KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY

Call No. M.500 Acc. No. 12061

Author പരമേശ്വരൻ · എം·പി

Title. പരമാണുശാസ്ത്രം

1119

പരമാണുശാസ്ത്രം

ഗ്രന്ഥകർത്താ:

എം. പി. പരമേശ്വരൻ

പരമാണുശക്തിഗവേഷണാലയം

ട്രോംബെ, ബോംബെ

KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY
KOTTAYAM.

വിതരണക്കാർ:

മംഗളോദയം (പ്രൈവററ്) ലിമിററഡ്

തൃശ്ശിവപേരൂർ

1963 / 1139

വില: **1-75**

ഒന്നാംപതിപ്പ്:
1963 സെപ്റ്റംബർ
കോപ്പി 1000

M500
Par-P

തൃശ്ശിവപേരൂർ
മംഗളോദയം പ്രസ്സിൽ
അച്ചടിച്ചതു്

No: 12067

പ്രസ്താവന

ശിലായുഗം, ലോഹയുഗം, യന്ത്രയുഗം എന്നിവയെല്ലാം പിന്നിട്ട ലോകം പരമാണുയുഗത്തിലേയ്ക്കു പ്രവേശിച്ചിരിക്കുകയാണു്. പരമാണുശാസ്ത്രപരിജ്ഞാനം രാഷ്ട്രങ്ങളുടെ ജീവിതനിലവാരത്തിൻെറ ഒരു മാനദണ്ഡംതന്നെയായിത്തീൎന്നിരിക്കുന്നു. അങ്ങിനെയിരിക്കെ പരമാണുസിദ്ധാന്തത്തെയും പരമാണുശക്തിയുൽപാദനത്തിൻെറയും അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങളെയും പററി ആധികാരികമായി പ്രതിപാദിക്കുന്ന ഗ്രന്ഥങ്ങൾ ഭാരതത്തിലെ ഓരോ ഭാഷയിലും ഉണ്ടായിരിക്കേണ്ടതാണു്. മലയാളഭാഷയിൽ ഒരു ശാസ്ത്രഗ്രന്ഥമെഴുതുവാൻ തുനിയുമ്പോൾ, പ്രത്യേകിച്ച ശാസ്ത്രകഥകളല്ലാതെ തികച്ചും ശാസ്ത്രംമാത്രമായ ഒരു പുസ്തകമാണു് എഴുതേണ്ടതെന്നു വരുമ്പോൾ, സാങ്കേതികപദങ്ങളുടെ വിരളതകൊണ്ടു വരുന്ന വിഷമതകൾ കുറച്ചൊന്നുമല്ല. തിരുവിതാംകൂർസൎവ്വകലാശാല ഏതാണ്ടു പത്തു സംവത്സരംമുമ്പു സാങ്കേതികപദങ്ങളുടെ ഒരു പട്ടിക പ്രസിദ്ധീകരിച്ചിരുന്നു. ഹൈസ്കൂളുകളിലേയ്ക്കു് അത്യാവശ്യമായ ശാസ്ത്രവിഷയങ്ങൾപോലും കൈകാൎയ്യംചെയ്യുവാൻ ഇതു് അപൎയ്യാപ്തമാണു്. മലയാളത്തിലുള്ള സാങ്കേതികപദങ്ങളുടെ ഒരു പട്ടിക മദിരാശിയിലും പ്രസിദ്ധീകരിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. സമഗ്രമായ ഒരു ഇംഗ്ലീഷ്-ഹിന്ദി സാങ്കേതികപദകോശം, കഴിഞ്ഞ സംവത്സരത്തിൽ കേന്ദ്രവിദ്യാഭ്യാസവകുപ്പിൽനിന്നും പ്രസിദ്ധീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. ഇവയിൽനിന്നും ഏററവും യുക്തമെന്നു തോന്നുന്ന സാങ്കേതികപദങ്ങളാണു് ഈ പുസ്തകമെഴുതുവാൻ എടുത്തിട്ടുള്ളതു്. എങ്കിലും പരമാണുശാസ്ത്രത്തിൽ, പ്രത്യേകി

ച്ച റിയാക്ടറുകളുടെ ഗണനത്തിൽ, അത്യാവശ്യമായ പല സാങ്കേതികപദങ്ങൾ ഇവയിലും കാണുന്നില്ല. അവസ്ഥ തക്ക പദങ്ങൾ സ്വയം നിർമ്മിക്കേണ്ടതായി വന്നിട്ടുണ്ട്. 'താപീയന്യൂട്രോൺ' (thermal neutron), 'അനന്തഗുണനഘടകം' (infinite multiplication factor), 'സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രം' (macroscopic cross-section) മുതലായവ ഉദാഹരണങ്ങളാണ്. കേന്ദ്രവിദ്യാഭ്യാസവകുപ്പു ചിട്ടപ്പെടുത്തിയവിധംതന്നെയാണ്, ഗ്രന്ഥകർത്താവു സാങ്കേതികപദങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നത്. വസ്തുക്കൾ, അളവുമാനങ്ങൾ മുതലായവസ്സ് അവയുടെ അന്താരാഷ്ട്രീയ പദങ്ങൾതന്നെ ഉപയോഗിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഹീലിയം (Helium), യുറേനിയം (Uranium), വോൾട്ട് (Volt), മീററർ (Metre), കിലോഗ്രാം (Kilogram) മുതലായ പദങ്ങൾ ഈ ഇനത്തിൽ പെടും. ആശയനിർദ്ദേശികളായ സാങ്കേതികപദങ്ങൾ വേണ്ടവിധത്തിൽ തർജ്ജമചെയ്യണമെന്നാണ് കേന്ദ്രവിദ്യാഭ്യാസവകുപ്പിൻെറ നിർദ്ദേശം. അതനുസരിച്ച binding energy ബന്ധനോർജ്ജവും, periodic table ആവർത്തനസാരണിയും, thermal conductivity ഊഷ്മചാലകതയും ആയി മാറുന്നു.

ഗ്രന്ഥത്തിലെ ഭാഷാശൈലി വളരെയേറെ വിരസമായിട്ടുണ്ടെങ്കിൽ, തികച്ചും സാങ്കേതികമായ ഒരു ശാസ്ത്രഗ്രന്ഥമെഴുതുവാനുള്ള ഉദ്യമത്തിൻെറ ഫലമാണതെന്നു മനസ്സിലാക്കുവാനഭ്യർത്ഥിച്ചുകൊണ്ടു സഹൃദയരായ ശാസ്ത്രപ്രേമികളുടെ വിമർശനത്തിന്നായി ഈ സാഹസോദ്യമത്തെ സമർപ്പിച്ചുകൊള്ളുന്നു.

— ഗ്രന്ഥകർത്താവ്

ഉള്ളടക്കം

ഭാഗം ഒന്ന്   പേജ്

1. ശാസ്ത്രത്തിൻെറ നിദാനം 11
2. പഞ്ചഭൂതങ്ങൾ 12
3. പരമാണുവാദം 13
4. മൂലകങ്ങൾ 15
5. ഭൌതികപരിണാമവും രാസപരിണാമവും 16
6. യൌഗികങ്ങളും മിശ്രിതങ്ങളും 17
7. രാസസംയോജനനിയമങ്ങൾ 18
8. അണുക്കൾ 20
9. സംയുജതയും സമസംയുജഭാരവും 22
10. പരമാണുവിൻെറ ഘടന 25
11. പരമാണുസംഖ്യയും ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യയും 28
12. സ്ഥാനീയങ്ങൾ 29
13. പരമാണുഭാരം 30
14. മൂലക-യൌഗികസംജ്ഞകൾ 32
15. ആവർത്തനസാരണി 34
16. വിദ്യുത്‌വിസർജ്ജനനാളിക 40
17. റോൺജൻരശ്മികൾ അഥവാ X-രശ്മികൾ 43
18. തേജോദ്ഗിരണം 44

ഭാഗം രണ്ട്

19. ദ്രവ്യവും ഊർജ്ജവും 53
20. ദ്രവ്യനഷ്ടവും ബന്ധനോർജ്ജവും 56
21. സംയോജനവും ഭേദനവും 67
22. ബീജകേന്ദ്രവും ചലിക്കുന്ന കണികകളും 69

23.	പരിക്ഷേത്രം	74
24.	ന്യൂട്രോണുകളും റിയാക്ടറുകളിലുപയോഗിക്കുന്ന പദാർത്ഥങ്ങളും	81
25.	ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം	87
26.	പരമാണുറിയാക്ടർ	92
27.	ക്രാന്തികപരിമാണഗണനം	99
28.	റിയാക്ടറിലെ ശക്തിനിയന്ത്രണം	107
29.	പരമാണുശക്തിയുൽപാദനത്തിന്റെ സാങ്കേതികവശങ്ങൾ	110
30.	സമാപനം	116
	അനുബന്ധം 1	117
	,, 2	122
	,, 3	123

ഭാഗം ഒന്ന്

THE KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY
KOTTAYAM.

1. ശാസ്ത്രത്തിൻെറ നിദാനം

മനുഷ്യനെ മൃഗത്തിൽനിന്നും വേർതിരിക്കുന്നതു് അവൻെറ വിവേചനശക്തിയാണെന്നാണല്ലോ പറയുന്നതു്. ചോദ്യം ചോദിക്കുവാനുള്ള വാസന അവനു ജന്മസിദ്ധമാണു്. തനിക്കു ചുററുമുള്ള എണ്ണമററ വസ്തുക്കളേയും സംഭവങ്ങളേയും പററി അവനു് അറിയണം. കണ്ണു്, മൂക്കു്, വായ, ചെവി, ചർമ്മം എന്നിവയാണു് ഇവയെപ്പററി പഠിക്കുവാനുള്ള അവൻെറ ഉപാധികൾ. ഇവയെല്ലാം മൃഗങ്ങൾക്കും ഉണ്ടെങ്കിലും തൻെറ പഞ്ചേന്ദ്രിയങ്ങൾമുഖേന ലഭിക്കുന്ന വിജ്ഞാനശകലങ്ങളെ വേണ്ടവിധം അപഗ്രഥിച്ചു കൂട്ടിയിണക്കി പിന്നീടു് ആവശ്യം വരുമ്പോൾ ഉപയോഗിക്കുവാൻ സാധിക്കത്തക്കവണ്ണം തലച്ചോററിൽ ശേഖരിച്ചുവെയ്ക്കുവാനുള്ള കഴിവു മനുഷ്യനെ മൃഗത്തിൽനിന്നും വേർതിരിക്കുന്നു. മനുഷ്യൻ ഇന്നേവരെയായി ചോദിച്ചിട്ടുള്ള ചോദ്യങ്ങളുടേയും അവനു ലഭിച്ചിട്ടുള്ള ഉത്തരങ്ങളുടേയും സംഖ്യ ചെറുതൊന്നുമല്ല. എങ്ങിനെ മഴയുണ്ടാകുന്നു? എങ്ങിനെ വെയിൽ ഉണ്ടാകുന്നു? എങ്ങിനെ സുഖക്കേടുകൾ ഉണ്ടാകുന്നു? എന്തുകൊണ്ടു ചില പദാർത്ഥങ്ങൾ ഖരമായും ചിലവ ദ്രവമായുമിരിക്കുന്നു? എന്താണു് തണുപ്പു്? എന്താണു് ചൂടു്? എന്നു തുടങ്ങിയിട്ടു

ള്ള ചോദ്യങ്ങൾക്ക് അവസാനമില്ല. ഇവയുടെയെല്ലാം ഉത്തരങ്ങൾ വെവ്വേറെ ഓർമ്മവെയ്ക്കുവാനായി ചില പൊതുനിയമങ്ങളും സംജ്ഞകളും ഉണ്ടാക്കിയതാണ് മനുഷ്യന്റെ പുരോഗതിയുടെ ആദ്യത്തെ പടി. അതുതന്നെയാണ് ശാസ്ത്രത്തിന്റെ ആരംഭവും.

2. പഞ്ചഭൂതങ്ങൾ

ശാസ്ത്രത്തിന്റെ ആദ്യത്തെ നേട്ടം പഞ്ചഭൂതസിദ്ധാന്തമാണ്. പ്രപഞ്ചത്തെ അഞ്ചു വിധത്തിലായി ഇനംതിരിക്കാം:

1. ഖരപദാർത്ഥങ്ങൾ: ഉദാഹരണങ്ങൾ കല്ല്, ഇരുമ്പു മുതലായവ.
2. ദ്രാവകങ്ങൾ: പാൽ, ജലം മുതലായവ.
3. വാതകങ്ങൾ: വായു, പുക മുതലായവ.
4. ഊർജ്ജം അഥവാ തേജസ്സ്: വിദ്യുച്ഛക്തി, വെളിച്ചം, ചൂട് മുതലായവ.
5. ആകാശം: മുൻപറഞ്ഞതൊന്നുമല്ലാത്തതായിട്ട് എന്തുണ്ടോ അത്.

നമ്മുടെ ആദിമശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ ചില സുവ്യക്തങ്ങളായ ഉദാഹരണങ്ങളെക്കൊണ്ടാണ് ഇവയെ സൂചിപ്പിച്ചിരുന്നത്. ഭൂമി, ജലം, വായു, തേജസ്സ്, ആകാശം എന്നിങ്ങിനെ അഞ്ചു ഭൂതങ്ങൾ. പക്ഷേ ഇതുകൊണ്ടുമാത്രമായില്ല. ഖരപദാർത്ഥങ്ങൾതന്നെ ലക്ഷക്കണക്കിനുണ്ടു്. മരമാവാം, കരിയാവാം, വെള്ളിയാവാം, വെണ്ണക്കല്ലാവാം.

ഇതുപോലെതന്നെ ദ്രാവകങ്ങളും വാതകങ്ങളും. ഓരോന്നും മററുള്ളവയിൽനിന്നു വ്യത്യസ്തമാണു്. ഓരോന്നിന്റേയും ഗുണധർമ്മങ്ങൾ പ്രത്യേകം പ്രത്യേകം പഠിക്കുകയും ഓർമ്മവെയ്ക്കുകയും ചെയ്യുന്നതു ദുസ്സാദ്ധ്യമായതിനാൽ പ്രപഞ്ചത്തെ കുറെക്കൂടി ലളിതമാക്കി തരംതിരിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

3. പരമാണുവാദം

(Atomic Theory)

രണ്ടായിരത്തി മുന്നൂറിൽപരം കൊല്ലങ്ങൾക്കു മുമ്പു ഗ്രീസ്സിൽ 'ഡമോക്രിററസ്' എന്ന തത്വശാസ്ത്രജ്ഞനും ഭാരതത്തിൽ കണാദമുനിയും ഒരു പുതിയ ശാസ്ത്രസിദ്ധാന്തം ഉന്നയിക്കുകയുണ്ടായി. അവർ വാദിച്ചു: "ദ്രവ്യത്തിന്റെ ബാഹ്യമായ അവിച്ഛിന്നത വെറും മിഥ്യയാണു്. മൌലികമായി, സകല പദാർത്ഥങ്ങളും ഇടവിട്ടിടവിട്ടു് അടുക്കിവെയ്ക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള ചെറുകണികകളാണു്." വീണ്ടും ഖണ്ഡിക്കപ്പെടുവാൻ സാധിക്കാത്തവിധത്തിൽ ചെറുതായ ഈ സൂക്ഷ്മകണികകളെ അവർ 'പരമാണുക്കൾ' എന്നു വിളിച്ചു. ഇവരുടെ ഈ വാദത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനമെന്താണു്? സാധാരണങ്ങളായ ദൈനംദിനാനുഭവങ്ങളിൽനിന്നുതന്നെയാണു് അവർ ഈ നിഗമനത്തിലെത്തിച്ചേന്നതു്. ഒരു ഗ്ലാസ്സു വെള്ളമെടുത്തു് അതിൽ കുറച്ചു് ഉപ്പിടുക. രണ്ടു മിനിററിനുള്ളിൽ അതു് അപ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. കാപ്പിയിൽ പഞ്ചസാരയും വെള്ളത്തിലോ മററു ദ്രാവകങ്ങളിലോ നൂറുകണക്കിന്നു മററു പദാർത്ഥങ്ങളും ഇ

തുപോലെ അപ്രത്യക്ഷമാകുന്നു. എന്താണു് കാരണം? താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന സമാധാനം ഏററവും യുക്തിയുക്തമായി തോന്നുന്നു. വെള്ളത്തിൽ നമ്മുടെ ബാഹ്യനേത്രത്തിന്നു കാണുവാൻ കഴിയാത്തവിധം അത്രയും ചെറുതായ അനേകം സുഷിരങ്ങളുണ്ടു്. ഉപ്പു്, പഞ്ചസാര മുതലായ പദാൎത്ഥങ്ങൾ അതിസൂക്ഷ്മങ്ങളായ കണികകളാൽ നിൎമ്മിക്കപ്പെട്ടവയായിരിക്കാം. വെള്ളത്തിലുള്ള സൂക്ഷ്മസുഷിരങ്ങളിൽ പ്രവേശിച്ചു് അവ അപ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ഈ നിഗമനത്തെ സ്ഥിരീകരിക്കാൻ മററു പല അനുഭവങ്ങളും അവർ ചൂണ്ടിക്കാണിച്ചു. ഒരിടങ്ങഴി വെള്ളവും ഒരിടങ്ങഴി ചാരായവും കൂട്ടി യോജിപ്പിച്ചാൽ കിട്ടുന്ന മിശ്രിതം രണ്ടിടങ്ങഴിയിൽ കുറവായിരിക്കും. ചാരായത്തിന്റെ കുറച്ചു ഭാഗം വെള്ളത്തിലുള്ള സുഷിരങ്ങളിലും വെള്ളത്തിന്റെ കുറച്ചു ഭാഗം ചാരായത്തിലുള്ള സുഷിരങ്ങളിലും കയറിക്കൂടുന്നതിനാലാണു് ഇതു സംഭവിക്കുന്നതെന്നു് അവർ സമൎത്ഥിച്ചു. മറെറാരുദാഹരണംകൂടി എടുക്കാം. ഒരു സ്വൎണ്ണക്കട്ടിയും ഒരു വെള്ളിക്കട്ടിയും കൂട്ടിയമൎത്തി കുറെ കാലം വെയ്ക്കുക. പിന്നീടെടുത്തുനോക്കുമ്പോൾ സ്വൎണ്ണക്കട്ടിയിൽ വെള്ളിയുടെ അംശങ്ങളും വെള്ളിക്കട്ടിയിൽ സ്വൎണ്ണത്തിന്റെ അംശങ്ങളും ഉള്ളതായിക്കാണാം.

പദാൎത്ഥങ്ങളുടെ ബാഹ്യമായ അവിച്ഛിന്നത വാസ്തവമല്ലെന്നു് ഈ അനുഭവങ്ങളിൽനിന്നും മനസ്സിലാക്കാം. എല്ലാ പദാൎത്ഥങ്ങളും, ഏററവും കട്ടിയായതുംകൂടി, ലക്ഷോപലക്ഷം സുഷിരങ്ങളുള്ളവയാണു്. സകല പദാൎത്ഥങ്ങളുടേയും മൌലികഘടകങ്ങളായ പരമാണുക്കളെ അടു

ക്കിവെയ്ക്കുമ്പോൾ അവയുടെ ഇടയ്ക്കുണ്ടാകുന്ന പ്രദേശങ്ങളെയാണു് 'സുഷിരങ്ങൾ' എന്ന പദംകൊണ്ടു് ഇവിടെ വിവക്ഷിച്ചിട്ടുള്ളതു്.

4. മൂലകങ്ങൾ
(Elements)

മേൽപറഞ്ഞ സംഭവങ്ങൾ പരമാണുവാദത്തെ ന്യായീകരിക്കുവാൻ ഉതകുന്നവയത്രേ. അവയെപ്പററി കൂടുതൽ മനസ്സിലാക്കുവാൻ പദാൎത്ഥങ്ങളുടെ മററുചില സ്വഭാവങ്ങളെപ്പററിയും അറിയേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. മരം, അരി, പയർ, പഞ്ചസാര മുതലായ പദാൎത്ഥങ്ങൾ കരിച്ചാൽ നമുക്കു 'കാർബൺ' (Carbon) ലഭിക്കുന്നു. ഏതിൽനിന്നു കിട്ടുന്ന കാർബണും ഒരേ സ്വഭാവംതന്നെയാണെന്നു് അവയെ ശുദ്ധിചെയ്തു പരിശോധിച്ചുനോക്കിയാലറിയാം. ഈ കാർബണെ ഒന്നു രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുവാൻ നോക്കുക. അമ്ലത്തിലോ, ക്ഷാരത്തിലോ, അമ്മോണിയയിലോ, ബെൻസീനിലോ ഇട്ടു തിളപ്പിച്ചാലും അതിന്നു യാതൊരു മാററവും വരികയില്ല. കാർബണിന്റെ രൂപത്തെയോ സ്വഭാവത്തെയോ യാതൊരു രാസമാൎഗ്ഗങ്ങളാലും മാററുവാൻ സാധിക്കുകയില്ല. പ്രകൃതിയിൽ കാണുന്ന പല പദാൎത്ഥങ്ങളിലും ഘടകമായിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവാണു് കാർബൺ. തന്റേതായ സ്വഭാവഗുണങ്ങളോടുകൂടിയ കാർബണെ ഈ പദാൎത്ഥങ്ങളിൽനിന്നും എപ്പോൾ വേണമെങ്കിലും വേർതിരിക്കാം. പക്ഷേ കൂടുതൽ ലളിതമായ ഒരു പദാൎത്ഥമാക്കി അതിനെ മാററുവാൻ സാധിക്കുകയില്ലെന്നുമാ

ത്രം. ഒരേ വസ്തുമാത്രം അടങ്ങിയതും സാധാരണരാസമാർഗ്ഗങ്ങളിലൂടെ ലഘുതരങ്ങളായ വസ്തുക്കളായി വേർതിരിക്കാൻ സാധിക്കാത്തതുമായ ഇത്തരം ഏകകദ്രവ്യപദാർത്ഥങ്ങൾ മൂലകങ്ങൾ (Elements) എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ചെമ്പ്, സ്വർണ്ണം, ഗന്ധകം, ഹൈഡ്രജൻ, നൈട്രജൻ എന്നിങ്ങിനെ അനേകം മൂലകങ്ങൾ ലോകത്തിലെ വിവിധപദാർത്ഥങ്ങളിൽനിന്നും ലഭിക്കുന്നു. ഓരോന്നിനും അതിൻേറതായ പ്രത്യേകഗുണങ്ങൾ ഉണ്ട്. ഓരോന്നും മററു മൂലകങ്ങളിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തമാണ്. ഓരോന്നും അതിൻെറ വ്യക്തിത്വത്തെ നിലനിർത്തുന്നു. യാതൊരു രാസക്രിയയാലും ഒരു മൂലകത്തെ മറെറാന്നായി മാററുവാൻ സാധിക്കുകയില്ല. ലോകത്തിൽ ഇന്നോളം ആകെ 102 മൂലകങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്.

5. ഭൗതികപരിണാമവും രാസപരിണാമവും

(Physical Change and Chemical Change)

വെള്ളം തണുക്കുമ്പോൾ കട്ടിയാവുന്നു; ചൂടാക്കുമ്പോൾ നീരാവിയും. വെള്ളത്തിനുള്ള എല്ലാ രാസഗുണങ്ങളും ഹിമത്തിനും നീരാവിക്കുമുണ്ട്. താല്ക്കാലികമായ ഒരു അവസ്ഥാഭേദംമാത്രമാണ് സംഭവിച്ചിട്ടുള്ളത്. നീരാവിയെ തണുപ്പിച്ചാലും, ഹിമത്തെ ചൂടാക്കിയാലും നമുക്കു വീണ്ടും വെള്ളംതന്നെ ലഭിക്കുന്നു. ഇരുമ്പുകമ്പി ചൂടു പിടിക്കുമ്പോഴും മെഴുക് ഉരുകുമ്പോഴും ഉപ്പു വെള്ളത്തിൽ അലിയുമ്പോഴും ഇങ്ങിനെയുള്ള മാററങ്ങളാണ് സംഭവിക്കുന്നത്. പുതിയ ഒരു വസ്തു ഉണ്ടാകാതെ താല്ക്കാലികമായ മാററം

മാത്രമാണു് സംഭവിക്കുന്നതെങ്കിൽ ആ മാററത്തിനു 'ഭൌതികപരിണാമം' (Physical Change) എന്നു പറയുന്നു.

'മഗ്നീഷ്യം' (Magnesium) കത്തുമ്പോൾ അതു മഗ്നീഷ്യം ഓക്സൈഡ് (Magnesium Oxide) ആയി മാറുന്നതും വൈദ്യുതി ഏല്പിക്കുമ്പോൾ വെള്ളം ഹൈഡ്രജനും ഓക്സിജനും ആയി പിരിയുന്നതും മേൽപറഞ്ഞ മാതിരിയുള്ള മാററങ്ങളല്ല. ഈ മാററങ്ങളുടെ ഫലമായി ഉണ്ടാകുന്ന വസ്തുക്കൾ പഴയ വസ്തുക്കളിൽനിന്നും തികച്ചും വ്യത്യസ്തങ്ങളാണു്. ഈ പുതിയ വസ്തുക്കൾക്കു മുമ്പുള്ളവയുടെ ഒരു ഗുണധർമ്മവും കാണുകയില്ല. ഇങ്ങിനെയുള്ള മാററത്തെ നാം 'രാസപരിണാമം' (Chemical Change) എന്നു പറയുന്നു. ഏതെങ്കിലും ഒരു വസ്തുവിന്നുണ്ടാകുന്ന മാററത്തിൻെറ ഫലമായി അതിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തമായ രാസഗുണങ്ങളോടുകൂടിയ ഒരു വസ്തുവോ, വസ്തുക്കളോ ഉണ്ടാകുന്നുവെങ്കിൽ ആ പ്രത്യേകമാററത്തിനു 'രാസപരിണാമ'മെന്നു പേർ.

6. യൌഗികങ്ങളും മിശ്രിതങ്ങളും

(Compounds and Mixtures)

ലോകത്തിലുള്ള മൂലകങ്ങളല്ലാത്ത സംഖ്യയററ മററെല്ലാ പദാർത്ഥങ്ങളും രണ്ടോ അതിലധികമോ മൂലകങ്ങൾ ചേർന്നുണ്ടായവയാണു്. കാർബണും ഹൈഡ്രജനും ഓക്സിജനും ഒരു പ്രത്യേകതോതിൽ ചേർന്നാണു് പഞ്ചസാര ഉണ്ടാകുന്നതു് എന്നു പറഞ്ഞാൽ അത്ഭുതപ്പെട്ടേയ്ക്കാം. സമുദ്രക്കരയിൽ കാണുന്ന മണൽ, 'സിലിക്കൺ' (Silicon) എന്ന മൂലകവും ഓക്സിജനും ചേർന്നുണ്ടാകുന്ന

താണു്. ഇവയെല്ലാം യൌഗികങ്ങൾ എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ഒന്നിലധികം മൂലകങ്ങൾ നിശ്ചിതതോതിൽ സംയോജിച്ചു് അവയിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തങ്ങളായ ഗുണങ്ങളോടുകൂടി ഉണ്ടാകുന്ന പുതിയ പദാൎത്ഥങ്ങളാണു് യൌഗികങ്ങൾ. നിശ്ചിതതോതിലല്ലാതെ വെറും ഭൌതികമായിമാത്രം മൂലകങ്ങൾ ചേരുമ്പോൾ നമുക്കു ലഭിക്കുന്നതു കേവലം മിശ്രിതങ്ങളാകുന്നു. മിശ്രിതങ്ങളുടെ ഘടകങ്ങൾ മൂലകങ്ങൾമാത്രമാകണമെന്നില്ല. യൌഗികങ്ങളുമാകാം. ഇരുമ്പുപൊടിയും ഗന്ധകവും വെറുതെ കൂട്ടിച്ചേൎത്താൽ മൂലകങ്ങളുടെ ഒരു മിശ്രിതം ലഭിക്കുന്നു. ഉപ്പും പഞ്ചസാരയും കൂട്ടിച്ചേൎത്താലാകട്ടെ യൌഗികങ്ങളുടെ, മിശ്രിതമാണു് ലഭിക്കുന്നതു്.

7. രാസസംയോജനനിയമങ്ങൾ

(Laws of Chemical Combination)

മൂലകങ്ങൾ ചേൎന്നു യൌഗികങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നതു ചില പ്രത്യേകനിയമങ്ങൾക്കു വിധേയമായിട്ടാകുന്നു. അവ താഴെ പറയുന്നവയാണു്:

1. നിശ്ചിതാനുപാതനിയമം

(Law of definite proportions)

"ഒരു യൌഗികത്തിന്റെ ഘടകങ്ങൾ എല്ലായ്പോഴും ഒരേ മൂലകങ്ങൾതന്നെയായിരിക്കണം. മാത്രമല്ല, അവ തമ്മിലുള്ള സംയോജനാനുപാതവും എല്ലായ്പോഴും ഒന്നുതന്നെയായിരിക്കണം." ഉദാഹരണമായി വെള്ളമെടുക്കു

ക. അതു കുളത്തിലെയാകട്ടെ, കിണററിലെയാകട്ടെ, അമേരിക്കയിലെയാകട്ടെ, ആഫ്രിക്കയിലെയാകട്ടെ എല്ലാം ഹൈഡ്രജനും ഓക്സിജനും 1 : 8 എന്ന തോതിൽ ചേൎന്നതായിരിക്കും. കറിയുപ്പിൽ എവിടെയും രണ്ടു മൂലകങ്ങളേ കാണു: സോഡിയവും (Sodium) ക്ലോറിനും (Chlorine) 23 : 35.5 എന്ന അനുപാതത്തിൽ. ഇതിനാണു് നിശ്ചിതാനുപാതനിയമമെന്നു പറയുന്നതു്.

2. ബഹുഗുണാനുപാതനിയമം

(Law of multiple proportions)

"രണ്ടു മൂലകങ്ങൾ കൂടിച്ചേൎന്നു രണ്ടോ അതിലധികമോ യൌഗികങ്ങൾ ഉണ്ടാവുകയാണെങ്കിൽ ഒരു മൂലകത്തിൻെറ നിശ്ചിതഭാരവുമായി ചേരുന്ന മറേറ മൂലകത്തിൻെറ വിവിധഭാരങ്ങളുടെ അനുപാതം പൂൎണ്ണസംഖ്യകളായിരിക്കും." ഉദാഹരണമായി, നൈട്രജൻ ഓക്സിജനുമായി ചേൎന്നു് അഞ്ചു് ഓക്സൈഡുകൾ ഉണ്ടാകുന്നു. ഇവയിൽ 28 മാത്ര നൈട്രജൻ ക്രമത്തിൽ 80, 64, 48, 32, 16 എന്നീ മാത്രകൾ ഓക്സിജനുമായി കൂടിച്ചേരുന്നു. അതായതു് 5 : 4 : 3 : 2 : 1 എന്ന അനുപാതത്തിൽ.

3. പരസ്പരാനുപാതനിയമം

(Law of reciprocal proportions)

"ഒരു മൂലകവുമായി യോജിക്കുന്ന രണ്ടു മൂലകങ്ങളുടെ താരതമ്യഭാരങ്ങൾ അവ തങ്ങൾ തമ്മിൽ യോജിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന അനുപാതത്തിലായിരിക്കും." ഈ താരതമ്യഭാരങ്ങളെ രാസസമാനങ്ങൾ (Chemical equivalents) എ

ന്നു പറയുന്നു. ഉദാഹരണമായി താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ചില യോഗങ്ങൾ നോക്കുക:

i. 1ഗ്രാം ഹൈഡ്രജൻ + 8ഗ്രാം ഓക്സിജൻ
= 9ഗ്രാം വെള്ളം.

ii. 1ഗ്രാം ഹൈഡ്രജൻ + 3ഗ്രാം കാർബൺ
= 4ഗ്രാം മീഥേൻ (Methane).

iii. 1ഗ്രാം കാർബൺ + $2\frac{2}{3}$ഗ്രാം ഓക്സിജൻ
= $3\frac{2}{3}$ഗ്രാം കാർബൺ-ഡൈ-ഓക്സൈഡ്.

യോഗങ്ങൾ ഒന്നും, രണ്ടും എടുക്കുക: 1ഗ്രാം ഹൈഡ്രജൻ 8ഗ്രാം ഓക്സിജനോടോ, 3ഗ്രാം കാർബണിനോടോ യോജിക്കുന്നു. അതായത്ു ഹൈഡ്രജനുമായി യോജിക്കാനുള്ള ശേഷിയിൽ 8ഗ്രാം ഓക്സിജനും 3ഗ്രാം കാർബണും തുല്യമാണു് എന്നു താല്പര്യം. അതിനാൽ ഇവതമ്മിലുള്ള സംയോജനത്തിലും 8ഗ്രാം ഓക്സിജൻ 3ഗ്രാം കാർബണിനു തുല്യമായിരിക്കണം. ഇനി മൂന്നാംയോഗമെടുക്കുക: കാർബൺ-ഡൈ-ഓക്സൈഡിൽ കാർബണും ഓക്സിജനും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം $1 : 2\frac{2}{3}$ അഥവാ $3 : 8$ ആകുന്നു.

