R9S9P7

യൂണിറ്റ് – 2

ആറ്റം ഘടന

ലക്ഷ്യങ്ങൾ

ഈ യൂണിറ്റ് പഠിക്കുന്നതിലൂടെ

- ഇലക്ട്രോൺ, പ്രോട്ടോൺ, ന്യൂട്രോൺ തുടങ്ങിയവയുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തെക്കുറിച്ചും അവയുടെ സവിശേഷതകളെക്കുറിച്ചും അറിയാൻ കഴിയും.
- തോംസൺ, റുഥർഫോർഡ്, ബോർ ആറ്റം മാതൃകകളെ വിവരിക്കാൻ കഴിയും
- ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്കൽ മാതൃകയുടെ പ്രധാന സവിശേഷതകൾ മനസിലാക്കാൻ കഴിയും.
- വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം, പ്ലാങ്കിന്റെ ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ സ്വഭാവം എന്നിവ മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിയും.
- പ്രകാശ വൈദ്യുതപ്രഭാവം, അറ്റോമിക സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ സവിശേഷതകൾ എന്നിവ വിവരിക്കുവാൻ കഴിയും.
- ഡിബ്രോളി തത്വം, ഹൈസൻബർഗ്ഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം എന്നിവ പ്രസ്താവിക്കാൻ കഴിയും.
- ക്വാണ്ടം സംഖ്യകളെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള അറ്റോമിക ഓർബിറ്റലുകളെ നിർവചിക്കാൻ കഴിയും.
- ആഫ്ബ തത്വം, പൗളി ഒഴിവാക്കൽ തത്വം, ഹണ്ടിന്റെ അധികതമ ബഹുലതാനിയമം എന്നിവ പ്രസ്താവിക്കാൻ കഴിയും.
- ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം എഴുതുവാൻ കഴിയും.

"വിവിധ മൂലകങ്ങളുടെ രാസസ്വഭാവത്തിന്റെ സമ്പന്നവൈവിധ്യം ഈ മൂലകങ്ങളുടെ ആറ്റങ്ങളുടെ ആന്തരികഘടനയിലെ വ്യത്യാസങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെടുത്താവുന്നതാണ്."

ആദിമ ഭാരതീയരുടേയും ഗ്രീക്ക്തത്വചിന്തകരുടെയും കാലഘട്ടം (400 ബി.സി.) മുതൽ തന്നെ ആറ്റങ്ങളുടെ അസ്തിത്വം സംബന്ധിച്ച വാദഗതികൾ ഉയർന്നിട്ടുണ്ട്. അവരുടെ അഭിപ്രായപ്രകാരം പദാർഥത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനപരമായ നിർമാണശിലകളാണ് ആറ്റങ്ങൾ. ദ്രവ്യത്തെ തുടർച്ചയായി വിഭജിച്ചു കൊണ്ടിരുന്നാൽ ആത്യന്തികമായി കിട്ടുന്നതും 'ആറ്റങ്ങ'ളാണ്; അവയെ പിന്നീട് വിഭജിക്കാനാകുന്നതല്ല.' മുറിക്കാനാകാത്തത്' അല്ലെങ്കിൽ വിഭജിക്കാനാകാത്തത്' എന്നർഥമുള്ള 'a-tomio' എന്ന ഗ്രീക്ക് വാക്കിൽ നിന്നാണ് ആറ്റം (atom) എന്ന പദം രൂപംകൊണ്ടിട്ടുള്ളത്. ഇത്തരത്തിലുള്ള ആദ്യകാലാശയങ്ങൾ വെറും ഊഹങ്ങളായിരുന്നു, അവ പരീക്ഷിച്ചു നോക്കാൻ ഒരു മാർഗവുമുണ്ടായിരുന്നില്ല. ഈ ആശയങ്ങൾ വളരെക്കാലം സുപ്തമായി നിലകൊണ്ടു. എന്നാൽ പത്തൊൻപതാം നൂറ്റാണ്ടിൽ ശാസ്ത്രജ്ഞർ ഇവയെ പുനരുജ്ജീവിപ്പിച്ചു.

ദ്രവ്യത്തിന്റെ അറ്റോമികസിദ്ധാന്തം തികച്ചും ശാസ്ത്രീയമായി 1808-ൽ ആദ്യമായി അവതരിപ്പിച്ചത് ബ്രിട്ടീഷുകാരനായ സ്കൂൾ അധ്യാപകൻ ജോൺ ഡാൽട്ടനാണ്. **ഡാൽട്ടന്റെ അറ്റോമികസിദ്ധാന്തം** എന്നറിയപ്പെട്ട ഈ സിദ്ധാന്തം ആറ്റത്തെ ദ്രവ്യത്തിന്റെ ആത്യന്തിക കണങ്ങളായി കണക്കാക്കുന്നു (യൂണിറ്റ് 1). ഡാൽട്ടന്റെ അറ്റോമികസിദ്ധാന്തത്തിന് ദ്രവ്യസംരക്ഷണനിയമം, നിശ്ചിതാനുപാതനിയമം, ഗുണിതാനുപാതനിയമം തുടങ്ങിയവയെ തൃപ്തികരമായി വിശദീകരിക്കാൻ കഴിഞ്ഞു. എന്നിരുന്നാലും നിരവധി പരീക്ഷണഫലങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുന്നതിൽ ഈ സിദ്ധാന്തം പരാജയപ്പെട്ടു. ഉദാഹരണമായി ഗ്ലാസ് അല്ലെങ്കിൽ എബൊണൈറ്റ് പോലുള്ള വസ്തുക്കൾ സിൽക്ക് അല്ലെങ്കിൽ രോമത്തിൽ ഉരസുമ്പോൾ വൈദ്യുതചാർജുള്ളവയായി മാറുന്നത്.

ഈ യൂണിറ്റിൽ നാം പഠിച്ചുതുടങ്ങുന്നത് പത്തൊൻപതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ ഒടുക്കത്തിലും ഇരുപതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ തുടക്കത്തിലും ശാസ്ത്രജ്ഞർ നടത്തിയ ചില പരീക്ഷണ-നിരീക്ഷണങ്ങളെക്കുറിച്ചാണ്. ഈ പരീക്ഷണങ്ങൾ ആറ്റങ്ങളെ വീണ്ടും, ഇലക്ട്രോണുകൾ, പ്രോട്ടോണുകൾ, ന്യൂട്രോണുകൾ എന്നിങ്ങനെ ഉപഅറ്റോമികകണികകളായി

വിഭജിക്കാമെന്ന് തെളിയിച്ചു. എന്നാൽ ഈ ആശയം ഡാൽട്ടൻ മുന്നോട്ടു വച്ചവയിൽ നിന്ന് വിഭിന്ന മായിരിന്നു.

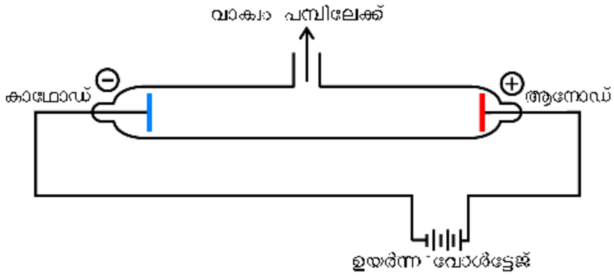
2.1 ഉപ അറ്റോമികകണങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടുത്തം

ആറ്റത്തിന്റെ ഘടനയെക്കുറിച്ചുള്ള ഉൾക്കാഴ്ച ലഭിച്ചത് വാതകങ്ങളിലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഡിസ്ചാർജ് പരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നാണ്. ഈ ഫലങ്ങൾ പരിശോ ധിക്കുന്നതിനു മുമ്പ് ചാർജിതകണങ്ങളുടെ സ്വഭാവത്തെ ക്കുറിച്ച് ഓർത്തിരിക്കേണ്ട ഒരു അടിസ്ഥാന നിയമമുണ്ട്: 'സജാതീയചാർജുകൾ പരസ്പരം വികർഷിക്കുമ്പോൾ വിജാതീയചാർജുകൾ പരസ്പരം ആകർഷിക്കുന്നു'.

2.1.1 ഇലക്ട്രോണിന്റെ കണ്ടുപിടുത്തം

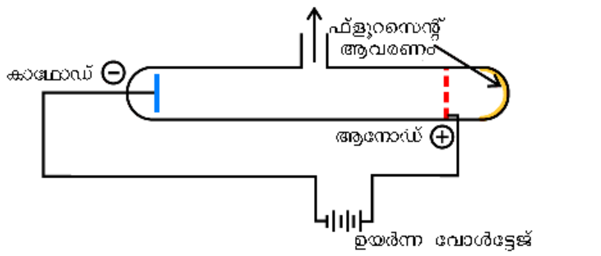
ഒരു ഇലക്ട്രോലൈറ്റിന്റെ ലായനിയിലൂടെ വൈദ്യുതി കടന്നുപോകുകയാണെങ്കിൽ ഇലക്ട്രോഡുകളിൽ രാസപ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങൾ നടക്കുകയും അതിന്റെ ഫലമായി അവിടെ ദ്രവ്യം നിക്ഷേപിക്കപ്പെടുകയോ സ്വതന്ത്രമാക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്യുമെന്ന് 1830ൽ മൈക്കൽ ഫാരഡെ തെളിയിച്ചു. അദ്ദേഹം ഇത് സംബന്ധിച്ച് ആവിഷ്കരിച്ച ചില നിയമങ്ങൾ നിങ്ങൾ പന്ത്രണ്ടാം ക്ലാസിൽ പഠിക്കുന്നതാണ്. ഈ ഫലങ്ങൾ വൈദ്യുതി യുടെ കണികാസ്വഭാവം സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

1850-കളുടെ മധ്യത്തിൽ, ശാസ്ത്രജ്ഞർ, പ്രധാനമായും ഫാരഡെ, **കാഥോഡ് കിരണഡിസ്ചാർജ് നാളികൾ** എന്നറിയപ്പെടുന്ന, ഭാഗികമായി (cathode ray discharge tubes) ശൂന്യമാക്കപ്പെട്ട (Very low pressure) നാളികളി ലൂടെയുള്ള വൈദ്യുത ഡിസ്ചാർജിനെക്കുറിച്ച് പഠി ക്കാൻ തുടങ്ങി. കാഥോഡ് കിരണനാളി, ഗ്ലാസ് ഉപയോ



ചിത്രം 2.1 (a) കാഥോഡ് കിരണഡിസ്ചാർജ്നാളി

ഗിച്ച് നിർമിച്ചിരിക്കുന്നു. [ചിത്രം. 2.1(a)]. അതിനുള്ളിൽ ഇലക്ട്രോഡുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്ന രണ്ട് നേർത്ത ലോഹത്തകിടുകൾ പതിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. വാതകങ്ങളിലൂ ടെയുള്ള വൈദ്യുതഡിസ്ചാർജ് നിരീക്ഷിക്കാൻ കഴിയുന്നത് വളരെ താഴ്ന്ന മർദങ്ങളിലും ഉയർന്ന വോൾട്ടേജുകളിലും മാത്രമാണ്. ഇതിനുള്ളിലെടുത്തി രിക്കുന്ന വാതകങ്ങളുടെ മർദം ക്രമീകരിക്കുന്നത് അവയെ ഭാഗികമായി നീക്കം ചെയ്താണ്. ഇലക്ട്രോഡു കൾക്കിടയിൽ ഉയർന്ന വോൾട്ടേജ് പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ നെഗറ്റീവ് ഇലക്ട്രോഡിൽ (കാഥോഡ്) നിന്ന് പോസിറ്റീവ് ഇലക്ട്രോഡിലേക്ക് (ആനോഡ്) കണികകളുടെ ധാരയായി വൈദ്യുതി പ്രവഹിക്കുന്നു. ഇവയെ **കാഥോഡ് കിരണങ്ങൾ അഥവാ കാഥോഡ് രശ്മികൾ** എന്ന് വിളിച്ചു. കാഥോഡിൽ നിന്ന് ആനോഡിലേക്കുള്ള വൈദ്യുതി പ്രവാഹം ഒന്നുകൂടി പരിശോധിക്കുന്നതിനായി ആനോഡിൽ ഒരു ദ്വാരം നിർമിക്കുകയും, അതിനുപിന്നിൽ ട്യൂബിന്റെ ഗ്ലാസ് ഭിത്തിയിൽ സ്ഫുരദീപ്ത (phosphorescent) വസ്തുവായ സിങ്ക് സൾഫൈഡ് പൂശുകയും ചെയ്തു. ഈ കിരണങ്ങൾ ആനോഡിലൂടെ കടന്നു പോകു മ്പോൾ സിങ്ക് സൾഫൈഡ് ആവരണത്തിൽ പതിക്കു കയും ഒരു തിളങ്ങുന്ന ബിന്ദു പ്രത്യക്ഷമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. (ഇത് തന്നെയാണ് ഒരു ടെലിവിഷനിലും സംഭവിക്കുന്നത്.) [ചിത്രം. 2.1(b)].



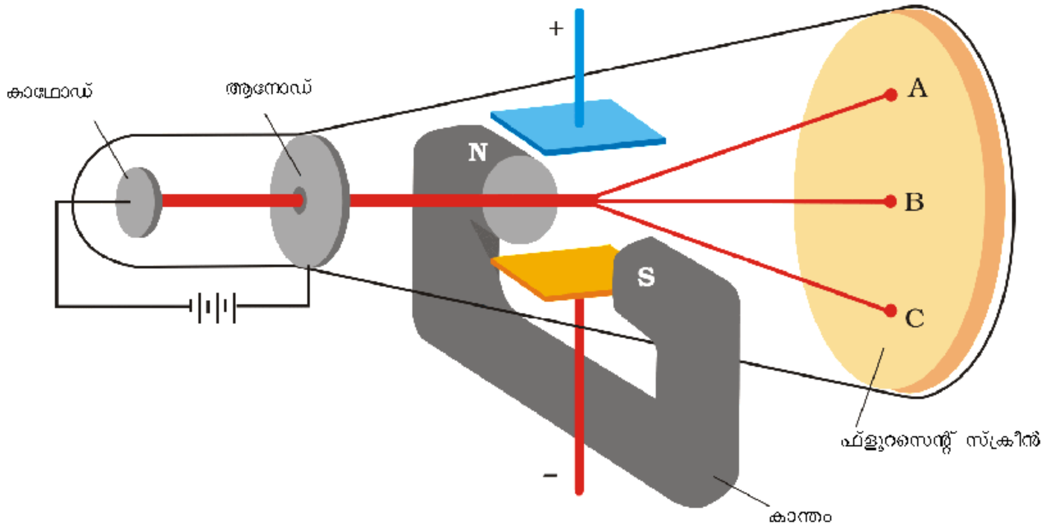
ചിത്രം 2.1(b) സുഷിരങ്ങളോടുകൂടിയ ആനോഡുള്ള കാഥോഡ് കിരണഡിസ്ചാർജ് നാളി

ഈ പരീക്ഷണങ്ങളുടെ ഫലങ്ങൾ ചുവടെ കൊടുത്തി രിക്കുന്നവിധം ചുരുക്കിയെഴുതാം.

(i) കാഥോഡ് കിരണങ്ങൾ കാഥോഡിൽ നിന്ന് ആരംഭിച്ച് ആനോഡിലേക്ക് നീങ്ങുന്നു.

(ii) ഈ കിരണങ്ങൾ അദൃശ്യമാണങ്കിലും അവയുടെ സ്വഭാവം ചില പ്രത്യേക വസ്തുക്കളുടെ സഹായ ത്തോടെ (ഫ്ളൂറസെന്റ് അല്ലെങ്കിൽ ഫോ സ്ഫോറസന്റ്) നിരീക്ഷിക്കാനാകും. ഈ വസ്തു ക്കളിൽ കിരണങ്ങൾ പതിക്കുമ്പോൾ അവ തിളങ്ങുന്നു. ടെലിവിഷൻ ചിത്രനാളികൾ കാഥോഡ് കിരണനാളികളാണ്. ടെലിവിഷൻ സ്ക്രീനിൽ പൂശിയിരിക്കുന്ന ചില ഫ്ളൂറസന്റ് അല്ലെങ്കിൽ ഫോസ്ഫോറസന്റ് വസ്തുക്കൾ കാരണമാണ് ടെലിവിഷനിൽ ചിത്രങ്ങളുണ്ടാ കുന്നത്.

(iii) വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെയോ അല്ലെങ്കിൽ കാന്തിക മണ്ഡലത്തിന്റെയോ അഭാവത്തിൽ ഈ കിരണങ്ങൾ നേർരേഖയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു (ചിത്രം 2.2).



ചിത്രം. 2.2 ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജ്/മാസ് അനുപാതം നിശ്ചയിക്കുന്നതിനുള്ള ഉപകരണം.

(iv) വൈദ്യുത അല്ലെങ്കിൽ കാന്തികമണ്ഡലത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിൽ കാഥോഡ് കിരണങ്ങളുടെ സ്വഭാവം നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണികകളുടേതിനു സമാനമാണ്. ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്, കാഥോഡ് കിരണങ്ങളിൽ **ഇലക്ട്രോണുകൾ** എന്നു വിളിക്കപ്പെടുന്ന നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണങ്ങൾ ഉണ്ടെന്നാണ്.

(v) കാഥോഡ് കിരണങ്ങളുടെ (ഇലക്ട്രോണുകളുടെ) പ്രത്യേകതകൾ ഇലക്ട്രോഡ് നിർമിച്ചിരിക്കുന്ന പദാർഥങ്ങളെയും കാഥോഡ് കിരണനാളിയിൽ എടുത്തിരിക്കുന്ന വാതകത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തേയും ആശ്രയിക്കുന്നില്ല.

ഇതിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ എല്ലാ ആറ്റങ്ങളുടെയും അടിസ്ഥാനഘടകം ആണെന്ന് നമുക്ക് അനുമാനിക്കാം.

2.1.2 ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജും മാസും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം

1897-ൽ ബ്രിട്ടീഷ് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ ജെ.ജെ.തോംസൺ കാഥോഡ് കിരണനാളി ഉപയോഗിച്ച് ഇലക്ട്രോണിന്റെ വൈദ്യുതചാർജ് (e), മാസ് (m_e) എന്നിവയുടെ അനുപാതം വൈദ്യുതകാന്തികമണ്ഡലങ്ങൾ പരസ്പരം ലംബമായും ഇലക്ട്രോണുകളുടെ പാതയ്ക്ക് ലംബമായും പ്രയോഗിച്ച് അളന്നു (ചിത്രം 2.2). വൈദ്യുതമണ്ഡലം മാത്രം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോണുകൾ അവയുടെ പാതയിൽ നിന്ന് വ്യതിചലിക്കുകയും കാഥോഡ് കിരണനാളിയിൽ 'A'എന്ന ബിന്ദുവിൽ പതിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. അതുപോലെ തന്നെ കാന്തികമണ്ഡലം മാത്രം പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ, ഇലക്ട്രോണുകൾ കാഥോഡ് കിരണനാളിയിലെ 'C' എന്ന ബിന്ദുവിൽ പതിക്കുന്നു. വൈദ്യുത കാന്തിക ക്ഷേത്രശക്തിയെ സന്തുലിതമായി പ്രയോഗിക്കുക വഴി ഇലക്ട്രോണുകളെ വൈദ്യുത കാന്തിക ക്ഷേത്രത്തിന്റെ അഭാവത്തിൽ അവ പിന്തുടർന്നിരുന്ന പാതയിലേക്ക് തിരികെ കൊണ്ടുവരാൻ സാധിക്കും. അങ്ങനെ അവ സ്ക്രീനിൽ 'B' എന്ന ബിന്ദുവിൽ പതിക്കും. വൈദ്യുതമോ കാന്തികമോ ആയ മണ്ഡലത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിൽ കണികകളുടെ പാതയിൽ നിന്നുള്ള വ്യതിയാനത്തിന്റെ അളവ് ചുവടെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നവയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു എന്ന് തോംസൺ സമർഥിച്ചു.

i) *കണികയുടെ നെഗറ്റീവ് ചാർജിന്റെ അളവ്:* കണികയുടെ നെഗറ്റീവ് ചാർജിന്റെ അളവ് കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് അവയ്ക്ക് വൈദ്യുത അല്ലെങ്കിൽ കാന്തികമണ്ഡലത്തോടുള്ള അന്യോന്യക്രിയയും കൂടുതലായിരിക്കും ആയതിനാൽ വ്യതിയാനവും കൂടുതലായിരിക്കും.

ii) *കണത്തിന്റെ മാസ് :* കണികാഭാരം കുറയുംതോറും വ്യതിയാനവും കൂടുന്നു.

iii) *വൈദ്യുത അല്ലെങ്കിൽ കാന്തികക്ഷേത്രത്തിന്റെ ശക്തി:* ഇലക്ട്രോഡുകളിൽ പ്രയോഗിക്കുന്ന വോൾട്ടേജിന്റെ വർധനവിനനുസരിച്ചോ അല്ലെങ്കിൽ കാന്തികമണ്ഡലത്തിന്റെ ശക്തിക്കനുസരിച്ചോ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ യഥാർഥപാതയിൽ നിന്നുള്ള വ്യതിയാനം വർധിക്കുന്നു.

വൈദ്യുത അല്ലെങ്കിൽ കാന്തികക്ഷേത്രശക്തിയിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾക്കുണ്ടാകുന്ന വ്യതിയാനത്തിന്റെ

കൃത്യമായ അളവുകൾ കണക്കിലെടുത്ത് തോംസണ്, $\frac{e}{m_e}$ മൂല്യം നിർണയിക്കാൻ കഴിഞ്ഞു. അതിന്റെ മൂല്യം:

$$\frac{e}{m_e} = 1.758820 \times 10^{11}\ \mathrm{C\,kg^{-1}} \qquad (2.1)$$

ഇവിടെ m_e എന്നത് ഇലക്ട്രോണിന്റെ കിലോഗ്രാമിലുള്ള മാസും e എന്നത് ഇലക്ട്രോൺ ചാർജിന്റെ കൂളോമിലുള്ള (C) അളവുമാണ്. ഇലക്ട്രോണുകൾ നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ളവ ആയതിനാൽ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജ് –e ആണ്.

2.1.3 ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജ്

ആർ.എ.മില്ലിക്കൻ (1868–1953) ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചാർജ് നിർണയിക്കാനായി ആവിഷ്ക്കരിച്ച ഒരു രീതിയാണ് എണ്ണത്തുള്ളി പരീക്ഷണം (1906–14) (oil drop experiment). ഇതിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചാർജ് 1.6×10^{19} C ആണെന്ന് അദ്ദേഹം കണ്ടെത്തി. വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ ഇന്നത്തെ സ്വീകാര്യമായ മൂല്യം -1.6022×10^{-19}C ആണ്. ഈ പരീക്ഷണഫലങ്ങൾ തോംസൺ കണ്ടെത്തിയ e/m_e അനുപാതമൂല്യവുമായി യോജിപ്പിച്ചാണ് ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസ് കണക്കാക്കുന്നത്.

$$m_e = \frac{e}{e/m_e} = \frac{1.6022 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}}{1.758820 \times 10^{11}\ \mathrm{C\,kg^{1}}}$$

$$= 9.1094 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg} \qquad (2.2)$$

2.1.4. പ്രോട്ടോണുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും കണ്ടുപിടിത്തം

പരിഷ്ക്കരിച്ച കാഥോഡ് കിരണനാളിയിൽ നടത്തിയ വൈദ്യുത ഡിസ്ചാർജ്, **കനാൽ കിരണങ്ങൾ (canal rays)** എന്നറിയപ്പെടുന്ന പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണങ്ങളുടെ കണ്ടെത്തലിലേക്ക് നയിച്ചു. ഇത്തരം പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണങ്ങളുടെ സ്വഭാവങ്ങൾ താഴെ പറഞ്ഞിരിക്കുന്നു.

(i) കാഥോഡ് കിരണങ്ങളിൽനിന്നു വ്യത്യസ്തമായി, പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണങ്ങൾ കാഥോഡ് കിരണനാളിയിൽ എടുത്തിരിക്കുന്ന വാതകത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇവ കേവലം പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള വാതക അയോണുകളാണ്.

(ii) കണികകളുടെ ചാർജ് – മാസ് അനുപാതം അവ ഏതിൽ നിന്ന് ഉത്ഭവിച്ചുവോ ആ വാതകത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും.

(iii) പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ചില കണങ്ങൾ വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ അടിസ്ഥാന ഏകകത്തിന്റെ ഗുണിതങ്ങളാണ് വഹിക്കുന്നത്.

(iv) കാന്തിക അല്ലെങ്കിൽ വൈദ്യുതക്ഷേത്രങ്ങളിൽ ഈ കണങ്ങളുടെ പെരുമാറ്റം ഇലക്ട്രോണുകൾ അല്ലെങ്കിൽ കാഥോഡ് കിരണങ്ങൾ പ്രകടിപ്പിക്കുന്നതിന് നേർവിരുദ്ധമാണ്.

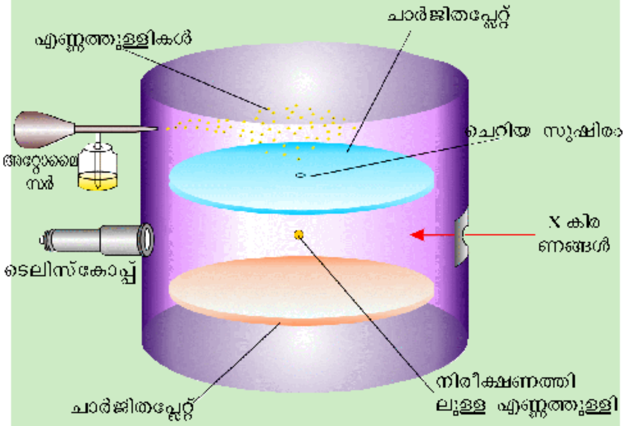
ഏറ്റവും ചെറുതും ഭാരം കുറഞ്ഞതുമായ അയോൺ ഹൈഡ്രജനിൽ നിന്നാണ് കിട്ടിയത്; അത് **പ്രോട്ടോൺ** എന്നറിയപ്പെട്ടു. 1919 ലാണ് ഈ പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള കണത്തിന്റെ പ്രത്യേകതകൾ കണ്ടെത്തിയത്. എന്നാൽ പിന്നീട് ആറ്റത്തിന്റെ ഘടകമായി ഒരു വൈദ്യുത നിർവീര്യകണത്തിന്റെ സാന്നിധ്യം ആവശ്യമുള്ളതായി ബോധ്യപ്പെട്ടു. ബെറിലിയത്തിന്റെ ഒരു നേർത്ത തകിടിൽ x-കണങ്ങളെ ശക്തമായി ഇടിപ്പിച്ച് ചാഡ്‌വിക് (1932) ഈ കണങ്ങൾ കണ്ടെത്തി. പ്രോട്ടോണുകളെക്കാൾ അല്പം കൂടിയ മാസുള്ള, വൈദ്യുത നിർവീര്യകണങ്ങൾ ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെട്ടു. അദ്ദേഹം ഇവയെ **ന്യൂട്രോണുകൾ** എന്ന് വിളിക്കുകയും ചെയ്തു. ഈ മൗലിക കണങ്ങളുടെ പ്രധാന ഗുണങ്ങൾ പട്ടിക 2.1 ൽ കൊടുത്തിട്ടുണ്ട്.

പട്ടിക 2.1 അടിസ്ഥാന കണങ്ങളുടെ ഗുണധർമങ്ങൾ

നാമം	പ്രതീകം	കേവലചാർജ്/C	ആപേക്ഷിക ചാർജ്	മാസ്/kg	മാസ്/u	ഏകദേശ മാസ്/u
ഇലക്ട്രോൺ	e	-1.6022×10^{-19}	-1	9.10939×10^{-31}	0.00054	0
പ്രോട്ടോൺ	p	$+1.6022 \times 10^{-19}$	+1	1.67262×10^{-27}	1.00727	1
ന്യൂട്രോൺ	n	0	0	1.67493×10^{-27}	1.00867	1

മില്ലിക്കന്റെ എണ്ണത്തുള്ളി പരീക്ഷണം

ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ, അറ്റൊമൈസറിൽ മഞ്ഞിന്റെ രൂപത്തിൽ ഉല്പാദിക്കപ്പെടുന്ന എണ്ണത്തുള്ളികൾ, ഇലക്ട്രിക്കൽ കണ്ടൻസറിന്റെ മുകളിലുള്ള ഫലകത്തിന്റെ ഒരു ചെറിയ സുഷിരത്തിലൂടെ ഉള്ളിലേക്ക് കടക്കാൻ അനുവദിച്ചു. തുള്ളികളുടെ താഴേക്കുള്ള ചലനം ഒരു മൈക്രോമീറ്റർ നേത്രഭാഗം കൊണ്ട് സജ്ജീകരിച്ച ദൂരദർശിനിയിലൂടെ വീക്ഷിച്ചു.ഈ തുള്ളികളുടെ വീഴ്ചനിരക്ക് അളക്കുന്നതിലൂടെ എണ്ണത്തുള്ളികളുടെ മാസ്സ് അളക്കാൻ മില്ലിക്കന് കഴിഞ്ഞു. എക്സ്‌രശ്മികളെ കടത്തിവിട്ടുകൊണ്ട് അറയിലെ വായു അയോണീകരിക്കപ്പെട്ടു. എണ്ണ തുള്ളികൾക്ക് വൈദ്യുതചാർജ് കിട്ടുന്നത് വാതകഅയോണുകളുമായുണ്ടാകുന്ന കൂട്ടിമുട്ടലുകൾ മൂലമാണ്. തുള്ളികളുടെ ചാർജിനും ഫലകത്തിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെട്ട വോൾട്ടേജിന്റെ ശക്തിക്കും ധ്രുവീകരണത്തിനും അനുസരിച്ച് ഈ ചാർജിത എണ്ണത്തുള്ളികളുടെ പതനവേഗത, കുറയ്ക്കാനും വർധിപ്പിക്കാനും അല്ലെങ്കിൽ അവയെ നിശ്ചലമാക്കാനും സാധിക്കും. വൈദ്യുതക്ഷേത്രത്തിന്റെ കരുത്തിനു എണ്ണത്തുള്ളികളുടെ ചലനത്തിലുള്ള പ്രഭാവം സൂക്ഷ്മമായി നിരീക്ഷിച്ച മില്ലിക്കൻ, തുള്ളികളിലുള്ള വൈദ്യുത ചാർജിന്റെ അളവ്, എല്ലായ്പ്പോഴും വൈദ്യുതചാർജ് (e) യുടെ ഒരു പൂർണസംഖ്യാ ഗുണിതമായിരിക്കുമെന്ന് കണ്ടെത്തി, അതായത്, $q = ne, n = 1, 2, 3 .....$



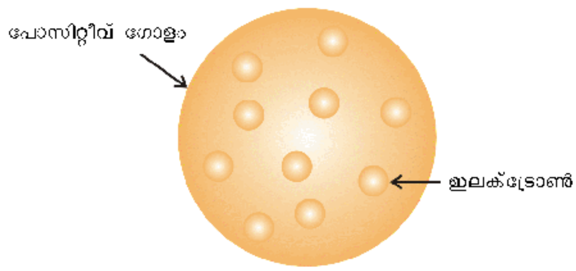
ചിത്രം 2.3 ചാർജ് 'e' അളക്കാനുള്ള മില്ലിക്കൻ എണ്ണത്തുള്ളി ഉപകരണം. പരീക്ഷണഅറയിൽ, എണ്ണത്തുള്ളികളിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന ബലങ്ങൾ: ഗുരുത്വാകർഷണബലം, വൈദ്യുതമണ്ഡലത്തിന്റെ സ്വാധീനം മൂലമുള്ള വൈദ്യുതാകർഷണം, ചലിക്കുന്ന എണ്ണത്തുള്ളികളിലെ ശ്യാനത തുടങ്ങിയവയാണ്.

2.2 അറ്റോമികമാതൃകകൾ

മുൻ വിഭാഗങ്ങളിൽ പരാമർശിച്ചിട്ടുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്ന് ലഭിച്ച നിരീക്ഷണങ്ങൾ, ഡാൾട്ടന്റെ അവിഭാജ്യമായ ആറ്റത്തിൽ , പോസിറ്റീവ്, നെഗറ്റീവ് ചാർജുകൾ ഉള്ള ഉപആറ്റോമിക കണങ്ങൾ ഉള്ളതായി സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ആറ്റത്തിലെ ഇത്തരം ചാർജിത കണങ്ങളുടെ വിന്യാസത്തെ വിശദീകരിക്കാൻ വ്യത്യസ്ത അറ്റോമിക മാതൃകകൾ മുന്നോട്ടുവയ്ക്കപ്പെട്ടു. ഇത്തരം മാതൃകകളിൽ ചിലതിനു ആറ്റങ്ങളുടെ സ്ഥിരത വിശദീകരിക്കാൻ കഴിഞ്ഞില്ലെങ്കിലും, ജെ.ജെ. തോംസണും ഏണസ്റ്റ് റുഥർഫോർഡും മുന്നോട്ടുവച്ച രണ്ട് മാതൃകകൾ താഴെ ചർച്ചചെയ്യുന്നു.

2.2.1 തോംസൺ ആറ്റം മാതൃക

1898 ൽ ജെ. ജെ. തോംസൺ, നിർദേശിച്ചതനുസരിച്ച് ഒരു ആറ്റത്തിന് ഗോളാകൃതിയാണുള്ളത്. (ആരം ഏകദേശം 10^{-10}m) അതിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ഏകതാനമായി വിതരണം ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഏറ്റവും സ്ഥിരതയുള്ള വൈദ്യുതാകർഷണക്രമീകരണം (ചിത്രം 2.4) ലഭിക്കുന്ന രീതിയിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ അതിൽ ഉൾച്ചേർത്തിരിക്കുന്നു. പ്ലം പുഡ്ഡിംഗ്, റെയിസിൻ പുഡ്ഡിംഗ് അല്ലെങ്കിൽ തണ്ണിമത്തൻ മാതൃക തുടങ്ങിയ പല പേരുകളും ഈ മാതൃകയ്ക്ക് നൽകപ്പെട്ടു.



ചിത്രം 2.4 തോംസൺ ആറ്റം മാതൃക

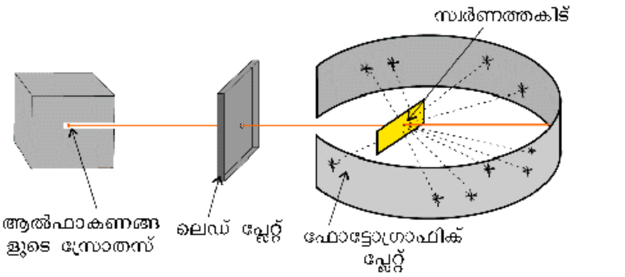
പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ഒരു പുഡ്ഡിംഗ് അല്ലെങ്കിൽ തണ്ണിമത്തൻ ആയും ഇലക്ട്രോണുകൾ അതിൽ ഉൾച്ചേർത്ത പ്ലം അല്ലെങ്കിൽ വിത്തുകൾ ആയും ഈ മാതൃകയെ സങ്കൽപ്പിക്കാൻ കഴിയും. ആറ്റത്തിന്റെ മാസ് ഒരേ അളവിൽ ആറ്റത്തിൽ മുഴുവൻ വിതരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതായി കരുതുന്നതാണ് ഈ മാതൃകയുടെ ഒരു പ്രധാന സവിശേഷത. ആറ്റത്തിന്റെ മൊത്തത്തിലുള്ള നിർവീര്യതയെ വിശദീകരിക്കുന്നതിൽ ഈ മാതൃക വിജയിച്ചു എങ്കിലും പിന്നീടുള്ള പരീക്ഷണഫലങ്ങളുമായി അതിന് പൊരുത്തപ്പെടാനായില്ല. വാതകങ്ങളിൽ കൂടിയുള്ള വൈദ്യുതചാലനത്തിന്റെ സൈദ്ധാന്തികവും പരീക്ഷണാത്മകവുമായ അന്വേഷണങ്ങൾക്ക്, 1906 ൽ തോംസണ് ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ നൊബേൽ സമ്മാനം ലഭിച്ചു.

പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ അവസാന പകുതിയിൽ വ്യത്യസ്ത തരത്തിലുള്ള കിരണങ്ങൾ കണ്ടെത്തിയിരുന്നു. 1895 ൽ വിൽഹാം റോൺജൻ (1845 - 1923), ഇലക്ട്രോണുകൾ കാഥോഡ് കിരണനാളിയിലെ ഒരു വസ്തുവിൽ പതിച്ചപ്പോൾ ഉണ്ടായ കിരണങ്ങൾക്ക് കാഥോഡ് കിരണനാളികളുടെ പുറത്ത് വച്ചിരിക്കുന്ന ഫ്ളൂറസെന്റ് സാമഗ്രികളിൽ ഫ്ളൂറസെൻസ് ഉണ്ടാക്കാൻ കഴിയുമെന്ന് തെളിയിച്ചു. വികിരണത്തിന്റെ സ്വഭാവം റോൺജന് അറിയില്ലെന്നതിനാൽ, അദ്ദേഹം അവയെ എക്സ് രശ്മികൾ എന്ന് നാമകരണം ചെയ്തു. ആയത് ഇപ്പോഴും തുടരുന്നു. ടാർഗറ്റുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്ന സാന്ദ്രമായ ലോഹ ആനോഡുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ പതിപ്പിച്ചാൽ എക്സ് കിരണങ്ങൾ ഫലപ്രദമായി ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുമെന്ന് ശ്രദ്ധയിൽപ്പെട്ടു. ഇവ വൈദ്യുത കാന്തികമണ്ഡലങ്ങളിൽ വ്യതിചലിക്കുന്നില്ല എന്നു മാത്രമല്ല തുളച്ചുകയറാനുള്ള ശക്തി ഇവക്ക് വളരെ ഉയർന്നതുമാണ്. അതുകൊണ്ടാണ് വസ്തുക്കളുടെ ആന്തരികപഠനത്തിനായി ഈ കിരണങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കുന്നത്. ഈ കിരണങ്ങൾ വളരെ കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ളവയാണ് (~0.1nm). മാത്രമല്ല ഇവയ്ക്ക് വൈദ്യുത കാന്തികസ്വഭാവവും ഉണ്ട് (ഭാഗം 2.3.1).

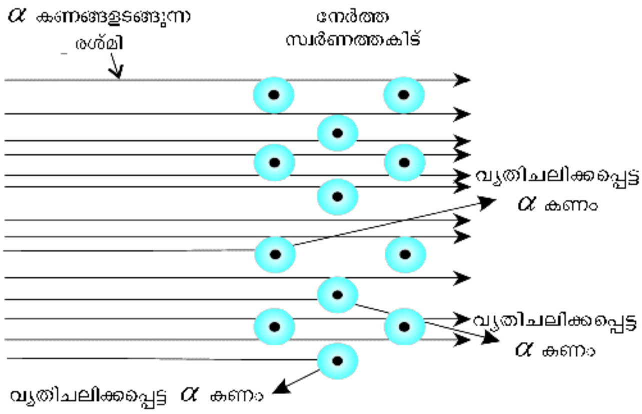
ചില മൂലകങ്ങൾ അവയിൽ നിന്ന് വികിരണങ്ങളെ പുറത്തു വിടുന്നുവെന്ന് ഹെന്റി ബെക്വറൽ (1852 - 1908) നിരീക്ഷിച്ചു. ഈ പ്രതിഭാസത്തെ റേഡിയോആക്ടിവത എന്നും അത്തരം മൂലകങ്ങളെ റേഡിയോആക്ടിവ് മൂലകങ്ങൾ എന്നും വിളിക്കുന്നു. മേരി ക്യൂറി, പിയറി ക്യൂറി, റുഥർഫോർഡ്, ഫ്രെഡറിക് സോഡി എന്നിവരാണ് ഈ മേഖലയെ വികസിപ്പിച്ചത്. മൂന്ന് തരം കിരണങ്ങൾ അതായത് α, β-, γ- കിരണങ്ങൾ എന്നിവ പുറത്തുവിടുന്നുവെന്ന് കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടു. രണ്ട് യൂണിറ്റ് പോസിറ്റീവ് ചാർജും നാല് യൂണിറ്റ് അറ്റോമിക മാസും വഹിക്കുന്ന ഉയർന്ന ഊർജ കണങ്ങളാണ് α- രശ്മിയിൽ ഉള്ളതെന്ന് റുഥർഫോർഡ് കണ്ടെത്തി. α കണങ്ങൾ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകളുമായി കൂടിച്ചേർന്ന് ഹീലിയം വാതകം ആയി മാറിയതിനാൽ α കണങ്ങൾ ഹീലിയം ന്യൂക്ളിയസുകൾ ആണെന്ന് അദ്ദേഹം അനുമാനിച്ചു. β- കിരണങ്ങൾ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് സമാനമായ നെഗറ്റിവ് ചാർജുള്ള കണങ്ങൾ ആണ്. എക്സ് കിരണങ്ങൾ പോലുള്ള ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള, γ- കിരണങ്ങൾ നിർവീര്യമായവയാണ്, അവ കണികകളല്ല. α കണങ്ങൾ തുളച്ചു കയറാൻ ശക്തി വളരെ കുറവുള്ളവയാണെങ്കിലും, β- കണങ്ങളും (α കണങ്ങളുടെ 100 മടങ്ങ്), γ- കിരണങ്ങളും (α കണങ്ങളുടെ 1000 മടങ്ങ്) തുളച്ചുകയറാൻ ശക്തിയുള്ളവയാണ്.

2.2.2 റുഥർഫോഡിന്റെ ന്യൂക്ലിയർ ആറ്റം മാതൃക

റുഥർഫോർഡും അദ്ദേഹത്തിന്റെ ശിഷ്യന്മാരും (ഹാൻസ് ഗെയ്ഗർ, ഏണസ്റ്റ് മാർസ്ഡെൻ) α കിരണങ്ങളെ വളരെ നേർത്ത സ്വർണത്തകിടിൽ ശക്തിയായി കൂട്ടിമുട്ടിച്ചു. റുഥർഫോർഡിന്റെ പ്രസിദ്ധമായ α കിരണ വിസരണ പരീക്ഷണം (α-particle scattering experiment) ചിത്രം 2.5 ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. റേഡിയോ ആക്ടീവ് സ്രോതസിൽ നിന്ന് പുറപ്പെടുന്ന ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള α കണങ്ങളുടെ ഒരു ധാര ഒരു നേർത്ത ഗോൾഡ് ലോഹത്തകിടിൽ (കനം ~ 100 nm) ഇടിപ്പിച്ചു. നേർത്ത ഗോൾഡ് ലോഹത്തകിടിനുചുറ്റും വൃത്താകൃതിയിലുള്ള ഒരു ഫ്ളൂറസെന്റ് സിങ്ക് സൾഫൈഡ് മറയുണ്ടായിരുന്നു. α–കണങ്ങൾ സ്ക്രീനിൽ പതിക്കുമ്പോഴെല്ലാം ആ ബിന്ദുവിൽ ഒരു ചെറിയ മിന്നൽ ഉണ്ടാകുന്നു.



