൽ ഒരേ തരത്തിലുള്ള ചാർജുകൾ കൂട്ടിച്ചേർക്കുകയോ അതിൽ നിന്നു ചാർജുകൾ ഒഴിവാക്കുകയോ വേണം. ഒരു വസ്തു ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ടു എന്നു പറയുമ്പോൾ അതിലെ അധികചാർജുകളെയോ ചാർജിന്റെ കുറവിനെയോ ആണ് നാം പരാമർശിക്കുന്നത്. ഖരവസ്തുക്കളിലെ ഏതാനും ഇലക്ട്രോണുകൾ ആറ്റവുമായി ദുർബലമായ ബന്ധനത്തിൽ നിൽക്കുന്നവയാണ്. ഈ ചാർജുകളാണ് വസ്തുക്കൾക്കിടയിൽ കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്നത്. അങ്ങനെ, കുറച്ച് ഇലക്ട്രോണുകൾ നഷ്ടപ്പെടുത്തുക വഴി ഒരു വസ്തുവിനെ പോസിറ്റീവ് ആയും ഇലക്ട്രോണുകൾ നേടുക വഴി അതിനെ നെഗറ്റീവ് ആയും ചാർജ് ചെയ്യാൻ സാധിക്കും. ഗ്ലാസ് ദണ്ഡ് പട്ടുതുണിയുമായി ഉരസുമ്പോൾ ദണ്ഡിലെ അൽപ്പം ഇലക്ട്രോണുകൾ പട്ടുതുണിയിലേക്ക് മാറ്റപ്പെടുന്നു. അങ്ങനെ ദണ്ഡ് പോസിറ്റീവായും പട്ടുതുണി നെഗറ്റീവ് ആയും ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഉരസൽ എന്ന പ്രക്രിയയിലൂടെ പുതുതായി ചാർജുകളൊന്നും തന്നെ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നില്ല. മാത്രമല്ല, വസ്തുവിലുള്ള ആകെ ഇലക്ട്രോണുകളിലെ വളരെ ചെറിയ ഒരു അംശം മാത്രമാണ് ഇപ്രകാരം കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്നത്. കൂടാതെ ഏറ്റവും ദുർബലമായി ബന്ധിതമായ ഇലക്ട്രോണുകളെയാണ് ഉരസലിലൂടെ ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നു മറ്റൊന്നിലേക്ക് ഇപ്രകാരം കൈമാറ്റം ചെയ്യാനാവുന്നത്. അതുകൊണ്ടാണ്, ഒരു വസ്തു മറ്റൊന്നുമായി ഉരസുമ്പോൾ അവ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നതും ഇതിനായി ചില പ്രത്യേക ജോടി വസ്തുക്കൾ മാത്രം ഉപയോഗിക്കുന്നതും.

1.3 ചാലകങ്ങളും ഇൻസുലേറ്ററുകളും (Conductors and Insulators)

ഒരു ലോഹദണ്ഡിനെ, കൈയിൽ പിടിച്ചുകൊണ്ട് കമ്പിളിത്തുണിയുമായി ഉരസുകയാണെങ്കിൽ അവ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ടതിന്റെ ഒരു ലക്ഷണവും കാണിക്കുകയില്ല. എന്നാൽ തടികൊണ്ടോ പ്ലാസ്റ്റിക്കൊണ്ടോ ഉള്ള ഒരു കൈപ്പിടിയോടുകൂടിയ ലോഹദണ്ഡ്, ലോഹഭാഗത്ത് കൈതൊടാതെ ഉരസുകയാണെങ്കിൽ അത് ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നതിന്റെ ലക്ഷണങ്ങൾ കാണിക്കുന്നു. ഒരു ചെമ്പുകമ്പിയുടെ ഒരഗ്രം ന്യൂട്രൽ ആയ പിത്ത് ബോളുമായും മറ്റേ അഗ്രം നെഗറ്റീവായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡുമായും ഘടിപ്പിക്കുക. പിത്ത് ബോൾ നെഗറ്റീവ് ചാർജ് നേടുന്നതായി കാണാവുന്നതാണ്. ഒരു നൈലോൺ നൂലോ റബ്ബർബാൻഡോ ഉപയോഗിച്ച് ഈ പരീക്ഷണം ആവർത്തിക്കുകയാണെങ്കിൽ, പ്ലാസ്റ്റിക്ദണ്ഡിൽനിന്നു പിത്ത്ബോളിലേക്ക് ചാർജുകൾ കൈമാറ്റപ്പെടുന്നില്ല. എന്തുകൊണ്ടാണ് ദണ്ഡിൽനിന്നു ബോളിലേക്ക് ചാർജുകൾ കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടാത്തത്?

ചില വസ്തുക്കളിലൂടെ വൈദ്യുതി അനായാസം കടന്നുപോകുമ്പോൾ മറ്റു ചില വസ്തുക്കളിൽ അങ്ങനെ നടക്കുന്നില്ല. വൈദ്യുതി അനായാസം കടത്തിവിടുന്ന വസ്തുക്കളെ ചാലകങ്ങൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഇത്തരം വസ്തുക്കളിൽ താരതമ്യേന സ്വതന്ത്രമായി ചലിക്കുന്ന വൈദ്യുത ചാർജുകൾ (ഇലക്ട്രോണുകൾ) ധാരാളമുണ്ട്. ലോഹങ്ങൾ, മനുഷ്യരുടെയും മൃഗങ്ങളുടെയും ശരീരങ്ങൾ, ഭൂമി എന്നിവയെല്ലാം ചാലകങ്ങളാണ്. ഇൻസുലേറ്ററുകളായ ഗ്ലാസ്, പ്ലാസ്റ്റിക്, നൈലോൺ, തടി തുടങ്ങിയ വസ്തുക്കൾ അവയിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുതപ്രവാഹത്തിന് കനത്ത പ്രതിരോധം ചെലുത്തുന്നു. അത്തരം വസ്തുക്കളെ ഇൻസുലേറ്ററുകൾ എന്നു പറയുന്നു. നമുക്കു പരിചിതമായ മിക്കവാറും എല്ലാ വസ്തുക്കളും മേൽ സൂചിപ്പിച്ച രണ്ടു വിഭാഗങ്ങളിലൊന്നിൽപ്പെടുന്നവയായിരിക്കും*.

* അർധചാലകങ്ങളെന്നു വിളിക്കുന്ന മൂന്നാമതൊരു വിഭാഗവുമുണ്ട്. ഇവയിൽ ചാർജുകളുടെ ചലനത്തിനെതിരായുള്ള പ്രതിരോധം ചാലകങ്ങൾക്കും ഇൻസുലേറ്ററുകൾക്കും ഇടയിലാണ്

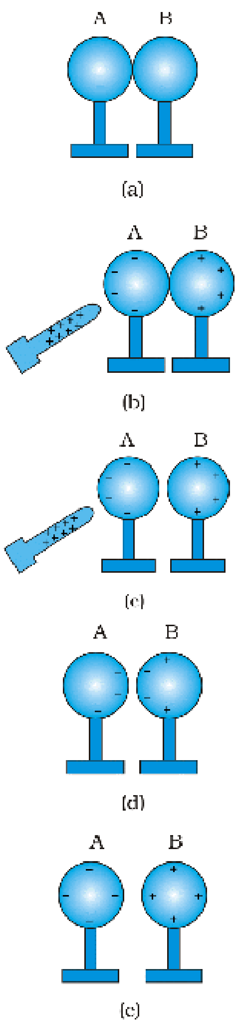
ഒരു ചാലകത്തിലേക്ക് കുറച്ചു ചാർജുകൾ കൈമാറ്റപ്പെടുന്നതായി കരുതുക. ആ ചാർജുകൾ ചാലകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ പൂർണമായും വിതരണം ചെയ്യപ്പെടും. മറിച്ച്, ചാർജുകൾ നൽകുന്നത് ഒരു ഇൻസുലേറ്ററിലേക്കാണെങ്കിൽ അവ അതേ സ്ഥാനത്തു തന്നെ തുടരുന്നു. എന്തുകൊണ്ടാണിത് സംഭവിക്കുന്നതെന്ന് നിങ്ങൾ അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ പഠിക്കും.

ഒരു നൈലോൺ അല്ലെങ്കിൽ പ്ലാസ്റ്റിക് ചീർപ്പ് ഉപയോഗിച്ച് ഉണങ്ങിയ തലമുടി ചീകുകയോ ഉരസുകയോ ചെയ്യുമ്പോൾ അവയ്ക്ക് ചാർജ് ലഭിക്കുന്നതിനും സ്പൂൺ പോലുള്ള ലോഹവസ്തുക്കളുപയോഗിച്ച് അങ്ങനെ ചെയ്യുമ്പോൾ അവയ്ക്ക് ചാർജ് ലഭിക്കാത്തതിനും കാരണം വസ്തുക്കളുടെ ഈ സവിശേഷതയാണ്.

ലോഹവും മനുഷ്യശരീരവും നല്ല ചാലകങ്ങളായതിനാൽ, ലോഹോപരിതലത്തിലെത്തുന്ന ചാർജുകൾ നമ്മുടെ ശരീരത്തിലൂടെ കടന്ന് ഭൂമിയിലെത്തുന്നു. ഭൂമിയുമായി ഒരു ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട വസ്തു സമ്പർക്കത്തിലാകുമ്പോൾ, ഇവയെ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ചാലകത്തിലൂടെ (നമ്മുടെ ശരീരം പോലുള്ള) ഭൂമിയിലേക്ക് ക്ഷണികമായ ഒരു വൈദ്യുതപ്രവാഹം ഉണ്ടാവുകയും, തദ്ഫലമായി വസ്തുവിലെ അധിക ചാർജ് അപ്രത്യക്ഷമാവുകയും ചെയ്യുന്നു. ഭൂമിയുമായി ചാർജുകൾ പങ്കിടുന്ന ഈ പ്രക്രിയയെ ഗ്രൗണ്ടിങ് അഥവാ എർത്തിങ് എന്നു പറയുന്നു. വൈദ്യുത സെർക്കീട്ടുകൾക്കും ഉപകരണങ്ങൾക്കും സുരക്ഷാസംവിധാനമായി എർത്തിങ് പ്രയോജനപ്പെടുത്താറുണ്ട്. ഭൂമിക്കടിയിലേക്ക് ആഴത്തിൽ കുഴിച്ചിട്ടിരിക്കുന്ന ലോഹപ്ലേറ്റും അതിൽനിന്നു പുറത്തേക്ക് ബന്ധിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള കട്ടിയുള്ള ലോഹക്കമ്പിയും ചേർന്ന വിന്യാസമാണ് കെട്ടിടങ്ങളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. നമ്മുടെ വീടുകളിലെ വയറിങ് സംവിധാനത്തിൽ പ്രധാനമായും മൂന്നുതരം കമ്പികളാണ് ഉള്ളത്. ലൈവ്, ന്യൂട്രൽ, എർത്ത്. പവർസ്റ്റേഷനിൽനിന്നു വൈദ്യുതി വഹിക്കുന്ന കമ്പികളാണ് ലൈവും ന്യൂട്രലും. കുഴിച്ചിട്ടിരിക്കുന്ന ലോഹപ്ലേറ്റിലേക്ക് ബന്ധിപ്പിക്കുന്നതാണ് എർത്ത് കമ്പി. വൈദ്യുതോപകരണങ്ങളായ ഇസ്തിരിപ്പെട്ടി, റഫ്രിജറേറ്റർ, ടി.വി. തുടങ്ങിയവയുടെ ലോഹഭാഗങ്ങൾ എർത്ത്കമ്പിയുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുന്നു. ലോഹഭാഗങ്ങൾ അബദ്ധത്തിൽ ലൈവ് കമ്പിയുമായി സ്പർശിച്ചാൽ ചാർജ് എർത്ത്കമ്പി വഴി ഭൂമിയിലേക്ക് ഒഴുകുന്നു. ഉപകരണത്തിന് നാശമോ മനുഷ്യന് അപകടമോ ഉണ്ടാകാതെ എർത്തിങ് സംവിധാനം സംരക്ഷിക്കുന്നു. മനുഷ്യശരീരം ഒരു വൈദ്യുതചാലകമായതിനാൽ നമ്മുടെ വീടുകളിൽ ഈ സംവിധാനം ഒഴിവാക്കാനാവാത്തതാണ്.

1.4 പ്രേരണം മൂലമുള്ള ചാർജിങ് (Charging by induction)

വൈദ്യുതീകരിച്ച ഒരു പ്ലാസ്റ്റിക്ദണ്ഡ് കൊണ്ട് പിത്ത്ബോളിനെ സ്പർശിക്കുകയാണെങ്കിൽ ദണ്ഡിലെ ഏതാനും നെഗറ്റീവ് ചാർജുകൾ പിത്ത്ബോളിലേക്ക് കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുന്നതായി കാണാം. പിത്ത് ബോൾ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. പിത്ത് ബോൾ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ടത് സ്പർശനം മൂലമാണ്. ഇപ്പോൾ ഈ പിത്ത് ബോൾ പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡിനാൽ വികർഷിക്കപ്പെടുകയും വിപരീത ചാർജുള്ള ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിനാൽ ആകർഷിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. എന്നാൽ താരതമ്യേന ഭാരം കുറഞ്ഞ വസ്തുക്കളെ എങ്ങനെയാണ് വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ട ദണ്ഡ് ആകർഷിക്കുന്നത് എന്നത് ഉത്തരമില്ലാത്ത ചോദ്യമായി അവശേഷിക്കുന്നു. എന്താണ് യഥാർഥത്തിൽ സംഭവിക്കുന്നതെന്ന് മനസ്സിലാക്കാൻ നമുക്ക് താഴെപ്പറയുന്ന പരീക്ഷണം ചെയ്യാം.



ചിത്രം 1.4 പ്രേരണം മൂലമുള്ള ചാർജിങ്

i. ചിത്രം 1.4 (a)യിൽ കാണുന്ന പോലെ ഇൻസുലേറ്റിങ് സ്റ്റാന്റുകളിൽ ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന A , B എന്നി രണ്ടു ലോഹിയഗോളങ്ങൾ പരസ്പരം സ്പർശിച്ചിരിക്കുന്നു.

ii. പോസിറ്റിവ് ചാർജ് വഹിക്കുന്ന ഒരു ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിനെ ഏതെങ്കിലുമൊരു ഗോളത്തിനടുത്തേക്കു കൊണ്ടുവരുക. (A എന്നു കരുതുക) ദണ്ഡ് ഗോളത്തിൽ സ്പർശിക്കുന്നില്ല എന്ന് ഉറപ്പുവരുത്തേണ്ടതാണ്. ഗോളത്തിലെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ ദണ്ഡിലേക്ക് ആകർഷിക്കപ്പെടുന്നു. ഇക്കാരണത്താൽ B യുടെ പിൻഭാഗത്ത് പോസിറ്റിവ് ചാർജുകളുടെ ഒരു ആധിക്യം സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നു. രണ്ടു തരത്തിലുള്ള ചാർജുകളും ലോഹിയഗോളങ്ങളിൽ ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതിനാൽ അവയ്ക്ക് ഗോളോപരിതലത്തിൽനിന്നു പുറത്തുവരാനാവില്ല. ചിത്രം 1.4 (b) യിൽ കാണുന്നതു പോലെ അവ ലോഹോപരിതലത്തിൽത്തന്നെ നിലകൊള്ളുന്നു. ഗോളം A യുടെ ഇടതുഭാഗത്തു വലിയ അളവിൽ നെഗറ്റിവ് ചാർജുകളുടെയും ഗോളം B യുടെ വലതുഭാഗത്ത് വലിയ അളവിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജുകളുടെയും ആധിക്യം ഉണ്ടാകുന്നു. ഇവിടെ, ഇരു ഗോളങ്ങളിലെയും മുഴുവൻ ഇലക്ട്രോണുകളും ഗോളം A യുടെ ഇടതുഭാഗത്തു ശേഖരിക്കപ്പെടുന്നില്ല എന്ന കാര്യം നാം മനസ്സിലാക്കണം. A യിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ആധിക്യം മൂലം ഗോളത്തിലെ മറ്റ് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഇവിടെ നിന്നു വികർഷിക്കപ്പെടുന്നു. ദണ്ഡിന്റെ ആകർഷണബലത്താലും സംഭരിക്കപ്പെട്ട ചാർജുകളുടെ വികർഷണബലത്താലും കുറഞ്ഞ സമയത്തിൽ ഇവിടെ ഒരു സംതുലനാവസ്ഥ രൂപംകൊള്ളുന്നു. ചിത്രം 1.4 (b)യിൽ ഈ സംതുലനാവസ്ഥ നമുക്ക് ദർശിക്കാവുന്നതാണ്. വളരെ വേഗത്തിൽ നടക്കുന്ന ഈ പ്രക്രിയയെ 'പ്രേരണം മൂലമുള്ള ചാർജിങ്' (charging by induction) എന്ന് പറയുന്നു. ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ, ദണ്ഡിന്റെ സാമീപ്യം തുടരുന്നിടത്തോളം സംഭരിക്കപ്പെട്ട ചാർജുകൾ ഗോളത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽത്തന്നെ തുടരുന്നു. ദണ്ഡിനെ ഗോളത്തിന്റെ സമീപത്തുനിന്ന് അകറ്റുകയാണെങ്കിൽ, ചാർജുകളിൽ മറ്റൊരു ബാഹ്യബലവും അനുഭവപ്പെടാതിരിക്കുകയും അവ ആദ്യത്തെ നിർവീര്യാവസ്ഥയിലേക്ക് പുനർവിന്യസിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യും.

iii. ചിത്രം 1.4 (c) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ ഗ്ലാസ്ദണ്ഡിനെ ഗോളം A യുടെ സമീപത്തുതന്നെ നിലനിർത്തിക്കൊണ്ട് ഇരു ഗോളങ്ങളെയും ചെറുതായി അകറ്റുക. രണ്ട് ലോഹീയഗോളങ്ങളും വിപരീതമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നതായും പരസ്പരം ആകർഷിക്കുന്നതായും കാണാം.

iv. ഗ്ലാസ് ദണ്ഡിനെ നീക്കം ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 1.4 (d) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ ഗോളങ്ങളിലെ ചാർജുകൾ സ്വയം പുനഃക്രമീകരിക്കപ്പെടുന്നു. ഗോളങ്ങളെ പരസ്പരം അകറ്റുക. ഇരു ഗോളങ്ങളിലെയും ചാർജുകൾ ചിത്രം 1.4 (e)യിൽ കാണുന്നതു പോലെ ഗോളോപരിതലത്തിൽ സമാനമായി വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു.

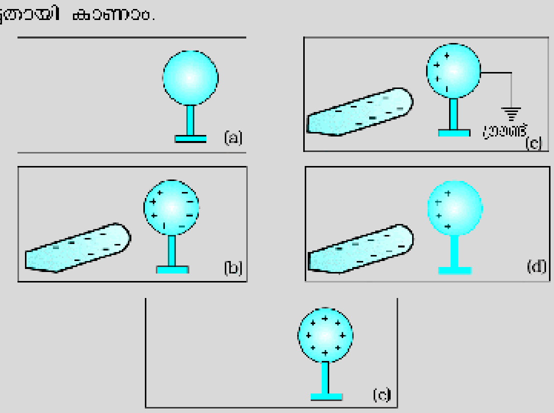
ഈ പ്രക്രിയയിൽ രണ്ടു ലോഹിയഗോളങ്ങളും തുല്യവും വിപരീതവുമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഇതാണ്, 'പ്രേരണം മൂലമുള്ള ചാർജിങ്'. സ്പർശനം മൂലമുള്ള ചാർജിങ്ങിൽ നിന്നു വിഭിന്നമായി ഇവിടെ പോസിറ്റിവ് ചാർജുള്ള ഗ്ലാസ് ദണ്ഡിൽ നിന്ന് ഒരു ചാർജ് പോലും നഷ്ടപ്പെടുന്നില്ല.

വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ട ദണ്ഡുകൾ താരതമ്യേന ഭാരം കുറഞ്ഞ വസ്തുക്കളുടെ സമീപത്തേക്കു വരുമ്പോൾ സമാനമായ പ്രഭാവം തന്നെയാണ് നടക്കുന്നത്. വസ്തുക്കളുടെ ദണ്ഡുകളോടടുത്ത വശങ്ങളിൽ വിപരീത ചാർജുകൾ പ്രേരണം ചെയ്യപ്പെടുകയും സമാന ചാർജുകൾ വസ്തുവിന്റെ അകന്ന വശങ്ങളിലേക്കു ചലിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. (വസ്തു ഒരു ചാലകമല്ലെങ്കിലും ഈ പ്രക്രിയ സംഭവിക്കാം. ഈ പ്രക്രിയയുടെ പ്രവർത്തന വിധം വിഭാഗം 1.10 ലും 2.10 ലും വിശദീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.) രണ്ടു ചാർജുകളുടെയും കേന്ദ്രങ്ങൾ ചെറിയ അകലത്തിലാണ്. വിപരീത ചാർജുകൾ ആകർഷിക്കുകയും സമാന ചാർജുകൾ വികർഷിക്കുകയും ചെയ്യുമെന്നു നമുക്കറിയാം.

ചാർജുകൾക്കിടയിലെ ബലത്തിന്റെ അളവ് ആശ്രയിക്കുന്നത് അവയ്ക്കിടയിലുള്ള ദൂരത്തെയാണ്. ഈ കാരണത്താൽ ആകർഷണബലം വികർഷണബലത്തെ അതിജീവിക്കുന്നു. തദ്ഫലമായി, കടലാസു കഷണങ്ങൾ പോലുള്ള ഭാരം കുറഞ്ഞ വസ്തുക്കൾ, പിത്ത് ബോൾ എന്നിവ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട ദണ്ഡിലേക്ക് ആകർഷിക്കപ്പെടുന്നു.

ഉദാഹരണം 1.1: ഒരു ലോഹഗോളത്തെ സ്പർശിക്കാതെ അതിനെ പോസിറ്റീവ് ആയി ചാർജ് ചെയ്യാൻ നിങ്ങൾക്ക് എങ്ങനെ സാധിക്കും?

ഉത്തരം : ചിത്രം 1.5 (a) യിൽ കാണുന്നത് ഒരു ഇൻസുലേറ്റിങ് സ്റ്റാന്റിൽ ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന, ചാർജ് രഹിതമായ ലോഹഗോളമാണ് ചിത്രം 1.5 (b) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ, ലോഹഗോളത്തിനടുത്തേക്ക് നെഗറ്റീവായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട ഒരു ദണ്ഡ് കൊണ്ടുവരുക. ഗോളത്തിനു വളരെയടുത്ത് ദണ്ഡ് കൊണ്ടുവരുമ്പോൾ, വികർഷണത്താൽ ഗോളത്തിലെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ അകന്നു പോവുകയും ഗോളത്തിന്റെ മറുഭാഗത്ത് അവ കേന്ദ്രീകരിക്കാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ കുറവുമൂലം ദണ്ഡിനു സമീപമുള്ള ഗോളഭാഗം പോസിറ്റീവായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ലോഹത്തിലെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളിലനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ ബലം പൂജ്യമാകുന്നതോടെ, ഈ ചാർജ് വിതരണ പ്രക്രിയ അവസാനിക്കുന്നു. ഒരു ചാലകക്കമ്പി ഉപയോഗിച്ച് ഗോളത്തെ ഭൂമിയുമായി ബന്ധിപ്പിക്കുക. ചിത്രം 1.5 (c)യിൽ കാണുന്നതു പോലെ, ഇലക്ട്രോണുകൾ ഭൂമിയിലേക്ക് ഒഴുകുകയും സമീപവശത്തുള്ള പോസിറ്റീവ് ചാർജുകൾ ദണ്ഡിലെ നെഗറ്റീവ് ചാർജുകളുടെ ആകർഷണത്താൽ അവിടെത്തന്നെ നിലകൊള്ളുകയും ചെയ്യുന്നു. ഭൂമിയുമായുള്ള ഗോളത്തിന്റെ ബന്ധം വിച്ഛേദിക്കുക. പോസിറ്റീവ് ചാർജുകൾ ദണ്ഡിന്റെ സമീപവശത്തുതന്നെ തുടരുന്നു. (ചിത്രം 1.5 (d)). വൈദ്യുതീകരിച്ച ദണ്ഡിനെ നീക്കുക. ചിത്രം 1.5 (e)യിൽ കാണുന്നവിധം ഗോളോപരിതലത്തിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജുകൾ തുല്യമായി വിതരണം ചെയ്യപ്പെട്ടതായി കാണാം.



ചിത്രം 1.5

ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ, ലോഹഗോളം ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നത് പ്രേരണത്തിലൂടെയാണ് ഈ മാർഗത്തിൽ ദണ്ഡിൽനിന്ന് ഒരു ചാർജ് പോലും നഷ്ടപ്പെടുന്നില്ല.

പോസിറ്റീവായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട ദണ്ഡ് സമീപത്തു വയ്ക്കുന്നതു വഴി, സമാന ഘട്ടങ്ങളിലൂടെ ലോഹഗോളത്തിൽ നെഗറ്റീവ് ചാർജ് പ്രേരിതമാക്കാൻ സാധിക്കും. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ ഗോളത്തെയും ഭൂമിയെയും ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന ചാലകക്കമ്പിയിലൂടെ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഭൂമിയിൽനിന്നു ഗോളത്തിലേക്ക് ഒഴുകുന്നു. ഇതെന്തുകൊണ്ടാണെന്നു നിങ്ങൾക്കു വിശദീകരിക്കാമോ?

ഉദാഹരണം 1.1

PHYSICS

Interactive animation on charging a two-sphere system by induction:
http://www.physicsclassroom.com/mmedia/estatics/itsr.cfm

1.5 വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ അടിസ്ഥാന ഗുണങ്ങൾ (Basic properties of electric charges)

പോസിറ്റീവെന്നും നെഗറ്റീവെന്നും രണ്ടു തരം ചാർജുകളുണ്ടെന്നും അവയുടെ പ്രഭാവങ്ങൾ പരസ്പരം നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുന്നുവെന്നും നാം കണ്ടു. വൈദ്യുത ചാർജുകളുടെ മറ്റു ചില പ്രത്യേകതകൾ ഇവിടെ വിവരിച്ചിരിക്കുന്നു.
ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട വസ്തുക്കളുടെ വലുപ്പം അവയ്ക്കിടയിലെ ദൂരവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ വളരെ ചെറുതാണെങ്കിൽ, അത്തരം ചാർജുകളെ പോയിന്റ് ചാർജുകൾ ആയി പരിഗണിക്കുന്നു. ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിൽ ഒരു വസ്തുവിലെ മുഴുവൻ ചാർജുകളും ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നതായി കരുതാം.

1.5.1 ചാർജുകളുടെ സങ്കലനം (Additivity of charges)

വൈദ്യുതചാർജിന് ഇതുവരെ അളവുപരമായ അഥവാ പാരിമാണികമായ ഒരു നിർവചനം നാം നൽകിയിട്ടില്ല. അതു നാം അടുത്ത ഘട്ടത്തിൽ പരിഗണിക്കും. ഒരു വ്യവസ്ഥയിൽ q_1, q_2 എന്നി രണ്ട് പോയിന്റ് ചാർജുകളാണുള്ളതെങ്കിൽ വ്യവസ്ഥയിലെ ആകെ ചാർജ് ലഭിക്കാനായി q_1 ഉം q_2 ഉം ബീജഗണിതപരമായി കൂട്ടിയാൽ മതി. അതായത്, ചാർജുകളെ രേഖീയ സംഖ്യകളെപ്പോലെ സങ്കലനം നടത്താവുന്നതാണ്. ഒരു വ്യൂഹത്തിൽ q_1, q_2 …… q_n എന്നീ n ചാർജുകൾ ഉണ്ടെന്നു കരുതുക. അപ്പോൾ ഈ വ്യൂഹത്തിലെ ആകെ ചാർജ് $q_1 + q_2 + \ldots\ldots - q_n$ ആയിരിക്കും. മാസിനെപ്പോലെ ചാർജിനും അളവു മാത്രമേയുള്ളൂ. ദിശയില്ല. എങ്കിലും, ചാർജും മാസുമായി ഒരു വ്യത്യാസമുണ്ട്. മാസ് എല്ലായ്പ്പോഴും പോസിറ്റീവ് ആണെങ്കിൽ ചാർജ്, പോസിറ്റീവോ നെഗറ്റീവോ ആകാം. വ്യൂഹത്തിലെ ചാർജുകൾ തമ്മിൽ കൂട്ടുമ്പോൾ ഉചിതമായചിഹ്നങ്ങൾ ചേർക്കേണ്ടതാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, ഏതെങ്കിലും യൂണിറ്റ് വ്യവസ്ഥയിൽ +1, +2, –3, 4, –5 എന്നീ അഞ്ചു ചാർജുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒരു ചാർജ് വ്യൂഹത്തിലെ ചാർജുകളുടെ ആകെ മൂല്യം, അതേ യൂണിറ്റിൽ $(+1)+(+2)+(-3)+(+4)+(-5) = -1$ എന്നു ലഭിക്കുന്നതാണ്.

1.5.2 ചാർജുകളുടെ സംരക്ഷണം (Conservation of charges)

വസ്തുക്കൾ ഉരസലിലൂടെ വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെടുമ്പോൾ, ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്ന് അടുത്തതിലേക്ക് ഇലക്ട്രോണുകൾ കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെടുമെന്നും, പുതിയ ചാർജുകൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുകയോ ഉള്ളവ നശിപ്പിക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്യുന്നില്ലെന്നുമുള്ള വസ്തുത നാം നേരത്തേ മനസ്സിലാക്കിയിരുന്നു. ചാർജ് വഹിക്കുന്ന കണങ്ങൾ എന്ന ആശയത്തിലൂടെ ചാർജുകളുടെ സംരക്ഷണത്തെക്കുറിച്ചുള്ള ധാരണയിലേക്ക് നമുക്ക് എത്തിച്ചേരാം. രണ്ടു വസ്തുക്കൾ നാം ഉരസുമ്പോൾ, ഒരു വസ്തുവിനുണ്ടായ ചാർജ് ലാഭമാണ് മറ്റേ വസ്തുവിനുണ്ടായ ചാർജ് നഷ്ടം. ഒട്ടേറെ വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ട വസ്തുക്കൾ ചേർന്ന ഒരു ഒറ്റപ്പെട്ട വ്യവസ്ഥ പരിഗണിക്കുക. വസ്തുക്കൾക്കിടയിലെ പരസ്പര പ്രവർത്തനങ്ങളാൽ ചാർജുകൾ പുനർവിന്യാസം ചെയ്യപ്പെട്ടേക്കാം. എങ്കിലും ഒരു ഒറ്റപ്പെട്ട വ്യവസ്ഥയിലെ ആകെ ചാർജുകൾ എപ്പോഴും സംരക്ഷിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതായി നമുക്കു കാണാം. ചാർജുകളുടെ സംരക്ഷണതത്ത്വം പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ സാധൂകരിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്.

ഒരു പ്രക്രിയ നടക്കുമ്പോൾ ചാർജുവാഹികളായ കണങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുകയോ നശിപ്പിക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്യാമെങ്കിലും, ഏതൊരു ഒറ്റപ്പെട്ട വ്യവസ്ഥയിലെയും ആകെ ചാർജ്മൂല്യം ഒരിക്കലും സൃഷ്ടിക്കുകയോ നശിപ്പിക്കുകയോ സാധ്യമല്ല. ചിലപ്പോഴൊക്കെ പ്രകൃതിതന്നെ ചാർജുകളെ സൃഷ്ടിക്കാറുണ്ട്. ഒരു ന്യൂട്രോൺ ഒരു പ്രോട്ടോണും ഇലക്ട്രോണുമായി മാറുന്നു. ഇത്തരത്തിൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെട്ട പ്രോട്ടോണും ഇലക്ട്രോണും തുല്യവും വിപരീതവുമായ ചാർജുകളാണ്. അതുകൊണ്ട് ഈ പ്രക്രിയയ്ക്ക് മുൻപും പിൻപും വ്യവസ്ഥയിലെ ആകെ ചാർജ് പൂജ്യമായിത്തന്നെ നിലനിൽക്കുന്നു.

1.5.3 ചാർജിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണം (Quantisation of charge)

എല്ലാ സ്വതന്ത്രചാർജുകളും e എന്ന അടിസ്ഥാന ചാർജിന്റെ അവിഭാജ്യ ഗുണിത ങ്ങളാണ് എന്നത് പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ സാധൂകരിക്കപ്പെട്ട വസ്തുതയാണ്. ഒരു വസ്തുവിലെ q എന്ന ചാർജിനെ എല്ലായ്പ്പോഴും ഈ രീതിയിൽ അവതരിപ്പിക്കാം.

$$q = ne$$

ഇവിടെ, n പോസിറ്റീവോ നെഗറ്റീവോ ആയ ഒരു സംഖ്യയാണ്. ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെയോ പ്രോട്ടോണിന്റെയോ ചാർജാണ് അടിസ്ഥാന വൈദ്യുത ചാർജായി പരിഗണിക്കുന്നത്. അടിസ്ഥാനപരമായി ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജ് നെഗറ്റീവ് ആണ്; ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജ് $-e$ എന്നും പ്രോട്ടോണിന്റെ ചാർജ് $+e$ എന്നും എഴുതുന്നു.

വൈദ്യുത ചാർജ്, എപ്പോഴും ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജായ e യുടെ അവിഭാജ്യ ഗുണിതങ്ങളാണെന്ന വസ്തുത ചാർജിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണം എന്നറിയപ്പെടുന്നത്. ഭൗതിക അളവുകൾ ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെടുന്ന ധാരാളം സാഹചര്യങ്ങൾ ഭൗതിക ശാസ്ത്രത്തിലുണ്ട്. ഇംഗ്ലീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ഫാരഡെ കണ്ടെത്തിയ വൈദ്യുത വിശ്ലേഷണ നിയമങ്ങളാണ് ചാർജിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണം എന്ന ആശയം ആദ്യമായി നിർദേശിച്ചത്. 1912 ൽ മില്ലിക്കൻ എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞനാണ് ഈ ആശയം ആദ്യമായി പരീക്ഷണ സഹായത്താൽ സാധൂകരിച്ചത്.

അന്താരാഷ്ട്ര യൂണിറ്റ് വ്യവസ്ഥ (SI) അനുസരിച്ച് ചാർജിന്റെ യൂണിറ്റ് കൂളോം (Coulomb) ആകുന്നു. അതിന്റെ ചിഹ്നം C ആണ്. വൈദ്യുതിയുടെ യൂണിറ്റ് എന്ന രീതിയിൽ കൂളോമിനെ എങ്ങനെ നിർവചിക്കാമെന്നു വിശദമായി പിന്നീട് നമുക്ക് പഠിക്കാം. ഈ ആശയത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ 1 A (ആമ്പിയർ) കറന്റ് (വൈദ്യുതി) വഹിക്കുന്ന കമ്പിയിലൂടെ ഒരു സെക്കന്റിൽ ഒഴുകുന്ന ചാർജിന്റെ അളവാണ് 1 കൂളോം. (ഈ പാഠപുസ്തകത്തിലെ അധ്യായം 2 കാണുക). SI യൂണിറ്റ് വ്യവസ്ഥയിൽ വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ അടിസ്ഥാന അംശമായ e യുടെ വില

$e = 1.602192 \times 10^{-19}$ C ആകുന്നു.

അതിനാൽ, 1C എന്ന ചാർജിൽ ഏകദേശം 6×10^{18} ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകും. ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സിൽ, ഇത്ര വലിയ അളവിലുള്ള ചാർജുകൾ നാം അഭിമുഖീകരിക്കാറില്ല. അതിനാൽ ചെറു യൂണിറ്റുകളായ 1 μC (മൈക്രോ കൂളോം, 10^{-6} C) അല്ലെങ്കിൽ 1 mC (മില്ലി കൂളോം, 10^{-3}C) ആണ് നാം സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്നത്.

പ്രോട്ടോണുകളും ഇലക്ട്രോണുകളും മാത്രമാണ് പ്രപഞ്ചത്തിലെ അടിസ്ഥാന ചാർജുകളെങ്കിൽ, എല്ലാ ചാർജുകളും e യുടെ അവിഭാജ്യ ഗുണിതങ്ങളാകണം. അങ്ങനെ ഒരു വസ്തുവിൽ n_1 ഇലക്ട്രോണുകളും n_2 പ്രോട്ടോണുകളുമുണ്ടെങ്കിൽ ആ വസ്തുവിലെ ചാർജിന്റെ ആകെ മൂല്യം $n_2(e) + n_1(-e) = (n_2 - n_1)\,e$. ഇവിടെ n_1 ഉം n_2 ഉം പൂർണസംഖ്യകളായതുകൊണ്ട് അവയുടെ വ്യത്യാസവും പൂർണസംഖ്യയായിരിക്കും. തന്മൂലം ഒരു വസ്തുവിലെ ചാർജുകളുടെ ആകെ മൂല്യം e യുടെ പൂർണ സംഖ്യാ ഗുണിതങ്ങളായിരിക്കും. മാത്രമല്ല, e യുടെ ഗുണിതങ്ങളായി മാത്രമേ വസ്തുവിൽ നിന്നു ചാർജുകൾ നീക്കം ചെയ്യാനോ കൂട്ടിച്ചേർക്കാനോ സാധിക്കുകയുള്ളൂ.