മേൽപറഞ്ഞ നിയമങ്ങളെല്ലാം പരീക്ഷണങ്ങൾമൂഖേന പ്രയാസംകൂടാതെ തെളിയിക്കാവുന്നതാണു്.

8. അണുക്കൾ

(Molecules)

ലോകത്തിലുള്ള സകലപദാൎത്ഥങ്ങളും മൂലകങ്ങളുടെ പലവിധത്തിലുള്ള സംയോജനങ്ങളിൽനിന്നു് ഉളവാകു

ന്നവയാണെന്നു മുമ്പു പഠിച്ചുവല്ലോ. ഇന്നേവരെയായി ആകെ 102 മൂലകങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. മൂലകങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനഘടകങ്ങളെയാണു് നാം പരമാണു എന്നു പറയുന്നതു്. യൌഗികങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനഘടകം അണു (Molecule) ആകുന്നു. രണ്ടോ അതിലധികമോ പരമാണുക്കൾ യോജിച്ചു് ഉണ്ടാകുന്ന വസ്തുവിനെയാണു് അണു എന്നു പറയുന്നതു്. ഈ പരമാണുക്കൾ ഒരേ മൂലകത്തിൻെറതന്നെയാകാം, അല്ലെങ്കിൽ വ്യത്യസ്തമൂലകങ്ങളുടെയുമാകാം. ആദ്യത്തേതിൽനിന്നു മൂലകത്തിൻെറ അണുവും രണ്ടാമത്തേതിൽനിന്നു യൌഗികത്തിൻെറ അണുവും ഉണ്ടാകുന്നു. മൂലകങ്ങളിൽ ചുരുക്കം ചിലവസ്തുമാത്രമേ അണുക്കളുള്ളു. എന്നാൽ യൌഗികത്തിനു് അണുരൂപത്തിലല്ലാതെ സ്ഥിതിചെയ്യുവാൻ നിവൃത്തിയില്ലെന്നു വ്യക്തമാണല്ലോ. നാം സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന കറിയുപ്പു് സോഡിയം, ക്ലോറിൻ എന്നീ മൂലകങ്ങൾ ചേൎന്നുണ്ടാകുന്നതാണു്. ഇതിൻെറ സാങ്കേതികനാമം 'സോഡിയം ക്ലോറൈഡു്' (Sodium Chloride) എന്നാകുന്നു. ഒരു സോഡിയംപരമാണുവും ഒരു ക്ലോറിൻപരമാണുവും കൂടിച്ചേൎന്നു സോഡിയം ക്ലോറൈഡിൻെറ ഒരു അണു ഉണ്ടാകുന്നു. കോടാനുകോടി അണുക്കളുടെ ഒരു സഞ്ചയമാണു് നമുക്കു ദൃഷ്ടിഗോചരമാകുന്ന ഒരു തരി ഉപ്പു്.

അണുക്കളിലുള്ള വിവിധമൂലകങ്ങളുടെ പരമാണുക്കൾ തങ്ങളുടെ വ്യക്തിത്വം ഭൂരിഭാഗവും നിലനിൎത്തുന്നുണ്ടു്. എന്തുകൊണ്ടെന്നാൽ യൌഗികം എത്രതന്നെ സ

കീർണ്ണമായാലും അവയുടെ ഘടകങ്ങളായ മൂലകങ്ങളെ നമുക്ക് എപ്പോൾ വേണമെങ്കിലും വേർതിരിക്കാൻ സാധിക്കുന്നതാണ്. ഈ അണു, പരമാണു മുതലായവയെല്ലാം നമുക്ക വിചാരിക്കുവാൻകൂടി സാധിക്കാത്തവിധത്തിൽ അത്ര ചെറിയവയാകുന്നു. ഏററവും ശക്തികൂടിയ സൂക്ഷ്മദർശിനി ഉണ്ടെങ്കിൽക്കൂടി, സാധാരണ വെളിച്ചത്തിലാണ് നോക്കുന്നതെങ്കിൽ ഒന്നും കാണുവാൻ സാധിക്കുകയില്ല. പക്ഷേ ഇലക്ട്രോൺരശ്മികളെക്കൊണ്ടു പ്രവർത്തിക്കുന്ന 'ഇലക്ട്രോൺ സൂക്ഷ്മദർശിനി (Electron Microscope) ഉപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ വളരെ വലിയ അണുക്കളിൽ ചിലവയെ കാണാം. വിവിധപദാർത്ഥങ്ങളുടെ സ്വഭാവഗുണങ്ങളെ യുക്തിപൂർവ്വമായി വിശദീകരിപ്പാനാണ് അണു-പരമാണു വാദം ആദ്യമായി ഉന്നയിക്കപ്പെട്ടതു്. പദാർത്ഥങ്ങൾ അദൃശ്യങ്ങളായ പരമാണുക്കളാലോ അണുക്കളാലോ നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടവയാണെന്നു സങ്കല്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ, നമുക്കു നിത്യാനുഭവമുള്ള ലയനം, വിസരണം മുതലായവ എളുപ്പത്തിൽ മനസ്സിലാക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നതാണ്. പദാർത്ഥങ്ങളുടെ സ്വഭാവങ്ങളെപ്പററി കൂടുതൽ അറിയുവാൻ തുടങ്ങിയപ്പോൾ ഈ സങ്കല്പം കൂടുതൽ യുക്തിപൂർവ്വവും വിജ്ഞാനപ്രദവും ആണെന്നു ബോധ്യമായി.

9. സംയുജതയും സമസംയുജഭാരവും

(Valency and Equivalent Weight)

മൂലകങ്ങൾ തമ്മിൽ രാസപ്രതിപ്രവർത്തനം നടക്കുന്നതു ചില നിയമങ്ങൾക്കു വിധേയമായിരിക്കും എന്നു

മുമ്പു പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ. മൂലകത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനഘടകം പരമാണുവാണെന്നും ഒരു മൂലകത്തിന്റെ എല്ലാ പരമാണുക്കൾക്കും ഒരേ ഭാരംതന്നെയാണെന്നും നമുക്കറിയാം. മൂലകങ്ങൾ തമ്മിൽ യോജിക്കുക എന്നു പറയുന്നതു് അവയുടെ പരമാണുക്കൾ അന്യോന്യം ബന്ധിതമാകുന്നതിനാണു്. പരമാണുവിനു പൂർണ്ണമായല്ലാതെ ഭാഗികമായി മററു പരമാണുക്കളോടു യോജിക്കുവാൻ നിവൃത്തിയില്ല. ഈ ആശയങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ചു രാസസംയോജനനിയമങ്ങൾ എല്ലാംതന്നെ വിശദീകരിക്കാവുന്നതാണു്. യൌഗികത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനഘടകം അണുവാണെന്നും ഒരു യൌഗികത്തിന്റെ അണുക്കളെല്ലാം ഒരുപോലെയാണെന്നും അറിയാമല്ലോ. ഉദാഹരണമായി വെള്ളംതന്നെ എടുക്കുക. അതിന്റെ അണുവിൽ രണ്ടു ഹൈഡ്രജൻപരമാണുക്കളും ഒരു ഓക്സിജൻപരമാണുവുമുണ്ടു്. ഒരു ഹൈഡ്രജൻപരമാണുവിന്റെ ഭാരം 1.00 ആണെങ്കിൽ ഒരു ഓക്സിജൻപരമാണുവിന്റെ ഭാരം 16.00 ആകുന്നു. അപ്പോൾ അവയുടെ ഭാരങ്ങളുടെ അനുപാതം 2 : 16 അഥവാ 1 : 8 ആയിത്തീരുന്നു. ഒരു ലക്ഷം അണുക്കളെടുത്തു വിശ്ലേഷണം (Analyse) ചെയ്തുനോക്കിയാലും ഈ അനുപാതത്തിനു മാററമൊന്നും വരുന്നതല്ല. ഇതു നിശ്ചിതാനുപാതനിയമത്തെ വിശദമാക്കുന്നു.

ഇനി ഒരു മൂലകത്തിനു മറെറാന്നുമായി ഒന്നിലധികംവിധത്തിൽ ചേരാമെന്നു വിചാരിക്കുക. അതായതു് ഒരു പരമാണു മറേറ മൂലകത്തിന്റെ ഒന്നും അതിലധികവും പരമാണുക്കളായി യോജിച്ചു വ്യത്യസ്തയൌഗിക

ങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നുവെന്നു്. ഇതു് 1 : 2 : 3....എന്നിങ്ങിനെയുള്ള കണക്കിലല്ലാതെ $1\frac{1}{4}$: $2\frac{1}{2}$: $3\frac{1}{8}$...........എന്നവിധങ്ങളിലൊന്നും സാധിക്കുകയില്ല. അണുക്കൾ പൂൎണ്ണമായേ രാസസംയോജനങ്ങളിൽ പങ്കെടുക്കൂ. ഇതുതന്നെയാണു് ബഹുഗുണാനുപാതനിയമം. പരസ്പരാനുപാതനിയമവും ഇതുപോലെ സുവ്യക്തമാകുന്നു.

ഒരു ഹൈഡ്രജൻപരമാണു ഒരു ക്ലോറിൻപരമാണുവുമായി യോജിച്ചാൽ ഹൈഡ്രജൻക്ലോറൈഡിൻെറ ഒരു അണു ഉണ്ടാകുന്നു. പക്ഷേ ഒരു ഓക്സിജൻപരമാണുവുമായി യോജിക്കാൻ രണ്ടു ഹൈഡ്രജൻപരമാണുക്കൾ ആവശ്യമാണു്. ഹൈഡ്രജൻപരമാണുവിനു് ഒരിക്കലും മറേറതെങ്കിലും മൂലകത്തിൻെറ ഒന്നിലധികം പരമാണുക്കളെ ബന്ധിക്കുവാൻ സാധ്യമല്ല. അതിനാൽ ഹൈഡ്രജനെ സംയോഗശേഷിയിൽ അടിസ്ഥാനമായി സ്വീകരിച്ചു്, അതിൻെറ 'സംയുജത' (Valency) ഒന്നു് ആണെന്നു പറയുന്നു. ക്ലോറിൻെറയും സംയുജത ഒന്നുതന്നെ. പക്ഷേ ഓക്സിജൻെറ സംയുജത രണ്ടാകുന്നു. "ഒരു മൂലകത്തിൻെറ പരമാണുവിനു് എത്ര ഹൈഡ്രജൻ പരമാണുക്കളെയോ അല്ലെങ്കിൽ തത്തുല്യങ്ങളായ, ഏകസംയുജങ്ങളായ, മറേറതെങ്കിലും പരമാണുക്കളെയോ ബന്ധിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നു. അതാണു് ആ മൂലകത്തിൻെറ സംയുജത."

"1.008 മാത്ര ഹൈഡ്രജനോ, 8.00 മാത്ര ഓക്സിജനോ ആയി പരിപൂൎണ്ണമായും പ്രതിപ്രവൎത്തിക്കുവാൻ

THE KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY KOTTAYAM.

ആവശ്യമായ ഒരു മൂലകത്തിൻെറ ഭാരത്തെ, അതിൻെറ 'സമസംയുജഭാരം' (Equivalent Weight) എന്നു പറയുന്നു." ഉദാഹരണമായി 35.46ഗ്രാം ക്ലോറിൻ 1.008ഗ്രാം ഹൈഡ്രജനുമായി യോജിക്കുന്നു. അതുപോലെതന്നെ 22.997ഗ്രാം സോഡിയം 1.008ഗ്രാം ഹൈഡ്രജനുമായി യോജിക്കുന്നു. അതിനാൽ ക്ലോറിൻെറ സമസംയുജഭാരം 35.46ഉം സോഡിയത്തിൻേറതു് 22.997ഉം ആകുന്നു. അതായതു് 35.46ഗ്രാം ക്ലോറിനും 22.997ഗ്രാം സോഡിയവും സംയോഗശേഷിയിൽ തുല്യമാകുന്നു എന്നു്. അവ തമ്മിൽ യോജിക്കുമ്പോൾ 35.46 : 22.997 എന്ന അനുപാതത്തിലായിരിക്കണം (പരസ്പരാനുപാതനിയമം).

10. പരമാണുവിൻെറ ഘടന

(Structure of the Atom)

മൂലകത്തിൻെറ അടിസ്ഥാനഘടകം പരമാണുവാണല്ലോ. പക്ഷേ പരമാണുതന്നെ വളരെ സങ്കീർണ്ണമായ ഒന്നാണു്. ഇലക്ട്രോൺ (Electron), പ്രോട്ടോൺ (Proton), ന്യൂട്രോൺ (Neutron) എന്നീ സൂക്ഷ്മകണങ്ങളാലാണു് പരമാണു നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതു്. ഇവയിൽ ഇലക്ട്രോണും, പ്രോട്ടോണും വൈദ്യുതാവേശം (Electric charge) ഉള്ളവയാണു്. ഇലക്ട്രോൺ ഋണവൈദ്യുതാവേശത്തിൻെറയും (Negative charge), പ്രോട്ടോൺ ധനവൈദ്യുതാവേശത്തിൻെറയും (Positive charge) മാത്രകളാകുന്നു. മൂന്നാമത്തെ കണമായ ന്യൂട്രോൺ വൈദ്യുതാവേശമില്ലാത്തതാണു്. ന്യൂട്രോണിൻെറയും പ്രോട്ടോ

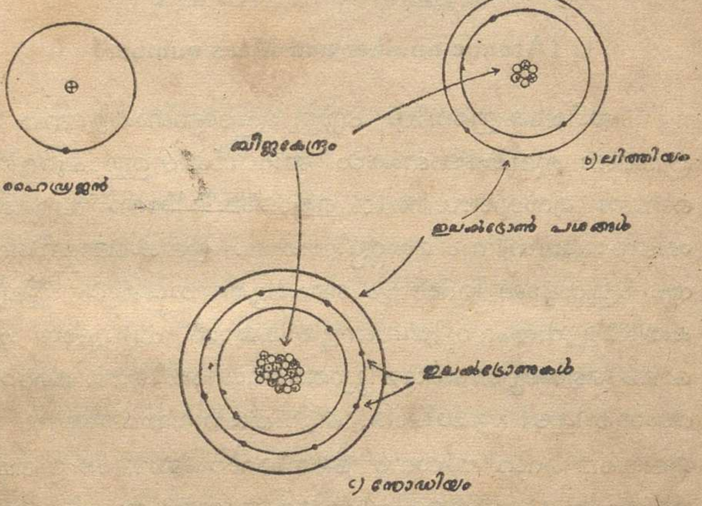
ണിന്റെയും ഭാരങ്ങൾ ഏകദേശം സമമാകുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകൾക്കാകട്ടെ ഇവയുടെ 1/1840 ഭാഗംമാത്രമേ ഭാരമുള്ളു.

1/1838

പരമാണുവിന്റെ ഘടനയെ സൂര്യമണ്ഡലത്തിന്റേതിനോടുപമിക്കാം. അതിന്റെ ബഹുഭൂരിഭാഗം ഭാരവും കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ബീജകേന്ദ്രം (Nucleus) ഉണ്ടു് — എല്ലാ പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളും ഇതിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകൾ ബീജകേന്ദ്രത്തിന്റെ ബഹിർഭാഗത്തു്, താരതമ്യേന വളരെ അധികം ദൂരത്തു വിവിധപഥങ്ങളിലായി അനസ്യൂതം ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. മുഴുവൻ പരമാണുവുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിനോക്കുമ്പോൾ ബീജകേന്ദ്രം വളരെ ചെറുതാണു്. ഈ ചെറുപ്പത്തിന്റെ ഒരു സ്വരൂപം കിട്ടുവാൻ ബീജകേന്ദ്രത്തെ ഒരു കടുകുമണിയോടു് ഉപമിക്കുക. (വ്യാസം ഏകദേശം ഒരു മില്ലിമീററർ.) എങ്കിൽ ഏററവും അടുത്തുള്ള ഇലക്ട്രോൺ 5 മീററർ ദൂരത്തായിരിക്കും. ഇടയ്ക്കുള്ള പ്രദേശം മുഴുവൻ ശൂന്യമാണു്. ഇതിൽനിന്നും പരമാണു എന്നു പറയുന്നതു് എത്ര പൊള്ളയായ ഒരു വസ്തുവാണെന്നു് ഊഹിക്കാമല്ലോ.

ഇന്നേവരെയായി അറിവുള്ള സകലമൂലകങ്ങളുടേയും ഒരു പട്ടിക 15-ാംഖണ്ഡത്തിൽ കൊടുത്തിട്ടുണ്ടു്. ആവർത്തനസാരണി (Periodic Table) എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്ന ഇതു് ഒരു പ്രത്യേകരീതിയിലാണു് സംവിധാനം ചെയ്യപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതു്. പട്ടികയിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ആദ്യത്തെ മൂലകം ഹൈഡ്രജനാണു്. അതിന്റെ

ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ ഒരേ ഒരു പ്രോട്ടോൺമാത്രമാണുള്ളതു്. ചുററും കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോണും. രണ്ടാമത്തെ മൂലകമായ 'ഹീലിയ'(Helium)ത്തിൻെറ ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകളും രണ്ടു ന്യൂട്രോണുകളുമുണ്ടു്. ബഹിർഭാഗത്തു രണ്ടു് ഇലക്ട്രോണുകൾ ചുററിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. മൂന്നാമത്തെ മൂലകമായ 'ലിഥിയ'ത്തിൻെറ (Lithium) ബീജകേന്ദ്രത്തിലാകട്ടെ മൂന്നു പ്രോട്ടോണുകളും നാലു ന്യൂട്രോണുകളുമാണുള്ളതു്. ബീജകേന്ദ്രത്തിനു പുറവുമുള്ള പ്രദേശത്തു മൂന്നു് ഇലക്ട്രോണുകളെ കാണാം. 1-ാംചിത്രം നോക്കുക: ഹൈഡ്രജൻ, ലിഥിയം, സോഡിയം എന്നീ മൂലകങ്ങളുടെ പരമാണുക്കളുടെ ചിത്രമാണിതു്.



ചിത്രം 1.

ഹൈഡ്രജൻ, ലിഥിയം, സോഡിയം എന്നീ മൂലകങ്ങളുടെ പരമാണുക്കൾ

'പ്രോട്ടോൺ-ന്യൂട്രോൺ' നിർമ്മിതമായ ബീജകേന്ദ്രത്തേയും ചുററും കറങ്ങുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളേയും ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിട്ടുണ്ടു്. പുറമെയുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ ഒററക്കെട്ടായല്ല, മറിച്ച വിവിധകംബുക(Shells)ങ്ങളിലായിട്ടാണു് സഞ്ചരിക്കുന്നതെന്നു് അതിൽനിന്നു മനസ്സിലാക്കാം. ചിത്രത്തിൽ കൊടുത്തിട്ടുള്ളവ ഇലക്ട്രോൺപഥങ്ങളുടെ ഒരു ഏകദേശജ്ഞാനം കൊടുക്കുവാൻ മാത്രമേ ഉതകുകയുള്ളു. അല്ലാതെ ഏററവും ശരിയായ പഥങ്ങളാണു് അവയെന്നു വിചാരിക്കരുതു്.

11. പരമാണുസംഖ്യയും ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യയും

(Atomic number and Mass number)

ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ എത്ര പ്രോട്ടോണുകളുണ്ടോ അത്രതന്നെ ഇലക്ട്രോണുകൾ ബഹിർഭാഗത്തു ചുററുന്നുമുണ്ടെന്നു മുൻഖണ്ഡത്തിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പരമാണുഘടനയിൽനിന്നും മനസ്സിലാക്കാം. ഇലക്ട്രോണിൻെറയും പ്രോട്ടോണിൻെറയും വൈദ്യുതാവേശങ്ങൾ തുല്യശക്തിയുള്ളവയും വിരുദ്ധങ്ങളുമാകയാൽ പൂർണ്ണമായ പരമാണു വൈദ്യുതാവേശമില്ലാത്തതായിത്തീരുന്നു. മറെറാരു സംഗതികൂടി ശ്രദ്ധിക്കുക. ആവർത്തനസാരണിയിൽ ഒരു മൂലകത്തിൻെറ സ്ഥാനം അതിൻെറ ബീജകേന്ദ്രത്തിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണത്തെയാണു് സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. ഇതിന്നു പരമാണുസംഖ്യ (Atomic number) എ

ന്ന പേർ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. ബീജകേന്ദ്രത്തിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകൾക്കും ന്യൂട്രോണുകൾക്കുംകൂടി 'ന്യൂക്ലിയോൺ' (Nucleon) എന്ന ഒരു പൊതുനാമം ഉണ്ടു്. അവയുടെ ആകെയുള്ള സംഖ്യ 'ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യ' (Mass number) എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. മൂലകത്തിൻെറ രാസഗുണങ്ങൾ അതിൻെറ പരമാണുവിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളെ ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്. ഇലക്ട്രോണുകളുടെയും പ്രോട്ടോണുകളുടെയും എണ്ണം ഒന്നാകയാൽ മൂലകത്തിൻെറ രാസഗുണങ്ങൾ പരമാണുസംഖ്യയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു എന്നു പറയാം. പരമാണുവിൻെറ ഭാരമാകട്ടെ ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യയാലാണു് നിർണ്ണയിക്കപ്പെടുന്നതു്.

12. സ്ഥാനീയങ്ങൾ

(Isotopes)

ഒരു മൂലകത്തിൻെറ ബീജകേന്ദ്രത്തിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണം ഒരിക്കലും മാറാവുന്നതല്ല. അതിനു മാററം സംഭവിക്കുമ്പോൾ മൂലകം മററൊന്നായി പരിണമിക്കുന്നു. എന്നാൽ ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യയ്ക്കു് അങ്ങനെ ഒരു നിബന്ധനയില്ല. ഉദാഹരണമായി ഓക്സിജനെടുക്കുക. ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ 8 പ്രോട്ടോണുകളാണുള്ളതു്. ന്യൂട്രോണുകൾ എട്ടോ, ഒമ്പതോ, പത്തോ ആകാം. പക്ഷേ ഇതു് ഓക്സിജൻെറ രാസഗുണങ്ങൾക്കു യാതൊരു മാററവും വരുത്തുന്നില്ല. അതിനാൽ ആവർത്തനസാരണിയിൽ ഓക്സിജൻെറ ഈ രൂപഭേദങ്ങളെയെല്ലാം ഒരേ കള്ളിയിൽത്തന്നെയാണു് രേഖപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്ന

ത്തു്. ആവൎത്തനസാരണിയിൽ ഒരേ സ്ഥലത്തുതന്നെ കുറിക്കപ്പെട്ടതിനാൽ ഇവ സ്ഥാനീയങ്ങൾ (Isotopes) എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ പരമാണുസംഖ്യ ഒന്നുതന്നെയായിരിക്കും. ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യമാത്രമാണു് വ്യത്യസ്തമായിട്ടുള്ളതു്. യുറേനിയത്തിൻെറ (Uranium) പരമാണുസംഖ്യ 92 ആകുന്നു. ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യയാകട്ടെ 228 മുതൽ 238 വരെ ഏതെങ്കിലും ആകാം. പ്രകൃതിയിൽനിന്നു ലഭിക്കുന്ന ധാതുക്കളെ രാസികമായി ശുദ്ധിചെയ്താൽ കിട്ടുന്ന മൂലകങ്ങൾ അവയുടെ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ മിശ്രിതങ്ങൾ ആകുന്നു.

13. പരമാണുഭാരം

(Atomic Weight)

പരമാണുക്കൾ അതിസൂക്ഷ്മങ്ങളാണല്ലോ. അവയുടെ ഭാരം നമുക്കു സങ്കല്പിക്കുവാൻകൂടി സാധ്യമല്ലാത്തവിധത്തിൽ ചെറുതാണു്. ഭാരത്തിൻെറ സാധാരണ മാത്രകളായ ഗ്രാം, കിലോഗ്രാം മുതലായവയൊന്നും ഇവയെ അളക്കുവാൻ ഉതകുന്നവയല്ല. അതിനാൽ പരമാണുവിൻെറ ഭാരത്തെ അളക്കുവാൻ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ ഒരു പുതിയ മാത്ര നിൎണ്ണയിച്ചു. ഇതിൻെറ പേർ 'പരമാണുദ്രവ്യരാശിമാത്ര' (atomic mass unit) എന്നത്രേ. ചുരുക്കിയെഴുതുമ്പോൾ ഇതിനെ പരമാണുമാത്ര അഥവാ പ. മാ. എന്നെഴുതാം. ഓക്സിജനു പല സ്ഥാനീയങ്ങൾ ഉള്ളതായി നാം പഠിച്ചുവല്ലോ. അതിൽ 16 ന്യൂക്ലിയോണുകളുള്ള, അതായതു 8 പ്രോട്ടോണുകളും 8 ന്യൂട്രോണുക-

ളുമുള്ള, 'ഓക്‌സിജൻ-16' പരമാണുവാണ് ഈ പുതിയ മാത്രയുടെ അടിസ്ഥാനം. ഓക്‌സിജൻ-16 പരമാണുവിന്റെ ഭാരം പുതിയ മാത്രയിൽ 16.0000 ആകുന്നു. അതായതു് ഒരു 'പരമാണുമാത്ര', ഓക്‌സിജൻ-16 പരമാണുവിന്റെ ഭാരത്തിന്റെ പതിനാറിൽ ഒരംശം ആകുന്നുവെന്നർത്ഥം. പരമാണുമാത്രയും ഗ്രാമും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം,

$$1 \text{ ഗ്രാം} = 6.023 \times 10^{23} \text{ പ. മാ.}$$

എന്നാകുന്നു. 6.023×10^{23} എന്ന ഗുണനാങ്കം 'അവഗാഡ്രോസംഖ്യ' (Avogadro's number) എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ഒരു ക്ലോറിൻപരമാണുവിന്റെ ഭാരം 35.46 പരമാണുമാത്രയാണ്. 35.46 ഗ്രാം ക്ലോറിനെ ഒരു 'ഗ്രാംപരമാണു' (gram atom) ക്ലോറിൻ എന്നു പറയും. 22.997 ഗ്രാം സോഡിയംഒരു 'ഗ്രാംപരമാണു' സോഡിയമാകുന്നു. മുകളിൽ കൊടുത്ത നിർവ്വചനങ്ങളിൽനിന്നും, ഏതു മൂലകത്തിന്റെയും ഒരു 'ഗ്രാം പരമാണു'വിൽ അതിന്റെ 6.023×10^{23} പരമാണുക്കൾ ഉണ്ടായിരിക്കണമെന്നു് അറിയാവുന്നതാണ്. ഹൈഡ്രജൻപരമാണുവിന്റെ ഭാരം ഈ പുതിയ മാത്രയിൽ 1.008 ആകുന്നു. ഹീലിയം പരമാണുവിനു 4.0028 പ. മാ. ഭാരമുണ്ടു്. ആവർത്തനസാരണിയിൽ എല്ലാ മൂലകങ്ങളുടെയും പരമാണുഭാരങ്ങൾ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

ഒരു മൂലകത്തിന്റെ സ്ഥാനീയങ്ങൾക്കു രാസഗുണങ്ങളിൽ വ്യത്യാസമില്ല. എന്നാൽ, അവയുടെ പരമാണു

ഭാരങ്ങൾ വ്യത്യസ്തങ്ങളായിരിക്കും. രാസമാർഗ്ഗങ്ങളിലൂടെ ഒരു മൂലകത്തിൻെറ പരമാണുഭാരം നിശ്ചയിക്കുമ്പോൾ നമുക്കു ലഭിക്കുന്നതു് അതിൻെറ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ പരമാണുക്കളുടെ ഒരു ശരാശരിഭാരംമാത്രമാകുന്നു.

14. മൂലക-യൌഗികസംജ്ഞകൾ

(Symbols of Elements and Compounds)

ലോകത്തിൽ ഇന്നേവരെയായി 102 മൂലകങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. ഈ മൂലകങ്ങളിൽ മിക്കവയ്ക്കും എല്ലാ ഭാഷകളിലും ഒരേ പേർതന്നെയാണുള്ളതു്. ചുരുക്കം ചിലവയ്ക്കുമാത്രമേ പ്രത്യേകം പേരുകളുള്ളൂ. സാർവ്വലൌകികോപയോഗങ്ങൾക്കായി ഓരോ മൂലകത്തിനും സർവ്വരാഷ്ട്രസമ്മതമായ ഒരു സംജ്ഞയുണ്ടു്. ഹൈഡ്രജനു H, ഓക്സിജനു O, നൈട്രജനു N, ലിഥിയത്തിനു Li, സോഡിയത്തിനു Na മുതലായവ ഉദാഹരണങ്ങളാണു്. ഒരേ മൂലകത്തിൻെറ വിവിധസ്ഥാനീയങ്ങളെ വേർതിരിച്ചെഴുതുവാൻ ഒരു നിയമമുണ്ടു്. ആദ്യം മൂലകത്തിൻെറ സംജ്ഞയെഴുതുക. അതിൻെറ കീഴെ ഇടതുഭാഗത്തായി ബീജകേന്ദ്രത്തിലുള്ള പ്രോട്ടോണുകളുടെ എണ്ണവും വലതുഭാഗത്തു മുകളിലായി പ്രോട്ടോണുകളുടെയും ന്യൂട്രോണുകളുടെയും ആകത്തുകയും എഴുതുക—അതായതു പരമാണുസംഖ്യയും ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യയും. അങ്ങനെ $_8O^{16}$ എന്നെഴുതിയാൽ ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ 8 പ്രോട്ടോണുകളും (16 — 8) ന്യൂട്രോണുകളുമുള്ള ഓക്സിജൻപരമാണു് എന്നർത്ഥമാകുന്നു. $_8O^{18}$ ആകട്ടെ ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ

(18 — 8) ന്യൂട്രോണുകൾ ഉണ്ടെന്നു വ്യക്തമാകുന്നു. ഒരു മൂലകത്തിൻെറ പരമാണുസംഖ്യ എല്ലായ്പോഴും ഒന്നുതന്നെ ആയിരിക്കുമെന്നു മുമ്പു പഠിച്ചുവല്ലോ. അതിനാൽ മൂലകത്തിൻെറ സംജ്ഞയും പരമാണുസംഖ്യയും കൂടി എഴുതിയില്ലെങ്കിലും വിരോധമില്ല. അതുകൊണ്ടു് ഇപ്പോൾ സാധാരണയായി $_8O^{16}$, $_8O^{18}$ മുതലായവയെ ചുരുക്കി O^{16}, O^{18} എന്നിങ്ങനെ എഴുതുകയാണു് പതിവു്.

രാസഗുണങ്ങൾ വ്യത്യസ്തങ്ങളല്ലാത്തതിനാൽ രാസപ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങളുടെ സമീകരണങ്ങളെഴുതുമ്പോൾ ഏതേതു സ്ഥാനീയങ്ങളാണു് പങ്കെടുക്കുന്നതെന്നു വ്യക്തമാക്കേണ്ടതില്ല. ഓരോന്നിൻെറയും എത്രയെത്ര പരമാണുക്കൾവീതമാണെന്നുമാത്രമേ പറയേണ്ടതുള്ളു. ഒരു യൌഗികത്തിൻെറ സംജ്ഞ അതിൻെറ ഘടകങ്ങളായ മൂലകങ്ങളുടെ സംജ്ഞകൾകൊണ്ടാണു് ഉണ്ടാകുന്നതു്. അങ്ങിനെ രണ്ടു ഹൈഡ്രജൻപരമാണുവും ഒരു ഓക്സിജൻപരമാണുവും കൂടിച്ചേൎന്നു വെള്ളത്തിൻെറ ഒരു അണു ഉണ്ടാകുന്നതു സമീകരണരൂപേണ $H_2 + O \rightarrow H_2O$ എന്നാകുന്നു. Hൻെറ വലതുവശത്തു താഴെയായി കാണിച്ചിട്ടുള്ള 2, എത്ര പരമാണുക്കളാണു് സംയോജനത്തിൽ പങ്കെടുക്കുന്നതു് എന്നാണു് സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. നിഷ്കൃഷ്ടമായി നോക്കുകയാണെങ്കിൽ മേൽ കൊടുത്ത സമീകരണത്തിൽ ചെറുതായ ഒരു തെററുണ്ടു്. അതിതാണു്: സാധാരണയായി ഹൈഡ്രജൻ, ഓക്സിജൻ മുതലായ മൂലകങ്ങളുടെ പരമാണുക്കൾ പ്രകൃതിയിൽ സ്വതന്ത്രമായി വൎത്തിക്കുകയില്ല. അവ എപ്പോഴും അണുരൂപത്തിലായിരിക്കും. അ

തിനാൽ വെള്ളമുണ്ടാകുന്ന രാസപ്രതിപ്രവർത്തനം ഏററവും ശരിയായി എഴുതേണ്ടതു്, $2H_2+O_2 \rightarrow 2H_2O$ എന്നാകുന്നു. ഇതുപോലെ $C+O_2 \rightarrow CO_2$ എന്ന സമീകരണം സൂചിപ്പിക്കുന്നതു് ഒരു കാർബൺപരമാണുവും ഒരു ഓക്സിജൻഅണുവും (2 പരമാണുക്കൾ) കൂടിച്ചേർന്നു് ഒരു കാർബൺ-ഡൈ-ഓക്സൈഡു് അണു ഉണ്ടാകുന്നു എന്നാണു്.

