1073

No. 7513

THE KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY.
KOTTAYAM.

അണുപ്രവർത്തകശക്തി

മദ്രാസ് സർവ്വകലാശാലയിൽനിന
സമ്മാനത്തിനർഹമായതു്

(Malayalam)

Anupravarthakasakthi

Atomic Energy For Peaceful Uses

By M. E. CHACKO, M. A.
No. 1 Ground Training School
Jalahalli East, Bangalore-14

First Published January 1960

Printed at
INDIA PRESS, KOTTAYAM

Price Rs. 3.00

Copyright by
M. E. Chacko

Publishers:
Sahitya Pravarthaka Co-operative Society Ltd., Kottayam, Kerala State

Sales Department:
NATIONAL BOOK STALL
Kottayam Kerala State India

No. 7313

അണുപ്രവൎത്തകശക്തി

അതിൻെറ

സമാധാനപരമായ വിനിയോഗം

THE KOTTAYAM PUBLIC LI
KOTTAYAM

എം. ഈ. ചാക്കോ, എം. ഏ.

പ്രസാധകന്മാർ
സാഹിത്യപ്രവൎത്തക സഹകരണസംഘം

നാഷനൽ ബുക്ക്സ്റ്റാൾ
കോട്ടയം

വില ക. 3.00

This book was awarded
THE MADRAS UNIVERSITY PRIZE
for the encouragement of
works on modern subjects in
Indian languages

M 200
Cha-A

S1032 B668 72/59-60 1-1000

university

THE KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY
KOTTAYAM.

UNIVERSITY OF MADRAS

This thesis has been very well written and it contains a lot of scientific material properly arranged. He has used the Malayalam equivalent terms for the technical terms. He has also given the corresponding English terms in brackets wherever possible. He has dealt with the whole aspect in a very satisfactory manner and the book can be easily read by an ordinary educated man without any specialised knowledge in Nuclear Physics. Both the subject matter and the presentation are good.

(Extract from the reports of the Examiners in Malayalam)

M 5

ഉള്ളടക്കം

	പ്രസ്താവന	5
	ഉപക്രമണിക	9
1	അണുസിദ്ധാന്തം	12
2	അണുശാസ്ത്രവികാസം	30
3	അണുബീജഘടന	49
4	പ്രവൎത്തകശക്തി	61
5	അണുഭഞ്ജനം	75
6	യുറേനിയം	103
7	അണുബോംബ്	129
8	അണുബോംബിനുശേഷം	139
9	അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയും സമാധാനവും	155
10	അണുശക്തിവാഹനങ്ങൾ	171
11	അണുവും രോഗനിവാരണവും	180
12	അണുവും ഭക്ഷ്യോത്പാദനവും	190
13	അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയും വ്യവസായപുരോഗതിയും	202
14	അണുപദ്ധതിയും ഭാരതവും	207
	സാങ്കേതികശബ്ദകോശം	213

[illegible]

By

[illegible] ചാക്കോ [illegible]

പ്രസ്താവന

ആധുനികവിജ്ഞാനീയം പകൎന്നുകൊടുക്കാനുള്ള പ്രാഗത്ഭ്യം പ്രാദേശികഭാഷകൾക്കു കൈവരുത്തണമെന്നുള്ള ലക്ഷ്യത്തോടുകൂടി മദിരാശി സൎവ്വകലാശാല ആവിഷ്കരിച്ച ഗ്രന്ഥരചനാപദ്ധതിയാണു് ഈ ഗ്രന്ഥം രചിക്കുന്നതിനു് എനിക്കു പ്രചോദനം നല്കിയതു്. മദ്രാസ് സൎവ്വകലാശാല അതിനുവേണ്ടി നടത്തിയ മത്സരത്തിൽ ഒന്നാംസമ്മാനത്തിനൎഹമായ ഈ ഗ്രന്ഥം ആ ലക്ഷ്യത്തോട് ഏറെക്കുറെ അടുത്തിട്ടുണ്ടെങ്കിൽ ഗ്രന്ഥകാരൻ ധന്യനായി.

അണുശാസ്ത്രത്തേപ്പോലെ ഗഹനമായ ഒരു വിഷയത്തെ ഉപജീവിച്ച് സമ്പൂൎണ്ണമായി ഉപന്യസിക്കുന്നതിനു് ഉചിതങ്ങളായ സാങ്കേതികപദങ്ങൾ മലയാളത്തിൽ കുറവായതുകൊണ്ടു് ഗ്രന്ഥകാരനു പല ക്ലേശങ്ങളും ഉണ്ടായിട്ടുണ്ടു്. അന്താരാഷ്ട്രപദങ്ങളെത്തന്നെ ഭാഷയിലും പ്രയോഗിച്ചുകൊണ്ടു് ശാസ്ത്രഗ്രന്ഥരചന നിൎവ്വഹിക്കാമെന്നുള്ള അഭിപ്രായം ഏറെക്കുറെ സമാദരണീയമാണെങ്കിലും, ഒരേ വാക്യത്തിൽ ഭാഷയ്ക്കു ചേരാത്ത അനേകം പദങ്ങൾ ആവൎത്തിച്ചുപയോഗിക്കേണ്ടതായി വരുമ്പോൾ വാക്യങ്ങൾക്കു ക്ലിഷ്ടതയും അസുന്ദരത്വവും പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ഈ വൈഷമ്യം പരിഹരിക്കുന്നതിനു്, മൂലപദത്തിലെ ആശയം നഷ്ടപ്പെടുത്താതെയും, അതേസമയം വാക്യത്തിന്റെ അനുസ്യൂതഗതിക്കു പ്രതിബന്ധമുണ്ടാകാതെയും ഇരിക്കത്തക്കവണ്ണം നൂതനപദങ്ങൾ പ്രയോഗിക്കുന്നതിനു ഞാൻ സ്വാതന്ത്ര്യം പ്രകടിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ടു്. എന്നാൽ നൂതനപദങ്ങളോടൊന്നിച്ചുതന്നെ അവയുടെ ഇംഗ്ലീഷുരൂപവും ബ്രാക്കറ്റിൽ ചേൎത്തിരിക്കുന്നതു വായനക്കാരുടെ സൗകൎയ്യത്തെ ഉദ്ദേ

ശിച്ചു മാത്രമാണു്. ഗ്രന്ഥത്തിൽ ആദ്യന്തം ഉപയോഗിച്ചിട്ടുള്ള സാങ്കേതികപദങ്ങളെ സമാഹരിച്ചു് ഗ്രന്ഥാവസാനത്തിൽ ഒരു സാങ്കേതികശബ്ദകോശംകൂടി അനുബന്ധമായി ചേർത്തിട്ടുണ്ടു്. അനുബന്ധത്തിൽ ചേർത്തിട്ടുള്ള ഭാഷീകൃതങ്ങളായ സാങ്കേതികപദങ്ങളിൽ അർഹിക്കുന്നിടത്തോളം ആശയപുഷ്ടി അന്തർല്ലീനമായിട്ടുണ്ടോ എന്നു വിധിയെഴുതേണ്ടതു് പ്രതിപാദ്യവിഷയത്തിലും ഭാഷയിലും ഒരുപോലെ പ്രാവീണ്യം സമ്പാദിച്ചിട്ടുള്ള പണ്ഡിതന്മാരാണല്ലോ. ശാസ്ത്രീയമായ വിഷയങ്ങളെ ഭാഷയിൽ കൈകാര്യം ചെയ്യേണ്ട ഒരു പരിതസ്ഥിതി ഇന്നു സംജാതമായിരിക്കുന്നതിനാൽ മൂലപദങ്ങളിൽ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്ന ആശയത്തിനു ഹാനിതട്ടാതെയും, ഉച്ചാരണത്തിനു പറയത്തക്ക ക്ലേശം സംഭവിക്കാതെയും, സമുചിതങ്ങളെന്നു് എനിക്കു ബോദ്ധ്യമായ പദങ്ങളെയാണു ഞാൻ സ്വീകരിച്ചിട്ടുള്ളതു്. സാങ്കേതികപദസ്വീകരണത്തിനു സംസ്കൃതം മാത്രമാണു് എനിക്കു് അവലംബമായിട്ടുള്ളതും.

മലയാളഭാഷയിൽ ഇന്നു നിലവിലിരിക്കുന്ന സാങ്കേതികപദങ്ങളിൽ ചിലവയെ അതേപടി ഞാൻ സ്വീകരിച്ചിട്ടുണ്ടെങ്കിലും ആശയപുഷ്ടിക്കു വൈകല്യം സംഭവിച്ചിട്ടുണ്ടെന്നു തോന്നീട്ടുള്ള ഏതാനും ചില പദങ്ങളെ ഉപേക്ഷിച്ചു് നൂതനപദങ്ങൾ പ്രയോഗിക്കുവാൻ ഞാൻ നിർബ്ബന്ധിതനായിട്ടുണ്ടു്. ഉദാഹരണമായി 'മൂലകം' എന്ന പദം 'molecule' എന്ന ആംഗലപദത്തോടു് ആശയത്തിലും ശബ്ദത്തിലും തികച്ചും സമാനമായിരിക്കെ, പ്രസ്തുത പദത്തെ 'element' എന്ന പദത്തിന്റെ വിവർത്തനമായി മലയാളത്തിൽ ഉപയോഗിച്ചുകാണുന്നതു് അസമഞ്ജസമായി തോന്നിയതിനാൽ 'molecule'–നെ 'മൂലക'മായും, 'element'–നെ 'ധാതു'വായിട്ടുമാണു് ഞാൻ ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൽ പ്രയോഗിച്ചിട്ടുള്ളതു്.

'വിദ്യുച്ഛക്തി' എന്ന പദത്തിനു 'electricity' എന്ന അർത്ഥ

ത്തിൽ പ്രയോഗപ്രാചുര്യമുണ്ടെങ്കിലും 'elektron' എന്ന ഗ്രീക്കു പദത്തിനു് അർത്ഥമായും ശാബ്ദമായും സാധർമ്മ്യം വഹിക്കുന്ന 'ലാക്ഷാ' എന്ന സംസ്കൃതശബ്ദത്തെ (ഇംഗ്ലീഷിൽ 'lac') ധാതുപദമായി സ്വീകരിച്ച് 'ആലക്തികം' എന്ന പദമാണു് ഞാൻ അംഗീകരിച്ചിട്ടുള്ളതു്.

ധാതുക്കളുടെ അനുക്രമമായ പട്ടികയിൽ 'ഒരേസ്ഥാനത്തിനർഹമായവ' എന്ന അർത്ഥം വരുന്ന 'isotope' (isos + topos = in the same place) എന്ന പദത്തെ 'സ്ഥാനത്തിനു യോഗ്യമായവ' എന്ന അർത്ഥത്തിൽ 'സ്ഥാനീയം' എന്ന പദം കൊണ്ടാണു് ഞാൻ നിർവ്വചിച്ചിരിക്കുന്നതു്.

'The way up' എന്നും, 'the way down' എന്നും അർത്ഥം ലഭിക്കുന്ന ana + hodos, cata + hodos, എന്നീ ഗ്രീക്കുശബ്ദങ്ങളിൽനിന്നും രൂപമെടുത്തിട്ടുള്ള 'anode,' 'cathode' എന്നീ പദങ്ങളെ യഥാക്രമം 'ഉത്പഥം' എന്നും, 'അധഃപഥം' എന്നും വിവർത്തനം ചെയ്തു് ഞാൻ ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൽ പ്രയോഗിച്ചിട്ടുണ്ടു്.

സാങ്കേതികപദനിർമ്മാണത്തിൽ ഞാൻ കൈക്കൊണ്ടിട്ടുള്ള നയം ഏതാണ്ടു മേല്പറഞ്ഞപ്രകാരമാണു്. പണ്ഡിതന്മാരുടെ അംഗീകാരത്തോടൊപ്പം ജനസമ്മതിയും ഇതിനു ലഭിച്ചാൽ 'മമശ്രമം നിഷ്ഫലമല്ല കേവലം' എന്നു് എനിക്കു സമാധാനിക്കാം.

അണുശാസ്ത്രത്തിന്റെ അനുക്രമമായ വികാസത്തേയും, അണുപ്രവർത്തകശക്തിയുടെ സമാധാനപരമായ വിനിയോഗത്തേയും അല്പമായിട്ടെങ്കിലും വിശദമാക്കുവാൻ ഞാൻ ശ്രമിച്ചിട്ടുണ്ടു്. എന്നാൽ പുരോഗമനോന്മുഖമായ ഈ ശാസ്ത്രശാഖ ഇനിയും വളർന്നുകൊണ്ടുതന്നേയിരിക്കുന്നതിനാൽ ഇതേപ്പറ്റി ഗവേഷകന്മാർ നൂതനമായി ലോകത്തിനു നല്കുന്ന അറിവുകളേക്കൂടി ഉൾപ്പെടുത്തിക്കൊണ്ടു് ഈ ഗ്രന്ഥത്തെ കാലോചിത

മായി പരിപോഷിപ്പിച്ചു പ്രകാശിതമാക്കുവാൻ വേണ്ട പ്രോത്സാഹനം ഭാഷാസ്നേഹികളായ വിജ്ഞാനസുഹൃത്തുക്കളിൽ നിന്നു് എനിക്കു ലഭിക്കുമെന്നു ഞാൻ പ്രത്യാശിക്കുന്നു.

ഇങ്ങനെ ഒരു പ്രബന്ധം രചിക്കുന്നതിനു വേണ്ട പ്രോത്സാഹനം നല്കിയ മദിരാശി സർവ്വകലാശാലയോടു ഗ്രന്ഥകാരനുള്ള അപാരമായ കൃതജ്ഞത ഈ ഘട്ടത്തിൽ പ്രകാശിപ്പിച്ചുകൊള്ളട്ടെ.

ഇൻഡ്യൻ രക്ഷാനിയമവകുപ്പനുസരിച്ചു് അതിനു വിധേയനായിക്കഴിയുന്ന ഈ ഗ്രന്ഥകാരനു്, ഇതിൻെറ രചനയിൽ അനുവാദം മാത്രമല്ല, അകമഴിഞ്ഞ പ്രോത്സാഹനവും തന്നതിനു് ഇൻഡ്യൻ വ്യോമസേനാധികാരികളോടുള്ള കടപ്പാടു് എടുത്തുപറയേണ്ടുന്ന ഒന്നാണു്.

ഇക്കാലത്തു് ഗ്രന്ഥരചനയേക്കാൾ പ്രാധാന്യം അർഹിക്കുന്ന ഒന്നാണല്ലോ ഗ്രന്ഥപ്രസാധനവും പ്രസിദ്ധീകരണവും. ഈ വിഷയത്തിൽ മലയാളം മററുള്ള ഭാരതീയഭാഷകളെ അതിശയിച്ചുനില്ക്കുന്നതു് കോട്ടയം സാഹിത്യപ്രവത്തക സഹകരണസംഘത്തിൻെറ കാര്യക്ഷമതകൊണ്ടാണു് എന്നു് എടുത്തുപറയേണ്ടതായിട്ടിരിക്കുന്നു. ഇതിൻെറ പ്രസാധനവും പ്രസിദ്ധീകരണവും ഏറെറടുത്ത സംഘത്തോടു ഗ്രന്ഥകാരനുള്ള അപാരമായ നന്ദി രേഖപ്പെടുത്തിക്കൊള്ളട്ടെ.

മദ്രാസ്
1-1-1960

എം. ഈ. ചാക്കോ

THE KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY.
KOTTAYAM.

ഉപക്രമണിക

1945 ജൂലായ് 16-ാം നു പ്രഭാതത്തോടുകൂടി ന്യൂ മെക്സിക്കോവിലെ പ്രശാന്തഗംഭീരമായ മണൽക്കാടു് ഒരുകൂട്ടം ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ താവളസ്ഥലമായി രൂപാന്തരപ്പെട്ടു. ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ സഹകാരികളായി അമേരിക്കൻ സേനാനികളുടെ ഒരു സംഘവും പ്രസ്തുത സ്ഥലത്തെത്തിയിട്ടുണ്ടു്. ഈ വിജനപ്രദേശത്തു് ഇവരുടെ രഹസ്യസമാഗമത്തിനു കാരണമെന്തായിരിക്കാം?

സേനാനികരം നിശ്ചിതസ്ഥാനങ്ങളിൽ നിലകൊണ്ടു. വൈജ്ഞാനികന്മാർ ഏതോ ഒരു പ്രത്യേക മുഹൂർത്തം സമാഗമിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി അക്ഷമരായി വർത്തിക്കയാണു്. സർവ്വത്ര നിശ്ശബ്ദത. അവർ പ്രതീക്ഷിച്ചുകൊണ്ടിരുന്ന മുഹൂർത്തം ആസന്നമായി. വൈജ്ഞാനികനേതാവിൻെറ നിർദ്ദേശാനുസാരം സമീപസ്ഥിതങ്ങളായ യന്ത്രോപകരണങ്ങളിൽ നിബന്ധിക്കപ്പെട്ട ഒരു ബട്ടൻ ആരോ അമർത്തി. എന്തൊരത്ഭുതം! പ്രപഞ്ചകവാടത്തെ ഭേദിച്ചു് അന്തരീക്ഷത്തിലെ ജ്യോതിർഗ്ഗോളങ്ങരം ഒരേ സ്ഥലത്തു് ആവിർഭവിച്ചതുപോലെ ആ മരുപ്രദേശം പ്രകാശോജ്ജ്വലിതമായി. പരിസരപ്രദേശങ്ങരം ഭീകരമായ ആഗ്നേയവർഷത്തിനു വിധേയമായി എന്നു തോന്നത്തക്കവണ്ണം അത്യുഷ്ണതയുടെ കരാളവീചികരം പ്രസരിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നു. അതിനെത്തുടർന്നുണ്ടായ ഘോരമായ ഇടിനാദം ആ ഭൂപ്രദേശത്തെ പ്രകമ്പിതമാക്കി. ശാസ്ത്രകാരന്മാർ കൃതകൃത്യരായി. ന്യൂ മെക്സിക്കോവിലെ അലമോഗോർഡോ (Alamo-gordo) മരുപ്രദേശത്തിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ട ഈ അത്ഭുതസംഭവം മനുഷ്യചരിത്രത്തിലെ ഒരു നവയുഗത്തിൻെറ സമുദയമായിരുന്നു.

അതേ—അണുയുഗം! അതു് ആരംഭിച്ചുകഴിഞ്ഞു. ഈ യുഗത്തിൻെറ ആഗമനത്തെ വിളംബരം ചെയ്യുന്ന ആചാരവെടിയായിരുന്നു

നാം കേട്ടതു്. ഒന്നാമത്തെ അണുബോംബു് വിജയകരമാംവിധം വിസ്ഫോടനം ചെയ്തു. പക്ഷേ, ലോകമഹായുദ്ധത്തിന്റെ ഇരമ്പലിൽ ആ ഭീകരനാദം ശ്രവിക്കുവാൻ ജനസാമാന്യത്തിനു കഴിവുണ്ടായില്ല.

ഏതാനും ആഴ്ചകൾക്കുശേഷം അതാ വീണ്ടും ഒരു പൊട്ടൽ. ലോകത്തെ മുഴുവനായി ഗ്രസിക്കുവാൻ ശിരസ്സുയർത്തിയ ജപ്പാൻെറ തലയിൽത്തന്നെ അതു പതിച്ചു. ജപ്പാൻസാമ്രാജ്യത്തിൻെറ അഭിമാനനഗരങ്ങളായ 'ഹിരോഷിമാ'യും 'നഗശാകി'യും നാമാവശേഷങ്ങളായി. ഹിരോഷിമായിൽ 50,000 ആളുകൾ ഉടനെ കൊല്ലപ്പെട്ടു. ശേഷിച്ചവരിൽ അതുപോലെയൊരു സംഖ്യ അല്പകാലം കഴിഞ്ഞും മരണമടഞ്ഞു. ആളുകൾ പിന്നെയും മൃതിപ്പെട്ടുകൊണ്ടേയിരുന്നു.

ലോകമഹായുദ്ധത്തിൻെറ ബീഭത്സമായ നടമാട്ടം ഒന്നു നിലച്ചു. എങ്കിലും അതിൻെറ ആഘാതത്തിൽനിന്നു് ലോകം ഇനിയും വിമുക്തമായിട്ടില്ല.

1945 ആഗസ്റ്റ് 6-ാംതീയതി അമേരിക്കൻ ഭരണാദ്ധ്യക്ഷനായ ട്രൂമാൻ അമേരിക്കൻജനതയെ അഭിസംബോധനംചെയ്തുകൊണ്ടു് ചെയ്ത ചരിത്രപ്രധാനമായ പ്രഖ്യാപനത്തിൽനിന്നു മാത്രമാണു് ജപ്പാൻനഗരത്തിൽ പതിച്ച ബോംബ് ഒരണുബോംബായിരുന്നു എന്നു ലോകം ധരിച്ചതു്.

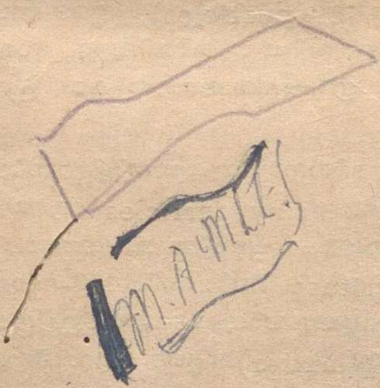
അമേരിക്കൻ പ്രസിഡൻറിൻെറ പ്രഖ്യാപനത്തെത്തുടന്നു് അണുബോംബിനെപ്പററിയും അതിനെ പ്രവത്തനക്ഷമമാക്കുന്ന അണുപ്രവത്തകശക്തി (atomic energy)യെപ്പററിയും അറിയുവാനുള്ള ആകാംക്ഷ ജനഹൃദയങ്ങളിൽ ഉയന്നു. അഭ്യസ്തവിദ്യരായ സാധാരണക്കുപോലും അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ സംബന്ധിച്ച തത്വം അജ്ഞാതമായിരുന്നു.

അണുബോംബിൻെറ നശീകരണശക്തിയെപ്പററിയുള്ള ഭീതി, അതിൻെറ പ്രവത്തനരഹസ്യങ്ങളെപ്പററിയുള്ള ജിജ്ഞാസ ഇവ ഒരണുയുഗത്തെ സ്വാഗതം ചെയ്യുന്നതിനു ജനസാമാന്യത്തിനു പ്രേരകമായി ഭവിച്ചു. അണുബോംബുകൾമൂലം ഹിരോഷിമായ്ക്കും, നഗശാകിക്കും ഉണ്ടായ ഭയങ്കരനാശങ്ങളെക്കുറിച്ചു് വിപുലങ്ങളായ ലേഖനങ്ങൾ വത്തമാനപ്പത്രങ്ങൾ പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തി. 'പ്രസ്തുത ബോംബുകളുടെ വിസ്ഫോടനത്തിൽനിന്നുണ്ടായ തേജോദ്ഗിരണം (radio activity) ഹേതുവായി ആ നഗരങ്ങൾ ദീർഘകാലത്തേക്കു നിവാസയോഗ്യങ്ങളായിത്തീരുവാൻ ഇടയില്ല എന്നുകൂടി പത്രങ്ങൾ പ്രവ

ചിച്ചു. അണുബോംബിലെ അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെ സൃഷ്ടിപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കുവാൻ കഴിയുകയില്ലേ എന്നൊരു പ്രശ്നം ചിന്താശീലന്മാരായ ആളുകളിൽനിന്നുമുയർന്നുവന്നു.

ജനസാമാന്യത്തിനു് ഈ കാലംവരെയും അണുപ്രവർത്തകശക്തി അജ്ഞാതമായിരുന്നുവെങ്കിലും, അണുപ്രവർത്തകശക്തി ആകസ്മികമായി രംഗപ്രവേശം ചെയ്തതല്ല എന്നു നാം ധരിക്കേണ്ടതാണു്. ഭൗതികശാസ്ത്രമേഖലയിൽ അനേകം കാലഘട്ടങ്ങളിലായി ഗവേഷണോദ്ബുദ്ധരായ വൈജ്ഞാനികർ നടത്തിയിട്ടുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ മുഖേന ലഭിച്ചിട്ടുള്ള വിജ്ഞാനശകലങ്ങൾ രൂപം പ്രാപിച്ചതാണു് അണുബോംബു്. അണുബോംബിനെ പ്രവർത്തനക്ഷമമാക്കുന്ന പ്രവർത്തകശക്തിയെ ശരിയായവിധം നിയന്ത്രണം ചെയ്യുന്നപക്ഷം നൂതനമായ ഒരു ലോകത്തെ സൃഷ്ടിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നതാണു് എന്നു നിസ്സംശയം പറയാം.

ഇന്നു് രാഷ്ട്രങ്ങൾ അണുയുഗത്തിന്റെ (Atomic Age) ഉദയംകൊണ്ടു പ്രബുദ്ധമായിരിക്കയാണു്. അണുക്കൾ എല്ലാവർക്കുംവേണ്ടിയുള്ളവയത്രേ. അവയെ ജീവനാശകാരണമായോ, സൃഷ്ടികാരണമായോ ഉപയോഗിക്കുവാനുള്ള അവകാശവും മനുഷ്യർക്കുതന്നെ. അണുക്കളെക്കുറിച്ചും, അവയുടെ പ്രവർത്തകശക്തിയെക്കുറിച്ചുമുള്ള ജ്ഞാനംകൊണ്ടു മാത്രമേ അവയുടെ സൃഷ്ടിപരമായ സാദ്ധ്യതകളെസ്സംബന്ധിച്ചുള്ള വെളിച്ചം മനുഷ്യനു ലഭിക്കുന്നുള്ളു.



അണുസിദ്ധാന്തം
(ATOMIC THEORY)

ഇന്നു് അണു (atom) എന്ന ശബ്ദം കേവലം ബാലന്മാക്കുകൂടി പരിചിതമായിത്തീന്നിരിക്കയാണു്. എന്നാൽ സാങ്കേതികത്വത്തിൽ മറഞ്ഞിരിക്കുന്ന അണുതത്വങ്ങൾ സാമാന്യമായെങ്കിലും ഗ്രഹിക്കണമെങ്കിൽ അണുസിദ്ധാന്തത്തിൻെറ പൂർവ്വചരിത്രവും അതിനെ ആധാരമാക്കിയുള്ള ശാസ്ത്രഗവേഷണവികാസവും മനസ്സിലാക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ടു് അണുസിദ്ധാന്തത്തിൻെറ പ്രാഥമികദശയിലേക്കു് ഒന്നു കണ്ണോടിക്കുകതന്നെ ചെയ്യാം.

പ്രപഞ്ചസംഘടനയെ സംബന്ധിച്ച ഇന്നത്തെ ഗവേഷണങ്ങൾമൂലം ലഭിച്ചിരിക്കുന്ന വിജ്ഞാനങ്ങൾ ഏതാണ്ടു് ഇരുപതു ശതാബ്ദങ്ങൾക്കു മുമ്പുതന്നെ ഗ്രീക്കുതത്വവേദികൾ ആവിർഭവിപ്പിച്ച ചിന്തകളുടെ സമഗ്രമായ ഒരാവിഷ്കരണമാണെന്നു നിസ്സംശയം പറയാം..

ലോകത്തിൽ കാണപ്പെടുന്ന സകല വസ്തുക്കളും കേവലധാതുക്കളായ (elements) ഏതാനും ചില പദാർത്ഥങ്ങളിൽനിന്നു രൂപമെടുത്തിട്ടുള്ളതാണെന്നുള്ള ചിന്താഗതിക്കും അതുപോലെതന്നെ എല്ലാ വസ്തുക്കളും സൂക്ഷ്മങ്ങളായ 'ബിന്ദു' (particles) ക്കളുടെ അഥവാ സൂക്ഷ്മമാത്രകളുടെ (tiny units) വിവിധ രീതിയിലുള്ള സമാഹരണമാണെന്നുള്ള ചിന്താഗതിക്കും ഗ്രീക്കുതത്വജ്ഞാനികൾ പ്രാമാണ്യം നല്കിയിരുന്നു.

ശൂന്യതയെക്കൊണ്ടും, അദർശനീയവും അനിർണ്ണയനീയവുമായ അതിസൂക്ഷ്മബിന്ദുക്കളെക്കൊണ്ടും (tiny particles) ആണു് ലോകം രൂപപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതെന്ന ആശയം പ്രസിദ്ധ യവനതത്വചിന്തകനായ 'ഡെമോക്രിററസ്' (Democritus) ബി. സി. 400–ാമാണ്ടുതന്നെ ലോകത്തെ പഠിപ്പിച്ചു. ഈ സൂക്ഷ്മബിന്ദുക്കളുടെ വിവിധഭാവത്തിലുള്ള സംയോജനമാണു് വസ്തു(matter)ക്കളുടെ ആവിർഭാവത്തിനു നിദാനം എന്നു് അദ്ദേഹം വിശ്വസിച്ചു. ഒരുപക്ഷേ, ബി. സി.

400-നു മുമ്പുതന്നെ ആവിഷ്കൃതമായ ഈ സിദ്ധാന്തമായിരിക്കാം പിൽക്കാലത്തു് അണുസിദ്ധാന്തമായും ആ സിദ്ധാന്തത്തിൽ പ്രതിപാദിതമായ ബിന്ദുക്കൾ (particles) ആയിരിക്കാം അണുക്കളായും (atoms) പരിണമിച്ചതു്. എന്നാൽ ഡെമോക്രിററസ് വിശ്വസിക്കയും പഠിപ്പിക്കയും ചെയ്ത 'ബിന്ദു' ഇന്നു നാം മനസ്സിലാക്കുന്ന അണുവിൽ നിന്നു വളരെ വ്യത്യസ്തമായതായിരുന്നു.

ഇരുമ്പു്, ജലം തുടങ്ങിയ വസ്തുക്കളുടെ ഘടകങ്ങളെപ്പററി നിഷ്കൃഷ്ടമായി ചിന്തിക്കാതെ അവയുടെ എല്ലാം സൂക്ഷ്മാംശങ്ങളായ ബിന്ദുക്കളെ 'ആററം' (atom) എന്ന പദംകൊണ്ടു പ്രതിപാദിച്ചിരിക്കുന്നതിൽനിന്നും, ഇന്നു നാം 'ആററം' അഥവാ അണുവിനു കൊടുക്കുന്ന അർത്ഥമല്ല ഡെമോക്രിററസ് കൊടുത്തിരുന്നതെന്നു തെളിയുന്നുണ്ടു്. ഇരുമ്പു് ഒരു കേവലധാതു(element)വായിരിക്കുന്നിടത്തോളംകാലം അതിൻെറ അവിഭാജ്യാംശത്തെ 'ആററം' എന്നു നാമകരണം ചെയ്യുന്നതു സാധുവാണെന്നിരുന്നാലും, ജലം രണ്ടു ധാതുവസ്തുക്കളുടെ സംയോഗംകൊണ്ടു ലഭിക്കുന്ന ഒരു 'യൗഗിക'വസ്തു (compound) ആകയാൽ അതിൻെറ അവിഭാജ്യാംശത്തെ 'ആററം' എന്ന പദംകൊണ്ടു നിർദ്ദേശിക്കുവാൻ ഇന്നു രസതന്ത്രകാരന്മാർ വിസമ്മതിക്കുന്നു. 'ജലം' എന്നതു് അബ്‌ജനകം (hydrogen) എന്നും അമ്ലജനകം (oxygen) എന്നും രണ്ടു വാതകങ്ങളുടെ സംയോഗഫലമാണു്. ഈ രണ്ടു വാതകങ്ങളും ധാതുവസ്തുക്കളുമാണു്. അവയുടെ ഓരോന്നിൻെറയും സൂക്ഷ്മബിന്ദുക്കളെ 'അണു'(atom) ശബ്ദംകൊണ്ടു നിർദ്ദേശിക്കാമെന്നിരുന്നാലും അവയുടെ രാസയോഗം (chemical combination) കൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന സൂക്ഷ്മജലാംശത്തിനു് 'മൂലകം' (molecule) എന്നാണു് ഇന്നു രസതന്ത്രവൈജ്ഞാനികന്മാർ പേരു കൊടുത്തിരിക്കുന്നതു്.

'ആററം' അഥവാ 'അണു' ഒരു ധാതുവിൻെറ അവിഭാജ്യമായ സൂക്ഷ്മരൂപമാണെന്നു് ആ പദരചനയുടെ അർത്ഥംതന്നെ വ്യക്തമാക്കുന്നുണ്ടു്. 'അ' എന്നും 'ടെമ്നോ' എന്നും ഉള്ള രണ്ടു ഗ്രീക്കുപദങ്ങളുടെ ഏകീകരണംകൊണ്ടുണ്ടായ ഏകപദമാണു് 'ആറ്റം' (atom). ഗ്രീക്കുഭാഷയിലും സംസ്കൃതത്തിലെന്നപോലെ 'അ' എന്ന ശബ്ദം നിഷേധാർത്ഥദ്യോതകമാണു്. 'ടെമ്നോ' (temno) എന്നതിനു വിഭജിക്കുക എന്നാണർത്ഥം. അപ്പോൾ 'ആററം' എന്ന പദത്തിനു് 'അവിഭാജ്യം' (indivisible) എന്നർത്ഥം സിദ്ധിക്കുന്നു.

ഏതെങ്കിലും ഒരു ധാതുവസ്തുവിനെ (element) രണ്ടായി വിഭജിക്കുക—അതിൽ ഒരു ഭാഗത്തെ വീണ്ടും വിഭജിക്കുക. ഈ വിഭജനക്രിയ അനുസ്യൂതമായി നിവ്വഹിച്ചാൽ അവിഭാജ്യമായ ഒരു മൂലാംശത്തിൽ എത്തിച്ചേരുന്നു. ഈ അംശത്തെയാണ് ആററം എന്ന പദം കൊണ്ടു നിർദ്ദേശിക്കാവുന്നതു്.

ഡെമോക്രിററസ്സിൻെറ അനുഗാമികളായിരുന്ന പുരാണചിന്തകന്മാർ ഈ വസ്തുസൂക്ഷ്മാംശങ്ങളുടെ സ്വഭാവത്തെപ്പററി വിചിന്തനം ചെയ്കതിൽ ദ്രവ്യവസ്തുക്കളുടെ (liquids) ചലനധമ്മത്തിനു നിദാനം അവയിലെ സൂക്ഷ്മബിന്ദുക്കളുടെ മാർദ്ദവമാണെന്നും ഘനവസ്തുക്കളുടെ (solids) അചലധമ്മത്തിനു നിദാനം അവയിലെ സൂക്ഷ്മബിന്ദുക്കളുടെ കാക്കശ്യമാണെന്നും (roughness) തീരുമാനിച്ചു.

ഡെമോക്രിററസ്സിൻെറ സിദ്ധാന്തത്തിനു് ബി. സി. 384–നും, 322–നും ഇടക്കു ജീവിച്ചിരുന്ന അരിസ്റ്റോട്ടൽ പ്രാധാന്യം നല്കിയില്ല. ശാസ്ത്രീയവിഷയങ്ങളെപ്പററി നിശ്ചിതമായി വിധിപ്രസ്താവം ചെയ്യാൻ അരിസ്റ്റോട്ടലിനെ അതിശയിക്കുന്നതിനു് ആരുംതന്നെ ഇല്ലെന്നു വിശ്വസിച്ചിരുന്ന മദ്ധ്യകാലഘട്ടത്തിലെ (Middle Ages) ജനങ്ങൾ ഡെമോക്രിററസ്സിൻെറ അഭിപ്രായങ്ങളെ അവഗണിച്ചതിനാൽ അനേക ശതാബ്ദത്തോളം ഡെമോക്രിററസ്സിൻെറ അണുസിദ്ധാന്തം തിരസ്കൃതമായിത്തന്നെ ഭവിച്ചെങ്കിലും ബി. സി. 300–ൽ ജീവിച്ചിരുന്ന 'എപ്പിക്യൂറസ്സും' (Epicurus) പ്രസിദ്ധ ലത്തീൻ കവിയായിരുന്ന 'ലുക്രീഷ്യസ്സും' (Lucretuis) ഈ സിദ്ധാന്തത്തെത്തന്നെ ആശ്ലേഷിച്ചു. ലുക്രീഷ്യസ്സിൻെറ 'De Rerum Naturae' അഥവാ 'വസ്തുക്കളുടെ പ്രകൃതിയെ സംബന്ധിച്ചു്' (On the nature of things) എന്ന ശാസ്ത്രീയകവിത ഈ സിദ്ധാന്തത്തിൻെറ യാഥാത്ഥ്യത്തെ ആവിഷ്കരിക്കുന്നുണ്ടു്.

പ്രപഞ്ചവസ്തുക്കൾ എല്ലാംതന്നെ കേവലധാതുക്കളായ (simple elements) ഏതാനും ചില പദാത്ഥങ്ങളിൽനിന്നും രൂപപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതാണു് എന്ന ചിന്താഗതിയെയത്രെ അരിസ്റ്റോട്ടൽ അനുകൂലിച്ചതു്. ഈ സിദ്ധാന്തത്തിനാണു് മദ്ധ്യകാലയുഗത്തിൽ വ്യാപകമായ ജനസമ്മതി ലഭിച്ചതു്.

അരിസ്റ്റോട്ടൽ ധാതുക്കളായി കരുതിയിരുന്ന വസ്തുക്കൾ മണ്ണു് (earth), വായു (air), ജലം (water), അഗ്നി (fire) എന്നിവയാണു്. ഇന്നു നാം നിണ്ണയിച്ചിരിക്കുന്ന ധാതുക്കളുടെ(elements)തുതാ

യത്ത് രാസകധാതുക്കളുടെ (chemical elements) പരിധിയിൽ ഇവയെ ഉറപ്പെടുത്തുവാൻ നിവൃത്തിയില്ല. അരിസ്റ്റോട്ടലിൻെറ സങ്കല്പത്തിലുള്ള ഈ നാലു ധാതുക്കളും ചൂട്, തണുപ്പ്, കായ്‌വ് (ഉണക്ക്), നനവ് എന്നീ നാലു ധർമ്മങ്ങളെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നതാണെന്ന് അദ്ദേഹം വ്യാഖ്യാനിച്ചു. മൃത്തിൽ ഉണക്ക്, തണുപ്പ് ഈ ധർമ്മങ്ങളും, ജലത്തിൽ നനവ്, തണുപ്പ് ഈ ധർമ്മങ്ങളും, അഗ്നിയിൽ കായ്‌വ്, ചൂട് എന്നിവയും, വായുവിൽ നനവ്, ചൂട് എന്നീ ധർമ്മങ്ങളും അദ്ദേഹം വിഭാവനം ചെയ്തു. ഈ നാലു ധാതുക്കളാണ് പ്രപഞ്ചസൃഷ്ടിക്കു നിദാനമെന്നും ഇവയുടെ വിവിധരീതിയിലുള്ള സംയോഗംകൊണ്ടാണ് വിവിധ വസ്തുക്കൾ രൂപം പ്രാപിക്കുന്നതെന്നുമുള്ള വിശ്വാസം പ്രബലപ്പെട്ടതോടുകൂടി ഇരുമ്പ്, ഈയം (lead) തുടങ്ങിയ അടിസ്ഥാനലോഹങ്ങളെ (base metals) ചില രാസവിദ്യക്കു വിധേയമാക്കിയാൽ സ്വർണ്ണംതുടങ്ങിയ അമൂല്യവസ്തുക്കളായി മാററാവുന്നതാണെന്ന് ഒരുക്കൂട്ടം രാസവിദ്യാകാരന്മാർ (alchemists) ജനങ്ങളെ വിശ്വസിപ്പിച്ചു. വസ്തുവിപരിണാമത്തിനു (transmutation) നിദാനമായ ഈ രാസവിദ്യ (alchemy)യുടെ അത്ഭുതരഹസ്യത്തിൽ സാമാന്യജനങ്ങൾ എന്നല്ല, യൂറോപ്പിലെ നിരവധി രാജാക്കന്മാർപോലും കൗതുകം പ്രദർശിപ്പിക്കുകയും സാമ്പത്തികമായ പിന്തുണ നല്കുകയും ചെയ്തു.

രാസവിദ്യാകാരന്മാരുടെ മായാപ്രയോഗങ്ങളെപ്പററിയും അതിനുവേണ്ടി അവർ സജ്ജമാക്കിയിരുന്ന പരീക്ഷണശാലകൾ (laboratories), ഉപകരണങ്ങൾ ഇവയെക്കുറിച്ചും മററും പതിനാറാം ശതാബ്ദത്തിലെ 'പരാസെൽസസ്' (Paracelsus) എന്ന ഒരെഴുത്തുകാരൻ വിദഗ്ദ്ധമായി വർണ്ണിച്ചിട്ടുണ്ട്.

ഒരു വസ്തുവിനെ വേറൊന്നായി രൂപപ്പെടുത്തുന്നതിനുള്ള യത്നം മദ്ധ്യകാലയുഗത്തിലെ വെറും ഒരു വ്യാമോഹം മാത്രമായിരുന്നുവെങ്കിലും ആധുനികകാലത്ത് അതു പ്രായോഗികമാക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ ശാസ്ത്രവികാസം ഉണ്ടായിട്ടുണ്ടെന്നുള്ളതു വിസ്മരിക്കാവുന്നതല്ല.

രാസധാതുകങ്ങളും യൗഗികങ്ങളും
(Chemical Elements and Compounds)

രസവിജ്ഞാനീയത്തിൽ (Chemistry) പദാർത്ഥങ്ങളെ ധാതുകങ്ങൾ (elements) എന്നും യൗഗികങ്ങൾ (compounds) എന്നും

രണ്ടായി തരംതിരിച്ചിട്ടുണ്ട്. ധാതുകങ്ങളുടെ രാസപരമായ സംയോഗമാണ് യൗഗികത്തിനു ഹേതു.

ഒരു ധാതുകത്തെ വിശകലനം ചെയ്ത് അവിഭാജ്യമായ നിലയിൽ എത്തിച്ചേരുമ്പോൾ ലഭിക്കുന്ന അതിസൂക്ഷ്മമായ അംശത്തെയാണ് 'അണു' (atom) എന്നു രസതന്ത്രകാരന്മാർ വ്യവഹരിക്കുന്നതു്. ഒരു ധാതുവിലെ അണുക്കൾ ആകൃതിയിലും ധൎമ്മത്തിലും (property) ഒരുപോലെയാകുന്നു. പ്രകൃതിവസ്തുക്കളിൽ ധാതുകങ്ങളുടെ എണ്ണം വളരെ കുറവാണ്. സ്വൎണ്ണം, വെള്ളി, ചെമ്പ്, ഇരുമ്പ്, ഗന്ധകം (sulphur), ഭാസ്വരം (phosphorus), ഇംഗാലം (carbon) തുടങ്ങിയ ഘനവസ്തുക്കളും, അബ്ജനകം (hydrogen), അമ്ലജനകം (oxygen), ഹരിതകം (chlorine) തുടങ്ങിയ വാതകങ്ങളും, രാസകധാതുക്കളുടെ പട്ടികയിൽ പെടുന്നവയാണ്. ധാതുക്കളുടെ പട്ടികയിൽ ഉൾപ്പെടുത്തുവാൻ നിവൃത്തിയില്ലാത്തവയാണു പ്രകൃതിയിൽ നിരവധിയായി കാണുന്നതു്. പക്ഷേ, ഈ വസ്തുക്കൾ ധാതുകങ്ങളുടെ മിശ്രണംകൊണ്ടോ സംയോഗം (combination) കൊണ്ടോ ലഭിക്കുന്നവയാണ്. ധാതുകങ്ങളുടെ മിശ്രണംകൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് 'മിശ്രിത'ങ്ങൾ (mixtures) എന്നും സംയോഗംകൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന വസ്തുക്കൾക്ക് 'യൗഗിക'ങ്ങൾ (compounds) എന്നും പറയാം.

അമ്ലജനകത്തിൻേറയും പാക്യജനകത്തിൻേറയും (nitrogen) മിശ്രണംകൊണ്ടുണ്ടായിട്ടുള്ള മിശ്രിത വസ്തുവാണ് (mixture) വായു. എന്നാൽ അമ്ലജനകത്തിൻേറയും അബ്ജനകത്തിൻേറയും സംയോഗംകൊണ്ടു ജനിക്കുന്ന യൗഗികവസ്തുവാണ് ജലം.

മിശ്രിതവസ്തുക്കളിൽ അവയുടെ ഘടകാംശങ്ങളുടെ ധൎമ്മങ്ങൾ പ്രകടമായിരിക്കും. പക്ഷേ, യൗഗികവസ്തുക്കളുടെ ധൎമ്മം അല്ലെങ്കിൽ സ്വഭാവം അവയുടെ ഘടകാംശങ്ങളുടെ ധൎമ്മങ്ങളിൽനിന്നു വ്യതിരിക്തമായിട്ടുള്ളതാണ്. യൗഗികവസ്തുക്കൾ ആവിർഭവിക്കുന്നതു് അവയിലെ ഘടകാംശങ്ങളായ ധാതുകങ്ങളുടെ അണുക്കൾ തമ്മിൽ ചില രാസനിയമങ്ങൾ അനുസരിച്ചു യോജിക്കുന്നതുകൊണ്ടത്രേ.

THE KOTTAYAM PUBLIC LIB
KOTTAYAM.

നിശ്ചിതാനുപാതനിയമവും ഗുണിതാനുപാതനിയമവും
(Law of Definite Proportion and Law of Multiple Proportion)

അണുസിദ്ധാന്തത്തെപ്പററിയുള്ള ആധുനിക ചിന്താഗതിക്കു വെളിച്ചം നല്കിയതു സുപ്രസിദ്ധ ആംഗല രസതന്ത്രകാരനായ ജോൺ ഡാൾട്ടൻ (John Dalton) ആയിരുന്നു. അദ്ദേഹം 1808-ൽ പ്രസിദ്ധീകരിച്ച 'അഭിനവ രാസസിദ്ധാന്തപദ്ധതി' (A New System of Chemical Philosophy) എന്ന ഗ്രന്ഥം അണുസിദ്ധാന്തപരമായി ഒരു നവജീവൻ പ്രദാനംചെയ്യുന്നുണ്ട്. ഒരു യൗഗികവസ്തുവിൻെറ ഉത്പാദനത്തിനാവശ്യകമായ ധാതുകങ്ങളുടെ 'ഭാര'ങ്ങൾ (weight) തമ്മിലുള്ള ബന്ധം എന്തായിരിക്കണമെന്നുള്ളതിനെ ആസ്പദമാക്കി ഡാൾട്ടൻ വിവിധ പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയതിൻെറ ഫലമായി ധാതുകങ്ങളുടെ സംയോഗവിധത്തെപ്പററിയുള്ള ഒരു തത്വം അദ്ദേഹം കണ്ടുപിടിച്ചു. ഒരു യൗഗികത്തിൻെറ (compound) ഘടകാംശങ്ങളായ ധാതുകങ്ങളുടെ (elements) ഭാരങ്ങൾ നിശ്ചിതമായ ഒരനുപാതക്രമത്തിലായിരിക്കും ആ യൗഗികത്തിൽ എപ്പോഴും നിബന്ധിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതെന്ന് അദ്ദേഹം മനസ്സിലാക്കി. ഇതിനാണു രസതന്ത്രത്തിൽ നിശ്ചിതാനുപാതനിയമം (Law of Definite Proportion) എന്നു പറയുന്നതു്. ഉദാഹരണമായി ജലോത്പാദനത്തിനു നിദാനമായ അബ്ജനകത്തിൻെറയും (hydrogen) അമ്ലജനകത്തിൻെറയും (oxygen) ഭാരങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ബന്ധം, ഓരോ അംശം അബ്ജനകത്തിനും എട്ടു് അംശം അമ്ലജനകം എന്ന കണക്കിലാണു്. ഒരു ഗ്രാം അബ്ജനകവും ഒൻപതു ഗ്രാം അമ്ലജനകവും തമ്മിൽ യോജിപ്പിച്ചു രാസയോഗം വരുത്തുവാൻ നാം ശ്രമിച്ചാൽ, അമ്ലജനകത്തിൽ ഒരു ഗ്രാം രാസയോഗക്രിയയ്ക്കു വിധേയമാകാതെ അവശേഷിക്കുന്നു എന്നു കാണാം. എന്നാൽ ഒരുഗ്രാം അബ്ജനകവും ഏഴുഗ്രാം അമ്ലജനകവും തമ്മിൽ രാസയോഗത്തിനു വിധേയമാക്കിയാൽ എട്ടിൽ ഒന്നു് അബ്ജനകം രാസക്രിയയ്ക്കു വിധേയമാകാതെ അവശേഷിക്കുന്നു. അതിനാൽ നിശ്ചിതാനുപാതനിയമത്തെ ആധാരമാക്കിയാണു ധാതുവസ്തുക്കളുടെ സംയോഗം എന്നു സിദ്ധിക്കുന്നു.

ഈ ധാതുയോഗതത്വത്തെ നിയമരൂപേണ വെളിപ്പെടുത്തിയതു

ഡാറംട്ടൻ ആണെന്നിരുന്നാലും ആദ്യമായി സമത്ഥിച്ചതു ജോസഫ് പ്രൗസ്റ്റ് (Joseph Proust) എന്ന ശാസ്ത്രകാരനായിരുന്നു. പ്രൗസ്റ്റിൻെറ പരീക്ഷണങ്ങളെ അവലംബമാക്കി ഡാറംട്ടൻ വിവിധ പരീക്ഷണങ്ങറം നടത്തുകയും ധാതുകങ്ങളുടെ രാസയോഗത്തെ പരാമശിച്ച് 'ഗുണിതാനുപാതനിയമം' (Law of Multiple Proportion) എന്ന വേറൊരു തത്വംകൂടി വെളിപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്തു. ചില രാസധാതുക്കളുടെ പരസ്പരസംയോഗംകൊണ്ടു വിവിധങ്ങളായ യൗഗികവസ്തുക്കറം ആവിർഭവിക്കുന്നു. അങ്ങനെയെങ്കിൽ നിണ്ണിതഭാരാത്മകമായ ഒരു ധാതുവുമായി രാസയോഗം ഭവിച്ച് അനേകം യൗഗികങ്ങറം ഉത്ഭവിക്കുന്നതിനു് ആവശ്യകമായ ഇതരധാതുവിൻെറ വിവിധ ഭാരങ്ങറംക്കു് ആനുപാതികമായ ഗുണിതബന്ധം ഉണ്ടെന്നുള്ളതാണു് ഗുണിതാനുപാതനിയമം. അമ്ലജനകം (oxygen), പാക്യജനകം (nitrogen) ഈ ധാതുകങ്ങളുടെ രാസയോഗംകൊണ്ടു് അഞ്ചു യൗഗികങ്ങറം ജനിപ്പിക്കാവുന്നതാണല്ലോ. ഈ അഞ്ചു യൗഗികവസ്തുക്കളിൽ അമ്ലജനകത്തിൻെറ ഭാരങ്ങളെ നിണ്ണിതഭാരാത്മകമായ പാക്യജനകവുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ ഉണ്ടാകുന്ന ബന്ധം 1; 2: 3: 4: 5 എന്ന വിധത്തിലാണു്.

ആധുനികരസതന്ത്രം ഡാറംട്ടൻെറ അണുസിദ്ധാന്തത്തെ ആധാരമാക്കി പ്രവത്തിക്കുന്നുവെന്നു സാമാന്യേന പറയാം.

മൂലകങ്ങറം
(Molecules)

1811-ൽ അമദിയോ ആവഗഡ്രോ (Amadeo Avagadro) എന്ന ഇററാലിയൻ ഭൗതികവൈജ്ഞാനികൻ ഡാറംട്ടൻെറ അണുസിദ്ധാന്തത്തിനു് ഉപോത്ബലകമായവിധം വിശദീകരണം നല്കിയതോടൊപ്പം യൗഗികവസ്തുക്കളുടെ സൂക്ഷ്മാംശങ്ങളായ 'മൂലക'ങ്ങളെ (molecules) പ്പററി ആദ്യമായി ഉപന്യസിച്ചു. അദ്ദേഹത്തിനു മുമ്പായി 'ആററം' അഥവാ അണുധാതുകങ്ങളുടെ (elements) അവിഭാജ്യാംശത്തെയെന്നപോലെ അവയുടെ രാസയോഗംകൊണ്ടുളവാകുന്ന യൗഗികങ്ങളുടെ സൂക്ഷ്മാംശങ്ങളെക്കുറിക്കുന്നതിനും ഉപയോഗിച്ചിരുന്നു. എന്നാൽ ഇവ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യസ്തഭാവത്തെ ആവഗഡ്രോ പ്രകടമാക്കി. രാസകധാതുക്കളുടെ അവിഭാജ്യാംശത്തിനു മാത്രമേ

'ആററം' എന്ന പേരു നല്കുവാൻ പാടുള്ള എന്നും യൗഗികങ്ങളുടെ സൂക്ഷ്മാംശങ്ങറംക്കു 'മൂലകങ്ങറം' (molecules) നിർദ്ദേശിക്കുന്നതാണുത്തമം എന്നും അദ്ദേഹം നിരൂപിച്ചു.

ഒരു ജലമൂലകത്തിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന അബ്ജനകത്തിൻെറയും അമ്ലജനകത്തിൻെറയും അണുക്കറം തമ്മിലുള്ള ബന്ധം 2: 1 എന്നാകുന്നു. ഈ സംബന്ധത്തെയാണ് H_2O എന്ന ജലമൂലകത്തിൻെറ രാസകചിഹ്നം (chemical symbol) വ്യക്തമാക്കുന്നതു്. ഒരു യൗഗികവസ്തുവിൻ്റെ ധമ്മത്തോടുകൂടിയ ആ വസ്തു സൂക്ഷ്മാംശമാണു 'മൂലകം' എന്നു ധരിക്കേണ്ടതാണ്. ഒരു വാതകധാതുവിൻെറ (gaseous element) അണുക്കളുടെ യോഗംകൊണ്ടും 'മൂലകം' ഉണ്ടാകാം എന്നു് ആവഗഡ്രോ വെളിപ്പെടുത്തി.

വസ്തുവും ആലക്തികവും
(Matter and Electricity)

ഡാൽട്ടൻെറ രാസകമായ അണുസിദ്ധാന്തത്തെ (Chemical Atomic Theory) തുടന്നു് ഉദ്ദേശം 30 സംവത്സരം കഴിഞ്ഞു് 19-ാം ശതാബ്ദത്തിലെ ഭൗതികശാസ്ത്രപരീക്ഷണവിദഗ്ദ്ധനായ ഫാരഡേ (Faraday) ഒരു പദാത്ഥത്തിലെ രാസകഭാവത്തിനും ആലക്തികഭാവത്തിനും (electrical state) തമ്മിൽ സുദൃഢമായ ഒരു ബന്ധം ഉണ്ടെന്നു കണ്ടുപിടിച്ചു.

ആലക്തികശാസ്ത്രത്തിനു(Science of Electricity) തന്നെ ഒരു പുരാതനത്വമുണ്ടു്. ലാക്ഷാ (amber) തുടങ്ങിയ ചില വസ്തുക്കളെ ഘർഷണത്തിനു വിധേയമാക്കുമ്പോറം, അവ സമീപത്തുള്ള അതിലഘുക്കളായ നിസ്സാരവസ്തുക്കളെ ആകർഷിക്കത്തക്ക ഉജ്ജ്വലതയുള്ളതായി ഭവിക്കുന്നു. ഈ ഉജ്ജ്വലാവസ്ഥയ്ക്കാണു ലാക്ഷാശബ്ദത്തിനു സമാനമായി ഗ്രീക്കുഭാഷയിലെ 'ഇലക്ത്രോൺ' (electhron) എന്ന പദത്തെ ആസ്പദമാക്കി 'ഇലക്ട്രിക്ക്' (electric) എന്ന സംജ്ഞ ഇംഗ്ലീഷിൽ നല്കിയിരിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ ഭാഷയിൽ ഇതിനു് 'ആലക്തികം' (ലാക്ഷാ —> ആലക്തികം) എന്നു നാമനിർദ്ദേശം ചെയ്യാം.

17-ാം ശതാബ്ദമായപ്പോഴേക്കും ഘർഷണംകൊണ്ടു ചില വസ്തുക്കറം എന്നല്ല, അധികം വസ്തുക്കളും ആലക്തികഭാവാത്മകമായി (electrify)ത്തീരുന്നു എന്ന സംഗതി ഭൗതികവൈജ്ഞാനികർ അംഗീകരിച്ചു. 1733-ൽ 'ഡൂഫേ' (Dufey) എന്ന ശാസ്ത്രകാരൻ ആല

ക്തികശക്തിക്കുതന്നെ രണ്ടു വിപരീതഭാവങ്ങൾ ഉണ്ടെന്നു പരീക്ഷണങ്ങൾകൊണ്ടു മനസ്സിലാക്കി. ഇതിനാണു് ആലക്തികശക്തിയുടെ ദ്വൈതഭാവം(dualism of electricity) എന്നു പറയുന്നതു്. ഒന്നിനു് 'ധനകം' (Positive) എന്നും അതിൻെറ വിപരീതഭാവത്തിനു 'ഋണകം'(Negative)എന്നും ആലക്തികധൎമ്മത്തെ ആധാരമാക്കി നാമകരണം ചെയ്യാം. വൾക്കനൈററിനെ (vulcanite) കമ്പിളികൊണ്ടു ഘൎഷണംചെയ്യുമ്പോൾ വൾക്കനൈററിൽ പ്രേരിതമാകുന്ന ആലക്തികത ഋണകത്തിനും (Negative) സ്ഫടികത്തിൽ പട്ടുകൊണ്ടുള്ള ഘൎഷണംമൂലം പ്രേരിതമാകുന്ന ആലക്തികത ധനകത്തിനും (Positive) ഉദാഹരണങ്ങളാണു്.

സമാനങ്ങളായ ആലക്തികഭാവങ്ങൾ തമ്മിൽ വികൎഷണവും (repulsion) അസമാനങ്ങളായ ആലക്തികഭാവങ്ങൾ തമ്മിൽ ആകൎഷണവും (attraction) കാണുന്നതുതന്നെ ഈ വിപരീതാലക്തികഭാവങ്ങൾക്കുള്ള ധൎമ്മവൈവിദ്ധ്യത്തെ സമൎത്ഥിക്കയാണു്.

ആലക്തികഭാരത്തിൻെറ പരിമാണനിൎണ്ണയം
(Measurement of Electric Charge)

വസ്തുക്കളുടെ ഭാരം നിൎണ്ണയിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതുപോലെ അവയിൽ ഉജ്ജ്വലമാകുന്ന ആലക്തികഭാരത്തിന്റെ (electrical charge) പരിണാമം നിൎണ്ണയിക്കുന്നതിനു സാധകമായ ഒരു നിയമം 18-ാം ശതാബ്ദത്തിൻെറ ഉത്തരാർദ്ധത്തിൽ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ വെളിവാക്കി. ഇതിനെ 'നിശ്ചലാലക്തികമാത്ര'(electrostatic unit) എന്നത്രേ പറയുന്നതു്. ഒരു സെൻറീമീററർ അകലത്തിൽ വൎത്തിക്കുന്ന രണ്ടു സമാനാലക്തികങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള വികൎഷണത്തിൻെറ പരിമാണത്തെയാണു് 'നിശ്ചലാലക്തികമാത്ര' എന്നു നിൎദ്ദേശിക്കുന്നതു്.

19-ാംശതാബ്ദമായപ്പോഴേക്കും ആലക്തികശക്തി പ്രവാഹധൎമ്മത്തെ ആധാരമാക്കിയുള്ള പര്യവേക്ഷണങ്ങളും ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ആരംഭിച്ചുകഴിഞ്ഞു. സ്ഫടികം, റബ്ബർ ആദിയായ വസ്തുക്കളിൽ ഉളവാകുന്ന ആലക്തികശക്തിക്കു് ഒരു സ്ഥാനത്തുനിന്നും വേറൊരു സ്ഥാനത്തേക്കു പ്രയാണംചെയ്യുന്നതിനു സാദ്ധ്യമാകാത്തവിധം ആ വസ്തുക്കൾ ആലക്തികപ്രേഷണത്തെ പ്രതിരോധിക്കുന്നവയാണു്. എന്നാൽ ലോഹവസ്തുക്കൾ എല്ലാംതന്നെയും, ദുർല്ലഭം ചില മററു ഘനവസ്തുക്കളും ലവണവിലേയനങ്ങൾ (salt solutions) തുടങ്ങിയവയും ആല

ക്തികശക്തിയെ അവയിൽക്കൂടി നിർബാധം പ്രവഹിപ്പിക്കുന്നതി
നു സഹായിക്കുന്നവയാണ്. ആലക്തികശക്തിയുടെ പ്രേഷണത്തി
നു സഹായകമായിട്ടുള്ള വസ്തുക്കൾക്ക് 'ചാലകങ്ങൾ' (conductors)
എന്നു പറയുന്നു. ഒരു ചാലകത്തിൽക്കൂടിയുള്ള ആലക്തികശക്തിയു
ടെ പ്രവാഹത്തിനു 'ആലക്തികധാര' (electric current) എന്നു
പറയാം. നിശ്ചിതമായ സമയത്തിനുള്ളിൽ ഒരു ചാലകത്തിൽക്കൂ
ടി പ്രവഹിക്കുന്ന ആലക്തികശക്തിയുടെ പരിമാണത്തെ സമാശ്ര
യിച്ചാണ് 'ആലക്തികധാരാബലം' (strength of current) നി
ർണ്ണയിക്കേണ്ടതു്.

ആലക്തികവികലനം
(Electrolysis)

ഒരു ചാലകം ഘനവസ്തുവായിരിക്കുന്നിടത്തോളംകാലം അ
തിൽക്കൂടിയുള്ള ആലക്തികപ്രവാഹംകൊണ്ട് അതിൻെറ ഘടന
യിൽ ഏതെങ്കിലുംവിധത്തിൽ വ്യതിയാനങ്ങൾ സംഭവിക്കുന്നുണ്ടോ
എന്നു നിർണ്ണയിക്കുന്നതു് വളരെ ക്ലേശകരമായ ഒരു കാര്യമാണ്. എ
ന്നാൽ വാതകങ്ങളിൽക്കൂടിയോ, വിലേയനങ്ങളിൽ (solutions)
കൂടിയോ ആലക്തികധാരയെ കടത്തിവിട്ടാൽ ആ വിലേയനങ്ങൾ
ക്കോ വാതകങ്ങൾക്കോ ഉണ്ടാകാവുന്ന വ്യതിയാനങ്ങൾകൊണ്ട് അ
ണുസിദ്ധാന്തപരമായ അമൂല്യവിജ്ഞാനങ്ങൾ നമുക്കു ലഭിക്കുന്ന
താണ്.

ആലക്തികധാരയുടെ നിർബാധമായ ഗതിക്കു സഹായകമായി
രിക്കുന്ന എല്ലാ വിലേയനങ്ങളിലും ആലക്തികപ്രവാഹംകൊണ്ടു
രാസപരമായ ഒരു വികലനം (chemical decomposition) നട
ക്കുന്നുണ്ട്. ഇതിനാണ് 'ആലക്തികവികലനം' എന്നു പറയുന്നതു്.
അബ്ജഹരിതാമ്ലത്തിൽ (hydrochloric acid) കൂടി ആലക്തികധാ
വനം ഉണ്ടായാൽ ഈ ദ്രാവകത്തിനു രാസവികലനം സംഭവിക്കയും
ആലക്തികധാരയുടെ പ്രവേശനദ്വാരത്തിങ്കൽ അഥവാ 'ഉത്പഥ'
ത്തിങ്കൽ (anode) വാതകാത്മകമായ ഹരിതകവും, നിഷ്ക്രമണദ്വാ
രത്തിങ്കൽ അല്ലെങ്കിൽ 'അധഃപഥ'ത്തിങ്കൽ (cathode) അബ്ജനക
വും ആവിർഭവിക്കുന്നു. അബ്ജനകത്തിന്റെയും (hydrogen), ഹരിത
കത്തിന്റെയും (chlorine) രാസയോഗഫലമായി ലഭിക്കുന്ന അബ്ജ

ഹരിതകവാതകത്തിന്റെ (hydrogen chloride) ജലവിലേയനമാണല്ലോ അബ്ജഹരിതാമ്ലം (hydro chloric acid). ഇതുപോലെ തന്നെ ഏതെങ്കിലും ഒരുതവണ വിലേയനത്തിൽക്കൂടി ആലക്തികശക്തി പ്രവേശിപ്പിച്ചാൽ ആ ലവണത്തിൻെറ ഒരു ഘടകാംശം (constituent) ഉത്പഥത്തിങ്കലും (anode), മറേറ ഘടകാംശം അധഃപഥത്തിങ്കലും (cathode) സംഭരിക്കപ്പെടുന്നു. ഇങ്ങനെ സംഭരിക്കപ്പെടുന്ന ഓരോ ഘടകാംശത്തിൻെറയും അളവ് വിലേയനത്തിൽ കൂടി കടന്നുപോകുന്ന ആലക്തികധാരയിൽ അടങ്ങിയിട്ടുള്ള ആലക്തികശക്തിയുടെ അളവിനെ ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്.

അയനങ്ങൾ

(Ions)

ഉപരി പ്രസ്താവിച്ചപ്രകാരം ആലക്തികപ്രേഷണംകൊണ്ടു് ലവണവിലേയനത്തിൻെറ വികലനം സംഭവിക്കുന്നതിനെ അണുസിദ്ധാന്തത്തെ ആസ്പദമാക്കി വ്യാഖ്യാനിക്കാവുന്നതാണു്. ആലക്തിക പ്രവേശംകൊണ്ടു ലവണത്തിൻെറ ഓരോ അണുവും ആലക്തികനിർഭരമായി(charged)ത്തീരുന്നു. ആലക്തികശക്തി 'ധനക'മോ (Positive), 'ഋണക'മോ (Negative) ആകാം. എങ്ങനെയെന്നാൽ, സാമാന്യലവണം (common salt) സോഡിയവും (sodium), ഹരിതകവും (chlorine) ചേൎന്നുള്ള ഒരു യൗഗികം (compound) ആണല്ലോ. ഈ യൗഗികത്തിൽ സോഡിയംഅണുക്കളുടേയും ഹരിതകാണുക്കളുടേയും എണ്ണം തുല്യമാണെന്നു് ഈ ലവണത്തിന്റെ Na—Cl എന്ന രാസകചിഹ്നംകൊണ്ടുതന്നെ ഗ്രഹിക്കാം. Na—സോഡിയത്തിൻെറയും, Cl—ഹരിതകത്തിൻെറയും ചിഹ്നമാണു്. ഈ ലവണവിലേയനത്തിൽക്കൂടി ആലക്തികധാവനം ഉണ്ടാകുമ്പോൾ ലവണത്തിൻെറ ചില മൂലകങ്ങൾ (molecules)—Na Cl—സോഡിയത്തിൻേറയും ഹരിതകത്തിൻേറയും അണുക്കളായി വേർതിരിയുന്നു. വേർതിരിയുന്ന അണുക്കളിൽ സോഡിയംഅണു നിശ്ചിതമായ അളവിൽ 'ധനകഭാര'ത്തെ (Positive charge) വഹിക്കുന്നതോടൊപ്പം ഹരിതകാണു അതേ അളവിൽ 'ഋണകഭാര'ത്തേയും (Negative charge) വഹിക്കുന്നു. ആലക്തികനിർഭരങ്ങളായ (electrically charged) ഈ അണുക്കൾക്കു് അയനങ്ങൾ (ions) എന്നു പറയുന്നു.

മുൻപ്രസ്താവിച്ച അബ്ജഹരിതാമ്ലവാതകത്തിൻെറ ആലക്തികവികലനംകൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന അയനങ്ങൾ (ions) അബ്ജനകത്തിൻെറയും, ഹരിതകത്തിൻെറയും ആലക്തികനിർഭരങ്ങളായ അണുക്കൾ ആകുന്നു.

ആലക്തികശക്തിയുടെ പ്രാഥമികതന്മാത്ര

(Elementary Quantum of Electricity)

വിവിധങ്ങളായ അബ്ജനകയൗഗികങ്ങളെ (hydrogen compounds) ആലക്തികവികലനം ചെയ്യുമ്പോൾ ഓരോ യൗഗികത്തിൽനിന്നും വേർപെടുന്ന അബ്ജനകത്തിൻെറ പരിമാണങ്ങൾ തമ്മിൽ താരതമ്യപ്പെടുത്തിനോക്കിയതിൽ നിൎദ്ദിഷ്ടമായ ഒരു സമയത്തിനുള്ളിൽ കടത്തിവിടപ്പെട്ട ആലക്തികധാരയെ ആശ്രയിച്ചുമാത്രമാണ് അബ്ജനകത്തിൻെറ പരിമാണം എന്നു് ഫാരഡേ (Faraday) 1833-ൽ പരീക്ഷണങ്ങൾകൊണ്ടു സമൎത്ഥിച്ചു. ആലക്തികവികലനംകൊണ്ടു വിമുക്തമാകുന്ന അബ്ജനകത്തിൻെറ അണുക്കളിലെ ആലക്തികശക്തിയുടെ പരിമാണത്തിനു് യൗഗികവൈവിദ്ധ്യത്തെ ആസ്പദമാക്കി യാതൊരു വ്യത്യാസവും സംഭവിക്കുന്നില്ല എന്നു് അദ്ദേഹം തീരുമാനിച്ചു. ഈ ആലക്തികശക്തിയുടെ പരിമാണത്തെ 'ആലക്തികശക്തിയുടെ പ്രാഥമിക തന്മാത്ര' (elementary quantum of electricity) എന്നു പറയുന്നു. ഒരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ ഇതു് ആലക്തികത്തിൻെറ ഒരണു (an atom of electricity) തന്നെയാകുന്നു. വസ്തുക്കളിലെ അണുഘടനയെന്നപോലെ ആലക്തികത്തിനും ഒരണുഘടനയുണ്ടെന്നു നിരൂപിക്കാവുന്നതാണു്.

ഉഷ്ണവും അണുചലനവും

(Heat and Atomic Motion)

രസവിജ്ഞാനീയപരമായ ഗവേഷണങ്ങൾ 'മൂലക'ങ്ങളെ (molecules)പ്പറ്റിയും അണുക്കളെപ്പററിയുമുള്ള സിദ്ധാന്തങ്ങളെ ആവിഷ്കരിച്ചു, ഈ കാലത്തുതന്നെയുണ്ടായ ഭൗതികശാസ്ത്രപരമായ ഗവേഷണങ്ങളും ഇതേ സിദ്ധാന്തത്തെത്തന്നെ സമൎത്ഥിക്കയാണു ചെയ്തിട്ടുള്ളതു്.

ആലക്തികശക്തിയെപ്പോലെതന്നെ ഉഷ്ണ(heat)ത്തിനും പ്രത്യേകമായ ഒരു വ്യക്തിത്വം നല്കുവാൻ കഴിയുമോ എന്നാണു് ഇനിയും നിരൂപണംചെയ്യേണ്ടിയിരിക്കുന്നതു്. ഒരു ലോഹശലാകയുടെ ഒരഗ്രം ചൂടുപിടിപ്പിച്ചാൽ ക്രമേണ ഉഷ്ണം ആ ലോഹശലാകയിൽക്കൂടി വ്യാപിക്കുന്നതായി നമുക്കനുഭവമുള്ളതാണല്ലോ. അതുപോലെ വ്യത്യസ്തോഷ്ണത്തോടുകൂടിയ രണ്ടു വസ്തുക്കളെത്തമ്മിൽ യോജിപ്പിച്ചാൽ ഉഷ്ണാധിക്യമുള്ള വസ്തുവിൽനിന്നും ചൂടു് മറേറ വസ്തുവിലേക്കു സംക്രമിക്കുന്നു എന്നും നമുക്കറിയാം. ഉഷ്ണത്തിൻെറ ഈ സംക്രമണധമ്മം 'ഉഷ്ണം' എന്ന പ്രവാഹധമ്മത്തോടുകൂടിയ ഒരു വസ്തുവിൻെറ പ്രയാണം ആണു് എന്നു് ഒരു കാലത്തു് ശാസ്ത്രകാരന്മാർ വിശ്വസിക്കയും ആ വസ്തുവിനെ അവർ 'കലോറിക്' (caloric) എന്നു നിർദ്ദേശിക്കയും ചെയ്തിരുന്നു. 17-ാം ശതാബ്ദത്തിൽത്തന്നെയും ബേക്കൺ (Bacon), ഡെസ്കാർട്ടീസ് (Descartes) തുടങ്ങിയ ചിന്തകന്മാർ, ഉഷ്ണം എന്നതു വസ്തുക്കളിലെ പരമഘടകാംശങ്ങളായ ബിന്ദുക്കളുടെ (ultimate particles) ചലനം അല്ലെങ്കിൽ ഇളക്കമാണെന്നു് വ്യാഖ്യാനിച്ചു. 1738-ൽ ഡാനിയൽ ബർണോളി (Daniel Bernoulli) എന്ന സ്വിസ്സ് ഗണിതശാസ്ത്രജ്ഞൻ, വാതകങ്ങളുടേയും ദ്രാവകങ്ങളുടേയും പ്രവാഹഗതിയെപ്പററി പഠനം നടത്തിയതിൽ, അവയുടെ അതിസൂക്ഷ്മങ്ങളായ ബിന്ദുക്കൾ നിരന്തരം ഭ്രമിതഭാവത്തിൽ വത്തിക്കുന്നു എന്നും വാതകങ്ങളുടെയോ, ദ്രാവകങ്ങളുടെയോ ഉഷ്ണത (temperature)യുടെ വർദ്ധനവു് എന്നു പറയുന്നതു്, യഥാർത്ഥത്തിൽ ഈ ബിന്ദുക്കളുടെ ഭ്രമിതഗതിയുടെ പ്രവൃദ്ധതയാണെന്നും നിർദ്ദേശിച്ചു. ഈ തത്വത്തെ ആസ്പദമാക്കി വാതകങ്ങളുടേയും ദ്രാവകങ്ങളുടേയും വികാസവും അവയുടെ വിമർദ്ദസ്വഭാവവും വ്യാഖ്യാനിക്കുന്നതിനു കഴിയും.

ഒരു വസ്തുവിൻെറ പരമമായ അംശം അണുതന്നെയാണല്ലോ. അണുക്കൾ സ്വതന്ത്രങ്ങളായോ പരസ്പരം ബന്ധപ്പെട്ടു് മൂലകങ്ങളായോ വസ്തുക്കളിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. സാമാന്യവാതകങ്ങളിൽ അധികവും മൂലകങ്ങളാൽ സംഘടിതങ്ങളാണു്. ഉദാഹരണമായി വായുവിൻെറ ഘടകാംശങ്ങളായ അമ്ലജനകത്തിൻേറയും (oxygen), പാക്യജനകത്തിൻേറയും (nitrogen) മൂലകങ്ങൾ അതാതു വാതകത്തിന്റെ ഈരണ്ടു് അണുക്കളെക്കൊണ്ടു നിബദ്ധമാണു്. ഇപ്രകാരമെങ്കിൽ ഉഷ്ണവായുവിനും (hot air) ശീതവായുവിനും (cold air) തമ്മിൽ ഘട

നയിൽ എന്തു വ്യത്യാസമാണുള്ളത് എന്നൊരു പ്രശ്നം ഉദിക്കുന്നു. ഘടനയെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം യാതൊരു വ്യത്യാസവുമില്ലെങ്കിലും ഉഷ്ണവായുവിൻെറ മൂലകങ്ങൾ ശീതവായുവിൻെറ മൂലകങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് അതിത്വരിതമായി ചലനം ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കയാണ് എന്നു ചലനതത്വത്തെ (kinetic energy) ആധാരമാക്കി സമാധാനം പറയാവുന്നതാണ്.

ഒരു സൂക്ഷ്മദർശിനിക്ക് (microscope), അതു് എത്രതന്നെ ശക്തിയുള്ളതായിരുന്നാലും ഒരു വസ്തുവിൻെറ മൂലകത്തെ നയനഗോചരമാക്കുന്നതിന് അസാദ്ധ്യമാണ്. വായു ഉൾക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു സ്ഥാനത്തെ സങ്കല്പദൃഷ്ടിയിൽക്കൂടി വീക്ഷിക്കുന്നപക്ഷം, വായുവിൻെറ മൂലകങ്ങൾ, അസ്വസ്ഥമായും, പരിഭ്രാന്തമായും, അങ്ങോട്ടുമിങ്ങോട്ടും പാറിപ്പറക്കുന്ന ക്ഷുദ്രപ്രാണികളുടെ സംഘങ്ങളെപ്പോലെ അലക്ഷ്യമായും അവ്യവസ്ഥിതമായും ചിതറിപ്പറക്കുന്നതായി അനുഭവപ്പെടും. മൂലകങ്ങൾ പരസ്പരം സംഘട്ടനം ഉണ്ടാകുന്നതുവരെയോ, അവയുടെ സ്വച്ഛന്ദഗതിക്കു വിഘാതം ഉണ്ടാകത്തക്കവണ്ണം വായുവിനെ നിയമനം ചെയ്തിരിക്കുന്ന ധാരകത്തിൻെറ (container) പാശ്വഭിത്തികൾകൊണ്ട് അവ ആഘാതം ഏല്ക്കുന്നതുവരെയോ, അവയുടെ ഗതി ഋജുവും, ഗതിവേഗം സ്ഥിരഭാവാത്മകവും (uniform) ആയിരിക്കും. വായുവിൻെറ ഒരു മൂലകവും അതിൻെറ ആസന്നവർത്തിയായ വേറൊരു മൂലകവും തമ്മിലുള്ള ദൂരം, ഒരു മൂലകവ്യാസത്തിൻെറ ഏകദേശം പത്തുമടങ്ങാണ്. ഒരു മൂലകം വേറൊരു മൂലകവുമായി സംഘട്ടനമുണ്ടാകുന്നതിനു മുമ്പായി, ഒരു മൂലകത്തിന് അതിൻെറ വ്യാസത്തിൻെറ ആയിരം മടങ്ങു ദൈർഘ്യത്തിൽ സുസ്ഥിരമായ ഗതിവേഗത്തോടുകൂടി സഞ്ചരിക്കുവാൻ സാമാന്യേന കഴിയും. എന്നാൽ രണ്ടു മൂലകങ്ങൾ തമ്മിൽ സംഘട്ടനമുണ്ടായി എന്നു വന്നാൽ അവയ്ക്കു ഗതിഭേദമുണ്ടാകുന്നതോടൊപ്പം ഗതിവേഗത്തിനും വ്യത്യാസം സംഭവിക്കുന്നു എങ്കിലും അവ രണ്ടിലും നിബദ്ധമായിരിക്കുന്ന പ്രവർത്തകശക്തിയുടെ (energy) ആകെത്തുകയ്ക്കു വ്യത്യാസം സംഭവിക്കുന്നില്ല. ഇത്രയും പ്രസ്താവിച്ചതിൽനിന്നും വായുവിലെ ഒരു മൂലകത്തിൻെറ പ്രയാണപഥം അത്യന്തം ദുർഘടമാണെന്നു ഗ്രഹിക്കാമല്ലോ. അതിൻെറ ഋജുഗതി ഗണനാതീതമായവിധം ഹ്രസ്വവുമാണ്. ഇതര മൂലകങ്ങളുമായി അതിന് അനുസ്യൂതമായി സംഘട്ടനവുമുണ്ടാകുന്നു. ഒരേ ഒരു മൂലകത്തിനുണ്ടാകുന്ന അനുഭവം ഇപ്രകാരമെങ്കിൽ, വായുവിലെ

അനേകം കോടി മൂലകങ്ങളുടെ സംഘട്ടനങ്ങളും അനന്തരഫലമായി അവയ്ക്കുണ്ടാകുന്ന ഗതിഭേദങ്ങളും മററും ചിന്ത്യമാണല്ലോ.

വായുവിൻെറ ബാഹ്യപ്രകൃതിയെപ്പററി സാങ്കേതികമായി വ്യാഖ്യാനിക്കുന്നതിന്, അവയിലെ അനേകകോടി മൂലകങ്ങളുടെ അവസ്ഥാന്തരങ്ങളെ നിരൂപണം ചെയ്താൽ മതിയാകുന്നതാണ്.

വായുവിനെപ്പോലെയുള്ള ഒരു വാതകത്തിന്റെ ധമ്മങ്ങളിൽ അതിപ്രാധാന്യം വഹിക്കുന്ന ഒരു ധമ്മം അതിന്റെ വിമദ്ദം (pressure) ആകുന്നു. ഏതു വാതകവും അതിനെ നിയമനം ചെയ്യുന്ന ധാരകത്തിൻെറ (container) പാൎശ്വഭിത്തികളിൽ നിരന്തരമായി വിമദ്ദം ചെലുത്തിക്കൊണ്ടുതന്നെയിരിക്കും. സാധാരണഗതിയിൽ ധാരകഭിത്തിമേൽ ഉണ്ടാകുന്ന ഈ വിമർദ്ദം നമുക്കനുഭവപ്പെടുന്നില്ല. കാരണം ധാരകാന്തഃസ്ഥിതമായ വായു എത്രമാത്രം വിമർദ്ദം അതിൻെറ ഭിത്തികളിൽ ചെലുത്തുന്നുവോ, അതേ അളവിൽ വിപരീതവിമദ്ദം പുറമേനിന്ന് ഉള്ളിലേക്കുമുണ്ടാകുന്നു. എന്നാൽ എപ്പോഠം ധാരകത്തിൻെറ ഒരു ഭാഗത്തുള്ള വായു ഇല്ലാതെയാകുന്നുവോ, അപ്പോഠം മാത്രമേ മറുഭാഗത്തുള്ള വായുവിൻെറ മർദ്ദം ധാരകഭിത്തിയിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുള്ളു.

വായുവിൻെറ ഈ വിമർദ്ദസ്വഭാവത്തെ മൂലകപരമായി വിചിന്തനം ചെയ്താൽ ഓരോ മൂലകത്തിൻെറയും ധാരകപാർശ്വത്തിന്മേലുള്ള അനുസ്യൂതമായ ആഘാതമാണ് വായുമർദ്ദധമ്മത്തിനു നിദാനം എന്നു നിൎണ്ണയിക്കാം. ധാരകപാർശ്വങ്ങളുമായി സംഘട്ടനമുണ്ടാകുന്ന മൂലകങ്ങഠക്ക് ഗതിനിരോധം സംഭവിക്കുന്നതിനാൽ അവ പ്രത്യാഗമിക്കുന്നു. ഈ പ്രത്യാഗമനത്തിൽ അവയുടെ ഗതിവേഗത്തിനു (velocity) വ്യതിയാനം സംഭവിക്കയും ചെയ്യും. ന്യൂട്ടൻെറ 'ചലനനിയമങ്ങളെ' (laws of motion) ആധാരമാക്കിപ്പറഞ്ഞാൽ മൂലകം എത്രമാത്രം ശക്തിയോടുകൂടിയ ആഘാതം ധാരകഭിത്തിമേൽ ഏാംപ്പിക്കുന്നുവോ അതേ ശക്തിയോടുകൂടിത്തന്നെ ധാരകഭിത്തി മൂലകത്തിന്മേലും പ്രത്യാഘാതം ഏഠംപ്പിക്കുന്നു. ഒരു നിൎണ്ണിതമായ സമയത്തിനുള്ളിൽ ധാരകഭിത്തിയിൽ അടിക്കുന്ന മൂലകങ്ങളുടെ എണ്ണം, അവയുടെ ഗതിവേഗം ഇവയെ ആസ്പദമാക്കി മൂലകങ്ങളുടെ ആഘാതത്തിൻേറയും അവയുടെ മേലുള്ള പ്രത്യാഘാതത്തിൻേറയും ശക്തി നിശ്ചയിക്കാവുന്നതാണ്. മൂലകങ്ങളുടെ ഗതിവേഗം വർദ്ധിപ്പിച്ചാൽ അവയുടെ പരസ്പരസംഘട്ടനശക്തി വർദ്ധിക്കുന്നതോടുകൂടി

സംഘട്ടനങ്ങളുടെ എണ്ണവും വദ്ധിക്കുന്നു. കാരണം അവയുടെ ആഘാതം ധാരകപാർശ്വങ്ങളിൽ അടിക്കടി ഉണ്ടായിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നതാണ്. അതുകൊണ്ടു് വിമർദ്ദം (pressure) മൂലകങ്ങളുടെ ഗതിവേഗത്തിൻെറ (velocity) ദ്വിഗുണിതാനുപാതമാണ് എന്നു നിശ്ചയിക്കാം. വിമർദ്ദം മൂലകങ്ങളുടെ ഗതിവേഗത്തെ മാത്രമല്ല, അവയുടെ ഘന(mass)ത്തേയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. അതിനാൽ വിമർദ്ദം, ഘനത്തിൻേറയും ഗതിവേഗദ്വിഗുണിതത്തിൻേറയും ഗുണനഫലത്തിനു് ആനുപാതികമാണ്. ഈ ഗുണനഫലം മൂലകത്തിൻെറ 'ചലനപ്രവത്തകശക്തി'(kinetic energy)യുമാണ്.

ഇനിയും വാതകമർദ്ദവും ഉഷ്ണത(temperature)യും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം എന്താണെന്നു ചിന്തിക്കാം.

ഒരു വാതകത്തിൻെറ ഉഷ്ണത വദ്ധിക്കുമ്പോൾ വിമർദ്ദവും വദ്ധിക്കുന്നു. അഥവാ ഉഷ്ണത വർദ്ധിക്കുന്നതോടുകൂടി വാതകത്തിനു വികാസവും ഉണ്ടാകുവാനുള്ള പരിതസ്ഥിതി സംജാതമാകുന്നു. ഭദ്രമായി അടയ്ക്കപ്പെട്ട ഒരു 'വെറും കുപ്പി'യിലെ വായുവിനെ ചൂടുപിടിപ്പിച്ചാൽ കുപ്പിക്കുള്ളിലുള്ള വായുമർദ്ദം, പുറത്തുള്ള വായുമർദ്ദത്തെ അതിശയിക്കുന്ന ഘട്ടത്തിലെത്തുമ്പോൾ കുപ്പിയുടെ അടപ്പു് പുറത്തേക്കു തള്ളിപ്പോകുന്നുണ്ടു്. ഇതിൽനിന്നും നമുക്കു ഗ്രഹിക്കാവുന്നതു് ഉഷ്ണത വർദ്ധിക്കുന്തോറും മൂലകങ്ങളുടെ ഗതിക്കു വേഗവും വർദ്ധിക്കുന്നു എന്നാണ്.

ഒരു വാതകത്തിൻെറ ഉഷ്ണത്തിനും (heat) വിമർദ്ദത്തിനും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെ പരാമർശിച്ച് ആവിർഭവിച്ച ബേർണോളി സിദ്ധാന്തത്തിനു (Bernoulli's Theory) ശേഷമാണ് ഡാൾട്ടൻ അണുസിദ്ധാന്തം ശാസ്ത്രലോകത്തിനു സംഭാവന ചെയ്തതു്. ഇതിനെത്തുടന്നാണു സുപ്രസിദ്ധ ബ്രിട്ടീഷ് ഭൗതികവൈജ്ഞാനികനായ ജെയിംസ് പ്രിസ്‌ക്കോട്ട് ജൂൾ(James Prescot Joule) പ്രയത്നത്തിനും(work), ആ പ്രയത്നംമൂലമുണ്ടാകുന്ന ഉഷ്ണത്തിനും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തെപ്പററി നിരൂപണം ചെയ്യതും അതിൻെറ യാഥാത്ഥ്യത്തെ സമത്ഥിച്ചതും.

മെൻഡിലീഫും ധാതുക്കളുടെ തരംതിരിക്കലും

(Mendeleeff and His Periodic Classification of Elements)

മെൻഡിലീഫ് എന്ന റഷ്യൻ രസതന്ത്രകാരൻ ധാതുക്കളെ അവയുടെ ധമ്മങ്ങളെ ആസ്പദമാക്കി സ്ഥാനനിണ്ണയം ചെയ്തുകൊണ്ടു് ഒരു

ഗ്രന്ഥം 1869-ൽ പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തി. ഇതു് അണുസിദ്ധാന്തചരിത്രത്തിലെ ഒരു പ്രധാന ഘട്ടത്തെ വെളിപ്പെടുത്തുന്നു.

എല്ലാ രാസകധാതുക്കളേയും (chemical elements)അവയുടെ അണുഭാരങ്ങളുടെ (atomic weights) ആരോഹണക്രമം അനുസരിച്ച സ്ഥാനനിർണ്ണയംചെയ്തു് ഒരു പട്ടിക തയാറാക്കിയാൽ, മിക്കവാറും ഒരേ ധർമ്മത്തെ പ്രകാശിപ്പിക്കുന്ന ധാതുക്കൾ പ്രസ്തുത പട്ടികയിൽ നിശ്ചിതസ്ഥാനങ്ങളെ പ്രാപിക്കുന്നതായി കാണുന്നുവെന്നു് അദ്ദേഹം സമർത്ഥിച്ചു. താഴെപ്പറയുന്ന ഉദാഹരണംകൊണ്ടു് ഇതു വ്യക്തമാക്കാം.

ധാതുക്കളുടെ പട്ടികയിൽ 'ലിതിയം' (lithium) ലോഹത്തിൻെറ സ്ഥാനം മുതൽ കീഴ്പോട്ടു എട്ടു ധാതുക്കളെ എണ്ണിയാൽ 'സോഡിയം' (sodium) ധാതുവിൽ എത്തിച്ചേരുന്നു. വീണ്ടും എട്ടു ധാതുക്കൾ കഴിഞ്ഞാൽ 'പൊട്ടാഷ്യം' (potassium) എന്ന ധാതുവാണു്. ഈ മൂന്നു ധാതുക്കളും മിക്കവാറും സമാനധർമ്മത്തോടുകൂടിയവയാണു് എന്നു് അവയുടെ സ്വഭാവംകൊണ്ടു ഗ്രഹിക്കുവാൻ കഴിയും. ഈ മൂന്നു ധാതുക്കളും മാർദ്ദവമുള്ളവയും, ഏകദേശം ശ്വേതവർണ്ണത്തോടുകൂടിയവയും, ജലവുമായുള്ള രാസയോഗത്തിൽ ഉജ്ജ്വലശക്തിയെ ആവിഷ്കരിക്കുന്നവയുമാകുന്നു. ഈ ക്രമമനുസരിച്ച മെൻഡിലീഫിൻെറ പട്ടികയിൽ അനേകം സ്ഥാനങ്ങളും ഒഴിച്ചിടേണ്ടതായിവന്നിട്ടുണ്ടു്. കാരണം ആ സ്ഥാനത്തിനർഹമായ ധാതുക്കൾ പ്രസ്തുത കാലത്തു കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടില്ല എന്നുള്ളതാണു്. എങ്കിലും ഭാവിഗവേഷണഫലമായി നൂതനമായി ആവിർഭവിക്കുന്ന ധാതുക്കൾ പട്ടികയിലെ അപൂരിതസ്ഥാനത്തിനർഹമായിത്തീരുമെന്നു മെൻഡിലീഫ് നിസ്സന്ദേഹം പ്രവചിച്ചതു കൂടാതെ, ധാതുക്കളുടെ സ്വഭാവമെന്തായിരിക്കുമെന്നുകൂടി അദ്ദേഹം വിശദമാക്കി. മെൻഡിലീഫിൻെറ പ്രവചനയാഥാർത്ഥ്യം പില്ക്കാലത്തെ രസതന്ത്രകാരന്മാരുടെ ധാതുഗവേഷണഫലങ്ങൾ പ്രത്യക്ഷമാക്കുകതന്നെ ചെയ്തു.

ലവണവിലേയനങ്ങളിലെ അണുസിദ്ധാന്തം

(Atomic Theory of Salt Solution)

സുപ്രസിദ്ധ സ്വീഡിഷ് രസതന്ത്രകാരനായ 'സ്വാൻെറ ആഗസ്റ്റ് അർഹീനിയസ്സ്', (Svante August Arrhenius)1887-ൽ ലവ

ണങ്ങളുടെ ആലക്തികപരമായ വിഘടന(electrolytic dissociation)യെ പരാമർശിച്ച് ഒരു നവീനസിദ്ധാന്തം രൂപവല്ക്കരിച്ചു.