സ്ഥൂലതലത്തിൽ നാം പരിഗണിക്കുന്ന ചാർജുകൾ പലപ്പോഴും ഏതാനും മൈക്രോ കൂളോം പരിധിയിലുള്ളതായതിനാൽ e എന്ന അടിസ്ഥാന ചാർജിന്റെ അളവ് വളരെ ചെറുതായിരിക്കും. ഇതിനാൽ, അളവിൽ ഒരു വസ്തുവിലേക്ക് ചാർജുകൾ ചേർക്കുകയോ ഒഴിവാക്കുകയോ ചെയ്യുമ്പോൾ e യുടെ ഗുണിതസ്വഭാവം അത്ര പ്രകടമായിരിക്കില്ല. അതിനാൽ ചാർജിന്റെ കണികാസ്വഭാവം നഷ്ടമാവുകയും അതിന്റെ തുടർസ്വഭാവം (continuous nature) കൂടുതൽ വ്യക്തമാവുകയും ചെയ്യും.

ജ്യാമിതീയ ആശയങ്ങളായ ബിന്ദുക്കളും രേഖകളുമായി ഈ വസ്തുതയെ താരതമ്യപ്പെടുത്താം. ദൂരെ നിന്നു നോക്കുമ്പോൾ ഏറെ കുത്തുകളിട്ട ഒരു വര (dotted

line) അവിച്ഛിന്നമായി കാണപ്പെടുന്നുണ്ടെങ്കിലും യഥാർഥത്തിൽ അനേകം രേഖാ ഖണ്ഡങ്ങളാലോ ബിന്ദുക്കളാലോ നിർമിതമാണെന്നു നമുക്കറിയാം. ഇതുപോലെ ചെറു ചാർജുകൾ ഒന്നുചേരുമ്പോൾ ആ വിന്യാസം ഒരു തുടർ ചാർജ് വിതരണമായി നമുക്കു തോന്നും.

സാധാരണയായി, നമുക്ക് പരിഗണിക്കേണ്ടിവരുന്ന ചാർജിന്റെ അളവ് *e* യുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ വളരെ ഭീമമായിരിക്കും. $e = 1.602192 \times 10^{-19}$ C ആയതിനാൽ, 1 μC പോലുള്ള ചാർജുകളിൽ ഏകദേശം 10^{13} ഇലക്ട്രോണിക് ചാർജ് (*e*) ഉണ്ടായിരിക്കും. ഇതു വളരെ വലിയ ഒരു സംഖ്യയാണല്ലോ. അതിനാൽ ചാർജിന്റെ വില കൂടുന്നതും കുറയുന്നതും *e* യുടെ ഗുണിതങ്ങളായാണെന്ന വസ്തുത ചാർജിനു തുടർച്ചയായ വിലകൾ സ്വീകരിക്കാമെന്നുള്ളതിൽ നിന്നു വ്യത്യസ്തമല്ല. തന്മൂലം സ്ഥൂലതലത്തിൽ ചാർജുകളുടെ ക്വാണ്ടീകരണം എന്ന ആശയത്തിന് പ്രായോഗികത തുലോം കുറവാണ് . അതുകൊണ്ടുതന്നെ അത് അവഗണിക്കാവുന്നതുമാണ്. മറിച്ച്, പ്രായോഗികതലത്തിൽ ഒരു വ്യവസ്ഥയിലെ ചാർജുകളുടെ എണ്ണം എണ്ണിത്തിട്ടപ്പെടുത്താവുന്ന (*e* യുടെ പത്തോ നൂറോ മടങ്ങ്) തരത്തിൽ ചെറുകൂട്ടങ്ങൾ ആകുന്ന സന്ദർഭങ്ങളിൽ ചാർജുകളുടെ ക്വാണ്ടീകരണം അവഗണിക്കാനാവില്ല. അതായത്, പ്രായോഗികതലത്തിൽ ക്വാണ്ടീകരണത്തെ സാധൂകരിക്കുന്ന ഏറ്റവും പ്രധാനപ്പെട്ട കാര്യം വ്യവസ്ഥയിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ചാർജുകളുടെ അളവുതന്നെയാണ്.

ഉദാഹരണം 1.2

ഉദാഹരണം 1.2 : ഒരു വസ്തുവിൽനിന്ന് മറ്റൊന്നിലേക്ക് സെക്കന്റിൽ 10^{9} എന്ന നിരക്കിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഒഴുകുന്നു. ചാർജ് നേടുന്ന വസ്തുവിൽ 1 C ചാർജ് നേടാൻ ആവശ്യമായ സമയമെത്ര?

ഉത്തരം : ഒരു സെക്കന്റിൽ 10^{9} ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറത്തേക്കു പോകുന്നു. അതുകൊണ്ട്, ഒരു സെക്കന്റിൽ വസ്തു പുറത്തേക്ക് നൽകുന്ന ചാർജ് $1.6 \times 10^{-19} \times 10^{9}$ C ആണ്. 1C ചാർജ് സംഭരിക്കാനാവശ്യമായ സമയം $1C \div (1.6 \times 10^{-10}\ C/s) = 6.25 \times 10^{9}\ s = 6.25 \times 10^{9}\ s \div (365 \times 24 \times 3600) = 198$ വർഷങ്ങൾ. ഒരു സെക്കന്റിൽ 10^{9} ഇലക്ട്രോണുകൾ എന്ന നിരക്കിൽ ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നും മറ്റൊന്നിലേക്ക് ചാർജ് ഒഴുകുകയാണെങ്കിൽ ആ വസ്തുവിൽ 1C ചാർജ് നേടിയെടുക്കാനെടുക്കുന്ന സമയം ഏകദേശം 200 വർഷങ്ങളാണ്. അതുകൊണ്ടു തന്നെ, ഒരു കൂളോം എന്നത് പല പ്രായോഗിക ആവശ്യങ്ങൾക്കും ഉപയോഗിക്കുന്ന വലിയ യൂണിറ്റാണ്.

ഒരു ക്യൂബിക് സെന്റിമീറ്റർ പദാർഥത്തിൽ ഏകദേശം എത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ കാണുമെന്ന് നിങ്ങൾക്ക് ഊഹിക്കാമോ? വശം 1cm ഉള്ള ഒരു ചെമ്പ് സമചതുരക്കട്ട ഏകദേശം 2.5×10^{24} ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നു.

ഉദാഹരണം 1.3

ഉദാഹരണം 1.3 : ഒരു കപ്പ് ജലത്തിൽ എത്രമാത്രം പോസിറ്റീവ് ചാർജും നെഗറ്റീവ് ചാർജും ഉണ്ടാകും?

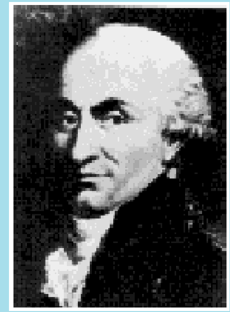
ഉത്തരം : ഒരു കപ്പ് വെള്ളത്തിന്റെ മാസ് 250 g എന്ന് നമുക്ക് അനുമാനിക്കാം. വെള്ളത്തിന്റെ തന്മാത്ര മാസ് 18g അതുകൊണ്ട്, ഒരു മോൾ (6.023×10^{23} തന്മാത്രകൾ) ജലം 18 g ആണ്. അതിനാൽ, ഒരു കപ്പ് ജലത്തിലെ തന്മാത്രകളുടെ എണ്ണം $(250/18) \times 6.023 \times 10^{23}$ ആകുന്നു. രണ്ടു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റവും ഒരു ഓക്സിജൻ ആറ്റവും ചേർന്നതാണ് ഓരോ ജലതന്മാത്രയും. അതായത് 10 ഇലക്ട്രോണുകളും 10 പ്രോട്ടോണുകളും. അതുകൊണ്ട് ആകെ പോസിറ്റീവ് ചാർജിന്റെയും നെഗറ്റീവ് ചാർജിന്റെയും അളവ് തുല്യമായിരിക്കും. പോസിറ്റീവ്/ നെഗറ്റീവ് ചാർജുകളുടെ പരിമാണം $(250/18 \times 6.023 \times 10^{23} \times 10 \times 1.6 \times 10^{-19}\ C) = 1.34 \times 10^{7}$ C ആകുന്നു.

1.6 കൂളോം നിയമം (Coulomb's Law)

രണ്ട് പോയിന്റ് ചാർജുകൾക്കിടയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലത്തിന്റെ അളവു നൽകുന്ന പ്രസ്താവനയാണ് കൂളോം നിയമം. ചാർജുള്ള വസ്തുക്കളുടെ വലുപ്പം അവയ്ക്കിടയിലുള്ള ദൂരവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ വളരെ ചെറുതാണെങ്കിൽ അവയുടെ വലുപ്പം നമുക്ക് അവഗണിക്കാം. മാത്രമല്ല, ഈ വസ്തുക്കളെ പോയിന്റ് ചാർജുകൾ ആയി പരിഗണിക്കുകയുമാവാം. രണ്ട് പോയിന്റ് ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള ബലം അവയ്ക്കിടയിലുള്ള ദൂരത്തിന്റെ വർഗത്തിനു വിപരീതാനുപാതത്തിലും അവയുടെ അളവുകളുടെ ഗുണനഫലത്തിനു നേർഅനുപാതത്തിലുമായിരിക്കുമെന്ന് ഫ്രഞ്ച് ഭൗതിക ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ചാൾസ് അഗസ്റ്റിൻ ദെ കൂളോം കണ്ടെത്തി. ഇപ്രകാരം ശൂന്യതയിൽ q_1, q_2 എന്നീ രണ്ടു പോയിന്റ് ചാർജുകൾ r ദൂരത്തിൽ അകന്നു നിൽക്കുകയാണെങ്കിൽ അവയ്ക്കിടയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലത്തിന്റെ അളവ്,

$$F = k\ \frac{|q_1\ q_2|}{r^2} \qquad (1.1)$$

കൂളോം തന്റെ പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ എങ്ങനെ ഈ നിയമത്തിലേക്ക് എത്തിച്ചേർന്നുവെന്ന് നോക്കാം. ചാർജു ചെയ്യപ്പെട്ട രണ്ടു ലോഹഗോളങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ബലം അളക്കാനായി അദ്ദേഹം ടോർഷൻ ബാലൻസ്* എന്ന ഉപകരണമാണ് ഉപയോഗിച്ചത്. രണ്ടു ഗോളങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ദൂരം ഓരോ ഗോളത്തിന്റെയും ആരത്തേക്കാൾ വളരെ വലുതെങ്കിൽ, വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ട ഇരുഗോളങ്ങളെയും പോയിന്റ് ചാർജുകൾ ആയി കണക്കാക്കാം. എന്നാൽ ലോഹഗോളങ്ങളിലെ ചാർജുകളുടെ അളവ് കൃത്യമായി അറിയാനുള്ള മാർഗമൊന്നും അന്ന് ലഭ്യമായിരുന്നില്ല. കൂളോം തികച്ചും ബുദ്ധിപരമായ സമീപനത്തിലൂടെ ഈ പ്രതിസന്ധി മറികടന്നു. ഇതിനായി അവലംബിച്ച മാർഗം ചുവടെ ചേർക്കുന്നു. ഒരു ലോഹഗോളത്തിലെ ചാർജ് q ആണെന്നു കരുതുക. ഈ ഗോളത്തെ ചാർജ് ചെയ്യാത്ത സമാനമായ മറ്റൊരു ഗോളവുമായി ചേർത്തുവയ്ക്കുമ്പോൾ, രണ്ടാമത്തെ ഗോളത്തിലേക്ക് ചാർജ് വ്യാപിക്കുന്നു. സമമിതി മൂലം ഓരോ ഗോളത്തിലെയും ചാർജ് $q/2$** ആയിരിക്കും. ഈ പ്രക്രിയ ആവർത്തിച്ച് ഗോളങ്ങളിൽ $q/2$, $q/4$ എന്നീ ചാർജുകൾ ഉണ്ടാക്കാം. കൂളോം, ഒരു നിശ്ചിത ജോടി ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള അകലം വ്യത്യാസപ്പെടുത്തുകയും വ്യത്യസ്ത അകലങ്ങളിൽ അവയ്ക്കിടയിലുള്ള ബലങ്ങൾ അളക്കുകയും ചെയ്തു. കൂടാതെ, ഒരേ അകലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന വ്യത്യസ്ത ചാർജുകൾക്കിടയിലനുഭവപ്പെടുന്ന ബലവും അദ്ദേഹം കണ്ടെത്തി. ഇതുവഴി, വ്യത്യസ്ത അകലങ്ങളിലുള്ള വ്യത്യസ്ത ജോടി ചാർജുകൾക്കിടയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലങ്ങളെ താരതമ്യം ചെയ്തുകൊണ്ട്, കൂളോം (1.1) എന്ന സമവാക്യത്തിലെത്തിച്ചേർന്നു.



ചാൾസ് അഗസ്റ്റിൻ ദെ കൂളോം (Charles Augustin de Coulomb (1736 - 1806)

ഫ്രഞ്ച് ഭൗതിക ശാസ്ത്രജ്ഞനായിരുന്ന കൂളോം തന്റെ ഔദ്യോഗിക ജീവിതം ആരംഭിക്കുന്നത് വെസ്റ്റ് ഇൻഡീസിൽ ഒരു മിലിട്ടറി എഞ്ചിനീയറായാണ്. 1776ൽ അദ്ദേഹം പാരീസിൽ തിരിച്ചെത്തുകയും ശാസ്ത്ര ഗവേഷണം തുടരുന്നതിനായി തന്റെ ചെറിയ തോട്ടത്തിൽ താമസം ആരംഭിക്കുകയും ചെയ്തു. ബലം അളക്കാനായി ഒരു ടോർഷൻ ബാലൻസ് നിർമിക്കുകയും അതുപയോഗിച്ച് അദ്ദേഹം ചാർജു ചെയ്യപ്പെട്ട ഗോളങ്ങൾക്കിടയിലെ വൈദ്യുത ആകർഷണ വികർഷണ ബലങ്ങൾ കണ്ടെത്തുകയും ചെയ്തു. അങ്ങനെ, 1785ൽ കൂളോം നിയമമെന്നറിയപ്പെടുന്ന തന്റെ പ്രശസ്തമായ വിപരീത വർഗ സമീകരണത്തിലെത്തിച്ചേർന്നു. പ്രീസ്റ്റ്ലി, കാവൻഡിഷ് എന്നിവർ ഈ നിയമം മുൻകൂട്ടി നിരൂപണം ചെയ്തിരുന്നെങ്കിലും തന്റെ ഗവേഷണ ഫലങ്ങൾ പ്രസിദ്ധീകരിക്കാൻ കാവൻഡിഷ് തയ്യാറായിരുന്നില്ല. കാന്തിക ധ്രുവങ്ങൾക്കിടയിലെ ബലവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട വിപരീത വർഗ നിയമം കണ്ടെത്താനും കൂളോമിനു സാധിച്ചു.

ചാൾസ് അഗസ്റ്റിൻ ദെ കൂളോം (1736 – 1806)

* ബലം അളക്കാനുള്ള സംവേദനക്ഷമമായ ഒരു ഉപകരണമാണ് ടോർഷൻ ബാലൻസ്. രണ്ടു വസ്തുക്കൾക്കിടയിലെ അതി ദുർബലമായ ഗുരുത്വാകർഷണബലത്തെ കണ്ടെത്താനായി കാവൻഡിഷും ഇത് ഉപയോഗിച്ചിരുന്നു. അതുവഴി അദ്ദേഹം ന്യൂട്ടന്റെ ഗുരുത്വാകർഷണനിയമങ്ങൾ സാധൂകരിച്ചു.

** ചാർജുകളുടെ സംരക്ഷണം, സമമിതി എന്നീ അനുമാനങ്ങളാണ് ഇതിൽ അന്തർലീനമായിട്ടുള്ളത്. $q/2$ വീതമുള്ള രണ്ടു ചാർജുകൾ കൂട്ടിച്ചേരുമ്പോൾ ആകെ ചാർജ് q ലഭിക്കുന്നു.

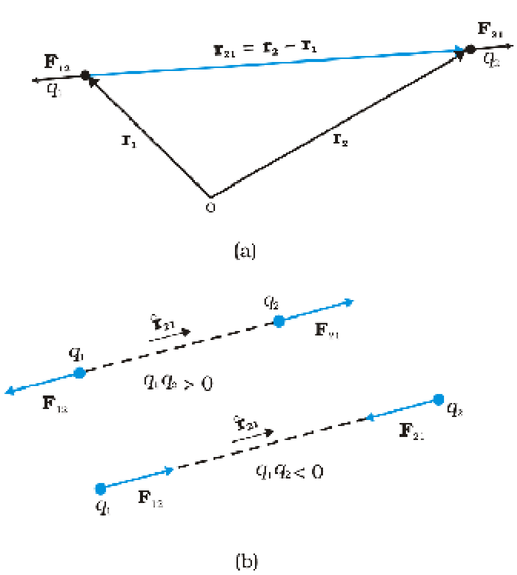
ആദ്യപരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ സ്ഥൂലതലത്തിലാണ് ഈ നിയമം ആവിഷ്കരിക്കപ്പെട്ടതെങ്കിലും പിന്നീട് സബ്-ആറ്റോമിക തലത്തിലും ഈ നിയമം കൃത്യതയോടെ ഉപയോഗിക്കാൻ സാധിച്ചു. ചാർജുകളുടെ യഥാർഥ അളവ് അറിയാതെയാണ് കൂളോം തന്റെ നിയമം ആവിഷ്കരിച്ചത് എങ്കിലും ഇന്നിത് ചാർജിനെ നിർവചിക്കാനായി വ്യാപകമായി ഉപയോഗിക്കുന്നു. സമവാക്യം (1.1) എന്ന സമീകരണത്തിൽ k എന്നത് ഒരു പരിധിവരെ ഐച്ഛികമാണ് (arbitrary). k യ്ക്ക് ഏതൊരു പോസിറ്റീവ് വിലയും സ്വീകരിക്കാം. k യുടെ മൂല്യം നിർണയിക്കുന്നത് ചാർജ് അളക്കുന്ന യൂണിറ്റിന്റെ സ്വഭാവമനുസരിച്ചാണ്. SI യൂണിറ്റ് വ്യവസ്ഥയിൽ k യുടെ വില ഏകദേശം $9\mathrm{x}10^9$ ആണ്. k യുടെ ഈ മൂല്യത്തിലൂടെ നിർവചിക്കുന്ന ചാർജിന്റെ യൂണിറ്റാണ് ഒരു കൂളോം. മുമ്പ് സെഷൻ (1.4) ൽ നാം നിർവചിച്ച അതേ യൂണിറ്റ് തന്നെയാണിത്. സമവാക്യം **1.1.** ൽ, k യുടെ മൂല്യം ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ

$q_1 = q_2 = 1C$ ഉം . $r = 1m$ ഉം ആകുമ്പോൾ $F = 9\,\mathrm{x}10^9\,N$ ആകുന്നു.

ശൂന്യതയിൽ, 1 മീറ്റർ അകലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന രണ്ടു തുല്യ ചാർജുകൾക്കിടയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത-വികർഷണബലം, $F=9\mathrm{x}10^9N$ ആണെങ്കിൽ ഓരോ ചാർജിന്റെയും അളവ് 1 കൂളോം ആയിരിക്കും. 1 കൂളോം എന്നത് ചാർജിന്റെ വളരെ വലിയ ഒരു യൂണിറ്റാണ് . അതുകൊണ്ട് ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സിൽ 1mC, 1μC എന്നീ ചെറു യൂണിറ്റുകളാണ് പ്രായോഗിക തലത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നത്.

സമവാക്യം 1.1 ലെ k എന്ന സ്ഥിരാങ്കം $k = 1/4\pi\varepsilon_0$ എന്നെഴുതാറുണ്ട്. ഇപ്രകാരം കൂളോം നിയമം താഴെപ്പറയുന്ന വിധത്തിൽ എഴുതാം.

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\;\frac{|q_1\,q_2|}{r^2}$$



ചിത്രം 1.6 ചാർജുകൾക്കിടയിലെ (a) ജ്യാമിതിയും (b) അവയ്ക്കിടയിലെ ബലങ്ങളും

ε_0 എന്നത് ശൂന്യതയിലെ പെർമിറ്റിവിറ്റി ആകുന്നു. SI യൂണിറ്റ് വ്യവസ്ഥയിൽ ε_0 യുടെ മൂല്യം $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ $C^2\,N^{-1}m^{-2}$. ബലം ഒരു സദിശമായതിനാൽ, കൂളോം നിയമം ഒരു സദിശസമവാക്യമായി എഴുതുന്നതാണുത്തമം. q_1, q_2 എന്നീ ചാർജുകളുടെ സ്ഥാനസദിശങ്ങൾ യഥാക്രമം $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$ എന്നിവയാണെന്നു സങ്കൽപ്പിക്കുക. (ചിത്രം 1.6 (a) കാണുക). q_2 മൂലം q_1 ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലത്തെ $\mathbf{F}_{12}$ എന്നും q_1 മൂലം q_2 ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലത്തെ $\mathbf{F}_{21}$ എന്നും വിളിക്കുന്നു. q_1, q_2 എന്നീ രണ്ടു ചാർജുകളെയും സൗകര്യാർഥം 1, 2 എന്ന ക്രമത്തിൽ രേഖപ്പെടുത്തിയാൽ, 1 ൽ നിന്ന് 2 ലേക്കുള്ള സദിശത്തെ $\mathbf{r}_{21}$ എന്നു രേഖപ്പെടുത്താനാവും. അതായത്,

$$\mathbf{r}_{21} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

ഇതിനു സമാനമായി 2 ൽ നിന്ന് 1 ലേക്കു നയിക്കുന്ന സദിശമാണ് $\mathbf{r}_{12}$:

$$\mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2 = -\,\mathbf{r}_{21}$$

$\mathbf{r}_{12}$, $\mathbf{r}_{21}$ ഇവയുടെ അളവ് യഥാക്രമം r_{12}, r_{21} എന്നിവയാകുന്നു. $(r_{12} = r_{21})$ അതായത്, സദിശങ്ങളുടെ ദിശ ഏകക സദിശങ്ങളുടെ ദിശയിലായിരിക്കും. 1 ൽ നിന്നു 2 ലേക്കുള്ള ഏകക സദിശത്തെ (2 ൽ നിന്ന് 1 ലേക്കോ) ഈ രീതിയിൽ നിർവചിക്കാം.

$$\hat{r}_{21} = \frac{\mathbf{r}_{21}}{r_{21}}, \hat{r}_{12} = \frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}}. \hat{\mathbf{r}}_{21} = -\hat{\mathbf{r}}_{12}$$

r_1, r_2 എന്നി സ്ഥാനങ്ങളിലുള്ള q_1, q_2 എന്നീ പോയിന്റ് ചാർജുകൾക്കിടയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം കൂളോം നിയമം ഉപയോഗിച്ച് താഴെ പറയുന്ന രീതിയിൽ രേഖപ്പെടുത്താം.

$$F_{21} - \frac{1}{4\mu\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{21}^2}\hat{r}_{21} \qquad (1.3)$$

സമവാക്യം (1.3) നെപ്പറ്റിയുള്ള ചില പ്രസക്തമായ കുറിപ്പുകൾ:

- q_1, q_2 ഇവയുടെ ചിഹ്നം പോസിറ്റീവായാലും നെഗറ്റീവായാലും സമവാക്യം (1.3) പ്രസക്തമായിരിക്കും. q_1, q_2 ഇവയ്ക്ക് ഒരേ ചിഹ്നമാണെങ്കിൽ (രണ്ടും പോസിറ്റീവ്, അല്ലെങ്കിൽ രണ്ടും നെഗറ്റീവ്). $\mathbf{F}_{21}$ അനുഭവപ്പെടുന്നത് $\mathbf{r}_{21}$ ലൂടെയായിരിക്കും. സജാതീയ ചാർജുകൾക്കിടയിലനുഭവപ്പെടുന്നതു പോലൊരു വികർഷണബലമായിട്ടാണ് $\mathbf{F}_{21}$ ഉം അനുഭവപ്പെടുന്നത്. q_1 നും q_2 നും വിപരീത ചിഹ്നങ്ങളെങ്കിൽ, $\mathbf{F}_{21}$ അനുഭവപ്പെടുന്നത് $\hat{\mathbf{r}}_{21} = (\hat{\mathbf{r}}_{12})$ സദിശത്തിലായിരിക്കും. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത് വിജാതീയ ചാർജുകളുടെ സ്വഭാവമായ ആകർഷണത്തെയും. അങ്ങനെ, സമാനവും വിപരീത വുമായ ചാർജുകൾക്കായി വെവ്വേറെ സമവാക്യങ്ങൾ എഴുതേണ്ട ആവശ്യമില്ല. ഈ രണ്ടു സാഹചര്യങ്ങളെയും സമവാക്യം (1.3) കൃത്യമായി വിശദീകരിക്കുന്നു. (ചിത്രം 1.6 (b)).
- സമവാക്യം (1.3) ലെ 1 ഉം 2 ഉം പരസ്പരം മാറ്റുക വഴി q_1 എന്ന ചാർജിൽ q_2 മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമായ $\mathbf{F}_{12}$.

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}} r_{12} = -F_{21}$$ എന്നെഴുതാം.

അങ്ങനെ, കൂളോം നിയമം ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമം കൃത്യമായും പാലിക്കുന്നു.

- ശൂന്യതയിൽ q_1. q_2 എന്നി രണ്ട് ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള ബലം കൂളോം നിയമത്തിലൂടെ മനസ്സിലാക്കാം (സമവാക്യം 1.3). എന്നാൽ ഈ രണ്ടു ചാർജുകളും ഏതെങ്കിലും ദ്രവ്യത്തിലാണെങ്കിലോ ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള ഭാഗത്ത് ദ്രവ്യത്തിന്റെ സാന്നിധ്യമുണ്ടാവുകയോ ചെയ്താൽ കൂളോം നിയമം അൽപ്പം സങ്കീർണമാകുന്നതായി കാണാം. ദ്രവ്യത്തിലെ ചാർജ് വാഹികളായ ഘടകങ്ങളുടെ സാന്നിധ്യമാണ് ഈ സങ്കീർണതയ്ക്കു കാരണം. ദ്രവ്യത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിലുള്ള ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സ് നാം അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ പരിഗണിക്കും.

ഉദാഹരണം 1.4

ഉദാഹരണം 1.4: രണ്ടു പോയിന്റ് ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള സ്ഥിത-വൈദ്യുത ബലത്തിനായുള്ള കൂളോംനിയമത്തിനും രണ്ടു പോയിന്റ് മാസുകൾക്കിടയിലുള്ള ബലത്തിനായുള്ള ന്യൂട്ടന്റെ നിയമത്തിനും ചാർജുകൾ/ മാസുകൾക്കിടയിലുള്ള ദൂരവുമായി വിപരീത- വർഗാശ്രിതത്വമാണുള്ളത്.

(a) അളവുകളുടെ അനുപാതം നിർണയിച്ച് ബലങ്ങളുടെ ശക്തി താരതമ്യം ചെയ്യുക.

(i) പ്രോട്ടോണും ഇലക്ട്രോണും തമ്മിൽ

(ii) രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകൾ തമ്മിൽ

(b) 1A° ($=10^{-10}$m) അകലത്തിലുള്ള ഒരു പ്രോട്ടോണും ഇലക്ട്രോണും തമ്മിലുള്ള വൈദ്യുത ആകർഷണബലത്താൽ അവയിലുളവാകുന്ന ത്വരണമെത്ര? ($m_p = 1.67 \times 10^{-27}$kg, $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$kg)

ഉദാഹരണം 1.4

ഉത്തരം:

(a) (i) r ദൂരത്തിലുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോണിനും പ്രോട്ടോണിനും ഇടയിലുള്ള വൈദ്യുതബലം

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$$

ഇവിടെ നെഗറ്റീവ് ചിഹ്നം സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ഈ ബലം ആകർഷണ സ്വഭാവമുള്ളതാണെന്നാണ്. എന്നാൽ ഈ കണങ്ങൾക്കിടയിൽ സദാ ആകർഷണ സ്വഭാവമുള്ള ഗുരുത്വാകർഷണബലം

$$F_G \quad -G\,\frac{m_p \; m_e}{r^2}$$

ഇവിടെ m_p എന്നത് പ്രോട്ടോണിന്റെ മാസും m_e എന്നത് ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസും ആകുന്നു.

$$\left|\frac{F_e}{F_G}\right| = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 G m_p m_e} = 2.4\times10^{39}$$

(ii) സമാനരീതിയിൽ r ദൂരം അകലത്തിൽ നിൽക്കുന്ന രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകൾക്കിടയിലെ വൈദ്യുതബലത്തിന്റെയും ഗുരുത്വബലത്തിന്റെയും അളവുകളുടെ അനുപാതം

$$\left|\frac{F_e}{F_G}\right| \quad \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 G m_p m_p} \quad 1.3\times10^{36}$$

ഈ രണ്ടു ബലങ്ങളുടെയും ചിഹ്നങ്ങൾ വ്യത്യസ്തങ്ങളാണെന്ന് ഇവിടെ പ്രസ്താവിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകൾക്കിടയിലുള്ള ഗുരുത്വബലം ആകർഷണസ്വഭാവവും കൂളോം വൈദ്യുതബലം വികർഷണ സ്വഭാവമുള്ളതുമാണ്. ന്യൂക്ലിയസിനകത്തുള്ള രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകൾക്കിടയിലുള്ള (ന്യൂക്ലിയസിനുള്ളിൽ രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകൾക്കിടയിലെ ഏകദേശ അകലം 10^{-15} ആണ്). ഈ ബലങ്ങളുടെ യഥാർഥ അളവ്, Fe ~ 230 N ഉം Fg ~ 1.9×10^{-34} N ഉം ആകുന്നു.

വൈദ്യുതബലങ്ങൾ ഗുരുത്വബലങ്ങളെക്കാൾ അതിഭീമമായ അളവിൽ ശക്തമാണെന്നാണ് ഈ അനുപാതം സൂചിപ്പിക്കുന്നത്.

(b) ഒരു പ്രോട്ടോൺ ഇലക്ട്രോണിൽ ചെലുത്തുന്നതും ഒരു ഇലക്ട്രോൺ പ്രോട്ടോണിൽ ചെലുത്തുന്നതുമായ വൈദ്യുത ബലങ്ങൾക്ക് ഒരേ അളവാണുള്ളത്. എന്നാലും ഇലക്ട്രോണിന്റെയും പ്രോട്ടോണിന്റെയും മാസുകൾ വ്യത്യസ്തമാണ്. അങ്ങനെയെങ്കിൽ ബലത്തിന്റെ അളവ്

$$|\mathbf{F}| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = 8.987\times10^{9}\,\mathrm{Nm^2/C^2}\times(1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C})^2/(10^{-10}\,\mathrm{m})^2$$

$$= 2.3\times10^{-8}\,\mathrm{N}$$

F = ma, എന്ന ന്യൂട്ടന്റെ രണ്ടാം ചലനനിയമമനുസരിച്ച് ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് അനുഭവവേദ്യമായ ത്വരണം.

$$a = 2.3\times10^{-8}\,\mathrm{N}/9.11 \quad 10^{-31}\,\mathrm{kg} = 2.5 \quad 10^{22}\,\mathrm{m/s^2}$$

ഇതിനെ ഭൂഗുരുത്വാകർഷണ ത്വരണവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുകയാണെങ്കിൽ, ഗുരുത്വാകർഷണമണ്ഡലത്തിന്റെ സ്വാധീനം ചലിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളിൽ അവഗണിക്കത്തക്ക വിധം ചെറുതാണെന്നും ഒരു പ്രോട്ടോൺ മൂലം ഇലക്ട്രോണിലനുഭവപ്പെടുന്ന കൂളോം ബലം അതിൽ വലിയ ത്വരണങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്നുവെന്നും നമുക്ക് അനുമാനിക്കാവുന്നതാണ്.

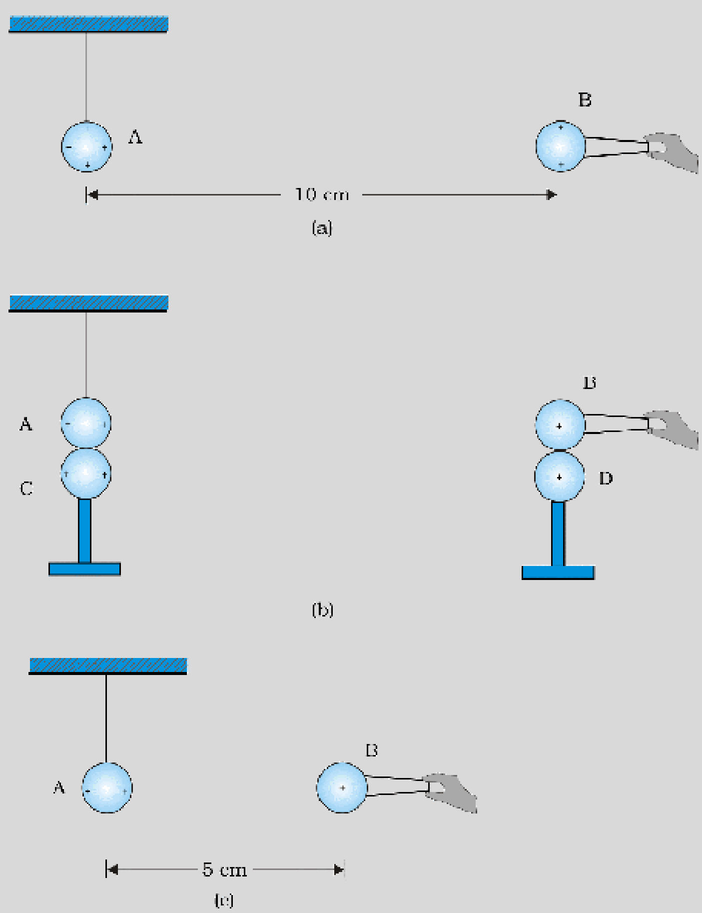
ഒരു പ്രോട്ടോണിനു അനുഭവവേദ്യമായ ത്വരണം.

$$2.3 \quad 10^{-8}\,\mathrm{N}/1.67 \quad 10^{-27}\,\mathrm{Kg} = 1.4\times10^{19}\,\mathrm{m/s^2}$$

Interactive animation on Coulomb's law:
http://webphysics.davidson.edu/physlet_resources/bu_semester2/menu_semester2.html

PHYSICS

ഉദാഹരണം 1.5 : ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട A എന്ന ലോഹഗോളത്തെ ഒരു നൈലോൺ നൂലുപയോഗിച്ച് തൂക്കിയിട്ടിരിക്കുന്നു. ചിത്രം 1.7(a) യിൽ കാണുന്നതു പോലെ, അചാലകമായ ഒരു കൈപ്പിടിയുടെ സഹായത്താൽ, ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട B എന്ന ലോഹഗോളം A യുടെ സമീപത്തേക്ക് കൊണ്ടുവരുന്നു. A യുടെയും B യുടെയും കേന്ദ്രങ്ങൾക്കിടയിലെ ദൂരം 10cm ആകുന്നതു വരെ അടുപ്പിക്കുന്നു. തത്ഫലമായി A യിലുണ്ടാകുന്ന വികർഷണം അളക്കുന്നു. (ഉദാഹരണത്തിന്, ഗോളത്തിലേക്ക് ഒരു പ്രകാശരശ്മി പതിപ്പിക്കുമ്പോഴുള്ള നിഴൽ ഒരു സ്ക്രീനിൽ പതിക്കുന്നു. വികർഷണസമയത്ത് ഈ നിഴലിലുണ്ടാകുന്ന സ്ഥാനമാറ്റം നിർണയിക്കുന്നു). ചിത്രം 1.7 b യിൽ കാണുന്നതു പോലെ A യും B യും യഥാക്രമം C, D എന്നീ ചാർജില്ലാത്ത ഗോളങ്ങളുമായി സ്പർശിക്കുന്നു. ശേഷം C യും D യും മാറ്റുകയും ചിത്രം 1.7(c) യിൽ കാണുന്ന വിധത്തിൽ A യുടെയും B യുടെയും കേന്ദ്രങ്ങൾ 5 cm അകലത്തിലാകുന്ന വിധത്തിൽ കൂടുതൽ അടുപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. കൂളോം നിയമത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഗോളം A യിൽ നാം പ്രതീക്ഷിക്കുന്ന വികർഷണബലമെത്ര? A, C എന്നീ ഗോളങ്ങൾക്കും B, D എന്നീ ഗോളങ്ങൾക്കും സമാന വലുപ്പമാണുള്ളത്. A യുടെയും B യുടെയും കേന്ദ്രങ്ങളുടെ അകലവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ ഓരോന്നിന്റെയും വലുപ്പം ഒഴിവാക്കാവുന്നതാണ്.