15. ആവർത്തനസാരണി
(Periodic Table)

എല്ലാ മൂലകങ്ങളെയും ഒരു പട്ടികരൂപത്തിൽ സംവിധാനംചെയ്തിട്ടുണ്ടെന്നു മുമ്പു പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടല്ലോ. ഈ സംവിധാനക്രമത്തെയും അതിൻെറ പ്രാധാന്യത്തെയും കുറിച്ചു കൂടുതൽ വിവരങ്ങൾ താഴെ പ്രതിപാദിക്കുന്നു:

19-ാംനൂററാണ്ടിൻെറ ആദ്യത്തിലാണു് നാം ഇന്നറിയുന്നവിധത്തിലുള്ള പരമാണുസിദ്ധാന്തം ആദ്യമായി രൂപമെടുത്തതു്. 'ഡാൾട്ടൺ' എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞനാകുന്നു ഇതിൻെറ ജനയിതാവു്. ആ ശതാബ്ദത്തിൻെറ മദ്ധ്യമായപ്പോഴേയ്ക്കുംതന്നെ ഏകദേശം എഴുപത്തഞ്ചോളം മൂലകങ്ങൾ വേർതിരിക്കപ്പെടുകയും അവയുടെ ഗുണധർമ്മങ്ങൾ (Properties) രസതന്ത്രവിജ്ഞാനത്തിൽ സാധാരണമായിത്തീരുകയും ചെയ്തു. ഇതിൽനിന്നും ചില രസാവഹമായ വസ്തുതകൾ പുറത്തു വന്നു. പല മൂലകങ്ങളെയും സദൃശഗുണങ്ങളുള്ള സംഘങ്ങളായി വേർതിരിക്കാമെന്നാണു് ആ

ദ്യമായി കണ്ടതു്. ചെമ്പു്, വെള്ളി, സ്വൎണ്ണം എന്നീ മൂലകങ്ങളുടെ സംഘം വളരെ പുരാതനകാലംമുതല്ക്കേ അറിവുള്ളതാണു്. അത്രതന്നെ സുപരിചിതമല്ലാത്ത ഒരു സംഘമാണു് ലിഥിയം, സോഡിയം, പൊട്ടാസിയം (Potassium) എന്നിവയുടേതു്. ഈ മൂലകങ്ങൾ മൂന്നും മൃദുവും ശുദ്ധിചെയ്ത ഉടനെ നല്ല തിളക്കമുള്ളതും ആയ ലോഹങ്ങൾ ആകുന്നു. ശുദ്ധമായിരിക്കുമ്പോൾ ഇവ മൂന്നും ജലത്തോടുകൂടി ഉല്ക്കടമായി പ്രതിപ്രവൎത്തിക്കും. അതിനാൽ അവയെ മണ്ണെണ്ണയ്ക്കുള്ളിലാണു് സാധാരണയായി സൂക്ഷിക്കുന്നതു്. ഇവയുടെ യൌഗികങ്ങളും സദൃശസ്വഭാവങ്ങളോടുകൂടിയവയാകുന്നു. സോഡിയം ക്ലോറൈഡ് (Sodium Chloride)—കറിയുപ്പു്—വെളുത്തതും അക്ഷസ്വഭാവമുള്ളതും ഉപ്പുരസമുള്ളതും വെള്ളത്തിൽ വേഗം അലിയുന്നതും ആകുന്നു. ലിഥിയം ക്ലോറൈഡിന്നും (Lithium Chloride) പൊട്ടാസിയം ക്ലോറൈഡിന്നും (Potassium Chloride) ഇതേ ഗുണധൎമ്മങ്ങൾതന്നെയാണുള്ളതു്. യൌഗികങ്ങളിൽ ഇവയെ ഒന്നിനൊന്നു പകരം വെയ്ക്കാവുന്നതാണു്.

പരമാണുഭാരത്തിന്റെ വൎദ്ധനക്രമത്തേയും ഗുണധൎമ്മങ്ങളുടെ സാദൃശ്യത്തേയും ആസ്പദമാക്കിയാണു് ആവൎത്തനസാരണി രചിച്ചിട്ടുള്ളതു്. മൂലകങ്ങളെപ്പററിയുള്ള സകല വിജ്ഞാനങ്ങളെയും സംഗ്രഹിച്ചു് ഒററ നോട്ടത്തിൽ മനസ്സിലാക്കുവാൻ സാധിക്കുക എന്നതാണു് ആവൎത്തനസാരണിയുടെ ഉദ്ദേശം. 'ഡിമിട്രി ഇവാനോവിച്ചു് മെൻഡലിയേവ്' എന്ന റഷ്യൻശാസ്ത്രജ്ഞനാണു് ഇ

തുണ്ടാക്കിയതു്. പരമാണുഭാരത്തിൻെറ വൎദ്ധനക്രമത്തിൽ ഇടത്തുനിന്നു വലത്തോട്ടു മൂലകങ്ങളുടെ പേരുകഠം എഴുതുക. സദൃശങ്ങളായ രാസഗുണങ്ങളോടുകൂടിയ മൂലകങ്ങഠം കീഴേക്കുകീഴെയായി വരത്തക്കവണ്ണംകൂടി വേണം എഴുതുവാൻ. അപ്പോഠം ചില രസാവഹങ്ങളായ വസ്തുതകഠം പുറത്തു വരുന്നതു കാണാം. ചില ക്രമീകൃതകാലഘട്ടങ്ങഠംക്കുശേഷം സദൃശഗുണങ്ങളോടുകൂടിയ മൂലകങ്ങഠം പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ഉദാഹരണമായി, സദൃശമൂലകങ്ങളായ ലിഥിയം, സോഡിയം, പൊട്ടാസിയം, റുബീഡിയം (Rubidium), സീസിയം (Caesium), ഫ്രാൻസിയം (Francium) എന്നിവ എടുക്കുക. ഇവയുടെ പരമാണുസംഖ്യകഠം യഥാക്രമം 3, 11, 19, 37, 55, 87 എന്നിങ്ങിനെയാകുന്നു. അതായതു് ആവൎത്തനകാലം 8, 8, 18, 18, 32 എന്നീ വിധത്തിൽ. ഒററ നോട്ടത്തിൽതന്നെ ഇതലെന്തോ പ്രത്യേകതയുള്ളതായി തോന്നുന്നുണ്ടു്. ഇതെന്താണെന്നു പിന്നീടു പ്രതിപാദിക്കാം.

മെൻഡലീയേവു് ആവൎത്തനസാരണി ആദ്യമായി തയ്യാറാക്കിയപ്പോഠം ഏകദേശം 75 മൂലകങ്ങഠംമാത്രമേ അറിയപ്പെട്ടിരുന്നുള്ളു. ആയതുകൊണ്ടു് അവയുടെ ഗുണധൎമ്മങ്ങളുടെ ആവൎത്തനപ്രകൃതി മേൽപ്പറഞ്ഞമാതിരി അത്ര സ്പഷ്ടമായിരുന്നില്ല. അനവധി കള്ളികഠം ശൂന്യമായി കിടന്നിരുന്നു. തൻെറ അനന്യസാധാരണമായ കല്പനാവൈഭവംകൊണ്ടുമാത്രമാണു് ഇത്രയും ക്രമീകൃതമായ ഒരു പട്ടിക തയ്യാറാക്കുവാൻ അദ്ദേഹത്തിനു സാധിച്ചതു്. മാത്രമല്ല, അന്നറിയപ്പെടാത്ത പല മൂലകങ്ങളുടെ 'അ

സ്ഥിതം'(Existance)ത്തെപ്പററിയും അവയുടെ ഗുണധമ്മങ്ങളെപ്പററിയും കൂടി പ്രവചിക്കുവാൻ അദ്ദേഹം പ്രാപ്തനായി. ഈ പ്രവചനങ്ങളെല്ലാംതന്നെ പിന്നീടു ശരിയാണെന്നു തെളിയിക്കപ്പെട്ടിട്ടുമുണ്ടു്. ഉദാഹരണമായി ആവത്തനസാരണിയിൽ നാലാംസംഘത്തിലെ നാലാംകാലഘട്ടം നോക്കുക. സിലിക്കണിൻെറയും ടിന്നി(Tin)ൻെറയും മദ്ധ്യത്തിലായി കിടക്കുന്ന ജമ്മാനിയം (Germanium) എന്ന മൂലകം മെൻഡലീയേവിൻെറ കാലത്തു് അറിയപ്പെട്ടിരുന്നില്ല. എങ്കിലും അങ്ങിനെ ഒരു മൂലകമുണ്ടായിരിക്കണമെന്നും അതിൻെറ നിറം ചാരച്ഛായയുള്ള വെളുപ്പായിരിക്കണമെന്നും, വായുവിൽ ദഹിക്കുമ്പോൾ വെളുത്ത ഓക്സൈഡ് ഉണ്ടാകുമെന്നും, അമ്ലങ്ങളാലും ക്ഷാരങ്ങളാലും എളുപ്പത്തിൽ അതു ബാധിക്കപ്പെടുകയില്ലെന്നും അദ്ദേഹം പറഞ്ഞു. ടിന്നിൻെറയും സിലിക്കണിൻെറയും ഗുണധമ്മങ്ങൾ ഏതാണ്ടു് ഈവിധംതന്നെയാകയാലാണു് ഇങ്ങിനെ പറയുവാൻ അദ്ദേഹം പ്രേരിതനായതു്. 15 കൊല്ലങ്ങൾക്കുശേഷം 'ക്ലമൻസ് വിംക്ലർ' ഈ മൂലകത്തെ കണ്ടുപിടിച്ചു പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയപ്പോൾ മെൻഡലീയേവിൻെറ പ്രവചനങ്ങൾ ഒട്ടുമുക്കാലും ശരിയാണെന്നു വ്യക്തമായി.

വിവിധമൂലകങ്ങളുടെ ഗുണധമ്മങ്ങളെ ഓമ്മിക്കുവാൻ ആവത്തനസാരണി സഹായകമായിത്തീരുന്നു. ആവത്തനസാരണിക്കു മുകളിൽ കൊടുത്തതല്ലാതെ മറെറാരു രൂപത്തിലുള്ള വിശദീകരണംകൂടി നല്കാം. പരമാണുവിൽ പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളും അടങ്ങിയ ഒരു

ബീജകേന്ദ്രവും അതിനെ ചുററിക്കറങ്ങുന്ന ഒരു ഇല ക്ട്രോൺവ്യൂഹവും ഉള്ളതായി നാം മുൻപു പഠിച്ചുവല്ലോ. ഈ ഇലക്ട്രോണുകൾ വിവിധകംബുകങ്ങളിലായിട്ടാണു് സഞ്ചരിക്കുന്നതെന്നും നമുക്കറിയാം. രണ്ടു മൂലകങ്ങൾതമ്മിൽ യോജിച്ചു് ഒരു യൌഗികമുണ്ടാകുമ്പോൾ അവയെ അന്യോന്യം ഘടിപ്പിക്കുന്നതു് ഏററവും പുറമെയുള്ള കംബുക(Shell)ത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളാണു്. കംബുകങ്ങളിലായിട്ടുള്ള ഈ ഇലക്ട്രോൺസംവിധാനത്തിനു് ഒരു സവിശേഷതയുണ്ടു്. ഒരു കംബുകത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ 2, 8, 18, 32 എന്നിവയിലേതെങ്കിലുമാണെങ്കിൽ അവക്കു മററുള്ള പരമാണുക്കളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുമായി ബന്ധിക്കുവാൻ സാധ്യമല്ല. ഇങ്ങിനെ വരുമ്പോൾ അതിനു് ഒരു പൂർണ്ണകംബുകം എന്നു പറയുന്നു. അപ്പോൾ ഏതെങ്കിലും ഒരു മൂലകത്തിൽ പരമാണുവിൻെറ ഏററവും പുറമേയുള്ള കംബുകം പൂർണ്ണമാണെങ്കിൽ അതു മററു മൂലകങ്ങളുമായി സംയോജിക്കുകയില്ല. ഹീലിയംപരമാണുവിൻെറ ഏററവും പുറമേയുള്ള കംബുകത്തിൽ രണ്ടും, ആർഗൺ (Argon), നിയോൺ (Neon), ക്രിപ്ടൺ (Krypton), സ്സിനോൺ (Xenon), റാഡൺ (Radon) എന്നിവയുടേതിൽ എട്ടുംവീതം ഇലക്ട്രോണുകളാണുള്ളതു്. അതിനാൽ ഇവ മററു മൂലകങ്ങളുമായി യോജിക്കുകയില്ല. തന്നിമിത്തം ഇവയെ 'നിഷ്ക്രിയാവാതക'ങ്ങൾ (Inert gases) എന്നു വിളിച്ചുവരുന്നു. ഏററവും ഭാരംകൂടിയ പരമാണുവിനു് ഏഴു് ഇലക്ട്രോൺകംബുകങ്ങളാണുള്ളതു്. അവ ഉ

ള്ളിൽനിന്നു പുറത്തേയ്ക്കു ക്രമത്തിൽ K, L, M, N, O, P, Q എന്നീ സംജ്ഞകളാൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ഓരോ കംബുകത്തിനും ഇലക്ട്രോണുകളെ ഉൾക്കൊള്ളുവാനുള്ള കഴിവു വ്യത്യസ്തമാണു്. ഏററവും ഉള്ളിലത്തേതായ K കംബുകത്തിനു രണ്ടു് ഇലക്ട്രോണുകളെമാത്രമേ ഉൾക്കൊള്ളുവാൻ സാധിക്കുകയുള്ളൂ. L കംബുകത്തിൽ പരമാവധി 8-ഉം, M കംബുകത്തിൽ 18-ഉം, N കംബുകത്തിൽ 32-ഉം, O കംബുകത്തിൽ 50-ഉം, P കംബുകത്തിൽ 72-ഉം, Q കംബുകത്തിൽ 98-ഉം വീതം ആകാം. പക്ഷേ ഒരു കംബുകം നിറഞ്ഞതിനുശേഷംമാത്രമേ ഇലക്ട്രോൺ അടുത്ത കംബുകത്തിലേയ്ക്കു പ്രവേശിക്കാവൂ എന്നു നിയമമില്ല. ചില പ്രത്യേകനിയമങ്ങൾക്കു വിധേയമായി കംബുകങ്ങൾ ഭാഗികമായിട്ടാണു് നിറഞ്ഞുവരുന്നതു്. ഈവക പ്രത്യേകതകൾക്കൊണ്ടാണു് സദൃശമൂലകങ്ങളുടെ ആവർത്തനകാലഘട്ടങ്ങളിൽ നാം കണ്ട സവിശേഷതയുണ്ടാകുന്നതു്. ഏതെല്ലാം കംബുകങ്ങളിലായിട്ടാണു് ഇലക്ട്രോണുകൾ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു് എന്നതിനെയാണു് ആവർത്തനസാരണിയിലെ 'കാലം' (Period) സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. അതിലെ 'സംഘ'ങ്ങളാകട്ടെ (Groups) ഏററവും പുറമേയുള്ള കംബുകത്തിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സംഖ്യയെ കാണിക്കുന്നു.

ആവർത്തനസാരണിയുടെ സവിശേഷതകൾ ഇനിയും ഉണ്ടു്. മേൽക്കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പൊതുനിയമങ്ങളിൽനിന്നും പല വ്യതിരേകങ്ങളും കാണാം. പക്ഷേ അവയെല്ലാം ഇവിടെ വിസ്തരിക്കേണ്ട ആവശ്യമില്ല.

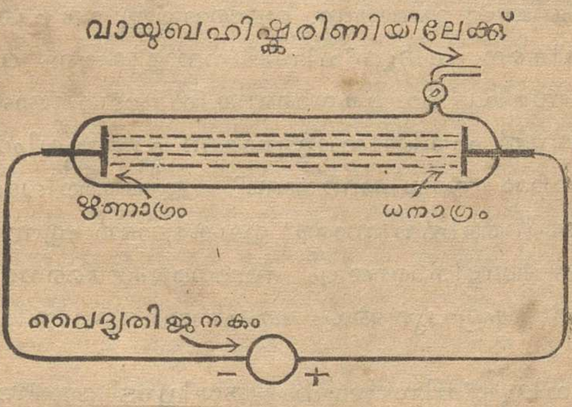
16. വിദ്യുത്‌വിസജ്ജനനാളിക

(Electric discharge tube)

കഴിഞ്ഞ ഏതാനും ഖണ്ഡങ്ങളിലായി ദ്രവ്യത്തെ മൂലകങ്ങളായും, മൂലകങ്ങളെ പരമാണുക്കളായും, പരമാണുക്കളെ അവയുടെ ഘടകങ്ങളായ ഇലക്ട്രോൺ, പ്രോട്ടോൺ, ന്യൂട്രോൺ എന്നിവകളായും വേർതിരിച്ചു പഠിക്കുകയുണ്ടായി. പദാത്ഥങ്ങളുടെ സൂക്ഷ്മമായ സ്വഭാവങ്ങളെക്കുറിച്ചു് ഇത്രയും വ്യക്തമായ അറിവു ലഭിച്ചിട്ടു് അരശതാബ്ദത്തോളംതന്നെയായിട്ടില്ല. ഒട്ടേറെ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ നൂററാണ്ടുകളായി ചെയ്ത ഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമാണു് നമ്മുടെ ഇന്നത്തെ വിജ്ഞാനം. തേജോദ്‌ഗിരണം (Radio-activity), വിദ്യുത്‌വിസജ്ജനനാളികയിലെ (Electric discharge tube), വിദ്യുത്‌പ്രവാഹം (flow of current) എന്നിവകളെക്കുറിച്ചുള്ള പഠനമാണു് പരമാണുശാസ്ത്രത്തെ അതിൻെറ ഇന്നത്തെ പന്ഥാവിലേക്കു തെളിച്ചുവിട്ടതു്.

2-ാംചിത്രം നോക്കുക. രണ്ടു പുറവും ഭദ്രമായി അടച്ചിട്ടുള്ളതും ഒരു വായുബഹിഷ്കരിണിപ്പമ്പിനോടു ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ളതുമായ ഒരു ഗ്ലാസ്സ്‌കുഴലാണിതു്. ഉള്ളിൽ രണ്ടററത്തും ഓരോ ലോഹത്തകിടും അവയെ പുറത്തുള്ള വൈദ്യുതിജനക(Generator)വുമായി ഘടിപ്പിക്കുവാൻ ആവശ്യമായ കമ്പികളുമുണ്ടു്. ഈ കമ്പികൾ കുഴലിനെ തുളച്ചുകടക്കുന്ന ഭാഗം വായുഭദ്രമാണു്. ഈ ഉപകരണത്തിൻെറ പേരാകുന്നു 'വിദ്യുത്‌വിസജ്ജനനാളിക.'

രണ്ടററത്തുമുള്ള ലോഹത്തകിടുകളെ വിദ്യുതഗ്രങ്ങൾ (Electrodes) എന്നു വിളിക്കുന്നു. വൈദ്യുതിജനകത്തിൻെറ ഋണാഗ്രവുമായി (Negative terminal) ബന്ധിക്കപ്പെട്ട വിദ്യുതഗ്രത്തെ ഋണാഗ്രം (Cathode) എന്നും ധനാഗ്രവുമായി (Positive terminal) ബന്ധിക്കപ്പെട്ട ലോഹത്തകിടിനു ധനാഗ്രം (Anode) എന്നും പറയുന്നു.



ചിത്രം 2

വിദ്യുത്വിസർജ്ജനനാളിക.

ഒരു വിദ്യുത്വിസർജ്ജനനാളികയുടെ വിദ്യുതഗ്രങ്ങളെ ജനക(Generator)വുമായി ബന്ധിക്കുക. നാളികയ്ക്കകത്തു വായു ഉള്ളിടത്തോളംകാലം അതിലൂടെ വൈദ്യുതി പ്രവഹിക്കുകയില്ല. വായുബഹിഷ്കരിണിയെ പ്രവർത്തിപ്പിച്ചു നാളികയെ വായുഹീനമാക്കിത്തീർക്കുകയാണെ

ങ്കിൽ അതിലൂടെ വൈദ്യുതി പ്രവഹിച്ചുതുടങ്ങും. വൈദ്യുതിപ്രവാഹം എന്നു പറയുന്നതു് ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഒഴുക്കിനാണല്ലോ. ഇവ ഋണാഗ്രത്തിൽനിന്നു ധനാഗ്രത്തിലേയ്ക്കു പ്രവഹിക്കുന്നു. വൈദ്യുതാവിഷ്ടകണങ്ങളുടെ നിദർശനത്തിന്നായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ഒരു ഉപകരണമാണു് സിങ്കു് സൽഫൈഡ് പുരട്ടിയ പ്രതിദീപ്തയവനിക (Fluorescent Screen). വൈദ്യുതാവേശാവിഷ്ടകണങ്ങൾ പ്രതിദീപ്തയവനികയിൽ തട്ടുമ്പോൾ അതിന്മേൽ പ്രഭാസ്ഫുലിംഗങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള ഒരു പ്രതിദീപ്തയവനികയെ വിദ്യുത്‌വിസർജ്ജനനാളികയുടെ ധനാഗ്രത്തിനു സമീപം വെയ്ക്കുകയാണെങ്കിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ അതിന്മേൽ പതിക്കുമ്പോളുണ്ടാകുന്ന പ്രഭാസ്ഫുലിംഗങ്ങൾ കാണുവാൻ സാധിക്കുന്നതാണു്. ഇത്തരത്തിലുള്ള ഒരു പരീക്ഷണത്തിൽനിന്നാണു് ഇലക്ട്രോൺ എന്ന കണികയുടെ അസ്തിത്വത്തെയും സ്ഥാവരജംഗമവൈദ്യുതികളുടെ ഐകരൂപ്യത്തെയും ആദ്യമായി തെളിയിച്ചതു്.

വിദ്യുത്‌വിസർജ്ജനനാളികയിലൂടെ ഒഴുകുന്ന വൈദ്യുതിപ്രവാഹത്തെ ഒരു ഇലക്ട്രോൺധാരയായി വിചാരിക്കാം. നാളികയുടെ സമീപത്തു് ഒരു കാന്തം കൊണ്ടുവരികയാണെങ്കിൽ ഈ ധാര അതിന്റെ പഥത്തിൽനിന്നു വ്യതിചലിക്കുന്നതായി കാണാം. ജെ. ജെ. തോംസൺ എന്ന ആംഗലശാസ്ത്രജ്ഞൻ വിദ്യുത്‌വിസർജ്ജനനാളികയിൽ അനേകപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയശേഷം ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഭാരം 1/1840 പരമാണുമാത്രയാണെന്നു നിർണ്ണയിച്ചു.

17. റോൺജൻരശ്മികൾ അഥവാ X-രശ്മികൾ

(Roentgen Rays or X-rays)

മുൻഖണ്ഡത്തിൽ വിവരിച്ച വിദ്യുത്‌വിസജ്ജന നാളികയിൽനിന്നാണു് ഇന്നു നമുക്കെല്ലാം സുപരിതമായ X-രശ്മികൾ ആദ്യമായി കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടതു്. 1895-ാം മാണ്ടിൽ വിൽഹെം. കെ. റോൺജൻ എന്ന ജമ്മൻ ഊജ്ജതന്ത്രജ്ഞൻ വിദ്യുത്‌വിസജ്ജനനാളികകൾ ഉപയോഗിച്ചു ചില പരീക്ഷണങ്ങൾ ചെയ്യവേ ധനാഗ്രത്തിൽ നിന്നും ഗ്ലാസ്സിനെയെല്ലാം തുരന്നുകൊണ്ടു ചില പ്രസരങ്ങൾ പുറത്തു വരുന്നതായി കണ്ടു. വിദ്യുത്‌വിസജ്ജന നാളികയെ മുഴുവൻ ഒരു കറുത്ത കടലാസ്സുകൊണ്ടു മൂടുകയാണെങ്കിൽക്കൂടി ഈ പ്രസരങ്ങൾ പുറത്തു വന്നിരുന്നു. അതിനാൽ ഗ്ലാസ്സിനേയും കടലാസ്സിനേയും എല്ലാം തുളച്ചു കടക്കുവാൻ ശക്തിയുള്ള എന്തോ ഒരു തരം പ്രസരം ധനാഗ്രത്തിൽനിന്നും വരുന്നതായി അദ്ദേഹം തീരുമാനിച്ചു. പലതുകൊണ്ടും ഇവയുടെ സ്വഭാവം സാധാരണവെളിച്ചംപോലെയാണു്. എന്നാൽ വെളിച്ചമൊട്ടല്ലതാനും. എന്താണെന്നു വ്യക്തമായിട്ടറിഞ്ഞുകൂടാ. അതിനാൽ റോൺജൻ അവയെ X-രശ്മികൾ എന്നു വിളിച്ചു. ഇവ ഇലക്ട്രോണുകളല്ല. എന്തെന്നാൽ ഇലക്ട്രോണുകൾക്കു ഗ്ലാസ്സിനെ തുളച്ചു കടക്കുവാൻ സാധിക്കുകയില്ല. ആധുനിക സിദ്ധാന്തപ്രകാരം സാധാരണവെളിച്ചം തരംഗങ്ങളുടെ ശ്രേണികളാൽ നിമ്മിതമാണു്. X-രശ്മികളും അതുപോ

ലെത്തന്നെയാണു്. പക്ഷേ തരംഗങ്ങൾ ഹ്രസ്വതരങ്ങളും കൂടുതൽ വേധകശക്തി(Penetrative power)യുള്ളവയുമാണു്. പുറത്തു വരുന്ന X-രശ്മികളുടെ തിട്ടമായ തരംഗദൈർഘ്യം വിദ്യുത്‌വിസർജ്ജനനാളികയിലൂടെ ഒഴുകുന്ന വൈദ്യുതിപ്രവാഹത്തിൻെറ വൈദ്യുതിസമ്മർദ്ദത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും.

ഇപ്പോൾ റേഡിയോ, വിമാനം, വിദ്യുച്ഛക്തി എന്നിവപോലെത്തന്നെ സാധാരണമായിത്തീൎന്നിട്ടുള്ള ഒന്നാണു് X-രശ്മികളും. ഇവയ്ക്കു സാധാരണവെളിച്ചത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ വേധകശക്തിയുണ്ടെന്നു പറഞ്ഞുവല്ലോ. നമ്മുടെ ദേഹത്തിൽ എല്ലിനെമാത്രമേ അതിന്നു തുളച്ചു കടക്കുവാൻ പ്രയാസമുള്ളു. ഒരു X-രശ്മിവേണു(X-ray beam)വിൽ കൈപ്പത്തി കാണിക്കുകയാണെങ്കിൽ എല്ലുകളുടെ നിഴൽമാത്രം കാണാവുന്നതാണു്. X-രശ്മികൾ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടു്, മൂന്നു മാസത്തിന്നുള്ളിൽത്തന്നെ വൈദ്യന്മാർ ഈ സാദ്ധ്യതയെ ഉപയോഗിച്ചുതുടങ്ങി. ഇന്നു രോഗനിൎണ്ണയത്തിന്നു് അത്യന്തം ഉപയുക്തമായ ഒരു കരുവാണു് X-രശ്മികൾ.

18. തേജോദ്ഗിരണം

(Radioactivity)

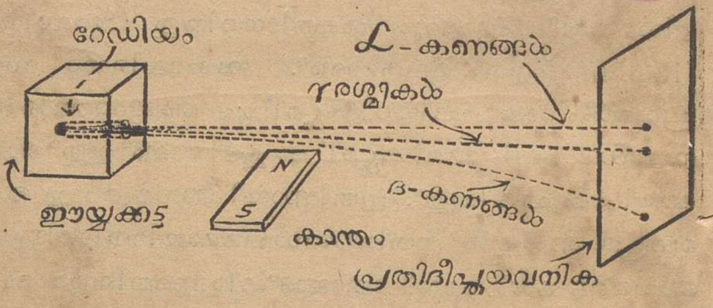
റോൺജൻ X-രശ്മികളെ കണ്ടുപിടിച്ചതിന്നു് അടുത്ത വൎഷംതന്നെ ഹെൻറി ബെക്കറൽ (Henri Becquerrel) അതിപ്രധാനമായ മറ്റൊരു സംഗതി കണ്ടുപിടിച്ചു. അതെന്തെന്നാൽ, ചില ധാതുക്കൾ, പ്രത്യേ

കിച്ച യുറേനിയമുള്ളവ, സ്വമേധയാ X-രശ്മികളെയും മ റ്റു പല കണികകളെയും പുറത്തു വിടുന്നു എന്നതാണു്. അസാധാരണങ്ങളായ ഈ പ്രസരങ്ങളെ സ്വമേധയാ ഉദ്ഗിരണംചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതിന്നു 'തേജോദ്ഗിര ണം' (Radioactivity) എന്നു പറയുന്നു.

നാം പ്രകൃതിയിൽ കണ്ടുവരുന്ന തേജോദ്ഗാരിക ളിൽവെച്ചു് ഏററവും ശക്തിയേറിയതു 'റേഡിയം' (Radium) എന്ന മൂലകമാണു്. ബക്കറലിൻെറ സഹ പ്രവൎത്തകനായ 'പിയറി ക്യൂരി'യും അദ്ദേഹത്തിൻെറ സഹധൎമ്മിണി 'മേരി ക്യൂരി'യും കൂടിയാണു് ഇതു് ആദ്യ മായി കണ്ടുപിടിച്ചതു്. ഇതിന്നായി അവർ ചെയ്ത ഭഗീ രഥപ്രയത്നം ഇന്നു് ഇതിഹാസോപമമായിത്തീൎന്നിട്ടുണ്ടു്. അവരുടെ ഓൎമ്മയ്ക്കായി തേജോദ്ഗിരണത്തിൻെറ മാത്ര കളിൽ ഒന്നിന്നു 'ക്യൂരി' (Curie) എന്ന പേർ കൊടുത്തി രിക്കുന്നു.

റേഡിയത്തിൽനിന്നും പുറത്തുവരുന്ന പ്രസരങ്ങൾ എന്തെല്ലാമുണ്ടെന്നു നോക്കാം. 3-ാം ചിത്രം നോക്കുക. ഒരു ഈയക്കട്ടയുടെ നടുവിൽ, വൃത്താകാരത്തിൽ, താഴ്ചയുള്ള ഒരു ദ്വാരമുണ്ടു്. അതിൽ കുറച്ചു റേഡിയം വെച്ചിരിക്കുന്നു. നേരെ മുകളിൽ കുറച്ചുയരത്തിലായി സിങ്കു് സൾഫൈ ഡ് പുരട്ടിയ ഒരു പ്രതിദീപ്തയവനികയും (Zinc sulphide Fluorescent Screen) വെച്ചിട്ടുണ്ടു്. റേഡിയത്തിൽനി ന്നും വരുന്ന ഉദ്ഗിരണങ്ങൾ (Emissions) ഇതിന്മേൽ വൃത്താകാരത്തിലുള്ള ഒരു പ്രഭാബിന്ദുവിനെ സൃഷ്ടിക്കുന്നു. സമീപത്തു് ഒരു കാന്തം കൊണ്ടുവരികയാണെങ്കിൽ പെ

ട്ടെന്നു് ഈ ബിന്ദു മൂന്നായി പിരിയുന്നതു കാണാം. ഒന്നു പൂർവ്വസ്ഥാനത്തുതന്നെ നിലകൊള്ളുന്നു. മറെറാന്നു കുറച്ചിടത്തോട്ടു മാറിയിട്ടും മൂന്നാമത്തേതു വളരെ വലത്തോട്ടു മാറിയിട്ടും സമീപസ്ഥമായ കാന്തത്തിൻെറ ധ്രുവങ്ങൾ അന്യോന്യം മാററുകയാണെങ്കിൽ പ്രതിദീപ്തയവനിക-



ചിത്രം 3

തേജോദ്ഗിരണം.

യിലുള്ള ബിന്ദുക്കളും അന്യോന്യം സ്ഥാനം മറുന്നതു കാണാം. ഇതിൽനിന്നും തേജോദ്ഗിരണത്തിൽ മൂന്നു ഘടകങ്ങളുണ്ടെന്നു മനസ്സിലാക്കാം. ഇവയെ ഗ്രീക്കു് അക്ഷരമാലയിലെ ആദ്യത്തെ മൂന്നക്ഷരങ്ങളായ ആൽഫാ (α), ബീററാ (β), ഗാമാ (γ) എന്നിവകൊണ്ടു കുറിക്കുന്നു.

1. α-കണങ്ങൾ ധനവൈദ്യുതാവേശമുള്ളവയും പ്രായേണ വളരെ ഭാരമേറിയവയും ആണു്.
2. β-കണങ്ങൾ: ഇവ വളരെ ഘനം കുറഞ്ഞവയും ഋണവൈദ്യുതാവേശമുള്ളവയും ആകുന്നു.
3. γ-രശ്മികൾ: ഇവയ്ക്കു വൈദ്യുതാവേശമില്ല.