ആ കാലംവരെയും ലവണങ്ങൾ തുടങ്ങിയ വിവിധ വസ്തുക്കൾ ജലത്തിൽ അലിഞ്ഞുചേരുന്നതു് ഏതു തത്വത്തെ ആസ്പദമാക്കിയാണു് എന്നു് ആർക്കുംതന്നെ സമഗ്രമായി വ്യാഖ്യാനിക്കുവാൻ നിവൃത്തിയില്ലായിരുന്നു. ലവണം തുടങ്ങിയ വസ്തുക്കൾ ജലവുമായി സംയോജിക്കുമ്പോൾ പരമസൂക്ഷ്മങ്ങളായ മൂലകങ്ങളായി(molecules) വേർതിരിയുന്നുവെന്നും, അങ്ങനെ വേർതിരിയുന്ന മൂലകങ്ങൾ ആലക്തികനിർഭരങ്ങളായ(electrically charged) അയനങ്ങളായി (ions) ഭവിക്കയാൽ സാധാരണ മൂലകങ്ങളിൽനിന്നു വ്യത്യസ്തസ്വഭാവത്തെ വെളിപ്പെടുത്തുന്നുവെന്നും അർഹീനിയസ്സ് വ്യാഖ്യാനിച്ചു. എന്നാൽ ഈ വ്യാഖ്യാനത്തെ അദ്ദേഹത്തിൻെറ സമകാലികന്മാരായ ശാസ്ത്രകാരന്മാർ അംഗീകരിച്ചില്ല എങ്കിലും, ഇന്നു് അർഹീനിയസ്സിൻെറ സിദ്ധാന്തം ആധുനിക ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിനും രസതന്ത്രത്തിനും അടിസ്ഥാനമായി നിലകൊള്ളുന്നു.

ശാസ്ത്രവികാസം

പത്തൊമ്പതാംശതാബ്ദത്തിന്റെ അവസാനമായപ്പോഴേക്കും ഭൗതികശാസ്ത്രഗവേഷണങ്ങൾ അവയുടെ പരിണാമത്തിൽ എത്തിച്ചേൎന്നുവെന്നും, നൂതനമായ യാതൊന്നുംതന്നെ ഗവേഷണവിധേയമല്ല എന്നും, ഭൗതികവൈജ്ഞാനികന്മാർ അഭിമാനംകൊള്ളുകയും പരസ്യമായി പ്രഖ്യാപിക്കയും ചെയ്തു. 1893–ൽ ആ കാലത്തെ ഒരു പ്രശസ്ത ശാസ്ത്രകാരൻ അതുവരെയുള്ള ഭൗതികശാസ്ത്രവികാസത്തിന്റെ ചരിത്രത്തെ പരാമർശിച്ചു പ്രസ്താവിച്ച ഘട്ടത്തിൽ ഭാവിശാസ്ത്രകാരന്മാൎക്കു പുതുതായി യാതൊന്നുംതന്നെ ചെയ്യേണ്ടതില്ലെന്നും, ഭൂതകാലത്തെ പരീക്ഷണങ്ങളെ ആവൎത്തിക്കമാത്രം ചെയ്താൽ മതിയാകുന്നതാണ് എന്നും അഭിമാനംകൊണ്ടു.

എക്സ്–രശ്മികൾ
(X-Rays)

1895 ഡിസംബർ 28-ാം തീയതി പ്രഫസ്സർ വിൽഹെം കോൺറാഡ് റോൺട്ജൻ (Prof. Wilhelm Konrad Roentgen) ഒരു നൂതനവിജ്ഞാനം ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിനു സംഭാവനചെയ്തു.

സൂൎയ്യരശ്മികൾ കണ്ണാടിവാതിലിൽക്കൂടി നിഷ്പ്രയാസം കടക്കുവാൻ സാദ്ധ്യമാകുന്നതുപോലെതന്നെ, പ്രഭാനിരോധകവസ്തുക്കളിൽ (opaque bodies)ക്കൂടി കടക്കുവാൻ കഴിയുന്ന ഒരു രശ്മി തനിക്ക് അനുഭവമായിരിക്കുന്നുവെന്ന് ആദ്യമായി പ്രസ്താവിക്കയും ആ രശ്മിപ്രസരത്തിന്റെ സ്വഭാവം, അതിൽ അന്തർഹിതമായ ശക്തി ഇവയെ പരീക്ഷണങ്ങളെക്കൊണ്ടു വെളിപ്പെടുത്തുകയുംചെയ്തു. അത്ഭുതകരമായ ഈ രശ്മിപ്രസരത്തിന്റെ ധൎമ്മത്തെ വ്യാഖ്യാനിക്കുന്നതിനാവശ്യകമായ ഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞാനം ഈ കാലത്തെ ശാസ്ത്രകാരന്മാൎക്ക് ഉണ്ടായിരുന്നില്ല. റോൺട്ജന്റെ ഈ കണ്ടുപിടിത്തം മററു ചില കണ്ടുപിടിത്തങ്ങളെപ്പോലെതന്നെ ഒരാകസ്മികസംഭവമായിരുന്നുവെന്നു പറയാം.

ഹെൻറിച്ച് ഗെയ്സ്ലർ(Heinrich Geissler) എന്ന ഒരു

ജമ്മൻ ശാസ്ത്രീക യന്ത്രനിമ്മാണകൻ വിധാനംചെയ്ത ഗെയ്സ്ലർ കുഴലിനെ അനുകരിച്ച ഗ്രേറ്റ് ബ്രിട്ടനിലെ രാജകീയസമിതിയുടെ (Royal Society of Great Britain) പ്രസിഡൻറായിരുന്ന സർ വില്യം ക്രൂക്ക് (Sir William Crookes) കണ്ടുപിടിച്ച നിവാതനാളികയെ(vacuum tube)ആധാരമാക്കി റോൺട്ജൻ ചില പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കവേയാണു പ്രസ്തുത രശ്മികളുടെ കണ്ടുപിടിത്തം സാധിച്ചതു്.

ഒരു സ്ഫടികക്കുഴലിനെ മിക്കവാറും വായുശ്ശൂന്യമാക്കിക്കൊണ്ടു്, അതിൻെറ രണ്ടഗ്രങ്ങളിലുമായി രണ്ടു ലോഹശലാകകൾ അഥവാ ആലക്തികദ്വാരങ്ങൾ (electrodes) ഉറപ്പിച്ചു്, അവയെ ആലക്തികപ്രവാഹഗതിക്കു സാധകമായവിധം തക്കതായ ഏതെങ്കിലും ആലക്തികോത്ഭവോപകരണവുമായി ഘടിപ്പിച്ചാൽ കുഴൽ ഭാസമാനമായി (phosphorescent glow)തീരുന്നു. കുഴലിൽക്കൂടിയുള്ള ആലക്തികധാവനമാണു് ഈ ഭാസമാനതയ്ക്കു കാരണം. ഗെയ്സ്ലർ കുഴലിലെ പ്രവത്തനവിധം ഇപ്രകാരമായിരുന്നു:

എന്നാൽ പ്രവത്തനവിധത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ക്രൂക്ക്കുഴൽ (Crookes' tube) എന്നറിയപ്പെടുന്നതും, സർ വില്യം ക്രൂക്ക് നിമ്മിച്ചതുമായ സ്ഫടികക്കുഴൽ, ഗെയ്സ്ലർ കുഴലിൽനിന്നു ഗണ്യമായ വ്യത്യാസത്തോടുകൂടിയതായിരുന്നു. ക്രൂക്ക് കുഴൽ, ഗെയ്സ്ലർ കുഴലിലെന്നപോലെ സമ്പൂണ്ണമായി ഭാസമാനമാകാതെ ആലക്തികോത്ഭവോപകരണത്തിൻെറ അധഃപഥത്തോടു (cathode) ബന്ധിച്ചിരുന്ന ആലക്തികദ്വാരത്തിൽനിന്നു കേവലം നിരുജ്ജ്വലരശ്മികൾ (feeble rays) പ്രസരിക്കയും ഈ രശ്മികൾ കുഴലിന്റെ വിപരീതാഗ്രത്തിങ്കലുള്ള സ്ഫടികത്തിൽ തട്ടുന്നതോടുകൂടിയുണ്ടാകുന്ന ഭാസമാനത സ്വണ്ണഹരിതവണ്ണാത്മകമായി (golden green phosphorescence)ത്തീരുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഈ രശ്മികൾക്കു് അവയുടെ ഉത്ഭവരംഗത്തെ ആസ്പദമാക്കി അധഃപഥരശ്മികൾ (cathode rays) എന്നു പറയപ്പെടുന്നു.

ഈ രശ്മികളുടെ ഋജുഗതി, കാന്തംകൊണ്ടു് അവയ്ക്കുണ്ടാകുന്ന ഗതിഭേദം (deflection), ഇവയുടെ പാതയിൽ നിക്ഷിപ്തമായ ക്ഷേപിണീചക്രം(paddle wheel)ഭ്രമണംചെയ്യിക്കുന്നതിനു സാധകമായ അവയുടെ ശക്തി, അവയുടെ മാഗ്ഗത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന വസ്തുക്കളെ തപിപ്പിക്കത്തക്കവണ്ണം അവയ്ക്കുള്ള തപനശക്തി, വജ്രം തുട

ങ്ങിയ രത്നവിശേഷങ്ങളെ അത്യുജ്ജ്വലപ്രഭാപൂരിതമാക്കാനുള്ള അവയുടെ കഴിവ്, ഇങ്ങനെയുള്ള കാര്യങ്ങളിൽ ഈ രശ്മികാം പ്രദർശിപ്പിച്ച വിശേഷധമ്മം, ദ്രവ്യങ്ങളുടെ (matter) ഘനം, ദ്രവം, വാതകം എന്നീ ത്രിവിധ ഭാവത്തെക്കൂടാതെ ഉപരിവാതകഭാവം (ultra gaseous)എന്നു നാലാമതൊരവസ്ഥകൂടിയുണ്ടെന്നു നിർദ്ദേശിക്കുവാൻ ക്രൂക്സിനെ പ്രേരിപ്പിച്ചു.

1879-ൽ ഷെഫീൽഡിലെ ശാസ്ത്രപുരോഗമന ബ്രിട്ടീഷ് സമിതിയുടെ (British Association for the Advancement of Science) നേതൃത്വത്തിൽ നടന്ന ഒരു യോഗത്തിൽവച്ച് അദ്ദേഹം ഇപ്രകാരം സംസാരിച്ചു:

''പ്രപഞ്ചസംഘടനയുടെ നിദാനവും, അതിസൂക്ഷ്മങ്ങളും അവിഭാജ്യങ്ങളും വസ്തുവിൻെറ ചതുത്ഥാവസ്ഥ (fourth state of matter) എന്നു ഗണിക്കപ്പെടാവുന്നതുമായ പരമാംശങ്ങാം നമുക്കു നിയന്ത്രണാധീനമായിത്തീന്നിരിക്കുന്നു. ഈ പരമാംശത്തിൻെറ ധമ്മങ്ങളിൽ ഒന്നായ് തേജഃപ്രസരഭാവം (radiant state) തന്നെ ഇന്ദ്രിയവിഷയകമായ വസ്തുക്കളെപ്പോലെ വാസ്തവികമായിട്ടുള്ളതാണെന്നും മറേറ ധമ്മം തേജഃപ്രസരണശക്തിയുടെ (radiant energy) സ്വഭാവത്തെ അവലംബിക്കുന്നുവെന്നും നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു. ദ്രവ്യത്തേയും ശക്തിയേയും (matter and force) തിരിച്ചറിയുവാൻ പാടില്ലാത്ത നിലയിൽ ദ്രവ്യം ശക്തിയിലും, ശക്തി ദ്രവ്യത്തിലും ഇണങ്ങിച്ചേരുന്ന ആ അത്ഭുതരംഗത്ത്, അതേ--ജ്ഞാനങ്ങളുടേയും അജ്ഞാനങ്ങളുടേയും മദ്ധ്യത്തിലുള്ള ശീതളതരുച്ഛായയിൽ നാം വിശ്രമിക്കയാണ്. ഭാവിയിലെ ശാസ്ത്രീയപ്രശ്നങ്ങളാകുന്ന വൈതരണിയെ തരണംചെയ്‌വാനുള്ള സകല മാർഗ്ഗങ്ങളും ഈ അതിർത്തിപ്രദേശത്തുനിന്നോ, ഒരുപക്ഷേ, അതിനപ്പുറത്തുനിന്നോ നമുക്ക് ഉപലബ്ധമാകുന്നതാണ്. ദൂരവ്യാപകവും, അത്ഭുതകരവും, ഗൂഢാത്മകവുമായ പരമവാസ്തവികത ഇവിടെത്തന്നെ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുവെന്നു ഞാൻ അഭ്യൂഹിക്കുന്നു.''

ക്രൂക്സ്കുഴലിൻെറ ആവിർഭാവത്തെത്തുടന്നു ഭൗതികശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ ഗവേഷണദൃഷ്ടി അതിലേക്കു പതിഞ്ഞു. പ്രഫസർ റോൺട്ജൻ ക്രൂക്സ്കുഴലിനെ അവലംബമാക്കിക്കൊണ്ടു ചില പരീക്ഷണങ്ങാം നടത്തി.

ഒരു ദിവസം അദ്ദേഹം ഒരു പ്രത്യേക പരീക്ഷണത്തെ ഉദ്ദേ

ശിച്ച കുഴലിനെ കൃഷ്ണവർണ്ണത്തിലുള്ള ഒരു സാധനത്തെക്കൊണ്ടു പൊതിയുകയും അതിന്നു സമീപത്തായി രാസപദാത്ഥങ്ങളെക്കൊണ്ടു ലേപനംചെയ്തിരുന്ന ഒരു യവനിക (screen) നിക്ഷേപിക്കയും ചെയ്തു. അല്പനിമിഷങ്ങറംക്കുള്ളിൽ ആ യവനിക ഭാസമാനമായിച്ചമഞ്ഞു. കുഴലിൽനിന്നും അദൃശ്യമായ ഏതോ ഒരു വസ്തു കൃഷ്ണവർണ്ണാത്മകമായ സാധനങ്ങളിൽക്കൂടി കടന്നു യവനികയിൽ ലേപനംചെയ്തിരുന്ന രാസപദാത്ഥത്തെ പ്രകാശിപ്പിച്ചുവെന്നു് അദ്ദേഹം നിരൂപിച്ചു. തുടന്നു് അദ്ദേഹം നടത്തിയ ഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി അത്ഭുതകരവും ആദർശനീയവുമായ ഏതോ ഒരു രശ്മി കുഴലിൽനിന്നു പ്രസരിക്കുന്നുവെന്നും, അനേകം വസ്തുക്കളെ ഭാസമാനമാക്കുവാനും വിവിധങ്ങളായ ഘനവസ്തുക്കളിൽക്കൂടി പ്രവേശിച്ചു വസ്തുക്കളുടെ അന്തർഭാഗത്തെ ഒരു പ്രഭാചിത്രണഫലകത്തിന്മേൽ (photographic plate) പ്രകാശിതമാക്കുവാനും ഈ രശ്മികറംക്കു കഴിയുമെന്നും റോൺട്ജൻ ഗ്രഹിക്കയും അവ്യക്തമായ ഈ രശ്മികറംക്കു് 'എക്സ്-റേ' (X-Ray) എന്നു നാമകരണം ചെയ്യുകയും ചെയ്തു.

റോൺട്ജൻെറ എക്സ്-റേ കണ്ടുപിടിത്തം ഭൗതികശാസ്ത്രഗവേഷകന്മാരിൽ നവീനമായ ഒരു പ്രചോദനമുളവാക്കി. പ്രസിദ്ധ ആംഗലശാസ്ത്രകാരനും, റോൺട്ജൻെറ സമകാലികനുമായിരുന്ന സിൽവാനസ് പി. തോംസൺ (Sylvanus P. Thomson) എക്സ്-റേയുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തെ സംബന്ധിച്ചും, ആ രശ്മിപ്രസരത്തിൻെറ അത്ഭുതധർമ്മങ്ങളെപ്പററിയും വളരെ മനോഹരമായി വർണ്ണിച്ചിട്ടുണ്ടു്.

ബക്വറൽ രശ്മികറം
(Becquerel Rays)

സൂര്യപ്രകാശത്തിന്നു വിധേയമാകുമ്പോറം ഭാസമാനമാകുന്ന അനേകം വസ്തുക്കളെ ആധാരമാക്കി നിരവധി പരീക്ഷണങ്ങറം ഫ്രഞ്ചു് ഭൗതികശാസ്ത്രകാരനായ ഹെൻറി ബക്വറൽ (Henry Becquerel) നടത്തി. അദ്ദേഹം പരീക്ഷണത്തിനുവേണ്ടി സ്വീകരിച്ച വസ്തു യുറേനിയത്തിൻെറ ഒരു ലവണമായിരുന്നു. ഈ വസ്തുവിനെ സൂര്യരശ്മികറംക്കു വിധേയമാക്കിയപ്പോറം അതിൽനിന്നും നിരർഗ്ഗളമായി പ്രസരിച്ച പ്രഭയേറിയ നിദാനമായ രശ്മിപ്രസരം റോൺട്ജൻെറ എക്സ്-റേയ്ക്കു സമാനമായിരുന്നുവെങ്കിലും, അതു് റോൺട്ജൻ രശ്മിതന്നെയെന്നു നിശ്ചയിക്കുവാൻ അദ്ദേഹം ധൈര്യപ്പെട്ടില്ല.

ബക്വറലിൻെറ പരീക്ഷണശാലയിൽ ഗവേഷണം നടത്തിക്കൊണ്ടിരുന്ന പിയർ ക്യൂറിയും (Pierre Curie) അദ്ദേഹത്തിൻെറ സഹധർമ്മിണിയായിരുന്ന മേരി ക്യൂറിയും (Marie Curie) ബക്വറൽ നടത്തിയ പരീക്ഷണത്തെ ആവത്തിക്കുന്നതിനുറച്ചു. ഉദ്ദേശം മൂന്നു കൊല്ലങ്ങളോളം ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ അവർ നിരന്തരം പ്രയത്നിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നു. യുറേനിയം ലവണത്തെ കൂടാതെ തോറിയം ലവണങ്ങളും ബക്വറൽ രശ്മികളെ പ്രസരിപ്പിക്കുന്നതായി അവക്ക് അനുഭവപ്പെട്ടു. എന്നാൽ യുറേനിയത്തിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന രശ്മികളുടെ ഏതാണ്ടു നാലു മടങ്ങോളം രശ്മികൾ യുറേനിയത്തിൻെറ പ്രഭവസ്ഥാനമായ പിച്ച് ബ്ലെൻറിൽ(pitch blende)നിന്നും പ്രസരിക്കുന്നുവെന്നു ഗ്രഹിച്ചതോടുകൂടി, അതിനുള്ള കാരണം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനു് ഈ വൈജ്ഞാനികർ ശ്രമിക്കയും, 1898-ൽ അവരുടെ ഗവേഷണം ഫലപ്രാപ്തിയിൽ എത്തിച്ചേരുകയും ചെയ്തു. പിച്ച് ബ്ലെൻറിൽനിന്നുമുള്ള ഈ അത്ഭുതരശ്മിപ്രസരത്തിനു ഹേതു അതിൽ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരപൂർവ്വധാതുവിൻെറ തേജഃപ്രസരമാണെന്നു് അവർ കണ്ടുപിടിച്ചു. ഈ ധാതുവിനു് 'തൈജസം' (radium) എന്നു് അവർ നാമകരണംചെയ്തു. ഒരു ടൺ പിച്ച് ബ്ലെൻറിൽനിന്നും അവർ സജ്ജീകരിച്ച ഈ ധാതുവിൻെറ അതിലഘുവായ ഒരംശത്തിൽനിന്നും, യുറേനിയത്തിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന രശ്മിയുടെ ഏകദേശം 250 ലക്ഷം മടങ്ങു രശ്മികൾ പ്രസരിക്കുന്നുവെന്നു പരീക്ഷണംമുഖേന അവർ ഗ്രഹിച്ചു. ഉഷ്ണവിസർജ്ജകവും, പരിസരവായുമണ്ഡലത്തെ ആലക്തികനിർഭരമാക്കുന്നതിനു സമത്ഥവും, പാർശ്വസ്ഥിതങ്ങളായ നിരവധി വസ്തുക്കളെ ഭാസമാനമാക്കുവാൻ പര്യാപ്തവും, അതിസൂക്ഷ്മങ്ങളായ ജീവാണുക്കളെ (bacteria) നശിപ്പിക്കുന്നതിനു സുശക്തവുമായ ഈ നൂതനധാതുവിൻെറ ആവിഷ്ക്കരണം ശാസ്ത്രലോകത്തെ അത്ഭുതസാഗരത്തിൽ ആറാടിക്കതന്നെ ചെയ്തു.

അലക്തനം
(Electron)

'തൈജസ'ത്തിൻെറ (radium) അത്ഭുതകരമായ കണ്ടുപിടിത്തത്തെത്തുടന്നു് ബക്വറൽരശ്മിപ്രസരത്തിൻെറയും, എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിൻെറയും കാരണത്തെപ്പററി ശരിയായ ഒരു വ്യാഖ്യാനം നല്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ പരീക്ഷണങ്ങളും ഗവേഷണങ്ങളും ഭൗതിക

ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ആരംഭിച്ചു. കെയിംബ്രിഡ്ജ് സർവ്വകലാശാലയിലെ ഫിസിക്സ് പ്രഫസ്സറായിരുന്ന സർ ജെ. ജെ. തോംസൺ (Sir J. J. Thomson) ഇവരിൽ പ്രമുഖനായിരുന്നു. അദ്ദേഹത്തെക്കൂടാതെ, സ്വശിഷ്യന്മാരായിരുന്ന സർ ഏർണസ്റ്റ് റതർഫോർഡ് (Sir Ernest Rutherford), പ്രഫസ്സർ സി. ററി. ആർ. വിൽസൺ (Prof. C. T. R. Wilson), ഫ്രാൻസിലെ പ്രഫസ്സർ ലാൻജവിൻ (Prof Langevin) ഈ വൈജ്ഞാനികരും നിരവധി പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി.

തോംസൺ, നൂതനമായി കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ട എക്സ്-റേയെ ആധാരമാക്കിയാണ് പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയതു്. ഈ പരീക്ഷണത്തിൽനിന്നുമുണ്ടായ ഫലം, ക്രൂക്സ്കുഴലിനെ ആധാരമാക്കിയുള്ള അദ്ദേഹത്തിൻെറ പൂർവ്വപരീക്ഷണങ്ങളെ ഒന്നുകൂടി ആവർത്തിക്കുന്നതിനു് അദ്ദേഹത്തിനു പ്രേരണ നല്കി. തത്ഫലമായി അധഃപഥരശ്മികളെ (cathode rays) സംബന്ധിച്ച് ക്രൂക്സ് ചെയ്ത നിരൂപണത്തിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തമായ ഒരഭിപ്രായമാണ് തോംസൺ പ്രകാശിപ്പിച്ചതു്. ക്രൂക്സ് കുഴലിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ട അധഃപഥരശ്മികളെ (cathode rays) ദ്രവ്യത്തിൻെറ അഥവാ വസ്തുവിൻെറ നാലാമതൊരവസ്ഥയായി ഗണിക്കപ്പെടാവുന്ന 'ഉപരിവാതകഭാവം' (ultra gaseous state) തേജഃപ്രസരഭാവമായി (radiant state) ക്രൂക്സ് വ്യാഖ്യാനിച്ചുവെങ്കിലും, പ്രസ്തുത രശ്മികളുടെ പ്രസരണത്തിനു നിദാനം, അതിസൂക്ഷ്മങ്ങളായ ബിന്ദുക്കളുടെ (particles) അനുസ്യൂതമായ പ്രവാഹമാണെന്നും, ആ ബിന്ദുക്കൾ വാസ്തവത്തിൽ ആലക്തികബിന്ദുക്കൾ (electrical particles) ആണെന്നും തോംസൺ സമർത്ഥിച്ചു. ഈ ബിന്ദുക്കൾക്കു് 'ആലക്തികശക്തിയുടെ മൗലികമാത്ര' (fundamental units of electricity)യെ ഉദ്ദേശിച്ച് ഡോക്ടർ ജോൺസ്റ്റൺ സ്റ്റോണി (Dr. Johnstone Stoney) നല്കിയ 'അലക്തനം' (electron) എന്ന പേരു് ശാസ്ത്രലോകം അംഗീകരിച്ചു. ഇതിനെത്തുടർന്നാണ് അണുചരിത്രത്തിൽ സുപ്രസിദ്ധി നേടിയിട്ടുള്ള 'അലക്തനസിദ്ധാന്തം' (electron theory) ആവിഷ്കൃതമായതു്. ഈ സിദ്ധാന്തത്തിൻെറ ഉപജ്ഞാതാക്കൾ തോംസണും, ഡച്ചുശാസ്ത്രജ്ഞനായ എച്ച്. എ. ലോറൻസും (H. A. Lorentz) ആകുന്നു.

അലക്തനങ്ങൾ ആലക്തികബിന്ദുക്കൾതന്നെയെന്നു നിർണ്ണയിച്ചുവെങ്കിലും, അവയുടെ സ്വഭാവത്തെ കുറെക്കൂടെ വിശദമായി ഗ്രഹി

ക്കുന്നതിനും, അവയുടെ ഭാരം നിണ്ണയിക്കുന്നതിനും വേണ്ടി ചില പ്രത്യേക പരീക്ഷണങ്ങൾ തോംസൺ നടത്തി. വായുശൂന്യമായ ഒരു കുഴലിൽക്കൂടി അധഃപഥരശ്മികളുടെ (cathode rays) നേരിയ ധാരയെ ആലക്തികനിർഭരമായ രണ്ടു തകിടിന്റെ മദ്ധ്യത്തിലുള്ള ആലക്തികക്ഷേത്രത്തിൽക്കൂടി (electrical field) പ്രസരിപ്പിച്ചതിൽ രശ്മിധാര ധനാലക്തികമായ (Positively charged) തകിടിലേക്കു് ആകഷിക്കപ്പെടുന്നതായി അദ്ദേഹം വീക്ഷിച്ചു. ഇതിൽ നിന്നും രശ്മിധാരയിലെ ബിന്ദുബാണങ്ങൾ ഋണാലക്തികങ്ങളായ (Negatively charged) വസ്തുബിന്ദുക്കൾ (particles of matter) തന്നെയെന്നു് അദ്ദേഹം നിശ്ചയിച്ചു. രശ്മിധാരയുടെ ആഘാതംകൊണ്ടു കുഴലിന്റെ അന്തർഭാഗം ഉജ്ജ്വലമായിത്തീരത്തക്കവണ്ണം ആ ഭാഗത്തു് ചില രാസപദാത്ഥങ്ങളെ അദ്ദേഹം ലേപനം ചെയ്തിരുന്നു. കുഴലിന്റെ ബഹിർഭാഗത്തായി നിക്ഷേപിച്ചിട്ടുള്ളതും, ആലക്തികത്തെ വഹിക്കുന്നതുമായ രണ്ടു കമ്പിച്ചുരുളുകളുടെ മദ്ധ്യത്തിൽ പ്രബലപ്പെട്ട കാന്തക്ഷേത്രം (magnetic field) രശ്മിധാരയെ മുകളിലേക്കും, തകിടിന്റെ മദ്ധ്യത്തിലുള്ള ആലക്തികക്ഷേത്രം (electric field) രശ്മിധാരയെ കീഴിലേക്കും വളയ്ക്കുന്നതിനു പ്രേരകമായിത്തീർന്നു. ഇങ്ങനെ, ഏകസമയത്തുതന്നെ ആലക്തികക്ഷേത്രവും കാന്തക്ഷേത്രവും രശ്മിധാരയ്ക്കു ഗതിഭേദം (deflection) ഉണ്ടാകത്തക്ക നിലയിലാണു് അദ്ദേഹം പരീക്ഷണയന്ത്രനാളിക സജ്ജീകരിച്ചിരുന്നതു്. കാന്തക്ഷേത്രത്തിന്റെയും ആലക്തികക്ഷേത്രത്തിന്റെയും പ്രേരണകൊണ്ടു് ഗതിഭേദം സംഭവിച്ച രശ്മിധാരയെ പൂവ്വസ്ഥിതിയിൽ ആക്കിത്തീക്കുന്നതിനു് സാധകമായവിധം ക്ഷേത്രങ്ങളുടെ പ്രേരകശക്തിയെ അദ്ദേഹം നിയന്ത്രിച്ചു. ഇപ്രകാരം നിയന്ത്രിതമായ രണ്ടു പ്രേരകശക്തികളുടേയും സംബന്ധത്തിൽ (ratio) അലക്തനങ്ങളുടെ വേഗം (speed) കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനും, കാന്തക്ഷേത്രംകൊണ്ടു മാത്രമുണ്ടായ ഗതിഭേദത്തെ ആസ്പദമാക്കി അലക്തനത്തിലെ ആലക്തികഭാരവും (charge), അതിന്റെ ഘനവും (mass) തമ്മിലുള്ള സംബന്ധം നിണ്ണയിക്കുന്നതിനും അദ്ദേഹത്തിനു സാധിച്ചു.

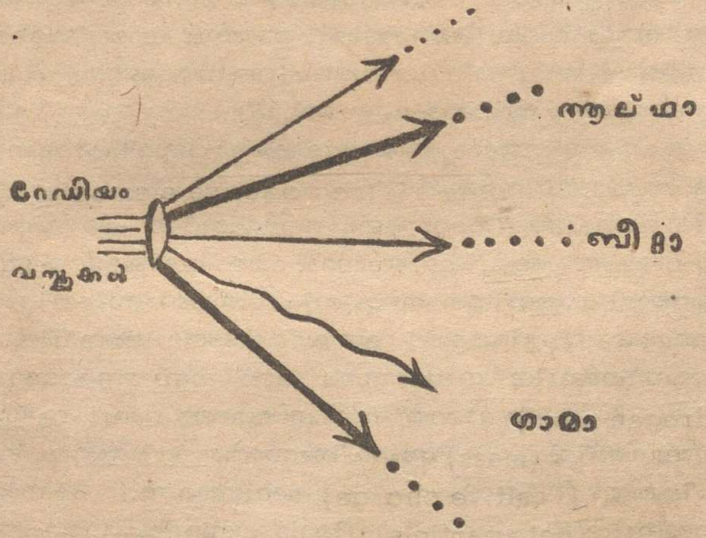
19-ാം ശതകത്തിന്റെ അവസാനത്തോടുകൂടി കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള അലക്തനം (electron) അണുഘടനാചരിത്രത്തിലെ പ്രഥമാദ്ധ്യായം എന്നുതന്നെ നിസ്സന്ദേഹം പറയാവുന്നതാണു്.

അധഃപഥരശ്മിധാരയ്ക്കു നിദാനമായ അലക്തനബിന്ദുക്കൾ ഋണാ

ലക്തികശക്തിയെ വഹിക്കുന്നതിനാൽ ഋണാലക്തികത്തിൻെറ മാത്രകളായി (units of negative electricity) സ്വീകരിക്കാവുന്നതാണ്. ഒരു അണു, അതിൻെറ സാധാരണ നിലയിൽ ആലക്തികപരമായി നിഷ്പക്ഷീയതയെ അവലംബിക്കുന്നതിനാൽ (electrically neutral) ഋണാലക്തികമായ അലക്തനങ്ങൾക്കു സമാനവും അവയെ നിയമനം ചെയ്യുവാൻ സമത്ഥവുമായ ധനാലക്തികാംശങ്ങൾ (Positively charged) അണുക്കളിൽ സ്ഥിതിചെയ്യേണ്ടതാണ് എന്നൊരു ചിന്താഗതി ശാസ്ത്രലോകത്തിൽ ഉയന്നുവന്നുവെങ്കിലും വേണ്ട തെളിവുകളുടെ അഭാവത്തിൽ അതിനു ഗണ്യമായ പ്രസക്തി സിദ്ധിച്ചില്ല.

ആല്ഫാ, ബീററാ, ഗാമാ രശ്മികൾ
(Alpha, Beta, Gamma Rays)

അണുഘടനയെപ്പററിയും അണുക്കളിൽ അലക്തനത്തിൻെറ സ്ഥാനത്തെപ്പററിയും സമഗ്രമായ അറിവു ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയ ശാസ്ത്രകാരന്മാരിൽ പ്രഥമഗണനീയൻ ആം



പടം. 1
ആല്ഫാ, ബീററാ, ഗാമാ രശ്മികളുടെ പ്രസരണം.

ഗല ഭൗതികശാസ്ത്രകാരനായ സർ ഏൎണസ്റ്റ് റതർഫോർഡ് (Sir Ernest Rutherford) ആയിരുന്നു. 'തൈജസ'ത്തിൽ (radium) നിന്നു നിരന്തരം പ്രസരിക്കുന്ന രശ്മികളെ വിശകലനംചെയ്ത് അവയുടെ സ്വഭാവത്തെ മനസ്സിലാക്കുന്നതിന്ന് അദ്ദേഹം ശ്രമിച്ചു. അദ്ദേഹത്തിൻെറ പരീക്ഷണഫലമായി മൂന്നുവിധത്തിലുള്ള രശ്മികളെ 'തൈജസം' പ്രസരിപ്പിക്കുന്നതായി അദ്ദേഹം വെളിപ്പെടുത്തി. ഇവയ്ക്കു ഗ്രീക്ക് അക്ഷരമാലയിലെ ആദ്യത്തെ മൂന്ന് അക്ഷരങ്ങളായ ആല്ഫാ, ബീററാ, ഗാമാ ഇവയോടനുബന്ധിപ്പിച്ച് ആല്ഫാരശ്മി, ബീററാരശ്മി, ഗാമാരശ്മി എന്നു പേരുകളും നല്കപ്പെട്ടു.

ഗാമാരശ്മികൾ ധൎമ്മത്തിലും പ്രകൃതിയിലും എക്സ്-റേയ്ക്കു സമാനമായിരുന്നുവെങ്കിലും തരംഗദൈൎഘ്യത്തിൽ (wave length) എക്സ്-റേയേക്കാൾ ഹ്രസ്വതയുള്ളവയാകുന്നു. ബീററാരശ്മികൾ ഋണനിർഭരങ്ങളായ (Negatively charged) അലക്തനങ്ങളാൽ സംഘടിതമാണ്. എന്നാൽ ആല്ഫാരശ്മികൾ അഥവാ ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾ ധനാലക്തികവും (Positive charge) അലക്തനങ്ങളേക്കാൾ ഭാരംകൂടിയവയും അലക്തനങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ചു വേഗം കുറഞ്ഞവയുമായിരുന്നു. ഇവയുടെ വേഗം സെക്കൻെറിൽ 20,000 മൈൽ ആകുന്നുവെന്ന് റതർഫോർഡ് കണക്കാക്കി. ഈ ആല്ഫാരശ്മികളുടെ അപഗ്രഥനത്തിൽ, അവ ഹീലിയംവാതകംതന്നെയാണെന്നു ചില പരീക്ഷണങ്ങളെക്കൊണ്ടു് അദ്ദേഹം സമൎത്ഥിച്ചു.

ആല്ഫാ, ബീററാ, ഗാമാ രശ്മികളെ പ്രസരിപ്പിക്കുന്ന ധാതുക്കളെ തേജോദ്ഗിരധാതുക്കൾ (radio active elements) എന്ന വകുപ്പിൽ ഉൾപ്പെടുത്തിക്കൊണ്ടാണ് റതർഫോർഡ് പരീക്ഷണങ്ങൾ നിൎവ്വഹിച്ചതു്. ആല്ഫാ, ബീററാ, ഗാമാ രശ്മികളുടെ പ്രസരണം ഹേതുവായി ധാതുവിനുതന്നെയും വിപരിണാമം സംഭവിക്കുന്നുവെന്ന് അദ്ദേഹം വെളിവാക്കി. ഒരു ധാതുവിൻെറ അണുവിൽനിന്നും ഒരു ആല്ഫാബിന്ദു നഷ്ടമായാൽ, ഒരു അബ്ജനകാണുവിൻെറ (hydrogen atom) ഭാരത്തിൻെറ നാലുമടങ്ങു കുറവ് ആ ധാതുവിൻെറ ഘനത്തിൽ (mass) സംഭവിക്കുന്നതോടുകൂടി അതിൻെറ ധനാലക്തികതയ്ക്കും (Positive charge) കുറവുണ്ടാകുന്നു. എന്നാൽ ഒരു ബീററാബിന്ദു(beta particle)വിൻെറ പ്രസരണം ഹേതുവായി ഒരു നൂതനധാതു രൂപംപ്രാപിച്ചാൽ മൂലധാതുവിൻേറയും (original element) നൂതനധാതുവിൻേറയും അണുഭാരങ്ങൾ(atomic weights)

തുല്യങ്ങളായിരിക്കും. കാരണം ഒരു ബീററാ ബിന്ദു എന്നു പറയുന്നതു് ഒരു അലകതനംതന്നെയാണു്. പക്ഷേ, ഒരു അലകതനം(electron) നഷ്ടമാകുന്നതോടുകൂടി അണുവിൻെറ ധനാലക്തികതയിൽ ഒരംശം വർദ്ധിക്കയാണു ചെയ്യുന്നതു്. അതുമൂലം ഒരു നൂതനധാതു രൂപപ്പെടുന്നു. ഇപ്രകാരം തേജോദ്ഗിരധാതുവായ യുറേനിയത്തിൽനിന്നും, ആല്ഫാ, ബീററാ ബിന്ദുക്കൾ നഷ്ടമാകുന്നതോടുകൂടി യുറേനിയം ധാതു റേഡിയം, റാഡൻ (radon), പൊളോണിയം (polonium) തുടങ്ങി വിവിധരൂപങ്ങളെ പ്രാപിച്ചു് അവസാനത്തിൽ ഈയം (lead) എന്ന ധാതുവായി പരിണമിക്കുന്നു. ഒരു സെക്കൻെറിൽ ഒരു ഗ്രാം യുറേനിയം 24,000 ആല്ഫാബിന്ദുക്കളെ പ്രസരിപ്പിക്കുന്നുവെന്നു കണക്കാക്കിയാൽ അത്രയും യുറേനിയത്തിൻെറ പകുതിക്കു വികലനം (disintegration) സംഭവിക്കുന്നതിനു് 45 കോടി വഷങ്ങൾ വേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഈ കാലത്തിനു് യുറേനിയത്തിൻെറ ജീവിതാദ്ധം (അദ്ധകാലം—half life) എന്നു പറയാം.

അണുബീജം
(Atomic Nucleus)

രതർഫോർഡിൻെറ പരീക്ഷണത്തിൽ ആല്ഫാ രശ്മിയിലെ ബിന്ദുക്കൾക്കു് അലൂമിനീയത്തിൻെറയോ അതുപോലെയുള്ള ഇതര ഘനവസ്തുക്കളുടെയോ നേരിയ തകിടുകളിൽക്കൂടി തുളച്ചുകയറുവാനുള്ള പ്രാപ്തിയുണ്ടെന്നു് അദ്ദേഹം ഗ്രഹിച്ചു. എന്നാൽ ഈ രശ്മികൾ ഘനവസ്തുക്കളിൽ പ്രവേശിക്കുമ്പോൾ അവയുടെ ഋജുവായ ഗതിക്കു് എത്രമാത്രം ഭേദമുണ്ടാകുമെന്നു നിണ്ണയിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി ആല്ഫാ ബിന്ദുധാരയെ ഒരു നേരിയ തകിടിൽക്കൂടി അദ്ദേഹം പ്രവേശിപ്പിച്ചു. പക്ഷേ, അധികം ബിന്ദുക്കൾക്കും ഗണ്യമായ യാതൊരു ഗതിഭേദവും (deflection) സംഭവിച്ചതായി അനുഭവപ്പെട്ടില്ല. ചില ബിന്ദുക്കൾക്കു മാത്രം അവയുടെ പൂവ്വഗതിയിൽനിന്നു വ്യതിയാനം സംഭവിച്ചതായും, വളരെ ദുർല്ലഭമായി മാത്രം ചില ബിന്ദുക്കൾക്കു വിപുലമായ ഗതിഭേദം ഉണ്ടായതായും അദ്ദേഹം മനസ്സിലാക്കി. ഈ കാഴ്ച അദ്ദേഹത്തെ വളരെ അത്ഭുതപ്പെടുത്തി. എത്ര ഭീമമായ മർദ്ദംകൊണ്ടുപോലും ഘനവസ്തുക്കളുടെ ആകൃതിക്കു ഗണ്യമായ വ്യത്യാസം സംഭവിക്കുന്നില്ല എന്ന കാരണംകൊണ്ടുതന്നെ ഘനവസ്തുക്കളിലെ അണുക്കളുടെ 'സാന്ദ്രീഭാവം' (denseness)ഊഹിക്കാവുന്നതാണല്ലോ. രതർ

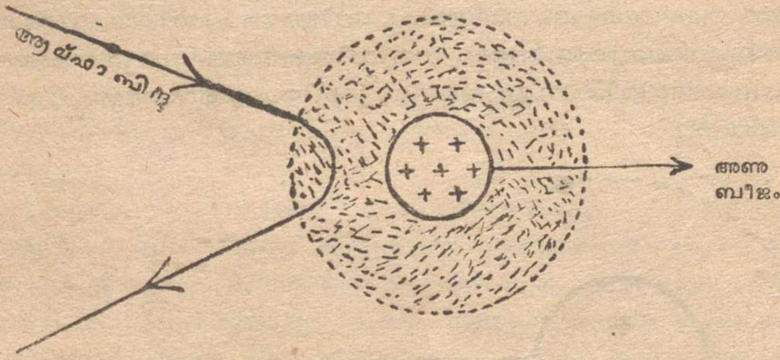
ഫോർഡിൻെറ പരീക്ഷണത്തിനു വിധേയമായ ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾ വസ്തുവിലെ അണുരന്ധ്രങ്ങളിൽക്കൂടി പ്രയാണം ചെയ്യുമ്പോൾ അണുക്കളുടെ പാർശ്വങ്ങളുമായി സംഘട്ടനമുണ്ടാകുമെന്നു ന്യായമായി പ്രതീക്ഷിക്കാം. ഈ സംഘട്ടനംമൂലം ബിന്ദുക്കൾക്ക്, അവയുടെ പൂർവ്വഗതിയിൽനിന്നു വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്നതാണ്.

റതർഫോർഡിൻെറ ഈ പരീക്ഷണത്തെ ഒരു 'ബിലിയാർഡ്സ്' കളിയോടുപമിക്കാം. ബിലിയാർഡ്സ്കളിക്കുവേണ്ടിയുള്ള ഒരു മേശമേൽ നിരന്നുകിടക്കുന്ന നിരവധി ഗോളങ്ങളുടെ മദ്ധ്യത്തിൽക്കൂടി തള്ളിവിടപ്പെടുന്ന ഒരു ഗോളം ഇതര ഗോളങ്ങളെ ഒന്നും സ്പർശിക്കാതെതന്നെ, നേരേ മേശയുടെ മറുഭാഗത്തു ചെല്ലണമെങ്കിൽ ഗോളങ്ങൾക്കു തമ്മിൽ ഗണ്യമായ അകൽച്ചയുണ്ടായിരിക്കണമല്ലോ.

ഇതുപോലെതന്നെ റതർഫോർഡ് ക്ഷേപണംചെയ്ത ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ അധികഭാഗങ്ങൾക്കും യാതൊരു ഗതിഭേദവും സംഭവിക്കാതെ വന്നതിനാൽ അണുക്കളിലെ ഏറിയഭാഗവും ശൂന്യമായിരിക്കാമെന്ന് അദ്ദേഹം നിശ്ചയിച്ചു. എന്നാൽ ചില ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ഗതിക്കു ഭേദം വന്നതിൻെറ കാരണം ആരായേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾതന്നെയും ആലക്തികനിർഭരങ്ങളാണെന്നു നാം കണ്ടുവല്ലോ. അതിനാൽ, അവ അണുവിൻെറ ഏതെങ്കിലും ചില ഭാഗങ്ങളെ ഉരസി കടന്നുപോകുമ്പോൾ ആ ഭാഗങ്ങളിൽ ആപേക്ഷികമായി പ്രബലപ്പെട്ട ഒരു ശക്തി (force) പ്രസ്തുത ബിന്ദുക്കളെ തള്ളിമാററി എന്നൂഹിക്കുന്നതിനു മാർഗ്ഗമുണ്ട്. അതുകൊണ്ട് ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ഗതിഭേദത്തിനു കാരണം ആലക്തികശക്തിതന്നെയായിരിക്കണമെന്നനുമാനിക്കാം. ഈ ആലക്തികശക്തി അണുവിൽ എവിടെയാണു പ്രവർത്തിക്കുന്നതു്? ആല്ഫാബിന്ദുക്കളിലെ ആലക്തികഭാരവുമായ। താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ ഇതിനുള്ള സ്ഥാനമെന്താണ്? ഈ പ്രശ്നങ്ങൾക്കുതക്ക സമാധാനം റതർഫോർഡ് കണ്ടുപിടിച്ചു.

ആല്ഫാബിന്ദുവിനെ അപേക്ഷിച്ചു ഘനംകൂടിയ ഒരു വസ്ത്വംശം അണുമദ്ധ്യത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുണ്ട് എന്നും, ഈ വസ്ത്വംശം ധനാലക്തികനിർഭരമായിരിക്കണമെന്നും (Positive charge) സമാനാലക്തികങ്ങൾ (like charges) തമ്മിലുള്ള വികർഷണം (repulsion) ആണ് ചില ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ഗതിഭേദത്തിനു കാരണമെന്നും, ഈ വസ്ത്വംശത്തെ വലയം ചെയ്താണ് 'അലക്തന'

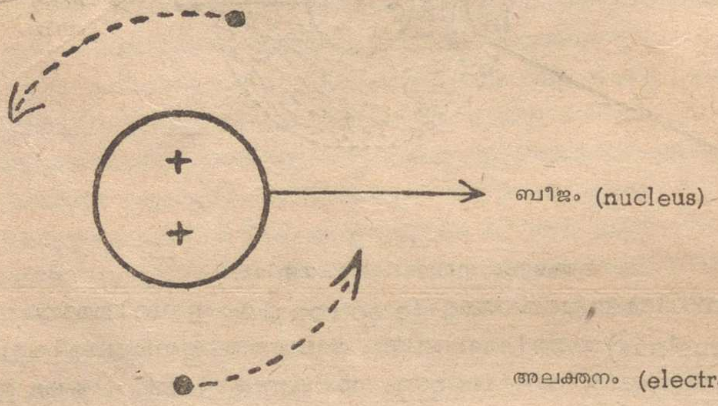
ങ്ങളുടെ (electrons) നിലയെന്നും അദ്ദേഹം സയുക്തികം സമർത്ഥിച്ചു. അണുമദ്ധ്യത്തിൽ ധനാലക്തികഭാരത്തെ (Positive charge) കേന്ദ്രീകരിച്ചിരിക്കുന്ന ഈ വസ്ത്വംശത്തിന്ന് 'അണുബീജം' (atomic nucleus) എന്നു പറയാവുന്നതാണ്.



പടം 2
ആല്ഫാബിന്ദുവിന്റെ ഗതിഭേദം.

അണുവിൽ അലക്തനങ്ങളും (electrons) കേന്ദ്രസ്ഥിതമായ ബീജവും (nucleus) വർത്തിക്കുന്നുവെന്നും അലക്തനം ഋണാലക്തികവും, ബീജം ധനാലക്തികവുമാണെന്നും നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു. പക്ഷേ, ഈ സിദ്ധാന്തം ബീജത്തെ വലയംചെയ്യുന്ന അലക്തനത്തിന്റെ സ്വഭാവത്തെ പൂർണ്ണമായി വ്യാഖ്യാനിക്കുന്നില്ല. ഒരണു നിഷ്പക്ഷീയമായ നിലയിൽ (neutral) വർത്തിക്കണമെങ്കിൽ ബീജത്തിൽ കേന്ദ്രീകൃതമായ 'ധനഭാര'ത്തിന്റെ (Positive charge) പ്രസക്തിക്കു പരിഹാരമായി ഋണഭാരാത്മകമായ (Negatively charged) അലക്തനങ്ങളുടെ ആവശ്യം നേരിടുന്നു. എന്നാൽ സ്ഥിരവർത്തിയായ ഒരലക്തനത്തിനു ബീജസമീപത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുവാൻ സാദ്ധ്യമല്ല. കാരണം ആലക്തികമായ ആകർഷകശക്തികൊണ്ടു് അലക്തനം അണുമദ്ധ്യത്തിലേക്കു് ആവാഹിക്കപ്പെടുന്നതാണ്. ഈ ദുർഘടപ്രശ്നത്തിനു ശരിയായ ഒരു സമാധാനം നിർദ്ദേശിച്ചതു ഡന്മാർക്കിലെ പ്രസിദ്ധ ഗണിതശാസ്ത്രജ്ഞനായ നീല്സ് ബോർ (Niels Bohr) ആകുന്നു. അലക്തനങ്ങൾ നിർദ്ദിഷ്ടപഥങ്ങളിൽക്കൂടി ബീജത്തെ ചുററിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നുവെന്നും, അലക്തനങ്ങളുടെ പരിഭ്രമണവേഗത്തിൽ

നിന്നുളവാകുന്ന 'കേന്ദ്രനിഷ്ക്രമണശക്തി' (centrifugal force) അലകതനങ്ങളെ പ്രതിരോധിച്ചുനിത്തുന്നതാണ് എന്നും അദ്ദേഹം വ്യാഖ്യാനിച്ചു. ഈ സ്ഥിതിക്ക ബീജത്തിലെ ധനാലക്തികശക്തിയുടെ മഹത്വത്തിന് (magnitude) തുല്യമായവിധം വിപരീതാലക്തികഭാരത്തോടുകൂടിയഅലകതനങ്ങാ അണുവിൽ ഉണ്ടായിരിക്കുന്നതാണ് എന്ന് അദ്ദേഹം നിർദ്ദേശിച്ചു. ബീജത്തെ ചുററിക്കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന അലകതനങ്ങളുടെ ഗതിവിശേഷത്തെ സൂര്യഗോളത്തെ ചുററിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഗ്രഹങ്ങളുടെ ഗതിയോടു താരതമ്യപ്പെടുത്താവുന്നതാണ്.



പടം 3
ബീജത്തെ ചുററിയുള്ള അലകതനത്തിൻെറ ഗതി.

അണുസംഖ്യ
(Atomic Number)

റതർഫോർഡിൻെറ പരീക്ഷണങ്ങളെത്തുടന്ന് അദ്ദേഹത്തിന്റെ ശിഷ്യനായ ഹെൻറി മോസ്‌ലി (Henry Mosley) യുടെ കണ്ടുപിടിത്തം അണുചരിത്രത്തിലെ ചില അത്ഭുതരഹസ്യങ്ങളെ പ്രകാശിപ്പിക്കുന്നവയായിരുന്നു.

മോസ്‌ലിയുടെ സഹപ്രവത്തകനായ ഡാർവിൻ(Darwin)ഒരു അക്‌ത്തിൽ (crystal)നിന്നും എക്സ്–റേയുടെ പ്രതിഫലനസ്വഭാവത്തെപ്പററിയുള്ള ഗവേഷണം നടത്തിക്കൊണ്ടിരുന്നു. ഈ ഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി മൂന്നു പ്രബന്ധങ്ങാ അദ്ദേഹം പ്രകാശനംചെയ്തു.

മൂന്നാമത്തെ പ്രബന്ധം പരസ്യപ്പെടുത്തി ഏതാണ്ട് അഞ്ചുമാസം കഴിഞ്ഞപ്പോഠം ലോകമഹായുദ്ധം സമാരംഭിക്കയും, ഗാലിപ്പൊലി (Gallipoli) ആക്രമണത്തിൽവച്ച് അദ്ദേഹം വധിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്തു.

ഏതൊരു രാസകധാതുവും (chemical element) അലക്തനധാരയുടെ അനുസ്യൂതമായ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാകുമ്പോഠം ആ ധാതുകത്തിൽനിന്നും, എക്സ്-റേ പ്രസരം ഉണ്ടാകുന്നുവെന്നും, അവയുടെ തരംഗദൈർഘ്യത്തിനും (wave length), ആ ധാതുവിനും തമ്മിൽ അത്ഭുതകരമായ ഒരു ബന്ധം ദൃശ്യമാകുന്നു എന്നും, മോസ്‌ലി സ്ഥാപിച്ചു.

എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിനും, അലക്തനധാരയ്ക്കും തമ്മിൽ സജാതീയമായ ഒരു ബന്ധം വെളിപ്പെടുന്നുണ്ട്. എങ്ങനെയെന്നാൽ, അതിശീഘ്രത്തിൽ പ്രയാണം ചെയ്യുന്ന ഒരലക്തനധാര (electron stream) ഒരു ലക്ഷ്യത്തിൽ പതിച്ച്, അലക്തനങ്ങളുടെ പുരോഗതിക്ക് ആകസ്മികമായ വിരാമം ഉണ്ടാകുമ്പോഠം, ആ ലക്ഷ്യധാതുവിൽനിന്നും എക്സ്-റേ സ്ഫുരണം സംഭവിക്കുന്നു. അതായത്, അലക്തനങ്ങളുടെ ശീഘ്രഗതിക്കു സാധകമായ പ്രവത്തകശക്തിയിൽ (energy) ഒരു ഭാഗം എക്സ്-റേ പ്രസരമായി ഗാമാരശ്മികളെപ്പോലെയോ, പ്രകാശവീചികളെപ്പോലെയോ, എക്സ്-റേ പ്രസരവും പ്രകാശവേഗത്തിനു (speed of light) തുല്യമായ വേഗത്തിൽ ആണ് സഞ്ചരിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിലെ പ്രവത്തകശക്തി (energy), വസ്തുക്കളിൽ തുളച്ചുകയറുന്നതിനുള്ള അതിന്റെ കഴിവ്, ഇവ എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിനു സാധകമായിത്തീന്ന അലക്തനങ്ങളിലുള്ള പ്രവത്തകശക്തിയെ സമ്പൂണ്ണമായി ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഒരു ഉരുക്കുകഷണത്തിൽനിന്നും ഘർഷണംകൊണ്ടുളവാകുന്ന സ്ഫുലിംഗങ്ങളുടെ സ്വഭാവം ഘർഷണവിധേയമായ ഉരുക്കിനെ സാമാന്യേന ആശ്രയിച്ചിരിക്കാത്തതുപോലെ, ധാതുവിന്മേൽ അലക്തനത്തിന്റെ ആഘാതത്തിൽനിന്നും, സംജാതമാകുന്ന എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിലെ ഒരു ഭാഗം പ്രസ്തുത ധാതുവിനെ ആശ്രയിച്ചല്ല ഇരിക്കുന്നതെങ്കിലും, വേറൊരു ഭാഗം ആ ധാതുവിന്റെ സ്വഭാവത്തെ സമാശ്രയിച്ചാണു കാണപ്പെടുന്നതു് എന്നു മോസ്‌ലി ഗ്രഹിച്ചു. ധാതുവസ്തുവിന്റെ സ്വഭാവത്തെ ആശ്രയിച്ചുള്ള എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിലാണ് മോസ്‌ലിയുടെ ഗവേഷണദൃഷ്ടി പതിഞ്ഞതു്. മോസ്‌ലിയുടെ കാലം

വരെയും, എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിൻെറ തരംഗദൈർഘ്യം (wave length) സൂക്ഷ്മമായി കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗങ്ങൾ ഇല്ലായിരുന്നു. ഒരു പ്രകാശധാരയുടെ പ്രസരത്തെ, അതിൻെറ ഘടകാംശങ്ങളുടെ (component parts) തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്കുള്ള വ്യത്യാസത്തിനനുസൃതമായ വർണ്ണരേഖകളായി വിയോജിപ്പിച്ച്, ഒരു യവനികയിലോ (screen), ഒരു പ്രഭാചിത്രണഫലകത്തിലോ (Photographic plate), പതിപ്പിച്ചാൽ ഓരോ വർണ്ണവും അതാതിനു സ്വായത്തമായ തരംഗദൈർഘ്യത്തെ ആലംബമാക്കി യവനികയുടെയോ, പ്രഭാചിത്രണഫലകത്തിന്റെയോ പ്രത്യേകസ്ഥാനങ്ങളിൽ വെളിപ്പെടുന്നതായി നമുക്കറിവുള്ളതാണ്. ഇതിനുവേണ്ടിയുള്ള പ്രകാശവിയോജനോപകരണത്തിൽ അഥവാ വർണ്ണാന്തരദർശിനിയിൽ (spectroscope) പ്രകാശവിയോജനത്തിനു സഹായകമായ സാധനം സാധാരണമായി ഒരു പ്രിസമോ, അല്ലെങ്കിൽ നിബിഡങ്ങളായ സമാന്തരരേഖകളോടുകൂടിയ ലോഹദർപ്പണമോ, സ്ഫടികമോ ആയിരിക്കാം. എന്നാൽ എക്സ്-റേകളെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം അവയുടെ വിയോജനത്തിനു പററിയ പ്രിസം ലഭിക്കുക എന്നതു് അസാദ്ധ്യമായിരുന്നു. അതുപോലെതന്നെ നിർദ്ദിഷ്ടങ്ങളായ (specified) സമാന്തരരേഖകളെ ലോഹദർപ്പണങ്ങളിലോ, സ്ഫടികത്തിലോ അതിനിബിഡമായി രേഖപ്പെടുത്തുക എന്നതും അസാദ്ധ്യമായ ഒരു കാര്യമായിരുന്നു. എന്നാൽ ചില അക്കങ്ങളിലെ (crystal) അണുക്കളുടെ നിബിഡതയും, സമാന്തരഭാവവുംകൊണ്ടു്, ആ അക്കങ്ങൾ എക്സ്-റേ വിയോജനത്തിനു സഹായകമായിരിക്കുമെന്നൊരു നവീനാശയം 1912-ൽ 'ലോവ്' (Laue) എന്ന ശാസ്ത്രകാരൻ ആവിഷ്കരിച്ചതോടുകൂടി, അതിനെ അവലംബമാക്കിയുള്ള ഒരു യന്ത്രസൃഷ്ടിക്കുവേണ്ടി മോസ്‌ലി പരിശ്രമിക്കയും അതിൽ അദ്ദേഹം വിജയംനേടുകയും ചെയ്തു. ഈ യന്ത്രത്തെ ആശ്രയിച്ച് അദ്ദേഹം പല പരീക്ഷണങ്ങളും ആരംഭിച്ചു.

വിവിധ ധാതുക്കളെ അലക്തനധാരയുടെ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കി അവയിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന എക്സ്-റേകളെ അക്കത്തിൽക്കൂടി കടത്തിവിട്ടു്, അവയെ വിയോജിപ്പിച്ച് ഓരോന്നിൻേറയും തരംഗദൈർഘ്യം നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനും, അങ്ങനെ ധാതുവസ്തുക്കളും, അവയിൽനിന്നു പ്രസരിക്കുന്ന എക്സ്-റേകളുടെ തരംഗദൈർഘ്യവും തമ്മിലുള്ള സംബന്ധം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനും, ഈ

ബന്ധത്തെ ആസ്പദമാക്കി ധാതുക്കളെ പ്രത്യേകവകുപ്പിൽ നിയമനം ചെയ്യുന്നതിനും മോസ്ലിക്ക സാധിച്ചു.

ഓരോ ധാതുവിൻെറയും തരംഗദൈഘ്യങ്ങഠം തമ്മിൽ താരതമ്യപ്പെടുത്തി നോക്കിയതിൽ, തരംഗദൈഘ്യങ്ങളുടെ ക്രമാഗതമായ അഭിവൃദ്ധി ധാതുവിലെ അണുബീജത്തോട് (nucleus of the atom) അനുബന്ധിച്ച ധനാലക്തികഭാരത്തിൻെറ (Positive charge) പരിമാണത്തിനനുസരിച്ചാണെന്നു് അദ്ദേഹം മനസ്സിലാക്കി.

ധാതുവിലെ അണുബീജത്തിൻെറ ചുററും കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരലക്ത്രനത്തിനു്, അലക്ത്രനധാരയുടെ ആഘാതംകൊണ്ടു ഭ്രഷ്ടത സംഭവിക്കുന്നതാണു്, ആ ധാതുവിൽനിന്നും എക്സ്-റേ പ്രസരം ഉണ്ടാകുന്നതിനു കാരണമായിത്തീരുന്നതു്. ഭ്രഷ്ടമായ അലക്ത്രനത്തിൻെറ സ്ഥാനവും (position), സ്വഭാവവും (property) ബീജത്തോടനുബന്ധിച്ച ആലക്തികശക്തിയെ ആസ്പദമാക്കി നിർണ്ണയിക്കാവുന്നതാണു്. അതുകൊണ്ടു ഭ്രഷ്ടമായ അലക്ത്രനത്തിൻെറ സ്ഥാനത്തു വേറൊരലക്ത്രനം പതിക്കുമ്പോഠം ധാതുവിൽനിന്നുമുളവാകുന്ന എക്സ്-റേ പ്രസരത്തിന്റെ സ്വഭാവം ബീജവത്തിയായ ആലക്തികശക്തിയുടെ സ്വഭാവത്തെ ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്.

മോസ്ലി 46 വ്യത്യസ്തധാതുക്കളെ പരീക്ഷണവിധേയമാക്കി അവയിൽനിന്നുമുള്ള പ്രസരണസ്വഭാവത്തേയും, പ്രസരത്തിൻെറ തരംഗദൈർഘ്യത്തേയുംപററി സൂക്ഷ്മമായി പഠിച്ചതിൻെറ ശേഷമാണ ധാതുവിനു് അണുസംഖ്യ (atomic number) നിർണ്ണയിച്ചു് ഓരോ ധാതുവിനും പ്രത്യേകം സ്ഥാനം കല്പിച്ചതു്.

1913-നു മുമ്പുതന്നെ മിക്ക ധാതുക്കളേയും രാസവിശകലനംചെയ്തു്, (chemical analysis) അവയുടെ രാസപരമായ ഘനത്വം (mass) നിർണ്ണയിക്കയും രാസഘനത്തിൻെറ ആരോഹണക്രമത്തെ ആധാരമാക്കി ധാതുക്കഠംക്ക നിർദ്ദിഷ്ടസ്ഥാനങ്ങഠം കല്പിക്കയും ചെയ്തിരുന്നതായി മെൻഡിലീഫിൻെറ ധാതവനുക്രമണിക (periodic table)യിൽനിന്നും നാം കണ്ടുവല്ലോ. അതനുസരിച്ചു് ഏററവും ഭാരംകുറഞ്ഞ ധാതുവായ അമ്പ്ജനകത്തിനു് (hydrogen) സംഖ്യ ഒന്നു് എന്നു കല്പിച്ചു്, ധാതുക്കളുടെ ഭാരക്കൂടുതലിനെ ആസ്പദമാക്കി ധാതുസംഖ്യകഠം നിർണ്ണയിച്ചിരുന്നു.

ധാതുക്കളുടെ രാസഘനത്തിൻെറ (chemical mass) ആരോഹണക്രമത്തെ ആസ്പദമാക്കി ധാതുക്കഠംക്ക നല്കിയ സംഖ്യയും ധാതു

ക്കളിലെ അണുബീജത്തിൽ വർത്തിച്ചിരുന്ന ധനഭാരത്തിൻെറ (Positive charge) മാത്രകളെ ആധാരമാക്കി മോസ്ലി നിർണ്ണയിച്ച അണുസംഖ്യയും (atomic number) അദ്ദേഹം താരതമ്യപ്പെടുത്തിയതിൽ അവ രണ്ടും മിക്കവാറും ഒന്നുപോലെയാണു കാണപ്പെട്ടതു്. എന്നാൽ ചുരുക്കം ചില പ്രത്യേക ധാതുക്കളുടെ കാര്യത്തിൽ ഇവ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യസ്തതയും മോസ്ലി ദർശിക്കാതിരുന്നില്ല. പക്ഷേ, ധാതുവിന്റെ രാസകധർമ്മങ്ങളെ (chemical properties) ആസ്പദമാക്കിയാൽ അണുസംഖ്യ(atomic number)കൊണ്ടു ധാതുവിനു നിർണ്ണയിക്കപ്പെട്ട സ്ഥാനത്തുനിന്നു് ഒരിക്കലും ഭേദംവരുവാൻ പാടില്ലാത്തതാണു് എന്നു് അദ്ദേഹം നിഷ്ക്കർഷിച്ചു. കാരണം ഒരു ധാതുവിനു സ്വായത്തമായുള്ള രാസകധർമ്മങ്ങരം നിർണ്ണയിക്കുന്നതു്, ആ ധാതുവിലെ അണുബീജത്തിൽ വർത്തിക്കുന്ന ധനാലക്തികഭാരത്തിൻെറ മാത്രകളെയോ, അല്ലെങ്കിൽ അണുവിലെ അലക്തനങ്ങളുടെ (electrons) സംഖ്യയെയോ, അതായതു് അണുസംഖ്യയെയോ ആസ്പദമാക്കിയാണു്. തന്നെയുമല്ല, ഒരു ധാതുവിൻെറ രാസകഭാരത്തിനു (chemical weight) അതിൻെറ അണുസംഖ്യയുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ അത്ര പ്രാധാന്യം കല്പിക്കേണ്ടതുമില്ല.

അണുഭാരം
(Atomic weight)

ഒരു ധാതുവിൻെറ അണുഭാരം അഥവാ രാസകഭാരം (chemical weight) നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനുള്ള മാനദണ്ഡം അബ്ജനകാണു (hydrogen atom)വിൻെറ ഭാരമാണു്. ഏററവും ലഘുഭാരാത്മകമായ അബ്ജനകാണുവിനെ അപേക്ഷിച്ചു് ഒരു ധാതുവിലെ അണുവിനു് എത്ര മടങ്ങു ഭാരമുണ്ടെന്നു നിർണ്ണയിച്ചാൽ ആ ധാതുവിൻെറ അണുഭാരമായി. ഡാൾട്ടൻെറ നിശ്ചിതാനുപാതനിയമം (Law of definite proportion) അനുസരിച്ചു് ആനുപാതികമായി ധാതുക്കളുടെ ഭാരങ്ങളെ ആസ്പദമാക്കിയാണു് അവയുടെ രാസപരമായ സംയോഗം (chemical combination) എന്നു ഗ്രഹിക്കാം. ഉദാഹരണമായി, അബ്ജഹരിതകം (hydrogen chloride) സിദ്ധിക്കുന്നതിനു്, ഒരു ഗ്രാം അബ്ജനകത്തോടു് 35·5 ഗ്രാം ഹരിതകത്തിന്റെ (chlorine) രാസകമായ സംയോഗം ആവശ്യമായിത്തീരുന്നു. അതായതു ഹരിതകസംയുക്തമായ ഒരു യൗഗികത്തിന്റെ (compound)

മൂലകത്തിൽ (molecule) 35·5 ഭാഗം ഹരിതകം ഉണ്ടായിരിക്കുമെന്നു സ്പഷ്ടമാകുന്നു. ഹരിതകം സോഡിയത്തോടുചേൎന്ന് 'സോഡിയം ക്ലോറൈഡ്' (common salt) ഉണ്ടാകുന്നതിന് 35·5 ഗ്രാം ഹരിതകവും, 23 ഗ്രാം സോഡിയവും വേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. അപ്പോൾ 23 ഗ്രാം സോഡിയം രാസപരമായി ഒരു ഗ്രാം അബ്ജനകത്തിനു തുല്യമാണെന്നു പറയാം. അതായതു് സോഡിയത്തിൻെറ അണുഭാരം 23 എന്നും ഹരിതകത്തിൻെറ അണുഭാരം 35·5 എന്നും ലഭിക്കുന്നു. അമ്ലജനകത്തിന്റെ(oxygen)അണു, അബ്ജനകത്തെ (hydrogen) അപേക്ഷിച്ച് 16 മടങ്ങു ഭാരം കൂടിയതാകയാൽ അമ്ലജനകത്തിൻെറ അണുഭാരം 16 എന്നു നിർണ്ണയിക്കാവുന്നതിനാൽ രസവിജ്ഞാനീയത്തിൽ (chemistry) ധാതുവസ്തുക്കളുടെ അണുഭാരം നിശ്ചയിക്കുന്നതു് അമ്ലജനകത്തെ ആപേക്ഷികമാക്കുന്നതിനു പകരം അമ്ലജനകത്തിൻെറ അണുഭാരത്തിൻെറ പതിനാറിൽ ഒന്നിനെ ആപേക്ഷികമാക്കിക്കൊണ്ടാണു്.

സ്ഥാനീയങ്ങൾ
(Isotopes)

1910-ൽ ഫ്രെഡറിക്ക് സോഡി (Frederic Soddy) എന്ന ആംഗലേയ രസവൈജ്ഞാനികൻ 'തൈജസ'ത്തിൻെറ (radium) വികലനക്രിയയിൽനിന്നു് (disintegration) രൂപമെടുത്തിട്ടുള്ള ഈയ(lead)ധാതുവിലെ അണുക്കളുടെ ഭാരങ്ങൾക്കു തമ്മിൽ(atomic weights) വ്യത്യാസമുണ്ടെന്നും, എന്നാൽ എല്ലാവിധം ഈയവും ഒരേ രാസകധൎമ്മത്തോടുകൂടി വൎത്തിക്കുന്നവയാകയാൽ ഒരേ അണുസംഖ്യ(atomic number)യോടു കൂടിയവയുമാണെന്നും പരീക്ഷണങ്ങൾ മുഖേന വെളിപ്പെടുത്തി. ഈയത്തിൻെറ അണുഭാരങ്ങളുടെ ഈ വൈവിദ്ധ്യം പ്രഥമമായി സൂചിപ്പിച്ചതു ഹാർവാർഡ് സൎവ്വകലാശാലയിലെ ററി. ഡബ്ല്യൂ. റിച്ചാർഡ്സ് (T. W. Richards) എന്ന ശാസ്ത്രകാരനായിരുന്നു.

ഒരേ ധാതുവിലുള്ള അണുക്കളുടെ ഭാരങ്ങൾ തമ്മിൽ വ്യത്യാസം സംദൃശ്യമാണെന്നിരുന്നാലും, എല്ലാ അണുക്കളും ഒരേ രാസകധൎമ്മത്തെ പ്രകാശിപ്പിക്കുന്നതിനാൽ ധാതുനുക്രമണികയിൽ (periodic table) ഇവയെല്ലാം ഏകസ്ഥാനീയങ്ങളാണു്. അതിനാൽ ഫ്രെഡറിക്ക് സോഡി ഈ അണുക്കൾക്കു് 'ഏകസ്ഥാനീയം' (in the

same place) എന്നത്ഥം വരുന്ന 'സ്ഥാനീയം' (Isotope) എന്ന പേരുനല്കി. അതോടുകൂടി ശാസ്ത്രഗണനീയങ്ങളായ രാസകധാതുക്കളിൽ (chemical elements) അധികവും വ്യത്യസ്തങ്ങളായ അണുഭാരങ്ങളോടുകൂടിയവയാണെന്നു സൂക്ഷ്മമായി പ്രവചിക്കുന്നതിനു് അദ്ദേഹം ധൈര്യപ്പെട്ടു.

ഫ്രെഡറിക്ക് സോഡിയുടെ ഈ നിഗമനത്തെ ആധാരമാക്കിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി രാസകധാതുക്കളിൽ ഭൂരിഭാഗവും രണ്ടോ, അധികമോ 'സ്ഥാനീയങ്ങൾ' (Isotopes) ചേൎന്നവയാണെന്നു ശാസ്ത്രകാരന്മാർ സമത്ഥിച്ചിട്ടുണ്ടു്. തകരം (tin) തുടങ്ങിയ ധാതുക്കൾക്കു് ഏതാണ്ടു പത്തുവരെ 'സ്ഥാനീയങ്ങൾ' ഉള്ളതായി തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. എന്നാൽ സോഡിയം, അലൂമിനിയം തുടങ്ങിയ ധാതുക്കൾക്കു് ഓരോ 'സ്ഥാനീയം' മാത്രമേ കാണുന്നുള്ളു.

ഒരു ധാതുവിലെ വ്യത്യസ്തഭാരങ്ങളോടുകൂടിയ അണുക്കളെ അഥവാ 'സ്ഥാനീയ'ങ്ങളെ (Isotopes) വ്യവച്ഛേദിച്ചു കാണിക്കുന്നതിനു ധാതുനാമത്തോടുചേൎത്തു് അതാതു് അണുക്കളുടെ ഘനസംഖ്യ (mass number) രേഖപ്പെടുത്തിയിരിക്കും. ഉദാഹരണമായി രജതധാതുവിൻെറ (silver) രണ്ടു സ്ഥാനീയങ്ങളെ പ്രത്യേകമായി കാണിക്കുന്നതു് Ag^{107} എന്നും Ag^{109} എന്നും രേഖപ്പെടുത്തിയാണു്. Ag എന്നതു രജതധാതുവിൻെറ രാസകചിഹ്നവും (chemical symbol) 107, 109 ഈ സംഖ്യകൾ അണുക്കളുടെ ഘനസംഖ്യകളും (mass number) ആകുന്നു. ഘനസംഖ്യ എന്നതു് അണുബീജത്തിൻെറ ഘനത്തെ നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനാസ്പദമായ ബീജത്തിൽ വത്തിക്കുന്ന സൂക്ഷ്മമാത്രകളുടെ ആകെത്തുകയാണു്.

അണുബീജഘടന
(STRUCTURE OF ATOMIC NUCLEUS)

അണുബീജത്തിൻെറ സംഘടനയെപ്പററി നമുക്കുള്ള ജ്ഞാനം ഇപ്പോഴും വളരെ പരിമിതമാണു്. ബീജാന്തർഭാഗത്തിലെ അംശങ്ങളെക്കുറിച്ചോ, അവയുടെ അത്ഭുതശക്തിയെക്കുറിച്ചോ സംതൃപ്തിജനകങ്ങളായ ചില സിദ്ധാന്തങ്ങൾ ആവിഷ്കൃതമായി എന്നു വൈജ്ഞാനികന്മാർ അഭിമാനംകൊണ്ടതുതന്നെ 1936-നു ശേഷമാണു്.

തൈജസരശ്മികളെ (radium) ആധാരമാക്കിയുള്ള ഏർണസ്റ്റ് റതർഫോർഡിൻെറ (Ernest Rutherford)ൻെറ ഗവേഷണത്തോടൊന്നിച്ചുതന്നെ അണുബീജഘടനയെപ്പററിയുള്ള ഗവേഷണത്തിലും അദ്ദേഹം നിരന്തരം വ്യാപൃതനായിരുന്നു. തൈജസ(radium)ത്തിലെ ആല്ഫാരശ്മികളെ ഇതരവസ്തുക്കളുടെ അണുക്കളിൽ ആഘാതം ഏൽപ്പിക്കുന്നതിനു പ്രയോജനപ്പെടുത്തി ബീജത്തിൽ കേന്ദ്രീകരിച്ചിട്ടുള്ള 'ധനഭാര'ത്തിൻെറ (Positive charge) പ്രഭാവത്തെ അദ്ദേഹം പ്രകാശിപ്പിച്ചു.

1919-ൽ റതർഫോർഡ് കാവൻഡിഷ് പരീക്ഷണശാലയുടെ (Cavendish laboratory) ഉത്തരവാദിത്വം സർ. ജെ. ജെ. തോംസണിൽനിന്നും ഏറെറടുത്തതോടുകൂടി വാതകങ്ങളിൽ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതംകൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന വിപരിണാമങ്ങളെ ആസ്പദമാക്കി പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി.

പ്രഥമമായി, പാക്യജനകാണുവിനെ (nitrogen atom) ആൽഫാബിന്ദുവിൻെറ ആഘാതം ഏൽപ്പിച്ചപ്പോൾ പാക്യജനകത്തിൻെറ ബീജത്തിൽനിന്നു് ഭ്രഷ്ടമായ ബിന്ദു ആലക്തികൈകമാത്രകമായ അബ്ജനകത്തിൻെറ സൂക്ഷ്മബിന്ദുവാണെന്നു റതർഫോർഡ് മനസ്സിലാക്കി. അതേത്തുടർന്നു്, ഇതരധാതുവസ്തുക്കളിലും ആൽഫാരശ്മികളെ കടത്തിവിട്ടപ്പോൾ അബ്ജനകത്തിൻ്റെ (hydrogen) ഇതേ സൂക്ഷ്മബിന്ദുക്കളാണു് ബഹിർഗ്ഗമിച്ചതു്. ഈ പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും ദ്രവ്യങ്ങളുടെ (matter) ഘടനയിൽ അടിസ്ഥാനപരവും ധനനിർഭരവുമായ (Positively charged) മൗലികബിന്ദു

(fundamental particle) അലക്തനവിരഹിതമായ അബ്ജനകാണുവിൻെറ ബീജമാണെന്ന് (nucleus of hydrogen atom minus the electron) റതർഫോർഡ് സമർത്ഥിച്ചു.

ഈ നിഗമനത്തെ ആദ്യമായി പ്രസ്താവിച്ചതു് 1920–ൽ രാജകീയസമിതിയുടെ (Royal Society) നേതൃത്വത്തിൽ നടത്തിയ പ്രഭാഷണവേളയിലായിരുന്നു. അതേവർഷംതന്നെ ശാസ്ത്രപുരോഗമനാർത്ഥം സംഘടിതമായിട്ടുള്ള ബ്രിട്ടീഷ് സമിതിയുടെ മുമ്പാകെയും ഈ വിഷയത്തെ പരാമർശിച്ചു് ഒരു പ്രബന്ധം സമർപ്പിച്ചു. റതർഫോർഡ് വെളിപ്പെടുത്തിയ ഈ മൗലികബിന്ദുവിനു സർ ഒലിവർ ലോഡ്ജിൻെറ (Sir Oliver Lodge) നിർദ്ദേശപ്രകാരം 'പ്രധനം' (proton) എന്നു നാമകരണം ചെയ്തു. ഈ പേരിനെസ്സംബന്ധിച്ചു് എതിർപ്പുകൾ ശാസ്ത്രലോകത്തിൽ ഉണ്ടായെങ്കിലും പിന്നീടു് അതു ശാസ്ത്രകാരന്മാർ അംഗീകരിക്കയാണു ചെയ്തതു്.

ഒരു പ്രധനത്തിലെ ആലക്തികഭാരം (charge) ഒരലക്തനത്തിലേതിനോടു സമാനവും വിപരീതഭാവത്തോടുകൂടിയതുമാണ്. ഒരു അബ്ജനകാണുവിൽ ഒരു 'പ്രധനവും' (proton) ഒരു 'അലക്തന'വും (electron) മാത്രം സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതിനാൽ അണുക്കളിൽ ഏറ്റവും കേവലമായിട്ടുള്ളതു് അബ്ജനകാണുവാകുന്നു.

ഒരു പ്രധനം (proton) ഒരു അലക്തനത്തെ അപേക്ഷിച്ചു് 1840 മടങ്ങു ഭാരമുള്ളതും വളരെ ചെറുതുമാകുന്നു. അലക്തനവും പ്രധനവും തുല്യഘനത്തോടു(equal mass)കൂടിയവയാണെന്നു വിചാരിച്ചിരുന്ന ശാസ്ത്രകാരന്മാരിൽ ഈ അറിവു് വലിയ അത്ഭുതത്തെ ഉളവാക്കി.

നിരലക്തങ്ങൾ

(Neutrons)

ഹെൻറി മോസ്‌ലിയുടെ ഗവേഷണഫലത്തെ ആസ്പദമാക്കിയാൽ ഒരു ധാതുവിനു നിർണ്ണയിച്ചിട്ടുള്ള അണുസംഖ്യ (atomic number) ആ ധാതുവിൻെറ അണുബീജത്തിലുള്ള ധനഭാരത്തിൻെറ (Positive charge) അഥവാ പ്രധനത്തിൻെറ (proton) എണ്ണത്തിനു തുല്യമാണ്. ബീജത്തെ വലയം ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന അലക്തനങ്ങളുടെ എണ്ണവും ഇതുതന്നെയാണ്. ഇതിനാണ് ധാതുവിൻെറ അണുസംഖ്യ (atomic number) എന്നു പറയുന്നതു്. അബ്ജനക

ത്തിനു നിണ്ണയിച്ചിട്ടുള്ള അണുസംഖ്യ ഒന്നു്; ഇതിൻെറ സാരം അബ്ജനകബീജത്തിൽ ഒരു പ്രധനവും (proton), അതിനെ ചുററി ഒരു അലക്തനവും (electron) സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുവെന്നത്രേ. അബ്ജനകബീജത്തിൽ ധനകഭാരാത്മകമായ ഏക പ്രധനം വത്തിക്കുന്നതിനാൽ, അബ്ജനകത്തിൻെറ ഘനസംഖ്യയും (mass number) അണുഭാരവും (atomic weight) ഒന്നു് എന്നു തന്നെ.

ധാതവനുക്രമണികയിൽ അബ്ജനകത്തിനടുത്ത സ്ഥാനത്തിനർഹമായ ഹീലിയത്തിനു് (helium) അണുസംഖ്യ രണ്ടു് എന്നു നിണ്ണയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഹീലിയംഅണുവിൽ രണ്ടലക്തനങ്ങളും ബീജവത്തിയായി രണ്ടു പ്രധനങ്ങളും ഉണ്ടെന്നു സങ്കല്പിക്കാം. എന്നാൽ ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ നിണ്ണയത്തിൽ ഹീലിയത്തിൻെറ അണുഭാരം 'നാലു്' എന്നു കാണുന്നതിനാൽ ഹീലിയത്തിൻെറ ബീജത്തിൽ നാലു പ്രധനങ്ങരം ഉണ്ടെന്നു വന്നുകൂടുന്നു. വിരുദ്ധങ്ങളായ ഈ സങ്കല്പങ്ങരം നവീനമായ ഒരു ചിന്തയെ ആവിഷ്കരിക്കുന്നതിനു സാധകമായി ഭവിച്ചു. അതായതു്, അണുബീജത്തിൽ പ്രധനത്തെക്കൂടാതെ പ്രധനത്തിനു തുല്യമായ ഘനത്തെ (mass) വഹിക്കുന്നതും ആലക്തികരഹിതവുമായ വേറൊരംശം സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുണ്ടാവാമെന്നും, അതായിരിക്കാം ഒരു വസ്തുവിൻെറ അണുസംഖ്യയ്ക്കു വ്യത്യാസം ഉണ്ടാക്കാതെ അണുഭാരത്തെ വദ്ധിപ്പിക്കുന്നതെന്നും ഉള്ള ഊഹം പ്രബലമായി.

ബീജവത്തിയായ ഈ നൂതനാംശം എന്തായിരിക്കാമെന്നു് ശാസ്ത്രലോകം വിചിന്തനം ചെയ്യുവാൻ തുടങ്ങി. ഈ ചിന്തയെ ആധാരമാക്കിയുള്ള ഗവേഷണത്തിൻെറ ഫലമായിട്ടാണു് 1932-ൽ ആംഗല ഭൗതികശാസ്ത്രകാരനായ ജെയിംസ് ചാഡ്വിക്ക് (James Chadwick) ബീജവത്തിയും പ്രധനേതരവുമായ ഈ നവീനബിന്ദു കണ്ടുപിടിച്ചതു്. ഇതു് ആലക്തികരഹിതം (electrically neutral) എന്നു കണ്ടതിനാൽ 'നിരലക്തം' (neutron) എന്ന പേരിനർഹമായി.

'നിരലക്ത'ത്തിൻെറ (neutron) കണ്ടുപിടിത്തത്തോടുകൂടി ബീജഘടനയെപ്പററി അതുവരെയുണ്ടായിരുന്ന വിശ്വാസത്തെ പരിഷ്കരിക്കേണ്ടതായി വന്നു. ആലക്തികരഹിതമായ ഈ അംശത്തെപ്പററി 1920-ൽത്തന്നെ റതർഫോർഡ് ചില പരീക്ഷണങ്ങളുടെ അനന്തരഫലമായി പ്രവചിച്ചിരുന്നതാണു്. നിരലക്തത്തിൻെറ കണ്ടു

പിടിത്തംവരെയും ധാതുവിന്റെ അണുഭാരം പ്രധനത്തെ മാത്രം ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു് എന്നായിരുന്നു വിശ്വസിക്കപ്പെട്ടിരുന്നതു്. എന്നാൽ ധാതുവസ്തുക്കളുടെ അണുഭാരം ബീജവത്തികളായ പ്രധനങ്ങളുടേയും (protons), നിരലക്തങ്ങളുടേയും (neutrons) ആകെത്തുകയ്ക്കു് ഏകദേശം തുല്യമാണെന്നു പിന്നീടുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾകൊണ്ടു തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്.

ഘനസംഖ്യയും അണുഭാരവും
(Mass Number and Atomic Weight)

ഒരു ധാതുബീജത്തിലെ പ്രധനങ്ങളുടേയും (protons), നിരലക്തങ്ങളുടേയും (neutrons) ആകെത്തുക ആ വസ്തുവിലെ അണുവിന്റെ ഘനസംഖ്യക്കു (mass number) തുല്യമാണു്. ഈ ഘനസംഖ്യയെ 'A' എന്ന ചിഹ്നംകൊണ്ടാണു സാധാരണ കുറിക്കാറുള്ളതു്. അതുപോലെതന്നെ അണുവിലെ പ്രധനങ്ങളുടെ തുകയെ ആസ്പദമാക്കിയാണു് ആ വസ്തുവിന്റെ അണുസംഖ്യ നിർണ്ണയിക്കുന്നതു്. അണുസംഖ്യയെ 'Z' എന്ന ചിഹ്നംകൊണ്ടു കുറിക്കാം. അതിനാൽ നിരലക്തങ്ങളുടെ (neutrons) എണ്ണം ഘനസംഖ്യയായ 'A'യിൽനിന്നും, അണുസംഖ്യയായ 'Z'നെ കുറച്ചു കിട്ടുന്നതാണു്. ഇപ്രകാരം കുറച്ചു കിട്ടുന്ന സംഖ്യയാണു് ഒരു ധാതുവിന്റെ സ്ഥാനീയങ്ങളിലെ (isotopes) ഘനത്തിലുള്ള വ്യത്യാസത്തിനു നിർണ്ണായകമായിരിക്കുന്നതു്. ഘനസംഖ്യകൊണ്ടു നിർദ്ദിഷ്ടമായിട്ടുള്ള അണുഘനത്വം (atomic mass) രാസകമായ അണുഭാരത്തോടു (chemical atomic weight) ഏകദേശം സമാനത വഹിക്കുന്നുണ്ടു്. ഉദാഹരണമായി സോഡിയം ധാതുവിലെ അണുവിൽ 11 പ്രധനങ്ങളും 12 നിരലക്തങ്ങളും സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതിനാൽ സോഡിയത്തിന്റെ ഘനസംഖ്യ 23 എന്നു പറയാം. ഇതിന്റെ രാസകമായ അണുഭാരം 22·997 എന്നാകുന്നു.

അണുപരിമാണം
(Size of Atom)

വസ്തുഘടകാംശങ്ങളായ മൂലകങ്ങൾ (molecules), അണുക്കൾ (atoms), അലക്തനങ്ങൾ (electrons) തുടങ്ങിയവയുടെ യഥാർത്ഥരൂപം പരിമാണം ഇവ ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു സാദ്ധ്യമാകാത്തവിധം

അവ അതിസൂക്ഷ്മങ്ങളാണ്. എത്ര ശക്തിയോടുകൂടിയ സൂക്ഷ്മദർശിനി തന്നെയും (microscope) ഈ ഘടകാംശങ്ങളെ ഗോചരസമത്ഥമാക്കുന്നതിനു് അപര്യാപ്തമാണ്. ഒരു ജലബിന്ദുവിനെ ഭൂഗോളത്തോളം മഹത്വീകരിക്കുവാൻ കഴിയുന്ന ഒരു 'ഭൂതക്കണ്ണാടി'യുണ്ടെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ ആ ഭൂതക്കണ്ണാടിക്കു് ഒരു മൂലകത്തെ (molecule) ഒരു ചെറുനാരങ്ങയുടെ വലിപ്പത്തിൽ കാണിക്കുവാൻ സാധിച്ചേക്കും. മൂലകങ്ങളുടെ പരിമാണം ഇത്രമാത്രം സൂക്ഷ്മമായതെങ്കിൽ അവയുടെ ഘടകാംശങ്ങളായ അണുക്കളുടേയും, അണുക്കളുടെ അംശങ്ങളായ അലക്തനങ്ങൾ, പ്രധനങ്ങൾ തുടങ്ങിയവയുടേയും പരിമാണം എത്രമാത്രമെന്നു സങ്കല്പിക്കാവുന്നതാണല്ലോ.

മൂലകങ്ങളുടെ (molecules) വലിപ്പം, അവയുടെ ഘടകാംശങ്ങളായ അണുക്കളുടെ വലിപ്പത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതുമൂലം മൂലകങ്ങൾ ഒരേ വലിപ്പത്തോടുകൂടിയവയാണെന്നു പറയാവുന്നതല്ല. രണ്ടു് അണുക്കളുടെ യോഗത്തോടുകൂടിയ അബ്ജനകമൂലകം (hydrogen molecule) മൂലകങ്ങളിൽവച്ചു് ഏററവും ചെറുതു് എന്നു പറയാം. സ്റ്റാർച്ച്, പ്രോട്ടീൻസ് തുടങ്ങിയ യൗഗികങ്ങളിലെ മൂലകങ്ങൾ, ഏതാണ്ടു് രണ്ടായിരത്തിയഞ്ഞൂറോ, അതിലുമധികമോ അണുക്കളുടെ സംയോഗഫലമായിട്ടുള്ളവയാണെന്നു് ഏകദേശമായി കണക്കാക്കിയിട്ടുണ്ടു്.

ഒരു അബ്ജനകമൂലകത്തിൻെറ വ്യാസം (diameter) ഏകദേശം ഒരംഗുലത്തിൻെറ 12,50,00,000-ൽ ഒരു ഭാഗം മാത്രമാണെന്നു പറയുമ്പോൾ ഈ മൂലകത്തിൻെറ ലഘുത്വം എത്രമാത്രമെന്നു് ഊഹിക്കാവുന്നതാണല്ലോ.

മൂലകങ്ങളുടെ പരിമാണം അവയുടെ ഘടകാംശങ്ങളായ അണുക്കളുടെ പരിമാണത്തേയും എണ്ണത്തേയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെതന്നെ, അണുക്കളുടെ പരിമാണം ബീജത്തെ (nucleus) ചുററിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന അലക്തനങ്ങളുടെ (electrons) എണ്ണത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. അലക്തനങ്ങളുടെ പരിമാണം നിണ്ണയിക്കുന്നതു വളരെ ശ്രമസാദ്ധ്യമായ ഒരു കാര്യമാണ്. ഭൗതികവിജ്ഞാനീയപരീക്ഷണങ്ങൾകൊണ്ടു് അലക്തനങ്ങളിലെ ആലക്തികഭാരത്തിൻെറ (charge) പരിമാണം നിണ്ണയിക്കുന്നതിനു് അമേരിക്കൻ വൈജ്ഞാനികനായ പ്രഫസ്സർ മില്ലികാന്റ് (Prof. Millican) സാധിച്ചിട്ടുണ്ടു്. അലക്തനങ്ങളിലെ ആലക്തികഭാരത്തിൻെറ പരിമാണ

ത്തെ ആസ്പദമാക്കി അവയുടെ വലിപ്പം സങ്കല്പിക്കുവാൻ കഴിയുന്ന താണ്. ഒരു അലക്തനത്തിൻെറ വലിപ്പം ഒരു അബ്ജനകാണുവിൻെറ 1,00,000-ൽ ഒരു ഭാഗമാണെന്നു നിണ്ണയിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

അലക്തനത്തെ അപേക്ഷിച്ച പ്രധനം (proton) ചെറുതും ഭാരം കൂടിയതുമാകുന്നുവല്ലോ. അലക്തനത്തേക്കാരം പ്രധനത്തിനു് 1840 മടങ്ങു ഭാരമുണ്ടെങ്കിലും അലക്തനവ്യാസത്തിൻെറ 1800-ൽ ഒരുഭാഗം വ്യാസമേ പ്രധനത്തിനുള്ളു എന്നു പറയാം.

ധാതുവിപരിണാമം

(Transmutation of Elements)

ഒരു ധാതുവിൻെറ സംസ്ഥിതി അതിൻെറ അണുക്കളിലെ ബീജങ്ങളുടെ ഭദ്രതയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ബീജത്തിൽ ഭദ്രമായി വത്തിക്കുന്ന സൂക്ഷ്മബിന്ദുക്കളായ പ്രധനം, നിരലക്തം (neutron) ഇവയുടെ അവസ്ഥയ്ക്കു് എന്തെങ്കിലും വ്യതിയാനം സംഭവിച്ചാൽ, ധാതുവിൻെറ ഭദ്രതയ്ക്കും, ദാർഢ്യത്തിനും നാശം സംഭവിക്കും. അതിനാൽ ഭീമമായ ഒരു ശക്തിശൃംഖലയാൽ ഈ സൂക്ഷ്മാംശനിക്ഷേപങ്ങരം ബന്ധിക്കപ്പെട്ടു് ബീജാന്തർഭാഗത്തു സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. അതേസമയം തന്നെ ലഘുഭാരാത്മകമായ അലക്തനങ്ങളാകുന്ന സേനാസമൂഹം ബീജനിക്ഷേപങ്ങളുടെ ഭദ്രതയെ ലക്ഷ്യമാക്കിക്കൊണ്ടെന്നപോലെ ബീജത്തിനു ചുററും റോന്തുചെയ്തുകൊണ്ടു പ്രതിരോധകകമ്മത്തെ നിവ്വഹിക്കുന്നു. ബീജനിക്ഷേപങ്ങളുടെ അമൂല്യതയെ അഥവാ ആകെത്തുകയെ ആശ്രയിച്ചുതന്നെയാണു പ്രതിരോധകസേനകളുടെ സംഖ്യ നിണ്ണയിച്ചിരിക്കുന്നതു്.