ചിത്രം 1.7

ഉദാഹരണം 1.5

ഉത്തരം :

ഗോളം A യിലെ ആദ്യചാർജ് q ഉം ഗോളം B യിലേത് q' ഉം ആണെന്നിരിക്കട്ടെ, ഇരുഗോളങ്ങളുടെയും കേന്ദ്രങ്ങൾ r അകലത്തിലാകുമ്പോൾ ഓരോന്നിലെയും വൈദ്യുതബലം

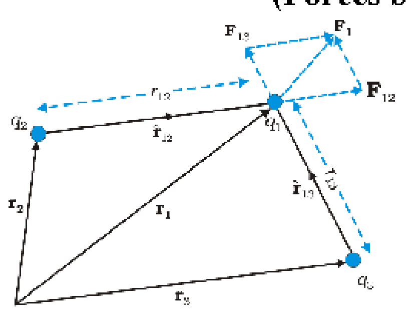
$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq'}{r^2}$$

r അകലവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ A യുടെയും B യുടെയും വലുപ്പം അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്. സമാനവും എന്നാൽ ചാർജില്ലാത്തതുമായ ഗോളം C, A യെ സ്പർശിക്കുമ്പോൾ ഇവ രണ്ടിലുമായി ചാർജുകൾ പുനർവിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. സമമിതിയാൽ, ഓരോ ഗോളത്തിലുമുള്ള ചാർജ് $q/2$ ആകുന്നു. ഇതുപോലെ ഗോളം Dയെ B സ്പർശിക്കുമ്പോൾ ഓരോ ഗോളത്തിലും പുനർവിതരണം ചെയ്യപ്പെട്ട ചാർജ് $q'/2$ ആകുന്നു. ഇപ്പോൾ A യുടെയും B യുടെയും പരസ്പര അകലം നേർപകുതിയായാൽ, ഓരോ ഗോളത്തിലെയും സ്ഥിത വൈദ്യുതബലം എന്നത്

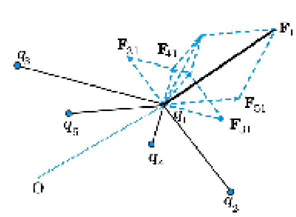
$$F' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(q/2)(q'/2)}{(r/2)^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(qq')}{r^2} = F$$

A യിൽ B മൂലമുണ്ടാകുന്ന സ്ഥിത-വൈദ്യുത ബലം വ്യത്യാസമില്ലാതെ തുടരുന്നു.

1.7 ഒന്നിലധികം ചാർജുകൾക്കിടയിലെ ബലങ്ങൾ (Forces between multiple charges)



(a)



(b)

ചിത്രം 1.8 (a) മൂന്നു ചാർജുകൾ ഉൾപ്പെടുന്നതും (b) നിരവധി ചാർജുകൾ ഉൾപ്പെടുന്നതുമായ വ്യൂഹങ്ങൾ

കൂളോം നിയമത്തിന്റെ സഹായത്താൽ രണ്ടു ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള പരസ്പര വൈദ്യുതബലം കണ്ടെത്താം. എന്നാൽ സമീപത്തുള്ള ഒന്നിലധികം ചാർജുകളാൽ ഒരു നിശ്ചിത ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം എങ്ങനെ കണക്കാക്കാം? ശൂന്യതയിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന $q_1, q_2, q_3, ..., q_n$ എന്നീ n സ്ഥിതചാർജുകൾ പരിഗണിക്കുക. $q_2, q_3, ... q_n$ എന്നീ ചാർജുകളാൽ q_1ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമെത്ര? കൂളോം നിയമം ഉപയോഗിച്ചുമാത്രം ഈ ചോദ്യത്തിനുത്തരം കണ്ടെത്താനാവില്ല. കാന്തികസ്വഭാവമുള്ള ബലങ്ങളുടെ തുക കണ്ടെത്താൻ സാമാന്തരികനിയമം (Parallellogram law) ഉപയോഗിച്ചത് ഓർക്കുക. സ്ഥിതവൈദ്യുത ബലങ്ങൾക്കും ഈ നിയമം ബാധകമാണോ?

ഒന്നിലധികം ചാർജുകൾമൂലം ഒരു ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന സ്ഥിതവൈദ്യുതബലം ഓരോ ചാർജ്മൂലവും ആ ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലങ്ങളുടെ സദിശപരമായ തുകയാകുന്നു (ഓരോന്നും വെവ്വേറെ പരിഗണിക്കുന്നു). രണ്ടു വ്യത്യസ്ത ചാർജുകൾക്കിടയിലെ ബലത്തെ മറ്റു ചാർജുകളുടെ സാമീപ്യം ബാധിക്കുന്നില്ല. ഇതിനെയാണ് സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്ത്വം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. പരീക്ഷണ-നിരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ ഈ തത്ത്വം സാധൂകരിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്.

ഈ ആശയം മനസ്സിലാക്കാനായി ചിത്രം 1.8 (a) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ q_1, q_2, q_3 എന്നീ മൂന്നു ചാർജുകളുടെ ഒരു വ്യവസ്ഥ പരിഗണിക്കുക. q_2, q_3 എന്നീ ചാർജുകളാൽ q_1 ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം ലഭിക്കാനായി ഇവയോരോന്നും q_1ൽ ചെലുത്തുന്ന ബലങ്ങളുടെ സദിശസങ്കലനം (vector addition) നടത്തണം. ഇവിടെ q_2 മൂലം q_1ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം F_{12} എന്നെഴുതാം. മറ്റു ചാർജുകളുടെ സാന്നിധ്യമുണ്ടെങ്കിലും സമവാക്യം 1.3 ഉപയോഗിച്ച് ബലം $\mathbf{F}_{12}$ രേഖപ്പെടുത്താം.

അതായത്, $\mathbf{F}_{12} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12}$

ഇതേ മാർഗത്തിൽ q_3 മൂലം q_1 ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന കൂളോം ബലം $\mathbf{F}_{13}$ ആകുന്നു. (q_2 വിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിലും).

$$\mathbf{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13}$$

അങ്ങനെ q_2, q_3 എന്നീ രണ്ടു ചാർജുകളാൽ q_1 ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ ബലം $\mathbf{F}_1$ ഇങ്ങനെ എഴുതാം.

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13} \qquad (1.4)$$

ചിത്രം 1.8 (b) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ, മൂന്നിലധികം ചാർജുകളുള്ള വ്യവസ്ഥയിലും ബലം കണ്ടെത്താനായുള്ള ഗണിതക്രിയകൾ ഇത്തരത്തിൽ സാമാന്യവൽക്കരിക്കാവുന്നതാണ്. സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്ത്വമനുസരിച്ച് q_1, q_2 ..... q_n എന്നീ ചാർജുകളുള്ള വ്യവസ്ഥയിൽ q_1 ൽ q_2 മൂലമുള്ള ബലം കൂളോം നിയമത്താൽ മുമ്പു കണ്ടെത്തിയതു തന്നെയാണ്. അതായത് q_3, q_4,..... q_n തുടങ്ങിയ മറ്റു ചാർജുകളുടെ സാന്നിധ്യത്താൽ മേൽപ്പറഞ്ഞ ബലം സ്വാധീനിക്കപ്പെടുന്നില്ല. വ്യവസ്ഥയിലെ ഓരോ ചാർജും q_1 ൽ ചെലുത്തുന്ന ആകെ ബലം കണ്ടെത്താൻ $\mathbf{F}_{12}$, $\mathbf{F}_{13}$, ... $\mathbf{F}_{1n}$ എന്നീ ബലങ്ങളെ സദിശപരമായി കൂട്ടിയാൽ മതി.

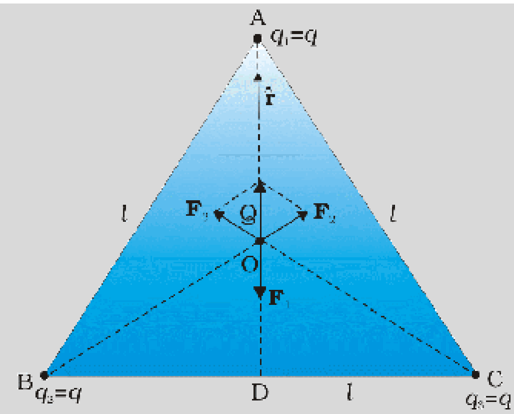
$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \ldots + \mathbf{F}_{1n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\hat{\mathbf{r}}_{12} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2}\hat{\mathbf{r}}_{13} + \ldots + \frac{q_1 q_n}{r_{1n}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1n}\right]$$

$$= \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=2}^{n}\frac{q_i}{r_{1i}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1i} \qquad (1.5)$$

സദിശസങ്കലത്തിനുള്ള സാമാന്തരികനിയമം ഉപയോഗിച്ചു കൊണ്ടുതന്നെ ഇവിടെയും സദിശങ്ങളുടെ തുക കണ്ടെത്താം. ചുരുക്കത്തിൽ, കൂളോം നിയമവും സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്ത്വവുമാണ് ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സിന്റെ ആധാരശിലകൾ.

ഉദാഹരണം 1.6 : ഓരോ വശത്തിനും l നീളമുള്ള ഒരു സമപാർശ്വ ത്രികോണത്തിന്റെ മൂന്ന് അഗ്രങ്ങളിലായി q_1 , q_2 , q_3 എന്നീ മൂന്നു ചാർജുകൾ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നു. ഓരോന്നിന്റെയും അളവ് q ആകുന്നു. ചിത്രം 1.9 ൽ കാണുന്നതുപോലെ, ത്രികോണത്തിന്റെ മധ്യബിന്ദുവിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന (q ന്റെ അതേ ചിഹ്നമുള്ള) Q എന്ന ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ ബലം എത്ര?

ഉദാഹരണം 1.6



ചിത്രം 1.9

ഉദാഹരണം 1.6

ഉത്തരം :

വശത്തിന് l നീളമുള്ള സമപാർശ്വത്രികോണം ABC സങ്കൽപ്പിക്കുക. ABC യിൽ BC ക്ക് ലംബമായി AD എന്ന രേഖ വരയ്ക്കുകയാണെങ്കിൽ, AD –AC cos 30°– $(\sqrt{3}/2)\, l$ മധ്യബിന്ദു O യിൽ നിന്ന് A യിലേക്കുള്ള AO എന്ന ദൂരത്തെ (2/3) AD $(1/\sqrt{3})\, l$ എന്നെഴുതാം.

സമമിതിയാൽ AO – BO – CO

A യിലെ q ചാർജ് മൂലം Q ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം, $\mathbf{F_1} = \dfrac{3}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{l^2}$ (AO യിലൂടെ)

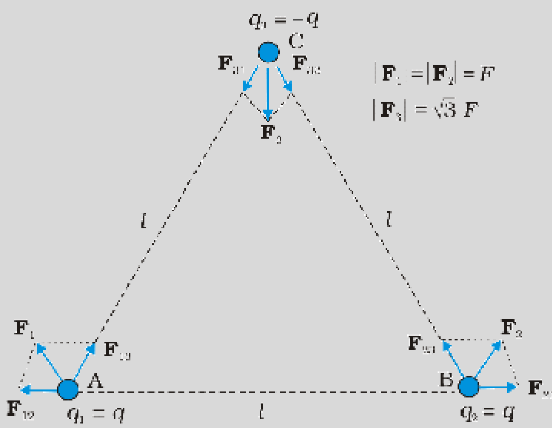
B യിലെ q ചാർജ് മൂലം Q ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം $\mathbf{F_2} = \dfrac{3}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{l^2}$ (BO യിലൂടെ)

C യിലെ q ചാർജ് മൂലം Q ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം $\mathbf{F_3} = \dfrac{3}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{l^2}$ (CO യിലൂടെ)

സാമാന്തരിക നിയമമനുസരിച്ച് $\mathbf{F_2}$, $\mathbf{F_3}$ എന്നീ ബലങ്ങളുടെ പരിണതഫലം $\dfrac{3}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{l^2}$ ആണ്. ഇത് OA യിലൂടെ അനുഭവപ്പെടുന്നു. അതുകൊണ്ട് Q ലെ ആകെ ബലം = $\dfrac{3}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{l^2}(\hat{\mathbf{r}}-\hat{\mathbf{r}})$ 0 ഇവിടെ $\hat{\mathbf{r}}$ OA യിലൂടെയുള്ള ഏക സദിശമാകുന്നു.

ഈ മൂന്നു ബലങ്ങളുടെയും തുക പൂജ്യമാകുമെന്ന് സമമിതിയിലൂടെയും വ്യക്തമാണ്. പരിണതബലം പൂജ്യമല്ലാത്ത സാഹചര്യത്തിൽ അത് ഏതെങ്കിലുമൊരു ദിശയിലായിരിക്കുമെന്ന് നമുക്കറിയാം. ഈ അവസ്ഥയിൽ ചാർജ് വ്യൂഹത്തെ 60° തിരിച്ചാൽ എന്തു സംഭവിക്കുമെന്ന് ആലോചിക്കുക.

ഉദാഹരണം 1.7: ചിത്രം 1.10 ൽ കാണുന്നതുപോലെ, ഒരു സമപാർശ്വത്രികോണത്തിന്റെ മൂന്നു കോണുകളിൽ q, q, -q എന്നീ ചാർജുകൾ വച്ചിരിക്കുന്നതായി കരുതുക. ഓരോ ചാർജിലും അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമെത്ര?



ചിത്രം 1.10

ഉത്തരം: A എന്ന ബിന്ദുവിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന q ചാർജിൽ B യിലെ q ഉം C യിലെ −q വും മൂലമനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം, ചിത്രം 1.10 ൽ കാണുന്നതു പോലെ യഥാക്രമം F_{12} (BA യിലൂടെ) ഉം F_{13} (AC യിലൂടെ) ഉം ആണ്.

സാമാന്തരിക നിയമമനുസരിച്ച് A യിലെ q എന്ന ചാർജിലുള്ള ആകെ ബലം $\mathbf{F}_1$ ഇങ്ങനെ എഴുതാം.

$$F_1 = F\,\hat{\mathbf{r}}_1$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{r}}_1$ എന്നത് BC യിലൂടെയുള്ള ഏകക സദിശമാണ്.

ഓരോ ജോടി ചാർജുകൾക്കുമിടയിലുള്ള ആകർഷണമോ വികർഷണമോ ആയ ബലങ്ങൾക്ക് ഒരേ അളവാണുള്ളത്.

$$F = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}$$

B യിലെ q എന്ന ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ ബലം F_2 ആകുന്നു.

$F_2 = F\,\hat{\mathbf{r}}_2$ ഇവിടെ $\hat{\mathbf{r}}_2$, AC യിലൂടെയുള്ള ഏകസദിശമാണ്.

സമാനമായി; C യിലെ -q വിലുള്ള ആകെ ബലം F_3 ആകുന്നു.

$$F_3 = \sqrt{3}\,\mathbf{F}\,\hat{\mathbf{n}}$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{n}}$, ∠BCA യുടെ സമഭാജിയുടെ ദിശയിലുള്ള ഏകസദിശമാകുന്നു. ഈ മൂന്നു ചാർജുകളിലും

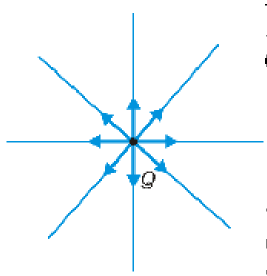
$$F_1 + F_2 + F_3 = 0$$

ഈ ഫലം അൽപ്പം പോലും അപ്രതീക്ഷിതമല്ല. കൂളോം നിയമം ന്യൂട്ടന്റെ മൂന്നാം ചലനനിയമവുമായി ഒത്തുപോകുന്നതാണിതിനു കാരണം. ഇതിന്റെ വിശദമായ പരിശോധന ഒരു പരിശീലനപ്രശ്നമായി നിങ്ങൾക്കു വിട്ടുതരുന്നു.

ഉദാഹരണം 1.7

1.8 വൈദ്യുതമണ്ഡലം (Electric field)

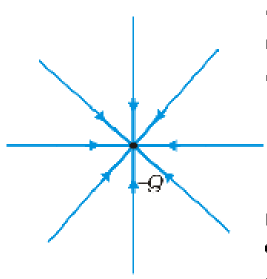
ശൂന്യതയിൽ, O എന്ന മൂലബിന്ദുവിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന Q എന്ന പോയിന്റ് ചാർജ് പരിഗണിക്കുക. O യിൽ നിന്ന് r ദൂരം അകലത്തിൽ P എന്ന ഒരു ബിന്ദു പരിഗണിക്കുക (**OP= r**). ഇനി q എന്ന മറ്റൊരു ചാർജിനെ P യിൽ വയ്ക്കുക. കൂളോം നിയമപ്രകാരം, Q എന്ന ചാർജ് q വിൽ ഒരു ബലം പ്രയോഗിക്കുമെന്ന് നാം മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ടല്ലോ. ഇനി നമുക്കൊരു ചോദ്യം ചോദിക്കാം: P യിൽ നിന്നു ചാർജ് q വിനെ നീക്കം ചെയ്താൽ P യ്ക്ക് ചുറ്റുപാടും അവശേഷിക്കുന്നതെന്തായിരിക്കും? അവിടെ ഒന്നും ഉണ്ടായിരിക്കില്ലേ? P എന്ന ബിന്ദുവിൽ ഒന്നുമില്ലായിരുന്നുവെങ്കിൽ P യിൽ വയ്ക്കുന്ന q എന്ന ചാർജിൽ ഒരു ബലം അനുഭവപ്പെടുന്നതെങ്ങനെ? ഈ ചോദ്യങ്ങൾക്കുത്തരം നൽകാനായി ശാസ്ത്രജ്ഞർ മണ്ഡലം (field) എന്ന ആശയം മുന്നോട്ടുവച്ചു. ഇതനുസരിച്ച് ചാർജ് Q അതിനു ചുറ്റും എല്ലായിടത്തും ഒരു വൈദ്യുത മണ്ഡലം സൃഷ്ടിക്കുന്നു. P എന്ന ബിന്ദുവിൽ q എന്ന ചാർജിനെ കൊണ്ടുവരുമ്പോൾ ആ ബിന്ദുവിലെ മണ്ഡലം ചാർജുമായി പ്രവർത്തിച്ച് ഒരു ബലം സൃഷ്ടിക്കുന്നു. r ദൂരത്തിലുള്ള ഒരു ബിന്ദുവിൽ Q എന്ന ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം ഇങ്ങനെ എഴുതാം.



(a)

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^3}\mathbf{r} \qquad (1.6)$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{r}/r$ എന്നത്, അവലംബകകേന്ദ്രത്തിലെ Q എന്ന ചാർജിൽ നിന്നു P ലേക്കു വരയ്ക്കുന്ന ഏകസദിശമാണ്. സ്ഥാനസദിശം r ന്റെ ഓരോ മൂല്യത്തിനും വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ് നൽകാൻ സമവാക്യം (1.6) സഹായിക്കുന്നു. (അദിശമോ സദിശമോ ആയ) ഒരു ഭൗതിക അളവ് (quantity) വ്യത്യസ്ത സ്ഥാനങ്ങളിൽ എങ്ങനെ വിന്യസിച്ചിരിക്കുന്നു എന്നാണ് മണ്ഡലം എന്ന വാക്കു കൊണ്ട് അർഥമാക്കുന്നത്. ഇവിടെ വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ പ്രഭാവത്തെ വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ നിലനിൽപ്പുമായി സമന്വയിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. q ൽ Q മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം **F** ഇങ്ങനെ എഴുതാം.



(b)

ചിത്രം 1.11 : (a) Q എന്ന ചാർജു മൂലവും (b) Q എന്ന ചാർജ് മൂലവും അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലം.

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (1.7)$$

Q ൽ, തുല്യവും വിപരീതവുമായ ഒരു ബലം q ഉം ചെലുത്തുന്നുണ്ടെന്ന കാര്യം ശ്രദ്ധിക്കുക. Q, q എന്നീ ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള സ്ഥിത-വൈദ്യുത ബലത്തെ ചാർജ് q ഉം Q ന്റെ വൈദ്യുതമണ്ഡലവുമായുള്ള (തിരികെയും) പാരസ്പര്യമായി (interaction) നമുക്ക് കാണാവുന്നതാണ്. q എന്ന ചാർജിന്റെ സ്ഥാനം r എന്ന സദിശമുപയോഗിച്ച് സൂചിപ്പിക്കുന്നുവെങ്കിൽ, q ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം F, q ന്റെയും ആ ചാർജിരിക്കുന്ന ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ **E(r)** യും ഗുണനഫലത്തിനു തുല്യമായിരിക്കും. അതായത്,

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = q\,\mathbf{E}(\mathbf{r}) \qquad (1.8)$$

സമവാക്യം (1.8) അനുസരിച്ച് വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ SI യൂണിറ്റ് N/C* എന്നു നിർവചിക്കുന്നു.

വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെക്കുറിച്ചുള്ള ചില വസ്തുതകൾ ചുവടെ ചേർക്കുന്നു.

(i) സമവാക്യം (1.8) പ്രകാരം q ന്റെ മൂല്യം 1 (unity) ആണെങ്കിൽ Q മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം, അതു q ൽ ചെലുത്തുന്ന ബലത്തിനു തുല്യമായിരിക്കും. അതിനാൽ, സ്പെയ്സിലെ ഏതൊരു ബിന്ദുവിലും Q മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം അതേ ബിന്ദുവിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന യൂണിറ്റ് പോസിറ്റീവ് ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമാണെന്നു നിർവചിക്കാവുന്നതാണ്. വൈദ്യുത

* അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ V/m എന്ന മറ്റൊരു യൂണിറ്റ് പരിചയപ്പെടും.

മണ്ഡലം സൃഷ്ടിക്കുന്ന Q എന്ന ചാർജിനെ ഉറവിട ചാർജ് (source charge) എന്നും അതിന്റെ പ്രഭാവം പഠിക്കാനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന q എന്ന ചാർജിനെ ടെസ്റ്റ് ചാർജ് (test charge) എന്നും വിളിക്കുന്നു. ഉറവിട ചാർജ് Q എപ്പോഴും അതിന്റെ യഥാർഥ സ്ഥാനത്തുതന്നെ നിൽക്കേണ്ടതുണ്ട്. എന്നാൽ Q ന്റെ സമീപത്ത് ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദുവിൽ q കൊണ്ടുവരുമ്പോൾ q ന്റെ സ്വാധീനത്താൽ Q ൽ ഒരു വൈദ്യുത ബലം ചെലുത്തപ്പെടുകയും തദ്ഫലമായി അത് ചലിക്കാനുള്ള പ്രവണത കാണിക്കുകയും ചെയ്യും. ഈ പ്രശ്നം പരിഹരിക്കാനുള്ള ഒരേ ഒരു മാർഗം q ന്റെ പരിമാണം അവഗണിത്തക്കവിധം ചെറുതാക്കുകയാണ്. ഇപ്പോൾ ബലം F ഉം അവഗണിക്കത്തവിധം ചെറുതാകുന്നുവെങ്കിലും F/q എന്ന അനുപാതം നിശ്ചിതമാണ്. ഈ അനുപാതം ആ ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെ നിർവചിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതായത്,

$$\mathbf{E} = \lim_{q \to 0} \left(\frac{\mathbf{F}}{q} \right) \qquad (1.9)$$

q ന്റെ സാന്നിധ്യത്തിലും Q അചഞ്ചലമായി നിലനിർത്തുക എന്ന പ്രശ്നം പരിഹരിക്കാനുള്ള പ്രായോഗികമായ ഒരു മാർഗം വ്യക്തമായി നിർവചിക്കാൻ കഴിയാത്ത ബലങ്ങളാൽ Q എന്ന ഉറവിട ചാർജിനെ അതിന്റെ യഥാർഥ സ്ഥാനത്തു തന്നെ ഉറപ്പിച്ചു നിർത്തുക എന്നതാണ്. ഇത് അപ്രായോഗികമായി തോന്നാമെങ്കിലും യഥാർഥത്തിൽ, പ്രയോഗതലത്തിൽ സംഭവിക്കുന്നത് ഇതാണ്. ഒരു ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട പരന്ന ഷീറ്റ് മൂലം, ടെസ്റ്റ് ചാർജ് q ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതബലം പരിഗണിക്കുമ്പോൾ (ഭാഗം 1.15) ഷീറ്റിനുള്ളിലുള്ള വ്യക്തമായി നിർവചിക്കാനാവാത്ത ചില ചാർജ്‌വാഹികൾ ചെലുത്തുന്ന വൈദ്യുതബലങ്ങളാണ് ഷീറ്റിലെ ഓരോ ചാർജിനെയും യഥാസ്ഥാനത്ത് ഉറപ്പിച്ചുനിർത്തുന്നത് എന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയും.

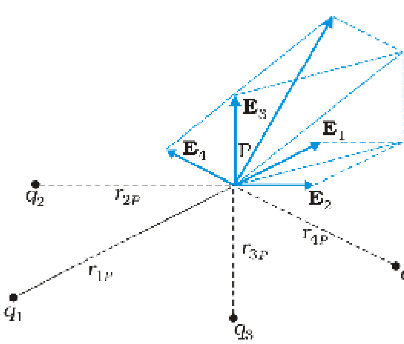
(ii) പ്രായോഗികമായി ഒരു ടെസ്റ്റ് ചാർജിന്റെ (q) സഹായത്താലാണ് Q മൂലമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം E നാം നിർവചിക്കുന്നതെങ്കിലും E അടിസ്ഥാനപരമായി q വിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. ബലം F, ചാർജ് q നു ആനുപാതികമാണ്. തദ്ഫലമായി F/q ന്റെ മൂല്യം q ന്റെ പരിമാണത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല എന്നതാണ് ഇതിനു കാരണം. q ൽ Q എന്ന ഉറവിട ചാർജ്മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം, q വിന്റെ സ്ഥാനത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. (Q നു ചുറ്റുമുള്ള ഏതിടത്തും q വിന് സ്ഥിതി ചെയ്യാവുന്നതാണ്.) അതായത് E യുടെ മൂല്യം Q വിന്റെ സ്ഥാന സദിശത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ടെസ്റ്റ് ചാർജിന്റെ സ്പെയ്സിലുള്ള വ്യത്യസ്ത സ്ഥാനങ്ങളിൽ, നമുക്ക് വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന് വ്യത്യസ്ത മൂല്യങ്ങൾ ലഭിക്കുന്നു. ത്രിമാന ഇടത്തിൽ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും വൈദ്യുതമണ്ഡലം നിലനിൽക്കുമെന്ന് പറയാം.

(iii) പോസിറ്റീവ് ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം ചാർജിൽ നിന്നു ആരമികമായി ബഹിർഗമിക്കുന്നു (radially outwards). എന്നാൽ ഉറവിട ചാർജ് നെഗറ്റീവ് ആണെങ്കിൽ ഓരോ ബിന്ദുവിലെയും വൈദ്യുതമണ്ഡല സദിശം E ആരമികമായി അന്തർഗമിക്കുന്നു (radially inwards).

(iv) Q എന്ന ചാർജ്മൂലം q ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന F എന്ന ബലത്തിന്റെ അളവ് Q വിൽ നിന്നു q വിലേക്കുള്ള r എന്ന ദൂരത്തെ മാത്രം ആശ്രയിക്കുന്നതിനാൽ, വൈദ്യുതമണ്ഡലം E യുടെ അളവും r നെ മാത്രം ആശ്രയിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ട്, Q വിൽ നിന്നു തുല്യ അകലങ്ങളിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലം **E** തുല്യമായിരിക്കും. ഒരു പോയിന്റ് ചാർജ്മൂലമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം E ചാർജ് കേന്ദ്രമാകുന്ന വിധത്തിൽ നാം സങ്കൽപ്പിക്കുന്ന ഗോളത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിലെല്ലായിടത്തും തുല്യമായിരിക്കും (ഒന്നു തന്നെയായിരിക്കും). ഇതിനെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ഗോളീയ സമമിതി (Spherical Symmetry) എന്നു വിളിക്കാം.

1.8.1 ചാർജുകളുടെ വ്യവസ്ഥ മൂലമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം (Electric field due to a system of charges)

O എന്ന ഒരു മൂലബിന്ദുവിനെ ആധാരമാക്കി, $\mathbf{r}_1$, $\mathbf{r}_2$, $\mathbf{r}_3$,....$\mathbf{r}_n$, എന്നീ സ്ഥാന സദിശങ്ങളോടു കൂടിയ വൈദ്യുത ചാർജുകളാണ് യഥാക്രമം q_1, q_2, q_3,... q_n എന്നിവ. ഒരു ചാർജ്മൂലം സ്പേസിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം പോലെ, ഒട്ടേറെ ചാർജുകൾ ചേർന്ന വ്യവസ്ഥ മൂലം ഒരു ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെയും നിർവചിക്കാവുന്നതാണ്; q_1, q_2, q_3,... q_n എന്നീ ചാർജുകളുടെ സ്ഥാനങ്ങൾക്ക് മാറ്റമുണ്ടാവാതെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ വച്ചിരിക്കുന്ന യൂണിറ്റ് പോസിറ്റീവ് ടെസ്റ്റ് ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ആകെ സ്ഥിത–വൈദ്യുത ബലത്തെയാണ് ആ ചാർജ് വ്യവസ്ഥമൂലമുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. കൂളോം നിയമവും സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്ത്വവുമുപയോഗിച്ച്, **r** സ്ഥാനസദിശമുള്ള P എന്ന ബിന്ദുവിലെ മണ്ഡലം നിർണയിക്കാവുന്നതാണ്.



ചിത്രം 1.12 ചാർജുകളുടെ ഒരു വ്യവസ്ഥ മൂലം ഒരു ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം വ്യവസ്ഥയിലെ ഓരോ ചാർജും ആ ബിന്ദുവിൽ ചെലുത്തുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങളുടെ സദിശതുകയ്ക്ക് തുല്യമാണ്.

$\mathbf{r}_1$ എന്ന സ്ഥാനത്തുള്ള q_1 എന്ന ചാർജ്മൂലം **r** ദൂരത്തുള്ള ബിന്ദുവിലെ $\mathbf{E}_1$ എന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം,

$$\mathbf{E}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r_{1P}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1P}$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{r}}_{1P}$ എന്നത് q_1 ൽ നിന്നു P യിലേക്കു നയിക്കുന്ന ഏകക സദിശമാകുന്നു. കൂടാതെ r_{1p}, q_1 നും P യ്ക്കുമിടയിലുള്ള ദൂരമാകുന്നു.

ഇതേ രീതിയിൽ $\mathbf{r}_2$ സ്ഥാനത്തുള്ള q_2 എന്ന ചാർജ് മൂലം **r** ദൂരത്തുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം $\mathbf{E}_2$ കണ്ടെത്താം.

$$\mathbf{E}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{r_{2P}^2}\hat{\mathbf{r}}_{2P}$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{r}}_{2p}$ എന്നത് q_2 ൽ നിന്നു P യിലേക്കു നയിക്കുന്ന ഏകക സദിശമാകുന്നു. കൂടാതെ r_{2p}, q_2 ൽ നിന്നു P യിലേക്കുള്ള ദൂരവും. q_1, q_2, q_3,... q_n മൂലമുള്ള മണ്ഡലങ്ങളായ $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$, $\mathbf{E}_3$, ...$\mathbf{E}_n$ എന്നിവയ്ക്കും സമാന സമവാക്യങ്ങൾ എഴുതാവുന്നതാണ്. ചാർജുകളുടെ ഒരു വ്യവസ്ഥ മൂലം r സ്ഥാനത്ത് അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം **E** (ചിത്രം 1.12 ൽ കാണുന്നതു പോലെ),

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \mathbf{E}_1(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_2(\mathbf{r}) + \ldots + \mathbf{E}_n(\mathbf{r})$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r_{1P}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1P} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_2}{r_{2P}^2}\hat{\mathbf{r}}_{2P} + \ldots + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_n}{r_{nP}^2}\hat{\mathbf{r}}_{nP}$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_{iP}^2}\hat{\mathbf{r}}_{1P} \qquad (1.10)$$

സ്പെയ്സിലുള്ള ഓരോ ബിന്ദുവിലും **E** യുടെ വില വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും. വിവിധ ബിന്ദുക്കളിൽ വ്യത്യസ്തമായിട്ടുള്ള ഒരു സദിശ അളവാണ് E. ഉറവിട ചാർജുകളുടെ സ്ഥാനമാണ് അവയുടെ തീവ്രത നിർണയിക്കുന്നത്.

1.8.2 വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ഭൗതികപ്രസക്തി (Physical significance of electric field)

വൈദ്യുതമണ്ഡലമെന്ന ആശയം ഇവിടെ ആവിഷ്കരിച്ചിരിക്കുന്നത് എന്തിനാണെന്ന് നിങ്ങൾ ചിന്തിക്കുന്നുണ്ടാവും. ഏതൊരു ചാർജ് വ്യവസ്ഥയിലും കൂളോം നിയമവും സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്ത്വവുമുപയോഗിച്ച് നാം കണ്ടെത്തുന്ന വൈദ്യുതബലമാണ്, ചാർജുമായി ബന്ധപ്പെട്ട നേരിട്ടളക്കാവുന്ന ഒരു ഭൗതിക അളവ് (സമവാക്യം 1.5). പിന്നെന്തിനാണ് വൈദ്യുതമണ്ഡലമെന്ന മധ്യവർത്തിയായ (intermediate) ഒരു അളവ് എന്ന് നിങ്ങൾ സംശയിക്കുന്നുണ്ടാവും.

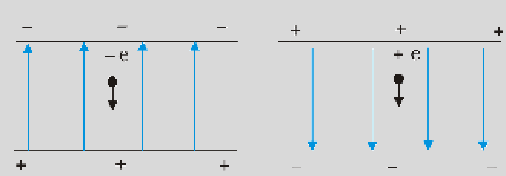
ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലമെന്ന ആശയം ഉപകാരപ്രദമാണെങ്കിലും അതൊരു അവശ്യഘടകമല്ല. ഒരു ചാർജ് വ്യവസ്ഥയുടെ വൈദ്യുത പ്രഭാവങ്ങളെ ഭംഗിയായി ആവിഷ്കരിക്കാനുള്ള വിശിഷ്ടമായ ആശയങ്ങളിലൊന്നാണ് വൈദ്യുതമണ്ഡലം. ഒരു ചാർജു വ്യവസ്ഥമൂലം സ്പെയ്സിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം ആ ബിന്ദുവിൽ (വ്യവസ്ഥയെ അസ്ഥിരമാക്കാതെ) വച്ചിരിക്കുന്ന യൂണിറ്റ് പോസിറ്റീവ് ടെസ്റ്റ് ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത ബലമാണ്. വൈദ്യുത ചാർജ് വ്യവസ്ഥയുടെ ഒരു സവിശേഷ ഗുണമാണ് വൈദ്യുത മണ്ഡലം. മാത്രമല്ല, മണ്ഡലം കണ്ടെത്താനായി നാം ഉപയോഗിക്കുന്ന ടെസ്റ്റ് ചാർജിന്റെ അളവിനെ അത് ആശ്രയിക്കുന്നുമില്ല. സ്പെയ്സിൽ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും വ്യക്തമായി നിർവചിക്കപ്പെടാവുന്നതും വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിൽ വ്യതിയാനപ്പെടുന്നതുമായ ഒരു ഭൗതിക അളവിനെയാണ് ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ സാമാന്യമായി മണ്ഡലം എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ബലം ഒരു സദിശമായതിനാൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലവും ഒരു സദിശമാകുന്നു.

ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സിൽ നിന്നു വിഭിന്നമായി, സമയാശ്രിത വൈദ്യുതകാന്തിക പ്രതിഭാസവുമായി (time dependent electromagnetic phenomenon) സംവദിക്കുമ്പോഴാണ് വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ഭൗതികപ്രസക്തി മനസ്സിലാക്കാനാവുന്നത്. ത്വരിത ചലനത്തിലുള്ളതും പരസ്പരം അകലത്തിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നതുമായ q_1, q_2 എന്നീ ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള ബലം നമുക്ക് പരിഗണിക്കാം. ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നു മറ്റൊന്നിലേക്ക് സന്ദേശം അയക്കാനുള്ള പരമാവധി വേഗം, പ്രകാശത്തിന്റെ പ്രവേഗം c ആകുന്നു. അതുകൊണ്ട് q_1 ചാർജിന്റെ ചലനത്താലുണ്ടാകുന്ന ഏതൊരു പ്രഭാവവും q_2 വിൽ തത്ക്ഷണം അനുഭവവേദ്യമാകുന്നില്ല. പ്രഭാവവും (q_2 വിൽ അനുഭവിക്കുന്ന ബലം) കാരണവും (q_1 ന്റെ ചലനവും) തമ്മിൽ ചെറിയ ഒരു സമയവിളംബം (time-delay) ഉണ്ടാകുന്നുണ്ട്. വൈദ്യുതമണ്ഡലം (കൃത്യമായി, വൈദ്യുതകാന്തികമണ്ഡലം) സ്വാഭാവികവും കൂടുതൽ പ്രയോജനകരവുമാകുന്നത് യഥാർഥത്തിൽ ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിലാണ്. മണ്ഡലത്തിന്റെ യഥാർഥ ധർമം ഇങ്ങനെയാണ്: q_1 എന്ന ചാർജിന്റെ ത്വരിത ചലനം, വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്നു; അവ പ്രകാശവേഗത്തിൽ പ്രസരിച്ച് q_2 വിലെത്തുകയും അതിലൊരു ബലം ഉളവാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. മണ്ഡലം

എന്ന ആശയം സമയവിളംബത്തെ ഭംഗിയായി വിശദീകരിക്കുന്നു. വൈദ്യുത ചാർജു കളിലെ പ്രഭാവത്തിന്റെ (ബലങ്ങളുടെ) സഹായത്താൽ മാത്രമേ വൈദ്യുത, കാന്തിക മണ്ഡലങ്ങളെ നിർണയിക്കാനാവൂമെങ്കിലും, അവ കേവലം ഗണിതശാസ്ത്ര നിർമിതി മാത്രമല്ല, ഭൗതികസത്തകൾ (physical entities) കൂടിയാണ്. അവയ്ക്ക് അവയുടേതായ സ്വതന്ത്രമായ ഒരു ബലതന്ത്രമുണ്ട്. അതായത്, അവ പരിണമിക്കുന്നത് അവയുടേതായ നിയമങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ്. അവയ്ക്ക് ഊർജം വഹിക്കാൻ സാധിക്കും. അങ്ങനെ, ഒരു സമയ-ആശ്രിത വൈദ്യുതകാന്തികമണ്ഡലത്തിന്റെ ഉറവിടം ഓൺ ആക്കിയശേഷം പെട്ടെന്ന് നിർത്തുമ്പോൾ, ഊർജവാഹിയായ വൈദ്യുത കാന്തിക മണ്ഡലങ്ങൾ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നു. ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ കേന്ദ്ര ആശയങ്ങളിൽ ഒന്നായ മണ്ഡലം ആദ്യമായി അവതരിപ്പിച്ചത് ഫാരഡെയാണ്.