ഈ α-കണങ്ങളും β-കണങ്ങളും പുതിയവയൊന്നുമല്ല. β-കണം വെറും ഇലക്ട്രോൺമാത്രമാണ്. α-കണമാകട്ടെ ഹീലിയത്തിൻെറ ബീജകേന്ദ്രമാകുന്നു. γ-രശ്മികളോ, ശക്തിയേറിയ X-രശ്മികൾതന്നെ.

പരമാണുവിനെ പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളും അടങ്ങിയ ഒരു ബീജകേന്ദ്രവും അതിനെ ചുററിക്കറങ്ങുന്ന ഒരു ഇലക്ട്രോൺവ്യൂഹവുമായി നാം ചിത്രീകരിച്ചല്ലോ. സദൃശങ്ങളായ വൈദ്യുതാവേശങ്ങൾ അന്യോന്യം വികർഷിക്കും എന്നു് എല്ലാവർക്കും അറിയാം. ബീജകേന്ദ്രത്തിലാകട്ടെ ധനവൈദ്യുതാവിഷ്ടങ്ങളായ അനവധി പ്രോട്ടോണുകളുണ്ടുതാനും. എന്തുകൊണ്ടു് അവ തെറിച്ചു പോകുന്നില്ല? അവയെ കൂട്ടിഘടിപ്പിക്കുന്ന ശക്തി എന്താണു്? ഈ ചോദ്യത്തിന്നു തികച്ചും തൃപ്തികരമായ ഒരു ഉത്തരം ഇന്നേവരെയായി കിട്ടിയിട്ടില്ല. ബീജകേന്ദ്രം അനവരതം ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന കണികകളുടെ ഒരു സമൂഹമാണെന്നും ഈ ചലനത്തിൽനിന്നുണ്ടാകുന്ന എന്തോ ഒരു ശക്തിയാണു് അവയെ ബന്ധിച്ചുനിർത്തുന്നതെന്നും ആണു് ഇപ്പോൾ പൊതുവേ വിശ്വസിച്ചുവരുന്നതു്. ബീജകേന്ദ്രത്തിൻെറ ഈ ക്ഷുബ്ധമായ അവസ്ഥയാണു് തേജോദ്ഗിരണത്തിൻെറ നിദാനം.

തേജോദ്ഗിരണം രണ്ടുവിധത്തിലുണ്ടു്. നൈസർഗ്ഗികവും (Natural) പ്രേരിതവും (Iuduced). പ്രകൃതിയിൽ കാണുന്ന മൂലകങ്ങളുടെ—റേഡിയം, യുറേനിയം മുതലായവയുടെ—തേജോദ്ഗിരണത്തെ നൈസർഗ്ഗിക തേജോദ്ഗിരണം (Natural Radio activity) എന്നു വി

ളിക്കുന്നു. പ്രോട്ടോൺ, ന്യൂട്രോൺ മുതലായവയുടെ ആഘാതമേററാൽ ചില മൂലകങ്ങൾ തേജോദ്ഗാരികളായിത്തീരും. ഇങ്ങിനെ ഉണ്ടാകുന്നതിനെയാണു് പ്രേരിത തേജോദ്ഗിരണം എന്നു പറയുന്നതു്. ഉദാഹരണമായി, അലൂമിനിയംപരമാണുവിനെ ഒരു ന്യൂട്രോൺകൊണ്ടു് എയ്തു എന്നു വിചാരിക്കുക. ന്യൂട്രോൺ ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ പ്രവേശിക്കുമ്പോൾ അലൂമിനിയത്തിൻെറ ഒരു പുതിയ സ്ഥാനീയം ഉണ്ടാകുന്നു. ഇതു തേജോദ്ഗാരിയാണു്. ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ പുറത്തുവിട്ടു് അതു സിലിക്കൺ എന്ന മൂലകമായി പരിണമിക്കുന്നു. ഇതിനെ സംജ്ഞാരൂപേണ ഇങ്ങിനെ എഴുതാം:

$$_{13}Al^{27} + {_0}n^1 \longrightarrow {_{13}}Al^{28} \text{ (തേജോദ്ഗാരി)}$$

$$_{13}Al^{28} \longrightarrow {_{14}}Si^{28} + {_{-1}}e^0$$

$_{-1}e^0$ എന്നെഴുതുന്നതു് ഇലക്ട്രോണിനെയാണു്. അതിൻെറ വൈദ്യുതാവേശം ഒരു ഋണമാത്രയാകയാൽ ആണു് ഇടതുവശത്തു താഴെയായി —1 എന്നെഴുതുന്നതു്. ഇതു് ഇലക്ട്രോണിൻെറ പരമാണുസംഖ്യയ്ക്കു സമാനമായ ഒന്നായിക്കരുതാം. മററു കണികകളെ അപേക്ഷിച്ചു് ഇലക്ട്രോണിൻെറ ഭാരം അത്യന്തം തുച്ഛമാകയാൽ, ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യയെഴുതേണ്ടിടത്തു—വലതുഭാഗത്തു മുകളിൽ — 0 ആണു് എഴുതുന്നതു്.

തേജോദ്ഗിരണത്തിൻെറ ഫലമായി മൂലകങ്ങൾക്കു പരിവർത്തനമുണ്ടാകുന്നുവെന്നു്, മേൽക്കൊടുത്ത ഉദാഹരണത്തിൽനിന്നു മനസ്സിലാക്കാം. റേഡിയം ഒരു

ആൽഫാകണത്തെ പുറത്തുവിട്ടാൽ നിഷ്ക്രിയാവാതകമായ 'റാഡൺ' (Radon) ആയിത്തീരുന്നു. ഇതു വീണ്ടും ഒരു ആൽഫാകണത്തെ പുറത്തുവിട്ട 'പൊളോണിയം' (Polonium) ആയിത്തീരുന്നു.

$$_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rd^{222} + {}_{2}He^{4}$$ (ആൽഫാകണം)

$$_{86}Rd^{222} \longrightarrow {}_{84}Po^{218} + {}_{2}He^{4}$$ (ആൽഫാകണം)

തേജോദ്ഗാരിമൂലകങ്ങളുടെ വികലനം (Disintegration) സ്വമേധയാ നടക്കുന്നതാണെന്നു പറഞ്ഞുവല്ലോ. ഈ വികലനവേഗതയെ (Rate of Disintegration) ഭൌതികമോ, രാസികമോ ആയ യാതൊരു വിധികളാലും വ്യത്യാസപ്പെടുത്തുവാൻ സാധിക്കുകയില്ല. ചൂടും തണുപ്പും വൈദ്യുതിയും കാന്തവും എല്ലാം ഒരുപോലെ അശക്തങ്ങളാണു്. ഓരോ തേജോദ്ഗാരിമൂലകത്തിൻെറയും വികലനവേഗത അതിൻെറ ഒരു പ്രത്യേകഗുണമാണു്. ഏതെങ്കിലും ഒരു തേജോദ്ഗാരിമൂലകത്തിൻെറ ഒരു നിശ്ചിതഭാരം വികലിതമായി പകുതിയാകുവാൻ എടുക്കുന്ന സമയത്തിന്നു് അതിൻെറ 'അർദ്ധജീവിതകാലം' (Half life) എന്നു പറയുന്നു. റേഡിയം ഒരു തേജോദ്ഗാരിമൂലകമാണല്ലോ. ഒരു ലബ്ധഭാരം റേഡിയം പകുതിയും വികലിതമാകാൻ 1620 കൊല്ലം വേണം. അതായതു റേഡിയത്തിൻെറ അർദ്ധജീവിതകാലം 1620 കൊല്ലമാകുന്നുവെന്നു്. യുറേനിയത്തിൻെറ അർദ്ധജീവിതകാലം 451 കോടി കൊല്ലമാണു്. ഒരു സെക്കണ്ടിൻെറ

കോടിയിലൊന്നുമാത്രം അദ്ധ്ജീവിതകാലമുള്ള ചില പ്രേരിതതേജോദ്ഗാരിമൂലകങ്ങളുമുണ്ടു്.

പരമാണുവിൻെറ അന്തർഘടനയിലേയ്ക്കു വെളിച്ചം വീശുവാൻ സഹായിച്ചതിന്നുപുറമെ മററു പല സഹായങ്ങളും തേജോദ്ഗിരണം നമുക്കു ചെയ്തിട്ടുണ്ടു്. അവയെപ്പററിയുള്ള സവിസ്തരപ്രതിപാദനം ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൻെറ പരിധിയിൽപ്പെടുന്നില്ല. പരമാണുവിൽനിന്നു് എങ്ങിനെ ഊർജ്ജം ലഭിക്കാമെന്നതാണു് നമ്മുടെ പ്രശ്നം.

ഭാഗം രണ്ടു്

No. 12067

19. ദ്രവ്യവും ഊൎജ്ജവും

(Matter and Energy)

പ്രപഞ്ചത്തെ ദ്രവ്യം (ഖര-ദ്രാവക-വാതകങ്ങൾ), ഊൎജ്ജം, ആകാശം എന്നിങ്ങനെ മൂന്നായി തരംതിരിക്കാം എന്നു നാം മുൻപു പഠിച്ചുവല്ലോ. എന്നാൽ ദ്രവ്യവും ഊൎജ്ജവും ഒരേ ജാഗത(Cosmic)വസ്തുവിൻെറ രൂപഭേദങ്ങൾമാത്രമാകുന്നുവെന്നു തെളിയിച്ചതാണു് ഇരുപതാംനൂററാണ്ടിലെ ഏററവും വലിയ കണ്ടുപിടുത്തം. സുപ്രസിദ്ധശാസ്ത്രജ്ഞനായിരുന്ന ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റൈൻ ആണു്, ദ്രവ്യത്തെ ഊൎജ്ജമായും ഊൎജ്ജത്തെ ദ്രവ്യമായും പരിവൎത്തനംചെയ്യാവുന്നതാണെന്ന സിദ്ധാന്തത്തെ ആദ്യമായി ഉന്നയിച്ചതു്. 1905-ാമാണ്ടിൽ ഈ നിഗമനത്തിലെത്തിച്ചേൎന്നപ്പോൾ ഇതിനെ തെളിയിക്കുവാനായി യാതൊരു പരീക്ഷണവും ഉണ്ടായിരുന്നില്ല. നാല്പതു കൊല്ലത്തിന്നുശേഷം നാഗസാക്കിയിലും ഹിരോഷിമയിലും ഉണ്ടായവിധം വമ്പിച്ചതോതിൽ തൻെറ സിദ്ധാന്തം തെളിയിക്കപ്പെടുമെന്നു് ഐൻസ്റ്റൈൻ അന്നു സ്വപ്നേപി വിചാരിച്ചിരിക്കയില്ല. അവിടെ ആരംഭിച്ചതു് ഒരു പുതിയ യുഗമാണു്—പരമാണുയുഗം. നാഗസാക്കിയിലേയും ഹിരോഷിമയിലേയും പരമാണുബോം

ബ്ഫോടനങ്ങളുടെ ഫലമായി ലക്ഷക്കണക്കിനു മനുഷ്യർ മൃതിയടഞ്ഞു. ശേഷിച്ചവരിൽ പലരും തലമുറതലമുറയായി നീണ്ടുനില്ക്കുന്ന രോഗങ്ങളാൽ ബാധിതരുമായി. എന്നാൽ നാഗസാക്കിയിലേയും, ഹിരോഷിമയിലേയും വിസ്ഫോടനങ്ങൾ ഇപ്പോൾ നിസ്സാരങ്ങളായിത്തീന്നിരിക്കയാണു്. അവയേക്കാൾ എത്രയോ മടങ്ങു ശക്തിയുള്ള പരമാണുബോംബുകളും ഹൈഡ്രജൻബോംബുകളും നൂറുകണക്കിനാണു് ഇപ്പോൾ നിർമ്മിക്കപ്പെടുന്നതു്. പരമാണുശക്തി ഇത്ര ഭയാനകമായിത്തീരുന്നതു് അതിലടങ്ങിയിട്ടുള്ള ഭീമമായ ഊർജ്ജത്തിനാലാണു്. ഈ ഊർജ്ജത്തെ സമാധാനപരമായ ആവശ്യങ്ങൾക്കും—വിദ്യുച്ഛക്തിയുൽപാദനം മുതലായവ—ഉപയോഗിക്കാം. ബ്രിട്ടൺ, അമേരിക്ക, റഷ്യ മുതലായ രാജ്യങ്ങളിൽ പരമാണുശക്തിയിൽനിന്നും വമ്പിച്ചതോതിൽ വിദ്യുച്ഛക്തി ഉൽപാദിപ്പിച്ചുവരുന്നുണ്ടു്. നമ്മുടെ രാജ്യത്തിലും പരമാണുശക്തിനിലയ(Atomic Power Station)ത്തിൻെറ സംവിധാനം ദ്രുതഗതിയിൽ നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുകയാണു്. പരമാണുശക്തിയെ സമാധാനപരമായ ആവശ്യങ്ങൾക്കുപയോഗിക്കുവാൻ അറിയേണ്ടതായ അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങളെപ്പററി വരുന്ന ഏതാനും ഖണ്ഡങ്ങളിലായി കഴിയുന്നതും ലളിതമായ രീതിയിൽ പ്രതിപാദിക്കാൻ ശ്രമിക്കാം.

ഐൻസ്റ്റൈനാണു് ദ്രവ്യത്തെ ഊർജ്ജമായും ഊർജ്ജത്തെ ദ്രവ്യമായും മാററാമെന്നു് ആദ്യമായി പ്രസ്താവിച്ചതു്. ദ്രവ്യവും ഊർജ്ജവും തമ്മിലുള്ള ബന്ധവും സുപ്രസി

ദ്ധമായ 'ഐൻസ്റ്റൈൻസമീകരണ'ത്താൽ കുറിക്കപ്പെടുന്നു.

$$E = mc^2$$

എന്ന ഈ സമീകരണത്തിൽ ഊർജ്ജത്തെ (E) എർഗ്ഗ് (erg) മാത്രയിലും ഭാരത്തെ (M) ഗ്രാം (gram) മാത്രയിലും ആണു് സൂചിപ്പിച്ചിട്ടുള്ളതു്. ഊർജ്ജത്തെ എർഗ്ഗ്, കാലറി (calorie) 'കിലോവാട്ട് മണിക്കൂർ' (Kilowatt hour) എന്നിങ്ങനെയുള്ള മാത്രകളിൽ അളക്കാം. ഭാരത്തിനാകട്ടെ ഗ്രാം, കിലോഗ്രാം, റാത്തൽ മുതലായ മാത്രകളുണ്ടു്. ഈ മാത്രകളെല്ലാം അന്യോന്യം ബന്ധപ്പെട്ടവയാണു്. കാലറിയെ എർഗ്ഗ് ആയി മാററണമെങ്കിൽ $4{\cdot}2 \times 10^7$ കൊണ്ടു ഗുണിക്കണം. അതായതു് 1 കാലറി $= 4{\cdot}2 \times 10^7$ എർഗ്ഗ്. അതുപോലെ കിലോഗ്രാമിനെ റാത്തലായി മാററുവാൻ 2.2കൊണ്ടും ഇഞ്ചിനെ സെൻറിമീററർ ആക്കുവാൻ 2.54കൊണ്ടും ഗുണിക്കേണം. ഭാരവും ഊർജ്ജവും തമ്മിൽ ഒരു സമീകരണമുണ്ടാക്കണമെങ്കിൽ അവയുടെ മാത്രകൾതമ്മിൽ ബന്ധപ്പെടുത്തണം. ഒരു ഗ്രാം ഭാരത്തിനു തുല്യമായ ഊർജ്ജത്തെ 'എർഗ്ഗ്'മാത്രയിൽ പറയുവാൻ വെളിച്ചത്തിൻെറ സെൻറിമീററർമാത്രയിലുള്ള പ്രവേഗ(Velocity)ത്തിൻെറ വർഗ്ഗ (Square)മാകുന്ന സ്ഥിരാങ്കം(Constant)കൊണ്ടു ഗുണിക്കണം എന്നുമാത്രമാണു് ഐൻസ്റ്റൈൻസമീകരണം കുറിക്കുന്നതു്. സാധാരണ '*c*' എന്ന സംജ്ഞകൊണ്ടു കുറിക്കപ്പെടുന്ന വെളിച്ചത്തിൻെറ പ്രവേഗം സെക്കണ്ടിൽ 30,000,000,000 (30 പത്മം) സെൻറിമീററർ—

186,000 നാഴിക—ആകുന്നു. ദ്രവ്യത്തിൻെറ ഭാരത്തേയും അതിനു സമമായ ഊർജ്ജത്തേയും ബന്ധപ്പെടുത്തുന്ന സ്ഥിരാങ്കം c^2 ആണു്. ഒരു ഗ്രാം ദ്രവ്യത്തെ പൂർണ്ണമായും ഊർജ്ജമായി മാററുകയാണെങ്കിൽ 2,33,00,000 കിലോവാട്ട്മണിക്കൂർ ഊർജ്ജം—10,000 ടൺ കല്ക്കരി കത്തിക്കുമ്പോളുണ്ടാകുന്നതിനു സമാനം—ഉണ്ടാകുന്നു.

20. ദ്രവ്യനഷ്ടവും ബന്ധനോർജ്ജവും

(Mass Defect and Binding Energy)

സകലപദാർത്ഥങ്ങളുടേയും മൂലഘടകങ്ങളായ മൂന്നു കണികകളെ നമുക്കിപ്പോൾ അറിയാം. ഈ കണികകളെ ബീജകേന്ദ്രത്തിനു് അകത്തും പുറത്തും ക്രമമായി അടുക്കിവെച്ചു് ആവർത്തനസാരണിയിൽ കൊടുത്തിട്ടുള്ള വിവിധമൂലകങ്ങൾ ഉണ്ടാക്കുന്നു. ഈ ചിത്രം തികച്ചും പൂർണ്ണമായിത്തോന്നുന്നു. യുക്തിപരമായി സാരവത്തും കലാപരമായി തൃപ്തികരവും. വാസ്തവം! പക്ഷേ അതോടൊപ്പം തന്നെ പല പുതിയ പ്രശ്നങ്ങളും ആവിർഭവിക്കുന്നു. റേഡിയത്തിൻെറ കാര്യമെടുക്കുക. അതിൻെറ പരമാണുസംഖ്യ 88-ഉം ദ്രവ്യരാശിസംഖ്യ 226-ഉം ആകുന്നു. അതിനാൽ 88 പ്രോട്ടോണുകളേയും 138 ന്യൂട്രോണുകളേയും കൂട്ടിച്ചേർത്തു പുറമേ 88 ഇലക്ട്രോണുകളെ അവയുടെ നിർദ്ദിഷ്ടകംബുകങ്ങളിൽ പ്രവേശിപ്പിച്ചു് ഒരു റേഡിയംപരമാണു ഉണ്ടാക്കാമെന്നു വെയ്ക്കുക. ഈ ഘടന അതിൻെറ ആവർത്തനസാരണയിലെ സ്ഥാനവിശേഷങ്ങളേയും മ

THE ... KOTTAYAM.

ററൊരുപാട്ട രാസഭൌതികഗുണങ്ങളേയും തൃപ്തിപ്പെടുത്തുവാൻ ഉതകിയതാണു്. പക്ഷേ, എന്തുകൊണ്ടാണു് ഇതിത്ര അസ്ഥിരമായി ഇരിക്കുന്നതു്? എന്തുകൊണ്ടു് ഇതിൻെറ ഒരു ചെറിയ കണികകൂടി ശക്തിയേറിയ ആൽഫാകണ-ബീററാകണ-ഗാമാരശ്മികളെ സ്വയമേവ പുറത്തു വിട്ടുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു? ഈ കണങ്ങളും, രശ്മികളും എവിടെനിന്നു വരുന്നു? ഈ ഊർജ്ജമെല്ലാം എവിടെനിന്നു ലഭിക്കുന്നു? മാത്രമല്ല, ബീജകേന്ദ്രത്തിനകത്തുള്ള ധനവൈദ്യുതാവേശത്തെ ശ്രെദ്ധിക്കുക. വിരോധവൈദ്യുതാവേശങ്ങൾ അന്യോന്യം ആകർഷിക്കുമെന്നും സദൃശവൈദ്യുതാവേശങ്ങൾ അന്യോന്യം വികർഷിക്കുമെന്നും നമുക്കറിയാം. എന്നിട്ടും ഹീലിയബീജകേന്ദ്രത്തിൽ 2 ധനവൈദ്യുതാവേശങ്ങൾ ഒററക്കെട്ടായി നില്ക്കുന്നു! ഓക്സിജബീജകേന്ദ്രത്തിൽ 8 ധനവൈദ്യുതാവേശങ്ങളുണ്ടു്. യുറേനിയത്തിലാകട്ടെ 92-ഉം. ഇത്രയും അധികം സദൃശങ്ങളായ വൈദ്യുതാവേശങ്ങൾ ബീജകേന്ദ്രത്തിൻെറ പരിമിതപരിധിക്കുള്ളിൽ എങ്ങിനെ തങ്ങി നില്ക്കുന്നു? ഇതിൽ ന്യൂട്രോണുകൾക്കു് എന്തെങ്കിലും ഒരു പങ്കുണ്ടോ? ഹൈഡ്രജനൊഴികെ മററെല്ലാ മൂലകങ്ങളിലും ഒരു വസ്തുത വ്യക്തമായിക്കാണാം. ബീജകേന്ദ്രത്തിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ പ്രോട്ടോണുകളുടേതിനു സമമോ കൂടുതലോ ആയിരിക്കുമെന്നതാണതു്. പ്രോട്ടോണുകൾ നാലു പുറത്തേയ്ക്കും പറന്നുപോകാതെ ഉറപ്പിക്കാനുള്ള സിമൻറാണോ ന്യൂട്രോണുകൾ? ഈ ചോദ്യങ്ങൾക്കെല്ലാം ഉത്തരം ലഭിക്കുവാൻ പ്രഥമദൃഷ്ടിയിൽ തികച്ചും അപ്രസക്തമെന്നു തോന്നുന്ന ഒരു പ്രശ്നത്തെപ്പററി ആലോചിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

പരമാണു ഇലക്ട്രോൺ, പ്രോട്ടോൺ, ന്യൂട്രോൺ എന്നിവകളാൽ നിർമ്മിതമാണല്ലോ. അതിനാൽ ഇവയുടെ ഭാരങ്ങളുടെ ആകത്തുകയായിരിക്കണം പരമാണുഭാരം. ഒരു പ്രോട്ടോണിൻെറ ഭാരം 1.00758 പരമാണുമാത്രയാകുന്നു. ന്യൂട്രോണിൻേറതു് 1.00893 പരമാണുമാത്രയും. ഇലക്ട്രോണിൻെറ ഭാരം നിസ്സാരമാണു്. ഹീലിയബീജകേന്ദ്രത്തിൽ രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകളും രണ്ടു ന്യൂട്രോണുകളുമുണ്ടു്. ഹീലിയബീജകേന്ദ്രത്തിൻെറ ഭാരമാകട്ടേ, 4.0028 പ. മാ.യാണെന്നു നിർണ്ണയിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. അപ്പോൾ—

2 പ്രോട്ടോൺ	=	2.01516 പ. മാ.
2 ന്യൂട്രോൺ	=	2.01786 പ. മാ.
ആകത്തുക	=	4.03302 പ. മാ.
$_2He^4$ ബീജകേന്ദ്രം	=	4.0028 പ. മാ.
വ്യത്യാസം	=	0.03022 പ. മാ.

അതായതു്, ഹീലിയബീജകേന്ദ്രത്തിൻെറ ഭാരം അതിൻെറ ഘടകങ്ങളുടെ ആകത്തുകഭാരത്തിൽനിന്നും 0.03022 പരമാണുമാത്രകൊണ്ടു കുറവാണു്. രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകളും രണ്ടു ന്യൂട്രോണുകളും കൂടിച്ചേർന്നു് ഒരു ഹീലിയം ബീജകേന്ദ്രമുണ്ടായപ്പോൾ ഇത്രയും ദ്രവ്യം ഊർജ്ജമായി രൂപാന്തരപ്പെടുകയും ബീജകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നു നഷ്ടപ്പെടുകയുമാണു് ചെയ്തിരിക്കുന്നതു്. ഈ നഷ്ടപ്പെട്ട ഊർജ്ജമാണു് ബീജകേന്ദ്രത്തിലെ പ്രോട്ടോണുകളേയും ന്യൂ

ട്രോണുകളേയും ബന്ധിച്ചുനിൎത്തുന്നതു്. ഊൎജ്ജത്തിൻെറ നഷ്ടം എങ്ങിനെ ഈവിധത്തിൽ ഒരു ശക്തി നല്കുന്നു എന്നു് അത്ഭുതപ്പെട്ടേയ്ക്കാം. ഈ ആശയത്തെ മനസ്സിലാക്കാൻ ഒന്നുരണ്ടു് ഉദാഹരണങ്ങൾ താഴെ കൊടുക്കുന്നു.

കുന്നിൻെറ മുകളിലിരിക്കുന്ന ഒരു കല്ലിന്നു വളരെ അധികം സ്ഥാനോൎജ്ജം (Potential Energy) ഉണ്ടു്. പക്ഷേ അതിൻെറ നില, കിണററിൽ കിടക്കുന്ന ഒരു കല്ലിൻേറതിനേക്കാൾ അസ്ഥിരം (Unstable) ആണു്. ചെറുതായ ഒരു സ്ഥാനഭ്രംശം മതി അതിനെ താഴോട്ടു കൊണ്ടുവരുവാൻ. വീഴ്ചയിൽ സ്ഥാനോൎജ്ജം ചലനോൎജ്ജ (Kinetic Energy)മായി മാറുന്നു. വീണതിനുശേഷം ഈ ചലനോൎജ്ജം ഘൎഷണോഷ്മാവും (Frictional Heat) ശബ്ദവുമായി മാറി ചുററുമുള്ള പ്രദേശങ്ങളിലേയ്ക്കു വ്യാപിക്കുന്നു. ഇങ്ങിനെ ഊൎജ്ജം—ഊൎജ്ജത്തിൻെറ ശരിയായ നിൎവ്വചനം പ്രവൃത്തിചെയ്യുവാനുള്ള കഴിവു് എന്നാണു്— നഷ്ടപ്പെടുന്നതിനാലാണു് കല്ലിൻെറ താഴെയുള്ള നില കൂടുതൽ സ്ഥിരമാകുന്നതു്. എത്രകണ്ടു താഴോട്ടു പോകുന്നുവോ അത്രകണ്ടു വീണ്ടും താഴോട്ടു വീഴാനുള്ള സാദ്ധ്യത കുറയുകയാണല്ലോ. ഇതുപോലെത്തന്നെ വെള്ളം മലമുകളിൽനിന്നു സമുദ്രത്തിലേയ്ക്കു് ഒഴുകുകയും തൽഫലമായി ഊൎജ്ജം നഷ്ടപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. പക്ഷേ സമുദ്രത്തിലെ വെള്ളം കുന്നിൻമുകളിലെ വെള്ളത്തേക്കാൾ കൂടുതൽ സ്ഥിരതയോടെ വൎത്തിക്കുന്നുണ്ടല്ലോ. ഈ ആശയത്തെ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നവിധത്തിൽ ഒരു നിയമമായി പറയാം. "ഒരു മണ്ഡലം (System) എതെങ്കിലും

ഒരു പരിവത്തനദശയിൽ ഊജ്ജത്തെ ഉദ്ഗിരണംചെയ്യുകയാണെങ്കിൽ അതിൻെറ സ്ഥിരത വദ്ധിക്കുന്നു." ഏതെങ്കിലും ഒരു രാസപ്രതിപ്രവത്തനത്തിൻെറ ഫലമായി ഊജ്ജോദ്ഗിരണമുണ്ടാവുകയാണെങ്കിൽ ഉണ്ടായിത്തീരുന്ന യൌഗികങ്ങൾ പ്രതിപ്രവത്തനത്തിൽ പങ്കെടുക്കുന്നവയേക്കാൾ കൂടുതൽ സ്ഥിരതയുള്ളവയായിരിക്കും. ഉദാഹരണമായി: കാർബണും, ഹൈഡ്രജനും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തിൽ ഓക്സിജനും കാർബണും തമ്മിലുള്ള കെട്ടിനേക്കാൾ വളരെയധികം ഊജ്ജസംഭരമുണ്ട്. പെട്രോൾ, ടി. എൻ. ടി. മുതലായവയെല്ലാം കാർബൺ–ഹൈഡ്രജ യൌഗികങ്ങളാണു്. അതിനാൽ തരം കിട്ടുമ്പോൾ അവ ഊജ്ജസംഭരണം കുറവുള്ള കാർബൺ–ഓക്സിജൻ, ഹൈഡ്രജൻ–ഓക്സിജൻ എന്നീ ബന്ധങ്ങളായി രൂപാന്തരപ്പെടുകയും അപ്പോൾ അധികമുള്ള ഊജ്ജം പുറത്തു വിടുകയും ചെയ്യുന്നു. അങ്ങിനെയാണു് അവ എളുപ്പത്തിൽ തീപ്പിടിക്കുകയും പൊട്ടിത്തെറിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതു്. ഇതേ അവസ്ഥാവിശേഷങ്ങൾതന്നെയാണു് പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളും കൂടിച്ചേന്നു ഹീലിയബീജകേന്ദ്രമുണ്ടാകുമ്പോഴും ഉളവാകുന്നതു്. ബീജകേന്ദ്രങ്ങൾ രൂപീകരിക്കപ്പെടുമ്പോൾ ഉണ്ടാവുന്ന ഊജ്ജവമനം സാധാരണയായി "ഇലക്ട്രോൺ വോൾട്ട്" (Electron Volt) എന്ന ഒരു പ്രത്യേകമാത്രയിലാണു് കുറിക്കപ്പെടുക. ഇതു് 'എർഗ്ഗ്' മായി,

ഒരു എർഗ് $=6 \cdot 242 \times 10^{11}$ ഇലക്ട്രോൺ വോൾട്ട് എന്ന തോതിൽ ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഇതിൻെറ പ

 No: (206)

ത്തു ലക്ഷം ഇരട്ടിയായ 'മില്യൻ ഇലക്ട്രോൺ വോൾട്ട്' (Million Electron Volt) എന്ന മാത്രയാണു് കൂടുതൽ സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കാറു്. ഇതിനെ ചുരുക്കി Mev എന്നാണു് എഴുതുക. ഒരു ഗ്രാം എന്നു പറയുന്നതു് 6.023×10^{23} പരമാണുമാത്രകളാണെന്നു നമുക്കറിയാമല്ലോ. ഐൻസ്റ്റൈൻസമീകരണപ്രകാരം ഇതിനെ തുല്യമായ ഊർജ്ജമായി മാററുകയാണെങ്കിൽ,

$$\text{ഒരു ഗ്രാം} = 1 \times (3.0 \times 10^{10})^2 \text{ എർഗ്}.$$
$$= 9.00 \times 10^{20} \text{ എർഗ്}.$$

ഗ്രാമിനെ പരമാണുമാത്രകളിലും എർഗിനെ ഇലക്ട്രോൺവോൾട്ടിലും എഴുതുകയാണെങ്കിൽ,

$$6.023 \times 10^{23} \text{ പ.മാ.} = 9.00 \times 10^{20} \times 6.242 \times 10^{11} \text{ E.V.}$$
$$= \frac{9.00 \times 10^{20} \times 6.242 \times 10^{11}}{10^6} \text{ Mev.}$$

അഥവാ

$$\text{ഒരു പരമാണുമാത്ര} = \frac{9.00 \times 10^{20} \times 6.242 \times 10^{11}}{10^6 \times 6.023 \times 10^{23}} \text{ Mev.}$$
$$= 931 \text{ Mev.}$$

രണ്ടു പ്രോട്ടോണുകളും രണ്ടു ന്യൂട്രോണുകളും കൂടിച്ചേർന്നു ഹീലിയബീജകേന്ദ്രമുണ്ടാകുമ്പോൾ 0.03022 പരമാണുമാത്ര നഷ്ടപ്പെടുന്നല്ലോ. ഇതു് ഊർജ്ജരൂപത്തിലാണു് പുറത്തുവരുന്നതു്. ഇതിൻെറ പരിമാണം:

$$0.03022 \text{ പ. മാ.} = 0.03022 \times 931 \text{ Mev.}$$
$$= 28.116 \text{ Mev.}$$

ഒരു മണ്ഡലത്തിൽ ഉള്ള ഊർജ്ജസംഭരത്തെ അതിൻെറ അസ്ഥിരതയുടെ മാനദണ്ഡമായി കണക്കാക്കാം എന്നു നാം മുൻപു പഠിച്ചുവല്ലോ. മറെറാരുവിധത്തിൽ പറയുകയാണെങ്കിൽ ഒരു മണ്ഡലത്തിൻെറ സ്ഥിരത, അതിനെ രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുവാൻ ആവശ്യമായ ഊർജ്ജത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. കുന്നിൻെറ അടിവാരത്തിലിരിക്കുന്ന കല്ലിനു മുകളിലിരിക്കുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ സ്ഥിരതയുണ്ടാകാൻ കാരണം അതിനെ മുകളിൽ എത്തിക്കാൻ വളരെ ഊർജ്ജം നല്കണമെന്നതാണ്. അതുപോലെത്തന്നെ ഹീലിയബീജകേന്ദ്രത്തെ ഉടച്ചു ഘടകങ്ങളായ പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളുമായി വേർതിരിക്കണമെങ്കിൽ 0.03022 പരമാണുമാത്രയ്ക്കു സമാനമായ, 28.116 Mev, ഊർജ്ജം തിരിച്ചുകൊടുക്കണം. ബീജകേന്ദ്രരൂപീകരണസമയത്ത് എത്രകണ്ടു കൂടുതൽ ഭാരം നഷ്ടപ്പെട്ടിരുന്നുവോ അത്രകണ്ടു കൂടുതൽ ഊർജ്ജം കൊടുത്താലേ അതിനെ ഉടയ്ക്കുവാൻ സാധിക്കുകയുള്ളു. അതായത്, ബീജകേന്ദ്രം അത്രകണ്ടു സ്ഥിരമാകുന്നു എന്ന്.