ചിത്രം 2.5 A. റുഥർഫോർഡിന്റെ വിസരണപരീക്ഷണം



B. ***സ്വർണത്തകിടിന്റെ തന്മാത്രാതലദൃശ്യം***

ചിത്രം (2.5). റുഥർഫോർഡിന്റെ വിസരണ പരീക്ഷണത്തിന്റെ വ്യവസ്ഥാപിത ചിത്രീകരണം. ആൽഫ (α) കണങ്ങളുടെ ഒരു ധാര ഒരു നേർത്ത സ്വർണത്തകിടിലേക്ക് ശക്തിയായി പതിപ്പിച്ചപ്പോൾ , അവയിൽ ഭൂരിഭാഗവും മാറ്റമൊന്നുമില്ലാതെ കടന്നുപോയി. എന്നാൽ, ചിലത് വ്യതിചലിക്കപ്പെട്ടു.

വിസരണപരീക്ഷണത്തിന്റെ ഫലങ്ങൾ വളരെ അപ്രതീക്ഷിതമായിരുന്നു. തോംസൺ ആറ്റം മാതൃക അനുസരിച്ച്, തകിടിലെ ഓരോ സ്വർണആറ്റത്തിന്റെയും മാസ് ആറ്റത്തിലുടനീളം പരന്നിരുന്നുവെങ്കിൽ, അതിൽക്കൂടി നേർരേഖയിൽ കടന്നുപോകാൻ വേണ്ടത്ര ഊർജം α കണങ്ങൾക്കുണ്ടായിരുന്നു. തകിടിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ കണികകൾ മന്ദഗതിയിലാവുമെന്നും, അവയ്ക്ക്

ദിശാമാറ്റമുണ്ടാകുന്നത് ചെറിയ കോണളവുകളിലുമായിരിക്കുമെന്നുമാണ് പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നത്. ഈ പരീക്ഷണത്തിലെ നിരീക്ഷണങ്ങൾ താഴെ കൊടുക്കുന്നു.

(i) സ്വർണത്തകിടിലൂടെ മിക്ക α കണങ്ങളും വ്യതിയാനമൊന്നും കൂടാതെ കടന്നുപോയി.

(ii) α കണങ്ങളുടെ ഒരു ചെറിയ ഭാഗം ചെറിയ കോണുകളിൽ വ്യതിചലിച്ചു.

(iii) വളരെക്കുറച്ച് α കണങ്ങൾ (~ 20,000 ൽ 1) തിരികെ വന്നു, അതായത് അവ 180^0 വരെ വ്യതിചലിച്ചു.

ഈ നിരീക്ഷണങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ റുഥർഫോർഡ്, ആറ്റം ഘടനയെക്കുറിച്ച് താഴെപ്പറയുന്ന നിഗമനങ്ങളിൽ എത്തി:

(i) ഭൂരിഭാഗം α–കണങ്ങളും തകിടിലൂടെ വ്യതിയാനമില്ലാതെ കടന്നുപോയതുകൊണ്ട് ആറ്റത്തിന്റെ വ്യാപ്തത്തിന്റെ ഭൂരിഭാഗവും ശൂന്യമാണ്.

(ii) പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഏതാനും α കണങ്ങൾ വ്യതിചലിച്ചു. ഈ വ്യതിയാനത്തിന് കാരണം വളരെ വലിയ വികർഷണശക്തിയാണ്. അത് സൂചിപ്പിക്കുന്നത് തോംസൺ കരുതിയത് പോലെ, പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ആറ്റത്തിന്റെ മുഴുവൻ സ്ഥലത്തുമായി വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്നില്ല എന്നാണ്. വളരെ ചെറിയ ഒരു വ്യാപ്തത്തിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ച പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ആയിരിക്കണം പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള α കണങ്ങളെ വ്യതിചലിപ്പിച്ചത്.

(iii) റുഥർഫോർഡ് കണക്കാക്കിയതനുസരിച്ച് ആറ്റത്തിന്റെ ആകെ വ്യാപ്തവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ വ്യാപ്തം വളരെ ചെറുതാണ്. ആറ്റത്തിന്റെ ആരം 10^{-10} മീറ്റർ ആയിരിക്കുമ്പോൾ. ന്യൂക്ലിയസിന്റേത് 10^{-15} മീറ്റർ ആണ്. ഒരു ക്രിക്കറ്റ് ബാൾ ഒരു ന്യൂക്ലിയസിനെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നുവെങ്കിൽ, ആറ്റത്തിന്റെ ആരം 5 കിലോമീറ്ററായിരിക്കും എന്ന് മനസ്സിലാക്കിയാൽ ഈ വലിപ്പ വ്യത്യാസം വിവേചിച്ചറിയാം.

മേൽപ്പറഞ്ഞ നിരീക്ഷണങ്ങളും നിഗമനങ്ങളും അടിസ്ഥാനമാക്കി റൂഥർഫോർഡ് ആറ്റത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയാർ മാതൃക (പ്രോട്ടോണുകൾ കണ്ടെത്തിയതിന് ശേഷം) നിർദ്ദേശിച്ചു. ഈ മാതൃക അനുസരിച്ച്:

(i) പോസിറ്റീവ് ചാർജും ആറ്റത്തിലെ മാസിന്റെ ഭൂരിഭാഗവും വളരെ ചെറിയ മേഖലയിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ആറ്റത്തിലെ ഈ ചെറിയ ഭാഗത്തെ റുഥർഫോർഡ് **ന്യൂക്ലിയസ്** എന്നാണ് വിളിച്ചത്.

(ii) ന്യൂക്ലിയസ്, വൃത്താകൃതിയിലുള്ള പരിക്രമണ പഥങ്ങളിൽ വളരെ ഉയർന്ന വേഗതയോടെ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളാൽ ചുറ്റപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഈ പരിക്രമണപഥങ്ങളെ **ഓർബിറ്റുകൾ** എന്നു വിളിച്ചു. അങ്ങനെ, റുഥർഫോഡിന്റെ ആറ്റം മാതൃക സൗരയൂഥത്തിനോട് സാദൃശ്യം പുലർത്തുന്നു; അതിൽ ന്യൂക്ലിയസ് സൂര്യന്റെ പങ്ക് വഹിക്കുന്നു; അതേ സമയം ഇലക്ട്രോണുകൾ കറങ്ങുന്ന ഗ്രഹങ്ങളുടെ സ്ഥാനവും.

(iii) ഇലക്ട്രോണുകളെയും ന്യൂക്ലിയസിനെയും ഒരുമിപ്പിച്ചു നിർത്തുന്നത് സ്ഥിതവൈദ്യുതാകർഷണ ബലങ്ങളാണ്.

2.2.3 ആറ്റോമികസംഖ്യയും മാസ് സംഖ്യയും

ന്യൂക്ലിയസിലെ പോസിറ്റീവ് ചാർജിനു കാരണം അതിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകളാണ്. നേരത്തെ മനസ്സിലാക്കിയതുപോലെ പ്രോട്ടോണിലുള്ള ചാർജ് ഇലക്ട്രോണിന്റേതിനു തുല്യവും എന്നാൽ വിപരീതവുമാണ്. ന്യൂക്ലിയസിൽ കാണപ്പെടുന്ന പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം ആണല്ലോ ആറ്റോമിക സംഖ്യ (Z). ഉദാഹരണത്തിന്, ഹൈഡ്രജൻ ന്യൂക്ലിയസിലെ പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം 1 ആണ്, സോഡിയം ആറ്റത്തിൽ 11 ആണ്, അതുകൊണ്ട് അവയുടെ ആറ്റമിക സംഖ്യകൾ യഥാക്രമം 1-ഉം 11-ഉം ആണ്. വൈദ്യുത നിർവീര്യത നിലനിർത്തുന്നതിന്, ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം പ്രോട്ടോണുകളുടെ (അറ്റോമികസംഖ്യ, Z) എണ്ണത്തിനു തുല്യമായിരിക്കും. ഉദാഹരണത്തിന് ഹൈഡ്രജന്റെ ആറ്റത്തിലെയും സോഡിയം ആറ്റത്തിലെയും ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം യഥാക്രമം 1-ഉം 11-ഉം ആണ്.

ആറ്റോമിക സംഖ്യ (Z) = ഒരു ആറ്റത്തിലെ ന്യൂക്ലിയസിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം.

= നിർവീര്യ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം (2.3)

ന്യൂക്ലിയസിന്റെ പോസിറ്റീവ് ചാർജിനു കാരണം പ്രോട്ടോണുകളാണ്, എന്നാൽ അതിന്റെ മാസിനു കാരണം പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളും ആണ്. മുൻപ് സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ, ആറ്റത്തിലെ ന്യൂക്ലിയസിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകളെയും ന്യൂട്രോണുകളെയും പൊതുവേ ഒന്നിച്ച് ചേർത്ത് വിളിക്കുന്നത് **ന്യൂക്ലിയോണുകൾ** എന്നാണ്. ന്യൂക്ലിയോണുകളുടെ ആകെ എണ്ണമാണ് **മാസ് സംഖ്യ (A).**

മാസ് സംഖ്യ (A)= പ്രോട്ടോണുകളുടെ (Z) എണ്ണം+ ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണം (n) (2.4)

2.2.4 ഐസോബാറുകളും ഐസോടോപ്പുകളും

ഒരു ആറ്റത്തിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നതിനു അതിന്റെ മൂലക പ്രതീകമെഴുതി (X) അതിന്റെ ഇടതുവശത്ത് മേലെഴുത്തായി മാസ് സംഖ്യയും (A) ഇടതുവശത്ത് ചുവടെഴുത്തായി ആറ്റോമിക സംഖ്യയും (Z) കാണിക്കുന്നു. ($^{A}_{Z}X$).

ഐസോബാറുകൾ ഒരേ മാസ്സ് സംഖ്യയും വ്യത്യസ്ത ആറ്റോമികസംഖ്യയും ഉള്ള ആറ്റങ്ങളാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, $^{14}_{6}C$, $^{14}_{7}N$. അതേസമയം, ഒരേ ആറ്റോമിക സംഖ്യയും വ്യത്യസ്ത മാസ് സംഖ്യകളുമുള്ള ആറ്റങ്ങളാണ് **ഐസോടോപ്പുകൾ** എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നത്. മറ്റൊരു തരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ (സമവാക്യം 2.4 പ്രകാരം), ന്യൂക്ലിയസിലുള്ള വ്യത്യസ്ത ന്യൂട്രോണുകളുടെ സാന്നിധ്യമാണ് ഐസോടോപ്പുകൾ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസത്തിനു കാരണമെന്ന് മനസ്സിലാക്കാം. ഉദാഹരണത്തിന്, ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം പരിഗണിക്കുമ്പോൾ 99.985% ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങളിലും ഒരു പ്രോട്ടോൺ മാത്രമാണ് ഉള്ളത്. ഈ ഐസോടോപ്പിനെ **പ്രോട്ടിയം ($^{1}_{1}H$)** എന്നാണ് വിളിക്കുന്നത്. ബാക്കിയുള്ള ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങളിൽ മറ്റ് രണ്ട് ഐസോടോപ്പുകൾ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. പ്രോട്ടോണും ന്യൂട്രോണും ഒന്ന് വീതം അടങ്ങിയിട്ടുള്ള **ഡ്യൂറ്റീരിയം ($^{2}_{1}D$, 0.015%)**, ഒരു പ്രോട്ടോണും , 2 ന്യൂട്രോണുകളും അടങ്ങിയ **ട്രിഷ്യം** ($^{3}_{1}T$) എന്നിവ. **ട്രിഷ്യം** ഐസോട്ടോപ്പ് ഭൂമിയിൽ വളരെ കുറഞ്ഞ അളവിലാണ് കാണപ്പെടുന്നത്. ഐസോടോപ്പുകൾക്ക് സാധാരണയായി കാണപ്പെടുന്ന മറ്റ് ഉദാഹരണങ്ങളാണ് 6 പ്രോട്ടോണുകൾക്ക് പുറമേ 6, 7, 8 ($^{12}_{6}C$, $^{13}_{6}C$, $^{14}_{6}C$) ന്യൂട്രോണുകൾ വീതം അടങ്ങിയിട്ടുള്ള കാർബൺ ആറ്റങ്ങൾ, 17 പ്രോട്ടോണുകൾക്ക് പുറമേ 18, 20 ($^{35}_{17}Cl$, $^{37}_{17}Cl$). ന്യൂട്രോണുകൾ വീതമുള്ള ക്ലോറിൻ ആറ്റങ്ങൾ എന്നിവ.

അന്തിമമായി ഐസോടോപ്പുകളെ സംബന്ധിച്ച് സൂചിപ്പിക്കാനുള്ള വളരെ പ്രധാനപ്പെട്ട ഒരു കാര്യം, *ആറ്റങ്ങളുടെ രാസഗുണങ്ങൾ നിയന്ത്രിക്കുന്നത് ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണമാണ് എന്നതാണ്. അവയെ നിർണയിക്കുന്നത് ന്യൂക്ലിയസ്സിലെ പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണമാണ്.* ന്യൂക്ലിയസിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തിനു ഒരു മൂലകത്തിന്റെ രാസ ഗുണങ്ങളിൽ സ്വാധീനം വളരെ കുറവാണ്. അതിനാൽ, ഒരു മൂലകത്തിന്റെ എല്ലാ ഐസോടോപ്പുകളും ഒരേ രാസസ്വഭാവം കാണിക്കുന്നു.

പ്രശ്നം 2.1

$^{80}_{35}Br$ -ലെ പ്രോട്ടോണുകൾ, ന്യൂട്രോണുകൾ, ഇലക്ട്രോണുകൾ എന്നിവയുടെ എണ്ണം കണ്ടുപിടിക്കുക.

ഉത്തരം

$^{80}_{35}Br$, ൽ $Z = 35$, $A = 80$ ആറ്റം നിർവീര്യമായതിനാൽ

പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം = ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം = Z = 35.

ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണം = 80 - 35 = 45, (സമവാക്യം 2.4)

പ്രശ്നം 2.2

ഒരു മൂലകത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും പ്രോട്ടോണുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും എണ്ണം യഥാക്രമം 18, 16, 16 എന്നിങ്ങനെയാണ്. ഇതിന് അനുയോജ്യമായ ചിഹ്നം നൽകുക.

ഉത്തരം

ആറ്റോമികസംഖ്യ പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണത്തിന് തുല്യമാണ് = 16.

മൂലകം സൾഫർ (S) ആണ്.

ആറ്റത്തിന്റെ മാസ്സംഖ്യ = ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണം + പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം = 16 + 16 = 32

പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് തുല്യമല്ലെന്നതിനാൽ ഇത് നിർവീര്യമല്ല.

ഒരു ആനയോൺ ആയ ഇതിന്റെ ചാർജ് അധികമായുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് തുല്യമാണ് = 18 - 16 = 2. ഇതിന്റെ ചിഹ്നം $^{32}_{16}S^{2-}$ എന്നാണ്.

കുറിപ്പ്: $^{A}_{Z}X$ എന്ന സംജ്ഞ ഉപയോഗിക്കുന്നതിനു മുൻപായി ഈ സ്പീഷീസ് ഒരു നിർവീര്യആറ്റം, ഒരു കാറ്റയോൺ അല്ലെങ്കിൽ ആനയോൺ എന്നിവയിൽ ഏതാണെന്ന് കണ്ടുപിടിക്കുക. ഒരു നിർവീര്യ ആറ്റം ആണെങ്കിൽ, സമവാക്യം (2.3) സാധുവാണ്, അതായത് പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം = ഇലക്ട്രോണുകൾ = അറ്റോമികസംഖ്യ. എന്നാലിത് അയോൺ ആണെങ്കിൽ, പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണോ (കാറ്റയോൺ, ധനഅയോൺ) അല്ലെങ്കിൽ കുറവാണോ (ആനയോൺ, ഋണഅയോൺ) എന്ന് തീരുമാനിക്കുക. നിർവീര്യ ആറ്റമാണെങ്കിലും അയോണായാലും ന്യൂട്രോണുകളുടെ എണ്ണം എപ്പോഴും A-Z ആണ്.

2.2.5 റൂഥർഫോർഡ് മാതൃകയുടെ ന്യൂനതകൾ

റൂഥർഫോർഡ് ന്യൂക്ലിയർ ആറ്റം മാതൃക ഒരു ചെറിയ സൗരയൂഥം പോലെയാണ്. ഇതിൽ ന്യൂക്ലിയസ് ഭീമാകാരനായ സൂര്യനുമായും ഇലക്ട്രോണുകൾ ചെറിയ ഗ്രഹങ്ങളുമായും സാമ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

സൗരയൂഥമാതൃകയിൽ ക്ലാസിക്കൽമെക്കാനിക്സ്* പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ, ഗ്രഹങ്ങൾ എങ്ങനെയാണു കൃത്യമായിനിർവചിക്കപ്പെട്ട പാതകളിൽ കൂടി സൂര്യനെ ചുറ്റിത്തിരിയുന്നതെന്നുമനസിലാക്കാം. ഗ്രഹങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള ഗുരുത്വാകർഷണ ബലമാണ് $\left[G.\frac{m_1m_2}{r^2}\right]$.

* ന്യൂട്ടന്റെ ചലനനിയമങ്ങളെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയ ശാസ്ത്രസിദ്ധാന്തമാണ് ക്ലാസിക്കൽ മെക്കാനിക്സ്. സ്ഥൂലവസ്തുക്കളുടെ ചലനനിയമങ്ങളാണ് അതു വ്യക്തമാക്കുന്നത്.

ഇവിടെ m_1, m_2 മാസിനെയും, r, അവയ്ക്കിടയിലുള്ള ദൂരത്തെയും, G എന്നത് ഗുരുത്വാകർഷണസ്ഥിരാങ്കത്തെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഈ സിദ്ധാന്തമുപയോഗിച്ച് ഗ്രഹപരിക്രമണപഥങ്ങൾ (ഓർബിറ്റുകൾ) കൃത്യമായും കണക്കാക്കാനും കഴിഞ്ഞു. അവ പരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നു കിട്ടിയ അളവുകളുമായി ഒത്തുപോകുകയും ചെയ്യുന്നു. സൗരയൂഥമാതൃകയും ന്യൂക്ലിയർ മാതൃകയും തമ്മിലുള്ള സാമ്യം, കൃത്യമായി നിർവചിക്കപ്പെട്ട ഓർബിറ്റുകളിൽ കൂടി ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസിനെ ചുറ്റി സഞ്ചരിക്കുന്നുവെന്ന് സൂചിപ്പിക്കുന്നു. കൂടാതെ, ഇലക്ട്രോണിനും ന്യൂക്ലിയസിനും ഇടയിലുള്ള കൂളോംബികബലം (kq_1q_2/r^2 ഇവിടെ q_1, q_2 എന്നിവയാണ് ചാർജുകൾ, r-ചാർജുകൾക്കിടയിലുള്ള അകലം, k-അനുപാതസ്ഥിരാങ്കം) ഗണിതപരമായി ഗുരുത്വാകർഷണബലത്തിന് സമാനമാണ്. എന്നിരുന്നാലും, ഒരു ഓർബിറ്റിൽ കൂടി ഒരു വസ്തു സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ, അതിന് ത്വരണം (acceleration) സംഭവിക്കുന്നു (ഒരു വസ്തു ഓർബിറ്റിൽ കൂടി സ്ഥിരമായ വേഗതയിൽ സഞ്ചരിക്കുകയാണെങ്കിൽക്കൂടി, ദിശ മാറുന്നതുകൊണ്ട് അതിനു ത്വരണം സംഭവിക്കണം). അതുകൊണ്ട്, ന്യൂക്ലിയർ മാതൃകയിൽ, ഗ്രഹങ്ങളുടേതുപോലുള്ള ഓർബിറ്റിൽ കറങ്ങുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോണിനു ത്വരണമുണ്ട്. മാക്സ്‌വെല്ലിന്റെ വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്തം അനുസരിച്ച്, ചാർജിതകണിക ത്വരണത്തിനു വിധേയമാകുമ്പോൾ വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു. (ഗ്രഹങ്ങൾക്ക് ചാർജ് ഇല്ലാത്തതിനാൽ അവ ഈ സവിശേഷത പ്രകടിപ്പിക്കുന്നില്ല). അതിനാൽ, ഒരു ഓർബിറ്റിലുള്ള ഇലക്ട്രോൺ വികിരണം പുറപ്പെടുവിക്കും. വികിരണം വഹിക്കുന്ന ഊർജം ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചലനത്തിൽ നിന്നാണ് ഉണ്ടാകുന്നത്. അതിന്റെ ഫലമായി ഭ്രമണപഥം തുടർച്ചയായി ചുരുങ്ങുന്നു. കണക്കുകൂട്ടലുകൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് 10^{-8} സെക്കന്റിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ സർപ്പിളമായി (spiral) സഞ്ചരിച്ച് ന്യൂക്ലിയസിൽ വീഴുമെന്നാണ്. എന്നാൽ ഇത് സംഭവിക്കുന്നില്ല. ആയതിനാൽ, റുഥർഫോഡ് മാതൃകയ്ക്ക് ആറ്റത്തിന്റെ സ്ഥിരതയെ വിശദീകരിക്കാനാകുന്നില്ല. ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചലനത്തെ ക്ലാസിക്കൽ മെക്കാനിക്സിന്റെയും വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്തത്തിന്റെയും അടിസ്ഥാനത്തിൽ വിശദീകരിച്ചാൽ, നിങ്ങൾ ചോദിച്ചേക്കാം ആറ്റങ്ങളുടെ അസ്ഥിരതക്ക് കാരണം ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഓർബിറ്റിൽ കൂടിയുള്ള ചലനമാണെങ്കിൽ, ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസ്സിനു ചുറ്റും സ്ഥിരമായിരിക്കുന്നു എന്ന് പരിഗണിച്ചു കൂടേയെന്ന്. ഇലക്ട്രോണുകൾ നിശ്ചലമായിരുന്നെങ്കിൽ, സാന്ദ്രന്യൂക്ലിയസും ഇലക്ട്രോണുകളും തമ്മിലുള്ള സ്ഥിരവൈദ്യുതാകർഷണം, ഇലക്ട്രോണുകളെ, ന്യൂക്ലിയസിലേക്ക് വലിച്ചെടുക്കുകയും അത് തോംസൺ ആറ്റം മാതൃകയുടെ ഒരു ചെറിയ പ്രതിരൂപമായി മാറുകയും ചെയ്യും.

റുഥർഫോർഡ് മാതൃകയുടെ മറ്റൊരു ഗുരുതരമായ പോരായ്മയാണ്, ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക ഘടനയെക്കുറിച്ച് ഒന്നും പറയുന്നില്ല എന്നത്. അതായത് ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും എങ്ങനെയാണ് വിന്യസിച്ചിരിക്കുന്നത്, ഈ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം എന്താണ് എന്നിവ.

2.3 ബോർ ആറ്റം മാതൃകയിലേക്കുള്ള വികാസം

മുൻകാലങ്ങളിൽ നടത്തപ്പെട്ടിട്ടുള്ള ദ്രവ്യവും വികിരണങ്ങളും തമ്മിലുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനപഠനങ്ങളിൽ നിന്നും കണ്ടെത്തിയ ഫലങ്ങൾ ആറ്റങ്ങളുടെയും തന്മാത്രകളുടെയും ഘടന രൂപപ്പെടുത്തുന്നതിന് സഹായകമായ വിവരങ്ങൾ നൽകിയിട്ടുണ്ട്. റുഥർഫോർഡ് മുന്നോട്ടുവെച്ച മാതൃക മെച്ചപ്പെടുത്തുന്നതിനായി ഈ ഫലങ്ങൾ നീൽസ് ബോർ ഉപയോഗപ്പെടുത്തി. ബോറിന്റെ ആറ്റം മാതൃകാരൂപീകരണത്തിൽ പ്രധാന പങ്ക് വഹിച്ച രണ്ടു സംഭവവികാസങ്ങൾ താഴെ പ്പറയുന്നവയാണ്.

(i) വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ ദ്വൈത സ്വഭാവം, അതായത് വികിരണങ്ങൾക്ക് തരംഗ സ്വഭാവവും കണികാസ്വഭാവവും ഉണ്ടെന്നുള്ളതും,

(ii) അറ്റോമിക സ്പെക്ട്രത്തെക്കുറിച്ചുള്ള പരീക്ഷണ ഫലങ്ങൾ.

ആദ്യമായി വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗങ്ങളുടെ ദ്വൈത സ്വഭാവത്തെക്കുറിച്ചും ചർച്ച ചെയ്യാം. അറ്റോമിക സ്പെക്ട്രയെക്കുറിച്ചുള്ള പരീക്ഷണ ഫലങ്ങൾ ഭാഗം 2.4 ൽ ചർച്ച ചെയ്യാം.

2.3.1 വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം

പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ മധ്യത്തോടെ താപീയ വസ്തുക്കളിലെ ആഗിരണ ഉൽസർജന വികിരണങ്ങളെക്കുറിച്ച് ഭൗതിക ശാസ്ത്രജ്ഞർ കാര്യമായി പഠിച്ചു. ഇവയെ താപീയ വികിരണങ്ങൾ എന്നുവിളിച്ചു. താപീയ വികിരണങ്ങൾ ഏതിനാൽ നിർമിതമാണെന്ന് കണ്ടെത്താൻ അവർ ശ്രമിച്ചു. താപീയ വികിരണങ്ങളിലുള്ളത് വിവിധതരം ആവൃത്തിയും തരംഗദൈർഘ്യവുമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങളാണെന്നത് ഇപ്പോൾ നന്നായി അറിയാവുന്ന വസ്തുതയാണ്. പത്തൊൻപതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ മധ്യത്തിൽ അജ്ഞാതമായിരുന്ന ചില ആധുനിക ആശയങ്ങളാണ് ഇതിനടി

സറാനം. താപീയ വികിരണ നിയമങ്ങളെക്കുറിച്ച് കാര്യക്ഷമമായ പഠനം ആദ്യമായി നടന്നത് 1850-ലാണ്. വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗസിദ്ധാന്തവും ത്വരിതചാർജിത കണങ്ങളിൽ നിന്നുള്ള ഇത്തരം വികിരണങ്ങളുടെ ഉൽസർജനതത്വവും 1870-കളുടെ ആരംഭത്തിൽ ജയിംസ് ക്ലാർക്ക് മാക്സ്‌വെൽ ആണ് വികസിപ്പിച്ചത്. പിന്നീട് ഹെൻട്രിച്ച് ഹെഴ്സ് ഇതിനെ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ സറിരീകരിച്ചു. ഇവിടെ നമുക്ക് വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണങ്ങളെക്കുറിച്ചുള്ള ചില വസ്തുതകൾ പഠിക്കാം.

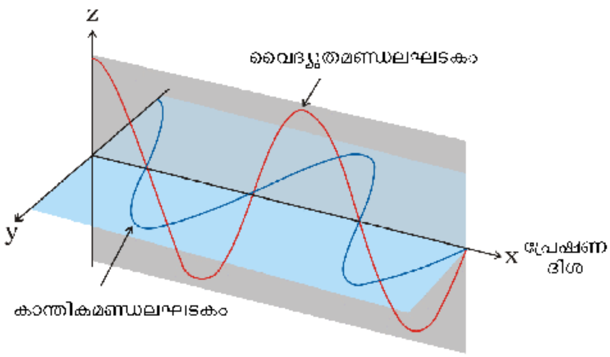
ചാർജുള്ള വസ്തുക്കളും വൈദ്യുതകാന്തിക ക്ഷേത്രങ്ങളുടെ സ്വഭാവവും തമ്മിൽ സ്ഥൂലതലത്തിലുള്ള പരസ്പരക്രിയയെക്കുറിച്ച് സമഗ്രമായ വിശദീകരണം ആദ്യമായി നൽകിയത് ജെയിംസ് മാക്സ്‌വെൽ (1870) ആണ്. വൈദ്യുതചാർജുള്ള കണികകൾ ത്വരണത്തോടുകൂടി ചലിക്കുമ്പോൾ, ഇടവിട്ടുള്ള വൈദ്യുത, കാന്തിക മണ്ഡലങ്ങൾ നിർമിക്കപ്പെടുകയും പ്രസരിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുമെന്നും അദ്ദേഹം ചൂണ്ടിക്കാട്ടി. ഈ മണ്ഡലങ്ങൾ **വൈദ്യുത കാന്തികതരംഗങ്ങൾ (electro magnetic waves) അല്ലെങ്കിൽ വൈദ്യുത കാന്തിക വികിരണങ്ങൾ** എന്നറിയപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ രൂപങ്ങളിൽ പ്രേഷണം ചെയ്യുന്നു.

പ്രാചീന കാലം മുതലേ അറിയപ്പെടുന്ന വികിരണ രൂപമാണ് പ്രകാശം. ഇതിന്റെ സ്വഭാവത്തെക്കുറിച്ചുള്ള അനുമാനങ്ങൾ ചരിത്രാതീതകാലം മുതൽ തുടങ്ങിയതാണ്. ആദ്യകാലങ്ങളിൽ (ന്യൂട്ടൺ) പ്രകാശം കണങ്ങളാൽ (corpuscles) നിർമിക്കപ്പെട്ടതാണ് എന്ന് അനുമാനിച്ചിരുന്നു. പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം സറാപിക്കപ്പെട്ടത് പത്തൊൻപതാം നൂറ്റാണ്ടിൽ മാത്രമാണ്.

പ്രകാശതരംഗങ്ങൾ ദോലനം (oscillation) ചെയ്യുന്ന വൈദ്യുതകാന്തികസ്വഭാവമുള്ളതാണെന്ന് ആദ്യമായി വെളിപ്പെടുത്തിയതും മാക്സ്‌വെൽ ആണ് (ചിത്രം 2.6). വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗചലനം സങ്കീർണസ്വഭാവമുള്ളതാണെങ്കിലും ചില ലളിതമായ സവിശേഷതകൾ മാത്രം പരിഗണിക്കാം.

(i) ദോലനം ചെയ്യുന്ന ചാർജിതകണങ്ങൾ ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്ന വൈദ്യുതകാന്തികക്ഷേത്രങ്ങൾ പരസ്പര ലംബമായിരിക്കും. കൂടാതെ അവ ഓരോന്നും തരംഗ പ്രേഷണദിശക്ക് ലംബവുമായിരിക്കും. വൈദ്യുതകാന്തികതരംഗങ്ങളുടെ ലളിതമായ ചിത്രം 2.6 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

(ii) ശബ്ദതരംഗങ്ങളിൽനിന്ന് അല്ലെങ്കിൽ ജല തരംഗങ്ങളിൽ നിന്ന് വ്യത്യസ്തമായി, വൈദ്യുതകാന്തിക തരംഗങ്ങൾക്ക് സഞ്ചരിക്കാൻ മാധ്യമം ആവശ്യമില്ല, അവയ്ക്ക് ശൂന്യതയിൽക്കൂടി സഞ്ചരിക്കാനാകും.

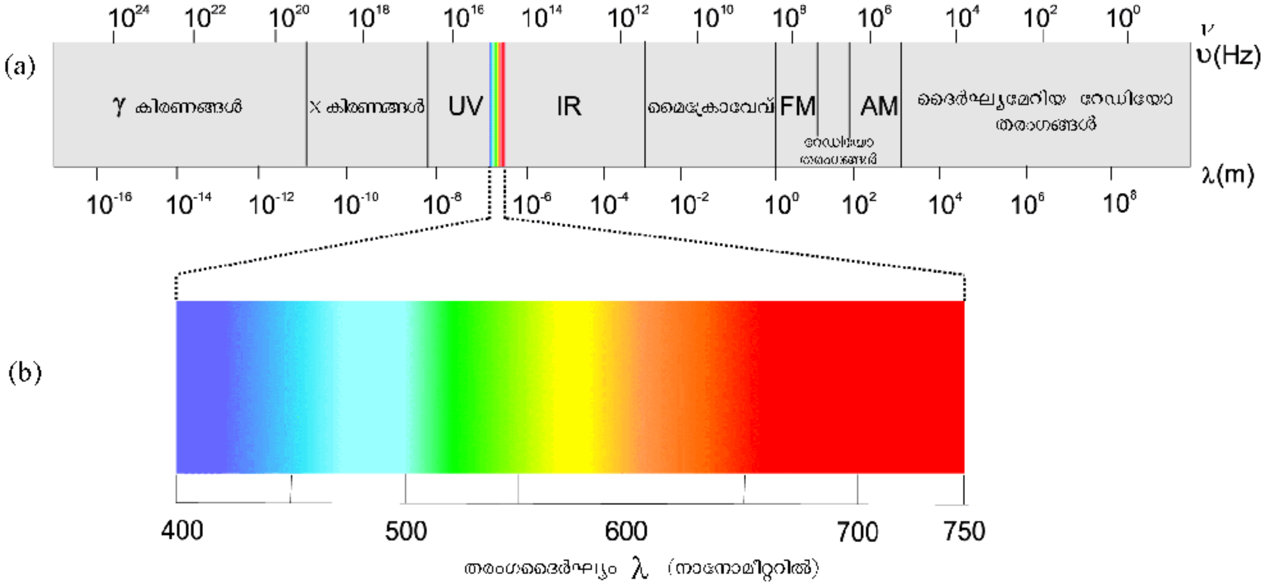


ചിത്രം 2.6 ഒരുവൈദ്യുതകാന്തികതരംഗത്തിന്റെ വൈദ്യുത കാന്തികക്ഷേത്രഘടകങ്ങൾ . ഈ ഘടകങ്ങൾക്ക് ഒരേ തരംഗദൈർഘ്യവും, ആവൃത്തിയും, വേഗതയും, ആയതിയും ഉണ്ട്, എന്നാൽ അവ പരസ്പരം ലംബമായ രണ്ടുതലങ്ങളിൽ സ്പന്ദിക്കുന്നു.

(iii) നാനാതരം വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണങ്ങളുണ്ടെന്നും, തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ (അല്ലെങ്കിൽ ആവൃത്തിയിൽ) അവ തമ്മിൽ വ്യത്യാസമുണ്ടെന്നും ഇപ്പോൾ വ്യക്തമായിട്ടുണ്ട്. ഇവ **വൈദ്യുതകാന്തിക സ്പെക്ട്രം** (ചിത്രം 2.7) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ വിവിധ മേഖലകൾ വ്യത്യസ്ത പേരുകളാൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ചില ഉദാഹരണങ്ങൾ: റേഡിയോ ആവൃത്തി മേഖല 10^6Hz പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുന്നു. മൈക്രോവേവ് മേഖലയായ 10^{10}Hz റഡാറിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നു; ഇൻഫ്രാറെഡ് മേഖലയായ 10^{13}Hz ചൂടാക്കാനുപയോഗിക്കുന്നു. അൾട്രാവയലറ്റ് മേഖല 10^{16}Hz സൗരവികിരണത്തിന്റെ ഘടകഭാഗമാണ്. 10^{15}Hz ൽ വരുന്ന ചെറിയ ഭാഗം സാധാരണ **ദൃശ്യപ്രകാശം** എന്നറിയപ്പെടുന്നു. നമ്മുടെ കണ്ണുകൾക്ക് കാണാൻ സാധിക്കുന്നത് ഈ ഭാഗം മാത്രമാണ്. അദൃശ്യമായ വികിരണം കണ്ടെത്താനായി പ്രത്യേക ഉപകരണങ്ങൾ ആവശ്യമാണ്.

(iv) വൈദ്യുതകാന്തികവികിരണം വിവിധതരം യൂണിറ്റുകൾ ഉപയോഗിച്ച് അവതരിപ്പിക്കാം.

ഈ വികിരണങ്ങളുടെ സ്വഭാവസവിശേഷതകളാണ്, ആവൃത്തി (ν) തരംഗദൈർഘ്യം (λ) എന്നിവ. ആവൃത്തി (ν) യുടെ S.I. ഏകകം ഹെൻട്രിച്ച് ഹെഴ്സിന്റെ ഓർമയ്ക്കായി ഹെഴ്സ് (Hz,s^{-1}), ആണ്.



ചിത്രം 2.7 (a) വിദ്യുത്കാന്തികവികിരണങ്ങളുടെ സ്പെക്ട്രം. (b) ദൃശ്യപ്രകാശ സ്പെക്ട്രം. ദൃശ്യപ്രകാശമണ്ഡലം സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഒരു ചെറിയ ഭാഗം മാത്രമാണ്.

ഒരു സെക്കന്റിൽ ഒരു ബിന്ദുവിൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്ന തരംഗങ്ങളുടെ എണ്ണം എന്ന് ഇത് നിർവചിച്ചിരിക്കുന്നു.

തരംഗദൈർഘ്യത്തിനു നീളത്തിന്റെ ഏകകങ്ങൾ ഉണ്ടായിരിക്കണം. നീളത്തിന്റെ ഏകകം മീറ്റർ (m) ആണെന്ന് നിങ്ങൾക്കറിയാം. വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം വളരെ ചെറിയ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുള്ള പല തരം തരംഗങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നതിനാൽ ചെറിയ ഏകകങ്ങൾ കൂടി ഉപയോഗിക്കുന്നു. തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിലും ആവൃത്തികളിലും പരസ്പരം വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന വിവിധതരം വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണങ്ങൾ ചിത്രം 2.7 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

പ്രശ്നം 2.3

ഓൾ ഇന്ത്യാറേഡിയോ, ഡൽഹി വിവിധ്ഭാരതി സ്റ്റേഷൻ 1,368 kHz (കിലോഹെർട്സ്) ആവൃത്തിയിലാണ് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യുന്നത്. ട്രാൻസ്മിറ്റർ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന വൈദ്യുത കാന്തികവികിരണത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കാക്കുക. വിദ്യുത്കാന്തിക സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഏത് മേഖലയിലാണ് ഇത് കാണപ്പെടുന്നത്?

ഉത്തരം

തരംഗദൈർഘ്യം λ, c/ν യ്ക്ക് തുല്യമാണ്, ഇവിടെ c വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ ശൂന്യതയിലെവേഗതയും ν ആവൃത്തിയുമാണ്. തന്നിരിക്കുന്ന മൂല്യങ്ങൾ നൽകുമ്പോൾ

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$= \frac{3.00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\,s^{-1}}}{1368\ \mathrm{kHz}}$$

$$= \frac{3.00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\,s^{-1}}}{1368 \times 10^{3}\,\mathrm{s^{-1}}}$$

$$= 219.3\ \mathrm{m}$$

ഇത് റേഡിയോതരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം ആണ്.

പ്രശ്നം 2.4

ദൃശ്യപ്രകാശവർണരാജിയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം വയലറ്റ് (400 nm) മുതൽ ചുവപ്പ് (750 nm) വരെ നീളുന്നു. ഈ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുടെ ആവൃത്തി (Hz) കണ്ടുപിടിക്കുക. ($1\,nm = 10^{-9}\,m$)

ഉത്തരം

സമവാക്യം 2.5, പ്രകാരം വയലറ്റ് പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\,s^{-1}}}{400 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}}$$

$$= 7.50 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}$$

ചുവപ്പ് പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^{8}\,\mathrm{m\,s^{-1}}}{750 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}} = 4.00 \times 10^{14}\ \mathrm{Hz}$$

ദൃശ്യപ്രകാശ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ആവൃത്തി പരിധി 4.0×10^{14} മുതൽ 7.5×10^{14} Hz വരെയാണ്.

പ്രശ്നം 2.5

5800 Å തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള മഞ്ഞവികിരണത്തിന്റെ (a) തരംഗസംഖ്യ (b) തരംഗദൈർഘ്യം എന്നിവ കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം

(a) തരംഗസംഖ്യ ($\bar{\nu}$)

$$\lambda = 5800 \text{Å} = 5800 \times 10^{-8}\ \text{cm}$$
$$= 5800 \times 10^{-10}\ \text{m}$$
$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5800 \times 10^{-10}\ \text{m}}$$
$$= 1.724 \times 10^{6}\ \text{m}^{-1}$$
$$= 1.724 \times 10^{4}\ \text{cm}^{-1}$$

(b) ആവൃത്തി

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8}\ \text{m s}^{-1}}{5800 \times 10^{-10}\ \text{m}} = 5.172 \times 10^{14}\ \text{s}^{-1}$$

വിവിധ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണങ്ങളെല്ലാം ശൂന്യതയിൽ ഒരേ വേഗതയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. അത്, 3.0×10^{8} m s^{-1} (കൃത്യമായി പറഞ്ഞാൽ 2.997925×10^{8} m s^{-1}) ആണ്. ഇത് പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത എന്നറിയപ്പെടുന്നു. അതിന് 'c' എന്ന ചിഹ്നം നൽകിയിരിക്കുന്നു. ആവൃത്തി (ν), തരംഗദൈർഘ്യം(λ), പ്രകാശവേഗത (c) എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം കാണിക്കുന്ന സമവാക്യമാണ്.

$$c = \nu \lambda \qquad (2.5)$$

സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന, പ്രത്യേകിച്ചും സ്പെക്ട്രോസ്കോപിയിൽ, മറ്റൊരു അളവാണ് തരംഗസംഖ്യ ($\bar{\nu}$). ഒരു യൂണിറ്റ് നീളത്തിലുള്ള തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുടെ എണ്ണം ആയി ഇത് നിർവചിക്കുന്നു. ഇതിന്റെ ഏകകങ്ങൾ തരംഗദൈർഘ്യഏകകങ്ങളുടെ വ്യുൽക്രമമാണ്, അതായത്, m^{-1}. എന്നിരുന്നാലും സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഏകകം cm^{-1} ആണ് (S.I. ഏകകം അല്ല).