ഉദാഹരണം 1.8

ഉദാഹരണം 1.8 : 2.0×10^4 N/C അളവുള്ള സമ-വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിലൂടെ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ 1.5 cm സഞ്ചരിക്കുന്നു. (ചിത്രം 1.13(a)). മൂല്യത്തിന് മാറ്റമുണ്ടാകാത്ത വിധത്തിൽ മണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ വിപരീതമായശേഷം സമാനരീതിയിൽ ഒരു പ്രോട്ടോൺ ഈ ദൂരം സഞ്ചരിക്കുന്നു (ചിത്രം 1.13(b)). ഓരോ സന്ദർഭത്തിലുമുള്ള സഞ്ചാരസമയം കണ്ടെത്തുക. ഗുരുത്വാകർഷണ ബലത്താലുള്ള സ്വതന്ത്രചലനത്തിൽനിന്ന് ഇത് എങ്ങനെ വിഭിന്നമായിരിക്കുന്നു?



(a) ചിത്രം 1.13 (b)

ഉത്തരം : (ചിത്രം 1.13(a)) യിൽ മണ്ഡലദിശ മുകളിലേക്കാണ്. അതുകൊണ്ട് നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഇലക്ട്രോണിൽ eE എന്ന പരിമാണമുള്ള ഒരു ബലം താഴേക്ക് അനുഭവപ്പെടുന്നു. ഇവിടെ E, വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവാകുന്നു. ഇലക്ട്രോണിന്റെ ത്വരണം, $a_e = eE/m_e$.

m_e എന്നത് ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസ് ആണ്.

നിശ്ചലാവസ്ഥയിൽ നിന്നാരംഭിച്ച്, h ദൂരം വീഴാൻ ഇലക്ട്രോണിനാവശ്യമായ സമയം t_e ആണെങ്കിൽ $t_e = \sqrt{\frac{2h}{a_e}} = \sqrt{\frac{2hm_e}{eE}}$

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg,

$E = 2.0 \times 10^4$ N C^{-1}, $h = 1.5 \times 10^{-2}$ m, ആണെങ്കിൽ

$t_e = 2.9 \times 10^{-9}$ s

ചിത്രം 1.13 (b) യിൽ മണ്ഡലദിശ താഴേക്കു തന്നെയാണ്. മാത്രമല്ല, പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള പ്രോട്ടോണിൽ താഴേക്ക് അതേ അളവിലുള്ള ഒരു ബലവും അനുഭവപ്പെടുന്നു.

പ്രോട്ടോണിന്റെ ത്വരണം a_p,

$a_p = eE/m_p$

ഇവിടെ m_p എന്നത് പ്രോട്ടോണിന്റെ മാസ്, $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ Kg.

പ്രോട്ടോണിന്റെ വീഴ്ചാസമയം $t_p = \sqrt{\frac{2h}{a_p}} = \sqrt{\frac{2h\,m_p}{eE}} = 1.3 \times 10^{-7}$ s

അങ്ങനെ, ഒരേ ദൂരം സഞ്ചരിക്കാൻ മാസ് കൂടിയ കണമായ (പ്രോട്ടോൺ) കൂടുതൽ സമയമെടുക്കും.

ഗുരുത്വാകർഷണ ബലവുമായുള്ള അടിസ്ഥാന വ്യത്യാസം ഇതുതന്നെയാണ്.

ഗുരുത്വബലത്തിൽ വീഴ്ചാസമയം വസ്തുവിന്റെ മാസിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. ഈ ഉദാഹരണത്തിൽ വീഴ്ചാസമയം കണക്കാക്കുന്നതിൽ ഗുരുത്വാകർഷണം മൂലമുള്ള ത്വരണം (g) നാം അവഗണിച്ചിരുന്നു എന്നു ശ്രദ്ധിക്കുക. അതു ന്യായീകരിക്കാനാകുമോ എന്ന് അറിയാൻ തന്നിരിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിൽ പ്രോട്ടോണിന്റെ ത്വരണം നമുക്ക് കണക്കാക്കാം.

$$a_p = \frac{eE}{m_p}$$

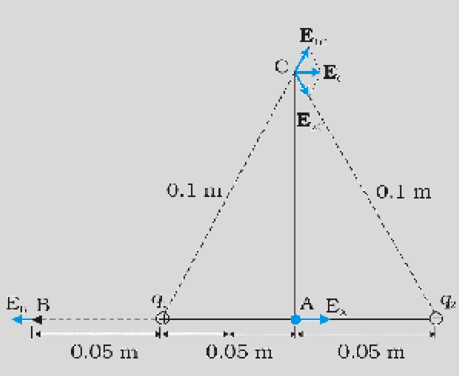
$$= \frac{(1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}) \times (2.0 \times 10^{4}\ \text{N C}^{-1})}{1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg}}$$

$$= 1.9 \times 10^{12}\ \text{m s}^{-2}$$

g യുടെ മൂല്യവുമായി ($9.8\ \text{m/s}^2$) താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ ഇത് വളരെ വലിയ ഒരു അളവാണ്. ഇലക്ട്രോണിന്റെ ത്വരണം ഇതിലും വലുതായിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് ഈ ഉദാഹരണത്തിൽ ഗുരുത്വാകർഷണം മൂലമുള്ള ത്വരണം നമുക്ക് അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്.

ഉദാഹരണം 1.8

ഉദാഹരണം 1.9 : q_1, q_2 എന്നീ ചാർജ്ജുകൾ 0.1 cm അകലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. അവയുടെ ചാർജ്ജുകൾ യഥാക്രമം $+10^{-8}$C, ഉം -10^{-8}C ഉം ആകുന്നു. ചിത്രം 1.14 ൽ കാണുന്നതു പോലെ A, B, C എന്നീ ബിന്ദുക്കളിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണക്കാക്കുക.



ചിത്രം 1.14

ഉദാഹരണം 1.9

ഉദാഹരണം 1.9

ഉത്തരം: പോസിറ്റീവ് ചാർജായ q_1 മൂലം A യിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലം E_{1A}, വലതുവശത്തേക്കു പ്രയോഗിക്കപ്പെടുമ്പോൾ അതിന്റെ അളവ്,

$$E_{1A} = \frac{(9 \quad 10^9 \mathrm{Nm}^2\mathrm{C}^{2}) \times (10^{8}\mathrm{C})}{(0.05\,\mathrm{m})^2} = 3.6 \times 10^4\ \mathrm{N\,C}^{1}$$

നെഗറ്റീവ് ചാർജായ q_2 മൂലം A യിലനുഭവപ്പെടുന്ന E_{2A} എന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലം വലത്തേക്കു പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നു. അതിന്റെ അളവ് മുമ്പു ലഭിച്ചതു തന്നെയാണ്. A യിലെ ആകെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം E_A എന്നത്,

$$E_A \quad E_{1A} - E_{2A} \quad 7.2 \quad 10^4\ \mathrm{N\,C}^{-1}$$

E_A യുടെ ദിശ വലതുവശത്തേക്കാണ്.

പോസിറ്റീവ് ചാർജ് q_1 മൂലം B യിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത കാന്തിക മണ്ഡലസദിശം E_{1B} വലതുവശത്തേക്കു പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്നു. അതിന്റെ അളവ്,

$$E_{1B} = \frac{(9 \times 10^9 \mathrm{Nm}^2\mathrm{C}^{2}) \times (10^{8}\mathrm{C})}{(0.05\,\mathrm{m})^2} = 3.6 \times 10^4\ \mathrm{N\,C}^{1}$$

നെഗറ്റീവ് ചാർജായ q_2 മൂലം B യിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡല സദിശം E_{2B} ഇടതുവശത്തേക്കു നയിക്കപ്പെടുന്നു. അതിന്റെ അളവ്

$$E_{2B} = \frac{(9 \quad 10^9 \mathrm{Nm}^2\mathrm{C}^{2}) \times (10^{-8}\mathrm{C})}{(0.15\,\mathrm{m})^2} = 4 \times 10^3\ \mathrm{N\,C}^{1}$$

B യിലെ ആകെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ്

$$E_B = E_{1B} \quad E_{2B} = 3.2 \times 10^4\ \mathrm{N\,C}^{1}$$

E_B യുടെ ദിശ ഇടതുവശത്തേക്കാണ്. q_1, q_2 എന്നി രണ്ട് ചാർജുകളും C എന്ന ബിന്ദുവിൽ ചെലുത്തുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ്,

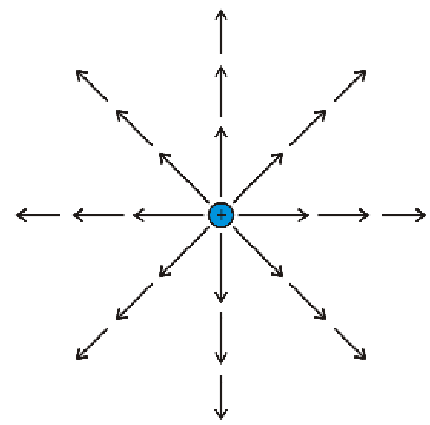
$$E_{1C} = E_{2C} = \frac{(9 \times 10^9 \mathrm{Nm}^2\mathrm{C}^{-2}) \times (10^{-8}\mathrm{C})}{(0.10\,\mathrm{m})^2} \quad 9 \times 10^3\ \mathrm{N\,C}^{-1}$$

ഈ രണ്ടു സദിശങ്ങളുടെയും ദിശ കൃത്യമായി ചിത്രം 1.14ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. രണ്ട് സദിശങ്ങളുടെയും പരിണതഫലം,

$E_C = E_1 \cos\frac{\pi}{3} + E_2 \cos\frac{\pi}{3} - 9 \quad 10^3\ \mathrm{N\,C}^{1}$. E_c യുടെ ദിശ വലതുവശത്തേക്കാണ്.

1.9 വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖകൾ (Electric field lines)

വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെപ്പറ്റി നാം പഠിച്ചുകഴിഞ്ഞു. അതൊരു സദിശമായതിനാൽ സാധാരണ സദിശങ്ങളെ ചിത്രീകരിക്കുന്ന രീതിയിൽത്തന്നെ അതിനെ ചിത്രീകരിക്കാൻ കഴിയും. ഒരു പോയിന്റ് ചാർജ് മൂലമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം **E** യുടെ രേഖാചിത്രം വരയ്ക്കാൻ നമുക്ക് ശ്രമിക്കാം. ഒരു പോയിന്റ് ചാർജ് മൂലബിന്ദുവിൽ (origin) ഇരിക്കുന്നതായി സങ്കൽപ്പിക്കുക. ഈ ചാർജ് അതിനു ചുറ്റുമുള്ള ഓരോ ബിന്ദുവിലും ഉണ്ടാക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശയിൽ, അതിന്റെ തീവ്രതയ്ക്ക് ആനുപാതികമായ നീളത്തോടുകൂടിയ സദിശങ്ങൾ വരയ്ക്കുക. ഒരു ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ് ആ ബിന്ദുവിൽനിന്നു ചാർജിലേക്കുള്ള ദൂരത്തിന്റെ വർഗത്തിന്റെ വിപരീതാനുപാതത്തിലായതിനാൽ കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്ന് അകലുന്തോറും സദിശം

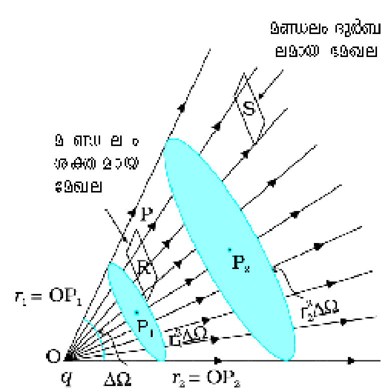


ചിത്രം 1.15 : ഒരു പോയിന്റ് ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന മണ്ഡലം

ചെറുതായിവരുന്നതായി കാണാം. കൂടാതെ ചിത്രം (1.15) ൽ കാണുന്ന രീതിയിൽ, ഈ സദിശങ്ങൾ ആരമികമായി ബഹിർഗമിക്കുന്നതായും മനസ്സിലാക്കാം. ഈ ചിത്രത്തിലെ ഓരോ അമ്പടയാളവും വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. അതായത്, അമ്പടയാളത്തിന്റെ വാൽഭാഗത്ത് വച്ചിരിക്കുന്ന യൂണിറ്റ് പോസിറ്റീവ് ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം ഒരു സദിശത്തെ രേഖപ്പെടുത്തുന്നു. ഒരു ദിശയിൽ ചലിക്കുന്ന അമ്പുകൾ തമ്മിൽ യോജിപ്പിക്കുക. തത്ഫലമായി നമുക്ക് ലഭിക്കുന്നത് ഒരു മണ്ഡലരേഖയാണ് (field line). ഇങ്ങനെ, പോയിന്റ് ചാർജിൽ നിന്നു ബഹിർഗമിക്കുന്ന നിരവധി മണ്ഡലരേഖകൾ നമുക്ക് വരയ്ക്കാൻ സാധിക്കും. വൈദ്യുതമണ്ഡല തീവ്രത സദിശത്തിന്റെ നീളത്തിന് ആനുപാതികമായിരുന്നതിനാൽ മണ്ഡലത്തിന്റെ ശക്തിയെപ്പറ്റിയുള്ള ധാരണ നമുക്ക് നഷ്ടമാകുന്നില്ല. മണ്ഡലരേഖകളുടെ സാന്ദ്രത മണ്ഡല തീവ്രതയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ചാർജിനു സമീപം E ശക്തമായതിനാൽ, അവിടെ മണ്ഡലരേഖകൾ കൂടുതൽ അടുത്തിരിക്കുകയും അതിന്റെ സാന്ദ്രത കൂടുതലായിരിക്കുകയും ചെയ്യും. ചാർജിൽ നിന്നുമകലെ, മണ്ഡലം ദുർബലമായതിനാൽ മണ്ഡലരേഖകളുടെ സാന്ദ്രത കുറയുകയും തത്ഫലമായി രേഖകൾ നന്നായി അകലുകയും ചെയ്യും.

ഒരാൾക്ക് ഒരു ചാർജിനുചുറ്റും എത്ര രേഖകൾ വേണമെങ്കിലും വരയ്ക്കാം. പക്ഷേ, മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം വലിയ പ്രാധാന്യം അർഹിക്കുന്നില്ല. പകരം വ്യത്യസ്ത മേഖലകളിലെ മണ്ഡലരേഖകളുടെ ആപേക്ഷിക സാന്ദ്രതയ്ക്കാണ് ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സിൽ പ്രാധാന്യം.

സാധാരണയായി മണ്ഡലരേഖകൾ വരയ്ക്കുന്നത് കടലാസിന്റെ പ്രതലത്തിലാണ്. ഇത് നമുക്കൊരു ദ്വിമാനചിത്രമാണ് നൽകുന്നത്. എന്നാൽ നമുക്ക് പരിചിതമായത് ത്രിമാനലോകമാണ്. അതിനാൽ, മണ്ഡലരേഖകളുടെ സാന്ദ്രത കണക്കാക്കാൻ ത്രിമാനഇടം (Three dimensional space) പരിഗണിക്കേണ്ടിവരും. അതുകൊണ്ട്, മണ്ഡല രേഖകളുടെ സാന്ദ്രത കണക്കാക്കാൻ ഒരാൾ ആഗ്രഹിച്ചാൽ, രേഖകൾക്കു ലംബമായ, യൂണിറ്റ് ഛേദതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണമാണ് അയാൾ പരിഗണിക്കേണ്ടത്. പോയിന്റ് ചാർജിൽ നിന്നുള്ള ദൂരത്തിന്റെ വർഗത്തിന് ആനുപാതികമായി വൈദ്യുത മണ്ഡലം കുറയുന്നതുപോലെ, ദൂരത്തിന്റെ വർഗത്തിന് ആനുപാതികമായി ചാർജിനെ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പ്രതല പരപ്പളവ് വർധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ടുതന്നെ ചാർജിനെ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം എപ്പോഴും (പ്രതലം ചാർജിൽനിന്ന് എത്ര അകലെയാണെങ്കിലും) സ്ഥിരമായിരിക്കും.



ചിത്രം 1.16 വൈദ്യുതമണ്ഡല തീവ്രതയ്ക്ക് ദൂരവുമായുള്ള ആശ്രിതത്വം; അതിനു മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണവുമായുള്ള ബന്ധം

സ്പെയിസിലെ വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ സൂചിപ്പിക്കാൻ മണ്ഡലരേഖകൾക്കാകുമെന്ന് നാം കണ്ടു കഴിഞ്ഞു. ചാർജിനു ചുറ്റും ഒരു കൂട്ടം മണ്ഡലരേഖകൾ വരച്ചാൽ, വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിലെ മണ്ഡലരേഖകളുടെ ആപേക്ഷിക സാന്ദ്രത (അടുപ്പം) സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ആ ബിന്ദുക്കളിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ ആപേക്ഷിക തീവ്രത (ശക്തി)യാണ്. രേഖകൾ ചേർന്നു നിൽക്കുന്നയിടങ്ങളിൽ മണ്ഡലം ശക്തമായിരിക്കും. അതേസമയം, കൂടുതൽ അകന്നു നിൽക്കുന്നയിടങ്ങളിൽ മണ്ഡലം ദുർബലമായിരിക്കുകയും ചെയ്യും. മണ്ഡലരേഖകളുടെ

ഒരു ഗണമാണ് ചിത്രം 1.16 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്നത്. മണ്ഡലരേഖകൾക്ക് ലംബമായി ചെറുതും തുല്യവുമായ R, S എന്നീ പ്രതല അംശങ്ങൾ (area elements) നമുക്ക് സങ്കല്പിക്കാം. ചിത്രത്തിൽ, പ്രതല അംശങ്ങളെ മുറിച്ചുകടക്കുന്ന മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം ആ ബിന്ദുക്കളിലെ മണ്ഡലത്തിന്റെ അളവിന് ആനുപാതികമായിരിക്കും. S എന്ന ബിന്ദുവിലെ മണ്ഡലത്തേക്കാൾ ശക്തമായ മണ്ഡലമാണ് R ൽ എന്നാണ് ചിത്രം നമുക്ക് കാണിച്ചു തരുന്നത്.

മണ്ഡലരേഖകളും പ്രതലവിസ്തീർണവും അല്ലെങ്കിൽ അതുണ്ടാക്കുന്ന ഘനകോണുമായുള്ള ബന്ധം മനസ്സിലാക്കുന്നതിനായി ഘനകോണും പ്രതല പരപ്പളവുമായുള്ള ബന്ധം വിശകലനം ചെയ്ത മതിയാവും. ഒരു ചെറുപ്രതലം (area element) ഉണ്ടാക്കുന്ന ഘനകോൺ എന്നത്, പ്രതല കോണളവിന്റെ (plane angle) ത്രിമാന ചിത്രീകരണമാണ്. ദ്വിമാനപ്രതലത്തിൽ പ്രതലകോൺ നിർവചിച്ചതെങ്ങനെയെന്ന് ഓർത്തെടുക്കൂ. അവലംബകകേന്ദ്രത്തിൽ നിന്ന് r ദൂരം അകലെയായി Δl എന്ന തിരശ്ചീന രേഖീയഅംശം വച്ചിരിക്കുന്നതായി കരുതുക. അപ്പോൾ, കേന്ദ്രം O യിൽ Δl സൃഷ്ടിക്കുന്ന പ്രതലകോൺ $\Delta\theta$ ഏകദേശം $\Delta l/r$ ആയിരിക്കും. സമാനമായി, ത്രിമാന ഇടത്തിൽ, മൂലബിന്ദുവിൽ നിന്ന് r ദൂരത്തിലുള്ള ചെറിയ ലംബപ്രതലം ΔS സൃഷ്ടിക്കുന്ന ഘനകോൺ, $\Delta\Omega = \Delta S/r^2$ എന്നെഴുതാം. ഒരു നിശ്ചിത ഘനകോണിലൂടെയുള്ള ആരമിക മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം എപ്പോഴും തുല്യമായിരിക്കും*. ഇതു മനസ്സിലാക്കാനായി ചിത്രം 1.16 നിരീക്ഷിക്കുക. ചിത്രം 1.16 ൽ ചാർജിൽ നിന്ന് r_1, r_2 എന്നീ ദൂരങ്ങളിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന P_1,P_2 എന്നീ ബിന്ദുക്കളിൽ $\Delta\Omega$ എന്ന ഘനകോൺ സൃഷ്ടിക്കുന്ന പ്രതലങ്ങളുടെ പരപ്പളവ് യഥാക്രമം $r_1^2\Delta\Omega$, $r_2^2\Delta\Omega$ എന്നിവയാണ്. ഈ പ്രതലങ്ങളെ മുറിച്ചുകടക്കുന്ന മണ്ഡല രേഖകളുടെ എണ്ണം (n) തുല്യമാണ്. അതിനാൽ, യൂണിറ്റ് പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന മണ്ഡല രേഖകളുടെ എണ്ണം P_1ൽ $n/(r_1^2\Delta\Omega)$യും P_2 ൽ $n/(r_2^2\Delta\Omega)$ യും ആകുന്നു. ഇവിടെ n, $\Delta\Omega$ എന്നിവ പൊതുവായതിനാൽ, വൈദ്യുതമണ്ഡലതീവ്രത എപ്പോഴും $1/r^2$ നെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്ന് കാണാം.

ചാർജ് വിന്യാസങ്ങൾക്കു ചുറ്റുമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങളെ ഗണിതപരമല്ലാതെ, പൂർണമായും മനസ്സിലാക്കാനായുള്ള ഒരു ഉപാധിയാണ് ഫാരഡെ ആവിഷ്കരിച്ച മണ്ഡലരേഖകൾ എന്ന ആശയം. അദ്ദേഹം അവയെ ബലരേഖകൾ എന്നു വിളിച്ചു. ഈ പദം പല സന്ദർഭങ്ങളിലും തെറ്റിദ്ധാരണാജനകമാണ്, പ്രത്യേകിച്ചും കാന്തികമണ്ഡലവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടു പറയുമ്പോൾ ഏറ്റവും യോജിച്ച പദം (കാന്തിക, അല്ലെങ്കിൽ വൈദ്യുത) മണ്ഡലരേഖകൾ എന്നതുതന്നെയാണ്. ഈ പേരുതന്നെയാണ് ഈ പുസ്തകത്തിൽ നാം സ്വീകരിച്ചിരിക്കുന്നതും.

ചാർജ് വിന്യാസങ്ങൾക്കു ചുറ്റുമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെ ചിത്രീകരിക്കാനുള്ള മാർഗമാണ് വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖകൾ. ഒരു വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖ എന്നത് സാധാരണയായി ഒരു വക്രരേഖയാണ്; അതിലെ ഏതൊരു ബിന്ദുവിലെയും പരിണത വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ആ ദിശ ആ ബിന്ദുവിൽ നാം വരയ്ക്കുന്ന സ്പർശരേഖയുടെ ദിശയിലായിരിക്കും. ഇത്തരം തൊടുവര (tangent) കൾക്ക് രണ്ടു ദിശകൾ സൂചിപ്പിക്കാനാവും. അതുകൊണ്ട്, യഥാർഥ മണ്ഡലദിശ സൂചിപ്പിക്കുന്നതിനായി നിർബന്ധമായും മണ്ഡലരേഖയിൽ ഒരു അമ്പടയാളം വരയ്ക്കേണ്ടതാണ്. ഒരു ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന മണ്ഡലരേഖ എപ്പോഴും ത്രിമാനതലത്തിൽ വ്യാപിച്ചിരിക്കുന്നു. അതിനാൽ, മണ്ഡലരേഖകൾ ത്രിമാനഇടത്തിൽ വരയ്ക്കുന്ന വക്രരേഖകളായിരിക്കും.

* ഘനകോൺ എന്നത് ഒരു ഖര കോണിന്റെ അളവാണ്. R ആരമുള്ള ഒരു ഗോളത്തിലെ ഒരു കോൺ ആകൃതിയിലുള്ള ഭാഗം പരിഗണിക്കുക. ആ കോണിന്റെ ഘനകോൺ $\Delta\Omega$ എന്നത് $\Delta S/R^2$ നു തുല്യമാകുമെന്ന് നിർവചിക്കാം. ഇവിടെ ΔS എന്നത് ഗോളോപരിതലത്തിൽ കോൺ അടർത്തിയെടുത്താലുള്ള പരപ്പളവാണ്.

ചില ലളിതമായ ചാർജ് വിന്യാസങ്ങൾക്ക് ചുറ്റുമുള്ള മണ്ഡലരേഖകളെ ചിത്രം 1.17 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. മുമ്പു പ്രസ്താവിച്ചതുപോലെ, മണ്ഡലരേഖകൾ ത്രിമാന ഇടത്തിലാണുള്ളതെങ്കിലും ചിത്രത്തിൽ ഒരു പ്രതലത്തിലെ രേഖകളായാണ് ദൃശ്യമാകുന്നത്. ഒരു പോസിറ്റീവ് ചാർജിന്റെ മണ്ഡലരേഖകൾ ആരമികമായി ബഹിർഗമിക്കുമ്പോൾ ഒരു നെഗറ്റീവ് ചാർജിലേക്ക് രേഖകൾ ആരമികമായി അന്തർഗമിക്കുന്നു. രണ്ട് പോസിറ്റീവ് ചാർജുകൾ (q, q) ചേർന്ന ഒരു വ്യവസ്ഥയ്ക്കു ചുറ്റുമുള്ള മണ്ഡലരേഖകൾ അവ തമ്മിലുള്ള പരസ്പര വികർഷണത്തെക്കുറിച്ചുള്ള സുവ്യക്തമായ ഒരു വിവരണം (ചിത്രം 1.17 c) നൽകുന്നു. അതുപോലെ തുല്യവും വിപരീതവുമായ രണ്ടു ചാർജുകൾ (q, -q) അഥവാ, ഡൈപോളിനു ചുറ്റുമുള്ള രേഖകൾ ചാർജുകൾക്കിടയിലെ ആകർഷണത്തെ വ്യക്തമായി കാണിക്കുന്നു. മണ്ഡലരേഖകളുടെ ചില മൗലികമായ ഗുണങ്ങൾ ചുവടെ കൊടുക്കുന്നു.

(i) മണ്ഡലരേഖകൾ പോസിറ്റീവ് ചാർജിൽ നിന്ന് ആരംഭിക്കുകയും നെഗറ്റീവ് ചാർജിൽ അവസാനിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു ഒറ്റപ്പെട്ട ചാർജാണെങ്കിൽ അവ ആരംഭിക്കുന്നതോ അവസാനിക്കുന്നതോ അനന്തതയിലായിരിക്കും.

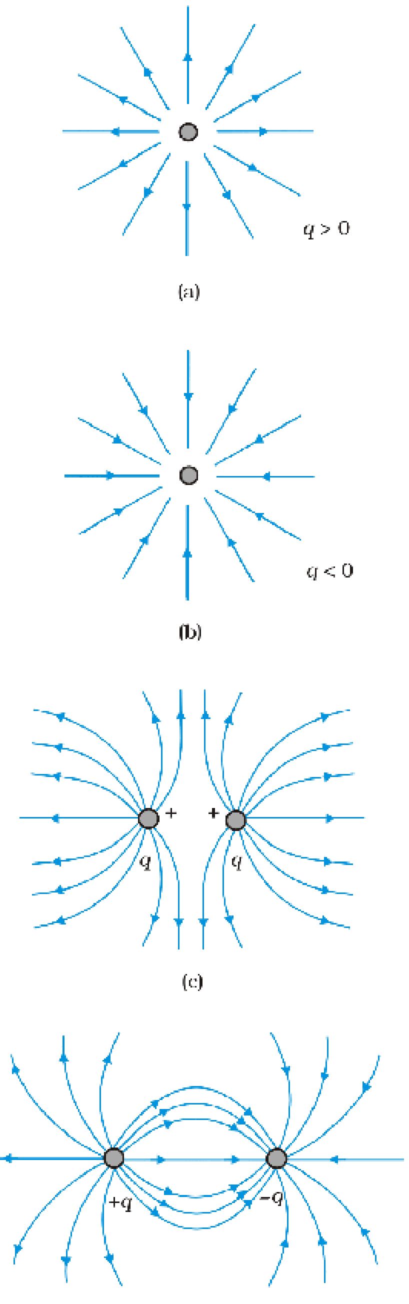
(ii) ചാർജ് മുക്തമായ ഒരു മേഖലയിൽ, വൈദ്യുതമണ്ഡല രേഖകളെ മുറിക്കപ്പെടാത്തതും അവിച്ഛിന്നവുമായ വക്ര രേഖകളായി പരിഗണിക്കാം.

(iii) രണ്ട് മണ്ഡലരേഖകൾ ഒരിക്കലും പരസ്പരം മുറിച്ചു കടക്കുന്നില്ല. (അങ്ങനെ സംഭവിച്ചാൽ, അവ കൂടിച്ചേരുന്ന ബിന്ദുവിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ഏകദിശാസ്വഭാവം നഷ്ടപ്പെടുന്നതായി കാണാം. അതിനാൽ ഇത് യുക്തിരഹിതമാണ്.

(iv) സ്ഥിതവൈദ്യുത മണ്ഡലരേഖകൾ ഒരിക്കലും അടഞ്ഞ വലയങ്ങളായിരിക്കില്ല (closed loops). വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ സംരക്ഷിതസ്വഭാവത്തിൽ നിന്ന് ഇത് മനസ്സിലാക്കാം (അധ്യായം 2).

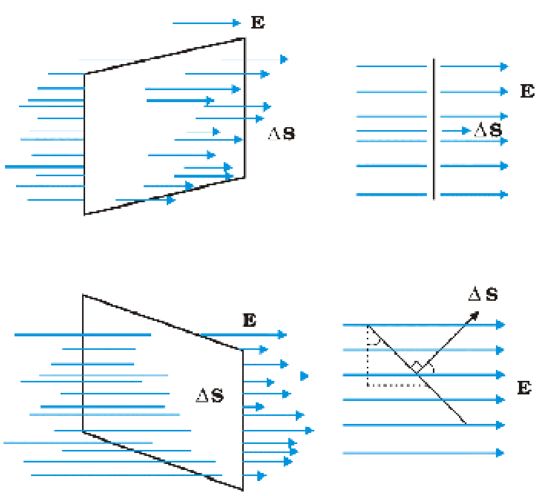
1.10 വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് (Electric flux)

dS പരപ്പളവുള്ള ചെറിയ പരന്ന പ്രതലത്തിലൂടെ, പ്രതലത്തിനു ലംബമായി **v** വേഗത്തിലുള്ള ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ ഒഴുക്ക് പരിഗണിക്കുക. യൂണിറ്റ് സമയത്തിൽ പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന ദ്രാവകത്തിന്റെ ഉള്ളളവ് $v\,dS$ കണ്ടെത്തുകവഴി ദ്രാവകം ഒഴുകുന്നതിന്റെ തോത് മനസ്സിലാക്കാം. ഇത് ദ്രാവകത്തിന്റെ ഒഴുക്കുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഫ്ളക്സിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. പ്രതലത്തിൽ നാം വരയ്ക്കുന്ന ലംബം, ദ്രാവകചലനത്തിന്റെ ദിശയ്ക്ക് സമാന്തരമല്ലാതെ അതുമായി θ എന്ന കോണളവ് സൃഷ്ടിക്കുന്നുവെങ്കിൽ **v**ക്കു ലംബമായ പ്രക്ഷേപിത പരപ്പളവ് $dS\cos\theta$ ആകുന്നു. ഇവിടെ ദ്രാവകം ഒഴുകുന്നതിന്റെ തോത് $v\,dS\cos\theta$



ചിത്രം 1.17
ലളിത ചാർജ് വിന്യാസങ്ങൾ ചുറ്റുമുള്ള മണ്ഡല രേഖകൾ

ആണ്. അതുകൊണ്ടു dS എന്ന പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന ഫ്ളക്സ് $\mathbf{v} \cdot \hat{\mathbf{n}}\, dS$ എന്ന് എഴുതാൻ കഴിയും.

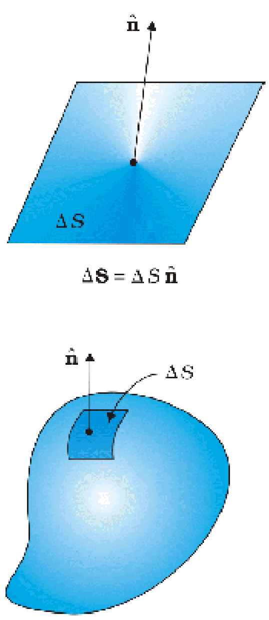


ചിത്രം 1.8 മണ്ഡലം E യും ലംബത്തിനും θ യും ഇടയിലെ ചരിവ് $\hat{\mathbf{n}}$ യും വൈദ്യുത ഫ്ളക്സും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം

വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെപ്പറ്റി പ്രതിപാദിക്കുമ്പോൾ ഇതിനു സമാനമായ മറ്റൊരു ഭൗതിക അളവ് നാം നിർവചിക്കുന്നു. ഇതിനെ *വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ്* എന്നു വിളിക്കുന്നു.

ദ്രാവകചലനത്തിലെന്നപോലെ ദൃശ്യമായ ഏതെങ്കിലും ഭൗതികസത്തകളുടെ ഒഴുക്ക് ഇവിടെയുണ്ടാകുന്നില്ല, എന്നത് പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധിക്കേണ്ടതാണ്.

വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖകളുടെ ചിത്രത്തിൽ മണ്ഡലത്തിന് ലംബമായ യൂണിറ്റ് പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം ആ ബിന്ദുവിലെ മണ്ഡലതീവ്രതയെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു എന്നു നാം മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ടല്ലോ. അതുകൊണ്ട്, ΔS പരപ്പളവുള്ളതും ഒരു ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡല ദിശയ്ക്ക് ലംബതലത്തിൽ ഉള്ളതുമായ ഒരു ചെറു പ്രതല അംശത്തിലൂടെ (planar area element) കടന്നുപോകുന്ന മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം $E\Delta S$ ന് ആനുപാതികമായിരിക്കും*. ഇപ്പോൾ, ഈ പ്രതല അംശം ΔS നെ ചെറുതായി ചരിക്കുന്നു എന്ന് കരുതുക. വ്യക്തമായും, പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന മണ്ഡല രേഖകളുടെ എണ്ണം കുറയുന്നതായി കാണാം. E ക്കു ലംബമായ പ്രതല അംശത്തിന്റെ പ്രക്ഷേപിതം $\Delta S \cos\theta$ ആകുന്നു. അങ്ങനെ ΔS മുറിച്ചുകടക്കുന്ന മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം $E\Delta S \cos\theta$ ക്കു ആനുപാതികമാണെന്ന് കാണാം. $\theta = 90°$ ആകുമ്പോൾ മണ്ഡലരേഖകൾ ΔS നു സമാന്തരമാകുന്നു. അപ്പോൾ അവ പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നില്ല (ചിത്രം 1.18).



ചിത്രം 1.19 $\hat{\mathbf{n}}$ ഉം ΔS ഉം നിർവചിക്കുന്നതിനായുള്ള വ്യവസ്ഥാപിത രീതി

ഫ്ളക്സ് നിർണയിക്കുന്നതിൽ പലപ്പോഴും പ്രതല അംശത്തിന്റെ പരപ്പളവ് പോലെത്തന്നെ, മണ്ഡലവുമായി അതുണ്ടാക്കുന്ന ചരിവും പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, ഒരു ജലപ്രവാഹത്തിൽ ഒരു വളയത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന വെള്ളത്തിന്റെ അളവ് നാം എങ്ങനെ ആ വലയം പിടിച്ചിരിക്കുന്നു എന്നതിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും. ഒഴുക്കിന്റെ ദിശയ്ക്ക് ലംബമായി വലയം പിടിച്ചാൽ, മറ്റേതൊരു ദിശയിൽ അത് പിടിക്കുമ്പോൾ ഒഴുകുന്നതിലും കൂടുതൽ വെള്ളം ആ വളയത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതായി കാണാവുന്നതാണ്. ഇതിനർഥം പ്രതല അംശത്തെയും ഒരു സദിശമായി പരിഗണിക്കാം എന്നാണ്. പ്രതല പരപ്പളവിന്റെ ദിശ എങ്ങനെ കണക്കാക്കാം? പ്രതലത്തിൽ നാം വരയ്ക്കുന്ന ലംബമാണ് അതിന്റെ ദിശയായി കണക്കാക്കുന്നത്. അതായത്, ഒരു പ്രതലഅംശ സദിശത്തിന്റെ (area element vector) ദിശ അതിന്റെ ലംബത്തിലൂടെയായിരിക്കും.