പ്രോട്ടോണുകളും ന്യൂട്രോണുകളും ചേർന്നു ബീജകേന്ദ്രങ്ങൾ ഉണ്ടാകുമ്പോൾ സംഭവിക്കുന്ന ഭാരനഷ്ടത്തിനു 'ദ്രവ്യരാശിനഷ്ടം' (Mass defect) എന്നു പറയുന്നു. ഹീലിയബീജകേന്ദ്രത്തിൽ 4 ന്യൂക്ലിയോണുകളുണ്ട്. ആകെയുള്ള ദ്രവ്യരാശിനഷ്ടം 0.03022 പരമാണുമാത്ര അഥവാ 28.116 Mev ആകുന്നു. അപ്പോൾ ഓരോ ന്യൂക്ലിയോണിനും ശരാശരി $28.116/4 = 7.029$ Mev ഊർജ്ജത്തിനു സമാനമായ ഭാരം നഷ്ടപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടെന്നു പറയാം. ഒരു

ന്യൂക്ലിയോണിനു സംഭവിക്കുന്ന ശരാശരി ഭാരനഷ്ടത്തിനു 'ബന്ധനോർജ്ജം' (Binding energy) എന്നു പറയുന്നു. ഹൈഡ്രജബീജകേന്ദ്രം ഒരു പ്രോട്ടോൺമാത്രമാകയാൽ അതിനു ബന്ധനോർജ്ജമില്ല. മറേറതാനും ചില മൂലകങ്ങളുടെ ബന്ധനോർജ്ജം നമുക്കു കണക്കാക്കാം.

1. ഓക്സിജൻ $_{8}O^{16}$

8 പ്രോട്ടോണുകൾ $= 8 \times 1.00758 = 8.06064$ പ. മാ.

8 ന്യൂട്രോണുകൾ $= 8 \times 1.00893 = 8.07144$ പ. മാ.

ആകത്തുക	= 16.13208 പ. മാ.
പരമാണുഭാരം	= 16.00000 പ. മാ.
വ്യത്യാസം	= 0.13208 പ. മാ.

ബന്ധനോർജ്ജം $= \frac{0.13208}{16}$ പരമാണുമാത്ര.

$= \frac{0.13208 \times 931}{16}$ Mev.

$= \underline{7.67 \text{ Mev.}}$

2. കാൽസിയം (Calcium) $_{20}Ca^{40}$

20 പ്രോട്ടോണുകൾ $= 20 \times 1.00758 = 20.15160$ പ. മാ.

20 ന്യൂട്രോണുകൾ $= 20 \times 1.00893 = 20.17860$ പ. മാ.

ആകത്തുക	= 40.33020 പ. മാ.
പരമാണുഭാരം	= 39.97450 പ. മാ.

വ്യത്യാസം $= 0.35570$ പ. മാ.

ബന്ധനോർജ്ജം $= \frac{0.35570 \times 931}{40}$ Mev.

$= 8.2766$ Mev.

3. ഇരുമ്പ് $_{26}Fe^{56}$

26 പ്രോട്ടോണുകൾ $= 26 \times 1.00758 = 26.19688$ പ.മാ.

30 ന്യൂട്രോണുകൾ $= 30 \times 1.00893 = 30.26790$ പ.മാ.

ആകത്തുക $= 56.46478$ പ. മാ.

പരമാണുഭാരം $= 55.95340$ പ. മാ.

വ്യത്യാസം $= 0.51138$

ബന്ധനോർജ്ജം $= \frac{0.51138}{56} \times 931$ Mev.

$= 8.49$ Mev.

4. അയഡീൻ (Iodine) $_{53}I^{127}$

53 പ്രോട്ടോണുകൾ $= 53.40174$ പ. മാ.

74 ന്യൂട്രോണുകൾ $= 74.66082$ പ. മാ.

ആകത്തുക $= 128.06256$ പ. മാ.

പരമാണുഭാരം $= 126.93300$ പ. മാ.

വ്യത്യാസം $= 1.12956$ പ. മാ.

ബന്ധനോർജ്ജം $= \frac{1.12956}{127} \times 931$ Mev.

$= 8.2952$ Mev.

5. ഈയം (Lead) $_{82}Pb^{204}$

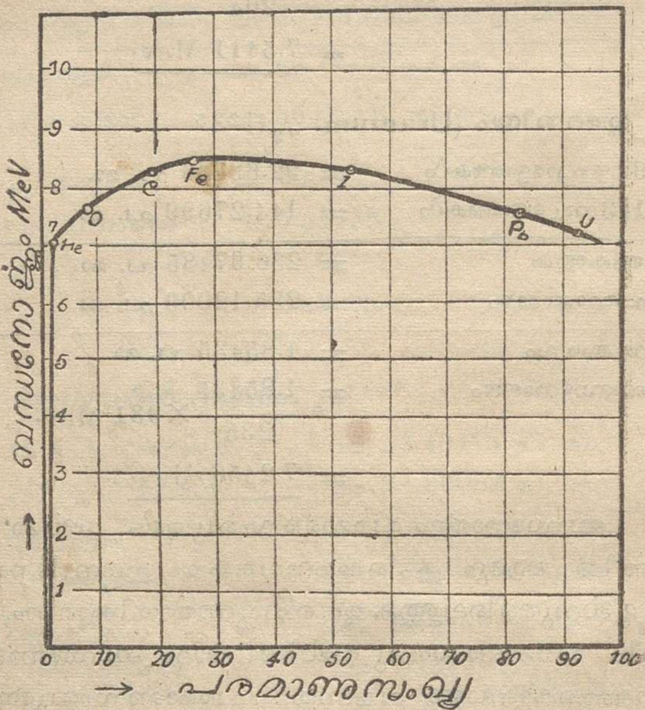
82 പ്രോട്ടോണുകൾ	= 82.62156 പ. മാ.
122 ന്യൂട്രോണുകൾ	= 123.08946 പ. മാ.
ആകത്തുക	= 205.71096 പ. മാ.
പരമാണുഭാരം	= 204.05800 പ. മാ.
വ്യത്യാസം	= 1.65296 പ. മാ.
ബന്ധനോർജ്ജം	$= \frac{1.65296}{204} \times 931$ Mev.
	= 7.5411 Mev.

6. യുറേനിയം (Uranium) $_{92}U^{235}$

92 പ്രോട്ടോണുകൾ	= 92.69736 പ. മാ.
143 ന്യൂട്രോണുകൾ	= 144.27699 പ. മാ.
ആകത്തുക	= 236.97435 പ. മാ.
പരമാണുഭാരം	= 235.12000 പ. മാ.
വ്യത്യാസം	= 1.85435 പ. മാ.
ബന്ധനോർജ്ജം	$= \frac{1.85435}{235} \times 931$ Mev.
	= 7.2456 Mev.

ബന്ധനോർജ്ജം പരമാണുസംഖ്യയുടെ വർദ്ധമാനക്രമത്തിൽ ആദ്യം കൂടിക്കൊണ്ടുവരുകയും ഇരുമ്പിനോടടുക്കുടി മൂർദ്ധന്യത്തിലെത്തുകയും ചെയ്യുന്നതായിക്കാണാം. പിന്നീട് പരമാണുസംഖ്യ വർദ്ധിക്കുന്തോറും ബന്ധനോർജ്ജം കുറഞ്ഞുകൊണ്ടാണ് വരുന്നത്. പരമാണുസംഖ്യയേയും ബന്ധനോർജ്ജത്തേയും കാണിച്ചുകൊണ്ട് ഒരു 'ലേഖ'

(Graph) 4-ാം ചിത്രത്തിൽ കൊടുത്തിട്ടുണ്ടു്. ആവർത്തന സാരണിയിലെ മദ്ധ്യത്തിൽ കിടക്കുന്ന മൂലകങ്ങൾ ആദിയിലും അവസാനത്തിലും ഉള്ള മൂലകങ്ങളേക്കാൾ സ്ഥിരത കൂടിയവയാകുന്നു എന്നാണു് ഇതിൽനിന്നും മനസ്സിലാക്കേണ്ടതു്. ഈ സവിശേഷതയാണു് പരമാണുശക്തിയുല്പാദനത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനം.



ചിത്രം 4

ബന്ധനോർജ്ജത്തിന്റെ ലേഖ.

21. സംയോജനവും ഭേദനവും
(Fusion and Fission)

ഒരു മൂലകത്തെ, അതിൻെറ ബീജകേന്ദ്രരചനയിൽ വ്യത്യാസം വരുത്തി, മററൊന്നായി മാററുവാൻ സാധിക്കുമെന്നു വിചാരിക്കുക. അങ്ങിനെയാണെങ്കിൽ സ്ഥിരത കുറഞ്ഞ ഒരു മൂലകത്തിനെ സ്ഥിരതകൂടിയ ഒരു മൂലകമായി മാററുമ്പോൾ ഊൎജ്ജോദ്ഗിരണം ഉണ്ടാകണം. ഉദാഹരണമായി മൂന്നു ഹീലിയബീജകേന്ദ്രങ്ങൾ കൂടിച്ചേൎന്നു് ഒരു കാർബൺബീജകേന്ദ്രം ഉണ്ടാകുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക. എന്നാൽ—

3 ഹീലിയബീജകേന്ദ്രം	$= 3 \times 4.0028 = 12.00840$ പ. മാ.
കാർബൺപരമാണുഭാരം	$= 12.00386$ പ. മാ.
വ്യത്യാസം	$= 0.00454$ പ. മാ.

അതായതു $0.00454 \times 931 = 4.227$ Mev ഊൎജ്ജം ഉദ്ഗിരണംചെയ്യപ്പെടുന്നു എന്നു്. ഈ വിധത്തിൽ ഉല്പാദിക്കപ്പെടുന്ന ഊൎജ്ജത്തിന്നു സംയോജനോൎജ്ജം (Fusion energy) എന്നു പറയുന്നു. സൂൎയ്യനക്ഷത്രാദികൾക്കു് അനുസ്യൂതമായി ഊൎജ്ജം പ്രദാനംചെയ്യുന്നതു് ഈ വിധത്തിലുള്ള സംയോജനങ്ങളാണു്. ഹൈഡ്രജൻബോംബിന്നും ഈ തത്വംതന്നെയാണു് ഉപയോഗിക്കുന്നതു്. പക്ഷേ ഇങ്ങിനെയുള്ള പരമാണുസംയോജനം അനേകലക്ഷം ഡിഗ്രി സെൻറിഗ്രേഡ് താപത്തിലേ നടക്കൂ. അതിനാൽ വിദ്യുച്ഛക്തിയുൽപാദനം മുതലായവയ്ക്കു് ഇതിൻെറ പ്രായോഗികത ഇപ്പോൾ വളരെ കുറവാണു്.

ഇനി ഒരു യുറേനിയബീജകേന്ദ്രം ഭേദിക്കപ്പെട്ടു ബേറിയം (Barium), ക്രിപ്ടൺ (Krypton), കുറെ ന്യൂട്രോണുകൾ എന്നിവ ഉണ്ടാകുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക.

$$_{92}U^{235} \xrightarrow{\text{ഭേദനം}} {}_{56}Ba^{138} + {}_{36}Kr^{86} + 11\, {}_{0}n^{1}$$

$_{56}Ba^{138}$	= 137.916 പ. മാ.
$_{36}Kr^{86}$	= 85.939 പ. മാ.
$11\ {}_{0}n^{1}$	= 11.0982 പ. മാ.
ആകത്തുക	= 234.9532 പ. മാ
$_{92}U^{235}$	= 235.1200 പ. മാ.
വ്യത്യാസം	= 0.1668 പ. മാ.
	= 0.1668 × 931 Mev·
	= 157.15 Mev·

യുറേനിയത്തിന്റെ ഭേദനം പലവിധത്തിൽ സംഭവിക്കാം. അവയിൽ ഒന്നുമാത്രമാണു് മുകളിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നതു്. ഭേദനമൊന്നിന്നു ശരാശരി 200 Mevയോളം ഊർജ്ജം വിസർജ്ജിക്കപ്പെടുമെന്നു കണക്കാക്കിയിട്ടുണ്ടു്. ഇതിന്നു ഭേദനോർജ്ജം (Fission energy) എന്നു പറയുന്നു. പരമാണുബോംബും (Atomic Bomb) പരമാണുറിയാക്ടറും (Atomic Reactor) ഈ തത്വത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണു് പ്രവർത്തിക്കുന്നതു്.

യുറേനിയത്തിന്റെമാത്രമല്ല തോറിയം, പ്ലൂട്ടോണിയം മുതലായ മൂലകങ്ങളുടെ ഭേദനത്തിൽനിന്നും ഊർജ്ജം ലഭിക്കുന്നതാണു്. ഏതെങ്കിലും ഒരു വസ്തുവിനെ പി

ളക്കണമെങ്കിൽ തക്കതായ ഒരു ആയുധം ആവശ്യമാണ ല്ലോ. ബീജകേന്ദ്രത്തിൻെറ ഭേദനത്തിന്നുതകുന്ന ആയു ധം എന്തായിരിക്കും? പരമാണുശാസ്ത്രഗവേഷണത്തിൽ ബീജകേന്ദ്രാക്രമണത്തിന്നായി പല ആയുധങ്ങളും സം വിധാനംചെയ്തിട്ടുണ്ട്. അതിവേഗത്തിൽ ചലിച്ചുകൊ ണ്ടിരിക്കുന്ന പ്രോട്ടോണുകൾ, ഇലക്ട്രോണുകൾ, ന്യൂട്രോ ണുകൾ, ആൽഫാകണങ്ങൾ മുതലായവയാണിവ. ഇവ യും ബീജകേന്ദ്രങ്ങളും തമ്മിലുള്ള പ്രതിപ്രവത്തനങ്ങളു ടെ ഒരു സാമാന്യപഠനം നടത്തുന്നതു് ഈ അവസര ത്തിൽ ഉചിതമായിരിക്കും.

22. ബീജകേന്ദ്രവും ചലിക്കുന്ന കണികകളും
(Nucleus and Moving Particles)

ബീജകേന്ദ്രാക്രമണത്തിന്നായി ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ ഉ പയോഗിക്കുന്ന ആയുധങ്ങളെ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന നാലു സംഘങ്ങളായി വേർതിരിക്കാം:

(i) ധനവൈദ്യുതാവിഷ്ടകണങ്ങൾ (Positively Charged Particles), പ്രോട്ടോൺ, ഡോയ്ട്രോൺ (Deutron), ആൽഫാകണം എന്നിവ.

(ii) ഋണവൈദ്യുതാവിഷ്ടകണം: ഇലക്ട്രോൺ.

(iii) ഗാമാരശ്മികൾ.

(iv) വൈദ്യുതാവേശരഹിതകണം: ന്യൂട്രോൺ.

1. ധനവൈദ്യുതാവിഷ്ടകണങ്ങൾ:

ധനവൈദ്യുതാവിഷ്ടകണങ്ങൾ ബീജകേന്ദ്രവുമായി ഏററുമുട്ടുമ്പോൾ സംഭവിക്കാവുന്ന പ്രതിവത്തനങ്ങൾ

അനേകമാണ്. എല്ലാം വിവരിക്കണമെങ്കിൽ അതിനു തന്നെ ഒരു പ്രത്യേകപുസ്തകം വേണ്ടിവരും. ഏതാനും ചില ഉദാഹരണങ്ങൾമാത്രം താഴെ കൊടുക്കാം:

വെറും 0.80 Mev മാത്രം ചലനോജ്ജത്തോടുകൂടി സഞ്ചരിക്കുന്ന ഒരു പ്രോട്ടോൺ ലിഥിയബീജകേന്ദ്രവുമായി ഏററുമുട്ടുമ്പോൾ രണ്ടു ഹീലിയബീജകേന്ദ്രങ്ങളും കുറെ ഊർജ്ജവുമുണ്ടാകുന്നു. ഇതിനെ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന സമീകരണത്താൽ സൂചിപ്പിക്കാം:

$${}_1H^1 + {}_3Li^7 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + 17.3 \text{ Mev}$$ ഊർജ്ജം....22·1.

ഒരു ആൽഫാകണം അലൂമിനിയബീജകേന്ദ്രവുമായി ഏററുമുട്ടുമ്പോൾ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രതിപ്രവത്തനം നടക്കുന്നു:

$${}_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \longrightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1 +$$ ഊർജ്ജം....22·2.

ഒരു ഘനഹൈഡ്രജബീജകേന്ദ്രം (Deutron) ലിഥിയവുമായി ഏററുമുട്ടുമ്പോൾ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രതിപ്രവത്തനങ്ങളിൽ ഒന്നു സംഭവിക്കാം:

$${}_3Li^7 + {}_1D^2 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + {}_0n^1 +$$ ഊർജ്ജം ...22·3.

അല്ലെങ്കിൽ

$${}_3Li^7 + {}_1D^2 \longrightarrow {}_3Li^8 + {}_1H^1 +$$ ഊർജ്ജം....22·4.

${}_3Li^8$ തജ്ജോദ്ഗാരിയാണ്. ഒരു ബീററാകണത്തെ പുറത്തു വിട്ടു് അതു ബെറീലിയമായിത്തീരുന്നു:

$${}_3Li^8 \longrightarrow {}_4Be^8 + {}_{-1}e^0$$ ....22 5.

2. ബീററാകണങ്ങൾ:

ബീററാകണത്താൽ—ഇലക്ട്രോണിനാൽ—ആക്രമിക്കപ്പെട്ട ബെറീലിയം താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രതിപ്രവർത്തനത്തിൽ ഏർപ്പെടുന്നു:

$$_{4}Be^{9} + _{-1}e^{0} \longrightarrow _{3}Li^{8} + _{0}n^{1} \quad ....22{\cdot}6.$$
$$_{3}Li^{8} \longrightarrow _{4}Be^{8} + _{-1}e^{0} \quad ....22{\cdot}7.$$

അതായത്തു ബീററാകണത്തിൻെറ ഊർജ്ജം കുറഞ്ഞെന്നുമാത്രം. ബെറീലിയബീജകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നു് ഒരു ന്യൂട്രോൺ നഷ്ടപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. മററു ചില സന്ദർഭങ്ങളിൽ ബീററാകണത്തിൻെറ പ്രവേഗം കുറയുമ്പോൾ നഷ്ടപ്പെട്ട ചലനോർജ്ജം ഗാമാരശ്മിയായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടും. ഇതിന്നു 'മന്ദീകരണപ്രസരം' (Slowing down radiation) എന്നു പറയുന്നു. ഇലക്ട്രോണുകൾ—ബീററാകണങ്ങൾ—ലോഹത്തകിടുകളിന്മേൽ തട്ടുമ്പോൾ x-രശ്മികൾ ഉണ്ടാകുന്നതായി മുമ്പുതന്നെ കണ്ടിട്ടുള്ളതാണല്ലോ.

3. ഗാമാരശ്മികൾ:

ഗാമാരശ്മികൾ പരമാണുക്കളുമായി ഏററുമുട്ടുമ്പോൾ മൂന്നുവിധത്തിലുള്ള പ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നു.

a) ഭാവൈദ്യുതി (Photoelectricity)

ബീജകേന്ദ്രത്തിൻെറ ബഹിർഭാഗത്തുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളെ തെറിപ്പിച്ച് പരമാണുക്കളെ ധനവൈദ്യുതാ

വിഷ്ടങ്ങളാക്കിത്തീൎക്കുന്നു. ഇങ്ങിനെയുണ്ടാകുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനത്തിന്നു ഭാവൈദ്യുതി എന്നു പറയും.

b) കോംപ്ടൺ പരിണാമം (Compton Effect)

ബീജകേന്ദ്രത്തെ ആവരണം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ പലപ്പോഴും തങ്ങളോടടുക്കുന്ന ഗാമാരശ്മികളെ തെറിപ്പിക്കുന്നു. ഇങ്ങിനെയുള്ള ഗാമാരശ്മികളുടെ വികീൎണ്ണനത്തിന്നു (Scattering) കോംപ്ടൺ പരിണാമം എന്നാണു് പേർ.

c) യുഗ്മോല്പാദനം (Pair Production)

ഇതു വളരെ രസകരമായ ഒരു പരിണാമമാകുന്നു. ദ്രവ്യത്തെ എങ്ങിനെ ഊൎജ്ജമാക്കാമെന്നാണല്ലോ നാം ഇതേവരെയായി അന്വേഷിച്ചിരുന്നതു്. എന്നാൽ ഈ പരിണാമത്തിൽ ഊൎജ്ജം ദ്രവ്യമായി മാറുകയാണു്. ഗാമാരശ്മി അപ്രത്യക്ഷമായി തൽസ്ഥാനത്തു് ഒരു ഇലക്ട്രോണും ഒരു പോസിട്രോണും (Positron) ഉണ്ടാകുന്നു. പോസിട്രോൺ എന്ന പുതിയ കണം ഇലക്ട്രോണിന്നു തുല്യഭാരമുള്ളതും ഏകധനവൈദ്യുതാവേശത്തോടു കൂടിയതും ആണു്. ഈ പ്രതിപ്രവൎത്തനത്തിന്നു യുഗ്മോല്പാദനം (Pair Production) എന്നു പറയുന്നു.

4. ന്യൂട്രോണുകൾ (Neutrons)

ന്യൂട്രോണുകളും ബീജകേന്ദ്രങ്ങളും തമ്മിലുള്ള പ്രതിപ്രവൎത്തനങ്ങൾ കൂടുതൽ സൂക്ഷ്മതയോടെ പഠിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. സാമാന്യേന ഇവയെ മൂന്നായി തരം തിരിക്കാം.

a) വികീൎണ്ണനം:

വേഗത്തിൽ ചലിക്കുന്ന ഒരു ന്യൂട്രോൺ ഒരു ബീജകേന്ദ്രവുമായി ഏറ്റുമുട്ടുമ്പോൾ തൻെറ ചലനോൎജ്ജത്തെ ഭാഗികമായി ബീജകേന്ദ്രത്തിന്നു നല്കുകമാത്രമാണു് ചെയ്യുന്നതെങ്കിൽ അത്തരത്തിലുള്ള പ്രതിപ്രവൎത്തനത്തിന്നു വികീൎണ്ണനം (Scattering) എന്നു പറയുന്നു. ഇപ്രകാരം നല്കപ്പെട്ട ഊൎജ്ജം മുഴുവൻ പരമാണുവിൻെറ ചലനോൎജ്ജമായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയാണെങ്കിൽ അതിന്നു സ്ഥിതിസ്ഥാപകവികീൎണ്ണനം (Elastic Scattering) എന്നാണു് പറയുന്നതു്. എന്നാൽ ഊൎജ്ജത്തിൻെറ ഒരു ഭാഗം ബീജകേന്ദ്രത്തെ ക്ഷുബ്ധമാക്കുവാൻ ഉപയോഗിക്കപ്പെടുകയാണെങ്കിൽ അതു 'സ്ഥിതിസ്ഥാപകമല്ലാത്ത വികീൎണ്ണനം' (Inelastic Scattering) ആകുന്നു.

b) തേജോദ്ഗാരിഗ്രസനം (Radioactive Capture)

പലപ്പോഴും ന്യൂട്രോണിനാൽ ആക്രമിക്കപ്പെട്ട ഒരു ബീജകേന്ദ്രം അതിനെ ഗ്രസിച്ചു് ഒരു പുതിയ സ്ഥാനീയമായി മാറുന്നതാണു്. മിക്കപ്പോഴും ഇങ്ങിനെയുണ്ടാകുന്ന സ്ഥാനീയങ്ങൾ തേജോദ്ഗാരികളായിരിക്കും. അതിനാൽ ഈ വിധത്തിലുള്ള പ്രതിപ്രവൎത്തനത്തിന്നു തേജോദ്ഗാരിഗ്രസനം എന്നു പറയുന്നു.

c) ഭേദനഗ്രസനം (Fission Capture)

പുരുക്കം ചില മൂലകങ്ങൾക്കു ചില സന്ദൎഭങ്ങളിൽ ന്യൂട്രോണിനെ ഉൾക്കൊള്ളുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുടെ ക്ഷുബ്ധത അവയെ പിളൎത്തുക ശക്തിയു

ള്ളതായിരിക്കും. അപ്പോൾ വളരെയധികം ഊൎജ്ജോദ്ഗിരണത്തോടുകൂടി പരമാണു ഭേദിക്കപ്പെടുന്നു. ഇപ്രകാരമുള്ള ന്യൂട്രോൺഗ്രസനത്തിന്നു ഭേദനഗ്രസനമെന്നു പറയുന്നു. മേൽപ്പറഞ്ഞ മൂന്നു പ്രതിപ്രവൎത്തനങ്ങളുടേയും ഉദാഹരണങ്ങൾ താഴെ കൊടുക്കുന്നു.

a) ${}_0n^1 + {}_{92}U^{235} \longrightarrow {}_{92}U^{235} + {}_0n^1$ (വേഗത കുറഞ്ഞ ന്യൂട്രോൺ) ....22·8.

b) ${}_0n^1 + {}_{92}U^{235} \longrightarrow {}_{92}U^{236}$ ....22·9.

c) ${}_0n^1 + {}_{92}U^{235} \longrightarrow {}_{56}Ba^{138} + {}_{36}Kr^{86} + 12\,{}_0n^1 +$ ഊൎജ്ജം....22·10.

ബീജകേന്ദ്രത്തിനകത്തും പുറത്തുമുള്ള 'വൈദ്യുതിക്ഷേത്ര'ങ്ങളെ (Electric field) ഭേദിച്ച് അകത്തു പ്രവേശിക്കുവാൻ വൈദ്യുതാവിഷ്ടകണങ്ങൾക്കു വിഷമസാദ്ധ്യം മാത്രമാണു്. നേരെമറിച്ചു വൈദ്യുതാവേശമില്ലാത്ത ന്യൂട്രോണിനാകട്ടെ വൈദ്യുതിക്ഷേത്രങ്ങളാൽ വികൎഷിക്കപ്പെടാത്തതിനാൽ എളുപ്പത്തിൽ ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ പ്രവേശിക്കുവാൻ സാധിക്കും. അതിനാൽ പരമാണുഭേദനത്തിന്നു് ഏററവും ഉപയുക്തമായ ആയുധമായി ന്യൂട്രോണിനെയാണു് സ്വീകരിച്ചിട്ടുള്ളതു്.

23. പരിക്ഷേത്രം.

(Cross Section)

പരമാണുശക്തിയുല്പാദനത്തിന്നു് ഏതാനും മാൎഗ്ഗങ്ങൾ നാം മുൻഖണ്ഡത്തിൽ കാണുകയുണ്ടായി. ബീജ

കേന്ദ്രമാകുന്ന ലക്ഷ്യവും പ്രോട്ടോൺ, ന്യൂട്രോൺ മുതലായ അസ്ത്രങ്ങളും നമുക്കു ലഭിച്ചു. പക്ഷേ ലക്ഷ്യം പിഴയ്ക്കാതെ ഈ അസ്ത്രങ്ങളെ എയ്യുക അത്ര എളുപ്പമുള്ള കാര്യമൊന്നുമല്ല. പരമാണുവിന്നു് ഒരു ബീജകേന്ദ്രവും ചുററും വിവിധകംബുകങ്ങളിലായി കറങ്ങുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളും ആണല്ലോ ഉള്ളതു്. ഈ ഇലക്ട്രോണുകൾ ബീജകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നും താരതമ്യേന വളരെ അധികം ദൂരത്തായാണു് സഞ്ചരിക്കുന്നതെന്നും മുമ്പു പറഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. ഒരു ലക്ഷ്യത്തിന്നു നേരെ അസ്ത്രമയയ്ക്കുമ്പോൾ ലക്ഷ്യം എത്രകണ്ടു വലുതാണോ അത്രകണ്ടു് എളുപ്പമായിരിക്കും അസ്ത്രം അതിന്മേൽ ഏല്ക്കുവാൻ. അതുപോലെ ഒരു ലക്ഷ്യത്തിന്നുപകരം അനേകം ലക്ഷ്യങ്ങൾ അടുത്തടുത്തായി സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുവെങ്കിൽ ഒരു അസ്ത്രം അവയിലേതിന്മേലെങ്കിലും ഒന്നിന്മേൽ കൊള്ളിക്കുവാൻ കൂടുതൽ എളുപ്പമാണു". ഒററയ്ക്കു തൂങ്ങിനില്ക്കുന്ന ഒരു മാങ്ങയെറിഞ്ഞു വീഴ്ത്തുന്നതിനേക്കാൾ എളുപ്പമല്ലേ ഒരു വലിയ കുലയിൽനിന്നും ഒന്നു വീഴ്ത്തുവാൻ. മാത്രമല്ല, ഒരു അസ്ത്രത്തിന്നു പകരം അനേകം അസ്ത്രങ്ങൾ എയ്യുകയാണെങ്കിൽ അവയിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നു ലക്ഷ്യത്തിന്മേൽ ഏല്ക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യതയും കൂടുന്നു. അങ്ങിനെ ലക്ഷ്യങ്ങളുടേയും അസ്ത്രങ്ങളുടേയും സംഖ്യ വദ്ധിക്കുംതോറും അവ തമ്മിൽ ഏററുമുട്ടുവാനുള്ള സംഭാവ്യതയും വദ്ധിക്കുന്നതായി പറയാം. ഒരു അസ്ത്രം ഒരു ലക്ഷ്യത്തിന്മേൽ ഏല്ക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യത 'p' ആണെങ്കിൽ 100 ലക്ഷ്യങ്ങളിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നിൽ ഏല്ക്കാനുള്ള സംഭാവ്യത

100p യും 100 അസ്ത്രങ്ങളിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നു് 100 ലക്ഷ്യങ്ങളിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നിന്മേൽ ഏല്ക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യത 100×100p യും ആകുന്നു. ബീജകേന്ദ്രങ്ങളും ന്യൂട്രോണുകളും തമ്മിലുള്ള പ്രതിപ്രവൎത്തനത്തിൽ ബീജകേന്ദ്രത്തെ ലക്ഷ്യമായും ന്യൂട്രോണിനെ അസ്ത്രമായും കണക്കാക്കാം. പക്ഷേ, ഒരു കാൎയ്യം ശ്രദ്ധിക്കേണ്ടതുണ്ടു്. അസ്ത്രം എയ്യുന്ന ആളുടെ സാമൎത്ഥ്യത്തിന്നു് ഇവിടെ സ്ഥാനമില്ല. ലക്ഷ്യത്തിന്റെ ഘടനയും അസ്ത്രത്തിന്റെ വേഗതയും ആണു് പ്രതിപ്രവൎത്തനങ്ങളുടെ സംഖ്യ നിൎണ്ണയിക്കുന്നതു്. പരമാണുശാസ്ത്രത്തിൽ അസ്ത്ര-ലക്ഷ്യസംഘട്ടനങ്ങളുടെ സംഭാവ്യതയുടെ ഒരു അളവായി 'പരിക്ഷേത്രം' (Cross—Section) എന്ന രാശി ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്നു.

ലക്ഷ്യത്തിന്റെ വലുപ്പം കൂടുന്തോറും അസ്ത്രം അതിന്മേൽ ഏല്ക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യതയും കൂടുമല്ലോ. 'n' ച. സെ. മീ. ക്ഷേത്രഫലമുള്ള ഒരു ലക്ഷ്യത്തിന്മേൽ അസ്ത്രമേല്ക്കാനുള്ള സംഭാവ്യത 'p' ആണെങ്കിൽ 10^n ക്ഷേത്രഫലമുള്ള ഒരു ലക്ഷ്യത്തിന്മേൽ അസ്ത്രമേല്ക്കാനുള്ള സംഭാവ്യത 10^p ആയിരിക്കും. ഒരു ച. സെ. മീ. സ്ഥലത്തിന്നുള്ളിൽ 'N' ബീജകേന്ദ്രങ്ങൾ ഉണ്ടെന്നു വിചാരിക്കുക. ന്യൂട്രോണാകുന്ന അസ്ത്രത്തെ ഈ ഒരു ച. സെ. മീ. ക്ഷേത്രത്തിന്നുള്ളിൽ നിശ്ചയമായും എയ്യുവാൻ സാധിക്കുമെന്നും കരുതുക. അതായതു ലക്ഷ്യത്തിന്റെ വലുപ്പം 1 ച. സെ. മീ. ആണെങ്കിൽ അതിന്മേൽ അസ്ത്രമേല്ക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യത 1.00 ആകുന്നു എന്നു്. ഈ ക്ഷേത്രത്തിന്നു

ളളിൽ നിറച്ചും ലക്ഷ്യങ്ങൾ— ബീജകേന്ദ്രങ്ങൾ — ആയിരുന്നെങ്കിൽ, അതായത് ഇടയ്ക്കു പഴുതുകളൊന്നും ഉണ്ടായിരുന്നില്ലെങ്കിൽ, അവയിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നിന്മേൽ ഏല്ക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യത 1.00 ആകും. പക്ഷേ, സംഗതികളുടെ കിടപ്പ് അങ്ങിനെയല്ല. ബീജകേന്ദ്രങ്ങൾ താരതമ്യേന വളരെ വളരെ ദൂരെയാണ് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു്. ഇടയ്ക്കുള്ള പഴുതുകൾ ലക്ഷ്യങ്ങളേക്കാൾ എത്രയോ കൂടുതൽ വലുപ്പമുള്ളവയാണ്. ന്യൂട്രോണുകൾ ബീജകേന്ദ്രങ്ങളിന്മേൽ ഏല്ക്കാതെ ഇടയ്ക്കുള്ള പഴുതുകളിൽക്കൂടെ പോകുവാനാണ് കൂടുതൽ സംഭാവ്യത.