ബീജനിക്ഷേപത്തിൻെറ ഭദ്രതയ്ക്കുവേണ്ടിയുള്ള പ്രതിരോധകശക്തിയെ സംഭേദിച്ചു ബീജത്തെ സമീപിക്കുന്നതിനു മുമ്പോട്ടു കുതിച്ചുകയറുവാൻ ശ്രമിക്കുന്ന എതിരാളിയെ എതിത്തു പിൻതിരിപ്പിക്കുന്നതിനു് അലക്തനസേന ശക്തിഹീനമാണു് എന്നിരുന്നാലും, അലക്തനപ്രതിരോധകസേനാനിരയെ തരണംചെയ്തു പുരോഗമിക്കുന്ന ശത്രുവിനെ നിരോധിക്കത്തക്കവണ്ണം ഒരു വികർഷകാലക്തികമണ്ഡലം (repulsive electrical field) ബീജത്തിൻെറ ചുററും പ്രബലമായിട്ടുള്ളതിനാൽ ശത്രുവിനു മുമ്പോട്ടുപോകുവാൻ തരമില്ലാതെ വരുന്നു. എത്രമാത്രം ഉള്ളിലേക്കു പോകുവാൻ ശ്രമിക്കുന്നുവോ,

അത്രമാത്രം ശക്തിയോടുകൂടി ശത്രു പുറംതള്ളപ്പെടുന്നു. ഇത്ര ഭദ്രമായി സൂക്ഷിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ബീജനിക്ഷേപങ്ങളുടെ അപഹാരകകമ്മത്തിനുവേണ്ടിയുള്ള രാസവിദ്യാകാരന്മാരുടെ (alchemists) യത്നം സഫലമാകാതെ അവർ പിന്തിരിയേണ്ടതായി വന്നതിൽ അത്ഭുതപ്പെടാനില്ലല്ലോ.

എന്നാൽ ആംഗല ഭൗതികശാസ്ത്രകാരനായ റതർഫോർഡിനു ഹസ്തലബ്ധമായിരുന്ന ആയുധം ഏതു പ്രതിരോധകനിരയേയും ഭേദിക്കുവാൻ അതിസമത്ഥമായിരുന്നു. ഈ ആയുധംകൊണ്ടുതന്നെ അദൃഷ്ടപൂവ്വവും, അപ്രതിഹതവും ആയിരുന്ന അണുവിനെ ഭേദിച്ച് അതിനുള്ളിലെ സംഗതികൾ എന്തെല്ലാമെന്ന് അദ്ദേഹം മനസ്സിലാക്കിയിരുന്നു. പക്ഷേ, ബീജനിക്ഷേപങ്ങളെ തമ്മിൽ ബന്ധിച്ചിരുന്ന മഹാശൃംഖല മുറിക്കുന്നതിന് അന്ന് അദ്ദേഹത്തിനു സാധിച്ചില്ല. ഇതിനുവേണ്ടി സ്വീകരിച്ച ആയുധം 'തൈജസ' (radium) ത്തിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്നതായി അദ്ദേഹം വിഭാവനംചെയ്ത ആല്ഫാരശ്മികളിലെ ബിന്ദുക്കളെയായിരുന്നു. ആല്ഫാബിന്ദുക്കളെക്കൊണ്ടു വാതകങ്ങളെ ആഘാതമേല്പിച്ചതിൽ വാതകങ്ങളിൽ സംഭവിച്ച വ്യത്യാസങ്ങളെ പരാമർശിച്ച് അദ്ദേഹം ഒരു പ്രബന്ധം 1919-ൽ പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തി. ഈ പ്രബന്ധത്തിൽ റതർഫോർഡ് സ്വപരീക്ഷണസമ്പ്രദായത്തെപ്പററി വിശദമായി വിവരിച്ചിരുന്നു.

ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾക്കു നിർബാധം കടന്നുപോകുവാൻ സാധിക്കത്തക്കവണ്ണം കനംകുറഞ്ഞ വെള്ളിത്താളുകൊണ്ടു (thin silver foil) ഒരു വശംമാത്രം അടയ്ക്കപ്പെട്ട ഒരു പെട്ടിക്കുള്ളിൽ തേജഃപ്രസരത്തിനു നിദാനമായ ഒരു പദാത്ഥം അദ്ദേഹം നിക്ഷേപിച്ചു. ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾ വെള്ളിത്താളിനെ കടന്നു 'സിൻക് സല്ഫൈഡ്' (zinc sulphide) ലേപനംചെയ്യപ്പെട്ടിട്ടുള്ള ഒരു യവനികയിൽ പതിച്ചു. പെട്ടി ബാഷ്പവിരഹിതമായ അമ്ലജനകംകൊണ്ടു (dry oxygen) നിറഞ്ഞപ്പോൾ തേജഃപ്രസരവസ്തുവിനും യവനികയ്ക്കും മദ്ധ്യത്തിലായി ആല്ഫാപ്രസരത്തെ ആവാഹിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി കൂടുതൽ വെള്ളിത്താളുകൾ പ്രതിഷ്ഠിച്ചുവെങ്കിലും ഈ സമയത്ത് ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾ യവനികയിൽ പതിയുന്നതായി വെളിപ്പെട്ടില്ല. എന്നാൽ അമ്ലജനകത്തെ പെട്ടിയിൽനിന്നുമകറ്റി തത്സ്ഥാനത്തു പാക്യജനകം നിറച്ചപ്പോൾ പ്രഭാസ്ഫുലിംഗങ്ങൾ (scintillations) നാകഗന്ധക യവനികയിൽ (zinc sulphide screen) പ്രത്യക്ഷ

പ്പെട്ടു. ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾ പാക്യജനകാണുക്കളുമായി സംഘട്ടനം ചെയ്യതിന്റെഫലമായി ചില നൂതനബിന്ദുക്കൾ പാക്യജനകാണുക്കളിൽനിന്നും ആവിർഭവിച്ചതാണു് ഇതിനുകാരണമെന്നു റതർഫോർഡ് പരീക്ഷണങ്ങളെ ആധാരമാക്കി സമൎത്ഥിച്ചു. ഈ നൂതനബിന്ദുക്കൾ പ്രധനങ്ങൾ (protons) തന്നെയാണു് എന്നും ഇവയുടെ ആവിർഭാവത്തിനുഹേതു പാക്യജനകത്തിനുണ്ടായ രൂപവിപരിണാമമാണെന്നും (transmutation) അദ്ദേഹം നിശ്ചയിച്ചു.

ഒരു ആല്ഫാബിന്ദുവിനു പാക്യജനകത്തിൻെറ ബീജവുമായി സംഘട്ടനമുണ്ടാകുമ്പോൾ ആ ബീജത്തിൽനിന്നും ഒരു പ്രധനം (proton) ബഹിഷ്കൃതമാകുന്നതുമൂലം ബീജത്തിലെ ആലക്തികശക്തിക്കു വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്നതിനാൽ പാക്യജനകത്തിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തമായ ഒരു ധാതു പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയാണു ചെയ്യുന്നതു്. അതായതു്, അത്യുജ്ജ്വലവേഗത്തോടുകൂടിയ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതംകൊണ്ടു പാക്യജനകാണുവിനു വികലനം (disintegration) സംഭവിച്ചു് ഒരബ്ജനകാണു (hydrogen atom) പുറപ്പെട്ടതിനാൽ പാക്യജനകാണുവിലെ ഒരു ഘടകാംശം ഈ അബ്ജനകാണുവാണെന്നു തെളിയുന്നു. പാക്യജനകാണുവിന്റെ ബീജത്തിൽ ഒരു ആല്ഫാബിന്ദു സംഘടിച്ചപ്പോൾ, തത്ഫലമായി ഒരു അബ്ജനകാണു(പ്രധനം—proton) വിസൎജ്ജിതമായതിനാൽ, ശേഷിച്ചതു് അമ്ലജനകത്തിൻെറ (oxygen) ഒരു സ്ഥാനീയമാണു് (isotope). ഈ രൂപവിപരിണാമം താഴെ കാണിക്കുന്ന പ്രക്രിയാസൂത്രംകൊണ്ടു (reaction formula) വെളിവാകുന്നുണ്ടു്.

$$2He^{4} + 7N^{14} \rightarrow 8O^{17} + 1H^{1}$$

ആല്ഫാബിന്ദു + പാക്യജനകം—> അമ്ലജനകം + പ്രധനം (proton).

മുൻ അദ്ധ്യായത്തിൽ പ്രസ്താവിച്ചതുപോലെ പ്രകൃതിയിലെ ഭൂരിപക്ഷം ധാതുക്കൾക്കും ഒന്നിലധികം സ്ഥാനീയങ്ങൾ (isotopes) കാണുന്നുണ്ടു്. ഈ സ്ഥാനീയങ്ങൾ ബീജത്തിലെ നിരലക്തങ്ങളുടെ സംഖ്യയെ ആസ്പദമാക്കിയാണു വ്യത്യസ്തപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതു്. ഒരു ധാതുകത്തിൽ പ്രധനങ്ങളുടെ എണ്ണത്തിനു വ്യത്യാസം ഉണ്ടാകാതെയിരിക്കുന്നിടത്തോളംകാലം ധാതുവിനു യാതൊരു രൂപഭേദവും സംഭവിക്കുന്നില്ല. അതുകൊണ്ടു ധാതുവസ്തുക്കൾക്കു രൂപഭേദം വരുത്തി, ഒരു

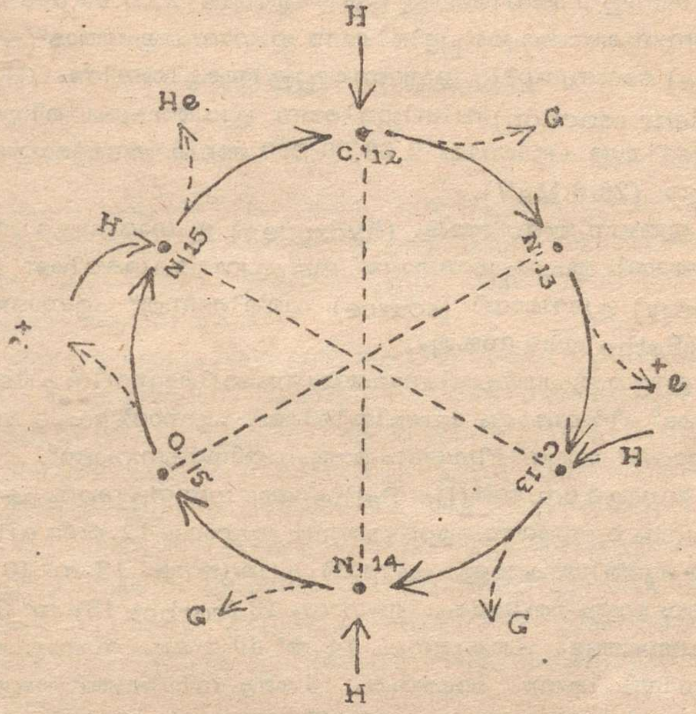
ധാതുവിനെ വേറൊന്നിൽനിന്നും വ്യവച്ഛേദിക്കുന്നതിനുള്ള ഉപാധി, ആ ധാതുവിൻെറ ബീജത്തിൽ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രധനങ്ങളുടെ തുകയ്ക്കു വ്യത്യാസമുണ്ടാകുകയാണു്. അതിൻപ്രകാരം ഈയ (lead)ധാതുകത്തെ സ്വർണ്ണം (gold) ആക്കി മാററണമെങ്കിൽ ഈയത്തിൻെറ ബീജത്തിൽ വത്തിക്കുന്ന 82 പ്രധനങ്ങളിൽനിന്നു 3 പ്രധനങ്ങളെ നീക്കംചെയ്തു്, പ്രധനങ്ങളുടെ സംഖ്യ 79 ആയി കുറയ്ക്കുകയാണു പ്രഥമമായി ചെയ്യേണ്ടതു്. ബീജത്തിൽനിന്നും പ്രധനങ്ങളെ നീക്കംചെയ്യുന്നതോടുകൂടി നിരലകത്തങ്ങളുടെ (neutrons) തുകയ്ക്കും വ്യത്യാസം വരുത്തേണ്ടതു് ആവശ്യമായിരിക്കുന്നു. പ്രധനങ്ങളുടേയും, നിരലക്തങ്ങളുടേയും ആകെത്തുകയാണു ധാതുവിൻെറ ഘനസംഖ്യ (mass number). അതിനാൽ സ്വർണ്ണത്തിൻെറ ഘനസംഖ്യയായ 197 ലഭിക്കുന്നതിനു തക്കവണ്ണം നിരലക്തങ്ങളുടെ(neutrons) തുകയും വ്യത്യാസപ്പെടുത്തേണ്ടതാണു്.

ധാതുകങ്ങളുടെ (elements) രൂപവിപരിണാമക്രിയ പ്രകൃതിയിൽ ധാരാളമായി നടക്കുന്നുണ്ടു്. ഉദാഹരണമായി യുറേനിയം ക്രമാഗതമായ പരിവത്തനങ്ങളുടെ ഫലമായി ഈയമായി രൂപപ്പെടുന്നു. തൈജസത്തിൽ(radium)നിന്നും ആല്ഫാഗാമാരശ്മികൾ പ്രസരിക്കുന്നതുമൂലം ഹീലിയത്തിനു സമാനമായ റാഡൺ (radon) എന്ന വാതകം സിദ്ധിക്കുന്നു. തൈജസത്തിൻെറ (radium) നിശ്ചിതമായ ഒരു ഘനത്തിൻെറ (mass) അർദ്ധാംശം റാഡൺ വാതകമായി രൂപാന്തരപ്പെടുന്നതിനു 1690 വത്സരങ്ങൾ വേണ്ടിവരുമെന്നു കണക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു.

കോർണൽ സർവ്വകലാശാലയിലെ ഡോക്ടർ ഹാൻസ് ബേത്തേ (Dr. Hans Bethe) അബ്ജനകം ഹീലിയമായി വിപരിണാമം സിദ്ധിക്കുന്നതിനുള്ള ആറു് പരിവത്തനഘട്ടങ്ങളെക്കുറിച്ചു പ്രതിപാദിക്കുന്നുണ്ടു്.

ആറു പ്രധനങ്ങളെ ബീജത്തിൽ വഹിക്കുന്ന ഇംഗാലത്തിൻെറ (carbon) പരിവത്തനദശയെപ്പററി നമുക്കാലോചിക്കാം. ഒരു അബ്ജനകാണു അഥവാ ഒരു പ്രധനം (proton) ഇംഗാലത്തിൻെറ ബീജത്തോടു സംയോജിക്കുമ്പോൾ ഗാമാരശ്മികളുടെ പ്രസരം ഉണ്ടാകയും അതോടുകൂടി ഇംഗാലം 7 പ്രധനത്തെ വഹിക്കുന്ന പാക്യജനകത്തിൻെറ ഒരു സ്ഥാനീയമായി (isotope) രൂപപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. എന്നാൽ ഈ സ്ഥാനീയം അസ്ഥിരഭാവാത്മകമാകയാൽ

(unstable) അല്പനിമിഷങ്ങാംകള്ളിൽ അതിൻെറ പ്രധനങ്ങളിൽ ഒന്നു് തദന്തർഹിതമായ ധനാലക്തികഭാരത്തെ(Positive charge) വിട്ടുകളഞ്ഞു നിരലക്"തമായി (neutron) രൂപംമാറുന്നെങ്കിലും ബീജത്തിൻെറ ഘനത്തിനു് (mass) ന്യൂനത സംഭവിക്കുന്നില്ല. ഇപ്പോഴാകട്ടെ, ബീജത്തിൽ 6 പ്രധനംമാത്രം വത്തിക്കുന്നതിനാൽ വീണ്ടും അതു് ഇംഗാലമായി (carbon) മാറുന്നു. ഘനസംഖ്യ (mass number) 13 ഉള്ള ഈ ഇംഗാലം സ്ഥിരഭാവാത്മക (stable)മാകുന്നു. എന്നാൽ വേറൊരു അബ്"ജനകാണുവിന്റെ (hydrogen atom) ആഘാതമുണ്ടാകുമ്പോാം സ്ഥിരഭാവാത്മകമായ ഇംഗാലം ഘനസംഖ്യ (mass number) 14 ഉള്ള പാക്യജനകമായി പരിണമിക്കുന്നു. ഈ പാക്യജനകമാണു് സാധാരണ വായുവിന്റെ ഒരു ഘടകം—സ്ഥിരഭാവാത്മകമായ ഈ പാക്യജനകത്തിൽനിന്നും ഗാമാരശ്മികാം പ്രവഹിക്കുന്നു. വീണ്ടും ഒരു പ്രധനത്തിൻെറ ആഘാതമേൽക്കുമ്പോാം, ആ പ്രധനത്തോടു പാക്യജനകബീജം സംഘടിക്കുകയും, ബീജം 8 പ്രധനത്തോടുകൂടിയതായി ഭവിക്കയും ചെയ്യുന്നു. പ്രധനാഷ്ടകത്തെ വഹിക്കുന്ന ഈ ബീജം അമ്ലജനകത്തിനുള്ളതാണല്ലോ. അതായതു്, ഘനസംഖ്യ 15 എന്നുള്ള അമ്ലജനകമായി പാക്യജനകം രൂപാന്തരം ഭവിക്കുന്നുവെന്നത്രേ. എന്നാൽ ഈ അമ്ലജനകം അസ്ഥിരഭാവാത്മകമാകയാൽ (unstable) ക്ഷണമാത്രയിൽ വികലിതമാകയും (disintegrate), അതിൻെറ ഒരു പ്രധനത്തിലെ ആലക്തികത നശിച്ചു നിരലക്തമായി (neutron) മാറുകയും വീണ്ടും ഘനസംഖ്യ 15 ഉള്ള പാക്യജനകം (nitrogen) ആവിർഭവിക്കയും ചെയ്യുന്നു. ഈ പാക്യജനകത്തിൽ 7 പ്രധനങ്ങളും 8 നിരലക്"തങ്ങളും(neutrons) ഉള്ളതിനാൽ അതിൻെറ ഘനസംഖ്യ 15 ആകുന്നു. ഇതു കുറെക്കാലം സ്ഥിരഭാവത്തോടുകൂടി വത്തിച്ചിട്ടു വേറൊരു പ്രധനവുമായി അഥവാ അബ്"ജനകാണുവുമായി സംയോജിക്കുന്നതിൻെറ ഫലമായി രണ്ടു ബീജങ്ങാം പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ഒന്നു്, രണ്ടു പ്രധനങ്ങളുടേയും രണ്ടു നിരലക്"തങ്ങളുടേയും സഹവത്തിത്വത്തോടുകൂടിയ ഹീലിയം ബീജവും, വേറൊന്നു്, പ്രധനങ്ങളും നിരലക്തങ്ങളും ആറാറുവീതമുള്ള ഇംഗാലബീജവും (carbon nucleus) ആകുന്നു. മേൽ പ്രസ്താവിച്ച വിപരിണാമപരമ്പരയുടെ പ്രാരംഭധാതുവായി നാം സ്വീകരിച്ച ഇംഗാലംതന്നെയാണിതെന്നു നാം ഓക്കേണ്ടതാണു്. ഭൂമിയിൽ ജീവന്നാശ്രയമായിരിക്കുന്നതിനു സഹായകമായവിധം പ്രകൃതിയിൽ



പടം 4

ഇംഗാലചക്രം (Carbon cycle)

H—അബ്ജനകം; C12—ഇംഗാലം 12; G—ഗാമാരശ്മി; N13—പാക്യജനകം 13; + e—+ അലക്തനം; C13—ഇംഗാലം 13; N14—പാക്യജനകം 14; O15—അമ്ളജനകം 15; N15—പാക്യജനകം 15; He—ഹീലിയം.

നടക്കുന്ന ഒരു രൂപപരിണാമപരമ്പരയാണു് ഉപരി പ്രസ്താവിച്ചതു്. ഇപ്രകാരമുള്ള വിപരിണാമക്രിയയാണു സൂര്യനിലെ പ്രവർത്തകശക്തിക്കു (energy) ഹേതുഭൂതമായിരിക്കുന്നതു്. സൂര്യഗർഭത്തിൽ സംഭവിക്കുന്ന ഈ ക്രിയയത്രേ അതിശീതാത്മകത്വംകൊണ്ടു ഭൂമി മന്ദീഭവിക്കാതെ അതിനെ നിലനിറുത്തിക്കൊണ്ടുപോരുന്നതു്. എന്നാൽ പ്രക്രിയാവേഗം (rate of reaction) ഉഷ്ണത(temperature)യെ അത്യന്തം സമാശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ മേൽ പ്രതിപാദിച്ച

ക്രിയാപരിവത്തനം സൂര്യഗർഭത്തിലെ അത്യുഷ്ണമേഖലയിലാണ സംഭവിക്കുന്നതു്. അവിടെയുള്ള ഉഷ്ണത ഏതാണ്ടു് 2,00,00,000 ഡിഗ്രിയാണെന്നുകണക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഇംഗാലചക്രത്തോടു്(carbon cycle) അനുബന്ധിച്ച ഉഷ്ണാണുകപ്രക്രിയകളിൽനിന്നും (thermo nuclear reaction) വിനിർഗ്ഗമിക്കുന്ന പ്രവത്തകശക്തിയുടെ ആകെക്കൂടിയുള്ള പരിണാമം 2,68,00,000 അലക്തനമദ്ധമാത്രകളോളമാകുന്നു. (26·8 MeV).

ഇങ്ങനെ അബ്ജനകം (hydrogen) ഇംഗാലചക്രദ്വാരാ ഹീലിയമായി രൂപപ്പെടുന്നതാണു് സൂര്യപ്രവത്തകശക്തിക്കു് (solar energy) പ്രഭവമായി (source) വത്തിക്കുന്നതു് എന്നാണ ബേത്തേ(Bethe)യുടെ സങ്കല്പം.

ഈദൃശ രൂപവിപരിണാമങ്ങരം സംഭവിക്കുന്നതിനു ചില വസ്തുക്കറംക്കു് ദീർഘകാലം വേണ്ടിയിരിക്കും. എന്നാൽ വേറെ ചില വസ്തുക്കറംക്കു് അല്പനിമിഷങ്ങരം മാത്രം മതിയാകുന്നതാണു്.

ഡോക്ടർ ബേത്തേ(Dr. Bethe)യുടെ ഗണനപ്രകാരം ഏതാണ്ടു് 25 ലക്ഷം വത്സരങ്ങരംകൊണ്ടുമാത്രമേ ഇംഗാലം 12-ന്റെ വികലനക്രിയ പൂത്തിയാകുന്നുള്ളു. എന്നാൽ പാക്യജനകം 13–നു് 10 നിമിഷങ്ങരം മാത്രം മതിയാകും. ഇംഗാലം 13 (carbon 13)–നു് 50,000 സംവത്സരങ്ങളും, പാക്യജനകം 14–നു് 40 ലക്ഷം സംവത്സരങ്ങളും വേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. അമ്ലജനകം 15 രണ്ടു നിമിഷങ്ങരംക്കുള്ളിലും, പാക്യജനകം 15 (nitrogen 15) 20 കൊല്ലങ്ങരംകൊണ്ടും വികലിതമാകുന്നു.

(The whole in print)

പ്രവത്ത്കശക്തി

ENERGY

പ്രപഞ്ചസൃഷ്ടിക്കു നിദാനമായ വസ്തുക്കളെക്കുറിച്ചും അവയുടെ ഘടകങ്ങളെക്കുറിച്ചും പഠിക്കുമ്പോൾ അവയ്ക്കെല്ലാം ആധാരമായ ക്രിയാശക്തി(energy)യുടെ പ്രകൃതിയെപ്പററി വ്യക്തമായി ഗ്രഹിച്ചിരിക്കേണ്ടതു് ആവശ്യമാണു്.

''സചേതനങ്ങളും അചേതനങ്ങളുമായ സകല പ്രപഞ്ചസൃഷ്ടികളേയും രൂപപ്പെടുത്തുന്ന കലാകാരന്റെ രണ്ടു സംജ്ഞകളാണു് ദ്രവ്യം അല്ലെങ്കിൽ വസ്തു (matter) എന്നും ബലം (force) എന്നും.'' ഇപ്രകാരമാണു് മഹാനായ ഹക്സിലി (Huxley) എഴുതിയിരിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ ആധുനികചിന്താഗതി ഉപരി പ്രസ്തുതമായ അഭിപ്രായത്തെ പരിഷ്കരിച്ചു് പ്രവത്ത്കശക്തിക്കു് (energy) കൂടുതൽ സ്ഥാനം നല്കിയിരിക്കുന്നു. ഇന്നത്തെ ശാസ്ത്രകാരന്റെ പ്രപഞ്ചം ക്രിയാത്മകമാണു് (dynamic universe). അതിനാൽ പ്രവത്ത്കശക്തിയെന്തെന്നു ഗ്രഹിക്കാതെ പ്രപഞ്ചത്തെ നിരൂപണംചെയ്യുവാൻ അസാദ്ധ്യമത്രെ.

ഈ അഭിപ്രായത്തെത്തന്നെ സർ ജെയിംസ് ജീൻസ് (Sir James Jeans) പ്രസ്താവിക്കുന്നതു് ഇങ്ങനെയാണു്. ''വിവിധാകാരങ്ങളോടുകൂടി പ്രതിഫലിക്കുന്ന പ്രവത്ത്കശക്തിയുടെ പ്രത്യക്ഷീകരണമാണു് പ്രപഞ്ചത്തിന്റെ സകല ജീവനും. അതുപോലെതന്നെ പ്രപഞ്ചത്തിൽ വെളിപ്പെടുന്ന എല്ലാ മാററങ്ങളും ആകാരഭേദങ്ങളോടുകൂടിയ പ്രവത്ത്കശക്തിയുടെ വിളയാട്ടമാണു്.''

പ്രവത്ത്കശക്തിയെപ്പററിയുള്ള ഇന്നത്തെ ചിന്ത രൂപമെടുത്തതു ഗലീലിയോ(Galilio)യുടെ ചലനതത്വങ്ങ(Laws of motion)ളിൽനിന്നാകുന്നു. ഈ നിയമങ്ങളുടെ പരമമായ ഫലം ആക്കുംതന്നെ വേണ്ടവിധം സുഗ്രഹമാക്കുന്നതിനു കഴിഞ്ഞില്ല എങ്കിലും 'ഫ്രാ പെയോളോസപ്പി' (Fra Paolo Sarpi) എന്ന നാമധേയമുള്ള ഒരു സമകാലികൻ ചലനനിയമങ്ങളുടെ തത്വം ഗ്രഹിച്ചതിന്റെ ഫലമായി പ്രസ്താവിച്ചതു്, ''പ്രപഞ്ചത്തിന്റെ ചലനനിയമങ്ങളെപ്പററി

യുള്ള ശാസ്ത്രം പ്രദാനംചെയ്യുന്നതിനു പ്രകൃതിയും ഈശ്വരനുംകൂടി ചേന്നു നടത്തിയ സൃഷ്ടിവിശേഷമാണു് ഗലീലിയോയുടെ ബുദ്ധിവൈഭവം എന്നത്രേ.''

ഗലീലിയോയുടെ പ്രാരംഭഗവേഷണങ്ങ ജ്യോതിഗ്ഗോളങ്ങളെ ആധാരമാക്കിയായിരുന്നുവെങ്കിലും, പില്ക്കാലത്തു് ഭൗതികശാസ്ത്രഗവേഷണത്തിൽ അദ്ദേഹത്തിൻെറ ശ്രദ്ധ പതിഞ്ഞു. അതിൻെറ പരിണതഫലമായിട്ടത്രേ അദ്ദേഹത്തിൻെറ സുപ്രസിദ്ധ ചലനനിയമങ്ങൾ ആവിഷ്കൃതമായതു്. ഈ നിയമങ്ങളെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തിയാണു് ഇന്നത്തെ സകല യന്ത്രവിശേഷങ്ങളും പ്രവത്തനം നടത്തുന്നതു്.

ഗലീലിയോയുടെ കാലശേഷം അദ്ദേഹത്തിൻെറ ഗവേഷണങ്ങളുടെ പിൻതുടർച്ചാവകാശം സർ ഐസക്ക് ന്യൂട്ടനായിരുന്നു. ന്യൂട്ടൻെറ 'ചലനനിയമങ്ങൾ' എന്നു പ്രസിദ്ധമാണെങ്കിലും, ന്യൂട്ടൻതന്നെയും ഗലീലിയോയുടെ നിയമങ്ങളെ ആസ്പദമാക്കിയാണു് ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തിയതു്. ന്യൂട്ടൻെറ പ്രസിദ്ധങ്ങളായ മൂന്നു ചലനനിയമങ്ങൾ താഴെപ്പറയുന്നവയാണു്.

ഒരു ബാഹ്യമായ ശക്തിയുടെ പ്രേരണ വസ്തുക്കളിൽ നിബദ്ധമാകാത്തിടത്തോളം കാലം, ഒരു വസ്തു സ്ഥിരവേഗത്തിലും (uniform speed), ഋജുഗതിയിലും (straight direction) പ്രയാണംചെയ്തുകൊണ്ടേയിരിക്കും.

ഒരു ശക്തിയുടെ പ്രേരണകൊണ്ടു് വസ്തുവിൻെറ വേഗത്തിനോ ഋജുഗതിക്കോ രണ്ടിനുംതന്നെയോ വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്നതും, ആ വ്യതിയാനം ശക്തിക്കും അതിൻെറ പ്രവത്തനസമയത്തിനും അനുപാതമായിരിക്കുന്നതുമാണു്.

ഒരു വസ്തുവിന്മേൽ പ്രയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ഏതു ശക്തിക്കും തുല്യവും, വിപരീതവുമായ ഒരു പ്രതിശക്തി (reaction) വസ്തുവിൽനിന്നും പ്രബലപ്പെടുന്നു.

ഉപരി പ്രസ്തുതമായ മൂന്നു തത്വങ്ങളിലും ശക്തി(ബലം)പ്രയോഗത്തെപ്പററിയാണല്ലോ പ്രതിപാദിക്കുന്നതു്. ഒരു വസ്തുവിന്മേലുള്ള ബലത്തിൻെറ (force) പ്രയോഗം, ആ വസ്തുവിനെ ചലനസമത്ഥമാക്കിത്തീക്കുന്നു. എന്നാൽ പ്രസ്തുത വസ്തുവിനു സ്ഥാനഭേദം ഉണ്ടാകുമ്പോൾ മാത്രമേ അതു ക്രിയാത്മകമാകയുള്ളുവെന്നാണു ക്രിയയെ (work) സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ സാങ്കേ

തികമായ അത്ഥം. ഒരു ഭാരമുള്ള വസ്തു ഉയത്തുന്നതിനു് നാം എത്രമാത്രം ബലം പ്രയോഗിച്ചാലും, അതിനു സ്ഥാനഭേദം (displacement) ഉണ്ടാകുന്നില്ലെങ്കിൽ ആ വസ്തുവിൽ ക്രിയ നടത്തപ്പെട്ടിട്ടില്ല എന്നും, ആ വസ്തുതന്നെയും ക്രിയാത്മകമായി ഭവിച്ചില്ല എന്നും നാം ധരിക്കേണ്ടതാണു്. എന്നാൽ ബലപ്രയോഗംകൊണ്ടു വസ്തുവിനു സ്ഥാനഭേദം ഉണ്ടാകുമ്പോൾ അതിൽ നടത്തപ്പെട്ട ക്രിയയുടെ പരിമാണം നിൎണ്ണയിക്കുന്നതിനു്, ബലത്തെ (force) സ്ഥാനഭേദംകൊണ്ടു് (displacement) ഗുണിച്ചാൽ മതിയാകുന്നതാണു്.

ക്രിയ (work) = ബലം (force) × ദൂരം അല്ലെങ്കിൽ സ്ഥാനഭേദം (displacement).

ഉദാഹരണമായി പത്തു റാത്തൽ ഭാരമുള്ള ഒരു വസ്തുവിനെ അഞ്ചടി ഉയത്തുന്നതിനു്, ആ വസ്തുവിൽ ചെയ്യേണ്ട ക്രിയയുടെ പരിമാണം, 10 × 5 = 50 ഫുട്ടു് പൌണ്ടു് എന്നാണു കണക്കാക്കുന്നതു്. (ഒരു ഫുട്ടു് പൌണ്ടു് എന്നു പറയുന്നതു്, ഒരു റാത്തൽ ഭാരമുള്ള വസ്തുവിനെ അതിൻെറ സ്ഥാനത്തുനിന്നും ഒരടി മാററുന്നതിനു് അതിൽ ചെയ്യുന്ന ക്രിയയുടെ പരിമാണമാണു്.)

ഇനിയും ക്രിയാശക്തി (energy) എന്തെന്നു ചിന്തിക്കാം. ഒരു ക്രിയ നടത്തുന്നതിനു സാധകമായ ശക്തിക്കാണു ക്രിയാശക്തി എന്നു പറയുന്നതു്. വിമർദ്ദിതമായ കമ്പിച്ചുരുളിൽ ഈ ക്രിയാശക്തി നിക്ഷിപ്തമായിട്ടുണ്ടു്. ആ കമ്പിച്ചുരുൾ അനുകൂലസാഹചര്യത്തിൽ പൂൎവ്വസ്ഥിതിയെ പ്രാപിക്കുന്നതിനു വേണ്ടിയുള്ള യത്നം നിൎവ്വഹിക്കുന്നതിനു് ഈ ക്രിയാശക്തിയാണു സാധകമായിരിക്കുന്നതു്. വെടിമരുന്നിൽ (gun powder) നിക്ഷിപ്തമായ ക്രിയാശക്തി അതിനെ സ്ഫോടനസമത്ഥമാക്കുന്നു. ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന വസ്തുവിനെക്കൊണ്ടു് ക്രിയ നടത്തിക്കുന്നതും ആ വസ്തുവിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ക്രിയാശക്തിയാണു്. ഇങ്ങനെ വസ്തുക്കളുടെ സ്ഥിരഭാവത്തിലും ചലനഭാവത്തിലും ക്രിയാശക്തി നിക്ഷിപ്തമായിട്ടുണ്ടു്.

സ്ഥിരഭാവത്തിൽ ഇരിക്കുന്ന വസ്തുവിൽ അതിൻെറ സ്ഥാനംകൊണ്ടുതന്നെ (position) ക്രിയാശക്തി വത്തിക്കുന്നു. ഈ ക്രിയാശക്തിക്കു 'നിഹിതക്രിയാശക്തി' (potential energy) എന്നു പറയാം. എന്നാൽ ഒരു വസ്തുവിനു ചലനം സിദ്ധിക്കുന്നതോടുകൂടി അതിലെ നിഹിതക്രിയാശക്തി ക്രമേണ 'ചലനക്രിയാശക്തി' (kinetic energy)യായി രൂപംമാറുന്നു. നിഹിതക്രിയാശക്തിക്കു

ണ്ടാകുന്ന നഷ്ടം ചലനക്രിയാശക്തിയുടെ ലാഭമായി മാറുന്നതിനാൽ ക്രിയാശക്തി അനശ്വരമാണെന്നു തെളിയുന്നു. ഒന്നിൻെറ നഷ്ടം മറെറാന്നുകൊണ്ടു പരിഹൃതമാകുന്ന ഈ ക്രിയാശക്തിയുടെ തത്വത്തിനു 'ക്രിയാശക്തി ഭദ്രത' (conservation of energy) എന്നു പറയുന്നു.

ക്രിയാശക്തി വിവിധാകാരങ്ങളോടുകൂടി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുണ്ട്. വിമർദ്ദിതമായ ആവിയിൽ (steam) നിഗ്ഗ്രഹനം ചെയ്യപ്പെട്ടിട്ടുള്ള 'ഉഷ്ണക്രിയാശക്തി' (heat energy), ഒരു യന്ത്രവിശേഷത്തെ പ്രവൃത്തിസമർത്ഥമാക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ 'യാന്ത്രികശക്തി' (mechanical energy)യായി മാറുന്നു. ഈ യാന്ത്രികശക്തിതന്നെ ഒരു ആലക്തികശക്ത്യുത്പാദനയന്ത്രത്തെ ഊജ്ജസ്വലമാക്കി അതിൽനിന്നും ആലക്തികം (electricity) ഉത്ഭവിക്കുമ്പോരം ആലക്തികക്രിയാശക്തിയായി (electrical energy) രൂപം മാറുന്നു. ആലക്തികപ്രവാഹത്തെ നേരിയ കമ്പിയിൽക്കൂടി കടത്തിവിട്ടാൽ ആ കമ്പി ചൂടുപിടിക്കുന്നതോടുകൂടി, ആലക്തികക്രിയാശക്തിയുടെ ഒരു ഭാഗം 'ഉഷ്ണക്രിയാശക്തി'(heat energy)യായി വേഷം കെട്ടുന്നു. പ്രസ്തുത കമ്പിയിലെ ഉഷ്ണം അതിൻെറ ഉച്ചാവസ്ഥയെ പ്രാപിക്കുമ്പോരം, ആ കമ്പി പ്രകാശത്തെ പ്രസരിപ്പിക്കുന്ന 'പ്രകാശക്രിയാശക്തി'(light energy)യായിത്തീരുന്നു.

സൂര്യനിൽനിന്നും നിരർഗ്ഗളമായി പ്രസരിക്കുന്ന പ്രഭാശക്തി അന്തരീക്ഷത്തിൽക്കൂടി സെക്കൻെറിൽ 1,86,000 മൈൽ വേഗത്തിൽ പ്രയാണംചെയ്തു് ഭൂമിയിൽ പതിക്കുമ്പോരം ആ പ്രഭാശക്തി വീണ്ടും ഉഷ്ണക്രിയാശക്തിയായി രൂപം പ്രാപിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഭൂമിയിലെ വൃക്ഷലതാദികരം സൂര്യപ്രഭാശക്തിയെ ആവാഹിച്ചു്, അതിൻെറ സഹായത്തോടുകൂടി നടത്തുന്ന രാസക്രിയകൊണ്ടു്, പ്രഭാശക്തി വൃക്ഷലതാദികളിൽ 'രാസക്രിയാശക്തി'(chemical energy)യായി സംഭരിക്കപ്പെടുന്നു.

ഇങ്ങനെ നോക്കുമ്പോരം ക്രിയാശക്തി വിവിധാകാരങ്ങളെ പ്രാപിച്ചു പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുണ്ടു് എന്നു മനസ്സിലാക്കാം.

ക്രിയാശക്തിയുടെ സ്വഭാവം
(Nature of Energy)

അണുഘടനയെ(Structure of atom)പ്പററിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങളോടൊപ്പംതന്നെ വസ്തുക്കളിലെ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ സ്വഭാവ

ത്തെപ്പററിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങളും ശാസ്ത്രലോകത്തിൽ നടന്നുകൊണ്ടിരുന്നു. അതിൻെറ ഫലമായി വിപ്ലവാത്മകമായ ഒരു ചിന്താഗതി, പ്രവർത്തകശക്തിയുടെ പ്രകൃതിയെപ്പററി ആവിർഭവിച്ചു. പ്രഫസ്സർ മാക്സ് പ്ലാങ്കിൻെറ (Prof. Max Planck) 'മാത്രകസിദ്ധാന്ത'(Quantum theory)ത്തോടൊന്നിച്ചാണ് പ്രവർത്തകശക്തിയെപ്പററിയുള്ള നവീന വീക്ഷണഗതിയും സമാരംഭിച്ചതു്.

പ്രപഞ്ചത്തിന്റെ മൗലികങ്ങളായി വസ്തു(ദ്രവ്യം–matter), പ്രവർത്തകശക്തി (energy), ആധാരം (ether) എന്നിവയെ 19-ാം ശതാബ്ദത്തിലെ ശാസ്ത്രലോകം അംഗീകരിച്ചു. അവിഭാജ്യമാത്രകളാകുന്ന അണുക്കളെക്കൊണ്ടു ദ്രവ്യങ്ങളും അഥവാ വസ്തുക്കളും, തരംഗാത്മകമായി ക്രിയാശക്തി(പ്രവർത്തകശക്തി)യും സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു എന്നുള്ള ചിന്താഗതിക്കാണു പ്രാബല്യമുണ്ടായിരുന്നതു്. വിവിധാകാരങ്ങളോടുകൂടി പ്രവർത്തകശക്തി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുണ്ടെങ്കിലും, വസ്തുക്കളിൽനിന്നും വ്യതിരിക്തമായി സ്വതന്ത്രമായ ഒരു വ്യക്തിത്വം പ്രവർത്തകശക്തി(energy)ക്കുള്ളതായി ഗവേഷകന്മാർ ചിന്തിച്ചില്ല. ഈ വീക്ഷണഗതിക്കനുസൃതമായ ഒരനുമാനമാണ് 'ആധാര'(ether)ത്തിൻെറ സംസ്ഥിതിയെപ്പററി ശാസ്ത്രകാരന്മാർ പ്രകാശിപ്പിച്ചതു്.

ശബ്ദതരംഗങ്ങളുടെ ഗതിക്കു വായുവാണല്ലോ വാഹനമായിരിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ വായുശൂന്യം എന്നു ഗണിക്കപ്പെടുന്ന അതിവ്യോമത്തിൽക്കൂടി പ്രകാശവീചികളും, ഉഷ്ണവീചികളും ഇവ പ്രസരിക്കണമെങ്കിൽ അവിടെയും ഇവയെ പ്രേഷണംചെയ്യിക്കുന്നതിനാധാരമായ ഒരു ദ്രവ്യം ആവശ്യമായിത്തീരുന്നു എന്ന ചിന്ത 'ആധാര'ത്തിൻെറ (ether) വർത്തിത്വത്തിലേക്കു (existence) ശാസ്ത്രകാരന്മാരെ വഴിനടത്തി.

എക്സ്–റേയുടേയും തൈജസത്തിൻെറയും(radium)കണ്ടുപിടിത്തം, അതുവരെ അവിഭാജ്യങ്ങൾ എന്നു വിശ്വസിക്കപ്പെട്ടിരുന്ന അണുക്കൾ (atoms) വിഭാജ്യങ്ങളാണെന്നും അവയിലെ സൂക്ഷ്മാംശങ്ങളാണ് അലക്തനങ്ങളെന്നും(electrons)ഗ്രഹിപ്പിക്കുന്നതിനും സഹായകമായി ഭവിച്ചു. ദീർഘങ്ങളായ തേജോതരംഗങ്ങൾ(radio waves) മുതൽ അതിഹ്രസ്വങ്ങളായ ഗാമാതരംഗങ്ങൾ (gamma waves) വരെയുള്ള വിവിധങ്ങളായ ആലക്തിക്കാന്തകപ്രസരങ്ങളുടെ (electro magnetic radiation) ഉത്പാദനത്തെ സംബന്ധിച്ച വ്യാപകമായ ഒരു സിദ്ധാന്തം ആവിഷ്കരിക്കുന്നതിനു് 'അലക്തനസിദ്ധാന്തം'

(electron theory) പ്രേരകമായി ഭവിച്ചു. ഒരു ആലക്തികചാലകത്തിൽക്കൂടി (electric conductor) അലക്തനങ്ങളുടെ മുമ്പോട്ടും പിമ്പോട്ടുമുള്ള അതിശീഘ്രഗതിയുടെ അനന്തരഫലമായിട്ടാണു് തേജോതരംഗങ്ങൾ (radio waves) ആവിർഭവിക്കുന്നതു്. ഓരോ അലക്തനത്തോട്ടമനുബന്ധിച്ചു് ആലക്തികവും കാന്തപരവുമായ ഓരോ മണ്ഡലം (electric and magnetic field) വർത്തിക്കുന്നുണ്ടെന്നുള്ളതും സ്ഥത്വവ്യമാണു്.

ഉഷ്ണവീചികളാകട്ടെ, അണുക്കളുടേയും (atoms), മൂലകങ്ങളുടേയും (molecules) പ്രകമ്പനത്തിൽനിന്നു ജനിക്കുന്നവയായിട്ടത്രേ വിശ്വസിക്കപ്പെടുന്നതു്. ഒരു വസ്തുവിലെ ഉഷ്ണത (temperature) എന്നു പറയുന്നതു്, ആ വസ്തുവിലെ മൂലകങ്ങളുടേയും അണുക്കളുടേയും വിഭ്രമണവേഗത്തിൻെറ (speed of vibration) പരിമാണമാണു്. ഒരു പദാൎത്ഥത്തെ നാം ചൂടുപിടിപ്പിക്കുമ്പോൾ ആ പദാൎത്ഥം പ്രവർത്തകശക്തിയെ ആവാഹിക്കയും, ആ പ്രവർത്തകശക്തി മൂലകങ്ങളുടേയും, അണുക്കളുടേയും ചലനത്തെ ത്വരിതപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്യുന്നതുമൂലം ആ വസ്തു അതിശീഘ്രത്തിൽ പ്രകമ്പിതമാകുന്നു. എന്നാൽ ഉഷ്ണിതമായ ഈ വസ്തു തണുക്കുമ്പോൾ അതിലെ ക്രിയാശക്തി ഉഷ്ണപ്രസരമായി (heat radiation) വിസർജ്ജിക്കപ്പെടുന്നു.

പ്രത്യക്ഷമായ പ്രകാശത്തിൻെറ തരംഗങ്ങൾ ഉഷ്ണവീചികളെ അപേക്ഷിച്ചു കുറേക്കൂടി ഹ്രസ്വമാണു്. അവയുടെ ഉത്ഭവത്തെപ്പററി ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു് അണുവിൻെറ അന്തർഭാഗത്തേക്കു കണ്ണോടിക്കേണ്ടതായിരിക്കുന്നു. അണുക്കളിലെ അലക്തനങ്ങളുടെ ചലനമാണു് പ്രകാശവീചികൾക്കു നിദാനമെന്നു് ഇന്നു വിശ്വസിക്കപ്പെടുന്നു. അണുബീജത്തിൽനിന്നും വിദൂരമായ അലക്തനങ്ങളുടെ ചലനത്തിൽനിന്നാണു പ്രത്യക്ഷമായ പ്രകാശം ഉത്ഭവിക്കുന്നതെങ്കിൽ, ബീജത്തോടടുത്തുള്ള അലക്തനങ്ങളുടെ ചലനത്തിൽനിന്നാണു് എക്സ്-റേയുടെ ഹ്രസ്വതരംഗങ്ങൾ ആവിർഭവിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ തൈജസത്തിലെ (radium) ഗാമാ രശ്മികളാകട്ടെ തൈജസത്തിൻെറ അണുബീജത്തിൽനിന്നുതന്നെയാണു് ഉത്ഭവിക്കുന്നതു്.

വിവിധരീതിയിലുള്ള പ്രസരണങ്ങളുടെ (radiation) ഉത്ഭവത്തെ സംബന്ധിച്ച ഈ ആശയങ്ങൾ 19-ാം ശതാബ്ദത്തിലെ ചിന്താഗതിയുടെ ഒരു പരിഷ്കൃതഭാവമാണെന്നു തോന്നിയേക്കാം. എന്നാൽ സൂക്ഷ്മപരീക്ഷണങ്ങൾ ഈ അഭിപ്രായത്തെ ദുർബലപ്പെടുത്തുകയാണു

ചെയ്യുന്നതു്. 19-ാം ശതാബ്ദത്തിലെ ആശയങ്ങളെ ആധാരമാക്കി വ്യാഖ്യാനിക്കുവാൻ കഴിയാത്തവണ്ണമുള്ള ചില പ്രത്യേകതകരം പ്രസരോത്ഭവത്തോടനുബന്ധിച്ചുണ്ടെന്നുള്ളതാണ് ഇതിനു കാരണം. ഒരു വികിരണവസ്തുവിൽ(radiating body)നിന്നു പുറപ്പെടുന്ന പ്രവത്തകശക്തികരംതന്നെ വ്യത്യസ്തതരംഗദൈർഘ്യങ്ങളോടു (wave length)കൂടിയവയാണെന്നുള്ളതത്രേ അതിപ്രധാനമായ പ്രത്യേകത.

പത്തൊമ്പതാംശതാബ്ദത്തിലെ ഭൗതികശാസ്ത്രത്തിലെ ആശയഗതിയെ ദുർബലമാക്കി, ഗലീലിയോയുടേയും, ന്യൂട്ടൻേറയും ചലനതത്വങ്ങളുടെ അടിയുറച്ച അവസ്ഥയെ ഇളക്കിമറിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ ഒരു നവീനാശയം പ്രഫസ്സർ മാക്കു് പ്ലാങ്ക് (Professor Max Planck)1900-ൽ ആവിർഭവിപ്പിച്ചു. പ്രവത്തകശക്തി അനുസ്യൂതമായ തരംഗങ്ങളായി പ്രസരിക്കപ്പെടുന്നു എന്നുള്ള പൂർവ്വവിശ്വാസത്തെയുപേക്ഷിച്ചു്, ചെറിയചെറിയ 'സഞ്ചയ'ങ്ങളായി(bundles)ട്ടാണു് അവ പ്രസരിക്കുന്നതു് എന്നുള്ള വിശ്വാസത്തിനു പ്രാധാന്യം നല്കുന്നതിനു് അദ്ദേഹം ശാസ്ത്രകാരന്മാരെ നിർദ്ദേശിച്ചു. ഈ സഞ്ചയങ്ങരംക്കു് 'മാത്രക'(quantum)ങ്ങരം എന്നു് അദ്ദേഹം നാമകരണം ചെയ്തതിനാൽ അദ്ദേഹത്തിൻെറ സിദ്ധാന്തത്തിനു 'മാത്രകസിദ്ധാന്തം' (quantum theory) എന്ന പേരു ലഭിച്ചു.

ഒരു വികിരണവസ്തുവിൽ(radiating body)നിന്നും പ്രവത്തകശക്തി ചെറിയ 'സഞ്ചയ'ങ്ങളായി (bundles) നിർഗ്ഗമിക്കുന്നുവെന്നുള്ള സിദ്ധാന്തത്തെ ആസ്പദമാക്കി ശക്തിപ്രസരത്തിൻെറ പ്രത്യേകതകളെ വ്യാഖ്യാനിക്കാവുന്നതാണെന്നു പ്ലാങ്ക് വെളിപ്പെടുത്തി. ഈ ശക്തിസഞ്ചയങ്ങരം ഒരേ വലിപ്പത്തോടുകൂടിയവയല്ലെന്നും, പ്രസരവേഗത്തിനു് (frequency of radiations) അനുസൃതമായിട്ടാണു് അവയുടെ വലിപ്പത്തിനു വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നതെന്നും അദ്ദേഹം നിർദ്ദേശിച്ചു. തരംഗദൈർഘ്യം (wave length) എത്രമാത്രം ഹ്രസ്വമായിരിക്കുന്നുവോ, അല്ലെങ്കിൽ പ്രസരണവേഗം എത്രമാത്രം കൂടിയിരിക്കുന്നുവോ, അത്രമാത്രം ഈ സഞ്ചയങ്ങളുടെ വലിപ്പവും വദ്ധിച്ചിരിക്കും. ഉദാഹരണമായി എക്സ്-റേയുടെ ഒരു 'മാത്രക'ത്തിൽ (quantum) ദൃശ്യപ്രകാശത്തിൻെറ (visible light) മാത്രകത്തിലുള്ളതിനെക്കാരം പ്രവത്തകശക്തി കൂടിയിരിക്കും. അതുകൊണ്ടു്, ഓരോ 'മാത്രക'വും (quantum), പ്രസരണവേഗവും (frequency of radiation) തമ്മിലുള്ള സംബന്ധം (ratio) എപ്പോഴും സ്ഥിരമായി

രിക്കും. ഇതിനാണ് 'പ്ലാങ്കിന്റെ സ്ഥിരരാശി' (Planck's constant) എന്നു പറയപ്പെടുന്നതു്.

പ്ലാങ്കിൻെറ മാത്രകസിദ്ധാന്തത്തിനു് ഉപോത്ബലകമായി രണ്ടു നവീനാശയങ്ങൾ ഭൗതികശാസ്ത്രമണ്ഡലത്തിൽ ഉദയംചെയ്തു. അവയിൽ ഒന്നു്, ഐൻസ്റ്റീന്റെ(Einstein) പ്രകാശാലക്തികപ്രഭാവവും (photo electric effect), കോംപ്ടൻ പ്രഭാവവും (Compton effect) ആകുന്നു.

ഒരു പ്രകാശധാര, വിശേഷിച്ചും 'അതീത നീലരശ്മികൾ' (ultra violet rays)അല്ലെങ്കിൽ എക്സ്-റേകൾ ഒരു ലോഹത്തിന്മേൽ പതിച്ചാൽ പ്രസ്തുത ലോഹത്തിൽനിന്നും അലക്തനങ്ങൾ വിസജ്ജിക്കപ്പെടുന്നു. ഈ വിശേഷഭാവത്തെയാണ് 'പ്രകാശാലക്തികപ്രഭാവം' (photo electric effect) എന്നു പറയുന്നതു്. വിസജ്ജിതങ്ങളായ അലക്തനങ്ങളുടെ സംഖ്യ പ്രകാശധാരയുടെ ശക്തിയെ (strength) സമാശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ അലക്തനങ്ങളുടെ ഗതിവേഗം (velocity) പ്രകാശധാരയുടെ ബലത്തെയല്ല, പിന്നെയോ അതിൻെറ തരംഗദൈർഘ്യത്തെ (wave length) ആശ്രയിച്ചത്രേ വത്തിക്കുന്നതു്. ഈ നവീനാശയം അതുവരെയുള്ള ഭൗതികശാസ്ത്രചിന്താഗതിക്കു വിപരീതമായിട്ടുള്ളതാണ്. ശക്തിയേറിയ പ്രകാശധാരയ്ക്കു് അലക്തനങ്ങളുടെ ഗതിവേഗത്തെ വദ്ധിപ്പിക്കാൻ സാധിക്കുമെന്നു ന്യായമായി പ്രതീക്ഷിക്കാമെന്നിരുന്നാലും, അനുഭവത്തിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നതു് അപ്രകാരമല്ല എന്നു് ഐൻസ്റ്റീൻ സധീരം പ്രഖ്യാപിച്ചു. അദ്ദേഹം പ്ലാങ്കിൻെറ 'മാത്രകസിദ്ധാന്ത'ത്തെയാണ് ഈ ആശയം വ്യാഖ്യാനിക്കുന്നതിനു സ്വീകരിച്ചതു്. അനേകം 'പ്രവത്തകശക്തിസഞ്ചയ'ങ്ങളുടെ (energy bundles) അഥവാ 'മാത്രക'ങ്ങളുടെ (quanta) സമാഹാരമാണു പ്രകാശമെന്നും, പ്രകാശത്തിലെ 'മാത്രകം' ലോഹത്തിന്മേൽ നിപതിക്കുമ്പോൾ പ്രവത്തകശക്തി അലക്തനങ്ങളിലേക്കു് ആവാഹിക്കപ്പെടുകയും അതുമൂലം ലോഹത്തിൽനിന്നും അലക്തനങ്ങൾ ഭ്രഷ്ടമാകുന്നതോടുകൂടി അലക്തനങ്ങൾക്കു ഗതിവേഗവും സിദ്ധിക്കുന്നു എന്നുമത്രേ ഐൻസ്റ്റീൻ നിരൂപിക്കുന്നതു്.

പ്രകാശത്തിൻെറ ബലം അഥവാ ശക്തി വർദ്ധിപ്പിച്ചാൽ, ഓരോ സെക്കൻെറിലും ലോഹത്തിൽ പതിക്കുന്ന 'മാത്രക'ങ്ങളുടെ എണ്ണത്തോടൊപ്പം അലക്തനങ്ങളുടെ എണ്ണവും വർദ്ധിക്കുമെന്നല്ലാതെ

അലക്തനങ്ങൾക്ക ഗതിവേഗം സിദ്ധിക്കുന്നില്ല എന്നാണ് ഐൻസ്റ്റീൻെറ നിരൂപണത്തിൽനിന്നും നാം ഗ്രഹിക്കുന്നതു്. ഐൻസ്റ്റീൻെറ ഈ നിരൂപണഗതിയിൽനിന്നും വെളിവാകുന്നതു്, പ്രവത്തകശക്തിയുടെ ഘടകങ്ങളായ അണുക്കൾ (atoms) ആണ് 'മാത്രകങ്ങൾ' (quanta) എന്നത്രേ.

ഐൻസ്റ്റീൻെറ മേൽപ്രസ്താവിച്ച ആശയങ്ങളെ അമേരിക്കൻ ഭൗതികവൈജ്ഞാനികനായ ആർതർ എച്ച്. കോംപ്ടനും (Arthur H. Compton) ബ്രിട്ടീഷ് വൈജ്ഞാനികനായ സി. ററി. ആർ. വിൽസനും (C. T. R. Wilson) സ്ഥിരീകരിച്ചു.

പ്രവർത്തകശക്തിയും വസ്തുഘനവും

(Energy and Mass)

വസ്തുക്കളുടെ സൂക്ഷ്മഘടകങ്ങളാണ് അണുക്കൾ (atoms) എന്നുള്ള സിദ്ധാന്തത്തിൻെറ പരിഷ്ക്കരിച്ച ഒരു രൂപമാണ്, പ്രവത്തകശക്തിയുടെ സൂക്ഷ്മഘടകങ്ങളാണ് 'മാത്രകങ്ങൾ' (quanta) എന്നു പറയുന്നതു്. ഈ ആശയത്തിൽനിന്നും ഗ്രഹിക്കാവുന്ന ഒരു തത്വം വസ്തുവും (matter), പ്രവത്തകശക്തി (energy)യും ഒന്നിൻെറതന്നെ രണ്ടുവിധത്തിലുള്ള പ്രത്യക്ഷീകരണമാണ് എന്നുള്ളതത്രേ. അതായതു്, വസ്തു നശിച്ചാൽ അതു പ്രവത്തകശക്തിയായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടാവുന്നതാണ്. ഇതാണ്, ഐൻസ്റ്റീന്റെ സുപ്രസിദ്ധമായ 'ആപേക്ഷികസിദ്ധാന്ത'ത്തിലെ (theory of relativity) ആശയം.

പ്രവത്തകശക്തി (energy) വിവിധാകാരത്തിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുണ്ടല്ലോ. ഒരു വിധത്തിലുള്ള പ്രവത്തകശക്തിയിൽ ഒരംശം, വേറൊരുവിധത്തിലുള്ള പ്രവത്തകശക്തിയായി രൂപാന്തരപ്പെടുമ്പോൾ, ഏതിൽനിന്നു രൂപഭേദം വന്നുവോ, ആ ശക്തിക്ക് അത്രയും കുറവു സംഭവിക്കുന്നു. ഈ കുറവ് ഏതു ശക്തിയായി രൂപപ്പെട്ടോ ആ ശക്തിയിലാണു ലയിച്ചിരിക്കുന്നതു്. ഇതിനാണു പ്രവത്തകശക്തിയുടെ അനശ്വരത എന്നു പറയപ്പെടുന്നതു്.

ഇതുപോലെതന്നെ ഒരു ദ്രവ്യത്തിൻെറ ഘനഭാവത്തിനും (mass) പ്രവത്തകശക്തിക്കും (energy) തമ്മിലുള്ള ബന്ധം ഏതുപ്രകാരമെന്നു വിചിന്തനംചെയ്യാം. ഒരു വസ്തു പ്രവത്തനോദ്യതമാകുക എന്നു പറയുന്നതു്, ആ വസ്തുഘനത്തിൻെറ ഒരു ഭാഗം പ്രവത്തകശക്തിയായി രൂപപ്പെടുക എന്നാണ്. അപ്പോൾ, എത്രമാത്രം പ്രവ

ൎത്തകശക്തി ഒരു വസ്തുവിൽ രൂപംപ്രാപിച്ചുവോ, അത്രമാത്രം ആ വസ്തുവിൻെറ ഘനത്തിന് (mass) കുറവു സംഭവിച്ചു എന്നു നിൎണ്ണയിക്കേണ്ടതാണ്. ഈ കുറവ് ഗണ്യമായിട്ടുള്ളതല്ലെങ്കിലും, അത്രയും ഘനാംശംകൊണ്ടു രൂപംപ്രാപിക്കുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ മഹത്വവും വികാസവും അപരിമിതമാണ്, ഒരുഗ്ലാസ്സു വെള്ളത്തിൻെറ ഘനഭാവത്തെ നശിപ്പിച്ചു പ്രവൎത്തകശക്തിയായി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുന്നപക്ഷം, ആ ശക്തിക്ക് ഒരു നഗരത്തെ മുഴുവൻ പ്രകാശിപ്പിക്കുന്നതിനും, ആ നഗരത്തിലെ യന്ത്രങ്ങളെ പ്രവൎത്തനോദ്യതമാക്കുന്നതിനും ആവശ്യകമായ ആലക്തികശക്തിയുണ്ടാക്കുന്നതിനു കഴിയും. ലോകാരംഭം മുതല്ക്കേ നമുക്കു വെളിച്ചവും ചൂടും നല്കിക്കൊണ്ടു സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന സൂൎയ്യനിൽനിന്നു നിരൎഗ്ഗളമായി പ്രസരിക്കുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിമൂലം സൂൎയ്യൻെറ ഘനത്തിനു കുറവു സംഭവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു എന്ന വസ്തുത നാം പലപ്പോഴും വിസ്മരിച്ചുപോകുന്നു. ഇപ്രകാരം, വസ്തുവിൻെറ ഘനത്തിനും (mass), പ്രവൎത്തകശക്തിക്കും (energy), അഭേദ്യമായ ബന്ധമുണ്ടെന്ന് ഐൻസ്റ്റീൻ കണ്ടുപിടിച്ചു. ഐൻസ്റ്റീന്റെ സുപ്രസിദ്ധമായ 'ആപേക്ഷികതത്വം' ഈ ബന്ധത്തെ സ്ഥാപിക്കുന്നതാണ്.

നിൎണ്ണിതമായ ഒരു വസ്തുഘനത്തിൻെറ നാശത്തിൽനിന്നും ജനിക്കുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തി, ആ വസ്തുഘനത്തെ, പ്രകാശവേഗത്തിൻെറ (speed of light) ദ്വിഗുണിതത്തോട് അല്ലെങ്കിൽ വൎഗ്ഗത്തോട് (square) പെരുക്കിയാൽ ലഭിക്കുന്ന സംഖ്യയ്ക്കു തുല്യമാണെന്ന് അദ്ദേഹം $E=mc^2$ എന്ന ഗണിതസൂത്രം മുഖേന സമൎത്ഥിച്ചു. ഈ ഗണിതസൂത്രത്തിലെ 'E' എന്നതു പ്രവൎത്തകശക്തിയേയും, 'c' പ്രകാശവേഗത്തേയും, 'm' വസ്തുഘനത്തേയും കുറിക്കുന്നു. വസ്തുഘനം ഗ്രാമിലും, പ്രകാശവേഗം സെൻറിമീറ്ററിലും കാണിക്കേണ്ടതാണ്.

പ്രവൎത്തകശക്തി (energy) = ഘനം (mass) × (പ്രകാശവേഗം)^2

ഇതിൻപ്രകാരം ഒരു ഗ്രാം വസ്തുഘനത്തെ നശിപ്പിക്കുന്നതിൽനിന്നുളവാകുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ പരിമാണം, രണ്ടുകോടി ടൺ കൽക്കരിയുടെ ദഹനത്തിൽനിന്നുളവാകുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിക്കു തുല്യമാണെന്നു പറയാം.

സാധാരണ ദാഹകക്രിയയിൽ (combustion)തന്നെ, ഒരു ദ്രവ്യത്തിൻെറ ഏററവും പരമമായ ഒരംശം പ്രവൎത്തകശക്തിയായി രൂപപ്പെടുന്നെങ്കിലും, അങ്ങനെ രൂപാന്തരം സംഭവിക്കുന്ന

വസ്തുംശത്തിൻെറ ഭാരം നിർണ്ണയിക്കുവാൻ പരീക്ഷണശാലയിലെ തുലനയന്ത്രത്തിനും (balance) സാധിക്കുന്നതല്ല. എന്നാൽ വൈജ്ഞാനികന്മാർ അണുഘടനയെ ആധാരമാക്കി ചില ഗണനകഠം സാധിച്ചിട്ടുണ്ട്.

ഒരു ഹീലിയം അണുവിലെ ബീജവത്തികളായ രണ്ടു പ്രധനങ്ങളേയും (protons), രണ്ടു നിരലക്തങ്ങളേയും (neutrons) പറ്റി ചിന്തിച്ചുനോക്കാം.

ഒരു പ്രധനത്തിൻെറ ഘനം (mass) 1·0076; ഒരു നിരലക്തത്തിൻെറ ഘനം 1·0089; അപ്പോഠം ഒരു ഹീലിയം അണുവിലെ ബീജത്തിൻെറ(nucleus) ഘനം 2 (1·0076)+2(1·0089)=4·0330; എന്നാൽ ഒരു ഹീലിയത്തിൻെറ നിണ്ണിതമായ ബീജഘനം 4·0028 ആകുന്നു. പ്രധനങ്ങളുടേയും, നിരലക്തങ്ങളുടേയും സംയുക്തഭാവം കൊണ്ടുണ്ടായിട്ടുള്ള ബീജഘനത്തിനു് 0·0302 ഘനമാത്ര (mass unit)കുറവുള്ളതായികാണുന്നു. ഇത്രമാത്രം കുറവു് ഘനത്തിൽ(mass) സംഭവിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ അത്രയും ഘനം പ്രവ്ത്തകശക്തിയായി രൂപാന്തരപ്പെട്ടു എന്നു ന്യായമായി അനുമാനിക്കാം. ഈ പ്രവത്തകശക്തിയാണു ബീജത്തിൻെറ ഘടകാംശങ്ങളെ പരസ്പരം സംഘടിപ്പിച്ചു നിത്തുന്നതിനു പര്യാപ്തമായിരിക്കുന്നതു്. ഇതിൽനിന്നും ബീജത്തെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനു് ഇത്രയും പ്രവത്തകശക്തി ആവശ്യമായിത്തീരുന്നു എന്നു ഗ്രഹിക്കാം. ഈ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ 'മാത്ര'(unit)യ്ക്കു അണുശാസ്ത്രകാരന്മാർ 'അലക്തനമർദ്ദമാത്ര' (electron volt) എന്ന പേരു കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

മേൽ പ്രസ്താവിച്ച ഹീലിയത്തിൻെറ ബീജഘനത്തിൽ കുറവു സംഭവിച്ച 0·0302 ഘനമാത്ര (mass unit)യ്ക്കു സമാനമായ പ്രവത്തകശക്തിമാത്ര ഏതാണ്ടു് 2,80,00,000 അലക്തനമർദ്ദമാത്രകഠം (electron volts) ആകുന്നു.

ഹീലിയം ധാതുവിൻെറ ഒരൊററ അണുവിലെ ഘടകാംശങ്ങളെത്തമ്മിൽ സംഘടിപ്പിച്ചു നിലനിറുത്തുന്നതിനു് ഇത്രമാത്രം പ്രവത്തകശക്തി വേണ്ടിയിരിക്കുന്നെങ്കിൽ, ഒരു ഗ്രാം ഹീലിയത്തിൽ ഉഠംക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന അനേകംകോടി അണുക്കളിലെ ഘടകബിന്ദുക്കളെത്തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിച്ചു പരിരക്ഷിക്കുന്നതിനു് ആവശ്യകമായ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ പരിമാണം എത്രമാത്രമെന്നൂഹിക്കാവുന്നതാണല്ലോ. ഇത്രയും പ്രവത്തകശക്തി 10 വാട്ട്ശക്തിയുള്ള ഒരു

ആലക്ട്രികദീപത്തെ 2,200 സംവത്സരത്തോളം തുടർച്ചയായി ഉജ്ജ്വലിപ്പിച്ചു നിലനിർത്തുന്നതിനു മതിയാവുന്നതാണെന്നു പറയാം.

ഇപ്രകാരം അണുക്കളിൽ നിബദ്ധമായ ഭീമപ്രവത്തകശക്തിയെ വിമോചിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള മാഗ്ഗത്തെപ്പററി ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ചിന്തിച്ചു. ഇവരിൽ പ്രഥമഗണനീയൻ അണുശാസ്ത്രത്തിൻെറ പിതൃസ്ഥാനത്തിനർഹനായ സർ. ഏർണസ്റ്റ് റതർഫോർഡായിരുന്നു.

കെയിംബ്രിഡ്ജിലെ കാവൻഡിഷ് പരീക്ഷണശാലയിൽവച്ച് 1919-ൽ അദ്ദേഹം പാക്യജനകത്തെ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കി അതിൽനിന്നും ധനനിർഭരമായ(Positively charged) അബ്ജനകാണുവിനെ അഥവാ 'പ്രധന'ത്തെ(proton) പ്രസരിപ്പിച്ച വസ്തുത പൂവ്വഭാഗത്തു പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ടല്ലോ.

ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതംകൊണ്ടു് അനേകം ധാതുകങ്ങളെ (elements) ഇപ്രകാരം വിഘടിപ്പിക്കാമെന്നു പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും വെളിവായിട്ടുണ്ട്. ഇതിനെ അവലംബമാക്കി അണുവിഘടനത്തിനു സമത്ഥങ്ങളായ ക്ഷേപകവസ്തുക്കളെ (projectiles) കൃത്രിമമായി പ്രസരിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധകമാകത്തക്ക ഭീമാകാരങ്ങളായ ആലക്തികയന്ത്രവിധാനങ്ങളെ സൃഷ്ടിക്കുന്ന വിഷയത്തിൽ ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ ശ്രദ്ധ പതിഞ്ഞു.

1932-ൽ റതർഫോർഡിൻെറ പരീക്ഷണശാലയിൽ ഗവേഷണം നടത്തിക്കൊണ്ടിരുന്ന കോൿറോഫ്ററും (Cockroft), വാൾട്ടനും(Walton), കൃത്രിമമായി ഉജ്ജ്വലമാക്കപ്പെട്ട പ്രധനത്തെ(proton) ലിതിയം ലോഹത്തിന്മേൽ പ്രയോഗിച്ചതിൻെറ ഫലമായി താഴെ കാണിക്കുന്ന വികലനക്രിയ (disintegration) സംഭവിച്ചതായി പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ടു.

$3\ Li + 1H^{1} = 2He + 2He^{4} + $ 1,70,00,000 അലക്തനമർദ്ദമാത്ര. ലിതിയത്തിൻെറ ഒരു ബീജത്തിൽ 3 പ്രധനങ്ങളും 4 നിരലക്തങ്ങളും (neutrons) സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. അതിന്മേൽ ഒരു പ്രധനത്തിൻെറ അഥവാ ഒരു അബ്ജനകാണുബീജത്തിൻെറ പ്രയോഗംകൊണ്ടു രണ്ടു് ആല്ഫാബിന്ദുക്കളും അഥവാ ഹീലിയംബീജങ്ങളും പൊട്ടിപ്പുറപ്പെടുന്നതോടൊപ്പം വിപുലമായ പ്രവത്തകശക്തിയും ആവിർഭവിക്കുന്നു. ലിതിയത്തിൻെറ വികലനഫലമായി സംജാതമായ രണ്ടു് ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ഘനവും (mass), വികലന

ക്രിയയ്ക്കു മുമ്പുണ്ടായിരുന്ന ലിതിയംഅണുവിൻേറയും, പ്രധനത്തിൻേറയും ഘനനങ്ങളുടെ ആകെത്തുകയും തമ്മിൽ താരതമ്യപ്പെടുത്തി നോക്കിയാൽ, ആല്ഫാബിന്ദുക്കാംക്ക 0.0185 ഘനമാത്ര കുറവുള്ളതായി കാണപ്പെടുന്നു. ഇങ്ങനെ നഷ്ടപ്പെട്ടുപോയെന്നു വിചാരിക്കപ്പെടാവുന്ന ഘനമാണ് (mass) 1,70,00,000 അലക്തനമൎദ്ദമാത്രകാംക്ക (electron volts) സമാനമായ പ്രവൎത്തകശക്തിയായി രൂപം മാറിയതു്.

ഒരു വസ്തുവിലെ ഘനത്തെ പ്രവൎത്തകശക്തിയായി രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നുള്ള ഐൻസ്റ്റീൻെറ ആപേക്ഷികസിദ്ധാന്തത്തിൻെറ യാഥാൎത്ഥ്യത്തെ സമൎത്ഥിക്കുന്നതിനു മാത്രമേ ഈ പരീക്ഷണം പ്രയോജനപ്പെടുന്നുള്ളു. എന്നാൽ വിപുലമായ തോതിൽ പ്രവൎത്തകശക്തിയെ സമാഹരിച്ചു പ്രായോഗികമാക്കിത്തീൎക്കുന്നതിനുള്ള സാദ്ധ്യത ഈ പരീക്ഷണങ്ങാം മുഖേന ലഭിക്കുന്നില്ല. ഇതേപ്പററി പ്രിൻസ്റ്റൻ സൎവ്വകലാശാലയിലെ ഡോക്ടർ എച്ച്. ഡി. സ്മിത്തിൻെറ (Dr. H. D. Smith) അഭിപ്രായവും നിൎദ്ദേശങ്ങളും ശ്രദ്ധേയമാണ്. അദ്ദേഹം ഇപ്രകാരം പറയുന്നു:

''ഒരു പ്രധനത്തിൻെറ (proton) ആഘാതംകൊണ്ടു് ഒരു ലിതിയം അണുവിൽനിന്നും $\frac{1}{276000}$ എർഗ്ഗ് പ്രവൎത്തകശക്തി ലഭിക്കുന്ന പക്ഷം, ഒരു ഗ്രാം അബ്ജനകവും ഏഴു ഗ്രാം ലിതിയവും തമ്മിലുള്ള സംയോഗത്തിൽനിന്നു് ഉദ്ദേശം 5 ലക്ഷം കിലോവാട്ട് മണിക്കൂറുകാംക്ക (kilowatt-hours) തുല്യമായ പ്രവൎത്തകശക്തി സിദ്ധിക്കുന്നുവെന്നു നാം പ്രതീക്ഷിച്ചേക്കാം. കല്ക്കരിയുടെ ദഹനക്രിയയേക്കാം ഇതു മേന്മയുള്ളതാണെന്നു നിസ്സംശയം പറയാം. എന്നാൽ അതിശീഘ്രഗതിയുള്ള പ്രധനത്തെ (proton) ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതും, ഉത്ഭൂതമാകുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയെ നിയന്ത്രിക്കുന്നതും അതിദുഷ്കരമാണ്. പരീക്ഷണത്തിനുവേണ്ടി നാം കൈകാര്യം ചെയ്യുന്ന വസ്തുക്കളുടെ പരിമാണത്തിലുള്ള ലഘുത്വവും, അതിന്മേൽ ബഹുലങ്ങളായ അണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനു നാം ഉപയോഗിക്കുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ മഹത്വവും പര്യാലോചിക്കുമ്പോാം അണുവിഘടനത്തിൽനിന്നും ലഭിക്കുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തി, അതിൻെറ ആവാഹത്തിനുവേണ്ടി പ്രയോഗിച്ച പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ ഒരു നേരിയ അംശം മാത്രമാണ് എന്നു മനസ്സിലാകുന്നു.''

ഒരു തീപ്പെട്ടിക്കോൽ ഉരസ്സുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന അഗ്നിയിൽനിന്നും

പ്രസരിക്കുന്ന ഉഷ്ണം (heat) അതിനു സമീപത്തിലുള്ള ഇന്ധനത്തെ (fuel) ജ്വലിപ്പിക്കുന്നതിനു കാരണമാകുന്നു. അപ്രകാരം ജ്വലിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഇന്ധനത്തിൽനിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ഉഷ്ണത്തിന് ഉപര്യുപരി ഇന്ധനങ്ങളെ ജ്വലിപ്പിക്കുന്നതിനു കഴിയുന്നുണ്ട്. അതിനാൽ ഈദൃശമായ ദാഹകക്രിയ (combustion) അനുസ്യൂതമായിട്ടുള്ളതാണ്. എന്നാൽ നാം ഉപരി പ്രസ്താവിച്ച അണുവിഘടനസമ്പ്രദായത്തിൽ ഈ അനുസ്യൂതത്വം അഥവാ ശൃംഖലക്രിയ(chain reaction) ദൃശ്യമല്ല. പ്രത്യുത, വസ്തുവിൻെറ വികലനത്തിൽനിന്നു സിദ്ധമായ പ്രവൎത്തകശക്തിക്കോ, വികലനഫലമായി സംജാതമായ നൂതന ക്ഷേപകബിന്ദുക്കൾക്കോ, ക്രിയയെ അനുസ്യൂതമായി നിലനിറുത്തിക്കൊണ്ടു പോകുന്നതിനു ശക്യമല്ലാതെ വരുന്നു.

എന്നാൽ, ഒരണുവിൻെറ ബീജത്തിൽ നടക്കുന്ന പ്രക്രിയമൂലം (reaction) പ്രസരിക്കുന്ന ക്ഷേപകബിന്ദുക്കൾക്ക്, സമീപസ്ഥിതങ്ങളായ അണുബീജങ്ങളെ ഭഞ്ജിക്കുന്നതിനും, പുതിയ പുതിയ ക്ഷേപകബിന്ദുക്കളെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനും, ഇങ്ങനെ അണുപ്രക്രിയ (atomic reaction) അനുസ്യൂതമാക്കുന്നതിനും സാധിക്കത്തക്ക മാൎഗ്ഗങ്ങൾ കണ്ടുപിടിച്ചെങ്കിൽ മാത്രമേ, പ്രവൎത്തകശക്തിയെ വിപുലമായ തോതിൽ സമാഹരിക്കുന്നതിനും പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതിനും സാധിക്കയുള്ളു.

അണുഭഞ്ജനം

ATOM SMASHING

അണുഭഞ്ജനത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കിക്കൊണ്ടുള്ള പരീക്ഷണങ്ങരം അണുബോംബിൻെറ സൃഷ്ടിക്കു കാരണമായിത്തീൎന്നു. അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ സൃഷ്ടിപരമായ സാദ്ധ്യതകളെപ്പററി അവധാനപൂൎവ്വം ആലോചിക്കുന്നതിനും, ഈ പരീക്ഷണങ്ങരം പ്രേരകമായിത്തീൎന്നു. വ്യവസായോത്കൎഷത്തിനു സഹായകമായവിധം വൻതോതിൽ അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയെ(atomic energy) ഉത്പാദിപ്പിക്കുന്നതിന് ഒരുകാലത്തു കഴിഞ്ഞേക്കാമെന്ന് ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ചിന്തിച്ചുവെങ്കിലും, ആ ശുഭകാലം വളരെ വിദൂരമായിരിക്കാനേ ഇടയുള്ളു എന്നും അവർ കരുതാതിരുന്നില്ല.

ഭൗതികശാസ്ത്രം എപ്പോഴും രണ്ടു മാൎഗ്ഗങ്ങളെ അവലംബിച്ചാണ് പുരോഗമിച്ചിട്ടുള്ളത്. ഒന്ന്, പരീക്ഷണപരം (experimental); മറേറത് സിദ്ധാന്തപരം (theoretical). എന്നാൽ പരീക്ഷണം സിദ്ധാന്തത്തിലേക്കും, സിദ്ധാന്തം പരീക്ഷണത്തിലേക്കും വഴിതെളിക്കുന്നതിനാൽ ഒന്നിനെ മറേറതിൽനിന്നു വ്യവച്ഛേദിക്കുവാൻ അസാദ്ധ്യമാണുതാനും. ശാസ്ത്രാഭിവൃദ്ധിക്ക് ഈ രണ്ടു മാൎഗ്ഗങ്ങളും അത്യന്താപേക്ഷിതമാണ്. അഥവാ, ഈ രണ്ടു മാൎഗ്ഗങ്ങളിൽക്കൂടിയും പ്രവൎത്തനം നടത്തുന്ന ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ യോജിപ്പുകൂടാതെ ശാസ്ത്രപുരോഗമനം അസാദ്ധ്യംതന്നെ. അണുഭഞ്ജനത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കി നടത്തിയ പരീക്ഷണപരമ്പര ഹിരോഷിമാനഗരത്തിന്മേൽ പതിച്ച അണുബോംബിന് (atom bomb) കാരണമായത്, ഈ ഇരുപതാംശതാബ്ദത്തിലെ ഒന്നാംകിടയിൽ നില്ക്കുന്ന ഭൗതികവൈജ്ഞാനികൻെറയും, സിദ്ധാന്തകാരൻെറയും പ്രവൎത്തനങ്ങളായിരുന്നു. പരീക്ഷണവൈജ്ഞാനികൻ റതർഫോർഡുപ്രഭുവും, സിദ്ധാന്തവൈജ്ഞാനികൻ ആപേക്ഷികസിദ്ധാന്തത്തിൻെറ ഉപജ്ഞാതാവായ ആൽബൎട്ട് ഐൻസ്റ്റീനും ആയിരുന്നു.

റതർഫോർഡ് നടത്തിയ വിവിധ പരീക്ഷണങ്ങളെക്കുറിച്ചും, അദ്ദേഹത്തിൻെറ നിഗമനങ്ങളെക്കുറിച്ചും മുൻ അദ്ധ്യായത്തിൽ

പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ട്. പാക്യജനകത്തിന്റെ അണുക്കളെ തൈജസത്തിൽ (radium)നിന്നും പ്രസൃതമായ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കിയപ്പോഠം, ആ അണുക്കളിൽനിന്നും പ്രധനങ്ങരം (protons) അഥവാ അബ്ജനകാണുബീജങ്ങരം പുറപ്പെട്ടതായും, അങ്ങനെ റതർഫോർഡ് ആദ്യമായി അണുഭഞ്ജനം നടത്തിയതായും നാം മുമ്പുതന്നെ പറഞ്ഞിട്ടുണ്ട്.

1919-ൽ റതർഫോർഡ് പ്രഥമമായിച്ചെയ്ത ഈ അണുഭഞ്ജനം, 1945-ൽ അണുബോംബായി രൂപംപ്രാപിക്കുമെന്നും, ആ ബോംബിൻെറ പൊട്ടൽ ലോകത്തിലെങ്ങും മാറെറാലിക്കൊള്ളുമെന്നും ആരറിഞ്ഞു? പക്ഷേ, അതു സംഭവിക്കതന്നെ ചെയ്തു.

പാക്യജനകത്തിന്മേൽ നടത്തിയ അണുഭഞ്ജനപരീക്ഷണം, ഇതര രാസകധാതുക്കളിലും അദ്ദേഹം വിജയകരമാംവിധം നടത്തി. തൈജസരശ്മികഠംകൊണ്ട് (radium rays) വാതകങ്ങരം എന്നല്ല, അലൂമിനിയം തുടങ്ങിയ ലോഹങ്ങളുടെ നേരിയ തകിടുകളിലും ആഘാതമേല്പിച്ചു. റതർഫോഡിന്റെ പരീക്ഷണങ്ങരംമൂലം രണ്ടു മഹാകാര്യങ്ങളാണ് ശാസ്ത്രലോകത്തിനു ലഭിച്ചതു്. ഒന്ന്, വസ്തുക്കളുടെ രൂപവിപരിണാമവും (transmutation), വേറൊന്ന്, അണുക്കളിൽനിന്നുള്ള ഭീമമായ പ്രവത്തകശക്തി(energy)യുടെ ഉദയവും. തേജോദ്ഗാരകധാതുക്കളെ(radio active elements) സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം രൂപവിപരിണാമക്രിയ പ്രകൃതി മാത്രമാണു നിവ്വഹിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നതു്. എന്നാൽ കൃത്രിമമായി ധാതുക്കഠംക്കു രൂപവിപരിണാമം സാധിക്കാമെന്ന് ആദ്യമായി റതർഫോർഡാണു ലോകത്തെ പഠിപ്പിച്ചതു്. തന്നെയുമല്ല, അണുക്കളിൽ ആഘാതമേല്പിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി ക്ഷേപണം ചെയ്യുന്ന ആല്ഫാബിന്ദുക്കളിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന പ്രവത്തകശക്തിയെക്കാഠം എത്രയോ ഭീമമായ പ്രവത്തകശക്തിയോടുകൂടിയാണ്, അണുബീജത്തിൽനിന്നും പ്രധനങ്ങരം (protons) ബഹിഗ്ഗമിക്കുന്നതു് എന്നും അദ്ദേഹം അണുഭഞ്ജനപരീക്ഷണങ്ങളെക്കൊണ്ടു സമത്ഥിച്ചു. വിപുലമായ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ നികേതമാണ് അണുബീജമെന്നും, ആ ശക്തിയെ ഏതുവിധമെങ്കിലും ബീജത്തിൽനിന്നും വിമോചിപ്പിക്കുവാൻ സാധിച്ചാൽ അതൊരു മഹാ വിജയമായിരിക്കുമെന്നും റതർഫോർഡ് ചിന്തിച്ചു.

ഒരു രാസയോഗത്തോടനുബന്ധിച്ച്, ഉഷ്ണം (heat) പ്രസരിക്കുമെന്ന് രസവിജ്ഞാനീയം (chemistry) നമ്മെ മനസ്സിലാക്കുന്നു.

ഈ ഉഷ്ണത്തിനാണ പ്രക്രിയോഷ്ണം (heat of reaction) എന്നു നാം പറയുന്നതു്. അബ്ജനകവും(hydrogen), അമ്ലജനകവും (oxygen) തമ്മിലുള്ള രാസയോഗംകൊണ്ടു് ജലമുണ്ടാകുമ്പോഠം ഉഷ്ണം കൂടെയും ധാരാളമായി വിസജ്ജിക്കപ്പെടുന്നു. ഇതുപോലെതന്നെ ഒരു ധാതുവിന്റെ വിപരിണാമം സിദ്ധിക്കുന്നതോടുകൂടി ഭീമമായ തോതിൽ പ്രവത്തകശക്തി വമിക്കപ്പെടുന്നുണ്ടു്. അണുബോംബിൻെറ വിസ്ഫോടനത്തിലുണ്ടാകുന്ന വിപുലമായ ഉഷ്ണം ധാതുവിപരിണാമത്തോടനുബന്ധിച്ച ഉഷ്ണപ്രവത്തകശക്തിയാണെന്നു് നാം ധരിക്കേണ്ടതാണു്.

റതർഫോർഡിൻെറ പരീക്ഷണങ്ങളെത്തുടന്നു് ലോകമെങ്ങുമുള്ള പരീക്ഷണശാലകളിൽ അണുഭഞ്ജനപരീക്ഷണങ്ങഠം ആവത്തിക്കപ്പെട്ടു. അണുക്കളെക്കുറിച്ചും, അവയുടെ ഘടനകളെക്കുറിച്ചുമുള്ള അറിവുകഠം നിരവധിയായി ലഭിക്കുന്നതിനു് ഈ പരീക്ഷണങ്ങഠം കൊണ്ടു സാധിച്ചിട്ടുണ്ടു്. അവയിൽ അതിപ്രാധാന്യം അഹിക്കുന്ന ഒന്നു്, 'സ്ഥാനീയ'ങ്ങളെ (isotopes) സംബന്ധിച്ച കൂടുതലായി അറിയുന്നതിനു ശാസ്ത്രലോകത്തിനു സാധിച്ചു എന്നുള്ളതത്രേ. ഹാർവാർഡു് സവ്വകലാശാലയിലെ പ്രഫസ്സറായിരുന്ന റ്റി. ഡബ്ല്യൂ. റിച്ചാർഡ്സ് (T. W. Richards) എന്ന ശാസ്ത്രകാരൻ തൈജസത്തിൻെറ (radium) വികലനക്രിയയിൽനിന്നു സിദ്ധമാകുന്ന ഈയത്തിൻെറ അണുഭാരത്തിനും സാധാരണ ഈയത്തിൻെറ അണുഭാരത്തിനും തമ്മിൽ വ്യത്യാസം കാണുന്നുണ്ടെന്നു് ആദ്യമായി വെളിപ്പെടുത്തിയതായും, ഒരേ രാസകധമ്മത്തോടുകൂടിയവയെങ്കിലും, അണുഭാരത്തിൽ വ്യത്യസ്തമായിരിക്കുന്ന ഈയത്തിൻെറ അണുക്കളെ 'സ്ഥാനീയം' (isotope) എന്നു പ്രഫസ്സർ സോഡി (Prof. Soddy) നാമകരണം ചെയ്തതായും മുമ്പുതന്നെ പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടല്ലോ.

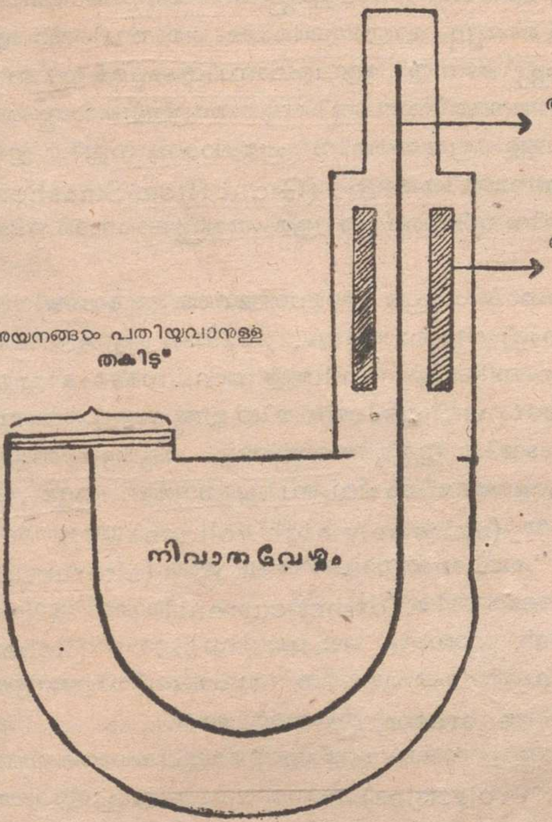
ചില രാസകധാതുക്കളുടെ അണുഭാരം ഒരു പൂണ്ണസംഖ്യയായിരിക്കേണ്ടതിനുപകരം ഭിന്നസംഖ്യയായി കാണപ്പെടുന്നതു് ശാസ്ത്രകാരന്മാരെ വളരെ കുഴക്കിയിട്ടുള്ള ഒരു പ്രശ്നമാണു്. എന്നാൽ ഈ പ്രശ്നത്തിനു ശരിയായ സമാധാനം കണ്ടുപിടിച്ചതു് റതർഫോഡിൻെറ പരീക്ഷണശാലയിൽ ഗവേഷണം നടത്തിക്കൊണ്ടിരുന്ന ഡോക്ടർ എഫു്. ഡബ്ല്യൂ. ആസ്റ്റൻ (Dr. F. W. Aston) എന്ന വൈജ്ഞാനികനായിരുന്നു. ചില രാസകധാതുക്കളുടെ അണുഭാരം ഭിന്നസംഖ്യയോടു കൂടിയതായി വെളിപ്പെടുന്നതു്, ആ രാസകധാതുക്കഠം വിവിധസ്ഥാനീയങ്ങളുടെ (isotopes) മിശ്രണങ്ങളാകയാലാണു്

എന്നു് ആസ്റ്റൻ വ്യാഖ്യാനിക്കയും പരീക്ഷണങ്ങറംകൊണ്ടു തെളിയിക്കയും ചെയ്തു. സ്ഥാനീയങ്ങളെ വിയോജിപ്പിക്കുന്നതിനു സമത്ഥമായ ഒരു യന്ത്രം അദ്ദേഹം വിധാനംചെയ്തു. ഇതിനെയാണു് 'ഘനാന്തരവിലേഖിനി' (mass spectrograph) എന്നു പറയുന്നതു്.