2.3.2 വിദ്യുത്കാന്തികവികിരണത്തിന്റെ കണികാസ്വഭാവം: പ്ലാങ്കിന്റെ ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തം

വിഭംഗനം* (diffraction), വ്യതികലനം** (interference) എന്നിവ പോലുള്ള പരീക്ഷണാധിഷ്ഠിതപ്രതിഭാസങ്ങൾ വിദ്യുത്കാന്തികവികിരണത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം കൊണ്ട് വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയും. എന്നാൽ 19-ാം നൂറ്റാണ്ടിൽ ഭൗതികശാസ്ത്രശാഖയിലുണ്ടായ വൈദ്യുതകാന്തികസിദ്ധാന്തം (ക്ലാസിക്കൽ ഫിസിക്സ് എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു) ഉപയോഗിച്ച് വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയാതിരുന്ന ചില നിരീക്ഷണങ്ങൾ താഴെ പറയുന്നു.

(i) ചൂടുള്ള വസ്തുക്കളിൽ (ശ്യാമവസ്തുവികിരണം) (black body radiation) നിന്ന് വികിരണം പുറപ്പെടുന്ന സ്വഭാവം,

(ii) വികിരണം പതിക്കുമ്പോൾ ലോഹഉപരിതലത്തിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉൽപാദിപ്പിക്കുന്നത് (പ്രകാശവൈദ്യുതപ്രഭാവം),

(iii) താപനിലയനുസരിച്ച് ഖരവസ്തുക്കളുടെ താപധാരിത (heat capacity) യിലുള്ള വ്യതിയാനം,

(iv) ആറ്റങ്ങളുടെ, വിശിഷ്യ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ രേഖാസ്പെക്ട്രം.

ഈ പ്രതിഭാസങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് വ്യൂഹത്തിന് ചില പ്രത്യേക അളവുകളിൽ മാത്രമാണ് ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്യാനാകുന്നത് എന്നാണ്. അതായത് സാധ്യമായ ഊർജം മുഴുവൻ ആഗീരണം ചെയ്യാനോ വികിരണം ചെയ്യാനോ സാധ്യമല്ല.

മുകളിൽ സൂചിപ്പിക്കപ്പെട്ട, ശ്യാമവസ്തു വികിരണത്തെക്കുറിച്ച മൂർത്തമായ വിശദീകരണം ആദ്യമായി നൽകിയത് 1900 – ൽ മാക്സ് പ്ലാങ്ക് ആണ്. ആദ്യമായി, എന്താണ് ഈ പ്രതിഭാസമെന്ന് മനസ്സിലാക്കാൻ നമുക്ക് ശ്രമിക്കാം.

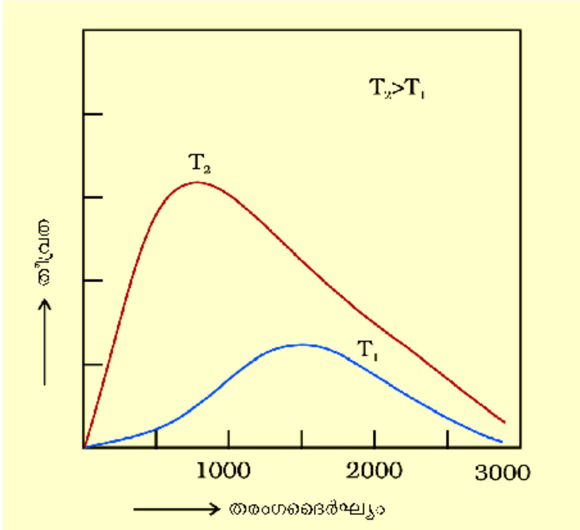
താപീയ വസ്തുക്കൾ വിശാലപരിധിയിൽ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുള്ള വൈദ്യുത കാന്തിക തരംഗങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു. ഉയർന്ന താപനിലകളിൽ വികിരണത്തിന്റെ സിംഹഭാഗവും സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ദൃശ്യപരിധി മേഖലയിലായിരിക്കും. എന്നാൽ താപനില വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണം (നീല പ്രകാശം) സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്നു. ഉദാഹരണമായി ഒരു ഇരുമ്പ് ദണ്ഡ് ചൂളയിൽ ചൂടാക്കുമ്പോൾ ആദ്യം അത് ഇരുണ്ട ചുവപ്പിലേക്ക് മാറുന്നു. തുടർന്ന് താപനില വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് കൂടുതൽ ചുവപ്പ് ആകുന്നു. എന്നാൽ വീണ്ടും ചൂടാക്കുമ്പോൾ വെളുത്ത

---

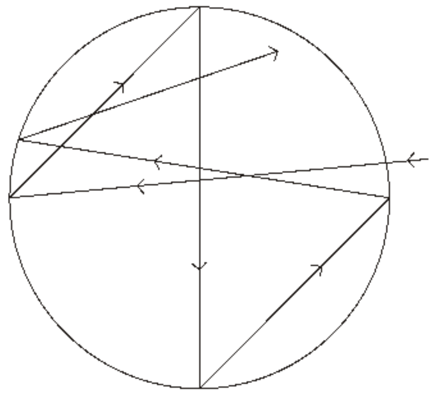
* പ്രതിബന്ധം സൃഷ്ടിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിനെ ചുറ്റി തരംഗം വളയുന്നതാണ് വിഭംഗനം.

** ഒരു ആവൃത്തിയോ വ്യത്യസ്ത ആവൃത്തികളോ ഉള്ള രണ്ടു തരംഗങ്ങൾ, അവയുടെ ഓരോ ബിന്ദുവിലുമുള്ള വിക്ഷോഭ (disturbance) ത്തിന്റെ ബീജീയ അഥവാ സദിശതുക (algebraic or vector sum) ത്രിമാനതലത്തിലെ ഓരോ ബിന്ദുവിലും വിന്യസിക്കുന്ന രീതിയിൽ, സംയോജിച്ച് ഒരു പുതിയ തരംഗം ഉണ്ടാവുന്നതാണ് വ്യതികലനം.

നിറമാകുകയും തുടർന്ന് താപനില വളരെയധികം വർദ്ധിക്കുമ്പോൾ നീലനിറമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതിനർത്ഥം താപീയ വസ്തു പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുള്ള വികിരണങ്ങളുടെ തീവ്രത അതിന്റെ താപനിലയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നാണ്. 1850 അവസാനത്തോടെ വ്യത്യസ്ത പദാർഥങ്ങൾകൊണ്ട് നിർമിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് വിവിധ താപനിലകളിൽ വ്യത്യസ്ത അളവിലുള്ള വികിരണങ്ങൾ പുറത്തുവിടാനാകുമെന്ന് മനസ്സിലായി. മാത്രമല്ല ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിലേക്ക് പ്രകാശം പതിപ്പിച്ചാൽ (വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം) വികിരണോർജത്തിന്റെ ഒരു ഭാഗം സാധാരണയായി അതേ രൂപത്തിൽ പ്രതിഫലിക്കപ്പെടുകയും, ഒരു ഭാഗം ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയും അതിലൊരു ഭാഗം ഉത്സർജിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇതിനു കാരണം സാധാരണ വസ്തുക്കൾ വികിരണത്തിന്റെ അപൂർണ സ്വീകാരികളാണെന്നതാണ്. *ഒരു ആദർശ വസ്തു എല്ലാ ആവർത്തിയിലുമുള്ള വികിരണങ്ങളെ ഒരുപോലെ ആഗിരണം ചെയ്യുകയും ഉൽസർജനം ചെയ്യുകയുമാണെങ്കിൽ അത്തരം വസ്തുവിനെ ശ്യാമവസ്തുവെന്നും ഉൽസർജന വികിരണത്തെ ശ്യാമവസ്തു വികിരണമെന്നും വിളിക്കുന്നു.* പ്രായോഗികമായി അത്തരം ഒരു വസ്തു നിലനിൽക്കുന്നില്ല. കാർബൺ ബ്ലാക്ക് ഒരു ഏകദേശ ശ്യാമവസ്തു ആണെന്ന് പറയാം. ഒരു ചെറിയ സുഷിരത്തിനാൽ മാത്രം തുറവുള്ള ഒരു ശൂന്യസ്ഥലത്തെ ശ്യാമവസ്തുവിന്റെ ഒരു മികച്ച ഭൗതിക സങ്കല്പനമായി പരിഗണിക്കാം. ഈ സുഷിരത്തിൽകൂടി ഉള്ളിലേക്ക് പ്രവേശിക്കുന്ന ഏതൊരു വികിരണവും ശൂന്യതയ്ക്കുള്ളിലെ ചുമരുകളാൽ പ്രതിഫലിക്കപ്പെടുകയും ആത്യന്തികമായി ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു ശ്യാമവസ്തു വികിരണോർജത്തിന്റെ പൂർണ ഉൽസർജനകാരിയാണ്. മാത്രമല്ല അതു ചുറ്റുപാടുമായി താപീയ സംതുലനത്തിലുമായിരിക്കും. കൂടാതെ ഇതിന്റെ യൂണിറ്റ് പരപ്പളവിൽ ഏതൊരു സമയത്തും ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന അളവ് വികിരണോർജം അതേ അളവിൽ ഉൽസർജിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു ശ്യാമവസ്തുവിൽനിന്ന് പുറത്തുവിടുന്ന വികിരണത്തിന്റെ കൃത്യമായ ആവൃത്തി വിതരണം (അതായത്, വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയും ആവൃത്തിയും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫ്) ശ്യാമവസ്തുവിന്റെ താപനിലയെ മാത്രമേ ആശ്രയിക്കുന്നുള്ളൂ. ഒരു നിശ്ചിത താപനിലയിൽ, ഉത്സർജിക്കുന്ന വികിരണത്തിന്റെ തീവ്രത തരംഗദൈർഘ്യം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് വർധിക്കുകയും, ഒരു നിശ്ചിത തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ പരമാവധി മൂല്യം എത്തുകയും തുടർന്ന് തരംഗദൈർഘ്യം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് തീവ്രത കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. ചിത്രം 2.8 ൽ ഇത് കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.



ചിത്രം 2.8 തരംഗദൈർഘ്യ – തീവ്രതാ ബന്ധം



ചിത്രം 2.8(a) ശ്യാമവസ്തു

പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ മേൽപ്പറഞ്ഞ പരീക്ഷണഫലങ്ങൾ തൃപ്തികരമായി വിശദീകരിക്കാനായില്ല. ആറ്റങ്ങളും തന്മാത്രകളും ഊർജം പുറംതള്ളുന്നത് അല്ലെങ്കിൽ ആഗിരണം ചെയ്യുന്നത്, അക്കാലത്ത് കരുതിയിരുന്നതുപോലെ തുടർച്ച (continuous) മായല്ല, മറിച്ച് വിവിക്ത (discrete) അളവുകളിലാണ് എന്ന് പ്ലാങ്ക് നിർദേശിച്ചു . വൈദ്യുതകാന്തികവികിരണത്തിന്റെ രൂപത്തിൽ ആഗിരണം ചെയ്യാനോ ഉൽസർജിക്കാനോ കഴിയുന്ന ഏറ്റവും ചെറിയ അളവിലുള്ള ഊർജത്തിന് പ്ലാങ്ക്, **ക്വാണ്ടം** എന്ന പേര് നൽകി. ഒരു ക്വാണ്ടം ഊർജം (E) ആവൃത്തിക്ക് (ν) നേർ അനുപാതത്തിലാണ്. അത് സൂചിപ്പിക്കുന്ന സമവാക്യമാണ് (2.6).

$$E = h\nu \qquad (2.6)$$

അനുപാതസ്ഥിരാങ്കം, 'h' പ്ലാങ്ക്സ്ഥിരാങ്കം എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു, അതിന്റെ മൂല്യം 6.626×10^{-34} J s ആണ്. ഈ സിദ്ധാന്തം ഉപയോഗിച്ച് ശ്യാമവസ്തുവിൽ നിന്നുള്ള വിവിധ താപനിലകളിലുള്ള വികിരണത്തിന്റെ

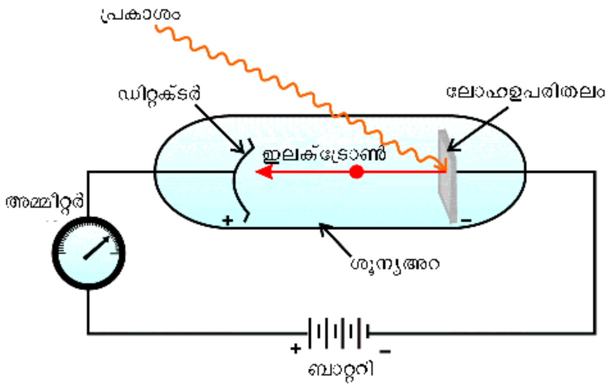
തീവ്രത ആവൃത്തി അല്ലങ്കിൽ തരംഗ ദൈർഘ്യത്തിന്റെ ഫലനമായി വിശദീകരിക്കാൻ പ്ലാങ്കിനു കഴിഞ്ഞു.

ക്വാണ്ടീകരണത്തെ ഒരു കോണിപ്പടിയിൽ നിൽക്കുന്നതുമായി താരതമ്യം ചെയ്യാം. ഒരു വ്യക്തിക്ക് കോണിപ്പടിയുടെ ഏതൊരു പടിയിലും നിൽക്കാനാകും. എന്നാൽ അവന്/അവൾക്ക് പടികൾക്കിടയിൽ നിൽക്കാനാകില്ല. ഇതുപോലെ ഊർജത്തിന് ചുവടെ നൽകിയിരിക്കുന്ന ഏത് മൂല്യവും സാധ്യമാണ്. എന്നാൽ ഇതിനിടയിലുള്ള മൂല്യങ്ങൾ സാധ്യമല്ല.

$$E = 0, h\upsilon, 2h\upsilon, 3h\upsilon....nh\upsilon.....$$

പ്രകാശവൈദ്യുതപ്രഭാവം (Photoelectric effect)

1887 ൽ H. ഹെഴ്സ് വളരെ രസകരമായ ഒരു പരീക്ഷണം നടത്തി. ഏതാനും ചില ലോഹങ്ങളിൽ (ഉദാഹരണത്തിന്; പൊട്ടാസ്യം, റൂബിഡിയം, സീസിയം തുടങ്ങിയവ) പ്രകാശകിരണങ്ങൾ പതിപ്പിച്ചപ്പോൾ അവയിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ അഥവാ വൈദ്യുതി ഉത്സർജിക്കുന്നതായി കണ്ടെത്തി (ചിത്രം 2.9). ഈ പ്രതിഭാസത്തെ **പ്രകാശവൈദ്യുതപ്രഭാവം** എന്ന് വിളിക്കുന്നു.



ചിത്രം 2.9 ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവം പഠിക്കുന്നതിനുള്ള ഉപകരണം. ഒരു പ്രത്യേക ആവൃത്തിയിലുള്ള പ്രകാശം ഒരു വായു വിമുക്ത അറയിലുള്ള വൃത്തിയുള്ള ഒരു ലോഹ ഉപരിതലത്തിൽ പതിപ്പിക്കുമ്പോൾ ലോഹത്തിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്നു. അവയുടെ ഗതികോർജം അളക്കുന്ന ഒരു ഡിറ്റക്ടർ അവയെ എണ്ണിത്തിട്ടപ്പെടുത്തുന്നു.

മാക്സ് പ്ലാങ്ക് (1858 - 1947)

1879 ൽ ജർമ്മൻ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ മാക്സ് പ്ലാങ്കിന് മ്യൂണിക്കിലെ യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിൽ നിന്ന് സൈദ്ധാന്തിക ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ പി.എച്ച്.ഡി ലഭിച്ചു. 1888ൽ അദ്ദേഹം ബെർലിൻ യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിലെ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് തിയററ്റിക് ഫിസിക്സ് ഡയറക്ടറായി നിയമിതനായി. 1918ൽ ഊർജതന്ത്രത്തിനുള്ള നൊബേൽ സമ്മാനം ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ കണ്ടുപിടുത്തത്തിന് അദ്ദേഹത്തിനു നൽകി. താപഗതികത്തിലും മറ്റ് ഭൗതികശാസ്ത്ര മേഖലകളിലും പ്ലാങ്ക് ശ്രദ്ധേയമായ സംഭാവന നൽകി.

ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ കണ്ടെത്തിയ ഫലങ്ങളാണ് താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്നവ.

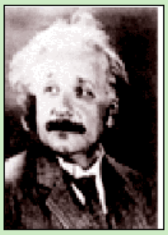
(i) പ്രകാശരശ്മികൾ ലോഹോപരിതലത്തിൽ പതിക്കുമ്പോൾ തന്നെ ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്നു. അതായത്, പ്രകാശകിരണത്തിന്റെ പതനത്തിനും ലോഹോപരിതലത്തിൽനിന്നുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഉത്സർജനത്തിനും തമ്മിൽ ഇടവേള ഇല്ല.

(ii) ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയ്ക്ക് അല്ലെങ്കിൽ തിളക്കത്തിനു നേർ അനുപാതത്തിലാണ്.

(iii) ഓരോ ലോഹത്തിനും, സവിശേഷമായ കുറഞ്ഞ ഒരു ആവൃത്തി, ν_0 ഉണ്ട് (**ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി** എന്നും അറിയപ്പെടുന്നു). അതിൽക്കുറഞ്ഞ ആവൃത്തിയിൽ, പ്രകാശവൈദ്യുതപ്രഭാവം ഉണ്ടാകുന്നില്ല. ആവൃത്തി $\nu > \nu_0$ ആകുമ്പോൾ, നിശ്ചിത ഗതികോർജമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറത്തുവരുന്നു. പതിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ ആവൃത്തി വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് ഈ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഗതികോർജവും കൂടുന്നു.

മുകളിൽ പറഞ്ഞ എല്ലാ ഫലങ്ങളും ക്ലാസിക്കൽ ഭൗതികനിയമങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ വിശദീകരിക്കാൻ കഴിഞ്ഞില്ല. ക്ലാസിക്കൽ സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ, പ്രകാശരശ്മികളിലെ ഊർജം പ്രകാശത്തിന്റെ തീവ്രതയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. മറ്റൊരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണവും അവയുടെ ഗതികോർജവും പ്രകാശത്തിന്റെ തിളക്കത്തിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കണം. ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം പ്രകാശത്തിന്റെ തിളക്കത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നെങ്കിലും, ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഗതികോർജം അങ്ങനെയല്ല എന്ന് നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ഉദാഹരണത്തിന് ഏതൊരു തിളക്കത്തിലും (തീവ്രതയിലും) ചുവപ്പുപ്രകാശം [$\nu = (4.3 \text{ to } 4.6) \times 10^{14}$ Hz] മണിക്കൂറുകളോളം പൊട്ടാസ്യം ലോഹത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിനെ പ്രകാശിപ്പിച്ചാലും, അതിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറന്തള്ളപ്പെടുന്നില്ല. എന്നാൽ, വളരെ ദുർബലമായ മഞ്ഞവെളിച്ചത്തിൽ പോലും [$\nu = 5.1–5.2 \times 10^{14}$ Hz] പൊട്ടാസ്യം ലോഹത്തിൽ പ്രകാശ വൈദ്യുതപ്രഭാവം നിരീക്ഷിക്കാനാകുന്നു. പൊട്ടാസ്യം ലോഹത്തിന്റെ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി (ν_0) 5.0×10^{14} Hz ആണ്.

വൈദ്യുതകാന്തികവികിരണത്തെ സംബന്ധിച്ച പ്ലാങ്കിന്റെ ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ പ്രകാശവൈദ്യുതപ്രഭാവം വിശദീകരിക്കാൻ ഐൻസ്റ്റീന് (1905) കഴിഞ്ഞു.



ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റീൻ
(1879 - 1955)

ജർമനിയിൽ ജനിച്ച, അമേരിക്കൻ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റീൻ ലോകത്തിൽ അറിയപ്പെടുന്ന രണ്ടു പ്രമുഖ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരിൽ ഒരാളായി കണക്കാക്കപ്പെടുന്നു (മറ്റേത് ഐസക് ന്യൂട്ടൺ ആണ്). ബേണിലെ ഒരു സ്വിസ് പേറ്റന്റ് ഓഫീസിൽ സാങ്കേതിക സഹായിയായി ജോലി ചെയ്തിരുന്നപ്പോൾ1905ൽ പ്രസിദ്ധീകരിച്ച അദ്ദേഹത്തിന്റെ മൂന്ന് ഗവേഷണപ്രബന്ധങ്ങൾ (വിശേഷ ആപേക്ഷികത, ബ്രൗണിയൻ ചലനം, പ്രകാശവൈദ്യുതപ്രഭാവം), ഭൗതികശാസ്ത്ര വികാസത്തെ അത്യധികം സ്വാധീനിച്ചു. പ്രകാശ വൈദ്യുതപ്രതിഭാസത്തിന്റെ വിശദീകരണം 1921 ൽ അദ്ദേഹത്തിന് ഭൗതികശാസ്ത്രനൊബേൽ സമ്മാനം നേടിക്കൊടുത്തു.

ഒരു ലോഹോപരിതലത്തിലേക്ക് പ്രകാശത്തിന്റെ ഒരു രശ്മി പ്രകാശിപ്പിക്കുന്നത്, ഫോട്ടോണുകളുടെ നിറയൊഴിക്കലായി പരിഗണിക്കാം. മതിയായ ഊർജമുള്ള ഒരു ഫോട്ടോൺ ലോഹത്തിന്റെ ആറ്റത്തിലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണുമായി കൂട്ടിയിടിക്കുമ്പോൾ തന്നെ ഇലക്ട്രോണിലേക്ക് ഊർജം കൈമാറ്റം നടന്ന് തൽക്ഷണം അത് ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നു. ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം കൂടുതലാണെങ്കിൽ, ഇലക്ട്രോണിലേക്ക് കൂടുതൽ ഊർജം കൈമാറ്റം ചെയ്യുകയും ഉയർന്ന ഗതികോർജമുള്ള ഇലക്ട്രോൺ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. മറ്റൊരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം വിദ്യുത്കാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിക്ക് ആനുപാതികമായിരിക്കും. ലോഹോപരിതലത്തിൽ പതിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം $h\nu$, ഇലക്ട്രോണിനെ പുറത്താക്കാൻ ആവശ്യമായ കുറഞ്ഞ ഊർജം $h\nu_0$, (പ്രവൃത്തിഫലനം- work function എന്നും വിളിക്കുന്നു. പട്ടിക 2.2) എന്നിങ്ങനെയാണെങ്കിൽ, ഊർജത്തിലെ വ്യത്യാസം $(h\nu - h\nu_0)$ ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജമായി മാറ്റപ്പെടുന്നു. ഊർജസംരക്ഷണനിയമപ്രകാരം, ഉത്സർജിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള സമവാക്യമാണ്.

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}m_e v^2 \qquad (2.7)$$

ഇവിടെ m_e ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസും, v ഉത്സർജിച്ച ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗവുമാണ്. കൂടുതൽ തീവ്രമായ ഒരു പ്രകാശരശ്മിയിൽ ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണവും കൂടുതലായിരിക്കും, അതിനാൽ ഉത്സർജിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം തീവ്രത കുറഞ്ഞ പ്രകാശം ഉപയോഗിക്കുന്ന പരീക്ഷണങ്ങളിൽ ഉണ്ടാകുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതലായിരിക്കും.

വൈദ്യുതകാന്തികവികിരണത്തിന്റെ ദ്വൈതസ്വഭാവം

പ്രകാശത്തിന്റെ കണികാസ്വഭാവം ശാസ്ത്രജ്ഞർക്ക് ഏറെ ചിന്താക്കുഴപ്പം സൃഷ്ടിച്ച ഒന്നായിരുന്നു. ഒരു വശത്ത്, ശ്യാമവസ്തുവികിരണത്തെയും പ്രകാശവൈദ്യുത പ്രഭാവത്തേയും തൃപ്തികരമായി വിശദീകരിക്കാൻ അതിനു കഴിഞ്ഞു. എന്നാൽ മറുവശത്ത്, ഈ പ്രതിഭാസം പ്രകാശത്തിന്റെ വ്യതികലനം, വിഭംഗനം എന്നീ പ്രതിഭാസങ്ങൾ വിശദീകരിക്കാൻ ഉപയോഗിക്കുന്ന തരംഗസ്വഭാവവുമായി പൊരുത്തപ്പെടുന്നില്ല. പ്രകാശത്തിന് കണികയുടെയും തരംഗത്തിന്റെയും ഗുണവിശേഷങ്ങളുണ്ടെന്ന ആശയം സ്വീകരിക്കുക എന്നതായിരുന്നു ഈ പ്രശ്നം പരിഹരിക്കാനുള്ള ഒരേയൊരു വഴി. അതായത്, പ്രകാശത്തിന് ദ്വൈത സ്വഭാവം ഉണ്ട്. പരീക്ഷണത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ, പ്രകാശത്തിനു തരംഗമായോ അല്ലെങ്കിൽ കണികാ പ്രവാഹം പോലെയൊ പ്രവർത്തിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നു എന്ന് കണ്ടെത്താം.വികിരണം വസ്തുക്കളുമായി അന്യോന്യക്രിയ (interaction) യിൽ ഏർപ്പെടുമ്പോഴെല്ലാം, തരംഗസ്വഭാവങ്ങൾക്ക് (വ്യതികലനം, വിഭംഗനം തുടങ്ങിയവ) വിഭിന്നമായി കണികാസ്വഭാവം പ്രകടമാക്കുന്നു. എന്നാൽ തരംഗസ്വഭാവം വ്യാപനസമയത്ത് പ്രകടമാണ്. ഈ ആശയം തികച്ചും അപരിചിതവും ദ്രവ്യത്തെക്കുറിച്ചുംവികിരണത്തെക്കുറിച്ചും ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർക്ക് അന്നുണ്ടായിരുന്ന ധാരണയിൽനിന്ന് വിഭിന്നവുമായിരുന്നു. അതുകൊണ്ടുതന്നെ അതിന്റെ സാധുതയെക്കുറിച്ച് അവർക്ക് ബോധ്യപ്പെടാൻ വളരെ സമയമെടുത്തു. നിങ്ങൾ ഇനി കാണാൻ പോകുന്നതു പോലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ പോലെയുള്ള ചില സൂക്ഷ്മകണങ്ങളും തരംഗകണികാദ്വൈതസ്വഭാവം കാണിക്കുന്നുണ്ടെന്ന് ഇപ്പോൾ വെളിവാകുന്നു.

പട്ടിക 2.2 ലോഹങ്ങളുടെ പ്രവൃത്തിഫലന മൂല്യങ്ങൾ (W_0)

ലോഹം	Li	Na	K	Mg	Cu	Ag
W_0 /eV	2.42	2.3	2.25	3.7	4.8	4.3

പ്രശ്നം 2.6

5×10^{14} Hz ആവൃത്തിയുള്ള വികിരണത്തിലെ ഒരു മോൾ ഫോട്ടോണുകളുടെ ഊർജം കണക്കാക്കുക .

ഉത്തരം

ഒരു ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം (E) കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള സമവാക്യമാണ്

$E = h\nu$

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J s

$\nu = 5 \times 10^{14}$ s^{-1}

$E = (6.626 \times 10^{-34}$ J s$) \times (5 \times 10^{14}$ s$^{-1})$

$= 3.313 \times 10^{-19}$ J

ഒരു മോൾ ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം

$= (3.313 \times 10^{-19}$ J$) \times (6.022 \times 10^{23}$ mol$^{-1})$

$= 199.51$ kJ mol^{-1}

പ്രശ്നം 2.7

ഒരു 100 വാട്ട് ബൾബ് പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഏകവർണ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം 400 nm ആണ് . ബൾബിന് ഒരു സെക്കന്റിൽ പുറംതള്ളാൻ കഴിയുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം

ബൾബിന്റെ പവർ = 100വാട്ട്

= 100 Js^{-1}

ഒരു ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം $E = h\nu = hc/\lambda$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3 \times 10^{8} \text{ m s}^{-1}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$= 4.969 \times 10^{-19}$ J

പുറന്തള്ളുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം

$$\frac{100 \text{ J s}^{-1}}{4.969 \times 10^{-19} \text{ J}} = 2.012 \times 10^{20} \text{ s}^{-1}$$

പ്രശ്നം 2.8

സോഡിയത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ 300 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണം പതിക്കുമ്പോൾ ഉത്സർജിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഗതികോർജം 1.68×10^{5} J mol^{-1} ആണ്. സോഡിയത്തിൽ നിന്ന് ഒരു ഇലക്ട്രോൺ നീക്കം ചെയ്യാൻ ആവശ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജം എത്രയാണ്? ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോൺ ഉത്സർജനം സാധ്യമാക്കുന്ന പരമാവധി തരംഗദൈർഘ്യമെന്താണ്?

ഉത്തരം

300 nm ഉള്ള ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം E

$h\nu = hc/\lambda$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.0 \times 10^{8} \text{ m s}^{-1}}{300 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$= 6.626 \times 10^{-19}$ J

ഒരു മോൾ ഫോട്ടോണുകളുടെ ഊർജം

6.626×10^{-19} J $\times 6.022 \times 10^{23}$ mol^{-1}

$= 3.99 \times 10^{5}$ J mol^{-1}

സോഡിയത്തിൽ നിന്ന് ഒരു മോൾ ഇലക്ട്രോണുകളെ നീക്കം ചെയ്യാൻ വേണ്ടി വരുന്ന ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജം

$= (3.99 - 1.68)\ 10^{5}$ J mol^{-1}

$= 2.31 \times 10^{5}$ J mol^{-1}

ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജം

$$= \frac{2.31 \times 10^{5} \text{ J mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ electrons mol}^{-1}}$$

$= 3.84 \times 10^{-19}$ J

തരംഗദൈർഘ്യം

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{E}$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.0 \times 10^{8} \text{ m s}^{-1}}{3.84 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

= 517 nm *(ഇത് പച്ചനിറമുള്ള പ്രകാശത്തിന്റേതാണ്.)*

പ്രശ്നം 2.9

ഒരു ലോഹത്തിന്റെ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി 7.0×10^{14} s^{-1} ആണ്. ആവൃത്തി $\nu = 1.0 \times 10^{15}$ s^{-1} ഉള്ള വികിരണം ലോഹത്തിൽ പതിക്കുമ്പോൾ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം

ഐൻസ്റ്റൈന്റെ സമവാക്യമനുസരിച്ച് ഗതികോർജം

$= \frac{1}{2} m_e v^2 = h(\nu - \nu_0)$

$= (6.626 \times 10^{-34}$ J s$)(1.0 \times 10^{15}$ s$^{-1} - 7.0 \times 10^{14}$ s$^{-1})$

$= (6.626 \times 10^{-34}$ J s$)(10.0 \times 10^{14}$ s$^{-1} - 7.0 \times 10^{14}$ s$^{-1})$

$= (6.626 \times 10^{-34}$ J s$) \times (3.0 \times 10^{14}$ s$^{-1})$

$= 1.988 \times 10^{-19}$ J

2.3.3 ക്വാണ്ടീകരിച്ച* ഇലക്ട്രോണിക ഊർജനിലകൾക്കുള്ള തെളിവുകൾ: അറ്റോമികസ്പെക്ട്രം

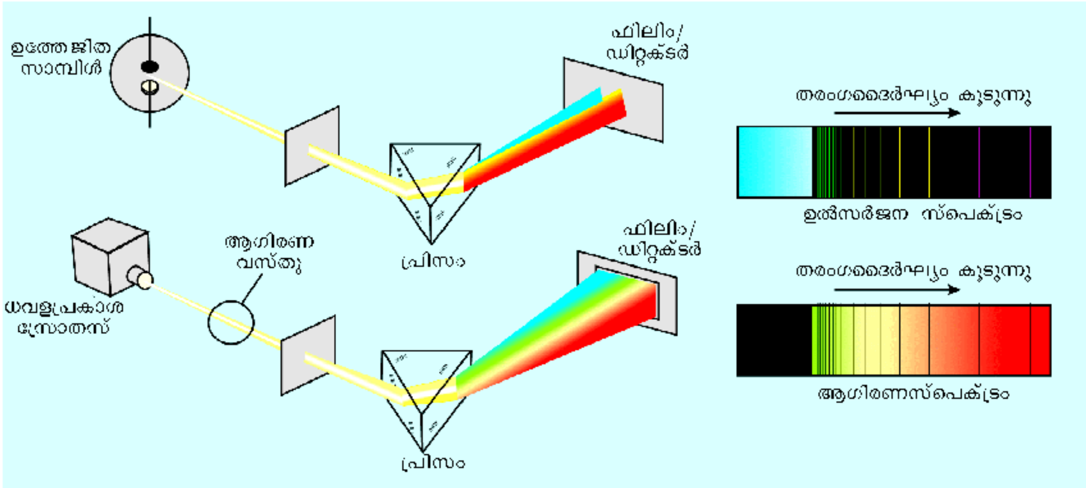
പ്രകാശത്തിന്റെ വേഗത അത് കടന്നുപോകുന്ന മാധ്യമത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തെ ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നത്. അതിന്റെ ഫലമായി, പ്രകാശരശ്മി ഒരു മാധ്യമത്തിൽ നിന്ന് മറ്റൊന്നിലേക്ക് കടക്കുമ്പോൾ അതിന്റെ യഥാർഥ പാതയിൽ നിന്ന് വ്യതിചലിക്കുന്നു. അല്ലെങ്കിൽ അപവർത്തനത്തിനു വിധേയമാകുന്നു. ഒരു പ്രിസത്തിൽ കൂടി ധവളപ്രകാശരശ്മി കടന്നു പോകുമ്പോൾ, തരംഗദൈർഘ്യം കുറഞ്ഞവയ്ക്ക് തരംഗദൈർഘ്യം കൂടിയവയേക്കാൾ വ്യതിയാനം ഉണ്ടാകുന്നതായി കാണാം. ധവളപ്രകാശം ദൃശ്യപരിധിയിൽ വരുന്ന തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള എല്ലാ തരംഗങ്ങളേയും ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. അതിനാൽ ഒരു ധവളപ്രകാശരശ്മി, നിറമുള്ള നാടകളുടെ (bands) ശ്രേണിയായി വ്യാപിക്കുന്നു. ഇതിനെ **സ്പെക്ട്രം** (spectrum) എന്നുവിളിക്കുന്നു. ഏറ്റവും കൂടിയ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ചുവപ്പ് നിറത്തിന് വ്യതിയാനം ഏറ്റവും കുറവുള്ളപ്പോൾ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വയലറ്റിന് ഏറ്റവും കൂടുതൽ വ്യതിയാനം ഉണ്ടാകുന്നു. നാം കാണുന്ന ധവളപ്രകാശ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ പരിധി 7.50×10^{14} Hz ഉള്ള വയലറ്റ് മുതൽ 4×10^{14} Hz ഉള്ള ചുവപ്പ് വരെയാണ്. അത്തരമൊരു സ്പെക്ട്രത്തെ തുടർച്ചയായ അല്ലെങ്കിൽ **അവിരത** (continuous) **സ്പെക്ട്രം** എന്നു പറയുന്നു. തുടർച്ചയുടെ കാരണം വയലറ്റ് നീലയിലേക്ക്, നീല പച്ചയിലേക്ക്, എന്ന രീതിയിൽ ഇടകലരുന്നതാണ്. ആകാശത്ത് മഴവില്ല് ഉണ്ടാകുമ്പോൾ സമാനമായ സ്പെക്ട്രം ദൃശ്യമാകുന്നു. ദൃശ്യപ്രകാശം വിദ്യുത് കാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ ഒരു ചെറിയ ഭാഗം മാത്രമാണെന്ന് ഓർക്കുക (ചിത്രം 2.7). വൈദ്യുത കാന്തിക വികിരണം വസ്തുക്കളുമായി അന്യോന്യക്രിയയിൽ ഏർപ്പെടുമ്പോൾ (interact), ആറ്റങ്ങളും തന്മാത്രകളും ഊർജത്തെ ആഗിരണം ചെയ്ത് ഉയർന്ന ഊർജനിലയിലേക്ക് എത്താം. ഈ ഉയർന്ന ഊർജത്തിൽ അവ അസ്ഥിരമായ അവസ്ഥയിലാകുന്നു. അവയുടെ സാധാരണ ഊർജനിലയിലേക്ക് (സ്ഥിരതയുള്ള, താഴ്ന്ന ഊർജനിലകളിലേക്ക്) മടങ്ങുമ്പോൾ, ആറ്റങ്ങളും തന്മാത്രകളും വിദ്യുത്കാന്തികസ്പെക്ട്രത്തിന്റെ വിവിധ മേഖലകളിലുള്ള വികിരണം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു.

ഉൽസർജന-ആഗിരണ സ്പെക്ട്രങ്ങൾ: ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്ത ഒരു വസ്തു പുറത്തുവിടുന്ന വികിരണങ്ങളുടെ സ്പെക്ട്രത്തെ **ഉൽസർജന** (emission) **സ്പെക്ട്രം** എന്ന് വിളിക്കുന്നു. വികിരണം ആഗിരണം ചെയ്ത ആറ്റങ്ങൾ, തന്മാത്രകൾ അല്ലെങ്കിൽ അയോണുകൾ എന്നിവയെ **'ഉത്തേജിതമായവ'** (excited) എന്ന് പറയാം. ഉൽസർജനസ്പെക്ട്രം കിട്ടുന്നതിന്, ഒരു വസ്തുവിനെ ചൂടാക്കുകയോ,അതിലേക്ക് വികിരണം കടത്തിവിടുകയോ ചെയ്ത് ഉത്തേജിതമാക്കുന്നു. വസ്തു ആഗിരണം ചെയ്ത ഊർജം ഉത്സർജിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന വികിരണത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം (അല്ലെങ്കിൽ ആവൃത്തി) രേഖപ്പെടുത്തുന്നു.

ഒരു ആഗിരണ സ്പെക്ട്രം ഒരു ഉൽസർജനസ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഫോട്ടോഗ്രാഫിക് നെഗറ്റീവ് പോലെയാണ്. തുടർച്ചയായ വികിരണം ഒരു വസ്തുവിൽ കൂടി കടന്നുപോകുമ്പോൾ ചില നിശ്ചിതതരംഗ ദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണങ്ങളെ അത് ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു. കാണാതായ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ ദ്രവ്യം ആഗിരണം ചെയ്യുന്നതുകൊണ്ട് അത് തുടർച്ചയായ സ്പെക്ട്രത്തിൽ ഇരുണ്ട ഇടങ്ങൾ അവശേഷിപ്പിക്കുന്നു. ഉൽസർജന സ്പെക്ട്രങ്ങളെ അല്ലെങ്കിൽ ആഗിരണസ്പെക്ട്രങ്ങളെ കുറിച്ചുള്ള പഠനം **സ്പെക്ട്രോസ്കോപ്പി** എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ദൃശ്യപ്രകാശ സ്പെക്ട്രം തുടർച്ചയുള്ളതാണ്. അതിനുകാരണം, അതിൽ ധവളപ്രകാശത്തിൽ ദൃശ്യമാകുന്ന എല്ലാ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളും (ചുവപ്പ് മുതൽ വയലറ്റ് വരെ) കാണപ്പെടുന്നതാണ്. എന്നാൽ വാതകാവസ്ഥയിലുള്ള ആറ്റങ്ങളുടെ ഉൽസർജന സ്പെക്ട്രം ചുവപ്പ് മുതൽ വയലറ്റ് വരെയുള്ള തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുടെ തുടർച്ചയായ വ്യാപനം കാണിക്കുന്നില്ല. പകരം അവ ചില പ്രത്യേക തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിലുള്ള പ്രകാശമാണ് പുറപ്പെടുവിക്കുന്നത്; അവയ്ക്കിടയിൽ ഇരുണ്ട പ്രദേശങ്ങളുണ്ടാകും.ഇത്തരം സ്പെക്ട്രങ്ങൾ, **രേഖാസ്പെക്ട്രങ്ങൾ (Line spectrum)** അല്ലെങ്കിൽ **അറ്റോമിക സ്പെക്ട്രങ്ങൾ** എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഇത്തരം സ്പെക്ട്രങ്ങളിൽ ഉത്സർജിക്കുന്ന വികിരണങ്ങൾ തെളിച്ചമുള്ള രേഖകളായി കാണപ്പെടുന്നു (ചിത്രം 2.10).

ഇലക്ട്രോണിക് ഘടനയെക്കുറിച്ചുള്ള പഠനത്തിൽ രേഖാഉൽസർജനസ്പെക്ട്രങ്ങൾക്ക് വലിയ പങ്ക് ഉണ്ട്. ഓരോ മൂലകത്തിനും ഒരു തനതായ രേഖാഉൽസർജന സ്പെക്ട്രം ഉണ്ട്. വിരലടയാളങ്ങൾ ആളുകളെ തിരിച്ചറിയാനായി ഉപയോഗിക്കുന്നതുപോലെ അറ്റോമിക സ്പെക്ട്രത്തിലെ രേഖകൾ രാസവിശ്ലേഷണത്തിനുപയോഗിച്ച് അജ്ഞാത ആറ്റങ്ങളെ തിരിച്ചറിയാനാകും. അജ്ഞാതമായ സാമ്പിളിലുള്ള ആറ്റങ്ങളിൽ നിന്ന് ലഭിക്കുന്ന ഉൽസർജനസ്പെക്ട്രത്തിലെ രേഖകളെ അറിയപ്പെടുന്ന മൂലകങ്ങളുടെ ആറ്റങ്ങളുടെ ഉൽസർജന

* ഏതെങ്കിലും ഗുണധർമത്തിന് വിവിക്ത (discrete) മൂല്യങ്ങൾ മാത്രമേ സാധ്യമാകൂ എന്ന നിയന്ത്രണം വരുന്നതാണ് ക്വാണ്ടീകരണം.