അങ്ങനെയെങ്കിൽ ഒരു വക്രതലത്തിന്റെ പരപ്പളവ് എങ്ങനെ ഒരു സദിശമായി രേഖപ്പെടുത്താമെന്നു പരിശോധിക്കാം. ഇതിനായി ഈ വക്രതലത്തെ ധാരാളം ചെറിയ പ്രതല അംശങ്ങൾ ആയി വിഭജിക്കുന്നു. അതിനുശേഷം ഓരോ ചെറിയ പ്രതല

* മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണം $E\Delta S$ ആണെന്നു പറയുന്നത് ഉചിതമല്ല. നാം എത്ര മണ്ഡലരേഖകൾ വരയ്ക്കുന്നു എന്നതാണ്, ഈ എണ്ണത്തിനാധാരം. വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിൽ ഒരു നിശ്ചിത പരപ്പളവുള്ള പ്രതലം മുറിച്ചുകടക്കുന്ന രേഖകളുടെ ആപേക്ഷിക എണ്ണത്തിനാണ് എന്തെങ്കിലും ഭൗതികപ്രസക്തിയുള്ളത്.

അംശത്തെയും ഓരോ ചെറുപ്രതലങ്ങളായി കണക്കാക്കി, മേൽപ്പറഞ്ഞതുപോലെ ലംബദിശയിൽ അവ ഓരോന്നിനും ദിശ നൽകുന്നു.

ഇവിടെ ഒരു ചെറിയ സംശയം ഉണ്ടാകാം. പ്രതല അംശത്തിന്റെ ദിശ അതിന്റെ പ്രതലത്തിനു ലംബമാണ്. പക്ഷേ, ലംബം രണ്ടു ദിശകളിലേക്കാകാം. അപ്പോൾ പ്രതല അംശവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സദിശത്തിനു നാം ഏതു ദിശ തിരഞ്ഞെടുക്കും? ഈ സംശയം ദൂരീകരിക്കാനായി നാം ഉപയോഗിക്കുന്നത് താഴെപ്പറയുന്ന നിബന്ധനയാണ്. നാം പരിഗണിക്കുന്നത് ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലമെങ്കിൽ പ്രതല അംശങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സദിശങ്ങളെല്ലാം ബഹിർഗമന ലംബങ്ങളായിരിക്കും (outward normal). ഈ നിബന്ധന അനുസരിച്ചാണ് ചിത്രം 1.19 വരച്ചിരിക്കുന്നത്. ഇതു പ്രകാരം ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലത്തിലെ (closed surface) ഒരു ചെറിയ പ്രതല അംശമായ ΔS എന്ന സദിശത്തെ $\Delta S\ \hat{\mathbf{n}}$ എന്ന് രേഖപ്പെടുത്താം. ഇവിടെ ΔS, പ്രതല അംശത്തിന്റെ അളവും $\hat{\mathbf{n}}$ ബഹിർഗമനലംബത്തിന്റെ ദിശയിലുള്ള ഏക സദിശവുമാണ് (unit vector).

ഇനി വൈദ്യുത ഫ്ളക്സിന്റെ നിർവചനമെന്തെന്നു നോക്കാം. ഒരു പ്രതല അംശം ΔS ൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്ന വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ്,

$$\Delta\phi = \mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} = E\,\Delta S\ \cos\theta \qquad (1.11)$$

എന്നു നിർവചിക്കാം. മേൽ സൂചിപ്പിച്ചപോലെ, വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് പ്രതല അംശത്തിൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്ന മണ്ഡലരേഖകളുടെ എണ്ണത്തിന് ആനുപാതികമാണ്.

ഇവിടെ θ എന്നത് $\mathbf{E}$ യ്ക്കും $\Delta\mathbf{S}$ നും ഇടയിലുള്ള പ്രതല കോണളവാകുന്നു. വ്യവസ്ഥാപിത രീതിയനുസരിച്ച്, ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലത്തിൽ θ എന്നത് വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിനും (E) ബഹിർഗമന പ്രതലലംബത്തിനും ഇടയിലുള്ള കോണളവ് ആണ്. രണ്ടു വ്യത്യസ്ത രീതികളിൽ $E\,\Delta S\cos\theta$ യെ നമുക്ക് നിരീക്ഷിക്കാം.
വൈദ്യുതമണ്ഡല തീവ്രത E യും അതിന്റെ ദിശയിലുള്ള പ്രതലത്തിന്റെ ഘടകസദിശവു ($\Delta S\cos\theta$) യുമായുള്ള ഗുണനഫലം $E(\Delta S\cos\theta)$ അല്ലെങ്കിൽ പ്രതലപരപ്പളവ് ΔS ഉം അതേ ദിശയിലുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡല തീവ്രതയുടെ ഘടകസദിശവും ($E\cos\theta$) തമ്മിലുള്ള ഗുണനഫലം, $\Delta S\,(E\cos\theta)$. വൈദ്യുത ഫ്ളക്സിന്റെ യൂണിറ്റ് $NC^{-1}m^2$ ആണ്.

മേൽപ്പറഞ്ഞ സമവാക്യം (1.11) നൽകിയ നിർവചനപ്രകാരം, ഏതൊരു പ്രതലത്തിലൂടെയുമുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് കണ്ടെത്താം. തന്നിരിക്കുന്ന പ്രതലത്തെ ചെറു പ്രതല അംശങ്ങളായി വിഭജിച്ച്, അവ ഓരോന്നിലെയും ഫ്ളക്സ് കണ്ടെത്തി അവയുടെ തുക കാണുകയെന്നതാണ് ഇതിനായി നാം സ്വീകരിക്കേണ്ട മാർഗം. ഇതു പ്രകാരം, S പ്രതല വിസ്തൃതിയുള്ള പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന ആകെ ഫ്ളക്സ്

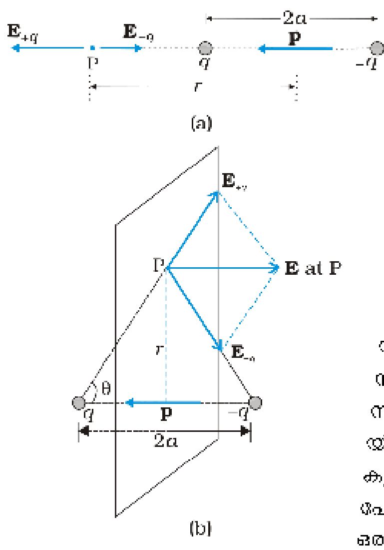
$$\phi \simeq \Sigma\ \mathbf{E}\cdot\Delta\mathbf{S} \qquad (1.12)$$

ഇവിടെ ഏകദേശ ചിഹ്നം ഉപയോഗിക്കാനുള്ള കാരണമെന്താണ്? ΔS എന്ന ചെറുപ്രതലത്തിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലം **E** ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയായാണ് പരിഗണിക്കുന്നത്. ഇത് ഗണിതപരമായി സത്യമാകണമെങ്കിൽ ΔS ന്റെ മൂല്യം പൂജ്യത്തോടടുക്കണം. അപ്പോൾ സമവാക്യം (1.12) ലെ തുക ഒരു സമാകലന ബന്ധമായി (integral) എഴുതാം.

1.11 വൈദ്യുത ഡൈപോൾ (Electric dipole)

തുല്യവും വിപരീതവുമായ q, −q എന്നീ ചാർജുകൾ, 2a അകലത്തിൽ ഇരിക്കുമ്പോൾ ഒരു വൈദ്യുത ഡൈപോൾ രൂപംകൊള്ളുന്നു. −q വിൽ നിന്ന് +q ലേക്കുള്ള ദിശയാണ് സ്പേസിൽ വൈദ്യുത ഡൈപോളിന്റെ ദിശയായി പരിഗണിച്ചുവരുന്നത്. q വിന്റെയും -q ന്റെയും സ്ഥാനങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള മധ്യബിന്ദുവിനെ ഡൈപോളിന്റെ കേന്ദ്രമെന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ഡൈപോളിലെ ആകെ ചാർജ് പൂജ്യമാണ്. എന്നാൽ ഇതുമൂലം ഡൈപോൾ ഉണ്ടാക്കുന്ന മണ്ഡലം പൂജ്യമാണെന്നർഥമില്ല. +q വിനും -q വിനും ഇടയിൽ ചെറിയ അകലമുള്ളതിനാൽ അവ ഓരോന്നും മൂലമുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങൾ കൃത്യമായി നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുന്നില്ല. എന്നാൽ, ഡൈപോളിലെ ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള അകലത്തേക്കാൾ വളരെ കൂടിയ അകലത്തിൽ ($r >> 2a$), +q ഉം −q ഉം മൂലമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങൾ ഏകദേശം നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുന്നു. അതിനാൽ,



ചിത്രം 1.20. ഒരു വൈദ്യുത ഡൈപോളിന്റെ (a) അക്ഷത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലും (b) മധ്യരേഖാതലത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലും അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം. ഡൈപോൾ മൊമന്റ് സദിശം, p യുടെ അളവ് p = q × 2a യും അതിന്റെ ദിശ −q ൽ നിന്നും q ലേക്കുമാണ്.

വലിയ ദൂരങ്ങളിൽ ഡൈപോൾ മൂലമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം $\frac{1}{r^3}$ എന്ന അനുപാതത്തിലും വേഗത്തിലും കുറയുന്നു. (ഏക ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന മണ്ഡലം ദൂരവുമായി $\frac{1}{r^2}$ എന്ന ആശ്രിതത്വമാണ് പ്രകടിപ്പിക്കുന്നത്). തുടർന്നു വരുന്ന ഗണിതക്രിയകളിലൂടെ മേൽപ്പറഞ്ഞ ഗുണപരമായ ആശയങ്ങൾ വിശദമായി മനസ്സിലാക്കാം.

1.11.1 വൈദ്യുത ഡൈപോൾ മണ്ഡലം (The field of an electric dipole)

സ്പെയ്സിലെ ഏതൊരു ബിന്ദുവിലും q, -q എന്നീ ജോടി ചാർജുകൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണ്ടെത്താൻ കൂളോം നിയമവും സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്ത്വവും ഉപയോഗിക്കാം. ബിന്ദുക്കളിൽ ഈ രീതിയിൽ മണ്ഡലം കണക്കാക്കിനോക്കാം. (i) ബിന്ദു ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിലാകുമ്പോൾ (ii) ബിന്ദു, ലംബീയ മധ്യരേഖാ പ്രതലത്തിലാകുമ്പോൾ (ഡൈപോൾ കേന്ദ്രത്തിലൂടെ, അക്ഷത്തിനു ലംബമായ പ്രതലം). ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദു P യിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണക്കാക്കാനായി, P യിൽ -q, +q എന്നീ ചാർജുകൾ ചെലുത്തുന്ന, യഥാക്രമം $\mathbf{E}_{-q}$, $\mathbf{E}_{+q}$ എന്നീ വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങൾ സദിശപരമായി പരസ്പരം കൂട്ടിയാൽ മതിയാകും. ഇതിനായി സദിശങ്ങളുടെ സാമാന്തരിക സങ്കലനനിയമം (Parallellogram Law of vector addition) ഉപയോഗിക്കാം.

(i) അക്ഷത്തിലെ ബിന്ദുക്കളിൽ (For points on the axis)

ചിത്രം 1.20 (a) യിൽ കാണുന്ന രീതിയിൽ −q ചാർജിന്റെ സമീപത്തായി ഡൈപോൾ കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്ന് r ദൂരം അകലത്തിലായുള്ള ഒരു ബിന്ദുവാണ് P; അപ്പോൾ,

$$\mathbf{E}_{-q} = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0(r+a)^2}\hat{\mathbf{p}} \quad [1.13(a)]$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{p}}$ എന്നത് ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിലൂടെയുള്ള (−q ൽ നിന്നു q ലേക്കുള്ള) ഏകസദിശമാകുന്നു. കൂടാതെ,

$$\mathbf{E}_{+q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0(r-a)^2}\hat{\mathbf{p}} \quad [1.13(b)]$$

P യിലെ ആകെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{-q} + \mathbf{E}_{+q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{(r-a)^2} - \frac{1}{(r+a)^2}\right]\hat{\mathbf{p}}$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{4ar}{(r^2-a^2)^2}\hat{\mathbf{p}} \qquad (1.14)$$

$r >> a$ ആകുമ്പോൾ

$$\mathbf{E} = \frac{4qa}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\hat{\mathbf{p}} \qquad (r >> a) \qquad (1.15)$$

(ii) ലംബീയ മധ്യരേഖാതലത്തിലെ ബിന്ദുക്കളിൽ

(For points on the equatorial plane)

+q ഉം -q ഉം മൂലമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങളുടെ മൂല്യങ്ങൾ

$$E_{+q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2+a^2} \qquad [1.16\ (a)]$$

$$E_{-q} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{r^2+a^2} \qquad [1.16\ (b)]$$

ഇവ രണ്ടും സമമാണ്. ചിത്രം 1.20 (b) യിൽ $\mathbf{E}_{+q}$ ന്റെയും $\mathbf{E}_{-q}$ ന്റെയും ദിശ വ്യക്തമാക്കിയിരിക്കുന്നു. ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിനു ലംബമായ ഘടക സദിശങ്ങൾ നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുന്നു. ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിലൂടെയുള്ള ഘടകസദിശങ്ങൾ കൂടിച്ചേരുന്നു. ആകെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം $\hat{\mathbf{p}}$ എന്ന ഏകക സദിശത്തിനു വിപരീത ദിശയിലാണ്. നമുക്ക്,

$$\mathbf{E} = -(E_{+q} + E_{-q})\cos\theta\ \hat{\mathbf{p}}$$

$$= -\frac{2qa}{4\pi\varepsilon_o(r^2+a^2)^{3/2}}\hat{\mathbf{p}} \qquad (1.17)$$

വലിയ അകലങ്ങളിൽ i.e (r>>a ആകുമ്പോൾ) E യുടെ വില

$$\mathbf{E} = -\frac{2qa}{4\pi\varepsilon_o r^3}\hat{\mathbf{p}} \qquad (r >> a) \qquad (1.18)$$

ഡൈപോളിൽ നിന്നു വളരെ അകലെയുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന 1.15, 1.18 എന്നീ സമവാക്യങ്ങളിൽ q ഉം a യും ഉൾക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നത് സമാനരീതിയിലാണ്. ഇരു സമവാക്യങ്ങളിലും ഇവയുടെ ഗുണിതമായാണ് കാണപ്പെടുന്നത്. ഇത് ഡൈപോൾ മൊമന്റ് എന്ന ആശയത്തിലേക്ക് നമ്മെ നയിക്കും. ഒരു വൈദ്യുത ഡൈപോളിന്റെ ഡൈപോൾ മൊമന്റ് സദിശമായ **p** യെ ഇങ്ങനെ നിർവ്വചിക്കാം:

$$\mathbf{p} = q \times 2a\ \hat{\mathbf{p}} \qquad (1.19)$$

അതായത്, ചാർജ് q വിന്റെയും +q, -q ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള 2a എന്ന അകലത്തിന്റെയും ഗുണനഫലമാണ് വൈദ്യുത ഡൈപോൾ മൊമന്റ്. -q ൽ നിന്നു +q ലേക്കു നേർരേഖാദിശയിലാണ് ഈ സദിശം അനുഭവപ്പെടുന്നത്. **p** ഉപയോഗിച്ച് വലിയ അകലങ്ങളിലെ ഡൈപോൾ മണ്ഡലങ്ങളെ ലഘുവായ സമീകരണങ്ങളിലേക്ക് മാറ്റാൻ കഴിയുന്നു.

ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ (r>>a ആകുമ്പോൾ)

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_o r^3} \qquad (1.20)$$

മധ്യരേഖാതലത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ, r>>a ആണെങ്കിൽ

$$\mathbf{E} = -\frac{\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (1.21)$$

ഇവിടെ ശ്രദ്ധേയമായ വസ്തുത, വലിയ ദൂരങ്ങളിലെ ഡൈപോൾ മണ്ഡല തീവ്രത $\frac{1}{r^2}$ എന്ന ആശ്രിതത്വത്തിലല്ല, മറിച്ച് $\frac{1}{r^3}$ ആശ്രിതത്വത്തിലാണ് നിലനിൽക്കുന്നത്. കൂടാതെ, ഡൈപോൾ മണ്ഡലത്തിന്റെ അളവും ദിശയും നിർണയിക്കുന്നത് കേവലം r മാത്രമല്ല, ഡൈപോൾ മൊമന്റ് സദിശം **p**, സ്ഥാന സദിശം **r** എന്നിവയ്ക്കിടയിലുള്ള കോണളവു കൂടിയാണ്.

ഡൈപോളിന്റെ വലുപ്പം, 2a പൂജ്യത്തോടടുക്കുമ്പോൾ $p=q\times 2a$ ന്റെ വില പൂജ്യത്തോടടുക്കുന്നു. ഇതൊഴിവാക്കാനായി $p=q\times 2a$ യുടെ മൂല്യം നിശ്ചിതമാകുന്ന വിധത്തിൽ q ന്റെ മൂല്യം അനന്തതയോടടുക്കുന്നു. ഇത്തരമൊരു ഡൈപോളിനെ പോയിന്റ് ഡൈപോൾ എന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു പോയിന്റ് ഡൈപോളിന്റെ എല്ലാ r മൂല്യങ്ങൾക്കും സമവാക്യം (1.20) ഉം (1.21) ഉം സാധുവായിരിക്കും.

1.11.2 ഡൈപോളിന്റെ ഭൗതികപ്രസക്തി (Physical significance of Dipoles)

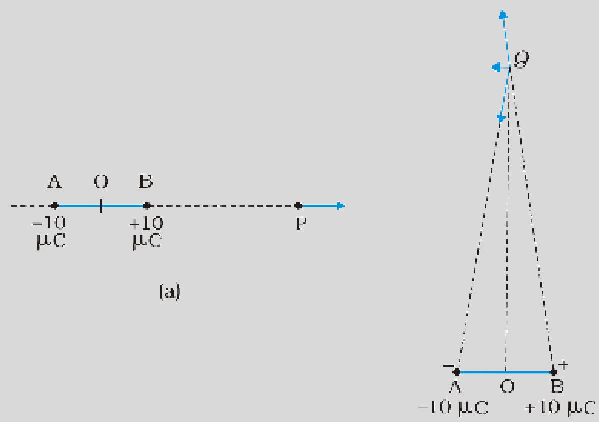
മിക്കവാറും എല്ലാ തന്മാത്രകളിലും പോസിറ്റീവ് ചാർജിന്റെയും നെഗറ്റീവ് ചാർജിന്റെയും കേന്ദ്രങ്ങൾ * ഒരേ ബിന്ദുവിലാണ് കാണപ്പെടുന്നത്. അതുകൊണ്ടുതന്നെ അവയുടെ ഡൈപോൾ മൊമന്റ് പൂജ്യമായിരിക്കും. CO_2, CH_4 തുടങ്ങിയവ ഇത്തരം തന്മാത്രകൾക്കുദാഹരണമാണ്. എന്നിരുന്നാലും, ഒരു ബാഹ്യവൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിൽ ഇത്തരം തന്മാത്രകളിൽ ഒരു ഡൈപോൾ മൊമന്റ് ഉടലെടുക്കാറുണ്ട്. ചില തന്മാത്രകളിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജുകളുടെയും നെഗറ്റീവ് ചാർജുകളുടെയും കേന്ദ്രങ്ങൾ ഒരുമിച്ചു വരാറില്ല. ഇക്കാരണത്താൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അഭാവത്തിലും ഇത്തരം തന്മാത്രകളിൽ ഒരു സ്ഥിരമായ വൈദ്യുത-ഡൈപോൾ മൊമന്റ് കാണപ്പെടുന്നു. ഇത്തരം തന്മാത്രകളെ പോളാർ തന്മാത്രകൾ എന്നു പറയുന്നു. ജലതന്മാത്രകൾ (H_2O) ഇതിനൊരുദാഹരണമാണ്.

വ്യത്യസ്ത പദാർഥങ്ങൾ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിലോ, അസാന്നിധ്യത്തിലോ പ്രദർശിപ്പിക്കുന്ന പ്രയോഗക്ഷമതയും സവിശേഷ പ്രതിഭാസങ്ങളും ഇവയെപ്പറ്റിയുള്ള പഠനം രസകരമാക്കുന്നു.

ഉദാഹരണം 1.10

ഉദാഹരണം 1.10 : 5.0 mm അകലത്തിൽ +10 μC, −10 μC എന്നീ രണ്ടു ചാർജുകൾ വച്ചിരിക്കുന്നു. താഴെ പറയുന്ന ബിന്ദുക്കളിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡല തീവ്രത കണ്ടെത്തുക. (a) ചിത്രം 1.21 (a) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ പോസിറ്റീവ് ചാർജിനു സമീപത്തായി, കേന്ദ്രബിന്ദു O യിൽ നിന്ന് 15 cm ദൂരത്തായുള്ള ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിലെ P എന്ന ബിന്ദുവിൽ (b) ചിത്രം 1.21 (b) യിൽ കാണുന്ന പോലെ, ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിനു ലംബമായി O യിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്ന രേഖയിലെ (O യിൽ നിന്ന്) 15 cm അകലെയായി നിൽക്കുന്ന Q എന്ന ബിന്ദുവിൽ.

* ഒരു കൂട്ടം പോസിറ്റീവ് പോയിന്റ് ചാർജുകളുടെ കേന്ദ്രത്തെ നിർവചിക്കുന്നത് ദ്രവ്യമാനകേന്ദ്രത്തെ (Centre of mass) നിർവചിക്കുന്നതുപോലെ തന്നെയാണ് $\mathbf{r}_{cm} = \frac{\sum_i q_i \mathbf{r}_i}{\sum_i q_i}$



ചിത്രം 1.21 (b)

ഉത്തരം : −10 μC മൂലം P യിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം

$$= \frac{10^{-5}\ C}{4\pi(8.854 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2})} \times \frac{1}{(15 - 0.25)^2 \times 10^{-4}\ m^2}$$

$4.13 \times 10^6\ N\ C^{-1}$ (BP യിലൂടെ)

−10 μC മൂലം P യിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം

$$= \frac{10^{-5}\ C}{4\pi(8.854 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2})} \times \frac{1}{(15 + 0.25)^2 \times 10^{-4}\ m^2}$$

$= 3.86 \times 10^6\ N\ C^{-1}$ (PA യിലൂടെ)

A യിലെയും B യിലെയും രണ്ടു ചാർജ്ജുകൾ മൂലം P യിലെ പരിണത ssh ZypX aÞ ew 2.7×10^5 N/C (BP യിലൂടെ)

ഈ ഉദാഹരണത്തിൽ, OP/OB എന്ന അനുപാതം വലുതാണ്. (− 60)

അതിനാൽ, ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിലെ ഒരു വിദൂര ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ സമവാക്യം നേരിട്ടുപയോഗിക്കുന്നതുവഴി, മുകളിൽ ലഭിച്ചതിനു സമാനഫലങ്ങൾ കിട്ടുമെന്ന് നമുക്ക് പ്രതീക്ഷിക്കാം. ഡൈപോൾ ദൂരം 2a ആയ $\pm q$, ചാർജ്ജുകൾ ചേർന്ന ഒരു വൈദ്യുത ഡൈപോൾ, കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്ന് r ദൂരത്തിൽ, അതിന്റെ അക്ഷത്തിലുള്ള ഒരു ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ തീവ്രത,

$$E = \frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (r/a >> 1) \text{ അകുമ്പോൾ,}$$

ഇവിടെ $p = 2aq$ ഡൈപോൾ മൊമന്റിന്റെ മൂല്യമാണ്. ഡൈപോൾ മൊമന്റ് സദിശത്തിന്റെ അതേ ദിശയിലായിരിക്കും വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ (−q വിൽ നിന്നും +q ലേയ്ക്ക്) ഇവിടെ,

$$p = 10^{-5}\ C \times 5 \times 10^{-3}\ m = 5 \times 10^{-8}\ C\ m$$

അതുകൊണ്ട്,

$$E = \frac{2 \times 5 \times 10^{-8}\ C\ m}{4\pi(8.854 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2})} \times \frac{1}{(15)^3 \times 10^{-6}\ m^3} = 2.6 \times 10^5\ N\ C^{-1}$$

എന്ന ഡൈപോൾ മൊമന്റ് ദിശയിലാണ് ഇത് അനുഭവപ്പെടുന്നത്. മുൻപു

ഉദാഹരണം 1.10

ഉദാഹരണം 1.10

ലഭിച്ച ഫലത്തിനോടു വളരെയടുത്ത ഒരു ഫലമാണ് ഇവിടെ കിട്ടിയിരിക്കുന്നത്.

(b) B യിലെ $+10\ \mu C$ എന്ന ചാർജ് മൂലം Q യിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം

$$= \frac{10^{-5}\ C}{4\pi\,(8.854 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2})} \times \frac{1}{[15^2 + (0.25)^2] \times 10^{-4}\ m^2}$$

$= 3.99 \times 10^6\ N C^{-1}$ (BQ യിലൂടെ)

A യിലെ $-10\ \mu C$ എന്ന ചാർജ് മൂലം Q യിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം

$$= \frac{10^{-5}\ C}{4\pi\,(8.854 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2})} \times \frac{1}{[15^2 + (0.25)^2] \times 10^{-4}\ m^2}$$

$= 3.99 \times 10^6\ N C^{-1}$ (QA യിലൂടെ)

വ്യക്തമായും OQ വിലൂടെയുള്ള, ഈ രണ്ടു ബലങ്ങളുടെയും ഘടകസദിശങ്ങൾ പരസ്പരം നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുന്നു. എന്നാൽ BA യിലുള്ള ഘടകസദിശങ്ങൾ പരസ്പരം കൂട്ടിച്ചേർക്കപ്പെടുന്നു. തത്ഫലമായി A, B എന്നീ ബിന്ദുക്കളിലെ രണ്ടു ചാർജുകൾ മൂലം Q എന്ന ബിന്ദുവിലെ ആകെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം

$$= 2 \times \frac{0.25}{\sqrt{15^2 + (0.25)^2}} \times 3.99 \times 10^6\ N C^{-1} \quad \text{(BA യിലൂടെ)}$$

$= 1.33 \times 10^5\ N C^{-1}$ (BA യിലൂടെ)

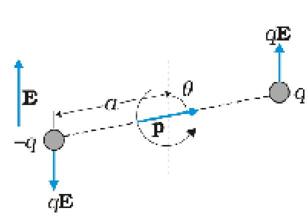
(a) യിലേതുപോലെ തന്നെ, ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിനു ലംബമായ പ്രതലത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ സമവാക്യം നേരിട്ടുപയോഗിച്ചാൽ ഏകദേശം ഇതേ ഫലം ലഭിക്കുമെന്നുതന്നെ നമുക്കു കാണാം.

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (r/a >> 1)$$

$$= \frac{5 \times 10^{-8}\ C\,m}{4\pi\,(8.854 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2})} \times \frac{1}{(15)^3 \times 10^{-6}\ m^3}$$

$= 1.33 \times 10^5\ N C^{-1}$.

ഈ അവസരത്തിൽ, വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ ഡൈപോൾ മൊമന്റ് സദിശത്തിന്റെ ദിശയ്ക്ക് വിപരീതമാണ്. മുമ്പു കിട്ടിയതുമായി ചേർന്നുപോകുന്ന ഒരു ഫലമാണ് നമുക്കിപ്പോൾ ലഭിച്ചിരിക്കുന്നത്.



ചിത്രം 1.22 ഡൈപോൾ ഒരു സമ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിൽ

1.12 ഡൈപോൾ ഒരു സമബാഹ്യമണ്ഡലത്തിൽ (Dipole in a Uniform External Field)

ചിത്രം 1.22 ൽ കാണുന്നതുപോലെ, **p** ഡൈപോൾ മൊമന്റുള്ള ഒരു സ്ഥിര-ഡൈപോൾ **E** എന്ന സമ-ബാഹ്യവൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നതായി കരുതുക. (സ്ഥിര ഡൈപോൾ എന്നാൽ **E** യുടെ അസാന്നിധ്യത്തിലും നിലനിൽക്കുന്ന ഡൈപോളെന്നാണ് ഇവിടെ അർഥമാക്കുന്നത്. അതായത് ഇത് **E** യാൽ പ്രേരിതമായ ഡൈപോൾ മൊമന്റ് അല്ല).

ഇവിടെ q വിൽ qE, –q ൽ –qE എന്നീ ബലങ്ങൾ അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ട്. ചാർജ്ജുകൾ അകന്നുനിൽക്കുന്നതിനാൽ, ബലങ്ങൾ വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുകയും ഡൈപോളിൽ ഒരു ടോർക്ക് അഥവാ കപ്പിൾ അനുഭവപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. **E** ഒരു സമമണ്ഡലമായതിനാൽ ഡൈപോളിലെ പരിണതബലം പൂജ്യമാകുന്നതു മൂലം ഡൈപോളിന് സ്ഥാനാന്തരചലനം ഉണ്ടാകുന്നില്ല. പരിണതബലം പൂജ്യമാകുമ്പോൾ ടോർക്ക് (കപ്പിൾ) ആധാരബിന്ദുവിനെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. ഇവിടെ കപ്പിളിന്റെ ഭുജത്തെ (Arm of the couple) (രണ്ട് പ്രതി–സമാന്തരങ്ങളായ ബലങ്ങൾക്കിടയിലെ ലംബദൂരം) ഏതെങ്കിലുമൊരു ബലം കൊണ്ടു ഗുണിക്കുമ്പോൾ ടോർക്കിന്റെ മൂല്യം ലഭിക്കുന്നു.

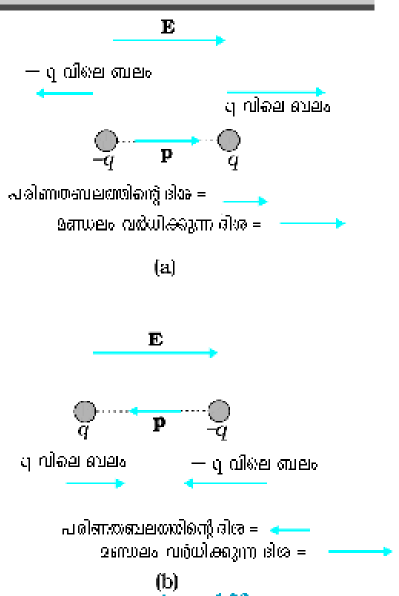
ടോർക്കിന്റെ അളവ് $= q E \times 2 a \sin\theta$

$$= 2 q a E \sin\theta$$

ടോർക്കിന്റെ ദിശ, പേപ്പറിന്റെ പ്രതലത്തിൽ നിന്നു പുറത്തേക്കായിരിക്കും. $p\,E$ യുടെ മൂല്യം $p\,E \sin\theta$ ആകുന്നു; അതിന്റെ ദിശ മുമ്പു കണ്ടതുപോലെ, പേപ്പറിന്റെ പ്രതലത്തിൽ നിന്നു പുറത്തേക്കുള്ള ലംബത്തിന്റെ ദിശയിലായിരിക്കും. അതിനാൽ,

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E} \qquad (1.22)$$

ഡൈപോളിനെ മണ്ഡലം **E** യുടെ ദിശയിലാക്കാൻ ഈ ടോർക്ക് ശ്രമിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. **E** യുടെയും **p** യുടെയും ദിശ സമാനമാകുമ്പോൾ ടോർക്ക് പൂജ്യമായി മാറുന്നു.



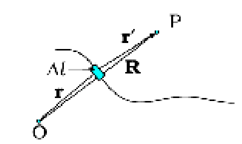
ചിത്രം 1.23
ഡൈപോളിലെ വൈദ്യുതബലം (a) E യും p യും സമാന്തരമാകുമ്പോൾ
(b) E യും p-യും പ്രതിസമാന്തരമാകുമ്പോൾ

എന്നാൽ ഡൈപോൾ ഇരിക്കുന്നത് ഒരു സമമണ്ഡലത്തിൽ അല്ലെങ്കിൽ എന്തു സംഭവിക്കുന്നുവെന്ന് പരിശോധിക്കാം. ഈ സാഹചര്യത്തിൽ പരിണതബലം എന്തായാലും പൂജ്യമല്ല. കൂടാതെ, മുമ്പു കണ്ടതുപോലെ സാമാന്യമായി ഡൈപോളിൽ ഒരു ടോർക്ക് കൂടി അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ടാവും. ഡൈപോൾ മൊമന്റ് **p**, വൈദ്യുത മണ്ഡല സദിശം E യ്ക്കു സമാന്തരവും പ്രതിസമാന്തരവുമായ ലഘുവായ സാഹചര്യങ്ങൾ നമുക്കു പരിഗണിക്കാം. ഈ രണ്ടു സാഹചര്യങ്ങളിലും ഡൈപോളിലെ ആകെ ടോർക്ക് പൂജ്യമാകുന്നു. എങ്കിലും E അസമമാണെങ്കിൽ ഡൈപോളിൽ ഒരു പരിണതബലം അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ട് .

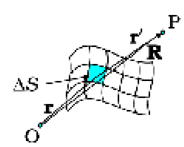
ചിത്രം 1.23 ൽ നിന്ന് ഇത് വ്യക്തമാകും. ഡൈപോൾ മൊമന്റ് സദിശം **p**, **E**ക്ക് സമാന്തരമാകുമ്പോൾ, മണ്ഡലം വർധിച്ചുവരുന്ന ദിശയിൽ ഡൈപോളിലൊരു പരിണതബലമുണ്ടെന്ന് എളുപ്പത്തിൽ കാണാവുന്നതാണ്. **p**, **E** ക്ക് പ്രതിസമാന്തരമെങ്കിൽ മണ്ഡലം കുറയുന്ന ദിശയിലായിരിക്കും പരിണതബലം അനുഭവപ്പെടുക. ചുരുക്കത്തിൽ, **E** യുമായി **p** യുടെ കോണളവ് (ചരിവ്) ആണ് ഡൈപോളിലെ ബലത്തെ നിർണയിക്കുന്നത് എന്നു പറയാം.

ഘർഷണവൈദ്യുതിയുമായി ബന്ധപ്പെട്ടു സാധാരണ നാം പറയുന്ന ഒരു നിരീക്ഷണത്തിലേക്ക് ഇതു നമ്മെ കൊണ്ടുവരുന്നു. ഉണങ്ങിയ മുടി ചീകാനുപയോഗിച്ച ചീർപ്പ് ചെറിയ കടലാസുകഷണങ്ങളെ ആകർഷിക്കുന്നു. നമുക്കറിയുന്ന പോലെ, ഘർഷണത്തിലൂടെയാണ് ചീർപ്പ് ചാർജ്ജുകളെ ആർജിക്കുന്നത്. പക്ഷേ, കടലാസുകഷണങ്ങൾ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുന്നില്ല. ചീർപ്പിനും കടലാസിനുമിടയിലെ ആകർഷണബലത്തെ എങ്ങനെ വിശദീകരിക്കാം? ഇവിടെ വൈദ്യുതീകരിക്കപ്പെട്ട ചീർപ്പ് കടലാസുകഷണങ്ങളെ ധ്രുവീകരിക്കുന്നതായി (polarize) വിശദീകരിക്കാം. ഇവിടെ ചീർപ്പിന്റെ മണ്ഡലദിശയിൽ കടലാസുകഷണത്തിൽ ഒരു പരിണത ഡൈപോൾ മൊമന്റ് പ്രേരിതമാകുന്നു. ഘർഷണം മൂലം ചീർപ്പിലുണ്ടായ വൈദ്യുതമണ്ഡലം സമമല്ല. അതുകൊണ്ട് കടലാസുകഷണങ്ങൾക്ക് ചീർപ്പിലേക്ക് ചലിക്കേണ്ടിവരുമെന്ന് കാണാവുന്നതാണ്.

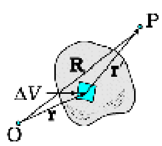
1.13 തുടർ ചാർജ് വിതരണം (Continuous Charge Distribution)



രേഖീയ ചാർജ് $\Delta Q = \lambda \Delta l$



പ്രതല ചാർജ് $\Delta Q = \sigma \Delta S$



വ്യാപ്ത ചാർജ് $\Delta Q = \rho \Delta V$

ചിത്രം 1.24
രേഖീയ, പ്രതല, വ്യാപ്ത ചാർജ് സാന്ദ്രതകളുടെ നിർവചനം. ഉദാഹരണത്തിലും അടയാളപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്ന ഓരോ അംശവും (Δl, ΔS, ΔV) സ്ഥൂലതലത്തിൽ ചെറുതാണെങ്കിലും വലിയ അളവിൽ സൂക്ഷ്മ ഘടകങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നു.