ഒരു മോട്ടോർവാഹനം അതിവേഗത്തിൽ ഓടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നുവെന്നു വിചാരിക്കുക. ഒരു വളവു തിരിയേണ്ട ഘട്ടം വരുമ്പോറം ആ മോട്ടോർവാഹനത്തിൻെറ ഗതിവേഗത്തെ കുറയ്ക്കേണ്ടതായി വരുന്നു. വാഹനത്തിൻെറ ശീഘ്രഗതിക്കു കുറവു വരുത്താതിരിക്കുന്നപക്ഷം വളവുതിരിക്കുന്നതിനു വളരെ പ്രയാസം നേരിടും. വാഹനം ഭാരക്കൂടുതലുള്ളതായിരുന്നാൽ വളവു തിരിക്കുവാനുള്ള ക്ലേശം താരതമ്യേന വദ്ധിച്ചിരിക്കും. എന്നാൽ ഭാരം കുറഞ്ഞ ഒരു വാഹനത്തിനു വളവു തിരിയുവാനുള്ള ക്ലേശം ഭാരാത്മകമായ ഒരു വാഹനത്തെ അപേക്ഷിച്ചു വളരെ കുറവാണു്. ഒരു 'ഘനാന്തരവിലേഖിനി' (mass spectrograph)യുടെ അടിസ്ഥാനതത്വം ഏതാണ്ടിപ്രകാരംതന്നെയാണു്. മോട്ടോർവാഹനങ്ങളുടെ സ്ഥാനം വിവിധഭാരങ്ങളോടുകൂടിയ അണുക്കളും മൂലകങ്ങളും (molecules) സ്വീകരിക്കുന്നു എന്നു മാത്രമേയുള്ളു.

വാതകരൂപത്തിലാക്കിയിട്ടുള്ള ഒരു ദ്രവ്യത്തിന്റെ മൂലകങ്ങളിൽ (molecules) അയനധാരയുടെ ആഘാതമേറംപ്പിച്ചു്, അവയിലെ അണുക്കളുടെ ബാഹ്യാലക്ത്രനങ്ങളെ (outer electrons) അടത്തിമാററി അണുക്കളെ അയനീകരിക്കുക (ionize). അയനീകൃതമായ അണുക്കളുടെ ധാരയെ സമാന്തരങ്ങളായി വിന്യസിച്ചിരിക്കുന്ന രണ്ടു തകിടുകളുടെ മദ്ധ്യത്തിൽക്കൂടി, അർദ്ധവൃത്താകാരത്തോടുകൂടിയതും, ശക്തിയേറിയ ആലക്തികകാന്തത്തിന്റെ ധ്രുവമദ്ധ്യത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതുമായ ഒരു വേശ്മത്തിൻെറ (chamber) ഉള്ളിലേക്കു കടത്തിവിട്ടാൽ അയനങ്ങറം (ions) വക്രഗതിയെ പ്രാപിക്കുന്നതായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു.

മേൽ പ്രസ്താവിച്ച മോട്ടോർ വാഹനങ്ങളെപ്പോലെ ലഘുഭാരത്തോടുകൂടിയ അയനങ്ങറം ഭാരംകൂടിയവയെ അപേക്ഷിച്ചു് അധികം വക്രമാകുന്നു. ഇങ്ങനെ ഭാരം കുറഞ്ഞവയും കൂടിയവയുമായ അയനങ്ങറം (ions) വേശ്മത്തിൻെറ അഗ്രത്തിൽ വിന്യസിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ഒരു തകിടിൻെറ രണ്ടു സ്ഥാനങ്ങളിലായി പതിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരം ഒരു ധാതുവിലെ വിവിധ ഭാരങ്ങളോടുകൂടിയ അണുക്കളെ



പടം 5

അയനങ്ങളുടെ വക്രഗതി

വേർതിരിക്കുന്നതിനു് ആസ്റ്റനു സാധിച്ചു. ധാതുക്കളിലെ സ്ഥാനീയങ്ങളെ വേർതിരിച്ചു കാണിക്കുവാനും അവയുടെ സ്വഭാവത്തെ വെളിപ്പെടുത്തുവാനും സാധിച്ചുവെങ്കിലും, അണുക്കളിൽനിന്നും അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെ ഗണ്യമായ തോതിൽ സംഭരിക്കുന്നതിനുള്ള സാദ്ധ്യത പിന്നെയും വളരെ വിദൂരമായിരുന്നു.

അണുഭഞ്ജനത്തിനുവേണ്ടി തൈജസത്തിലെ (radium) ആല്ഫാബിന്ദുക്കളെയാണു് റതർഫോർഡ് ഉപയോഗിച്ചതു്. എന്നാൽ ഇവ സമർത്ഥങ്ങളായ ക്ഷേപകബിന്ദുക്കളായി(projectiles)

രുന്നില്ല. കാരണം, ക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന അനേകലക്ഷം ആല്ഫാബിന്ദുക്കളിൽ ഒരെണ്ണം മാത്രമായിരിക്കും ഒരണുവിൻെറ ബീജത്തെ ആഘാതമേല്പ്പിക്കുന്നതു്. ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ഈ അനിശ്ചിതത്വം, അണുഭഞ്ജനത്തിനുവേണ്ടി നൂതനക്ഷേപകവസ്തുക്കളെ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള പ്രയത്നത്തിനു പ്രചോദനം നല്കി. ഇങ്ങനെ 'ബൃഹത്തായ അണുഭഞ്ജികകളെ' (Giant Atom Smashers) വിധാനം ചെയ്യുന്നതിനു നിരന്തരപരിശ്രമം ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്നു.

1919-ൽ റതർഫോർഡ് പ്രഭു അണുഭഞ്ജനത്തിനു വേണ്ടിയുള്ള പ്രഥമപരീക്ഷണം നിർവ്വഹിച്ചുവെങ്കിലും, 1929-ൽ ആണ് ഭീമങ്ങളായ അണുഭഞ്ജികകൾ നിർമ്മിക്കുന്നതിനുള്ള യത്നം സമാരംഭിച്ചതു്. അണുവിഘടനമാർഗ്ഗങ്ങൾ പരിഷ്കരിക്കുന്നതിനു മൂന്നു സമ്പ്രദായങ്ങൾ 1929-ൽ ആവിഷ്കൃതമായി. ഈ മൂന്നു മാർഗ്ഗങ്ങളും വ്യത്യസ്തങ്ങളായ രണ്ടു വിധാനരീതികളെയാണ് അവലംബിച്ചിരുന്നതു്. ഒന്നു്, അത്യുച്ചമർദ്ദത്തോടുകൂടിയ (extremely high voltage) ആലക്തികധാരയെ ജനിപ്പിച്ചു 'പരിവർത്തനാലക്തിക'ത്തെ (alternating current) 'ഏകദിഗാലക്തിക'(direct current)മാക്കി മാററുക എന്നതായിരുന്നു. രണ്ടു്, റോബർട്ട് ജെ. വാൻ ഡി ഗ്രാഫ് (Robert J. Van de Graff) വിധാനംചെയ്ത 'നിശ്ചലാലക്തികജന്യക'ത്തെ (electrostatic generator) ആധാരമാക്കുക.

കൂടുതൽ ഗതിവേഗവും ഭാരവും ഉള്ള അണുക്ഷേപകധാരകളാണ് (streams of atomic projectiles) അണുഭഞ്ജനത്തിനു പ്രയോജകീഭവിക്കുന്നതെന്നു ശാസ്ത്രകാരന്മാർ മനസ്സിലാക്കി. ഡോക്ടർ ഡബ്ല്യു. ഡി. കൂളിഡ്ജിൻെറ (Dr. W. D. Coolidge) എക്സ്-റേ കുഴലിൽനിന്നു പ്രവഹിക്കുന്ന അലക്ത്രനധാരയെ (electron stream) അണുക്ഷേപകവസ്തുവായി സ്വീകരിക്കാമോ എന്നു വൈജ്ഞാനികന്മാർ ചിന്തിച്ചു. എന്നാൽ അലക്ത്രനങ്ങളുടെ ഗണനീയമായ ഭാരക്കുറവ് അണുഭഞ്ജനത്തിനു് അവയെ അസമർത്ഥമാക്കി. പ്രധനങ്ങളോ (protons), ആല്ഫാബിന്ദുക്കളോ (alpha particles), അലക്ത്രനങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച് ക്ഷേപകവസ്തുവാക്കാൻ യോഗ്യതയുള്ളവയാണ്. പ്രധനം അബ്ജനകബീജവും (hydrogen nucleus), ആല്ഫാബിന്ദു, ഹീലിയത്തിൻെറ ബീജവുമാണല്ലോ. അബ്ജനകത്തേയും ഹീലിയത്തേയും അയനീകരിച്ച്, അവയുടെ ബാഹ്യാ

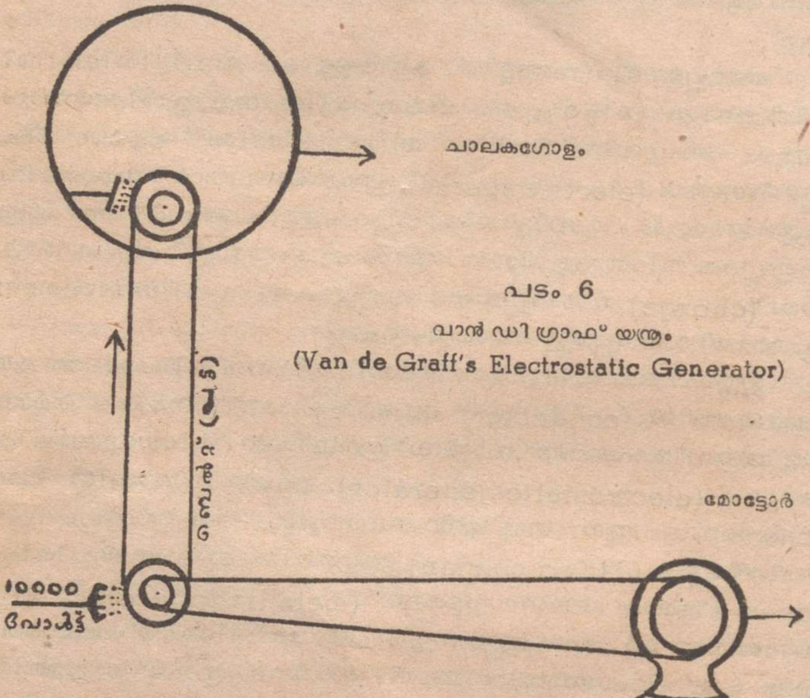
ലക്തനങ്ങളെ ഭ്രഷ്ടമാക്കുക എന്ന കൃത്യം മാത്രമേ ആവശ്യമായിരുന്നുള്ളു. എന്നാൽ അതിഭീമമായ ആലക്ʼതികമർദ്ദം ലഭിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ 'ആലക്ʼതികജന്യക'ത്തിൻെറ (electric generator) നിർമ്മാണം അത്യന്താപേക്ഷിതമായിരുന്നു.

വാൻ ഡി ഗ്രാഫിൻ്റെ 'നിശ്ചലാലക്ʼതികജന്യകം' (electro static generator) സംഘർഷണംകൊണ്ടു വസ്തുക്കളിൽ ആവിർഭവിക്കുന്ന ആലക്ʼതികത്വത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയാണു പ്രവത്തിക്കുന്നതു്.

തണുപ്പുള്ള ദിവസങ്ങളിൽ, കട്ടിയുള്ള ഒരു കമ്പിളിനിലവിരിയിൽക്കൂടി നടന്നിട്ടു വല്ല ലോഹവസ്തുക്കളിലും നാം സ്പർശിക്കുമ്പോൾ നമ്മുടെ അംഗുലിയിൽനിന്നും ലോഹത്തിലേക്കു് ആലക്ʼതികസ്ഫുലിംഗങ്ങൾ (electric sparks) പ്രസരിക്കുന്നതായി നമുക്കനുഭവമുള്ളതാണല്ലോ. കമ്പിളിവിരിയിന്മേലുള്ള പാദഘർഷണം എത്രമാത്രം ശക്ʼതിയോടുകൂടിയിരിക്കുന്നുവോ അത്രമാത്രം ആലക്ʼതികഭാരം (charge) നമ്മിൽ സംഭരിക്കപ്പെടുകയും സ്ഫുലിംഗങ്ങൾ തദനുസൃതമായി വലിപ്പമുള്ളവയാകയും ചെയ്യുന്നു.

ഇതുപോലെ വിപുലമായ തോതിൽ ആലക്ʼതികഭാരത്തെ ഒരു ചാലകത്തിൽ (conductor) സംഭരിപ്പിക്കുന്നതിനുപയുക്ʼതമായ ഒരു യന്ത്രവിശേഷമാണു്, വാൻ ഡി ഗ്രാഫിൻെറ 'നിശ്ചലാലക്തികജന്യകം' (electrostatic generator). കമ്പിളിവിരിയിൽ പാദഘർഷണം ചെയ്യുന്ന ആളിൻെറ സ്ഥാനത്തു ഒരു അചാലകസ്തംഭത്തിൻെറ (insulating column) അഗ്രത്തിൽ നിബന്ധിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ഭീമമായ ലോഹഗോളമാണു് (metallic sphere) ഈ യന്ത്രവിശേഷത്തിൽ കാണപ്പെടുന്നതു്. ആലക്ʼതികോത്ʼപാദനത്തിനുള്ള പാദഘർഷണത്തിനു പകരം, വാൻ ഡി ഗ്രാഫ് യന്ത്രത്തിൽ ഒരു 'പരാവത്തക'മാണു് (transformer) ആ കൃത്യം നിർവ്വഹിക്കുന്നതു്. പരാവത്തകത്തിൽനിന്നു ഗോളാകൃതിയിലുള്ള ചാലകത്തിലേക്കു് ആലക്ʼതികഭാരത്തെ ആവാഹിക്കുന്നതിനു സാധകമായ വിധത്തിൽ ദുകൂലംകൊണ്ടുള്ള ഒരു പട്ടയും (belt) പ്രവത്തിക്കുന്നു. പട്ടയുടെ ഉപരിഭാഗം ചാലകഗോളത്തിൻെറ (conducting sphere) ഉള്ളിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. യന്ത്രത്തിൻെറ അധോതലത്തിൽ വത്തിക്കുന്ന ഒരു മോട്ടോർ, പട്ടയുടെ അധോഭാഗത്തുനിന്നും ആലക്ʼതികഭാരത്തെ ഉപരിഭാഗത്തേക്കു് ആവാഹിക്കുന്നതുമൂലം ചാലകഗോളം

ആലക്ത്തികനിർഭരമായിത്തീരുന്നു. തുടർച്ചയായ പ്രവത്തനംമൂലം ഗോളത്തിൽ ആവാഹിക്കപ്പെടുന്ന ആലക്ത്തികം വായുവിൻെറ പ്രതിരോധത്തെ(resistance)പ്പോലും തകത്തു കതിക്കവാൻതക്ക ശക്ത്തിയുള്ളതായി വികസിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെ ചാലകഗോളത്തിൽ സംഭരിക്കപ്പെടാവുന്ന ആലക്ത്തികമർദ്ദം (voltage) ഏതാണ്ട് 50 ലക്ഷം വോൾട്ട്വരെയും ഉയരുകയും ചെയ്യുന്നു.



പടം 6

വാൻ ഡി ഗ്രാഫ് യന്ത്രം

(Van de Graff's Electrostatic Generator)

ഡോക്ടർ വാൻ ഡി ഗ്രാഫിൻെറ ആദ്യത്തെ നിശ്ചലാലക്തികജന്യകത്തിൽനിന്നും ലഭിച്ച ആലക്തികമർദ്ദം (voltage) 15 ലക്ഷത്തോളം വോൾട്ടുകൾ (volts) മാത്രമായിരുന്നു. എന്നാലും ഇതിലുമപരിയായ വിധത്തിൽ ആലക്തികമർദ്ദം ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള യന്ത്രങ്ങൾ നിർമ്മിക്കുന്നതിനായിരുന്നു അദ്ദേഹം യത്നിച്ചതു്. ഈ ശ്രമത്തിൻെറ ഫലമായി അതിഭീമമായ ഒരു യന്ത്രം ഉണ്ടാക്കവാൻ അദ്ദേ

ഹത്തിനു സാധിച്ചു. പ്രസ്തുത യന്ത്രത്തോടനുബന്ധിച്ച്, ഗോളാകൃതിയിലുള്ളതും 15 അടി വ്യാസമുള്ളതുമായ രണ്ടു ചാലകങ്ങൾ (conductors), 25 അടി ഉയരമുള്ളതും 6 അടി വ്യാസമുള്ളതും പൊള്ളയായതുമായ അചാലകസ്തംഭങ്ങളിൽ (insulating columns) ഉറപ്പിച്ചിരുന്നു.

1933 നവംബർ 28-ാം തീയതിയായിരുന്നു ഈ യന്ത്രത്തിന്റെ പ്രവൎത്തനം ആദ്യമായി പരീക്ഷിച്ചുനോക്കിയത്. ഓരോ ഗോളത്തിന്റേയും ആലക്തികമൎദ്ദം 35 ലക്ഷം വോൾട്ടുകളായിരുന്നതിനാൽ രണ്ടു ഗോളങ്ങളിൽനിന്നുംകൂടി 70 ലക്ഷം വോൾട്ടുകൾ ലഭിക്കുന്നതിനു സാധിച്ചു. ഇതിൽനിന്നും പുറപ്പെട്ട സ്ഫുലിംഗങ്ങളുടെ നിരൎഗ്ഗളമായ പ്രവാഹം അതിഭയങ്കരമായ മിന്നൽപ്പിണരുകളെക്കൂടി അതിശയിക്കുന്നതായിരുന്നു.

അണുഭഞ്ജനപരീക്ഷണങ്ങളിൽ സ്ഫുലിംഗരൂപേണ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്ന ആലക്തികപ്രസരം വായുവിൽ പതറി നശിക്കുന്നതിന്നു വദിക്കാതെ അവയെ ഭീമമായ നിവാതനാളികകളിൽ (vacuum tubes)കൂടി നിയമനംചെയ്ത് അണുഭഞ്ജനത്തിനു സാധകമായ ക്ഷേപകാംശങ്ങളെ ത്വരിതപ്പെടുത്തുക എന്നതാണ് ഇതിലെ പ്രവൎത്തനതത്വം.

സൈക്ലോട്രോൺ

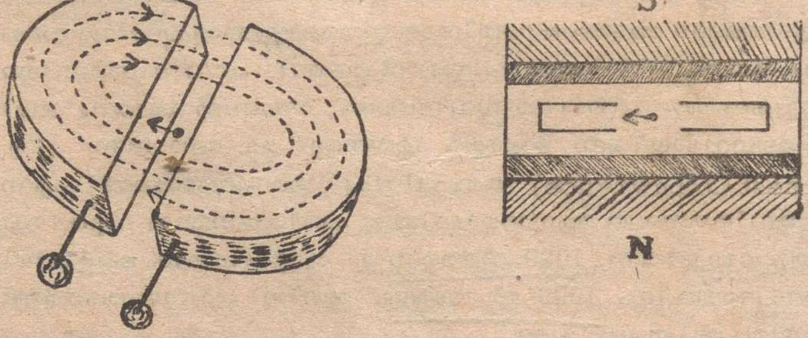
(Cyclotron)

മുൻപ്രസ്താവിച്ച ആലക്തികജന്യകത്തിന്റെ ആവിർഭാവത്തോടുകൂടിത്തന്നെ അണുഭഞ്ജനത്തിനുള്ള ഇതരമാൎഗ്ഗങ്ങളെപ്പററിയും ഗവേഷകലോകം വിചിന്തനംചെയ്യുവാൻ തുടങ്ങി. കാലിഫോർണിയാ സൎവ്വകലാശാലയിലെ ശാസ്ത്രവിദഗ്ദ്ധനും, നോബൽസമ്മാനം ലഭിച്ച ദേഹവുമായിരുന്ന ഡോക്ടർ ഏർണസ്റ്റ് ഓ. ലോറൻസ് (Dr. Ernest O. Lawrence) കണ്ടുപിടിച്ച 'സൈക്ലോട്രോൺ' എന്ന യന്ത്രവിശേഷത്തെ ആധാരമാക്കിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ വളരെ വിജയപ്രദമായിരുന്നു. 1929-ൽത്തന്നെ ഈ യന്ത്രവിശേഷം കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടുവെങ്കിലും 1939-ൽ മാത്രമേ ഇതിനു ശാസ്ത്രലോകത്തിൽ സ്ഥിരപ്രതിഷ്ഠ ലഭിച്ചുള്ളു.

ഒരു നിവാതവേശ്മത്തിൽ (vacuum chamber)അടക്കിയിട്ടുള്ള അബ്ജനകവാതകത്തിന്റെ മൂലകത്തെ (hydrogen molecule)

അഭിതപ്തമായ ഒരു തന്തുവിൽ (hot filament) നിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന അലക്തനങ്ങളുടെ (electrons) ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കുമ്പോൾ, വാതകത്തിൻെറ അണുവിലെ അലക്തനത്തിനു ഭ്രഷ്ടത സംഭവിക്കുന്നതിന്റെ ഫലമായി അവശേഷിക്കുന്ന പ്രധനത്തെ(proton) ത്വരിതപ്പെടുത്തി (accelerate) ഒരു ക്ഷേപകവസ്തുവായി നിയോഗിക്കുക എന്നതാണ് ഇതിലെ പ്രവത്തനവിധം. അബ്ജനകവാതകത്തിനു പകരം ഹീലിയം ഉപയോഗിക്കുന്നപക്ഷം പ്രധനത്തിന്റെ സ്ഥാനത്തു് ആല്ഫാബിന്ദുക്കളാണുണ്ടാകുക. ഇപ്രകാരം ലഭിക്കുന്ന പ്രധനങ്ങൾക്കോ, ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾക്കോ പ്രവർത്തകശക്തി (energy) തുലോം വിരളമായതിനാൽ അവയെ ത്വരിതപ്പെടുത്തേണ്ടതു് ആവശ്യമായിത്തീരുന്നു.

നിവാതവേശ്മം (vacuum chamber) വളരെ ശക്തിയേറിയ ഒരു ആലക്തികകാന്തത്തിൻെറ (electro magnet) ധ്രുവമദ്ധ്യത്തിലാണു സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു്. വേശ്മത്തിൻെറ ഉള്ളിൽ അർദ്ധവൃത്താകൃതിയിലുള്ളതും (semi circular) 'ഡീസ്' (dees) എന്നു വിളിക്കപ്പെടുന്നതുമായ രണ്ടു് ആലക്തികദ്വാരങ്ങൾ (electrodes) ഉറപ്പിച്ചിട്ടുണ്ടു്. ആകൃതികൊണ്ടു് ഇംഗ്ലീഷിലെ 'D' എന്ന അക്ഷരത്തിനു തുല്യത വഹിക്കുന്നതുകൊണ്ടാണു് ഇതിനു 'ഡീസ്' (dees) എന്ന സംജ്ഞ ലഭിച്ചതു്. വൃത്താകൃതിയിലുള്ള ഒരു ഡപ്പിയെ രണ്ടായി ഭേദിച്ചു് അല്പമായി അകററിയാൽ ലഭിക്കുന്ന ആകൃതിയാണു ഡീസിനുള്ളതു്. പരിവർത്തനവേഗാലക്തികപ്രഭവവുമായി (source



(a) (b)

പടം 7

(a) സൈക്ലോട്രോൺ. (b) കാന്തധ്രുവമദ്ധ്യത്തിൽ നിവാതവേശ്മത്തിൻെറ സ്ഥാനം.

of high frequency alternating current) ഇവയെ ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ ഒരു സെക്കൻററിൽ നിരവധിപ്രാവശ്യം ഓരോ 'ഡീ'യും, ആദ്യം ധനകമായും (positive), പിന്നീടു ഋണകമായും (negative), വീണ്ടും ധനകമായും, ഇങ്ങനെ അനുസ്യൂതമായി ഭവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഒരു 'ഡീ'യിലെ ആലക്തികത മറേറ 'ഡീ'യിലുള്ളതിൻെറ വിപരീതമായിരിക്കും.

വാതകത്തിൽനിന്നു നിഷ്ക്രമിച്ച പ്രധനം (proton) ധനനിർഭരമായതിനാൽ (Positive charge) അതു് ഋണനിർഭരമായ (Negatively charged) 'ഡീ'യിലേക്കു് ആകൎഷിക്കപ്പെടുന്നു. നിവാതവേശ്മം മുഴുവനും പ്രശക്തമായ ആലക്തികകാന്തത്തിൻെറ ധ്രുവമദ്ധ്യത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതിനാൽ കാന്തക്ഷേത്രം (magnetic field) പ്രധനത്തെ അർദ്ധവൃത്തഗതിയിൽ (in a semi circular arc) 'ഡീ'യിക്കുള്ളിൽ ചലിപ്പിക്കുന്നു. ഒരു സ്ഥിരാത്മകമായ കാന്തക്ഷേത്രത്തിൽ (constant magnetic field) ഒരാലക്തികനിർഭരമായ ബിന്ദുവിൻെറ (charged particle) പ്രയാണം വൎത്തുളഗതിയിലായിരിക്കുമല്ലോ. പ്രധനം (proton) 'ഡീ'കളുടെ അന്തരാളത്തിൽ വരുന്നതുവരെയും ഈ ചലനം നിർബാധമായി നടക്കുന്നു. ആതു 'ഡീ'കളുടെ അന്തരാളത്തിൽ(gap)വരുന്നതോടൊപ്പം, 'ഡീ'കളിലെ ആലക്തികതയ്ക്കു വിപരീതഭാവാത്മകത്വം സിദ്ധിക്കുന്നതിനാൽ മുമ്പു 'ധനക'(Positive)മായിരുന്ന 'ഡീ' ഇപ്പോഠം 'ഋണക' (Negative)മായിത്തീരുന്നു. അതുമൂലം ധനാലക്തികമായ പ്രധനം ഋണകനിർഭരമായ (Negatively charged) 'ഡീ'യിലേക്കു ത്വരിതപ്പെടുന്നു (accelerate). പ്രധനത്തിൻെറ ഓരോ അൎദ്ധവൃത്തഗതിയുടെ (semi circular motion)അവസാനത്തിലും, 'ഡീ'കളുടെ ആലക്തികതയ്ക്കു വൈപരീത്യം സംഭവിക്കുന്നതിനാൽ അതിൻെറ പ്രയാണവേഗം (velocity) വൎദ്ധിക്കുന്നതോടുകൂടി വൃത്തവ്യാസാൎദ്ധവും (radius) വിവൃദ്ധമായിക്കൊണ്ടേയിരിക്കും. എന്നാൽ പ്രധനത്തിൻെറ പ്രയാണകാലം (time) ഓരോ അൎദ്ധവൃത്തത്തിനും സ്ഥിരമായിരിക്കുന്നതുമാണു് (constant). അതുകൊണ്ടു പ്രധനത്തിൻെറ പ്രദക്ഷിണഗതിയിൽ ഓരോ അൎദ്ധവൃത്തവും പൂൎവ്വാധികം വിപുലീകൃതമാകുന്നുവെങ്കിലും, പ്രധനം 'ഡീ'കളുടെ അന്തരാളത്തിൽ വരുന്നതും, 'ഡീ'കളിലെ ആലക്തികതയ്ക്കു വൈപരീത്യം സിദ്ധിക്കുന്നതും ഏകകാലത്തുതന്നെയാണു്. അതുമൂലം പ്രധനത്തിൻെറ പ്രദക്ഷിണഗതി

മുമ്പിലത്തേതിനെക്കാറം ത്വരിതപ്പെടുകയാണു ചെയ്യുന്നതു്. ബിന്ദു (particle)വിൻെറ ഇപ്രകാരമുള്ള അനുസ്യൂതമായ പ്രദക്ഷിണത്തിൽ അതു 'ഡീ'കളുടെ വക്കോളമെത്തുന്നു. ഈ സമയം അതിനെ അതിൻെറ വത്തുളപഥത്തിൽനിന്നു് ഋണാലക്തികനിർഭരമായ (Negatively charged) ഒരു തകിടു് ബലമായി ആകഷിച്ചു് ഒരു ലോഹജാലകത്തിൽ(window)ക്കൂടി വെളിയിലുള്ള വായുവിലേക്കു പ്രസരിപ്പിക്കയും, അങ്ങനെ വസ്തുക്കളിൽ ആഘാതമേല്പിക്കുന്നതിനു പ്രയോജനപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഒരൊററ പ്രധനത്തെപ്പററി പ്രസ്താവിച്ച സംഗതികറം അനേകം പ്രധനങ്ങറക്കും സംഭവിക്കുന്നതിനാൽ, അവയെല്ലാംകൂടി ഒന്നിച്ചു ചേരുമ്പോറം ആവിർഭവിക്കുന്ന നിരർഗ്ഗളമായ പ്രധനധാര (proton stream) അണുഭഞ്ജനത്തെ നിഷ്പ്രയാസം സാധിക്കുന്നതിനു സമത്ഥമായിത്തീരുന്നു.

ഏർണസ്റ്റു് ലോറൻസ് നിമ്മിച്ച ഒന്നാമത്തെ സൈക്ലോട്രോൺ വളരെ ചെറുതായിരുന്നുവെങ്കിലും, അതിൻെറ വിജയം അതിഭീമമായ സൈക്ലോട്രോണുകളുടെ നിമ്മാണത്തിനു പ്രേരകമായി ഭവിച്ചു.

കൊളംബിയാ സവ്വകലാശാല 75 ടൺ ഭാരമുള്ള ഒരു സൈക്ലോട്രോൺ സ്ഥാപിച്ചതിനെത്തുടന്നു്, ഈ അത്ഭുതയന്ത്രനിമ്മാണത്തിനു വേണ്ടി അനേകം സ്ഥാപനങ്ങറം പ്രവത്തനങ്ങറം തുടങ്ങി. 225 ടൺ ഭാരമുള്ള ഒരു സൈക്ലോട്രോൺ, ലോറൻസിന്റെ നേതൃത്വത്തിൽ കാലിഫോർണിയാ സവ്വകലാശാല നിമ്മിച്ചതു വളരെ വിജയകരമായി അനുഭവപ്പെട്ടതിനാൽ, റോക്ക്ഫെല്ലർ സ്ഥാപനത്തിൻെറ സാമ്പത്തികമായ പ്രോത്സാഹനംകൊണ്ടു് അതിഭീമമായ വേറൊരു സൈക്ലോട്രോൺ നിമ്മിക്കുന്നതിനുകൂടി സവ്വകലാശാല ഒരുക്കങ്ങറം തുടങ്ങി. അതിൻെറ ആലക്തികകാന്തത്തിൻെറ ഭാരംതന്നെ 4,900 ടൺ ആണെന്നു പറയുമ്പോറം ആ യന്ത്രത്തിന്റെ ഭീമാകൃതിയെപ്പററി ചിന്തിക്കാവുന്നതാണല്ലോ. അതിൽനിന്നും ഉത്ഭവിച്ച ആലക്തികമർദ്ദം (voltage) ഏതാണ്ടു മുപ്പതുകോടി വോറംട്ടുകറം (volts) എന്നാണു നിണ്ണയിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതു്. അതുപോലെതന്നെ അതിൻെറ ക്ഷേപകവസ്തുവായ ഡ്യൂട്ടറോൺ (deuteron) വായുവിൽ 140 അടിയോളം തുളച്ചു കയറുവാൻ അതിസമത്ഥമാണു്.

BCM

ബീററാട്രോൺ

(Betatron)

ധനായനങ്ങളെ (Positive ions) ത്വരിതപ്പെടുത്തുന്നതിനു തികച്ചും പര്യാപ്തമായ ഒരു യന്ത്രവിശേഷമാണു് സൈക്ലോട്രോൺ എന്നിരുന്നാലും, അലക്തനങ്ങളെ (electrons) ത്വരിതപ്പെടുത്തുന്നതിനു് (accelerate) അതു് അപ്രായോഗികമായിട്ടാണു് അനുഭവപ്പെടുന്നതു്. ആലക്തികനിർഭരമായ ഒരു നിർദ്ദിഷ്ടബിന്ദുവിന്റെ (a given charged particle) പ്രയാണകാലം (time) അതിന്റെ പ്രയാണവേഗത്തോടോ (velocity) വൃത്തവ്യാസാർദ്ധത്തോടോ (radius) ആശ്രയിതമാകാതെയാണിരിക്കുന്നതു്. ബിന്ദുഘനം (mass) സ്ഥിരമായി വർത്തിക്കുന്നുവെന്ന സങ്കല്പത്തെ ആസ്പദമാക്കിയാണു് മേൽപറഞ്ഞ നിഗമനം. എന്നാൽ വിപുലമായ പ്രവർത്തകശക്തിയെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ബിന്ദുഘനം സ്ഥിരമായി വർത്തിക്കുന്നു എന്ന സങ്കല്പം ദുർബലമാകുന്നു. ബിന്ദുവിന്റെ പ്രവർത്തകശക്തി (energy) അധികരിക്കുന്തോറും അതിന്റെ ആപേക്ഷികഘനം (relativistic mass) പ്രകടമായിത്തീരുന്നു. അതുമൂലം ആപേക്ഷികഘനവും നിശ്ചലഘനവും (rest mass) തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസം വർദ്ധിച്ചുകൊണ്ടുതന്നെയിരിക്കയും ഈ വ്യത്യാസം ബിന്ദുവിന്റെ 'ഡീ'യിൽക്കൂടിയുള്ള പ്രയാണകാലത്തെ (period of motion) സാരമായി ബാധിക്കയും ചെയ്യുന്നു. തത്ഫലമായി ബിന്ദു 'ഡീ'കളുടെ അന്തരാളത്തിൽ വരുന്ന സമയവും 'ഡീ'കളിലെ ആലക്തികതയ്ക്കു വൈപരീത്യം സിദ്ധിക്കുന്ന സമയവും വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. അതായതു് ആലക്തികദശാവൈരുദ്ധ്യത്തിനും ബിന്ദുസ്ഥാനത്തിനും ദശാനുരൂപ്യം ഉണ്ടാകുന്നില്ല (not in phase). ബിന്ദു 'ഡീ'കളുടെ അന്തരാളത്തിൽ വരുന്നതു് 'ഡീ'കളുടെ ആലക്തികതയ്ക്കു വൈപരീത്യം സിദ്ധിച്ചതിനു മേലാകയാൽ അതിന്റെ ഗതി പ്രചോദനത്തിനു (accelerating impulse) കുറവു സംഭവിച്ചു്, അതിനു സിദ്ധിച്ച പ്രവർത്തകശക്തി ക്രമേണ നഷ്ടപ്പെടുന്ന ഒരു ഘട്ടത്തിലെത്തിച്ചേരുന്നു. ഈ വൈഷമ്യത്തെ പരിഹരിക്കുവാൻ ബിന്ദുഘനത്തിനു ഗണ്യമായ വ്യതിയാനം സംഭവിക്കുന്നതിനു സാധകമായവിധം ബിന്ദുവിനു തീവ്രത (acceleration) ലഭിക്കുന്നതോടുകൂടിത്തന്നെ ബിന്ദുഗതിയെ നിരോധിക്കേണ്ടതായും വരുന്നു.

പ്രവത്തകശക്തിയുടെ ഈ പരിധി (limit energy) എല്ലാ ബിന്ദുക്കൾക്കും ഒരുപോലെയല്ല. അതു ബിന്ദുവിൻെറ ഗതിവേഗത്തേയും (speed), അതിനെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള ഘനത്തേയും (mass) ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്. ഏതാണ്ടു് ഒരുകോടി അലക്തനമൎദ്ദമാത്രകളുടെ (10 million electron volts—10 MeV)പരിധിവരെയും ഒരു പ്രധനത്തിനും (proton), രണ്ടുകോടി അലക്തനമൎദ്ദമാത്രകൾ വരെ (20 MeV) ഒരു 'ഡ്യൂട്ടറോൺ' ബിന്ദുവിനും (deuthron particle) ഗണ്യമായവിധം ഘനവ്യതിയാനമുണ്ടാകുന്നില്ല. ഈ ബിന്ദുക്കളെ മേൽപറഞ്ഞ പരിധിവരെയും ത്വരിതപ്പെടുത്തുന്നതിനു് ഒരു സൈക്ലോട്രോൺ പ്രയോജനപ്പെടുന്നു. ആല്ഫാബിന്ദുക്കളെ (alpha particles) നാലുകോടി അലക്തനമൎദ്ദമാത്രകൾവരെയും (40 MeV) ത്വരിതപ്പെടുത്തുവാൻ സൈക്ലോട്രോണിനു കഴിയും.

എന്നാൽ അലക്തനത്തെ (electron) സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം സൈക്ലോട്രോൺ പ്രായോഗികമല്ല. സാമാന്യം കുറഞ്ഞ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ പരിധിയിൽത്തന്നെയും (at low energies) അലക്തനങ്ങളുടെ ആപേക്ഷികഘനം (relativistic mass) അമിതമായി വർദ്ധിക്കുന്നുവെന്നുള്ളതാണു് ഇതിനു കാരണം. ഒരു പ്രധനത്തിൻെറ (proton) ഘനത്തെ (mass) അപേക്ഷിച്ചു് ഒരു അലക്തനഘനം ഏതാണ്ടു രണ്ടായിരം മടങ്ങു കുറവാകുന്നു. അതിനാൽ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ പരിമാണം പത്തുലക്ഷം അലക്തനമൎദ്ദമാത്രകൾ (1 MeV) ആകുമ്പോഴേക്കും അലക്തനവേഗം പ്രകാശവേഗത്തോടടുത്തുവരികയും ആപേക്ഷികഘനം നിശ്ചലഘനത്തിൻെറ മൂന്നുമടങ്ങു വൎദ്ധിക്കുകയുമാണു ചെയ്യുന്നതു്. അലക്തനത്തെ ത്വരിതപ്പെടുത്തുന്നതിനു് ആലക്തകാന്തകീയ സംപ്രേരണമാൎഗ്ഗത്തെ (electro magnetic induction) പ്രയോജനപ്പെടുത്തുവാനായി വിഡെറോ (R. Wideroe), വാൾട്ടൻ (E. T. S. Walton) എന്നീ ശാസ്ത്രകാരന്മാർ പരിശ്രമം നടത്തിയെങ്കിലും അവരുടെ ശ്രമം വിഫലമാകയാണു ചെയ്തതു്. എന്നാൽ ഗണ്യമായവിധം അലക്തനങ്ങളെ പ്രസരിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധകമായ ഒരു യന്ത്രവിശേഷം ആദ്യമായി സംവിധാനംചെയ്തതു് ഡി. ഡബ്ല്യൂ. കേർസ്റ്റ്(D. W. Kerst) എന്ന അമേരിക്കൻ വൈജ്ഞാനികനാണു്. ഈ യന്ത്രവിശേഷത്തിനു (Betatron) എന്ന പേരാണു ലഭിച്ചതു്.

ഒന്നാമത്തെ ബീററാട്രോൺ പ്രവത്തകശക്തിയെ 23 ലക്ഷം

അലക്ത്തനമത്ത്രമാത്രകാംവരെയും (2·3 MeV), രണ്ടാമത്തേതു രണ്ടു കോടിവരെയും (20 MeV), മൂന്നാമത്തേതു പത്തുകോടിവരെയും (100 MeV) വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നതിനു പ്രയോജനപ്പെട്ടു. ഇവയെത്തുടന്നും, ഇമ്മാതിരിയിലുള്ള അനേകം യന്ത്രവിശേഷങ്ങാം നിമ്മിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്.

ഒരു ബീററാട്രോണിൻെറ പ്രവത്തനം നമുക്കു സുപരിചിതമായ പരാവത്തകത്തിൻെറ (transformer) തത്വത്തെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തിയാണു്. ഒരു പരാവത്തകത്തിൻെറ പ്രാഥമിക തന്തുവലയങ്ങളിൽ (primary coils) വിന്യസിക്കപ്പെടുന്ന പരിവത്തനാലക്ത്തികം (alternating current) തത്തുല്യമായ ആലക്ത്തികത്തെ അതിൻെറ ദ്വിതീയതന്തുക്കളിൽ (secondary coils) പ്രേരിതമാക്കുന്നു. ബീററാട്രോണിൽ, പരാവത്തകത്തിലെ ദ്വിതീയതന്തുക്കളുടെ സ്ഥാനത്തു് ഒരു നിവാതസ്സ്ഫടികനാളിക(evacuated glass tube)യാണു ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതു്. ഇതു പരിവത്തനാലക്ത്തികം കൊണ്ടു സുശക്തമായ ഒരാലക്തികകാന്തത്തിൻ്റെ (electro magnet) ധ്രുവമദ്ധ്യത്തിൽ വത്തിക്കുന്നു. ഒരു ഉഷ്ണിതതന്തുവിൽനിന്നും (heated filament) പ്രസരിക്കുന്നവയും, ഭാഗികമായി ത്വരിതപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ളവയുമായ അലക്ത്തനങ്ങളെ (electrons), കാന്തക്ഷേത്രബലം (field strength) വർദ്ധമാനമാകുവാൻ ആരംഭിക്കുന്നതോടുകൂടി നിവാതനാളികയിൽ പ്രവേശിപ്പിച്ചാൽ, അഭിവൃദ്ധമായിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന കാന്തക്ഷേത്രംകൊണ്ടു നിവാതവേശ്മത്തിൽ സംജാതമായ ആലക്ത്തികസമ്മർദ്ദം (electro motive force) അവയെ പൂർവ്വാധികം ദ്രുതഗതിയിൽ ചലിപ്പിക്കുന്നു. ഈ അലക്ത്തനങ്ങാം ഒരു കാന്തക്ഷേത്രത്തിൽ പ്രയാണംചെയ്യുന്നതിനാൽ അവ ഒരു വത്തുളഗതിയെ അവലംബിക്കുന്നു. ക്ഷേത്രബലവൃദ്ധിയും (increase of field strength), ബിന്ദുഘനത്തിൻേറയും അതിൻെറ ഗതിവേഗത്തിൻേറയും ഗുണഫലത്തിൻെറ (mass × velocity) വൃദ്ധിയും ക്രമാനുപാതമായിരുന്നാൽ (proportional) സ്ഥിരവ്യാസാർദ്ധത്തോടുകൂടിയ (constant radius) ഒരു വത്തുളപഥത്തെയാണു് അലക്തനങ്ങാം സ്വീകരിക്കുന്നതു്. ഇങ്ങനെ അലക്തനങ്ങാംക്കു്, അവയുടെ ഓരോ പ്രയാണവൃത്തദശയിലും പൂർവ്വാധികം തീവ്രത (acceleration) ലഭിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നുണ്ടു്.

കാന്തക്ഷേത്രബലവൃദ്ധിയുടെ പരിണാമദശയിൽ വൃത്താകൃതി

യിലുള്ള കാന്തധ്രുവമുഖങ്ങളിൽ (circular pole faces) നിബന്ധി ച്ചിട്ടുള്ള ഉപതന്തുവലയങ്ങളിൽ (auxiliary coils) ഒരു ആലക്തിക സ്പന്ദത്തെ (pulse of electricity) കടത്തിവിടുന്നതുമൂലം കാന്തക്ഷേ ത്രത്തിനു പൊടുന്നനവേ വ്യതിയാനം സംഭവിക്കയും, തത്ഫലമാ യി തീവ്രാലക്തനങ്ങൾക്ക് (high energy electrons) അവയുടെ സുസ്ഥിരപഥത്തിൽനിന്നും സ്ഥാനഭ്രംശം ഉണ്ടാകയും ചെയ്യുന്നു. ഇ ങ്ങനെ അവയെ ഒരു പ്രത്യേക ലക്ഷ്യത്തിലേക്കു (target) നിയന്ത്രി ക്കാവുന്നതാണ്.

പ്രവൎത്തകശക്തിക്കു വൈപുല്യമുണ്ടാകുന്തോറും, അലക്തനഘന ത്തിൻെറ വൃദ്ധി ബീററാട്രോണിൻെറ പ്രവൎത്തനക്ഷമതയെ ബാധി ക്കാത്തതുകൊണ്ടു് അലക്തനത്തിൻെറ പ്രവൎത്തകശക്തി അപരിമിത മായി വർദ്ധിപ്പിക്കാമെന്നു തോന്നിയേക്കാമെങ്കിലും വികിരണം (radiation)കൊണ്ടു് അതിൻെറ പ്രവൎത്തകശക്തിയിൽ ഒരംശം ന ഷ്ടപ്പെട്ടുപോകുന്നതാണ്. ഈ വൈഷമ്യം ലഘൂകരിക്കുന്നതിനു്, നിവാതനാളികയെ വിപുലമാക്കി അലക്തനപഥത്തിൻെറ വ്യാസാ ർദ്ധത്തെ (radius of the electron path) വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നതുകൊ ണ്ടു സാധിക്കുന്നതത്രേ.

സിംക്രോട്രോൺ
(Synchrotron)

സൈക്ലോട്രോണിൻെറ തത്വത്തെ അടിസ്ഥാനപ്പെടുത്തി പ്രവ ൎത്തകശക്തിയുടെ വ്യാപകത്വം വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്ന താണെന്നിരുന്നാലും, പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ വൈപുല്യം അനുസരി ച്ചു ക്ഷേപകവസ്തുവിൻെറ പ്രയാണപഥത്തിനുള്ള വ്യാസവും വർദ്ധി ച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കും. അതിനാൽ വ്യാപകമായ ഒരു കാന്തക്ഷേത്ര ത്തിന്റെ (magnetic field) ആവശ്യകത നേരിടുന്നു. അഥവാ ഭീമാ കാരമായ ഒരു കാന്തം ആവശ്യമായി വരുന്നു. ഇത്ര ഭീമമായ യന്ത്ര വിശേഷങ്ങളുടെ സൃഷ്ടിക്കു നിരവധി ധനം വ്യയം ചെയ്യേണ്ടിവരു ന്നതിനാൽ, കാന്തത്തിൻെറ വലിപ്പം വർദ്ധിക്കാതെയിരിക്കത്തക്ക വണ്ണവും, ക്ഷേപകബിന്ദുക്കളുടെ പ്രയാണവൃത്തവ്യാസം പ്രവൃദ്ധമാ കാതെയിരിക്കത്തക്കവണ്ണവും നിശ്ചിതമായ ഒരു വൃത്തത്തിൽ പ്രയാ ണം ചെയ്യുന്നതിനുള്ള സാഹചര്യം സൃഷ്ടിക്കേണ്ടതാണ്. ക്ഷേപക ബിന്ദുക്കളുടെ ചലനത്തിനു ശീഘ്രത പ്രാപിക്കുന്ന സമയംതന്നെ

കാന്തക്ഷേത്രത്തിൻെറ ശക്തിയും വദ്ധിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കത്തക്കവെണ്ണം, കാന്തക്ഷേത്രത്തെ ഒരു വത്തുളപരിധിയിൽ നിയമനം ചെയ്താൽ ക്ഷേപകബിന്ദുക്കരം ആ പരിധിയിൽത്തന്നെ അവസാനം വരെ നില്ക്കുന്നതാണ്. ഇങ്ങനെ കാന്തക്ഷേത്രത്തിൻെറ വൈപുല്യവും, ക്ഷേപകബിന്ദുസമൂഹത്തിൻെറ ത്വരിതഗതിയും പരസ്പരാശ്രയിതമാകത്തക്ക ഒരു യന്ത്രവിശേഷമാണ് സിംക്രോട്രോൺ (Synchrotron).

ഇവയെ കൂടാതെ കോസ്മോട്രോൺ (Cosmotron,) ബെവാട്രോൺ (Bevatron) തുടങ്ങിയ അണുഭഞ്ജികകളും (atom smashers) ആവിർഭവിച്ചിട്ടുണ്ട്.

അണുഭഞ്ജനത്തിനു സമത്ഥമായ ഇതര ക്ഷേപകവസ്തുക്കരം

പ്രധനങ്ങളേയും (protons), ആല്ഫാബിന്ദുക്കളേയും (alpha particles), അലക്തനങ്ങളേയും (electrons) കൂടാതെ അണുബീജത്തെ പിളക്കുന്നതിനുപയോഗിക്കുന്ന വേറൊരു ക്ഷേപകബിന്ദു, വസ്തുക്കളിലെ ബീജവത്തിയായ 'നിരലക്തങ്ങരം' (neutrons)തന്നെയാണ്. ബെറിലിയം (beryllium) ധാതുവിനെ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളെക്കൊണ്ട് ആഘാതം ഏസ്സിക്കുമ്പോരം, വസ്തുക്കളെ വേധനം ചെയ്യാൻ അതിസമത്ഥമായ ഒരുത്ഭുതപ്രസരം (radiation) ഉണ്ടാകുന്നതായി ജമ്മൻ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരായ ബോത്തെയും ബെക്കറും (Bothe and Becker) 1931-ൽ വെളിപ്പെടുത്തി.

1932-ൽ ബെറിലിയത്തെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങരം ഫ്രാൻസിലെ ഐറിൻ ക്യൂറിയും (Irene Curie) അവരുടെ ഭത്താവായ എഫ്. ജോളിയട്ടും (F. Joliot) കൂടി നടത്തിയതിൽ, ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതംകൊണ്ടു ബെറിലിയത്തിൽനിന്നും പുറപ്പെട്ട അത്ഭുതപ്രസരത്തിന്, ബെറിലിയത്തിന്നഭിമുഖമായി വിന്യസിച്ചിരുന്ന ഒരു നേരിയ പാരഫിൻപലകയെ (a thin sheet of paraffin) ഭേദിച്ച് അതിൽനിന്നും പ്രധനത്തെ വിസജ്ജിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നുപന്യസിച്ചു.

റതർഫോർഡിൻെറ പരീക്ഷണശാലയിൽ പ്രവത്തനം നിവ്വഹിച്ചുകൊണ്ടിരുന്ന ഡോക്ടർ ജെ. സി. ചാഡ്‌വിക്ക് (Dr. J. C.

Chadwick) ബെറിലിയത്തിലെ ഈ അത്ഭുതപ്രസരം യഥാത്ഥത്തിൽ 'പ്രധന'തുല്യമായ ഘനത്തോടുകൂടിയതും, എന്നാൽ ആലക്തികരഹിതവുമായ 'നിരലക്തങ്ങൾ' (neutrons) ആണെന്നു പരീക്ഷണങ്ങൾ മുഖേന തെളിയിച്ചു. നിരലക്തങ്ങൾ (neutrons) വസ്തുക്കളിൽ (matter) പ്രക്ഷേപിക്കപ്പെട്ടമ്പോൾ, അലക്ത്നങ്ങളിൽ ബലപ്രയോഗം ചെയ്യാതെതന്നെ അവ അണുക്കളുടെ അന്തർഭാഗത്തേക്കു നേരേ പ്രവേശിക്കുന്നു. അവയുടെ ഗതിവേഗത്തിനും കുറവു സംഭവിക്കുന്നില്ല. അതിനാൽ അവ അണുബീജത്തെ ഭേദിക്കുവാൻ കൂടുതൽ സമത്ഥങ്ങളാണ്. എന്നാൽ 'പ്രധന'ങ്ങൾക്കും, ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾക്കും, അവയുടെ ഗതിയിൽ സംഭവിക്കാവുന്ന ഘർഷണം കൊണ്ട്, അണുബീജങ്ങളുമായി സംഘട്ടനമുണ്ടാകുന്നതിനുമുമ്പുതന്നെ ഗതിവേഗം നിലച്ചുപോകുന്നു.

'നിരലക്ത'ങ്ങളെ (neutrons) സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം അവ ആലക്തികരഹിതങ്ങളാകയാൽ മേൽപറഞ്ഞ ദോഷങ്ങൾ അവയെ ബാധിക്കുന്നില്ല. ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതംകൊണ്ടു ബെറിലിയത്തിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന നിരലക്തങ്ങളുടെ വേഗം ഒരു സെക്കൻറിൽ 40,000 മൈലാണെന്നു നിർണ്ണയിച്ചിട്ടുണ്ട്.

ഉദാസീനനിരലക്തങ്ങൾ
(Slow Neutrons)

അണുക്കൾ നിരലക്തങ്ങളാൽ ആഘാതമേൾപ്പിക്കപ്പെട്ടമ്പോൾ, ഒരു ബീജം (nucleus) ഒരു നിരലക്തത്തെ കൂടുതലായി സ്വീകരിച്ചു സ്വകീയമാക്കിത്തീക്കുവാൻ ഇടയുള്ളതുമൂലം, മൂലധാതുവിൻെറ ഒരു 'സ്ഥാനീയം' (isotope) രൂപപ്പെടുന്നതിനു സാദ്ധ്യതയുള്ളതായി റോമിലെ സവ്വകലാശാലയിൽ ഗവേഷണം നടത്തിക്കൊണ്ടിരുന്ന ഡോക്ടർ എൻറിക്കോ ഫേർമി (Dr. Enrico Fermi) എന്ന വൈജ്ഞാനികൻ 1933-ൽ കണ്ടുപിടിച്ചു. ഇപ്രകാരം രൂപപ്പെടുന്ന 'സ്ഥാനീയ'ങ്ങളിൽ (isotopes) ഒരു വലിയ ഭാഗവും അസ്ഥിരങ്ങളാകയാൽ (unstable) അണുക്കളിലെ ചില സൂക്ഷ്മാംശങ്ങളുടെ പ്രസരംകൊണ്ടു് അണുഭാരം കുറവുള്ള ധാതുകങ്ങളായി പരിണമിക്കുന്നു. 'നിരലക്തഗ്രഹണ'ത്തെ (neutron capture) സംബന്ധിച്ചുള്ള ഫേർമിയുടെ ഈ കണ്ടുപിടിത്തം അണുഭഞ്ജനചരിത്രത്തിലെ ഒരു അതിപ്രധാനസംഭവമായിരുന്നു എന്നു പറയാം. ജല

ത്തിൽക്കൂടിയോ, മണ്ണെണ്ണയിൽ (paraffin) കൂടിയോ, അബ്ജനകം ധാരാളമുള്ള ഇതരവസ്തുക്കളിൽക്കൂടിയോ നിരലക്തധാരയെ (neutron stream) കടത്തിവിട്ട്, അതിൻെറ ഗതിവേഗം കുറച്ചാൽ നിരലക്തഗ്രഹണം അടിക്കടി സംഭവിക്കുന്നതാണെന്നും ഫേർമി കണ്ടുപിടിച്ചു.

ഫേർമിയുടെ ഈ കണ്ടുപിടിത്തംവരെയും അണുഭഞ്ജനത്തിനു വേണ്ടി സ്വീകരിക്കപ്പെട്ട ക്ഷേപകവസ്തുക്കൾ പ്രധനങ്ങളോ, മററു ധനാലക്തികബിന്ദുക്കളോ ആയിരുന്നതിനാൽ ധനനിർഭരങ്ങളായ (Positively charged) ബീജങ്ങളുടെ വികർഷണത്തെ അതിശയിക്കത്തക്ക ഗതിവേഗം അവയ്ക്കുണ്ടായിരിക്കേണ്ടതു് ആവശ്യമായിരുന്നു. എന്നാൽ നിരലക്തങ്ങൾ ആലക്തികരഹിതങ്ങളാകയാൽ, അണുബീജത്തിൻെറ 'ധനഭാരം' (Positive charge) നിരലക്തങ്ങളെ ബാധിക്കാത്തതുമൂലം ബീജത്തിൽ പററിപ്പിടിച്ചിരിക്കുന്നതിനുള്ള സൗകര്യം അവയ്ക്കു ലഭിക്കുന്നു. പക്ഷേ, ഇതു സാധിക്കണമെങ്കിൽ, അവയുടെ ഗതിവേഗം കുറഞ്ഞിരിക്കേണ്ടതാണു്. അല്ലാത്തപക്ഷം ബീജത്തെത്തന്നെയും തുളച്ചു മറുപുറം കടക്കുവാൻതക്ക വേഗം ഇവയ്ക്കുള്ളതിനാൽ അണുഭഞ്ജനം അസാദ്ധ്യമായിത്തീരുകയും ചെയ്യാം.

ഡ്യൂട്ടറോൺ
(Deuteron)

ഒരു രാസകധാതുവിൻെറ അണുക്കളിൽത്തന്നെ നിരലക്തങ്ങളുടെ എണ്ണത്തിനു വ്യത്യാസം വരുന്നതുമൂലം അണുക്കളുടെ ഘനസംഖ്യയ്ക്കു വ്യത്യാസം സംഭവിക്കുന്നുവെങ്കിലും, ഒരേ രാസകധർമ്മത്തെ പ്രകാശിപ്പിക്കുന്നതുകൊണ്ടു്, ധാത്വനുക്രമണികയിൽ (periodic table) അവ ഒരേ സ്ഥാനത്തിനർഹങ്ങളാകയാൽ 'സ്ഥാനീയം' (isotope) എന്നാണല്ലോ സംജ്ഞ നല്കിയിരിക്കുന്നതു്. ഒന്നോ, അധികമോ സ്ഥാനീയങ്ങളില്ലാത്ത ധാതുകങ്ങൾ വളരെ കുറവാണെന്നും പരീക്ഷണങ്ങൾകൊണ്ടു തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. സാധാരണ അബ്ജനകത്തിൻെറ അണുവിൽ ഒരു പ്രധനവും (proton), ഒരു അലക്തനവും (electron) മാത്രമേയുള്ള എന്നാണു നിർണ്ണയിച്ചിരിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ കൊളംബിയാ സർവ്വകലാശാലയിലെ പ്രഫസ്സറായിരുന്ന ഡോക്ടർ ഹാരോൾഡ് ഡി. യൂറേ (Dr. Harold D. Urey)യുടെ പരീ

ക്ഷണത്തിൽ, അബ്ജനകത്തിന് ഒരു 'സ്ഥാനീയം' (isotope) ഉള്ളതായും അതു സാധാരണ അബ്ജനകത്തെക്കാറം ഇരട്ടി ഭാരമുള്ളതായും വെളിപ്പെട്ടു. ഈ സ്ഥാനീയത്തിന് 'ഡ്യൂട്ടീറിയം' (Deuterium) എന്നും, അതിന്റെ ബീജത്തിന് 'ഡ്യൂട്ടറോൺ' (Deuteron) എന്നും അദ്ദേഹം നാമകരണം ചെയ്തു.

ജലം എന്നതു്, രണ്ടു് അബ്ജനകാണുക്കളും, ഒരു അമ്ലജനകാണുവും ചേൎന്ന യൗഗികമാണല്ലോ. സാധാരണ ജലത്തിലെ അബ്ജനകാണുക്കളുടെ സ്ഥാനത്തു് ഡ്യൂട്ടീറിയം സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന പക്ഷം ലഭിക്കുന്ന ജലം, സാധാരണജലത്തെ അപേക്ഷിച്ചു ഭാരംകൂടിയതായിരിക്കും. ഇതിനു 'സാന്ദ്രജലം' (heavy water) എന്നു പറയാം. സാമാന്യജലത്തിൽ സാന്ദ്രജലത്തിന്റെ ഒരു ലഘുവായ അംശം എപ്പോഴും കലൎന്നിരിക്കും.

ഡ്യൂട്ടീറിയത്തിന്റെ ബീജമായ ഡ്യൂട്ടറോൺ അണുഭഞ്ജനത്തിനു സമൎത്ഥമായ ഒരു ക്ഷേപകവസ്തുവാണെന്നു ശാസ്ത്രകാരന്മാർ കണ്ടുപിടിച്ചു. ഡ്യൂട്ടറോൺ ഏകാലക്ത്രികമാകയാൽ (single charge) അതിനെ നിഷ്പ്രയാസം ത്വരിതപ്പെടുത്തുന്നതിനും (accelerate) മററു് അണുക്കളിന്മേൽ ആഘാതമേൽപ്പിക്കുന്നതിനും സാധിക്കുന്നതാണു്.

ബീജവിഘടനം
(Nuclear Fission)

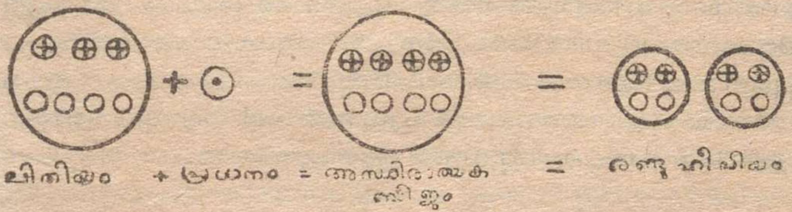
അണുക്കളെ ലക്ഷ്യമാക്കി പ്രക്ഷേപിക്കപ്പെടുന്ന ബിന്ദുക്കളെക്കുറിച്ചു പ്രസ്താവിച്ചല്ലോ. എന്നാൽ ഈ ബിന്ദുക്കളുടെ സംഘട്ടനംകൊണ്ടു്, അണുക്കളിൽ ഉണ്ടാകാവുന്ന മാററങ്ങറം എങ്ങനെയാണെന്നും, അതുമൂലം എപ്രകാരമാണു പ്രവൎത്തകശക്തി വിമുക്തമാകുന്നതെന്നും നാം ഗ്രഹിക്കേണ്ടതാണു്.

അണുബീജങ്ങളെ വിഘടിപ്പിച്ചു്, പ്രവൎത്തകശക്തിയെ ഉത്ഭമിപ്പിച്ചു പ്രയോജനപ്രദമായ കാര്യങ്ങറംക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കാമെന്നുള്ള ചിന്തയോടുകൂടിയല്ല ശാസ്ത്രകാരന്മാർ അണുക്കളിൽ പരീക്ഷണം നടത്തിയിട്ടുള്ളതു്. എന്നാൽ അണുബീജത്തിന്റെ സംഘടന, ബീജഘടകാംശങ്ങളെ പരസ്പരം ബന്ധിപ്പിച്ചിരിക്കുന്ന 'സംയോജകശക്തി' (binding energy)യുടെ സ്വഭാവം, അവയെ വിഘടിപ്പിച്ചാലുണ്ടാകുന്ന ഫലം, ഈ കാര്യങ്ങളെപ്പററി സമഗ്രമായി ഗ്രഹിക്കണമെന്നുള്ള ആവേശംമാത്രമാണു് വിവിധ പരീക്ഷണങ്ങറം നടത്തുന്നതിനു് അവരെ പ്രേരിപ്പിച്ചതു്.

അണുബീജത്തിൽ 'പ്രധന'ങ്ങളും (protons), നിരലക്തങ്ങളും (neutrons) വർത്തിക്കുന്നുവെന്നു് അവർ കണ്ടുപിടിച്ചു. പ്രധനങ്ങൾ ധനനിർഭരങ്ങളും (Positively charged), നിരലക്തങ്ങൾ നിരാലക്തികവും (electrically neutral) ആണെന്നും അവർ ഗ്രഹിച്ചു. എന്നാൽ സമാനങ്ങളായ ആലക്തികഭാരത്തെ (electrical charge) വഹിക്കുന്ന പ്രധനങ്ങൾ ബീജത്തിൽ ഒന്നിച്ചു വർത്തിക്കുമ്പോൾ വികർഷണം (repulsion) സ്വാഭാവികമാണു്. പക്ഷേ, ബീജത്തിൽ ഒന്നിലധികം പ്രധനങ്ങൾ സുസ്ഥിരമായി സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതിന്റെ രഹസ്യം എന്തായിരിക്കാമെന്നുള്ള പ്രശ്നം ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരെ കുഴക്കി. ഒരു ബീജത്തിൽ നിരലക്തത്തിൻെറ ധർമ്മം എന്താണെന്നും അവർക്കു് അറിയേണ്ടിയിരുന്നു. ഈദൃശങ്ങളായ ചിന്തകൾ വൈജ്ഞാനികരെ അലട്ടിയതിനാൽ, അണുപ്രവർത്തകശക്തിയുടെ വിമോചനത്തെപ്പററി ചിന്തിക്കുന്നതിനു് അവർക്കു് അന്നു കഴിഞ്ഞിരുന്നില്ല; എന്നിരുന്നാലും അവരുടെ പരീക്ഷണങ്ങൾ വസ്തുവിനേയും (matter), പ്രവർത്തകശക്തിയേയും(energy)പററിയുള്ള പ്രശ്നങ്ങൾക്കു ശരിയായ സമാധാനം നല്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായതായിരുന്നു.

ലിതിയം ലോഹത്തിന്മേൽ, പ്രധനങ്ങളുടെ ആഘാതമുണ്ടാകുമ്പോൾ.ലിതിയത്തിനുണ്ടാകുന്ന വിപരിണാമങ്ങൾ എന്താണെന്നും, ഈ വിപരിണാമക്രിയയോടനുബന്ധിച്ചു് എത്രമാത്രം പ്രവർത്തകശക്തി ഉത്ഭവിക്കുന്നുണ്ടെന്നും മുമ്പുതന്നെ പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടു്. സൗകര്യത്തിനുവേണ്ടി ലിതിയത്തിലെ ബീജപ്രക്രിയയെ (nuclear reaction) ഒന്നുകൂടി ആവർത്തിക്കാം.

$$3\,Li^{7} + 1H^{1} = 2He^{4} + 2He^{4}$$



പടം 8

ലിതിയത്തിലെ ബീജപ്രക്രിയ (Nuclear reaction in Lithium).

ഈ പ്രക്രിയയിൽനിന്നും നമുക്കു മനസ്സിലാക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നതു്, പ്രധനം ലിതിയത്തിൽ ആഘാതമേൽപ്പിക്കുന്നതിന്റെ ഫലമായി, ലിതിയത്തിൻെറ ബീജവും പ്രധനവും ചേൎന്നു് ഏകബീജമായി രൂപപ്പെടുകയും, എന്നാൽ ഈ ബീജം അസ്ഥിരാത്മകമാകയാൽ ക്ഷണത്തിൽ രണ്ടുഹീലിയം ബീജങ്ങളായി വിഘടിതമാകയും ചെയ്യുന്നു എന്നത്രേ. ഈ വിഘടനക്രിയയോടൊന്നിച്ചു വിപുലമായ പ്രവത്തകശക്തി വമിക്കപ്പെടുന്നു എന്നു നാം കണ്ടു. ഇതിൽനിന്നും, പ്രവത്തകശക്തിയെ ഇച്ഛാനുസാരം ഉദ്വമിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നതാണു് എന്നു നമുക്കു ഗ്രഹിക്കാം. പക്ഷേ, ഈ ശക്തിയെ ബീജത്തിൽനിന്നും വിമോചിപ്പിക്കുന്നതിനു ചെയ്യുന്ന ശ്രമം പലപ്പോഴും വിഫലമായിപ്പോകാനേയിടയുള്ളു. കാരണം ബീജത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കി പ്രേഷണംചെയ്യപ്പെടുന്ന അനേകായിരം പ്രധനങ്ങളിൽ ഒന്നിനുമാത്രമേ ഒരുപക്ഷേ, ബീജത്തിൽ ചെന്നെത്തുവാൻ സാധിച്ചു എന്നുവരികയുള്ളു. തന്നെയുമല്ല, പ്രധനം ധനനിർഭരമായിരിക്കുന്നതുപോലെ ബീജവും ധനനിർഭരമാകയാൽ അവയുടെ പരസ്പരവികർഷണം സംയോജനത്തിനു ബാധകമാകയും ചെയ്യുന്നു. അഥവാ, ബീജത്തെ ആഘാതമേൽപ്പിക്കുമ്പോൾ പ്രവത്തകശക്തിയുണ്ടായാൽത്തന്നെ, അതിനെ പ്രയോജനപ്രദമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കത്തക്കവണ്ണം അത്ര വിപുല പരിമാണത്തോടു കൂടിയവയായിരിക്കയുമില്ല.

പ്രധനത്തെപ്പോലെ ഡ്യൂട്ടറോണിൻെറ (Deuteron) ആഘാതംകൊണ്ടും ലിതിയം ബീജത്തെ വികല്പനംചെയ്യുവാൻ സാധിക്കുന്നതാണു്. കെയിംബ്രിഡ്ജ് സർവ്വകലാശാലയിലെ ഡീയും (Dee), വാൾട്ടനും (Walton) നടത്തിയ പരീക്ഷണങ്ങൾ വളരെ വിജയപ്രദമായിരുന്നു. ലിതിയത്തിന്മേൽ ഡ്യൂട്ടറോൺ ധാരയെ അയച്ചതിൻെറ ഫലമായി ലിതിയത്തിൽനിന്നും ആല്ഫാബിന്ദുക്കൾ പുറപ്പെടുന്നതായി ഈ ഗവേഷകന്മാർ മനസ്സിലാക്കി. പക്ഷേ, ഈ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ വൈപുല്യം പ്രധനത്തിൻെറ ആഘാതത്തിൽനിന്നുള്ളതിനെ അപേക്ഷിച്ചു വളരെ കൂടുതലായിരുന്നു.

സ്ഥിരാണുക്കളും അസ്ഥിരാണുക്കളും

(Stable and Unstable Atoms)

ധാതുവസ്തുക്കളിലെ ഏറിയഭാഗം അണുക്കളും സ്ഥിരഭാവാത്മകങ്ങളാണ്. അവയുടെ ബീജവർത്തികളായ സൂക്ഷ്മാംശങ്ങളുടെ ആകർഷകബലം ഹേതുവായി അവയെ വിഘടിപ്പിക്കുകയെന്നതു് അതിദുഷ്കരമായ ഒരു പ്രവൃത്തിയാകുന്നു. എന്നാൽ ചില ധാതുക്കളിൽ പ്രധനങ്ങളുടേയും നിരലകത്തങ്ങളുടേയും സംഖ്യ ഏറിയിരിക്കുന്നതിനാൽ ആ ധാതുക്കൾ മററുള്ളവയെ അപേക്ഷിച്ചു ഭാരംകൂടിയവയായിത്തീരുന്നു. ഭാരാത്മകങ്ങളായ ഈ അണുക്കൾക്കു് അവയിലെ ഘടകാംശങ്ങളെ വഹിച്ചുകൊണ്ടു സുസ്ഥിരമായി നില്ക്കുന്നതിനു പ്രാപ്തിയില്ലാതെ വരുന്നതുമൂലം അവ അസ്ഥിരഭാവാത്മകമായി പരിണമിക്കുന്നു. ഈ നിലയിൽ വർത്തിക്കുന്നതിനു് അശക്തമായിത്തീരുകയാൽ അവ പൊട്ടിത്തകർന്നു്, അവയിലെ അലകത്തനങ്ങൾ തുടങ്ങിയ അംശങ്ങളെ അതിശക്തിയോടുകൂടി ബഹിർഗ്ഗമിപ്പിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള അസ്ഥിരാണുക്കൾക്കാണ് 'തേജോദ്ഗിരാണുക്കൾ' (radio active atoms) എന്നു പറയപ്പെടുന്നതു്. തേജോദ്ഗിരാണുക്കളിൽനിന്നും അതിശീഘ്രഗതിയിൽ പ്രസരിക്കുന്ന ബിന്ദുക്കളെ (particles) അല്ലെങ്കിൽ രശ്മികളെയാണു് അണുശാസ്ത്രകാരന്മാർ, സ്ഥിരാണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള ക്ഷേപകവസ്തുക്കളായി (projectiles) സ്വീകരിക്കാറുള്ളതു്. എന്നാൽ ഈദൃശമായ ക്ഷേപണപ്രയോഗംകൊണ്ടു് അണുവിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന പ്രവർത്തകശക്തിയുടെ മഹത്വം (magnitude), ക്ഷേപകവസ്തുക്കളുടെ ശീഘ്രഗതിക്കുവേണ്ടി അവയിൽ ഉൾക്കൊള്ളുന്ന പ്രവർത്തകശക്തിയെ (internal energy) സമാശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ ക്ഷേപകവസ്തുക്കളെ പ്രവൃത്ത്യുന്മുഖമാക്കുന്നതിനു് ആവശ്യകമായ പ്രവർത്തകശക്തിയുടെ ഒരു അല്പാംശം മാത്രമേ അണുവിൽനിന്നും പലപ്പോഴും പ്രസരിക്കുന്നുള്ളു. എന്നാൽ ഈ അണുപ്രവർത്തകശക്തിയുടെ മഹത്തായ പ്രസരണത്തിനുപയുക്തമാകത്തക്ക ഒരു പ്രായോഗികമാർഗ്ഗം, യുറേനിയം ധാതുവിനെ 'നിരലകത്ത'ങ്ങളുടെ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കുകയായിരുന്നു. ഇതു്, അണുശാസ്ത്രത്തിൻെറ ഒരു അത്ഭുതകവാടം തുറക്കുകതന്നെ ചെയ്തു എന്നതിനു സംശയമില്ല.

യുറേനിയം ധാതുവിൻെറ തേജോദ്ഗിരണധർമ്മം ആദ്യമായി

കണ്ടുപിടിച്ചതു് 1896-ൽ പാരീസിലെ ഹെൻറി ബകാറൽ (Henry Bacquerel) എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞനാണു്.

കൃത്രിമ തേജോദ്ഗിരണം
(Artificial Radio Activity)

ധാതുക്കളെ കൃത്രിമമായി തേജോദ്ഗിരിതമാക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നു് ആദ്യമായി ഫ്രെഡറിക്ക് ജോളിയട്ടും (Frederic Joliot) അദ്ദേഹത്തിൻെറ സഹധർമ്മിണി ഐറിൻ ക്യൂറിയും (Irene Curie) ആണു വെളിപ്പെടുത്തിയതു്. ഈ കണ്ടുപിടുത്തത്തിനു സഹായകമായി അവർ സ്വീകരിച്ച പരീക്ഷണം അലൂമിനിയം ലോഹത്തിന്മേൽ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതമേൽപ്പിക്കുകയായിരുന്നു.

ധാത്വനുക്രമണികയിൽ പതിമൂന്നാമത്തെ സ്ഥാനമാണു് അലൂമിനിയത്തിനുള്ളതു്. അലൂമിനിയത്തിൻെറ ബീജത്തിൽ 13 പ്രധനങ്ങളും 14 നിരലക്തങ്ങളും സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതിനാൽ അതിൻെറ അണുഭാരം 27 ആകുന്നു. അലൂമിനിയത്തെ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുടെ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കിയപ്പോൾ നിരലക്തങ്ങൾ പ്രസരിച്ചതായും, 15 പ്രധനങ്ങളും 15 നിരലക്തങ്ങളും ബീജത്തിൽ വർത്തിക്കുന്ന ഒരു പദാർത്ഥം രൂപപ്പെട്ടതായും ഈ ഫ്രഞ്ചുവൈജ്ഞാനികർക്കു ബോദ്ധ്യമായി. താഴെക്കാണിക്കുന്ന പ്രക്രിയാസൂത്രം മേൽപ്പറഞ്ഞ വിപരിണാമത്തെ വിശദമാക്കുന്നുണ്ടു്.

$$13\,AL^{27} + 2\,He^{4} = 15\,P^{30} + 0\,n^{1}$$

ധാതുക്കളുടെ പട്ടികയിലെ 15 പ്രധനങ്ങളോടുകൂടിയ ധാതു, അഥവാ പതിനഞ്ചാമത്തെ സ്ഥാനത്തുള്ള ധാതു 'ഭാസ്വരം' (phosphorus) ആകുന്നു. നൂതനമായി ആവിർഭവിച്ച ധാതുവിൻെറ അണുഭാരം 30 ആണെങ്കിലും, 'ഭാസ്വര'ത്തിൻെറ (phosphorus) അണുഭാരം 31 അത്രേ. ഈ നൂതനധാതുവിന്മേൽ ജോളിയട്ടും, ക്യൂറിയും ചില രസായനികപരീക്ഷണങ്ങൾ (chemical tests) നടത്തിയതിൽ, സാധാരണ ഭാസ്വരത്തിൻെറ രാസധർമ്മങ്ങളാണു് ഇതിലും ദൃശ്യമായതു്. അതുകൊണ്ടു്, ഈ നൂതനധാതുകം സാധാരണ ഭാസ്വരത്തിൻെറ ഒരു 'കൃത്രിമസ്ഥാനീയം' (artificial isotope) ആണെന്നു് ഊഹിക്കുവാൻ വഴിയുണ്ടു്. ഇതിനെ ആധാരമാക്കി ചില രസാ

യനികപരീക്ഷണങ്ങരം നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കവേ ഈ സാധനം അപ്രത്യക്ഷമാകുന്നതായി കാണപ്പെട്ടതു മേൽപ്പറഞ്ഞ വൈജ്ഞാനികരിൽ വളരെ അത്ഭുതത്തെ ഉളവാക്കി. തന്നെയുമല്ല, അപ്രത്യക്ഷമാകുന്തോറും ആ വസ്തു തേജോദ്ഗിരണത്തോടുകൂടിയതായും അനുഭവപ്പെട്ടു. സാധാരണ തേജോദ്ഗിരധാതുവിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന ഗാമാരശ്മികളോടൊപ്പം 'ധനാലക്തനം' (positron) എന്നു പറയാവുന്ന ഒരു അതിസൂക്ഷ്മാംശംകൂടി പ്രസരിക്കുന്നതായി ഈ വൈജ്ഞാനികദമ്പതികരം സൂക്ഷിച്ചു. (1932-ൽ ആൻഡേഴ്സൺ (Anderson) കണ്ടുപിടിച്ച ധനഭാരാത്മകങ്ങളായ അലക്തനങ്ങളാണ് 'ധനാലക്തനങ്ങരം' (positrons) എന്നു നിർദ്ദേശിക്കപ്പെടുന്നതു്.)

തേജോദ്ഗിരധാതുകമായ ഭാസ്വരം അഥവാ തേജോഭാസ്വരം (radio phosphorus) അപ്രത്യക്ഷമായതോടുകൂടി തൽസ്ഥാനത്തു വെളിപ്പെട്ടതു് പ്രസിദ്ധ ധാതുവായ 'സിലിക്കോൺ' (silicon) ആണ്. അതായതു്, തേജോഭാസ്വരത്തിൽനിന്നും 'ധനാലക്തനം' (positron) നഷ്ടമാകുന്നതോടുകൂടി ലഭിക്കുന്നതു് ആണെന്നു സിദ്ധമായി. താഴെക്കാണിക്കുന്ന പ്രക്രിയ നോക്കുക.

$$15P^{30} = 14Si^{30} + 1e^{0}$$ (ധനാലക്തനം—positron)

ഈ 'ധനാലക്തനം' (positron) എവിടെനിന്നാണതു്ഭവിച്ചതു്? തേജോഭാസ്വരത്തിന്റെ (radio phosphorus) ബീജത്തിൽ 15 പ്രധനങ്ങളും 15 നിരലക്തങ്ങളും കാണുന്നുണ്ട്. നിരവധി പ്രധനങ്ങരം ഇതിൽ വർത്തിക്കുന്നതിനാൽ ഈ ബീജം അസ്ഥിരാത്മകമായി ഭവിക്കുകയും തത്ഫലമായി ഒരു 'ധനാലക്തനം' അതിൽനിന്നു വിമുക്തമാകുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ ധനാലക്തനം (positron) ഒരു പ്രധനത്തിലെ 'ധനഭാര'മാകുന്നു (Positive charge)വെന്നു വേണമെങ്കിൽ ചിന്തിക്കാം. ഒരു പ്രധനത്തിലെ 'ധനഭാരം' നഷ്ടപ്പെട്ടാൽ ആ 'പ്രധനം' 'നിരലക്ത'മായി ഭവിക്കുമല്ലോ. അപ്പോരം 15 പ്രധനങ്ങളും 15 നിരലക്തങ്ങളുമുള്ള ബീജത്തിന്റെ സ്ഥാനത്തു് 14 പ്രധനങ്ങളും 16 നിരലക്തങ്ങളും ഉള്ള ഒരു ബീജം സമുത്ഭവിക്കുന്നു. ഇതു് സിലിക്കോണിന്റെ (silicon) ഒരു സ്ഥാനീയം (isotope) ആണെന്നുള്ളതിനു സംശയമില്ല.

മേൽപ്പറഞ്ഞ കണ്ടുപിടിത്തത്തിന്റെ പ്രാധാന്യം, ഒരു ധാതുവിനു രൂപവിപരിണാമം വരുത്തുവാൻ കഴിയുമെന്നുള്ളതല്ല; പിന്നെ

യോ ധാതുകങ്ങളെ കൃത്രിമമായി തേജോദ്ഗരിതമാക്കുവാൻ കഴിയു മെന്നുള്ളതാണു്. 1935-ൽ ജോളിയട്ട്-ക്യൂറികൾക്കു (Joliot Curies) ലഭിച്ച നോബൽസമ്മാനം അവരുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തിന്റെ പ്രാ ധാന്യത്തെ ശാസ്ത്രലോകം അംഗീകരിച്ചുവെന്നുള്ളതിനു തെളി വാണു്.

ശാസ്ത്രമണ്ഡലത്തിൽ ജോളിയട്ട്-ക്യൂറികൾ നല്കിയ ഈ സംഭാ വനകളെത്തുടന്നു്, ഇതര ശാസ്ത്രകാരന്മാരും കൃത്രിമ തേജോദ്ഗിരധാ തുക്കളുടെ സൃഷ്ടിക്കുവേണ്ടി ബദ്ധപ്പെട്ടു. പ്രധനങ്ങളുടേയും(protons), ഡ്യൂട്ടറോണുകളുടേയും (Deuterons) ആഘാതംകൊണ്ടു നിരവധി ധാതുക്കളെ ഇവർ തേജോദ്ഗരിതമാക്കിത്തീർത്തു. ഫേർമിയുടേയും (Fermi) സഹപ്രവത്തകരുടേയും പരീക്ഷണങ്ങൾമൂലം തേജോധാ തുക്കളുടെ (radio elements) എണ്ണം പൂർവ്വാധികം വർദ്ധിപ്പിക്കുന്ന തിനു സാധിച്ചു. ഫേർമിയും, സഹപ്രവത്തകരും ധാതുക്കളെ തേ ജോദ്ഗരിതമാക്കുന്നതിനു നിരലകങ്ങളെ(neutrons)യാണു് ആ ശ്രയിച്ചതു്. ധാതുകങ്ങളുടെ രൂപവിപരിണാമക്രിയയ്ക്കുവേണ്ടിയുള്ള ക്ഷേപകവസ്തുക്കളിൽവച്ചു് (projectiles) നിരലകങ്ങൾക്കുള്ള പ്ര ത്യേക വൈശിഷ്ട്യം മുമ്പുതന്നെ പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടല്ലോ. ഇപ്രകാരം ധാതവനുക്രമണികയിലുള്ള അനേകം ധാതുക്കളേയും തേജോധാതുക്ക ളായി വിപരിണമിപ്പിക്കുവാൻ ഈ വൈജ്ഞാനികക്കു സാധിച്ചി ട്ടുണ്ടു്.

1935 ആയപ്പോഴേക്കും, തേജോധാതുക്കളുടെ എണ്ണം നൂറോളമാ യിക്കഴിഞ്ഞു. ഡ്യൂട്ടറോൺ, നിരലകങ്ങൾ (neutrons), പ്രധന ങ്ങൾ (protons) ഇവയെക്കൂടാതെ, ആല്ഫാ, ഗാമാ ഈ രശ്മികളെ ഉപയോഗിച്ചും ധാതുക്കളെ തേജോധാതുക്കളായി രൂപപ്പെടുത്തുന്നതി നും ഗവേഷകന്മാക്കു കഴിഞ്ഞു.

1940 ജനുവരിയിൽ പ്രകാശിതമായ 'അഭിനവഭൗതികശാസ്ത്ര നിരീക്ഷണം' (Review of Modern Physics) എന്ന മാസികയിൽ ജി. ററി. സീബോർഗ്ഗ് (G. T. Seaborg) എന്ന വൈജ്ഞാനികൻ ഉദ്ദേശം 330 കൃത്രിമ തേജോധാതുക്കളെപ്പററി പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ടു്. എന്നാൽ 1944 ആയപ്പോഴേക്കും ഇവയുടെ എണ്ണം പിന്നെയും വ ദ്ധിച്ചു.

സൈക്ലോട്രോൺ തുടങ്ങിയ യന്ത്രവിധാനങ്ങളുടെ ആവിർഭാവ ത്തോടുകൂടി അനേകം തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾ (radio isotopes) പുതു

തായി കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടു. 1947 ആയപ്പോഴേക്കും തേജോദ്ഗിരണം ഉദ്ദേശം 500 ധാതുക്കളിലേക്കു വ്യാപിപ്പിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞു. കൂടാതെ ധാത്വനുക്രമണികയിലെ ഒന്നുമുതൽ തൊണ്ണൂററിയാറുവരെയുള്ള അണുസംഖ്യയോടുകൂടിയ ധാതുക്കൾക്കു കുറഞ്ഞതു് ഓരോ തേജഃസ്ഥാനീയം(radio isotope)കൂടി ഉള്ളതായും വെളിപ്പെട്ടു.

സ്വാഭാവികതേജോധാതുക്കളെപ്പോലെതന്നെ കൃത്രിമ ധാതുക്കളും വികലനസ്വഭാവത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം സാധർമ്മ്യം ഉള്ളവയാണു്. ഓരോ തേജോദ്ഗിരധാതുവിനും നിശ്ചിതമായ ഒരു 'അർദ്ധകാലം' (half life) നിർണ്ണയിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതിനാൽ അവയോരോന്നിൻെറയും വികലനം ഈ അർദ്ധകാലത്തെ ആശ്രയിച്ചത്രേ പ്രതിപാദനീയമാകുന്നുള്ളു.

1947–നുശേഷം മാത്രമാണു് തേജോദ്ഗിരധാതുക്കളെ (radio gctive elements) തേജോധാതുക്കൾ (radio elements) എന്നു ചുരുക്കിയതു്.

കൃത്രിമതേജോധാതുക്കളിൽനിന്നും . ഉണ്ടാകുന്ന വികിരണം (radiation) യുറേനിയം, അക്റ്ററീനിയം, തോറിയം തുടങ്ങിയ പ്രാകൃതികധാതുക്കളുടേതുപോലെതന്നെയാണു്.

ഒരു തേജോധാതു (radio element) കൃത്രിമമായി സൃഷ്ടിക്കപ്പെട്ടതാണോ എന്നു നിർണ്ണയിക്കുവാൻ ചില മാർഗ്ഗങ്ങൾ നിർദ്ദേശിക്കാവുന്നതത്രേ. അങ്ങനെയുള്ള ധാതുക്കളുടെ ഘനസംഖ്യകൾ (mass numbers) അതേ ധാതുക്കളുടെ സ്ഥിരാത്മകങ്ങളായ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ (isotopes) ഘനസംഖ്യയിൽനിന്നു വ്യത്യസ്തമായിട്ടുള്ളവയാണു്. സ്ഥിരാത്മകങ്ങളായ സ്ഥാനീയങ്ങളിൽ ഏററവും കുറഞ്ഞ ഘനസംഖ്യയുള്ള സ്ഥാനീയവുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ, അതേ ധാതുവിൻെറ തേജഃസ്ഥാനീയത്തിനുള്ള (radio isotope) ഘനസംഖ്യ പ്രായേണ അല്പംകൂടി കുറവായിരിക്കും. അതുപോലെതന്നെ സ്ഥിരാത്മകങ്ങളായ സ്ഥാനീയങ്ങളിൽ ഏററവും കൂടിയ ഘനസംഖ്യയുള്ള സ്ഥാനീയവുമായി താരതമ്യംചെയ്താൽ, അതേ ധാതുവിന്റെ തേജഃസ്ഥാനീയത്തിനുള്ള ഘനസംഖ്യ മറേറതിനേക്കാൾ അല്പംകൂടി അധികവുമായിരിക്കും. ഇവയിൽ ആദ്യവകുപ്പിലുള്ള തേജോധാതുക്കൾ ധനാലക്തനങ്ങളേയും (positrons), രണ്ടാമത്തെ വകുപ്പിലുള്ളവ ബീററാബിന്ദുക്കളേയും (beta- particles) അഥവാ അലക്തനങ്ങളേയും (electrons) പ്രസരിപ്പിക്കുന്നു. പ്രസ്തുതാംശങ്ങളെ

സംബന്ധിച്ച വിഷയത്തിൽ കൃത്രിമതേജോധാതുക്കളും പ്രാകൃതിക തേജോധാതുക്കളും തമ്മിൽ അന്തരം കാണുന്നുണ്ട്. ഒരു കൃത്രിമ തേജോധാതുവിൽനിന്നു പ്രായേണ ധനാലക്തനമാണു (positron) പ്രസരിക്കുന്നതെങ്കിൽ, പ്രാകൃതികതേജോധാതുവിൽനിന്നുള്ള പ്രസരം പ്രായേണ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളുമായിരിക്കും. എന്നാൽ ഈ രണ്ടു വക ധാതുക്കളിൽനിന്നും പ്രധനങ്ങളുടേയോ, നിരലക്തങ്ങളുടേയോ പ്രസരണം വളരെ വിരളമായിട്ടേ ഉണ്ടാകയുള്ളു.

യുറേനിയം
URANIUM

അണുശാസ്ത്രഗവേഷണത്തിൻെറ പരിണതഫലമായിട്ടത്രേ യുറേനിയം, തോറിയം തുടങ്ങിയ അമൂല്യധാതുക്കളുടെ പ്രസരണശക്തിയെപ്പററി ശാസ്ത്രലോകം വിചിന്തനംചെയ്‌വാൻ തുടങ്ങിയതു്.

യുറേനിയം കണ്ടുപിടിച്ചതു് 1789-ൽ മാർട്ടിൻ ഹെയിൻറിച്ച് ക്ലാപ്രോത്തു് (Martin Heinrich Klaproth) എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞനായിരുന്നു. 1781-ൽ സർ വില്യം ഹേർഷൽ(Sir William Herchel) കണ്ടുപിടിച്ച യുറാനസ് (uranus) എന്ന ഗ്രഹത്തിൻെറ പേരിനെ ആധാരമാക്കിയാണു യുറേനിയം എന്ന സംജ്ഞ പ്രസ്തുത ധാതുവിനു ലഭിച്ചതു്.

ശാസ്ത്രദൃഷ്ടിയിൽ യുറേനിയത്തിനു പ്രാരംഭത്തിൽ യാതൊരു പ്രാധാന്യവുമില്ലായിരുന്നു. എന്നാൽ 1896-ൽ പാരീസിലെ ഹെൻറി ബക്വറൽ(Henry Becquerel) യുറേനിയംധാതു തേജോദ്ഗിരമാണെന്നു വെളിപ്പെടുത്തിയതോടുകൂടി യുറേനിയത്തിൽനിന്നും വിപുലവും മഹത്തരവുമായ പ്രവൎത്തകശക്തി (energy) ഉത്പാദിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നുള്ള ചിന്ത വൈജ്ഞാനികരിൽ ഉളവായി. തത്ഫലമായി യുറേനിയത്തിൻെറ 'അയസ്സു'ങ്ങൾ (ores) കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനും അവയിൽനിന്നു ശുദ്ധമായ യുറേനിയത്തെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നതിനും ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ബദ്ധപ്പെട്ടു. എന്നാൽ മിശ്രിതങ്ങളായ ഖനിജങ്ങളിൽ(minerals)നിന്നു യുറേനിയത്തെ വിയോജിപ്പിക്കുന്നതു ക്ഷിപ്രസാദ്ധ്യമായ ഒരു കാര്യമല്ലായിരുന്നു.

യുറേനിയം അയസ്സുങ്ങൾ
(Uranium Ores)

ഇതഃപര്യന്തമുള്ള ഗവേഷണഫലമായി യുറേനിയസങ്കലിതങ്ങളായ വസ്തുക്കൾ ഏതാണ്ടു് 115-ഓളം ഉണ്ടെന്നു നിർണ്ണയിച്ചിട്ടുണ്ടു്. എന്നാൽ വസ്തുക്കളുടെ വ്യാവസായികപ്രാധാന്യത്തെ പരിഗണിക്കുമ്പോൾ മേല്പറഞ്ഞ എണ്ണത്തിൽ വളരെ കുറവായ ഒരു സംഖ്യമാത്രമേ ഗണനാർഹമാകുന്നുള്ളു.

വ്യവസായലോകത്തിനിപ്പോഠം ലഭിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന യുറേനിയം അതിൻെറ 'അയസ്സ്'ങ്ങളായ പിച്ച് ബ്ലെൻഡ് (pitch blende) അല്ലെങ്കിൽ 'യുറനൈററ്' (uranite), കാർണോട്ടൈററ് (carnotite) ഇവയിൽനിന്നാണ്. യുറേനിയംധാതുവിൻെറ ഒരു വലിയ ശതമാനവും പിച്ച് ബ്ലെൻഡിലാണു കാണപ്പെടുന്നതു്.

പിച്ച് ബ്ലെൻഡ് എന്നതു് ഈയം, ഇരുമ്പ്, ചെമ്പ്, ബിസ്മത്തു് എന്നീ സാധാരണ ലോഹങ്ങളും, തൈജസം (radium), തോറിയം, ഹീലിയം തുടങ്ങിയ അപൂർവ്വധാതുക്കളും ചേൎന്നുള്ള യുറേനിയം ഓക്സൈഡാണ് (uranium oxide). പിച്ച് ബ്ലെൻഡിൽ, യുറേനിയം ഓക്സൈഡ് ഏതാണ്ടു് 64 ശതമാനംമുതൽ 89 ശതമാനംവരെയും കാണുന്നുണ്ടു്. തേജോദ്ഗിരധാതുക്കളിൽ യുറേനിയം, പൊളോണിയം, തൈജസം (radium), അക്ററീനിയം ഇവ പിച്ച് ബ്ലെൻഡിൽ ഉണ്ടെന്നു ഗവേഷകന്മാർ കണ്ടുപിടിച്ചു. യുറേനിയവും, തൈജസവും പിച്ച് ബ്ലെൻഡിൽ ഉണ്ടെന്നും അവയെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നും കണ്ടുപിടിച്ചതോടുകൂടി ഭൗതികശാസ്ത്രവും, രസതന്ത്രവും പൂർവ്വാധികം സജീവമായിത്തീൎന്നു. ധാതുവസ്തുക്കളിലെ അണുക്കളെപ്പററിയുള്ള ശാസ്ത്രീയവീക്ഷണഗതിക്കും ഗണ്യമായ ചില വ്യതിയാനങ്ങഠം സംഭവിച്ചു.