ചിത്രം 2.10 (a) അറ്റോമികഉൽസർജനം. ഒരു സാമ്പിളിലുള്ള ഉത്തേജിതഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങൾ (അല്ലെങ്കിൽ മറ്റേതെങ്കിലും ഒരു മൂലകം) പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന പ്രകാശം ഒരു പ്രിസത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുമ്പോൾ ചില പ്രത്യേക തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുള്ളവയായി വേർതിരിയുന്നു. ഇങ്ങനെ വേർതിരിച്ചെടുത്ത ഉൽസർജനസ്പെക്ട്രത്തിലെ തരംഗങ്ങളുടെ ഒരു ഫോട്ടോഗ്രാഫിക് രേഖപ്പെടുത്തലിനെ രേഖാസ്പെക്ട്രം എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ന്യായമായ അളവിലുള്ള ഏത് സാമ്പിളിലെയും ആറ്റങ്ങളുടെ എണ്ണം വളരെ വലുതായിരിക്കും. ഒരാറ്റത്തിനു ഒരു സമയത്ത് ഒരു ഉത്തേജിതാവസ്ഥയിലേക്കു മാത്രമേ പോകാൻ കഴിയൂ എങ്കിലും, ആറ്റത്തിന്റെ ശേഖരത്തിൽ സാധ്യമാവുന്ന എല്ലാ ഉത്തേജിതമായ അവസ്ഥകളുമുണ്ടായിരിക്കും. ഈ ആറ്റങ്ങൾ താഴ്ന്ന ഊർജനിലകളിലേക്ക് പതിക്കുമ്പോൾ പുറത്തുവിടുന്ന പ്രകാശം സ്പെക്ട്രത്തിന് കാരണമാകുന്നു. (b) **അറ്റോമികആഗിരണം.** ധവളപ്രകാശം ഉത്തേജിതമല്ലാത്ത ഹൈഡ്രജനിലൂടെയും അതിനുശേഷം സ്ലിറ്റ് വഴി പ്രിസത്തിലൂടെയും കടത്തിവിട്ടാൽ, പുറത്തുവരുന്ന പ്രകാശത്തിൽ, അതേ തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ (a) യിൽ പുറത്തുവന്ന പ്രകാശത്തേക്കാൾ തീവ്രത കുറവായിരിക്കും. രേഖപ്പെടുത്തിയ ആഗിരണ സ്പെക്ട്രം രേഖാ സ്പെക്ട്രമായിരിക്കും. മാത്രമല്ല അത് ഉൽസർജനസ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഫോട്ടോഗ്രാഫിക് നെഗറ്റീവുമായിരിക്കും.

സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ രേഖകളുമായി കൃത്യമായി താരതമ്യം ചെയ്ത് അജ്ഞാത ആറ്റത്തെ വളരെ എളുപ്പത്തിൽ തിരിച്ചറിയാവുന്നതാണ്. മൂലകങ്ങളെ തിരിച്ചറിയുന്നതിന് രേഖാസ്പെക്ട്രങ്ങളെ ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയ ആദ്യകാലാന്വേഷകരിലൊരാളാണ് ജർമൻ രസതന്ത്രജ്ഞനായ റോബർട്ട് ബുൺസെൺ (1811–1899).

സ്പെക്ട്രോസ്കോപ്പിക് രീതികളിലൂടെ ധാതുക്കളെ വിശ്ലേഷണം ചെയ്താണ് റൂബിഡിയം (Rb), സീസിയം (Cs) താലിയം (Tl), ഇൻഡിയം (In), ഗാലിയം (Ga), സ്കാൻഡിയം (Sc) തുടങ്ങിയ മൂലകങ്ങൾ കണ്ടെത്തിയത്. സൂര്യനിൽ ഹീലിയം (He) മൂലകത്തിന്റെ സാന്നിധ്യം കണ്ടെത്തിയത് സ്പെക്ട്രോസ്കോപ്പിക് മാർഗത്തിലൂടെയാണ്.

ഹൈഡ്രജന്റെ രേഖാസ്പെക്ട്രം

വാതകഹൈഡ്രജനിലൂടെ വൈദ്യുതഡിസ്ചാർജ് കടന്നുപോകുമ്പോൾ, H_2 തന്മാത്രകൾ വിഘടിക്കുകയും, ഉത്തേജിതമായ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങൾ ചില നിശ്ചിത ആവൃത്തികളുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണങ്ങൾ മാത്രം പുറപ്പെടുവിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. വികിരണങ്ങൾ കണ്ടുപിടിച്ച ശാസ്ത്രജ്ഞരുടെ പേരുകളിൽ അറിയപ്പെടുന്ന നിരവധി രേഖാശ്രേണികൾ അടങ്ങിയതാണ് ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രം. സ്പെക്ട്രൽ രേഖകളെ തരംഗസംഖ്യകളിൽ ($\bar{\nu}$) സൂചിപ്പിക്കാമെങ്കിൽ, ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ദൃശ്യമായ രേഖകൾ ചുവടെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്ന സൂത്രവാക്യം അനുസരിക്കുമെന്ന് പരീക്ഷണനിരീക്ഷണങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ 1885 ൽ ബാമർ (Balmer) തെളിയിച്ചു.

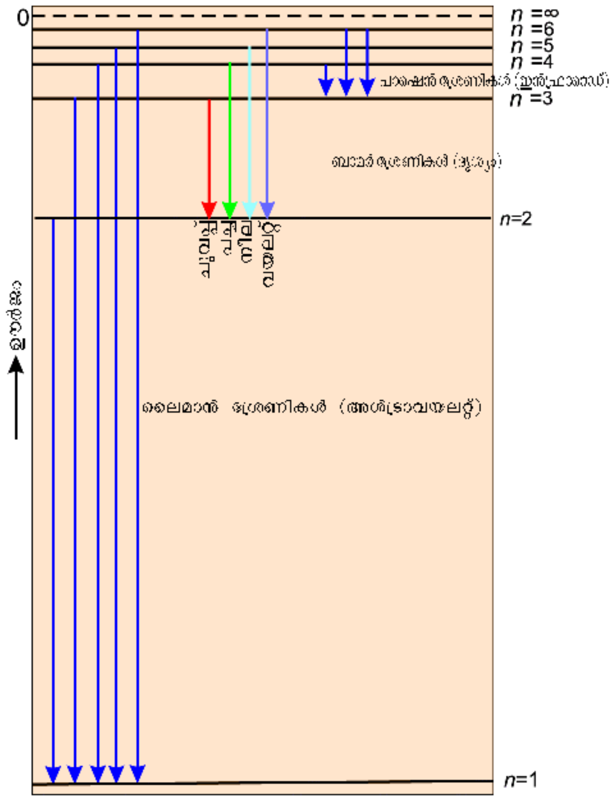
$$\bar{\nu} = 109{,}677 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ cm}^{-1} \qquad (2.8)$$

ഇവിടെ n, മൂന്നോ അല്ലെങ്കിൽ അതിലും വലുതോ ആയ ഒരു പൂർണസംഖ്യയാണ് (അതായത്, n= 3,4,5, ...)

ഈ സൂത്രവാക്യം വിവരിക്കുന്ന രേഖകളുടെ ശ്രേണിയെ **ബാമർ ശ്രേണി** എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിലെ ബാമർ ശ്രേണിയിലെ രേഖകൾ മാത്രമാണ് വിദ്യുത്കാന്തികസ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ദൃശ്യമേഖലയിൽ കാണാനാകുന്നത്. സ്വീഡിഷ് സ്പെക്ട്രോസ്കോപ്പിസ്റ്റായ ജൊഹാനസ് റൈഡ്ബെർഗ് ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്രത്തിലെ എല്ലാ രേഖാ ശ്രേണികൾക്കും താഴെപ്പറയുന്ന സൂത്രവാക്യം ഉപയോഗിക്കാൻ കഴിയും എന്ന് കണ്ടെത്തി.

$$\bar{\nu} = 109{,}677 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \text{ cm}^{-1} \qquad (2.9)$$

ഹൈഡ്രജന്റെ **റൈഡ്ബർഗ് സ്ഥിരാങ്കമാണ്** 109,677cm^{-1}. n_1 = 1, 2, 3, 4, 5 എന്നീ സംഖ്യകളാൽ സൂചിപ്പിക്കുന്ന ആദ്യത്തെ അഞ്ച് ശ്രേണികൾ യഥാക്രമം ലൈമാൻ, ബാമർ, പാഷെൻ, ബ്രാക്കറ്റ്, ഫുണ്ട് എന്നീ പേരുകളിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. പട്ടിക 2.3 ഹൈഡ്രജൻ സ്പെക്ട്ര ത്തിന്റെ ഈ ശ്രേണീസംക്രമണങ്ങൾ (transitions) കാണിക്കുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ലൈമാൻ, ബാമർ, പാഷെൻ ശ്രേണികൾ ചിത്രം 2.11 കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.



ചിത്രം 2.11 ഹൈഡ്രജൻആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ സംക്രമണങ്ങൾ (രേഖാചിത്രം കാണിക്കുന്നത് ലൈമാൻ, ബാമർ, പാഷെൻ ശ്രേണികളുടെ സംക്രമണങ്ങളാണ്)

പട്ടിക 2.3 ആറ്റോമികഹൈഡ്രജനിലെ സ്പെക്ട്രൽരേഖകൾ

ശ്രേണികൾ	n_1	n_2	സ്പെക്ട്രൽ മേഖല
ലൈമാൻ	1	2,3....	അൾട്രാവയലറ്റ്
ബാമർ	2	3,4....	ദൃശ്യപ്രകാശം
പാഷെൻ	3	4,5....	ഇൻഫ്രാറെഡ്
ബ്രാക്കറ്റ്	4	5,6....	ഇൻഫ്രാറെഡ്
ഫുണ്ട്	5	6,7....	ഇൻഫ്രാറെഡ്

എല്ലാ മൂലകങ്ങളിലും വച്ച് ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിനാണ് ഏറ്റവും ലളിതമായ രേഖാ സ്പെക്ട്രമുള്ളത്. ആറ്റത്തിനു ഭാരം കൂടുംതോറും രേഖാസ്പെക്ട്രം കൂടുതൽ സങ്കീർണമാകുന്നു. എന്നാൽ എല്ലാ രേഖാസ്പെക്ട്രത്തിനും പൊതുവായിട്ടുള്ള ചില സവിശേഷതകൾ ഉണ്ട്, അതായത്, (i) മൂലകത്തിന്റെ രേഖാസ്പെക്ട്രം എന്നത് അനുപമമാണ് (ii) ഓരോ മൂലകത്തിന്റെയും രേഖാസ്പെക്ട്രത്തിന് കൃത്യത ഉണ്ടായിരിക്കും. ഇവിടെ ഉയർന്നുവരുന്ന ചില ചോദ്യങ്ങളുണ്ട്. ഈ സമാനതകൾക്ക് കാരണങ്ങൾ എന്തൊക്കെയാണ്? ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക ഘടനയോട് ഇവയ്ക്ക് എന്തെങ്കിലും ബന്ധം ഉണ്ടോ? ഈ ചോദ്യങ്ങൾക്കുള്ള ഉത്തരം കണ്ടെത്തേണ്ടതുണ്ട്. മൂലകങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക ഘടന മനസിലാക്കുന്നതിൽ ഈ ചോദ്യങ്ങളുടെ ഉത്തരങ്ങൾ സുപ്രധാനമാണെന്ന് നമുക്ക് പിന്നീട് കാണാൻ കഴിയും.

2.4 ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ബോർ മാതൃക

നീൽസ് ബോറാണ് (1913) ആദ്യമായി ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റംഘടനയുടെ പൊതുവായ പ്രത്യേകതകളും സ്പെക്ട്രവും പരിമാണാത്മകമായി വിശദീകരിച്ചത്.ഈ സിദ്ധാന്തം ആധുനിക ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സല്ലെങ്കിലും, ആറ്റോമികഘടനയേയും സ്പെക്ട്രത്തേയും സംബന്ധിച്ച നിരവധി കാര്യങ്ങൾ യുക്തിസഹമായി വിശദീകരിക്കാൻ ഇതിനു കഴിയും. ബോറിന്റെ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റംമാതൃക താഴെ പറയുന്ന പ്രസ്താവനകൾ അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണ്:

i) ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ കൃത്യമായ ആരവും ഊർജവുമുള്ള വൃത്താകൃതിയിലുള്ള പാതയിൽ കൂടി ന്യൂക്ലിയസിനെ ചുറ്റി സഞ്ചരിക്കുന്നു. ഈ പാതകളെ **ഓർബിറ്റുകൾ**, സ്ഥിരോർജ നിലകൾ അല്ലെങ്കിൽ അനുവദനീയ ഊർജനിലകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഈ ഓർബിറ്റുകൾ ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും ഏകകേന്ദ്രമായി ക്രമീകരിച്ചിരിക്കുന്നു.

ii) ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം സമയത്തിനനുസരിച്ച് മാറുന്നില്ല, എന്നിരുന്നാലും, ആവശ്യമുള്ളത്ര ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്താൽ ഇലക്ട്രോൺ താഴ്ന്ന ഊർജനിലയിൽ നിന്ന് ഉയർന്ന ഊർജനിലയിലേക്കും, ഊർജം ഉത്സർജിക്കുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോൺ ഉയർന്ന ഊർജനിലയിൽ നിന്ന് താഴ്ന്ന ഊർജനിലയിലേക്കും ചലിക്കുന്നു. (സമവാക്യം 2.16) ഊർജമാറ്റം തുടർച്ചയായ രീതിയിലല്ല നടക്കുന്നത്.

കോണീയ ആക്കം

രേഖീയ ആക്കം, മാസ് (m), രേഖീയപ്രവേഗം (v) എന്നിവയുടെ ഗുണനഫലമാണ്, എന്നതുപോലെ കോണീയആക്കം ജഡത്വം (I), കോണീയപ്രവേഗം (ω) എന്നിവയുടെ ഗുണന ഫലമാണ്. മാസ് m_e ഉള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോൺ, ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും ആരം r ആയ ഒരു വൃത്താകൃതിയിലുള്ള പാതയിൽ നീങ്ങുന്നുവെങ്കിൽ,

കോണീയ ആക്കം $= I \times \omega$

$I \quad m_e r^2, \omega \quad v/r$ *ആയതിനാൽ ഇവിടെ V എന്നത് രേഖീയ പ്രവേഗമാണ്,*

കോണീയ ആക്കം $= m_e r^2 \times v/r = m_e vr$

iii) ΔE ഊർജവ്യത്യാസമുള്ള രണ്ട് സ്ഥിരോർജനിലകൾക്കിടയിൽ സംക്രമണം സംഭവിക്കുമ്പോൾ ആഗിരണം ചെയ്യുകയോ അല്ലെങ്കിൽ പുറത്തുവിടുകയോ ചെയ്യുന്ന വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തിയാണ്

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_2 - E_1}{h} \qquad (2.10)$$

നീൽസ് ബോർ (1885 – 1962)

ഡാനിഷ് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞൻ ആയിരുന്ന നീൽസ് ബോറിന് 1911 ൽ കോപ്പൻഹേഗൻ യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിൽ നിന്ന് പി.എച്ച്.ഡി ലഭിച്ചു. അദ്ദേഹം ജെ.ജെ. തോംസൺ, ഇംഗ്ലണ്ടിലെ ഏണസ്റ്റ് റൂഥർഫോർഡ് എന്നിവരുമായി ഒരു വർഷം ഇംഗ്ലണ്ടിൽ പ്രവർത്തിച്ചു . 1913ൽ അദ്ദേഹം കോപ്പൻഹേഗനിലേക്ക് മടങ്ങി. അവിടെ അദ്ദേഹം ശിഷ്ടജീവിതകാലം മുഴുവൻ തുടർന്നു. 1920 ൽ അദ്ദേഹം ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഓഫ് തിയററ്റിക്കൽ ഫിസിക്സ് ഡയറക്ടർ ആയി തിരഞ്ഞെടുക്കപ്പെട്ടു. ഒന്നാം ലോകമഹായുദ്ധത്തിനു ശേഷം, ബോർ ആണവോർജത്തിന്റെ സമാധാനപരമായ ഉപയോഗത്തിനായി ഊർജസ്വലമായി പ്രവർത്തിച്ചു. 1957 ൽ അദ്ദേഹത്തിന് ആദ്യ ആറ്റംസ് ഫോർ പീസ് പുരസ്കാരം ലഭിക്കുകയുണ്ടായി. 1922 ൽ ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിനുള്ള നൊബേൽ സമ്മാനം അദ്ദേഹത്തിന് നൽകി.

E_1, E_2 എന്നിവ യഥാക്രമം താഴ്ന്നതും ഉയർന്നതുമായ അനുവദനീയ ഊർജനിലകളിലുള്ള ഊർജങ്ങളാണ്. ഈ സമവാക്യം സാധാരണയായി ബോർ ആവൃത്തിനിയമം എന്നാണ് അറിയപ്പെടുന്നത്.

iv) ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോണിക ആക്കം ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഒരുനിശ്ചിത സ്ഥിരോർജനിലയിലുള്ള ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോണീയആക്കത്തിന്റെ സമവാക്യമാണ് (2.11)

$$m_e v r = n \cdot \frac{h}{2\pi} \qquad n = 1,2,3..... \qquad (2.11)$$

ഇവിടെ m_e, v എന്നിവ ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസ്സും പ്രവേഗവുമാണ്. r എന്നത് ഇലക്ട്രോൺ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരമാണ്.

അതായത് കോണീയ ആക്കത്തിന്റെ മൂല്യം $h/2\pi$ യുടെ പൂർണസംഖ്യാ ഗുണിതങ്ങളായി വരുന്ന ഓർബിറ്റുകളിൽകൂടി മാത്രമേ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് ചലിക്കാനാകുകയുള്ളൂ. ഇതിനർഥം കോണീയ ആക്കം ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെന്നാണ്. കോണീയ ആക്കത്തിന്റെ ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ട ഒരു മൂല്യത്തിൽ നിന്ന് മറ്റൊന്നിലേക്ക് ഇലക്ട്രോൺ സംക്രമണം നടക്കുമ്പോൾ മാത്രമാണ് വികിരണം പുറപ്പെടുവിക്കുകയോ ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുകയോ ചെയ്യുന്നത്. അതുകൊണ്ട് മാക്സ്വെല്ലിന്റെ വൈദ്യുതകാന്തിക സിദ്ധാന്തം ഇവിടെ പ്രായോഗികമാകുന്നില്ല. അതുകൊണ്ടാണ് ചില നിശ്ചിത ഓർബിറ്റുകൾ മാത്രം അനുവദനീയമാകുന്നത്.

ബോർ സ്ഥിരോർജനിലകളുടെ ഊർജനിർധാരണത്തെക്കുറിച്ചുള്ള വിശദാംശങ്ങൾ വളരെ സങ്കീർണമാണ്. അത് ഉയർന്ന ക്ലാസുകളിൽ ചർച്ചചെയ്യപ്പെടുന്നതാണ്. എന്നിരുന്നാലും ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം സംബന്ധിച്ച, ബോറിന്റെ സിദ്ധാന്തം അനുസരിച്ച്:

a) ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥിരോർജനിലകൾ $n = 1, 2, 3$ .... എന്നിങ്ങനെ ക്രമപ്പെടുത്താം . ഈ സംഖ്യകൾ (ഭാഗം 2.6.2) **മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ** എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു.

b) സ്ഥിരോർജനിലകളുടെ ആരം കാണുന്നതിനുള്ള സമവാക്യമാണ്

$$r_n = n^2 a_0 \qquad (2.12)$$

ഇവിടെ $a_0 = 52.9$ pm ആണ്. അതായത് **ബോർ ഓർബിറ്റ്** എന്നു വിളിക്കുന്ന ആദ്യത്തെ സ്ഥിരോർജനിലയുടെ ആരം $a_0 = 52.9$ pm. ഈ ഓർബിറ്റിലാണ് സാധാരണയായി ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്താനാകുന്നത് (അതായത് $n = 1$). n വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് r ന്റെ മൂല്യവും വർധിക്കുന്നു. മറ്റൊരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, അപ്പോൾ ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് അകന്നു നിൽക്കുന്നു.

c) ഇലക്ട്രോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഏറ്റവും പ്രധാനപ്പെട്ട വസ്തുത സ്ഥിരോർജനിലയിലെ ഊർജമാണ്. അത് കാണുന്നതിനുള്ള സമവാക്യമാണ്.

$$E_n = -R_H \left(\frac{1}{n^2}\right) \qquad n = 1,2,3.... \qquad (2.13)$$

ഇവിടെ R_H **റൈഡ്ബർഗ് സ്ഥിരാങ്കം** എന്നറിയപ്പെടുന്നു. അതിന്റെ മൂല്യം 2.18×10^{-18} J.

നിമ്നോർജാവസ്ഥ (ground state) എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഏറ്റവും താഴ്ന്ന നിലയുടെ ഊർജമാണ്.

$$E_1 = -2.18\times 10^{-18} \left(\frac{1}{1^2}\right) = -2.18\times 10^{-18}\ \text{J}.$$

n = 2 എന്ന സ്ഥിരോർജനിലയിലെ ഊർജമാണ്

$$E_2 = -2.18\times 10^{-18}\ \text{J} \left(\frac{1}{2^2}\right) = -0.545\times 10^{-18}\ \text{J}.$$

ചിത്രം 2.11 ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ വ്യത്യസ്ത സ്ഥിരോർജനിലകളുടെ ഊർജത്തെ അല്ലെങ്കിൽ ഊർജനിലകളെ ചിത്രീകരിക്കുന്നു. ഈ പ്രതിനിധീകരണത്തെ ഊർജനിലാരേഖാചിത്രമെന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ നെഗറ്റീവ് ഇലക്ട്രോണിക ഊർജം (E_n) അർഥമാക്കുന്നത് എന്താണ് ?

ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജത്തിന് സാധ്യമായ എല്ലാ ഓർബിറ്റുകളിലും ഒരു നെഗറ്റീവ് അടയാളം ഉണ്ട് (സമവാക്യം : 2.13). ഈ നെഗറ്റീവ് അടയാളം എന്താണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്? ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം സ്ഥിതമായ സ്വതന്ത്രഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജത്തെക്കാൾ താഴ്ന്നതാണെന്നാണ് ഈ നെഗറ്റീവ് അടയാളം സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. ഒരുസ്ഥിതസ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് വളരെ അകലത്തിൽ ഉള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോണാണ്, അതിന് നല്കിയിരിക്കുന്ന ഊർജമൂല്യം പൂജ്യമാണ്. ഗണിതപരമായി, ഇത് സമവാക്യം (2.13)ൽ n-ന്റെ മൂല്യം അനന്തമാകുന്നതിന് തുല്യമായിരിക്കും. അപ്പോൾ $E_\infty = 0$ ആയിരിക്കും. ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിന് അടുത്തെത്തുമ്പോൾ (n കുറയുമ്പോൾ), E_nഅതിന്റെ കേവലമൂല്യത്തിൽ കൂടുതൽ കൂടുതൽ വലുതും നെഗറ്റീവും ആയിത്തീരുന്നത് ഏറ്റവും ഉയർന്ന നെഗറ്റീവ് ഊർജമൂല്യം n = 1 ആകുമ്പോഴാണ്. ഇത് ഏറ്റവും സുസ്ഥിര ഓർബിറ്റിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇതിനെ നിമ്നോർജാവസ്ഥ (ground state) എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ സ്വാധീനത്തിൽ നിന്ന് സ്വതന്ത്രമാകുമ്പോൾ, ഊർജം പൂജ്യമായി കണക്കാക്കും. ഈ അവസ്ഥയിൽ ഇലക്ട്രോൺ, പ്രാഥമിക ക്വാണ്ടം സംഖ്യ = n = ∞ എന്ന ഊർജനിലയിലായിരിക്കും. ഇതിനെ അയോണീകരിച്ച ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം എന്ന് പറയുന്നു. ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിനാൽ ആകർഷിക്കപ്പെട്ട് n എന്ന ഓർബിറ്റിലായിരിക്കുമ്പോൾ ഊർജം പുറന്തള്ളപ്പെടുകയും, അതിന്റെ ഊർജം കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു. അതാണ് സമവാക്യം (2.13) ലെ നെഗറ്റീവ് ചിഹ്നത്തിനു കാരണം. മാത്രമല്ല ഇത് ഊർജം പൂജ്യവും n = ∞ എന്ന അവസ്ഥയെയും അപേക്ഷിച്ചുള്ള സ്ഥിരതയെ കാണിക്കുന്നു

d) ബോറിന്റെ സിദ്ധാന്തം ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങളെപ്പോലെ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ മാത്രമടങ്ങിയ അയോണുകൾക്കും പ്രയോഗിക്കാവുന്നതാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, He^+, Li^{2+}, Be^{3+} തുടങ്ങിയവ. അത്തരം അയോണു (ഹൈഡ്രജൻ സമാനസ്പീഷീസ്) കളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട സ്ഥിരോർജനിലകളുടെ ഊർജം,

$$E_n = -2.18\times 10^{-18}\left(\frac{Z^2}{n^2}\right)\text{J} \qquad (2.14)$$

ആരം കാണുന്നതിനുള്ള സമവാക്യം.

$$r_n = \frac{52.9\,(n^2)}{Z}\ \text{pm} \qquad (2.15)$$

ഇവിടെ Z ആറ്റോമികസംഖ്യയാണ്. ഹീലിയം, ലിഥിയം തുടങ്ങിയ ആറ്റങ്ങൾക്ക് ഇതിന്റെ മൂല്യം യഥാക്രമം 2, 3 എന്നിങ്ങനെയാണ്. മുകളിലുള്ള സമവാക്യങ്ങളിൽ നിന്ന്, Z-ന്റെ വർധനവിനനുസരിച്ച് ഊർജത്തിന്റെ മൂല്യം കൂടുതൽ നെഗറ്റീവ് ആയിത്തീരുന്നു എന്നും ആരം കുറയുന്നുവെന്നും വ്യക്തമാണ്. അതായത് ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസുമായി ഗാഢമായി ബന്ധിക്കപ്പെടുന്നു.

e) ഇത്തരം ഓർബിറ്റുകളിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ വേഗത കണക്കാക്കാനും സാധ്യമാണ്. കൃത്യമായ സമവാക്യം ഇവിടെ നൽകിയിട്ടില്ലെങ്കിലും, ന്യൂക്ലിയസിന്റെ പോസിറ്റീവ് ചാർജ് വർധനവിനനുസരിച്ച് ഇലക്ട്രോൺ പ്രവേഗം കൂടുമെന്നും മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യാമൂല്യം വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് ഇലക്ട്രോൺ പ്രവേഗം കുറയുമെന്നും സാമാന്യമായി മനസിലാക്കാവുന്നതാണ്.

2.4.1 ഹൈഡ്രജൻ രേഖാസ്പെക്ട്രത്തിന്റെ വിശദീകരണം

പാഠഭാഗം 2.3.3 ൽ സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ രേഖാസ്പെക്ട്രത്തെ ബോറിന്റെ മാതൃക ഉപയോഗിച്ച് പാരിമാണികമായി വിശദീകരിക്കാനാകും. അനുമാനം 2 അനുസരിച്ച്, കുറഞ്ഞ മുഖ്യ ക്വാണ്ടം സംഖ്യയുള്ള ഓർബിറ്റിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോൺ കൂടിയ മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയുള്ള ഓർബിറ്റിലേക്ക് നീങ്ങുമ്പോൾ, വികിരണം (ഊർജം) ആഗിരണം ചെയ്യുന്നു, ഇലക്ട്രോൺ ഉയർന്ന ഓർബിറ്റിൽ നിന്ന് താഴ്ന്ന ഓർബിറ്റിലേക്ക് നീങ്ങുമ്പോൾ വികിരണം (ഊർജം) ഉത്സർജി

ക്കുന്നു. രണ്ട് ഓർബിറ്റുകൾ തമ്മിലുള്ള ഊർജവിടവ് കാണുന്നതിനുള്ള സമവാക്യമാണ് (2.16).

$$\Delta E = E_f - E_i \qquad (2.16)$$

സമവാക്യങ്ങൾ (2.13), (2.16) എന്നിവ യോജിപ്പിച്ചാൽ

$$\Delta E = \left(-\frac{R_H}{n_f^2}\right) - \left(-\frac{R_H}{n_i^2}\right)$$

(ഇവിടെ n_i, n_f എന്നിവ പ്രാരംഭ ഓർബിറ്റിനെയും അന്തിമ ഓർബിറ്റിനെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നു)

$$\Delta E = R_H\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) = 2.18 \times 10^{-18}\ J\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad (2,17)$$

ഫോട്ടോണിന്റെ ആഗിരണം, ഉത്സർജനം എന്നിവയുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ആവൃത്തി (ν), സമവാക്യം (2.18) ഉപയോഗിച്ച് കണക്കാക്കാം.

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{R_H}{h}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$$= \frac{2.18 \times 10^{-18}\ J}{6.626 \times 10^{-34}\ J\ s}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad (2.18)$$

$$= 3.29 \times 10^{15}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) Hz \qquad (2.19)$$

തരംഗസംഖ്യയിൽ ($\bar{\nu}$) പ്രതിപാദിക്കുമ്പോൾ

$$\bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{R_H}{hc}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad (2.20)$$

$$= \frac{3.29 \times 10^{15}\ s^{-1}}{3 \times 10^8\ m\ s^{-1}}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$$= 1.09677 \times 10^7\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) m^{-1} \qquad (2.21)$$

ആഗിരണസ്പെക്ട്രത്തിൽ $n_f > n_i$ ആയിരിക്കും. ബ്രാക്കറ്റിനുള്ളിലെ ഘടകം പോസിറ്റീവ് ആകുകയും ഊർജം ആഗിരണം ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു. നേരെമറിച്ച് ഉൽസർജനസ്പെക്ട്രത്തിൽ $n_i > n_f$ ആയിരിക്കും ആയതിനാൽ ΔE നെഗറ്റീവ് ആകുകയും , ഊർജം പുറത്തുവിടുകയും ചെയ്യുന്നു.

സമവാക്യം (2.17) റൈഡ്ബർഗ്, അദ്ദേഹത്തിന്റെ കാലഘട്ടത്തിൽ ലഭ്യമായ പരീക്ഷണാത്മക ദത്തങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് കണ്ടെത്തിയ സമവാക്യത്തിന്(2.9) സദൃശമാണ്. കൂടാതെ, ഓരോ സ്പെക്ട്രൽ രേഖയെയും അത് ആഗിരണസ്പെക്ട്രമായാലും ഉൽസർജന സ്പെക്ട്രമായാലും, ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ നിശ്ചിത സംക്രമണവുമായി ബന്ധപ്പെടുത്താവുന്നതാണ്. വളരെയധികം ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റങ്ങൾ ഉണ്ടെങ്കിൽ, വ്യത്യസ്തമായ സംക്രമണങ്ങൾ ഉണ്ടാകുകയും ആയത് ധാരാളം സ്പെക്ട്രൽരേഖകളിലേക്ക് നയിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. സ്പെക്ട്രൽരേഖകളുടെ തിളക്കം അല്ലെങ്കിൽ തീവ്രത ആഗിരണം ചെയ്യുന്ന അല്ലെങ്കിൽ പുറത്തുവിടുന്ന ഒരേ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള അല്ലെങ്കിൽ ആവൃത്തിയുള്ള ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

പ്രശ്നം 2.10

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ n = 5 എന്ന നിലയിൽ നിന്ന് n = 2 എന്ന നിലയിലേക്ക് സംക്രമണം നടക്കുമ്പോൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഒരു ഫോട്ടോണിന്റെ ആവൃത്തിയും തരംഗദൈർഘ്യവും എന്താണ്?

ഉത്തരം

$n_i = 5$, $n_f = 2$ ആകയാൽ ഈ സംക്രമണം മൂലമുണ്ടാകുന്ന സ്പെക്ട്രൽരേഖ ദൃശ്യമണ്ഡലത്തിൽ ബാമർശ്രേണിയിൽ ആയിരിക്കും. സമവാക്യം (2.17) പ്രകാരം

$$\Delta E = 2.18 \times 10^{-18}\ J\left[\frac{1}{5^2} - \frac{1}{2^2}\right]$$

$$= -4.58 \times 10^{-19}\ J$$

ഇത് ഉൽസർജനോർജം ആണ്. ഫോട്ടോണിന്റെ ആവൃത്തി (ഊർജം, ചിഹ്നം പരിഗണിക്കാതെ അളവ് മാത്രമെടുക്കുമ്പോൾ)

$$\nu = \frac{\Delta E}{h}$$

$$= \frac{4.58 \times 10^{-19}\ J}{6.626 \times 10^{-34}\ J\ s}$$

$$= 6.91 \times 10^{14}\ Hz$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3.0 \times 10^8\ m\ s^{-1}}{6.91 \times 10^{14}\ Hz} = 434\ nm$$

പ്രശ്നം 2.11

He^+ -ന്റെ ആദ്യ ഓർബിറ്റിന്റെ ഊർജം കണക്കാക്കുക. ഈ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം എത്രയാണ്?

ഉത്തരം

$$E_n = -\frac{(2.18\times10^{-18}\,\mathrm{J})Z^2}{n^2}\ \text{atom}^{-1}$$

He^+, $n = 1$, $Z = 2$

$$E_1 = -\frac{(2.18\times10^{-18}\,\mathrm{J})(2^2)}{1^2} = -8.72\times10^{-18}\,\mathrm{J}$$

സമവാക്യം (2.15) പ്രകാരം ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം,

$$r_n = \frac{(0.0529\ \mathrm{nm})n^2}{Z}$$

$n = 1$ ഉം $Z = 2$ ഉം ആയതിനാൽ

$$r_n = \frac{(0.0529\ \mathrm{nm})1^2}{2} = 0.02645\ \mathrm{nm}$$

2.4.2 ബോർമാതൃകയുടെ പരിമിതികൾ

റുഥർഫോർഡ് ന്യൂക്ലിയർആറ്റം മാതൃകയെക്കാൾ മികച്ചതാണ് ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ബോർ മാതൃക എന്ന് സംശയലേശമെന്യേ പറയാം. കാരണം അതിനു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെയും ഹൈഡ്രജൻ സമാനമായ അയോണുകളുടെയും (ഉദാഹരണത്തിന്, He^+, Li^{2+}, Be^{3+}, തുടങ്ങിയവ) സ്ഥിരതയും രേഖാസ്പെക്ട്രവും വിശദീകരിക്കാൻ കഴിഞ്ഞു. എന്നിരുന്നാലും, ബോർ മാതൃക താഴെപ്പറയുന്ന കാര്യങ്ങൾ വിശദീകരിക്കാൻ പറ്റാത്തത്ര ലളിതമായിരുന്നു.

i) കൂടുതൽ മികവുള്ള സ്പെക്ട്രോസ്കോപ്പി സാങ്കേതികവിദ്യ ഉപയോഗിച്ചുകിട്ടുന്ന ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ സൂക്ഷ്മ വിശദാംശങ്ങൾ (ഡബ്ളറ്റ്: അടുത്തായി സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന രണ്ട് രേഖകൾ) വിശദീകരിക്കുന്നതിൽ ഈ മാതൃക പരാജയപ്പെടുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ഒഴിച്ചുള്ള മറ്റ് ആറ്റങ്ങളുടെ സ്പെക്ട്രം വിശദീകരിക്കാനും ഈ മാതൃകയ്ക്ക് കഴിയുന്നില്ല. ഉദാഹരണത്തിന്, രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾ മാത്രം ഉള്ള ഹീലിയം ആറ്റം. കൂടാതെ, ബോർ സിദ്ധാന്തത്തിന് കാന്തികക്ഷേത്രത്തിന്റെ സാന്നിദ്ധ്യത്തിൽ (സീമാൻ പ്രഭാവം) അല്ലെങ്കിൽ വൈദ്യുത ക്ഷേത്രത്തിന്റെ സാന്നിദ്ധ്യത്തിൽ (സ്റ്റാർക്ക് പ്രഭാവം) സ്പെക്ട്രൽ രേഖകളുടെ വിഭജനം വിശദീകരിക്കാനും കഴിഞ്ഞില്ല

ii) രാസബന്ധനത്തിലൂടെ തന്മാത്രകൾ രൂപീകരിക്കാനുള്ള ആറ്റങ്ങളുടെ കഴിവ് വിശദീകരിക്കാൻ ഈ മാതൃകയ്ക്ക് കഴിയുന്നില്ല.

മറ്റൊരുവിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, മുകളിൽ പറഞ്ഞ കാര്യങ്ങൾ കണക്കിലെടുക്കുമ്പോൾ, സങ്കീർണമായ ആറ്റങ്ങളുടെ ഘടനയുടെ സവിശേഷതകൾ വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയുന്ന മികച്ച ഒരു സിദ്ധാന്തം ആവശ്യമാണ്.

2.5 ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രമാതൃക (Quantum Mechanical Model of the Atom)

ബോർമാതൃകയുടെ കുറവുകൾ കണക്കിലെടുത്ത് ആറ്റങ്ങൾക്ക് കൂടുതൽ അനുയോജ്യവും പൊതുവായുള്ളതുമായ മാതൃക വികസിപ്പിക്കാനുള്ള ശ്രമങ്ങളുണ്ടായി. അത്തരം ഒരു മാതൃകയുടെ രൂപവത്കരണത്തിൽ ഗണ്യമായ സംഭാവന നൽകിയ രണ്ടു പ്രധാനപ്പെട്ട സംഭവവികാസങ്ങളാണ്:

1. ദ്രവ്യത്തിന്റെ ദൈ്വതസ്വഭാവം,
2. ഹൈസൻബർഗ് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം എന്നിവ.

2.5.1 ദ്രവ്യത്തിന്റെ ദൈ്വതസ്വഭാവം (Dual behaviour of matter)

1924 ൽ ഫ്രഞ്ച് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ ദ ബ്രോളി, മുന്നോട്ടുവച്ച ആശയപ്രകാരം, വികിരണങ്ങളെപ്പോലെ ദ്രവ്യവും ദൈ്വതസ്വഭാവം അതായത് കണികാസ്വഭാവവും തരംഗസ്വഭാവവും പ്രകടമാക്കണം. ഇതിനർഥം ഫോട്ടോണിന് ആക്കവും, തരംഗദൈർഘ്യവും ഉള്ളതുപോലെ, ഇലക്ട്രോണുകൾക്കും ആക്കവും തരംഗദൈർഘ്യവും ഉണ്ടായിരിക്കണം. ഈ സാദൃശ്യത്തിൽ നിന്ന് ദ ബ്രോളി ഒരു കണികയുടെ തരംഗദൈർഘ്യം (λ), ആക്കം (p) എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം പ്രസ്താവിച്ചു.

$$\lambda = \frac{h}{m\mathrm{v}} = \frac{h}{p} \qquad (2.22)$$

ഇവിടെ m കണങ്ങളുടെ മാസും, v, p അവയുടെ പ്രവേഗവും ആക്കവുമാണ്. ഇലക്ട്രോൺ കിരണങ്ങൾ, തരംഗങ്ങളെപ്പോലെ വിഭംഗനത്തിന് വിധേയമാകുന്നു

ലൂയി ദ ബ്രോളി (1892 – 1987)

ഒരു ഫ്രഞ്ച് ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ ലൂയി ദ ബ്രോളി 1910 കളുടെ ആദ്യത്തിൽ തന്റെ ബിരുദക്ലാസ്സിൽ ചരിത്രമാണ് പഠിച്ചത്. എന്നാൽ ഒന്നാം ലോകമഹായുദ്ധത്തിൽ റേഡിയോ ആശയവിനിമയത്തിനായി തനിക്കു ലഭിച്ച നിയമനത്തിന്റെ ഫലമായി അദ്ദേഹത്തിന്റെ താൽപര്യം ശാസ്ത്രത്തിലേക്ക് തിരിഞ്ഞു. 1924 ൽ പാരിസ് സർവ്വകലാശാലയിൽ നിന്ന് അദ്ദേഹത്തിനു ഡോക്ടർ ഓഫ് സയൻസ് പദവി ലഭിച്ചു. 1932 മുതൽ 1962 ൽ വിരമിക്കുന്നത് വരെ അദ്ദേഹം പാരിസ് സർവകലാശാലയിലെ സൈദ്ധാന്തിക ഭൗതിക അദ്ധ്യാപകനായിരുന്നു. 1929 ൽ അദ്ദേഹത്തിനു ഭൗതികശാസ്ത്ര നൊബേൽ സമ്മാനം ലഭിച്ചു.

ണ്ടെന്നത് ഡ്രോളിയുടെ പ്രവചനത്തിന് പരീക്ഷണത്തിലൂടെ സ്ഥിരീകരണം നല്കുന്നു. ഈ വസ്തുത ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പ് നിർമിക്കുന്നതിന് ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നു. ഒരു സാധാരണ മൈക്രോസ്കോപ്പിൽ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നതുപോലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തരംഗസ്വഭാവമാണ് ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പിൽ അടിസ്ഥാനമാക്കിയിട്ടുള്ളത്. ആധുനികശാസ്ത്ര ഗവേഷണരംഗത്തെ വളരെ ഉപയോഗപ്രദമായ ഒരുപകരണമാണ് ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പ്. കാരണം ഇതുപയോഗിച്ച് ഒരു വസ്തു ഏകദേശം 15 ദശലക്ഷം മടങ്ങ് വലിപ്പത്തിൽ കാണാൻ സാധിക്കും.

ഡ്രോളിയുടെ അഭിപ്രായത്തിൽ ചലനത്തിലുള്ള എല്ലാ വസ്തുക്കൾക്കും ഒരു തരംഗസ്വഭാവം ഉണ്ട്. സാധാരണ വസ്തുക്കളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ വളരെ ചുരുങ്ങിയതാണ് (അവയുടെ കൂടിയ മാസ് കാരണം). അതുകൊണ്ട് അവയുടെ തരംഗങ്ങളെ തിരിച്ചറിയാൻ കഴിയുകയില്ല. എന്നാൽ ഇലക്ട്രോണുകളുമായും മറ്റ് ഉപആറ്റോമികകണികകളു (വളരെ ചെറിയ മാസ്സുള്ള) മായി ബന്ധപ്പെട്ട തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ പരീക്ഷണത്തിലൂടെ കണ്ടുപിടിക്കാം. താഴെപ്പറയുന്ന പ്രശ്നങ്ങളിൽ ലഭിച്ച ഫലങ്ങൾ ഈ വസ്തുതകൾ ഗുണപരമായി തെളിയിക്കുന്നു.

പ്രശ്നം 2.12

10 m s^{-1} വേഗതയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന 0.1 കിലോഗ്രാം മാസുള്ള ഒരു പന്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യമെന്താണ്?

ഉത്തരം

ദ ബ്രോളീസമവാക്യം അനുസരിച്ച് (2.22)

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{(6.626 \times 10^{34}\ \mathrm{J\,s})}{(0.1\ \mathrm{kg})(10\ \mathrm{m\ s^{-1}})}$$

$$= 6.626 \times 10^{31}\ \mathrm{m}\ (\mathrm{J} = \mathrm{kg\ m^2\ s^{2}})$$

പ്രശ്നം 2.13

ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസ് 9.1×10^{-31} കിലോഗ്രാം ആണ്. അതിന്റെ K.E.(ഗതികോർജം) 3.0×10^{-25} J ആണെങ്കിൽ തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കുകൂട്ടുക?