'N' ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുടെ ഒരു സംഘത്തിലേയ്ക്കു 'I' ന്യൂട്രോണുകളെ എയ്തു എന്നു വിചാരിക്കുക. ആകെയുള്ള പ്രതിപ്രവത്തനങ്ങളുടെ സംഖ്യ (എല്ലാ തരത്തിലുള്ളതും) 'C' ആണെങ്കിൽ ഒരു ന്യൂട്രോണും ഒരു ബീജകേന്ദ്രവും തമ്മിൽ പ്രതിപ്രവത്തിക്കാനുള്ള സംഭാവ്യത 'C/NI' ആകുന്നു. ഈ സംഭാവ്യത 'പരിഃക്ഷേത്രം' (Cross Section) എന്ന രാശിയാൽ കുറിക്കപ്പെടുന്നു. സാധാരണ 'σ'—സിഗ്മാ— എന്ന ഗ്രീക്ക് അക്ഷരമാണ് ഇതിന്റെ സംജ്ഞയായി ഉപയോഗിക്കുന്നതു്. പരിക്ഷേത്രത്തിന്റെ സാധാരണമാത്ര 'ബാൺ' (Barn) ആകുന്നു. ഒരു ബാൺ എന്നു പറയുന്നതു് $\frac{1}{10^{24}}$ (സെ. മീ) ^{2} ആണ്. ന്യൂട്രോൺ–ബീജകേന്ദ്രസംഘട്ടനങ്ങളുടെ സംഭാവ്യത അത്രയും കുറവായതിനാലാണ് ഇത്ര ചെറിയ മാത്ര ഉപയോഗിക്കേണ്ടിവരുന്നതു്. സംഘട്ടനങ്ങൾ നടക്കുമ്പോൾ മൂന്നു വിധത്തി

ലുള്ള പ്രതിപ്രവൎത്തനങ്ങൾ ഉണ്ടാകാമെന്നു പറഞ്ഞതല്ലോ. ഓരോന്നും നടക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യത വ്യത്യസ്തമാണു്. വികീൎണ്ണനമുണ്ടാകുവാനുള്ള സംഭാവ്യതയ്ക്കു 'വികീൎണ്ണന പരിക്ഷേത്രം' (scattering cross-section) എന്നു പറയുന്നു. σ_s എന്നതാണു് ഇതിൻെറ ചിഹ്നം. ഒരു പുതിയ സ്ഥാനീയമുണ്ടാക്കത്തക്കവിധത്തിൽ ബീജകേന്ദ്രത്താൽ ഗ്രസിക്കപ്പെടുവാനുള്ള സംഭാവ്യതയെ 'ഗ്രസനപരിക്ഷേത്രം' (capture cross-section) എന്നു പറയുന്നു. σ_c എന്നതാണു് ഇതിൻെറ സംജ്ഞ. ബീജകേന്ദ്രം ഭേദിക്കപ്പെടാനുള്ള സംഭാവ്യത 'ഭേദനപരിക്ഷേത്രം' σ_f (fission cross-section) എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. 'ഭേദനപരിക്ഷേത്ര'ത്തിനും 'ഗ്രസനപരിക്ഷേത്ര'ത്തിനുംകൂടി 'ആഗിരണപരിക്ഷേത്രം' (absorption cross-section) എന്നും, മൂന്നിനുംകൂടി 'പൂൎണ്ണപരിക്ഷേത്രം' (total cross-section) എന്നും പറയുന്നു.

ഒരു ന്യൂട്രോണും ഒരു ബീജകേന്ദ്രവും തമ്മിൽ പ്രതിപ്രവൎത്തിക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യതയ്ക്കാണല്ലോ പരിക്ഷേത്രം എന്നു പറഞ്ഞതു്. കുറച്ചുകൂടി നിഷ്കൃഷ്ടമായി പറകയാണെങ്കിൽ ഇതിന്നു 'സൂക്ഷ്മപരിക്ഷേത്രം' (microscopic cross-section) എന്നു പറയാം. ഒരു ഘനസെൻറിമീററിൽ 'N' ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുണ്ടെന്നു വിചാരിക്കുക. അവയിൽ ഏതെങ്കിലും ഒന്നായിട്ടുമാത്രമേ പ്രതിപ്രവൎത്തനം നടക്കേണ്ടുവെങ്കിൽ 'പരിക്ഷേത്രം' N മടങ്ങു് ആയിത്തീരും. അപ്പോൾ അതിനെ 'സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രം' (macroscopic cross section) എന്നു വിളിക്കുന്നു. പല

മൂലകങ്ങളുടേയുംകൂടിയുള്ള ഒരു മിശ്രിതമാണെങ്കിൽ അതിൻെറ 'സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രം'മാത്രമേ കണക്കാക്കുവാൻ സാധിക്കയുള്ളൂ. എല്ലാ മൂലകങ്ങളുടേയും സൂക്ഷ്മപരിക്ഷേത്രങ്ങൾ ഒന്നും രണ്ടും അനുബന്ധങ്ങളിലായി കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. രാസഗുണങ്ങൾ ഒന്നുതന്നെയാണെങ്കിലും ഒരു മൂലകത്തിൻെറ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ പരിക്ഷേത്രങ്ങൾ വ്യത്യസ്തങ്ങളായിരിക്കും. പരിക്ഷേത്രം ബീജകേന്ദ്രത്തിൻെറ ഘടനയേയാണു് ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതു്.

പരിക്ഷേത്രങ്ങൾ ന്യൂട്രോണുകളുടെ വേഗതയനുസരിച്ചും കുറെയൊക്കെ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നതാണു്. സെക്കണ്ടിൽ 2200 മീററർ വേഗതയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന ന്യൂട്രോണുകളുടെ പരിക്ഷേത്രങ്ങളാണു് കൊടുത്തിട്ടുള്ളതു്*. സൂ

* ഇതിനെ 20°c ചൂടുള്ള 'താപീയന്യൂട്രോൺ' thermal neutron) എന്നു പറയുന്നു. കാരണം ഇതാണു്. ഒരു വസ്തുവിൻെറ താപം എന്നു പറയുന്നതു് അതിൻെറ അണുക്കളുടെ 'കമ്പനോർജ്ജ'(vibrational energy)ത്തിൻെറ ഒരു അളവായിക്കണക്കാക്കാം. ഒരു ന്യൂട്രോണിൻെറ ചലനോർജ്ജം ചുററുമുള്ള അണുക്കളുടെ കമ്പനോർജ്ജത്തിന്നു സമമാണെങ്കിൽ അതിൻെറ ഊർജ്ജം വികീർണ്ണനംമൂഖേന നഷ്ടപ്പെടുവാൻ നിവൃത്തിയില്ല. ന്യൂട്രോണിൻെറ ഊർജ്ജവും അണുക്കളുടെ കമ്പനോർജ്ജവും ഒരു സംതുലിതസ്ഥിതിയിൽ വർത്തിക്കുന്നു. അങ്ങിനെയുള്ള ന്യൂട്രോണിനെയാണു് 'താപീയന്യൂട്രോൺ' (thermal neutron) എന്നു വിളിക്കുന്നതു്. വസ്തുവിൻെറ താപം വദ്ധിക്കുന്നതോടൊപ്പം ന്യൂട്രോണിൻെറ ഊർജ്ജവും വദ്ധിക്കും. 2200 മീ./സെക്കം. വേഗതയുള്ള ന്യൂട്രോണിൻെറ ചലനോർജ്ജം 20°c താപമുള്ള ഒരു വസ്തുവിൻെറ അണുക്കളുടെ കമ്പനോർജ്ജത്തിന്നു തുല്യമാണു്. ഭേദനത്തിൽനിന്നും ജനിക്കുന്ന ന്യൂട്രോണുകളുടെ വേഗത ഇതിനേക്കാൾ എത്രയോ ആയിരം മടങ്ങു കൂടുതലായിരിക്കും.

ക്ഷ്മപരിക്ഷേത്രങ്ങളിൽനിന്നും സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രങ്ങളെ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതെങ്ങിനെ എന്നു കാണിക്കുവാൻ ഒരു ഉദാഹരണം താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു. യുറേനിയം — $_{92}U^{235}$ — എടുക്കുക. ഒരു ഘ. സെ. മീററർ പരിമാണത്തിൽ എത്ര പരമാണുക്കളുണ്ടെന്നു കണക്കാക്കാം. 235.1200 ഗ്രാം (ഒരു ഗ്രാം പരമാണു) യുറേനിയത്തിൽ 6.023×10^{23} (അവഗാഡ്രോസംഖ്യ) പരമാണുക്കളുണ്ടെന്നു നമുക്കറിയാം (13-ാംഖണ്ഡം നോക്കുക). യുറേനിയത്തിൻെറ സാന്ദ്രത 19ഗ്രാം/ഘ.സെ.മീ. ആകുന്നു. അതിനാൽ ഒരു ഘ.സെ. മീററിൽ ഉള്ള യുറേനിയപരമാണുക്കൾ:

$$N = \frac{19 \times 6.023 \times 10^{23}}{235.1200}$$

$$= \underline{4.85 \times 10^{22}} / (\text{സെ. മീ.})^3$$

രണ്ടാം അനുബന്ധത്തിൽനിന്നും യുറേനിയത്തിൻെറ ഭേദനപരിക്ഷേത്രം, 'σ_f', 550 ബാൺ ആണെന്നു കാണാം. ഇതു സൂക്ഷ്മപരിക്ഷേത്രമാണു്. ആയതിനാൽ സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രം കിട്ടുവാൻ ഒരു ഘ.സെ. മീററിലുള്ള പരമാണുക്കളുടെ സംഖ്യകൊണ്ടു പെരുക്കണം. അതായതു യുറേനിയം-235ൻെറ ഭേദനത്തിനുള്ള സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രം (macroscopic fission cross-section).

$$= 550 \times \frac{1}{10^{24}} (\text{സെ. മീ.})^2 \times \frac{4.85 \times 10^{22}}{(\text{സെ. മീ.})^3}$$

$$= 26.7/\text{സെ. മീ.}$$

ഇതിനെ Σ_f എന്ന സംജ്ഞകൊണ്ടു സൂചിപ്പിക്കുന്നു. (Σ എന്നതു് 'σ'-സിഗ്മായുടെ വലിയക്ഷരം മാത്രമാണു്). പരിക്ഷേത്രങ്ങൾ സാധാരണയായി പരീക്ഷണങ്ങൾമുഖേനയാണു് നിർണ്ണയിക്കപ്പെടുക പതിവു്. ഇതിനെപ്പററി തല്ക്കാലം ഇത്രമാത്രം മതി.

24. ന്യൂട്രോണുകളും റിയാക്ടറുകളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന പദാർത്ഥങ്ങളും

(Neutrons and Materials of Reactor Construction)

പരമാണുശക്തിയുല്പാദനത്തിൻെറ പഠനത്തിന്നു്, ന്യൂട്രോണുകൾ യുറേനിയം, തോറിയം, പ്ലൂട്ടോണിയം, ബെറീലിയം, ഘനജലം, അലൂമിനിയം, കാഡ്മിയം, ബോറൺ മുതലായ പദാർത്ഥങ്ങളുമായി എങ്ങിനെ പ്രതിപ്രവർത്തിക്കുമെന്നു് അറിഞ്ഞിരിക്കേണ്ടതാവശ്യമാണു്. ഈ ഖണ്ഡത്തിൽ ഇവയെ ചുരുക്കി വിവരിക്കാം.

പരമാണുക്കളുടെ സംയോജനംമുഖേനയുള്ള നിയന്ത്രിതമായ ഊർജ്ജോല്പാദനം തല്ക്കാലം പ്രായോഗികമല്ലെന്നു നമ്മൾ പഠിച്ചുവല്ലോ. അതിനാൽ ഭേദനത്തെത്തന്നെ ആശ്രയിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഏതാനും ചില മൂലകങ്ങളെ മാത്രമേ നമുക്കു പ്രയാസമെന്യേ ഭേദിക്കുവാൻ സാധിക്കുകയുള്ളൂ എന്നു പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും തെളിഞ്ഞിരിക്കുന്നു. യുറേനിയത്തിൻെറ U^{233}, U^{235} എന്നീ സ്ഥാനീയങ്ങളും പ്ലൂട്ടോണിയത്തിൻെറ Pu^{239}, Pu^{241} എന്നീ സ്ഥാനീയങ്ങളും താപീയന്യൂട്രോണുകളാൽ പ്രയാസംകൂ

ടാതെ ഭേദിക്കപ്പെടും. അതിവേഗത്തിൽ ചലിക്കുന്ന ന്യൂട്രോണിന്നു് (ശീഘ്രന്യൂട്രോൺ-fast neutron) അതിന്റെ ചലനോർജ്ജം 1 Mev യിൽ കൂടുതലാണെങ്കിൽ, U^{238} നെയും $_{90}Th^{232}$നെയും ഭേദിക്കുവാൻ സാധിക്കും. പക്ഷേ സംഭാവ്യത, അതായതു പരിക്ഷേത്രം, വളരെ കുറവാണെന്നുമാത്രം. മററുള്ള പദാർത്ഥങ്ങളുമായി ന്യൂട്രോൺ മുഖ്യമായി വികീർണ്ണനം, ഗ്രസനം എന്നീ പ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങളിൽമാത്രമേ ഏർപ്പെടുകയുള്ളു.

പ്രകൃത്യാ ലഭിക്കുന്ന യുറേനിയം (natural uranium) U^{238}, U^{235} എന്നീ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ 99.3 : 0.7 എന്ന തോതിലുള്ള ഒരു മിശ്രിതമാണു്. അതായതു് എളുപ്പത്തിൽ ഭേദിക്കപ്പെടാവുന്ന U^{235} തുലോം കുറവാകുന്നുവെന്നു്. യുറേനിയത്തിന്റെ കാര്യത്തിൽ വികീർണ്ണനപ്രതിപ്രവർത്തനം അപ്രധാനമാണു്. U^{235} ബീജകേന്ദ്രം ഒരു താപീയന്യൂട്രോണിനെ ഗ്രസിച്ചാൽ ഒന്നുകിൽ ഒരു പുതിയ സ്ഥാനീയം ഉണ്ടാകാം:

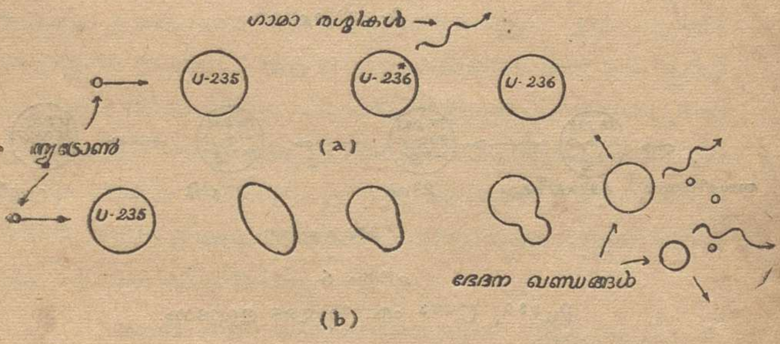
$$_{92}U^{235} + {_0n^1} \longrightarrow {_{92}U^{236}} \qquad \ldots\ldots 24.1$$

അല്ലെങ്കിൽ ഭേദനത്തിൽ കലാശിക്കാം:

$$_{92}U^{235} + {_0n^1} \longrightarrow \text{ഭേദനോല്പന്നങ്ങൾ} + \text{ഊർജ്ജം} + \text{ന്യൂട്രോണുകൾ}. \qquad \ldots\ldots 24.2$$

U^{235}ന്റെ ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ 92 പ്രോട്ടോണുകളും 143 ന്യൂട്രോണുകളുമുണ്ടു്. പലവിധത്തിലുള്ള ശക്തികൾക്കധീനമായി ക്ഷുബ്ധമെങ്കിലും സന്ദിഗ്ദ്ധമായ സ്ഥിരതയോടെ വർത്തിക്കുന്ന ഒരു സമൂഹമാണിതു്. ന്യൂട്രോൺ

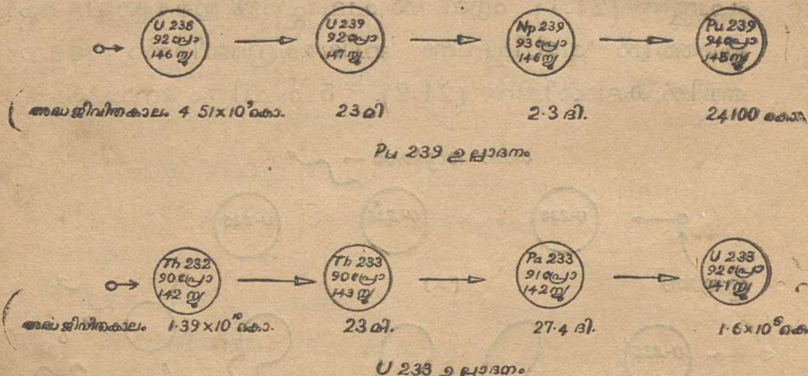
അതിന്നുള്ളിൽ പ്രവേശിക്കുമ്പോൾ ഒരുതരത്തിലുള്ള കോളിളക്കം ഉണ്ടാകുന്നുവെന്നു പറയാം. ചിലപ്പോൾ ഈ കോളിളക്കം വേഗത്തിൽ ക്ഷയിക്കുകയും അപ്പോൾ യുറേനിയത്തിന്റെ ഒരു പുതിയ സ്ഥാനീയം ഉണ്ടാകുകയും ചെയ്യുന്നു (24.1). എന്നാൽ പലപ്പോഴും ഈ കോളിളക്കം ക്രമത്തിൽ വൎദ്ധിച്ചുവന്നു ബീജകേന്ദ്രത്തിന്റെ ഭേദനത്തിൽ കലാശിക്കുന്നു (24.2). 5-ാം ചിത്രം നോക്കുക:



ചിത്രം 5
യുറേനിയംപരമാണുവിന്റെ ഭേദനം.

U^{238} ന്യൂട്രോണിനെ ഉൾക്കൊള്ളുമ്പോൾ ആദ്യം U^{239} എന്ന സ്ഥാനീയം ഉണ്ടാകുന്നു. പക്ഷേ ഇതു വളരെ അസ്ഥിരമാണു്. ഉടൻതന്നെ അതു് ഒരു ബീററാകണത്തെ ഉദ്ഗിരണംചെയ്തു 'നെപ്ട്യൂന്നിയം' (Neptunium) എന്ന ഒരു പുതിയ മൂലകമായി മാറുന്നു. പക്ഷേ ഇതും അസ്ഥിരമായ ഒരു തേജോദ്ഗാരിമൂലകമാണു്. ഒരു ബീററാകണത്തെക്കൂടിപ്പുറത്തു വിട്ടു പ്ളൂട്ടോണിയം(Plutouium) എന്ന മൂലകമായി അതു മാറുന്നു. U^{235}നെ

പ്പോലെത്തന്നെ എളുപ്പത്തിൽ ഭേദിക്കാവുന്ന ഇതു പരമാണുശക്തിയുല്പാദനത്തിലും പരമാണുബോംബിലും വളരെ അധികം പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്ന ഒരു മൂലകമാണു്. 6-ാം ചിത്രം നോക്കുക:



ചിത്രം 6

Pu^{239}, U^{233} എന്നിവയുടെ ഉല്പാദനം.

$${}_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^{0} \quad ....24.3.$$

$${}_{92}Np^{239} \longrightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^{0}$$
$$+ \text{ഗാമാരശ്മികൾ} \quad ....24.4$$

പ്ലൂട്ടോണിയത്തെ ഒരു ന്യൂട്രോൺക്ഷേത്രത്തിൽ (neutron field) വെയ്ക്കുകയാണെങ്കിൽ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രതിപ്രവർത്തനങ്ങൾകൂടി നടക്കും.

$${}_{94}Pu^{239} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{94}Pu^{240} \quad ....24.5$$

$${}_{94}Pu^{240} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{94}Pu^{241} \quad ....24.6.$$

ഇങ്ങിനെ നീണ്ടു പോകുന്നു ഈ ശൃംഖല. $_{94}Pu^{239}$ നെപ്പോലെ $_{94}Pu^{241}$ ഉം ഭേദ്യമാണ്. നെപ്ട്യൂണിയം, പ്ളൂട്ടോണിയം മുതലായ മൂലകങ്ങളെ പ്രകൃതിയിൽ കാണുന്നതല്ല. U^{238} ഉം ന്യൂട്രോണുകളുമായുള്ള പ്രതിപ്രവത്തനങ്ങളുടെ ഫലമായേ ഇവയുണ്ടാകുകയുള്ളൂ.

ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുടെ ഭേദനം പല വിധത്തിലുമാകാം. ഭേദനത്തെ തുടൻ ഭേദനഖണ്ഡങ്ങൾക്കു പുറമേ ന്യൂട്രോണുകളും ഉണ്ടാകുന്നു എന്നു പറഞ്ഞുവല്ലോ. ഈ ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ ഭേദനസമ്പ്രദായത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും. ഭേദനമൊന്നിന്നു ശരാശരി 2 മുതൽ 3 വരെ ന്യൂട്രോണുകൾ വിസജ്ജിക്കപ്പെടുന്നുണ്ടെന്നു പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നു തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. ഈ ന്യൂട്രോണുകൾ അതിവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നവയാണ്. അവയുടെ ചലനോജ്ജം Mev തോതിലായിരിക്കും.

കേരളത്തിലെ മോണോസൈററ് (Monozite) മണലിനെയും അതിൽനിന്നു ലഭിക്കുന്ന തോറിയത്തെയും പററി കേൾക്കാത്തവർ ചുരുങ്ങും. താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പ്രതിപ്രവത്തനമാണ് ഇതിനെ പരമാണുശക്ത്യുല്പാദനത്തിന്നു് ഇത്രയും പ്രാധാന്യമുള്ളതാക്കുന്നതു്.

$$_{90}Th^{232} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{90}Th^{233} \rightarrow {}_{91}Pa^{233} + {}_{-1}e^{0} + \text{ഗാമാരശ്മികൾ} \ldots\ldots 24.7$$

$$_{91}Pa^{233} \rightarrow {}_{92}U^{233} + {}_{-1}e^{0} + \text{ഗാമാരശ്മികൾ} \ldots\ldots 24.8$$

തോറിയം ഒരു ന്യൂട്രോണിനെ ഗ്രസിച്ച ക്രമത്തിൽ രണ്ടു ബീററാകണങ്ങളെ വിസജ്ജിച്ചശേഷം $_{92}U^{233}$

ആയിത്തീരുന്നു. 6-ാം ചിത്രം നോക്കുക. $_{92}U^{233}$ഉം താപീയന്യൂട്രോണിനാൽ ഭേദ്യമാണ്. അങ്ങിനെ തോറിയത്തിൽനിന്നും എളുപ്പത്തിൽ ഭേദിക്കപ്പെടാവുന്ന യുറേനിയം-233 ലഭിക്കുന്നു.

ന്യൂട്രോണുകൾ എത്രകണ്ടു സാവധാനത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നുവോ അത്രകണ്ട് അവയ്ക്കു ബീജകേന്ദ്രവുമായി ഏററുമുട്ടുവാനും പ്രതിപ്രവൎത്തിക്കുവാനുമുള്ള സംഭാവ്യത കൂടുതലാകുന്നു എന്നു പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. ന്യൂട്രോണിൻെറ ഊൎജ്ജം (neutron energy) കുറയുംതോറും പ്രതിപ്രവൎത്തനങ്ങളുടെ പരിക്ഷേത്രം കൂടുന്നു. ന്യൂട്രോണുകളുടെ വേഗത കുറയ്ക്കുവാനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ചില പദാൎത്ഥങ്ങളുണ്ട്. അവയെ 'മന്ദീകാരികൾ' (moderators) എന്നു വിളിക്കുന്നു. സാധാരണജലം, ഘനജലം (heavy water), ഗ്രാഫൈററ്, ബെറീലിയം എന്നിവയാണ് സാധാരണയായി ഉപയോഗിച്ചുവരുന്ന മന്ദീകാരികൾ. ന്യൂട്രോൺ ഇവയുടെ ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുമായി ഏററുമുട്ടുമ്പോൾ സ്വന്തം ഊൎജ്ജത്തിൻെറ ഒരു ഭാഗം അവയ്ക്കു നല്കി വേഗത കുറഞ്ഞവയായിത്തീരുന്നു. ഏറിയ വികീൎണ്ണനപരിക്ഷേത്രവും കുറഞ്ഞ ഗ്രസനപരിക്ഷേത്രവും ആണ് മന്ദീകാരികൾക്കാവശ്യമായ പ്രത്യേകഗുണങ്ങൾ. അലൂമിനിയം, സിൎക്കോണിയം, ഇരുമ്പ്, മഗ്നീഷിയം മുതലായവയും പരമാണുറിയാക്റ്ററിൻെറ നിൎമ്മാണത്തിൽ വളരെ പ്രാധാന്യമൎഹിക്കുന്നവയാണ്. ഇവയുടെ ഗ്രസനപരിക്ഷേത്രങ്ങളും താരതമ്യേന കുറവാണ്. കാഡ്മിയം, ബോറൺ എന്നീ മൂലകങ്ങൾക്കു ന്യൂട്രോണു

കളെ ഗ്രസിച്ച പുതിയ സ്ഥാനീയങ്ങളാകാൻ പ്രത്യേകമായ കഴിവുണ്ടു്. അവയുടെ ഗ്രസനപരിക്ഷേത്രം മററു മൂലകങ്ങളുടേതിനേക്കാൾ എത്രയോ ആയിരം മടങ്ങു കൂടുതലാണു്. അതിനാൽ പരമാണുറിയാക്ടറുകളിൽ ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യയെ നിയന്ത്രിക്കുവാനായി ഈ മൂലകങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്നു.

25. ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനം

(Chain Reaction)

യുറേനിയം (U^{233}, U^{235}), പ്ലൂട്ടോണിയം (Pu^{239}, Pu^{241}) എന്നിവ ഭേദിക്കപ്പെടുമ്പോൾ ഊജ്ജത്തിന്നു പുറമേ ന്യൂട്രോണുകളും വിസജ്ജിക്കപ്പെടുമെന്നു കാണുകയുണ്ടായി. വളരെ വലിയൊരു യുറേനിയപിണ്ഡമെടുക്കുക: ഇതിൽ 0.7 ശതമാനം U^{235}ഉം ബാക്കി 99.3 ശതമാനം U^{238}ഉം ആണു് ഉള്ളതു്. ഈ പിണ്ഡത്തിലേയ്ക്കു് ഒരു ന്യൂട്രോണിനെ പ്രവേശിപ്പിക്കുക. ഭാഗ്യവശാൽ അതു് ഒരു U^{235} ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ പ്രവേശിച്ചു് അതിനെ പിളക്കുന്നു എങ്കിൽ തൽഫലമായി ഊജ്ജത്തിന്നു പുറമേ രണ്ടുമൂന്നു ന്യൂട്രോണുകളും ഉണ്ടാകും. ഈ പുതിയ ന്യൂട്രോണുകൾക്കു താഴെ പറയുന്ന ഏതെങ്കിലും ഒന്നു സംഭവിക്കാം:

1. വീണ്ടും $_{92}U^{235}$-ൽ പ്രവേശിച്ചു ഭേദനം നടത്തുക.

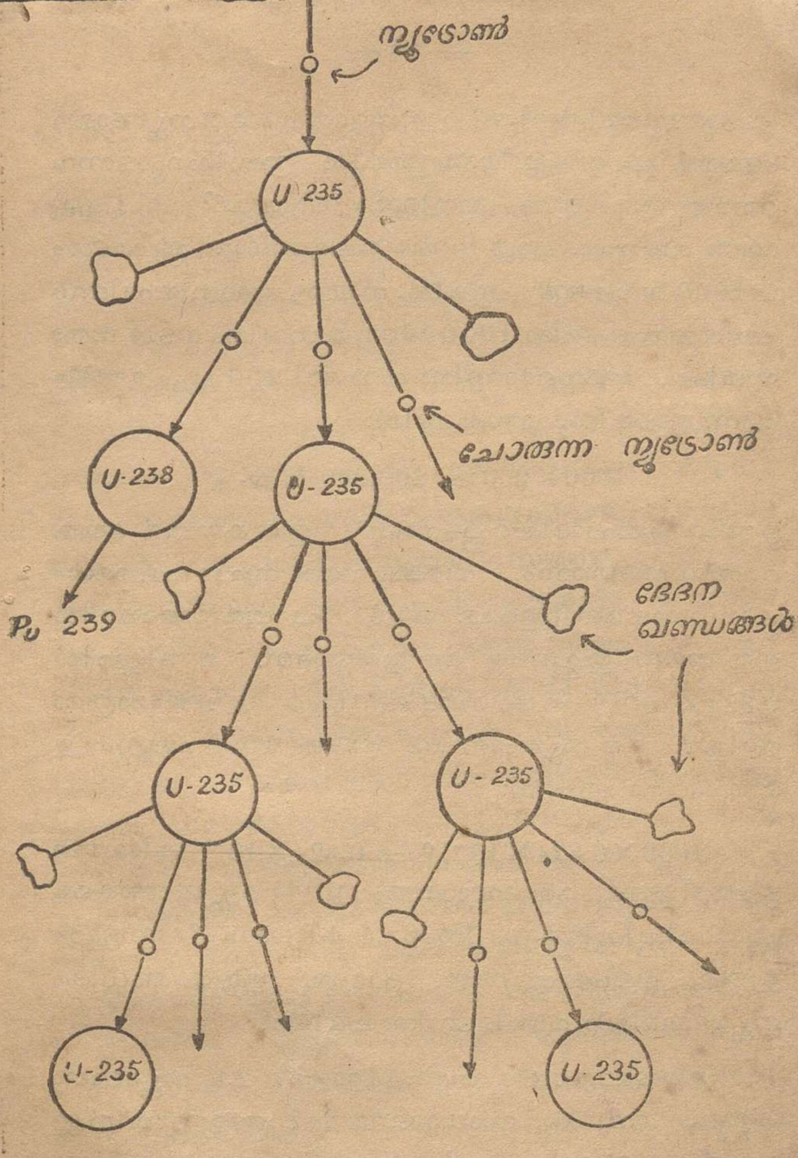
2. $_{92}U^{235}$-ൽതന്നെ ഭേദനരഹിതമായി ഗ്രസിക്കപ്പെട്ടു് $_{92}U^{236}$ ഉണ്ടാകുക.

3. $_{92}U^{238}$-ൽ ഭേദനരഹിതമായി ഗ്രസിക്കപ്പെട്ടു പ്ലൂട്ടോണിയം ഉണ്ടാകുക.

4. യുറേനിയപിണ്ഡത്തിൽ മറ്റേതെങ്കിലും പദാത്ഥങ്ങളുണ്ടെങ്കിൽ അവയാൽ ഗ്രസിക്കപ്പെടുക.

5. മറ്റൊരു ബീജകേന്ദ്രവുമായി ഏറ്റുമുട്ടുന്നതിന്നു മുമ്പുതന്നെ യുറേനിയപിണ്ഡത്തിൽനിന്നും ചോന്നുപോകുക.