നാമിതുവരെ കണ്ടത്, $q_1, q_2, \ldots\ldots q_n$ പോലുള്ള വെവ്വേറെ ചാർജുകൾ ഉൾപ്പെട്ട ചാർജ് വിന്യാസമാണ്. ഭിന്നമായ ചാർജുകളിലേക്ക് നാം ഒതുങ്ങാനുള്ള ഒരു കാരണം, കാൽക്കുലസിന്റെ ഉപയോഗം ഇല്ലാതെ വളരെ ലളിതമായി ഗണിതക്രിയകൾ ചെയ്യാൻ കഴിയുമെന്നുള്ളതാണ്. തുടർച്ചയില്ലാത്ത (discrete) ചാർജുകൾ എപ്പോഴും ലഭ്യമാകണമെന്നില്ല. പലപ്പോഴും, തുടർ ചാർജ് വിതരണവുമായി നമുക്ക് ഇടപെടേണ്ടി വരാറുണ്ട്. ഉദാഹരണത്തിന്, വൈദ്യുതവാഹിയായ ഒരു ചാലകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിലെ ചാർജ് വിതരണം സൂക്ഷ്മങ്ങളായ ചാർജ്ഘടകങ്ങളുടെ സ്ഥാനങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ പ്രതിപാദിക്കുക പ്രായോഗികമല്ല. ചാലകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ ΔS എന്ന പ്രതലശകലം (ചിത്രം 1.24) പരിഗണിക്കുകയും അതിലെ ചാർജ് ΔQ എന്നുപറയുകയും ചെയ്യുന്നതാണ് കൂടുതൽ പ്രായോഗികം. (ΔS എന്ന പരപ്പളവ് വളരെ ചെറുതെങ്കിലും ധാരാളം ഇലക്ട്രോണുകളെ ഉൾക്കൊള്ളാൻ അവയ്ക്ക് കഴിയും. ഉപരിതലചാർജ് വിതരണത്തെ കുറിച്ചു പഠിക്കുന്നത് ലളിതമാക്കാൻ പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത എന്ന ആശയം ഉപയോഗിക്കാം. *പ്രതല ചാർജ്സാന്ദ്രത (Surface charge density)* യെ

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S} \text{ എന്നു നിർവചിക്കാം.} \tag{1.23}$$

ഈ ബന്ധം ഉപയോഗിച്ച് ചാലകത്തിലെ വിവിധ ബിന്ദുക്കളിലെ σ കണ്ടെത്താനാകും. ഇതുവഴി പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത (σ) എന്നത് തുടർച്ചയായുള്ള ഒരു ഫലനത്തിലേക്ക് (continuous function) മാറ്റാൻ കഴിയും. ഇങ്ങനെ നിർവചിക്കപ്പെട്ട പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത ഉപയോഗിച്ചാൽ ചാർജിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണത്തെയും സൂക്ഷ്മതലത്തിലെ ചാർജ് വിതരണത്തെയും പാടെ അവഗണിക്കാൻ കഴിയും*. σ എന്നത് സ്ഥൂലതലത്തിലെ പ്രതല ചാർജ്സാന്ദ്രതയാണ്. σ എന്നത് ΔS എന്ന പ്രതല അംശത്തിൽ ഒട്ടേറെ സൂക്ഷ്മതല ചാർജ്സാന്ദ്രതകളുടെ ഒരു ശരാശരിയാണ്. മുമ്പു പറഞ്ഞതുപോലെ, ΔS സൂക്ഷ്മതലത്തിൽ വലുതും സ്ഥൂലതലത്തിൽ ചെറുതും ആണെന്ന് ഓർക്കുമല്ലോ. σ യുടെ യൂണിറ്റ് C/m^2 ആണ്.

രേഖീയചാർജ് വിതരണങ്ങളെയും വ്യാപ്ത ചാർജ് വിതരണങ്ങളെയും സമാനമായ രീതിയിൽ പരിഗണിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു ചാലകക്കമ്പിയിലെ *രേഖീയ ചാർജ് സാന്ദ്രത* (linear charge density) യെ

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta l} \text{ എന്നു നിർവചിക്കാം.} \tag{1.24}$$

സ്ഥൂലതലത്തിൽ Δl എന്നത് ചാലകത്തിലെ വളരെ ചെറിയ ഒരു രേഖീയ അംശമാണ് (length element). എന്നാലും, Δl എന്ന ഈ ചെറിയ അംശത്തിൽ ധാരാളം സൂക്ഷ്മ ചാർജ്ഘടകങ്ങൾ അടങ്ങിയിരിക്കും. ΔQ എന്നത് അതിലുൾക്കൊള്ളുന്ന ചാർജിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. λ യുടെ യൂണിറ്റ് C/m ആണ്. ഇതുപോലെ *വ്യാപ്ത ചാർജ് സാന്ദ്രതയെ* (Volume charge density) (ചിലപ്പോൾ ഇതിനെ ചാർജ്സാന്ദ്രത എന്നും വിളിക്കാറുണ്ട്)

* സൂക്ഷ്മതലത്തിൽ ചാർജു വിന്യാസം വിച്ഛിന്നമാണ്. കാരണം, ചാർജുകളില്ലാത്ത ഇടങ്ങളാൽ വേർതിരിക്കപ്പെട്ട അംശ ചാർജുകളാണ് അവയോരോന്നും.

$$\rho = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \text{ എന്ന് നിർവചിക്കാം} \tag{1.25}$$

സ്ഥൂലതലത്തിൽ വളരെ ചെറുതായ ഒരു വ്യാപ്ത അംശം (volume element) ΔV വളരെയധികം സൂക്ഷ്മ ചാർജ് ഘടകങ്ങളെ ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. ρ യുടെ യൂണിറ്റ് C/m^3 ആണ്.

ബലതന്ത്രത്തിലെ തുടർ മാസ് വിന്യാസവുമായി സാദൃശ്യമുള്ള ഒന്നാണ് തുടർ ചാർജ് വിന്യാസം. ഒരു ദ്രാവകത്തിന്റെ സാന്ദ്രതയെപ്പറ്റി സൂചിപ്പിക്കുമ്പോൾ നാം പ്രതിപാദിക്കുന്നത് അതിന്റെ സ്ഥൂലതല (macroscopic) സാന്ദ്രതയാണ്. ഈ സാന്ദ്രത നിർണയിക്കുമ്പോൾ ദ്രാവകത്തെ നാം അവിച്ഛിന്നമായി പരിഗണിക്കുകയും അതിന്റെ തന്മാത്രാഘടനയെ പൂർണമായി അവഗണിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. വിഭിന്ന ചാർജുകൾ ചേർന്ന ഒരു വ്യവസ്ഥയുടെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണ്ടെത്തുന്ന രീതിയിൽ തന്നെ തുടർ ചാർജ് വിന്യാസം സൃഷ്ടിക്കുന്ന മണ്ഡലവും കണ്ടെത്താം. (സമവാക്യം 1.10) സ്പേസിലെ ഒരിടത്തുള്ള തുടർ ചാർജ് വ്യവസ്ഥയുടെ ചാർജ് സാന്ദ്രത ρ ആണെന്നിരിക്കട്ടെ. O എന്ന അനുയോജ്യമായ മൂലബിന്ദു തിരഞ്ഞെടുക്കുക. തുടർ ചാർജ് വ്യവസ്ഥയിലെ ഒരു ബിന്ദുവിലേക്കുള്ള സ്ഥാന സദിശമാണ് **r**. വ്യവസ്ഥയിലെ വിവിധ ബിന്ദുക്കളിലെ ചാർജ്സാന്ദ്രത ρ യുടെ വില വ്യത്യസ്തമാണ്. അത് **r** ന്റെ ഒരു ഫലനമാണ്. ചാർജ് വിന്യാസവ്യവസ്ഥയെ ΔV വലുപ്പമുള്ള ചെറു വ്യാപ്ത അംശങ്ങളായി വിഭജിക്കുന്നതായി സങ്കൽപ്പിക്കാം. ഒരു ΔV യിലുള്ള ചാർജ് $\rho\Delta V$ ആകുന്നു.

ഇനി, ചാർജ് വിന്യാസത്തിന്റെ അകത്തോ പുറത്തോ ഉള്ള P എന്ന ഒരു ബിന്ദു പരിഗണിക്കാം. അതിന്റെ സ്ഥാന സദിശം **R** ആകുന്നു. (ചിത്രം 1.24) കൂളോം നിയമത്താൽ $\rho\Delta V$ എന്ന ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം ഇങ്ങനെ എഴുതാം:

$$\Delta \mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\rho\,\Delta V}{r'^2}\hat{\mathbf{r}}' \tag{1.26}$$

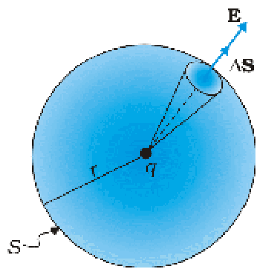
ഇവിടെ r' എന്നത് P യും വ്യാപ്ത അംശവും തമ്മിലുള്ള ദൂരമാണ്. കൂടാതെ, $\hat{\mathbf{r}}'$ വ്യാപ്ത ചാർജ് അംശത്തിൽ നിന്നു P യിലേക്കു നയിക്കുന്ന ഏകസദിശമാണ്. സൂപ്പർ പൊസിഷൻ തത്ത്വമനുസരിച്ച്, വ്യത്യസ്ത ചെറു വ്യാപ്ത അംശങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങളുടെ ആകത്തുകയാണ് മുഴുവൻ ചാർജ് വിന്യാസത്താലുമുണ്ടാകുന്ന പരിണത വൈദ്യുതമണ്ഡലം.

$$\mathbf{E} \cong \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{\text{all } \Delta V} \frac{\rho\,\Delta V}{r'^2}\hat{\mathbf{r}}' \tag{1.27}$$

$\rho, r', \hat{\mathbf{r}}'$ ഇവ ഓരോന്നും വ്യവസ്ഥയിലെ വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിൽ വ്യത്യസ്തമാണെന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുക. ഗണിതക്രിയയുടെ കൃത്യതയ്ക്കായി $\Delta V \rightarrow 0$ എന്ന് അനുമാനിക്കുമ്പോൾ, മേൽപ്പറഞ്ഞ സങ്കലനവ്യവഹാരം സമാകലനത്തിലേക്ക് (integration) വഴിമാറുന്നു. സങ്കീർണമായ ഇത്തരം ഗണിതക്രിയകൾ ഇവിടെ ചർച്ചചെയ്യുന്നില്ല.

ചുരുക്കത്തിൽ, കൂളോം നിയമവും സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്ത്വവുമുപയോഗിച്ച് പൂർണമോ ഭാഗികമോ ആയ തുടർച്ചയില്ലാത്ത, തുടർ ചാർജ് വിന്യാസങ്ങളുണ്ടാക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങൾ നിർണയിക്കാൻ സാധിക്കും.

1.14 ഗോസ്സ് നിയമം (Gauss's Law)



ചിത്രം 1.25
കേന്ദ്രത്തിൽ q എന്ന ചാർജിനെ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഗോളത്തിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സ്.

q എന്ന ചാർജ് കേന്ദ്രത്തിൽ വഹിക്കുന്ന r ആരമുള്ള ഒരു ഗോളം സങ്കൽപ്പിക്കുക. ചിത്രം (1.25) ൽ കാണുന്നതുപോലെ, ഗോളത്തെ അനേകം ചെറുപ്രതല അംശങ്ങളായി വിഭജിക്കുന്നുവെന്നും സങ്കൽപ്പിക്കുക. ഇത്തരം പ്രതലങ്ങളിലൊന്നായ ΔS എന്ന പ്രതല അംശത്തിലുള്ള ഫ്ളക്സ്

$$\Delta\phi = \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\, r^2}\,\hat{\mathbf{r}}.\Delta\mathbf{S} \qquad (1.28)$$

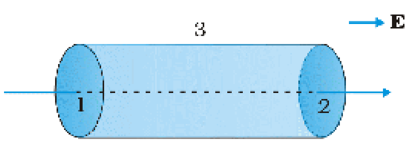
എന്നെഴുതാം.

ഇവിടെ, പോയിന്റ് ചാർജ് q മൂലമുള്ള വൈദ്യുത ചാർജ് കണ്ടെത്താൻ കൂളോം നിയമം ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നു. ഗോളകേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നു പ്രതലഅംശത്തിലേക്കുള്ള ആരസദിശത്തിലൂടെയാണ് $\hat{\mathbf{r}}$ എന്ന ഏകസദിശം വരച്ചിരിക്കുന്നത്. ഗോളോപരിതലത്തിലെ ഏതൊരു ബിന്ദുവിലും നാം വരയ്ക്കുന്ന ലംബം, ആ ബിന്ദുവിലെ ആരസദിശത്തിലൂടെ ആയതിനാൽ പ്രതല സദിശം ΔS ഉം ഏകസദിശം $\hat{\mathbf{r}}$ ഉം എല്ലായ്പ്പോഴും ഒരേ ദിശയിലായിരിക്കും. അതിനാൽ

$$\Delta\phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\, r^2}\Delta S \qquad (1.29)$$

(ഏക സദിശത്തിന്റെ അളവ് ഒന്ന് (1) ആയതിനാൽ)

വ്യത്യസ്ത പ്രതല അംശങ്ങളിലൂടെയുള്ള ചെറുഫ്ളക്സുകളുടെ ആകെ തുകയാണ് ഗോളോപരിതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന ആകെ വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ്



ചിത്രം 1.26
ഒരു സമവൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിലിരിക്കുന്ന സിലിണ്ടറിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സിന്റെ കണക്കാക്കൽ

$$\phi = \sum_{all\,\Delta S} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\, r^2}\Delta S$$

ഗോളത്തിലെ ഓരോ പ്രതല അംശവും ചാർജിൽനിന്ന് r എന്ന ഒരേ അകലത്തിലായതിനാൽ,

$$\phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\, r^2}\sum_{all\,\Delta S}\Delta S = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\, r^2}S$$

S എന്നത് ഗോളത്തിന്റെ ആകെ ഉപരിതല പരപ്പളവായ $4\pi r^2$ ആണ്. അങ്ങനെയെങ്കിൽ,

$$\phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\, r^2}\times 4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad (1.30)$$

ഇലക്ട്രോസ്റ്റാറ്റിക്സിൽ പൊതുവായി ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ഗോസ്സ് നിയമത്തിന്റെ ലഘുവായരൂപമാണ് മുകളിൽ നാം കണ്ടത്. ഗണിതപരമായ തെളിവുകളുടെ സഹായമില്ലാതെ ഗോസ്സ് നിയമം എങ്ങനെ എഴുതാമെന്നു പരിശോധിക്കാം.

അടഞ്ഞ പ്രതലം S ലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ്,

$$\phi = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad (1.31)$$

(q – പ്രതലം S ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആകെ ചാർജ്)

ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലം ചാർജ്ജുകളൊന്നും ഉൾക്കൊള്ളുന്നില്ല എങ്കിൽ ആ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ആകെ വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് പൂജ്യമായിരിക്കും എന്നാണ് ഈ നിയമം അർഥമാക്കുന്നത്. ചിത്രം 1.26 ലൂടെ വ്യക്തമായി മനസ്സിലാക്കാം.

ഇവിടെ സമവൈദ്യുത മണ്ഡലമാണ് (Uniform electric field) നാം കാണുന്നത്. ഈ മണ്ഡലത്തിലിരിക്കുന്നത് സിലിണ്ടറാകൃതിയിലുള്ള അടഞ്ഞ ഒരു പ്രതലമാണ് നാം പരിഗണിക്കുന്നത്. സിലിണ്ടറിന്റെ അക്ഷം സമവൈദ്യുത മണ്ഡലം E യ്ക്ക് സമാന്തരമാണ്. സിലിണ്ടറിന്റെ ഉപരിതലത്തി ലൂടെയുള്ള ആകെ ഫ്ളക്സ് $\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3$ ആകുന്നു. ഇവിടെ, ϕ_1, ϕ_2 എന്നിവ യഥാക്രമം സിലിണ്ടറിൽ 1, 2 എന്നീ ഛേദതലങ്ങളിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സും ϕ_3 എന്നത് സിലിണ്ടറിന്റെ വക്ര തലത്തിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സും ആണ്. പ്രതലം 3 ലെ ഓരോ ബിന്ദുവിലെയും ലംബരേഖ **E** യ്ക്കു ലംബമായി വരുന്നു. അതിനാൽ, ഫ്ളക്സിന്റെ നിർവചനമനുസരിച്ച് $\phi_3 - 0$. കൂടാതെ, പ്രതലം 2 ലെ ബഹിർഗമന ലംബം **E** യുടെ ദിശയിലും പ്രതലം 1 ലെ ബഹിർഗമന ലംബം **E** യുടെ വിപരീതദിശയിലുമാകുന്നു.

$$\phi_1 - \ E S_1, \qquad \phi_2 - +E S_2$$
$$S_1 - S_2 - S$$

ഇവിടെ S സൂചിപ്പിക്കുന്നത് വർത്തുള ഛേദതലത്തിന്റെ പരപ്പളവ് ആണ്. ഗോസ്സ് നിയമം വിഭാവനം ചെയ്തതുപോലെ, ഇവിടെ ആകെ വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് പൂജ്യമാണ്. ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ആകെ വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് എപ്പോഴൊക്കെ പൂജ്യമാകുന്നുവോ, ആ സന്ദർഭങ്ങളിലെല്ലാം ആ പ്രതലത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ചാർജ്ജുകളുടെ ആകെ മൂല്യം പൂജ്യമായിരിക്കും.

ഇത്തരം സന്ദർഭങ്ങളിൽ മാത്രമല്ല, ഗോസ്സ് നിയമം പൊതുവായി മറ്റു സന്ദർഭങ്ങളിലും ബാധകമായിട്ടുള്ളതാണ്. ഗോസ്സ് നിയമത്തിന്റെ (സമവാക്യം 1.31) മഹത്ത്വവും ഇതുതന്നെയാണ്. ഈ നിയമവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ചില പ്രധാന വസ്തുതകൾ നമുക്ക് ശ്രദ്ധിക്കാം.

(i) വലുപ്പമോ ആകൃതിയോ എന്തായാലും ഏതൊരു അടഞ്ഞ പ്രതലത്തിലും ഗോസ്സ് നിയമം ബാധകമായിരിക്കും.

(ii) ഗോസ്സ് നിയമത്തിന്റെ (സമവാക്യം 1.31) വലതുഭാഗത്തായുള്ള q എന്നത് പ്രതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ചാർജ്ജുകളുടെ ആകെ തുകയായിരിക്കും. പ്രതലത്തിനുള്ളിൽ എവിടെയും ചാർജിനു സ്ഥിതിചെയ്യാം.

(iii) ചാർജ്ജുകൾ അകത്തും പുറത്തുമായുള്ള ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലം പരിഗണി ക്കുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം (സമവാക്യം 1.31 ന്റെ ഇടതുഭാഗത്തു കാണുന്ന വൈദ്യുത ഫ്ളക്സിനു നിദാനമായ മണ്ഡലം) അടഞ്ഞ പ്രതലം S ന് അകത്തും പുറത്തുമുള്ള എല്ലാ ചാർജ്ജുകളുടെയും സംഭാവനയാണ്. എങ്കിലും സമവാക്യത്തിന്റെ വലതുഭാഗത്തുള്ള q എന്ന പദം S ന് അകത്തുള്ള ചാർജ്ജുകളെ മാത്രമേ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നുള്ളൂ.

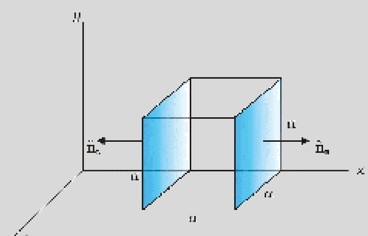
(iv) ഗോസ്സ്നിയമത്തിന്റെ പ്രയോഗത്തിനായി നാം പരിഗണിക്കുന്ന അടഞ്ഞ പ്രതലത്തെ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലമെന്നു വിളിക്കുന്നു. ഗോസ്സ്നിയമം പ്രയോഗിക്കാൻ ഏതൊരു ഗോസ്സിയൻ പ്രതലവും നമുക്ക് തിരഞ്ഞെടുക്കാം. എന്നാലും, ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം ഏതെങ്കിലും തുടർച്ചയില്ലാത്ത ചാർജ്ജുകളിലൂടെ കടന്നുപോകാൻ അനുവദിക്കാതെ ശ്രദ്ധിക്കുക. കാരണം തുടർച്ചയില്ലാത്ത (discrete) ചാർജ്ജുകളുടെ ഒരു വ്യവസ്ഥ മൂലം സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം ഒരു ചാർജിന്റെയും സ്ഥാനങ്ങളിൽ നിർവചിക്കപ്പെട്ടില്ല. (ചാർജിന്റെ സമീപത്തേക്ക് നീങ്ങും തോറും മണ്ഡലം പരിധിയില്ലാതെ വളരുന്നു). എങ്കിലും ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിന് ഒരു തുടർച്ചയുള്ള ചാർജ് വിതരണത്തിലൂടെ കടന്നുപോകാം.

(v) പരിഗണിക്കുന്ന വ്യവസ്ഥയ്ക്ക് എന്തെങ്കിലും സമമിതി ഉണ്ടെങ്കിൽ ഗോസ്സ് നിയമത്താൽ വ്യവസ്ഥയുടെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണ്ടെത്താനുള്ള ഗണിത ക്രിയകൾ കൂടുതൽ എളുപ്പമാകുന്നു. ഉചിതമായ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം സ്വീകരിക്കുക വഴി ഇത് സാധ്യമാക്കാം.

(vi) ഗോസ്സ് നിയമം അടിസ്ഥാനമാക്കിയിരിക്കുന്നത് കൂളോം നിയമത്തിന്റെ മുഖമുദ്രയായ, ദൂരവുമായുള്ള വിപരീത വർഗാശ്രിതത്വം (Inverse square dependence) ആണ്. അതിനാൽ ഗോസ്സ് നിയമത്തിന്റെ ലംഘനം വിപരീതവർഗ സിദ്ധാന്തത്തിൽ നിന്നുള്ള വ്യതിചലനമാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്.

ഉദാഹരണം 1.11

ഉദാഹരണം 1.11: ചിത്രം 1.27 ലെ വൈദ്യുതമണ്ഡല ഘടകസദിശങ്ങൾ $E_x = \alpha x^{1/2}, E_y = E_z = 0$, ഇവിടെ $\alpha = 800$ N/C $m^{1/2}$. (a) ക്യൂബിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സ് (b) ക്യൂബിനുള്ളിലെ ചാർജ് എന്നിവ കാണുക. a=0.1 m ആണെന്നു കരുതുക.



ചിത്രം 1.27

ഉത്തരം : വൈദ്യുതമണ്ഡല സദിശത്തിന് x ഘടകം മാത്രമുള്ളതിനാൽ x ദിശയ്ക്കു ലംബമായ വശങ്ങളിലെല്ലാം **E** യും Δ**S** ഉം തമ്മിലുള്ള കോണളവ് $\pm \pi/2$ ആയിരിക്കും. അതുകൊണ്ട് നിറഭേദം വരുത്തിയ രണ്ടു വശങ്ങളൊഴികെ മറ്റെല്ലാ വശങ്ങളിലും വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് $\phi = \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S}$ പൂജ്യമാണെന്നു കാണാം.

ഇടതുപ്രതലത്തിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ്

$E_L = \alpha x^{1/2} = \alpha a^{1/2}$ (ഇടതുവശത്ത് x = a ആകുന്നു)

വലതുപ്രതലത്തിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ്

$E_R = \alpha x^{1/2} = \alpha (2a)^{1/2}$ (വലതുഭാഗത്ത് x = 2a ആകുന്നു)

വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങൾ ഉണ്ടാക്കുന്ന ഫ്ളക്സുകൾ

$\phi_L \;\; \mathbf{E}_L \cdot \Delta S \;\; \Delta S\, \mathbf{E}_L \cdot \hat{\mathbf{n}}_L \;\; E_L \Delta S \cos\theta \;\; -E_L \Delta S, (\theta \;\; 180°$ ആയതിനാൽ)

$= -E_L a^2$

$\phi_R \;\; \mathbf{E}_R \cdot \Delta\mathbf{S} \;\; E_R \Delta S \cos\theta \;\; E_R \Delta S, \;\; (\theta \;\; 0°$ ആയതിനാൽ)

$E_R a^2$

അതുകൊണ്ട് ക്യൂബിലൂടെയുള്ള ആകെ ഫ്ളക്സ്,

$= \phi_R \;\; \phi_L = E_R a^2 - E_L a^2 = a^2 (E_R - E_L) = \alpha a^2 [(2a)^{1/2} - a^{1/2}]$

$\alpha\, a^{5/2} \left(\sqrt{2} \;\; 1\right)$

$= 800 (0.1)^{5/2} \left(\sqrt{2} - 1\right)$

$= 1.05$ N m^2 C^{-1}

(b) ക്യൂബിനുള്ളിലെ ആകെ ചാർജായ q കണ്ടെത്താൻ നമുക്ക് ഗോസ്സ് നിയമം ഉപയോഗിക്കാം. അതനുസരിച്ച്, $\phi \;\; q/\varepsilon_0$ അഥവാ $q \;\; \phi\varepsilon_0$ ആകുന്നു. അതിനാൽ, $q = 1.05 \times 8.854 \times 10^{\;12}$ C $= 9.27 \times 10^{\;12}$ C.

ഉദാഹരണം 1.12 : സ്പേസിൽ ഒരിടത്തെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം സമമായതും പോസിറ്റിവ് X അക്ഷത്തിൽ + X ദിശയിലും −X അക്ഷത്തിൽ സമവും ഒരേ അളവുള്ളതും എന്നാൽ −X ദിശയിലും ആണ് അനുഭവപ്പെടുന്നത്. $x>0$ ആകുമ്പോൾ $\mathbf{E}$ $200\,\hat{\mathbf{i}}$ N/C ഉം $x<0$ ആകുമ്പോൾ $\mathbf{E} =$ $200\,\hat{\mathbf{i}}$ N/C ഉം ആകുന്നു. ഈ മണ്ഡലത്തിൽ 20 cm നീളമുള്ളതും 5 cm ആരമുള്ളതുമായ ഒരു വർത്തുള സിലിണ്ടർ പരിഗണിക്കുക. അതിന്റെ കേന്ദ്രം മൂലബിന്ദുവിലൂടെയും (origin) അക്ഷം X അക്ഷത്തിലൂടെയുമാണ് കടന്നുപോകുന്നത്. സിലിണ്ടറിന്റെ ഒരു പരന്ന വശം $x = +10$ cm ലും അതിന് എതിർ വശം $x = -10$ cm ലും ആണുള്ളത്. (ചിത്രം 1.28) (a) ഓരോ പരന്ന വശത്തിലൂടെയുമുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് എത്ര? (b) സിലിണ്ടറിന്റെ വക്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സ് എത്ര?

(c) സിലിണ്ടറിലൂടെയുള്ള പരിണത ബഹിർഗമന ഫ്ളക്സ് എത്ര?

(d) സിലിണ്ടറിനുള്ളിലുള്ള ആകെ ചാർജ് എത്ര?

ഉത്തരം

(a) ചിത്രത്തിൽ നിന്ന് ഇടതുഭാഗത്ത് $\mathbf{E}$ യും $\Delta\mathbf{S}$ ഉം സമാന്തരമാണെന്നു കാണാം . അതുകൊണ്ട് ബഹിർഗമന ഫ്ളക്സ് എന്നത്,

$$\phi_L \;\; \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S} \;\; -200\,\hat{\mathbf{i}}\cdot\Delta\mathbf{S}$$

$$= +200\,\Delta S, \;\; (\hat{\mathbf{i}}\cdot\Delta\mathbf{S} = -\Delta S \text{ ആയതിനാൽ})$$

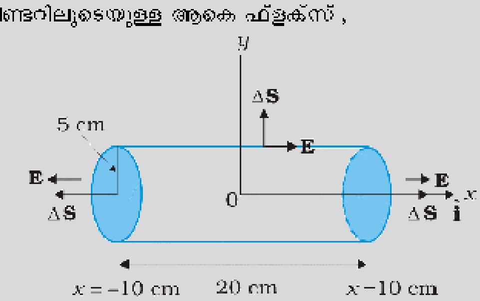
$$= \;\; 200 \times \pi (0.05)^2 = +1.57 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-1}$$

വലതുഭാഗത്തും $\mathbf{E}$ യും $\Delta\mathbf{S}$ ഉം സമാന്തരമാണെന്നു കാണാം. അതുകൊണ്ട്,

$\phi_R = \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S} = +1.57 \text{ Nm}^2\text{C}^{-1}$.

(b) സിലിണ്ടറിന്റെ വക്രതലത്തിലുള്ള ഏതൊരു ബിന്ദുവിലും $\mathbf{E}$ യും $\Delta\mathbf{S}$ ഉം പരസ്പര ലംബങ്ങളാകുന്നു. അതുകൊണ്ട്, $\mathbf{E}.\Delta\mathbf{S}=0$ ആകുന്നു. അതിനാൽ, വക്രതലത്തിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് എല്ലായ്പ്പോഴും പൂജ്യമായിരിക്കും.

(c) സിലിണ്ടറിലൂടെയുള്ള ആകെ ഫ്ളക്സ് ,



ചിത്രം 1.28

$\phi = 1.57 + 1.57 + 0 = 3.14 \text{ Nm}^2\text{C}^{-1}$ ആകുന്നു.

(d) സിലിണ്ടറിനുള്ളിലെ ആകെ ചാർജ് കണ്ടെത്താനായി ഗോസ്സ് നിയമം ഉപയോഗിക്കാം.

$$q = \varepsilon_0 \phi$$

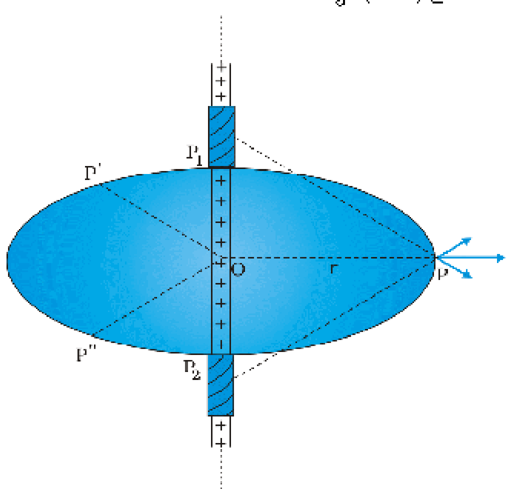
$$3.14 \times 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}$$

$$= 2.78 \times 10^{-11} \text{ C}$$

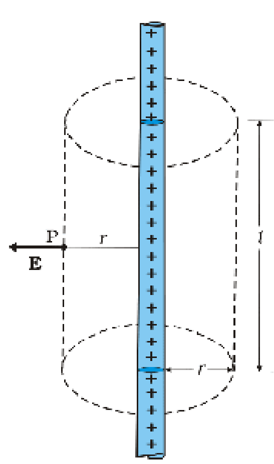
ഉദാഹരണം 1.12

1.15 ഗോസ്സ് നിയമത്തിന്റെ പ്രായോഗികത (Applications of Gauss's Law)

ഒരു ചാർജ്വിന്യാസത്തിന്റെ ഫലമായുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണ്ടെത്താനായി സമവാക്യം (1.27) ഉപയോഗിക്കാമെന്ന് നാം മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ട്. പ്രയോഗതലത്തിൽ ചില പ്രത്യേക സന്ദർഭങ്ങളിലൊഴികെ, ഈ സമവാക്യത്തിലെ സങ്കലനം (അല്ലെങ്കിൽ സമാകലനം) ഉപയോഗിച്ച് എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലെയും വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണ്ടെത്താനാവില്ല. എന്നാൽ സമമിതിയുള്ള ചില ചാർജ്വിന്യാസങ്ങളിൽ, ഗോസ്സ് നിയമം ഉപയോഗിച്ച് എളുപ്പത്തിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണ്ടെത്താവുന്നതാണ്. ചില ഉദാഹരണങ്ങളിലൂടെ ഇത് നന്നായി മനസ്സിലാക്കാം.



(a)



(b)

ചിത്രം 1.29 (a) അനന്തമായി നീളമുള്ളതും നേർത്തതും നിവർന്നതുമായ കമ്പി മൂലമുള്ള വൈദ്യുത മണ്ഡലം ആരമികമായിരിക്കും. (b) ഒരേ ചാർജ് സാന്ദ്രതയുള്ള നീളമുള്ള, നേർത്ത കമ്പിയുടെ ഗോസിയൻ പ്രതലം.

1.15.1 അനന്തമായി നീളമുള്ളതും നിവർന്നതും സമമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ടതുമായ ലോഹക്കമ്പി മൂലമുള്ള മണ്ഡലം (Field due to an infinitely long straight uniformly charged wire)

അനന്തമായി നീളമുള്ളതും നിവർന്നതും രേഖീയ ചാർജ് സാന്ദ്രത λ തുല്യമായുള്ളതുമായ ഒരു ലോഹക്കമ്പി പരിഗണിക്കുക. ഇവിടെ കമ്പിതന്നെ അക്ഷമായി വർത്തിക്കുന്നു. O യിൽ നിന്നു P യിലേക്കുള്ള r എന്ന ആരസദിശം പരിഗണിക്കുക. ഈ സദിശത്തെ കമ്പിക്കു ചുറ്റും ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ കറക്കുന്നതായി സങ്കൽപ്പിക്കുക. കമ്പിയെ ആധാരമാക്കി വരച്ചിരിക്കുന്ന P, P', P'' എന്നീ ബിന്ദുക്കൾ സമാനമാണ്. ഈ ബിന്ദുക്കളിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന് ഒരേ വിലയായിരിക്കുമെന്നാണ് ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലെയും വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ ആരമികമാണ് (radial) ($\lambda>0$ ആയാൽ പുറത്തേക്കും $\lambda<0$ ആയാൽ അകത്തേക്കും) എന്നത് ചിത്രം 1.29 ൽ നിന്നു വ്യക്തമാണ്.

ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ, P_1, P_2 എന്നീ രേഖാ അംശങ്ങൾ (line elements) പരിഗണിക്കുക. ഈ ജോടിയിലെ രണ്ട് അംശങ്ങളും സൃഷ്ടിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലങ്ങൾ കൂട്ടിച്ചേർക്കുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന ആകെ വൈദ്യുതമണ്ഡലസദിശം എപ്പോഴും ആരമികമായിരിക്കും (ആരസദിശത്തിനു ലംബമായ ഘടകസദിശങ്ങൾ പരസ്പരം നിർവീര്യമാക്കപ്പെടുന്നു). സമാനമായ ഏതൊരു ജോടി രേഖാ അംശങ്ങൾക്കും ഇതു ബാധകമാണ്. അതുകൊണ്ടുതന്നെ, ഓരോ ബിന്ദുവിലെയും ആകെ മണ്ഡലതീവ്രത ആരമികമായിരിക്കും. കമ്പി അനന്തമായതിനാൽ കമ്പിയുമായുള്ള P എന്ന ബിന്ദുവിന്റെ ആപേക്ഷികസ്ഥാനം വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തെ

ഒരു തരത്തിലും സ്വാധീനിക്കുന്നില്ല. ചുരുക്കത്തിൽ, കമ്പിയെ ലംബമായി ഖണ്ഡിക്കുന്ന തിരശ്ചീനതലത്തിലെവിടെയും വൈദ്യുതമണ്ഡലസദിശം പൂർണമായും ആരമികമായിരിക്കും. കൂടാതെ, ആരമിക ദൂരമായ r നെ മാത്രമാണ് മണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ് ആശ്രയിക്കുന്നത്.

മണ്ഡലം കണക്കാക്കുന്നതിനായി ചിത്രം 1.29 (b) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ, ഒരു സിലിണ്ടറാകൃതിയിലുള്ള ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം സങ്കൽപ്പിക്കുക. മണ്ഡലം എല്ലായിടത്തും ആരമികമായതിനാൽ സിലിണ്ടറിന്റെ പരന്ന അഗ്രങ്ങളിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സ് പൂജ്യമായിരിക്കും. ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിന്റെ വക്രമായ വശത്ത് ഓരോ ബിന്ദുവിലും E പ്രതലത്തിനു ലംബമാണ്. മാത്രമല്ല, അത് സ്ഥിരവുമാണ്. (E ആരമിക ദൂരമായ r നെ മാത്രം ആശ്രയിക്കുന്നു). വക്രമായ ഭാഗത്തിന്റെ ഉപരിതല പരപ്പളവ് $2\pi rl$ ആകുന്നു. ഇവിടെ l സിലിണ്ടറിന്റെ നീളമാകുന്നു.

ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സ്=സിലിണ്ടറിന്റെ വക്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സ്

$$= E \times 2\pi rl$$

ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആകെ ചാർജ് λl ആണ്. ഗോസ്സ് നിയമം അനുസരിച്ച്

$$E \times 2\pi rl = \lambda l / \varepsilon_0$$

അതായത്, $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$ സദിശപരമായി, ഏതൊരു ബിന്ദുവിലെയും വൈദ്യുതമണ്ഡലം, E ഇങ്ങനെ എഴുതാം,

$$\mathbf{E} = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}\ \hat{\mathbf{n}} \qquad (1.32)$$

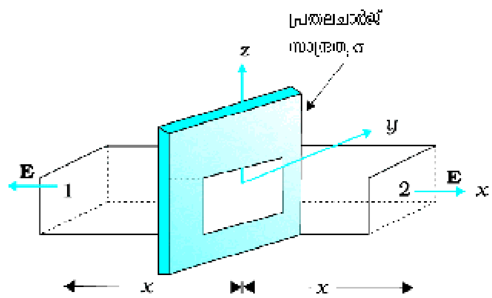
ഇവിടെ $\hat{n}$ എന്നത് ആ ബിന്ദുവിൽക്കൂടി കടന്നുപോകുന്നതും കമ്പിയുടെ നീളത്തിനു ലംബമായ പ്രതലത്തിൽ കൂടിയുള്ളതുമായ ആരമിക ഏകസദിശമാണ്. λ പോസിറ്റീവെങ്കിൽ E പുറത്തേക്കും λ നെഗറ്റീവെങ്കിൽ **E** അകത്തേക്കുമായിരിക്കും അനുഭവപ്പെടുക.