ഉത്തരം

K.E.= ½ mv^2 ആയതിനാൽ

$$v = \left(\frac{2\mathrm{K.E.}}{m}\right)^{1/2} = \left(\frac{2 \times 3.0 \times 10^{25}\ \mathrm{kg\ m^2 s^{2}}}{9.1 \times 10^{31}\ \mathrm{kg}}\right)^{1/2}$$

$$= 812\ \mathrm{m\ s^{-1}}$$

$$\lambda = \frac{h}{m\,v} = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ \mathrm{J\,s}}{(9.1 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg})(812\ \mathrm{m\ s^{-1}})}$$

$$= 8967 \times 10^{-10}\ \mathrm{m} = 896.7\ \mathrm{nm}$$

പ്രശ്നം 2.14

3.6 Å. തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഒരു ഫോട്ടോണിന്റെ മാസ് കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം

$$\lambda = 3.6\ \text{Å} = 3.6 \times 10^{10}\ \mathrm{m}$$

ഫോട്ടോണിന്റെ പ്രവേഗം = പ്രകാശ പ്രവേഗം

$$m = \frac{h}{\lambda v} = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ Js}{(3.6 \times 10^{-10}\ m)(3 \times 10^{8}\ m\,s^{-1})}$$

$$= 6.135 \times 10^{-33}\ \mathrm{kg}$$

2.5.2 ഹൈസെൻ ബെർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം (Heisenberg's Uncertainty Principle)

1927 ൽ ജർമൻ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ വെർണർ ഹൈസെൻബെർഗ്, അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം ആവിഷ്കരിച്ചു; ഇത് ദ്രവ്യത്തിന്റെയും വികിരണത്തിന്റെയും ദ്വൈതസ്വഭാവത്തിന്റെ അനന്തരഫലമാണ്. ഈ സിദ്ധാന്തപ്രകാരം '**ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കൃത്യമായ സ്ഥാനം, കൃത്യമായ ആക്കം (അല്ലെങ്കിൽ പ്രവേഗം) എന്നിവ ഒരേ സമയം കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ സാധ്യമല്ല**'.

ഗണിതപരമായി, ഇത് സമവാക്യം 2.23 കൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കാം.

$$\Delta x \times \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi} \qquad (2.23)$$

$$\text{or} \quad \Delta x \times \Delta(m\,v_x) \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$\text{or} \quad \Delta x \times \Delta v_x \geq \frac{h}{4\pi m}$$

ഇവിടെ Δx എന്നത് സ്ഥാനത്തിലെ അനിശ്ചിതത്വവും, Δp_x (അല്ലെങ്കിൽ Δv_x) എന്നത് ആക്കത്തിലെ (അല്ലെങ്കിൽ പ്രവേഗത്തിലെ) അനിശ്ചിതത്വവുമാണ്. ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനം വളരെയധികം കൃത്യമായി കണ്ടുപിടിക്കാമെങ്കിൽ (Δx ചെറുതാണ്), ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗത്തിൽ വലിയ അനിശ്ചിതത്വം ($\Delta (v_x)$) ഉണ്ടാകും. നേരേമറിച്ച്, ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗം കൃത്യമായി അറിയാമെങ്കിൽ (Δv_x) ചെറുതാണ്). ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനം അനിശ്ചിതമായിരിക്കും

($\triangle$x വലുത്). അങ്ങനെ, ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനം അല്ലെങ്കിൽ പ്രവേഗം കണ്ടുപിടിക്കുമ്പോൾ, ഫലം എല്ലായ്പ്പോഴും അവ്യക്തമായിരിക്കും.

ഒരു ഉദാഹരണത്തിന്റെ സഹായത്തോടെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം മനസിലാക്കാവുന്നതാണ്. അങ്കനങ്ങളില്ലാത്ത ഒരു മീറ്റർസ്കെയിൽ ഉപയോഗിച്ച് ഒരു ഷീറ്റ് പേപ്പറിന്റെ കനം അളക്കാൻ ആവശ്യപ്പെടുന്നു എന്ന് കരുതുക. തീർച്ചയായും, ലഭിച്ച ഫലങ്ങൾ ഒട്ടും കൃത്യതയില്ലാത്തതും അർഥമില്ലാത്തതുമായിരിക്കും. കൃത്യത കൈവരിക്കണമെങ്കിൽ പേപ്പർ ഷീറ്റിനേക്കാൾ കനം കുറവായ ഏകകങ്ങൾ രേഖപ്പെടുത്തിയ ഒരു ഉപകരണം ഉപയോഗിക്കേണ്ടതാണ്. അതുപോലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനം നിർണയിക്കുന്നതിന്, നാം ഇലക്ട്രോണിന്റെ അളവുകളേക്കാൾ ചെറുതായ ഏകകങ്ങളാൽ രേഖപ്പെടുത്തിയ ഒരു മീറ്റർസ്കെയിൽ ഉപയോഗിക്കണം (ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ ഒരു പോയിന്റ് ചാർജ് ആയും അങ്ങനെ വ്യാപ്തിയില്ലാത്തതായും കണക്കാക്കുന്നു). ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ നിരീക്ഷിക്കുന്നതിന് നമുക്ക് 'പ്രകാശം' അല്ലെങ്കിൽ വൈദ്യുത കാന്തികവികിരണം ഉപയോഗിച്ച് അതിനെ പ്രകാശിപ്പിക്കാം. ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ അളവുകളേക്കാൾ കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശം ആണ് ഉപയോഗിക്കേണ്ടത്. അത്തരം പ്രകാശത്തിന്റെ ഉയർന്ന ആക്കമുള്ള $\left(p=\frac{h}{\lambda}\right)$ ഫോട്ടോണുകൾ കൂട്ടിമുട്ടുന്നതിലൂടെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം വ്യത്യാസപ്പെടും. ഈ പ്രക്രിയയിൽ നമുക്ക് ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനം കണ്ടുപിടിക്കാൻ കഴിയുമെങ്കിലും , കൂട്ടിയിടിക്ക് ശേഷം ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗത്തെക്കുറിച്ച് നമുക്ക് കൃത്യത ലഭിക്കുന്നില്ല.

അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ പ്രാധാന്യം

ഹൈസെൻബെർഗ് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ പ്രധാന അർഥതലങ്ങളിൽ ഒന്ന്, **ഇലക്ട്രോണുകളും മറ്റ് സമാന കണങ്ങളും കൃത്യമായ പരിക്രമണപഥത്തിലോ പഥങ്ങളിലോ നിലനില്ക്കുന്നില്ല എന്നതാണ്.** ഒരു വസ്തുവിന്റെ പരിക്രമണപഥം നിർണയിക്കുന്നത് പല നിമിഷങ്ങളിലുള്ള അതിന്റെ സ്ഥാനവും വേഗതയുമാണ്. ഒരു വസ്തു ഒരു പ്രത്യേക സന്ദർഭത്തിൽ എവിടെയാണെന്ന് നമുക്ക് അറിയാമെങ്കിൽ അതുപോലെ അതിന്റെ പ്രവേഗവും അതിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ബലങ്ങളും അറിയാമെങ്കിൽ ആ വസ്തു കുറച്ചു സമയം കഴിയുമ്പോൾ എവിടെയാണെന്ന് നമുക്ക് പറയാൻ കഴിയും. അതുകൊണ്ട് ഒരു വസ്തുവിന്റെ സ്ഥാനവും പ്രവേഗവും അതിന്റെ പാതയെ നിശ്ചയിക്കുമെന്ന് തീരുമാനിക്കാം. ഇലക്ട്രോണിനെ പോലെയുള്ള ഒരു ഉപആറ്റോമിക വസ്തുവിന്റെ ഏത് സമയത്തുമുള്ള സ്ഥാനവും പ്രവേഗവും കൃത്യതയോടെ നിർണയിക്കാൻ സാധ്യമല്ല. അതുകൊണ്ട്, ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ പരിക്രമണപഥത്തെക്കുറിച്ച് പറയാനും സാധ്യമല്ല.

ഹൈസെൻബെർഗ് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തിന്റെ പ്രഭാവം സൂക്ഷ്മവസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തിനു മാത്രമാണ് ബാധകമായിട്ടുള്ളത്. അത് സ്ഥൂല വസ്തുക്കളുടെ കാര്യത്തിൽ തള്ളിക്കളയാവുന്നതാണ്. ഇത് താഴെ പറയുന്ന ഉദാഹരണങ്ങളിൽ നിന്ന് കാണാൻ കഴിയും.

ഒരു മില്ലിഗ്രാം (10^{-6} കിലോ ഗ്രാം), മാസുള്ള ഒരു വസ്തുവിൽ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം പ്രയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ,

$$\Delta v.\Delta x = \frac{h}{4\pi.m}$$

$$= \frac{6.626\times10^{-34}\ \mathrm{J\,s}}{4\times3.1416\times10^{\ 6}\ \mathrm{kg}} \approx 10^{\ 28}\mathrm{m}^{2}\mathrm{s}^{\ 1}$$

ലഭിച്ച $\triangle v \triangle x$ ന്റെ മൂല്യം വളരെ ചെറുതും വളരെ നിസ്സാരവുമാണ്.അതുകൊണ്ട്, മില്ലിഗ്രാം വലിപ്പമോ ഭാരം കൂടിയതോ ആയ വസ്തുക്കളുടെ കാര്യത്തിൽ, അനിശ്ചിതത്വത്തിന് യഥാർഥത്തിൽ പങ്കൊന്നുമില്ല.

വെർണർ ഹൈസെൻബെർഗ് (1901 – 1976)

1923 ൽ മ്യൂണിക് (Munich) യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിൽ നിന്ന് വെർണർ ഹെസൻബർഗിനു ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ പി.എച്ച്.ഡി. ലഭിച്ചു. അദ്ദേഹം മാക്സ് ബോണുമായി ഗോട്ടിങ്ങെനിൽ ഒരു വർഷവും നീൽസ് ബോറുമൊത്ത് കോപ്പൻഹേഗനിൽ മൂന്നുവർഷവും പ്രവർത്തിച്ചു. 1927 മുതൽ 1941 വരെ ലീപ്സിഗ് സർവകലാശാലയിലെ ഭൗതികശാസ്ത്ര പ്രൊഫസറായിരുന്നു. രണ്ടാം ലോകമഹായുദ്ധസമയത്ത് അദ്ദേഹത്തിനു ജർമനിയുടെ ആണവബോംബ് ഗവേഷണത്തിന്റെ ചുമതലയായിരുന്നു. യുദ്ധത്തിനു ശേഷം അദ്ദേഹം ഗോട്ടിങ്ങെനിൽ മാക്സ് പ്ലാങ്ക് ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് ഡയറക്ടർ ആയി നിയമിതനായി. അറിയപ്പെടുന്ന ഒരു പർവതാരോഹകൻ ആയിരുന്ന ഹൈസെൻബെർഗ് 1932 ൽ ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിനുള്ള നൊബേൽ സമ്മാനം നേടി.

എന്നാൽ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ പോലെയുള്ള മൈക്രോസ്കോപിക് വസ്തുക്കളുടെ കാര്യത്തിൽ ലഭിക്കുന്ന $\Delta v.\Delta x$ വളരെ വലുതാണ്. അത്തരം അനിശ്ചിതാവസ്ഥ വളരെ പ്രധാനമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, ഹൈസെൻബെർഗ് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തമനുസരിച്ച് $9.11 x 10^{-31}$ കിലോ മാസുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്

$$\Delta v.\Delta x = \frac{h}{4\pi m}$$

$$= \frac{6.626\times10^{\;34}\ \mathrm{Js}}{4\times3.1416\times9.11\times10^{\;31}\ \mathrm{kg}}$$

$$= 10^{\;4}\mathrm{m}^2\mathrm{s}^{\;1}$$

അതായത് 10^{-8} അനിശ്ചിതത്വത്തോടെ, സ്ഥാനം കണ്ടുപിടിക്കാൻ ശ്രമിച്ചാൽ പ്രവേഗത്തിലുള്ള അനിശ്ചിതത്വം 10^{4} ആയിരിക്കും. ഇത് വളരെ കൂടിയ മൂല്യം ആയതിനാൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ബോർ ഓർബിറ്റിൽ (നിശ്ചിതപഥങ്ങൾ) ചലിക്കുന്നു എന്ന **ക്ലാസിക്കൽ ആശയം ശരിയല്ലെന്നു വരുന്നു. അതായത്, ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് കൃത്യമായ സ്ഥാനവും ആക്കവും ഉണ്ടെന്നുള്ള പ്രസ്താവനകൾ ഒഴിവാക്കി അവയുടെ സ്ഥാനവും ആക്കവും ഒരു സംഭാവ്യതയുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ പ്രസ്താവിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്കൽ മാതൃകയിൽ ഇതാണ് സംഭവിക്കുന്നത്.**

പ്രശ്നം 2.15

അനുയോജ്യമായ ഫോട്ടോണുകൾ ഉപയോഗിച്ചിട്ടുള്ള ഒരു മൈക്രോസ്കോപ്പിന്റെ സഹായത്താൽ ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനം 0.1 Å അകലത്തിനുള്ളിൽ കണ്ടെത്താനായി. എങ്കിൽ അതിന്റെ പ്രവേഗം അളക്കുമ്പോഴുള്ള അനിശ്ചിതത്വം എത്രയായിരിക്കും?

ഉത്തരം

$$\Delta x\,\Delta p = \frac{h}{4\pi} \quad \text{or} \quad \Delta x\, m\, \Delta v = \frac{h}{4\pi}$$

$$\Delta v = \frac{h}{4\pi\Delta x\, m}$$

$$\Delta v = \frac{6.626\times10^{-34}\ \mathrm{Js}}{4\times3.14\times0.1\times10^{-10}\mathrm{m}\times9.11\times10^{-31}\ \mathrm{kg}}$$

$$= 0.579\times10^{7}\ \mathrm{m\ s}^{\;1}\ (1\mathrm{J} = 1\ \mathrm{kg\ m^2 s^{\;2}})$$

$$= 5.79\times10^{6}\ \mathrm{m\ s}^{-1}$$

പ്രശ്നം 2.16

ഒരു ഗോൾഫ് പന്തിനു 40g മാസും 45m/s വേഗതയും ഉണ്ട്. വേഗത 2% കൃത്യതയിൽ കണക്കാക്കാൻ സാധിച്ചാൽ, സ്ഥാനത്തിലുണ്ടാകുന്ന അനിശ്ചിതത്വം കണക്കാക്കുക.

ഉത്തരം

വേഗതയിലുണ്ടായ അനിശ്ചിതത്വം 2% ആയതിനാൽ,

$$\Delta v = 45\times\frac{2}{100} = 0.9\mathrm{ms}^{\;1}.$$

സമവാക്യം (2.22) ഉപയോഗിച്ച്

$$\Delta x = \frac{h}{4\pi m\ \Delta v}$$

$$= \frac{6.626\times10^{\;34}\ \mathrm{Js}}{4\times3.14\times40\mathrm{g}\times10^{\;3}\ \mathrm{kg\,g}^{\;1}(0.9\ \mathrm{m\ s}^{\;1})}$$

$$= 1.46\times10^{\;33}\ \mathrm{m}$$

ഇത് സാധാരണ അറ്റോമികന്യൂക്ളിയസിന്റെ വ്യാസത്തിനേക്കാൾ ഏതാണ്ട് 10^{18} മടങ്ങ് കുറവാണ്. നേരത്തേ സൂചിപ്പിച്ചതുപോലെ, മാസ് കൂടിയ കണങ്ങൾക്ക്, അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം അളവുകളുടെ കൃത്യതയിൽ അർഥവത്തായ പരിധി നിശ്ചയിക്കുന്നില്ല.

ബോർ മാതൃകയുടെ പരാജയത്തിനുള്ള കാരണങ്ങൾ

ബോറിന്റെ മാതൃക പരാജയപ്പെട്ടതിന്റെ കാരണം ഇപ്പോൾ നമുക്ക് മനസിലാക്കാവുന്നതാണ്. ബോർ മാതൃകയിൽ ന്യൂക്ലിയസിന് ചുറ്റും ഒരു നിശ്ചിത വൃത്താകാര ഓർബിറ്റിൽ ചലിക്കുന്ന ചാർജിത കണമായാണ് ഇലക്ട്രോൺ കണക്കാക്കപ്പെടുന്നത്. ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം ബോർ മാതൃകയിൽ കണക്കാക്കുന്നില്ല. മാത്രമല്ല, ഒരു ഓർബിറ്റ് വ്യക്തമായി നിർവചിക്കപ്പെട്ട ഒരു പാതയാണ്. പക്ഷേ ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനവും പ്രവേഗവും ഒരേ സമയം കൃത്യമായി അറിയാമെങ്കിൽ മാത്രമേ ഈ പാത പൂർണമായി നിർവചിക്കാൻ സാധിക്കൂ. ഹൈസെൻബെർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം അനുസരിച്ച് ഇത് സാധ്യമല്ല. അതിനാൽ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ബോർ മാതൃക, ദ്രവ്യത്തിന്റെ ദ്വൈതസ്വഭാവം അവഗണിക്കുക മാത്രമല്ല ഹൈസെൻബർഗ് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തിന് വിരുദ്ധവുമാണ്. ബോർ മാതൃകയുടെ സഹജമായ ഈ ബലഹീനതകളുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ, ബോറിന്റെ മാതൃക മറ്റ് ആറ്റങ്ങളിലേക്ക് പരിഗണിക്കുന്നതിൽ അർഥമില്ലായിരുന്നു. വാസ്തവത്തിൽ, ദ്രവ്യത്തിന്റെ തരംഗ-കണികാദ്വൈത സ്വഭാവം വിശദീകരിക്കാനും ഹൈസെൻബെർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തവുമായി

പൊരുത്തപ്പെടാനും കഴിയുന്ന ഒരു അറ്റോമികഘടന യിലേക്കുള്ള ഉൾക്കാഴ്ചയാണ് വേണ്ടത്. ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സിന്റെ ആഗമനത്തോടെയാണ് ഇതിലേക്കെ ത്തിയത്.

2.6 ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രമാതൃക

ന്യൂട്ടന്റെ ചലനനിയമങ്ങളെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള ക്ലാസിക്കൽ മെക്കാനിക്സ്, വീഴുന്ന കല്ലുകൾ, പരിക്ര മണം ചെയ്യുന്ന ഗ്രഹങ്ങൾ തുടങ്ങി കണികാസ്വഭാ വമുള്ള എല്ലാ തരത്തിലുമുള്ള സ്ഥൂലവസ്തുക്കളുടേ യും ചലനത്തെ വിജയകരമായി വിശദീകരിക്കുന്നുണ്ട്. എന്നിരുന്നാലും ഇലക്ട്രോണുകൾ, ആറ്റങ്ങൾ, തന്മാത്ര കൾ തുടങ്ങിയ സൂക്ഷ്മവസ്തുക്കളിൽ പ്രയോഗിക്കു മ്പോൾ ഇത് പരാജയപ്പെടുന്നു. ഇതിനു കാരണം ക്ലാസിക്കൽ മെക്കാനിക്സ് ദ്രവ്യത്തിന്റെ, പ്രത്യേകിച്ച് ഉപ ആറ്റോമികകണികകളുടെ ദ്വൈതസ്വഭാവത്തെയും അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തെയും അവഗണിക്കുന്നു വെന്നതാണ്. ദ്രവ്യത്തിന്റെ ഈ ദ്വൈതസ്വഭാവം കണക്കിലെടുക്കുന്ന ശാസ്ത്രശാഖയെ **ക്വാണ്ടംബല തന്ത്രം** (quantum mechanics) എന്ന് വിളിക്കുന്നു.

ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സ് എന്നത് സൈദ്ധാന്തിക ശാസ്ത്രമാണ്. നിരീക്ഷിക്കാനാകുന്ന തരംഗസ്വഭാവവും കണികാസ്വഭാവവുമുള്ള സൂക്ഷ്മവസ്തുക്കളുടെ ചലനത്തെക്കുറിച്ചാണ് ഇതു പഠിക്കുന്നത്. ഈ വസ്തുക്കൾ അനുസരിക്കുന്ന ചലനനിയമങ്ങളെയാണ് ഇത് വിവരിക്കുന്നത്. ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സ് സ്ഥൂലവസ്തുക്കളിൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുമ്പോൾ (അവയ്ക്ക് തരംഗസ്വഭാവം അപ്രസക്തമാണ്) കിട്ടുന്ന ഫലം ക്ലാസിക്കൽ മെക്കാനിക്സ് പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ ലഭിക്കുന്നതിനു തുല്യമാണ്.

ഓസ്ട്രിയൻ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ എർവിൻ ഷ്രോഡിംഗർ 1910 ൽ വിയന്നാ സർവകലാശാലയിൽ നിന്ന് സൈദ്ധാന്തിക ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിൽ പി.എച്ച്.ഡി നേടി. 1927 ൽ പ്ലാങ്കിന്റെ അഭ്യർഥന പ്രകാരം ബെർലിൻ സർവകലാശാലയിൽ മാക്സ് പ്ലാങ്കിനുശേഷം ഷ്രോഡിംഗർ പ്രവർത്തിച്ചു. 1933 ൽ ഹിറ്റ്ലറോടും നാസി നയങ്ങളോടും ഉള്ള എതിർ പ്പിനെത്തുടർന്ന് ഷ്രോഡിംഗർ ബെർലിൻ വിടുകയും 1936 ൽ ഓസ്ട്രിയയിലേക്ക് മടങ്ങുകയും ചെയ്തു. ജർമനിയുടെ ഓസ്ട്രിയ അധിനിവേശ ത്തിനു ശേഷം ഷ്രോഡിംഗറെ പ്രൊഫസർ പദവിയിൽ നിന്ന് നിർബന്ധിതമായി നീക്കം ചെയ്തു. പിന്നീട് അയർലണ്ടിലെ ഡബ്ലിനിലേക്ക് മാറിയ അദ്ദേഹം അവിടെ പതിനേഴു വർഷം തുടർന്നു. 1933 ൽ ഷ്രോഡിംഗർ, പി.എ.എം. ഡിറാക്കുമായി ഭൗതികശാസ്ത്ര നൊബേൽ സമ്മാനം പങ്കുവെച്ചു.

എർവിൻ ഷ്രോഡിംഗർ
(1887-1961)

1926 ൽ വെർണർ ഹൈസെൻബെർഗ്, എർവിൻ ഷ്രോഡിംഗർ എന്നിവർ സ്വതന്ത്രമായി വികസിപ്പിച്ചെ ടുത്തതാണ് ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സ്. എന്നിരുന്നാലും, തരംഗ ചലനങ്ങളുടെ ആശയങ്ങളെ അടിസ്ഥാനമാ ക്കിയുള്ള ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്സിനെക്കുറിച്ചാണ് നമ്മൾ ഇവിടെ ചർച്ച ചെയ്യുന്നത്. ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക് സിന്റെ അടിസ്ഥാനപരമായ സമവാക്യം ഷ്രോഡിംഗർ ആണ് വികസിപ്പിച്ചെടുത്തത്. ഇത് 1933 ൽ അദ്ദേഹ ത്തിന് ഭൗതികശാസ്ത്ര നൊബേൽ സമ്മാനം നേടി ക്കൊടുത്തു. ബ്രോളി നിർദേശിച്ചതുപോലെ, തരംഗ കണികാദ്വൈതസ്വഭാവം ഉൾപ്പെടുത്തി വികസിപ്പിച്ച ഈ സമവാക്യം വളരെ സങ്കീർണമാണ്, മാത്രമല്ല ഗണിതശാസ്ത്രത്തിന്റെ ഉയർന്ന തലത്തിലുള്ള അറിവ് അത് നിർധാരണം ചെയ്യാൻ ആവശ്യവുമാണ്. വിവിധ വ്യൂഹങ്ങൾക്കായുള്ള അതിന്റെ നിർധാരണങ്ങൾ നിങ്ങൾ ഉയർന്ന ക്ലാസ്സുകളിൽ പഠിക്കും.

ഒരു വ്യൂഹത്തിന്റെ (സമയത്തിനനുസരിച്ച് ഊർജ മാറ്റമില്ലാത്ത ഒരു ആറ്റം അല്ലെങ്കിൽ ഒരു തന്മാത്ര) ഷ്റോഡിംഗർ സമവാക്യമാണ് $\hat{H}\psi = E\psi$. ഇവിടെ $\hat{H}$ എന്നത് ഹാമിൽട്ടോണിയൻ എന്നൊരു ഗണിത പ്രചാലക (operator) മാണ്. വ്യൂഹത്തിന്റെ ആകെ ഊർജവും ഈ ഓപ്പറേറ്ററും തമ്മിൽ ബന്ധപ്പെ ട്ടിരിക്കുന്നു. വ്യൂഹത്തിന്റെ ആകെ ഊർജം, എല്ലാ ഉപ ആറ്റോമിക് കണങ്ങളുടെയും, (ഇലക്ട്രോണുകൾ, ന്യൂക്ലിയസുകൾ), ഗതികോർജവും ഇലക്ട്രോണു കൾക്കും ന്യൂക്ലിയസുകൾക്കും ഇടയിലുള്ള ആകർ ഷണ പൊട്ടൻഷ്യലും, ഇലക്ട്രോണുകൾ തമ്മിലും ന്യൂക്ലിയസുകൾ തമ്മിലും ഉള്ള പ്രത്യേക വികർഷണ പൊട്ടൻഷ്യലും ചേരുന്നതാണ്. ഈ സമവാക്യത്തിന്റെ നിർധാരണം E, ψ എന്നിവ നൽകുന്നു.

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റവും ഷ്രോഡിംഗർ സമവാക്യവും

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന് ഷ്റോഡിംഗർ സമവാക്യം നിർധാരണം ചെയ്താൽ ഇലക്ട്രോണിന് സാധ്യമാകുന്ന ഊർജനിലകളും, ഓരോ ഊർജനിലയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗഫലന (wave function, ψ) ങ്ങളും ലഭിക്കുന്നു. മൂന്നു ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ [**മുഖ്യ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ** (principal quantum number, n) **അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ** (azimuthal quantum number, l) **കാന്തിക ക്വാണ്ടംസംഖ്യ** (magnetic quantum number, m_l)] കൊണ്ട് വിവരിക്കാൻ കഴിയുന്ന ക്വാണ്ടീകരിച്ച ഊർജനിലകളും

തരംഗഫലനങ്ങളും ഷ്രോഡിംഗർ സമവാക്യം നിർധാരണം ചെയ്യുമ്പോൾ സ്വാഭാവികമായി ഉരുത്തിരിഞ്ഞു വരുന്നതാണ്. ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ഏതെങ്കിലും ഊർജ നിലയിലാണെങ്കിൽ, ആ ഊർജനിലയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട തരംഗഫലനം, ഇലക്ട്രോണിനെക്കുറിച്ചുള്ള എല്ലാ വിവരങ്ങളും ഉൾക്കൊള്ളുന്നു. തരംഗഫലനം ഒരു ഗണിത ഫലനമാണ്, അതിന്റെ മൂല്യം ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോർഡിനേറ്റുകളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും. തരംഗഫലനത്തിന് ഭൗതികമായി പ്രത്യേകിച്ച് ഒരർഥം കൽപ്പിക്കുന്നില്ല. ഹൈഡ്രജന്റെയോ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ മാത്രമുള്ള ഹൈഡ്രജൻ സമാന സ്പീഷീസിന്റെയോ തരംഗഫലനങ്ങളെ ആറ്റോമികഓർബിറ്റലുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോൺ സ്പീഷീസിനെ സംബന്ധിച്ച അത്തരം തരംഗഫലനങ്ങളെ ഏകഇലക്ട്രോൺ വ്യൂഹങ്ങളെന്നു വിളിക്കുന്നു. ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്തുന്നതിനുള്ള സംഭാവ്യത ആ ബിന്ദുവിലെ $|\psi|^2$ ന് ആനുപാതികമായിരിക്കും. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം മെക്കാനിക്കൽ ഫലനങ്ങൾക്ക് ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ എല്ലാ വസ്തുക്കളും വിജയകരമായി പ്രവചിക്കനാകുന്നുണ്ട്, ഇതിൽ ബോർ മാതൃകയ്ക്ക് വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയാത്ത ചില പ്രതിഭാസങ്ങളും ഉൾപ്പെടുന്നു.

ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളിൽ ഷ്റോഡിംഗർ സമവാക്യത്തിന്റെ പ്രയോഗം ക്ലേശകരമാണ്: ഷ്രോഡിംഗർ സമവാക്യം ഒരു ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം കൃത്യമായി നിർധാരണം ചെയ്യാൻ കഴിയില്ല. ഏകദേശരീതികൾ ഉപയോഗിച്ച് ഈ ബുദ്ധിമുട്ട് മറികടക്കാൻ കഴിയും.ആധുനിക കമ്പ്യൂട്ടറുകളുടെ സഹായത്തോടെയുള്ള അത്തരം കണക്കുകൂട്ടലുകൾ കാണിക്കുന്നത്, മുകളിൽപ്പറഞ്ഞിരിക്കുന്ന ഹൈഡ്രജൻ ഓർബിറ്റലുകളിൽ നിന്ന് മറ്റ് ആറ്റങ്ങളിലെ ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് മൗലികമായ വ്യത്യാസങ്ങൾ ഇല്ല എന്നതാണ്.പ്രധാന വ്യത്യാസം വർധിച്ച ന്യൂക്ലിയർ ചാർജിന്റെ അനന്തരഫലങ്ങളാണ്. ഇതുകാരണം, എല്ലാ ഓർബിറ്റലുകളും കുറച്ച് ചുരുങ്ങിയിരിക്കുന്നു. കൂടാതെ, ഹൈഡ്രജന്റെയോ ഹൈഡ്രജൻ പോലെയുള്ള സ്പീഷീസിലെയോ ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം n എന്ന ക്വാണ്ടം സംഖ്യയെ മാത്രം ആശ്രയിച്ചിരിക്കുമ്പോൾ അതിൽ നിന്ന് വ്യത്യസ്തമായി, ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളിലെ ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം (ഉപവിഭാഗങ്ങൾ 2.6.3 ലും 2.6.4 ലും പറഞ്ഞിരിക്കുന്നതുപോലെ) n, l എന്നീ ക്വാണ്ടം സംഖ്യകളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും.

2.6.1 ഓർബിറ്റലുകളും ക്വാണ്ടം സംഖ്യകളും (Orbitals and quantum numbers)

ഒരാറ്റത്തിൽ അനേകം ഓർബിറ്റലുകൾസാധ്യമാണ്. ഈ ഓർബിറ്റലുകളെ അവയുടെ വലിപ്പം, രൂപം, അഭിവിന്യാസം എന്നിവയുടെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഗുണപരമായി വേർതിരിച്ചറിയാൻ കഴിയും. വലിപ്പം കുറഞ്ഞ ഓർബിറ്റലുകൾ ന്യൂക്ലിയസിന് സമീപം ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടുമുട്ടുന്നതിനുള്ള കൂടിയ സാധ്യതയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. അതുപോലെ തന്നെ ആകൃതിയും അഭിവിന്യാസവും (orientation) അർഥമാക്കുന്നത് ചില നിശ്ചിത ദിശകളിൽ ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടുമുട്ടുന്നതിനുള്ള സാധ്യത മറ്റുള്ളവയെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതലാണെന്നാണ്. ആറ്റോമികഓർബിറ്റലുകളെ ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ ഉപയോഗിച്ച് കൃത്യമായി തിരിച്ചറിയാൻ സാധിക്കുന്നു. ഓരോ ഓർബിറ്റലിനെയും n, l, m_l എന്ന മൂന്ന് ക്വാണ്ടം സംഖ്യകളാൽ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടംബലതന്ത്രമാതൃകയുടെ പ്രധാന സവിശേഷതകൾ

ഷ്രോഡിംഗർ സമവാക്യം ആറ്റങ്ങളിൽ പ്രയോഗിച്ചതിന്റെ ഫലമായി ഉരുത്തിരിഞ്ഞ ആറ്റം ഘടനയുടെ ചിത്രമാണ് ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടംബലതന്ത്രമാതൃക. ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രമാതൃകയുടെ പ്രധാന സവിശേഷതകൾ താഴെ കൊടുക്കുന്നു:

1. ആറ്റങ്ങളിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം ക്വാണ്ടീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു (അതായത്, ചില നിർദ്ദിഷ്ട മൂല്യങ്ങൾ മാത്രമാണ് സാധ്യമാകുന്നത്), പ്രത്യേകിച്ച് ആറ്റങ്ങളിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസുമായി ബന്ധിതമായിരിക്കുമ്പോൾ.
2. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ തരംഗസ്വഭാവത്തിൽ നിന്നാണ് ക്വാണ്ടീകരിച്ച ഇലക്ട്രോണിക ഊർജനിലകൾ ഉടലെടുത്തിരിക്കുന്നത്. അവ ഷ്റോഡിംഗർ തരംഗസമവാക്യത്തിന്റെ അനുവദനീയമായ നിർധാരണങ്ങളുമാണ്.
3. ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കൃത്യമായ സ്ഥാനവും കൃത്യമായ പ്രവേഗവും ഒരേസമയം നിർണയിക്കാനാവില്ല (ഹൈസൻബർഗ് അനിശ്ചിതത്വ സിദ്ധാന്തം). ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ പാത, ഒരിക്കലും കൃത്യമായി നിർണയിക്കാനോ കൃത്യമായി അറിയുവാനോ കഴിയില്ല. അതുകൊണ്ടാണ്, നിങ്ങൾ പിന്നീട് കാണും പോലെ, ഒരു ആറ്റത്തിലെ വിവിധ സ്ഥാനങ്ങളിൽ ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്തുന്നതിനുള്ള സംഭാവ്യതയെക്കുറിച്ചു മാത്രം പറയാൻ കഴിയുന്നത്.
4. ആറ്റോമികഓർബിറ്റൽ ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ψ എന്ന തരംഗഫലനമാണ്. ഒരു തരംഗ

ഫലനമുപയോഗിച്ച് ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ വിവരിക്കുമ്പോൾ, ഇലക്ട്രോൺ ആ ഓർബിറ്റലിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്നുവെന്ന് പറയാം. ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് ഇത്തരം നിരവധി തരംഗഫലനങ്ങൾ സാധ്യമാണെന്നതിനാൽ ഒരു ആറ്റത്തിന് നിരവധി ആറ്റോമികഓർബിറ്റലുകളും ഉണ്ടായിരിക്കും. ഇത്തരം 'ഏക ഇലക്ട്രോൺ ഓർബിറ്റൽ തരംഗ ഫലനങ്ങൾ' അല്ലെങ്കിൽ ഓർബിറ്റലുകൾ ആണ് ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക ഘടനയുടെ അടിസ്ഥാനം. ഓരോ ഓർബിറ്റലിലും, ഇലക്ട്രോണിന് ഒരു നിശ്ചിത ഊർജമുണ്ട്. ഒരു ഓർബിറ്റലിൽ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകളിൽ കൂടുതൽ ഉൾക്കൊള്ളാൻ കഴിയില്ല. ഒരു ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റത്തിൽ വിവിധ ഓർബിറ്റലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയുന്നത് അവയുടെ ഊർജം വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ചാണ്. അതായത് ഒരു ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റത്തിലെ ഓരോ ഇലക്ട്രോണിനും, അതുൾക്കൊള്ളുന്ന ഓർബിറ്റലിന്റെ സവിശേഷതകൾ ഉള്ള ഒരു ഓർബിറ്റൽ തരംഗഫലനമുണ്ടായിരിക്കും. ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിനെക്കുറിച്ചുള്ള എല്ലാ വിവരങ്ങളും അതിന്റെ ഓർബിറ്റൽ തരംഗഫലനം ψ യിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ഈ വിവരങ്ങൾ ലഭ്യമാകുന്നതു ക്വാണ്ടം ബലതന്ത്രത്തിന്റെ സഹായത്താലാണ്.

5. ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഒരു ബിന്ദുവിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടുമുട്ടുന്നതിനുള്ള സംഭാവ്യത, ഓർബിറ്റൽതരംഗ ഫലനത്തിന്റെ വർഗത്തിന് ആനുപാതികമാണ്. അതായത് $|\psi|^2$ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രത എന്നാണ് അറിയപ്പെടുന്നത്. ഇത് എപ്പോഴും പോസിറ്റീവ്ആയിരിക്കും. ഒരു ആറ്റത്തിനുള്ളിൽ വ്യത്യസ്തസ്ഥാനങ്ങളിലെ, $|\psi|^2$ മൂല്യത്തിൽനിന്ന് ന്യൂക്ലിയസിന് ചുറ്റും ഏറ്റവും കൂടുതലായി ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്താനാവുന്ന പ്രദേശം പ്രവചിക്കാൻ കഴിയുന്നു.

മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ 'n' പോസിറ്റീവ് പൂർണസംഖ്യകളാണ്. അതിന്റെ മൂല്യങ്ങളാണ് n = 1,2,3 ....

മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ ഓർബിറ്റലിന്റെ വലിപ്പവും വലിയൊരു പരിധി വരെ ഊർജവും നിശ്ചയിക്കുന്നു. ഹൈഡ്രജന്റെ ആറ്റത്തിലും ഹൈഡ്രജൻ പോലെയുള്ള സ്പീഷീസിലും (He^+, Li^{2+}, ... മുതലായവ) ഓർബിറ്റലിന്റെ ഊർജവും വലിപ്പവും 'n' -ന്റെ മൂല്യത്തെ മാത്രം ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ **ഷെല്ലിനെ** തിരിച്ചറിയുവാനും സഹായിക്കുന്നു. 'n' ന്റെ മൂല്യത്തിൽ വർധനവുണ്ടായാൽ, അനുവദനീയമായ ഓർബിറ്റലുകളുടെ എണ്ണവും വർധിക്കുന്നു. ഇത് n^2 ആയിരിക്കും. **ഒരു നിശ്ചിത 'n' മൂല്യമുള്ള എല്ലാ ഓർബിറ്റലുകളും ആറ്റത്തിന്റെ ഒരു ഷെല്ലിൽ ഉൾപ്പെടുന്നു.** ഷെല്ലുകളെ താഴെപ്പറയുന്ന അക്ഷരങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

n	= 1	2	3	4 ....
ഷെൽ	= K	L	M	N ....

മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ 'n' വർധിക്കുന്നതനുസരിച്ചു ഓർബിറ്റലുകളുടെ വലിപ്പവും വർധിക്കുന്നു. മറ്റൊരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് കൂടുതൽ അകലെയായിരിക്കും. പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഇലക്ട്രോണിനെ മാറ്റുന്നതിന് ഊർജം ആവശ്യമുള്ളതിനാൽ, 'n' വർധിക്കുന്നതനുസരിച്ചു ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജവും വർധിക്കുന്നു.

അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ '*l*', ഓർബിറ്റൽ കോണീയ ആക്കം അല്ലെങ്കിൽ **ഉപാംഗ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ** എന്നും അറിയപ്പെടുന്നു. ഇത് ഓർബിറ്റലിന്റെ ത്രിമാനാകൃതി സൂചിപ്പിക്കുന്നു. n ന്റെ ഒരു നിശ്ചിത മൂല്യത്തിന് *l* ന് സാധ്യമായ, മൂല്യങ്ങൾ *l* =0 മുതൽ n-1 വരെയാണ്. അതായത്, 'n' ന്റെ ഒരു വിലയ്ക്ക്, *l* ന്റെ മൂല്യങ്ങളാണ് *l* = 0, 1, 2, ...(n-1); ആകെ n മൂല്യങ്ങൾ

ഉദാഹരണമായി, n=1 ആകുമ്പോൾ, '*l*' ന്റെ മൂല്യം 0 മാത്രമാണ്. n=2 ആകുമ്പോൾ, '*l*' ന്റെ മൂല്യം 0, 1 എന്നിവയാണ്. n= 3 ആയാൽ, സാധ്യമായ '*l*' മൂല്യങ്ങൾ 0, 1, 2 എന്നിവയാണ്.

ഓരോ ഷെല്ലിലും ഒന്നോ അതിലധികമോ **ഉപഷെല്ലുകൾ അല്ലെങ്കിൽ ഉപനിലകൾ** അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ഒരു പ്രധാന ഷെല്ലിലെ ഉപഷെല്ലുകളുടെ എണ്ണം 'n' ന്റെ മൂല്യത്തിന് തുല്യമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന് ഒന്നാമത്തെ ഷെല്ലിൽ (n = 1), *l* = 0 എന്ന ഒരു ഉപഷെല്ലുണ്ട്. രണ്ടാം ഷെല്ലിൽ (n = 2) രണ്ട് ഉപഷെല്ലുകൾ ((*l* = 0, 1), മൂന്നാമത്തെ ഷെല്ലിൽ (n = 3) മൂന്ന് ഉപഷെല്ലുകൾ (*l* = 0, 1, 2) എന്നീ രീതിയിൽ തുടരുന്നു . ഓരോ ഉപഷെല്ലിനും ഒരു അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ(l) ഉണ്ടായിരിക്കും. '*l*' ന്റെ വ്യത്യസ്ത മൂല്യങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഉപഷെല്ലുകൾ താഴെ പറയുന്ന ചിഹ്നങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു.

'*l*'- ന്റെ മൂല്യം:	0	1	2	3	4	5 ....
ഉപഷെൽ ചിഹ്നങ്ങൾ :	s	p	d	f	g	h............

ഓരോ പ്രാഥമിക ക്വാണ്ടംസംഖ്യയ്ക്കും അനുവദനീമായ 'l' ന്റെ മൂല്യങ്ങളും അനുബന്ധ ഉപഷെൽ ചിഹ്നങ്ങളും പട്ടിക 2.4 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

പട്ടിക 2.4 ഉപഷെൽ ചിഹ്നങ്ങൾ

n	l	ഉപഷെൽ ചിഹ്നം
1	0	1*s*
2	0	2*s*
2	1	2*p*
3	0	3*s*
3	1	3*p*
3	2	3*d*
4	0	4*s*
4	1	4*p*
4	2	4*d*
4	3	4*f*

കാന്തിക ഓർബിറ്റൽ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ. 'm_l', **പ്രാമാണിക കോഓർഡിനേറ്റ് അക്ഷങ്ങൾ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള ഓർബിറ്റലിന്റെ ത്രിമാനാഭിവിന്യാസം സംബന്ധിച്ച വിവരങ്ങൾ നൽകുന്നു.** ഓരോ ഉപഷെല്ലിനും ('l' മൂല്യത്താൽ നിർവചിച്ചിരിക്കുന്ന) m_l ന് $(2l+1)$ മൂല്യങ്ങൾ സാധ്യമാണ്. അവയാണ് : $m_l = -l, -(l-1), -(l-2) \ldots 0, 1 \ldots (l-2), (l-1), l$. $l = 0$ ആയാൽ, അനുവദനീയമായ ഏക m_l മൂല്യമാണ് $m_l = 0$, [2 (0) +1 = 1, ഒരു s ഓർബിറ്റൽ]. $l = 1$ ആയാൽ, m_l മൂല്യങ്ങളാണ്, 1, 0, +1 എന്നിവ, [2 (1) +1 = 3, മൂന്ന് p ഓർബിറ്റലുകൾ]. $l = 2$, $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$, [2 (2) +1 = 5, അഞ്ച് d ഓർബിറ്റലുകൾ) m_l ന്റെ മൂല്യങ്ങൾ 'l'-ൽ നിന്നും അതുപോലെ 'l' ന്റെ മൂല്യം 'n' ൽ നിന്നും ലഭ്യമാകുന്നുവെന്നതും ശ്രദ്ധിക്കേണ്ടതാണ്. അതായത്, ആറ്റത്തിലെ ഓരോ ഓർബിറ്റലുകളെയും നിർവചിക്കുന്നത് n, l, m_l എന്നിവയുടെ മൂല്യങ്ങളുടെ ഗണമാണ്. ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ $n = 2, l = 1, m_l = 0$ എന്നിവ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് രണ്ടാം ഷെല്ലിലെ p ഉപഷെല്ലിലെ ഒരു ഓർബിറ്റലിനെയാണ്. താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പട്ടിക ഉപഷെല്ലും അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഓർബിറ്റലുകളും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം കാണിക്കുന്നു.