ഗ്രേററ് ബെയർ തടാകം (Great Bear Lake), കാനഡാ, ബെല്ജിയൻ കോംഗോ, തുടങ്ങിയ പ്രദേശങ്ങളിൽ പിച്ച് ബ്ലെൻഡ് ധാരാളമായി കാണപ്പെടുന്നുണ്ടു്. 'ഹ്യൂസ്സെൻറ്' എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞൻെറ അഭിപ്രായത്തിൽ ഗ്രേററ് ബെയർ തടാകത്തിൽനിന്നും ലഭിക്കുന്ന പിച്ച് ബ്ലെൻഡിലാണു യുറേനിയം ഓക്സൈഡിൻെറ ഒരു വലിയ ശതമാനവുമുള്ളതു്.

വടക്കൻ പോർട്ടുഗലിലുള്ള ചില ശിലാമേഖലകളിലും, ടംഗ്സ്റ്റൻ, തകരം ഈ ധാതുക്കളോടുചേൎന്നു യുറേനിയം സുലഭമായി കാണുന്നുണ്ടു്.

യുറേനിയത്തിൻെറ വേറൊരു 'അയസ്സം' (ore) കാർണോട്ടൈററ് (carnotite) എന്ന ഒരു മിശ്രിതവസ്തുവാണ്. ഫ്രഞ്ച് റിപ്പബ്ലിക്കു പ്രസിഡൻറായിരുന്ന കാർണോട്ട് (carnot) എന്ന ദേഹത്തിൻെറ നാമധേയത്തോടനുബന്ധിച്ചാണ് ഈ 'അയസ്സ'ത്തിനു കാർണോട്ടൈററ് എന്ന പേരുസിദ്ധിച്ചതു്. അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലെ 'കൊളറാഡോ'(Colarado) പീഠഭൂമിയിലുള്ള മണൽക്കല്ലുക

ളിലാകുന്ന ഇതു സുലഭമായിക്കാണുന്നതു്. കാർണോട്ടൈററ്, തൈജസത്തിൻെറ (radium) ഒരു 'അയസ്സ'മായി ഒരു സമയത്തു കരുതിയിരുന്നു.

യുറേനിയത്തിൻെറ പ്രാധാന്യം പ്രബലമായതോടുകൂടി 'അയസ്സ'ങ്ങളെ (ores) കണ്ടുപിടിക്കുവാനുള്ള ശ്രമവും വർദ്ധിച്ചു. ആസ്ത്രേലിയായുടെ ഉത്തരപ്രദേശത്തുള്ള 'റം ജംഗിൾ' (Rum Jungle) എന്ന സ്ഥലത്തും, ദക്ഷിണ ആസ്ത്രേലിയായിലെ 'റേഡിയം ഹിൽ' Radium Hill) എന്ന സ്ഥാനത്തും കാർണോട്ടൈററ് ഉണ്ടെന്നു തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്.

ദക്ഷിണ ആഫ്രിക്കയിലെ സ്വൎണ്ണഖനികളിലുള്ള ചില ശിലാഖണ്ഡങ്ങളോടു ചേൎന്നും, അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലെ തെക്കുകിഴക്കൻ പ്രദേശത്തുള്ള ഫോസ്ഫേററ് പാറകളോടു ചേൎന്നും, ഒരു ലഘുശതമാനത്തിൽ യുറേനിയം സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുണ്ടു്.

ഉപരി പ്രസ്തുതമായ 'അയസ്സ'ങ്ങളെക്കൂടാതെ യുറേനിയം ഉത്പാദനം സാധിക്കത്തക്ക വേറേയും പ്രഭവസ്ഥാനങ്ങൾ ഭൂമിയിൽ ധാരാളമായി കാണാൻ കഴിയുമെന്നു ന്യായമായി അനുമാനിക്കാനുള്ള സാദ്ധ്യതകൾ ഉണ്ടു്. ഒരുപക്ഷേ, ഈയം, നാകം ഈ ലോഹധാതുക്കളെപ്പോലെതന്നെ, അപൂൎവ്വധാതുവായ യുറേനിയം അതിസുലഭമായി ഒരുകാലത്തു ലഭിച്ചെന്നു വരാം. സമുദ്രജലത്തിലെ ലവണാംശങ്ങളുടെ ഒരു ഘടകം യുറേനിയമാണെന്നു നിൎണ്ണയിക്കത്തക്കവണ്ണം സമുദ്രത്തിൻെറ ഓരോ ക്യുബിക്കുമൈലിലും (cubic mile) അഞ്ചു ടൺ യുറേനിയത്തോളം സംലയിച്ചിട്ടുണ്ടെന്നു ഗവേഷകന്മാർ അഭിപ്രായപ്പെടുന്നു. പക്ഷേ, യുറേനിയം അയസ്സങ്ങളിൽത്തന്നെ യുറേനിയത്തിൻ്റെ അംശം പത്തിലൊന്നു ശതമാനത്തിൽ കുറവായിമാത്രം സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുവെങ്കിൽ ആ യുറേനിയത്തെ അവയിൽനിന്നും വിയോജിപ്പിക്കുന്നതു് അതിദുഷ്കരമാകുന്നതുപോലെതന്നെ അമിതവ്യയകാരണവുമാകുന്നു.

ഏതായാലും ഇപ്പോൾ ലഭിക്കുന്ന യുറേനിയംധാതുവിൽ നിക്ഷിപ്തമായിരിക്കുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ (energy) വികാസവും മഹത്വവും ലോകത്തിൽ ആകെയുള്ള കൽക്കരിയിൽനിന്നും സിദ്ധമാകുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയേക്കാൾ അനേകം മടങ്ങാണെന്നു ഗവേഷകന്മാർ നിൎണ്ണയിച്ചിരിക്കുന്നു.

യുറേനിയത്തെപ്പോലെതന്നെ തോറിയവും (thorium) ഭീമമായ

പ്രവർത്തകശക്തിയുടെ ഉത്പാദനത്തിനു മതിയായ ഒരു ലോഹധാതുവാണെന്നിരുന്നാലും ലോകത്തിൽ അതു വളരെ അപൂർവ്വമായിട്ടേ കാണുന്നുള്ളു. കേരളത്തിന്റെ സമുദ്രതീരപ്രദേശങ്ങളിൽ സുലഭമായിക്കാണുന്ന 'മോണസൈററ്' (monazite) ആണ് ഇന്നു ലോകത്തിലറിയപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതിലേക്കും വലിയ തോറിയം അയസ്സും. ഓരോ വർഷവും മോണസൈററിൽനിന്നും 1,500 ടൺവീതം തോറിയം സജ്ജീകരിക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു നിർമ്മാണകേന്ദ്രം സ്ഥാപിച്ച് അവിടെ പ്രവർത്തനം സമാരംഭിച്ചിട്ടുണ്ട്.

യുറേനിയത്തിന്റെ സജ്ജീകരണവിധം

യുറേനിയം അയസ്സത്തിന്റെ ഓരോ ടണ്ണിലും രണ്ടുമുതൽ പത്തുവരെ റാത്തൽ യുറേനിയം അടങ്ങിയിരിക്കുന്നു. അതുതന്നെയും അതിസൂക്ഷ്മാംശങ്ങളായി മാത്രമേ യുറേനിയം അയസ്സത്തിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നുള്ളു. ഈ സൂക്ഷ്മാംശങ്ങളെ അയസ്സത്തിൽനിന്നും വിയോജിപ്പിക്കുന്നതിന്, യുറേനിയം അടങ്ങിയ ശിലാഖണ്ഡങ്ങളെ അതിഭീമങ്ങളായ മർദ്ദകയന്ത്രത്തിന്റെ (crushers) പ്രവർത്തനംമൂലം ഉടച്ചു ഭസ്മീതമാക്കയും രസായനികമായ ചില ശുദ്ധീകരണവിധികൾ വിധേയമാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

കാർണോട്ടൈററിൽനിന്നുമുള്ള സജ്ജീകരണമാണെങ്കിൽ, മേല്പറഞ്ഞ ശിലാഭസ്മങ്ങളിൽ ലവണം യോജിപ്പിച്ച് ഏതാണ്ട് 540 സെൻറിഗ്രേഡിൽ അതിനെ ഉഷ്ണിതമാക്കി വറുത്തെടുത്തു പലതവണ അമ്ലപ്രവർത്തനത്തിനു വിധേയമാക്കണം. അനന്തരം വീണ്ടും ഉഷ്ണിതമാക്കി ഉണക്കുക. ഈദൃശമായ ശുദ്ധീകരണക്രമപരിപാടി അനേകം ദിനങ്ങൾ നിർവ്വഹിക്കേണ്ടതായി വരും. ഇപ്രകാരമുള്ള വിപുലങ്ങളായ രസായനികാനുഷ്ഠാനങ്ങൾക്കു (chemical processing) ശേഷം ലഭിക്കുന്ന വസ്തു ഏതാണ്ടു ചാരനിറം ചേർന്ന യുറേനിയം ഓക്സൈഡാണ്.

ഈ യുറേനിയം ഓക്സൈഡിൽ ഇതരലോഹങ്ങളുടെ അംശങ്ങൾ ലയിച്ചിരിക്കും. ഈ ലോഹാംശങ്ങളെ വിയോജിപ്പിക്കുന്നതിനു സമ്പൂർണ്ണമായ ഒരു ശുദ്ധീകരണക്രിയ ആവശ്യമാണ്. അമ്ലപ്രവർത്തനംകൊണ്ടുള്ള വിയോജകവിധിമൂലമാണ് ഈ ലോഹാംശമാലിന്യങ്ങളെ അകററേണ്ടത്. ഇങ്ങനെ സംശുദ്ധിചെയ്തു ലഭിക്കുന്ന വസ്തു തവിട്ടുനിറത്തിലുള്ള ശുദ്ധമായ യുറേനിയം ഓക്സൈഡായിരിക്കും.

യുറേനിയം ഓക്സൈഡിൽ സംലയിച്ചിരിക്കുന്ന അമ്ലജനകത്തെ 'ഫ്ളോറിൻെറ' (fluorine) രാസയോഗംകൊണ്ടു സ്ഥാനഭ്രംശംചെയ്തു്, 'ഹരിതലവണം' (green salt) എന്നറിയപ്പെടുന്ന യുറേനിയം ഫ്ളോറൈഡായി (uranium fluoride) രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുക എന്ന ക്രിയയാണു് അടുത്തതായുള്ളതു്. ഈ ഹരിതലവണമാണു് സാക്ഷാൽ യുറേനിയം ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള അസംസ്കൃതവസ്തു.

മേല്പറഞ്ഞ യുറേനിയം ഫ്ളോറൈഡിനെ സംസ്കരിച്ചു് എടുക്കുന്ന സാക്ഷാൽ യുറേനിയം, വായുവിലെ അമ്ലജനകത്തിൻെറ പ്രവർത്തനംകൊണ്ടു് ഉപരിതലം വിവർണ്ണമാകാതെ സൂക്ഷിക്കുന്നതിനു്, അതിനെ ഉരുളൻ കമ്പികളാക്കി മുറിച്ചു് അലൂമിനിയം കുഴലുകളിൽ നിക്ഷേപിക്കയാണു ചെയ്യുന്നതു്.

യുറേനിയത്തിൻെറ സ്ഥാനീയങ്ങൾ

(Uranium Isotopes)

യുറേനിയത്തിനു പ്രാകൃതികമായി മൂന്നും, കൃത്രിമമായി അഞ്ചും സ്ഥാനീയങ്ങൾ ഉണ്ടു്. ഇവയെല്ലാംതന്നെ തേജോദ്ഗിരങ്ങളും (radio active) ആകുന്നു.

യുറേനിയത്തിൻെറ പ്രാകൃതസ്ഥാനീയങ്ങൾ (natural isotopes) യു–234, യു–235, യു–238 ഇവയത്രേ. ഇവയിൽനിന്നുള്ള പ്രസരങ്ങൾ എല്ലാംതന്നെ ആല്ഫാബിന്ദുക്കളാണു്. യുറേനിയം സ്ഥാനീയങ്ങളിലെ വികിരണബിന്ദുക്കളും അവയുടെ അർദ്ധകാലവും (half life) കാണിക്കുന്ന ഒരു പട്ടിക താഴെ ചേർക്കുന്നു.

യുറേനിയം സ്ഥാനീയം —പ്രാകൃതികം (Uranium isotope) —natural	വികിരണം (Radiation)	അർദ്ധകാലം (Half life)	
1 യു–234	ആല്ഫാ	$2{\cdot}35 \times 10^5$	വത്സരങ്ങൾ
2 യു–235	,,	$7{\cdot}07 \times 10^8$	,,
3 യു–238	,,	$4{\cdot}51 \times 10^9$	,,

യുറേനിയം സ്ഥാനീയം —കൃത്രിമം (Uranium isotope) —artificial	വികിരണം (Radiation)	അൎദ്ധകാലം (Half life)
1 യു–230	ആല്ഫാ	20.8 ദിവസങ്ങൾ
2 യു–232	,,	70 വത്സരങ്ങൾ
3 യു–233	,,	1.62×10^5 വത്സരങ്ങൾ
4 യു–237	ബീററാ	6.8 ദിവസങ്ങൾ
5 യു–239	,,	23 നിമിഷങ്ങൾ

1932–നും 1939–നും മദ്ധ്യത്തിലുള്ള കാലഘട്ടങ്ങളിലുണ്ടായ അണുശാസ്ത്രപുരോഗമനമാണ് യുറേനിയംവിഘടനത്തെ (uranium fission) ആധാരമാക്കിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ നിൎവ്വഹിക്കുന്നതിനു ശാസ്ത്രകാരന്മാൎക്കു പ്രചോദനം നല്കിയതു്.

ജൎമ്മനിയിലെ രസതന്ത്രപ്രവീണരായ ഓട്ടോഹാനും (Otto F. Hahn), എഫ്. സ്റ്റ്റാസ്മാനും (F. Strassman) യുറേനിയത്തിന്മേൽ ഉദാസീനനിരലകങ്ങളുടെ (slow neutrons) പ്രവൎത്തനഗതിയെപ്പറ്റിയുള്ള രസായനികപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കവേ, യുറേനിയത്തിന്റെ വികലനഫലമായി ബേറിയം (barium) ആവിർഭവിച്ചതായി വെളിപ്പെട്ടു. ബേറിയത്തിന്റേയും, യുറേനിയത്തിന്റേയും അണുഭാരങ്ങളുടെ വ്യത്യാസത്തെ പരിഗണിക്കുമ്പോൾ ബേറിയത്തിന്റെ ആവിർഭാവം പല അഭ്യൂഹങ്ങൾക്കും കാരണമാക്കി. ധാതുവനുക്രമണികയിൽ ബേറിയവും യുറേനിയവും വിദൂരവൎത്തികളാണ്. യുറേനിയം ബീജത്തിൽ 92 പ്രധനങ്ങളും (protons), 146 നിരലകങ്ങളും (neutrons) വൎത്തിക്കുന്നു. എന്നാൽ ബേറിയം ബീജത്തിലാകട്ടെ 56 പ്രധനങ്ങളും 82 നിരലകങ്ങളുമാണുള്ളതു്. ഈ ധാതുക്കൾ തമ്മിൽ വിപുലമായ അകൽച്ചയുള്ള സ്ഥിതിക്കു്, യുറേനിയത്തിന്റെ വികലനഫലമായി ബേറിയം രൂപപ്പെടുക എന്നതു് അംഗീകരിക്കുവാൻ അസാദ്ധ്യമായ ഒരു കാര്യമായിരുന്നു. അണുവികലനക്രിയയെ ആസ്പദമാക്കി അന്നുവരെ നടത്തിയിട്ടുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും അനുഭവപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതു്, അണുവികലനഫലമായുണ്ടാകുന്ന വസ്തു മൂലധാതുവിന്റെ ഒരു സ്ഥാനീയം (isotope) മാത്രമാകുന്നു എന്നുള്ളതാണു്. ആ സ്ഥിതിക്കു മൂലധാതുവി

നോട്ട യാതൊരു ബന്ധവുമില്ലാത്ത ബേറിയത്തിൻെറ ആവിർഭാവം ശാസ്ത്രകാരന്മാക്ക് അംഗീകാര്യമായി തോന്നിയില്ല.

ഡോക്ടർ ഹാനിൻെറ ഈ പുതിയ കണ്ടുപിടിത്തത്തെപ്പററി 1939 ജനവരി മാസത്തിൻെറ പ്രഥമവാരത്തിൽ ഒരു ജമ്മൻവാരികയിൽ വിശദമായി പരസ്യപ്പെടുത്തി. ഇതിനെത്തുടന്ന് ജമ്മനിയിൽനിന്നും അഭയാത്ഥികളായി കോപ്പൻഹേഗനിലും (Copen-hagen) സ്റ്റോക്കോമിലും (Stockholm) വന്നു പ്രവത്തനം ചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്ന ഒ. ആർ. ഫ്രിഷ് (O. R. Frisch), ലൈസ് മെയിറ്റ്നർ (Lise Meitner) എന്നീ രണ്ടു വൈജ്ഞാനികർ യുറേനിയത്തിൻെറ വികലനത്തെപ്പററിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങരം ആരംഭിച്ചു. യുറേനിയത്തിൻെറ വികലനം ഇതര ധാതുക്കളെ അപേക്ഷിച്ചു വളരെ വ്യത്യസ്തമായ നിലയിലാണ് ഈ ഗവേഷകക്കും അനുഭവപ്പെട്ടതു്. സാധാരണമായി, ഒരണുവിൽ നിരലക്തത്തിൻെറയോ (neutron) മറേറതെങ്കിലും ഒരു സൂക്ഷ്മബിന്ദുവിൻെറയോ ആഘാതംകൊണ്ടു് ധാതുവിനു രൂപവിപരിണാമം ഉണ്ടായാൽത്തന്നെയും, ആ ധാതുവിനോടടുത്തു വത്തിക്കുന്ന വേറൊരു ധാതുവോ, അല്ലെങ്കിൽ മൂലധാതുവിൻെറ ഒരു സ്ഥാനീയമോ (isotope) മാത്രമാണ് അണുവികലനഫലമായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നതു്. എന്നാൽ യുറേനിയത്തിൻെറ വികലനഫലമായി ബേറിയം ആവിർഭവിച്ചതിനു കാരണം എന്തായിരിക്കാമെന്നുള്ള ചിന്ത ഈ വൈജ്ഞാനികരേയും കുഴക്കാതിരുന്നില്ല. പക്ഷേ, ലൈസ് മെയിററ്നർ (Lise Meitner) ഈ അപൂവ്വസംഭവത്തിനു് ഒരു വ്യാഖ്യാനം കണ്ടുപിടിച്ചു.

യുറേനിയംബീജത്തിൽ ഒരു നിരലക്തത്തിൻെറ ആഘാതമുണ്ടാകുമ്പോരം യുറേനിയം രണ്ടു തുല്യാംശങ്ങളായി വിഭക്തമാകുന്നതു മൂലമായിരിക്കാം, യുറേനിയം അണുഭാരത്തിൻെറ ഏകദേശം പകുതിയോളം അണുഭാരമുള്ള ബേറിയം രൂപപ്പെടുന്നതെന്നു് ലൈസ് മെയിററ്നർ നിർദ്ദേശിച്ചു. ഈ ചിന്താഗതി കോപ്പൻഹേഗനിലെ പരീക്ഷണശാലാദ്ധ്യക്ഷനായിരുന്ന നീൽസ് ബോറിൻെറ (Niels Bohr) ശ്രദ്ധയ്ക്കു വിഷയമായി. അദ്ദേഹം ഈ അഭിപ്രായഗതിയെ ആദരിച്ചു്, പ്രിസ്റ്റനിലും, കൊളംബിയായിലുമുള്ള ഇതര ശാസ്ത്രകാരന്മാരുമായി ദീർഘമായ ആലോചന നടത്തി.

യുറേനിയത്തിൻെറ വികലനഫലമായി ബേറിയം, ക്രിപ്ടോൺ എന്നീ രണ്ടു ധാതുകങ്ങളാണു പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നതു്. ബേറിയ

ത്തിൻെറ അണുഭാരം 137-ം ക്രിപ്ടോണിൻെറ (krypton) അണുഭാരം 82-ം ആകുന്നു. യുറേനിയത്തിലെ പ്രസ്തുത ഘടകധാതുക്കളുടെ ആകെ ഘനസംഖ്യയും (mass number) യുറേനിയത്തിൻെറ ഘനസംഖ്യയും തമ്മിൽ താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ, യുറേനിയത്തിൻെറ ഘനസംഖ്യ, ഘടകധാതുക്കളായ ബേറിയത്തിൻേറയും ക്രിപ്ടോണിൻേറയും ഘനസംഖ്യയുടെ ആകെത്തുകയെ അപേക്ഷിച്ചു കൂടുതലാണെന്നു കാണാം. ഇപ്രകാരം ഘനസംഖ്യക്കു വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നതിനു കാരണം, വികലനക്രിയക്കുവേണ്ടിയുള്ള പ്രവർത്തകശക്തി (energy)യായി യുറേനിയത്തിൻെറ ഘന(mass)ത്തിലൊരംശം രൂപാന്തരപ്പെടുന്നു എന്നുള്ളതാണ്.

ഐൻസ്റ്റീൻെറ (Einstein) ആപേക്ഷികതത്വത്തെ ആധാരമാക്കി മേൽപ്രസ്താവിച്ച പ്രവർത്തകശക്തിയുടെ പരിമാണവൈപുല്യം പരിഗണിച്ചാൽ ഏതാണ്ട് 20 കോടി അലക്തനമർദ്ദമാത്രകളാണെന്നു (electron volts) നിർണ്ണയിക്കാം. ഈ കണക്കനുസരിച്ചു നോക്കിയാൽ ഒരു റാത്തൽ യുറേനിയത്തിൽനിന്നും ഉത്ഭവിക്കുന്ന പ്രവർത്തകശക്തി (energy) രണ്ടുകോടി റാത്തൽ കൽക്കരിയുടെ ദഹനത്തിൽനിന്നുളവാകുന്ന പ്രവർത്തകശക്തിക്കു തുല്യമാണെന്നു പറയാവുന്നതത്രേ.

യുറേനിയം വിഘടന(fission)യിൽനിന്നും വിപുലമായ പ്രവർത്തകശക്തി ഉദ്ഭമിക്കുന്നതിനോടൊപ്പം നിരലക്തങ്ങൾകൂടി വിമുക്തമാകുവാനുള്ള സാദ്ധ്യതയുള്ളതായി ഡോക്ടർ ഫേർമി(Dr. Fermi) നിർദ്ദേശിച്ചതു യുക്തിപൂർവ്വകമായിരുന്നുവെന്ന് അനന്തരപരീക്ഷണങ്ങൾമൂലം വെളിവായിട്ടുണ്ട്. ഈ അഭിപ്രായംതന്നെയാണ് കൊളംബിയാ സർവ്വകലാശാലയിലെ സിലാർഡും (Szilard), പാരീസിലെ ജോലിയട്ടും (Joliot) സ്വതന്ത്രമായി പ്രകടിപ്പിച്ചതു്.

യുറേനിയം വിഘടനത്തോടൊന്നിച്ചു നിരലക്തങ്ങൾ (neutrons) വിമോചിക്കപ്പെടുന്നുവെന്നു വന്നാൽ, അതുമൂലം കൂടുതൽ പ്രയോജനമുണ്ടാകുന്നതെങ്ങനെയെന്നു ചിന്തിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

യുറേനിയം, നിരലക്തത്തെ (neutron) ആവാഹിക്കുമ്പോൾ, ബേറിയം, ക്രിപ്ടോൺ എന്നീ രണ്ടു ഘടകാംശങ്ങളായി വിഘടിക്കുന്നതോടുകൂടി ബഹുലമായ പ്രവർത്തകശക്തി ഉദ്ഭമിക്കുന്നുവെന്നു പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടല്ലോ. പ്രവർത്തകശക്തിയെക്കൂടാതെ വേറെ നിരലക്തങ്ങൾകൂടി വിമോചിക്കപ്പെടുന്നുവെന്നു വിചാരിക്കുക. അപ്ര

കാരം വിമുക്തമാകുന്ന ഓരോ നിരലക്തവും മററു യുറേനിയം അണു ക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമാകുന്നു. ഈ പ്രവൎത്തനം അനുസ്യൂതമായി നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുവാൻ സാദ്ധ്യതയുള്ള സ്ഥിതിക്കു് എന്തുമാത്രം പ്രവൎത്തകശക്തിയാണു നിരൎഗ്ഗളമായി ഉത്ഭവിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതു് എന്നു വിഭാവനംചെയ്‌വാൻ സാധിക്കുന്നതാണു്.

ഒരു യുറേനിയം അണു, നിരലക്താഘാതംകൊണ്ടു വിഘടിതമാകുമ്പോൾ വിപുലമായ പ്രവൎത്തകശക്തിയും, കൂടുതൽ നിരലക്തങ്ങളും ലഭിക്കുന്നു. ഈ നിരലക്തങ്ങൾ മററു യുറേനിയം അണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതുമൂലം, പിന്നെയും പ്രവൎത്തകശക്തിയും വേറെ നിരലക്തങ്ങളും ആവിർഭവിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരം യുറേനിയം അണുക്കളുടെ വിഘടനക്രിയ ശൃംഖലപോലെ അനുസ്യൂതമായിരിക്കുന്നതിനാൽ വിസ്തൃതമായ തോതിൽ അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ ഉത്പാദനം സാദ്ധ്യമാകുന്നു. യുറേനിയം മുഴുവനും ബേറിയവും ക്രിപ്ടോണുമായി വിഘടിക്കുന്നതുവരെയും ഈ ശൃംഖലപ്രക്രിയ (chain reaction) നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കും.

എന്നാൽ ഇവിടെ ഒരു വിഷമപ്രശ്നം നേരിടുന്നു. ഏതെങ്കിലും കാരണവശാൽ ഒരു നിരലക്തത്തിൻെറ ആഘാതം ഒരു യുറേനിയം അണുവിനെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നുവെന്നു വിചാരിക്കുക. വിഘടനക്രിയയുടെ ശൃംഖലത അതോടൊന്നിച്ചു് ആരംഭിക്കുന്നു. ലോകത്തിലുള്ള യുറേനിയം മുഴുവനും വിഘടിക്കുന്നതുവരെയും ഈ ശൃംഖലപ്രക്രിയ നടക്കുന്നപക്ഷം യുറേനിയംധാതു ലോകത്തിൽനിന്നു നിശ്ശേഷം അപ്രത്യക്ഷമാകയില്ലേ? ഈ പ്രശ്നത്തിനു സമാധാനം കണ്ടുപിടിക്കേണ്ടതായിട്ടിരിക്കുന്നു. ഡോക്ടർ നീൽസ് ബോറും (Niels Bohr), അദ്ദേഹത്തിൻെറ പൂൎവ്വശിഷ്യനായിരുന്ന പ്രഫസ്സർ ജെ. എ. വീലറും (J. A. Wheeler) ആയിരുന്നു ഇതിനുചിതമായ സമാധാനം നിൎദ്ദേശിച്ചതു്.

യുറേനിയത്തിനു പ്രാകൃതികമായി മൂന്നു സ്ഥാനീയങ്ങളാണുള്ളതു്. യു-234, യു-235, യു-238 എന്നിവയാണു്. ശുദ്ധമായ യുറേനിയത്തിൽ 99·3ശതമാനവും യു-238 ആണു കാണപ്പെടുന്നതു്. എന്നാൽ യു-235 ഏതാണ്ടു പത്തിൽ ഏഴ ശതമാനം മാത്രമേ യുറേനിയത്തിൽ കാണുന്നുള്ളു. യു-234 ൻെറ ശതമാനം ഗണനീയാർഹമല്ലാത്തവിധം അത്ര തുച്ഛമാണു്. യുറേനിയത്തിൻെറ ഈ മൂന്നു സ്ഥാനീയങ്ങളും (isotopes) വിഘടിതയോഗ്യമാണോ എന്നു നിർണ്ണയിക്ക

ണമെങ്കിൽ സ്ഥാനീയങ്ങളെത്തമ്മിൽ വേർതിരിച്ചു പരീക്ഷണവിധേയമാക്കിയെങ്കിൽ മാത്രമേ സാധിക്കയുള്ളു. പക്ഷേ, ഒരു ധാതുവിൻെറ സ്ഥാനീയങ്ങളെ വിയോജിപ്പിക്കുന്നതു ദുഷ്കരമായിട്ടുള്ള ഒരു കാര്യമാണ്. എന്നിരുന്നാലും എ. ഒ. നീയർ (A. O. Nier) എന്ന വൈജ്ഞാനികൻ ഒരു 'ഘനാന്തരവിലേഖിനി' (mass spectrograph)യുടെ സഹായത്തോടുകൂടി യുറേനിയത്തിൻെറ സ്ഥാനീയങ്ങളെത്തമ്മിൽ വേർതിരിച്ചു പരീക്ഷിച്ചുനോക്കിയതിൽ ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങളെ (fast neutrons) അപേക്ഷിച്ച് ഉദാസീനനിരലക്തങ്ങളാണ് (slow neutrons) യുറേനിയം-235-നെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനു കൂടുതൽ സമത്ഥമായിട്ടുള്ളതെന്നു വെളിപ്പെട്ടു. യുറേനിയം-238 ആകട്ടെ ഉദാസീനനിരലക്തത്തെ (slow neutron) ഗ്രഹിച്ചു സ്വകീയമാക്കുമെന്നല്ലാതെ വിഘടനവിധേയമാകുന്നില്ല എങ്കിലും, ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങൾ (fast neutrons) അവയെ വിഘടനയോഗ്യമാക്കുവാൻ സമത്ഥങ്ങളാണ്. എന്നാൽ അതിൻെറ വിഘടനം ശീഘ്രനിരലക്തത്തിൻെറ തീവ്രതയെ അഥവാ പ്രവർത്തകശക്തിയെ (energy) ആശ്രയിച്ചു മാത്രമാണിരിക്കുന്നതു്. പത്തുലക്ഷം അലക്തനമത്ത്മാത്രകളെ (1 MeV) കവിഞ്ഞ തീവ്രതയോടുകൂടിയ നിരലക്തങ്ങൾക്ക (neutrons) മാത്രമേ യുറേനിയം-238-നെ വിഘടനയോഗ്യമാക്കുവാൻ കഴിയുന്നുള്ളുവെന്നു റഷ്യൻവൈജ്ഞാനികരായ ഫ്ളീറോവും (Flerov), പെട്രാഷാക്കും (Petrazhak) നിർണ്ണയിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഈ പരിധിയിൽ കുറഞ്ഞ തീവ്രതയുള്ള നിരലക്തങ്ങൾ യുറേനിയം-238 ൻെറ വിഘടനത്തിനു് അസമത്ഥങ്ങളാണ്. ഇതിൽനിന്നും വിഘടനയെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം യുറേനിയം സ്ഥാനീയങ്ങളായ യു-235-ം, യു-238-ം വ്യത്യസ്തസ്വഭാവത്തെയാണ് അവലംബിക്കുന്നതു് എന്നു തെളിയുന്നുണ്ടല്ലോ. ഉദാസീനനിരലക്തത്തെ (slow neutron) ഗ്രഹിച്ച യുറേനിയം 235 വിഘടിതമാകുമ്പോൾ ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങളെ(fast neutron)യാണു വിമോചിപ്പിക്കുന്നതു്. എങ്കിലും അവയുടെ തീവ്രത യുറേനിയം 238-നെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമാകുന്നില്ല. എന്നാൽ നിരലക്തഗ്രഹണത്തിൽ (neutron capture) കൂടുതൽ സാമത്ഥ്യമുള്ള യു-238 ഈ നിരലക്തങ്ങളെ എളുപ്പത്തിൽ പിടിച്ചെടുക്കുന്നു. യുറേനിയത്തിൽ യു-235 ന്റെ ശതമാനം വളരെ ലഘുവായതിനാൽ നിരലക്താഘാതത്തിനുള്ള (bombardment by neutron) സാദ്ധ്യത അതി

വിരളമാണ്. യുറേനിയം–235 ഒരു നിരലക്തത്തെ ഗ്രഹിക്കാതിരിക്കുന്നിടത്തോളം കാലം അതു വിഘടിതമാകുന്നുമില്ല. ഈ കാരണംകൊണ്ടു ശൃംഖലപ്രക്രിയ (chain reaction) സംഭവിക്കാതെ വരുന്നു. അതിനാൽ യുറേനിയം–235നെ യുറേനിയം–238–ൽനിന്നും വേർതിരിക്കേണ്ട ആവശ്യം നേരിടുന്നു. അങ്ങനെ വിയോജിതമാകുന്നപക്ഷം നിരലക്തഗ്രഹണത്തെ (neutron capture) സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം യുറേനിയം–238-ഉം 235-ഉം തമ്മിൽ യാതൊരു മാത്സര്യവുമുണ്ടാകുന്നതിനിടവരാതെ, വിമുക്തമാകുന്ന നിരലക്തത്തെ യുറേനിയം–235 തന്നെ ഗ്രഹിക്കുന്നതിനും 'ശൃംഖലപ്രക്രിയ' നിരർഗ്ഗളമായി നടക്കുന്നതിനും സൗകര്യം ലഭിക്കുന്നു. പക്ഷേ, ഈ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ വിയോജനം ക്ഷിപ്രസാദ്ധ്യമായിട്ടുള്ള ഒന്നല്ല. ഇപ്രകാരമുള്ള ദുർഘടഘട്ടത്തിൽ ഗവേഷകദൃഷ്ടി യുറേനിയം–238–ൽത്തന്നെ പതിഞ്ഞു.

യുറേനിയം–238–ഉം നിരലക്തഗ്രഹണവും

(Uranium–238 and Neutron Capture)

യുറേനിയം–238 ശീഘ്രനിരലക്തത്തെ (fast neutron) സ്വീകരിക്കുന്നെങ്കിലും അതു യുറേനിയം–235 നെപ്പോലെ വിഘടിക്കപ്പെടുന്നില്ല എന്നു നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു. എന്നാൽ കൂടുതലായി ഒരു നിരലക്തത്തെ ഗ്രഹിക്കുന്നതുമൂലം യുറേനിയം–238 അസ്ഥിരഭാവാത്മകമായി(unstable) ഭവിക്കുന്നില്ലേ എന്നു ന്യായമായി ഒരു പ്രശ്നം ഉണ്ടാകുന്നു. അതിനു വല്ല സമാധാനവും ലഭിക്കുമോ എന്നു നോക്കാം.

യുറേനിയം–238 ഒരു നിരലക്തത്തെ കൂടുതലായി ഗ്രഹിച്ചു സ്വകീയമാക്കുമ്പോൾ യുറേനിയം-239 എന്നൊരു സ്ഥാനീയം(isotope) ആവിർഭവിക്കുമെന്നതിനു സംശയമില്ല.

$$ {}_{92}^{238}u + {}_{0}^{1}n = {}_{92}^{239}u $$

ഈ സ്ഥാനീയം അസ്ഥിരാത്മകവുമാണ്. അതിനാൽ ഉടൻതന്നെ അതിനു രൂപവിപരിണാമം സംഭവിച്ച് ഒരു നൂതനധാതു പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. അതായതു്, യുറേനിയം–238 ഒരു നിരലക്തത്തെ അധികമായി സ്വീകരിക്കുന്നതോടുകൂടി അതിൽനിന്നും ഒരു അലക്തനം (electron) വിസർജ്ജിതമാകുന്നു. തന്മൂലം യുറേനിയം–238ന്റെ ബീജത്തിൽ ഒരു ധനാലക്തികമാത്ര (Positive charge) വർദ്ധിക്കയും

ബീജത്തിലെ പ്രധനങ്ങളുടെ എണ്ണം 93 ആയിത്തീരുകയും ചെയ്യുന്നതിനാൽ ധാതുക്കളുടെ പട്ടികയിൽ യുറേനിയത്തിൻെറ അടുത്ത സ്ഥാനത്തിനർഹമായ ഒരു നൂതനധാതു രൂപപ്പെടുകയാണു ചെയ്യുന്നതു്. ഈ നൂതനധാതുവിനു ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ 'നെപ്ററൂണിയം'(neptunium) എന്ന സംജ്ഞ നല്കിയിരിക്കുന്നു. പക്ഷേ, നെപ്ററൂണിയം അസ്ഥിരാത്മകമായതിനാൽ, അതിൽനിന്നു വീണ്ടും ഒരലക്തനം (electron) നഷ്ടപ്പെടുന്നതുമൂലം ബീജത്തിൽ ഒരു ധനാലക്തികമാത്രകൂടി (Positive charge) വർദ്ധിച്ചു് 94 പ്രധനങ്ങളോടുകൂടിയ വേറൊരു ധാതു രൂപമെടുക്കുന്നു. ഈ ധാതുവാണു് 'പ്ളൂട്ടോണിയം' (plutonium). ഈ ധാതുവിൻെറ 'അർദ്ധകാലം'(half life) 24,000 സംവത്സരങ്ങളാകയാൽ ആപേക്ഷികമായി ഇതു സ്ഥിരാത്മകവുമാണു്. തന്നെയുമല്ല, ഇതു യുറേനിയം–235നെപ്പോലെതന്നെ ഉദാസീനനിരലക്തങ്ങളെ (slow neutrons) സ്വീകരിച്ചു വിഘടനയോഗ്യമായി (fissionable) പരിണമിക്കയും ചെയ്യുന്നു.

പ്ളൂട്ടോണിയം രാസപരമായി(chemically) യുറേനിയത്തിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തമായ ഒരു ധാതുവായതിനാൽ, യുറേനിയത്തിൽനിന്നും അതിനെ വിയോജിപ്പിച്ചു വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനും, അങ്ങനെ അതിനെ പ്രവർത്തകശക്ത്യുത്പാദകസമർത്ഥമാക്കുന്നതിനും സാധിക്കാവുന്നതാണു്.

ശുദ്ധമായ പ്ളൂട്ടോണിയം, സംസ്കരിക്കപ്പെട്ട യുറേനിയത്തോടോ, ബാഹ്യപ്രകൃതിയെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ക്രോമിയം (chromium), രജതം (silver) ഇവയോടോ സമാനത വഹിക്കുന്നു. യുറേനിയത്തെപ്പോലെതന്നെ പ്ളൂട്ടോണിയവും ഭാരമേറിയതാണെങ്കിലും, പ്ളൂട്ടോണിയത്തെ ഒരു ആത്യന്തികഘനഭാവത്തിൽ (critical mass) ഏകീകരിച്ചാൽ ഭീകരമായവിധം അതു വിസ്ഫോടനം ചെയ്യുന്നു എന്ന വിഷയത്തിൽ യുറേനിയത്തിൽനിന്നും അതു വ്യത്യസ്തപ്പെടുന്നു. ഇതു വിഷശക്തിയെ വഹിക്കുന്നതോടൊപ്പം തേജോദ്ഗിരവുമാകുന്നു.

യുറേനിയത്തിന്മേലുള്ള ശൃംഖലപ്രക്രിയയുടെ പ്രായോഗികത

യുറേനിയം വിഘടനയുടെ സാദ്ധ്യതകളെസ്സംബന്ധിച്ചുള്ള ഗവേഷണങ്ങൾ അതിൻെറ പാരമ്യത്തിൽ എത്തിയതു് 1939-ൽ

ആണ്. 1939 ജനുവരിമാസത്തിൽത്തന്നെ ഓ.ആർ. ഫ്രിഷും(O. R. Frisch), ലൈസ് മെയിററനറും (Lise Meitner), യുറേനിയം വിഘടനയെപ്പററി ഉപന്യസിക്കയും അതിനെത്തുടൎന്ന് അനേകം ഗവേഷകന്മാർ നിരവധി പരീക്ഷണങ്ങളും, സിദ്ധാന്തപരങ്ങളായ ഗണനകളും (theoretical computations) നടത്തി യുറേനിയം വിഘടനയുടെ സാദ്ധ്യതയെ സമൎത്ഥിക്കയും ചെയ്തിട്ടുണ്ട്.

ഒരു പൗണ്ട് യുറേനിയം–235-ൻെറ അണുക്കളുടെ അനുസ്യൂതമായ വിഘടനത്തിൽനിന്നുളവാകാൻ കഴിയുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ പരിമാണം സാധാരണഗതിയിൽ പറഞ്ഞാൽ, ഏതാണ്ട് ഒരു കോടി ഇരുപതു ലക്ഷം കിലോവാട്ട്-മണിക്കൂറുകൾ (kilowatt hours) ആകുന്നു എന്നു നിൎണ്ണയിക്കാവുന്നതത്രേ. ഈ പ്രവൎത്തകശക്തിയെത്തന്നെ നിയന്ത്രണാധീനമാക്കി പ്രവൎത്തിപ്പിക്കുന്നപക്ഷം, നൂറു വാട്ടു ശക്തിയുള്ള ഒരുകോടി ഇരുപതുലക്ഷം ആലക്തികദീപങ്ങളെ, ദിവസം പത്തു മണിക്കൂർവീതം തുടൎച്ചയായി കത്തിക്കുന്നതിനു മതിയായ ആലക്തികശക്തിയെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നതാണ്. എന്നാൽ ഈ പ്രവൎത്തകശക്തിയെ നിയന്ത്രണാധീനമാക്കാതെ പൊട്ടുന്നനവേ വിമോചിപ്പിക്കുന്നപക്ഷം, അതിൻെറ വിസ്ഫോടനശക്തി (explosive force) 10,000 ടൺ ററി.എൻ.ററി. (T. N. T—Trinitro-toluene)യുടെ വിസ്ഫോടനത്തിൽനിന്നുളവാകുന്ന ശക്തിക്കു തുല്യമായിരിക്കും. ഒരുപൗണ്ട് യുറേനിയം–235-ലെ പത്തു ശതമാനം അണുക്കൾമാത്രമേ വിഘടിതമാകുന്നുള്ളു എന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽത്തന്നെയും അതിൻെറ വിസ്ഫോടനശക്തി ററി. എൻ. ററി. (T. N. T.) യുടെ വിസ്ഫോടനശക്തിയെ അപേക്ഷിച്ച് 20 ലക്ഷം മടങ്ങു കൂടുതലാണെന്നറിയേണ്ടതാണ്.

മേല്പറഞ്ഞപ്രകാരം ഭീമമായ പ്രവൎത്തകശക്തിയെ ഉത്പാദിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയണമെങ്കിൽ യുറേനിയത്തിന്മേലുള്ള ശൃംഖലപ്രക്രിയയുടെ(chain reaction)പ്രായോഗികത സ്ഥാപിതമാക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ വാസ്തവം ആലോചിച്ചാൽ യുറേനിയം-235ന്റെ നിരൎഗ്ഗളമായ വിഘടന സാദ്ധ്യമാണെന്നു പ്രായോഗികപരീക്ഷണങ്ങൾകൊണ്ട് ആരുംതന്നെ സമൎത്ഥിച്ചിട്ടില്ല. കാരണം ഒരു ഗ്രാമിൻെറ പത്തുകോടിയിൽ ഒരംശത്തിലധികമായി യുറേനിയം–235നെ വിയോജിപ്പിച്ചു ശുദ്ധിയാക്കുന്നതിന് ഒരുത്തക്കും സാധിച്ചിട്ടില്ല എന്നുള്ളതാണ്. പിന്നെയാകട്ടെ ഒരുപൗണ്ട് യുറേനിയം–235 ലഭി

ക്കക എന്നതു്! അതുകൊണ്ടു ശൃംഖലപ്രക്രിയ നടക്കുന്നതിനുള്ള അടിസ്ഥാനവ്യവസ്ഥകൾ എന്തെല്ലാമെന്നു നിരൂപിക്കാം.

ഒന്നാമതു്, നിരലക്തഗ്രഹണം (neutron capture). യുറേനിയം—235-ൽ ഒരു ഉദാസീനനിരലക്തം (slow neutron) പതിയുമ്പോൾ അതു വിഘടിക്കുന്നു എന്നു നാം കണ്ടു. എന്നാൽ ഒരു ശീഘ്രനിരലക്തത്തെ (fast neutron) ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു് (capture) ഇതിനു കഴിയുന്നതാണോ? ഒരുപക്ഷേ, കഴിഞ്ഞു എന്നു വരാം. എന്നാൽ ഒരു കാര്യം ഓമ്മിക്കേണ്ടതായിട്ടുണ്ടു്. സാമാന്യ യുറേനിയത്തിൽ, സ്ഥാനീയമായ യു–238, യു–235-നെ അപേക്ഷിച്ച 140 ഇരട്ടിയോളമുള്ള സ്ഥിതിക്കു്, യുറേനിയത്തിൽ ചെന്നെത്തുന്ന എല്ലാ ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങളേയും യു–238 തന്നെ പിടിച്ചെടുക്കുമെന്നതിനു സംശയമില്ല. യുറേനിയം—235-ൻെറ വിഘടനഫലമായി ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങളാണു പ്രസരിക്കുക. അതുകൊണ്ടു് ഈ ശീഘ്രനിരലക്തത്തിൻെറ ഗതിവേഗത്തെ നിയന്ത്രിച്ചു് 'ഉദാസീന'മാക്കിയാൽ യുറേനിയം—235-നു് അവയെ സ്വീകരിക്കുന്നതിനുള്ള സൗകര്യം ലഭിക്കുകയില്ലേ എന്നു ന്യായമായി ചിന്തിക്കാം. അതിനു മാർഗ്ഗമുണ്ടുതാനും. ലഘുഭാരാത്മകമായ ഹീലിയം, അംഗാരം (carbon), ബെറിലിയം തുടങ്ങിയ ധാതുക്കളും, വിശേഷഭാരത്തോടുകൂടിയ അബ്ജനകവും (heavy hydrogen) നിരലക്തങ്ങളെ പ്രതിരോധിക്കുന്നതിനു സമത്ഥങ്ങളാകയാൽ, പ്രസ്തുത ധാതുക്കളിൽ വന്നുതട്ടുന്ന ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങളുടെ ഗതിവേഗത്തിനു മാന്ദ്യം സംഭവിക്കുന്നു. ശീഘ്രഗതിയിലുള്ള നിരലക്തങ്ങളുടെ ഗതിവേഗത്തെ മന്ദീഭവിപ്പിക്കുന്ന ഈദൃശവസ്തുക്കൾക്കു 'മിതകാരിണികൾ' (moderators) എന്നാണു പറയുക. ഉദാസീനനിരലക്തങ്ങളെ (slow neutrons) ഉണ്ടാക്കുന്നതിനു ശാസ്ത്രപ്രവീണരായ ഫേർമിയും (Fermi), പെഗ്രാമും (Pegram), ഡണ്ണിംഗും (Dunning) സ്വീകരിച്ച വസ്തുക്കൾ മേൽ പറയപ്പെട്ടവയാണു്.

രണ്ടാമതു്, നിരലക്തഗ്രഹണത്തിനുള്ള ധാതുവിൻെറ സംശുദ്ധി (purity).

അനേകം പദാത്ഥങ്ങളും നിരലക്തങ്ങളെ ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു കഴിയുന്നവയാണെന്നിരുന്നാലും, ആ പദാത്ഥങ്ങളെല്ലാം വിഘടിതമാകുമെന്നു വിചാരിക്കാവുന്നതല്ല. ആ വസ്തുക്കളിലെ മലിനാംശങ്ങളാണു് ഇതിനു കാരണം. യുറേനിയത്തിൽ വിലയിച്ചിട്ടുള്ള മലിനാംശ

ങ്ങൾതന്നെ നിരലക്തങ്ങളെ സ്വീകരിക്കുന്നതുമൂലം ആ നിരലക്തങ്ങൾ പ്രയോജനരഹിതങ്ങളായി ഭവിക്കുന്നു. അതുകൊണ്ടു് നിരലക്തഗ്രഹണം സമഗ്രമായി സാധിക്കുന്നതിനു സമുചിതമായവിധം യുറേനിയത്തെ സംശുദ്ധി ചെയ്യുന്നതോടൊപ്പം 'മിതകാരിണി'കളേയും മലിനരഹിതമാക്കേണ്ടതാണു്.

മൂന്നാമതു്, വിഘടനഫലമായി ഉദ്ഭമിക്കപ്പെടുന്ന നിരലക്തങ്ങൾ വായുവിൽ ലയിച്ചു നഷ്ടമായിപ്പോകാതെ യുറേനിയം-235-ൻെറ ഇതരാണുക്കളിൽ യഥാവസരം പതിയത്തക്കവണ്ണം യുറേനിയംഖണ്ഡങ്ങൾക്കു മതിയായ വലിപ്പം ഉണ്ടായിരിക്കണം. നിരലക്തങ്ങൾ ലക്ഷ്യത്തിൽ പതിയാതിരുന്നാൽ ശൃംഖലപ്രക്രിയ(chain reaction)യ്ക്കു നിരോധം സംഭവിക്കുന്നതാണു്.

യുറേനിയംവിഘടനയും ആയോധനസാദ്ധ്യതകളും

(Uranium Fission and Military Possibilities)

1938-ൻെറ പരിണാമദശയിലാണു് ജമ്മൻശാസ്ത്രകാരന്മാരായ ഹാനും (Hahn), സ്റ്റ്റാസ്സ്മാനും (Strassman) യുറേനിയത്തിന്റെ വിഘടനസാദ്ധ്യതകളെപ്പററി പ്രഥമമായി പ്രസ്താവിച്ചതു്. 1939 ജനുവരിമാസത്തിൻെറ പ്രാരംഭഘട്ടത്തിൽ ഈ രണ്ടു വൈജ്ഞാനികരുംഒന്നുചേന്നു്അവരുടെ അതിപ്രധാനമായ കണ്ടുപിടിത്തത്തെ ലോകസമക്ഷം അവതരിപ്പിച്ചു. ഈ സമയം ജമ്മനി ഭീകരമായ ഒരു മഹായുദ്ധത്തിനുള്ള സജ്ജീകരണങ്ങൾ ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കയായിരുന്നു എന്നു ലോകം ശരിയായി ധരിച്ചില്ല. ഹാനിൻേറയും സ്റ്റ്റാസ്സ്മാനിൻേറയും കണ്ടുപിടിത്തത്തിൻെറ പ്രാധാന്യത്തെ വേണ്ടവിധം ഗ്രഹിക്കുന്നതിനും അതിൻെറ പരമമായ സാദ്ധ്യതകളെപ്പററി ദൂരവീക്ഷണം ചെയ്യുന്നതിനും പ്രാപ്തിയുണ്ടായിരുന്ന ജമ്മൻശാസ്ത്രപടുക്കളായ ലൈസ് മെയിററ്നറും (Lise Meitner), ഓട്ടോ ഫ്രിഷും (Otto Frisch) നാസ്സികളുടെ ക്രൗര്യത്തിൽനിന്നും രക്ഷപ്പെട്ടു കോപ്പൻഹേഗനിലുള്ള നീൽസ് ബോറിൻെറ (Niels Bohr) പരീക്ഷണശാലയിൽ പ്രവത്തനം നിവ്വഹിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കയായിരുന്നു. യുറേനിയം അണുക്കളുടെ വിഘടനയിൽനിന്നു് അതിവിപുലമായ പ്രവത്തകശക്തി ഉത്ഭവിക്കുന്നതാണെന്നു പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുള്ളതും ഈ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരാണു്. ഹിററ്ലറിൻെറ അഖിലലോകവിജയേച്ഛയുടെ പിന്നിലായി മറഞ്ഞുകിടന്ന ക്രൂരനയങ്ങളുടെ ഭീകരതയിൽനിന്നും

രക്ഷനേടി അമേരിക്കയെ അഭയംപ്രാപിച്ചിരുന്ന സുപ്രസിദ്ധ ജൎമ്മൻ ഗണിതശാസ്ത്രജ്ഞനായ ആൽബർട്ട് ഐൻസ്റ്റീനുമായി (Albert Einstein) നീൽസ് ബോർ (Niels Bohr) യുറേനിയം വിഘടനയുടെ പരിണതഫലത്തെക്കുറിച്ച കൂടിയാലോചന നടത്തി. ഹിററ്ലറിൻെറ നയത്തിൽ സഹവൎത്തിയായിരുന്ന ഇററലിയിലെ ബനിറേറാ മുസ്സോളിനി(Benito Mussolini)യുടെ ഫാസിസ്സത്തിൽ അസന്തുഷ്ടനായി, ഇററലിയിൽനിന്നും രക്ഷനേടി കൊളംബിയാ സൎവ്വകലാശാലയിൽ പ്രവർത്തിച്ചിരുന്ന ഇററാലിയൻ ഭൗതികശാസ്ത്രവിശാരദനായ എൻറിക്കോ ഫേർമിയും (Enrico Fermi) ഈ കൂടിയാലോചനയിൽ പങ്കുകൊണ്ടു. ഇദ്ദേഹമാണു യുറേനിയം വിഘടനയിലെ ശൃംഖലപ്രക്രിയയുടെ (chain reaction) സാദ്ധ്യതകളെപ്പററി ആദ്യമായി വിമർശിച്ചതു്.

യുറേനിയം വിഘടനയെപ്പററിയുള്ള (uranium fission) വാൎത്ത അമേരിക്കയിൽ എത്തിയ ഉടൻതന്നെ അമേരിക്കയിലെ വിവിധ സൎവ്വകലാശാലകളിൽ ഹാനിന്റേയും, സ്റ്റ്റാസ്സ്മാനിൻേറയും പരീക്ഷണങ്ങൾ ആവൎത്തിക്കപ്പെടുകയും, യുറേനിയം വിഘടനയുടെ സാദ്ധ്യത സ്ഥാപിതമാകയും ചെയ്തു. ഈ സൎവ്വകലാശാലകളിൽ പ്രധാനമായവ കൊളംബിയാ സൎവ്വകലാശാല, ജോൺസ് ഹോപ്കിൻസ് സൎവ്വകലാശാല, വാഷിംഗ്ടനിലെ കാർണേജിസ്ഥാപനം, കാലിഫോർണിയാ സൎവ്വകലാശാല ഇവയാണു്. എൻറിക്കോ ഫേർമിയും (Enrico Fermi), മറെറാരു യൂറോപ്യൻ അഭയാൎത്ഥിയായിരുന്ന ഹംഗറിയിലെ ലിയോ സിലാർഡും (Leo Szilard) ആണു മേൽപ്പറഞ്ഞ പരീക്ഷണങ്ങളുടെ നേതൃത്വം വഹിച്ചിരുന്നതു്. ഇവരുടെ നേതൃത്വത്തിൽ നിൎവ്വഹിക്കപ്പെട്ട പരീക്ഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി യുറേനിയം വിഘടനയെക്കുറിച്ചു് അവൎക്കു ലഭിച്ചിരുന്ന അറിവുകൾ സ്ഥാപിതമായി. പക്ഷേ, അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ നായകത്വം അമേരിക്കയ്ക്കു പൂൎണ്ണമായും അവകാശപ്പെടുവാൻ സാദ്ധ്യമല്ലാതെയാണു വന്നതു്.

ഹാനിൻേറയും സ്റ്റ്റാസ്സ്മാനിൻേറയും പരീക്ഷണഫലങ്ങൾ യൂറോപ്പിൻെറ പല ഭാഗങ്ങളിലും ഈ സമയംകൊണ്ടു വ്യാപിച്ചുകഴിഞ്ഞു. പ്രത്യേകിച്ചും പാരീസിലെ ഫ്രെഡറിക് ജോളിയട്ടിൻെറ പരീക്ഷണശാലയിൽ ഉപരി പ്രസ്താവിച്ച പരീക്ഷണങ്ങൾതന്നെ ആവൎത്തിക്കപ്പെട്ടു. ഇതേ കാലത്തുതന്നെ, സോവ്യററ് ശാസ്ത്രജ്ഞ

ന്മാരായ ഫ്ളീറോവും (Flerov), പെട്രാഷാക്കും (Petrazhak) യുറേനിയം വിഘടനയെ സംബന്ധിച്ച തങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തങ്ങളെപ്പററിയും പരസ്യം ചെയ്തിരുന്നു.

ഇങ്ങനെ 1939-ൻെറ മദ്ധ്യഘട്ടമായപ്പോഴേയ്ക്കും അണപ്രവത്തകശക്തിയെപ്പററിയുള്ള മൗലികവിജ്ഞാനങ്ങരം ലോകത്തിലെങ്ങും വ്യാപിച്ചു. എന്നാൽ രണ്ടാംലോകമഹായുദ്ധത്തിൽ ഈ അണപ്രവത്തകശക്തിയെ നശീകരണായുധമായ അണബോംബിൻെറ നിമ്മാണത്തിനുവേണ്ടി കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നതിനും, അങ്ങനെ അമേരിക്കയ്ക്ക് അതിൻെറ നേതൃത്വം ലഭിക്കുന്നതിനും കാരണങ്ങളായ സാഹചര്യങ്ങരം ആരായുന്നതു രസാവഹമായിരിക്കും.

1939 ആഗസ്റ്റ് 2-ാം തീയതി പ്രഫസ്സർ ആരംബർട്ട് ഐൻസ്റ്റീൻ (Albert Einstein) അമേരിക്കയുടെ പ്രസിഡൻറായിരുന്ന റൂസ് വെൽററിന് എഴതിയ ഒരു ലേഖനത്തിലെ ഉള്ളടക്കം താഴെ വരും പ്രകാരമാണ്:

''എൻറിക്കോ ഫേർമിയുടേയും ലിയോ സിലാർഡിൻേറയും പരീക്ഷണഫലങ്ങളെ പ്രകാശിപ്പിച്ചുകൊണ്ടുള്ള ഒരു ലേഖനം ലഭിച്ചതിൽനിന്നും, യുറേനിയം ധാതുവിനെ ആസന്നഭാവിയിൽത്തന്നെ ഭീമമായ പ്രവത്തകശക്തിയുടെ നവീനസങ്കേതസ്ഥാനമായി രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നു വെളിപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഇതിനോടനുബന്ധിച്ചു ചില പ്രധാന നിർദ്ദേശങ്ങളും ശുപാർകളും ചെയ്യേണ്ടതു് എൻെറ കടമയായി ഞാൻ കരുതുന്നു.

''കഴിഞ്ഞ നാലുമാസക്കാലങ്ങരംക്കുള്ളിൽ നടന്ന പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും, യുറേനിയംധാതു വിഘടനയോഗ്യമാണെന്നും, അതിന്റെ വിഘടനഫലമായി വിപുലമായ പ്രവത്തകശക്തിയോടൊന്നിച്ചു നൂതനമായ ചില അത്ഭുതധാതുക്കളും ലഭിക്കുന്നതാണെന്നും, നവീനരീതിയിലുള്ള ബോംബുനിമ്മാണത്തിനു് ഇതു് ഏററവും പര്യാപ്തമാണെന്നും മനസ്സിലാക്കുവാൻ എനിക്കു കഴിയും. ഇതുകൊണ്ടു നിമ്മിക്കപ്പെടാവുന്ന ഒരു ബോംബിന്, ഒരു തുറമുഖത്തേയും തത്പ്രാന്തങ്ങളേയും നിമ്മൂലനാശം ചെയ്യുന്നതിനു സാധിക്കുന്നതാണ്. പക്ഷേ, അവയുടെ അതിഭാരംനിമിത്തം ആകാശത്തിൽക്കൂടി അത്തരം ബോംബുകളെ കൊണ്ടുപോകുവാൻ കഴിയുമോ എന്നുള്ളതു സന്ദിഗ്ദ്ധമത്രേ.

''അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലെ യുറേനിയം അയസ്സുങ്ങരം

(ores) താണതരത്തിലുള്ളവയാണ്. കാനഡായിലും, ചെക്കോസ്ലോവോക്യായിലും ചില മെച്ചമായ അയസ്സങ്ങരം കാണുന്നുണ്ട്. എന്നാൽ ബെൽജിയം കോംഗോയിലെ യുറേനിയം അയസ്സങ്ങളാണു കൂടുതൽ പ്രാധാന്യമുള്ളവ.

''ഏതായാലും ഈ പരിതഃസ്ഥിതിയിൽ ഭരണകൂടവും, അമേരിക്കയിൽ യുറേനിയത്തെ ആധാരമാക്കി പ്രവത്തനം നടത്തുന്ന ഗവേഷകന്മാരുടെ സമൂഹവും തമ്മിൽ സുദൃഢവും സുസ്ഥിരവുമായ ഒരു ബന്ധം സംസ്ഥാപിതമാകേണ്ടതാണ്. ഇതു പ്രായോഗികമാക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു മാഗ്ഗം, പ്രസിഡൻറിനു് ഉത്തമവിശ്വാസമുള്ള ഒരു വ്യക്തിയിൽ ഈ ചുമതല നിക്ഷേപിക്കുക എന്നുള്ളതാണ്.

''ഭരണവകുപ്പുകളെ സമീപിച്ചു ശാസ്ത്രീയവികാസങ്ങളെപ്പററി അറിയിക്കുയും, ഗവമ്മെൻറ് ഈ കാര്യത്തിൽ അനുഷ്ഠിക്കേണ്ട സംഗതികരംക്കു നേതൃത്വം നല്കുകയും, വിശേഷിച്ചും അമേരിക്കയ്ക്കു ഗണ്യമായ തോതിൽ യുറേനിയം ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള മാഗ്ഗങ്ങരം കണ്ടുപിടിച്ചു ഗവമ്മെൻറിനെ അറിയിക്കുകയും ചെയ്യു എന്നതു പ്രസിഡൻറിനാൽ നിയമിതനായ വ്യക്തിയുടെ പ്രധാന ചുമതലയായിരിക്കേണ്ടതാണ്.

''യുറേനിയം സംബന്ധിച്ച പരീക്ഷണകാര്യങ്ങരംക്കാവശ്യകമായ സാമ്പത്തികസഹായം ലഭിക്കുന്നതിനു വേണ്ട നടപടികരം സ്വീകരിക്കുന്നതിനും ഈ ആളിനു ചുമതലയുണ്ടായിരിക്കണം.

''ചെക്കോസ്ലോവോക്യൻ ഖനികളിൽനിന്നും സിദ്ധിക്കുന്ന യുറേനിയം വെളിയിലേക്കു പോകാതിരിക്കത്തക്കവണ്ണം പ്രത്യേക കരുതലുകരം ജമ്മനി ചെയ്തിരിക്കുന്നതിൻെറ രഹസ്യം എന്തായിരിക്കാമെന്നും ഈ ഘട്ടത്തിൽ ഓമ്മിക്കേണ്ടതാണ്.''

മുകളിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നപ്രകാരം ഒരു ലേഖനമെഴുതുന്നതിനു് ഐൻസ്റ്റീനെ പ്രേരിപ്പിച്ച ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ലിയോ സിലാർഡ് (Leo Szilard), യൂജിൻ വിഗ്നർ (Eugene Wigner), എഡ്വാഡ് ടെല്ലർ (Edward Teller), എൻറിക്കോ ഫേർമി (Enrico Fermi) തുടങ്ങിയവരത്രേ. ഈ ലേഖനം പ്രസിഡൻറിനെ ഏൽപ്പിക്കുന്നതിനു നിയുക്തനായ ആരം റഷ്യയിൽ ജാതനായ ആളും, ന്യൂയോക്കിലെ സാമ്പത്തികവിദഗ്ദ്ധനുമായ അലക്സാണ്ടർ സാക്സ് (Alexander Sachs) എന്ന ദേഹമാണ്.

ഇതിനെത്തുടന്നു പ്രസിഡൻറ് മൂന്നുപേരുരംപ്പെട്ട ഒരുപദേശക

സമിതി രൂപവൽക്കരിക്കയും യുറേനിയം വിഘടനസ്സാവശ്യകമായ സാധനങ്ങരം വാങ്ങുന്നതിനുള്ള ധനം കൊളംബിയാ സവ്വകലാശാലയ്ക്കു നല്കുന്നതിനു വേണ്ട സജ്ജീകരണങ്ങരം നിവ്വഹിക്കയും ചെയ്തു.

1940 ഏപ്രിൽ 28-ാംതീയതി കൂടിയ സമിതി, ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരിൽനിന്നും ഗവേഷണപുരോഗമനത്തെക്കുറിച്ചുള്ള അഭിപ്രായപത്രികകരം സ്വീകരിച്ചു. ഈ കാലമായപ്പോഴേയ്ക്കും യുറേനിയത്തിൻെറ 'സ്ഥാനീയ'ത്രയത്തിൽ യു-235 മാത്രമാണു വിഘടനയോഗ്യമായിട്ടുള്ളതെന്നും, ഉദാസീനനിരലക്ഷങ്ങളാണ് (slow neutrons) ശീഘ്രനിരലക്ഷങ്ങളെ (fast neutrons) അപേക്ഷിച്ചു പ്രവത്തനസമത്ഥമായിട്ടുള്ളതെന്നും ശാസ്ത്രവിചക്ഷണന്മാർ പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും ഗ്രഹിച്ചുകഴിഞ്ഞു. ജമ്മനിയിലെ സുപ്രസിദ്ധ ഗവേഷണസ്ഥാപനമായ കൈസർ വിൽഹെം ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് (Kaiser Wilhelm Institute) യുറേനിയം വിഘടനയെ ലക്ഷ്യമാക്കി ഒരു നൂതനവകുപ്പു രൂപവൽക്കരിച്ചതായും തദ്വിഷയകമായ പ്രവർത്തനം ദ്രുതഗതിയിൽ നടത്തുന്നതായുമുള്ള അറിവു സമിതിക്കു ലഭിച്ചു. അതിനെത്തുടന്ന്, 1940 ജൂൺമാസത്തിൽ ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ഉരംപ്പെട്ട ഒരു പ്രത്യേക ഉപദേശകസമിതി സമ്മേളിച്ച് യുറേനിയം വിഘടനസ്സാവശ്യമുള്ള ഉപകരണങ്ങരം വാങ്ങുന്നതിനുവേണ്ടിയും, മററു പ്രാരംഭചെലവുകരംക്കുമായി 35,000 പവൻ ആവശ്യമാണെന്നു പ്രസിഡൻറിൻെറ ഉപദേശകസമിതിയെ അറിയിച്ചു. പക്ഷേ, ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരുരംപ്പെട്ട ഉപദേശകസമിതിയുടെ ശുപാശ്കരംക്ക് അനുസൃതമായി പ്രവത്തിക്കുന്നതിനു സൗകര്യം ലഭിക്കുന്നതിനു മുമ്പേ, പ്രസിഡൻറിൻെറ കമ്മിററി പ്രവത്തനങ്ങളിൽനിന്നു വിരമിക്കയും, ചുമതലകരം 'ദേശീയ പ്രതിരോധക ഗവേഷണ സമിതി' (National Defence Research Committee) എന്ന പേരോടുകൂടിയ ഒരു നൂതനസമിതിക്കു വിട്ടുകൊടുക്കുകയും ചെയ്തു.

അമേരിക്കയിൽ യുറേനിയം വിഘടനയെസ്സംബന്ധിച്ച പ്രവത്തനങ്ങരം ദ്രുതഗതിയിൽ നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കവേതന്നെ, ബ്രിട്ടീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരും യുറേനിയത്തെ അവലംബമാക്കിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങളിൽ വ്യാപൃതരായിരുന്നു. 1940, 1941 ഈ വത്സരങ്ങളിൽ ബ്രിട്ടീഷ് ശാസ്ത്രകാരന്മാരും, അമേരിക്കൻ ശാസ്ത്രകാരന്മാരും പരസ്പരം തങ്ങളുടെ ഗവേഷണഫലങ്ങളെ കൈമാററംചെയ്തു. പൊതുവേ പറയുന്നപക്ഷം ബ്രിട്ടീഷ്ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാക്ക് അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ

ആലംബമാക്കി അണുബോംബു നിമ്മിക്കാമെന്ന കാര്യത്തിൽ കൂടുതൽ ശുഭപ്രതീക്ഷയാണുണ്ടായിരുന്നതു്.

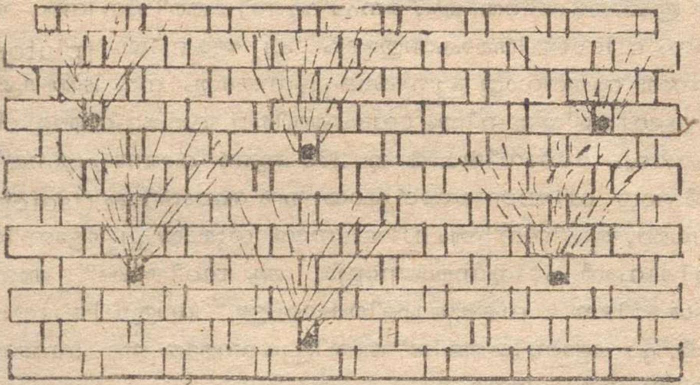
1941 ആയപ്പോഴേക്കും യുറേനിയത്തിൻെറ വിഘടനപരിപാടികഠം പൂവ്വാധികം വിപുലമാക്കുകയും, യുദ്ധത്തിൽ അണുപ്രവത്ത്കശക്തിയെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുമോയെന്നുള്ള അന്വേഷണം ശാസ്ത്രലോകം ശക്തിയായി നടത്തുകയും ചെയ്തു.

യുറേനിയം വിഘടനയുടെ സ്വയം പ്രവർത്തനക്ഷമത

1940-നും 1941-നും മദ്ധ്യത്തിലുള്ള കാലഘട്ടത്തിൽ കൊളംബിയാ സവ്വകലാശാലയിൽ പെഗ്രാമിൻെറ (Pegram) നേതൃത്വത്തിലും, ഫേർമിയുടേയും (Fermi), സിലാർഡിൻേറയും(Szilard) ചുമതലയിലും, യുറേനിയം വിഘടനയുടെ സ്വയംപ്രവത്ത്നക്ഷമതയെപ്പററി പരീക്ഷിക്കുന്നതിനുള്ള സജ്ജീകരണങ്ങഠം സംവിധാനം ചെയ്യപ്പെട്ടു. പൂണ്ണമായി സംസ്കരിക്കപ്പെട്ട യുറേനിയവും, ലിഖിജത്തിൻെറ (graphite) രൂപത്തിൽ സജ്ജീകരിക്കപ്പെട്ട നിമ്മലമായ അംഗാരവും (carbon) ആവശ്യത്തിനനുസരിച്ച തോതിൽ ശേഖരിച്ചു പരീക്ഷണങ്ങഠം ആരംഭിച്ചു.

മൂന്നടി നീളവും മൂന്നടി വീതിയും എട്ടടി ഉയരവും വരത്തക്കവണ്ണം ഗ്രാഫൈറ്റ് ഇഷ്ടികകളേക്കൊണ്ടു (graphite bricks) നിരനിരയായി പടുത്തുയത്ത്തിയിട്ടുള്ള ഒരു സ്തംഭത്തിൻെറ (pile) അധോഭാഗത്തായി നിരലകപ്രസരത്തിനു സാധകമായ ഒരു വസ്തുവിനെ നിക്ഷേപിച്ചാൽ, ഗ്രാഫൈററ് ഇഷ്ടികകളുടെ വിടവുകളിൽക്കൂടി പ്രയാണംചെയ്യുന്ന നിരലകങ്ങളുടെ (neutrons) ധമ്മത്തെ സൂക്ഷ്മമായി ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു കഴിയും.

മുകളിലേക്കു കെട്ടിപ്പടുത്തിട്ടുള്ള ഗ്രാഫൈററ് ഇഷ്ടികകളുടെ ഇടയിൽ നിശ്ചിതസ്ഥാനങ്ങളിലായി യുറേനിയം ലോഹഖണ്ഡങ്ങഠം നിക്ഷേപിച്ചിരിക്കും. ആദ്യമായി വിഘടിതമാകുന്ന യുറേനിയം–235-ൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന ശീഘ്രനിരലകങ്ങഠം(fast neutrons) മററൊരു യുറേനിയംഖണ്ഡത്തിൽ എത്തുന്നതിനുമുമ്പായി അവ ആത്യന്തികഘനത്തോടുകൂടിയ(critical mass) ലിഖിജത്തെ(graphite) തരണംചെയ്യേണ്ടിവരുന്നതിനാൽ ശീഘ്രനിരലകങ്ങളുടെ ഗതി



പടം 9

ഗ്രാഫൈററ് ഇഷ്ടികകളേക്കൊണ്ടുള്ള ജാലകസ്തംഭം
(Lattice pile)

വേഗംകുറഞ്ഞു് ഉദാസീനങ്ങളായി ഭവിക്കയും, യുറേനിയം ഖണ്ഡത്തിലെ സ്ഥാനീയമായ യു-235-ന മാത്രം അവയെ പിടിച്ചെടുക്കവാൻ സൗകര്യം ലഭിക്കയും ചെയ്യുന്നു. അപ്പോഠം ആ ഖണ്ഡത്തിലെ യു-235 വിഘടിതമാകുന്നു. തത്ഫലമായി പ്രസരിക്കപ്പെടുന്ന ശീഘ്ര നിരലക്തങ്ങഠം പിന്നെയും ഗ്രാഫൈററിനെ അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടി വരുന്നതിനാൽ അവയും ഉദാസീനങ്ങളായി ഭവിച്ചു വീണ്ടും വേറൊരു ഖണ്ഡത്തിലെത്തുമ്പോഠം, ആ ഖണ്ഡത്തിലെ യു-235-ൻെറ അണുക്കഠം വിഘടിക്കപ്പെടുന്നു. ഇപ്രകാരം അനുസ്യൂതമായി വിഘടനക്രിയ പുരോഗമിക്കുന്നു. ഈ ശൃംഖലപ്രക്രിയയ്ക്കു(chain reaction)ള്ള അടിസ്ഥാനവ്യവസ്ഥ, അതിനുവേണ്ടി ഉപയോഗിക്കുന്ന സാധനങ്ങളുടെ സംശുദ്ധി(purity)യും, ഗ്രാഫൈററ് ഇഷ്ടികകളുടെ നിശ്ചിതമായ ആത്യന്തികഘനവും(critical mass) ആകുന്നു.

യുറേനിയം-238-ൻെറ രൂപവിപരിണാമവും വിഘടനസാദ്ധ്യതയും

യുറേനിയം-238-ൻെറ രൂപവിപരിണാമത്തെപ്പററിയും വിഘടനസാദ്ധ്യതയെപ്പററിയും മുന്നൊരവസരത്തിൽ പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുണ്ടു്.

യുറേനിയത്തിൻെറ ഒരു സ്ഥാനീയമായ യു-238 ഒരു നിരലക്തത്തെ(neutron) ഗ്രഹിക്കുന്നതോടുകൂടി ഒരു അലക്തനത്തെ (electron)വിസജ്ജിക്കുന്നതുമൂലം 'നെപ്ററൂണിയം'(neptunium) എന്ന

ധാതു രൂപമെടുക്കുന്നതായും, നെപ്ററൂണിയത്തിൽനിന്നും, ഒരു അലക്തനം വിസജ്ജിതമാകുന്നതുമൂലം 'പ്ലൂട്ടോണിയം'(plutonium) എന്നൊരു നൂതനധാതു പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നതായും നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു.

ശുദ്ധമായ യുറേനിയം ലോഹത്തിന്റെ ഘടകാംശങ്ങളിൽ 99.3 ശതമാനവും സ്ഥാനീയമായ യു-238 ആണു കാണപ്പെടുന്നതു്. എന്നാൽ അതു വിഘടനയോഗ്യമായ ഒരു സ്ഥാനീയം (isotope) അല്ല. പക്ഷേ, അതിൽനിന്നും വിഘടനയോഗ്യമായ പ്ലൂട്ടോണിയത്തെ സൃഷ്ടിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണല്ലോ. ആ സ്ഥിതിക്കു്, അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ ലക്ഷ്യമാക്കിക്കൊണ്ടുള്ള ധാതുവിഘടനചരിത്രത്തിൽ, പ്ലൂട്ടോണിയത്തിനു് അതിപ്രധാനമായ ഒരു സ്ഥാനമുണ്ടെന്നു നിസ്സംശയം പറയാം.

കൊളംബിയാ സവ്വകലാശാലയിൽ, പെഗ്രാമിൻേറയും ഫേർമിയുടേയും സിലാർഡിൻേറയും നേതൃത്വത്തിൽ, യുറേനിയം വിഘടനയുടെ സ്വയംപ്രവത്തകക്ഷമതയെപ്പററിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ വിസ്തൃതമായി നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾത്തന്നെ, കാലിഫോർണിയാ സവ്വകലാശാലയിൽ ഈ. ഓ. ലോറൻസിൻേറയും (E. O. Lawrence), ഈ. സെഗ്രിയുടേയും (E. Segree) നായകത്വത്തിൽ 'പ്ലൂട്ടോണിയം'(plutonium) വിഘടനയെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള വിവിധ പരീക്ഷണങ്ങളും നിവ്വഹിക്കപ്പെട്ടുകൊണ്ടിരുന്നു.

1941 അവസാനിക്കുന്നതിനു മുമ്പായിത്തന്നെ പ്ലൂട്ടോണിയം വിഘടനയുടെ സാദ്ധ്യത സംസ്ഥാപിതമായിക്കഴിഞ്ഞു. ഇങ്ങനെ യുറേനിയം വിഘടനയെപ്പററിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ രണ്ടു സരണികളെയാണു് അവലംബിച്ചിരുന്നതു്. ഒന്നു്, യുറേനിയം-238-ൽനിന്നും 235-നെ വിയോജിപ്പിച്ചു്, 235-നെ വിഘടിപ്പിക്കുക. രണ്ടു്, യുറേനിയം-238-നെത്തന്നെ വിഘടനയോഗ്യമായ പ്ലൂട്ടോണിയമായി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുക. ഈ രണ്ടു മാർഗ്ഗങ്ങളേയും ഒരുപോലെ വികസിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള ശ്രമങ്ങളാണു് ഈ കാലയളവിൽ നടന്നുകൊണ്ടിരുന്നതു്.

യുറേനിയം-238-ൽനിന്നും യുറേനിയം-235 നെ എങ്ങനെ വിയോജിപ്പിക്കാം

രാസധമ്മത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം യുറേനിയത്തിൻെറ സ്ഥാനീയങ്ങളായ 238-ം, 235-ം സമാനഭാവത്തിൽ വത്തിക്കുന്നവ

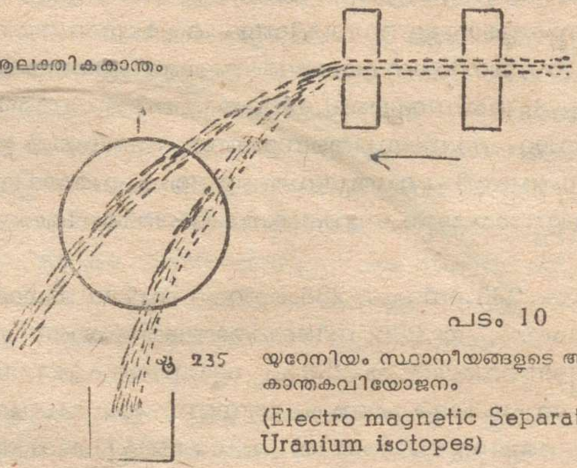
യാണ്. ഇവ രണ്ടും ദ്രവരൂപത്തിലാകുന്നതു് ഒരേ ഉഷ്ണതയിലാകുന്നു. ഇതരവസ്തുക്കളുമായുള്ള രാസക്രിയയും ഒരുപോലെതന്നെ. ഈ സ്ഥിതിക്കു രസായനികാനുഷ്ഠാനങ്ങളെക്കൊണ്ടു് ഇതര യൗഗികങ്ങളെ (compounds)യെന്നപോലെ ഇവയെ തമ്മിൽ വേർതിരിക്കുക എന്നതു മിക്കവാറും അസാദ്ധ്യംതന്നെയാണു്. അതിനാൽ ഇവയുടെ ബീജങ്ങൾ സംബന്ധിച്ച വ്യത്യാസങ്ങളെ ആലംബമാക്കിയുള്ള ഒരു വിയോജനസമ്പ്രദായമാണു ഗവേഷകന്മാക്കു പരീക്ഷിക്കേണ്ടിയിരുന്നതു്.

യുറേനിയം-235-ൻെറയും, 238-ൻെറയും ബീജധമ്മങ്ങളെ താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ, യു-235 നിരലക്താഘാതംകൊണ്ടു രണ്ടായി വിഭജിക്കപ്പെടുന്നുവെങ്കിൽ, യു-238 പ്ലൂട്ടോണിയം എന്നൊരു കൃത്രിമധാതുവായി വേഷംമാറുകയാണു ചെയ്യുന്നതു്. ഈ വ്യത്യാസത്തെ ആസ്പദമാക്കി രണ്ടിനേയും തമ്മിൽ വിയോജിപ്പിക്കുവാൻ ശ്രമിച്ചാൽ, യുറേനിയം-235-നെ നശിപ്പിക്കാമെന്നല്ലാതെ വേറെ പ്രയോജനം ഒന്നും സിദ്ധിക്കുന്നില്ല. അതിനാൽ ഇവയെ വേർതിരിക്കുന്നതിനു് ഇതരമാർഗ്ഗങ്ങളെ സ്വീകരിക്കേണ്ടതായിവരുന്നു.

മേൽപ്പറഞ്ഞ രണ്ടു സ്ഥാനീയങ്ങൾക്കും തമ്മിലുള്ള വേറൊരു വ്യത്യാസം അവയുടെ ഭാരങ്ങളെ സംബന്ധിച്ചാണു്. യു-235, യു-238-നേക്കാൾ ഭാരം കുറഞ്ഞതാണു്, ആ സ്ഥിതിക്കു് ആലക്തികകാന്തപരമായ വിയോജനവിധി(electro magnetic separation method) അംഗീകരിക്കരുതോ എന്നു ഗവേഷകന്മാർ നിരൂപിച്ചു.

സ്വാഭാവികമായിത്തന്നെ ഘനരൂപത്തിലുള്ള (solid) യുറേനിയത്തെ രാസയോഗക്രിയകൊണ്ടു വാതകരൂപത്തിലാക്കുകയും, ആ വാതകത്തെ അയനീകരിച്ചു് (ionized), അയനധാരയെ ഭീമമായ ഒരു കാന്തക്ഷേത്രത്തിൽക്കൂടി (magnetic field) പ്രസരിപ്പിക്കുയും ചെയ്താൽ, അവയുടെ ഭാരങ്ങളെ ആശ്രയിച്ചു് അയനധാരയുടെ പ്രയാണത്തിൽ ഗതിഭേദം സംഭവിക്കാവുന്നതുകൊണ്ടു്, ഇവ രണ്ടിനേയും വിയോജിപ്പിക്കാവുന്നതാണെന്നു ശാസ്ത്രവേദികൾ നിശ്ചയിച്ചു.

ആലക്തികകാന്തപരമായ വിയോജനസമ്പ്രദായത്തിലെ അതിപ്രധാനമായ വൈഷമ്യം, അതിശീഘ്രത്തിൽ പ്രയാണം ചെയ്യുന്നതിനു സമത്ഥവും, സുശക്തവും ആയ അയനധാരയെ (ion beam) ഉത്പാദിപ്പിക്കുവാനുള്ള ക്ലേശമാണു്. തന്നെയുമല്ല, അയനധാരയിലെ സമാനാലക്തികബിന്ദുക്കളുടെ സംകേന്ദ്രണം (concentration)



പടം 10

യുറേനിയം സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ ആലക്തിക കാന്തകവിയോജനം
(Electro magnetic Separation of Uranium isotopes)

കൊണ്ടുളവാകുന്ന വികർഷണം (repulsion) അയനധാരയെ പതറിപ്പിക്കുന്നതിനു കാരണവുമാകുന്നു. യുറേനിയം സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ (isotopes) വിസ്തൃത തോതിലുള്ള വിയോജനത്തിന് ഈ ദോഷങ്ങൾ ബാധകമായിത്തീരുന്നു. പ്രസ്തുത ദോഷങ്ങളെ പരിഹരിക്കുന്നതിനു വേണ്ടിയാണ് 'സൈക്ലോട്രോണി'ന്റെ വിധായകനായ ഇ. ഒ. ലോറൻസ് (E. O. Lawrence) നവീനമായ ഒരു 'ഘനാന്തര വിയോജിനി' (mass separator) സൃഷ്ടിച്ചതു്.

104 അംഗുലം വ്യാസമുള്ള ഭീമാകാരമായ ഒരാലക്തികകാന്തമാണ് ലോറൻസ് ഉപയോഗിച്ചതു്. 'കാലിഫോർണിയാ യൂണിവേഴ്സിറ്റി സൈക്ലോട്രോൺ' (California University Cyclotron) എന്നതിന്റെ സംക്ഷിപ്തരൂപമായ 'കാലുട്രോൺ' (calutron) എന്ന പേരിലാണ് ഇതു് അറിയപ്പെടുന്നതു്. ഈ കാന്തത്തിന്റെ സഹായത്തോടുകൂടിത്തന്നെയും, മണിക്കൂറൊന്നിന് ഒരു 'മൈക്രോ ഗ്രാം' (ഒരു ഗ്രാമിന്റെ 10 ലക്ഷത്തിലൊരംശം) എന്ന നിരക്കിൽ മാത്രമേ യുറേനിയം–235-നെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുവാൻ അദ്ദേഹത്തിനു കഴിഞ്ഞുള്ളു. ഈ നിരക്കിൻപ്രകാരം, ഒരു കിലോഗ്രാം (2 പൗണ്ട്) യുറേനിയം–235 ലഭിക്കണമെങ്കിൽ ഉദ്ദേശം ഒരുലക്ഷം സംവത്സരങ്ങൾ വേണ്ടിവരുന്നു. യുറേനിയം–235 ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള ലോറൻസിന്റെ മാർഗ്ഗം അപ്രായോഗികമാണെന്നു തോന്നാമെങ്കിലും, ഈ മാർഗ്ഗ

ത്തെ അവലംബിച്ചുതന്നെയാണ് അണുബോംബിനാവശ്യമുള്ള യുറേനിയം-235 പ്രഥമമായി ഉത്പാദിപ്പിച്ചതു്. അമേരിക്കൻ ഗവമ്മെൻറ് ക്ലിൻറനിൽ (Clinton) ഭീമമായ ഒരു അണുനിമ്മാണശാല സ്ഥാപിച്ച പ്രവത്തനം നടത്തിയതു് ലോറൻസിൻെറ മാഗ്ഗത്തെ സ്വീകരിച്ചായിരുന്നു.

യുറേനിയത്തിന്റെ സ്ഥാനീയങ്ങളെ (isotopes) തമ്മിൽ വേർതിരിക്കുന്നതിനുള്ള മറെറാരു മാഗ്ഗം, അവയുടെ സാന്ദ്രത(density)യിലുള്ള വൈവിദ്ധ്യത്തെ ആധാരമാക്കിയാണ്.

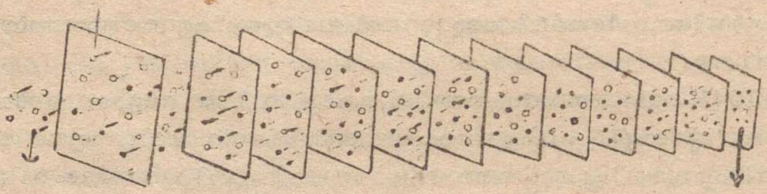
പാലുകടഞ്ഞു വെണ്ണയുണ്ടാക്കുന്നവിധം നമുക്കേവക്കും സുപരിചിതമാണല്ലോ. പാലും വെണ്ണയും തമ്മിൽ വേർതിരിയുന്നതു് ഏതു തത്വത്തെ ആസ്പദമാക്കിയാണ്? പാൽ കടയുമ്പോഠം ലഘുഭാരാത്മകമായ വെണ്ണയുടെ അംശം ഉപരിതലത്തിൽ ഉയരുന്നതോടൊപ്പം ഭാരംകൂടിയ ദ്രവാംശം അധോഗമിക്കയും ചെയ്യുന്നു. ഇതുപോലെ യുറേനിയത്തെ വാതകമായോ ദ്രാവകമായോ രൂപാന്തരപ്പെട്ടുത്തിക്കടയുന്ന പക്ഷം, ന്യൂനഭാരത്തോടുകൂടിയ യുറേനിയം-235, യുറേനിയം-238-ൽനിന്നു വിയോജിക്കപ്പെടുവാൻ വഴിയുണ്ടു് എന്നു ന്യായമായി ഊഹിക്കാം.

1941-ൻെറ അവസാനത്തിൽ കൊളംബിയാ സവ്വകലാശാലയിലെ 'യൂറേ' (Urey) എന്ന വൈജ്ഞാനികൻെറ മേൽനോട്ടത്തിൽ ഉപരി പ്രസ്താവിച്ച മാഗ്ഗത്തെ ആധാരമാക്കി പരീക്ഷണങ്ങഠം വിജയകരമാംവിധം നടത്തപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. പക്ഷേ, ഈ മാഗ്ഗം വളരെ വ്യയഹേതുകമായ ഒരു മാഗ്ഗംതന്നെയാണ്.

യുറേനിയം സ്ഥാനീയങ്ങളെ (isotopes) തമ്മിൽ വിയോജിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള മൂന്നാമത്തെ മാഗ്ഗം 'വാതകാഭിസരണ'മാർഗ്ഗം (gaseous diffusion method) ആകുന്നു. ഇതും അവയുടെ ഭാരങ്ങളുടെ വൈവിദ്ധ്യത്തെ ആസ്പദമാക്കിയാണ്. നിയോൺ വാതകത്തിൻെറ (neon) സ്ഥാനീയങ്ങളായ നിയോൺ-20 നിയോൺ-22 ഇവയെ തമ്മിൽ വിയോജിപ്പിക്കുന്നതിനു് ആസ്റ്റൻ (Aston) സ്വീകരിച്ച മാഗ്ഗം ഇതുതന്നെയായിരുന്നു.

ഈ മാഗ്ഗത്തെ ആശ്രയിക്കണമെങ്കിൽ, യുറേനിയത്തെ വാതകരൂപത്തിൽ ആക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. സാധാരണ ഉഷ്ണാവസ്ഥയിൽ, യുറേനിയത്തിൻേറയും, ഫ്ളോറിൻേറയും (fluorine) യൗഗികമായ യുറേനിയം ഹെക്സാ ഫ്ളോറൈഡ് (uranium hexa fluoride) ഒരു

ഘനവസ്തുവാണെങ്കിലും (solid) ഉപരൃഷ്ണത്തിൽ അതു ഭാരമേറിയ വാതകമായി മാറുന്നു. ഈ വാതകം അതിസൂക്ഷ്മസുഷിരാത്മകമായ ഒരു തകിടിൽക്കൂടി കടത്തിവിടുന്നതിനു ശ്രമിച്ചാൽ ന്യൂനഭാരാത്മകമായ യുറേനിയം–235 അടങ്ങിയ വാതകമൂലകങ്ങൾ (gas molecules), യുറേനിയം–238–ൻെറ വാതകമൂലകങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച തകിടിൽക്കൂടി വേഗത്തിൽ കടക്കുന്നു. അങ്ങനെ തകിടിനപ്പുറം കടക്കുന്ന വാതകത്തിൽ യുറേനിയം–235 ആയിരിക്കും ബഹുലമായി കാണുക. അരിച്ചെടുത്ത വാതകത്തെ വീണ്ടും ഒരു തകിടിൽക്കൂടി കടത്തിയാൽ, യുറേനിയം–235-നെ കുറേക്കൂടി സംകേന്ദ്രണം ചെയ്‌വാൻ (concentrate) കഴിയുന്നതാണു്. ഇപ്രകാരം വാതകത്തെ അനേക രോധകഫലകങ്ങളിൽക്കൂടി (barrier plates) കടത്തിവിടുന്നതോടുകൂടി വാതകത്തിലെ യുറേനിയം–235–ൻെറ ശതമാനവും വർദ്ധിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കും.