A എന്ന സദിശത്തെ ഒരു അദിശത്തിന്റെയും ഏകസദിശത്തിന്റെയും (unit vector) ഗുണനഫലമായി $\mathbf{A} = A\,\hat{\mathbf{a}}$ എന്നെഴുതാം. A ഒരു സംഖ്യയാണ്. അതു നെഗറ്റീവോ പോസിറ്റീവോ ആകാം. $A>0$ ആയാൽ സദിശം **A** യുടെ ദിശയും $\hat{\mathbf{a}}$ ന്റെ ദിശയും സമാനമാവും. $A<0$ ആയാൽ ദിശ വിപരീതമാവുകയും ചെയ്യും. നെഗറ്റീവല്ലാത്ത വിലകളിലേക്ക് ഒതുങ്ങണമെങ്കിൽ $|\mathbf{A}|$ എന്ന ചിഹ്നം ഉപയോഗിക്കാം. ഇതിനെ **A** യുടെ മോഡുലസ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. അങ്ങനെ $|\mathbf{A}| \geq 0$ ആകുന്നു.

ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ചാർജ് (λl) മാത്രമാണ് മേൽ ചർച്ചകളിൽ ഉൾക്കൊള്ളിച്ചതെങ്കിൽ, കമ്പിയിൽ നിക്ഷിപ്തമായ മുഴുവൻ ചാർജുകളും ചേർന്നുള്ള മണ്ഡലമാണ് E. കൂടാതെ കമ്പി അനന്തമാണെന്നതും പ്രധാനമാണ്. ഈ ഒരു സങ്കൽപ്പമില്ലാതെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിന്റെ വക്രമായ വശത്തിനു ലംബമാണ് എന്ന ആശയം പ്രസ്താവിക്കാനാവില്ല. എങ്കിലും വളരെ നീളമുള്ളതും എന്നാൽ നിശ്ചിതവുമായ (finite) ഒരു കമ്പിയുടെ മധ്യഭാഗങ്ങളിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം സമവാക്യം (1.32) മായി ഏറെക്കുറെ പൊരുത്തപ്പെടുന്നു. ഇവിടെ കമ്പിയുടെ അഗ്രഭാഗങ്ങളിലെ പ്രഭാവം നമുക്ക് അവഗണിക്കാം.

1.15.2 സമമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട അനന്തമായ പരന്ന ഷീറ്റ് മണ്ഡലം (Field due to a uniformly charged infinite plane sheet)

അനന്തമായ ഒരു പരന്ന ഷീറ്റിൽ ചാർജ് സമമായി വിതരണം ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെന്ന് സങ്കൽപ്പിക്കുക. ഷീറ്റിലെ പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത σ എല്ലായിടത്തും ഒന്നുതന്നെയാണ് (ചിത്രം 1.30). ഷീറ്റിന്റെ പ്രതലത്തിന് ലംബദിശയിൽ x അക്ഷം വരയ്ക്കുന്നു. സമമിതിയാൽ, y, z എന്നീ നിർദ്ദേശാങ്കങ്ങളെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. അതിന്റെ ദിശ എപ്പോഴും X അക്ഷത്തിനു സമാന്തരമായിരിക്കും.



ചിത്രം 1.30 സമമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട അനന്തമായ പരന്ന ഷീറ്റിന്റെ ഗൗസിയൻ പ്രതലം

ചിത്രത്തിൽ കാണുന്നതുപോലെ A ഛേദതല വിസ്തീർണമുള്ള സാമാന്തരികപ്പെട്ടിയെ (Rectangular parallelopiped) ഗോസിയൻ പ്രതലമായി കണക്കാക്കാം. ഇവിടെ 1, 2 എന്നീ വശങ്ങളിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് മാത്രമാണ് പരിഗണനാർഹമായത്. മറ്റു വശങ്ങളോടുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖകൾ അവയ്ക്ക് സമാന്തരമായി കടന്നു പോകുന്നതിനാൽ ആകെ ഫ്ളക്സിലേക്ക് അവ പരിഗണിക്കേണ്ടതില്ല. പ്രതലം 1 നു ലംബമായ ഏക സദിശം −x ദിശയിലും പ്രതലം 2 നു ലംബമായ സദിശം −x ദിശയിലുമാണ്. ഇരു പ്രതലങ്ങളിലൂടെയുമുള്ള ഫ്ളക്സ് E.ΔS ആണ്. ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ആകെ വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് ലഭിക്കാൻ ഇരു പ്രതലത്തിലെയും സമാന ഫ്ളക്സുകളെ കൂട്ടുന്നു. അപ്പോൾ, ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ആകെ ഫ്ളക്സ് 2EA ആകുന്നു. പ്രതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആകെ ചാർജ് σA ആണ്. അതിനാൽ, ഗോസ്സ് നിയമപ്രകാരം $2EA = \sigma A/\varepsilon_0$

അഥവാ,

$E = \sigma/2\varepsilon_0$

സദിശപരമായി,

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{\mathbf{n}} \qquad (1.33)$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{n}}$ എന്നത് ഷീറ്റിന്റെ പ്രതലത്തിൽ ലംബമായി, അതിൽനിന്നു പുറപ്പെടുന്ന ഏകസദിശം ആണ്.

σ പോസിറ്റീവ് ആണെങ്കിൽ E ഷീറ്റിൽ നിന്നു പുറത്തേക്കും σ നെഗറ്റീവ് ആയാൽ E ഷീറ്റിലേക്കും ഗമിക്കുന്നു. ഗോസ്സ് നിയമത്തിന്റെ ഈ പ്രയോഗം E എന്നത് x നെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല എന്ന വസ്തുതയിലേക്കു കൂടി എത്തിക്കുന്നു .

നിശ്ചിത വലുപ്പമുള്ള ഒരു പരന്ന ഷീറ്റ് ഉണ്ടാക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിലെ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും സമവാക്യം (1.33) സാധുവായിരിക്കില്ല. ഷീറ്റിന്റെ അഗ്രങ്ങളിൽ നിന്നകന്ന് മധ്യഭാഗങ്ങളിൽ സമവാക്യം (1.33) ഏറെക്കുറേ സത്യമായിരിക്കും.

1.15.3 സമമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട നേർത്ത ഗോളീയ ഷെൽ (പൊള്ളയായ ഗോളം) മണ്ഡലം. (Field due to a uniformly charged thin spherical shell)

ചിത്രം (1.31) ൽ കാണുന്ന പോലെ, R ആരമുള്ള നേർത്ത പൊള്ളയായ ഗോളത്തിന്റെ സമപ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത σ ആകുന്നു. ഈ ഗോളഷെല്ലിന് വ്യക്തമായും ഒരു ഗോളീയ സമമിതിയുണ്ട്. ഗോളത്തിനു പുറത്തോ അകത്തോ ഉള്ള ഏതൊരു ബിന്ദുവിലും അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം ആശ്രയിക്കുന്നത് r നെ മാത്രമാണ്.

(P യിലേക്ക് ഗോള കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നുള്ള ആരമിക ദൂരമാണ് r). അതായത്, മണ്ഡലം അനുഭവപ്പെടുന്നത് ആരസദിശത്തിൽ കൂടിയാണ്.

(i) ഗോളത്തിനു പുറത്തുള്ള മണ്ഡലം (Field outside the shell)

r എന്ന ആരമിക ദൂരത്തിൽ ഗോളത്തിനു പുറത്തായി P എന്ന ബിന്ദു പരിഗണിക്കുക. P യിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡലം E കണ്ടെത്താനായി P യിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന O കേന്ദ്രമായിട്ടുള്ളതും r ആരമുള്ളതും ആയ ഒരു ഗോളീയ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം സങ്കൽപ്പിക്കുക. ചാർജ്വിന്യാസം ഗോളീയമായതിനാൽ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലെ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളും തത്തുല്യമാണെന്നു കാണാം. (ഗോളീയ സമമിതി അർഥമാക്കുന്നതും ഇതുതന്നെയാണ്). അതുകൊണ്ടുതന്നെ, പ്രതലത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിലെയും വൈദ്യുതമണ്ഡലം E തുല്യമായിരിക്കും. ഓരോ ബിന്ദുവിലെയും ആരസദിശങ്ങളിൽ കൂടിയാണ് തുല്യ അളവുള്ള വൈദ്യുത മണ്ഡലം കടന്നുപോകുന്നത്. അതിനാൽ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിലും **E** യും **ΔS** ഉം സമാന്തരമായിരിക്കും. കൂടാതെ ഓരോ പ്രതല അംശത്തിലൂടെയുമുള്ള ഫ്ളക്സ് $E\,\Delta S$ ആയിരിക്കും. എല്ലാ ΔS കളിലെയും ചെറു ഫ്ളക്സുകൾ കൂട്ടിച്ചേർക്കുമ്പോൾ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ആകെ ഫ്ളക്സ് $E \times 4\pi r^2$ ആകുന്നു. പ്രതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ചാർജ് $\sigma \times 4\pi R^2$ ആണെങ്കിൽ, ഗോസ്സ് നിയമത്താൽ

$$E \times 4\pi r^2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} 4\pi R^2$$

അഥവാ, $$E = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0 r^2} = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 r^2}$$

ഇവിടെ $q = 4\pi R^2 \sigma$ ശൂന്യഗോളത്തിലെ ആകെ ചാർജ് ആകുന്നു.

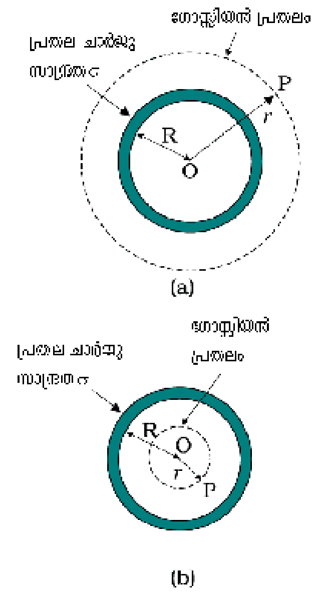
സദിശപരമായി,

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}} \quad (1.34)$$

$q > 0$ ആണെങ്കിൽ, മണ്ഡലം പുറത്തേക്കും $q < 0$ ആണെങ്കിൽ മണ്ഡലദിശ അകത്തേക്കുമായിരിക്കും. ഗോളകേന്ദ്രം O യിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന q എന്ന ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന മണ്ഡലമാണ് ഈ സമവാക്യത്തിലൂടെ നമുക്ക് ലഭിച്ചത്. അതുകൊണ്ട് സമമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട ഗോളത്തിനു വെളിയിലുള്ള ഏതൊരു ബിന്ദുവിലെയും വൈദ്യുത മണ്ഡലം അത്രയും ചാർജുകൾ പൂർണമായും ഗോളകേന്ദ്രത്തിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുമ്പോൾ അതേ ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന മണ്ഡലത്തിനു തുല്യമായിരിക്കും.

(ii) ഗോളത്തിനുള്ളിലെ മണ്ഡലം (Field inside the shell)

ചിത്രം 1.31 (b) യിൽ, P എന്ന ബിന്ദു പൊള്ളയായ ഗോളത്തിനുള്ളിലാണ് എന്നു സങ്കൽപ്പിക്കുക. P ഉൾക്കൊള്ളുന്ന O കേന്ദ്രമായുള്ള ഒരു ഗോളീയ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലമാണ് ഈ സന്ദർഭത്തിലും നമുക്ക് സ്വീകരിക്കാവുന്നത്. മുമ്പു നാം കണ്ടെത്തിയതു പോലെ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള ഫ്ളക്സ് $E \times 4\pi r^2$ തന്നെയാണ്. എന്നാൽ, ഇവിടെ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം ഒരു വൈദ്യുത ചാർജും ഉൾക്കൊള്ളുന്നില്ല. അതുകൊണ്ട്, ഗോസ്സ് നിയമപ്രകാരം,



ചിത്രം 1.31 : (a) $r > R$, (b) $r < R$ ആയ ബിന്ദുക്കളിലൂടെയുള്ള ഗോസ്സിയൻ പ്രതലങ്ങൾ

$$E \times 4\pi r^2 = 0$$

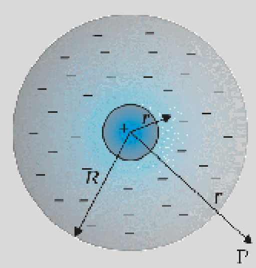
അഥവാ,

$$E = 0 \qquad (r < R) \qquad (1.35)$$

അതായത്, ഗോളത്തിനുള്ളിലെ എല്ലാ ബിന്ദുവിലും സമാനമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട, നേർത്ത ഗോളീയ ഷെൽ മൂലമുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം പൂജ്യമാകുന്നു*. ഇത് കൂളോം നിയമമുപയോഗിച്ചു ലഭിച്ച അതേ ഫലം തന്നെയാണല്ലോ. ഈ ഫലം പരീക്ഷണാത്മകമായി ബോധ്യപ്പെടുത്തുക വഴി, കൂളോം നിയമത്തിന്റെ $1/r^2$ ആശ്രിതത്വമാണ് സ്ഥിരീകരിക്കപ്പെടുന്നത്.

ഉദാഹരണം 1.13: ആറ്റത്തിന്റെ ആദ്യകാല മാതൃകകളൊന്നിൽ Ze ചാർജ് വഹിക്കുന്ന, പോസിറ്റീവായ ന്യൂക്ലിയസും ചുറ്റും R ആരത്തിൽ സമാന സാന്ദ്രതയിലുള്ള നെഗറ്റീവ് ചാർജും ഉൾക്കൊള്ളുന്നതായി പറയുന്നു. ആറ്റം പൂർണമായും വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രൽ (neutral) ആണ്. ഈ മാതൃകയിൽ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് r ദൂരെയകലെയുള്ള ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലമെന്ത്?

ഉത്തരം : ഈ ആറ്റം മാതൃകയുടെ ചാർജ് വിന്യാസം ചിത്രം 1.32 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. R ആരത്തിലുള്ള ഗോളീയ ചാർജ് വിന്യാസത്തിലെ ആകെ



ചിത്രം 1.32

നെഗറ്റീവ് ചാർജ് $-Ze$ ആകുന്നു. കാരണം, ആറ്റം വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രൽ ആണ് (Ze ചാർജുള്ള ന്യൂക്ലിയസ് + നെഗറ്റീവ് ചാർജ്). ഈ ആറ്റത്തിലെ നെഗറ്റീവ് ചാർജ് സാന്ദ്രത, σ

$$\frac{4\pi R^3}{3}\rho + Ze = 0$$

അഥവാ, $$\rho = -\frac{3Ze}{4\pi R^3}$$

ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് r ദൂരെയകലെ, P എന്ന ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം E(r) കണ്ടെത്തുന്നതിനായി നാം ഗോസ്സ് നിയമം ഉപയോഗിക്കുന്നു. ചാർജ് വിന്യാസത്തിന് ഗോളീയ സമമിതി ഉള്ളതുകൊണ്ട് r ഏതു ദിശയിലാണെങ്കിലും E(r) ആശ്രയിക്കുന്നത് ആരമിക ദൂരത്തെ മാത്രമായിരിക്കും. കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നു P യിലേക്കു വരയ്ക്കുന്ന ആ സദിശത്തിലൂടെയാണ് E(r) അനുഭവപ്പെടുന്നത്. ന്യൂക്ലിയസ് കേന്ദ്രമായ ഒരു ഗോളോപരിതലമാണ് ഗോസ്സിയൻ പ്രതലമായി പരിഗണിക്കേണ്ടത്. നാം രണ്ട് സാഹചര്യങ്ങളാണ് പരിഗണിക്കുന്നത്.

(i) $r < R$ ഗോള ഉപരിതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ്

$$\phi = E(r) \times 4\pi r^2$$

ഉദാഹരണം 1.13

* പതിനൊന്നാം ക്ലാസിലെ ഭൗതിക ശാസ്ത്ര പുസ്തകത്തിലെ സെക്ഷൻ 8.5 ൽ വിവരിച്ചിരിക്കുന്ന യൂണിഫോം മാസ് ഷെല്ലുമായി ഇതിനെ താരതമ്യം ചെയ്യുക.

ഇവിടെ E(r) എന്നത്, r ദൂരത്തിലുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലമാണ്. കാരണം; ഗോളീയ ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലെ ഏതൊരു ബിന്ദുവിലെയും മണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ, അവിടത്തെ പ്രതലത്തിന്റെ ലംബത്തിന്റെ ദിശ തന്നെയായിരിക്കും. പ്രതലത്തിലെ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും മണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ് തുല്യവുമായിരിക്കും.

ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ചാർജ് q എന്നത്, ന്യൂക്ലിയസിന്റെ പോസിറ്റീവ് ചാർജും r ആരത്തിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന നെഗറ്റീവ് ചാർജും ചേരുന്നതാണ്. അതായത്,

$$q = Ze - \frac{4\pi r^3}{3}\rho$$

മുമ്പു കണ്ടെത്തിയ ρ യുടെ മൂല്യം നൽകുമ്പോൾ,

$$q = Ze - Ze\frac{r^3}{R^3}$$

ഗോസ്സ് നിയമമനുസരിച്ച്,

$$E(r) = \frac{Ze}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r^2} - \frac{r}{R^3}\right); \quad r < R$$

വൈദ്യുതമണ്ഡലം ആരമികമായി ബഹിർഗമിക്കുന്നു.

(ii) $r > R$: ഇവിടെ, ഗോസ്സിയൻ പ്രതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആകെ ചാർജ് പൂജ്യമാണ്. ആറ്റം വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രൽ ആയതാണിതിന് കാരണം. അങ്ങനെ, ഗോസ്സ്നിയമത്തിൽ നിന്നു $E(r) \times 4\pi r^2 = 0$ അഥവാ $E(r) = 0$; $r > R$

r = R ആകുമ്പോൾ, രണ്ടു സന്ദർഭങ്ങളും ഒരേ ഫലം നൽകുന്നു.

ഉദാഹരണം 1.13

സമമിതി പ്രവർത്തനങ്ങളിൽ (On symmetry operations)

വ്യത്യസ്ത സമമിതികളോടു കൂടിയ വ്യവസ്ഥകളെ നാം ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ അഭിമുഖീകരിക്കാറുണ്ട്. മറ്റു ഗണിത ക്രിയകളിലൂടെ കണ്ടെത്തുന്നതിനേക്കാൾ ലളിതമായി വേഗത്തിൽ ഫലം ലഭിക്കാൻ സമമിതികളുടെ പരിഗണന നമ്മെ വലിയ അളവിൽ സഹായിക്കാറുണ്ട്. ഉദാഹരണമായി, പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത σ ആയ ഒരു വലിയ ഷീറ്റ് y-z പ്രതലത്തിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്നുവെന്ന് സങ്കൽപ്പിക്കുക. വ്യവസ്ഥയ്ക്ക് y-z പ്രതലത്തിനു സമാന്തരമായി ഏതു ദിശയിൽ സ്ഥാനാന്തരം സംഭവിച്ചാലും x അക്ഷത്തിനെ ആധാരമാക്കി ഏതു കോണിൽ തിരിഞ്ഞാലും, വ്യവസ്ഥയ്ക്ക് മാറ്റമൊന്നുമുണ്ടാകുന്നില്ല. ഇത്തരം സമമിതി ക്രിയകളാൽ വ്യവസ്ഥയ്ക്ക് മാറ്റമൊന്നും സംഭവിക്കാത്തതുപോലെ, അവയുടെ ഗുണങ്ങൾക്കും മാറ്റമൊന്നുമുണ്ടാകുന്നില്ല. ഈ ഉദാഹരണത്തിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലം **E** മാറുന്നതേയില്ല.

y- അക്ഷത്തിലൂടെയുള്ള സ്ഥാനീയ സമമിതിമൂലം, $(0, y_1, 0)$, $(0, y_2, 0)$ എന്നീ ബിന്ദുക്കളിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം തുല്യമായിരിക്കും. സമാനമായി, z- അക്ഷത്തിലെ സ്ഥാനീയ സമമിതി മൂലം $(0, 0, z_1)$, $(0, 0, z_2)$ എന്നീ രണ്ട് ബിന്ദുക്കളിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം സമമായിരിക്കും. x- അക്ഷത്തിലെ പരിക്രമണ സമമിതി ഉപയോഗിച്ച്, **E**, y-z പ്രതലത്തിനു ലംബമായിരിക്കുമെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. അതായത്, അത് x-അക്ഷത്തിനു സമാന്തരവുമായിരിക്കും. x- അക്ഷത്തിൽ നിന്നു സ്വതന്ത്രമായി, വൈദ്യുതമണ്ഡലം സ്ഥിരമാണെന്നു പറഞ്ഞുതരുന്ന സമമിതിയേതെന്നു ചിന്തിക്കൂ. സമാനമായി ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട, വലിയ ചാലകഷീറ്റിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ പരിമാണം സ്പെയ്സിൽ എല്ലാ ബിന്ദുവിലും തുല്യമായി തീരുന്നു. എന്നാൽ ഷീറ്റിന്റെ ഇരുവശങ്ങളിലും മണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശ വിപരീതമായിരിക്കുകയും ചെയ്യും.

കൂളോം നിയമം ഉപയോഗിച്ച് ഈ ഫലത്തിലെത്താനായെടുക്കുന്ന ഗണിതപ്രക്രിയയെ ഈ സമമിതി മാർഗവുമായി താരതമ്യം ചെയ്തുനോക്കൂ.

സംഗ്രഹം

1. ആറ്റം, തന്മാത്രകൾ, സ്ഥൂലദ്രവ്യം എന്നിവയുടെ ഗുണങ്ങൾ നിർണ യിക്കുന്നത് വൈദ്യുതവും കാന്തികവുമായ ബലങ്ങളാണ്.
2. ഘർഷണവൈദ്യുതിയിലുള്ള ലഘുവായ പരീക്ഷണങ്ങൾ വഴി, പ്രകൃതിയിൽ രണ്ടുതരം ചാർജുകൾ ഉണ്ടെന്ന് അനുമാനിക്കാം. മാത്രമല്ല, സജാതീയ ചാർജുകൾ വികർഷിക്കുകയും വിജാതീയ ചാർജുകൾ ആകർഷിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. വ്യവസ്ഥാപിത രീതിപ്രകാരം പട്ടുതുണിയാലുരസപ്പെടുന്ന ഗ്ലാസ് ദണ്ഡിന് പോസിറ്റീവ് ചാർജും ചെറുരോമത്താൽ ഉരസപ്പെടുന്ന പ്ലാസ്റ്റിക് ദണ്ഡിന് നെഗറ്റീവ് ചാർജും ലഭിക്കുന്നു.
3. ചാലകങ്ങൾ വൈദ്യുത ചാർജുകളെ അവയിലൂടെ കടത്തിവിടാനനുവദിക്കുമ്പോൾ അചാലകങ്ങൾ അവയെ കടത്തിവിടുന്നില്ല. ലോഹങ്ങളിൽ, ചലിക്കാവുന്ന ചാർജുകൾ ഇലക്ട്രോണുകളാണെങ്കിൽ, ഇലക്ട്രോലൈറ്റിൽ പോസിറ്റീവ്, നെഗറ്റീവ് അയോണുകളാണ് ചലിക്കുന്ന ചാർജുകൾ.
4. വൈദ്യുത ചാർജുകൾക്ക് 3 അടിസ്ഥാനഗുണങ്ങളുണ്ട്. ക്വാണ്ടീകരണം, സങ്കലനം, സംരക്ഷണം. ക്വാണ്ടീകരണമെന്നതുകൊണ്ട്, അർഥമാക്കുന്നത് ഒരു വസ്തുവിലെ ആകെ ചാർജ് (q) എപ്പോഴും അടിസ്ഥാന ചാർജായ e യുടെ അവിഭാജ്യ ഗുണിതങ്ങളായിരിക്കുമെന്നാണ്. $q = ne$ ഇവിടെ $n = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \ldots$ പ്രോട്ടോണിനും ഇലക്ട്രോണിനും യഥാക്രമം $+e$, $-e$ എന്നീ ചാർജുകളാണുള്ളത്. n വളരെ വലുതായ സ്ഥൂല ചാർജുകളുടെ കാര്യത്തിൽ ക്വാണ്ടീകരണം എന്ന ഗുണവിശേഷം അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്.
   വ്യവസ്ഥയിലെ വിവിധ ചാർജുകളുടെ തുകയാണ് അതിലെ ആകെ ചാർജ് എന്ന വസ്തുതയാണ് സങ്കലനസ്വഭാവം കൊണ്ട് അർഥമാക്കുന്നത്.
   വൈദ്യുത ചാർജുകളുടെ സംരക്ഷണമെന്നാൽ ഒരു സംരക്ഷിത വ്യവസ്ഥയിലെ ആകെ ചാർജിന് സമയബന്ധിതമായി മാറ്റമുണ്ടാകില്ല എന്നാണ്. ഇത് ഉദ്ദേശിക്കുന്നത് വസ്തുക്കൾ ഘർഷണത്തിലൂടെ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടുമ്പോൾ വൈദ്യുത ചാർജുകൾ ഒരു വസ്തുവിൽ നിന്നു മറ്റൊന്നിലേക്ക് മാറ്റപ്പെടും. പക്ഷേ, പുതിയതായി ചാർജുകൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുകയോ നശിപ്പിക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്യുന്നില്ല.
5. **കൂളോം നിയമം :** q_1, q_2 എന്നീ രണ്ടു പോയിന്റ് ചാർജുകൾക്കിടയിലനുഭവപ്പെടുന്ന പരസ്പര, സ്ഥിത വൈദ്യുത ബലം $q_1 q_2$ എന്നിവയുടെ ഗുണനഫലത്തിന് നേർ അനുപാതത്തിലും ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള r_{12} എന്ന ദൂരത്തിന്റെ വർഗത്തിനു വിപരീതാനുപാതത്തിലുമായിരിക്കും. ഗണിതപരമായി,
   $\mathbf{F}_{21} = q_2$ ൽ q_1 മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം $= \dfrac{k\,(q_1 q_2)}{r_{21}^2}\,\hat{\mathbf{r}}_{21}$
   ഇവിടെ $\hat{\mathbf{r}}_{21}$ എന്നത്, q_1 ൽ നിന്നും q_2 ലേക്കുള്ള ദിശ സൂചിപ്പിക്കുന്ന ഏകസദിശമാണ്. $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ എന്നത് ഒരു അനുപാത സ്ഥിരാങ്കമാകുന്നു.
   SI യൂണിറ്റ് വ്യവസ്ഥയിൽ ചാർജിന്റെ യൂണിറ്റ് കൂളോം (C) ആണ്.
   പരീക്ഷണത്തിലൂടെയുള്ള ε_0 യുടെ മൂല്യം,
   $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ C^2 N^{-1} m^{-2}$
   k യുടെ ഏകദേശമൂല്യം, $k = 9 \times 10^9\ N m^2 C^{-2}$
6. ഒരു പ്രോട്ടോണിനും ന്യൂട്രോണിനുമിടയിലെ വൈദ്യുതബലവും ഗുരുത്വബലവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം

$$\frac{ke^2}{Gm_e m_p} \cong 2.4 \times 10^{39}$$ ആകുന്നു.

7. സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്വം (Superposition Principle) : രണ്ടു ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള ആകർഷണമോ വികർഷണമോ ആയ ബലങ്ങൾ മൂന്നാമതൊരു ചാർജിന്റെ (അല്ലെങ്കിൽ മറ്റുള്ള അധിക ചാർജുകളുടെ) സാന്നിധ്യത്താൽ സ്വാധീനിക്കപ്പെടുന്നില്ല. $q_1, q_2, q_3 \ldots, q_n$ എന്നിങ്ങനെയുള്ള ചാർജുകളുടെ കൂട്ടത്തിൽ q_1 എന്ന ചാർജിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത ബലം, q_2, q_3 എന്നിങ്ങനെയുള്ള വ്യവസ്ഥയിലെ ഓരോ ചാർജ്മൂലവും q_1ൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലങ്ങളുടെ ആകെത്തുകയാണ്. മുമ്പു പ്രസ്താവിച്ച കൂളോം നിയമത്തിന്റെ സഹായത്താൽ ഓരോ ജോടി ചാർജുകൾക്കുമിടയിലുള്ള ബലം കണ്ടെത്താൻ സാധിക്കും.

8. ഒരു ചാർജ് വിന്യാസത്താൽ ഒരു ബിന്ദുവിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലം **E** എന്നത്, ആ ബിന്ദുവിൽ വയ്ക്കുന്ന ചെറിയ പോസിറ്റീവ് ടെസ്റ്റ് ചാർജിലെ ബലത്തെ ആ ചാർജിന്റെ പരിമാണം കൊണ്ടു ഹരിക്കുമ്പോൾ കിട്ടുന്ന മൂല്യമായിരിക്കും. q എന്ന ഒരു പോയിന്റ് ചാർജ്മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം $(q/4\pi\varepsilon_0 r^2)$ ആകുന്നു. അത് q ൽ നിന്നു ആരമികമായി ബഹിർഗമിക്കുന്നു. എന്നാൽ q നെഗറ്റീവ് ആണെങ്കിൽ വൈദ്യുത മണ്ഡലം ആരമികമായി അന്തർഗമിക്കുന്നു. കൂളോം ബലം പോലെത്തന്നെ, വൈദ്യുതമണ്ഡലവും സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്വം അനുസരിക്കുന്നുണ്ട്.

9. വൈദ്യുത മണ്ഡലരേഖ ഒരു വക്രരേഖയാണ്. ആ വക്രരേഖയിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിലെയും വൈദ്യുതമണ്ഡലം ആ ബിന്ദുവിൽ നാം വരയ്ക്കുന്ന തൊടുവര (tangent) ആയിരിക്കും. വ്യത്യസ്ത ബിന്ദുക്കളിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ ആപേക്ഷികശക്തി വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖകളുടെ ആപേക്ഷിക നിബിഡതയെ (relative closeness) ആശ്രയിക്കുന്നു. ശക്തിയേറിയ മണ്ഡലമനുഭവപ്പെടുന്ന പ്രദേശങ്ങളിൽ മണ്ഡലരേഖകൾ കൂടുതൽ നിബിഡമായിരിക്കുകയും ദുർബലമായ മണ്ഡലമനുഭവപ്പെടുന്ന പ്രദേശങ്ങളിൽ മണ്ഡലരേഖകൾ കൂടുതൽ അകന്നുനിൽക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. സ്ഥിരമായ മണ്ഡലമനുഭവപ്പെടുന്ന പ്രദേശങ്ങളിൽ വൈദ്യുത മണ്ഡലരേഖകൾ തുല്യ അകലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന സമാന്തര രേഖകളായിരിക്കും.

10. **മണ്ഡലരേഖകളുടെ പ്രധാന സവിശേഷതകൾ**

    (i) വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖകൾ ഭംഗമില്ലാത്ത അവിച്ഛിന്ന രേഖകളാണ്.

    (ii) രണ്ടു മണ്ഡലരേഖകൾ ഒരിക്കലും പരസ്പരം ഖണ്ഡിക്കുന്നില്ല.

    (iii) സ്ഥിത-മണ്ഡല രേഖകൾ പോസിറ്റീവ് ചാർജിൽ നിന്ന് ആരംഭിക്കുകയും നെഗറ്റീവ് ചാർജിൽ അവസാനിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അവയ്ക്ക് ഒരിക്കലും അടഞ്ഞ വലയമായി (closed loop) മാറാനാവില്ല.

11. തുല്യവും വിപരീതവുമായ q, -q എന്നീ ചാർജുകൾ 2a അകലത്തിൽ നിൽക്കുമ്പോൾ ഒരു വൈദ്യുത ഡൈപോൾ സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നു. അതിന്റെ ഡൈപോൾ മൊമന്റ് **p** യുടെ അളവ് 2aq യും ദിശ -q ചാർജിൽ നിന്നു +q ലേക്കുമാണ്.

12. വൈദ്യുത ഡൈപോളിന്റെ കേന്ദ്രത്തിൽനിന്ന് r ദൂരം അകലത്തിൽ മധ്യരേഖാ പ്രതലത്തിലെ (അക്ഷത്തിനു ലംബമായതും കേന്ദ്രത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതുമായ പ്രതലം) മണ്ഡലം

$$\mathbf{E} \quad \frac{-\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

$$\cong \frac{-\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}, \; (r >> a \text{ ആകുമ്പോൾ})$$

ഡൈപോൾ അക്ഷത്തിൽ കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്ന് r ദൂരം അകലെയുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം

$$\mathbf{E} \quad \frac{2\,\mathbf{p}\,r}{4\pi\varepsilon_0 (r^2 - a^2)^2}$$

$$\cong \frac{2\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \; (r >> a \text{ ആകുമ്പോൾ})$$

ഒരു പോയിന്റ് ചാർജ് സൃഷ്ടിക്കുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ $\frac{1}{r^2}$ ആശ്രിതത്വത്തിൽ നിന്നു വിഭിന്നമായി ഡൈപോൾ മണ്ഡലത്തിന്റെ $\frac{1}{r^3}$ ആശ്രിതത്വം ശ്രദ്ധേയമാണ്.

13. സമവൈദ്യുതമണ്ഡലമായ **E** യിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഒരു ഡൈപോളിൽ τ എന്ന ടോർക്ക് അനുഭവപ്പെടുന്നു. ടോർക്കിന്റെ മൂല്യം, $\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$ ആകുന്നു. എന്നാൽ ഡൈപോളിൽ പരിണതബലം പൂജ്യമായിരിക്കും.

14. ΔS എന്ന ചെറു പ്രതല അംശത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ ഫ്ളക്സ്,

$\Delta\phi = \mathbf{E}.\,\Delta\mathbf{S}$ ആകുന്നു.

പ്രതല അംശ സദിശം $\Delta\mathbf{S}$ നെ $\Delta\mathbf{S} = \Delta S\,\hat{\mathbf{n}}$ എന്നെഴുതാം. ഇവിടെ ΔS എന്നത് പ്രതല അംശത്തിന്റെ അളവും $\hat{\mathbf{n}}$ അതിന്റെ ലംബവുമാണ്. വളരെ ചെറുതാകുമ്പോൾ ΔS ഒരു പരന്ന പ്രതലമായി പരിഗണിക്കാവുന്നതാണ്.

വ്യവസ്ഥാപിത രീതിപ്രകാരം, ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലത്തിലെ പ്രതല അംശത്തിൽ, $\hat{\mathbf{n}}$ ന്റെ ദിശ പ്രതലത്തിൽ നിന്നു വരയ്ക്കുന്ന ബഹിർഗമന ലംബത്തിന്റെ ദിശയിലായിരിക്കും.

15. **ഗോസ്സ് നിയമം :** ഒരു അടഞ്ഞ പ്രതലം S ൽ കൂടിയുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ ഫ്ളക്സ് എന്നത്, പ്രതലം ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ആകെ ചാർജിന്റെ $1/\varepsilon_0$ മടങ്ങായിരിക്കും. ചാർജ് വിന്യാസത്തിന് ലഘുവായ സമമിതിയുള്ള സന്ദർഭങ്ങളിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലം കണ്ടെത്താനായി ഈ നിയമം പ്രത്യേകമായി നമുക്ക് ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണ്.

(i) സമ-രേഖീയ ചാർജ് സാന്ദ്രത (λ) ഉള്ള നേർത്ത നീളമുള്ള നിവർന്ന ലോഹക്കമ്പി ഉണ്ടാക്കുന്ന മണ്ഡലം.

$$\mathbf{E} \quad \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} \hat{\mathbf{n}}$$

ഇവിടെ r, കമ്പിയിൽ നിന്നു ബിന്ദുവിലേക്കുള്ള ലംബദൂരവും $\hat{\mathbf{n}}$, ബിന്ദു

വിലൂടെ കൂടി കടന്നുപോകുന്നതും കമ്പിയുടെ നീളത്തിനു ലംബമായ പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നു പോകുന്നതുമായ ആരമിക ഏകസദിശവു മാകുന്നു.

(ii) സമ-പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത(σ) ഉള്ള നേർത്തതും പരന്നതുമായ വലിയ ഷീറ്റ്

$$\mathbf{E} = \frac{\sigma}{2\,\varepsilon_0}\ \hat{\mathbf{n}}$$

ഇവിടെ $\hat{\mathbf{n}}$, എന്നത്, പ്രതലത്തിനു ലംബമായതും ഇരുവശത്തുനിന്നും ബഹിർഗമിക്കുന്നതുമായ ഏകസദിശമാണ്.

(iii) സമ-പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രത (σ) യുള്ള നേർത്ത പൊള്ളയായ ഗോളം

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\,\pi\varepsilon_0\, r^2}\ \hat{\mathbf{r}} \qquad (r \geq R)$$

$$\mathbf{E} = 0 \qquad (r < R)$$

ഇവിടെ r, ഗോളകേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നു ബിന്ദുവിലേക്കുള്ള ദൂരവും R, ഗോളത്തിന്റെ ആരവുമാകുന്നു. Q എന്നത് ഗോളത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിലെ ആകെ ചാർജാകുന്നു. $q = 4\pi R^2 \sigma$. ഗോളത്തിനു വെളിയിലായി അനുഭവ പ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം അതിനു കാരണമായ q എന്ന വൈദ്യുത ചാർജ് പൂർണമായും ഗോളകേന്ദ്രത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്താലുണ്ടാകുന്ന മണ്ഡലത്തിനു തുല്യമാണ്. സമമായ വ്യാപ്ത ചാർജ് സാന്ദ്രതയുള്ള ഖര ഗോളത്തിലും ഈ ഫലം സാധുവായിരിക്കും. ഗോളത്തിനുള്ളിൽ എല്ലാ ബിന്ദുക്കളിലും മണ്ഡലതീവ്രത പൂജ്യമായിരിക്കും.