'l' മൂല്യം	0	1	2	3	4	5
ഉപഷെൽ പ്രതീകം	*s*	*p*	*d*	*f*	*g*	*h*
ഓർബിറ്റലുകളുടെ എണ്ണം	1	3	5	7	9	11

ഇലക്ട്രോൺ ചക്രണം 's': അറ്റോമികഓർബിറ്റലിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന മൂന്നു ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ അതിന്റെ ഊർജം, ആകൃതി, അഭിവിന്യാസം എന്നിവ നിർവചിക്കുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കാം. എന്നാൽ ഈ ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ ബഹു ഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളിൽ നിരീക്ഷിക്കപ്പെടുന്ന രേഖാസ്പെക്ട്രം വിശദീകരിക്കാൻ പര്യാപ്തമല്ല. അതായത്, ചില രേഖകൾ യഥാർഥത്തിൽ ദ്വികം (doublet) (ചേർന്നിരിക്കുന്ന രണ്ടുരേഖകൾ), ത്രികം (triplet) (ചേർന്നിരിക്കുന്ന മൂന്നുരേഖകൾ) എന്ന രീതിയിലാണ് കാണപ്പെടുന്നത്. മൂന്ന് ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ പ്രവചിക്കുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ ഊർജ നിലകൾ ഉള്ളതായി ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ഓർബിറ്റും, ഓർബിറ്റലും അവയുടെ പ്രാധാന്യവും

ഓർബിറ്റും ഓർബിറ്റലും പര്യായങ്ങളല്ല. ബോർ അവതരിപ്പിച്ച ഓർബിറ്റ് , ഒരു ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റും ഇലക്ട്രോൺ സഞ്ചരിക്കുന്ന വൃത്തപാതയാണ്. ഹൈസെൻബർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം അനുസരിച്ച് ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഈ പാത കൃത്യമായി പ്രവചിക്കാൻ സാധ്യമല്ല. അതുകൊണ്ടുതന്നെ ബോറിന്റെ ഓർബിറ്റുകൾക്ക് യഥാർഥത്തിൽ അർഥമില്ല. മാത്രമല്ല, അവയുടെ അസ്തിത്വം ഒരിക്കലും പരീക്ഷണത്തിലൂടെ തെളിയിക്കാനുമാകില്ല. അതേസമയം, ഒരു അറ്റോമികഓർബിറ്റൽ എന്നത്, ഒരു ക്വാണ്ടംബലതന്ത്ര ആശയമാണ്, ഇത് ഇലക്ട്രോൺ തരംഗഫലനം ψ യെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. മൂന്ന് ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ (n, l, m_l) ചേർന്നാണ് തരംഗഫലനം നിർണയിക്കുന്നത്. അതിന്റെ മൂല്യം ഇലക്ട്രോണിന്റെ കോർഡിനേറ്റുകളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ψ യ്ക്ക് ഭൗതികാർഥമൊന്നുമില്ല. എന്നാൽ തരംഗഫലനത്തിന്റെ വർഗമായ $|\psi|^2$ ഭൗതികാർഥമുള്ളതാണ്. അത് ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബിന്ദുവിലെ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയുടെ മൂല്യം നൽകുന്നു. യൂണിറ്റ് വ്യാപ്തത്തിലെ സാധ്യതയാണ് സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രത. $|\psi|^2$ -ന്റെയും ഒരു ചെറിയ വ്യാപ്താംശത്തിന്റെയും (volume element) ഗുണനഫലം ആ വ്യാപ്തത്തിൽ ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്തുന്നതിനുള്ള സാധ്യതയാണ് (ഒരു ചെറിയ വ്യാപ്തഘടകം എടുക്കുന്നതിനു കാരണം $|\psi|^2$ മൂല്യം ഓരോ ബിന്ദുവിലും വ്യത്യസ്തമാണ്. എന്നാൽ അതിന്റെ മൂല്യം ഒരു വ്യാപ്താംശത്തിൽ സ്ഥിരമാണെന്നു കണക്കാക്കാൻ കഴിയും).ഒരു നിശ്ചിതവ്യാപ്തത്തിൽ ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്തുന്നതിനുള്ള ആകെ സാധ്യത കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന് $|\psi|^2$ ന്റെയും അതാത് വ്യാപ്താംശങ്ങളുടെയും ഗുണനഫലങ്ങളുടെ ആകെത്തുക കണക്കാക്കുന്നു. ഇങ്ങനെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഒരു ഓർബിറ്റലിലെ സംഭാവ്യതാവിന്യാസം മനസിലാക്കാം.

1925 ൽ ജോർജ് ഉലെൻബെക്കിനും സാമുവൽ ഗൗഡ്മിറ്റും ചേർന്ന് **ഇലക്ട്രോൺചക്രണക്വാണ്ടം സംഖ്യ** (m_s)എന്ന നാലാമത്തെ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ അവതരിപ്പിച്ചു. സൂര്യനെ ചുറ്റി സഞ്ചരിക്കുന്നതോടൊപ്പം ഭൂമി അതിന്റെ സ്വന്തം അക്ഷത്തിൽ കറങ്ങുന്നതുപോലെ, ഒരു ഇലക്ട്രോൺ സ്വന്തം അച്ചുതണ്ടിൽ കറങ്ങുന്നു. മറ്റൊരു രീതിയിൽ പറഞ്ഞാൽ ചാർജ്, മാസ് എന്നിവയ്ക്ക് പുറമേ ഇലക്ട്രോണിന് ഒരു ആന്തരിക ചക്രണകോണീയക്വാണ്ടംസംഖ്യയും ഉണ്ട്. ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചക്രണകോണീയആക്കം ഒരു സദിശ അളവാണ്. ഇതിന് നിശ്ചിത അക്ഷത്തിനെ അടിസ്ഥാനമാക്കി രണ്ട് അഭിവിന്യാസങ്ങൾ ഉണ്ടായിരിക്കും. ഈ രണ്ട് അഭിവിന്യാസങ്ങളും ചക്രണക്വാണ്ടം സംഖ്യകളാൽ (m_s) വേർതിരിച്ചറിയാം. ഇവയ്ക്ക് +½ അല്ലെങ്കിൽ -½ മൂല്യങ്ങൾ ആകാം. ഇവയെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ രണ്ട് ചക്രണഅവസ്ഥകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്നു, സാധാരണയായി രണ്ട് അമ്പടയാളങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചാണ് അവയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നത്: ↑ (spin up), ↓ (spin down). രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് വ്യത്യസ്ത m_s മൂല്യങ്ങൾ (ഒന്ന് +½ ഉം മറ്റേത് -½ ഉം) ആണെങ്കിൽ അവയ്ക്ക് വിജാതീയ ചക്രണങ്ങൾ ഉണ്ട് എന്ന് പറയുന്നു. രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകളിൽ കൂടുതൽ ഉൾക്കൊള്ളുവാൻ ഒരു ഓർബിറ്റലിനു സാധ്യമല്ല, ഈ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് വിജാതീയചക്രണങ്ങളായിരിക്കണം.

ചുരുക്കത്തിൽ, നാല് ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ താഴെ പറയുന്ന വിവരങ്ങൾ നൽകുന്നു.

i) 'n' ഷെല്ലിനെ നിർവചിക്കുന്നു, ഓർബിറ്റലിന്റെ വലിപ്പവും വലിയൊരു പരിധി വരെ ഓർബിറ്റലിന്റെ ഊർജവും നിശ്ചയിക്കുന്നു,

ii) 'n' എന്ന ഷെല്ലിൽ 'n' ഉപഷെല്ലുകൾ ഉണ്ട്. 'l' ഉപഷെല്ലുകളെ തിരിച്ചറിയുകയും ഓർബിറ്റലിന്റെ ആകൃതി നിർണയിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു (വിഭാഗം 2.6.2 കാണുക). ഒരു ഉപഷെല്ലിൽ ($2l + 1$) ഓർബിറ്റലുകൾ ഉണ്ട്. അതായത്, ഒരു s ഓർബിറ്റൽ ($l = 0$), മൂന്ന് p ഓർബിറ്റലുകൾ ($l = 1$), അഞ്ച് d-ഓർബിറ്റലുകൾ ($l = 2$) എന്നിവ. ഒരു ബഹു ഇലക്ട്രോൺ ആറ്റത്തിലെ ഓർബിറ്റലിന്റെ ഊർജവും ഒരുപരിധിവരെ l നിർണയിക്കുന്നു.

iii) m_l ഓർബിറ്റലിന്റെ അഭിവിന്യാസത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഓരോ l മൂല്യവുമായി ബന്ധപ്പെട്ട് m_l ന് ($2l+1$) മൂല്യങ്ങളുണ്ട്. ഒരു ഉപഷെല്ലിലെ ഓർബിറ്റലുകളുടെ എണ്ണവും ഇതിന് തുല്യമാണ്. അതായത് ഓർബിറ്റലുകളുടെ എണ്ണവും അവ എത്ര ദിശകളിൽ അഭിവിന്യസിക്കുന്നു എന്നുള്ളതും തുല്യമാണ്.

iv) m_s ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചക്രണദിശയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

പ്രശ്നം 2.17

മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ $n=3$ ആയാൽ സാധ്യമായ ഓർബിറ്റലുകളുടെ ആകെ എണ്ണം എത്രയാണ്?

ഉത്തരം

$n = 3$ ആയതിനാൽ, l ന്റെ സാധ്യമായ മൂല്യങ്ങൾ 0, 1, 2 എന്നിവയാണ്. അതായത് ഒരു 3s ഓർബിറ്റൽ ($n = 3, l = 0, m_l = 0$). മൂന്ന് 3p ഓർബിറ്റലുകൾ ($n = 3, l = 1, m_l = -1, 0, +1$); അഞ്ച് 3d ഓർബിറ്റലുകൾ ($n = 3, l = 2, m_l = -2, -1, 0, +1+, +2$) എന്നിവ. അതിനാൽ, ഓർബിറ്റലുകളുടെ ആകെ എണ്ണം, 1 + 3 + 5 = 9 ആണ്. ഓർബിറ്റലുകളുടെ എണ്ണം കാണുന്നതിനുള്ള സൂത്രവാക്യമാണ് = n^2, അതായത് $3^2 = 9$.

പ്രശ്നം 2.18

s, p, d, f ചിഹ്നങ്ങളുപയോഗിച്ച് ചുവടെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ സൂചിപ്പിക്കുന്ന ഓർബിറ്റലുകൾ കണ്ടെത്തുക.

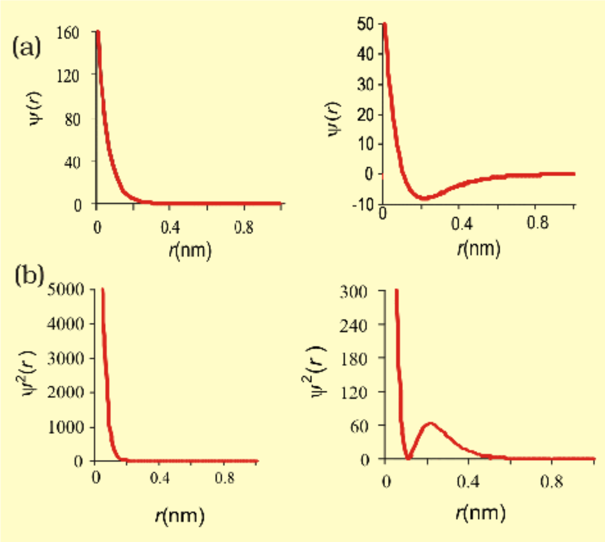
(a) $n = 2, l = 1$, (b) $n = 4, l = 0$, (c) $n = 5, l = 3$, (d) $n = 3, l = 2$

ഉത്തരം

	n	l	ഓർബിറ്റൽ
a)	2	1	$2p$
b)	4	0	$4s$
c)	5	3	$5f$
d)	3	2	$3d$

2.6.2 അറ്റോമികഓർബിറ്റലുകളുടെ ആകൃതികൾ (Shapes of Atomic Orbitals)

ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ തരംഗഫലനത്തിനു (wave function) (ψ) ഭൗതികമായ അർഥമൊന്നും തന്നെയില്ല. അത് ഇലക്ട്രോൺ കോഓർഡിനേറ്റുകളെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന ഗണിതഫലനം മാത്രമാണ്. എന്നാൽ വിവിധ ഓർബിറ്റലുകളുടെ തരംഗഫലനങ്ങൾ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്നുള്ള അകലത്തെ (r) അടിസ്ഥാനമാക്കി വരയ്ക്കുന്ന ഗ്രാഫുകളെല്ലാം വ്യത്യസ്തമാണ്. 1s ($n = 1, l = 0$) , 2s ($n = 2, l = 0$) എന്നി ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഇത്തരത്തിലുള്ള രൂപരേഖ ചിത്രം 2.12(a) യിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു .

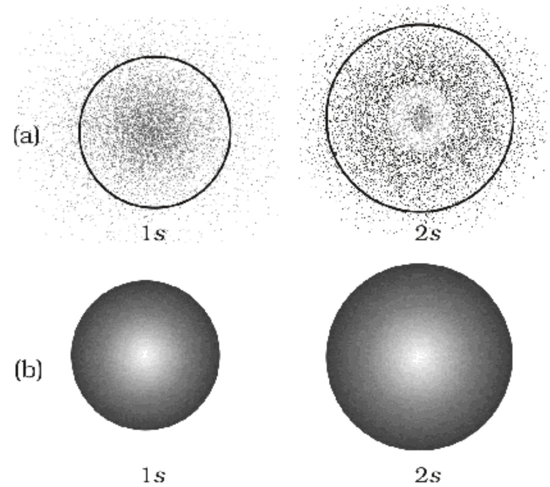


ചിത്രം 2.1.2.(a) ഓർബിറ്റൽ തരംഗഫലന ഗ്രാഫ് *(b) 1s, 2s* എന്നീ ഓർബിറ്റലുകളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയിലുള്ള വ്യതിയാനവും ന്യൂക്ളിയസിൽ നിന്നുള്ള അകലവും തമ്മിലുള്ള ഗ്രാഫുകൾ

ജർമൻ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ മാക്സ് ബോണിന്റെ അഭിപ്രായത്തിൽ ഏതൊരു ബിന്ദുവിലുമുള്ള തരംഗ ഫലനത്തിന്റെ വർഗം (ψ^2) ആ ബിന്ദുവിലെ ഇലക്ട്രോൺ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രത നൽകുന്നു. 1s, 2s എന്നീ ഓർബിറ്റലുകളുടെ 'r' അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള (ψ^2) ന്റെ വിചരണ (variation) മാണ് ചിത്രം 2.1.2(b) ൽ നൽകിയിരിക്കുന്നത്. ഇവിടെയും 1s, 2s ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഗ്രാഫുകൾ വ്യത്യസ്തമാണെന്ന് മനസിലാക്കാം.

1s ഓർബിറ്റലിന് ഏറ്റവും ഉയർന്ന സംഭാവ്യതാ സാന്ദ്രത ന്യൂക്ലിയസിലാണെന്നും ന്യൂക്ലിയസ്സിൽ നിന്ന് അകലേക്ക് പോകുംതോറും അത് ഗണ്യമായി കുറയുന്നു എന്നും ഗ്രാഫിൽ നിന്ന് മനസിലാക്കാം. അതേ സമയം 2s ഓർബിറ്റലിന്റെ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രത തുടക്കത്തിൽ ഗണ്യമായി കുറഞ്ഞ് പൂജ്യമാകുകയും അതിനുശേഷം വർധിച്ച് ചെറിയൊരു ഉയർച്ചയിലെത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. r മൂല്യം വീണ്ടും വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് ഇത് പൂജ്യത്തിലേക്ക് എത്തിച്ചേരുന്നു. സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാഫലനം പൂജ്യമായിത്തീരുന്ന മേഖലകളെ **നോഡൽ** ഉപരിതലങ്ങൾ അല്ലെങ്കിൽ നോഡുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്നു. n ഓർബിറ്റലിന് (n-1) **നോഡുകൾ** ഉണ്ടായിരിക്കും. മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയായ 'n' ന്റെ മൂല്യം കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് നോഡിന്റെ എണ്ണവും കൂടുന്നു. അതായത്, 2s ഓർബിറ്റലിന് ഒന്ന്, 3s ഓർബിറ്റലിന് രണ്ട് എന്ന ക്രമത്തിൽ നോഡുകളുടെ എണ്ണം വർധിക്കുന്നു.

ഈ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാവ്യതിയാനങ്ങളെ മേഘ ചാർജ് രേഖാചിത്രങ്ങളായി നോക്കിക്കാണാം; ചിത്രം 2.13. (a). ഈ രേഖാചിത്രങ്ങളിൽ ഓരോ മേഖലയിലുമുള്ള ബിന്ദുക്കളുടെ സാന്ദ്രത ആ മേഖലയിലുള്ള ഇലക്ട്രോണിന്റെ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.



ചിത്രം 2.13. (a) *1s, 2s* ഓർബിറ്റലുകളുടെ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാചിത്രം. ബിന്ദുക്കളുടെ സാന്ദ്രത ആ മണ്ഡലത്തിൽ കാണാനുള്ള സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു.

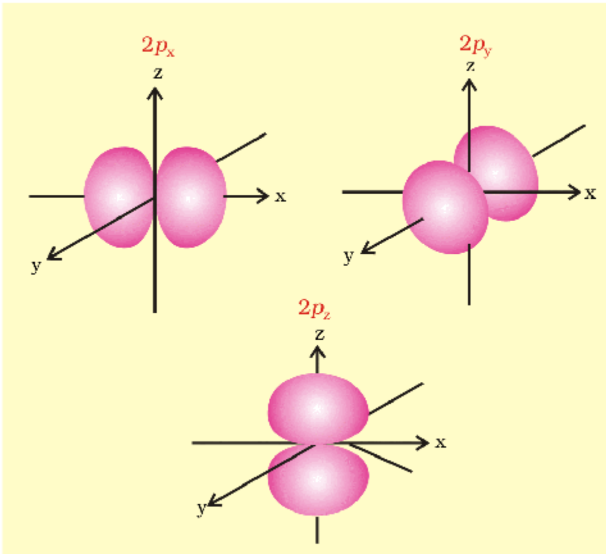
(b) 1s, 2s എന്നീ ഓർബിറ്റലുകളുടെ അതിർത്തിപ്രതല (*boundary surface*) ചിത്രം

വ്യത്യസ്ത ഓർബിറ്റലുകളുടെ ആകൃതിയുടെ ഒരു ഭേദപ്പെട്ട ചിത്രം അവയുടെ സ്ഥിരമൂല്യമുള്ള സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയുടെ **അതിർത്തിപ്രതലരേഖാചിത്രങ്ങളിൽ** നിന്ന് ലഭിക്കും. ഈ ചിത്രങ്ങളിൽ, ഒരു ഓർബിറ്റലിന്റെ അതിർത്തിപ്രതലം അല്ലെങ്കിൽ ബാഹ്യപ്രതലം (contour surface) വരയ്ക്കുന്നത് ത്രിമാനതലത്തിലെ സ്ഥിരമായ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാമൂല്യം ψ^2 ഉപയോഗിച്ചാണ്. ഒരു പ്രത്യേക പ്രതലത്തിൽ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രത $|\psi|^2$ സ്ഥിരമൂല്യമുള്ളതാണെങ്കിൽ $|\psi|$ ഉം സ്ഥിരമൂല്യമുള്ളതായിരിക്കും. $|\psi|^2$, $|\psi|$ എന്നിവയുടെ അതിർത്തിപ്രതലം സമാനമായിരിക്കും. തത്വത്തിൽ ഇത്തരം നിരവധി അതിർത്തിപ്രതലങ്ങൾ വരയ്ക്കാവുന്നതാണ്. എന്നിരുന്നാലും, ഒരു പ്രത്യേക ഓർബിറ്റലിന്, സ്ഥിരമൂല്യമുള്ള സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയുടെ അതിർത്തിചിത്രം മാത്രമേ ഓർബിറ്റലിന്റെ ആകൃതി ശരിയായി പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നതായി കണക്കാക്കാറുള്ളൂ. ഇലക്ട്രോൺ കാണപ്പെടാൻ ഉയർന്ന സംഭാവ്യതയുള്ള (ഉദാ: 90%) ഒരു മണ്ഡലം അഥവാ വ്യാപ്തം അതിൽ ഉൾപ്പെട്ടിരിക്കണം. ചിത്രം 2.13 (b) 1s, 2s ഓർബിറ്റലുകളുടെ അതിർത്തിപ്രതലചിത്രം തന്നിരിക്കുന്നു.

ഇപ്പോൾ ഉന്നയിച്ചേക്കാവുന്ന ഒരു ചോദ്യമുണ്ട്. ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്താനുള്ള സംഭാവ്യത 100% ആയിരിക്കുന്ന ഒരു രേഖാചിത്രം വരയ്ക്കാൻ നമുക്ക് സാധിക്കുമോ? ഈ ചോദ്യത്തിനുള്ള ഉത്തരം: ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് ഏത് നിശ്ചിതഅകലത്തിലും സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതയ്ക്ക് $|\psi|^2$ എല്ലായ്പ്പോഴും ഒരു മൂല്യം, അത് എത്ര ചെറുതായിരുന്നാലും ഉണ്ടായിരിക്കും. അതിനാൽ, ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്തുന്നതിനുള്ള സംഭാവ്യത 100% ആയ, ഒരു സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാചിത്രം വരക്കാൻ സാധ്യമല്ല. ഒരു s-ഓർബിറ്റലിന്റെ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാചിത്രം യഥാർഥത്തിൽ ന്യൂക്ലിയസ് കേന്ദ്രമായുള്ള ഒരു ഗോളമാണ്. ദ്വിമാനതലത്തിൽ ഈ ഗോളം ഒരു വൃത്തം പോലെ തോന്നും. ഇതുൾക്കൊള്ളുന്ന വ്യാപ്തത്തിൽ ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടെത്തുന്നതിന്റെ സംഭാവ്യത ഏതാണ്ട് 90% ആണ്.

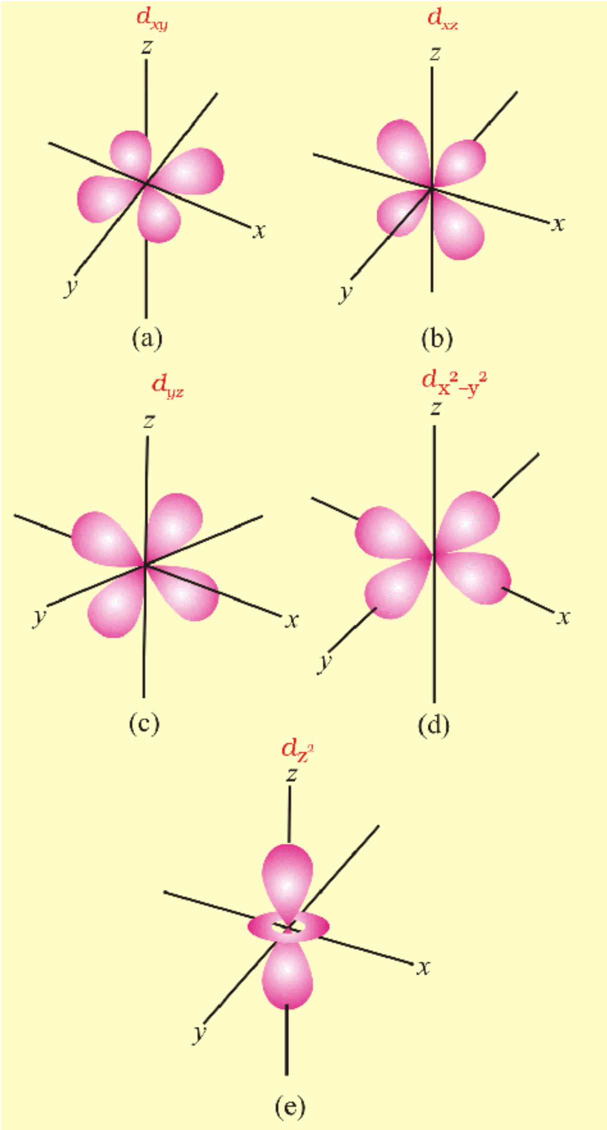
അതുകൊണ്ട് 1s, 2s എന്നീ ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് ഗോളാകൃതിയാണെന്ന് നമുക്ക് കാണാൻ സാധിക്കും. യഥാർഥത്തിൽ എല്ലാ s ഓർബിറ്റലുകളും ഗോളീയ സമമിതിയുള്ളവയാണ്. അതായത് ഒരു നിശ്ചിത അകലത്തിൽ ഇലക്ട്രോണിനെ കണ്ടുമുട്ടുന്നതിനുള്ള സംഭാവ്യത എല്ലാ ദിശകളിലും തുല്യമാണ്. മാത്രമല്ല 'n' കൂടുന്നതിനനുസരിച്ച് 's' ഓർബിറ്റലിന്റെ വലിപ്പവും കൂടുന്നു. അതായത് 4s>3s>2s>1s. മുഖ്യക്വാണ്ടം സംഖ്യ വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് ഇലക്ട്രോണും ന്യൂക്ലിയസ്സും തമ്മിലുള്ള അകലവും കൂടുന്നു.

മൂന്ന് 2p ഓർബിറ്റലുകളുടെയും (l = 1) അതിർത്തിപ്രതല ചിത്രങ്ങൾ ചിത്രം 2.14 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ രേഖാചിത്രങ്ങളിൽ, ന്യൂക്ലിയസ് കേന്ദ്രസ്ഥാനത്താണ്. ഇവിടെ s ഓർബിറ്റലുകളിൽ നിന്ന് വ്യത്യസ്തമായി, അതിർത്തിപ്രതലചിത്രങ്ങൾ ഗോളീയമല്ല. പകരം, ഓരോ p ഓർബിറ്റലിലും ലോബുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്ന രണ്ട് ഭാഗങ്ങൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്നു; അവ ന്യൂക്ലിയസിൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്ന ഒരു തലത്തിന്റെ ഇരുവശങ്ങളിലുമായി സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. രണ്ട് ലോബുകളും പരസ്പരം സ്പർശിക്കുന്ന തലത്തിൽ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാഫലനം പൂജ്യമാണ്. മൂന്ന് ഓർബിറ്റലുകളുടെയും വലിപ്പവും ആകൃതിയും ഊർജവും ഒരേ തരത്തിലുള്ളവയാണ്. എന്നാൽ ലോബുകളുടെ അഭിവിന്യാസത്തിൽ അവ വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഈ ലോബുകൾ x, y അല്ലെങ്കിൽ z അക്ഷങ്ങളിൽ കിടക്കുന്നതായി കണക്കാക്കപ്പെടുന്നതിനാൽ അവയ്ക്ക് $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$ എന്നീ പേരുകൾ നൽകിയിരിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും, m_l (-1, 0, +1) മൂല്യങ്ങളും x, y, z എന്നീ ദിശകളും തമ്മിൽ ലളിതമായ ഒരു ബന്ധവുമില്ലെന്ന് മനസിലാക്കേണ്ടതുണ്ട്. അടിസ്ഥാനപരമായി, m_l ന് സാധ്യമായ മൂന്ന് മൂല്യങ്ങൾ ഉള്ളതിനാൽ, അക്ഷങ്ങൾ പരസ്പരം ലംബമായി നിൽക്കുന്ന മൂന്ന് p ഓർബിറ്റലുകൾ ഉണ്ട് എന്ന് മനസിലാക്കാം. മുഖ്യ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച്, s ഓർബിറ്റലിനെ പോലെ, p-ഓർബിറ്റലുകളുടെയും വലിപ്പവും ഊർജവും വർധിക്കുന്നു. അതിനാൽ, വിവിധ p-ഓർബിലറ്റലുകളുടെ ഊർജവും വലിപ്പവും വർധിക്കുന്ന ക്രമം 4p>3p>2p എന്നിങ്ങനെയാണ്. കൂടാതെ, s ഓർബിറ്റലുകളെപ്പോലെ p-ഓർബിറ്റലിനുമുള്ള സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാഫലകങ്ങൾ ന്യൂക്ലിയസ്സിൽ നിന്നുള്ള അകലം കൂടും തോറും പൂജ്യത്തിൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്നു. മാത്രമല്ല ന്യൂക്ലിയസിലും ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് അനന്തമായ ദൂരത്തിലും അത് പൂജ്യമായിരിക്കും. നോഡുകളുടെ എണ്ണം n-2 ആയിരിക്കും, അതായത് റേഡിയൽനോഡുകളുടെ എണ്ണം 3p ഓർബിറ്റലിന് ഒന്ന് 4p ഓർബിറ്റലിന് രണ്ട്, എന്നിങ്ങനെയായിരിക്കും.



ചിത്രം 2.14 മൂന്ന് 2p ഓർബിറ്റലുകളുടെ അതിർത്തിപ്രതല രേഖാചിത്രങ്ങൾ

l=2 ആയാൽ, ഓർബിറ്റൽ, d ഓർബിറ്റൽ എന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു, കൂടാതെ ഇവിടെ മുഖ്യക്വാണ്ടം സംഖ്യയുടെ (n) ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ മൂല്യം 3 ആയിരിക്കും. എന്തുകൊണ്ടെന്നാൽ 'l'-ന്റെ മൂല്യം (n-1) ൽ കൂടാൻ പാടില്ല. l=2 ആയാൽ അഞ്ച് m_l മൂല്യങ്ങൾ (–2, –1, 0, +1, +2) ഉണ്ടായിരിക്കും. അതിനാൽ അഞ്ച് d ഓർബിറ്റലുകളും ഉണ്ട്. 'd'–ഓർബിറ്റലുകളുടെ അതിർത്തിപ്രതല രേഖാചിത്രങ്ങൾ ചിത്രം 2.15 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.



ചിത്രം 2.15 അഞ്ച് 3d- ഓർബിറ്റലുകളുടെ അതിർത്തിപ്രതല രേഖാചിത്രങ്ങൾ

അഞ്ച് d ഓർബിറ്റലുകളെയും സൂചിപ്പിക്കുന്നത് d_{xy}, d_{yz}, d_{xz}, $d_{x^2-y^2}$, d_{z^2} എന്നിങ്ങനെയാണ്. ആദ്യ നാല് d ഓർബിറ്റലുകളുടെ ആകൃതികൾ സമാനമാണ്. അഞ്ചാമത്തെ d ഓർബിറ്റലായ d_{z^2} മറ്റുള്ളവയിൽ നിന്ന് വ്യത്യസ്തമാണ്. എന്നാൽ അഞ്ച് d ഓർബിറ്റലുകളുടെയും ഊർജം തുല്യമാണ്. മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയുടെ മൂല്യം 3-നെക്കാൾ കൂടുതലായ (4d, 5d ...) ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് 3d ഓർബിറ്റലിനു സമാനമായ ആകൃതി ആണെങ്കിലും ഊർജത്തിലും വലിപ്പത്തിലും വ്യത്യാസമുണ്ട്.

റേഡിയൽ നോഡുകൾക്കു പുറമേ (അതായത് സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാഫലനം പൂജ്യമായത്), np, nd എന്നീ ഓർബിറ്റലുകളുടെ സംഭാവ്യതാസാന്ദ്രതാഫലനങ്ങൾ, ന്യൂക്ലിയസിൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്ന തലങ്ങളിൽ പൂജ്യമാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്, p_z ഓർബിറ്റലിന്റെ കാര്യത്തിൽ, xy-തലം ഒരു നോഡൽ തലം ആണ്. d_{xy} ഓർബിറ്റലിന്റെ കാര്യത്തിൽ ന്യൂക്ലിയസിൽ കൂടി കടന്നു പോകുന്നതും അക്ഷം അടങ്ങുന്ന xy തലത്തിനെ രണ്ടായി ഛേദിക്കുന്നതുമായ രണ്ട് നോഡൽ തലങ്ങളുണ്ട്. അവയെ കോണീയനോഡുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്നു , അവയുടെ എണ്ണം 'l' ന് തുല്യമാണ്. അതായത്, 'p' ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് ഒരു കോണീയ നോഡ്, 'd' ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് **രണ്ട് കോണീയ നോഡുകൾ എന്ന ക്രമത്തിൽ തുടരുന്നു. നോഡുകളുടെ ആകെ എണ്ണം (n-1) ആണ്. ഇത്, 'l' കോണീയ നോഡുകളുടെയും (n - l - 1) റേഡിയൽ നോഡുകളുടെയും തുകയാണ്.**

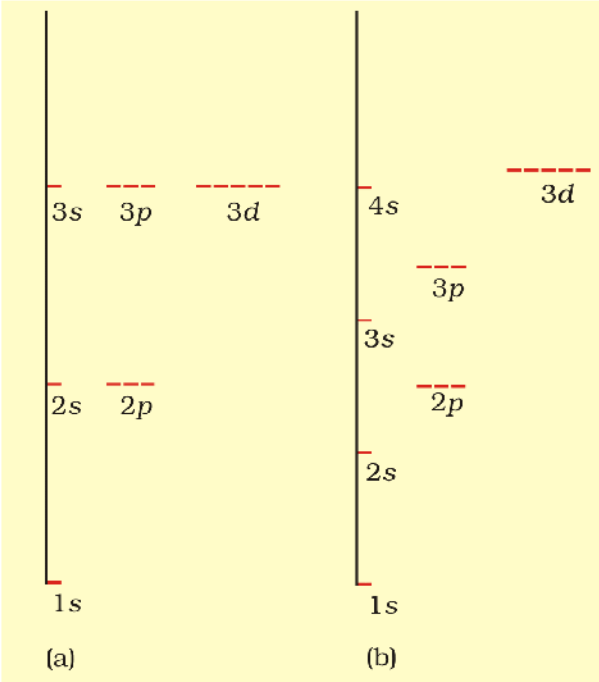
2.6.3 ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം

ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയെ മാത്രം ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം വർധിക്കുന്ന ക്രമമാണ് തുടർന്ന് നൽകിയിരിക്കുന്നത്.

$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \quad (2.23)$$

ഇതിന്റെ ചിത്രീകരണം ചിത്രം 2.16 കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. 2s, 2p ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് ആകൃതികൾ വ്യത്യസ്തമാണെങ്കിലും 2s ഓർബിറ്റലിലും 2p ഓർബിറ്റലിലും ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് ഒരേ ഊർജമാണ്. ഒരേ ഊർജം ഉള്ള ഓർബിറ്റലുകളെ **സമോർജഓർബിറ്റലുകൾ** (degenerate orbitals) എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ 1s ഓർബിറ്റൽ, നേരത്തെ പറഞ്ഞതു പോലെ, ഏറ്റവും സ്ഥിരതയുള്ള അവസ്ഥയാണ്. ഇത് **നിമ്നോർജാവസ്ഥ** എന്നറിയപ്പെടുന്നു. കൂടാതെ ഈ ഓർബിറ്റലിലുള്ള ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിനോട് ഏറ്റവും ശക്തമായി ബന്ധിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ 2s, 2p അല്ലെങ്കിൽ അതിനേക്കാൾ ഊർജം കൂടിയ ഓർബിറ്റലുകളിൽ ഇലക്ട്രോൺ **ഉത്തേജിതാവസ്ഥ**യിലാണ്.

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിൽ നിന്ന് വിഭിന്നമായി ഒരു ബഹു ഇലക്ട്രോൺ ആറ്റത്തിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയെ (ഷെൽ) മാത്രമല്ല അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയെയും (ഉപഷെൽ) ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. അതായത്, ഒരു നിശ്ചിതമുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യക്ക്, s, p, d, f ... തുടങ്ങി എല്ലാത്തിനും വ്യത്യസ്ത ഊർജമാണ്. ഒരു നിശ്ചിത മുഖ്യ ക്വാണ്ടം



ചിത്രം 2.16 (a) ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെയും (b) ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളിലെയും ചില ഇലക്ട്രോണിക് ഷെല്ലുകളുടെ ഊർജ്ജ നിലാരേഖാചിത്രങ്ങൾ. ഒരേ മുഖ്യ ക്വാണ്ടം സംഖ്യാ മൂല്യമുള്ള ഓർബിറ്റലുകൾക്ക്, വ്യത്യസ്ത അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടം സംഖ്യയാണെങ്കിൽ പോലും ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിൽ ഒരേ ഊർജം ആയിരിക്കും. ഒന്നിലധികം ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉള്ള ആറ്റങ്ങളിൽ, ഒരേ മുഖ്യ ക്വാണ്ടം സംഖ്യാ മൂല്യമുള്ള ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ വ്യത്യസ്തമാണെങ്കിൽ ഊർജവും വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും.

സംഖ്യയ്ക്ക് ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം വർധിക്കുന്ന ക്രമമാണ് s < p < d < f ഉയർന്ന ഊർജനിലകളിൽ ഈ വ്യതിയാനം ശ്രദ്ധേയമായ അളവിൽ പ്രകടമാണ് അതിനാൽ ഓർബിറ്റൽ ഊർജത്തിൽ ചാഞ്ചാട്ടമുണ്ടാകുന്നു. ഉദാഹരണമായി 4s < 3d, 6s < 5d, 4f < 6p. ഉപഷെല്ലുകൾക്ക് വ്യത്യസ്ത ഊർജം ഉണ്ടാകാനുള്ള പ്രധാന കാരണം ബഹു ഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ പരസ്പരം വികർഷിക്കുന്നതാണ്. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഏക വൈദ്യുതപാരസ്പര്യം ഋണ ഇലക്ട്രോൺ, ധന ന്യൂക്ലിയസ് എന്നിവ തമ്മിലുള്ള ആകർഷണം മാത്രമാണ്. ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളിൽ ഇലക്ട്രോണും ന്യൂക്ലിയസും തമ്മിലുള്ള ആകർഷണം കൂടാതെ ഓരോ ഇലക്ട്രോണും മറ്റ് ഇലക്ട്രോണുകളും തമ്മിലുള്ള വികർഷണവും ഉണ്ട്. ഇങ്ങനെ ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റത്തിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥിരതയ്ക്ക് കാരണം, മൊത്തത്തിലുള്ള ആകർഷണ പാരസ്പര്യം വികർഷണപാരസ്പര്യത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്നതാണ്. സാധാരണയായി, ബാഹ്യ ഷെല്ലിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ആന്തരികഷെല്ലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുമായുള്ള വികർഷണപാരസ്പര്യം കൂടുതൽ പ്രാധാന്യം അർഹിക്കുന്നു. നേരെമറിച്ച്, ന്യൂക്ലിയസിലുള്ള പോസിറ്റീവ് ചാർജിന്റെ (Ze) വർധനവിനനുസരിച്ച് ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആകർഷണ പാരസ്പര്യം കൂടുന്നു. ആന്തരികഷെല്ലുകളിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ സാന്നിധ്യം മൂലം ബാഹ്യഷെല്ലിലെ ഇലക്ട്രോണിനുമേൽ ന്യൂക്ലിയസിലുള്ള മുഴുവൻ പോസിറ്റീവ് ചാർജിന്റെയും പ്രഭാവം ഉണ്ടായിരിക്കില്ല. ആന്തരിക ഷെൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസിലെ പോസിറ്റീവ് ചാർജിനെ ഭാഗികമായി മറയ്ക്കുന്നത് കാരണം ഈ പ്രഭാവം കുറയുന്നു. **ബാഹ്യ ഷെൽ ഇലക്ട്രോണുകളെ ന്യൂക്ലിയസ്സിൽ നിന്ന് ആന്തരിക ഇലക്ട്രോണുകൾ മറയ്ക്കുന്നതിനെ പരിരക്ഷണപ്രഭാവം (sheilding effect) എന്നറിയപ്പെടുന്നു.** ബാഹ്യ ഇലക്ട്രോണുകളിൽ അനുഭവപ്പെടുന്ന പരിണത പോസിറ്റീവ് ചാർജ് **സഫലന്യൂക്ലിയർ ചാർജ് (effective nuclear charge - $Z_{eff}e$)** എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ആന്തരിക ഷെൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് ബാഹ്യ ഇലക്ട്രോണുകളെ മറയ്ക്കുന്നുണ്ടെങ്കിലും ബാഹ്യ ഷെൽ ഇലക്ട്രോണുകളിലുള്ള ആകർഷണ ബലം ന്യൂക്ലിയർചാർജ് വർധനവിനനുസരിച്ച് വർധിക്കുന്നു. മറ്റൊരു തരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, അറ്റോമിക സംഖ്യ (Z) യുടെ വർധനവിനനുസരിച്ച് ന്യൂക്ലിയസും ഇലക്ട്രോണും തമ്മിലുള്ള ഊർജപാരസ്പര്യം (അതായത് ഓർബിറ്റൽ ഊർജം) കുറയുന്നു (കൂടുതൽ ഋണമാകുന്നു).