പടം 11

രോധകഫലകങ്ങളിൽക്കൂടിയുള്ള വാതകാഭിസരണമാർഗ്ഗം

(Gaseous diffusion through barrier plates)

കൊളംബിയാ സവ്വകലാശാലയിൽവച്ചു നടത്തിയ പരീക്ഷണങ്ങളും അവയെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള ഗണനകളും (computations) വച്ചു നോക്കുമ്പോൾ, ദിവസം ഒന്നിനു രണ്ടു പൗണ്ടു് യുറേനിയം–235 ലഭിക്കുന്നതിനു് ഏതാണ്ടു് 5,000 അഭിസരണഘട്ടങ്ങൾ (stages of diffusion) ആവശ്യമാണെന്നു കാണുന്നു. വാതകങ്ങൾ കടത്തിവിടുന്നതിനുള്ള രോധകഫലകങ്ങളുടെ ആകെയുള്ള വിസ്താരം അനേകം ഏക്കറുകളാണെന്നു കാണാം.

അണുബോംബ്
Atom Bomb

വിഘടനയോഗ്യങ്ങളായ രണ്ടു വസ്തുക്കൾ—ഒന്നു്, യുറേനിയം 235; വേറൊന്നു് യുറേനിയം 238-ൻെറ വിപരിണാമഫലമായി സിദ്ധിക്കുന്ന പ്ളൂട്ടോണിയം (plutonium).

യുറേനിയം 238-ൻെറ രൂപാന്തരത്തിനു നിരലക്തങ്ങൾ (neutrons) അവശ്യം വേണ്ട ഒരു ഘടകമാണു്. യുറേനിയം 235-ൽ നടക്കേണ്ട ശൃംഖലപ്രക്രിയ(chain reaction)കൊണ്ടു മാത്രമാണു് നിരലക്തങ്ങൾ ലഭിക്കേണ്ടതും. യു-235-ൻെറ വിഘടനംമൂലം ഉളവാകുന്ന ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങളെ (fast neutrons), യുറേനിയം 238 ഗ്രഹിക്കുന്നതുമൂലം അവ അസ്ഥിരാത്മകമായി (unstable) ഭവിക്കുന്നതുകൊണ്ടാണു രൂപാന്തരം സംഭവിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ ഈ വിപരിണാമക്രിയയെ അനുസ്യൂതമാക്കുന്നതിനു് ആവശ്യകമായ ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങളെ ലഭിക്കണമെങ്കിൽ ഉദാസീനനിരലക്ത (slow neutrons) ങ്ങളുടെ ആഘാതംകൊണ്ടു യുറേനിയം–235 വിഘടിതമായെങ്കിലേ സാധിക്കയുള്ളു. അതിനാൽ ശീഘ്രനിരലക്തത്തെ (fas neutron) ഉദാസീനനിരലക്തമാക്കുന്നതിനു പററിയ 'മിതകാരിണി'(moderator)യാണു സാന്ദ്രജലം (heavy water). എന്നാൽ സാന്ദ്രജലത്തെ അപേക്ഷിച്ച് 'മിതകാരിണി'യാകുവാനുള്ള യോഗ്യത 'ലിഖിജ'(graphite)ത്തിനാണെന്നു തെളിഞ്ഞതിനാൽ ഡോക്ടർ ഫേർമിയുടെ (Dr. Fermi) നേതൃത്വത്തിൽ ഒരു 'ജാലകസ്തംഭം' (lattice pile) നിർമ്മിക്കപ്പെടുകയും, ചിക്കാഗോ സർവ്വകലാശാലയിൽ വച്ചു വളരെ ഗോപ്യമായ രീതിയിൽ ചില പ്രാരംഭപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തപ്പെടുകയും ചെയ്തു. ചിക്കാഗോയിലെ 'സ്റ്റാഗ്ഫീൽഡ്' സ്റ്റേഡിയത്തിലാണു് (Stagfield Stadium) ഭീമാകാരത്തോടുകൂടിയ പ്രസ്തുത സ്തംഭം ഉറപ്പിച്ചതു്. യുറേനിയംശകലങ്ങൾ നിക്ഷേപിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള ഗ്രാഫൈററ് ഇഷ്ടികകളെക്കൊണ്ടു ക്രമമായി കെട്ടിപ്പടുത്തിട്ടുള്ള ഈ സ്തംഭത്തിൻെറ വിടവുകളിൽക്കൂടി ഇച്ഛാനുസരണം നീക്കംചെയ്യുവാൻ സമർത്ഥമായവിധം കാഡ്മിയംശലാകകൾ

(cadmium rods) പ്രവേശിപ്പിച്ചിരുന്നു. രൂപവിപരിണാമത്തിനു വിധേയമാകാതെ നിരലക്ത്തങ്ങളെ ആകർഷിക്കുവാനുള്ള കാഡ്മിയത്തിൻെറ കഴിവിനെ ആധാരമാക്കിയാണു് കാഡ്മിയംശലാകകൾ ഉപയോഗിച്ചിരുന്നതു്. അതായതു് നിരലക്തങ്ങളുടെ ശൃംഖലപ്രക്രിയ നിയന്ത്രണാതീതമായിത്തീരുവാനിടയുള്ളതിനാൽ നിയന്ത്രണാതീതഭാവത്തെ തടയുക എന്നതാണു് ഇവയുടെ പ്രയോജനം.

ഈ ജാലക'സ്തംഭ'ത്തിൻെറ നിമ്മാണം 1942 നവംബറിൽ പൂത്തിയായി, എങ്കിലും പ്രവത്തനം ആരംഭിച്ചതു് 1942 ഡിസംബർ രണ്ടാം തീയതിയായിരുന്നു. ഇങ്ങനെ അണുക്കളിൽ നിഹിതമായിരുന്ന പ്രവത്തകശക്തിയെ കൃത്രിമമായി വിമോചിപ്പിച്ചു് ഒരു ഉജ്ജ്വലധാരയായി പ്രവഹിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധിച്ചതു് ലോകചരിത്രത്തിൽ ഒരത്ഭുതസംഭവമായി കരുതാം. ഈ പ്രഥമസ്തംഭത്തിൽനിന്നും പ്രവഹിച്ച പ്രവത്തകശക്തിയുടെ നിരക്കു് 200 വാട്ടു് (200 watts) ആണു്. പ്രവത്തകശക്തിയുടെ പരിമാണത്തെ പൂവ്വാധികം വദ്ധിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുമായിരുന്നുവെങ്കിലും, സ്തംഭത്തിൽനിന്നും നിരലക്ത്തങ്ങളുടെ ഉജ്ജ്വലമായ പ്രസരണം പരിസരത്തിലുള്ള മനുഷ്യവഗ്ഗത്തിനു ഹാനികരമായിത്തീരുവാൻ ഇടയുണ്ടായിരുന്നതുകൊണ്ടു ശക്തിവേഗത്തെ വദ്ധിപ്പിക്കുവാനുള്ള യത്നത്തിൽനിന്നും തൽപ്രവത്തകന്മാർ വിരമിക്കയാണു ചെയ്തതു്.

പ്ലൂട്ടോണിയം

(Plutonium)

ഫേർമിസ്തംഭം (Fermi pile) പ്രശസ്തമായ ഒരു ശാസ്ത്രീയസിദ്ധിയായി കരുതാമെന്നിരുന്നാലും, അണുപ്രവത്തകശക്തി സൗകര്യപ്രദമായി ഉദ്വമിപ്പിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ ഒന്നാണെന്നു പറഞ്ഞുകൂടാ. യുറേനിയം 235-ൻെറ ഓരോ അണുവും വിഘടിതമാകുമ്പോൾ പുറപ്പെടുന്ന നിരലക്ത്തങ്ങളിൽ ഒരെണ്ണമെങ്കിലും അതേ സ്ഥാനീയത്തിൻെറ വേറൊരണുവിൽ സന്ധിച്ചു് അതിനേയും വിഘടിപ്പിക്കുന്നതുമൂലം വിഘടനക്രിയ അനുസ്യൂതമായിത്തീരുന്നു. ഇങ്ങനെ വിഘടനക്രിയ അനുസ്യൂതമായി പുരോഗമിക്കുമ്പോഴാണു് 'ജാലകസ്തംഭം' സ്വയം പ്രവത്തനക്ഷമമാകുന്നു (self sustaining) എന്നു പറയുന്നതു്. പക്ഷേ, ഒരു വൈഷമ്യം ഇവിടെ ചിന്തിക്കേണ്ടതുണ്ടു്. യുറേനിയം 235-ൻെറ ഒരു അണു വിഘടിക്കുന്നതിൽനിന്നും

ഒന്നിലധികം നിരലക്'തങ്ങളാണല്ലോ ഉത്ഭവിക്കുക. അപ്പോഠം ശേഷിച്ചിട്ടുള്ള നിരലക്'തങ്ങഠംക്ക് എന്തു സംഭവിക്കുന്നു എന്നറിയേണ്ടതാണ്. യുറേനിയംലോഹത്തിൽ, അതിൻെറ ഒരു സ്ഥാനീയമായ യു-238 ആണ് ഏറിയ ശതമാനവും കാണപ്പെടുന്നതു്. ആ സ്ഥിതിക്കു് ഈ നിരലക്'തങ്ങളെ ഗ്രഹിക്കുന്നതു് (capture) യുറേനിയം 238-ൻെറ അണുക്കഠംതന്നെയായിരിക്കണം. ഇപ്രകാരമുള്ള 'നിരലക്'തഗ്രഹണം'മൂലം, യുറേനിയം 238-നുണ്ടാകുന്ന വിപരിണാമങ്ങളെ സംബന്ധിച്ചു മുമ്പുതന്നെ പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ടു്. യുറേനിയം 238 നെപ്'റ്റ്യൂണിയമായും, (neptunium) പിന്നീടു വിഘടനയോഗ്യമായ പ്'ളൂട്ടോണിയമായും, (plutonium) പരിണമിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരം ചിന്തിച്ചാൽ ഒരു 'ജാലകസ്തംഭം'(lattice pile), യുറേനിയം-238 നെ പ്'ളൂട്ടോണിയം 239 ആയി വിപരിണമിപ്പിക്കുന്ന ഒരു നിമ്മാണശാല(factory)യെന്നു പറയുന്നതായിരിക്കും കുറെക്കൂടി ശരിയായിട്ടുള്ളതു്.

യുറേനിയത്തിൽനിന്നും സിദ്ധിക്കുന്ന പ്ലൂട്ടോണിയം, യുറേനിയത്തോടു രാസബന്ധം പുലത്താത്ത ഒരു വ്യത്യസ്തധാതുവായതിനാൽ പ്ലൂട്ടോണിയത്തെ നിഷ്പ്രയാസം വേർതിരിച്ചെടുക്കുവാൻ സാധിക്കും. 'ലിഖിജസ്തംഭ'ത്തെ (graphite pile) അവലംബമാക്കിയുള്ള മാഗ്ഗത്തിലൂടെ പ്ലൂട്ടോണിയത്തെ ഉത്'പാദിപ്പിച്ചു വിയോജിപ്പിക്കാമെന്നുള്ള സംഗതി അസന്ദിഗ്ദ്ധമായതോടുകൂടി വിസ്'തൃതപരിമാണത്തിൽ പ്ലൂട്ടോണിയം സമ്പാദിക്കുന്നതിനുള്ള ശ്രമം ആരംഭിച്ചു. ടെനേസ്സി താഴ്'വരയിലുള്ള 'ക്ലിന്റൻ'(Clinton) എന്ന സ്ഥലത്തു് ഒരു ഭീമമായ 'ലിഖിജസ്തംഭം' (graphite pile) പണിതീത്തു പ്രവത്തനം ആരംഭിച്ചു. 1943 നവംബറിൽ പ്രവത്തനം തുടങ്ങിയ ക്ലിന്റൻ സ്തംഭം(Clinton pile) ചിക്കാഗോവിലുണ്ടായിരുന്നതിനെ അപേക്ഷിച്ചു്, അതിവിപുലവും, നിരലക്തപ്രസരം(neutron radiation) കൊണ്ടുണ്ടാകാവുന്ന അത്യാഹിതങ്ങളെ പ്രതിരോധിക്കുന്നതിനു മതിയായവിധത്തിൽ കോൺക്രീററുമതിലുകളെക്കൊണ്ടു സുരക്ഷിതമാക്കപ്പെട്ടതുമായിരുന്നു. ശകലിതമായ യുറേനിയം ഖണ്ഡങ്ങഠം ഗ്രാഫൈററ് ഇഷ്ടികയിൽ നിക്ഷേപിക്കുന്നതിനു പകരം യുറേനിയത്തിൻെറ വത്തുളശലാകകളാണു് (cylindrical rods) ലിഖിജസ്തംഭത്തിൽ വിന്യസിച്ചിരുന്നതു്. ആവശ്യത്തിനുള്ള പ്ലൂട്ടോണിയം ഉണ്ടായിക്കഴിഞ്ഞാൽ ഈ ശലാകകളെ നീക്കംചെയ്യാവുന്നതു

മാണ്. ഇവയുടെ ഉഷ്ണത(temperature) വദ്ധിച്ച് അനിയന്ത്രിതമായിത്തീരാതിരിക്കുവാൻവേണ്ടി ശൈത്യോപകരണങ്ങൾ നിരന്തരം പ്രവത്തിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കും. സ്തംഭത്തോടു ചേന്ന സകല പ്രവത്തനങ്ങളേയും നിയന്ത്രിച്ചതു വളരെ ദൂരത്തിൽ നിമ്മിച്ചിട്ടുള്ള വമ്പിച്ച മതിലുകളുടെ മറവിൽ സ്ഥാപിതങ്ങളായ യന്ത്രവിധാനങ്ങളെക്കൊണ്ടായിരുന്നു. 1944 മാർച്ച് ആയപ്പോഴേയ്ക്കും അനേകം ഗ്രാം ശുദ്ധമായ പ്ലൂട്ടോണിയം ശേഖരിക്കുന്നതിനു കഴിഞ്ഞു.

പ്രപഞ്ചത്തിലെവിടേയും ദൃശ്യമല്ലാത്ത ഒരു അപൂവ്വധാതുവിനെ കൃത്രിമമായി നിമ്മിച്ച്, അല്പമായിട്ടെങ്കിലും ശേഖരിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞതു ശാസ്ത്രലോകത്തിൻെറ ഒരു വലിയ നേട്ടമായിരുന്നുവെന്നു സമ്മതിക്കാമെങ്കിലും, ഒരണുബോംബുനിമ്മാണത്തിനു് ആവശ്യമായവിധം വിപുലമായ തോതിൽ പ്ലൂട്ടോണിയം ഉത്ഭവിപ്പിക്കുവാൻ ക്ലിൻറനിലെ സ്തംഭം അപര്യാപ്തമായിരുന്നു. യുദ്ധം അതിൻെറ മൂർദ്ധന്യാവസ്ഥയിൽ എത്തിയിരിക്കുന്ന നിലയ്ക്കു്, അണുബോംബിനുവേണ്ടിയുള്ള പ്ലൂട്ടോണിയം നിമ്മാണം പൂവ്വാധികം ഊജ്ജിതപ്പെടുത്തേണ്ടതായി ബോധപ്പെട്ടതിനാൽ, ഒരു വമ്പിച്ച പ്ലൂട്ടോണിയനിമ്മാണകേന്ദ്രം കൊളംബിയാനദീതീരത്തിലുള്ള വാഷിംഗ്ടൺപ്രദേശത്തു് അമേരിക്കൻഗവമ്മെൻറ് സ്ഥാപിച്ചു. കൊളംബിയാനദിയിലെ ശൈത്യമേറിയ ജലം, പ്ലൂട്ടോണിയത്തിൻെറ പാചകത്തിനുവേണ്ടിയുള്ള അതിഭീമാകാരങ്ങളായ ലിഖിജസ്തംഭങ്ങളെ(graphite pile) തണുപ്പിക്കുന്നതിനു പ്രയോജനപ്പെട്ടു. ദിവസം ഒന്നിനു് 1000 ഗ്രാം പ്ലൂട്ടോണിയം പാകപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുന്ന ഒരു സ്തംഭത്തിൽനിന്നും ഓരോ മിനിററിലും 150 ടൺ ഹിമജലത്തെ വീതം തിളപ്പിക്കുവാൻ കഴിയത്തക്ക ഉഷ്ണം പ്രസരിക്കുന്നുവെങ്കിൽ സ്തംഭത്തോടനുബന്ധിച്ച ശൈത്യവിധാനങ്ങളുടെ പ്രാധാന്യം വെളിവാകുന്നതാണല്ലോ. 'ഹാൻഫോർഡ് നിമ്മാണകേന്ദ്രം' (Hanford plant) എന്നു സുവിജ്ഞാതമായ ഈ മഹാസ്ഥാപനത്തിൻെറ ഉത്ഘാടനം 1943 ജൂൺമാസത്തിലായിരുന്നുവെങ്കിലും, 1945-ലാണു പ്രവത്തനം അതിൻെറ പരിപൂണ്ണതയിലെത്തിയതു്. ഹാൻഫോർഡ് നിമ്മാണകേന്ദ്രത്തിനും അതിനോടനുബന്ധിച്ച പ്രവത്തനശാലകൾക്കുംവേണ്ടി ഏതാണ്ടു് 1000 ഏക്കറോളം സ്ഥലമാണു വേണ്ടിയിരുന്നതു്.

യുറേനിയംസ്ഥാനീയത്തിൻെറ വിപുലമായ നിർമ്മാണപരിപാടി

പ്ലൂട്ടോണിയത്തിൻെറ വിപുലമായ നിർമ്മാണപരിപാടികളോടൊപ്പം, യുറേനിയംസ്ഥാനീയമായ യു–235–ൻെറ വിസ്തൃതമായ തോതിലുള്ള ശേഖരണമാർഗ്ഗങ്ങളും പുരോഗമിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നു.

യുറേനിയം–235–ൻെറ വിയോജനത്തിനുള്ള അതിപ്രധാനമായ പ്രായോഗികമാർഗ്ഗം 'വാതകാഭിസരണമാർഗ്ഗം' (gaseous diffusion method) ആകുന്നുവെന്നു മുമ്പു പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഈ മാർഗ്ഗത്തെ ആസ്പദമാക്കിയാണ പ്രവർത്തനങ്ങൾ പുരോഗമിച്ചതു്. ഒരു അണുബോംബിൻെറ ആവശ്യത്തിലേക്കു വേണ്ട യുറേനിയം–235-ന്റെ പരിമാണം ഒരു ചെറുനാരങ്ങയുടെയത്രയും ആകുന്നുവെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽത്തന്നെ, അത്രയും 'സ്ഥാനീയം' ലഭിക്കുന്നതിനു് അനേകായിരം പൗണ്ടു് യുറേനിയം സംസ്കരിച്ചെടുക്കേണ്ടതായിട്ടാണിരിക്കുന്നതു്. ഈ ലക്ഷ്യപ്രാപ്തിക്കുവേണ്ടിയാണു് ടെനേസ്സിതാഴ്‌വരയിൽ ഓക്‌റിഡ്ജ് (Oakridge) എന്ന പ്രദേശത്തു മഹത്തായ ഒരു വിയോജകനിർമ്മാണകേന്ദ്രം സ്ഥാപിക്കപ്പെട്ടതു്. 1944-ൻെറ മദ്ധ്യഘട്ടമായപ്പോഴേക്കും യുറേനിയംസ്ഥാനീയത്തിൻെറ വിയോജനം അതിന്റെ സമ്പൂർണ്ണതയിൽ എത്തി എന്നു പറയാം. ഓക്‌റിഡ്ജിൽത്തന്നെ യുറേനിയം–235–ൻെറ വിയോജനത്തെ ഉദ്ദേശിച്ചു് ഒരു ആലക്തികകാന്തവിയോജനകേന്ദ്രവും സ്ഥാപിതമായി. 1944–നും, 1945–നും മദ്ധ്യത്തിലുള്ള കാലയളവിൽ, അണുബോംബിൻെറ നിർമ്മാണത്തിനാവശ്യമുള്ള യുറേനിയം–235 ഈ നിർമ്മാണകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നും ലഭിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നു.

അണുവിസ്ഫോടനം

(Atom Explosion)

ഹാൻഫോർഡിലെ നിർമ്മാണകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നു പ്ലൂട്ടോണിയവും, ഓക്‌റിഡ്ജ് നിർമ്മാണകേന്ദ്രങ്ങളിൽനിന്നു യുറേനിയം–235-ം ലഭിക്കുന്നതിനുള്ള വിപുല പരിപാടികളെപ്പററി പ്രസ്താവിച്ചുവല്ലോ. ഇനിയും വിഘടനയോഗ്യങ്ങളായ ഈ വസ്തുക്കളെ ബോംബു നിർമ്മാണത്തിനു പ്രയോജകീഭവിപ്പിക്കുന്നതു് എങ്ങനെയെന്നു വിചിന്തനം ചെയ്യേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

ഒരു ബാഹ്യനിരലകത്തിൻെറ ആഘാതംകൊണ്ടു് ഒരു അണു വിഘടിതമായി എന്നു സങ്കല്പിക്കുക. ഈ വിഘടനഫലമായി പ്രസരിക്കുന്ന നിരലകങ്ങളിൽ ഒന്നിനു മാത്രമേ യുറേനിയം-235-ൻെറ വേറൊരണുവിനെ വിഘടിപ്പിക്കുവാൻ കഴികയുള്ളു. ഈ നിരക്കിനു വിഘടനക്രിയ പുരോഗമിച്ചാൽ വിഘടനം അനുസ്യൂതമായി നടക്കുന്നതാണു്. അതായതു വിഘടനക്രിയയിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന നിരലകങ്ങളിൽ ഓരോന്നു മാത്രമേ ഓരോ അണുക്കളെ ഒരേ സമയത്തു വിഘടിപ്പിക്കുന്നുള്ളു എന്നാകുന്നിതിൻെറ അൎത്ഥം. നിരനിരയായി കോൎത്തുകെട്ടിയിരിക്കുന്ന ഒരു മാലപ്പടക്കത്തിലെ ഒരു പടക്കത്തിനു മാത്രമേ നാം തീ കൊളുത്തുന്നുള്ളല്ലോ. അതു സമീപവൎത്തിയായ മറെറാരു പടക്കത്തിൻെറ വിസ്ഫോടനത്തിനു കാരണമാകുന്നു. രണ്ടാമത്തേതിൻെറ വിസ്ഫോടനം മൂന്നാമത്തേതിനെ വിസ്ഫോടനയോഗ്യമാക്കുന്നു. ഈദൃശമായ വിസ്ഫോടനശൃംഖലതയാണു് യുറേനിയം സ്ഥാനീയത്തിൻെറ (യു-235) വിസ്ഫോടനത്തിലും പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നതു്. പ്രഥമഘട്ടത്തിൽ 100 നിർലകങ്ങൾ (neutrons) 100 അണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിൻെറ ഫലമായി പ്രസരിക്കുന്ന നിരവധി നിരലകങ്ങളിൽ, 100 എണ്ണം മാത്രം വേറെ 100 അണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക. ഇങ്ങനെയായാൽ ശൃംഖലപ്രക്രിയ(chain reaction)ക്കു വിഘാതം നേരിടാതെ പ്രക്രിയ പുരോഗമിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കും. അതായതു്, ഒരു ശൃംഖലക്രിയയെ നിലനിറുത്തുന്നതിനു മാത്രം ആവശ്യമായ സാഹചര്യം അഥവാ വ്യവസ്ഥ എന്തെന്നു ചോദിച്ചാൽ, വിഘടിക്കുന്നതിനു നിദാനമായ നിരലകങ്ങളുടേയും, അവയുടെ ഗ്രഹണം (capture)കൊണ്ടു വിഘടിതമാകുന്ന അണുക്കളുടേയും സംഖ്യകൾക്കു വിഘടനത്തിൻെറ പ്രഥമഘട്ടത്തിലുണ്ടായിരുന്നതിൽനിന്നും വ്യത്യാസം സംഭവിക്കാതിരിക്കയാണു്. ഈ അവസ്ഥയിലുള്ള 'ഗുണനഘടകം' (multiplication factor) 1·00 എന്നു പറയാം. എന്നാൽ പ്രഥമഘട്ടത്തിലെ 100 അണുക്കളുടെ വിഘടനത്തിൽനിന്നു പ്രസരിക്കുന്ന നിരലകങ്ങളിൽ 105 എണ്ണത്തിനു് യുറേനിയം-235-ൻെറ വേറെ 105 അണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുവാൻ സാധിക്കുമ്പോൾ 'ഗുണനഘടകം' 1·05 ആയി വൎദ്ധിക്കുന്നു. പ്രാരംഭത്തിലെ 100 അണുക്കളിൽനിന്നും പ്രസരിക്കപ്പെട്ട നിരലകങ്ങളിൽ 95-നെ മാത്രമേ യുറേനിയം സ്ഥാനീയത്തിൻെറ (യു-235) അണുക്കൾക്കു ദ്വിതീയഘട്ടത്തിൽ ഗ്രഹിക്കുവാൻ

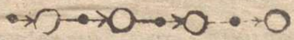
(capture) കഴിയുന്നുള്ളവെങ്കിൽ പ്രക്രിയയുടെ (reaction) അനുസ്യൂതത്വം നഷ്ടപ്പെട്ടുപോകുന്നതോടുകൂടി 'ഗുണനഘടകം' 0.95 ആയി കുറയുകയും ചെയ്യുന്നതാണു്.

ചിക്കാഗോയിലേയും, ഹാൻഫോർഡിലേയും 'സ്തംഭ'ങ്ങളിലെ (pile) ശൃംഖലപ്രക്രിയയുടെ 'ഗുണനഘടകം' 1.00 ആകുന്നു. യുറേനിയം–235–ൻെറ ഓരോ അണുവിൻേറയും വിഘടനംകൊണ്ടു് അനേക നിരലക്തങ്ങൾ പ്രസരിക്കപ്പെടാമെന്നിരുന്നാലും, അവയിൽ ഒന്നു മാത്രമാണു ക്രിയയുടെ 'ശൃംഖലത'യെ നിലനിറുത്തുന്നതു് (continue the chain).

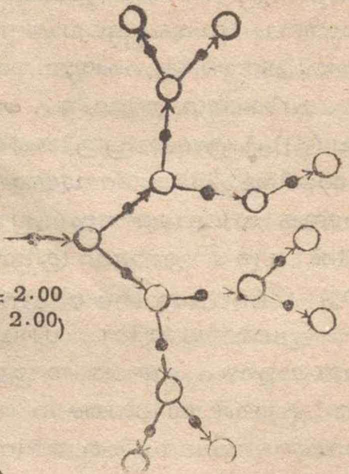
പ്രഥമഘട്ടത്തിൽ വിഘടിതമാകുന്ന യുറേനിയം–235–ൻെറ അണുക്കളുടെ എണ്ണത്തെ ആശ്രയിച്ചു് ഒന്നോ അധികമോ 'ശൃംഖലകൾ' പ്രാരംഭത്തിൽത്തന്നെ ആവിർഭവിച്ചു എന്നുവരാം. എന്നാൽ അവയുടെ അനുസ്യൂതത്വത്തിനു ഹാനി സംഭവിക്കാതെയിരിക്കണമെങ്കിൽ 'ഗുണനഘടക'ത്തിനു് അവരോഹണം ഉണ്ടാകാനിടയാകാതെ 'സ്തംഭ'ത്തെ എപ്പോഴും ജാഗ്രതയായി സൂക്ഷിക്കേണ്ടതാണു്.

ഒരണുബോംബിലെ സ്ഥിതി മുൻ പറഞ്ഞതിൽനിന്നും അല്പം വ്യത്യസ്തമാണു്. ഒരണുബോംബിൻെറ ഘടകം സംസ്കരിക്കപ്പെട്ടതും, വിഘടനയോഗ്യവുമായ പ്ലൂട്ടോണിയമോ, യുറേനിയം–235-ഓ ആയിരിക്കുന്നതിനാൽ വിഘടനത്തിൽനിന്നാവിർഭവിക്കുന്ന നിരലക്തങ്ങൾക്കു് അന്യഥാ നഷ്ടം നേരിടാതെ മററണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നതോടൊപ്പം കൂടുതൽ നിരലക്തങ്ങളെയും ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരം ഉത്ഭവിക്കുന്ന എല്ലാ നിരലക്തങ്ങളേയും അണുക്കൾ പിടിച്ചെടുക്കയും അതുമൂലം അവ വിഘടിതമാകയും ചെയ്യുന്നു. ഓരോ വിഘടിതാണുവിൽനിന്നു പ്രസരിക്കുന്ന നിരലക്തങ്ങളിൽ രണ്ടുമാത്രം ഇതരാണുക്കളുടെ ഗ്രഹണത്തിനു (capture) വിധേയമാകുന്നുള്ളു എന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ 'ഗുണനഘടകം' 2.00 ആയിത്തീരുന്നു. താഴെക്കാണിക്കുന്ന ചിത്രംകൊണ്ടു് ഇതു വിശദമാക്കാം.

ഒരു നിരലക്തത്തിൻെറ ഗ്രഹണംകൊണ്ടു വിഘടിക്കപ്പെടുന്ന അണുവിൽനിന്നുമുള്ള രണ്ടു നിരലക്തങ്ങൾക്കു രണ്ടണുക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതിനാൽ അവ രണ്ടിൽനിന്നുമുള്ള നാലു നിരലക്തങ്ങൾക്കു നാലണുക്കളേയും, അവയുടെ വിഘടനത്തിൽനിന്നുള്ള നിരലക്തങ്ങളിൽ എട്ടെണ്ണത്തിനു് എട്ടണുക്കളേയും, എന്നു ക്രമ



ഗുണനഘടകം = 1.00
(Multiplication factor = 1.00)



ഗുണനഘടകം = 2.00
(Multiplication factor = 2.00)

പടം 12

ശൃംഖലപ്രക്രിയ (Chain reaction)

ത്തിൽ നിരലക്തഗ്രഹണവും അണുവിഘടനവും പുരോഗമിക്കുന്നു. അതായതു്, അണുവിഘടനം 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 എന്നീ ക്രമത്തിലാണു മുമ്പോട്ടു പോകുന്നതു്.

മേൽ പ്രസ്താവിച്ചവിധമുള്ള വിഘടനക്രമപ്രവൃദ്ധതയുടെ വേഗം (speed) അപരിമിതമാണു്. നിരലക്തോത്ഭവത്തിന്റേയും, തൽഗ്രഹണഫലമായ അണുവിഘടനയുടേയും ദശമഘട്ടമാകുമ്പോഴേക്കും വിഘടിക്കുന്ന അണുക്കളുടെ എണ്ണം 1024 ആകുന്നു. ഇരുപതാമത്തെ ഘട്ടമാകുമ്പോൾ പത്തുലക്ഷത്തിൽ കൂടുതൽ അണുക്കൾ വിഘടിക്കുന്നു. ഓരോ ഘട്ടത്തിന്റേയും സമയദൈർഘ്യം ഒരു മൈക്രോസെക്കന്റ് (ഒരു സെക്കന്റിന്റെ പത്തുലക്ഷത്തിലൊരംശം) ആണെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ 90 ഘട്ടംകൊണ്ടു കോടാനുകോടി അണുക്കൾ വിഘടിക്കുന്നു. അതിനുവേണ്ട സമയം കേവലം 90 മൈക്രോസെക്കന്റുമാത്രം മതിയാകുന്നതാണു്. ഇങ്ങനെ ഒരു സെക്കന്റിന്റെ അത്യല്പാംശംകൊണ്ടു മാത്രം വസ്തുഘനം മുഴുവനും വിഘടിക്കപ്പെടുന്നതിൽനിന്നു് അതീതമായ പ്രവർത്തകശക്തി (energy) വിമോചിക്കപ്പെടുന്നു. പ്രവർത്തകശക്തിയുടെ ഈദൃശമായ ആവിഷ്കരണത്തിനാണു് വിസ്ഫോടനം (explosion) എന്നു പറയുന്നതു്.

ഇവിടെ അതിപ്രധാനമായി ശ്രദ്ധിക്കേണ്ടതു വിഘടിതവസ്തുവിന്റെ നിശ്ചിതമായ ആത്യന്തികഘനം (critical mass)

ആകുന്നു. വിഘടിതവസ്തുവായ യൂറേനിയം–235–ഓ, പ്ളൂട്ടോണിയമോ ഈ 'ആത്യന്തികഘന'ത്തിൽനിന്നു കുറവായി വരുന്നപക്ഷം, ആവശ്യമുള്ളത്രയും നിരലക്തങ്ങൾക്ക്, അതിനുള്ളിൽ വൎത്തിച്ച ഗുണനഘടകത്തെ ഒന്നിൽ (1·00) എത്തിക്കുവാൻ നിവൃത്തിയില്ലാതെ വരുന്നതുകൊണ്ടു വിഘടനം സമാരംഭിക്കുന്നതോടുകൂടിത്തന്നെ, വിഘടനക്രിയയ്ക്കു്, അനുസ്യൂതത്വം സംഭവിക്കാതെ ക്രിയ അസ്തമിച്ചുപോകുന്നു. എന്നാൽ വിഘടിതവസ്തു പ്രസ്തുത 'ആത്യന്തികഘന'ത്തെ (critical mass) അതിശയിക്കുന്നപക്ഷം ഗുണനഘടകം 1·00–ൽനിന്നു് അല്പം വർദ്ധിക്കയും, പ്രഥമാണു വിഘടിക്കുന്നതോടൊപ്പം പൊട്ടുന്നനവേ വിസ്സ്ഫോടനംകൂടി നടക്കയും ചെയ്യുന്നു. ഓരോ അണുവിൻേറയും വിഘടനത്തിനുള്ള സമയദൈർഘ്യം ഒരു സെക്കന്റിൻെറ പത്തുലക്ഷത്തിലൊരംശം ആകയാലാണു് ഇപ്രകാരമുള്ള ക്ഷണവിസ്സ്ഫോടനം നടക്കുന്നതു്.

വിഘടിതവസ്തുവിനെ ആത്യന്തികഘനത്തിലാക്കിയെങ്കിൽ മാത്രമേ വിസ്സ്ഫോടനം സാധിക്കയുള്ളു എന്നു നാം കണ്ടു. അപ്പോൾ ഒരു അണുബോംബുണ്ടാകണമെങ്കിൽ, പ്ളൂട്ടോണിയം–239–നെയോ, യൂറേനിയം–235–നെയോ ഈ വിശേഷഘനത്തിൽ ഇണക്കിച്ചേർത്തു നിരലക്തങ്ങളുടെ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കുകയാണു വേണ്ടതു്. എന്നാൽ ഈ പ്രത്യേകഘനത്വത്തിൽനിന്നു് അല്പം കുറവുള്ള യൂറേനിയം–235–ഓ, പ്ളൂട്ടോണിയം–239–ഓ ഉണ്ടെന്നു സങ്കല്പിക്കുക. നിരലക്തങ്ങളുടെ ആഘാതമേററാൽത്തന്നെയും ഇതു പൊട്ടിത്തെറിക്കുന്നില്ല. മുൻപറഞ്ഞ ഘനത്വത്തിൽനിന്നു കുറവുള്ളതും, അല്പദൂരസ്ഥിതവുമായ മറെറാരംശം യൂറേനിയം–235–നെയോ, പ്ളൂട്ടോണിയം–239–നെയോ വീണ്ടും നിരലക്തങ്ങളുടെ ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കുക. ആ അംശവും വിസ്സ്ഫോടനം ചെയ്യുന്നില്ല. എന്നാൽ ഏതെങ്കിലും ഒരു യന്ത്രത്തിൻെറ സഹായത്തോടുകൂടി മുൻപറഞ്ഞ രണ്ടംശങ്ങളേയും അതിശീഘ്രത്തിൽ ഏകീഭവിപ്പിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നപക്ഷം അതിഭയങ്കരമായ പൊട്ടിത്തെറിക്കൽ ഉണ്ടാകുന്നു. ഇതുതന്നെയാണു് അണുബോംബിൻെറ അടിസ്ഥാനതത്വം.

ഈ തത്വത്തെ ആധാരമാക്കിയുള്ള അണുബോംബിൻെറ നിൎമ്മാണം ക്ഷിപ്രസാദ്ധ്യമാണു് എന്നു വിചാരിക്കുവാൻ പാടുള്ളതല്ല. വിഘടനയോഗ്യങ്ങളായ വസ്തുക്കളുടെ ദൗർല്ലഭ്യവും, ഒരൊററ ബോംബിൻെറ നിൎമ്മാണത്തിനുവേണ്ടിത്തന്നെ ആവശ്യമായിവരുന്ന

സാധനങ്ങളുടെ പരിമാണവും, വിഘടനത്തിന്റെ ശൃംഖലതയെ നിലനിറുത്തത്തക്കവണ്ണം വിഘടനവസ്തുക്കൾക്കു വേണ്ട ആത്യന്തികഘനത്വവും (critical mass), വ്യത്യസ്തഘനത്തോടുകൂടിയ വിഘടനവസ്തുഖണ്ഡങ്ങളുടെ കൃത്യമായ ഏകീഭാവത്തെ നിർവ്വഹിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള വേഗവും (speed) ആലോചിച്ചുനോക്കുമ്പോൾ, ബോംബുനിർമ്മാണപദ്ധതി പ്രായോഗികമാക്കുവാൻ സാധിക്കുമോ എന്നുതന്നെ സന്ദേഹിക്കുന്നതിനു വഴിയുണ്ട്. ഏതായാലും ഭീമവും, ദുഷ്ക്കരവുമായ ഈ നിർമ്മാണപദ്ധതിയുടെ ചുമതല കാലിഫോർണിയാ സർവ്വകലാശാലയിലെ ജെ. ആർ. ഒപ്പൻ ഹീമർ (J. R. Oppen Heimer) എന്ന ശാസ്ത്രകാരൻ ഏറ്റെടുത്തു. ഒരണുബോംബിനെ പ്രവർത്തനക്ഷമമാക്കുന്നതിനാവശ്യമുള്ള വിവരങ്ങൾ ശേഖരിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി അദ്ദേഹം അനേകം പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി. ഈ പരീക്ഷണങ്ങളുടെ സമ്പൂർണ്ണവിജയത്തെ അനുസ്മരിപ്പിക്കത്തക്കവണ്ണം നിർമ്മിതമായ പ്രഥമ ബോംബ് 1945 ജൂലായ് 16-ാം തീയതി പ്രഭാതവേളയിൽ ന്യൂമെക്സിക്കോവിലെ വിജനപ്രദേശത്തു വിസ്ഫോടനം ചെയ്തു. ഉജ്ജ്വലപ്രകാശം, അത്യുഷ്ണം, ഭീകരനിനദം, തേജോദ്ഗിരണം തുടങ്ങിയവ വിസ്ഫോടനത്തിൻെറ അനുകാരികളായിരുന്നു.

ഇങ്ങനെ അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെപ്പററിയുള്ള സ്ഥൂലജ്ഞാനം ഏതാണ്ട് അരശതാബ്ദത്തിലെ നിരന്തരപരീക്ഷണങ്ങളുടേയും, പഠനങ്ങളുടേയും പരിണതഫലമായി ഭയങ്കര നശീകരണോപായമായ അണുബോംബിൻെറ സൃഷ്ടിക്കു കാരണമായി പരിണമിച്ചു. ഇപ്രകാരം സൃഷ്ടിതമായ അണുബോംബുകളാണു ജപ്പാനിലെ സുപ്രധാന നഗരങ്ങളായ ഹിരോഷിമായേയും, നഗശാകിയേയും നശിപ്പിച്ചതു്.

അണുബോംബിനുശേഷം
AFTER THE ATOMIC BOMB

അണുബോംബിൻെറ ഭയങ്കരമായ നശീകരണശക്തിക്കു ജപ്പാൻ വിധേയമായതോടുകൂടി ലോകമഹായുദ്ധത്തിൻെറ മുന്നോട്ടുള്ള പ്രവാഹം പൊടുന്നനവേ നിലച്ചുപോയി. ബോംബുനിർമ്മാണത്തിൽ ബദ്ധശ്രദ്ധരായിരുന്ന വൈജ്ഞാനികന്മാർ അവരവരുടെ കലാശാലകളെ അഭയംപ്രാപിച്ചു. ബോംബുനിർമ്മാണപദ്ധതിയുടെ ഭാവിയെപ്പററിയുള്ള അനിശ്ചിതത്വം, രഹസ്യായുധസൃഷ്ടിക്കുവേണ്ടിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങൾ നിർവ്വഹിക്കുന്നതിനു ശാസ്ത്രകാരന്മാർ പ്രദർശിപ്പിച്ച വിരാഗത, അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെ രാഷ്ട്രാന്തരനിയന്ത്രണാധീനമാക്കുന്നതിനെപ്പററിയും അണുവായുധങ്ങളുടെ പ്രയോഗത്തെ ഭാവിയിൽ തടയുന്നതിനെപ്പററിയും ഉള്ള ആലോചനകളുടെ വിജയാപ്തിവിശ്വാസം, ഈ കാരണങ്ങളാൽ അണുപ്രവർത്തനപരീക്ഷണശാലകൾ 1946 ആയപ്പോഴേക്കും പ്രവർത്തനാലസങ്ങളായി ഭവിച്ചു.

അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെ ലക്ഷ്യമാക്കിക്കൊണ്ടുള്ള പ്രവർത്തനപരിപാടിയുടെ ഭാവിയെ ആസ്പദമാക്കി പ്രബലങ്ങളായ വിവാദങ്ങൾ ഈ കാലയളവിൽ അമേരിക്കൻ ഭരണകേന്ദ്രങ്ങളിൽ നടന്നുകൊണ്ടിരുന്നു. ഈ വിവാദങ്ങളുടെ പരിണതഫലമായി ഭരണനിയമസംഘടനയിൽ രണ്ടു പ്രേമയങ്ങൾ അവതരിക്കപ്പെട്ടു. ഒന്നു്, അണുപ്രവർത്തകശക്തിയുടെ ഭാവി ആയോധനവകുപ്പിൻെറ നിയന്ത്രണത്തിൽ വരുത്തുക. വേറൊന്നു്, പൗരജനങ്ങളുടെ നേരിട്ടുള്ള നിയന്ത്രണത്തിൽ വയ്ക്കുക. രണ്ടാമത്തെ പ്രമേയത്തിൻെറ അവതാരകൻ സെനററർ ബ്രിയൻ മക്മഹോൻ (Senator Brien Mcmahon) ആയിരുന്നു. ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരുടേയും, പൊതുജനങ്ങളുടേയും പ്രയത്നഫലമായി മക്മഹോൻ അവതരിപ്പിച്ച പ്രമേയം 1946 ആഗസ്റ്റ് 1-ാം തീയതി നിയമമായി പ്രഖ്യാപിക്കപ്പെട്ടു.

ഇതനുസരിച്ചു്, അണുപ്രവർത്തകശക്ത്യുത്പാദനപദ്ധതി മുഴുവനായി 'അറേറാമിക്കു് എനേർജി കമ്മീഷൻ' (Atomic Energy Commission) എന്ന പേരിൽ പ്രസിഡൻറിനാൽ നിയമിക്കപ്പെട്ട

KOTTAYAM ... KOTTAYAM

ഒരു സമിതി ഏറെറടുത്തു. ഈ സമിതിയുടെ പ്രവത്തനഗതിയെ വീക്ഷിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി വേറൊരു സംഘടനയും രൂപവത്കൃതമായി. 'അറോമിക് എനേർജി കമ്മീഷ'ൻെറ നേതൃത്വത്തിൽ അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ സൃഷ്ടിപരമായ സാദ്ധ്യതകളേപ്പററിയുള്ള പഠനങ്ങരം സമാരംഭിച്ചുവെങ്കിലും, അണുവായുധങ്ങളുടെ ഉദ്പാദനം പൂവ്വാധികം ശക്തിപ്പെടുത്തേണ്ട രാഷ്ട്രീയവികാസങ്ങരം പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ടതിനാൽ കമ്മീഷൻെറ ശ്രദ്ധ ആ വഴിക്കാണു പ്രഥമമായി തിരിഞ്ഞതു്.

ഹാൻഫോർഡിലെ പ്ളൂട്ടോണിയോത്പാദനസ്തംഭങ്ങരം പരിഷ്ക്കരിക്കയും ഉത്പാദനപരിപാടി വികസിപ്പിക്കയുമായിരുന്നു കമ്മീഷന്റെ പ്രാരംഭയത്നം. ഹാൻഫോർഡ് നിമ്മാണകേന്ദ്രത്തെ അതിശയിക്കത്തക്ക വേറൊരു ഉത്പാദനകേന്ദ്രം ജോർജിയായിലെ സാവന്നാ(Savanna) എന്ന സ്ഥലത്തു സംസ്ഥാപിതമായി. നവീനമായ രീതിയിൽ രണ്ടു വാതകാഭിസരണനിർമ്മാണകേന്ദ്രങ്ങരം (gaseous diffusion plants)കെന്റക്കിയിലെ പഡുക്കാ(Paducah) എന്ന സ്ഥലത്തും, ഓഹിയോയിലെ പോട്ട്സ്മൗത്തു് (Portsmouth) എന്ന സ്ഥലത്തും പണികഴിപ്പിച്ചു. ഈ നിമ്മാണകേന്ദ്രങ്ങളിൽനിന്നും പ്ളൂട്ടോണിയത്തിൻേറയും, യുറേനിയം-235-ൻേറയും ഉത്പാദനം പൂവ്വാധികം വദ്ധിപ്പിക്കുന്നതിനു കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്.

അമിതവ്യയഹേതുകമെങ്കിലും മേൽപറഞ്ഞ വിഘടനീയസാധനങ്ങളുടെ ശേഖരണമാഗ്ഗം ലഘൂകരിക്കപ്പെട്ടതോടുകൂടി, വിവിധങ്ങളും, വൈചിത്ര്യത്തോടുകൂടിയവയുമായ അണുവായുധങ്ങളുടെ നിമ്മിതിക്കുവേണ്ടിയുള്ള യത്നത്തിൽ പരീക്ഷണശാലകരം വ്യാപൃതമായിരുന്നു. ഇതിനെത്തുടന്നു് അനേകരീതിയിലുള്ള അണുബോംബുകരം നിമ്മിക്കപ്പെടുകയും, അവയിലെ നശീകരണശക്തിയുടെ മഹത്വം നിണ്ണയിക്കുന്നതിനു വേണ്ട പരീക്ഷണങ്ങരം ഊജ്ജിതമായി നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കയും ചെയ്തു.

ജപ്പാൻനഗരങ്ങളായ ഹിരോഷിമായും, നഗശാകിയും അണുബോംബുകളുടെ നശീകരണശക്തിക്കു തികച്ചും വിധേയമായതോടുകൂടി അണുബോംബുകളും, അണുവായുധങ്ങളും നിമ്മിക്കുന്നതിനുള്ള ശ്രദ്ധ ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങരംക്കും ഉണ്ടായി. പ്രത്യേകിച്ചും, സോവിയററ് യൂണിയനിലെ ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ഉദാസീനന്മാരായിരുന്നില്ല.

1949 ആയപ്പോഴേക്കും സോവിയറ്റ്യൂണിയൻ അണുബോംബു

നിൎമ്മാണത്തിൽ വ്യാപൃതമായി. പക്ഷേ, അണുബോംബുകളുടേയും, അണുവായുധങ്ങളുടേയും പരമാധിപത്യം അമേരിക്കയ്ക്കുതന്നെയാണെന്നു് ആ രാഷ്ട്രം അഭിമാനംകൊണ്ടു. പാസിഫിക്കിലെ ബിക്കിനിദ്വീപത്തിലും (Bikini Atoll), എനിവെറേറാക്ക് ദ്വീപത്തിലും (Eniwetok Atoll), നെവാദായിലും(Nevada) അമേരിക്ക നടത്തിയ വിസ്ഫോടനപരീക്ഷണങ്ങൾ അമേരിക്കയുടെ അണുവാധിപത്യത്തെ പ്രഖ്യാപനംചെയ്യുന്നവയായിരുന്നു.

അന്തർദ്ദേശീയാണു
(International Atom)

അണുവായുധനിൎമ്മാണത്തോടനുബന്ധിച്ചിരുന്ന ഭീമമായ സാമ്പത്തികവ്യയം പാശ്ചാത്യയൂറോപ്യൻരാജ്യങ്ങളെ അണുവായുധങ്ങളുടെ നിൎമ്മാണപരിപാടിയിൽ ശ്രദ്ധപതിപ്പിക്കുന്നതിൽനിന്നും പിൻതിരിപ്പിച്ചു. അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളും, സോവിയറ്റ്റഷ്യയും, അണുബോംബുകളേയും മററു് അണുവായുധങ്ങളേയും അനിയന്ത്രിതമാംവിധം നിൎമ്മിക്കുന്നതിനെ തടയുന്നതിനുതക്കവണ്ണം ഒരു രാഷ്ട്രാന്തരനിയന്ത്രണപദ്ധതി നടപ്പിലായിക്കാണുവാൻ ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങൾ അഭിവാഞ്ഛിച്ചു. പക്ഷേ, ഈ അഭിവാഞ്ഛയുടെ പ്രായോഗികത സന്ദിഗ്ദ്ധനിലയിൽ കാണപ്പെട്ടതിനാലും, യുദ്ധാനന്തരമുണ്ടായ സാമ്പത്തികക്ഷയത്തിൽനിന്നും ക്രമേണ വിമോചനം സിദ്ധിച്ചു സാമ്പത്തികപുരോഗതി അനുഭവപ്പെട്ടതിനാലും, അണുബോംബുനിൎമ്മാണത്തിനാവശ്യമായ പ്ലൂട്ടോണിയം നിൎമ്മിക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു പദ്ധതി ഗ്രേററ് ബ്രിട്ടൻ (Great Britain) രൂപവത്കരിച്ചു. ഹാൻഫോർഡിലെ പ്ലൂട്ടോണിയംനിൎമ്മാണകേന്ദ്രത്തിനു തുല്യമായ ഒരു നിൎമ്മാണകേന്ദ്രം കമ്പർലാൻഡിലെ(Cumberland) സെല്ലാഫീൽഡിൽ (Sellafield) സ്ഥാപിച്ചു പ്രവൎത്തനം ആരംഭിച്ചു.

പ്ലൂട്ടോണിയത്തിൻെറ നിൎമ്മാണം ഗണ്യമായ തോതിൽ എത്തിയതോടുകൂടി, ഗ്രേററ് ബ്രിട്ടൻ അണുബോംബുനിൎമ്മാണത്തിലും അവയുടെ പരീക്ഷണങ്ങളിലും വ്യാപൃതമായി. പല ഘട്ടങ്ങളിലായിട്ടാണു ഗ്രേററ് ബ്രിട്ടൻ ബോംബുപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയതു്. പ്രഥമപരീക്ഷണം 1952 ഒക്ടോബർ ഒന്നാംതീയതി ആസ്ട്രേലിയായുടെ വടക്കുപടിഞ്ഞാറേത്തീരത്തുള്ള 'മോണ്ടിബെല്ലോ'(Monte-bello) ദ്വീപത്തിലും, രണ്ടും മൂന്നും പരീക്ഷണങ്ങൾ 1953 ഒക്ടോബർ

15-ം, 27-ം തീയതികളിൽ ദക്ഷിണ ആസ്ത്രേലിയായിലെ 'വൂമേറാ' (Woomera) മൈതാനത്തിലും വിജയകരമാംവിധം നടത്തപ്പെട്ടു.

ഇതിനേ തുടന്നു ബ്രിട്ടനിലെ അണുപ്രവത്തകശക്ത്യുത്പാദന പദ്ധതി പൂവ്വാധികം വ്യാപകമായ നിലയിൽ ആയിത്തീന്നു. അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലെപ്പോലെതന്നെ, ബ്രിട്ടനിലും അണുപ്രവത്തകശക്തി ഭരണകൂടത്തിന്റെ നിയന്ത്രണത്തിലും ഉടമയിലും നിക്ഷിപ്തമായിരുന്നു. ബ്രിട്ടനിലേയും, അമേരിക്കയിലേയും അണുപ്രവത്തകശക്ത്യുത്പാദനപദ്ധതി വ്യത്യസ്തസരണികളിൽക്കൂടിയാണു പുരോഗമിച്ചതു്. യുദ്ധം അവസാനിച്ചതോടുകൂടി അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം ബ്രിട്ടനും അമേരിക്കയും തമ്മിലുള്ള ബന്ധത്തിനു വിരാമം സംഭവിച്ചു. വിസ്ഫോടകസാധനങ്ങളുടെ നിമ്മാണസമ്പ്രദായത്തെപ്പററിയും അണുവായുധങ്ങളുടെ സൃഷ്ടിയെപ്പററിയുമുള്ള അറിവുകൾ ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങൾക്കു നല്കുന്നതിനെ തടഞ്ഞുകൊണ്ടുള്ള ഒരു പ്രമേയം 1946-ൽത്തന്നെ അമേരിക്കൻ ഭരണസമിതിയിൽ അവതരിക്കപ്പെടുകയും നിയമമായിത്തീരുകയും ചെയ്തതാണു് ഇതിനു കാരണം. എന്നാൽ അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളും ഗ്രേററ് ബ്രിട്ടനും തമ്മിൽ യുറേനിയം 'അയസ്സ'(ore)ത്തിന്റെ ശേഖരണവിധങ്ങളെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള സൗഹാർദ്ദം നിലനിറുത്തുകയും, ഈ രണ്ടു രാഷ്ട്രങ്ങളും യോജിച്ചു യുറേനിയം അയസ്സത്തിന്റെ (uranium ore) സമ്പാദനത്തിനുവേണ്ടിയുള്ള പ്രവത്തനങ്ങളിൽ ഏപ്പെടുകയും ചെയ്തിട്ടുണ്ടു്.

ഗ്രേററ് ബ്രിട്ടനും അമേരിക്കയും കൂടാതെ, കാനഡാ, ഫ്രാൻസ്, നോർവേ, നെതർലൻഡ്, ബെൽജിയം, സ്വീഡൻ, ഡന്മാക്കു്, ജമ്മനി, ഇററലി, സ്വിറ്റ്സർലൻഡ്, ഇൻഡ്യ, ബ്രെസീൽ, ആസ്ത്രേലിയാ തുടങ്ങിയ രാഷ്ട്രങ്ങൾ കുറഞ്ഞതോതിലും, റഷ്യ വൻതോതിലും അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ ഉത്പാദനത്തിനുവേണ്ടിയുള്ള യത്നങ്ങൾ ദ്രുതഗതിയിൽ ചെയ്തുവരുന്നുണ്ടു്.

കാനഡായിലെ അണുപരിപാടി ഗ്രേററ് ബ്രിട്ടനിലേതിൽനിന്നും ഭിന്നമായിട്ടുള്ളതാണു്. അണുവായുധനിമ്മാണത്തിൽ കാനഡാ ഉത്സാഹം പ്രദർശിപ്പിക്കുന്നില്ല. കാനഡായിലെ സുലഭമായ യുറേനിയം അയസ്സത്തിൽനിന്നും ആവാഹിക്കപ്പെടാവുന്ന അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ സൃഷ്ടിപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കുന്നതിനെ ലക്ഷ്യമാക്കിയുള്ള ഗവേഷണത്തിലാണു് ആ രാഷ്ട്രം ശ്രദ്ധ

പതിപ്പിച്ചിരുന്നതു്. കാനഡായിലെ ദേശീയഗവേഷണസമിതി (National Research Council) അണുപരീക്ഷണങ്ങരം ആരംഭിച്ചതു് 1940-ൽ ആയിരുന്നു. 1942 ആയപ്പോഴേക്കും, മോൺട്രീൽ (Montreal) സവ്വകലാശാലയോടനുബന്ധിച്ച് ഒരു അണുപരീക്ഷണശാല സംസ്ഥാപിതമായി. ഈ പരീക്ഷണശാലയുടെ സ്ഥാപനത്തിനുവേണ്ടി ഉദാസീനനിരലകങ്ങളെ (slow neutrons) ആലംബമാക്കിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങളാണു മുഖ്യമായി നടത്തപ്പെട്ടതു്.

1944-ൽ കാനഡായിൽ പരീക്ഷണാത്ഥം ആദ്യമായി ഒരു 'അണുപ്രബാധകം' (atomic reactor) നിമ്മിക്കപ്പെട്ടു. ഇതു പ്രവത്തനക്ഷമമമായിത്തീന്നതു് 1945-ൻെറ പരിണാമത്തിലായിരുന്നു.

1947-ൽ 'N R X' എന്ന പേരിൽ ഒരു വിപുലമായ 'അണുപ്രബാധകം' ചോക്കനദീതീരത്തു സ്ഥാപിക്കപ്പെട്ടു. ഇതിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന ഉഷ്ണത്തിൻെറ പരിമാണം ഏതാണ്ടു് 10,000 കിലോവാട്ടുകളാണെന്നു കണക്കാക്കിയിരിക്കുന്നു.

'N R X'നെക്കൂടാതെ 'N R U' എന്ന പേരോടുകൂടി വേറൊരു 'പ്രബാധക'വും (reactor) ചോക്കനദീതീരത്തുതന്നെ സ്ഥാപിതമായി. ഈ പ്രബാധകത്തിൽനിന്നും ഗണ്യമായതോതിൽ പ്ലൂട്ടോണിയം പാകപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്.

അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ ഉത്പാദനത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം കാനഡായിക്കുള്ള സ്ഥാനം ശ്ലാഘനീയമായിട്ടുള്ളതത്രേ. കാനഡായിലെ ചോക്കനദീപ്രദേശങ്ങരം മഹത്തായ അണുശക്ത്യുത്പാദനകേന്ദ്രമായി വികസിച്ചിരിക്കയാണു്. അണുശക്തി ജനിപ്പിക്കുന്നതിനാവശ്യമായ നിരവധി യന്ത്രവിശേഷങ്ങരം ഈ നദീതീരത്തിൽ സ്ഥാനം ഉറപ്പിച്ചിട്ടുണ്ടു്. കാനഡായിലും വെളിയിലുമുള്ള അനേകം സവ്വകലാശാലകളെ ഗവേഷണവിഷയത്തിൽ പ്രോത്സാഹിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള അനുകൂലസാഹചര്യമാണു് ചോക്കനദിക്കുള്ളതു്.

അണുപ്രവത്തകശക്തിപരിപാടിയെ നിയന്ത്രിക്കുന്നതിനു സഹായകമായ ഒരു നിയമം 1946-ൽത്തന്നെ കാനഡായിലെ നിയമസമിതി പ്രാബല്യത്തിൽ ആക്കിയിട്ടുണ്ടു്.

ചുരുക്കിപ്പറഞ്ഞാൽ, അണുവികാസത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കി പ്രവത്തിക്കുന്ന രാഷ്ട്രങ്ങളുടെ കൂട്ടത്തിൽ കാനഡായിക്കു് ഒരു വലിയ സ്ഥാനമാണു് ഇന്നുള്ളതു്. കാനഡായിലെ യുറേനിയം അയസ്സങ്ങരം

(ores) ലോകത്തിലുള്ളവയിലേക്കും ശ്രേഷ്ഠമായവയാണ്. അണുശക്ത്യുത്പാദനത്തിലും, അവയുടെ വികാസത്തിനുവേണ്ടിയും കാനഡാ ചെയ്യുന്ന ശ്രമം വളരെ ശ്ലാഘനീയമായിട്ടുള്ളതത്രേ.

അണുശാസ്ത്രപരീക്ഷണത്തിൽ കാനഡായെപ്പോലെതന്നെ ഫ്രാൻസിൻെറ നേട്ടങ്ങളും സ്തുത്യ൪ഹമാണ്. അണുവിഘടനത്തിൻെറ കണ്ടുപിടിത്തത്തിൽ ഫ്രാൻസിനു പറയത്തക്ക യാതൊരവകാശവാദവും പുറപ്പെടുവിക്കുവാൻ സാധിക്കുകയില്ലെങ്കിലും അതിനെത്തുട൪ന്നുള്ള ചരിത്രത്തിൽ ഫ്രാൻസിനും ഒരു പ്രധാനസ്ഥാനത്തിന൪ഹതയുണ്ട്. യുറേനിയം വിഘടനത്തെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള അണുശാസ്ത്രപരീക്ഷണങ്ങൾ ഫ്രാൻസിലെ ഫ്രെഡറിക്ക് ജോളിയട്ടും സഹപ്രവ൪ത്തകരും നി൪വ്വഹിച്ചിട്ടുള്ളതു ഫ്രാൻസിൻെറ ഈ വഴിക്കുള്ള അറിവിനെ വിളംബരംചെയ്യുകയാണു ചെയ്യുന്നതു്. എന്നാൽ രണ്ടു കാരണങ്ങളെക്കൊണ്ടു ഫ്രാൻസിനു് ഈ മാ൪ഗ്ഗത്തിലൂടെ പുരോഗമിക്കുന്നതിനു നിവൃത്തിയില്ലാതെ വന്നു. ഒന്നു്, ഫ്രാൻസിനെതിരായുള്ള നിശിതമായ ആക്രമണം; രണ്ടു്, അണുശക്തിമണ്ഡലത്തിൽ അമേരിക്കയുടെ വിജയകരമായ ഉറച്ച നില. ഇങ്ങനെയിരുന്നാലും, യുദ്ധാനന്തരം അണുപ്രവ൪ത്തകശക്തിഗവേഷണത്തെ പൂ൪വ്വാധികം വികസിപ്പിക്കുന്നതിനു ഫ്രാൻസ് ഉററുശ്രമിച്ചു.

ജ൪മ്മൻ ആക്രമണകാലത്തു ഫ്രാൻസിലെ അതിവിദഗ്ദ്ധന്മാരായ അഞ്ചു ഭൗതികശാസ്ത്രകാരന്മാർ ഇംഗ്ലണ്ടിനേയും, അനന്തരം വടക്കേ അമേരിക്കയേയും അഭയംപ്രാപിച്ചു് അണുഗവേഷണത്തിലും, അണുവികാസത്തെ ആധാരമാക്കിയുള്ള മററു പദ്ധതികളിലും പ്രവ൪ത്തിച്ചു.

ലിയോ കോവാ൪സ്കി (Leo Kowarski) ഉൾപ്പെട്ട മൂന്നു വൈജ്ഞാനികന്മാർ യുദ്ധാനന്തരം തിരിച്ചു ഫ്രാൻസിൽ എത്തുകയും, അവരുടെ നേതൃത്വത്തിൽ ഫ്രാൻസിലെ അണുപ്രവ൪ത്തകശക്ത്യുത്പാദനപരിപാടി പ്രബലപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്തു. സീപ്പ് (Zeep) എന്ന പേരോടുകൂടിയ കാനഡായിലെ ആദ്യത്തെ അണുപ്രബാധകത്തിൻെറ (atomic reactor) സംവിധാനത്തിലും നി൪മ്മാണത്തിലും ഏററിയ പങ്കം വഹിച്ചിരുന്നതു് കോവാ൪സ്കി ആയിരുന്നു എന്നുള്ളതു് സ്മ൪ത്തവ്യമാണ്.

അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലേയും ഗ്രേറ്റ് ബ്രിട്ടനിലേയും കാനഡായിലേയും അണുപദ്ധതിയിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തമായ ഒരു പരിപാടിയെയാണ് ഫ്രാൻസ് സ്വീകരിച്ചതു്. അണുപ്രവ൪ത്തനവിഷ

യത്തെ സംബന്ധിച്ച അറിവുകളും അവയെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള മററു പ്രവത്തനങ്ങളും ഫ്രാൻസ് ഗോപ്യമായി വയ്ക്കുന്നില്ല.

പാരീസിന്റെ പ്രാന്തങ്ങളിലാണ് അണുശക്ത്യുത്പാദനത്തിനുള്ള ഫ്രാൻസിന്റെ പ്രധാന കേന്ദ്രങ്ങൾ സ്ഥാപിച്ചിട്ടുള്ളതു്. ഒന്നു്, ഫ്രാൻസിന്റെ തെക്കുപടിഞ്ഞാറുള്ള ഫോർട്ട് ഡീ ചാററിലോൺ (Fort de Chatillon) എന്ന സ്ഥലത്തുള്ള അണുകേന്ദ്രമാണ്. ബ്രിട്ടീഷ്ദ്വീപങ്ങളിലേതൊഴിച്ചാൽ, ഇവിടെയാണ പാശ്ചാത്യയൂറോപ്യൻരാജ്യങ്ങളിൽ ആദ്യമായി ഒരു അണുപ്രബാധകം (nuclear reactor) നിർമ്മിതമായതു്. സോവ് (Zoe) എന്ന നാമധേയത്തോടുകൂടിയ ഈ 'പ്രബാധകം' 1948 ഡിസംബർമാസംമുതൽ പ്രവത്തനം സമാരംഭിച്ചു.

ചാററിലോണിൽ(Chatillon)നിന്നും ഏതാണ്ടു 10 മൈൽ അകലെയുള്ള ക്രൈസ്റ്റ് ഡി സാക്ലേ (Christ de Saclay) എന്ന സ്ഥാനത്താണ ഫ്രഞ്ചുകാരുടെ രണ്ടാമത്തെ അണുപ്രവത്തനകേന്ദ്രം. ഈ സ്ഥലത്തുറപ്പിച്ചിട്ടുള്ള P–2 എന്നറിയപ്പെടുന്ന അണുച്ചൂള (atomic furnace) പ്രവത്തനം ആരംഭിച്ചതു് 1953 ഒക്ടോബർമാസത്തിലായിരുന്നു. P–2–ൽനിന്നും ഗണ്യമായ തോതിൽ പ്ളൂട്ടോണിയം ശേഖരിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുമെന്നിരുന്നാലും, സ്ഥാനീയങ്ങളെ (isotopes) നിർമ്മിക്കയാണ് ഇതിന്റെ പ്രധാന ഉദ്ദേശ്യം എന്നു ഫ്രഞ്ചുകാർ പ്രഖ്യാപനംചെയ്തിട്ടുണ്ടു്. സാക്ലേയിലെ അണുപ്രവത്തകശക്തിനിർമ്മാണശാല ഒരു വലിയ അണുശക്തിഗവേഷണകേന്ദ്രംകൂടിയാണ്. സാക്ലേയിലും, ചാററിലോണിലുമുള്ള 'അണുസ്തംഭ'ങ്ങളിൽനിന്നും ഫ്രാൻസിനും അയൽരാജ്യങ്ങൾക്കും ആവശ്യമായ തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾ (radio isotopes) നിർമ്മിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നുണ്ടു്. കാനഡായെപ്പോലെതന്നെ ഫ്രാൻസും അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ സൃഷ്ടിപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കണമെന്നുള്ള ലക്ഷ്യത്തെത്തന്നെയാണ് സ്വീകരിക്കുന്നതു്.

ഫ്രാൻസിൽ റോൺ(Rhone)നദീതീരത്തു സ്ഥാപിച്ചിട്ടുള്ള അതിഭീമങ്ങളായ മൂന്നു പ്രബാധകങ്ങൾ (reactors) യൂറോപ്പിലെ ഇതര അണുസ്ഥാപനങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ച മഹത്തരമായിട്ടുള്ളവയാണ്. G–1, G–2, G–3, എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഈ മൂന്നു പ്രബാധകങ്ങളോടനുബന്ധിച്ച് യുറേനിയം അയസ്സങ്ങളിൽനിന്നും പ്ളൂട്ടോണിയത്തെ രാസപരമായി സജ്ജീകരിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായവിധം ഒരു

വലിയ നിമ്മാണശാലയും പണികഴിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. വഷത്തിൽ 220 റാത്തൽ പ്ളൂട്ടോണിയം പാകപ്പെടുത്തുന്നതിനുള്ള സജ്ജീകരണങ്ങളാണ് അവിടെ ചെയ്തിട്ടുള്ളതു്. ഫ്രഞ്ചുശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരുടെ ഗണനയിൻപ്രകാരം രണ്ടു റാത്തൽ പ്ളൂട്ടോണിയത്തിൽനിന്നും ഉളവാക്കാവുന്ന അണുപ്രവത്തകശക്തി 2,800 ടൺ കൽക്കരിയുടെ ദഹനത്തിൽനിന്നുളവാകുന്ന പ്രവത്തകശക്തിക്കു തുല്യമാണെന്നത്രേ.

വ്യാവസായികമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടിയാണ് ഫ്രഞ്ചുകാർ പ്ളൂട്ടോണിയം ശേഖരിക്കുന്നതു്. ഫ്രാൻസിൽ മാർകൗളിൽ (Marcoule) സ്ഥാപിതമായിരിക്കുന്ന അണുകേന്ദ്രം എട്ടുകോടി രൂപയോളം ചെലവാക്കി പണികഴിപ്പിച്ചിട്ടുള്ളതത്രേ. ഈ അണുകേന്ദ്രത്തോടനുബന്ധിച്ച സ്ഥാപനങ്ങൾക്കുവേണ്ടിയുള്ള ഭൂമിയുടെ വിസ്തൃതി ഉദ്ദേശം 500 ഏക്കർ ആകുന്നു. G–1, G–2, G–3 ഈ പ്രബാധകങ്ങളിലേക്കാവശ്യമുള്ള ലിഖിജശലാകകളേയും (graphite rods) യുറേനിയം ശലാകകളേയും (uranium rods) സംസ്കരിച്ചെടുക്കുന്നതിനുള്ള നിമ്മാണശാലകളും ഇവിടെത്തന്നെയാണു സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നതു്. ഈ മൂന്നു 'ചൂളക'ളിൽനിന്നും ലഭിക്കാവുന്ന ഉഷ്ണത്തെ ആലക്തികപ്രവത്തകശക്തിയായി (electrical energy) രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുന്ന പക്ഷം മൂന്ന് 'ആലക്തികജന്യക'(electric generators)ങ്ങളെ പ്രവത്തനസമത്ഥമാക്കുന്നതിനാവശ്യമായ 3,50,000 കിലോവാട്ടുകൾ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനു കഴിയുന്നതാണ്.

നോർവേ, ബെൽജിയം, ഡെന്മാക്കു്, ജമ്മനി തുടങ്ങിയ പാശ്ചാത്യയൂറോപ്യൻരാജ്യങ്ങളും അണുപ്രവത്തകശക്ത്യുത്പാദനപരിപാടി സമാധാനപരമായ പ്രവത്തനലക്ഷ്യത്തെ ആസ്പദമാക്കിയാണ് ആസൂത്രണം ചെയ്തിരിക്കുന്നതു്.

ഏഷ്യൻരാജ്യങ്ങളിൽ, അണുപരിപാടിയെ സ്തുത്യർഹമായ വിധംവികാസത്തിൽ കൊണ്ടുവന്നിരിക്കുന്നതു് ഇൻഡ്യാ ആകുന്നു. ഇൻഡ്യൻ അണുപ്രവത്തകശക്തിസമിതി (Indian Atomic Energy Commission)യുടെ നിയന്ത്രണത്തിലും മേൽനോട്ടത്തിലുമാണ് ഇൻഡ്യയിലെ അണുപരിപാടി പുരോഗമിക്കുന്നതു്. അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ സമാധാനപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി മാത്രം വിനിയോഗിക്കുക എന്നതാണ് ഇൻഡ്യൻപരിപാടിയുടെ പരമലക്ഷ്യം. ഈ ലക്ഷ്യത്തെ മുൻനിറുത്തിയാണ് 1948–ൽ ഇൻഡ്യൻ അണുപ്രവത്തകശക്തിസമിതി രൂപവത്കരിക്കപ്പെട്ടതു്. ഇതു സംബന്ധിച്ച ഗവേഷ

ങ്ങളും ഇൻഡ്യയിലെ അനേക സാങ്കേതികസ്ഥാപനങ്ങളിൽ നടത്തിവരുന്നുണ്ട്.

ഇൻഡ്യയിലെ അണുഗവേഷണകേന്ദ്രങ്ങളിൽ നട്ടനായകമായി പരിലസിക്കുന്നതു് ബോംബെയിലുള്ള 'ടാററാ മൗലികഗവേഷണ സ്ഥാപനം' (Tata Institute of Fundamental Research) ആകുന്നു. ഇൻഡ്യയിൽ അണുച്ചൂള നിൎമ്മിക്കുന്നതിനും അതിനാവശ്യമുള്ള സാന്ദ്രജലം (heavy water) സജ്ജീകരിക്കുന്നതിനുമുള്ള സാദ്ധ്യതകളെപ്പററി ഗവേഷണം നടത്തുകയാണു് ഈ സ്ഥാപനത്തിൻെറ പ്രധാന ലക്ഷ്യം.

കല്ക്കട്ടായിലെ അണുഭൗതികശാസ്ത്രസ്ഥാപനവും (Institute of Nuclear Physics) അനുദിനം വികസിച്ചു വരികയാണു്. കൽക്കട്ടായിൽ ബോസ് ഗവേഷണസ്ഥാപനം (Bose Research Institute), ഡൽഹി സർവകലാശാല, ബാംഗ്ളൂരിലെ 'ഇൻഡ്യൻ ഇൻസ്റ്റിററ്യൂട്ട് ഓഫ് സയൻസ്', അഹമ്മദ്ബാദിലെ ഭൗതികശാസ്ത്രഗവേഷണശാല (Physical Research Laboratory), ആലിഗാർ സർവകലാശാല തുടങ്ങിയ സ്ഥാപനങ്ങളും അണുഗവേഷണത്തിൽ നിരന്തരം പ്രവൎത്തിച്ചുവരുന്നുണ്ട്.

കോസ്മിക്ക്രശ്മിയെപ്പററിയ ഗവേഷണത്തിലും ഭാരതം വളരെ അഭിവൃദ്ധിപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. യമാർബുദം (cancer) തുടങ്ങിയ മഹാരോഗങ്ങളെ നിവാരണംചെയ്യുന്നതിനുതകത്തക്ക തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളുടെ (radio isotopes) നിൎമ്മാണത്തിനുവേണ്ടിയും ഇൻഡ്യ ഒരു പദ്ധതി തയാറാക്കി പ്രവൎത്തനം ആരംഭിച്ചിരിക്കയാണു്.

ഇതരരാജ്യങ്ങളെ ആശ്രയിക്കാതെതന്നെ അണുശക്ത്യുത്പാദനത്തിനു വേണ്ട യുറേനിയം ഇൻഡ്യയിൽത്തന്നെ ലഭിക്കുന്നുണ്ട് എന്നു് ഇൻഡ്യയ്ക്കു് അഭിമാനിക്കുവാൻ കഴിയും. അണുസങ്കേതലോഹമായ യുറേനിയത്തെപ്പോലെതന്നെ അണുശക്ത്യുത്പാദനത്തിനു നിദാനമായ തോറിയം (thorium) ചേൎന്ന മോണസൈററ് (monazite) സുലഭമായി കാണുന്നതു് ഇൻഡ്യയുടെ അണുവികാസപരിപാടിക്കു ശോഭനമായ ഒരു ഭാവിയുണ്ടെന്നുള്ളതിനു തെളിവാണു്.

അണുപ്രവൎത്തകശക്തിപദ്ധതിയും റഷ്യയും

റഷ്യയുടെ അണുപരിപാടിയെ സംബന്ധിച്ച അറിവുകൾ ഇതര രാഷ്ട്രങ്ങൾക്കു സൂക്ഷ്മമായി ലഭിക്കുവാൻ പാടില്ലാത്തവണ്ണം

വളരെ ഗോപ്യമാണെങ്കിലും, ചില തെളിവുകളിൽനിന്നു് റഷ്യ ഗണ്യമായ തോതിൽ അണുപ്രവത്തകശക്ത്യുത്പാദനം സാധിക്കുന്നു എന്നു ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു വിഷമമില്ല.

1949, 1951 ഈ വർഷങ്ങളിലായി റഷ്യാ മൂന്നു് അണുബോംബുകൾ വിസ്ഫോടനം ചെയ്തതിനെ ആധാരമാക്കിയാണു്, റഷ്യാ അണവായുധനിർമ്മാണത്തിൽ പുരോഗമിച്ചിട്ടുണ്ടെന്നും, റഷ്യയും നിശ്ചിതമായ ഒരണുപരിപാടി പ്രാബല്യത്തിൽ എത്തിയിട്ടുണ്ടെന്നും, ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങൾ പ്രത്യേകിച്ചും അമേരിക്കാ തീരുമാനിച്ചതു്.

ഗണ്യമായ തോതിൽ അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു പദ്ധതിയുടെ വിജയത്തിനു നാലു കാര്യങ്ങൾ അത്യന്താപേക്ഷിതങ്ങളാണു്. ഒന്നു്, യുറേനിയം തുടങ്ങിയ വസ്തുക്കളുടെ സൗലഭ്യം; രണ്ടു്, ഗണ്യമായ ശാസ്ത്രീയവൈദഗ്ദ്ധ്യം; മൂന്നു്, അണുശക്ത്യുത്പാദനത്തിനുവേണ്ട അനുകൂലസാഹചര്യങ്ങൾ; നാലു്, മേൽപ്പറഞ്ഞ മൂന്നു കാര്യങ്ങളേയും ഇണക്കിച്ചേർത്തു പ്രവത്തനക്ഷമമാക്കുന്നതിനുള്ള കഴിവു് ഇവയാകുന്നു. ഈ നാലു വ്യവസ്ഥകളെ ആസ്പദമാക്കി റഷ്യയുടെ നില പരിശോധിക്കുന്നതു സമുചിതമായിരിക്കും.

ചെക്കോസ്ലോവോക്യയിലെ എഴ്സ്ഗിബർഗ്ഗ് (Erzgebirge) പ്രദേശം ഉൽക്കൃഷ്ടമായ യുറേനിയംലോഹത്തിൻെറ പ്രഭവസ്ഥാനംതന്നെയാണു്. യുറാൾ പവ്വതനിരയുടെ പ്രാന്തങ്ങൾ ധാരാളമായി യുറേനിയം ലഭിക്കത്തക്ക അനുകൂലപരിതഃസ്ഥിതിയോടുകൂടിയ ഭൂപ്രദേശമാണു്. ഒരു അണുപരിപാടിയുടെ വിജയസാദ്ധ്യതയ്ക്കു് ആവശ്യമായ ഇന്ധനം (fuel), ആലക്തികശക്തി, ഇരുമ്പു് തുടങ്ങിയ സകല സാധനങ്ങളും റഷ്യൻസാമ്രാജ്യത്തിലെ വിസ്തൃതമായ പ്രദേശങ്ങളിൽനിന്നും സുലഭമായി ലഭിക്കുന്നുണ്ടു്.

റഷ്യയുടെ അണുപരിപാടി ക്ലിപ്തമായ പഞ്ചവർഷപദ്ധതികളിൽ (Five Year Plans) കൂടിയാണു പുരോഗമിക്കുന്നതു്.

റഷ്യയുടെ ശാസ്ത്രീയജ്ഞാനത്തെപ്പററിയും, വികാസത്തെപ്പററിയും അമേരിക്കയിലെ കാർഷികവകുപ്പിൻെറ അദ്ധ്യക്ഷനായിരുന്ന ലാസർ വോളിൻ (Lazar Volin) വളരെ ശ്ലാഘിച്ചിട്ടുണ്ടു്. ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങളിലെ ശാസ്ത്രവികാസത്തെ അപേക്ഷിച്ചു റഷ്യയുടെ ശാസ്ത്രാഭിവൃദ്ധി അസൂയാർഹമായ നിലയിൽ എത്തിക്കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടെന്നാണു് അദ്ദേഹം പ്രസ്താവിക്കുന്നതു്.

ഏതാണ്ട 18-ാംശതാബ്ദത്തിന്റെ പ്രാരംഭഘട്ടംമുതല്ക്കേ റഷ്യയിൽ ശാസ്ത്രത്തിന്റെ വിത്തു മുളച്ചുകഴിഞ്ഞു. ഈ കാലത്തെ ആദ്യത്തെ ശാസ്ത്രീയപരീക്ഷണശാല 'കുൺസ്റ്റ്കാമേറാ' എന്നു വിളിക്കപ്പെട്ടന്ന സെൻറ് പീറേറഴ്സ്ബർഗിലെ ഒരു കാഴ്ചബംഗ്ലാവായിരുന്നു. ശാസ്ത്രാഭിവൃദ്ധിക്കവേണ്ടി പാശ്ചാത്യയൂറോപ്യൻരാജ്യങ്ങളിൽനിന്നും പ്രമുഖരായ ശാസ്ത്രകാരന്മാരെ ക്ഷണിച്ചുവരുത്തി വേണ്ട പ്രോത്സാഹനങ്ങരം റഷ്യ നല്കി. റഷ്യൻവിദ്യാത്ഥികരം ശാസ്ത്രജ്ഞാനസമ്പാദനത്തിനായി പാശ്ചാത്യരാജ്യങ്ങളേയും ആശ്രയിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഇങ്ങനെ റഷ്യാ ശാസ്ത്രലോകത്തിൽ ക്രമേണ മുന്നേറുവാൻ തുടങ്ങി. ധാതുപന്തിക്രമണികയുടെ (periodic table) ഉപജ്ഞാതാവായ മെൻ ഡി ലീഫ് ഒരു റഷ്യൻശാസ്ത്രജ്ഞനായിരുന്നു എന്നുള്ളതു വിസ്മരിക്കത്തക്കതല്ല.

എന്നാൽ റഷ്യയുടെ ശാസ്ത്രീയാഭിവൃദ്ധിക്ക് ഒരുലച്ചൽ തട്ടിയതു് 1917-ലെ ബോറംഷവിക് വിപ്ലവത്തോടും അതേത്തുടന്നുള്ള അന്തർദ്ദേശീയ സമരത്തോടുകൂടിയുമായിരുന്നു. തത്ഫലമായി റഷ്യയിലെ പ്രമുഖരായ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ നാടുവിട്ടോടിപ്പോകേണ്ടതായിവന്നു ശേഷിച്ചവർതന്നെയും പുതിയ ഭരണാധികാരികളുടെ സംശയത്തിന് വിധേയരായിത്തീൻ. റഷ്യൻശാസ്ത്രലോകത്തിലെ ഈ ശൂന്യാവസ്ഥയെ പരിഹരിക്കുന്നതിനു റഷ്യൻ കമ്മ്യൂണിസ്റ്റുകാർ പുതിയ ശാസ്ത്രകാരന്മാരേയും, യാന്ത്രികവിദഗ്ദ്ധന്മാരേയും, പരിശീലിപ്പിക്കുന്നതിനു ശ്രമം ചെയ്തെങ്കിലും ആ യത്നം പ്രതീക്ഷിച്ചവിധം വിജയമായില്ല. എന്നിരുന്നാലും റഷ്യൻശാസ്ത്രം മന്ദമായിട്ടെങ്കിലും പുരോഗമിച്ചുകൊണ്ടുതന്നെയിരുന്നു. റഷ്യയിൽനിന്നും ഓടിപ്പോയ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരുടെ സേവനം അമേരിക്കതുടങ്ങിയ രാജ്യങ്ങളിലെ ശാസ്ത്രലോകത്തിനു നവമായ ഒരു പ്രചോദനം നല്കി.

റഷ്യൻവിപ്ലവത്തിനുശേഷവും റഷ്യയുടെ ശാസ്ത്രപുരോഗതിക്കു സാരമായ നാശം സംഭവിക്കാതിരുന്നതു ശാസ്ത്രത്തിൻെറ സ്വച്ഛന്ദമായ വിഹാരത്തെ നിയന്ത്രിക്കുന്നതിനു ഭരണകൂടം ശ്രമിക്കാതിരുന്നതാണു്. റഷ്യൻ വൈജ്ഞാനികക്ക് ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങളിലെ വൈജ്ഞാനികരുമായി ശാസ്ത്രീയസമ്പക്കം പുലത്തുന്നതിനുള്ള സ്വാതന്ത്ര്യം ഉണ്ടായിരുന്നതു റഷ്യൻശാസ്ത്രത്തിനു് ഒരനുഗ്രഹമായിട്ടാണു ഭവിച്ചതു്.

റഷ്യൻവിപ്ലവത്തിനുശേഷം അവിടെ അവശേഷിച്ച ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ പേരിലുള്ള ഭരണാധികാരികളുടെ സംശയചിന്ത

ക്രമേണ കുറഞ്ഞുവന്നതു് 1930-നുശേഷമാണു്. അതോടുകൂടി പിന്നോക്കം തള്ളപ്പെട്ടുകിടന്ന ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ സ്ഥാനവും മഹിമയും വദ്ധിച്ചു. റഷ്യയിലെ ജനസമുദായത്തിൽ ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ഒരു ഉത്കൃഷ്ടവകുപ്പുകാരായി ഗണിക്കപ്പെട്ടു. ഭരണാധികാരികളോടൊപ്പം ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാക്കും പൂജനീയമായ ഒരു സ്ഥാനം ലഭിച്ചു. അതുമൂലം മന്ദമായി മാത്രം പുരോഗമിച്ചുകൊണ്ടിരുന്ന റഷ്യൻശാസ്ത്രം പൂവ്വാധികം അഭിവൃദ്ധിപ്പെടുവാൻ തുടങ്ങി.

ഈ ഘട്ടമായപ്പോഴേക്കും റഷ്യൻശാസ്ത്രഗോളത്തെ ഇതരശാസ്ത്രഗോളത്തിൽനിന്നും അകററുന്നതിനുള്ള ഒരു നയം ഭരണകൂടം സ്വീകരിച്ചു. തത്ഫലമായി കിഴക്കും, പടിഞ്ഞാറുമുള്ള ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ തമ്മിൽ സമ്പക്കം ഉണ്ടാകാതിരിക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു പദ്ധതി റഷ്യൻ ഗവമ്മെൻറ് നടപ്പിലാക്കി. അതുമൂലം പാശ്ചാത്യരാജ്യങ്ങളിലെ ശാസ്ത്രീയസമ്മേളനങ്ങളിൽ പോലും പങ്കെടുക്കുന്നതിനു റഷ്യൻ ശാസ്ത്രകാരന്മാക്കു് അനുവാദം നിരസിക്കപ്പെട്ടു. റഷ്യയിൽനിന്നും വിദേശങ്ങളെ അഭയംപ്രാപിച്ച ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരെ റഷ്യയിലേക്കുതന്നെ ആകർഷിക്കുന്നതിനുള്ള ശ്രമവും ഗവമ്മെൻറു ചെയ്തു. ഈ ശ്രമത്തിൻെറ ഫലമായിട്ടാണു സുപ്രസിദ്ധ റഷ്യൻ വൈജ്ഞാനികനും കെയിംബ്രിഡ്ജ് സവ്വകലാശാലയുടെ പരീക്ഷണശാലാദ്ധ്യക്ഷനുമായിരുന്ന പീററർ കപിററ്സാ (Peter Kapitza) റഷ്യയിൽ വീണ്ടും സ്ഥിരവാസമുറപ്പിച്ചതു്.

കാലാന്തരത്തിൽ ഗവമ്മെൻറിൻെറ രാഷ്ട്രീയചിന്താഗതി ശാസ്ത്രവിഭാഗത്തിലും സ്വാധീനം ചെലുത്തുവാൻ തുടങ്ങി. ഗവമ്മെന്റിൻെറ രാഷ്ട്രീയമായ കൈകടത്തൽകൊണ്ടു ചില ശാസ്ത്രവിഭാഗങ്ങൾക്കു ശരിയായി പുരോഗമിക്കുന്നതിനു് അസാദ്ധ്യമായിത്തീൻു. ജീവശാസ്ത്രം (Biology), ശരീരശാസ്ത്രം (Physiology), മനഃശാസ്ത്രം (Psychology) തുടങ്ങിയ വിഭാഗങ്ങൾക്കു സ്വച്ഛന്ദമായി വളരുന്നതിനു സാധിക്കാതെവന്നു. എന്നാൽ ഭൗതികശാസ്ത്രം, രസതന്ത്രം, ഗണിതശാസ്ത്രം ഇവയുടെ സ്വച്ഛന്ദഗതിക്കു വിഘ്നം വരാതിരുന്നതുമൂലം പില്ക്കാലത്തു് ഒരണുപ്രവത്തകശക്തിപരിപാടി റഷ്യയിൽ പ്രബലപ്പെടുത്തുന്നതിനു സാധിക്കതന്നെ ചെയ്തു. അമേരിക്കൻ ഗവേഷകന്മാരുടെ പ്രയോജനത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കി റഷ്യൻശാസ്ത്രീയലേഖനങ്ങൾ വിവത്തനംചെയ്യുന്നതിനു്, അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ ബ്രൂക്ക് ഹേവനിലുള്ള ദേശീയപരീക്ഷണശാലയിൽ നിയമിതനായ ആളും,

പ്രിൻസ്ടൺ സവ്വകലാശാലയിലെ രസതന്ത്രവിഭാഗത്തിൻെറ അദ്ധ്യക്ഷനമായ ജോൺ ടക്ക്വിച്ച് (John Turkevitch) റഷ്യൻ ഭൗതികശാസ്ത്രത്തെപ്പററിയും രസതന്ത്രത്തെപ്പററിയും പ്രസ്താവിച്ചിരിക്കുന്നതു ശ്രദ്ധേയമാണ്.

''റഷ്യൻ രസതന്ത്രവും ഭൗതികവിജ്ഞാനീയവും ശാസ്ത്രപരിശീലനം സിദ്ധിച്ച വൈജ്ഞാനികരുടെ സുസംഘടിതമായ പ്രവത്തനംമൂലം പാശ്ചാത്യശാസ്ത്രപാരമ്പര്യത്തെ നിലനിറുത്തിക്കൊണ്ടു തന്നെ മഹനീയമായവിധം പുരോഗമിക്കുന്നുണ്ട്.''

രസതന്ത്രത്തേയോ, ഭൗതികശാസ്ത്രത്തേയോപോലെതന്നെ റഷ്യൻ ഗണിതശാസ്ത്രവും ശാസ്ത്രലോകത്തിൽ മുന്നണിയിൽത്തന്നെയാണു നിലകൊള്ളുന്നതു്. അമേരിക്കൻ ഗണിതശാസ്ത്രത്തിനുതന്നെയും റഷ്യൻ ഗണിതശാസ്ത്രകാരന്മാരിൽനിന്നു പ്രചോദനം ലഭിച്ചിട്ടുണ്ട്. സ്റ്റാൻഫോർഡ്, ഡാർട്ട്മൗത്ത്, ബ്രൗൺ തുടങ്ങിയ വിദ്യാലയങ്ങളിലും, മിച്ചിഗൽ, പെൻസിൽവാനിയാ തുടങ്ങിയ സവ്വകലാശാലകളിലും റഷ്യൻ ശാസ്ത്രകാരന്മാർ അദ്ധ്യാപനം നടത്തിയിട്ടുണ്ട്.

റഷ്യൻഭൗതികശാസ്ത്രജ്ഞനായ സ്കൊബെൽസിൻ(Skobelzyn) കോസ്മിക രശ്മികളെപ്പറ്റിയുള്ള അദ്ധ്യയനത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കി വിൽസൺ ക്ലൗഡ് ചേംബറിനെ (Wilson Cloud Chamber) പരിഷ്കരിച്ച്, 1927–ൽത്തന്നെ ചില ഗവേഷണങ്ങരം നടത്തിയതു് അണുശാസ്ത്രഗവേഷണത്തിൽ റഷ്യ പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധ പതിപ്പിച്ചിരുന്നു എന്നതിൻെറ തെളിവാണ്.

1937-ൽ മോസ്കോയിലെ റേഡിയം ഇൻസ്ററിററ്യൂട്ടിൽ (Radium Institute) യൂറോപ്പിലെ ഒന്നാമത്തെ സൈക്ലോട്രോൺ പണികഴിച്ചതു റഷ്യൻ അണുശാസ്ത്രത്തിൻെറ പുരോഗതിയെ വെളിപ്പെടുത്തുന്നു.

റഷ്യൻ ശാസ്ത്രകാരന്മാരായ ഫ്ളീറോവും (Flerov), പെട്രാഷാക്കും (Petrazhak) യുറേനിയത്തിൻെറ സ്വാഭാവികമായ വിഘടനധമ്മത്തെപ്പററി ഉപന്യസിച്ചു. റഷ്യൻ ഭൗതികവൈജ്ഞാനികനായ വെക്സ്ലർ (Veksler) 1945–ൽ സൈക്ലോട്രോണിൻെറ പരിഷ്കൃതരൂപമായ സിംക്രോട്രോണിൻെറ പ്രവത്തനവൈശിഷ്ട്യത്തെപ്പററി പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുള്ളതും ഈ ഘട്ടത്തിൽ സ്മരണീയമാണ്.