ഭൗതിക അളവുകൾ	ചിഹ്നം	ഡൈമൻഷനുകൾ	യൂണിറ്റ്	കുറിപ്പ്
സദിശ പ്രതല ഖണ്ഡം	$\Delta\mathbf{S}$	$[L^2]$	m^2	$\Delta\mathbf{S} = \Delta S\,\hat{\mathbf{n}}$
വൈദ്യുതമണ്ഡലം	$\mathbf{E}$	$[MLT^{-3}A^{-1}]$	$V\ m^{-1}$	
വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ്	ϕ	$[ML^3\ T^{-3}A^{-1}]$	$V\ m$	$\Delta\phi = \mathbf{E}.\Delta\mathbf{S}$
ഡൈപോൾ മൊമെന്റ്	$\mathbf{p}$	$[LTA]$	$C\ m$	നെഗറ്റീവ് ചാർജിൽ നിന്നു പോസിറ്റീവി ലേക്ക് നയിക്കപ്പെടുന്നു.
ചാർജ്സാന്ദ്രത				
രേഖീയം	λ	$[L^{-1}\ TA]$	$C\ m^{-1}$	ചാർജ് / നീളം
പ്രതലം	σ	$[L^{-2}\ TA]$	$C\ m^{-2}$	ചാർജ് / പരപ്പളവ്
വ്യാപ്തം (ഉള്ളളവ്)	ρ	$[L^{-3}\ TA]$	$C\ m^{-3}$	ചാർജ് / ഉള്ളളവ്

വിചിന്തന വിഷയങ്ങൾ

1. പോസിറ്റീവ് ചാർജ് വഹിക്കുന്ന പ്രോട്ടോണുകളെല്ലാം ന്യൂക്ലിയസിനുള്ളിൽ സുദൃഢമായി ചേർന്നു നിൽക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്ന് നിങ്ങൾ അദ്ഭുതപ്പെടുന്നുണ്ടാവാം. അവ എന്തുകൊണ്ട് പരസ്പരം അകന്നു പോകുന്നില്ല? പ്രോട്ടോണുകളെ ചേർത്തുനിർത്തുന്ന മൂന്നാമത്തെ അടിസ്ഥാന ബലമായ ശക്തിയേറിയ ന്യൂക്ലിയർ ബലത്തെപ്പറ്റി നിങ്ങൾ പിന്നീട് പഠിക്കും. 10^{-14}മീ. എന്ന വളരെ കുറഞ്ഞ ദൂരത്തിനുള്ളിൽ മാത്രമേ ഈ ബലത്തിന് സ്വാധീനം ചെലുത്താനാകൂ. ഈ ബലപരിധി ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വലുപ്പമാണ്. കൂടാതെ ബലതന്ത്രത്തിന്റെ നിയമങ്ങളനുസരിച്ച്, ന്യൂക്ലിയസിനുള്ളിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സാന്നിധ്യം അനുവദനീയമല്ല. പ്രകൃത്യാ കാണുന്ന രീതിയിൽ ആറ്റം നിലനിൽക്കാനുള്ള കാരണം ഇതുതന്നെയാണ്.
2. കൂളോം നിയമവും ഗുരുത്വനിയമവും ഒരേ വിപരീത വർഗാനുപാതത്തിലാണ്. എന്നാൽ ഗുരുത്വാകർഷണ ബലത്തിന് എപ്പോഴും ഒരേ ചിഹ്നം തന്നെയാണുള്ളത് (എപ്പോഴും ആകർഷിക്കുന്നു). എന്നാൽ കൂളോം ബലത്തിനു രണ്ടു ചിഹ്നങ്ങളുമാകാം (ആകർഷണമോ വികർഷണമോ ആകാം) അതിനാൽ തന്നെ, വൈദ്യുതബലങ്ങൾ നിർവീര്യമാക്കപ്പെടാനുള്ള ഒരു സാധ്യത നിലനിൽക്കപ്പെടും. അതുകൊണ്ടാണ് താരതമ്യേന ശക്തികുറഞ്ഞതെങ്കിലും ഗുരുത്വബലം സർവവ്യാപിയും സർവപ്രധാനവുമായ ഒരു ബലമായി മാറുന്നത്.
3. കൂളോം നിയമത്തിന്റെ സഹായത്താലാണ് ചാർജിന്റെ യൂണിറ്റ് നിർവചിക്കപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ, കൂളോം നിയമത്തിലെ അനുപാത സ്ഥിരാങ്കം k യുടെ വില കൃത്യമായി തിരഞ്ഞെടുക്കപ്പെടേണ്ടി വന്നേക്കാം. എന്നാൽ, SI യൂണിറ്റ് വ്യവസ്ഥയിൽ വൈദ്യുതചാർജ് നിർവചിക്കപ്പെട്ടിട്ടില്ല. ഇതിൽ വൈദ്യുതിയുടെ യൂണിറ്റ് (A), ആമ്പിയർ നിയമത്തിലെ കാന്തിക പ്രഭാവത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ നിർവ്വചിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ചാർജിന്റെ യൂണിറ്റ് (കൂളോം) നിർവചിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് $1C = 1 As$ എന്നാണ്. ഈ സന്ദർഭത്തിൽ k യുടെ മൂല്യം ഒരിക്കലും അനിശ്ചിതമാവില്ല; അത് ഏകദേശം $9 \times 10^{9}\ Nm^{2}C^{-2}$ ആയിരിക്കും.
4. വൈദ്യുതപ്രഭാവങ്ങളുടെ വീക്ഷണകോണിൽ അനുപാത സ്ഥിരാങ്കം k യുടെയും തത്ഫലമായി ചാർജിന്റെ ഏകകത്തിന്റെയും (C) പ്രായേണ ഉയർന്ന മൂല്യത്തിനു കാരണം (മൂന്നാമത്തെ സൂചകത്തിൽ പ്രസ്താവിച്ചതുപോലെ) കാന്തികബലം വൈദ്യുതബലത്തേക്കാൾ വളരെ ചെറുതായതിനാലാണ്. അതുകൊണ്ട്, 1A എന്ന യൂണിറ്റ് വലുപ്പം കൊണ്ട് കാന്തികപ്രഭാവങ്ങൾക്ക് അനുയോജ്യമായ യൂണിറ്റായതിനാൽ, $1C = 1\ As$ എന്നത് വൈദ്യുതപ്രഭാവങ്ങൾക്ക് വളരെ വലിയ ഒരു യൂണിറ്റാണ്.
5. വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ സങ്കലനം ഒരിക്കലും ഒരു വ്യക്തമായ ഗുണമല്ല. വൈദ്യുതചാർജിന് ദിശയില്ല എന്ന വസ്തുതയുമായി അതു ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ചാർജ് ഒരു അദിശമാണ്.
6. ഭ്രമണം എന്ന സമമിതി പ്രക്രിയയിൽ നിയതമായി തുടരുന്ന ഒന്നാണ് വൈദ്യുത ചാർജ്. മാത്രമല്ല, ആപേക്ഷികചലനത്തിലുള്ള അവലംബക ങ്ങളിലും (Frame of reference) ചാർജ്മാറ്റമില്ലാതെ തുടരുന്നു. മറ്റെല്ലാ അദിശങ്ങൾക്കും ഇത് എപ്പോഴും ബാധകമാകുന്നില്ല. ഉദാഹരണത്തിന്, ഭ്രമണം എന്ന പ്രക്രിയയിൽ ഗതികോർജം മാറ്റമില്ലാത്തതെങ്കിൽ, അവലംബകങ്ങളുടെ ആപേക്ഷികചലനത്തിൽ ഗതികോർജം വ്യത്യാസപ്പെടുന്നതായി കാണാം.
7. സൂചകം 6 ൽ പ്രസ്താവിച്ചപോലെ, ഒരു സംരക്ഷിതവ്യവസ്ഥയിലെ വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ സംരക്ഷണം ചാർജിന്റെ അദിശസ്വഭാവത്തെ മാത്രം ആശ്രയിക്കുന്നില്ല. ഒരു നിശ്ചിത സമയത്ത്, ഒരു നിശ്ചിത അവലംബക ത്തിൽ മാറ്റമില്ലാതെ

തുടരുക എന്നതാണ് സംരക്ഷണം എന്ന വാക്കു കൊണ്ട് ഉദ്ദേശിക്കുന്നത്. സദിശമെങ്കിലും സംരക്ഷിക്കപ്പെടാത്ത അദിശ അളവുകളുണ്ട് (ഒരു ഇൻഇലാസ്തിക കൊളിഷനിലുള്ള ഗതികോർജ്ജം പോലെ). എന്നാൽ, ഒരു നിശ്ചിത അവലംബകത്തിൽ നമുക്കൊരു സംരക്ഷിതമായ സദിശമാവാം (ഉദാ: സംരക്ഷിതവ്യവസ്ഥയുടെ കോണീയ ആക്കം (angular momentum).

8. വൈദ്യുതചാർജിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണം പ്രകൃതിയിലെ ഒരു അടിസ്ഥാന (വിശദീകരിക്കാനാകാത്തതും) നിയമമാണ്. എന്നാൽ മാസിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണം എന്ന സമാനമായ നിയമം പ്രകൃതിയിലില്ല.

9. സുശക്തവും സദിശസങ്കലനത്തിനു തുല്യവുമായ ഒരു നിയമമായി സൂപ്പർപൊസിഷൻ തത്വത്തെ കാണാനാകില്ല. ഇതു രണ്ടു കാര്യങ്ങൾ പറയുന്നു: ഒരു ചാർജിൽ മറ്റൊരു ചാർജ് മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം പരിസരത്തുള്ള മറ്റു ചാർജുകളുടെ സാമീപ്യത്താൽ സ്വാധീനിക്കപ്പെടുന്നില്ല. രണ്ടിൽ കൂടുതൽ ചാർജുകൾ ഉള്ളപ്പോൾ മാത്രം ഉദിക്കുന്ന 3–ബോഡി ബലം, 4–ബോഡി ബലം തുടങ്ങിയ അധിക ബലങ്ങൾ ഇവിടെ അപ്രസക്തമാണ്.

10. ഒരു വിച്ഛിന്ന ചാർജ്‌വിന്യാസത്താലുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം വിച്ഛിന്ന ചാർജുകളുടെ സ്ഥാനങ്ങളിൽ നിർവചിക്കപ്പെടുന്നില്ല. എന്നാൽ, അവിച്ഛിന്ന (തുടർച്ചയുള്ള) ചാർജ് വിന്യാസത്തിൽ ഏതൊരു ബിന്ദുവിലും വൈദ്യുതചാർജ് നിർവചിക്കപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഒരു പ്രതല ചാർജ് വിന്യാസത്തിൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലം പ്രതലത്തിൽ തുടർച്ചയില്ലാത്തതാകുന്നു.

11. ആകെ ചാർജ്മൂല്യം പൂജ്യമായ ഒരു ചാർജ് വിന്യാസത്താലുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം എപ്പോഴും പൂജ്യമാകുന്നില്ല. എന്നാൽ ചാർജ് വിന്യാസത്തിന്റെ വലുപ്പവുമായി താരതമ്യേന വലിയ അകലങ്ങളിൽ, $\frac{1}{r^2}$ ലും വേഗത്തിൽ മണ്ഡലതീവ്രത കുറഞ്ഞുവരുന്നതായി കാണാം. (ഉദാഹരണം . വൈദ്യുത ഡൈപോൾ)

പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

1.1. വായുവിൽ 30cm അകലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന 2×10^{-7}C, 3×10^{-7}C എന്നീ രണ്ടു ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട ചെറുഗോളങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ബലം എത്ര?

1.2 വായുവിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന, -0.8 μC എന്ന ചാർജ് ചെയ്യപ്പെട്ട ചെറുഗോളത്താൽ 0.4μC എന്ന ചാർജ് വഹിക്കുന്ന മറ്റൊരു ചെറുഗോളത്തിലനുഭവപ്പെടുന്ന സ്ഥിത-വൈദ്യുത ബലം 0.2 N. ആണ്

(a) ഇരു ഗോളങ്ങൾക്കിടയിലുമുള്ള ദൂരമെത്ര?

(b) ആദ്യത്തെ ചാർജിൽ രണ്ടാമത്തേതു മൂലം അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമെത്ര?

1.3 $(ke^2/G\,m_e m_p)$ എന്ന അനുപാതം ഡൈമൻഷൻ രഹിതം (dimensionless) ആണോയെന്നു പരിശോധിക്കുക. ഭൗതിക സ്ഥിരാങ്കങ്ങളുടെ പട്ടിക പരിശോധിച്ച് ഈ അനുപാതത്തിന്റെ മൂല്യം നിർണയിക്കുക. ഈ അനുപാതം സൂചിപ്പിക്കുന്നതെന്ത്?

1.4 വൈദ്യുത ചാർജ് ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു എന്ന പ്രസ്താവനയുടെ അർത്ഥമെന്ത്?

സ്ഥൂലതല (വലിയ അളവിലുള്ള) ചാർജുകൾ പരിഗണിക്കുമ്പോൾ, വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ ക്വാണ്ടീകരണം അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്. എന്തുകൊണ്ട്?

1.5 ഒരു ഗ്ലാസ് ദണ്ഡിനെ പട്ടുതുണിയുമായി ഉരസുമ്പോൾ രണ്ടിലും ചാർജുകൾ പ്രത്യക്ഷമാകുന്നു. മറ്റു വിവിധ ജോടി വസ്തുക്കളിലും സമാനമായ പ്രതിഭാസം നിരീക്ഷിക്കാവുന്നതാണ്. ചാർജുകളുടെ സംരക്ഷണനിയമവുമായി ഈ നിരീക്ഷണം എങ്ങനെ ഒത്തുപോകുന്നുവെന്ന് വിശദീകരിക്കുക.

1.6 നാലു പോയിന്റ് ചാർജുകൾ q_A 2 μC, q_B 5 μC, q_C 2 μC, q_D 5 μC ഇവ, ഒരു വശം 10 സെ.മീ. ആയ ചതുരം ABCD യുടെ നാലു മൂലകളിലായി വച്ചിരിക്കുന്നു. ചതുരകേന്ദ്രത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന 1 μC എന്ന ചാർജിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലം എത്ര?

1.7 (a) സ്ഥിതവൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖ, ഒരു അവിച്ഛിന്ന വക്രരേഖയാണ്. അതായത്, ഒരു മണ്ഡലരേഖയിൽ പെട്ടെന്നുള്ള മുറിയലുണ്ടാകുന്നില്ല എന്തുകൊണ്ട്?
(b) രണ്ടു വൈദ്യുതമണ്ഡലരേഖകൾ ഒരിടത്തും പരസ്പരം മുറിച്ചു കടക്കുന്നില്ല. കാരണമെന്ത്?

1.8 ശൂന്യതയിൽ, 20 cm അകലത്തിൽ $q_A = 3$ μC, $q_B = -3$ μC എന്നീ രണ്ടു പോയിന്റ് ചാർജുകൾ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു.
(a) ഇരുചാർജുകളെയും ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന AB എന്ന രേഖയുടെ മധ്യബിന്ദു O യിലനുഭവപ്പെടുന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം എത്ര?
(b) ഈ ബിന്ദുവിൽ 1.5×10^{-9} C അളവുള്ള ഒരു നെഗറ്റീവ് പരീക്ഷണ ചാർജ് വയ്ക്കുന്നുവെങ്കിൽ, അതിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലമെത്ര?

1.9 $q_A = 2.5 \times 10^{\;7}$ C, $q_B = -2.5 \times 10^{\;7}$ C എന്നീ രണ്ടു ചാർജുകൾ ചേർന്ന വ്യവസ്ഥ യഥാക്രമം A: (0, 0, –15 cm) , B: (0, 0, +15 cm) എന്നീ ബിന്ദുക്കളിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. വ്യവസ്ഥയിലെ ആകെ ചാർജും ആകെ ഡൈപോൾ മൊമന്റും എത്ര?

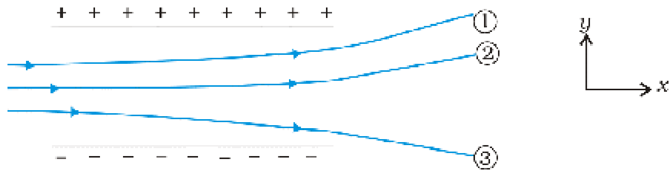
1.10 4×10^{-9} Cm ഡൈപോൾ മൊമന്റുള്ള ഒരു വൈദ്യുത ഡൈപോൾ, 5 10^4 NC^{-1}, അളവുള്ള സമ-വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ ദിശയുമായി 30° കോണളവുണ്ടാക്കുന്നു. ഡൈപോളിലനുഭവപ്പെടുന്ന ടോർക്ക് കണക്കാക്കുക.

1.11 ഒരു കമ്പിളിയുമായി ഉരസിയ പോളിത്തീൻ കഷണം 3×10^{-7} C എന്ന അളവിലുള്ള നെഗറ്റീവ് ചാർജ് ആർജിക്കുന്നു.
(a) കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണമെത്ര? (കൈമാറ്റം എവിടെനിന്ന് എങ്ങോട്ട്?)
(b) കമ്പിളിയിൽ നിന്നു പോളിത്തീനിലേക്ക് മാസ് കൈമാറ്റം ചെയ്യപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടോ?

1.12 (a) വിദ്യുത്രോധിയായ A, B എന്നീ ചാർജു വഹിക്കുന്ന ഗോളങ്ങളുടെ കേന്ദ്രങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള അകലം 50cm ആകുന്നു. ഓരോന്നിലെയും ചാർജ് $6.5\times10^{\;7}$ C ആണെങ്കിൽ, ഇരുഗോളങ്ങൾക്കുമിടയിലുള്ള സ്ഥിതവൈദ്യുത വികർഷണബലമെത്ര? ഗോളകേന്ദ്രങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ദൂരവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ A യുടെയും B യുടെയും ആരങ്ങൾ അവഗണിക്കാവുന്നതാണ്.
(b) ഓരോ ഗോളത്തിലെയും ചാർജ് ഇരട്ടിയാക്കുകയും അവയ്ക്കിടയിലുള്ള അകലം പകുതിയാക്കുകയും ചെയ്താൽ വികർഷണബലം എത്രയാകും?

1.13 പരിശീലനപ്രശ്നം 1.12 ലെ A, B എന്നീ ഗോളങ്ങൾക്ക് ഒരേ വലുപ്പമാണെന്നു കരുതുക. സമാന വലുപ്പമുള്ളതും എന്നാൽ ചാർജ് ചെയ്യപ്പെടാത്തതുമായ മൂന്നാമതൊരു ഗോളം ഒന്നാമത്തെ ഗോളവുമായി, പിന്നീട് രണ്ടാമത്തേതുമായും സ്പർശിക്കുന്നു. മൂന്നാമത്തെ ഗോളം ഇരു ഗോളങ്ങളിൽ നിന്നും അകറ്റുന്നു. ഇപ്പോൾ A, B എന്നീ ഗോളങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള വികർഷണബലമെത്ര?

1.14 ഒരു സമ-വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിലൂടെയുള്ള ചാർജുള്ള മൂന്നു കണങ്ങളുടെ സഞ്ചാരപാതയാണ് ചിത്രം 1.33ൽ കാണുന്നത്. ഓരോ കണത്തിന്റെയും ചിഹ്നം എഴുതുക. ഏതു കണത്തിനാണ് ഏറ്റവുമുയർന്ന ചാർജ്-മാസ് അനുപാതമുള്ളത്?



ചിത്രം 1.33

1.15 $\mathbf{E} = 3\times10^3\ \hat{\mathbf{i}}$ N/C. എന്ന സമവൈദ്യുതമണ്ഡലം പരിഗണിക്കുക

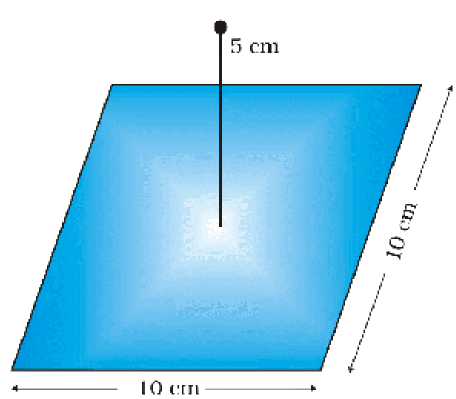
(a) ഒരു വശം 1 cm ആയതും y-z പ്രതലത്തിന് സമാന്തരമായതുമായ സമചതുരത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് എത്ര?

(b) അതേ സമചതുരത്തിന്റെ ലംബം x-അക്ഷവുമായി $60°$ കോണള വുണ്ടാക്കുന്നുവെങ്കിൽ അതിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന പരിണത ഫ്ളക്സ് എത്ര?

1.16 നിർദേശാങ്ക പ്രതലങ്ങൾക്കു സമാന്തരമായതും 20 സെ.മീ. നീളമുള്ളതുമായ വശങ്ങളോടു കൂടിയ ഒരു ക്യൂബ് പരിശീലനപ്രശ്നം 1.15 ൽ നാം ഉപയോഗിച്ച അതേ അളവിലുള്ള സമ-വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുകയാണെങ്കിൽ, അതിലൂടെയുള്ള പരിണത ഫ്ളക്സ് എത്ര?

1.17 വൈദ്യുതമണ്ഡലം കൃത്യമായി അളന്നതിലൂടെ, ഒരു കറുത്തപെട്ടിയുടെ ഉപരിതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന പരിണത ബഹിർഗമന ഫ്ളക്സ്, $8.0\ 10^3$ Nm^2/C ആണെന്നു കണ്ടെത്തി. (a) പെട്ടിക്കുള്ളിലുള്ള ആകെ ചാർജ് എത്ര? (b) പെട്ടിയുടെ ഉപരിതലത്തിലൂടെയുള്ള പരിണത ബഹിർഗമന ഫ്ളക്സ് പൂജ്യമായിരുന്നെങ്കിൽ പെട്ടിക്കുള്ളിൽ ചാർജുകൾ ഇല്ലായിരുന്നു എന്നു നിങ്ങൾക്കു പറയാനാകുമോ? നിങ്ങളുടെ ഉത്തരം സാധൂകരിക്കുക.

1.18 ചിത്രം 1.34 ൽ കാണുന്നതുപോലെ ഒരു വശം 10 cm ആയ ഒരു സമചതുരത്തിന്റെ കേന്ദ്രബിന്ദുവിനു നേർമുകളിൽ 5cm ഉയരത്തിൽ $-10\mu C$ എന്ന പോയിന്റ് ചാർജ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. സമചതുരത്തിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഫ്ളക്സിന്റെ അളവെത്ര? (സൂചന : വക്കിന്റെ നീളം 10 സെ.മീ ആയ ഒരു ക്യൂബിന്റെ വശങ്ങളിലൊന്നായി ഈ സമചതുരത്തെ കരുതുക)



ചിത്രം 1.34

1.19 വക്കിന് 9.0 സെ.മീ.നീളമുള്ള ഒരു ക്യൂബിക് ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തിൽ 2.0 μC എന്ന പോയിന്റ് ചാർജ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. പ്രതലത്തിലൂടെയുള്ള പരിണത വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് എത്ര?

1.20 പോയിന്റ് ചാർജ് കേന്ദ്രത്തിൽ വഹിക്കുന്ന 10.0 cm ആരമുള്ള ഗോളാകൃതിയിലുള്ള ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് -1.0×10^3 Nm^2/C ആകുന്നു. (a) ഗോസ്സിയൻ പ്രതലത്തിന്റെ ആരം ഇരട്ടിയായാൽ പ്രതലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്ന ഫ്ളക്സ് എത്ര?
(b) പോയിന്റ് ചാർജിന്റെ അളവെത്ര?

1.21 10 സെ മീ ആരമുള്ള ചാലകഗോളത്തിൽ ഒരു അജ്ഞാത ചാർജ് ഉണ്ടെന്നു കരുതുക. ഗോളകേന്ദ്രത്തിൽ നിന്ന് 20 cm അകലെ ഒരു ബിന്ദുവിലെ വൈദ്യുത മണ്ഡലം 1.5 10^3 N/C ആകുന്നു. മണ്ഡലം ആരമികമായി ഉള്ളിലേക്കെങ്കിൽ (radially inwards) ഗോളത്തിലെ പരിണത ചാർജ് എത്രയെന്നു കണ്ടെത്തുക

1.22 2.4 m വ്യാസമുള്ളതും സമാനമായി ചാർജുചെയ്യപ്പെട്ടതുമായ ചാലക ഗോളത്തിന്റെ ഉപരിതല ചാർജ് സാന്ദ്രത 80.0 $\mu C/m^2$ ആണെങ്കിൽ, (a) ഗോളത്തിലെ ചാർജ് എത്ര? (b) ഗോള ഉപരിതലത്തിൽ നിന്നു പുറത്തേക്കു പോകുന്ന ആകെ വൈദ്യുത ഫ്ളക്സ് എത്ര?

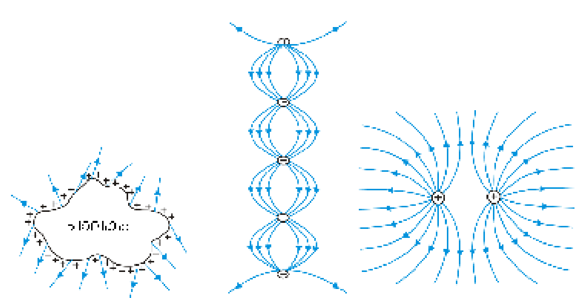
1.23 ഒരു അനന്തമായ രേഖീയ ചാർജ് വിന്യാസം അതിൽ നിന്ന് 2 cm അകലെയായി 9 10^4 N/C എന്ന മണ്ഡലം സൃഷ്ടിക്കുന്നുവെങ്കിൽ രേഖീയ ചാർജ് സാന്ദ്രത എത്രയെന്നു കണക്കാക്കുക.

1.24 വലുതും നേർത്തതുമായ രണ്ടു ലോഹ ഷീറ്റുകൾ (പ്ലേറ്റ്) പരസ്പരം അടുത്തു നിൽക്കുന്ന രീതിയിൽ സമാന്തരമായി സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു. അവയുടെ അകത്തുള്ള വശങ്ങളിലെ ഉപരിതല ചാർജ് സാന്ദ്രതകൾ വിപരീത ചിഹ്നങ്ങളോടു കൂടിയതാണ്. ഇരു ഷീറ്റുകളിലും അവയുടെ മൂല്യങ്ങൾ 17.0×10^{22} C/m^2 ആകുന്നു. (a) ഒന്നാം ഷീറ്റിന്റെ പുറത്തുള്ള ഭാഗത്തും (b) രണ്ടാം ഷീറ്റിന്റെ പുറത്തുള്ള ഭാഗത്തും (c) ഷീറ്റുകൾക്കിടയിലുമുള്ള വൈദ്യുതമണ്ഡലം E യുടെ മൂല്യം കണക്കാക്കുക.

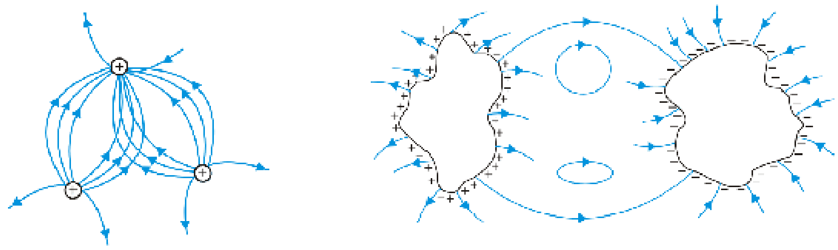
അധിക പരിശീലനപ്രശ്നങ്ങൾ

1.25 മില്ലിക്കന്റെ 'എണ്ണത്തുള്ളി പരീക്ഷണത്തിൽ' (Millikan's Oil-drop experiment) 12 അധിക ഇലക്ട്രോണുകളോടു കൂടിയ ഒരു എണ്ണത്തുള്ളിയെ 2.55×10^4 NC^{-1} എന്ന സ്ഥിര വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ സഹായത്താൽ നിശ്ചലമായി നിർത്തിയിരിക്കുന്നു. എണ്ണയുടെ സാന്ദ്രത 1.26 gcm^{-3} ആണ്. എണ്ണത്തുള്ളിയുടെ ആരം കണക്കാക്കുക.
(g 9.81 $m s^{-2}$; e 1.60×10^{-19} C).

1.26 ചിത്രം 1.35 ൽ കാണുന്ന വക്രരേഖകളിൽ സ്ഥിത-വൈദ്യുത മണ്ഡല രേഖകളെ പ്രതിനിധീകരിക്കാൻ സാധ്യമല്ലാത്തത് ഏത്?



(a) (b) (c)

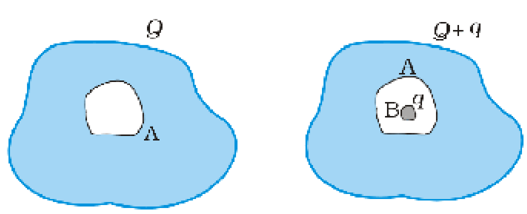


(d) (e)

ചിത്രം 1.35

127 സ്പേസിൽ ഒരു പ്രത്യേക മേഖലയിൽ വൈദ്യുത മണ്ഡലം പൂർണമായും z ദിശയിലാണ് അനുഭവപ്പെടുന്നത്. എന്നാൽ വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ അളവ് ഒരു സ്ഥിരസംഖ്യയല്ല. അത് പോസിറ്റീവ് z ദിശയിൽ 10^5 NC^{-1} പ്രതി മീറ്റർ എന്ന അളവിൽ വർധിക്കുന്നു. ആകെ ഡൈപോൾ മൊമന്റ് 10^{-7}Cm. ആയ ഒരു വ്യവസ്ഥയിൽ നെഗറ്റീവ് z ദിശയിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലവും ടോർക്കും എത്രയെന്നു കണക്കാക്കുക.

128 (a) ചിത്രം 1.36 (a) യിൽ കാണുന്നതുപോലെ, പൊള്ളയായ ഭാഗത്തോടു കൂടിയ A എന്ന ചാലകത്തിന് Q എന്ന ചാർജ് നൽകിയിരിക്കുന്നു. നൽകിയ ചാർജ് പൂർണമായും ചാലകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ വ്യാപരിക്കുമെന്ന് തെളിയിക്കുക. (b) q ചാർജുള്ള B എന്ന മറ്റൊരു ചാലകം A യുടെ പൊള്ളയായ ഭാഗത്തു കടത്തിവച്ചിരിക്കുന്നു. (ചാലകം B, Aയിൽ സ്പർശിക്കുന്നില്ല.) A യുടെ ഉപരിതലത്തിലുള്ള ആകെ ചാർജ് Q+q ആണെന്നു തെളിയിക്കുക [ചിത്രം 1.36 (b)]. (c) പരിസരത്തുള്ള അതിശക്തമായ വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിൽ നിന്ന് ഉയർന്ന സംവേദനക്ഷമതയുള്ള ഒരു ഉപകരണത്തെ (Sensitive instrument) സംരക്ഷിക്കാനുള്ള ഒരു മാർഗ്ഗം നിർദേശിക്കുക.



(a) (b)

ചിത്രം 1.36

129 പൊള്ളയും, വൈദ്യുതവാഹിയുമായ ഒരു ചാലകത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ ഒരു ചെറിയ ദ്വാരം ഉണ്ടാക്കിയിരിക്കുന്നു. ദ്വാരത്തിലെ വൈദ്യുതമണ്ഡലം $(\sigma/2\varepsilon_0)\,\hat{\mathbf{n}}$ ൽ ആണെന്നു തെളിയിക്കുക. ഇവിടെ $\hat{\mathbf{n}}$ എന്ന് ബഹിർഗമന ലംബ ദിശയിലെ ഏകസദിശവും ദ്വാരത്തിനടുത്തുള്ള പ്രതല ചാർജ് സാന്ദ്രതയുമാകുന്നു.

130 നീളമുള്ളതും നേർത്തതുമായ ലോഹക്കമ്പി മൂലമുണ്ടാകുന്ന വൈദ്യുത മണ്ഡലത്തിന്റെ സമവാക്യം ഗോസ്സ് നിയമം ഉപയോഗിക്കാതെ കണ്ടെത്തുക. (സൂചന: കൂളോം നിയമം നേരിട്ടുപയോഗിക്കുകയും ആവശ്യമായ സമാകലന ക്രിയകൾ (integration) നടത്തുകയും ചെയ്യുക).

1.31 സാധാരണ ദ്രവ്യത്തിലെ ന്യൂക്ലിയസുകളുടെ ഘടകകണങ്ങളായ പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളും അതിലേറെ മൗലികമായ ക്വാർക്കുകൾ എന്ന ഘടകങ്ങളാൽ നിർമിതമാണെന്ന് ഇന്ന് നമുക്കറിയാം. പ്രോട്ടോണും ന്യൂട്രോണും മൂന്നു വീതം ക്വാർക്കുകളെ ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. രണ്ടുതരം ക്വാർക്കുകളാണുള്ളത്; $+(2/3)e$ ചാർജോടു കൂടിയ 'അപ്' (u) ക്വാർക്കും, $(-1/3)e$ ചാർജോടു കൂടിയ 'ഡൗൺ' (d) ക്വാർക്കും. ഈ ക്വാർക്കുകളുടെ കൂടെ ഇലക്ട്രോണുകളും ചേർന്നാണ് സാധാരണ ദ്രവ്യം നിർമിതമായിരിക്കുന്നത്. (ദ്രവ്യത്തിന്റെ അസാധാരണമായ പല വകഭേദങ്ങളെയും നിർമിക്കുന്ന വ്യത്യസ്തതരം ക്വാർക്കുകൾ കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്.) ഒരു പ്രോട്ടോണിന്റെയും ന്യൂട്രോണിന്റെയും സാധ്യമായ ഒരു ക്വാർക്ക് ഘടന നിർദേശിക്കുക.

1.32 (a) നിയമബന്ധിതമോ നിയന്ത്രിതമോ അല്ലാത്ത ഒരു വൈദ്യുതമണ്ഡല വ്യവസ്ഥ (configuration) പരിഗണിക്കുക. ഈ മണ്ഡലവ്യവസ്ഥയുടെ ശൂന്യബിന്ദുവിൽ (null point) ($E = 0$ ആകുന്ന ബിന്ദു) ഒരു ചെറിയ ടെസ്റ്റ് ചാർജ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതായി കരുതുക. ഈ ടെസ്റ്റ് ചാർജിന്റെ സംതുലനാവസ്ഥ അസ്ഥിരമായിരിക്കുമെന്ന് തെളിയിക്കുക.

(b) ഒരു നിശ്ചിത അകലത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന, ഒരേ അളവും ചിഹ്നവുമുള്ള രണ്ടു ചാർജുകളുടെ വ്യവസ്ഥയിൽ മേൽ ഫലം സമർഥിക്കുക.

1.33 ചാർജ്വാഹികളായ രണ്ടു പ്ലേറ്റുകൾക്കിടയിലേക്ക് m മാസുള്ളതും $-q$ ചാർജുള്ളതുമായ ഒരു കണിക x- അക്ഷത്തിലൂടെ പ്രവേശിക്കുകയും v_x എന്ന പ്രാരംഭ പ്രവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. (ചിത്രം 1.33 ലെ ഒന്നാം കണികയെപ്പോലെ). പ്ലേറ്റിന്റെ നീളം L ആണ്. പ്ലേറ്റുകൾക്കിടയിൽ E എന്ന വൈദ്യുതമണ്ഡലം അനുഭവപ്പെടുന്നുണ്ട്. പ്ലേറ്റിന്റെ അഗ്രഭാഗത്തെ കണികയുടെ ലംബതലത്തിലുള്ള ഭ്രംശം (vertical deflection) $qEL^2/(2m\,v_x^2)$ ആണെന്നു തെളിയിക്കുക.

(11-ാം ക്ലാസിലെ ഭൗതികശാസ്ത്ര പാഠപുസ്തകത്തിലെ ഭാഗം 4.10 ൽ നാം ചർച്ചചെയ്ത ഗുരുത്വമണ്ഡലത്തിലെ പ്രൊജക്ടൈൽ ചലനവുമായി ഈ ചലനത്തെ താരതമ്യം ചെയ്യുക).

1.34 പരിശീലനപ്രശ്നം 1.33 ലെ കണിക $v_x = 2.0\times10^6$ ms^{-1} എന്ന പ്രാരംഭ വേഗത്തിൽ വിക്ഷേപിതമായ ഒരു ഇലക്ട്രോണാണ് എന്നു കരുതുക. 0.5cm ദൂരത്തിൽ അകറ്റി നിർത്തിയിരിക്കുന്ന പ്ലേറ്റുകൾക്കിടയിലുള്ള മണ്ഡലം, 9.1×10^2 N/C ($|e| = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg) ആണെങ്കിൽ മുകളിലെ പ്ലേറ്റിൽ ഇലക്ട്രോൺ ഇടിക്കുന്നത് എവിടെയായിരിക്കും?