നല്ലവണ്ണം ശുദ്ധിചെയ്ത യുറേനിയം എടുക്കുകയും പിണ്ഡത്തെ വളരെയധികം വലുതാക്കുകയും ചെയ്താൽ 4 ഉം 5 ഉം വിധത്തിലുള്ള ന്യൂട്രോൺനഷ്ടം നിസ്സാരമാക്കാം. പക്ഷേ $_{92}U^{235}$-ലെ ഗ്രസനങ്ങൾതന്നെ 16 ശതമാനത്തോളം ഭേദനരഹിതമാണു്. മാത്രമല്ല, യുറേനിയപിണ്ഡത്തിൽ $_{92}U^{235}$-ൻെറ പരമാണുക്കൾ ആകെയുള്ളവയുടെ 1/140 ഭാഗം മാത്രമേയുള്ളുതാനും. $_{92}U^{235}$ ലെയും $_{92}U^{238}$ ലെയും ഭേദനരഹിതങ്ങളായ ഗ്രസനങ്ങൾ കഴിഞ്ഞു ഭേദനോല്പാദിതങ്ങളായ ന്യൂട്രോണുകളിൽ ഒരെണ്ണം വീണ്ടും U^{235}-ൻെറ ഭേദനത്തിന്നു ലബ്ധമാകുന്നെന്നു വിചാരിക്കുക. ഈ ഭേദനത്തെ തുടന്നു് ഇതേപോലെതന്നെ വീണ്ടും ഒരു ന്യൂട്രോൺ ലബ്ധമാകുന്നു. അങ്ങിനെ ഈ യുറേനിയപിണ്ഡത്തിൽ എപ്പോഴും ഒരു ന്യൂട്രോൺ ഭേദനം നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കും. ഇപ്രകാരം ഒരിക്കൽ തുടങ്ങിവെച്ച പ്രതിപ്രവത്തനം നിലക്കാതെ സ്വയം തുടന്നുപോകുന്നതിന്നു ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനം (chain reaction) എന്നു പറയുന്നു. 7-ാംചിത്രം നോക്കുക:



ചിത്രം 7

ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം.

ഭേദനത്തിൽനിന്ന് ഉളവായശേഷം ഒരു ന്യൂട്രോൺ ഏതെങ്കിലും ഒരു ബീജകേന്ദ്രത്തിൽ ഗ്രസിക്കപ്പെട്ടന്നവരെയുള്ള സമയത്തെ അതിൻെറ 'ആയുസ്സ്' (life time) എന്നു പറയുന്നു. ഇതു വളരെ ചെറുതാണ്. ഏകദേശം 1/1000 സെക്കണ്ട്. എങ്കിൽ, നമ്മുടെ യുറേനിയപിണ്ഡത്തിൽ സെക്കണ്ടിൽ 1000 ഭേദനങ്ങൾവീതം നടക്കുന്നതായിരിക്കും. ഭേദനമൊന്നിന്നു ശരാശരി 200 Mev ഊർജ്ജം എന്ന തോതിൽ, സെക്കണ്ടിൽ:

$$1000 \times 200 = 200,000 \text{ Mev}.$$

ഊർജ്ജം ഉൽപാദിക്കപ്പെട്ടന്നുണ്ട്. തുക കണ്ടാൽ ഭയങ്കരമാണെന്നു തോന്നും. പക്ഷേ, നമുക്കു സുപരിചിതമായ കിലോവാട്ട്മണിക്കൂർമാത്രയിൽ പറയുകയാണെങ്കിൽ ഇതു നന്നേ തുച്ഛമായ ഒരു തുകയാണ്. മണിക്കൂറിൽ 0.324×10^{-10} കിലോവാട്ട്മണിക്കൂർ ഊർജ്ജംമാത്രമാണിത്. ഒരു ന്യൂട്രോണിന്നു പകരം 1000 എണ്ണം ഉണ്ടായിരുന്നു എങ്കിൽ:

$1000 \times 0.324 \times 10^{-10} = 0.324 \times 10^{-7}$ കിലോവാട്ട്മണിക്കൂറും, ഒരു മഹാപത്മം (10^{12}) ന്യൂട്രോണുകളെ പ്രവേശിപ്പിച്ചിരുന്നെങ്കിൽ 3.24 കിലോവാട്ട്മണിക്കൂറും ഊർജ്ജം ലഭിക്കുമായിരുന്നു. പക്ഷേ, ഇത്രയും അധികം ന്യൂട്രോണുകൾ എവിടെനിന്നു ലഭിക്കും?

ഒരു ഭേദനത്തിൽനിന്നു ശരാശരി 2.5 ന്യൂട്രോണുകളുണ്ടാകുമ്പോൾ, സാധാരണയായി ഒരെണ്ണത്തിൽക്കൂടുതൽ U^{235}ൻെറ പുനർഭേദനത്തിന്നു ലബ്ധമാക്കാവുന്ന

താണു്. തല്ക്കാലം ശരാശരി രണ്ടെണ്ണംവീതം ലബ്ധമാകുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക. എങ്കിൽ ആദ്യത്തെ ന്യൂട്രോണിൽനിന്നു രണ്ടെണ്ണമുണ്ടാകുമ്പോൾ ഇവ ഓരോന്നും ഓരോ U^{235}നെ ഭേദിച്ചു 4 ന്യൂട്രോണുകളായി വൎദ്ധിക്കുന്നു. ഇതിന്നു വേണ്ട സമയം വെറും 1/1000 സെക്കണ്ടുമാത്രമാണു്. അടുത്ത 1/1000 സെക്കണ്ടിൽ ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ 4ൽനിന്നു് 8 ആകുന്നു. ഓരോ 1/1000 സെക്കണ്ടിലും ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ ഇരട്ടിക്കുന്നു. 1, 2, 4, 8, 16, 32 .... എന്ന ശ്രേണി (series) അതിവേഗത്തിൽ വൎദ്ധിക്കുന്നതാണു്. 10/1000 സെക്കണ്ടിന്നുള്ളിൽ യുറേനിയപിണ്ഡത്തിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ 1024 ആയി വൎദ്ധിക്കുന്നു. 20/1000 സെക്കണ്ടിൽ ഒരു പ്രയുതവും (പത്തു ലക്ഷം—Million) 30/1000 സെക്കണ്ടിൽ ഉദ്ദേശം ഒരു പത്മവും (10^9—Billion), 40/1000 സെക്കണ്ടിൽ ഒരു മഹാപത്മവും (10^{12}) ആയി വൎദ്ധിക്കുന്നു. ഒരു സെക്കണ്ടിൻെറ പത്തിലൊന്നു സമയമാകുമ്പോഴേക്കും 10^{30}ൽ കൂടുതൽ ബീജകേന്ദ്രങ്ങൾ ഭേദിച്ചുകഴിഞ്ഞിരിക്കും—അതായതു 350 ടണ്ണിൽ കൂടുതൽ. ഇത്രയും അധികം ഭേദനങ്ങളുടെ ഊൎജ്ജം മുഴുവൻ ഇത്ര ചുരുങ്ങിയ സമയത്തിന്നുള്ളിൽ വിസൎജ്ജിക്കപ്പെടുമ്പോൾ അതു ഭയങ്കരമായ ഒരു പൊട്ടിത്തെറിയായിത്തീരുന്നു. ഇതുതന്നെയാണു് പരമാണുബോംബിൻെറ തത്വം. ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ ക്രമത്തിൽ വൎദ്ധിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഈവിധത്തിലുള്ള ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനത്തിന്നു 'വിവൃജനശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം'

(Divergent chain reaction) എന്നു പറയുന്നു. ഒരു ഭേദനത്തിൽനിന്നുണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകളിൽനിന്നു്, ശരാശരി ഒന്നിൽ കൂടുതൽ എണ്ണം വീണ്ടും ഭേദനത്തിന്നു ലഭ്യമാകുമ്പോഴാണു് വിവ്രജനശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം ഉണ്ടാകുന്നതു്. വേണ്ടുംവണ്ണം നിയന്ത്രിച്ചില്ലെങ്കിൽ ഒരു പൊട്ടിത്തെറിയിലാണു് അതു കലാശിക്കുക. പരമാണുശക്തിയെ വിദ്യുച്ഛക്തിയുല്പാദനം മുതലായ സമാധാനപരങ്ങളായ ആവശ്യങ്ങൾക്കു് ഉപയോഗിക്കണമെങ്കിൽ ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം നിയന്ത്രിതമായിരിക്കണം. അതിന്നുള്ള ഉപകരണമാണു് പരമാണുറിയാക്ടർ (Atomic Reactor).

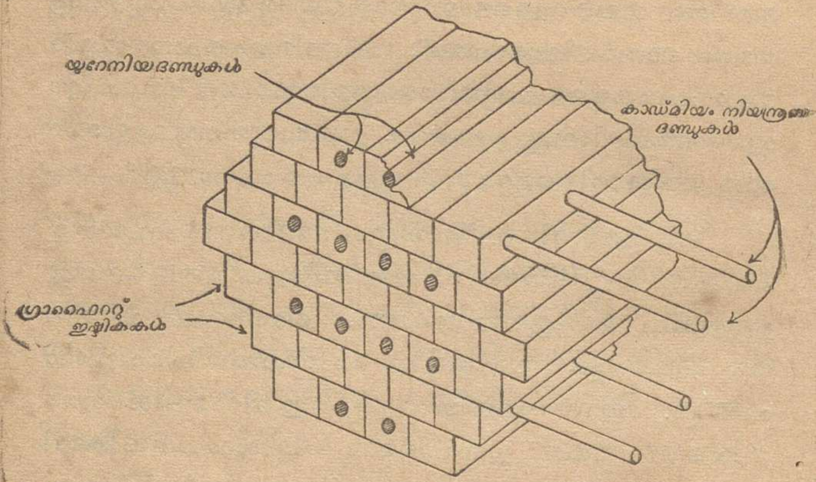
26. പരമാണുറിയാക്ടർ

(Atomic Reactor)

ഭേദനത്തിൽനിന്നും ഉളവാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ വളരെ വേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നവയാണല്ലോ. ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം നടക്കണമെങ്കിൽ ന്യൂട്രോണുകൾ ചോർന്നുപോകാനുള്ള സംഭാവ്യത കുറയ്ക്കണം. അഥവാ ചോരാതിരിക്കാനുള്ള സംഭാവ്യത കൂട്ടണം. യുറേനിയത്തിന്റെ ഭേദനപരിക്ഷേത്രം കൂടുതലാക്കുവാൻ നമുക്കു സാധിക്കുകയില്ല. ന്യൂട്രോണുകളെ മന്ദഗതികളാക്കി ചോർച്ച കുറയ്ക്കുകയും യുറേനിയത്തിൽ ഗ്രസിക്കപ്പെടാനുള്ള സംഭാവ്യത വർദ്ധിപ്പിക്കുകയുംമാത്രമേ നിവൃത്തിയുള്ളൂ. ശീഘ്രഗതികളായ ന്യൂട്രോണുകളുടെ വേഗത കുറയ്ക്കുവാനുള്ള മാർഗ്ഗം അവയെ ഹൈഡ്രജൻ, ബെറീലിയം, കാർബൺ (graphite)

മുതലായ മൂലകങ്ങളുടെ ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുമായി ഏററുമുട്ടുവാൻ അനുവദിക്കുകയാണു്. അങ്ങിനെ ചെയ്യുമ്പോൾ ന്യൂട്രോണുകളുടെ ചലനോർജ്ജത്തിൻെറ ഒരു ഭാഗം ഈ പരമാണുക്കളിലേയ്ക്കു പകരുന്നു. ഈ പദാർത്ഥങ്ങളെയാണല്ലോ മന്ദീകാരികളെന്നു (moderaters) പറയുന്നതു്.

ഒരു യുറേനിയബീജകേന്ദ്രം ഭേദിതമാകുമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ മററു ബീജകേന്ദ്രങ്ങളിലേയ്ക്കെത്തുംമുമ്പേ മന്ദീകൃതങ്ങളാകണം. അതിനാൽ യുറേനിയം എല്ലാംകൂടി ഒരു വലിയ പിണ്ഡമായി വെയ്ക്കാൻ പാടില്ല. ഇന്ധനത്തേയും (fuel)—ഇനി മേലിൽ യുറേനിയത്തെ നമുക്കു് ഇന്ധനമെന്നു വിളിക്കാം — മന്ദീകാരിയേയും ഇടവിട്ടു് ഇടവിട്ടു് അടുക്കിവെയ്ക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം ആദ്യമായി സാദ്ധ്യമായതു് ഇങ്ങിനെയുള്ള ഒരു പദ്ധതിപ്രകാരമാണു്. 'എൻറിക്കോ ഫെർമി' എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞനായിരുന്നു അതിൻെറ സംവിധായകൻ. ഈ റിയാക്ടറിൽ ദണ്ഡുരൂപത്തിലുള്ള ഇന്ധനവും (uranium) ഇഷ്ടികരൂപത്തിലുള്ള മന്ദീകാരിയും (graphite) ഇടവിട്ടു് ഇടവിട്ടു് 8-ാംചിത്രത്തിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നമാതിരി അടുക്കിവെയ്ക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഒരു ഇന്ധനദണ്ഡിലുണ്ടാകുന്ന ഭേദനത്തിൽനിന്നും ജനിക്കുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ മറെറാരു ദണ്ഡിലേയ്ക്കെത്തുമ്പോഴേയ്ക്കും മാർഗ്ഗത്തിലുള്ള മന്ദീകാരിയുടെ ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുമായി ഏററുമുട്ടി വേഗത കുറഞ്ഞവയായിത്തീരും. അതിനാൽ അവ കൂടുതൽ ഭേദനശേഷിയുള്ളവയായിത്തീരുകയും ചോച്ചയുടെ സാദ്ധ്യത കുറയുകയും ചെയ്യുന്നു.



ചിത്രം 8

ഫെർമിയുടെ യുറേനിയം-ഗ്രാഫൈററ് അടക്കം.

8-ാംചിത്രത്തിൽ യുറേനിയത്തിന്നും ഗ്രാഫൈററിന്നും പുറമേ രണ്ടു കാഡ്മിയ(cadmium)ദണ്ഡുകൾകൂടി കാണാം. ഇവ ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനത്തെ നിയന്ത്രിക്കുവാനുള്ളവയാണു്. ഇവയുടെ പ്രവർത്തനം എങ്ങിനെയെന്നു നമുക്കു പിന്നീടു പഠിക്കാം.

ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം തുടങ്ങുവാൻ ആദ്യം കുറച്ചു ന്യൂട്രോണുകൾ ആവശ്യമാണല്ലോ. സാധാരണ അന്തരിക്ഷത്തിൽത്തന്നെ അങ്ങിങ്ങായി ന്യൂട്രോണുകൾ ഉണ്ടു്. ഇവയിൽ ഒന്നു യുറേനിയപിണ്ഡത്തിൽ പ്രവേശിക്കുവാനായി കാത്തിരിക്കാം. പക്ഷേ, സാധാരണയാ

യി ഒരു റേഡിയ-ബെറീലിയപ്രഭവത്തെ (Radium-Beryllium source) ഉപയോഗിക്കുകയാണു് പതിവു്. റേഡിയം സ്വമേധയാ ആൽഫാകണങ്ങളെ പുറത്തു വിട്ടുകൊണ്ടിരിക്കും. ഈ ആൽഫാകണങ്ങൾ ബെറീലിയവുമായി പ്രതിപ്രവൎത്തിക്കുകയും, തൽഫലമായി ന്യൂട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകുകയും ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ റേഡിയത്തിന്റേയും ബെറീലിയത്തിന്റേയും ഒരു മിശ്രിതമുണ്ടാക്കി

$$_4Be^9 + _2He^4 \longrightarrow _6C^{12} + _0n^1$$

യാൽ അതിൽനിന്നു് ആൽഫാകണം, ബീററാകണം, ഗാമാരശ്മികൾ എന്നിവക്കു പുറമേ ന്യൂട്രോണുകളും പുറത്തു വന്നുകൊണ്ടിരിക്കും. ഇതിന്നാണു് റേഡിയ-ബെറീലിയപ്രഭവമെന്നു പറയുന്നതു്. ഇങ്ങിനെയുള്ള ഒരു ന്യൂട്രോൺപ്രഭവത്തിൽനിന്നു 100 ന്യൂട്രോണുകളെ ഒരു യുറേനിയം-ഗ്രാഫൈററു് അടക്കത്തിലേക്കു പ്രവേശിപ്പിച്ചു എന്നു വിചാരിക്കുക. ഇവയിൽ 40 എണ്ണം U^{235} ന്റെ ബീജകേന്ദ്രങ്ങളിൽ പ്രവേശിച്ചു് അവയെ ഭേദിക്കുവാൻ ശക്തങ്ങളായി എന്നും വിചാരിക്കുക. ബാക്കി 60 എണ്ണം U^{235}, U^{238} എന്നിവയിലേയും ഗ്രാഫൈററിലേയും ഭേദനരഹിതഗ്രസനങ്ങളാലും ചോൎച്ചയാലും നഷ്ടപ്പെട്ടതായി കണക്കാക്കാം. ഭേദനമൊന്നിന്നു ശരാശരി 2.5 ന്യൂട്രോണുകൾവീതം 40 ഭേദനങ്ങൾക്കു് 100 ന്യൂട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകുന്നു. ഇവയുടെ ഒരു ലാഭനഷ്ടപ്പട്ടിക താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നപോലെ തയ്യാറാക്കാം:

1. ഭേദനത്തിൽനിന്നും ഉണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ 100
2. U^{238}ൽ ഭേദനരഹിതമായ ഗ്രസനം 28
3. U^{235}ൽ ഭേദനരഹിതമായ ഗ്രസനം 8
4. മന്ദീകാരിയിലും മററു പദാൎത്ഥങ്ങളിലും ഉള്ള ഗ്രസനം 9
5. ചോൎച്ച 20

ആകെ നഷ്ടപ്പെടുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ 65

6. U^{235}ൻെറ ഭേദനത്തിന്നു ശേഷിക്കുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ = 35

ഇതു് ആദ്യമുണ്ടായിരുന്ന 40 ന്യൂട്രോണുകളെക്കാൾ കുറവാണു്. ഇങ്ങനെ വരുമ്പോൾ 'അടുക്ക'ത്തിലുള്ള (Pile) ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ വേഗത്തിൽ ക്ഷയിച്ചു പോകും. അതായതു ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം സാധ്യമല്ലാതെ വരുന്നു എന്നു്. ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം നടക്കണമെങ്കിൽ തുടക്കത്തിലുണ്ടായിരുന്ന 40 ന്യൂട്രോണുകളെങ്കിലും വീണ്ടും ഭേദനത്തിന്നായി ശേഷിക്കണം. പക്ഷേ U^{238}, U^{235}, മന്ദീകാരികൾമുതലായവയിലുള്ള ഗ്രസനത്തെ നമുക്കു നിയന്ത്രിക്കുവാൻ നിവൃത്തിയില്ല. അടുക്കത്തിൽനിന്നുള്ള ചോൎച്ചമാത്രമേ നമ്മുടെ നിയന്ത്രണത്തിന്നധീനമായിട്ടുള്ളൂ. അടുക്കത്തിൻെറ വലുപ്പം കൂടുന്തോറും ചോൎച്ചയ്ക്കുള്ള സംഭാവ്യത കുറഞ്ഞുവരും. മുകളിലെ ഉദാഹരണത്തിൽ, 100 ന്യൂട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകുന്നതിൽ ഇരുപതെണ്ണം ചോൎന്നുപോകുന്നതായിക്കണ്ടു. ഈ അടുക്കത്തിൻെറ പരിമാണം വൎദ്ധിപ്പിച്ചു ന്യൂട്രോൺ ചോൎച്ച 20-ൽനിന്നു 15 ആയി കുറയ്ക്കുവാൻ സാധിച്ചു

എങ്കിൽ പിന്നെയും 40 ന്യൂട്രോണുകൾ U^{235}-ൻെറ ഭേദനത്തിന്നു ലബ്ധമാകുന്നു. അങ്ങനെ ഈ ശൃംഖല തുടൎന്നുപോകുന്നു. അതായതു് ഒരു ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം സംസ്ഥാപിതമായിരിക്കുന്നു എന്നൎത്ഥം. അടക്കത്തിൻെറ വലുപ്പം പിന്നെയും കൂട്ടി ചോൎച്ച 15-ൽനിന്നു 10 ആയി കുറച്ചു എങ്കിൽ ആദ്യത്തെ ഭേദനത്തിൽനിന്നു് ഉണ്ടാകുന്ന 100 ന്യൂട്രോണുകളിൽനിന്നു 45 ന്യൂട്രോണുകൾ രണ്ടാംഘട്ടത്തിലേയ്ക്കു ശേഷിക്കും. അപ്പോൾ 45 ഭേദനങ്ങളും തൽഫലമായി $45 \times 2.5 = 112.5$ ന്യൂട്രോണുകളും ഉണ്ടാകുന്നു. ഇതിൽനിന്നു ഭേദനരഹിതഗ്രസനങ്ങളും ചോൎച്ചയും നീക്കിയശേഷം 50 ന്യൂട്രോണുകൾ വീണ്ടും ഭേദനത്തിന്നു ശക്തമായവിധത്തിൽ ശേഷിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരം ക്രമത്തിൽ അടക്കത്തിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ വൎദ്ധിക്കുകയും വേണ്ടവിധത്തിൽ നിയന്ത്രിച്ചില്ലെങ്കിൽ അതു് ഒരു വിസ്ഫോടനത്തിൽ കലാശിക്കുകയും ചെയ്യും. ഇങ്ങനെ അടക്കത്തിൻെറ പരിമാണത്തെ വൎദ്ധിപ്പിച്ചു ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനത്തെ സാധിപ്പിക്കുക മാത്രമല്ല അതിനെ വിവൃജിതമാക്കുവാൻകൂടി സാധിക്കും. ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം സാധിപ്പിക്കുവാൻ ആവശ്യമായ അടക്കത്തിൻെറ ഏററവും ചുരുങ്ങിയ പരിമാണത്തിന്നു 'ക്രാന്തികപരിമാണം' (critical size) എന്നു പറയുന്നു. അടക്കത്തിൻെറ വലുപ്പം ഇതിൽ കുറവാണെങ്കിൽ ന്യൂട്രോൺചോൎച്ച കൂടുതലായിരിക്കും. ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം സാധ്യമാവുകയില്ല. അങ്ങനെയുള്ള അവസ്ഥയ്ക്കു് 'ഉപക്രാന്തികം' (Subcritical) എന്നു പറയുന്നു.

യുറേനിയമണ്ഡലത്തിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ കൂട്ടുകയോ കുറയുകയോ ചെയ്യാതെ ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനം നടക്കുന്ന അവസ്ഥയ്ക്കു 'ക്രാന്തികം' (Critical) എന്നും വിഭജനശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനം നടക്കുമ്പോൾ 'അതിക്രാന്തികം' (supercritical) എന്നുമാണു് പറയുന്നതു്. ഇപ്രകാരം ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനം നടക്കുന്ന അടക്കത്തിന്നാണു് പരമാണുറിയാക്ടർ (Atomic reactor) എന്നു പറയുന്നതു്.

മേല്പറഞ്ഞ ആശയങ്ങളെ മറെറാരുവിധത്തിലും പറയാം. ഒരു റിയാക്ടർ ഉണ്ടു്. അതിൽ ഓരോ U^{235} ഭേദനത്തിൽനിന്നും ചോച്ച്, മന്ദീകാരികളിലുള്ള ഗ്രസനം, U^{238}, U^{235} എന്നിവയിലുള്ള ഭേദനരഹിതഗ്രസനം എന്നിവയ്ക്കുശേഷം ശരാശരി K ന്യൂട്രോണുകൾ വീണ്ടും ഭേദനത്തിന്നു ലബ്ധമാകുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക. എങ്കിൽ 'K' എന്ന സംഖ്യ റിയാക്ടറിൻെറ 'സഫലഗുണനഘടകം' (effective multiplication factor) എന്ന പേരിൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ഒരു റിയാക്ടറിൻെറ പരിമാണം ക്രാന്തികപരിമാണത്തിന്നു സമമാണെങ്കിൽ സഫലഗുണനഘടകം, അതായതു 'K', 1.000 ആയിരിക്കും. ഓരോ ഭേദനത്തിൽനിന്നും ശരാശരി 1.000 ന്യൂട്രോൺ വീതം വീണ്ടും ഭേദനത്തിന്നു ലഭിക്കുന്നു എന്നത്ഥം. അതുകൊണ്ടു് ആദ്യം എത്ര ന്യൂട്രോണുകളെ പ്രവേശിപ്പിച്ചുവോ, അത്രതന്നെ എപ്പോഴും അതിൽ ഉണ്ടായിരിക്കും. കൂട്ടുകയോ കുറയുകയോ ചെയ്യുന്നില്ല. സഫലഗുണനഘടകം 1.000-ൽ കൂടുതലാണെങ്കിൽ വിഭജനശൃംഖലാ

പ്രതിപ്രവത്തനവും 1.000-ൽ കുറവാണെങ്കിൽ സംവ്ര ജനശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനവും (convergent chain-reaction) നടക്കുന്നു.

27. ക്രാന്തികപരിമാണഗണനം

(Calculation of Critical Size)

യുറേനിയം-ഗ്രാഫൈറ് അടക്കത്തിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ഭേദനങ്ങളെപ്പററിയും ന്യൂട്രോണുകളുടെ 'ജീവചരിത്ര'ത്തെപ്പററിയും നാം ഇതേവരെയായി നടത്തിയിട്ടുള്ള പഠനങ്ങളത്രയും 'ഗുണാത്മകം' (qualitative) മാത്രമായിരുന്നു. ഇനി ഇന്ധനം, മന്ദീകാരി മുതലായവ ഏതേതു തോതിലാണ് എടുക്കേണ്ടതു്, ക്രാന്തികപരിമാണം എങ്ങനെയാണ് കണക്കാക്കേണ്ടതു് എന്നിവയെക്കുറിച്ചു ചുരുങ്ങിയതോതിൽ ഒരു പരിമാണാത്മക(quantitative) പഠനം നടത്താം. ഭേദനത്തിൽനിന്നും ഉണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾക്ക് എന്തെല്ലാം സംഭവിക്കാമെന്നതു് ഒന്നുകൂടി ആവത്തിക്കാം:

1. ഇന്ധനത്തിൽ (U^{235}-ഉം U^{238}-ഉം) ഭേദനരഹിതമായി ഗ്രസിക്കപ്പെടുക.
2. U^{235}-ൽ ഭേദനശക്തമായി ഗ്രസിക്കപ്പെടുക.
3. മന്ദീകാരിയിലും മററു പദാത്ഥങ്ങളിലും ഗ്രസിക്കപ്പെടുക.
4. ചോന്നു നഷ്ടപ്പെടുക.

റിയാക്ടറിൻെറ പരിമാണം അനന്തമാണെങ്കിൽ ചോച്ച ഇല്ലെന്നു പറയാം. അങ്ങനെയുള്ള അടക്കത്തി

ന്റെ ഗുണനഘടക(multiplication factor)ത്തിന്നു് ‘അനന്തഗുണനഘടകം’ (infinite multiplication factor) എന്നു പറയുന്നു. $K\infty$ (‘കെ-അനന്തം’ എന്നുച്ചരിക്കുക) എന്നതാണു് ഇതിന്റെ ചിഹ്നം. ഒരു ഭേദനത്തിൽനിന്നു ശരാശരി എത്ര ന്യൂട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകുന്നുവോ അതിനെ ‘ν’ (‘ന്യൂ’ എന്നുച്ചരിക്കുക) എന്ന ഗ്രീക്കക്ഷരംകൊണ്ടു കുറിക്കുന്നു. ഗണനസൌകര്യത്തിന്നായി, ഇന്ധനവും (U^{235}-ഉം U^{238}-ഉം) മന്ദീകാരിയും ഏകാത്മകമായി കൂട്ടിച്ചേർത്തിരിക്കുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ റിയാക്ടറിന്റെ ഘടന എല്ലായിടത്തും ഒരുപോലെയായിരിക്കും. ഒരു ഘനസെൻറിമീററർ പരിമാണത്തിലുള്ള വിവിധപരമാണുക്കളുടെ സംഖ്യകളെ താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നവിധത്തിൽ കുറിക്കാം.

യുറേനിയം-235 $= N^{235}$

യുറേനിയം-238 $= N^{238}$

ഇന്ധനമാകെ $= N^{235} + N^{238}$

$= N^{F}$

മന്ദീകാരി $= N^{M}$

ഇവയുടെ സൂക്ഷ്മപരിക്ഷേത്രങ്ങൾ:

യുറേനിയം-235 { ഭേദനം $= \sigma_f^{235}$
ഗ്രസനം $= \sigma_c^{235}$

യുറേനിയം-238 ഗ്രസനം $= \sigma_c^{238}$

മന്ദീകാരി-ഗ്രസനം $= \sigma_c^{M}$

ഇവ ഓരോന്നിൻെറയും സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രങ്ങൾ കിട്ടുവാൻ അതാതു പരമാണുക്കളുടെ സംഖ്യകളെക്കൊണ്ടു പെരുക്കണം.

$$\Sigma_f^{235} = N^{235} \times \sigma_f^{235} \qquad \text{.........(27·1)}$$

$$\Sigma_c^{235} = N^{235} \times \sigma_c^{235} \qquad \text{.........(27·2)}$$

$$\Sigma_c^{238} = N^{238} \times \sigma_c^{238} \qquad \text{.........(27·3)}$$

$$\Sigma_c^{M} = N^{M} \times \sigma_c^{M} \qquad \text{.........(27·4)}$$

ഇന്ധനത്തിൻെറ മാത്രം ആകെയുള്ള 'സ്ഥൂലാഗിരണപരിക്ഷേത്രം' (macroscopic absorption cross-section).

$$\Sigma_a^F = \Sigma_f^{235} + \Sigma_c^{235} + \Sigma_c^{238} \qquad \text{.........(27·5)}$$

ഇന്ധനത്തിൻെറയും മന്ദീകാരിയുടെയും കൂടിയുള്ള സ്ഥൂലാഗിരണപരിക്ഷേത്രം $\Sigma_a^F + \Sigma_c^M$ ആകുന്നു. റിയാക്ടർ അനന്തമാണെങ്കിൽ ചോർച്ചയില്ലെന്നു വിചാരിക്കാം. അപ്പോൾ ഭേദനത്തിൽനിന്നും ഉണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകൾ ഇന്ധനത്തിലോ മന്ദീകാരിയിലോ ഗ്രസിക്കപ്പെടേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഏതെങ്കിലും ഒന്നിൽ ഗ്രസിക്കപ്പെടാനുള്ള സംഭാവ്യത അതിൻെറ സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രത്തിന്നു് ആനുപാതികമാണു്. മന്ദീകാരിയിൽ ഗ്രസിക്കപ്പെടാതെ ഇന്ധനത്തിൽമാത്രം ഗ്രസിക്കപ്പെടുവാനുള്ള സംഭാവ്യത 'f' എ എന്ന ചിഹ്നത്താൽ കുറിക്കപ്പെടുന്നു.

$$f = \frac{\Sigma_a^F}{\Sigma_a^F + \Sigma_c^M} \qquad \text{.........(27·6)}$$

"താപീയോപയോഗഗുണനാങ്കം" (thermal utilization factor) എന്നാണിതിൻെറ സാങ്കേതികനാമം. ഇന്ധനത്താൽ ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെട്ട ഒരു ന്യൂട്രോൺ തന്നെ ഭേദനത്തിലോ, ഗ്രസനത്തിലോ കലാശിക്കാം. സംഭാവ്യതകളുടെ അനുപാതം പരിക്ഷേത്രങ്ങളുടെ അനുപാതമാണു്. അതിനാൽ ഇന്ധനത്തിൽ പ്രവേശിച്ച ഒരു ന്യൂട്രോൺ ഭേദനത്തിൽ കലാശിക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യത.

$$= \frac{\Sigma_f^{235}}{\Sigma_f^{235} + \Sigma_c^{235} + \Sigma_c^{238}} = \frac{\Sigma_f^{235}}{\Sigma_a^F} \quad \text{.........(27·7)}$$

ഭേദനമൊന്നിൻെറ ഫലമായി 'ν' ന്യൂട്രോണുകളുണ്ടാകുന്നതിനാൽ, ഒരു ന്യൂട്രോൺ ഇന്ധനത്താൽ ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെട്ടമ്പോൾ ഉണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ കിട്ടുവാൻ മേൽപറഞ്ഞ സംഭാവ്യതയെ 'ν' കൊണ്ടു പെരുക്കണം. ഇതിനെ 'η' ('ഈററ' എന്നുച്ചരിക്കുക) എന്ന സൂചകംകൊണ്ടു കുറിക്കുന്നു.

$$\eta = \nu . \frac{\Sigma_f^{235}}{\Sigma_a^F} \quad \text{.........(27·8)}$$

ഈ ന്യൂട്രോണുകൾ വീണ്ടും ഇന്ധനത്താൽ ആഗിരണംചെയ്യപ്പെടാനുള്ള സംഭാവ്യത 'f' ആണല്ലോ. ആയതിനാൽ അനന്തഗുണനഘടകം,

$$K\infty = \eta . f \quad \text{.........(27·8)}$$

റിയാക്റ്ററിൻെറ പരിമാണം പരിമിതമാണെങ്കിൽ കുറച്ചു ന്യൂട്രോണുകൾ ചോൎന്നുപോകും. അങ്ങിനെ ചോൎന്നുപോകാതിരിക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യതയെ 'p' എന്ന

ചിഹ്നംകൊണ്ടു സൂചിപ്പിക്കുന്നു. അനന്തഗുണനഘടകത്തെ ഇതുകൊണ്ടു പെരുക്കിയാൽ സഫലഗുണനഘടകം ലഭിക്കുന്നു.

$$K = K_\infty \times P = \eta . f . P \qquad \text{.........(27.10)}$$

ന്യൂട്രോൺ ചോൎന്നുപോകാതിരിപ്പാനുള്ള സംഭാവ്യത (non leakage probability), P, റിയാക്ടറിൻെറ പരിമാണത്തെയും യോഗത്തെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കും. കണക്കാക്കുവാൻ കുറച്ചു വിഷമമുള്ള ഒന്നാണിതു്. അതിന്നായി ന്യൂട്രോണിൻെറ ജീവിതത്തെ ഒന്നുകൂടി കൂലങ്കഷമായി പിന്തുടരേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. അതിവേഗത്തിൽ ചലിക്കുന്നവയായിട്ടാണല്ലോ അവ ഭേദനത്തിൽനിന്നും ഉളവാകുന്നതു്. മന്ദീകാരിയുടെ ബീജകേന്ദ്രങ്ങളുമായി ഏററുമുട്ടി മന്ദഗതികളാകുന്നതിന്നിടയിൽ അവ കുറെ ദൂരം സഞ്ചരിച്ചിരിക്കും. ഇങ്ങിനെ ന്യൂട്രോൺ സഞ്ചരിക്കുന്ന ശരാശരി ദൂരത്തിന്നു 'മന്ദീകരണദൈൎഘ്യം' (slowing down length) എന്നു പറയുന്നു. പിന്നീടും കുറെ ദൂരം സഞ്ചരിച്ചതിന്നുശേഷമേ അവ ഗ്രസിക്കപ്പെടുകയുള്ളു. ഇതിന്നു 'വിസരണദൈൎഘ്യം' (diffusion length) എന്നു പറയുന്നു. മന്ദീകരണദൈൎഘ്യം '$\sqrt{T}$' ('ടൌ' എന്നുച്ചരിക്കുക) എന്ന ചിഹ്നത്താലും വിസരണദൈൎഘ്യം 'L' എന്ന ചിഹ്നത്താലും കുറിക്കപ്പെടുന്നു. ഇവ റിയാക്ടറിൻെറ ഘടനയെമാത്രം ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്. (L^2+T) എന്ന രാശിയെ 'പര്യടനക്ഷേത്രം' (migration area) എന്നു പറയുന്നു. M^2 എന്നാണിതിൻെറ സംജ്ഞ.

$$M^2 = L^2 + T \qquad \text{.........(27.11)}$$

റിയാക്റ്റർ 'R' വ്യാസാർദ്ധമുള്ള ഒരു ഗോളത്തിൻെറ ആകൃതിയിലാണെന്നു വിചാരിക്കുക. എങ്കിൽ ന്യൂട്രോൺ ചോരാതിരിക്കുവാനുള്ള സംഭാവ്യത, P, താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന സൂത്ര(formula)പ്രകാരം കണക്കാക്കാം:

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{R}\right)^2 M^2} \qquad \text{.........}(27{\cdot}12)$$

$$(\pi = 3.1416)$$

ആയതിനാൽ സഫലഗുണനഘടകം,

$$K = K\infty . P = \eta . f . \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{R}\right)^2 M^2} \qquad \text{.........}(27{\cdot}13)$$

ക്രാന്തികപരിമാണം, സഫലഗുണനഘടകം 1.000 ആകുമ്പോഴത്തെ പരിമാണമാകുന്നു. അതിനാൽ,

$$1{\cdot}00 = \eta . f . \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{R}\right)^2 M^2}$$

$$1 + \frac{\pi^2 M^2}{R^2} = \eta . f$$

$$R^2 = \frac{\pi^2 M^2}{\eta f - 1}$$

$$R = \sqrt{\frac{\pi^2 M^2}{\eta . f - 1}} = \sqrt{\frac{\pi^2 M^2}{K\infty - 1}} \qquad \text{.........}(27{\cdot}14)$$

മുകളിൽ കൊടുത്തതിനെ 'ക്രാന്തികസമീകരണം' (critical equation) എന്നു പറയുന്നു.