ആകർഷകവും വികർഷകവുമായ പാരസ്പര്യങ്ങൾ ഇലക്ട്രോണിൽ കാണപ്പെടുന്ന ഷെല്ലിനേയും ഓർബിറ്റലിന്റെ ആകൃതിയെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, എല്ലാ ഓർബിറ്റലുകളും ഒരേ ഷെല്ലിലാണെങ്കിലും. ഗോളാകൃതിയിലുള്ള s ഓർബിറ്റലിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ, p-ഓർബിറ്റലിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതൽ ഫലപ്രദമായി ബാഹ്യഇലക്ട്രോണുകളെ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് മറയ്ക്കുന്നു. അതുപോലെ p- ഓർബിറ്റലിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ d ഓർബിറ്റലിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതൽ ഫലപ്രദമായി ബാഹ്യ ഇലക്ട്രോണുകളെ ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് മറയ്ക്കുന്നു. ഒരു ഷെല്ലിനുള്ളിൽ, ഓർബിറ്റലിന്റെ ഗോളാകൃതിമൂലം s-ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോൺ p–ഓർബിറ്റൽ ഇലക്ട്രോണുകളേക്കാൾ കൂടുതൽ സമയം ന്യൂക്ലിയസിനടുത്ത് ചെലവഴിക്കുന്നു. അതുപോലെ d-ഓർബിറ്റൽ ഇലക്ട്രോണുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ p ഓർബിറ്റൽ ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിന്റെ സമീപത്ത് കൂടുതൽ സമയം ചെലവഴിക്കുന്നു. ഒരു നിശ്ചിത ഷെല്ലിൽ (മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ), അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ (*l*) വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് ഇലക്ട്രോണിന് അനുഭവ

പ്പെടുന്ന Z_{eff} കുറയുന്നു. അതായത് s–ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോൺ p-ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണിനേക്കാളും അതുപോലെ p ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോൺ, d –ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണിനേക്കാളും ന്യൂക്ലിയസിലേക്ക് കൂടുതൽ ദൃഢമായി ബന്ധിപ്പിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. s–ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം p-ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണിനെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതൽ ഋണമായിരിക്കും (കുറവായിരിക്കും). p- ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജം d-ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജത്തേക്കാൾ കുറവായിരിക്കും. ഈ രീതി തുടർന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. വിവിധ ഓർബിറ്റലുകളിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്നുള്ള മറയ്ക്കലിന്റെ പരിധി വ്യത്യസ്തമായതുകൊണ്ട്, ഒരേ ഷെല്ലിലെ (അഥവാ ഒരേ മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ) ഊർജനിലകളിൽ ഭിന്നിപ്പ് ഉണ്ടാകുന്നു. അതായത്, മുമ്പ് പരാമർശിച്ചതുപോലെ, ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം, 'n' ന്റെയും '*l*' ന്റെയും മൂല്യങ്ങളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഗണിതപരമായി, ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജത്തിന് n, *l* എന്നിവയുമായുള്ള ആശ്രിതത്വം വളരെ സങ്കീർണമാണ്, എന്നാൽ **ലളിതമായ ഒരു നിയമമനുസരിച്ച്, കുറഞ്ഞ (n + *l*) മൂല്യം ഉള്ള ഓർബിറ്റലിന് ഊർജവും കുറവായിരിക്കും. രണ്ട് ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് ഒരേ (n + *l*) മൂല്യം ആണെങ്കിൽ, 'n' ന്റെ മൂല്യം കുറഞ്ഞ ഓർബിറ്റലിന് താഴ്ന്ന ഊർജം ഉണ്ടായിരിക്കും.** പട്ടിക (2.5) (n + *l*) നിയമം ഉദാഹരിക്കുന്നു; ചിത്രം 2.16 ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളുടെ ഊർജനില ചിത്രീകരിക്കുന്നു. ബഹു ഇലക്ട്രോൺ ആറ്റങ്ങളിൽ ഒരു പ്രത്യേക ഷെല്ലിലെ വിവിധ ഉപഷെല്ലുകൾക്ക് വ്യത്യസ്ത ഊർജങ്ങളാണെന്നത് ശ്രദ്ധിക്കേണ്ടതാണ്. എന്നാൽ, ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിൽ, ഇവയ്ക്ക് ഒരേ ഊർജമാണ്. **അവസാനമായി ഇവിടെ എടുത്തുപറയേണ്ട ഒരു കാര്യം ഒരേ ഉപഷെല്ലിലെ ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജങ്ങൾ ആറ്റോമികസംഖ്യ (Z_{eff}) വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ച് കുറയുന്നു എന്നതാണ്.** ഉദാഹരണത്തിന്, ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ 2s ഓർബിറ്റലിന്റെ ഊർജം ലിഥിയത്തിന്റെ 2s ഓർബിറ്റലിന്റെ ഊർജത്തേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. അതായത്, $E_{2s}(H) > E_{2s}(Li) > E_{2s}(Na) > E_{2s}(K)$.

2.6.4 ആറ്റങ്ങളിലെ ഓർബിറ്റൽ പൂരണം (Filling of Orbitals in Atom)

വ്യത്യസ്ത ആറ്റങ്ങളുടെ ഓർബിറ്റലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയുന്നത് ആഫ്ബതത്ത്വത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ്. ഈ തത്വം പൗളിയുടെ അപവർജന തത്വത്തെയും, ഹുണ്ടിന്റെ അധികതമബഹുലതാ നിയമത്തെയും, ഓർബിറ്റലുകളുടെ ആപേക്ഷിക ഊർജത്തെയും അടിസ്ഥാനമാക്കിയിരിക്കുന്നു.

പട്ടിക 2.5 (n+l) തത്വത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം വർധിക്കുന്ന ക്രമീകരണം

ഓർബിറ്റൽ	'n' മൂല്യം	'*l*' മൂല്യം	(n l) മൂല്യം	
1s	1	0	1 + 0 = 1	
2s	2	0	2 + 0 = 2	
2p	2	1	2 + 1 = 3	2*p* (*n*=2) യ്ക്ക് *3s* നെക്കാൾ ഊർജം കുറവാണ്.
3s	3	0	3 + 0 = 3	3*s* (*n*=3)
3p	3	1	3 + 1 = 4	3*p* (*n* =3) യ്ക്ക് *4s* നെക്കാൾ ഊർജം കുറവാണ്.
4s	4	0	4 + 0 = 4	4*s* (*n* =4)
3d	3	2	3 + 2 = 5	3*d* (*n* =3) യ്ക്ക് *4p* യെക്കാൾ ഊർജം കുറവാണ്.
4p	4	1	4 + 1 =5	4*p* (*n* =4)

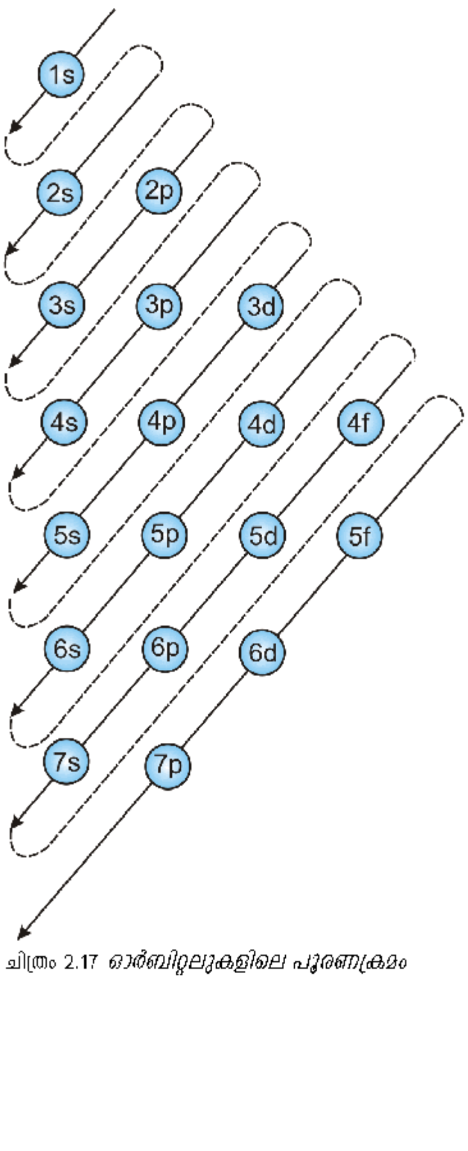
ആഫ്ബാ തത്വം (Aufbau Principle)

'ആഫ്ബാ' എന്ന പദത്തിനു ജർമ്മൻഭാഷയിൽ 'കെട്ടിപ്പടുക്കുക' എന്നാണ് അർഥം. ഓർബിറ്റലുകൾ 'കെട്ടിപ്പടുക്കുക' എന്നാൽ അവയെ ഇലക്ട്രോണുകൾ കൊണ്ട് പൂരിതമാക്കുക എന്നതാണ്. ഈ തത്വം ഇങ്ങനെ പ്രസ്താവിക്കുന്നു: **ആറ്റങ്ങൾ നിമ്നോർജാവസ്ഥയിലായിരിക്കുമ്പോൾ, ഓർബിറ്റലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയുന്നത് അവയുടെ ഊർജത്തിന്റെ ആരോഹണക്രമത്തിലാണ്.** മറ്റൊരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, ഇലക്ട്രോണുകൾ ലഭ്യമായ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജമുള്ള ഓർബിറ്റലുകളിൽ ആദ്യം നിറയുകയും, താഴ്ന്ന ഊർജ ഓർബിറ്റലുകൾ നിറഞ്ഞു കഴിഞ്ഞാൽ മാത്രം അവ ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള ഓർബിറ്റലുകളിൽ പ്രവേശിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഒരു നിശ്ചിത ഓർബിറ്റലിന്റെ ഊർജം പരിണിത ന്യൂക്ലിയാർ ചാർജിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു എന്നത് നിങ്ങൾക്കറിയാമല്ലോ. മാത്രമല്ല വ്യത്യസ്ത ഓർബിറ്റലുകൾ വ്യത്യസ്ത അളവിലായിരിക്കും സ്വാധീനിക്കപ്പെടുക.

അതുകൊണ്ട് എല്ലാ ആറ്റങ്ങൾക്കും പ്രാപഞ്ചികമായി അംഗീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഓർബിറ്റൽ ഊർജത്തിന്റെ ഏക ക്രമം നൽകാനാകില്ല.

ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം വർധിക്കുന്ന ക്രമവും, അതിനനുസൃതമായി ഓർബിറ്റലിൽ ഇലക്ട്രോൺ പൂരണം നടക്കുന്ന ക്രമവും ചുവടെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s...

ചിത്രം 2.17 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന രീതി ഉപയോഗിച്ച് ഈ ക്രമം ഓർമ്മിച്ചെടുക്കാം. മുകളിൽ നിന്ന് ആരംഭിക്കുന്ന, അമ്പ് അമ്പടയാളത്തിന്റെ ദിശ ഓർബിറ്റലുകളിൽ, ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയുന്ന ക്രമം നൽകുന്നു. അതായത് മുകളിൽ വലത്തുനിന്ന് ആരംഭിച്ച് ചുവടെ ഇടതുവശത്തവസാനിക്കുന്ന തരത്തിൽ. ബാഹ്യതമ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയ്ക്കപ്പെടുന്നത് സംബന്ധിച്ച് എല്ലാ ആറ്റങ്ങളിലും ഈ ക്രമം കൃത്യത പുലർത്തുന്നു. ഉദാഹരണമായി പൊട്ടാസ്യത്തിലെ ബാഹ്യതമ ഇലക്ട്രോണിന് 3d അല്ലെങ്കിൽ 4s ഓർബിറ്റൽ സാധ്യമാണ്. എന്നാൽ ഈ ശ്രേണി പ്രവചിക്കുന്നതുപോലെ ഇലക്ട്രോൺ 4s ഓർബിറ്റലിലാണുള്ളത്. മുകളിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന ക്രമത്തെ ഊർജനിലകൾ നിറയ്ക്കപ്പെടുന്നതിന്റെ ഒരു ഏകദേശ സഹായിയായി മാത്രം പരിഗണിച്ചാൽ മതിയാകും. മിക്കവാറും സാഹചര്യങ്ങളിൽ ഓർബിറ്റലുകൾക്ക് തുല്യ ഊർജമുണ്ടാകാറുണ്ട്. അറ്റോമിക ഘടനയിലുള്ള ചെറിയ വ്യതിയാനങ്ങൾ ഇലക്ട്രോൺ നിറയ്ക്കപ്പെടുന്ന ക്രമത്തിൽ മാറ്റം വരുത്താം. ചില ഒഴിവാക്കലുകൾ നിലവിലുണ്ട് എന്ന ധാരണയിൽ, ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക് ഘടന വികസിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള സഹായിയായി ഈ ക്രമത്തെ പരിഗണിക്കാം.



ചിത്രം 2.17 *ഓർബിറ്റലുകളിലെ പൂരണക്രമം*

പൗളിയുടെ അപവർജനതത്വം (Pauli's Exclusion Principle)

ഓസ്ട്രിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞൻ വുൾഫ്ഗാങ് പൗളി (1926) നൽകിയ അപവർജനതത്വമനുസരിച്ച് വിവിധ ഓർബിറ്റലുകളിൽ നിറയുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം നിയന്ത്രിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഈ തത്വം അനുസരിച്ച് **ഒരാറ്റത്തിലെ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് നാല് ക്വാണ്ടം സംഖ്യകളുടേയും ഗണം ഒരുപോലെയായിരിക്കില്ല.** പൗളിയുടെ തത്ത്വം ഇങ്ങനെയും പ്രസ്താവിക്കാം: **'ഒരു ഓർബിറ്റലിൽ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾ മാത്രമേ ഉൾക്കൊള്ളുവാൻ സാധിക്കുകയുള്ളൂ,** മാത്രമല്ല ഈ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് വിപരീതചക്രണങ്ങളുമായിരിക്കണം. അതായത്, രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് മൂന്ന് ക്വാണ്ടം സംഖ്യകളായ n, l, m_l എന്നിവ തുല്യമാകാം. എന്നാൽ ചക്രണക്വാണ്ടം സംഖ്യ വിപരീതമായിരിക്കും. ഒരു ഉപഷെല്ലിൽ ഉൾക്കൊള്ളാൻ കഴിയുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം കണ്ടെത്താൻ പൗളിയുടെ അപവർജനതത്വം നിർദേശിക്കുന്ന നിയന്ത്രണം സഹായിക്കുന്നു. ഉദാഹരണമായി, ഉപഷെൽ 1 s ൽ ഒരു ഓർബിറ്റൽ ഉണ്ട്, അതിനാൽ 1 s ഉപഷെല്ലിൽ ഉൾക്കൊള്ളാൻ കഴിയുന്ന പരമാവധി ഇലക്ട്രോണുകൾ രണ്ടാണ്; p, d എന്നീ ഉപഷെല്ലുകളിൽ ഉൾക്കൊള്ളാൻ കഴിയുന്ന പരമാവധി ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം യഥാക്രമം 6-ഉം 10-ഉം ആയിരിക്കും. ഇതിങ്ങനെ തുടർന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ചുരുക്കത്തിൽ **മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ n ആയ ഒരു ഷെല്ലിൽ ഉൾക്കൊള്ളാൻ കഴിയുന്ന പരമാവധി ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം $2n^2$ ആയിരിക്കും.**

ഹുണ്ടിന്റെ അധികതമ ബഹുലതാനിയമം

ഈ നിയമം ഒരേ ഉപഷെല്ലിലെ ഓർബിറ്റലുകളിലേക്ക് (അതായത്, സമോർജഓർബിറ്റലുകൾ എന്ന് വിളിക്കുന്ന തുല്യഊർജമുള്ള ഓർബിറ്റലുകളിലേക്ക്) ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയ്ക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്നു വിശദീകരിക്കുന്നു. ഈ നിയമം പ്രസ്താവിക്കുന്നത് ഇങ്ങനെ

യാണ് : **ഒരേ ഉപഷെല്ലിലെ (p, d, f) ഓർബിറ്റലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ജോടിയാകുന്നത് (pairing) ആ ഉപഷെല്ലിലെ എല്ലാ ഓർബിറ്റലുകളിലും ഓരോ ഇലക്ട്രോൺ വീതം നിറഞ്ഞതിനുശേഷമായിരിക്കും.**

മൂന്ന് 'p' ഓർബിറ്റലുകളും, അഞ്ചു 'd' ഓർബിറ്റലുകളും, ഏഴ് f ഓർബിറ്റലുകളും ഉള്ളതിനാൽ, യഥാക്രമം നാലാമത്തെ, ആറാമത്തെ, എട്ടാമത്തെ ഇലക്ട്രോണുകൾ പ്രവേശിക്കുമ്പോഴാണ് അവയിൽ ജോടിയാകൽ ആരംഭിക്കുന്നത്. പകുതി നിറഞ്ഞതും, പൂർണമായി നിറഞ്ഞതുമായ, തുല്യ ഊർജ ഓർബിറ്റൽ ഗണങ്ങൾക്ക് അവയുടെ സമമിതിമൂലം കൂടുതൽ സ്ഥിരത കൈവരുന്നുവെന്ന് നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. (വിഭാഗം 2.6.7 കാണുക).

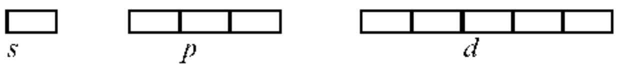
2.6.5 ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം

ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ ഓർബിറ്റലുകളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ വിതരണത്തെയാണ് **ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസ**മെന്ന് പറയുന്നത്. വ്യത്യസ്ത അറ്റോമികഓർബിറ്റലുകളുടെ ഇലക്ട്രോൺ പൂരണത്തെ നിയന്ത്രിക്കുന്ന അടിസ്ഥാനനിയമങ്ങൾ മനസിൽ വച്ചാൽ, വ്യത്യസ്ത ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം വളരെ എളുപ്പത്തിൽ എഴുതാനാകും.

വ്യത്യസ്ത ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം രണ്ടുരീതികളിൽ പ്രതിനിധീകരിക്കാവുന്നതാണ്. ഉദാഹരണത്തിന്:

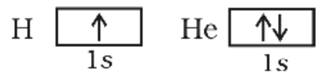
(i) $s^a p^b d^c$....................ചിഹ്നങ്ങൾ

(ii) ഓർബിറ്റൽ രേഖാചിത്രം



മേൽപ്പറഞ്ഞിരിക്കുന്നവയിൽ ആദ്യരീതിയിൽ ഉപഷെല്ലിനെ അതിന്റെ അക്ഷരചിഹ്നമുപയോഗിച്ച് സൂചിപ്പിച്ചശേഷം ഉപഷെല്ലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം ചിഹ്നത്തിന്റെ മേൽക്കുറിയായി a, b, c....... എന്ന രീതിയിൽ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. വ്യത്യസ്ത ഷെല്ലുകളിലുള്ള സമാനഉപഷെല്ലുകളെ തിരിച്ചറിയുന്നതിൻ അതത് ഉപഷെല്ലുകളുടെ ചിഹ്നത്തിനു മുന്നിലായി മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യയും കൂടി എഴുതുന്നു. രണ്ടാമത്തെ രീതിയിൽ ഉപഷെല്ലുകളിലെ ഓരോ ഓർബിറ്റലുകളെയും ഓരോ ബോക്സ് കൊണ്ടും അതിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ചക്രണം ഓരോ അമ്പടയാളം, (↑) പോസിറ്റീവ് സ്പിൻ അല്ലെങ്കിൽ (↓) നെഗറ്റീവ് സ്പിൻ, കൊണ്ടും സൂചിപ്പിക്കുന്നു. രണ്ടാമത്തെ രീതിക്ക് ഒന്നാമത്തേതിനെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള മെച്ചം അത് നാല് ക്വാണ്ടംസംഖ്യകളേയും പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു എന്നതാണ്.

ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിനു ഒരു ഇലക്ട്രോൺ മാത്രമാണുള്ളത്. അത് ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഊർജമുള്ള 1s ഓർബിറ്റലിൽ നിറയുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ഇലക്ട്രോണിക് വിന്യാസം $1s^1$ ആണ്. അതിന്റെ അർഥം 1s ഓർബിറ്റലിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ഉണ്ടെന്നാണ്. ഹീലിയത്തിലെ രണ്ടാമത്തെ ഇലക്ട്രോണിനെയും 1s ഓർബിറ്റലിന് ഉൾക്കൊള്ളാനാകും. അതിനാൽ അതിന്റെ ക്രമീകരണം $1s^2$ ആണ്. മുകളിൽ പറഞ്ഞതുപോലെ, ചക്രണത്തിൽ വ്യത്യാസമുള്ള രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചിത്രമാണ് ഓർബിറ്റൽ രേഖാചിത്രത്തിൽ കാണുന്നത്.



പൗളിയുടെ അപവർജനതത്വത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ലിഥിയത്തിന്റെ (Li) 1s ഓർബിറ്റലിൽ മൂന്നാമതൊരു ഇലക്ട്രോൺ കൂടി അനുവദനീയമല്ല. അതിനാൽ, ലഭ്യമായ രണ്ടാമത്തെ പരിഗണന 2s ഓർബിറ്റലിനാണ്. Li യുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം $1s^2 2s^1$ ആണ്. 2s ഓർബിറ്റലിന് ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ കൂടി ഉൾക്കൊള്ളാൻ കഴിയും. അതിനാൽ ബെറിലിയം (Be) ആറ്റത്തിന്റെ വിന്യാസം. $1s^2 2s^2$ ആണ് (മൂലകങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക് വിന്യാസങ്ങളുള്ള പട്ടിക 2.6, പേജ് 68 കാണുക).

അടുത്ത ആറു മൂലകങ്ങളായ ബോറോൺ (B, $1s^2 2s^2 2p^1$), കാർബൺ (C, $1s^2 2s^2 2p^2$) നൈട്രജൻ (N, $1s^2 2s^2 2p^3$), ഓക്സിജൻ (O, $1s^2 2s^2 2p^1$), ഫ്ളൂറിൻ (F, $1s^2 2s^2 2p^5$), നിയോൺ (Ne, $1s^2 2s^2 2p^6$) എന്നിവയിൽ 2p ഓർബിറ്റലുകളാണ് ക്രമേണ നിറയുന്നത്. ഈ പ്രക്രിയ നിയോൺ ആറ്റത്തിൽ പൂർത്തിയാകുന്നു. ഈ മൂലകങ്ങളുടെ ഓർബിറ്റൽ ചിത്രങ്ങൾ ഇങ്ങനെ രേഖപ്പെടുത്താം:

	1s	2s	2p		
Li	↑↓	↑			
Be	↑↓	↑↓			
B	↑↓	↑↓	↑		
C	↑↓	↓↑	↑	↑	
N	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
O	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
F	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑
Ne	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

സോഡിയം (Na, $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$) മുതൽ ആർഗോൺ ($Ar, 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$) വരെയുള്ള ഇലക്ട്രോണിക് വിന്യാസം ലിഥിയം മുതൽ നിയോൺ വരെയുള്ള മൂലകങ്ങളുടെ അതേ ക്രമം പിന്തുടരുന്നു. എന്നാൽ, അവയിൽ 3s, 3p എന്നീ ഓർബിറ്റലുകളാണ് നിറയുന്നത്. ആദ്യ രണ്ടു ഷെല്ലുകളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തെ നിയോൺ (Ne) മൂലകമുപയോഗിച്ചു പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നുവെങ്കിൽ ഈ പ്രക്രിയ ലളിതമാകും. സോഡിയം മുതൽ ആർഗോൺ വരെയുള്ള മൂലകങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം ഇങ്ങനെ എഴുതാവുന്നതാണ്: Na, $[Nc]3s^1$ മുതൽ (Ar, $[Ne]\ 3s^2 3p^6$. പൂർണമായും നിറഞ്ഞ ഷെല്ലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ കോർ (corc) ഇലക്ട്രോണുകളെന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു, ഏറ്റവും ഉയർന്ന മുഖ്യ ക്വാണ്ടം സംഖ്യയുള്ള ഷെല്ലുകളിൽ ചേർക്കപ്പെടുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളെ **സംയോജകഇലക്ട്രോണുകൾ** എന്ന് വിളിക്കുന്നു. ഉദാഹരണത്തിന്, Na മുതൽ Ar വരെയുള്ളവയിൽ [Ne] യിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ കോർ ഇലക്ട്രോണുകളും ബാക്കിയുള്ളവ സംയോജക ഇലക്ട്രോണുകളുമാണ്. പൊട്ടാസ്യം (K), കാൽസ്യം (Ca), എന്നിവയിൽ 4s ഓർബിറ്റലിന്, 3d ഓർബിറ്റലിനേക്കാൾ ഊർജം കുറവായതിനാൽ യഥാക്രമം ഒന്ന്, രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾ 4s-ൽ നിറയുന്നു.

സ്കാൻഡിയം (Sc) മുതൽ ഒരു പുതിയ ക്രമം പിന്തുടരുന്നു. 3d ഓർബിറ്റലിനു 4p ഓർബിറ്റലിനേക്കാൾ ഊർജം കുറവായതിനാൽ അതാദ്യം നിറയുന്നു. തത്ഫലമായി അടുത്ത പത്ത് മൂലകങ്ങളിൽ, (സ്കാൻഡിയം (Sc), ടൈറ്റാനിയം (Ti), വനേഡിയം (V), ക്രോമിയം (Cr), മാംഗനീസ് (Mn), അയൺ (Fe), കോബാൾട്ട് (Co), നിക്കൽ (Ni), കോപ്പർ (Cu) സിങ്ക് (Zn)) അഞ്ച് 3d ഓർബിറ്റലുകൾ ക്രമമായി നിറയുന്നു. ക്രോമിയത്തിലും കോപ്പറിലും അവയുടെ സ്ഥാനം സൂചിപ്പിക്കുന്നതനുസരിച്ചു 4s ലുള്ള രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾക്കുപുറമേ യഥാക്രമം നാലും ഒമ്പതും ഇലക്ട്രോണുകൾ 3d ഓർബിറ്റലുകളിൽ കാണേണ്ടതാണ്. എന്നാൽ അവയിൽ യഥാക്രമം 5-ഉം 10-ഉം ഇലക്ട്രോണുകളാണ് ഉള്ളതെന്നത് നമ്മെ കുഴയ്ക്കുന്നു. ഇതിനുകാരണം, പൂർണമായും നിറഞ്ഞിരിക്കുന്ന ഓർബിറ്റലുകൾക്കും പകുതി നിറഞ്ഞ ഓർബിറ്റുലുകൾക്കും അധിക സ്ഥിരത (അതായത് കുറഞ്ഞ ഊർജം) ഉള്ളതാണ്. അങ്ങനെ പകുതി നിറഞ്ഞിരിക്കുന്നതോ, പൂർണമായി നിറഞ്ഞിരിക്കുന്നതോ ആയ p^3, p^6, d^5, d^{10}, f^7, f^{14} തുടങ്ങിയ വിന്യാസങ്ങൾ സ്ഥിരതയാർന്നതാണ്. ക്രോമിയം, കോപ്പർ എന്നിവ d^5, d^{10} വിന്യാസങ്ങൾ സ്വീകരിച്ചിരിക്കുന്നു (ഭാഗം 26.7). ഇതിന് അപവാദങ്ങൾ ഉണ്ട്.

3d ഓർബിറ്റലുകൾ പൂരിതമായിക്കഴിയുമ്പോൾ ഗാലിയത്തിൽ (Ga) 4p ഓർബിറ്റലുകൾ നിറയാൻ ആരംഭിച്ച്, ക്രിപ്റ്റോണിൽ (Kr) പൂർത്തിയാകുന്നു. റുബീഡിയം (Rb) മുതൽ സിനോൺ (Xc) വരെയുള്ള അടുത്ത പതിനെട്ടുമൂലകങ്ങളിൽ, 5s, 4d, 5p ഓർബിറ്റലുകൾ നിറയുന്ന രീതി നേരത്തെ വിശദീകരിച്ച 4s, 3d, 4p ഓർബിറ്റൽ പൂരണത്തിനു സമാനമാണ്. ഇനി വരുന്നത് 6s ഓർബിറ്റലിന്റെ ഊഴമാണ്. സീസിയം (Cs), ബേറിയം (Ba) എന്നിവയിൽ, ഈ ഓർബിറ്റലിൽ യഥാക്രമം ഒന്നും, രണ്ടും ഇലക്ട്രോണുകളാണ് ഉള്ളത്. ലാന്തനം (La) മുതൽ മെർക്കുറി(Hg) വരെ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയുന്നത് 4f, 5d എന്നീ ഓർബിറ്റലുകളിലാണ്. അതിനുശേഷം 6p, 7s, ഓർബിറ്റലുകൾ എന്നിവ നിറയുന്നു. അവസാനം 5f, 6d എന്നിവ നിറയുന്നു. യുറേനിയ (U) ത്തിന് ശേഷമുള്ള എല്ലാ മൂലകങ്ങളും ആയുസ്സ് കുറഞ്ഞവയാണ്. മാത്രമല്ല അവയെല്ലാം കൃത്രിമമായി നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടവയുമാണ്. അറിയപ്പെടുന്ന മൂലകങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക് വിന്യാസങ്ങൾ (സ്പെക്ട്രോസ്കോപിക് മാർഗ്ഗങ്ങളാൽ നിർണയിക്കപ്പെട്ടത്) പട്ടിക 2.6 ൽ പട്ടികപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു.

ഇലക്ട്രോൺവിന്യാസം അറിഞ്ഞതുകൊണ്ടുള്ള ഉപയോഗം എന്താണ് എന്ന് ചോദിച്ചേക്കാം. രസതന്ത്രത്തിന്റെ ആധുനികസമീപനം, ഏതാണ്ട് പൂർണമായും ഇലക്ട്രോണിക്വിതരണത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കി രാസസ്വഭാവത്തെ മനസിലാക്കുന്നതിനെയും വിശദീകരിക്കുന്നതിനെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഉദാഹരണമായി, രണ്ടോ അതിലധികമോ ആറ്റങ്ങൾ ചേർന്ന് എന്തിനാണ് തന്മാത്രകൾ രൂപീകരിക്കാൻ ശ്രമിക്കുന്നത്? എന്തുകൊണ്ടാണ് ചില മൂലകങ്ങൾ ലോഹങ്ങളായിരിക്കുമ്പോൾ, മറ്റു ചിലത് അലോഹങ്ങളായിരിക്കുന്നത്, എന്തുകൊണ്ടാണ് ഹീലിയം, ആർഗോൺ തുടങ്ങിയ മൂലകങ്ങൾ പ്രതിപ്രവർത്തിക്കാത്തപ്പോൾ ഹാലൊജനുകൾ പോലെയുള്ള മൂലകങ്ങൾ പ്രതിപ്രവർത്തനക്ഷമമായിരിക്കുന്നത്? തുടങ്ങിയ ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം ഉപയോഗിച്ച് ലളിതമായ വിശദീകരണം കണ്ടെത്താനാകും. ഈ ചോദ്യങ്ങൾക്ക് ഡാൽട്ടന്റെ അറ്റോമികമാതൃകയിൽ ഉത്തരം ഉണ്ടായിരുന്നില്ല. അതുകൊണ്ടുതന്നെ ആറ്റത്തിന്റെ ഇലക്ട്രോണികഘടനയെക്കുറിച്ചുള്ള വിശദമായ അറിവ്, ആധുനിക രസതന്ത്രവിജ്ഞാനത്തിന്റെ വിവിധ വശങ്ങളിലേക്ക് ഉൾക്കാഴ്ച നേടാൻ അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്.

2.6.6 പൂർണമായും നിറഞ്ഞതും പകുതി നിറഞ്ഞതുമായ ഉപഷെല്ലുകളുടെ സ്ഥിരത

ഒരു മൂലകത്തിന്റെ ആറ്റത്തിന്റെ നിമ്നോർജാവസ്ഥയിലുള്ള ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസം എല്ലായ്പ്പോഴും ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ ഇലക്ട്രോണിക ഊർജനിലയുമായി യോജിച്ചിരിക്കുന്നു. മിക്ക ആറ്റങ്ങളുടേയും ഇലക്ട്രോണിക വിന്യാസം സെക്ഷൻ 2.6.5 ൽ നൽകിയിരിക്കുന്ന

അടിസ്ഥാനനിയമങ്ങൾ പാലിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും, Cu അല്ലെങ്കിൽ Cr, പോലുള്ള ചില മൂലകങ്ങളിൽ ഉപഷെല്ലുകളായ 4s, 3d എന്നിവയുടെ ഊർജത്തിൽ ചെറിയ വ്യത്യാസം മാത്രമുള്ളതിനാൽ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ താഴ്ന്ന ഊർജമുള്ള 4s ഉപഷെല്ലിൽ നിന്ന് ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള (3d) ഉപഷെല്ലിലേക്ക് മാറുന്നു. അത്തരമൊരു മാറ്റം ഉയർന്ന ഊർജമുള്ള ഉപഷെല്ലുകളിലെ എല്ലാ ഓർബിറ്റലുകളെയും പൂർണമായി നിറയ്ക്കുകയോ പകുതി നിറയ്ക്കുകയോ ചെയ്യുന്നു. അതുകൊണ്ടുതന്നെ Cu, Cr എന്നിവയുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസങ്ങൾ $3d^4 4s^2$, $3d^9 4s^2$ എന്നിവയ്ക്ക് പകരം $3d^5 4s^1$, $3d^{10} 4s^1$ എന്നിവയായിരിക്കും. ഈ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസങ്ങൾക്ക് അധികസ്ഥിരതയുണ്ട് എന്ന് കണ്ടെത്തിയിട്ടുണ്ട്.

പകുതി നിറഞ്ഞതും, പൂർണമായി നിറഞ്ഞതുമായ ഉപഷെല്ലുകളുടെ സ്ഥിരതയ്ക്കുള്ള കാരണങ്ങൾ

പൂർണമായും നിറഞ്ഞതും പകുതി നിറഞ്ഞതുമായ ഉപഷെല്ലുകൾ താഴെപ്പറയുന്ന കാരണങ്ങളാൽ കൂടുതൽ സ്ഥിരതയുള്ളവയാണ്:

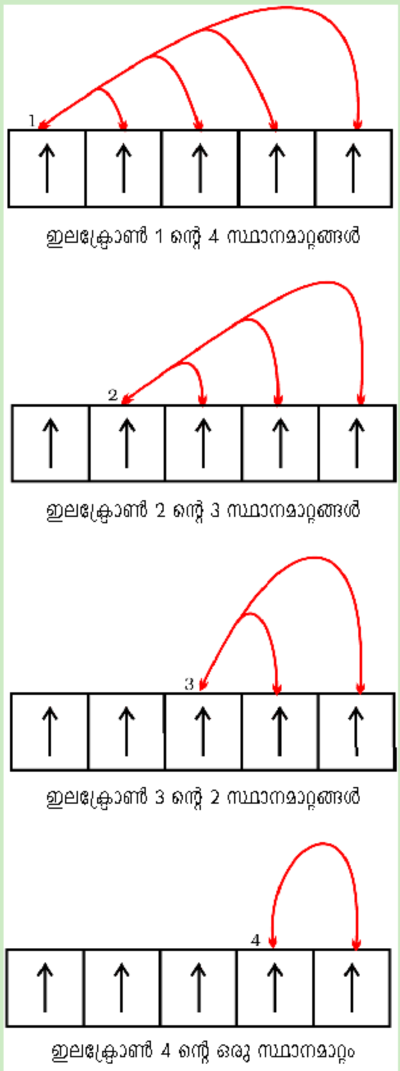
1. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സമമിതിവിതരണം:

സമമിതി സുസ്ഥിരതയിലേക്ക് നയിക്കുന്നു എന്നത് അറിയപ്പെടുന്ന കാര്യമാണ് . പൂർണമായും നിറഞ്ഞുനിൽക്കുന്നതോ പകുതി നിറഞ്ഞതോ ആയ ഉപഷെല്ലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സമമിതിവിതരണമുള്ളതിനാൽ അവ കൂടുതൽ സ്ഥിരതയുള്ളവയാണ്. ഒരേ ഉപഷെല്ലിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് (ഇവിടെ 3d) ഒരേ ഊർജമാണുള്ളത്, എന്നാൽ വ്യത്യസ്ത ത്രിവിമവിതരണം (spacial distribution). ഉള്ളതിനാൽ, അവയ്ക്ക് പരസ്പരമുള്ള മറയ്ക്കൽ താരതമ്യേന ചെറുതായിരിക്കുകയും അവ കൂടുതൽ ശക്തമായി ന്യൂക്ലിയസിലേക്ക് ആകർഷിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു.

2. വിനിമയോർജം (exchange energy):

ഒരേ ചക്രണം ഉള്ള രണ്ടോ അതിലധികമോ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഒരു ഉപഷെല്ലിലെ സമോർജഓർബിറ്റലുകളിൽ ആണെങ്കിൽ സ്ഥിരത ഉണ്ടാകുന്നു. ഈ ഇലക്ട്രോണുകൾ അവയുടെ സ്ഥാനങ്ങൾ കൈമാറ്റം ചെയ്യുന്നു. ഈ സ്ഥാനമാറ്റഫലമായി പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഊർജത്തിനെ വിനിമയ ഊർജം എന്ന് വിളിക്കുന്നു. പരമാവധി എണ്ണം സ്ഥാനമാറ്റങ്ങൾ സാധ്യമാകുന്നത് ഉപഷെൽ പകുതി നിറഞ്ഞിരിക്കുമ്പോഴോ അല്ലെങ്കിൽ മുഴുവനായും നിറഞ്ഞിരിക്കുമ്പോഴോ ആയിരിക്കും (ചിത്രം 2.18). അതിന്റെ ഫലമായി വിനിമയ ഊർജവും തദനുസൃതമായി സ്ഥിരതയും പരമാവധി വർധിക്കുന്നു.

തുല്യ ഊർജമുള്ള ഓർബിറ്റലുകളിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ആകാവുന്നത്ര സമാന്തരചക്രണങ്ങൾ ഉണ്ടായിരിക്കണമെന്ന ഹണ്ടിന്റെ നിയമമാണ് വിനിമയ ഊർജത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനമെന്നത് ശ്രദ്ധിക്കുക. മറ്റൊരുതരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ, പകുതി നിറഞ്ഞതും പൂർണമായും നിറഞ്ഞതുമായ ഉപഷെല്ലുകളുടെ അധിക സ്ഥിരതയ്ക്ക് കാരണങ്ങളാണ്: (i) താരതമ്യേന ചെറിയ മറയ്ക്കൽ, (ii) ചെറിയ കൂളോംബിക (coulombic repulsion energy) വികർഷണഊർജം (iii) ഉയർന്ന വിനിമയഊർജം എന്നിവ. വിനിമയഊർജത്തെക്കുറിച്ചുള്ള വിശദാംശങ്ങൾ ഉയർന്ന ക്ലാസ്സുകളിൽ കൈകാര്യം ചെയ്യും.



ചിത്രം2.18 d^5 വിന്യാസത്തിൽ സാധ്യമായ സ്ഥാന മാറ്റങ്ങൾ

പട്ടിക 2.6 മൂലകങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസങ്ങൾ

മൂലകം	Z	**1*s***	**2*s***	**2*p***	**3*s***	**3*p***	**3*d***	**4*s***	**4*p***	**4*d***	**4*f***	**5*s***	**5*p***	**5*d***	**5*f***	**6*s***	**6*p***	**6*d***	**7*s***
H	1	1																	
He	2	2																	
Li	3	2	1																
Be	4	2	2																
B	5	2	2	1															
C	6	2	2	2															
N	7	2	2	3															
O	8	2	2	4															
F	9	2	2	5															
Ne	10	2	2	6															
Na	11	2	2	6	1														
Mg	12	2	2	6	2														
Al	13	2	2	6	2	1													
Si	14	2	2	6	2	2													
P	15	2	2	6	2	3													
S	16	2	2	6	2	4													
Cl	17	2	2	6	2	5													
Ar	18	2	2	6	2	6													
K	19	2	2	6	2	6		1											
Ca	20	2	2	6	2	6		2											
Sc	21	2	2	6	2	6	1	2											
Ti	22	2	2	6	2	6	2	2											
V	23	2	2	6	2	6	3	2											
Cr*	24	2	2	6	2	6	5	1											
Mn	25	2	2	6	2	6	5	2											
Fe	26	2	2	6	2	6	6	2											
Co	27	2	2	6	2	6	7	2											
Ni	28	2	2	6	2	6	8	2											
Cu*	29	2	2	6	2	6	10	1											
Zn	30	2	2	6	2	6	10	2											
Ga	31	2	2	6	2	6	10	2	1										
Ge	32	2	2	6	2	6	10	2	2										
As	33	2	2	6	2	6	10	2	3										
Se	34	2	2	6	2	6	10	2	4										
Br	35	2	2	6	2	6	10	2	5										
Kr	36	2	2	6	2	6	10	2	6										
Rb	37	2	2	6	2	6	10	2	6			1							
Sr	38	2	2	6	2	6	10	2	6			2							
Y	39	2	2	6	2	6	10	2	6	1		2							
Zr	40	2	2	6	2	6	10	2	6	2		2							
Nb*	41	2	2	6	2	6	10	2	6	4		1							
Mo*	42	2	2	6	2	6	10	2	6	5		1							
Tc	43	2	2	6	2	6	10	2	6	5		2							
Ru*	44	2	2	6	2	6	10	2	6	7		1							
Rh*	45	2	2	6	2	6	10	2	6	8		1							
Pd*	46	2	2	6	2	6	10	2	6	10									
Ag*	47	2	2	6	2	6	10	2	6	10		1							
Cd	48	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2							
In	49	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1						
Sn	50	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2						
Sb	51	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3						
Te	52	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	4						
I	53	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5						
Xe	54	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6						

* *അസാധാരണ ഇലക്ട്രോണികവിന്യാസങ്ങളുള്ള മൂലകങ്ങൾ*

മൂലകം	Z	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
Cs	55	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			1			
Ba	56	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2			
La*	57	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1		2			
Ce*	58	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2	6			2			
Pr	59	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6			2			
Nd	60	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6			2			
Pm	61	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6			2			
Sm	62	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6			2			
Eu	63	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2			
Gd*	64	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1		2			
Tb	65	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6			2			
Dy	66	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6			2			
Ho	67	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6			2			
Er	68	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6			2			
Tm	69	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6			2			
Yb	70	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2			
Lu	71	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1		2			
Hf	72	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2		2			
Ta	73	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3		2			
W	74	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4		2			
Re	75	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5		2			
Os	76	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6		2			
Ir	77	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7		2			
Pt*	78	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9		1			
Au*	79	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		1			
Hg	80	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2			
Tl	81	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	1		
Pb	82	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	2		
Bi	83	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	3		
Po	84	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	4		
At	85	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	5		
Rn	86	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		
Fr	87	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		1
Ra	88	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		2
Ac	89	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	1	2
Th	90	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2	2
Pa	91	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2	6	1	2
U	92	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	3	2	6	1	2
Np	93	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	4	2	6	1	2
Pu	94	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	6	2	6		2
Am	95	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6		2
Cm	96	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	1	2
Bk	97	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	8	2	6	1	2
Cf	98	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6		2
Es	99	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6		2
Fm	100	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6		2
Md	101	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6		2
No	102	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6		2
Lr	103	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	1	2
Rf	104	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	2	2
Db	105	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	3	2
Sg	106	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	4	2
Bh	107	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	5	2
Hs	108	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	6	2
Mt	109	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	7	2
Ds	110	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	8	2
Rg**	111	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	10	1

** 112 ഉം അതിന് മുകളിലുമുള്ള ആറ്റോമികസംഖ്യകളുള്ള മൂലകങ്ങൾ റിപ്പോർട്ട് ചെയ്യപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്.