1947 വരെയും റഷ്യയിൽനിന്നും പ്രകാശിതമായിട്ടുള്ള ശാസ്ത്രീയലേഖനങ്ങളുടെ ശീർഷകങ്ങളും (titles), സംഗ്രഹങ്ങളും റഷ്യൻ

ഭാഷയിലെന്നപോലെ ജൎമ്മൻഭാഷയിലും കാണിച്ചിട്ടുണ്ടായിരുന്നെ ങ്കിലും, 1947-ന്നു ശേഷം റഷ്യാക്കാരുടെ എല്ലാ ശാസ്ത്രീയലേഖനങ്ങളും റഷ്യൻഭാഷയിൽ മാത്രമേ അച്ചടിക്കാവൂ എന്നു നിർബന്ധമുണ്ടായിരുന്നതിനാൽ, ഇന്നു റഷ്യയിൽനിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ശാസ്ത്രപരങ്ങളായ വാരികകളും, മാസികകളും പാശ്ചാത്യശാസ്ത്രജ്ഞന്മാൎക്കു സുഗ്രഹമാക്കുന്നതിനു സാധിക്കാതെയാണു വന്നിരിക്കുന്നതു്. ഈ വൈഷമ്യത്തെ പരിഹരിക്കുന്നതിനുവേണ്ടിയാണു് അമേരിക്കയിലെ അണുപ്രവൎത്തകശക്തി സമിതിയുടെ ബ്രൂക്കുഹേവനിലെ ദേശീയപരീക്ഷണശാല (National laboratory) അതിപ്രധാനങ്ങളായ റഷ്യൻ ശാസ്ത്രലേഖനങ്ങളെ വിവൎത്തനംചെയ്യുന്നതിനു ജോൺ ടൎക്വെിച്ചിനെപ്പോലെയുള്ള റഷ്യൻ ശാസ്ത്രകാരന്മാരെ നിയമിച്ചിരിക്കുന്നതു്.

ഇന്നു റഷ്യയിലെ ശാസ്ത്രവിഭാഗങ്ങൾ എല്ലാംതന്നെ ഗവൎമ്മെന്റിന്റെ നിയന്ത്രണത്തിലാണു് എന്നിരുന്നാലും, എല്ലാ ശാസ്ത്രവിഭാഗങ്ങളുടേയും നേരിട്ടുള്ള ചുമതല ശാസ്ത്രകലാശാലയിൽ (Academy of Science) നിക്ഷിപ്തമായിരിക്കുന്നു. രസതന്ത്രം, ഭൗതികവിജ്ഞാനീയം, ഗണിതശാസ്ത്രം മുതലായ ശാസ്ത്രവിഭാഗങ്ങളുടെ പ്രത്യേകമായ ചുമതല വഹിക്കുന്നതിനു ശാസ്ത്രകലാശാലയെ പ്രത്യേക വകുപ്പുകളായി തിരിച്ചിട്ടുണ്ടു്. ഓരോ വകുപ്പുകളുടേയും കീഴിൽ അനേകം ശാസ്ത്രവിദ്യാലയങ്ങൾ പ്രവൎത്തനം നടത്തുന്നു. ശാസ്ത്രീയ ഗവേഷണങ്ങൾക്കായുള്ള ധനം ഓരോ ശാസ്ത്രവിദ്യാലയങ്ങൾക്കും ലഭിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു ശാസ്ത്രകലാശാലയുടെ സ്ഥിരപ്രവൎത്തകസമിതിയിൽനിന്നുമാണു്. ഓരോ വർഷത്തേക്കുമുള്ള ശാസ്ത്രഗവേഷണപരിപാടികൾക്കു വേണ്ടു ധനം ഓരോ ശാസ്ത്രവിദ്യാലയവും കലാശാലയുടെ സ്ഥിരപ്രവൎത്തകസമിതിയിൽനിന്നും ആവശ്യപ്പെടുന്നതിനെ അനുവദിക്കുന്നതിനോ, നിഷേധിക്കുന്നതിനോ സമിതിക്കധികാരമുണ്ടു്. ഓരോ സാങ്കേതികസ്ഥാപനത്തിനും നല്കിയിട്ടുള്ള ധനംകൊണ്ടു സാധിച്ചിട്ടുള്ള ഗവേഷണങ്ങൾ എന്തെല്ലാമെന്നു വർഷാന്ത്യത്തിൽ സമിതിയെ ബോദ്ധ്യപ്പെടുത്താത്തപക്ഷം, ആ സ്ഥാപനത്തിനു യാതൊരാനുകൂല്യവും പിന്നീടു ലഭിക്കുന്നതല്ല. ഏതാണ്ടു പന്തീരായിരം ശാസ്ത്രകാരന്മാരും, സാങ്കേതിക വിദഗ്ദ്ധന്മാരുമുൾപ്പെടെ 40,000-ൽ അധികം ആളുകൾ ശാസ്ത്രകലാശാലയിലും, അതിനോടു ബന്ധിച്ച സ്ഥാപനങ്ങളിലും പ്രവൎത്തനം നടത്തിവരുന്നുണ്ടു്.

റഷ്യൻ ശാസ്ത്രവിഭാഗങ്ങളുടെ സകല പ്രവത്തനങ്ങളും ഗവമ്മെന്റിനാൽ നിർദ്ദിഷ്ടങ്ങളായ മാഗ്ഗങ്ങളെ അവലംബിച്ചുമാത്രമാണു നടക്കുന്നതു്. അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ വികാസത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കിത്തന്നെയാണു് റഷ്യൻ ഭൗതികവിജ്ഞാനീയം പുരോഗമിക്കുന്നതു്.

രണ്ടാംലോകമഹായുദ്ധം അവസാനിച്ചതോടുകൂടി ജമ്മനിയുടെ പൗരസ്ത്യമേഖലയിലുണ്ടായിരുന്ന വൈജ്ഞാനികരെക്കൂടി റഷ്യ ആകർഷിച്ചു് അണുപ്രവത്തകശക്തിയുമായി ബന്ധപ്പെട്ട ശാസ്ത്രപദ്ധതികളുടെ പ്രവത്തനങ്ങളെ ഉദ്ദേശിച്ചു നിയോഗിച്ചു.

അണുഗവേഷണത്തിനും തദ്വികാസത്തിനും വേണ്ടി സോവിയററ് റഷ്യ കൈക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന നയത്തെപ്പററിയും പരിപാടിയെപ്പററിയും സോവിയററിന്റെ പിടിപാടിൽനിന്നും തെററിയൊഴിഞ്ഞ ഒരു ജമ്മൻശാസ്ത്രകാരന്റെ സാക്ഷ്യപ്രസ്താവം ശ്രദ്ധേയമായിട്ടുള്ളതാണു്. ഏതാണ്ടു് ഇരുനൂറോളം ജമ്മൻവൈജ്ഞാനികരും സാങ്കേതികവിദഗ്ദ്ധന്മാരും അണുശാസ്ത്രപരമായ ഗവേഷണങ്ങളിൽ നിരന്തരം വ്യാപൃതരായിരിക്കുന്നു എന്നാണു് അദ്ദേഹം പ്രസ്താവിക്കുന്നതു്. ഇവരുടെ പ്രവത്തനരംഗം മോസ്കോ, ദക്ഷിണറഷ്യ, സൈബീരിയാ തുടങ്ങിയ പ്രദേശങ്ങളാണു്. ഈ ശാസ്ത്രവിശാരദന്മാരുടെ ജീവിതസുഖാനുഭവത്തിനു വേണ്ട സകല സൗകര്യങ്ങളും ഗവമ്മെൻറുതന്നെ ചെയ്തുകൊടുക്കുന്നുണ്ടു്.

റഷ്യയുടെ അണുപ്രവത്തകശക്തിപരിപാടിയെസ്സംബന്ധിച്ചു് ഇതര രാഷ്ട്രങ്ങൾക്കു വേണ്ടത്ര അറിവു് ഇതേവരെയും സിദ്ധിച്ചിട്ടില്ല. അണുപദ്ധതിയിൽ റഷ്യ അമേരിക്കയെ അതിശയിക്കാൻ സാധിക്കയില്ലെന്നു് ഒരു സമയത്തു് അമേരിക്ക അഭിമാനംകൊണ്ടു എങ്കിലും, അമേരിക്കയുടെ ഈ ചിന്താഗതിക്കു സാരമായ മാററം ഉണ്ടാകത്തക്ക ശാസ്ത്രവികാസങ്ങൾ റഷ്യയിൽ വെളിപ്പെട്ടുകാണുന്നുണ്ടു്. ജപ്പാന്റെനേരേ അമേരിക്ക പ്രയോഗിച്ച അണുബോംബിന്റെ രഹസ്യം റഷ്യയ്ക്കു ലഭിക്കുന്നതിനു കാലവിളംബം നേരിടുമെന്നു് അമേരിക്ക പ്രതീക്ഷിച്ചുവെങ്കിലും, 1949-ൽ റഷ്യയുടെ അണുബോംബിന്റെ പൊട്ടൽ അമേരിക്കയുടെ പ്രതീക്ഷയെ അസ്തമിപ്പിച്ചുകളഞ്ഞു. ഒരു ബ്രിട്ടീഷ്ശാസ്ത്രകാരനും അമേരിക്കയുടെ അണുബോംബുരഹസ്യം ഗ്രഹിച്ചവനുമായ ക്ലോസ്സ് ഫ്യൂഷസ്സിൽനിന്നും (Klaus Fuchs) ആണു് റഷ്യയ്ക്കു് അണുബോംബിനെപ്പററിയുള്ള വിസ്തൃതമായ അറിവു ലഭിച്ചതെന്നു് അമേരിക്ക പ്രസ്താവിക്കുന്നുണ്ടു്. ക്ലോസ്സിനെക്കു

ടാതെ വേറൊരു ബ്രിട്ടീഷ് ശാസ്ത്രജ്ഞനായ ബ്രൂണോ പോണ്ടി കൊർവോ (Bruno Ponte Corvo)യുടെ ചാരപ്രവൃത്തികളും റഷ്യയുടെ ശാസ്ത്രവികാസത്തിനു സഹായകമായി എന്നു് അമേരിക്ക വിശ്വസിക്കുന്നു.

ഇന്നു റഷ്യ ശാസ്ത്രമണ്ഡലത്തിൽ അത്യുത്കൃഷ്ടമായ ഒരു സ്ഥാനംതന്നെയാണു കരസ്ഥമാക്കിയിരിക്കുന്നതു്. വിവിധങ്ങളായ ശാസ്ത്രവിഭാഗങ്ങളുടെ അഭിവൃദ്ധിയെ ലക്ഷ്യമാക്കിത്തന്നെയാണു് റഷ്യ വിദ്യാഭ്യാസപദ്ധതിയെ രൂപവത്കരിച്ചിട്ടുള്ളതു്. സാങ്കേതിക വിദ്യാലയങ്ങളുടെ സംഖ്യ പൂർവ്വാധികം വദ്ധമാനമാക്കിയിട്ടുണ്ടു്. ഈ വിദ്യാലയങ്ങളിലെ അദ്ധ്യേതാക്കളുടെ എണ്ണവും വർദ്ധിച്ചിരിക്കയാണു്.

രണ്ടാംലോകമഹായുദ്ധത്തിനുശേഷം ശാസ്ത്രമണ്ഡലത്തിൽ റഷ്യ സമ്പാദിച്ച സ്ഥാനം അദ്വിതീയമാണു് എന്നുതന്നെ പറയാം. യന്ത്രനിമ്മാണത്തിലും, ആയുധനിമ്മാണത്തിലും റഷ്യ ഇന്നു് അമേരിക്കയെ അതിശയിക്കുന്നു.

റഷ്യയുടെ അണുപദ്ധതിയെപ്പററി സ്ഥൂലമായ ഒരറിവുപോലും ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങൾക്കു ലഭിച്ചിട്ടില്ല. അതു വെളിവാക്കാതെയിരിക്കുന്നതിലാണു റഷ്യയുടെ വിജയം സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതു്.

അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയും സമാധാനവും
(ATOMIC ENERGY AND PEACE)

അണുബോംബുനിൎമ്മാണം അണുശാസ്ത്രചരിത്രത്തിൽ ഒരു യാദൃച്ഛികസംഭവം മാത്രമായിരുന്നു. ലോകോത്തരങ്ങളായ രണ്ടു മഹാനഗരങ്ങൾ അണുബോംബുകൾക്കിരയായിത്തീൎന്നതോടുകൂടി അവയുടെ നശീകരണശക്തിയെപ്പററിയുള്ള ഭീതി ജനഹൃദയത്തിൽ വ്യാപിച്ചു. മഹായുദ്ധംമൂലം ലോകത്തിലെങ്ങുമുണ്ടായ അരക്ഷിതാവസ്ഥയ്ക്കു് ഒരു ഉപശാന്തി അണുബോംബു കൈവരുത്തിയെങ്കിലും, ആ ഉപശാന്തി കേവലം താല്ക്കാലികമായിരുന്നു. മനുഷ്യന്റെ ശാസ്ത്രജ്ഞാനം ലോകസംസ്കാരത്തിനു പ്രചോദകമായിത്തീരേണ്ടതിനു പകരം ലോകസംഹാരത്തിനു കാരണമായിട്ടത്രേ ഭവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു് എന്നു ചിന്തകന്മാർ വ്യസനിച്ചു.

അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയെ യുദ്ധരംഗത്തുനിന്നും സമാധാനരംഗത്തിലേക്കു് ആനയിക്കുന്നതിനുള്ള സാദ്ധ്യതകളെക്കുറിച്ചു ശാസ്ത്രലോകം വിചിന്തനംചെയ്യുവാൻ തുടങ്ങി. അണുവായുധങ്ങളെക്കൊണ്ടു സാൎവ്വലൗകികമായ സമാധാനം സ്ഥാപിക്കുവാനുള്ള യത്നം പരാജയപ്പെടുകയേയുള്ളു എന്നു ലോകമഹാശക്തികൾക്കുതന്നെയും ബോദ്ധ്യമായി. ഇനിയും ഒരു മഹായുദ്ധത്തിൽനിന്നും ലോകത്തെ രക്ഷിക്കേണ്ടതിന്റെ ആവശ്യകതയെപ്പററിയുള്ള ബോധം രാഷ്ട്രചിന്തകന്മാരിൽ ഉദിച്ചുയൎന്നു. അണുബോംബിന്റെ സാങ്കേതികരഹസ്യം ഇതരരാഷ്ട്രങ്ങൾക്കു വെളിപ്പെടുത്തിക്കൊടുക്കുന്നതു്, ഭാവിയിൽ ഒരു മഹായുദ്ധത്തിനു വിത്തുവിതയ്ക്കുകയായിരിക്കും ചെയ്യുന്നതു് എന്നു് അണുബോംബിന്റെ പ്രയോക്താക്കൾ ദീൎഘവീക്ഷണംചെയ്തുകൊണ്ടു്, അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയെസ്സംബന്ധിച്ച സകല വസ്തുതകളും നിയന്ത്രണാധീനമാക്കേണ്ടതാണു് എന്നു് അമേരിക്കൻ ഭരണകേന്ദ്രം നിശ്ചയിച്ചു. അണുവായുധത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം, അമേരിക്ക മററു രാഷ്ട്രങ്ങളെ പിന്നിലേക്കു തള്ളിക്കളഞ്ഞതിനാൽ ഈ വിഷ

യത്തിൽ അമേരിക്കയോടു മത്സരിക്കുന്നതിനു റഷ്യ ഒഴിച്ച് ഒരു രാജ്യവും ഒരുമ്പെട്ടില്ല. എന്നാൽ റഷ്യയുടെ പ്രവൎത്തനപഥം അമേരിക്കയ്ക്കു സുഗ്രഹമല്ലായിരുന്നുതാനും.

1946-ലെ അണുപ്രവൎത്തകശക്തിനിയമം (atomic energy act) അനുസരിച്ച്, അണുബോംബുനിൎമ്മാണരഹസ്യം നിയുക്തരായ ആളുകൾക്കല്ലാതെ മറ്റാക്കുംതന്നെ വെളിപ്പെടുത്തുവാൻ പാടില്ലായിരുന്നു. അമേരിക്കൻജനതയിൽനിന്നു മാത്രമല്ല, എല്ലാ രാഷ്ട്രങ്ങളിൽനിന്നും, ശാസ്ത്രകാരന്മാരിൽനിന്നും, മഹായുദ്ധത്തിൽ തോളോടുതോൾ ചേൎന്നു യുദ്ധംചെയ്ത സുഹൃത്തുക്കളായ സഹപ്രവൎത്തകരാജ്യങ്ങളിൽനിന്നുപോലും അണുബോംബിൻെറ പ്രവൎത്തനതത്വം മറയ്ക്കപ്പെട്ടിരുന്നു.

ജപ്പാൻനഗരങ്ങളായ ഹിരോഷിമായും, നഗശാകിയും നാമാവശേഷമായതോടുകൂടി ഒരണുവായോധനത്തിൻെറ സാദ്ധ്യത വിദൂരമായിത്തന്നെയാണു പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ടതു്. അഥവാ, ഒരു മഹായുദ്ധം പൊട്ടിപ്പുറപ്പെട്ടാൽത്തന്നെയും, ആ യുദ്ധത്തെ എതിരിടുന്നതിനു് അമേരിക്കയ്ക്കു് ആവശ്യമുള്ള അണുബോംബുകൾ ഉണ്ടായിരുന്നുതാനും. ഈ പരിതസ്ഥിതിയിൽ, അണുപ്രവൎത്തകശക്തിസമിതിയുടെ ശ്രദ്ധ, അണുശക്തിയെ സൃഷ്ടിപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതിനുള്ള സാദ്ധ്യതകളെപ്പററി പര്യാലോചിക്കുന്ന വിഷയത്തിലേക്കു പതിഞ്ഞു. അമേരിക്കയിലെ വിവിധവ്യവസായങ്ങളെ, വിശിഷ്യാ ആലക്തികവ്യവസായത്തെ (electrical industry) പരിപോഷിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള സാദ്ധ്യതകളെക്കുറിച്ചാണു പ്രഥമമായി സമിതി ചിന്തിച്ചതു്.

അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയെ ആവരണംചെയ്തിരുന്ന മൂടുപടം നീക്കി അണുരഹസ്യങ്ങളെ വെളിപ്പെടുത്തുന്ന കാര്യമാണു സമിതിക്കു നേരിട്ട വലിയ വിഷമപ്രശ്നം. അതിനു കാരണം 1946-ലെ അണുശക്തിനിയമത്തിൻെറ പ്രാബല്യമായിരുന്നു.

ബോംബുണ്ടാക്കുന്നതിനുവേണ്ടിയുള്ള യന്ത്രസാമഗ്രികളെയും മററുപകരണങ്ങളെയുംതന്നെ, സൃഷ്ടിപരമായവിധം അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയെ രൂപപ്പെടുത്തുന്നതിനും ഉപയോഗിക്കാമായിരുന്നുവെങ്കിലും, അണുവായോധനത്തിൽ അമേരിക്ക കരസ്ഥമാക്കിയിരിക്കുന്ന അദ്വിതീയസ്ഥാനം, അണുശക്തിരഹസ്യത്തെ വ്യവസായപരമായി വിനിയോഗിക്കുന്നതുമൂലം നഷ്ടപ്പെടുന്നതിനു കാരണമായേക്കാം എന്ന ഭീതിയും, അണുപ്രവൎത്തകശക്തിസമിതിയെ ബാധിക്കാതിരുന്നില്ല.

ഏതായാലും സമിതി ഒരു ധീരമായ നിലപാടുതന്നെ കൈക്കൊണ്ടു. അണുശക്തിപ്രസ്ഥാനത്തെ രണ്ടു സരണികളിലായി തിരിക്കുക എന്നതായിരുന്നു സമിതിയുടെ നിശ്ചയം. ഒന്നു്, അണുശക്തിയെ യുദ്ധപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കുക; വേറൊന്നു്, സൃഷ്ടിപരമായ ആവശ്യങ്ങൾക്കും. ഈ നിശ്ചയത്തെ പ്രായോഗികമാക്കുന്നതിനുള്ള പ്രാരംഭനടപടിയായി ആലക്തികവ്യവസായത്തിൽ പ്രമുഖരായ വ്യക്തികളെ ഒന്നിച്ചുചേർത്തു് അണുശക്തിയുടെ വ്യാവസായികസാദ്ധ്യതകളെപ്പററി അദ്ധ്യയനംചെയ്യുന്നതിനുള്ള അനുകൂലപരിതസ്ഥിതികൾ സൃഷ്ടിച്ചു.

അണുപ്രവർത്തകശക്തിയും ആലക്തികശക്തിയും (Atomic Energy and Electricity)

അണുപ്രവത്തകശക്തിയിൽനിന്നും ആലക്തികശക്തി ഉത്പാദിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗങ്ങളെപ്പററി പര്യാലോചിക്കുന്നതിനു്, അമേരിക്കയിലെ നാലു് ആലക്തികവ്യവസായസംഘടനകളാണു മുന്നോട്ടിറങ്ങിയതു്. ഈ സംഘടനകൾ ഏകോപിച്ചു്, പരീക്ഷണങ്ങൾക്കായി അനേകലക്ഷം ഡോളറുകൾ വ്യയംചെയ്തു് അണുശക്തിയുടെ വ്യവസായസാദ്ധ്യതകളെപ്പററി ഏകദേശം ഒരു വത്സരത്തോളം അദ്ധ്യയനം നടത്തി. അവരുടെ പ്രായോഗികപരീക്ഷണങ്ങളെ ആധാരമാക്കി അണുശക്തിയുടെ ശോഭനഭാവിയെ ദീർഘവീക്ഷണംചെയ്തുകൊണ്ടുള്ള ചർച്ചകൾ അണുപ്രവത്തകശക്തിസമിതിയുടെ (A E C) മുമ്പാകെ ഒരു ലേഖനരൂപത്തിൽ സമർപ്പിക്കപ്പെട്ടു. വിപുലമായതോതിൽ ആലക്തികശക്തി ഉത്പാദിപ്പിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ അണുശക്തിനിർമ്മാണകേന്ദ്രങ്ങളുടെ സംവിധാനങ്ങളെപ്പററിയും, അവയ്ക്കു വേണ്ട ചെലവുകളെപ്പററിയും പ്രസ്തുത സംഘടനകളുടെ റിപ്പോർട്ടിൽ പ്രതിപാദിച്ചിരുന്നു. ഈ റിപ്പോർട്ടിനെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള വിവാദങ്ങൾക്കുവേണ്ടിയും, തീരുമാനങ്ങൾക്കുവേണ്ടിയും, അമേരിക്കൻ ഭരണസഭയിലെ അണുശക്തിവകുപ്പിലെ നിയുക്താംഗങ്ങളും, അണുശക്തിയുടെ ആലക്തികവ്യവസായസാദ്ധ്യതകളെപ്പററി പഠനം നടത്തിയ എല്ലാ സംഘടനകളുംചേർന്നു് അനേകം യോഗങ്ങൾ കൂട്ടുകയും, ആലോചനകൾ നടത്തുകയും ചെയ്തു. അണുശക്തിയുടെ ഭാവി ശോഭനമായിട്ടുള്ളതാണെന്നും, ഗവേഷണങ്ങൾ പൂർവ്വാധികം വികസിപ്പിക്കയും, ഗവണ്മെൻറിന്റെ സ്ഥിരമായ മേൽനോട്ടത്തിൽ

പ്രവൎത്തനം തുടങ്ങുന്നപക്ഷം വ്യാവസായികമായ അഭിവൃദ്ധിയുണ്ടാകുന്നതിനു സാധിക്കുന്നതാണെന്നും ഉള്ള അഭിപ്രായം അംഗീകാര്യമായി. ഈ അഭിപ്രായരൂപീകരണത്തിൽ വ്യവസായപ്രമുഖന്മാർ, വൈജ്ഞാനികന്മാർ, ഭരണമേധാവികൾ, അഭിഭാഷകന്മാർ തുടങ്ങിയവർ പ്രത്യേകമായി പങ്കെടുത്തിരുന്നു.

1953 ജൂലായ്മാസത്തോടുകൂടി സമാധാനപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടിയുള്ള അണുശക്തിയുടെ ഉത്പാദനപരിപാടികളെപ്പററിയുള്ള വിചിന്തനങ്ങൾ പൂൎത്തിയായി. വിപുലമായ തോതിൽ അണുശക്തിപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുന്നതിനുള്ള ഒരു പദ്ധതി രൂപവത്കരിക്കുന്ന ചുമതല ഭരണസഭ അണുപ്രവൎത്തകശക്തിസമിതിയിൽ (A E C) നിക്ഷേപിച്ചു. ഏതാനും മാസങ്ങൾ കഴിഞ്ഞു് അണുശക്തിപരീക്ഷണാൎത്ഥം ഏതാണ്ടു് 20 ലക്ഷം ഡോളർ ചെലവുണ്ടാകാവുന്ന ഒരു പഞ്ചവത്സരപദ്ധതി അണുശക്തിസമിതി ഭരണസഭയിൽ സമൎപ്പിച്ചു. ഈ പദ്ധതിയിൽ അഞ്ചു വ്യത്യസ്തങ്ങളായ 'അണുസ്തംഭ' ങ്ങളെ(atomic pile)പ്പററി പ്രതിപാദിച്ചിരുന്നു.

ഗവമ്മെൻറിൻെറ സാമ്പത്തികസഹകരണത്തോടുകൂടി, ഈ പദ്ധതിയെ പ്രായോഗികമാക്കുന്നതിനുള്ള ചുമതല മിക്കവാറും വിവിധ വ്യവസായസംഘടനകൾക്കായി സമിതി വിട്ടുകൊടുക്കയും ചെയ്തു.

ഈ കാലംവരെയും വളരെ ഗോപ്യമായിമാത്രം കരുതപ്പെട്ടിരുന്ന അണുപ്രവൎത്തകശക്തിപരിപാടിയുടെ ഗോപനാവസ്ഥയ്ക്കു ശ്രണ്യമായ വിധത്തിലുള്ള ശൈഥില്യം അനുവദിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ ഒരു നിയമം ഭരണസഭയിൽ ആവിൎഭവിച്ചു. ഈ പുതിയ നിയമം ആവിൎഭവിച്ചതു് 1954 ആഗസ്റ്റ് 30-ാംതീയതിയായിരുന്നു.

അണുശക്തിസമിതിയുടെ പഞ്ചവത്സരപദ്ധതിയിൽ നിൎദ്ദേശിച്ചപ്രകാരമുള്ള അണുശക്തിനിൎമ്മാണകേന്ദ്രങ്ങളിൽ ഒന്നു്, പിററ്സ്ബൎഗ്ഗിലെ ഡ്യൂക്വിസ്സി കമ്പനി(Duquesne Company)യാൽ നടത്തപ്പെടുന്നതും വെസ്റ്റിംഗ്ഹൗസ് ആലക്തികസംഘടന(Westinghouse Electric Corporation)യാൽ പണികഴിപ്പിക്കപ്പെട്ടതും, പെൻസിൽവാനിയായിലെ ഷിപ്പിംഗ്പോർട്ടിൽ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതുമായ വമ്പിച്ച അണുസ്ഥാപനമാണു്. ഒരു നഗരത്തിലെ ഒരു ലക്ഷം ജനതയ്ക്കു് ആവശ്യമായ 60,000 കിലോവാട്ടു് ആലക്തികശക്തി പ്രദാനംചെയ്യുന്നതിനു് പ്രസ്തുത സ്ഥാപനത്തിനു കഴിയുന്നതത്രേ!

ഇതിൻെറ ഉത്ഘാടനകർമ്മം 1954 സെപ്റ്റംബർ 6-ാംനു പ്രസിഡൻറ് ഐസൻഹോവറിനാൽ നിർവഹിക്കപ്പെട്ടു.

കല്ക്കരിയുടെ സഹായത്തോടുകൂടി ഉപരിപ്രസ്താവിച്ച തോതിൽ ആലക്തികശക്തിയുത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനു ശ്രമിക്കുന്ന പക്ഷം, ഓരോ മാസത്തിലും 4 ലക്ഷം പൗണ്ട് കല്ക്കരി ആവശ്യമായി വരുന്നു. എന്നാൽ കല്ക്കരിക്കു പകരം ഉപയോഗിക്കേണ്ടിവരുന്ന യുറേനിയം ഇന്ധനത്തിൻെറ (uranium fuel) പരിമാണം വെറും 15 പൗണ്ടു മാത്രമാണ്!

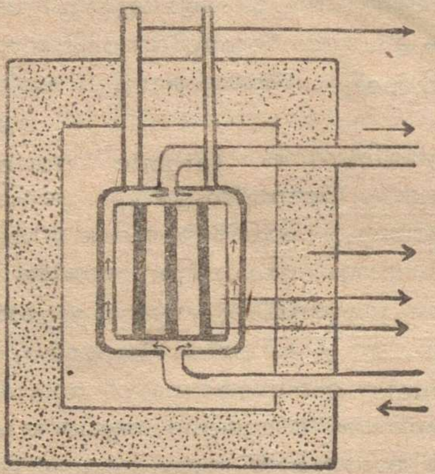
അണുശക്ത്യുത്പാദനയന്ത്രത്തിൽനിന്നും (atomic power plant) ആലക്തികശക്തിയെ ജനിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗം, ഉത്പാദനതത്വത്തെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം, സാധാരണ ആലക്തികശക്ത്യുത്പാദനമാർഗ്ഗങ്ങൾക്കു മിക്കവാറും സമാനമാണ്. രണ്ടിനും ജലത്തെ ആവിയായി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുന്നതിനാവശ്യമായ ഉഗ്രമായ ഉഷ്ണം (heat) വേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഈ ഉഷ്ണം കൽക്കരിയുടേയോ, ദ്രവേന്ധനങ്ങളുടേയോ (liquid fuels) ദഹനംകൊണ്ടാണ് സാധാരണ ലഭിക്കുന്നതു്. എന്നാൽ അണുശക്തിമാർഗ്ഗേണ ആലക്തികശക്തിയെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനാവശ്യമായ ഉഷ്ണം ആവാഹിക്കപ്പെടുന്നതു് അണുപ്രബാധക(atomic reactor)ത്തിൽനിന്നാണ്.

ഉഷ്ണം ജലത്തെ പ്രബാഷ്പമായി (steam) രൂപപ്പെടുത്തുന്നു. വിമർദ്ദനവിധേയമായ പ്രബാഷ്പത്തിൻെറ അത്യാഘാതംകൊണ്ടു് ഒരു പ്രബാഷ്പശകടം (steam turbine) കറങ്ങുന്നു. കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ശകടം ഒരു ആലക്തികജന്യകത്തെ (generator) തിരിപ്പിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയാണ് ആലക്തികശക്തിയുത്ഭവിക്കുന്നതു്.

അണുപ്രബാധകം
(Atomic Reactor)

യുദ്ധാവസാനത്തോടുകൂടിത്തന്നെ അണുശക്തിക്കാവശ്യമായ അടിസ്ഥാനധാതുക്കളെ(basic elements)പ്പററിയുള്ള ജ്ഞാനം മിക്കവാറും പൂർണ്ണമായിത്തന്നെ ലഭിച്ചുകഴിഞ്ഞു. ഒന്നാമതായി ഒരു ശൃംഖലപ്രക്രിയയെ നിലനിറുത്തത്തക്കവണ്ണം മതിയായവിധം വിഘടനയോഗ്യങ്ങളായ (fissionable) സാധനങ്ങളെ ഒരു ധാരകത്തിൽ നിക്ഷേപിക്കുക. ഈ സാധനങ്ങളിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന നിരലക്തങ്ങളുടെ ഗതിവേഗത്തെ മന്ദീഭവിപ്പിക്കുന്നതിനും നിരലക്തങ്ങൾ

പ്രയോജനശൂന്യമായി വെളിയിലേക്കു പോകാതിരിക്കുന്നതിനും വേണ്ടി 'മിതകാരിണി'(moderator)കളേക്കൊണ്ടു വിഘടനീയങ്ങളായ വസ്തുക്കളെ വലയംചെയ്തിരിക്കണം. രണ്ടാമതായി ശൃംഖല

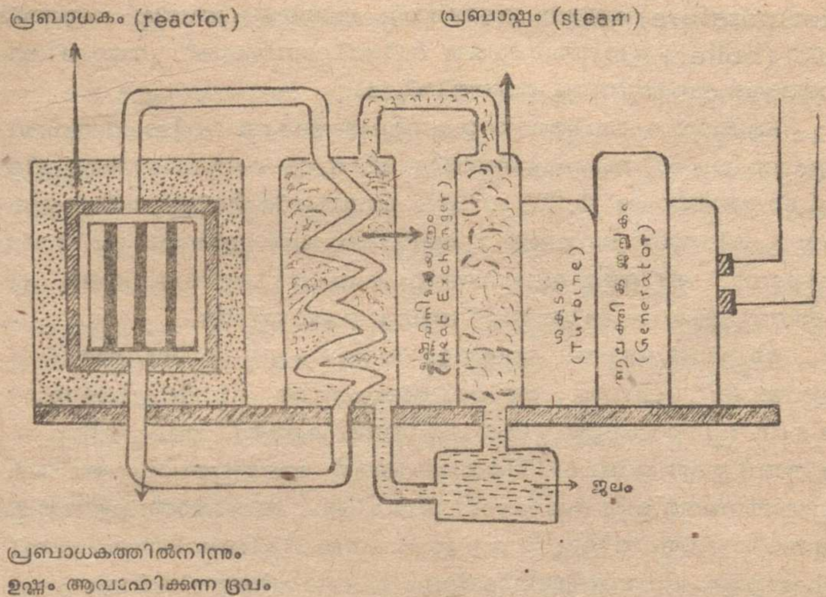


പടം 13

അണുപ്രബാധകം (Atomic reactor)

പ്രക്രിയ നിയന്ത്രണാതീതമായിത്തീരാതിരിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി നിരലകൂ്തങ്ങളെ (neutrons) നിയന്ത്രിക്കുന്നതിനുള്ള നിയന്ത്രണശലാകകൾ (control rods) സ്ഥാപിക്കുക. ഇവ കാഡ്മിയമോ, ബോറോണോ (boron) ആകാം.

വിഘടനവസ്തുശകലങ്ങളിൽനിന്നും പ്രവഹിക്കുന്ന ഊഷ്മാവിനെ വലിച്ചെടുക്കുന്നതിനുവേണ്ടി ദാഹകേന്ധനത്തോടു (burning fuel) അനുബന്ധിച്ച പ്രബാധകമദ്ധ്യത്തിൽക്കൂടി ജലം, വായു, ഹീലിയം, ലോഹദ്രവം തുടങ്ങിയ ഏതെങ്കിലും ശൈത്യദ്രവത്തെ (coolant) കയററിവിടേണ്ടതാണ്. പ്രബാധകത്തിൽനിന്നു് ഈ ദ്രവത്തെ കുഴൽവഴിയായി ഉഷ്ണവിനിമയയന്ത്രത്തിൽക്കൂടി (heat exchanger) കടത്തിവിടുന്നതുമൂലം, ദ്രവത്തിലെ അധികോഷ്ണം ഉഷ്ണവിനിമയയന്ത്രത്തിലെ അഥവാ പ്രബാഷ്പപാത്രത്തിലെ(boiler) ജലത്തിലേക്കു സംക്രമിക്കുയും അങ്ങനെ ജലം പ്രബാഷ്പമായി



പടം 14

അണുശക്തിനിമ്മാണസംയന്ത്രം (Atomic Power Plant)

(steam) രൂപപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇപ്രകാരം ജലം ബാഷ്പമായി ത്തീരുന്ന ഘട്ടംവരെ വന്നുകഴിഞ്ഞാൽ പിന്നീടുള്ള എല്ലാ ഘട്ടങ്ങളും സാധാരണ ആലക്തികോത്പാദനമാർഗ്ഗത്തിലേതുപോലെതന്നെ യാണ്.

സൂക്ഷ്മമായി ആലോചിച്ചാൽ, അണുപ്രബാധകം (atomic reactor) അണുശക്തിനിമ്മാണയന്ത്രത്തിൻെറ (atomic power plant) ഒരു ഘടകം മാത്രമാണ്. ജലത്തെ ബാഷ്പീകരിക്കുന്നതിനാവശ്യമുള്ള ഉഷ്ണം പ്രദാനംചെയ്യുന്ന ഒരു യന്ത്രവിശേഷം അല്ലെങ്കിൽ പ്രബാഷ്പപാത്രം (steam boiler)എന്നു വേണമെങ്കിൽ പറയാം. ഇതിന്നു് ഉത്കൃഷ്ടങ്ങളായ രണ്ടു പ്രത്യേകതകരം ഉണ്ടു്. ഒന്നു്, പ്രബാധകത്തിൽ ഉളവാകുന്ന ഊഷ്മാവിനെ ദാഹകേന്ധനവുമായി സമ്പക്കമുള്ള ദ്രവം വലിച്ചെടുത്തു് ഉഷ്ണവിനിമയയന്ത്രത്തിലേക്കു് ആനയിക്കയും, അങ്ങനെ അതിലെ ജലം പ്രബാഷ്പീകരിക്കപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. രണ്ടു്, പ്രബാധകത്തിൽ ഉയരുന്ന അത്യുഷ്ണതയ്ക്കു് ഒരു നിശ്ചിതപരിധി നിർണ്ണയിക്കുവാൻ നിവൃത്തിയില്ല. ഉഷ്ണത

(temperature) എത്രയും കൂടുന്നുവോ, അത്രയും പ്രബാഷ്പപാത്രത്തിൻേറ (boiler) പ്രവത്തനക്ഷമത വർദ്ധിക്കുന്നതാണ്. യന്ത്രവിധാനങ്ങളുടെ പരിമാണവും കുറഞ്ഞിരിക്കും.

എന്നാൽ വർദ്ധിതമായ ഉഷ്ണതമൂലമുണ്ടാകുന്ന ചില ദോഷങ്ങളെപ്പററിയും ചിന്തിക്കേണ്ടതായിട്ടുണ്ട്. ഇന്നു കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള ലോഹങ്ങൾക്ക് 1,000 ഡിഗ്രി ഫാറൻഹീററിൽ കൂടുതൽ ഉഷ്ണതയെ പ്രതിരോധിക്കുവാനുള്ള ശക്തിയില്ല. അത്യുഷ്ണതയെ പ്രതിരോധിക്കുവാൻ കഴിവുള്ള ലോഹങ്ങളെ കണ്ടുപിടിക്കാനുള്ള യത്നം പ്രയോഗമിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു് ആശ്വാസകരംതന്നെ.

വേറൊരു ദോഷം, ശൈത്യദ്രവത്തെ (coolant) സംബന്ധിച്ചുള്ളവയാണ്. പ്രബാധകത്തിലെ അത്യുഷ്ണത്തെ വലിച്ചെടുക്കുന്നതിനു ജലം പ്രയോജനശൂന്യമായിത്തീരുന്നു. കാരണം ജലം തിളയ്ക്കുന്നതു താണ ഉഷ്ണതയിലായിരിക്കുന്നതിനാൽ അണുപ്രബാധകത്തിന്റെ പ്രവത്തനത്തെ ഇതു സാരമായി ബാധിക്കും. അതിനാൽ കൂടുതൽ ഉഷ്ണതയിൽമാത്രം തിളയ്ക്കുന്ന ഒരു ദ്രവം കണ്ടുപിടിക്കേണ്ടതായിട്ടാണിരിക്കുന്നതു്. സോഡിയത്തിൻേറയും പൊട്ടാഷിയത്തിൻേറയും മിശ്രണദ്രവത്തെ ശൈത്യദ്രവമായി സ്വീകരിച്ചിട്ടുണ്ട്. പക്ഷേ, ഇതും സമുചിതമായ ഒരു ശൈത്യദ്രവമെന്നു പറയാവുന്നതല്ല. കാരണം, ഉഷ്ണത 1,400 ഡിഗ്രി ഫാറൻഹീററിൽ(1400°F) എത്തുമ്പോഴേക്കും സോഡിയം തിളച്ചുപോകുന്നു. അതിനാൽ വളരെ ഉയന്ന ഉഷ്ണതയിൽ മാത്രം തിളയ്ക്കുന്ന ഒരു ശൈത്യദ്രവം കണ്ടുപിടിക്കാൻ കഴിഞ്ഞാൽ അണുപ്രബാധകം കൂടുതൽ പ്രവത്തനക്ഷമമായിത്തീരുന്നതാണ്. അതിന്റെ വലിപ്പവും ഗണ്യമായ രീതിയിൽ കുറയ്ക്കുകയും ചെയ്യാം.

അതിപ്രധാനമായ മൂന്നാമതൊരു ദോഷം, പ്രബാധകത്തിൽ അവശേഷിക്കുന്ന 'ചാരങ്ങൾ' (ashes) തേജോദ്ഗിരങ്ങൾ (radio active) ആകയാൽ മനുഷ്യനു് ആപത്കരമായിത്തീരുന്നു എന്നുള്ളതാണ്. അതിനാൽ തേജോദ്ഗിരണം മനുഷ്യനെ ബാധിക്കാതിരിക്കത്തക്കവണ്ണം അവയെ മാററി ഭദ്രമായി സൂക്ഷിക്കുന്നതിനുള്ള പ്രത്യേക സ്ഥാനങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കുക എന്നതും ഒരു വിഷമപ്രശ്നമായിരുന്നു.

ഒരണുപ്രബാധകത്തിൻേറ നിമ്മാണത്തിനുള്ള ചെലവിനെ പരിഗണിക്കുമ്പോൾ അതിൽനിന്നുമുള്ള ആലക്തികോത്പാദനം വളരെ വ്യയഹേതുകമാണെങ്കിലും കാലക്രമേണ ചെലവു കുറയ്ക്കു

ത്തക്ക മാർഗ്ഗങ്ങൾ വൈജ്ഞാനികന്മാർ കണ്ടുപിടിക്കുമെന്നു പ്രതീക്ഷിക്കാം.

അണുസ്തംഭത്തിൻെറ പ്രാരംഭദശയിൽ യുറേനിയം-235 ആയിരുന്നു ഇന്ധനമായി ഉപയോഗിച്ചിരുന്നതു്. എന്നാൽ പ്രകൃതിയിൽ നിന്നു ലഭിക്കുന്ന ഈ സ്ഥാനീയത്തിൻെറ പരിമാണം ഏററവും ലഘുവാണു്. അതിനാൽ പ്രകൃതിയിൽ സുലഭമായിക്കാണുന്ന യുറേനിയം-238-നെ വിഘടനധാതുവായ പ്ലൂട്ടോണിയമായി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തിയാണു് ഹാൻഫോർഡിലേയും മററും വമ്പിച്ച 'അണുച്ചൂളകൾ' (atomic furnaces) പ്രവർത്തനം നടത്തുന്നതു്. ഇപ്രകാരമുള്ള രൂപവിപരിണാമക്രിയയിൽനിന്നും ഉളവാകുന്ന ഉഷ്ണത്തെ ഏതെങ്കിലും വിധത്തിൽ പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതിനെപ്പററി ചിന്തിക്കുവാൻ തുടങ്ങിയതുതന്നെ യുദ്ധത്തിനുശേഷം മാത്രമായിരുന്നു.

അഭിജനനക്രിയ
(Breeding Process)

പ്രകൃതിയിൽനിന്നും സുലഭമായി ലഭിക്കുന്ന യുറേനിയം-238-നെത്തന്നെ ഇന്ധനമായി ഉപയോഗിക്കുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗമാണു് അഭിജനന(breeding)പദ്ധതിയിൽ വെളിപ്പെടുന്നതു്. യുറേനിയം-238 വിഘടനയോഗ്യമല്ലാത്തതിനാൽ അതേരീതിയിൽ അതിനെ ഇന്ധനമായി സ്വീകരിക്കുവാൻ കഴികയില്ല. എന്നാൽ യുറേനിയം-235-നെപ്പോലെതന്നെ വിഘടനധാതുവായ പ്ലൂട്ടോണിയത്തെ യുറേനിയത്തിൽനിന്നും രൂപപ്പെടുത്തി ഉപയോഗിക്കാമെന്നു നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു. യുദ്ധകാലത്തു്, ഈ മാർഗ്ഗത്തിലൂടെ വേണ്ടത്രയും പ്ലൂട്ടോണിയം സിദ്ധിച്ചിരുന്നില്ല.

പ്ലൂട്ടോണിയത്തിൻെറ ഉത്പാദനത്തിനുവേണ്ടി ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്ന ഇന്ധനത്തിൻെറ പരിമാണത്തെ അപേക്ഷിച്ച് അനേകമടങ്ങു പ്ലൂട്ടോണിയം യുറേനിയം-238-ൽനിന്നും ലഭിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞാൽ, അപ്രകാരമുള്ള വിപരിണാമക്രിയയിൽനിന്നും ഗണ്യമായ തോതിൽ അണുശക്തിയെ ഉളവാക്കാൻ കഴിയുന്നതായിരിക്കുമെന്നു ഡോക്ടർ സിൻ (Dr. Zinn) അഭ്യൂഹിച്ചു.

യുറേനിയം-238-ൻെറ വിഘടനത്തിൽനിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങൾ (fast neutrons) അന്യഥാ നഷ്ടപ്പെട്ടുപോകാതെ, മുഴുവൻതന്നെ യുറേനിയം-238-ൻെറ വിപരിണാമത്തിനുവേ

ണ്ടിമാത്രം സ്വീകരിച്ചാൽ തത്ഫലമായുണ്ടാകുന്നതു് പ്ളൂട്ടോണിയമാണല്ലോ. ഒരു പ്ളൂട്ടോണിയം അണുവിൻെറ വിഘടനത്തിൽ നിന്നും ശരാശരി മൂന്നു നിരലക്തങ്ങൾ ഉദ്ഗമിക്കപ്പെടുന്നു. ഈ പ്രക്രിയ (reaction) പുരോഗമിക്കുന്നതോടുകൂടി അധികമധികം പ്ളൂട്ടോണിയവും ആവിർഭവിക്കുന്നു.

ഇതുപോലെതന്നെ പ്രകൃതിയിൽ സുലഭമായുള്ള തോറിയം (thorium) ധാതുവിനേയും വിഘടനസമത്ഥമായ യുറേനിയം-233 ആയി (U-233) വിപരിണമിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതുകൊണ്ടു തോറിയത്തേയും ഇന്ധനമായി ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണെന്നു് ഡോക്ടർ സിൻ (Dr. Zinn) ചിന്തിച്ചു.

യുറേനിയം-235-ൻെറ 139 മടങ്ങു യുറേനിയം-238 പ്രകൃതിയിൽ കാണപ്പെടുന്നുണ്ടു്. അതുപോലെതന്നെ തോറിയവും സുലഭമാണു്. ഇവയെല്ലാം അണുശക്ത്യുത്പാദനത്തിനുള്ള ഇന്ധനമായി ഉപയോഗിക്കുവാൻ സാധിച്ചാൽ, സാധാരണ ഇന്ധനങ്ങളായ കല്ക്കരിയേയും, എണ്ണയേയും പിന്നിലേക്കു തള്ളാവുന്നതാണു്.

അണുശാസ്ത്രവിദഗ്ദ്ധനായ ഡോക്ടർ സിന്നിൻെറ ഈദൃശമായ അഭിജനനക്രിയയെ (breeding)അവലംബമാക്കിയുള്ള 'പ്രബാധകം' ആർഗോൺ (Argonne) എന്ന സ്ഥലത്താണു നിമ്മിക്കപ്പെട്ടതു്. ഈ പ്രബാധകത്തിൻെറ പ്രവത്തനം ഹേതുവായി ആലക്തികശക്തിയെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനു് ആദ്യമായി സാധിച്ചു.

ഡോക്ടർ സിന്നിൻേറയും, സഹപ്രവത്തകരുടേയും അക്ഷീണയത്നം ലോകത്തിനു് ഒരു മഹനീയനേട്ടമായി പരിണമിച്ചു.

ഒരു അഭിജന്യകത്തിൽ (breeder) പ്രക്രിയ നടക്കുന്ന സ്ഥാനത്തിനു് ഏകദേശം ഒരു ഫുട്ബോളിൻെറ വലിപ്പംമാത്രമേയുള്ളു. അതിലാണു സംസ്കരിക്കപ്പെട്ട യുറേനിയം-235 സംകേന്ദ്രണംചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതു്. ഇതിനെ ആവരണംചെയ്തുകൊണ്ടു് ഒരു ലോഹകഞ്ചുകം (metal jacket)സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. ഈ ലോഹകഞ്ചുകത്തിൽ സോഡിയത്തിൻേറയും, പൊട്ടാഷിയത്തിൻേറയും മിശ്രണദ്രവം നിരന്തരം പരിവത്തനംചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കും. ലോഹകഞ്ചുകത്തിൻെറ പുറമേയായി ഒരാവരണം എന്ന മാതിരിയിൽ, വത്തുളശലാകകളായി രൂപപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ള (cylindrical rods) യുറേനിയം-238-നെ വിന്യസിച്ചിട്ടുണ്ടു്. ശൈത്യദ്രവത്തിൻെറ സ്വച്ഛന്ദമായ പ്രവാഹത്തെ ഉദ്ദേശിച്ചു് ഇതു ബഹുലങ്ങളായ ദ്വാരങ്ങളേക്കൊണ്ടു നിറ

ച്ചിരിക്കയാണ്. പ്ളൂട്ടോണിയം പാകംചെയ്യപ്പെടുന്നതു് ഈ ആവരണത്തിലാണ്.

മേല്പറഞ്ഞ യന്ത്രവിശേഷത്തിൽ ഒരു പ്രധാനസ്ഥാനം വഹിക്കുന്നതു സോഡിയം-പൊട്ടാഷിയം മിശ്രണദ്രവത്തിൻെറ നിരഗ്ഗളമായ പ്രവാഹഗതിയാണ്. ഈ ദ്രവമാണ് ഉഷ്ണത്തെ ഉഷ്ണവിനിമയയന്ത്രത്തിലേക്ക് (heat exchanger) ആനയിക്കുന്നതു്. പ്രബാധകകേന്ദ്രത്തിൽനിന്നും നിഗ്ഗമിക്കുന്ന ലോഹദ്രവം അത്യുഷ്ണിതവും തേജോദ്ഗിരവുമാണ് (radio active). സോഡിയവും, പൊട്ടാഷിയവും ജലവുമായി സ്പർശമുണ്ടാകുമ്പോഠം സംഭവിക്കാവുന്ന വിസ്ഫോടനം(explosion) ആപല്ക്കരമായതിനാൽ അതിനെ തടയത്തക്കവണ്ണം, ഒരു 'ദ്വൈതപരിവത്തനപദ്ധതി' (double circulating system) ഈ യന്ത്രത്തിൻെറ വിധായകന്മാർ സംവിധാനംചെയ്തിട്ടുണ്ട്. അതായതു്, പ്രബാധകാന്തർഭാഗത്തുനിന്നും പുറപ്പെടുന്ന ശൈത്യദ്രവത്തിൽ സംക്രമിച്ചിട്ടുള്ള ഉഷ്ണത്തെ ഒരു ആവൃത്തികൂടി ആവാഹിക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമായവിധം, രണ്ടാമതും സോഡിയം-പൊട്ടാഷിയം ലോഹദ്രവപരിവത്തനത്തിനുള്ള സജ്ജീകരണങ്ങഠം നിർവ്വഹിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒന്നാമത്തേതിൽനിന്നും രണ്ടാമത്തെ ഘട്ടത്തിലുള്ള ശൈത്യദ്രവത്തിലേക്കു സംക്രമിക്കുന്ന ഉഷ്ണം വേറൊരു ഉഷ്ണവിനിമയയന്ത്രത്തിലേക്ക് ആനയിക്കപ്പെടുകയും, പ്രബാഷ്പശകടത്തെ (steam turbine) പ്രവത്തനസമത്ഥമാക്കുന്നതിനാവശ്യമുള്ള ആവി അഥവാ പ്രബാഷ്പം(steam) ലഭിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. തേജോദ്ഗിരമായ ഒരു വസ്തു വേറൊരു വസ്തുവിനെ തേജോദ്ഗരിതമാക്കാത്തതിനാൽ, രണ്ടാംഘട്ടത്തിലെ ലോഹദ്രവമിശ്രണം സംതപ്തമാണെന്നുള്ളതല്ലാതെ തേജോദ്ഗരിതമായി ഭവിക്കുന്നില്ല. ഏതെങ്കിലും കാരണവശാൽ ഈ ലോഹദ്രവമിശ്രണത്തിനു ജലസ്പർശം ഉണ്ടായാൽത്തന്നെയും, വിസ്ഫോടനം സംഭവിക്കുമെന്നല്ലാതെ തേജോദ്ഗിരണമുണ്ടാകുമെന്നു ഭയപ്പെടേണ്ടതായിട്ടില്ല.

മുൻപ്രസ്താവിച്ചവിധത്തിലുള്ള പ്രബാധകത്തിൻെറ പ്രവത്തനവിധത്തെ പരിഷ്കരിക്കുന്നതിനും, പ്രവത്തനവേളയിലുണ്ടായേക്കാവുന്ന തേജോദ്ഗിരണത്തെ തടയുന്നതിനും, യന്ത്രത്തെ കൂടുതൽ പ്രവത്തനക്ഷമമാക്കുന്നതിനും കഴിയത്തക്ക യന്ത്രവിശേഷങ്ങളെ പില്ക്കാലത്തു വിധാനംചെയ്തിട്ടുണ്ട്.

ആലക്തികോത്പാദനവിഷയത്തിൽ ഇന്നും അണുശാസ്ത്രകാര

ന്മാർ പ്രവർത്തനനിരതരായിട്ടാണു കാണപ്പെടുന്നതു്. അണുശക്തിയിൽനിന്നും ആലക്തികശക്തി ഉത്ഭവിപ്പിക്കുവാൻ സാധിച്ചിട്ടുണ്ടെങ്കിലും, വ്യാവസായികമായതോതിൽ ആലക്തികശക്തി ഉത്പാദിപ്പിക്കുന്നതിനു് ഇനിയും ശ്രമം നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കമാത്രമേ ചെയ്യുന്നുള്ളു.

അനതിവിദൂരമായ ഭാവിയിൽത്തന്നെ അണുശക്തികൊണ്ടു വളരെ ലഘുവായ ചെലവിൽ ആലക്തികശക്തിയെ ഉത്പാദിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നു നമുക്കു പ്രതീക്ഷിക്കാം. സാധാരണരീതിയിൽ ആലക്തികശക്തിയെ ഉണ്ടാക്കുന്നതിനു നിവൃത്തിയില്ലാത്തവണ്ണം കല്ക്കരി, എണ്ണ തുടങ്ങിയ ഇന്ധനങ്ങൾ വിരളങ്ങളായിരിക്കുന്ന പ്രദേശങ്ങൾക്കു്, അണുശക്തിയിൽനിന്നും ആലക്തികശക്തിയെ ജനിപ്പിക്കുന്നതിനു് ഒരുകാലത്തു സാധിച്ചു എന്നുവരാം. അലാസ്കാ, ഗ്രീൻലാൻഡു് തുടങ്ങിയ ആർട്ടിക്ക്പ്രദേശങ്ങളിൽത്തന്നെയും ആലക്തികശക്തിയെ പ്രചരിപ്പിക്കുന്നതിനു കഴിഞ്ഞു എന്നു വന്നേക്കാം.

— അണുക്കളിൽനിന്നും ആലക്തികത്തെ ജനിപ്പിക്കുന്നതിനു വേറൊരു മാർഗ്ഗംകൂടി നിർദ്ദേശിക്കാം. പരീക്ഷണാത്ഥമുള്ള അണുശക്തിനിർമ്മാണയന്ത്രങ്ങൾ മുഖേന അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെ ഉഷ്ണമായി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തി, ആ ഉഷ്ണംകൊണ്ടു ജലത്തെ ബാഷ്പീകരിക്കുകയും അങ്ങനെ ആലക്തികശക്തിയെ ഉളവാക്കുകയും ചെയ്യാവുന്നതാണു്.

ഒരു 'അണുച്ചൂള' (atomic furnace)യിലെ ചാരത്തിൽനിന്നും ലഭിക്കുന്ന തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ 'സ്ട്രോൺഷിയം' (strontium) എന്ന അപൂർവ്വധാതുവിനെ ആധാരമാക്കി ചെറിയ 'അണുബാറ്ററികൾ' (atomic batteries) നിർമ്മിക്കുന്നതിനും സാധിച്ചിട്ടുണ്ടു്. ഇമ്മാതിരിയിലുള്ള ഒരു ബാറ്ററി ആകൃതിയിൽ വളരെ ചെറുതായിരിക്കും. കേവലം തേജോദ്ഗിരണത്തിൽനിന്നുമാത്രം പുറപ്പെടുവിക്കാവുന്ന ആലക്തികശക്തിയുടെ പരിമാണം ഒരു വാട്ടിൻെറ (watt) പത്തുലക്ഷത്തിലൊരംശം മാത്രമാണു്. ഒരു നൂറുവാട്ടു്(watt) ആലക്തികശക്തിയുള്ള ദീപത്തെ ഉജ്ജ്വലിപ്പിക്കുന്നതിനു് ഇപ്രകാരമുള്ള പത്തുകോടി ബാറ്ററികൾ വേണ്ടിവരുമെന്നിരുന്നാലും വ്യാവസായികമായി ഈ കണ്ടുപിടിത്തത്തിനു് അതിശോഭനമായ ഒരു ഭാവിയുണ്ടെന്നു നിസ്സന്ദേഹം പ്രസ്താവിക്കാം.

ഒരണുബാറ്ററിയിൽനിന്നുമുണ്ടാകുന്ന ആലക്തികധാരയ്ക്കു്, ഒരു ദൂരശ്രവണയന്ത്രത്തിൽ (telephone receiver) കേവലം നേരിയ

ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിക്കുന്നതിനു മാത്രമേ ശക്തിയുള്ളു എന്നു വന്നാൽ ത്തന്നെയും, ഒരുകാലത്തു റേഡിയോ, ഘടികാരങ്ങൾ, ശ്രവണസഹായികൾ (hearing aids) തുടങ്ങിയ ഉപകരണങ്ങളിൽ സംഘടിപ്പിച്ച് അവയെ പ്രവത്തനക്ഷമമാക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നു ന്യായമായി ചിന്തിക്കാം. തേജോദ്ഗിര വസ്തുവായ സ്ട്രോൺഷിയത്തിന് അലക്തനങ്ങളെ (electrons) ദീർഘകാലത്തേക്കു വിസജ്ജിക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നതിനാൽ അത്രയുംകാലംവരെയും ബാററി പ്രവത്തിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കുന്നതാണ്.

അണുബാററിയുടെ കണ്ടുപിടിത്തം ശാസ്ത്രത്തിൻെറ ചരിത്രത്തിലെ ഒരു അതിപ്രധാനഘട്ടമാണെന്നു വൈജ്ഞാനികന്മാർ വിശ്വസിക്കുന്നു. അണുപ്രബാധകത്തോടൊന്നിച്ചുതന്നെ, അണുബാററിയും ലോകത്തിന് ആലക്തികശക്തിയെ പ്രദാനംചെയ്യുന്നതിനുള്ള ഒരു നവീനമാർഗ്ഗമായി കരുതാവുന്നതത്രേ.

അണുസംയോജനവും ആലക്തികശക്തിയും
(Atomic Fusion and Electricity)

അണുവിഘടനയിൽനിന്ന് (atomic fission) അണുപ്രവത്തകശക്തി ഉളവാകുന്നതിനെ ആലക്തികമായി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗത്തെപ്പററി നാം പരിചിന്തനംചെയ്തു. എന്നാൽ അണുവിഘടനയിൽനിന്നുതന്നെയല്ല, അണുസംയോജനത്തിൽനിന്നും (atomic fusion) അണുപ്രവത്തകശക്തി ഉത്ഭവിപ്പിക്കാമെന്നും, ഈ ശക്തിയേയും ആലക്തികമായി മാററുന്നതിനുള്ള സാദ്ധ്യതയുണ്ടെന്നും നാം ഗ്രഹിക്കണം. അണുസംയോജനംകൊണ്ടും അണുപ്രവത്തകശക്തി ആവിർഭവിക്കുന്നുവെന്നു ശാസ്ത്രകാരൻ ഗ്രഹിച്ചതു് അടുത്തകാലത്തുമാത്രമാണ്. സൂര്യനിലെ പ്രവത്തകശക്തി മുഴുവനും ഈ അണുസംയോജനത്തിൽനിന്നാണ്. അണുസംയോജനത്തിൽനിന്നുണ്ടാകുന്ന അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ ആസ്പദമാക്കിയാണ് ഇന്നു് അണുബോംബിനെത്തന്നെയും അതിശയിക്കുന്ന ഹൈഡ്രജൻബോംബ് (hydrogen bomb) സൃഷ്ടിതമായിരിക്കുന്നതു്.

ഒരു ഹൈഡ്രജൻബോംബിനെ പ്രവത്തനസമത്ഥമാക്കുവാൻ കഴിയുന്ന അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ സമാധാനപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കു വിനിയോഗിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണോ എന്നുള്ള പ്രശ്നം ശാസ്ത്രവേദികളെ ഇന്നും അലട്ടിക്കൊണ്ടാണിരിക്കുന്നതു്. ഏതാണ്ടു് മൂന്നു

കോടി സംവത്സരങ്ങളായി സൂര്യനെ 'തപനനാക്കി'ക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ശക്തി അണുസംയോജനത്തിൽനിന്നുള്ള പ്രവൎത്തകശക്തി തന്നെയാണു്.

സീററാ
(Zeta)

അണുസംയോജന(atomic fusion)ത്തിൽ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയെപ്പററിയുള്ള നിരന്തരഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി ഇംഗ്ലണ്ടിലെ ഹാർവെൽ അണുഗവേഷണസ്ഥാപനത്തിൽ (Harwell Atomic Research Establishment) പ്രവൎത്തിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന വൈജ്ഞാനികൎക്കു്, അണുക്കളെ സംയോജിപ്പിക്കുവാൻ സാധിച്ചുവെന്നും, സീററാ (Zeta) എന്ന പേരോടുകൂടിയ ഒരു യന്ത്രവിശേഷം ഉപയോഗിച്ചു് 50,00,000 ഡിഗ്രി സെൻറിഗ്രേഡിൽ ഉഷ്ണതയെ (temperature) വൎദ്ധിപ്പിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞുവെന്നും കാണുന്നു. ഈ വസ്തുത വെളിപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നതു് ഇംഗ്ലണ്ടിലെ അണുപ്രവൎത്തകശക്ത്യധികാരസ്ഥാനത്തുനിന്നും പുറപ്പെടുവിച്ചിട്ടുള്ള ഒരു വിവരണത്തിൽ (report) നിന്നാണു്.

സൎവ്വസാധാരണമായി ഭൂമിയിൽ കാണപ്പെടുന്ന ധാതുക്കളിൽ ഒന്നാണു് അബ്ജനകം(hydrogen). സമുദ്രജലത്തിൽ ഭാരംകൂടിയ അബ്ജനകം(heavy hydrogen) ധാരാളമായി അടങ്ങിയിട്ടുണ്ടു്. ഈ അബ്ജനകത്തെ ആലംബമാക്കിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളാണു് ഇപ്പോഴും ബ്രിട്ടനിലേയും, അമേരിക്കയിലേയും, റഷ്യയിലേയും ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നതു്. ബ്രിട്ടനും, റഷ്യയും, അമേരിക്കയും ഒരേ സരണിയെ അവലംബിച്ചു പ്രവൎത്തനം തുടൎന്നുവെങ്കിലും, ബ്രിട്ടനിലെ ഹാർവെൽ വൈജ്ഞാനികരാണു കൂടുതൽ പുരോഗമിച്ചതെന്നു ബ്രിട്ടീഷുകാർ അവകാശപ്പെടുന്നു.

അണുവിഘടനയെ അപേക്ഷിച്ചു് അണുസംയോജനമാണു് ശാസ്ത്രകാരന്മാൎക്കു വളരെ പ്രയാസമായി അനുഭവപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതു്. വസ്തുബീജങ്ങൾ (nucleus) തമ്മിലുള്ള വികർഷണമാണു് അണുസംയോജനത്തിനു വിഘാതമായി നില്ക്കുന്നതു്. എന്നാൽ ഗവേഷകന്മാൎക്കു് ഈ വിഷയത്തിൽ മാൎഗ്ഗദർശിയായി കാണപ്പെടുന്നതു സൂര്യൻ തന്നെ. സൂര്യനിൽ അണുസംയോജനകൎമ്മം അനുസ്യൂതമായിത്തന്നെയാണു നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു്.

പ്രവൎത്തനതത്വത്തെ ആസ്പദമാക്കി വിചിന്തനം ചെയ്യുമ്പോഠം സീററാ (zeta) എന്നതു 'മനുഷ്യനിൎമ്മിതമായ ഒരു സൂര്യൻ' (man made sun) എന്നു പറയാം.

ഭാരമേറിയ അബ്ജനകവാതകത്തെ (heavy hydrogen) അടക്കിയിട്ടുള്ളതും വൎത്തുളാകാരത്തിലുള്ള നാളത്തോടുകൂടിയതുമായ ഒരു ധാരകമാണു് (container) സീററായുടെ പ്രധാന ഘടകം. നാളത്തിൽക്കൂടി ആലക്തികധാരയെ അതിശീഘ്രത്തിൽ പ്രസരിപ്പിച്ചു്, അബ്ജനകവാതകത്തെ നാളഭിത്തിയിൽ സ്പൎശിക്കുന്നതിനനുവദിക്കാതെ ധാരകമദ്ധ്യത്തിൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. അപ്രകാരമുള്ള കേന്ദ്രീകരണത്തിൻെറ ഫലമായി സാന്ദ്രതയേറിയ അബ്ജനകബീജങ്ങഠം തമ്മിൽ (ഡ്യൂട്ടറോൺ) സംഘട്ടനം നടക്കുയും, അതിസാന്ദ്രതയുള്ള ബീജങ്ങഠം ആവിൎഭവിക്കുയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെ നൂതനബീജങ്ങളുടെ ആവിൎഭാവത്തിനു് ഒരു സെക്കന്റിന്റെ അയ്യായിരത്തിലൊരംശംമാത്രം സമയമേ വേണ്ടിവരുന്നുള്ളു. ബീജങ്ങഠം തമ്മിലുള്ള സംയോജനം ഹേതുവായി ഉളവാകുന്ന പ്രവൎത്തകശക്തിയുടെ പരിമാണം നിസ്സീമമാണു്.

സീററായന്ത്രത്തിൽക്കൂടി ഉളവാക്കാവുന്ന താപത്തിൻെറ ഉഷ്ണത (temperature) സൂര്യനിലെ ഉഷ്ണതയുടെ മൂന്നിലൊരു ഭാഗം മാത്രമാണു്. എന്നാൽ ഈ ഉഷ്ണതയെ 50,00,000 ഡിഗ്രിയിൽനിന്നു് 2,50,00,000 ഡിഗ്രിയാക്കി ഉയൎത്തുവാൻ സാധിച്ചാൽ ഇപ്പോഠം ഉളവാക്കുവാൻ കഴിയുന്ന അണുശക്തിയുടെ പത്തുലക്ഷം മടങ്ങു വൎദ്ധിപ്പിക്കുവാൻ സാധിച്ചേക്കുമെന്നു് ഹാർവെൽ അണുപ്രവൎത്തകശക്തി ഗവേഷണസ്ഥാപനയുടെ നായകനായ സർ ജോൺ കോക്ക്റോഫ്റ്റ് (Sir John Cockroft) അഭിപ്രായപ്പെടുന്നു.

സീററായന്ത്രത്തെ പരിഷ്കരിക്കുന്നതിനും അണുശക്തിയെ വൻതോതിൽ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനുമുള്ള ഗവേഷണങ്ങളാണു് ഹാർവെൽകേന്ദ്രത്തിൽ ഇപ്പോഠം നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു്. ഒരുപക്ഷേ, ഈ പ്രവൎത്തനത്തെ ഫലപ്രാപ്തിയിൽ എത്തിക്കുന്നതിനു കാലദൈൎഘ്യം വേണ്ടിവന്നേക്കാമെന്നിരുന്നാലും ഇതു ശോഭനമായ ഒരു ഭാവിയെ വിളംബരം ചെയ്യുന്നുവെന്നു നിസ്സംശയം പ്രസ്താവിക്കാം. അങ്ങനെ പ്രകൃതിയിൽ സുലഭമായി ലഭിക്കുന്ന ജലത്തിൽനിന്നു് അക്ഷയകരമാംവിധം അണുശക്തിയെ ജനിപ്പിക്കുവാൻ സാധിക്കുമെന്നു പ്രതീക്ഷിക്കാം.

ബ്രിട്ടൻ സീററാനിർമ്മാണം ആരംഭിച്ചതു് 1948-ൽ ആയിരുന്നു. റഷ്യാക്കാർ അതിനുവേണ്ടിയുള്ള അടിസ്ഥാനമിട്ടതു് ഒരുപക്ഷേ 1952-ൽ ആയിരിക്കാമെന്നു് സർ ജോൺ കോക്ക്റോഫ്ററ് അഭ്യൂഹിക്കുന്നു. സീററാനിർമ്മാണത്തിനുള്ള സാമ്പത്തികവ്യയം എന്തുമാത്രമെന്നു് ഇനിയും നിർണ്ണയിച്ചിട്ടില്ലാത്ത നിലയ്ക്കു്, അതിൽനിന്നും ഉത്ഭവിപ്പിക്കാവുന്ന അണുശക്തിക്കുള്ള ചെലവു് എത്രയെന്നു തല്ക്കാലം നിശ്ചയിക്കുവാൻ നിവൃത്തിയില്ലാതാണിരിക്കുന്നതു്.

സീററായുടെ പ്രഥമഘട്ടത്തിനുതന്നെ ഏതാണ്ടു മൂന്നു ലക്ഷം പവനോളം ചെലവായിട്ടുണ്ടു്. ദ്വിതീയഘട്ടത്തിനു പ്രഥമഘട്ടത്തിനുണ്ടായതിനെക്കാൾ പത്തു മടങ്ങു ചെലവു വേണ്ടിവരുമെന്നാണു് ഊഹിക്കപ്പെടുന്നതു്. ദ്വിതീയഘട്ടംതന്നെയും കേവലം പരീക്ഷണത്തെ മാത്രം ഉദ്ദേശിച്ചായിരിക്കും. എന്നാൽ തൃതീയഘട്ടത്തിൽ മാത്രമേ ആലക്തികശക്തിയെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനു സാദ്ധ്യമായി വരികയുള്ളു എന്നത്രേ സർ ജോൺ കോക്ക്റോഫ്ററ് ഒരു പത്രപ്രതിനിധിസമ്മേളനത്തിൽ പ്രസ്താവിച്ചിട്ടുള്ളതു്.

സീററാനിർമ്മാണപരിപാടിയിൽ പ്രധാന സ്ഥാനം വഹിച്ചിട്ടുള്ള ഹാർവെൽ ശാസ്ത്രകാരന്മാരിൽ മൂന്നാളുകളുടെ പേരുകൾ സ്മരണീയമാണു്. സീററായുടെ സംവിധായകൻ ആർ. കാറുത്തേഴ്സ് (R. Carruthers), നിർമ്മാണകൻ ഡോക്ടർ പി. സി. തോണേമാൻ (P. C Thoneman), പരീക്ഷണങ്ങളുടെ നായകൻ ആർ. എസ്. പീസ് (R. S. Pease) എന്നിവരത്രേ.

(1)

അണുശക്തിവാഹനങ്ങൾ

ഇന്നു നിലവിലിരിക്കുന്ന വാഹനങ്ങൾ എല്ലാംതന്നെ സ്വയം പ്രവൎത്തകങ്ങളാണു്. തീവണ്ടി, മോട്ടോർകാർ തുടങ്ങി കരയിൽക്കൂടിയും, ആകാശവിമാനം, ആകാശക്കപ്പൽ തുടങ്ങി വായുവിൽക്കൂടിയും, മോട്ടോർബോട്ട്, സബ്മറൈനുകൾ തുടങ്ങി ജലത്തിൽക്കൂടിയും സഞ്ചരിക്കുന്നവയെല്ലാംതന്നെ പ്രവൎത്തനക്ഷമമായിത്തീരുന്നതു് ഇന്ധനങ്ങളുടെ ദഹനംകൊണ്ടുളവാകുന്ന ഉഷ്ണത്തെ പ്രവൎത്തകശക്തിയായി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുന്നതുമൂലമാണല്ലോ. കല്ക്കരി, പെട്രോൾ, ആല്ക്കഹോൾ, മുതലായവയാണു് പ്രധാന ഇന്ധനങ്ങൾ. എന്നാൽ ഇന്ധനങ്ങളുടെ ദഹനപൂൎത്തിയോടുകൂടി വാഹനങ്ങളുടെ ചലനവും നിലച്ചുപോകുന്നു. അതിനാൽ അവയെ പ്രവൎത്തനസമൎത്ഥങ്ങളാക്കുന്നതിനു പര്യാപ്തമാകത്തക്കവിധം പ്രസ്തുത വാഹനങ്ങളോടു നിബന്ധിച്ചിട്ടുള്ള യന്ത്രങ്ങളിൽ ഇന്ധനം തുടൎച്ചയായി ദഹിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കണം.

അണുക്കളിലെ പ്രവൎത്തകശക്തി ഹസ്തലബ്ധമായതോടുകൂടി, അതിനു് ഈ വാഹനങ്ങളെ ചലനസമൎത്ഥമാക്കുന്നതിനു സാധിച്ചേക്കാമെന്നുള്ള ചിന്ത ശാസ്ത്രകാരന്മാരെ പൂൎവ്വാധികം ഗവേഷണോത്സുകരാക്കി. അണുശക്ത്യുല്പാദനത്തെസംബന്ധിച്ചുള്ള ഇന്നത്തെ പരിമിതമായ അറിവിനെ ആസ്പദമാക്കി ഒരു ശ്രമം നടത്തിയാൽത്തന്നെ, അണുശക്തികൊണ്ടു് ഓടിക്കപ്പെടാവുന്ന ഒരു മോട്ടോർകാറിന്റെ ഭാരം ഏകദേശം 50 ടൺ വേണ്ടിവരുന്നതാണു്. ഭീമമായ അണുപ്രബാധകത്തെ ഇപ്രകാരമുള്ള വാഹനത്തിൽ ഘടിപ്പിക്കുന്നതോ പോകട്ടെ; അണുപ്രബാധകത്തിൽനിന്നും പ്രസരിച്ചേക്കാവുന്ന തേജോരശ്മിരങ്ങളായ അംശങ്ങൾ ജീവഹാനികരങ്ങൾകൂടിയാകുന്നതിനാൽ അണുവാഹനസൃഷ്ടി കേവലം ദിവാസ്വപ്നമണ്ഡലത്തിൽ അവശേഷിക്കുക മാത്രമേയുള്ളോ എന്നു ശാസ്ത്രവേദികൾ ചിന്തിക്കാതിരുന്നില്ല. ഏതായാലും ഒരണുവാഹനസൃഷ്ടിക്കുവേണ്ടിയുള്ള യത്നം ഫലപ്രാപ്തിയിലാകുമെന്നുള്ള ദൃഢപ്രതീക്ഷയോടുകൂടി അമേരിക്കൻ അണുശാസ്ത്രവിദഗ്ദ്ധന്മാർ പ്രവൎത്തനം നടത്തിയതിന്റെ ഫലമായി

അണുശക്തിപ്രേരിതമായ ഒരു 'സബ്മറൈൻ' (Submarine) നിർമ്മിക്കുന്നതിന് അവർക്കു സാധിച്ചതു് അണുവാഹനങ്ങളുടെ പ്രാരംഭദശയായി കരുതാം.

നോട്ടിലസ് (Nautilus) എന്നു പേരോടുകൂടിയ ഈ സബ്മറൈൻകപ്പലിന്റെ പ്രഥമസ്നാനകർമ്മം 1955 ജനുവരി 17-ാം തീയതിയാണു നടത്തപ്പെട്ടതു്. ഇതിന്റെ സംവിധായകൻ റീയർ അഡ്മിറൽ ഹൈമാൻ ജി. റിക്കോവർ (Rear Admiral Hyman G. Rickover) ആയിരുന്നു.

അററ്ലാന്റിക്കുസമുദ്രത്തിന്റെ അടിയിൽക്കൂടി അതിവേഗത്തിൽ പ്രയാണംചെയ്തു് അതിനെ തരണം ചെയ്യുവാൻ കഴിയത്തക്കവണ്ണം നോട്ടിലസ്സിനു് ആവശ്യമുള്ള ശക്തി പ്രദാനംചെയ്യുന്നതു് അണുശക്തിയാണു്. മററുള്ള സബ്മറൈനുകളെ അപേക്ഷിച്ചു് നോട്ടിലസ് വളരെ മേന്മയേറിയതത്രേ. യാത്രാരംഭത്തിൽത്തന്നെ നോട്ടിലസ്സിന്റെ അണുയന്ത്രത്തെ പ്രചോദിതമാക്കുന്നതിനുള്ള ഇന്ധനം ഉപയോഗിച്ചു ഭൂമിയെ സമ്പൂർണ്ണമായി ചുററി യാത്രചെയ്യുന്നതിനു നോട്ടിലസ്സിനു കഴിയും.

ഈ സബ്മറൈന്റെ യന്ത്രം ഇഡാഹോ (Idaho) മരുപ്രദേശത്തിൽ വച്ചു് വളരെ ഗോപ്യമായ വിധത്തിലാണു നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടതു്.

നോട്ടിലസ്സിന്റെ നിർമ്മാണത്തിൽ അതിന്റെ പ്രവർത്തകർക്കു് അനേകം പ്രശ്നങ്ങളെ അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടതായി വന്നു.

ഒന്നാമത്തെ പ്രശ്നം, അതിന്റെ യന്ത്രനിർമ്മാണത്തിനുള്ള ലോഹം കണ്ടുപിടിക്കുക എന്നതായിരുന്നു. സെർക്കോണിയം (Zirconium) എന്ന ഒരു അപൂർവ്വലോഹമാണു് നോട്ടിലസ്സിന്റെ യന്ത്രനിർമ്മാണത്തിനുവേണ്ടി നിർദ്ദേശിക്കപ്പെട്ടതു്. ഈ അപൂർവ്വലോഹം നിരലകത്തെ (neutron) വലിച്ചെടുത്തു ശൃംഖലക്രിയയെ മന്ദീഭവിപ്പിക്കുന്നില്ല. കൂടാതെ അത്യുഷ്ണത്തെ അഭിമുഖീകരിക്കുവാൻതക്ക ശക്തിയും ഇതിനുണ്ടു്. യന്ത്രനിർമ്മാണത്തിനു് ഈ ലോഹം നിർദ്ദേശിക്കപ്പെട്ട കാലത്തു് ഒരു പൗണ്ടു സെർക്കോണിയത്തിനു് ഉദ്ദേശം 5,00,000 ഡോളറോളം വിലയുണ്ടായിരുന്നു എന്നുതന്നെയല്ല, അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലെ സെർക്കോണിയം മുഴുവൻ ശേഖരിച്ചാൽത്തന്നെയും ഒരു ഡപ്പി നിറയ്ക്കുന്നതിനുപോലും മതിയാകാതെയാണിരുന്നതു്. എന്നാൽ നോട്ടിലസ്സിന്റെ യന്ത്രനിർമ്മാണമവസാനിക്കുന്നതിനുമുമ്പായിത്തന്നെ സെർക്കോണിയം സാമാന്യം കുറഞ്ഞ ചെലവിലും സുലഭമായും ഉണ്ടാക്കുന്നതിനു സാധിച്ചു.

സെർക്കോണിയലോഹാംശങ്ങളെത്തമ്മിൽ കൂട്ടിച്ചേർത്ത് ഏകീകരിക്കുന്നതിനുള്ള ശ്രമത്തിൽ വായുസമ്പർക്കമുണ്ടായാൽ അമ്ലജനകത്തേയും (oxygen), പാക്യജനകത്തെയും (nitrogen) ഈ ലോഹം വലിച്ചെടുക്കുന്നതുമൂലം പെട്ടെന്ന് തീ പിടിക്കുന്നു എന്നതു വേറൊരു പ്രശ്നമായിരുന്നു. അതിനാൽ സെർക്കോണിയത്തെ കൂട്ടിച്ചേർക്കുമ്പോൾ പ്രത്യേകം മുൻകരുതലുകൾ ചെയ്യേണ്ടിയിരുന്നു.

തേജോദ്ഗിരണം (radio activity) മറെറാരപകടംപിടിച്ച പ്രശ്നമായി വെളിപ്പെട്ടു. അതിനാൽ അണുയന്ത്രനിർമ്മാണത്തിനുള്ള അനേക വേലകളും ഏതാണ്ട് ഏഴടി ഘനമുള്ള വലിയ സിമൻറുമതിലിനു പിന്നിൽവച്ചാണു നടന്നുകൊണ്ടിരുന്നത്. തേജോദ്ഗിരവസ്തുക്കളുമായി കൈകാര്യംചെയ്യുന്നതിനുവേണ്ടി യാന്ത്രികഹസ്തങ്ങളാണ് (mechanical hands) ഉപയോഗിച്ചത്. ശേഷിച്ച വേലകളെല്ലാം ജലത്തിൽത്തന്നെ പന്ത്രണ്ടടി താഴെയായി നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള കർമ്മശാലകളിൽ (workshop) നടത്തപ്പെട്ടു. തേജോദ്ഗിരണത്തിൽനിന്നും രക്ഷ നേടുന്നതിനുള്ള മുൻകരുതലുകൾ ആയിരുന്നു ഇവയെല്ലാം.

സബ്മറൈനിൽ ശ്വസനക്രിയ നിർബാധം നടക്കത്തക്കവെണ്ണം പ്രത്യേക ക്രമീകരണങ്ങൾ ഉണ്ടായിരുന്നു. ഇരുപത്തിരണ്ടു നാവികരും ഒരു ഭിഷഗ്വരനും, ശ്വസനക്രിയയ്ക്കു വൈഷമ്യം ഉണ്ടാകുമോ എന്നു പരീക്ഷിച്ചറിയുന്നതിനുവേണ്ടി നോട്ടിലസ്സിൽ ഉദ്ദേശം ആറാഴ്ചയോളം കഴിച്ചുകൂട്ടിയതിൻെറശേഷം അരോഗവാന്മാരായി തിരിച്ചെത്തിയതു് ഈ സബ്മറൈനിലെ ശ്വസനോപകരണങ്ങളുടെ ശ്രേഷ്ഠതയെ വെളിപ്പെടുത്തുകയാണു ചെയ്യുന്നതു്.

നോട്ടിലസ്സിനോടനുബന്ധിച്ച അണുയന്ത്രത്തിൻെറ നിർമ്മാണം വളരെ ഭദ്രമായിട്ടായിരുന്നു. സബ്മറൈൻ കടലിലേക്കിറക്കിക്കഴിഞ്ഞതിൻെറശേഷം എന്തെങ്കിലും തകരാറു് അണുപ്രബാധകത്തിനുണ്ടായാൽ ആപൽസൂചകമായ ഒരു ചുവന്ന ദീപം പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ഉടനെതന്നെ പ്രബാധകത്തിൽനിന്നും പ്രസരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന നിരലകത്തെ വലിച്ചെടുത്തു ശൃംഖലക്രിയയെ തടഞ്ഞുനിറുത്തുന്നതിനു ഹാഫ്നിയം ശലാകകൾ (halfnium rods) പ്രബാധകത്തിലേക്കു കടത്തിവിടുന്നു. അതോടുകൂടി പ്രബാധകത്തിൻെറ പ്രവർത്തനവും നിലയ്ക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയുള്ള ദുർഘടഘട്ടത്തിൽ സബ്മറൈൻകപ്പൽ പ്രവർത്തിപ്പിക്കുന്നതിന് ഡീസൽ യന്ത്രങ്ങളും (Diesel engines) കപ്പലിൽ സൂക്ഷിച്ചിരിക്കും.

നോട്ടിലസ്സിൽ ഘടിപ്പിച്ചിരുന്ന അണുപ്രബാധകത്തിൻെറ പേരു് മാക്കു് 1 (Mark 1) എന്നാണു്. ഈ പ്രബാധകം ശൃംഖല ക്രിയയെ നിലനിറുത്തത്തക്കവണ്ണം ആവശ്യമുള്ളത്രയും നിരലക്തങ്ങളെ പ്രസരിപ്പിക്കവാൻ തുടങ്ങിയതു് 1953 മാർച്ച് 31-ാം തീയതിയായിരുന്നു. അതുവരെയും അണുശക്തികൊണ്ടു് ഒരു കപ്പലിനെ ചലിപ്പിക്കാമെന്നു് ആക്കുംതന്നെ നിശ്ചയമായി പറയുവാൻ നിവൃത്തിയില്ലായിരുന്നു. ഏതായാലും അണുശക്തിയെ സൃഷ്ടിപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കാമെന്നുള്ള പ്രതീക്ഷ നോട്ടിലസ്സിൻെറ നിമ്മാണംകൊണ്ടു സ്ഥിരീകരിക്കപ്പെട്ടു.

സീ വുൾഫ്
(Sea Wolf)

നോട്ടിലസ്സിനെത്തുടന്നു 'സീ വുൾഫ്' എന്ന പേരോടുകൂടി വേറൊരു സബ്മറൈനും കുറെക്കൂടി പരിഷ്കൃതമായ രീതിയിൽ വിധാനംചെയ്യപ്പെട്ടു. നോട്ടിലസ്സും സീ വുൾഫും അമേരിക്കൻ നാവികവകുപ്പു സമ്പാദിച്ച നേട്ടങ്ങളാണു്.

സ്കേയിററ്
(Skate)

അമേരിക്കൻ നാവികവകുപ്പിൻെറ വകയായി അടുത്തകാലത്തു് ഉൽഘാടനം ചെയ്യപ്പെട്ട മൂന്നാമത്തെ സബ്മറൈൻ സ്കേയിറ്റ് എന്ന പേരിനാൽ അറിയപ്പെടുന്നു. ഏതാണ്ടു് ഏഴുനാൾകൊണ്ടു് ഈ ക്ഷുദ്രജലാന്തസ്സും 2,828 മൈൽ സമുദ്രത്തിനടിയിൽക്കൂടി യാത്രചെയ്തു. നോട്ടിലസ്സിൻേറയും സീ വുൾഫിൻേറയും മാതൃകയിലാണു നിമ്മിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതെങ്കിലും അവയെ അപേക്ഷിച്ച് സ്കേയിററ് വളരെ ചെറുതാണു്. കുറേക്കൂടി പരിഷ്കൃതമായ ഒരു പ്രബാധകമാണു് ഇതിൽ നിബന്ധിച്ചിരിക്കുന്നതു്. ഈ സബ്മറൈനിലെ പ്രബാധക നിയന്ത്രണോപകരണങ്ങൾ(reactor control apparatus)ഇതിൻെറ ഗതിക്കു കൂടുതൽ സുഗമതയെ പ്രദാനംചെയ്യുന്നുണ്ടു്.

ഇതിൻെറ ദൈർഘ്യം 265 അടിയും, ഭാരം 2,400 ടണ്ണുമാണു്. ഉദ്യോഗസ്ഥാനുദ്യോഗസ്ഥന്മാരുൾപ്പെടെ 95 നാവികർ ഇതിൽ പ്രവത്തിക്കുന്നുണ്ടു്. പ്രാരംഭഘട്ടത്തിലെ ഇന്ധനംകൊണ്ടുതന്നെ 61,000

മെൽ നിർബാധം സഞ്ചരിക്കുവാൻ ഇതിനു കഴിയുമെന്നു് ഇതി ൻെറ അധിനായകനായ കാാംവർട്ട് (Calvert) അഭിപ്രായപ്പെടുന്നു.

(ഇവയെക്കൂടാതെ 'പാറ്റ്റിക് ഹെൻറി' (Patric Henry) ജോർജ്ജ് വാഷിംഗ്ടൺ (George Washington) എന്നീ സബ്മ റൈനുകളും അമേരിക്കൻ നാവികവകുപ്പു പ്രവത്തനക്ഷമമാക്കിയി ട്ടുണ്ട്.)

അണുവിമാനം

വ്യോമയാനത്തിനുതകത്തക്കവണ്ണം, വിമാനത്തെ അണുശക്തി കൊണ്ടു നയിക്കുവാൻ കഴിയുമോ എന്നുള്ള പ്രശ്നത്തിനു് എന്തെങ്കി ലും അനുകൂലസമാധാനം കണ്ടുപിടിക്കാനാണു് ഇന്നു വൈജ്ഞാനി കർ ശ്രദ്ധിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു്. ഒരുപക്ഷേ, അതും സാധിച്ചെന്നു വരാം. പ്രബാഷ്പം(steam)കൊണ്ടു കറക്കുവാൻ കഴിയുന്ന ശകട (turbine)ത്തിൻെറ സഹായത്തോടുകൂടി വിമാനങ്ങളുടെ പ്രണോദ കങ്ങളെ (propellers) ചലിപ്പിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞേക്കാം. അതി നാവശ്യമുള്ള പ്രബാഷ്പം ഒരണുപ്രബാധകത്തിൽനിന്നും ജനിക്കുന്ന ഉഷ്ണംകൊണ്ടാണുണ്ടാകേണ്ടതും.

തേജോദ്ഗിരണം എന്നൊരപകടപ്രശ്നമുണ്ടായിരുന്നില്ലെങ്കിൽ അണുശക്തികൊണ്ടു് ഓടിക്കപ്പെടാവുന്ന വിമാനങ്ങളെ ഉണ്ടാക്കുന്ന തു കുറേക്കൂടി എളുപ്പമായിരുന്നേനേ. ഒരു വിമാനം ആകാശത്തിൽ കൂടി പ്രയാണംചെയ്യേണ്ടതായതുകൊണ്ടു് അതിന്റെ ഉത്പാതശക്തി (lift) നഷ്ടപ്പെടാതെ സൂക്ഷിക്കേണ്ടതാണു്. വിമാനങ്ങളുടെ ഉത് പാതശക്തിയെ ഉദ്ദേശിച്ചുമാത്രമാണു്, അവ ലഘുഭാരാത്മകങ്ങളായ ലോഹങ്ങളാൽ നിമ്മിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതു്. ആ സ്ഥിതിക്കു് ഒരണു ശക്തിവിമാനവും യാതൊരു കാരണവശാലും ഭാരമുള്ളതായിത്തീരു വാൻ പാടുള്ളതല്ല. എന്നാൽ അണുശക്തിപ്രേരിതമായ ഒരു വിമാന ത്തെ തേജോദ്ഗിരണത്തിൽനിന്നും പരിരക്ഷിക്കുന്നതിനു വിമാന ത്തിൽ നിബന്ധിക്കുന്ന പ്രബാധകത്തെ ഈയംകൊണ്ടും, കോൺ ക്രീററുകൊണ്ടും മറയ്ക്കേണ്ടതാണു്. ഇവ രണ്ടും ഭാരമേറിയവയുമാകുന്നു. അതിനാൽ ഈയത്തിൻേറയും കോൺക്രീററിൻേറയും സ്ഥാനത്തു് വേറെ ഏതെങ്കിലും ഭാരം കുറഞ്ഞ വസ്തുക്കളെ തേടിപ്പിടിക്കേണ്ടതാ യിട്ടിരിക്കുന്നു.

ഗാസലിൻ എണ്ണകൊണ്ടു് ഓടിക്കാവുന്ന വിമാനങ്ങാക്കു് ഉയ

രുമ്പോഴുള്ള ഭാരത്തെ അപേക്ഷിച്ചു ഭൂമിയിലേക്കിറങ്ങുമ്പോഴുള്ള ഭാരം കുറവായിരിക്കും. അവയുടെ യന്ത്രം പ്രവത്തനം നടത്തുന്നതു് ഇന്ധനങ്ങളുടെ ദഹനംകൊണ്ടാണല്ലോ. ഇന്ധനം ദഹിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതോടുകൂടി വിമാനത്തിൻെറ ആകെയുള്ള ഭാരത്തിനും കുറവുസംഭവിക്കുന്നു. എന്നാൽ ഒരണുപ്രബോധകത്തിൻെറ സഹായത്തോടുകൂടി നയിക്കപ്പെടുന്ന വിമാനത്തിൻെറ ഭാരത്തിനു പ്രയാണവേളയിൽ ഭാരം കുറയുന്നില്ല. ഈ വൈഷമ്യത്തിനും ഒരു പരിഹാരം കണ്ടുപിടിക്കേണ്ടതാണു്.