അടുത്തതായി ഒരു ഉദാഹരണമെടുക്കുക. ഒരു റിയാക്ടറിൻെറ യോഗം താഴെ കൊടുക്കുന്നു.

$$N^{235} = 0{\cdot}85 \times 10^{19}$$
$$N^{238} = 1{\cdot}18 \times 10^{21}$$
$$N^{M} = 9{\cdot}0 \times 10^{22}$$

(ഗ്രാഫൈററ്)

താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പരിക്ഷേത്രങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് റിയാക്ടറിൻെറ ക്രാന്തികപരിമാണം കണക്കാക്കുക.

$$\sigma_f^{235} = 550\ b$$
$$\sigma_c^{235} = 100\ b$$
$$\sigma_c^{238} = 2{\cdot}8\ b$$
$$\sigma_c^{M} = 4{\cdot}2\ mb\ (1\ mb = 10^{-3} b)$$

$\sqrt{T} = 18{\cdot}7$ സെ. മീ.

$L = 50$ സെ. മീ.

$\nu = 2{\cdot}5$

ആദ്യമായി സ്ഥൂലപരിക്ഷേത്രങ്ങൾ കണക്കാക്കാം.

$$\Sigma_f^{235} = N^{235} \times \sigma_f^{235} = 0{\cdot}85 \times 10^{19} \times 550 \times 10^{-24}$$
$$= 0{\cdot}00468\ (\text{സെ. മീ.})^{-1}$$

$$\Sigma_c^{235} = N^{235} \times \sigma_c^{235} = 0{\cdot}85 \times 10^{19} \times 100 \times 10^{-24}$$
$$= 0{\cdot}00085\ (\text{സെ. മീ.})^{-1}$$

$$\Sigma_c^{238} = N^{238} \times \sigma_c^{238} = 1{\cdot}18 \times 10^{21} \times 2{\cdot}8 \times 10^{-24}$$
$$= 0{\cdot}0033\ (\text{സെ. മീ.})^{-1}$$

$$\Sigma_c^M = 9.0 \times 10^{22} \times 4.2 \times 10^{-8} \times 10^{-24} = 0.00036 \text{ (സെ. മീ.)}^{-1}$$

$$\Sigma_a^F = \Sigma_f^{235} + \Sigma_c^{235} + \Sigma_c^{238}$$

$$= 0.00468 + 0.00085 + 0.00330$$

$$= 0.00883 \text{ (സെ. മീ.)}^{-1}$$

$$\nu = 2.5$$

$$\eta = \nu \frac{\Sigma_f^{235}}{\Sigma_a^F} = 2.5 \times \frac{0.00468}{0.00883} = 1.325$$

$$f = \frac{\Sigma_a^F}{\Sigma_a^F + \Sigma_c^M} = \frac{0.00883}{0.00883 + 0.00036} = 0.960$$

$$K\infty = \eta \cdot f = 1.325 \times 0.96 = 1.27$$

$$T = (18.7)^2 = 350 \text{ (സെ. മീ.)}^2$$

$$L^2 = (50)^2 = 2500 \text{ (സെ. മീ.)}^2$$

$$\therefore \quad M^2 = 2850 \text{ (സെ. മീ.)}^2$$

ക്രാന്തികവ്യാസാർദ്ധം (critical radius)

$$R = \sqrt{\frac{\pi^2 M^2}{K\infty - 1}} \qquad (\pi = 3.14)$$

$$= \sqrt{\frac{(3.14)^2\ 2850}{1.27 - 1}}$$

$$= 323 \text{ സെ. മീ.}$$

$$= 3.23 \text{ മീറ്റർ}$$

28. റിയാക്ടറിലെ ശക്തിനിയന്ത്രണം

(Control of Power in a Reactor)

ഒരു റിയാക്ടറിൻെറ വലുപ്പം ക്രാന്തികപരിമാണത്തോളംമാത്രമേയുള്ളു എങ്കിൽ വിസ്ഫുജനശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം സാദ്ധ്യമല്ല. അപ്പോൾ അതിനകത്തുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ ഒരു സമയത്തും വൎദ്ധിപ്പിക്കുവാൻ സാധിക്കുകയില്ല. ഗണ്യമായ തോതിൽ ഊൎജ്ജം ലഭിക്കണമെങ്കിൽ റിയാക്ടറിനുള്ളിൽ ഭേദനം നടത്തേണ്ടതായ ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ വളരെ വലുതാണ്. ഇത്രയും അധികം ന്യൂട്രോണുകളെ ആദ്യമേ അകത്തേയ്ക്കു കടത്തിവിടുക സാദ്ധ്യമല്ല. അതിനാൽ സാധാരണയായി റിയാക്ടറുകളെ ക്രാന്തികപരിമാണത്തേക്കാൾ വലുതായാണ് ഉണ്ടാക്കുക. അതായത് ഗുണനഘടകം 1.00ൽ കൂടുതലായിരിക്കും എന്നു്. അപ്പോൾ ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം വിസ്ഫുജിതമാകാതിരിക്കാൻ അധികമുണ്ടാകുന്ന ന്യൂട്രോണുകളെ എങ്ങിനെയെങ്കിലും നീക്കംചെയ്യേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. നിയന്ത്രണദണ്ഡുകളുടെ (control rods) കടമയാണിതു്. കാഡ്മിയ(cadmium)ത്തിനു മന്ദഗതികളായ ന്യൂട്രോണുകളെ ഗ്രസിപ്പാൻ അസാമാന്യമായ കഴിവുണ്ടു്. ഒരു കാഡ്മിയദണ്ഡിനെ റിയാക്ടറിൻെറ അകത്തേയ്ക്കു തള്ളിവെയ്ക്കുകയാണെങ്കിൽ അതു വളരെ അധികം ന്യൂട്രോണുകളെ ഗ്രസിക്കുന്നതായിരിക്കും.

ഒരു റിയാക്ടറിൻെറ ഗുണനഘടകം, നിയന്ത്രണദണ്ഡുകൾ മുഴുവൻ പുറത്തേയ്ക്കെടുത്ത സമയത്തു്, 1.05

ആണെന്നു വിചാരിക്കുക. ഈ സമയത്തു് ഒരു ശൃംഖലാ പ്രതിപ്രവത്തനം ആരംഭിക്കുകയാണെങ്കിൽ അതു വിസ്ഫോ ജിതമായിത്തീരും. നിയന്ത്രണദണ്ഡുകളെ മുഴുവനും അകത്തേയ്ക്കു തള്ളുകയാണെങ്കിൽ ആവശ്യത്തിലധികം ന്യൂട്രോണുകളെ ഗ്രസിച്ചു ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനം സാധ്യമല്ലാതാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. തത്സമയത്തെ ഗുണനഘടകം 1.00ൽ കുറവായിരിക്കും. ഇതു 0.95 ആണെന്നു വെയ്ക്കുക. നിയന്ത്രണദണ്ഡുകളെ ക്രമേണ പുറത്തേയ്ക്കു വലിക്കുകയാണെങ്കിൽ അവ ഗ്രസിക്കുന്ന ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ കുറഞ്ഞുവരികയും ഗുണനഘടകം കൂടിവരികയും ചെയ്യും. ഒരു ഘട്ടത്തിലെത്തുമ്പോൾ ഗുണനഘടകം ശരിക്കു് 1.00 ആയിത്തീരുന്നു. അപ്പോൾ റിയാക്ടർ ക്രാന്തികം (critical) ആയി എന്നു പറയുന്നു. നിയന്ത്രണദണ്ഡുകളെ പിന്നേയും പുറത്തേയ്ക്കു വലിക്കുകയാണെങ്കിൽ ന്യൂട്രോണുകളുടെ ഗ്രസനം പിന്നെയും കുറയുകയും ഭേദനമൊന്നിന്നു് ഒന്നിൽ കൂടുതൽ ന്യൂട്രോണുകൾ വീണ്ടും ഭേദനത്തിന്നു ലബ്ധമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. അപ്പോൾ റിയാക്ടറിൻെറ നില അതിക്രാന്തിക(super critical)മാണു്; ഒരു വിസ്ഫോജനശൃംഖലാ പ്രതിപ്രവത്തനം സംസ്ഥാപിതമാകുകയും റിയാക്ടറിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ വർദ്ധിച്ചുകൊണ്ടുവരികയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങിനെ നിയന്ത്രണദണ്ഡുകളുടെ സ്ഥാനത്തെ നിയന്ത്രിച്ചു റിയാക്ടറിനെ ഉപക്രാന്തികമോ ക്രാന്തികമോ അതിക്രാന്തികമോ ആക്കാം.

സെക്കണ്ടിൽ പത്തോ ആയിരമോ വീതം ഭേദനങ്ങൾമാത്രമാണു് നടക്കുന്നതെങ്കിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ഊർജ്ജ

വമനം വളരെ കുറച്ചുമാത്രമാണെന്നു് അറിയാമല്ലോ. ഏതെങ്കിലും ആവശ്യത്തിന്നു് ഉപയോഗമാകത്തക്കവിധത്തിൽ ഊർജ്ജം ലഭിക്കണമെങ്കിൽ, സെക്കണ്ടിൽ കോടാനുകോടി ഭേദനങ്ങൾവീതം നടക്കണം. അതായതു റിയാക്ടറിൽ അത്രയും ന്യൂട്രോണുകൾ എപ്പോഴും ഉണ്ടായിരിക്കണം. റേഡിയ-ബെറീലിയപ്രഭവത്തിൽനിന്നു് ആയിരക്കണക്കിനോ അല്ലെങ്കിൽ ലക്ഷക്കണക്കിനോ ന്യൂട്രോണുകളെ ലഭിക്കുമായിരിക്കാം. മഹാപത്മ(10^{12})ക്കണക്കിന്നു ന്യൂട്രോണുകളെ അതിൽനിന്നു ലഭിക്കണമെങ്കിൽ കൊല്ലങ്ങൾതന്നെ വേണ്ടിവരും. ക്രാന്തികപരിമാണത്തേക്കാൾ വലുപ്പമുള്ള ഒരു റിയാക്ടറിൽനിന്നും നിയന്ത്രണദണ്ഡുകൾ കൂടുതൽ പുറത്തേയ്ക്കു വലിച്ചെടുത്തു വിവ്രജനശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം സംസ്ഥാപിതമാക്കാമെന്ന വസ്തുത ഈ വിഷമത്തെ തരണംചെയ്യാനായി ഉപയോഗിക്കാം. നിയന്ത്രണദണ്ഡുകളെ കുറേശ്ശെകുറേശ്ശെയായി പുറത്തേയ്ക്കു വലിക്കുക. ഒരു പ്രത്യേകഘട്ടമെത്തുമ്പോൾ ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം തുടങ്ങുന്നു. നിയന്ത്രണദണ്ഡിനെ അവിടെത്തന്നെ വെയ്ക്കുകയാണെങ്കിൽ റിയാക്ടറിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ കൂടുകയോ കുറയുകയോ ചെയ്യില്ല. നിയന്ത്രണദണ്ഡുകളെ കുറച്ചുകൂടി പുറത്തേയ്ക്കു വലിക്കുകയാണെങ്കിൽ വിവ്രജനശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം തുടങ്ങുന്നു. അപ്പോൾ റിയാക്ടറിലുള്ള ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ വർദ്ധിച്ചുതുടങ്ങും. നമുക്കു് ആവശ്യമുള്ളിടത്തോളം ന്യൂട്രോണുകളുണ്ടാകുന്നതുവരെ ഈ വർദ്ധനവു് അനുവദിക്കുക. ആവശ്യമുള്ളിടത്തോളമായാൽ നിയന്ത്രണദണ്ഡുക

ളെ അവയുടെ ക്രാന്തികസ്ഥാനത്തേയ്ക്കുതന്നെ തള്ളി ശൃം ഖലാപ്രതിപ്രവൎത്തനം വിവ്രജിതമല്ലാതാക്കുക. ഇപ്രകാരം ന്യൂട്രോണുകളെ വൎദ്ധിപ്പിക്കുവാൻ കുറച്ചു സമയം മതി. ന്യൂട്രോണിന്റെ ആയുസ്സ് ഒരു സെക്കണ്ടിന്റെ ആയിര ത്തിലൊന്നുമാത്രമാണല്ലോ. അപ്പോൾ ഒരു സെക്കണ്ടിൽ തന്നെ ആയിരം വിവ്രജനഘട്ടങ്ങൾ കഴിഞ്ഞിരിക്കും. അ തായത്തു ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ അത്രയും തവണ ഇരട്ടി ച്ചിരിക്കും. ന്യൂട്രോണുകളുടെ സംഖ്യ കുറയ്ക്കണമെങ്കിൽ നിയന്ത്രണദണ്ഡിനെ ഉള്ളിലേയ്ക്കു തള്ളിയാൽ മതി. ഇങ്ങി നെ റിയാക്ടറിലുള്ള 'ന്യൂട്രോൺസാന്ദ്രത'യെ (Neutron density) ഇഷ്ടംപോലെ കൂട്ടുകയോ കുറയ്ക്കുകയോ ചെയ്യാം.

2൦. പരമാണുശക്തിയുല്പാദനത്തിന്റെ സാങ്കേതികവശങ്ങൾ

(Engineering Aspects of Atomic Power Production)

പരമാണുഭേദനത്തിൽനിന്നും ഉണ്ടാകുന്ന ഊൎജ്ജ ത്തെ സാധാരണ ആവശ്യങ്ങൾക്കു് ഉപയോഗപ്രദമാക്കു വാൻ സാങ്കേതികമായ പല വിഷമതകളുമുണ്ടു്. അവയു ടെയെല്ലാം സവിസ്തരപ്രതിപാദനം ഈ പുസ്തകത്തിന്റെ സീമയിൽ പെടുന്നതല്ല. പൊതുവേ ചുരുക്കി വിവരിക്കാ മെന്നുമാത്രം.

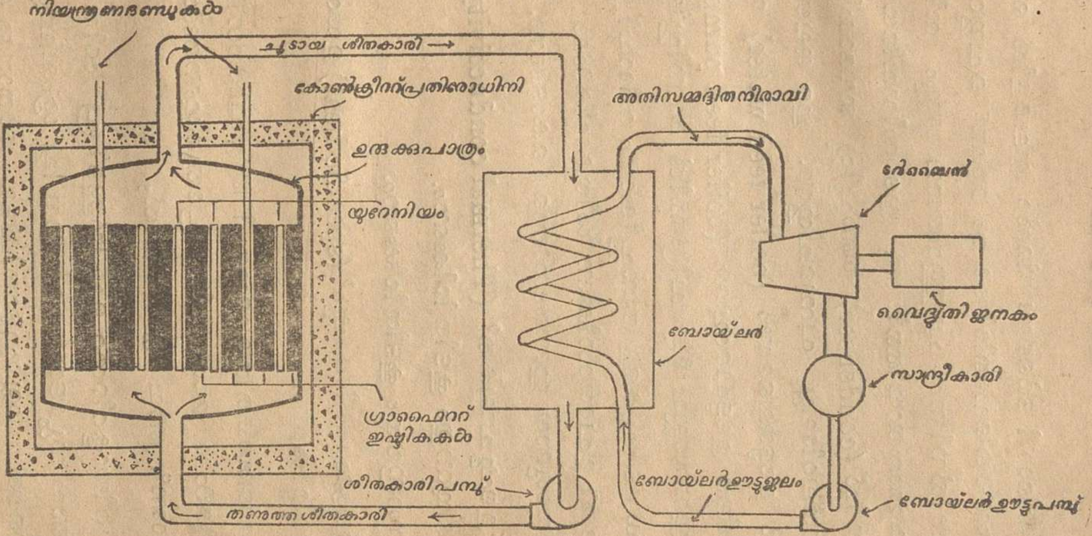
സ്ഥാനോൎജ്ജം, ചലനോൎജ്ജം, പ്രകാശോൎജ്ജം, ഊ ഷ്മോൎജ്ജം, വൈദ്യുതോൎജ്ജം എന്നിങ്ങിനെ പല രൂപത്തി ലാകാമല്ലോ ഊൎജ്ജം. നമുക്കു് ഏററവും ഉപയോഗപ്രദമാ

യ രൂപം വൈദ്യുതോർജ്ജമാണു്. യന്ത്രങ്ങൾ ഓടിക്കുവാനും വിളക്കു കത്തിക്കുവാനും റേഡിയോ പാടിക്കുവാനും പങ്ക തിരിക്കുവാനും എല്ലാം നമുക്കു വിദ്യുച്ഛക്തിയാണു് ആവശ്യം. പക്ഷേ പരമാണുഭേദനത്തിന്റെ ഫലമായി നമുക്കു വിദ്യുച്ഛക്തി നേരിട്ടു ലഭിക്കുന്നതല്ല. ഏതെല്ലാം വിധത്തിലുള്ള ഊർജ്ജങ്ങളാണു് പരമാണുഭേദനത്തിൽനിന്നും സംജാതമാകുന്നതു് എന്നതിന്റെ ഒരു പട്ടിക താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

ഭേദനഖണ്ഡങ്ങളുടെ ചലനോർജ്ജം	168 ± 5	Mev.
ന്യൂട്രോണുകളുടെ ചലനോർജ്ജം	5 ± 0.5	,,
ബീററാകണങ്ങളുടെ ഊർജ്ജം	7 ± 1	,,
ഗാമാരശ്മികൾ	11 ± 2	,,
ആകെ	191 ± 8.5	,,

മേൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ഊർജ്ജങ്ങളിൽ ഒന്നുംതന്നെ നമുക്കു നേരിട്ടുപയോഗിക്കുവാൻ ഉതകുന്നതല്ല. ഭീമഭാഗമായ ചലനോർജ്ജം മുഴുവൻ യുറേനിയദണ്ഡുകളിൽ തന്നെ തങ്ങിനില്ക്കുന്നു. തന്മൂലം ദണ്ഡുകൾ ചൂടുപിടിക്കുകയും അവയുടെ താപം വർദ്ധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. തൽഫലമായി ഉരുകിപ്പോകാതിരിക്കണമെങ്കിൽ അവയെ അനസ്യൂതമായി തണുപ്പിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കണം. ഇതിന്നായി ഉപയോഗിക്കുന്ന പദാർത്ഥത്തെ 'ശീതകാരി' (Coolant) എന്നു വിളിക്കുന്നു. പ്രയോഗത്തിൽ ഒരു റിയാക്ടറിന്റെ രചന ഇപ്രകാരമാണു്: ഉരുക്കുകൊണ്ടുള്ള ഒരു മർദ്ദപാത്രത്തിൽ (pressure vessel) ഗ്രാഫൈററു് (graphite) ഇഷ്ടികകൾ അടുക്കിവെച്ചിരിക്കുന്നു. 9-ാം ചിത്രം നോക്കുക.

ഈ ഗ്രാഫൈറ്റ് അടക്കത്തിൽ ക്രമത്തിൽ ഇടവിട്ടു വൃത്താകാരത്തിലുള്ള ദ്വാരങ്ങൾ ഉണ്ടു്. ഈ ദ്വാരങ്ങളിലാണു് യുറേനിയദണ്ഡുകളെ ഉറപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതു്. യുറേനിയദണ്ഡുകൾ ഇവയിൽ അയവായിട്ടാണു് സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു്. ദണ്ഡുകളെ തണുപ്പിക്കാനുള്ള ശീതകാരി അവയ്ക്കും ഗ്രാഫൈറ്റിന്നും ഇടയിലുള്ള പഴുതുകളിലൂടെ കഴുകുന്നു. ശീതകാരി യുറേനിയദണ്ഡുകളെ തണുപ്പിക്കുന്നതിനോടൊപ്പം സ്വയം തപ്തമായിത്തീരുകയും ചെയ്യുമല്ലോ. യുറേനിയത്തിൻെറ താപം 500°C–600°C–യിൽ കൂടാതെ സൂക്ഷിക്കണം. തണുപ്പിക്കുന്ന പദാൎത്ഥത്തിന്നു് തണുപ്പിക്കപ്പെടേണ്ടതിനെക്കാൾ താപം കുറവായിരിക്കണമല്ലോ. അതിനാൽ ശീതകാരിയുടെ താപം 400°C–500°C–യിൽ കൂടുതലാകാൻ അനുവദിക്കരുതു്. ചൂടുപിടിച്ച ശീതകാരി റിയാക്ടറിൽനിന്നും പുറത്തുവരുന്നു. ഇതിലുള്ള ഊഷ്മത്തെ വിദ്യുച്ഛക്തിയായി മാററണം. അതിന്നുള്ള ഉപകരണങ്ങളാണു് 'ബോയ്‌ലറു'ം (Boiler) 'ടർബൈനു'ം (Turbine). ശീതകാരിയിലുള്ള ഊഷ്മംകൊണ്ടും ബോയ്‌ലറിൽ വെള്ളം തിളപ്പിച്ചു് അതീവസമ്മൎദ്ദത്തോടുകൂടിയ നീരാവിയുണ്ടാക്കുന്നു. (ചിത്രം 9.) ഈ നീരാവി ടർബൈനിൽ പ്രവേശിച്ചു് അതിനെ തിരിക്കുന്നു. ടർബൈനിനോടു ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള വൈദ്യുതജനകവും (dynamo) അതോടൊപ്പം തിരിയുകയും വൈദ്യുതി ഉല്പാദിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. അത്യന്തം സമ്മൎദ്ദിതമായ നീരാവി വികസിക്കുവാൻ അനുവദിച്ചാൽ അതിവേഗത്തോടുകൂടി കഴുകുവാൻ തുടങ്ങും. ഇങ്ങനെ വേഗത്തിൽ



൮
*

ചിത്രം 9

പരമാണുശക്തിനിലയത്തിന്റെ വിവിധഭാഗങ്ങൾ.

ഒഴുകുന്ന നീരാവി ടർബൈനിൻെറ ഇലകളിൽ ചെന്നടിക്കുകയും അതിനെ തിരിക്കുകയും ആണു് ചെയ്യുന്നതു്. ടർബൈനിൽനിന്നും പുറത്തുവരുമ്പോഴേയ്ക്കും നീരാവി വേഗത കുറഞ്ഞതായിത്തീരുന്നു. ഈ നീരാവിയെ സാന്ദ്രീകാരിയിൽ (condenser) തണുപ്പിച്ച ജലമാക്കി വീണ്ടും ബോയ്‌ലറിലേയ്ക്കു പമ്പുചെയ്യുന്നു. ഈ ജലത്തിനു ബോയ്‌ലർ ഊട്ടുജലമെന്നും (boiler feed water) പമ്പിന്നു ബോയ്‌ലർ ഊട്ടുപമ്പെന്നും (boiler feed pump) പറയുന്നു. ഇവയെല്ലാം 9-ാം ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിട്ടുണ്ടു്.

ഇന്ധനദണ്ഡുകളെ തണുപ്പിക്കാനും നീരാവി ഉണ്ടാക്കുവാനുമായി ഉപയോഗിക്കുന്ന ശീതകാരികൾക്കു പൊതുവെ ആവശ്യമായ ഗുണങ്ങൾ താഴെ കൊടുക്കുന്നു.

1. 'ഊഷ്മചാലകത' (Thermal conductivity) കഴിയുന്നതും കൂടിയിരിക്കണം.
2. സാന്ദ്രതയും കൂടിയിരിക്കണം.
3. 'ആപേക്ഷികോഷ്മം' (specific heat) ഉയർന്നതായിരിക്കണം.

പരമാണുശക്തിയുല്പാദനത്തിനു് ഉപയോഗിക്കുന്ന ശീതകാരികൾക്കു മററു ചില പ്രത്യേകഗുണങ്ങൾകൂടി ആവശ്യമാണു്. അവ എന്തെന്നാൽ,

1. റിയാക്ടറിൻെറ ഉള്ളിൽക്കൂടി പ്രവഹിക്കുന്നതുകൊണ്ടു് അവ ന്യൂട്രോണുകളെ ഗ്രസിച്ച ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവത്തനത്തെ വിഘ്നപ്പെടുത്തിക്കൂടാ. അതായതു ഗ്രസനപരിക്ഷേത്രം കുറവായിരിക്കണമെന്നു്.

2. റിയാക്ടറിന്നകത്തുണ്ടാകുന്ന ശക്തിയേറിയ തേജോദ്ഗിരണങ്ങൾ ഏററാൽ അവ കേടുവരികയുമരുതു്.

കാർബൺ ഡൈ ഓക്സൈഡ്, സാധാരണ ജലം, ഘനജലം, ചില കാർബൺയൌഗികങ്ങൾ എന്നിവയാണു് സാധാരണപ്രതിക്രിയാവാഹകങ്ങളിൽ ഉപയോഗിക്കാറുള്ള ശീതകാരികൾ. ചില പ്രത്യേകസന്ദർഭങ്ങളിൽ ദ്രാവകരൂപത്തിലുള്ള സോഡിയ-പൊട്ടാസിയസങ്കരവും (sodium-potassium alloy) ഉപയോഗിക്കാറുണ്ടു്.

പരമാണുഭേദനത്തെ തുടന്നു വലിയ ചലനോർജ്ജത്തോടുകൂടിയ ഭേദനഖണ്ഡങ്ങൾക്കും ന്യൂട്രോണുകൾക്കും പുറമെ ശക്തിയേറിയ ഗാമാരശ്മികളും ബീററാകണങ്ങളും ഉദ്ഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നതായി നാം കണ്ടുവല്ലോ. ഇത്രയും ശക്തിയേറിയ തേജോദ്ഗിരണങ്ങൾ മാരകങ്ങളാണു്. അവ നമ്മുടെ ദേഹത്തിലേല്ക്കുകയാണെങ്കിൽ പലതരത്തിലുള്ള ചർമ്മരോഗങ്ങളും രക്താർബ്ബുദം മുതലായ മാറാവ്യാധികളും പിടിപെടും. റിയാക്ടർസ്ഥാപനങ്ങളിൽ ജോലിയെടുക്കുന്നവരെ ഇപ്രകാരമുള്ള തേജോദ്ഗിരണങ്ങളിൽനിന്നും രക്ഷിക്കേണ്ടതുണ്ടു്. അതിന്നായി ശൃംഖലാപ്രതിപ്രവർത്തനം നടക്കുന്ന അടക്കത്തിന്റെ— ഇതിന്നു റിയാക്ടറിന്റെ കാതൽ (core) എന്നു പറയുന്നു—എല്ലാ ഭാഗവും 6 മുതൽ 12 അടിവരെ വണ്ണമുള്ള ചുമരുകളാൽ മൂടിയിരിക്കും. ഇതിന്നു പ്രതിരോധിനി (shielding) എന്നാണു് പറയുന്നതു്. ഇപ്രകാരം ഒരു റി

യാക്ടറിൻെറ പ്രധാനഭാഗങ്ങൾ ഇന്ധനം, മന്ദീകാരി, നിയന്ത്രണദണ്ഡുകൾ, ശീതകാരി, പ്രതിരോധിനി എന്നിവയാകുന്നു.

30. സമാപനം

പരമാണുശാസ്ത്രത്തിൻെറ അടിസ്ഥാനതത്വങ്ങളെക്കുറിച്ചും അവയെ പരമാണുശക്തിയുല്പാദനത്തിന്നായി എങ്ങനെ ഉപയോഗിക്കാമെന്നതിനെക്കുറിച്ചും കഴിഞ്ഞ ഏതാനും ഖണ്ഡങ്ങളിലായി വിവരിക്കുവാൻ ശ്രമിച്ചിട്ടുണ്ടു്. പരമാണുശക്തികൊണ്ടു വിദ്യുച്ഛക്തിയുല്പാദനം കൂടാതെ മററനേകം ഉപയോഗങ്ങൾകൂടിയുണ്ടു്. കൃത്രിമമായി ഉണ്ടാക്കപ്പെടുന്ന തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾ (Radio Isotopes) വൈദ്യശാസ്ത്രം, കൃഷിശാസ്ത്രം, യന്ത്രശാലകൾ, രസായനശാലകൾ, ഗവേഷണശാലകൾ, എന്നുവേണ്ട, നമുക്കു് ആലോചിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നിടങ്ങളിലെല്ലാം, തങ്ങളുടെ ഉപയോഗത്തെ വെളിപ്പെടുത്തിയിട്ടുണ്ടു്. അത്യന്തം രസാവഹങ്ങളായ ഈ വക വിഷയങ്ങളെക്കുറിച്ചു പ്രതിപാദിക്കാൻ തുനിയുകയാണെങ്കിൽ ആയിരക്കണക്കിന്നു പേജുകൾ വേണ്ടിവരും. പരമാണുശാസ്ത്രത്തെപ്പററി കൂടുതൽ അറിയുവാനുള്ള ആശ ആക്കെങ്കിലും ഉണ്ടാക്കുവാൻ സാധിച്ചിട്ടുണ്ടെങ്കിൽത്തന്നെ ഈ ഗ്രന്ഥകത്താവു കൃതകൃത്യനായി.

KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY
KOTTAYAM

Cl. No M500 Acc. No. 12067

This book should be returned on or before the date last stamped below.

12 9 AUG 1989		
30 JUN [illegible]		

If the book is not returned on due date a fine of 5 Ps. (Five) per day will be charged.

M500 12067

പരമേശ്വരൻ. എം. വി

പരമാണുശാസ്ത്രം

KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY

Call No. M.500 Acc. No. 12061

Author പാറമ്മേക്കൽ · തോം·മ

Title വർത്തമാനപ്പുസ്തകം

Indic Digital Archive Foundation

gpura.org