സംഗ്രഹം

ആറ്റങ്ങൾ മൂലകങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനശിലകളാകുന്നു. അവയാണ് മൂലകത്തിന്റെ രാസപ്രവർത്തനശീലമുള്ള ഏറ്റവും ചെറിയ ഘടകങ്ങൾ. 1808 ൽ ജോൺ ഡാൽട്ടൺ നിർദേശിച്ച ആദ്യത്തെ അറ്റോമികസിദ്ധാന്തം, ആറ്റത്തെ ആത്യന്തികമായി വസ്തുവിന്റെ അവിഭാജ്യ കണമായി കണക്കാക്കിയിരുന്നു. പത്തൊമ്പതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ അവസാനത്തോടെ, ആറ്റത്തിനെ വിഭജിക്കാനാകുമെന്നും അവയിൽ മൂന്ന് അടിസ്ഥാന കണങ്ങളായ ഇലക്ട്രോണുകൾ, പ്രോട്ടോണുകൾ, ന്യൂട്രോണുകൾ എന്നിവ ഉൾക്കൊള്ളുന്നുവെന്നും പരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ തെളിയിക്കപ്പെട്ടു. ഉപഅറ്റോമികകണങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തം ആറ്റത്തിന്റെ ഘടനയെ വിശദീകരിക്കാൻ വിവിധ അറ്റോമികമാതൃകകളുടെ നിർദേശത്തിന് കാരണമായി.

1898 ൽ തോംസൺ മുന്നോട്ടുവച്ച ആശയമനുസരിച്ച് ഏകതാനമായ ഗോളാകൃതിയിലുള്ള ധനവൈദ്യുത ചാർജും അതിൽ അന്തഃസ്ഥാപനം ചെയ്ത ഇലക്ട്രോണുകളുമാണ് ആറ്റത്തിലുള്ളത്. ആറ്റത്തിന്റെ മാസ് ആറ്റത്തിൽ പൊതുവെ വ്യാപിച്ചിരിക്കുന്നു എന്ന് പരിഗണിക്കുന്ന ഈ മാതൃക തെറ്റാണെന്ന് 1909 ൽ റുഥർഫോർഡിന്റെ പ്രസിദ്ധമായ ആൽഫ കണികാപ്രകീർണന പരീക്ഷണം തെളിയിച്ചു. റുഥർഫോർഡിന്റെ നിഗമനം അനുസരിച്ച്, ആറ്റത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തിൽ ഒരു ചെറിയ പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ന്യൂക്ലിയസും അതിനു ചുറ്റും വൃത്താകാരമായ പരിക്രമണപഥങ്ങളിൽ കറങ്ങുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുമുണ്ട്. സൗരയൂഥത്തെപോലെയുള്ള റുഥർഫോർഡ് മാതൃക, തീർച്ചയായും തോംസൺ മാതൃകയെക്കാൾ മെച്ചപ്പെട്ടതായിരുന്നു. പക്ഷേ, ആറ്റത്തിന്റെ സ്ഥിരതയെ വിശദീകരിക്കാൻ ഇതിനു കഴിഞ്ഞില്ല. ഉദാഹരണത്തിന്, എന്തുകൊണ്ടാണ് ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിൽ വീഴാതിരിക്കുന്നത്? കൂടാതെ, ആറ്റത്തിന്റെ ഇലക്ട്രോണിക് ഘടനയെക്കുറിച്ചും, പ്രത്യേകിച്ച് ന്യൂക്ലിയസിനു ചുറ്റുമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ വിന്യാസത്തെക്കുറിച്ചും ആപേക്ഷിക ഊർജങ്ങളെക്കുറിച്ചും ഈ മാതൃക പ്രതിപാദിക്കുന്നില്ല. നീൽസ് ബോറാണ് 1913 ൽ അദ്ദേഹത്തിന്റെ ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം മാതൃകയിലൂടെ റുഥർഫോർഡ് മാതൃകയുടെ അപാകതകൾ പരിഹരിച്ചത്. ഇലക്ട്രോൺ ന്യൂക്ലിയസിനുചുറ്റും വൃത്താകൃതിയിലുള്ള ഓർബിറ്റിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നുവെന്നാണ് ബോർ സൂചിപ്പിച്ചത്. ചില ഓർബിറ്റുകൾ മാത്രമേ നിലനിൽക്കുന്നുള്ളൂവെന്നും, ഓരോ ഓർബിറ്റിനും ഒരു പ്രത്യേക ഊർജമുണ്ടായിരിക്കുമെന്നും അദ്ദേഹം പ്രസ്താവിച്ചു. വിവിധ ഓർബിറ്റുകളിൽ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഊർജം ബോർ കണക്കുകൂട്ടുകയും ഓരോ ഓർബിറ്റിലും ഇലക്ട്രോണും ന്യൂക്ലിയസും തമ്മിലുള്ള ദൂരം പ്രവചിക്കുകയും ചെയ്തു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ സ്പെക്ട്രം തൃപ്തികരമായി വിശദീകരിക്കുന്നതിന് ഈ മാതൃകയ്ക്ക് കഴിഞ്ഞെങ്കിലും ബഹുഇലക്ട്രോൺ ആറ്റത്തിന്റെ സ്പെക്ട്രം വിശദീകരിക്കാൻ കഴിഞ്ഞില്ല. ഇതിന്റെ കാരണം പെട്ടന്നുതന്നെ കണ്ടെത്തപ്പെട്ടു. ബോർ മാതൃകയിൽ ഒരു ന്യൂക്ലിയസിനുചുറ്റും ഒരു നിശ്ചിത വൃത്താകാരമായ ഓർബിറ്റിൽ കറങ്ങുന്ന ചാർജിതകണമായി ഒരു ഇലക്ട്രോൺ കണക്കാക്കപ്പെടുന്നു. ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗസ്വഭാവം ബോറിന്റെ സിദ്ധാന്തത്തിൽ അവഗണിക്കുകയാണ്. ഒരു ഓർബിറ്റ് വ്യക്തമായി നിർവചിക്കപ്പെട്ട ഒരു പാതയാണ്, ഒരേ സമയം ഇലക്ട്രോണിന്റെ കൃത്യമായ സ്ഥാനവും കൃത്യമായ വേഗതയും അറിയാമെങ്കിൽ മാത്രമേ ഈ പാതയെ പൂർണമായും നിർവചിക്കാവുകയുള്ളൂ. ഹൈസെൻബെർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തം അനുസരിച്ച് ഇത് സാധ്യമല്ല. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ബോർ മാതൃക, അതിനാൽ, ഇലക്ട്രോണിന്റെ ദ്വൈതസ്വഭാവം അവഗണിക്കുക മാത്രമല്ല ചെയ്യുന്നത്. അത് **ഹൈസെൻബെർഗ് അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തത്തിന്** വിരുദ്ധവുമാണ്.

1926 ൽ എർവിൻ ഷ്രോഡിംഗർ, ത്രിമാന ഇലക്ട്രോണികവിതരണം, ആറ്റങ്ങളിലുള്ള അനുവദനീയമായ ഊർജ നിലകൾ എന്നിവ വിശദീകരിക്കുന്നതിന് ഷ്രോഡിംഗർ സമവാക്യം ആവിഷ്കരിച്ചു. ഈ സമവാക്യം തരംഗ കണികാ ദ്വൈതസ്വഭാവം എന്ന ബ്രോളിയുടെ സങ്കല്പനം ഉൾക്കൊള്ളുന്നുവെന്ന് മാത്രമല്ല, ഇത് ഹൈസെൻ ബെർഗിന്റെ അനിശ്ചിതത്വസിദ്ധാന്തവുമായി പൊരുത്തപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോണിനു വേണ്ടി ഷ്റോഡിംഗർ സമവാക്യം നിർധാരണം ചെയ്യുമ്പോൾ, ഇലക്ട്രോണിന് സാധ്യമാവുന്ന ഊർജനിലകൾ കിട്ടുന്നു, കൂടാതെ, ഓരോ ഊർജനിലയുമായും ബന്ധപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോൺ തരംഗഫലനങ്ങളും (ψ) (ഇത് ഒരു ഗണിത ഫലനമാണ്). മൂന്ന് ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ (മുഖ്യ ക്വാണ്ടംസംഖ്യ n, അസിമുഥൽ ക്വാണ്ടം സംഖ്യ l, കാന്തിക ക്വാണ്ടംസംഖ്യ m_l) കൊണ്ടു വിശദീകരിക്കപ്പെടുന്ന ക്വാണ്ടീകരിച്ച ഊർജനിലകളും അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട തരംഗഫലനങ്ങളും ഷ്റോഡിംഗർ സമവാക്യം നിർധാരണം ചെയ്യുമ്പോൾ സ്വാഭാവികമായി ഉരുത്തിരിഞ്ഞു വരുന്നതാണ്. ഈ മൂന്ന് ക്വാണ്ടംസംഖ്യകളുടെ മൂല്യങ്ങളിലുള്ള നിയന്ത്രണങ്ങളും ഈ നിർധാ

രണത്തിൽ നിന്ന് സ്വാഭാവികമായി ഉടലെടുക്കുന്നുണ്ട്. ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടംബലതന്ത്രമാതൃക ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റം സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ എല്ലാ വസ്തുതകളെയും, ബോർ മാതൃകയ്ക്ക് വിശദീകരിക്കാൻ കഴിയാത്ത ചില പ്രതിഭാസങ്ങളെയും ഉൾപ്പെടെ വിജയകരമായി പ്രവചിക്കുന്നുണ്ട്.

ആറ്റത്തിന്റെ ക്വാണ്ടംബലതന്ത്രമാതൃക അനുസരിച്ച് അനേകം ഇലക്ട്രോണുകൾ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന ആറ്റത്തിന്റെ ഇലക്ട്രോൺ വിതരണം ഷെല്ലുകളിലായി തിരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഷെല്ലുകളിൽ ഒന്നോ അതിലധികമോ ഉപഷെല്ലുകൾ ഉണ്ടായിരിക്കുമെന്നും ഉപഷെല്ലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന ഒന്നോ അതിലധികമോ ഓർബിറ്റലുകളുണ്ട് എന്നും അനുമാനിക്കപ്പെടുന്നു. ഹൈഡ്രജനിലും ഹൈഡ്രജനെപ്പോലെയുള്ള വ്യൂഹങ്ങളിലും (He^{+}, Li^{2+} തുടങ്ങിയവ) ഒരു ഷെല്ലിൽ ഉള്ള എല്ലാ ഓർബിറ്റലുകൾക്കും ഒരേ ഊർജം ഉള്ളപ്പോൾ, ഒരു ബഹു ഇലക്ട്രോണാറ്റത്തിലെ ഓർബിറ്റലുകളുടെ ഊർജം n, l എന്നിവയുടെ മൂല്യങ്ങളെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.ഒരു ഓർബിറ്റലിന് കുറഞ്ഞ $(n + l)$ മൂല്യം, ആണെങ്കിൽ അതിന്റെ ഊർജവും കുറവായിരിക്കും. രണ്ട് ഓർബിറ്റലുകൾ ഒരേ $(n + l)$ മൂല്യമുള്ളവയാണെങ്കിൽ, കുറഞ്ഞ 'n' മൂല്യമുള്ള ഓർബിറ്റലിനു താഴ്ന്ന ഊർജമാണ്. ഒരു ആറ്റത്തിൽ ഇത്തരം ധാരാളം ഓർബിറ്റലുകൾ സാധ്യമാണ്. അവയിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ നിറയുന്നത്, പൗളിയുടെ അപവർജന തത്ത്വം (ഒരു ആറ്റത്തിലെ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് നാല് ക്വാണ്ടംസംഖ്യകളുടെയും ഗണം ഒരുപോലെയായിരിക്കില്ല), ഹണ്ടിന്റെ അധികതമബഹുലതാനിയമം (ഒരേ ഉപഷെല്ലിലെ ഓർബിറ്റലുകളിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ജോടിയാകുന്നത് ആ ഉപഷെല്ലിലെ എല്ലാ ഓർബിറ്റലുകളിലും ഓരോ ഇലക്ട്രോൺ വീതം നിറഞ്ഞതിനു ശേഷമായിരിക്കും) ഊർജം കൂടുന്ന ക്രമം എന്നിവയുടെ അടിസ്ഥാനത്തിലാണ്. ഇതാണ് ആറ്റങ്ങളുടെ ഇലക്ട്രോണിക് ഘടനയുടെ അടിത്തറ പാകുന്നത്.

പരിശീലനചോദ്യങ്ങൾ

2.1 (i) ഒരു ഗ്രാം ഭാരമുണ്ടാകാനാവശ്യമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം കണ്ടുപിടിക്കുക.

(ii) ഒരു മോൾ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ മാസും ചാർജും കണക്കാക്കുക.

2.2 (i) മീഥെയ്ന്റെ ഒരു മോളിലെ ആകെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം കണക്കാക്കുക.

(ii) C-14ന്റെ 7 മില്ലിഗ്രാമിലെ ന്യൂട്രോണുകളുടെ (a) എണ്ണവും (b) ആകെ മാസും (ഒരു ന്യൂട്രോണിന്റെ മാസ് $= 1.675 \times 10^{-27}$ kg) കണ്ടെത്തുക.

(ii) STP യിലുള്ള 34 മില്ലിഗ്രാം NH_3 യിലെ പ്രോട്ടോണുകളുടെ (a) മൊത്തം എണ്ണം (b) ആകെ മാസ് എന്നിവ കണ്ടെത്തുക. താപനിലയും മർദവും മാറുകയാണെങ്കിൽ ഉത്തരത്തിൽ മാറ്റമുണ്ടാകുമോ?

2.3 താഴെപ്പറയുന്ന ന്യൂക്ലിയസുകളിൽ എത്ര ന്യൂട്രോണുകളും പ്രോട്ടോണുകളും ഉണ്ട്?

$^{13}_{6}C$, $^{16}_{8}O$, $^{24}_{12}Mg$, $^{56}_{26}Fe$, $^{88}_{38}Sr$

2.4 തന്നിട്ടുള്ള അറ്റോമികസംഖ്യ (Z), ആറ്റോമികമാസ് (A) എന്നിവ ഉപയോഗിച്ച് ആറ്റത്തിന്റെ പൂർണചിഹ്നം എഴുതുക.

(i) $Z = 17$, $A = 35$.
(ii) $Z = 92$, $A = 233$.
(iii) $Z = 4$, $A = 9$.

2.5 സോഡിയം വിളക്കിൽ നിന്ന് പുറപ്പെടുന്ന മഞ്ഞ വെളിച്ചത്തിന് 580 nm തരംഗദൈർഘ്യം (λ) ഉണ്ട്. മഞ്ഞ വെളിച്ചത്തിന്റെ ആവൃത്തി (ν), തരംഗസംഖ്യ ($\bar{\nu}$) എന്നിവ കണക്കാക്കുക

2.6 3×10^{15} ഹെഴ്സ് ആവൃത്തിയുള്ള പ്രകാശത്തിലേയും, തരംഗദൈർഘ്യം 0.50 ഉള്ള പ്രകാശത്തിലേയും ഒരോ ഫോട്ടോണുകളുടെ ഊർജം കണ്ടുപിടിക്കുക?

2.7 2.0×10^{-10} സെക്കന്റ് പരിവൃത്തി (period) യുള്ള ഒരു പ്രകാശതരംഗത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം, ആവൃത്തി, തരംഗസംഖ്യ എന്നിവ കണക്കാക്കുക.

2.8 1J ഊർജം നൽകുന്ന 4000 pm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള പ്രകാശത്തിലെ ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം എത്രയാണ്?

2.9 പ്രവൃത്തിഫലനം (work function) 2.13 eV.യുള്ള ഒരു ലോഹത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിൽ 4×10^{-7} മീറ്റർ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഒരു ഫോട്ടോൺ വന്ന് പതിക്കുന്നു. (i) ഫോട്ടോണിന്റെ ഊർജം (eV), (ii) ഉത്സർജിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം, (iii) ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗം (1 eV = 1.6020×10^{-19} J) എന്നിവ കണക്കുകൂട്ടുക.

2.10 സോഡിയംആറ്റത്തിനെ അയോണീകരിക്കാൻ 242 nm മാത്രം തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വൈദ്യുതകാന്തിക വികിരണം മതിയാകും. സോഡിയത്തിന്റെ അയണീകരണ ഊർജം kJ mol^{-1} ൽ കണക്കുകൂട്ടുക.

2.11 ഒരു 25 വാട്ട്ബൾബ് 0.57 μm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള മഞ്ഞ പ്രകാശം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നു. ഒരു സെക്കന്റിൽ ഉൽസർജിക്കുന്ന ക്വാണ്ടത്തിന്റെ നിരക്ക് കണക്കുകൂട്ടുക.

2.12 6800 Å തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണം പതിക്കുമ്പോൾ ഒരു ലോഹ ഉപരിതലത്തിൽ നിന്ന് പ്രവേഗം പൂജ്യമായ ഇലക്ട്രോണുകൾ പുറത്തുവരുന്നു. ലോഹത്തിന്റെ ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തി (ν_0), പ്രവൃത്തി ഫലനം (W_0) എന്നിവ കണക്കാക്കുക.

2.13 ഒരു ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ n = 4 എന്ന ഊർജനിലയിൽ നിന്ന് n = 2 എന്ന ഊർജ നിലയിലേക്ക് സംക്രമണം ചെയ്യുമ്പോൾ ഉത്സർജിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യമെന്താണ്?

2.14 ഒരു H- ആറ്റത്തിലെ n =5 എന്ന ഓർബിറ്റിലുള്ള ഇലക്ട്രോണിനെ അയോണീകരിക്കാൻ എത്രത്തോളം ഊർജം ആവശ്യമാണ്? നിങ്ങളുടെ ഉത്തരം H- ആറ്റത്തിന്റെ അയോണീകരണഎൻഥാൽപിയുമായി (n = 1 എന്ന ഓർബിറ്റിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോൺ നീക്കം ചെയ്യാൻ ആവശ്യമായ ഊർജം) താരതമ്യം ചെയ്യുക.

2.15 ഒരു H- ആറ്റത്തിലെ n =6 എന്ന ഊർജനിലയിലേയ്ക്ക് ഉത്തേജിക്കപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോൺ നിമ്നോർജാവസ്ഥയിലേക്ക് പതിക്കുമ്പോൾ ഉത്സർജിക്കുന്ന രേഖകളുടെ പരമാവധി എണ്ണം എത്രയാണ്?

2.16 (i) ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ആദ്യത്തെ ഓർബിറ്റുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഊർജം -2.18×10^{-18} J $atom^{-1}$ ആണ്. അഞ്ചാമത്തെ ഓർബിറ്റുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഊർജമെന്ത്? (ii) ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ അഞ്ചാം ബോർ ഓർബിറ്റിന്റെ ആരം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.17 അറ്റോമികഹൈഡ്രജന്റെ ബാമർ ശ്രേണിയിലെ ഏറ്റവും ദൈർഘ്യമേറിയ തരംഗദൈർഘ്യസംക്രമണത്തിന്റെ തരംഗസംഖ്യ കണക്കുകൂട്ടുക.

2.18 ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിന്റെ ആദ്യത്തെ ബോർ ഓർബിറ്റിൽ നിന്ന് ഇലക്ട്രോണിനെ അഞ്ചാമത്തെ ബോർ ഓർബിറ്റിലേക്ക് മാറ്റാൻ ആവശ്യമുള്ള ഊർജം ജൂളിൽ എത്രയാണ്? ഇലക്ട്രോൺ തിരിച്ചു നിമ്നോർജാവസ്ഥയിലേക്ക് എത്തുമ്പോൾ ഉത്സർജിക്കുന്ന പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം എത്രയാണ്? നിമ്നോർജാവസ്ഥാഇലക്ട്രോൺ ഊർജം -2.18×10^{-11} erg ആണ്.

2.19 ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ ഊർജം $E_n = (-2.18 \times 10^{-18})/n^2$ J ആണ്. n = 2 എന്ന ഓർബിറ്റിൽ നിന്നു ഇലക്ട്രോൺ പൂർണമായും നീക്കം ചെയ്യാനവശ്യമായ ഊർജം കണക്കുകൂട്ടുക. ഈ സംക്രമണം നടപ്പാക്കാനാവശ്യമായ ഏറ്റവും ദൈർഘ്യമേറിയ പ്രകാശത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം സെന്റീമീറ്ററിൽ കണക്കാക്കുക.

2.20 2.05×10^{7} m s^{-1} പ്രവേഗമുള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കാക്കുക.

2.21 ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ മാസ്സ് 9.1×10^{-31} kg ആണ്. അതിന്റെ K.E. 3.0×10^{-25} J ആണെങ്കിൽ, തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.22 താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്നവയിൽ സമഇലക്ട്രോണിക സ്പീഷീസ്, അതായത് ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം തുല്യമായവ ഏതൊക്കെയാണ്?

Na^{1}, K , Mg^{2} , Ca^{2} , S^{2} , Ar.

2.23 (i) താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്ന അ:യോണുകളുടെ ഇലക്ട്രോണിക വിന്യാസങ്ങൾ എഴുതുക:

(a) H^{-} (b) Na^{+} (c) O^{2-} (d) F^{-}

(ii) മൂലകങ്ങളുടെ ബഹ്യതമഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. അവയുടെ അറ്റോമിക സംഖ്യകൾ ഏതൊക്കെയാണ് (a) $3s^{1}$ (b) $2p^{3}$ (c) $3p^{5}$

(iii) ഇനിപ്പറയുന്ന വിന്യാസങ്ങൾ ഏതൊക്കെ ആറ്റങ്ങളെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു?

(a) |He| $2s^{1}$ (b) |Ne| $3s^{2}\,3p^{3}$ (c) |Ar| $4s^{2}\,3d^{1}$.

2.24 g-ഓർബിറ്റലുകൾ സാധ്യമായ 'n'-ന്റെ ഏറ്റവും കുറഞ്ഞ മൂല്യം എന്താണ്?

2.25 3d- ഓർബിറ്റലിൽ ഉള്ള ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് സാധ്യമായ n, l, m_l എന്നിവയുടെ മൂല്യങ്ങൾ നൽകുക.

2.26 ഒരു മൂലകത്തിന്റെ അറ്റത്തിൽ 29 ഇലക്ട്രോണുകളും 35 ന്യൂട്രോണുകളും അടങ്ങുന്നു. (i) പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം, (ii) മൂലകത്തിന്റെ ഇലക്ട്രോണിക വിന്യാസം എന്നിവ എഴുതുക.

2.27 H_2^{+}, H_2, O_2^{+} എന്നിവയിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം നൽകുക.

2.28 (i) n = 3 ആയ അറ്റോമികഓർബിറ്റലിനു സാധ്യമായ l, m_l മൂല്യങ്ങൾ എന്തൊക്കെയാണ്? (ii) 3d ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ (m_l, l) എഴുതുക. (iii) $1p$, $2s$, $2p$ $3f$ എന്നീ ഓർബിറ്റലുകളിൽ സാധ്യമായത് ഏവ?

2.29 s, p, d എന്നീ ചിഹ്നങ്ങളുപയോഗിച്ച്, ഇനിപ്പറയുന്ന ക്വാണ്ടംസംഖ്യകളുള്ള ഓർബിറ്റലുകളെ വിവരിക്കുക.

(a) n=1, l=0; (b) n = 3; l=1 (c) n = 4; l =2; (d) n=4; l=3.

2.30 ചുവടെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ക്വാണ്ടം സംഖ്യകളിൽ ഏതൊക്കെ ഗണങ്ങൾ സാധ്യമല്ല എന്നത് കാരണങ്ങൾ നൽകി വിവരിക്കുക.

(a)	$n = 0$,	$l = 0$,	$m_l = 0$, $m_s = +½$
(b)	$n = 1$,	$l = 0$,	$m_l = 0$, $m_s = -½$
(c)	$n = 1$,	$l = 1$,	$m_l = 0$, $m_s = +½$
(d)	$n = 2$,	$l = 1$,	$m_l = 0$, $m_s = -½$
(e)	$n = 3$,	$l = 3$,	$m_l = -3$, $m_s = +½$
(f)	$n = 3$,	$l = 1$,	$m_l = 0$, $m_s = +½$

2.31 ഒരു ആറ്റത്തിലെ എത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് താഴെപ്പറയുന്ന ക്വാണ്ടംസംഖ്യകൾ ഉണ്ടാവാം?

(a) $n = 4$, $m_s = -½$ (b) $n = 3$, $l = 0$

2.32 ഹൈഡ്രജൻ ആറ്റത്തിലെ ബോർ ഓർബിറ്റിന്റെ ചുറ്റളവ്, ഓർബിറ്റിൽ ചുറ്റുന്ന ഇലക്ട്രോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദ ബ്രോളി തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ പൂർണസംഖ്യകളുടെ ഗുണിതമാണെന്നു തെളിയിക്കുക.

2.33 ഹൈഡ്രജന്റെ സ്പെക്ട്രത്തിലെ ഏതു സംക്രമണത്തിനാണ് He^{+} സ്പെക്ട്രത്തിലെ $n = 4$ ൽ നിന്ന് $n = 2$ ലേക്കുള്ള ബാമർസംക്രമണത്തിനു തുല്യമായ തരംഗദൈർഘ്യമുണ്ടായിരിക്കുന്നത്?

2.34 $He^{+}(g) \rightarrow He^{2+}(g) + e$ എന്ന പ്രക്രിയയ്ക്ക് ആവശ്യമായ ഊർജം കണക്കക്കുക. നിമ്നോർജാവസ്ഥയിലെ H ആറ്റത്തിന്റെ അയോണീകരണഊർജം 2.18×10^{-18} J $atom^{-1}$ ആണ്.

2.35 ഒരു കാർബൺ ആറ്റത്തിന്റെ വ്യാസം 0.15 nm ആണെങ്കിൽ, 20 സെന്റിമീറ്റർ നീളമുള്ള നേർരേഖയിൽ അടുത്തടുത്ത് വയ്ക്കാൻ കഴിയുന്ന കാർബൺആറ്റങ്ങളുടെ എണ്ണം കണ്ടുപിടിക്കുക,

2.36 2×10^{8} കാർബൺ ആറ്റങ്ങൾ വശങ്ങളിലായി ക്രമീകരിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഈ ക്രമീകരണത്തിന്റെ ദൈർഘ്യം 2.4cm ആണെങ്കിൽ കാർബൺ ആറ്റത്തിന്റെ ആരം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.37 സിങ്ക് ആറ്റത്തിന്റെ വ്യാസം $2.6 \mathring{A}$ ആണ്. (a) സിങ്ക് ആറ്റത്തിന്റെ ആരം pm-ലും (b) 1.6 സെന്റിമീറ്റർ നീളത്തിൽ സിങ്ക് ആറ്റങ്ങൾ വശങ്ങളിലായി ക്രമീകരിക്കാനാവശ്യമായ ആറ്റങ്ങളുടെ എണ്ണവും കണ്ടുപിടിക്കുക

2.38 ഒരു നിശ്ചിതകണത്തിലുള്ള സ്ഥിതവൈദ്യുതചാർജ് $2.5 \times 10^{-16}C$ ആണ്. ഇതിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം കണക്കാക്കുക.

2.39 മില്ലിക്കൻ പരീക്ഷണത്തിൽ, എണ്ണത്തുള്ളികളിലെ സ്ഥിതവൈദ്യുതചാർജ് x-കിരണങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ലഭിക്കുന്നു. എണ്ണത്തുള്ളിയിലെ സ്ഥിതവൈദ്യുതചാർജ് $-1.282 \times 10^{-18}C$ ആണെങ്കിൽ, അതിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം കണ്ടുപിടിക്കുക.

2.40 റുഥർഫോർഡിന്റെ പരീക്ഷണത്തിൽ സാധാരണയായി ഗോൾഡ്, പ്ലാറ്റിനം മുതലായ ഘന ആറ്റങ്ങളുടെ നേർത്ത തകിടുകളാണ് α കണങ്ങൾ കൂട്ടിമുട്ടിക്കുന്നതിനായി ഉപയോഗിച്ചുവരുന്നന്നത്. അലൂമിനിയം തുടങ്ങിയ ലഘു ആറ്റങ്ങളുടെ നേർത്ത തകിടുകളാണ് ഉപയോഗിക്കുന്നതെങ്കിൽ, മുകളിൽ പറഞ്ഞ ഫലങ്ങളിൽ നിന്ന് എന്തു വ്യത്യാസം കാണാൻ കഴിയും?

2.41 $^{79}_{35}Br$, ^{79}Br എന്നീ പ്രതീകങ്ങൾ എഴുതാം, $^{35}_{79}Br$ എന്നാൽ ^{35}Br എന്നീ പ്രതീകങ്ങൾ സ്വീകാര്യമല്ല. എന്തുകൊണ്ടാണെന്ന് ചുരുക്കത്തിൽ ഉത്തരം നൽകുക.

2.42 മാസ് സംഖ്യ 81 ആയ ഒരു മൂലകത്തിൽ പ്രോട്ടോണുകളെ അപേക്ഷിച്ച് 31.7% കൂടുതൽ ന്യൂട്രോണുകൾ ഉണ്ട്. ആറ്റത്തിന്റെ പ്രതീകം എഴുതുക.

2.43 മാസ് നമ്പർ 37 ആയ ഒരു അയോണിന് ഒരു യൂണിറ്റ് നെഗറ്റീവ് ചാർജ് ഉണ്ട്. ഇലക്ട്രോണുകളെക്കാൾ 11.1% കൂടുതൽ ന്യൂട്രോണുകൾ അയോണിൽ ഉണ്ടെങ്കിൽ, അയോണിന്റെ ചിഹ്നം കണ്ടെത്തുക.

2.44 മാസ്സ് നമ്പർ 56 ആയ അയോണിന് 3 യൂണിറ്റ് പോസിറ്റീവ് ചാർജും ഇലക്ട്രോണുകളേക്കാൾ 30.4% കൂടുതൽ ന്യൂട്രോണുകളുമാണ് ഉള്ളത്. ഈ അയോണിന്റെ പ്രതീകം കണ്ടെത്തുക.

2.45 ആവൃത്തിയുടെ ആരോഹണ ക്രമം അനുസരിച്ച് താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന തരം വികിരണങ്ങളെ ക്രമീകരിക്കുക: (a) മൈക്രോവേവ് അവൻവികിരണം (b) ട്രാഫിക് സിഗ്നലിൽ നിന്നുമുള്ള ആംബർ വെളിച്ചം. (c) എഫ്.എം. റേഡിയോ വികിരണം (d) ബഹിരാകാശത്ത് നിന്ന് വരുന്ന കോസ്മിക് കിരണങ്ങൾ (e) എക്സ് കിരണങ്ങൾ.

2.46 നൈട്രജൻലേസർ വികിരണത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം 337.1nm ആണ്. ഇവിടെ ഉത്സർജിക്കുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം 5.6×10^{24} ആണെങ്കിൽ, ഈ ലേസറിന്റെ പവർ കണക്കുകൂട്ടുക.

2.47 നിയോൺഗ്യാസ് സാധാരണയായി ചിഹ്നബോർഡുകളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. ഇത് 616 nm-ൽ ശക്തമായി വികിരണം ഉത്സർജിക്കുകയാണെങ്കിൽ (a) ഉത്സർജനആവൃത്തി, (b) 30 സെക്കന്റിൽ ഈ വികിരണം സഞ്ചരിക്കുന്ന ദൂരം (c) ക്വാണ്ടത്തിന്റെ ഊർജം (d) 2J ഊർജം ഉത്പാദിപ്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ അതിലെ ക്വാണ്ടങ്ങളുടെ എണ്ണം എന്നിവ കണ്ടുപിടിക്കുക.

2.48 ജ്യോതിശ്ശാസ്ത്രനിരീക്ഷണങ്ങളിൽ, വിദൂരനക്ഷത്രങ്ങളിൽ നിന്ന് കിട്ടുന്ന സിഗ്നലുകൾ പൊതുവെ ദുർബലമാണ്. ഫോട്ടോൺ ഡിറ്റക്ടറിൻ 600 nm വികിരണത്തിൽ നിന്ന് ആകെ 3.15×10^{-18}J ലഭിക്കുകയാണെങ്കിൽ, ഡിറ്റക്ടറിൽ ലഭിച്ച ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.49 ഉത്തേജിതതന്മാത്രകളുടെ ആയുസ് മിക്കപ്പോഴും അളക്കുന്നത് നാനോസെക്കന്റ് പരിധിയിൽ തുടിക്കുന്ന (pulsed) വികിരണസ്രോതസ് ഉപയോഗിച്ചാണ്. വികിരണ സ്രോതസിനു 2 ns കാലയളവും പൾസ് സ്രോതസിൽ ഉൽപാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്ന ഫോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം 2.5×10^{15} ആണെങ്കിൽ, സ്രോതസിന്റെ ഊർജം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.50 സോഡിയം ആറ്റത്തിലെ ഏറ്റവും കൂടിയ തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഡബ്ലറ്റ് ആഗിരണസംക്രമണം 589 , 589.6nm എന്നിവയിലാണ് കാണപ്പെടുന്നത്. ഓരോ സംക്രമണത്തിന്റേയും ആവൃത്തിയും രണ്ട് ഉത്തേജിതനിലകൾക്കും ഇടയിലുള്ള ഊർജത്തിന്റെ വ്യത്യാസവും കണക്കാക്കുക.

2.51 സീസിയം ആറ്റത്തിന്റെ വർക്ഫങ്ഷൻ 1.9 eV ആണ്. വികിരണത്തിന്റെ ത്രെഷോൾഡ് തരംഗദൈർഘ്യവും ത്രെഷോൾഡ് ആവൃത്തിയും കണക്കുകൂട്ടുക. 500 nm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള വികിരണമാണ് സീസിയംമൂലകത്തിൽ പ്രയോഗിച്ചതെങ്കിൽ ഉത്സർജിക്കപ്പെട്ട ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണിന്റെ ഗതികോർജം, പ്രവേഗം എന്നിവ കണക്കുകൂട്ടുക.

2.52 വ്യത്യസ്ത തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളുള്ള വികിരണങ്ങൾ സോഡിയം ലോഹത്തിൽ പ്രയോഗിക്കുമ്പോൾ താഴെപ്പറയുന്ന ഫലങ്ങൾ നിരീക്ഷിക്കപ്പെടുന്നു. (a) ത്രെഷോൾഡ് തരംഗദൈർഘ്യം, (b) പ്ലാങ്ക് സ്ഥിരാങ്കം എന്നിവ കണക്കാക്കുക.

λ (nm)	500	450	400
$v \times 10^{-5}$ (cm s^{-1})	2.55	4.35	5.35

2.53 സിൽവർലോഹത്തിലെ ഒരു ഫോട്ടോഇലക്ട്രിക് പ്രഭാവപരീക്ഷണത്തിൽ 256.7nm വികിരണം ഉപയോഗിച്ച് ഫോട്ടോ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കുന്നു. ഇതിൽ, 0.35V വൈദ്യുതി പ്രയോഗിച്ചപ്പോൾ ഫോട്ടോഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഉൽപാദനം നിലയ്ക്കുന്നു. സിൽവർ ലോഹത്തിന്റെ വർക്ക് ഫങ്ഷൻ കണക്കാക്കുക.

2.54 150 pm തരംഗദൈർഘ്യമുള്ള ഫോട്ടോൺ ഒരു ആറ്റത്തിൽ പതിക്കുമ്പോൾ അതിന്റെ ആന്തരഷെല്ലിൽ നിന്ന് 1.5×10^{7} m s^{-1} പ്രവേഗമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജിക്കുന്നു. അതിനെ ന്യൂക്ലിയസുമായി ബന്ധിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള ഊർജം കണക്കാക്കുക.

2.55 പാഷെൻശ്രേണിയിൽ ഇലക്ട്രോൺസംക്രമണം 'n' എന്ന ഓർബിറ്റിൽ നിന്നു തുടങ്ങി n = 3 എന്ന ഓർബിറ്റിൽ അവസാനിക്കുന്നു. ഇതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഊർജവ്യത്യാസത്തെ, $\nu = 3.29 \times 10^{15}$ (Hz) $[1/3^2 - 1/n^2]$ എന്നു കാണിക്കാം. ഈ സംക്രമണത്തിന്റെ ഉൽസർജനം 1285 nm ൽ ആണ് കാണുന്നതെങ്കിൽ, 'n' ന്റെ മൂല്യം കണക്കാക്കുക. ഈ സ്പെക്ട്രം ഏതു മേഖലയിലാണെന്നു കണ്ടെത്തുക?

2.56 H ആറ്റത്തിൽ 1.3225 nmആരമുള്ള ഓർബിറ്റിൽ നിന്ന് ആരംഭിച്ച് 211.6 pm ആരമുള്ള ഓർബിറ്റിൽ അവസാനിക്കുന്ന സംക്രമണം മൂലം ഉണ്ടാകുന്ന ഉത്സർജനത്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കാക്കുക. സംക്രമണം ഉൾപ്പെടുന്ന ശ്രേണിയുടെയും സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ മേഖലയുടെയും പേര് നൽകുക.

2.57 ഡിബ്രോളി നിർദേശിച്ച, വസ്തുക്കളുടെ ദ്വൈതസ്വഭാവം ഇലക്ട്രോൺ മൈക്രോസ്കോപ്പ് കണ്ടെത്തുന്നതിലേക്ക് നയിച്ചു. ജൈവതന്മാത്രകളുടേയും മറ്റു വസ്തുക്കളുടേയും വളരെയധികം വലുതാക്കിയ ചിത്രങ്ങൾ കാണാൻ ഇത് ഉപയോഗിച്ചു. ഈ മൈക്രോസ്കോപ്പിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗം 1.6×10^{6} m s^{-1}ആണെങ്കിൽ ഈ ഇലക്ട്രോണുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ഡിബ്രോളി തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.58 ഇലക്ട്രോൺ വിഭംഗനത്തിനു സമാനമായി, ന്യൂട്രോൺ വിഭംഗനമൈക്രോസ്കോപ്പും തന്മാത്രകളുടെ ഘടന നിർണയിക്കുന്നതിന് ഉപയോഗിക്കുന്നു. ഇവിടെ ഉപയോഗിക്കുന്ന തരംഗദൈർഘ്യം 800 pm ആണെങ്കിൽ ന്യൂട്രോണിന്റെ പ്രവേഗം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.59 ബോറിന്റെ ആദ്യത്തെ ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണിന്റെ പ്രവേഗം 2.19×10^6 m s^{-1} ആണെങ്കിൽ, അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ദ ബ്രോളി തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കുകൂട്ടുക.

2.60 1000 V പൊട്ടെൻഷ്യൽ വ്യതിയാനത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന പ്രോട്ടോണിന്റെ പ്രവേഗം 4.37×10^5 m s^{-1} ആണ്. ഈ പ്രവേഗത്തിൽ നീങ്ങുന്ന, 0.1 കിലോഗ്രാം പിണ്ഡമുള്ള ഹോക്കിപന്തിന്റെ തരംഗദൈർഘ്യം കണക്കാക്കുക.

2.61 ഇലക്ട്രോണിന്റെ സ്ഥാനം ± 0.002 nm കൃത്യതയിൽ കണക്കാക്കിയാൽ, ഇലക്ട്രോണിന്റെ ആക്കത്തിലെ അനിശ്ചിതത്വം കണക്കാക്കുക.

2.62 ആറ് ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ക്വാണ്ടം സംഖ്യകൾ താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. ഊർജം വർധിക്കുന്നതിനനുസരിച്ചു അവയെ ക്രമീകരിക്കുക. ഇവയിൽ ഒരേ ഊർജമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ടെങ്കിൽ അവ കണ്ടെത്തുക.

1. $n = 4, l = 2, m_l = -2, m_s = -1/2$
2. $n = 3, l = 2, m_l = 1, m_s = +1/2$
3. $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +1/2$
4. $n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -1/2$
5. $n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = +1/2$
6. $n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +1/2$

2.63 ബ്രോമിൻ ആറ്റത്തിൽ 35 ഇലക്ട്രോണുകളാണുള്ളത്. ഇതിൽ $2p$ ഓർബിറ്റലിൽ 6 ഇലക്ട്രോണുകളും, $3p$ ഓർബിറ്റലിൽ 6 ഇലക്ട്രോണുകളും $4p$ ഓർബിറ്റലിൽ 5 ഇലക്ട്രോണുകളും അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ഈ ഇലക്ട്രോണുകളിൽ ഏതിനാണ് ഏറ്റവും താഴ്ന്ന സഫലന്യൂക്ലിയർചാർജ് അനുഭവപ്പെടുന്നത്?

2.64 താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ജോടികളിൽ ഏറ്റവും കൂടിയ സഫലന്യൂക്ലിയർചാർജ് അനുഭവപ്പെടുന്നത് ഏതിനാണ്? (i) $2s$, $3s$ (ii) $4d$, $4f$, (iii) $3d$, $3p$.

2.65 Al, Si എന്നിവയിലെ ജോടിയില്ലാത്ത ഇലക്ട്രോണുകൾ $3p$ ഓർബിറ്റലിൽ ആണുള്ളത്. ഏത് ഇലക്ട്രോണിനാണ് ന്യൂക്ലിയസിൽ നിന്ന് കൂടുതൽ സഫലന്യൂക്ലിയർചാർജ് അനുഭവപ്പെടുന്നത്?

2.66 താഴെക്കൊടുത്തിരിക്കുന്നവയിലെ ജോടിയില്ലാത്ത ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം സൂചിപ്പിക്കുക: (a) P, (b) Si, (c) Cr, (d) Fe, (e) Kr.

2.67 (a) $n = 4$ ൽ എത്ര ഉപഷെല്ലുകൾ ഉണ്ട്? (b) $n = 4$ - ൽ m_s മൂല്യം $-1/2$ വരുന്ന എത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ടായിരിക്കും?