ഒരു അണുവിമാനനിമ്മാണത്തിനു മേൽപറഞ്ഞ കാര്യങ്ങറം പ്രതിബന്ധങ്ങളായി നില്ക്കുന്നുവെങ്കിലും, ബോംബർ അണുവിമാനങ്ങറം സുലഭമായി നിമ്മിക്കപ്പെടുവാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നു ലോകത്തിലെ ഒന്നാംകിടയിലുള്ള വിമാനനിമ്മാണകന്മാരിൽ ചിലർ അഭിപ്രായപ്പെട്ടതനുസരിച്ചു്, അതിൻെറ പ്രാരംഭപണികറംക്കായി അനേകലക്ഷം ഡോളറുകറം അമേരിക്കൻ ഗവമ്മെൻറു ചെലവാക്കിയിട്ടുണ്ടു്. പക്ഷേ, ഒരു അണുവിമാനത്തിൻെറ നിമ്മാണം ആസന്നഭാവിയിൽ സാധിതപ്രായമാകുമോ എന്നു സംശയിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. കർണ്ണൽ ബാർക്സ്ഡെയിലിൻെറ (Colonel Barksdale അഭിപ്രായം ഒരണുവിമാനത്തിനു പററിയ യന്ത്രം ടർബോ ജെറ്റോ (Turbo-Jet), റാം ജറേറാ (Ram Jet) ആണെന്നത്രേ. ഒരു ജററുവിമാനം മുന്നോട്ടു കുതിച്ചുപായുന്നതു് അത്യുഷ്ണിതമായ വായുവിനെ പിന്നിലേക്കു തള്ളുന്നതുമൂലമാണല്ലോ. വായുവിനു് അത്യുഷ്ണത ലഭിക്കുന്നതും അതുമൂലം പിന്നിലേക്കുള്ള തള്ളലിനു വേഗം (speed) സിദ്ധിക്കുന്നതും ഇന്ധനത്തിൻെറ ദഹനംകൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന ചൂടിൽനിന്നാകുന്നു. ഈ ചൂടു് അണുവിഘടനംകൊണ്ടു ലഭിക്കുന്നപക്ഷം ഇന്ധനത്തിന്റെ ആവശ്യം നേരിടുന്നതല്ല.

ഒരണുവിമാനത്തിൻെറ വിധാനം ഏതുപ്രകാരമായിരിക്കണമെന്നുള്ളതിനേപ്പററി നിശ്ചിതമായ ഒരു തീരുമാനം ഇതേവരെയും ഉണ്ടായിട്ടില്ല. ഏതായാലും അണുശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ ശ്രദ്ധ ഈ വിഷയത്തിൽ ഗാഢമായി പതിഞ്ഞിരിക്കുന്നതുകൊണ്ടു്, ഒരുപക്ഷേ, കാലവിളംബം നേരിടാതെതന്നെ അണുവിമാനങ്ങറംക്കു പ്രചാരം സിദ്ധിച്ചു എന്നുവരാം.

അണുശക്തി റെയിൽപ്പാതയിലൂടെ

അണുശക്തി റയിൽവാഹനങ്ങളെ നയിക്കുന്നതിനുപകരിക്കാമോ എന്നുള്ള പ്രശ്നവും വൈജ്ഞാനികലോകത്തെ ചിന്താധീനമാക്കിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒന്നാണ്. 'യൂട്ടാ' (utah) സർവ്വകലാശാലയിലെ ഭൗതികവിജ്ഞാനീയവിഭാഗം ഇതേപ്പററി കാര്യമായി ചിന്തിച്ചു തൽപ്രായോഗികതയെക്കുറിച്ചു സമ്പൂർണ്ണമായ ഒരു വിവരണം തയാറാക്കിയിരിക്കുന്നതിൽനിന്നും, ഈ വിഷയത്തിലും ശാസ്ത്രലോകത്തിൻെറ ശ്രദ്ധ പതിഞ്ഞിരിക്കുന്നുവെന്നു വെളിവാകുന്നുണ്ട്. യൂട്ടാ സർവ്വകലാശാലയിലെ അണുശാസ്ത്രവിഭാഗത്തിൻെറ അദ്ധ്യക്ഷനായ ഡോക്ടർ എൽ. ബി. ബോർസ്റ്റ് (Dr. L. B. Borst) 1953-ൽ പ്രസ്തുത വിഷയത്തെപ്പററി ഒരു അദ്ധ്യയനം നടത്തേണ്ടതിൻെറ ആവശ്യകതയെക്കുറിച്ച്, ആദ്യമായി അമേരിക്കയിലെ അണുപ്രവർത്തകശക്തി സമിതിയുമായി (A E C) ആലോചന നടത്തി. ബോർസ്റ്റിൻെറ അഭിപ്രായത്തിനു് അമേരിക്കൻ ഗവൺമെൻറ് സ്വാഗതം നല്കിയതിനാൽ സ്വവിദ്യാർത്ഥികളുടെ ഗവേഷണപരിപാടിയെ ബോർസ്റ്റ് ഈ വഴിയിലേക്കു തിരിച്ചു. അമേരിക്കയിലെ യൂണിയൻ പാസിഫിക്ക് റെയിൽ റോഡ് (Union Pacific Rail Road), ജെനറൽ ഇലക്ട്രിക്ക് (General Electric), വെസ്ററിംഗ്ഹൗസ് (Westinghouse), ജനറൽ മോട്ടോഴ്സ് (General Motors) തുടങ്ങിയ മികച്ച കമ്പനികൾ ഡോക്ടർ ബോർസ്റ്റിൻെറ പരിപാടിക്കു പ്രേരണ നല്കി.

അനേകമാസങ്ങളിലെ ചിന്തയുടെ ഫലമായി അണുശക്തിയെ റയിൽവാഹനങ്ങളുടെ നടത്തിപ്പിനു പ്രയോജനപ്പെടുത്തുവാൻ മതിയായ സാദ്ധ്യതകൾ ഉണ്ടെന്നു ഡോക്ടർ ബോർസ്ററും സഹപ്രവർത്തകരും വിശ്വസിച്ചു. 7,000 അശ്വശക്തി (horse power) ഉത്പാദിപ്പിക്കുന്നതും 160 അടി ദൈർഘ്യം വരുന്നതുമായ ഒരു അണുശക്തിയന്ത്രം റയിൽവാഹനത്തോടു സംഘടിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നാണ് അവർ നിശ്ചയിച്ചതു്.

മൂന്നടി നീളവും, മൂന്നടി ഉയരവും, രണ്ടടി വീതിയും ഉള്ളതും, ഒരു ജലബാഷ്പീകരണയന്ത്രത്തിൻെറ (water boiler) മാതൃകയിൽ നിർമ്മിക്കപ്പെട്ടതുമായ ഒരു പ്രബോധകം അണുശക്തിയന്ത്രത്തോടു ഘടിപ്പിച്ചാൽ 30,000 കിലോവാട്ടുകൾക്കു സമാനമായ ഉഷ്ണത്തെ,

ഓരോ ചതുരശ്ര അംഗുലത്തിലും 250 റാത്തൽ മർദ്ദം ചെലുത്തുന്ന പ്രബാഷ്പത്തിന്റെ (steam) രൂപത്തിൽ ആവിർഭവിപ്പിക്കാമെന്നു മേൽപറഞ്ഞ വൈജ്ഞാനികന്മാർ നിർദ്ദേശിച്ചു.

അണുശക്തിപ്രേരിതമായ ഒരു റെയിൽവാഹനത്തിൻെറ ചെലവ്, യുറേനിയം–235-ൻെറ വിലയെ ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്. സാധാരണ വാഹനങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ചു കൂടുതൽ വേഗവും, കൂടുതൽ ശക്തിയും, അണുവാഹനത്തിനു ലഭിക്കുന്നതിനാൽ, അതിൻെറ നിർമ്മാണത്തിനുള്ള അധികച്ചെലവിനെപ്പററി പരിഗണിക്കേണ്ടതില്ല. ഒരു അണുപ്രബാധകം വളരെ സുരക്ഷിതമായവിധം സംവിധാനം ചെയ്യപ്പെടേണ്ടതാകയാൽ, യന്ത്രത്തോടു സംഘടിപ്പിച്ചുകഴിഞ്ഞാൽ എപ്പോഴും കേടുപാടുകൾ പോക്കുന്നതിനുവേണ്ടി അതിനെ കൈകാര്യം ചെയ്യേണ്ട ആവശ്യം നേരിടുന്നില്ല. തന്നെയുമല്ല, അണുപ്രബാധകത്തെ അങ്ങനെ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്നതു് ആപത്കരവുമായിരിക്കും.

ഒരുപക്ഷേ, രണ്ടോ മൂന്നോ വർഷദശങ്ങൾക്കുള്ളിൽ അണുപ്രേരിതമായ റയിൽവാഹനങ്ങൾ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുവാൻ ഇടയായേക്കുമെന്നു പ്രതീക്ഷിക്കാം.

അണുശക്തികൊണ്ടു റയിൽവാഹനത്തെ നയിക്കുവാൻ കഴിയുമോ എന്നു ചിന്തിക്കുന്നതോടൊപ്പം, ഒരു മോട്ടോർകാറിനേയും നയിക്കുന്നതിനു കഴികയില്ലേ എന്ന പ്രശ്നത്തിനും സമാധാനം ആരായേണ്ടതായിട്ടിരിക്കുന്നു. ഒരുപക്ഷേ, ഒരു കാലത്തു് അതും സംഭവിച്ചേക്കാം. എന്നാൽ ഇന്നത്തെ നിലയ്ക്കു് അതു് അത്ര എളുപ്പമാണെന്നു തോന്നുന്നില്ല. അണുശക്തിയെ പ്രസരിപ്പിക്കുവാൻ സമർത്ഥമായ വല്ല 'അണുഗുളിക'കളും (atom pills) കണ്ടുപിടിക്കാൻ സാധിച്ചാൽ മോട്ടോർകാറിൻെറ പെട്രോൾടാങ്കിൽ, അവയിൽ ഒരെണ്ണം നിക്ഷേപിക്കുന്നപക്ഷം, ആ വാഹനം ഉപയോഗിക്കുന്ന കാലമത്രയും ഇന്ധനത്തിൻെറ പ്രശ്നമേയുദിക്കുന്നില്ല എന്നു നമുക്കു സമാധാനിക്കാം. ഒരുപക്ഷേ, ഇതൊരു ദിവാസ്വപ്നമായി ശേഷിച്ചേക്കാം. എങ്ങനെയായാലും, അണുശക്തിപ്രസരത്തിനു തേജോദ്ഗിരണം ഒരു കൂടപ്പിറപ്പാണു്. ഈ തേജോദ്ഗിരണത്തെ തടയുന്നതിനുള്ള ബദ്ധപ്പാടു് അല്പമൊന്നുമല്ല. തേജോദ്ഗിരണത്തെ തടയുന്നതിനു വലിയ മതിൽക്കെട്ടുപോലുള്ള മറ (shield) തന്നെ ആവശ്യമാണു്. ഇതിനുവേണ്ടി 50 ടൺ ഭാരംവരുന്ന ഈയമോ കോൺക്രീറേറാ ഉപയോഗിക്കേണ്ട

തായി വരും. അല്ലാത്തപക്ഷം യന്ത്രത്തിൽനിന്നും തേജോദ്ഗിരണം ഉണ്ടായി ജീവഹാനി സംഭവിക്കുന്നതാണ്. തേജോദ്ഗിരണത്തെ പ്രതിരോധിക്കുന്നതിനു സമർത്ഥമായതും, ലഘുഭാരാത്മകവുമായ ആവരണമാർഗ്ഗങ്ങൾ(methods for shielding) ഇതേവരെ ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ ഭാവനയിൽ രൂപംപ്രാപിച്ചിട്ടില്ല.

ഒരുപക്ഷേ, ലഘുഭാരാത്മകമായ ഒരാവരണം(shield) കണ്ടുപിടിച്ചാൽത്തന്നെയും, വേറെയും പ്രതിബന്ധങ്ങളെ തരണംചെയ്യേണ്ടതായിട്ടുണ്ട്.

വിഘടനയോഗ്യമായ ഒരു വസ്തുവിൻെറ വിഘടനക്രിയ അനുസ്യൂതമായി ഭവിക്കണമെങ്കിൽ, വിഘടനവസ്തുവിനെ നിശ്ചിതമായ ഒരാത്യന്തികഘനത്തിൽ (critical mass) ആക്കിത്തീർക്കേണ്ടതാണ്. അതിനാവശ്യമുള്ള ശുദ്ധമായ യുറേനിയം-235 ലഭിക്കുന്നതിന് അതിഭീമമായ സാമ്പത്തികവ്യയം നേരിടുന്നു. ഒരു റാത്തൽ യുറേനിയം-235-ന് ഉദ്ദേശം 4,000 ഡോളറോളം വിലയാണുള്ളതും. ഈ സ്ഥിതിക്ക് ഒരു മോട്ടോർകാറിനെ അണുശക്തിപ്രേരിതമാക്കി പ്രവർത്തിപ്പിക്കുന്നത് അസാദ്ധ്യമായിട്ടുള്ള ഒരു കാര്യമാണെന്നുവേണം പറയുവാൻ.

(2)

അണുവും രോഗനിവാരണവും

തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾ

(Radio Isotopes)

ഒരു ധാതുവിലെ സ്ഥിരാണുക്കൾ(stable atoms) സമാനരാസഭാവത്തോടുകൂടിയവയാണെങ്കിലും, അധികം ധാതുക്കളിലും വ്യത്യസ്തങ്ങളായ ഘനസംഖ്യയോടുകൂടിയ (mass number) അണുക്കൾ കാണപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഏകധാതുകമായ അണുക്കളിലെ ഘനസംഖ്യ, അവയിലെ നിരലകത്തങ്ങളുടെ (neutrons) എണ്ണത്തിലുള്ള വ്യത്യാസത്തെ ആശ്രയിച്ചാണിരിക്കുന്നതു്. ഇങ്ങനെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ ഘനസംഖ്യയോടുകൂടിയതും ഏകധാതുകവുമായ അണുക്കൾക്കു 'സ്ഥാനീയം' (isotope) എന്ന പേരാണു ശാസ്ത്രകാരൻ നല്കിയിരിക്കുന്നതു്.

ഒരു ധാതുവിലെ(element) സ്ഥാനീയങ്ങൾക്കു തമ്മിൽ മൗലികങ്ങളായ വ്യത്യാസങ്ങൾ സംദൃശ്യങ്ങളല്ല എങ്കിലും, തേജോദ്ഗിരണത്തിലും, അണുഭാരത്തിലും (atomic weight) വ്യത്യാസം കാണാം.

സോഡിയം ധാതുവിൽ പ്രാകൃതികമായി ഒരു 'സ്ഥാനീയം' മാത്രമേയുള്ളു. ഇതുപോലെതന്നെയാണു സ്വർണ്ണത്തിനും. എന്നാൽ ഇരുമ്പിനു നാലും, രസത്തിനു്(mercury) ഏഴും, തകരത്തിനു്(tin) എട്ടും സ്ഥാനീയങ്ങൾ(isotopes) ഉണ്ടു്. ഈ സ്ഥാനീയങ്ങൾ എല്ലാം സ്ഥിരഭാവാത്മകങ്ങളുമാണു്(stable). നിരലകത്തങ്ങളുടെ സംഖ്യയ്ക്കു വ്യത്യാസം വരുത്തുന്നതോടുകൂടി സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ എണ്ണവും വർദ്ധിപ്പിക്കാം. അപ്രകാരം വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നതുമൂലം അണുവിന്റെ സ്ഥിരഭാവത്തിനു ശൈഥില്യം സംഭവിക്കുന്നതോടൊപ്പം അവ തേജോദ്ഗിരങ്ങളുമായി ഭവിക്കാം. അസ്ഥിരഭാവാത്മകങ്ങളും, തേജോദ്ഗിരങ്ങളുമായ ഈ അണുക്കൾ, അവയിൽനിന്നു് ആല്ഫാരശ്മികളെയോ(alpha rays), ബീററാരശ്മികളെയോ(beta rays), ഗാമാരശ്മികളെയോ(gamma rays) പ്രസരിപ്പിച്ചു സ്ഥിരഭാവാത്മകങ്ങളായിത്തീരുകയോ ധാതുക്രമണികയിലെ(periodic table)

അടുത്ത ധാതുവായി രൂപംപ്രാപിച്ച്, ഒന്നുകിൽ സ്ഥിരഭാവാത്മകമായോ അല്ലാത്തപക്ഷം വീണ്ടും തേജോദ്ഗിരമായോ വത്തിക്കുകയും ചെയ്യുന്നതാണ്. യുറേനിയം തുടങ്ങിയ ഭാരംകൂടിയ ധാതുക്കളിൽ ഈ പ്രവത്തനം സ്വാഭാവികമായിത്തന്നെ നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കും. ഇങ്ങനെയുള്ള പ്രവത്തനങ്ങളുടെ ഫലമായിട്ടാണ്, യുറേനിയം ധാതു രൂപഭേദംപ്രാപിച്ച് അവസാനത്തിൽ ഈയമായി(lead) രൂപപ്പെടുന്നതു്. യുറേനിയത്തിൻെറ രൂപാന്തരക്രമത്തിൽ ആറാമത്തെ ഘട്ടത്തിലുണ്ടാകുന്ന ധാതുവാണ് 'തൈജസം' (radium).

ഏതു ധാതുവിലേയും തേജോദ്ഗിരമായ സ്ഥാനീയത്തിനു തേജഃസ്ഥാനീയം (radio isotope) എന്നാണു പേരു്. ഏതൊരു തേജഃസ്ഥാനീയത്തിനും നിശ്ചിതമായ ഒരു രൂപാന്തരക്രമം കാണുന്നുണ്ട്. ഏതെങ്കിലും ഒരു പ്രത്യേകധാതുവിലെ അണുക്കളിൽ പകുതിഭാഗത്തിനും രൂപാന്തരം സംഭവിക്കുന്നതിനു് ആ ധാതുവിൻെറ അദ്ധകാലം (half life) എന്നു പറയാം. ശേഷിച്ച അണുക്കളുടെ അദ്ധഭാഗത്തിനു വീണ്ടും രൂപാന്തരം സംഭവിക്കുമ്പോഠം ധാതുവിനു് അദ്ധകാലം പിന്നെയും ഉണ്ടായി എന്നു പറയുന്നു. ഇങ്ങനെ ധാതുവിൻെറ 'കാലം' അഥവാ 'ജീവിതം' ഒരവരോഹണക്രമത്തിൽ പരിണമിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കും. ഇപ്രകാരം അവരോഹണക്രമത്തിൽ ഏതാണ്ടു പത്തു് 'അദ്ധകാലങ്ങഠം' (half life) കഴിയുന്നതോടുകൂടി തേജഃസ്ഥാനീയത്തിൻെറ വികലനക്രിയാവേഗം(speed of dis-integration) മുമ്പുണ്ടായതിൻെറ ആയിരത്തിൽ ഒന്നായി കുറഞ്ഞുപോകുന്നതാണ്.

ഒരു ധാതുവിലെ (element) അണുക്കഠം നിരലക്തങ്ങളെ (neutrons) ആകർഷിച്ചു സ്വകീയമാക്കുമ്പോഠം കൃത്രിമമായി സ്ഥാനീയങ്ങഠം(isotopes) ആവിർഭവിക്കുന്നു. അവ തേജോദ്ഗിരങ്ങളുമാവാം. ഇപ്രകാരം തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ കൃത്രിമമായി സൃഷ്ടിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നുവന്നതോടുകൂടി പ്രസ്തുത സ്ഥാനീയങ്ങളെക്കൊണ്ടുള്ള പ്രയോജനങ്ങളെപ്പററിയും വൈജ്ഞാനികർ പഠിക്കുവാൻ ആരംഭിച്ചു.

ഒരു അണുപ്രബാധകത്തിലെ(atomic reactor) യുറേനിയം അണുക്കളുടെ വിഘടനക്രിയയിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന നിരവധി നിരലക്തങ്ങളുടെ(neutrons) ആഘാതത്തിനു വിധേയമാകത്തക്കവണ്ണം ഏതെങ്കിലും ധാതുവിനെ ഒരു ധാരകത്തിൽ (container)

നിക്ഷേപിച്ച പ്രബാധകത്തിൽ സൂക്ഷിക്കുന്നപക്ഷം, സ്വതന്ത്രമായി പ്രസരിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന നിരലകªങ്ങളിൽ ചിലവ ധാതുബീജത്തിൽ പ്രവേശിച്ച്, നൂതനമായി ഭാരംകൂടിയ സ്ഥാനീയങ്ങളെ ആവിർഭവിപ്പിക്കുന്നു.

ഉദാഹരണമായി 'കോബാൾട്ട്'(cobalt) എന്ന ലോഹധാതുവിൻെറ അണുബീജത്തിൽ, പ്രധനങ്ങളുടേയും(protons), നിരലകങ്ങളുടേയും (neutrons) ആകെത്തുക 59 ആകയാൽ, സാധാരണ കോബാൾട്ട് 'കോബാൾട്ട്59' എന്ന സ്ഥാനീയസംജ്ഞയാൽ അറിയപ്പെടുന്നു. എന്നാൽ കോബാൾട്ട്–59(cobalt-59)നോട് ഒരു നിരലകം(neutron)കൂടിച്ചേർന്നാൽ കോബാൾട്ട്–60(cobalt-60) ഉണ്ടാകുന്നു. കോബാൾട്ട്–60 എന്ന സ്ഥാനീയം അസ്ഥിരഭാവാത്മകമാകയാൽ (unstable) തേജോദ്ഗിരമാകുന്നു(radio active).

ഓക്ക്റിഡ്ജിൽ(Oakridge) സ്ഥാപിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന അണുസ്തംഭം(atomic pile) സ്ഥാനീയനിർമ്മാണത്തിൽ കൂടുതൽ പ്രശസ്തി ആർജ്ജിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഓക്ക്റിഡ്ജിനെക്കൂടാതെ വേറെയും സ്ഥാനീയനിർമ്മാണകേന്ദ്രങ്ങൾ ഇന്നുണ്ട്. ഇവയിൽ ഏററവും മികച്ചതു് ബ്രൂക്ക് ഹേവനിലെ(Brookhaven) ഭീമമായ അണുസ്തംഭമാണ്.

സ്ഥാനീയനിർമ്മാണത്തിൽ ഇന്നു ലോകത്തിലുള്ള അനേകം രാഷ്ട്രങ്ങളും പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധപതിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ 'അദ്ധകാലപരിധി'(half life) ഒരു സെക്കൻറിൻെറ പത്തുലക്ഷത്തിലൊരുഭാഗം മുതൽ അനേകം കോടി സംവത്സരങ്ങൾവരെയാകാവുന്നതുകൊണ്ട്, സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ നിർമ്മാണത്തിനും, അവയുടെ പ്രയോജനങ്ങൾക്കും നിഷ്കൃഷ്ടമായി ഒരു തോതു നിർണ്ണയിക്കുവാൻ അസാദ്ധ്യമാണ്. നിർഭാഗ്യവശാൽ ചില അതിപ്രധാനങ്ങളായ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ കാലപരിധി അതിഹ്രസ്വമായതിനാൽ ദീർഘകാലത്തേക്കു സൂക്ഷിച്ചുവച്ചു പ്രയോജനപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുന്നതല്ല.

തേജോദ്ഗിരമായ സോഡിയത്തിൻെറ(radio sodium) അദ്ധകാലം(half life) 14·8 മണിക്കൂർവരെ നീണ്ടുനില്ക്കുന്നതുകൊണ്ട്, രോഗികളുടെ രോഗവിവരങ്ങൾ നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനും, ഈ സ്ഥാനീയത്തെ ഔഷധമായി പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതിനും തക്കസമയം ലഭിക്കുന്നു. തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളുടെ 'അദ്ധകാല'ത്തെ ആശ്രയിച്ചു മാത്രമേ അവയുടെ ഉപയോഗവും നിശ്ചയിക്കുവാൻ കഴികയുള്ളു. ഹ്രസ്വകാലപരിമിതിയോടുകൂടിയ സ്ഥാനീയങ്ങളെ ഉടൻതന്നെ

ഉപയോഗപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയാത്തപക്ഷം അവയുടെ പ്രയോജനം നഷ്ടപ്പെട്ടുപോകുന്നു. അതിനാൽ അപ്രകാരമുള്ള സ്ഥാനീയങ്ങളെ എത്രയും വേഗത്തിൽ ഉദ്ദിഷ്ടസ്ഥാനത്ത് എത്തിക്കേണ്ടതു് ആവശ്യമായി വരുന്നു. ഭാവിയിൽ സ്ഥാനീയങ്ങളുടെ നിമ്മാണത്തിനുള്ള 'സ്തംഭ' ങ്ങൾ(piles) ആതുരാലയങ്ങളിലും ഔഷധപരീക്ഷണശാലകളിലും (medical laboratories) സ്ഥാപിച്ച് പ്രവത്തനങ്ങളെ ത്വരിതപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുമെന്ന പ്രതീക്ഷിക്കാവുന്നതത്രേ.

തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ(radio isotopes) രോഗനിവാരണത്തിന് എങ്ങനെ പ്രയോജനപ്പെടുത്താമെന്നാണു് ഇനിയും ചിന്തിക്കേണ്ടതു്. ആയുർവിജ്ഞാനീയത്തെ(medical science) വിപ്ലവാത്മകമാക്കത്തക്ക പരിതസ്ഥിതികളെയാണു തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾ സൃഷ്ടിച്ചിട്ടുള്ളതു്.

ജീവിതവളർച്ചയുടെ തുടർച്ചയായ ഓരോ ഘട്ടങ്ങളിലും ജീവികളുടെ ശരീരകോശങ്ങളിൽ (cells) സംഭവിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന വ്യതിയാനങ്ങളെ സൂക്ഷ്മമായി ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു സ്ഥാനീയങ്ങളെ പ്രയോജനപ്പെടുത്താവുന്നതാണു്. ഇങ്ങനെ ഉപയോഗപ്പെടുത്താവുന്ന സ്ഥാനീയങ്ങൾക്കു് 'അനുരേഖികകൾ'(tracers) എന്നാണു പേരു്. വനാന്തരത്തിലേക്കു മേച്ചിലിനായി അയയ്ക്കപ്പെടുന്ന കന്നുകാലികളുടെ ഗതിയിൽ, അവ ഏതേതു സ്ഥാനത്താണു് എന്നു കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിന് അവയുടെ കഴുത്തിൽ മണികൾ കെട്ടിയിടുക പതിവാണല്ലോ. വിദൂരവത്തിയായ കാലിസൂക്ഷിപ്പുകാരനു മണിയുടെ ശബ്ദം കേട്ട് അവയുടെ മേച്ചിൽസ്ഥാനം മനസ്സിലാക്കുവാൻ കഴിയുന്നു. ഇതുപോലെതന്നെ ഒരു ശാസ്ത്രകാരനു്, അനേകം അണുക്കളുടെ കൂട്ടത്തിൽ തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ അണുക്കളെ തേടിപ്പിടിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതത്രേ. ഇതിനുവേണ്ടി ശാസ്ത്രകാരൻ സ്വീകരിക്കുന്ന ഉപകരണം 'ജീജർ കൗണ്ടർ'(Geiger counter) എന്ന യന്ത്രവിശേഷമാണു്. ഒരു ജീജർ കൗണ്ടർ അഥവാ 'വികിരണസൂചിക'യുടെ അടുത്തെവിടെയെങ്കിലും ഒരു തേജോദ്ഗിരാണു വത്തിക്കുന്നപക്ഷം ആ യന്ത്രവിശേഷത്തിൽ 'ക്ലിക്' എന്നൊരു ശബ്ദം ഉണ്ടാകുന്നു. തേജോദ്ഗിരണം എത്രതന്നെ ലഘുവായിരുന്നാലും ഈ കുഴലിനു തേജോദ്ഗിരണത്തിൻെറ ഉത്ഭവസ്ഥാനം സൂചിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണു്.

ഒരു ജീവിയുടെ ശരീരത്തിലെ സജീവകോശത്തിൻെറ അംശമായ ഏതെങ്കിലും ഒരു രാസവസ്തുവിനെ തേജോദ്ഗരിതമാക്കി

'അനുരേഖിക' (Tracer)യായി ഉപയോഗിക്കാം. അംഗാരത്തിന്റെ (Carbon) തേജോദ്ഗിരമായ സ്ഥാനീയത്തെ ഉദാഹരണമായിട്ടെടുക്കാം. അംഗാരസ്ഥാനീയത്തെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള പരീക്ഷണം ആദ്യമായി നടത്തപ്പെട്ടതു് പെൻസിൽവാനിയായിലുള്ള ഫിലഡൽഫിയായിലെ യമാർബുദഗവേഷണസ്ഥാപനത്തി(Institute for Cancer Research)ലാണു്.

ഒരു ജീവിയുടെ ശരീരകോശത്തിലെ അതിപ്രധാനമായ ഒരു ഘടകമാണു് അംഗാരം (carbon). ജീവാഭിവൃദ്ധിയിലെ (life process) ഓരോ ഘട്ടത്തിലും അംഗാരത്തിൻെറ ഗതിവിശേഷത്തെ ഗ്രഹിക്കുന്നതു വളരെ പ്രയാസമാണു്. കാരണം അംഗാരത്തിൻെറ ഓരോ അണുക്കളിലുമുള്ള സമാനധമ്മങ്ങൾ അത്രേ. അംഗാരം 14 (carbon-14) എന്ന സ്ഥാനീയം തേജോദ്ഗിരമാണു്. ശരീരത്തിലെ പഞ്ചസാരയിൽ അംഗാരം-14 അടങ്ങിയിരിക്കുന്നതിനാലും, അംഗാരത്തിലെ അണുക്കൾ തമ്മിൽ രാസപരമായി യാതൊരു വ്യത്യാസവും വെളിപ്പെടുന്നില്ല. എന്നാൽ ഒരു വികിരണസൂചിക (Geiger counter) അംഗാരം-14ൻെറ സ്ഥാനം നിഷ്പ്രയാസം സൂചിപ്പിക്കുവാൻ സമത്ഥമാണു്.

ശരീരകോശത്തിൽ ധാതുക്കളുടെ രാസപരമായ പ്രവത്തനഗതിയെ മനസ്സിലാക്കുന്നതിനു്, എലി തുടങ്ങിയ ജീവികളിന്മേലാണല്ലോ പരീക്ഷണങ്ങൾ സാധാരണമായി നടത്തിവരുന്നതു്. തേജോദ്ഗിരമായ അംഗാരം അടങ്ങിയ പഞ്ചസാര ശരീരത്തിൽ കലന്നിട്ടുള്ള ഒരെലിയെ പരീക്ഷണത്തിനുവേണ്ടി ഒരു രസതന്ത്രകാരൻ സ്വീകരിക്കുന്നു എന്നു വയ്ക്കുക. ഈ പ്രാണിയുടെ ശരീരത്തിലെ കൊഴുപ്പിൽ അംഗാരം14-ൻെറ സ്ഥാനം വികിരണസൂചികകൊണ്ടു ഗ്രഹിക്കുന്നതോടുകൂടി പഞ്ചസാര കൊഴുപ്പായി രൂപാന്തരപ്പെട്ടു എന്നു വൈജ്ഞാനികൻ മനസ്സിലാക്കുന്നു. പഞ്ചസാരയ്ക്കുണ്ടാകുന്ന ഈ രാസപരിവത്തനത്തിനു വേണ്ട സമയം സൂക്ഷ്മമായി ഗ്രഹിക്കുന്നതിനും ഈ പരീക്ഷണം പ്രയോജനപ്പെടുന്നുണ്ടു്.

തേജോദ്ഗിരമായ അംഗാരം 14 ൻെറ അദ്ധകാലം (half life) 5,700 സംവത്സരങ്ങളാകയാൽ ഈ അംഗാരസ്ഥാനീയം എലിയുടെ ശരീരത്തിൽ ഏതവസ്ഥയിൽ ഇരുന്നാലും അതിനെ കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണു്.

തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ സ്ഥാനീയങ്ങളെ 'അനുരേഖിക'കളായി

(tracers) ഉപയോഗിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നു വന്നതു്, ആയുർവിജ്ഞാനീയത്തിനു് ഒരു വലിയ അനുഗ്രഹമായിട്ടാണു് ഇന്നു് അനുഭവപ്പെടുന്നതു്. ചില ഉദാഹരണങ്ങളെക്കൊണ്ടു് ഇതു കുറെക്കൂടി വിശദമാക്കാം.

ഒരു രോഗിയുടെ മസ്തിഷ്കത്തിൽ ഉണ്ടായിട്ടുള്ള 'അർബ്ബുദം' tumour) ശസ്ത്രപ്രയോഗംചെയ്തു മുറിച്ചു കളയുന്നതിനുവേണ്ടി ഒരു ഭിഷഗ്വരൻ ശ്രമിക്കുന്നു എന്നു സങ്കല്പിക്കുക. രോഗലക്ഷണംകൊണ്ടു തലച്ചോറിൽ എവിടെയോ അർബ്ബുദം ബാധിച്ചിട്ടുണ്ടെന്നു് ഭിഷഗ്വരൻ ദീർഘവീക്ഷണം ചെയ്തിട്ടുണ്ടെങ്കിലും അർബ്ബുദത്തിൻെറ സ്ഥാനം എക്സ്-റേകൊണ്ടുപോലും നിശ്ചയിക്കുവാൻ അസാദ്ധ്യമായിട്ടാണിരിക്കുന്നതു്. ഈ പരിതസ്ഥിതിയിൽ ചികിത്സകൻ ഭാസ്വരധാതുവിൻെറ (phosphorus) തേജോദ്ഗിരമായ അണുക്കളെ രോഗിയുടെ ശരീരത്തിൽ കുത്തിവയ്ക്കുന്നു. മസ്തിഷ്ക്കത്തിലെ അർബ്ബുദത്തിനു് തേജോഭാസ്വരത്തെ (radio phosphorus) കൂടുതലായി ആകർഷിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതുകൊണ്ടു് ആ ഭാസ്വരാണുക്കൾ തലച്ചോറിൽ അർബ്ബുദം പിടിപെട്ട സ്ഥാനത്തു കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. ഒരു 'വികിരണസൂചിക' ഉപയോഗിച്ചു് ആ സ്ഥാനം നിഷ്പ്രയാസം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനും, അങ്ങനെ അർബ്ബുദത്തെ നീക്കംചെയ്യുന്നതിനും ചികിത്സകനു സാധിക്കുന്നു.

ഇനിയും വേറൊരുദാഹരണം നോക്കാം. ഒരു മോട്ടോർ അപകടത്തിൽപ്പെട്ടു് ഒരു കയ്യു് ചതഞ്ഞുടഞ്ഞ ഒരാളിനെ ഒരു വൈദ്യൻെറ സമീപത്തേക്കു് ആനയിക്കുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക. ക്ഷതമേററ കയ്യു് ശസ്ത്രക്രിയചെയ്തു ഛേദിക്കണമോ വേണ്ടയോ എന്നു വൈദ്യൻ നിശ്ചയിക്കുന്നതു് ആ കയ്യിൽക്കൂടിയുള്ള രക്തപ്രവാഹത്തെ അവലംബമാക്കിയാണു്. തേജോദ്ഗിരമായ സോഡിയത്തെ ധവളിതമാക്കി സാമാന്യലവണത്തോടു യോജിപ്പിച്ചു് രക്തധമനികളിൽ കുത്തിവച്ചാൽ ക്ഷതം സംഭവിച്ച കയ്യിൽക്കൂടി രക്തപ്രവാഹമുള്ളപക്ഷം സോഡിയത്തിൻെറ തേജോദ്ഗിരണത്തെ 'വികിരണസൂചിക' മുഖാന്തരം അറിയാവുന്നതാണു്.

തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളുടെമേൽ പ്രതിപാദിച്ച വിധത്തിലുള്ള പ്രയോജനങ്ങളെക്കൂടാതെ, രോഗാണുക്കളെ നശിപ്പിക്കുന്നതിനുംകൂടി അവ പ്രയോജനപ്പെടുന്നുണ്ടു്. ശരീരത്തിലെ രക്താണുക്കളുടെ (red blood cells) അമിതമായ വദ്ധനവു മൂലം രക്തത്തിൽ സംഭവിക്കുന്ന

(Poly Cythemia Vera) എന്ന രോഗത്തെ നിഹനിക്കുന്നതിനു തേജോദ്ഗിരമായ ഭാസ്വരം (radio active phosphorus) കുത്തിവച്ചാൽ മതിയാകുന്നതാണു്. ഈ രോഗത്തിന്റെ നിവാരണത്തിനു് അടുത്ത കാലംവരെയും എക്സ്-റേ ചികിത്സാവിധിയായിരുന്നു നിർദ്ദേശിക്കപ്പെട്ടിരുന്നതു്.

'അംഗീനാ പെക്ടോറീസ്' (Angina Pectoris) എന്ന ഹൃദയസംബന്ധമായ രോഗത്തെ നശിപ്പിക്കുന്നതിനു തേജോദ്ഗിരമായ അയോഡിൻ (radio active iodine) കുത്തിവയ്ക്കുന്നതു് ഫലപ്രദമായിട്ടുണ്ടു്. തേജോദ്ഗിരമായ സ്വർണ്ണം ചില യമാർബ്ബുദവ്യാധികളെ (cancer)ഇല്ലായ്മ ചെയ്യുന്നതിനും, തേജോദ്ഗിരമായ സ്ട്രോൺഷിയം (radio active strontium) നയനത്തിലുണ്ടാകുന്ന യമാർബ്ബുദത്തേയും, യമാർബ്ബുദത്തോടു ബന്ധമില്ലാതെ ശരീരാന്തർഭാഗത്തുണ്ടാകുന്ന ചില അർബ്ബുദത്തേയും (tumour) നശിപ്പിക്കുന്നതിനു പ്രയോജനപ്പെടുന്നു.

മനുഷ്യശരീരത്തിലെന്നല്ല, മൃഗശരീരത്തിലും തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ (radio isotopes) പ്രവേശിപ്പിച്ച് ചികിത്സാകർമ്മങ്ങൾ നിർവ്വഹിക്കാവുന്നതാണു്.

മസ്തിഷ്കത്തിലുണ്ടാകുന്ന യമാർബ്ബുദത്തെ (cancer) കണ്ടുപിടിച്ച് അതിനെ നിഹനിക്കുവാനുള്ള കഴിവു് തേജോദ്ഗിരമായ ആർസെനിക്കിനുണ്ടു് (radio active arsenic). തലച്ചോറിൽ യമാർബ്ബുദംകൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന നീർക്കട്ടിയുള്ള ഭാഗത്തു് ആർസെനിക്ക് കേന്ദ്രീകരിക്കുന്നു. ഇതുപോലെതന്നെ നെഞ്ചിലുണ്ടാകുന്ന അർബ്ബുദത്തെ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനും തേജോദ്ഗിരമായ പൊട്ടാഷിയം (radio active pottassium) ഉപയോഗിക്കാവുന്നതാണു്.

ഓക്ക്റിഡ്ജിലെ അണുസ്ഥാപനത്തോടനുബന്ധിച്ചുള്ള ആയുർവിജ്ഞാനവിഭാഗത്തിന്റെ അദ്ധ്യക്ഷനായ ഡോക്ടർ മാർഷൽ ബ്രൂസറിന്റെ (Dr. Marshal Brucer) മേൽനോട്ടത്തിൽ നടത്തപ്പെടുന്ന ഓക്ക്റിഡ്ജ് ആതുരാലയത്തിൽ വിവിധങ്ങളായ തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ സമാഹരിച്ച് അർബ്ബുദഗവേഷണങ്ങൾ അതിവിദശമായ രീതിയിൽ നടത്തിവരുന്നുണ്ടു്. ഈ ആതുരാലയത്തിലെ അർബ്ബുദഗവേഷണവിഭാഗം ലോകത്തിലെ ഒന്നാമത്തെ 'അണുവാശുപത്രി' (atomic hospital) എന്നു പറയാം.

വേറൊരു അണുവാശുപത്രി ചിക്കാഗോ സർവ്വകലാശാലയോ

ടന്നുബന്ധിച്ച നടത്തിവരുന്നതാണ്. ഈ ആതുരാലയത്തിലേക്കു വേണ്ട തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങരം അവിടെനിന്നും ഏകദേശം 30 മൈൽ ദൂരെയുള്ള അണുച്ചൂളകളിൽ (atomic furnaces)നിന്നുമാണ് കൊണ്ടുവരുന്നതു്. ചിക്കാഗോ സൎവ്വകലാശാലയുടെ മേൽനോട്ടത്തിൽ ആണ് ഡോക്ടർ ലിയോൺ ജേക്കബ്സണ്ണിന്റെ (Dr. Leon Jacobson) നേതൃത്വത്തിൽ നടത്തിവരുന്ന ആർഗോൺ അർബുദഗവേഷണാശുപത്രി.

അണവാശുപത്രികരം മററു് ആശുപത്രികളെപ്പോലെയല്ല. ആപത്കരങ്ങളായ തേജോദ്ഗിരണത്തിൽനിന്നും ആശുപത്രിജോലിക്കാരെ സംരക്ഷിക്കുന്നതിനുള്ള സകല മുൻകരുതലുകളും അവിടെ ചെയ്തിട്ടുണ്ടു്. രശ്മിപ്രസരം ഏല്ക്കാതെ തങ്ങളെത്തന്നെ സൂക്ഷിക്കുന്നതിനുതക്ക പ്രത്യേകവസ്ത്രങ്ങരം ജോലിക്കാൎക്കു നല്കിയിട്ടുണ്ടു്. ശരീരത്തിൽ ഏല്ക്കുന്ന രശ്മിപ്രസരത്തിന്റെ പരിമാണം നിൎണ്ണയിക്കുന്നതിനു 'ഡോസീമീററർ' (dosimeter) എന്ന ഉപകരണം ഓരോ ജോലിക്കാരും ധരിച്ചിരിക്കും.

ആതുരാലയജോലിക്കാരും, സന്ദർശകരും അണവാശുപത്രിയിൽനിന്നും പുറത്തേക്കു പോകുന്നതു്, ആപത്കരമായവിധം തേജോദ്ഗിരണത്തിനു വിധേയരായിട്ടുണ്ടോ എന്നുള്ള സൂക്ഷ്മപരിശോധനയുടെശേഷം മാത്രമാണ്. തേജഃപ്രസരത്തിൽനിന്നും ശരീരത്തെ സുരക്ഷിതമാക്കുന്നതിനുള്ള സകല കരുതലുകളും അണവാശുപത്രികളിൽ കാണുന്നുണ്ടു്. ആശുപത്രിയുടെ അധോഭാഗത്തിലെ രണ്ടു നിലകരം ഭൂമിക്കടിയിലായിരിക്കും പണികഴിപ്പിച്ചിട്ടുള്ളതു്.

തേജഃപ്രസരംകൊണ്ടു മൃഗങ്ങരംക്കുണ്ടാകാവുന്ന ഭാവാന്തരങ്ങളെ ഗ്രഹിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി ആശുപത്രിയുടെ ഭൂഗൎഭത്തിലെ മുറികളിൽ വിവിധജാതിയിലുള്ള മൃഗങ്ങളെ സൂക്ഷിച്ചു്, അവയെ നിരന്തരമായ തേജഃപ്രസരത്തിനു വിധേയമാക്കി പരിശോധന നടത്തിവരുന്നുണ്ടു്. ഈ മുറികളിൽത്തന്നെയാണു രശ്മിപ്രസരത്തെയുണ്ടാക്കുന്ന യന്ത്രങ്ങരം സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നതും.

തേജഃപ്രസരവും യമാർബ്ബുദവും

(Radiation and Cancer)

യമാർബ്ബുദവ്യാധിയെന്നതു ശരീരകോശങ്ങളുടെ അനിയന്ത്രിതമായ വളർച്ചയാണ്. അർബ്ബുദവിധേയങ്ങളായ കോശങ്ങളെ 'സജീ

വകോശ'ങ്ങളോടൊപ്പം (living cells) തേജഃപ്രസരംകൊണ്ടു നശിപ്പിച്ചുകളയാം. യമാർബുദകോശങ്ങാം (cancer cells) അതിശീഘ്രത്തിൽ വളരുകയും വർദ്ധിക്കുകയും ചെയ്യുന്നവയാകയാൽ സജീവകോശങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ചു തേജഃപ്രസരത്തെ അർബുദകോശങ്ങളിന്മേൽ കേന്ദ്രീകരിക്കുവാൻ എളുപ്പമാണു്. ഈ കാരണംകൊണ്ടാണു് 'തൈജസ'(radium)ത്തിൻെറ അണുവിഘടനത്തിൽനിന്നും ഉളവാകുന്ന രശ്മികളെയും എക്സ്-റേകളേയും (X-rays) യമാർബുദചികിത്സക്കുവേണ്ടി സാർവ്വത്രികമായി സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്നതു്.

മനുഷ്യശരീരത്തിലെ അർബുദവിധേയമായ കോശസഞ്ചയത്തിൻെറ മദ്ധ്യത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കിക്കൊണ്ടു നിയന്ത്രിതമായവിധം അണുരശ്മികളെ പ്രസരിപ്പിച്ചാൽ പറയത്തക്ക നാശം സജീവകോശങ്ങാംക്കു സംഭവിക്കാതെ, രശ്മികാം ശരീരത്തിൽ ചുഴിഞ്ഞുകയറി അർബുദവ്യാധിക്കു വിധേയമായ കോശങ്ങളിൽ ചെന്നെത്തുന്നു.

ശരീരത്തിലെ അരോഗകകോശങ്ങാംക്കു് ഉപദ്രവംതട്ടാതെ ഉദ്ദിഷ്ടസ്ഥാനത്തു് അണുരശ്മികളെ എത്തിക്കത്തക്ക നവീനമാർഗ്ഗങ്ങളും കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. ചില രശ്മിപ്രസരയന്ത്രങ്ങാം അഥവാ വികിരണയന്ത്രങ്ങാം രോഗിയുടെ ചുററും കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കത്തക്കവിധമാണു സജ്ജീകരിച്ചിട്ടുള്ളതു്. മററു ചിലവ രോഗിയെത്തന്നെ അവയുടെ മദ്ധ്യത്തിൽ കറക്കിക്കൊണ്ടിരിക്കും. അതുമൂലം രോഗവിധേയമായ കോശങ്ങളിന്മേൽ തേജഃപ്രസരം അതിശക്തിയായി കേന്ദ്രീകരിക്കപ്പെടുന്നു. അമിതവ്യയഹേതുകമായ 'തൈജസ'(radium)രശ്മികളെ പ്രസരിപ്പിക്കുന്ന യന്ത്രവിശേഷങ്ങളുടെ സ്ഥാനത്തു് അണുപ്രബാധകങ്ങളിൽനിന്നും കുറഞ്ഞ ചെലവിൽ ലഭിക്കാവുന്ന തേജോദ്ഗിരമായ കോബാാംട്ടിനെ(radio active cobalt)പ്രസരിപ്പിക്കുന്ന രശ്മിപ്രസരയന്ത്രങ്ങളാണു് ഇന്നു് അണുവാശുപത്രികളിൽ ഉപയോഗിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതു്.

തേജോദ്ഗിരമായ കോബാാംട്ട്രശ്മികളെ പ്രസരിപ്പിക്കുന്ന ചികിത്സായന്ത്രത്തിൻെറ പ്രവത്തനസമ്പ്രദായം നേരിട്ടു കണ്ടു മനസ്സിലാക്കണമെങ്കിൽ, ഏതാണ്ടു് $1\frac{1}{2}$ അടി ഘനമുള്ളതും സിൻക് ബ്രോമൈഡ് (zinc bromide) എന്ന യൗഗികം നിറച്ചിട്ടുള്ളതുമായ ഒരു ജാലകത്തിൽക്കൂടിയാണു വീക്ഷിക്കേണ്ടതു്. ഈ ജാലകത്തിൻെറ പ്രത്യേകത, ആപത്കരമായ രശ്മിപ്രസരത്തെ തടയുന്നതോടൊപ്പം കാഴ്ചയ്ക്കു തടസ്സം വരുത്താതിരിക്കുകയുമാണു്.

കോബാറംട്ടിൽനിന്നും നിരന്തരമായി പ്രസരിക്കുന്ന രശ്മികളെ പ്രതിരോധിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി ഉദ്ദേശം 850 റാത്തൽ ഭാരംവരുന്ന ഒരു വലിയ യുറേനിയംതൊട്ടി രശ്മിപ്രസരപാതയിൽ വിന്യസിക്കപ്പെട്ടന്നു. അദൃശ്യമായ രശ്മിധാരകറം രോഗിയുടെ ശരീരത്തിൽ പതിയുന്നുവെങ്കിലും, രോഗവിധേയങ്ങളായ ശരീരകോശങ്ങളിലാണ് അവ ഉറയ്ക്കുന്നതു്. ഈവിധമുള്ള ഒരു യന്ത്രം ആദ്യമായി ഉപയോഗിച്ചുതുടങ്ങിയതു് 1954-ൽ ആണ്. ചികിത്സകരുടെ പ്രതീക്ഷയിലും കവിഞ്ഞവിധമാണ് ഈ യന്ത്രംമുഖേന രോഗികറംക്കു പ്രയോജനം സിദ്ധിച്ചതു്.

മനുഷ്യന്റെ മസ്തിഷ്ക്കത്തിലുണ്ടാകുന്ന ചില യമാർബുദവ്യാധിയെ നശിപ്പിക്കുന്നതിനു വേറൊരു മാർഗ്ഗവും സ്വീകരിച്ചുവരുന്നുണ്ടു്. നിസ്തേജോദ്ഗിരമായ (non-radioactive) ബോറോൺ ധാതുവണക്കളെ രോഗിയുടെ രക്തത്തിൽ കുത്തിവയ്ക്കുക. ഈ ധാതുവണക്കറം ഒന്നിച്ചുകൂടുന്നതു് അർബുദരോഗാധീനങ്ങളായ സ്ഥാനങ്ങളിലാണ്. അതിനുശേഷം രോഗിയെ അണുപ്രബാധകത്തിൽനിന്നും പ്രസരിക്കുന്ന നിരലക്തങ്ങളുടെ (neutrons) ആഘാതത്തിനു വിധേയമാക്കുക. നിരലക്തങ്ങറം ബോറോൺ ധാതുവണക്കളെ വിഘടിപ്പിക്കയും അവയെ തേജോദ്ഗിരങ്ങളാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ രൂപാന്തരക്രിയയിൽനിന്നുമുളവാകുന്ന പ്രവത്തകശക്തി (energy) യമാർബുദകോശങ്ങളെ ആക്രമിച്ചു രോഗാധീനമായ മസ്തിഷ്ക്കാംശങ്ങളെ നശിപ്പിക്കുന്നു. ഇപ്രകാരമുള്ള ചികിത്സയ്ക്കു വിധേയരായ രോഗികളിൽ ഗണ്യമായ അനുകൂലഫലങ്ങറം പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ടു കാണുന്നുണ്ടു്. എന്നാൽ ഈ ചികിത്സാവിധി ഇന്നും പരീക്ഷണദശയിൽ മാത്രമേയിരിക്കുന്നുള്ളു.

അണുവും ഭക്ഷ്യോത്പാദനവും.

ATOM AND FOOD PRODUCTION

മനുഷ്യസമുദായത്തിന്റെ സമാധാനപരമായ ആവശ്യങ്ങളിൽ രോഗനിവാരണത്തെപ്പോലെതന്നെ അതിപ്രധാനമായ ഒന്നാണു ഭക്ഷണം. ലോകത്തിൽ ജനസംഖ്യ നിരന്തരം വർദ്ധിച്ചുകൊണ്ടേയിരിക്കുന്നു. ജനസംഖ്യയുടെ വർദ്ധനവനുസരിച്ചു ഭക്ഷ്യോത്പാദനവും വർദ്ധിപ്പിക്കുന്നതിനു കഴിയാതിരുന്നാൽ ലോകസമാധാനം നശിച്ചുപോകുന്നു. ലോകത്തിൽ ഉണ്ടായിട്ടുള്ളതും ഉണ്ടായിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നതുമായ സകല വിപ്ലവങ്ങൾക്കും, കലഹങ്ങൾക്കും മൂലകാരണം ഭക്ഷണവിഷയകമായിട്ടുള്ളതാണ്.

ഭക്ഷ്യോത്പാദനത്തിനു കൃഷിയെയാണു മനുഷ്യൻ എക്കാലവും അവലംബമാക്കിയിരിക്കുന്നത്. മനുഷ്യജീവിതത്തെ നിലനിറുത്തിക്കൊണ്ടു പോകുന്ന ഏകമായ തൊഴിലും കൃഷിതന്നെയാണ്. കൃഷി നടത്തുന്നതിനുള്ള ഭൂമി, വിത്തിന്റെ ഗുണം, സസ്യങ്ങളുടെ വളർച്ചയ്ക്കുചിതമായ വളം ഇവയെ സാമാന്യേന ആശ്രയിച്ചാണു കൃഷിയുടെ അഭിവൃദ്ധി.

ശാസ്ത്രാഭിവൃദ്ധിയോടുകൂടി ഇതരജീവിതവൃത്തികളിലെന്നപോലെ കൃഷിസമ്പ്രദായത്തിലും ശാസ്ത്രീയതയുടെ നിഴലാട്ടം കണ്ടുതുടങ്ങി. കൃഷിയിൽനിന്നുമുത്ഭവിപ്പിക്കാവുന്ന ഭക്ഷ്യസാധനങ്ങളുടെ ഗുണത്തെ ആശ്രയിച്ചാണു മനുഷ്യന്റെ ആരോഗ്യം സ്ഥിതിചെയ്യുന്നത്. ഒരേ ഭക്ഷ്യപദാർത്ഥത്തിൽത്തന്നെ ആരോഗ്യത്തിന്നാവശ്യകമായ പോഷകസാധനങ്ങൾ ഏറ്റക്കുറച്ചിലോടുകൂടി കാണപ്പെടുന്നുണ്ട്.

സസ്യങ്ങളുടെ ശരിയായ വളർച്ചയ്ക്കു വേണ്ട സാധനങ്ങൾ ഭൂമിയിൽനിന്നാണു ലഭിക്കേണ്ടത്. ആ സാധനങ്ങൾ ഭൂമിയിൽ വിരളമായിരുന്നാൽ സസ്യങ്ങളുടെ വളർച്ചയ്ക്കു ക്ഷയം സംഭവിക്കുന്നു.

അണുപ്രവർത്തകശക്തിയുടെ സൃഷ്ടിപരമായ സാദ്ധ്യതകളെപ്പറ്റിയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളിൽ തേജോദ്ഗിരധാതുക്കൾ സസ്യോത്പാദനത്തേയും, സസ്യാഭിവൃദ്ധിയേയും എപ്രകാരം ബാധിക്കുമെന്നതിനെക്കുറിച്ചുള്ള പരീക്ഷണപരമ്പരയും ഉൾപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. അപ്രകാര

മുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി, തൈജസം (radium), യുറേനിയം,(uranium), തോറിയം (thorium) എന്നീ പ്രാകൃതികമായ തേജോദ്ഗിരധാതുക്കഠം സസ്യവളർച്ചയെ സാരമായി സഹായിക്കുന്നുവെന്നു വൈജ്ഞാനികന്മാർ കണ്ടുപിടിച്ചു. ഈ ധാതുക്കഠം വിരളമായിട്ടുള്ള മണ്ണിൽ വളരുന്ന സസ്യങ്ങളെ ഭക്ഷണമായി ഉപയോഗിക്കുന്ന പക്ഷം കാലക്രമേണ അർബ്ബുദം തുടങ്ങിയ ഭയങ്കര രോഗങ്ങഠംക്കു മനുഷ്യൻ ഇരയാകാൻ ഇടയുണ്ട് എന്ന് അഭ്യൂഹിക്കുന്നതിൽ തെററില്ല. അർബ്ബുദത്തെ നിഹനിക്കുന്നതിനു തേജോദ്ഗിരധാതുക്കളെ ഏതുവിധമാണു പ്രയോജനപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നതെന്നു മുമ്പുതന്നെ നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു.

പ്രാകൃതികമായി തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ തൈജസം (radium), യുറേനിയം (uranium), തോറിയം (thorium), അംഗാരം–14 (carbon–14), പൊട്ടാഷിയം (potassium) തുടങ്ങിയ ധാതുക്കഠം പ്രകൃതിയിൽ സാവ്ത്രികമായി വ്യാപിച്ചിട്ടുണ്ട്. അവ മണ്ണിലും, വെള്ളത്തിലും, വായുവിലും, സസ്യങ്ങളിലും, മൃഗങ്ങളിലും അല്പമായിട്ടെങ്കിലും കാണപ്പെടുന്നു. തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ ഈ ധാതുക്കളെ സസ്യങ്ങഠം ആഹാരമായി വലിച്ചെടുക്കുന്നു. ഈ സസ്യത്തെ ഭക്ഷണമായി സ്വീകരിക്കുന്നതുമൂലം പ്രസ്തുത ധാതുക്കളുടെ അംശം മനുഷ്യശരീരത്തിലും, മൃഗശരീരത്തിലും ലയിക്കുന്നു.

മുൻപറഞ്ഞ ധാതുക്കളിൽ പൊട്ടാഷിയം ധാതുവിനു മൂന്നു സ്ഥാനീയങ്ങളാണുള്ളതു്. അവയുടെ അണുഭാരം യഥാക്രമം 39, 40, 41 എന്നിങ്ങനെയാകുന്നു. ഇവയിൽ അണുഭാരം 40 എന്നു കാണുന്ന സ്ഥാനീയമാണു തേജോദ്ഗിരമായിട്ടുള്ളതു്. മററു തേജോദ്ഗിരധാതുക്കളെ അപേക്ഷിച്ച് ദുർബ്ബലമായ ഒരു ധാതുവാണ് പൊട്ടാഷിയം. പൊട്ടാഷിയത്തെ സംബന്ധിച്ചുള്ള നൂതനപരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നു്, ഒരു സെക്കൻറിൽ ഒരുഗ്രാം പൊട്ടാഷിയം 28·3 ബീററാബിന്ദുക്കളെയും (beta particles), 3·6 ഗാമാബിന്ദുക്കളേയും (gamma particles) പ്രസരിപ്പിക്കുന്നതായിട്ടാണു കണക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതു്. ഈ ധാതുവിൻെറ തേജോദ്ഗിരണം സസ്യങ്ങളുടെ വളർച്ചയെ ഗണ്യമായവിധം സഹായിക്കുന്നുവെന്നു ഗവേഷകന്മാർ അഭിപ്രായപ്പെടുന്നു.

തേജോദ്ഗിരധാതുക്കഠം സസ്യങ്ങളേയും, മൃഗങ്ങളേയും എപ്രകാരം ബാധിക്കുന്നു എന്നതിനെപ്പററിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങഠം ഇന്നും അപൂർണ്ണദശയിൽ ഇരിക്കുന്നതേയുള്ളു.

സസ്യങ്ങളുടെ വളർച്ചയ്ക്കു പൊട്ടാഷിയം ഒഴിച്ചുകൂടാൻ പാടില്ലാത്ത ഒരു ധാതുവാകുന്നതുപോലെതന്നെ റേഡിയം, യുറേനിയം, തോറിയം, ഇവയും സസ്യവളർച്ചയെ സഹായിക്കുന്നുണ്ട്. സസ്യങ്ങളുടെ വളർച്ചയ്ക്കുവേണ്ടിയുള്ള പോഷകമിശ്രത്തിൽ (nutritive mixture) 10—12 ശതമാനം റേഡിയവും, 10·6 ശതമാനം യുറേനിയവും, 10·7 ശതമാനം തോറിയവും ഉൾപ്പെടേണ്ടതാണെന്നും, ഈ അംശങ്ങൾ ലഭിക്കാത്ത സസ്യങ്ങൾക്കു വേണ്ട വളർച്ച ലഭിക്കുന്നില്ലെന്നുതന്നെയല്ല, അവ പുഷ്പിക്കുകകൂടി ചെയ്യുന്നില്ല എന്നു ശാസ്ത്രകാരൻ സമർത്ഥിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഇതിൽനിന്നും തേജോദ്ഗിരമായ പൊട്ടാഷിയം ഉണ്ടെങ്കിൽത്തന്നെയും, തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ ഇതരധാതുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം ഒഴിച്ചുകൂടാൻ പാടില്ലാത്തതാണെന്നു സിദ്ധിക്കുന്നു.

തേജോദ്ഗിരധാതുക്കളുടെ നിരർഗ്ഗളമായ വികലനക്രിയയുടെ (disintegration) ഫലമായുളവാകുന്ന അണുപ്രവർത്തകശക്തി ആല്ഫാ, ബീററാ, ഗാമാ തുടങ്ങിയ രശ്മികളായിട്ടാണ് ആവിഷ്കരിക്കപ്പെടുന്നതു്. ഈ രശ്മിപ്രസരത്തെ ആധാരമാക്കി സസ്യലോകത്തിനു വരുത്താവുന്ന അഭിവൃദ്ധിയെപ്പററി ഗവേഷകന്മാർ നിരവധി പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നുണ്ട്. പുതിയവയും, മേന്മയുള്ളവയുമായ സസ്യജാതികളെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുക, സസ്യങ്ങളുടെ വളർച്ചയ്ക്കു സഹായകമായിട്ടുള്ള വളങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കുക, സസ്യങ്ങൾക്കു ഹാനികരമായിത്തീരുന്ന പ്രാണികളിൽനിന്നു സസ്യജാതിയെ സംരക്ഷിക്കുക, സസ്യങ്ങൾ അവയുടെ ഭക്ഷണത്തെ പാകംചെയ്തുപയോഗിക്കുന്ന വിധങ്ങളെപ്പററി കൂടുതലായി പഠിക്കുക ഇവയാണ് ഈ ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെ ഗവേഷണലക്ഷ്യം.

രണ്ടാമത്തെ ലോകമഹായുദ്ധത്തിനുശേഷം, അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെ സമാധാനപരമായ കാര്യങ്ങൾക്കുവേണ്ടി എങ്ങനെ പ്രയോജനപ്പെടുത്താമെന്നതു് ഐക്യരാഷ്ട്രസമിതിയുടെ (U. N. O.) ഒരു പ്രശ്നമായതോടുകൂടി വിവിധങ്ങളായ ചിന്താഗതികളെ വൈജ്ഞാനികലോകം ഉന്നയിപ്പിച്ചു. സസ്യങ്ങളെ ഫലപുഷ്ടിയുള്ളവയാക്കിത്തീർക്കത്തക്കവണ്ണം, തേജോദ്ഗിരധാതുക്കളെ വളമായി ഉപയോഗിക്കാമെന്നുള്ള ആശയം കർഷകലോകത്തെ പ്രചോദിതരാക്കി. തത്ഫലമായി അനേകം അമേരിക്കൻ കഷ്കരും സാധാരണവളത്തോടൊന്നിച്ചു് തേജോദ്ഗിരധാതുക്കൾചേർത്തുപയോഗിക്കുവാൻ ശ്രമിച്ചു.

പക്ഷേ, അമേരിക്കയിലെ അണുപ്രവത്തകശക്തിസമിതിയും (A E C), കാർഷികവിഭാഗവും ഒന്നിച്ചുചേൎന്നു്, തേജോദ്ഗിരവസ്തുക്കഠം വളമായി ഉപയോഗിക്കുന്നതിൽ അടങ്ങിയിരിക്കുന്ന വൈഷമ്യങ്ങളും അപകടങ്ങളും വെളിവാക്കിയതോടുകൂടി കർഷകർ അവരുടെ ശ്രമത്തിൽനിന്നും പിന്മാറേണ്ടതായിവന്നു.

കൃഷകർ ഓരോ കൃഷിക്കുവേണ്ടി ഉപയോഗിക്കുന്ന സാധാരണ വളങ്ങഠം സസ്യങ്ങളിൽ ഏതുവിധം പ്രവത്തനം നടത്തുന്നുവെന്നു ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ പ്രയോജനപ്പെടുത്താവുന്നതാണെന്നു് അമേരിക്കൻ ഭരണകൂടത്തിൻെറ മേൽനോട്ടത്തിൽ നടത്തപ്പെട്ട ചില പരീക്ഷണങ്ങഠം വെളിപ്പെടുത്തി. നോത്ത് കരോളിനാ സ്റ്റേറ്റ് കോളജിൻ്റെ(North Carolina State College) ഗവേഷണവിഭാഗം നടത്തിയ പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നു്, പുകയിലക്കൃഷിക്കുവേണ്ടി അതുവരെയും ഉപയോഗിച്ചിരുന്ന സൂപ്പർ ഫോസ്റ്റേററ്(super phosphate)ചേൎന്ന പുകയിലവളങ്ങഠം പുകയിലച്ചെടികളുടെ വളർച്ചയ്ക്കു യാതൊരു പ്രയോജനവും ചെയ്യുന്നില്ല എന്നു വെളിപ്പെട്ടതോടുകൂടി ഓരോ വർഷങ്ങളിലും നഷ്ടപ്പെടുത്തിക്കൊണ്ടിരുന്ന അനേകായിരം ടൺ ഫോസ്റ്റേററ്വളങ്ങളെ ലാഭിക്കുന്നതിനു കൃഷകക്കു സാധിച്ചു.

തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ 'അനുരേഖിക'കളായി (tracer) ഉപയോഗിച്ചു്, വളത്തോടുചേൎന്നിട്ടുള്ള ചെമ്പു്, ഇരുമ്പു്, നാകം, മോളിബ്ഡീനം തുടങ്ങിയ ലോഹങ്ങളുടെ അംശങ്ങഠം സസ്യങ്ങളിൽ എത്രമാത്രം വ്യത്യാസമാണുണ്ടാക്കുന്നതെന്നു ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. അനേകായിരംകോടി ഡോളറുകഠം വളത്തിനുവേണ്ടി ചെലവഴിക്കുന്ന അമേരിക്കൻകർഷകക്കു വളത്തെപ്പററിയുള്ള ഈദൃശമായ ശാസ്ത്രജ്ഞാനം വളരെ പ്രയോജനത്തെ നല്കി. മണ്ണിൽ സ്വാഭാവികമായി കാണപ്പെടുന്ന വളങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ചു കൃത്രിമമായി സൃഷ്ടിക്കപ്പെടുന്ന വളങ്ങഠംക്കു ചെടികളിൽ ഉണ്ടാക്കുവാൻ കഴിയുന്ന വ്യത്യാസങ്ങളാണു് 'അനുരേഖിക'(tracer) മുഖാന്തരം വെളിവാകുന്നതു്. ഓരോജാതി കൃഷിക്കും ഏതുവിധമുള്ള വളമാണു പ്രയോജനപ്പെടുന്നതു് എന്നറിയുന്നതിനു തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ 'അനുരേഖിക'യായി ഉപയോഗിച്ചാൽ മതിയാകും. അതുപോലെതന്നെ സസ്യങ്ങഠംക്കു വളങ്ങഠം ചേക്കേണ്ടസമയം വളങ്ങഠം ഉപയോഗിക്കേണ്ട രീതി ഇവയും തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങഠംമുഖേന മനസ്സിലാക്കാം. തേജോദ്ഗി

രാണുക്കളുടെ പ്രയോജനമെന്തെന്നു ഗ്രഹിക്കുന്നതുവരെയും, വഷം (rainfall)· ഉഷ്ണത(temperature), ചെടികൾക്കുണ്ടാകുന്ന രോഗങ്ങൾ തുടങ്ങിയവയുടെ ഏറ്റക്കുറച്ചിൽ സസ്യങ്ങളുടെ വളർച്ചയെ സാരമായി ബാധിക്കുന്നതുകൊണ്ടു വളത്തിൻെറ ശരിയായ പ്രയോജനപരിമാണം മനസ്സിലാക്കുവാൻ കഴിയാതെയാണിരുന്നതു്. എന്നാൽ ഇന്നാകട്ടെ, മണ്ണിൽനിന്നും ചെടിയിലേക്കുള്ള വളത്തിൻെറ പ്രയാണത്തെ സൂക്ഷ്മമായി കാണുന്നതിനും, ഒരു ചെടിയുടെ ശരിയായ വളർച്ചയ്ക്കു് ആവശ്യമുള്ള വളം എത്രമാത്രമെന്നു നിണ്ണയിക്കുന്നതിനും 'അനുരേഖികാണുക്കൾ' (tracer atoms)മൂലം സാധിക്കുന്നതാണു്. തന്നെയുമല്ല, ചില മണ്ണുകളിലെ ഗുണാംശങ്ങൾ ഏതുകാലംവരെ നീണ്ടുനില്ക്കുമെന്നുംകൂടി കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ കഴിയുന്നു.

ഓരോജാതി സസ്യങ്ങളിലും ഗുണതരങ്ങളും മേന്മയുള്ളവയുമായ സസ്യങ്ങളെ ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനു തേജോദ്ഗിരണത്തെ ആധാരമാക്കിയുള്ള ഗവേഷണങ്ങൾ ഇന്നു ത്വരിതഗതിയിൽ നടന്നുവരുന്നുണ്ടു്.

ഒരു സസ്യജാതിയെ ചില തേജഃപ്രസരങ്ങൾക്കു വിധേയമാക്കുന്നപക്ഷം, ആ സസ്യജാതിയുടെ ധമ്മത്തിനുണ്ടാകുന്ന വ്യതിയാനങ്ങൾ അനന്തരകാലത്താവിർഭവിക്കുന്ന അതേ സസ്യജാതിയിലും പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നതാണെന്നു ശാസ്ത്രകാരന്മാർ മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ടു്. ഈ വ്യതിയാനത്തിനാണു് 'ധമ്മാന്തരത'(mutation) എന്നു പറയപ്പെടുന്നതു്. ഓട്ടു്(oat) എന്ന സാധാരണ ധാന്യത്തിന്മേൽ നിരലക്തധാരയെ പ്രസരിപ്പിച്ചതിൻെറ ഫലമായി ഓട്ടുചെടിയിൽ സവ്വസാധാരണമായി പിടിപെടുന്ന 'പൂപ്പു്' എന്ന രോഗത്തെ പ്രതിരോധിക്കുവാനുള്ള ശക്തി ആ ചെടികൾക്കു ലഭിച്ചതായി ബ്രൂക്കു് ഹേവനിലുള്ള ദേശീയപരീക്ഷണശാലയിലെ ഡോക്ടർ കാല്വിൻ കോൺസാക്(Dr· Calvin Konzac) അവകാശപ്പെടുന്നു. ഒരേജാതി സസ്യങ്ങളിൽ പ്രകൃതിയുടെ പ്രവൃത്തികൊണ്ടുതന്നെ കാലക്രമേണ ഇമ്മാതിരി ധമ്മാന്തരത സംഭവിച്ചേക്കാം. എന്നാൽ രശ്മിപ്രസരം അഥവാ തേജോദ്ഗിരണംകൊണ്ടു് ആ ക്രിയയെ ത്വരിതപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിയുന്നതാണു്.

സസ്യങ്ങളെ രശ്മിപ്രസരോന്മുഖമാക്കുന്നതുകൊണ്ടു് (irradiation) രോഗത്തെ പ്രതിരോധിക്കുവാൻ ശക്തമായ ചെടികളെ ആവിർഭവിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നുതന്നെയല്ല, വിത്തുകൾക്കു പൂവ്വാധികം പുഷ്ടിയും ചൈതന്യവും നല്കുന്നതിനും സാധിക്കുന്നുണ്ടു്.

സസ്യബീജങ്ങളെ(seeds)രശ്മിപ്രസരോന്മുഖമാക്കുന്നപക്ഷം പ്രസരണശക്തി, പ്രസരണകാലദൈർഘ്യം, പ്രസരിക്കപ്പെടുന്ന രശ്മിയുടെ സ്വഭാവം ഇവയേയും പ്രത്യേകം പരിഗണിക്കേണ്ടതാണ്. അല്ലാത്തപക്ഷം അഹൃദ്യമായ വിധത്തിലുള്ള 'ധർമ്മാന്തരത'(mutation) സംഭവിച്ചു എന്നു വരാം. ചെടികൾക്കു 'ധർമ്മാന്തരത'യെ ഉളവാക്കുന്ന രശ്മിപ്രസരത്തിനു്, മനുഷ്യനു ജീവാപായമോ മററപകടങ്ങളോ് ഉണ്ടാകുവാൻ കഴിയുമെന്നുള്ളതിനാൽ, ഒരു വയൽപ്രദേശത്തെ ധാന്യങ്ങൾ രശ്മിപ്രസരോന്മുഖമാക്കപ്പെടുമ്പോൾ ആ വയലിൽ ആരും പ്രവേശിക്കുവാൻ പാടുള്ളതല്ല.

ധാന്യം വിളയുന്ന ഒരു വയലിനെ രശ്മിപ്രസരം ഏൾപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗം, ആ വയലിൻെറ മദ്ധ്യത്തിൽ തുരുമ്പുപിടിക്കാത്ത ഒരു ഉരുക്കുകുഴലിൽ നിക്ഷേപിക്കപ്പെട്ട തേജോദ്ഗിരമായ കോബാൾട്ട്-60-നെ വിന്യസിക്കയാണു്. ഈ കോബാൾട്ടിനെ നിയന്ത്രിക്കുന്നതു വയലിൻെറ കോണിലായി സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്ന നിയന്ത്രണാലയത്തിൽ(control house)നിന്നത്രേ. കോബാൾട്ട് തത്സ്ഥാനത്തുനിന്നും നീക്കപ്പെടുന്നതുവരെയും, വയലിൽ ആരും പ്രവേശിച്ചുകൂടാത്തതാകുന്നു.

അനേകംജാതി വൃക്ഷങ്ങളും, ചെടികളും, വള്ളികളും നിറഞ്ഞിരിക്കുന്ന ഒരു കൃഷിസ്ഥലത്തെയാണു രശ്മിപ്രസരോന്മുഖമാക്കുന്നതെങ്കിൽ, പ്രസരണം ഹേതുവായി ചില വൃക്ഷക്കൊമ്പുകൾ അപൂർവ്വഫലങ്ങളെ പുറപ്പെടുവിച്ചു എന്നു വരാം. അങ്ങനെയുള്ള കൊമ്പുകളെ ഛേദിച്ചു സാധാരണ വൃക്ഷങ്ങളോടൊട്ടിച്ചു് ഒരു നൂതനജാതിയാക്കി മാററുവാൻ കഴിയുന്നതാണു്.

ഇപ്രകാരം സസ്യങ്ങളിൽ കൃത്രിമമായി 'ധർമ്മാന്തരത'(mutation)യുണ്ടാക്കുവാനും ധർമ്മാന്തരക്രിയയെ ത്വരിതപ്പെടുത്തുവാനും തേജോദ്ഗിരണംകൊണ്ടു സാധിക്കുമെന്നുവന്നതു കാർഷികവ്യവസായത്തിൻെറ ഒരു അഭിനവദശയെയാണു സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്.

അമേരിക്കയിൽനിന്നു പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ളതും, കാർഷികരസതന്ത്രത്തെപ്പററി പ്രതിപാദിക്കുന്നതുമായ ഒരു മാസികയിൽ തേജോദ്ഗിരണംകൊണ്ടു ചെടികൾക്കുണ്ടാകുന്ന ധർമ്മാന്തരങ്ങളെക്കുറിച്ചു സവിസ്തരം നിരൂപണംചെയ്തിട്ടുണ്ടു്.

ചെടികളിൽ 'ധർമ്മാന്തരത'യുളവാക്കുവാൻ പ്രേരകമാകുന്ന രശ്മികൾ എക്സ്-രശ്മികൾ(X-rays), ഗാമാരശ്മികൾ(gamma rays),

ബീററാരശ്മികഠം(beta rays), ശീഘ്രനിരലക്തങ്ങഠം (fast neutrons), ഉദാസീനനിരലക്തങ്ങഠം(slow neutrons), അതീതനീലരശ്മികഠം(ultra violet rays) ഇങ്ങനെ ആറുവകയാണു്.

തേജഃപ്രസരംകൊണ്ടു് ഒരു പുതിയജാതിയിലുള്ള പയറുവഗ്ഗത്തെ ഉത്പാദിപ്പിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞതായി അമേരിക്കയിലെ മിച്ചിഗൻ സവ്വകലാശാല(Michigan University) അവകാശപ്പെടുന്നു.

സ്വീഡനിലും ഇതുപോലെയുള്ള പരീക്ഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി നവീനരീതിയിലുള്ള ചെടികഠം ഉത്പാദിപ്പിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. സാധാരണ ബാർലി(barley)യിൽനിന്നും വ്യത്യസ്തമായവിധം ഇലകഠംക്കു ദാർഢ്യമുള്ള ബാർലിച്ചെടികളേയും, കൂടുതൽ ഫലമുളവാകുന്ന പയറുവഗ്ഗത്തിൽപ്പെട്ട സസ്യങ്ങളേയും ഉത്ഭവിപ്പിക്കുന്നതിനു സ്വീഡനിലെ ഗവേഷകക്കു സാധിച്ചു.

കന്നുകാലികഠംക്കു് അരോചകവും, ഉന്മാദകാരണവുമായ വിഷദ്രവത്തെ ഉഠംക്കൊള്ളുന്ന ഒരുമാതിരി ചെടികഠം ജമ്മനിയിൽ ധാരാളമായി കാണുന്നുണ്ടു്. ആ ചെടികളിൽ തേജഃപ്രസരംകൊണ്ടു ധമ്മാന്തരതയുളവാക്കി മൃഗങ്ങഠംക്കു ഹൃദ്യമായ ഭക്ഷ്യസസ്യമായി രൂപപ്പെടുത്തുവാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുള്ളതു് അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ സമാധാനപരമായ സാദ്ധ്യതകളെക്കുറിച്ചുള്ള ഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമായിട്ടത്രേ.

ചെടികളിലുണ്ടാകുന്ന രോഗങ്ങളെ കണ്ടുപിടിച്ചു്, അവയെ നശിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള നൂതനമാഗ്ഗങ്ങഠം തേജോദ്ഗിരധാതുക്കഠംമുഖേന പ്രകാശിതമാക്കിയിട്ടുണ്ടു്. കർഷകക്കെന്നല്ല, സസ്യശാസ്ത്രകാരന്മാക്കുതന്നെയും ദുർഗ്രഹമായിട്ടുള്ള ജീവിതപ്രകൃതിയോടുകൂടിയ ചില പ്രാണികഠം വരുത്തിക്കൂട്ടുന്ന ഉപദ്രവങ്ങളുടെ യഥാത്ഥസ്വഭാവം ഗ്രഹിക്കുന്നതിനു തേജോദ്ഗിരാണുക്കഠം മാഗ്ഗം തെളിയിക്കുന്നു.

ചെടികളുടെ സത്തായിട്ടുള്ള രസത്തെ ഊററിക്കുടിച്ചുപജീവിക്കുന്ന ഒരുമാതിരി ശലഭങ്ങഠം ഉണ്ടു്. അവയിൽ ചിലവയെ ബന്ധിച്ചു തേജോഭാസ്വരം(radio phosphorus) കലത്തിയ പാനീയം കൊടുത്തു് അവയെ പുറത്തേക്കു വിടുക. വയലിൻെറ വിവിധസ്ഥാനങ്ങളിലായി വിന്യസിക്കപ്പെട്ട 'ഈച്ചക്കുരുക്കുകഠം' (fly traps) മുഖേന അവയെ വീണ്ടും ബന്ധിച്ചു പരിശോധിക്കുക. ഇപ്രകാരമുള്ള പരിശോധനയിൽനിന്നു്, ഈ പ്രാണികളുടെ സഞ്ചാര

വേഗം, ജീവിതപ്രകൃതി തുടങ്ങിയ കാര്യങ്ങൾ സൂക്ഷ്മമായി പഠിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതിനാൽ, അവയെ നിരോധിക്കുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കുവാനും എളുപ്പമാകുന്നു.

കന്നുകാലികളുടേയും, മററു വളർത്തുമൃഗങ്ങളുടേയും ശരീരങ്ങളിലെ മുറിവുകളിൽ മുട്ടയിടുന്ന ഒരുജാതി പെണ്ണീച്ചകളെ അമേരിക്കയിലും മററും കാണാറുണ്ട്. മുട്ടകൾ വിരിയുന്നതോടുകൂടി ഉണ്ടാകുന്ന പുഴുക്കൾ മൃഗമാംസത്തെ ആശ്രയിച്ചാണുപജീവിക്കുന്നത്. അങ്ങനെ ആ മൃഗങ്ങളുടെ ശരീരം വ്രണപ്പെടുന്നതുമൂലം അവയ്ക്കു ജീവഹാനിയുംകൂടി സംഭവിക്കുന്നു. ഈ ഈച്ചകൾമുഖാന്തരം ഓരോ വത്സരത്തിലും അമേരിക്കൻകർഷകർക്കുണ്ടാകുന്ന നഷ്ടം നിസ്സീമമാണ്.

എന്നാൽ ഈ പ്രാണിബാധയെ എതിരിടുന്നതിനു തക്കതായ ഒരായുധമാണു തേജോദ്ഗിരണം. തേജോദ്ഗിരണംകൊണ്ട്, പെണ്ണീച്ചകൾ മുട്ടകളിട്ടാൽത്തന്നെയും ആ മുട്ടകൾ വിരിയാതെപോകത്തക്കവണ്ണം, ആണീച്ചകളെ നിർവ്വീര്യങ്ങളാക്കിയാൽ മതിയാകും. ഇങ്ങനെ തേജഃപ്രസരംമുഖേന അനേകായിരം കന്നുകാലികൾ രക്ഷപ്രാപിച്ചിട്ടുണ്ട്.

മനുഷ്യൻ ഭക്ഷണത്തിനുവേണ്ടി ചെടികളെയാണല്ലോ ആശ്രയിക്കുന്നത്. ചെടികൾ അവയുടെ ഭക്ഷണനിർമ്മാണക്രിയയിൽനിന്നും വിരമിച്ചാൽ മനുഷ്യജീവിതം നിർഭാഗ്യകരമായിപ്പോകതന്നെ ചെയ്യും. ആ സ്ഥിതിക്ക്, ഭക്ഷണനിർമ്മാണത്തിനുവേണ്ടി ചെടികളെ ആശ്രയിക്കാതെ, അവയുടെ ഭക്ഷ്യനിർമ്മാണവിധത്തെ അനുകരിച്ചു കൃത്രിമമായി ഭക്ഷണം ഉണ്ടാക്കുവാൻ കഴികയില്ലേ എന്നുകൂടി വൈജ്ഞാനികർ ചിന്തിച്ചുതുടങ്ങിയിട്ടുണ്ട്. ഇംഗാലാമ്ലവാതകം (carbon dioxide), ജലം, സൂര്യപ്രകാശത്തിൽനിന്നും ലഭിക്കുന്ന പ്രവർത്തകശക്തി ഇവയെ ആശ്രയിച്ചാണു ചെടികൾ ഭക്ഷണം പാകം ചെയ്യുന്നത്. ഈ ക്രിയയ്ക്കാണു സസ്യശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ 'പ്രഭാസങ്കലനം' (photo synthesis) എന്നു പറയുന്നത്. ചെടികളിൽ അനുസ്യൂതമായി നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഈ ക്രിയ ആർക്കുംതന്നെ വേണ്ടവിധം വ്യാഖ്യാനിക്കുവാൻ നിവൃത്തിയില്ലാത്തവണ്ണം അജ്ഞാതമാണു്. എന്നാൽ തേജോദ്ഗിരാണുക്കൾമുഖേന ചെടികളുടെ ഭക്ഷ്യനിർമ്മാണരഹസ്യത്തെ അല്പമായിട്ടെങ്കിലും ഗ്രഹിക്കുന്നതിന് ഇന്നു ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർക്കു കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. ഇംഗാലാമ്ലവാതകത്തെ ചെടി വലിച്ചെടുത്തുകഴിഞ്ഞാലുടൻ രണ്ടു നിമിഷങ്ങൾക്കുള്ളിൽ ആ വാതകത്തോടു

ചേൎന്നു രണ്ടോ മൂന്നോ രാസപദാൎത്ഥങ്ങൾ (chemical substances) നൂതനമായി ആവിർഭവിക്കുന്നു. ഒരു മിനിററു കഴിയുമ്പോഴേക്കും ഏതാണ്ടു് അമ്പതോളം വ്യത്യസ്തങ്ങളായ രാസപദാൎത്ഥങ്ങളാണുണ്ടാവുക. ചെടികളുടെ ഭക്ഷ്യനിൎമ്മാണത്തിലടങ്ങിയിരിക്കുന്ന ഇമ്മാതിരി രഹസ്യങ്ങൾ പൂൎണ്ണമായിവെളിപ്പെട്ടുകഴിഞ്ഞാൽ, ചെടികൾ നിൎമ്മിക്കുന്ന ഭക്ഷണംതന്നെ അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയെ ആശ്രയിച്ചു മനുഷ്യനു കൃത്രിമമായി ഉണ്ടാക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞെന്നുവരും. ഇതു സാധിതപ്രായമായി വരുന്നപക്ഷം, മനുഷ്യസമുദായത്തിനു ഭക്ഷണത്തിനുവേണ്ടി കൃഷിയെ ആശ്രയിക്കേണ്ട ആവശ്യമേ നേരിടുന്നതല്ല. അപ്രകാരമുള്ള ഒരു ഭാവി ലോകചരിത്രത്തിലെ ഒരു സുവൎണ്ണഘട്ടമായി കരുതുകയും ചെയ്യാം.

ചെടികളുടെ ഭക്ഷ്യനിൎമ്മാണസമ്പ്രദായത്തെ പകൎത്തുവാൻ മനുഷ്യൻ നടത്തുന്ന ശ്രമത്തോടൊന്നിച്ചുതന്നെ അവയുടെ ഭക്ഷ്യനിൎമ്മാണപ്രാപ്തിയെ വൎദ്ധിപ്പിക്കുവാനുള്ള മാൎഗ്ഗവും കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ കഴിഞ്ഞേക്കുമെന്നു പ്രതീക്ഷിക്കാം.

ജനസമുദായം ഇന്നു് അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടിവരുന്ന ഭക്ഷ്യദൗൎല്ലഭ്യത്തെ ലഘൂപ്പെടുത്തുന്നതിനും തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾ (radio isotopes) സഹായകമായി ഭവിക്കുന്നുണ്ടു്. ഒരു കോഴി, മുട്ടയിടുന്ന വിധത്തെപ്പററി പഠനം നടത്തുന്നതിനു് ഒരു ശാസ്ത്രകാരൻ തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തിയതായി കാണുന്നു. ഒരു കോഴി ഭക്ഷിച്ച തേജോദ്ഗിരണമിശ്രിതമായ ഭക്ഷണം, ആ കോഴി നാല്പതു നാൾ കഴിഞ്ഞു് ഇട്ട മുട്ടകളിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ടതായി അയാളുടെ പരിശോധനയിൽ വെളിപ്പെട്ടു. ഇങ്ങനെ കോഴിയുടെ ഭക്ഷണത്തെപ്പററിയും അവയുടെ മുട്ടകളെപ്പററിയും ഉള്ള നിഷ്കൃഷ്ടപഠനം കോഴിക്കൃഷിക്കാൎക്കു മുട്ടകൾ വൎദ്ധിപ്പിക്കുവാനുള്ള മാൎഗ്ഗങ്ങളെ ആവിഷ്കരിക്കയാണു ചെയ്യുന്നതു്.

പന്നികളേയും, കോഴികളേയും തടിപ്പിക്കുന്നതിനു് ഒരുമാതിരി ഔഷധം നൂതനമായി കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. തേജഃപ്രസരം കൊണ്ടു് ഈ ഔഷധത്തെ പരിശോധിച്ചതിൽ, അതു് ഈ ജന്തുക്കളുടെ വളർച്ചയെ സാരമായവിധം സഹായിക്കുന്നതാണെന്നു തെളിഞ്ഞു. പക്ഷേ, അവയുടെ മാംസത്തിൽ ഈ ഔഷധാംശം അവശേഷിക്കുന്നപക്ഷം, ആ മാംസം ഭക്ഷിക്കുന്നവരുടെ ആരോഗ്യത്തിനു ഹാനിയുണ്ടാകുമോയെന്നു പുനഃപരിശോധന നടത്തേണ്ടതായിവന്നു.

ഈ പരിശോധനയും തേജഃസ്ഥാനീയംകൊണ്ടാണ് സാധിച്ചിട്ടുള്ളതു്. അപ്രകാരമുള്ള ഗവേഷണങ്ങളുടെ ഫലമായി പ്രസ്തുത ഔഷധം ഗുണപൂൎണ്ണമാണെന്നു തെളിഞ്ഞതുമൂലം, കോഴിവളത്തലിലും, പന്നിവളത്തലിലും ഏർപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന കർഷകൎക്കു് അതിൻെറ പ്രയോജനം സിദ്ധിക്കുന്നതിനു കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്.

മേൽപ്രസ്താവിച്ചതുപോലെതന്നെ പശുക്കളുടെ ഗളഗ്രന്ഥികളുടെ (thyroid gland) വളർച്ചയെ നിലപ്പിച്ചു്, ആ മൃഗങ്ങളിൽ ശാന്തപ്രകൃതിയുളവാക്കി കൂടുതൽ പാലു ലഭിക്കത്തക്ക സാഹചര്യങ്ങളെ ഉണ്ടാക്കുന്നതിനു മതിയായ വേറൊരൗഷധം പ്രയോജനമായിത്തീൎന്നു. ഈ ഔഷധം മൃഗശരീരത്തെ ഏതുവിധം ബാധിക്കുന്നുവെന്നു കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനു്, തേജോദ്ഗിരമായ അയോഡിൻ (radio active iodine) ആണു പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നതു്. പശുവിൻെറ ശരീരത്തിൽ ഈ തേജഃസ്ഥാനീയത്തെ കയററിവിട്ടു്, ഒരു 'വികിരണസൂചിക' (Geiger Counter)യുടെ സഹായത്തോടുകൂടി ശരീരത്തിനുള്ളിൽ നടക്കുന്ന കാര്യങ്ങളെ സൂക്ഷ്മമായി മനസ്സിലാക്കുന്നതിനു സാധിക്കുന്നു. ഒരു പശുവിൻെറ ഭക്ഷണം ദുഗ്ദ്ധോത്പാദനത്തെ ഏതുവിധത്തിൽ സഹായിക്കുന്നുവെന്നു് ഒരു കർഷകൻ അറിഞ്ഞിരിക്കേണ്ടതാണല്ലോ.

തേജോഗന്ധകം (radio sulphur) ഉപയോഗിച്ചു കോഴിയുടെ ശരീരത്തിൽ തൂവൽ വളരുന്നതും, ആടുകളുടെ ശരീരത്തിൽ കമ്പിളിയുണ്ടാകുന്നതും ആയ വിധങ്ങളെപ്പററി സൂക്ഷ്മമായി പഠിക്കുവാൻ കഴിയും.

ഇങ്ങനെ അണുപ്രവത്തകശക്തിയെപ്പററിയുള്ള വിജ്ഞാനം കൎഷകലോകത്തിനെന്നുതന്നെയല്ല, ജനസമുദായത്തിനു പൊതുവേ അനുഗ്രഹകരമായിത്തീരുന്നുണ്ടു് എന്നതു് ഒരിക്കലും വിസ്മരിക്കാവുന്നതല്ല.

ഭക്ഷ്യസംഭദ്രത
(Food Preservation)

നിരുപദ്രവകരമായ രശ്മിപ്രസരംകൊണ്ടു ഭക്ഷണസാധനങ്ങൾ മലിനപ്പെടാതെ സുദീർഘകാലത്തേക്കു ഭദ്രമായി സംരക്ഷിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണെന്നു ബ്രൂക്ക്ഹേവൻ ദേശീയപരീക്ഷണശാലയിലെ ഗവേഷണങ്ങൾ വെളിപ്പെടുത്തിയിട്ടുണ്ടു്. ഉരുളക്കിഴങ്ങിലാണു

പ്രഥമ പരീക്ഷണങ്ങൾ നടന്നതു്. തേജഃപ്രസരോന്മുഖങ്ങളാക്കിയ ഉരുളക്കിഴങ്ങുകൾ രണ്ടുകൊല്ലംവരെയും യാതൊരു കേടുംകൂടാതെ സ്ഥിതിചെയ്യുന്നതായി കാണപ്പെട്ടു. മിച്ചിഗൻ സൎവ്വകലാശാലയിലെ ഗവേഷണവിഭാഗവും ഇമ്മാതിരിയിലുള്ള പരീക്ഷണങ്ങൾ ഉരുളക്കിഴങ്ങുകളിന്മേൽ നടത്തിയതും വിജയപ്രദമായിരുന്നു.

കിഴങ്ങുവൎഗ്ഗങ്ങളെ എന്നല്ല, പെട്ടെന്നു ചീഞ്ഞുപോകുന്ന മാംസവൎഗ്ഗത്തെയും തേജഃപ്രസരംകൊണ്ടു ദീൎഘകാലം കേടുകൂടാതെ സൂക്ഷിക്കാവുന്നതാണു്. വായുനിരുദ്ധങ്ങളായ തകരപ്പാത്രങ്ങളിൽ സൂക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള മാംസത്തെ അപേക്ഷിച്ചു്, രശ്മിപ്രസരംകൊണ്ടു ഭദ്രീകരിക്കപ്പെട്ട മാംസം കൂടുതൽ രുചിയും വാസനയും നല്കുന്നതായി അനുഭവപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്.

അമേരിക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലെ ആയോധനവകുപ്പിന്റെ മേൽനോട്ടത്തിലാണു് അണുപ്രവൎത്തകശക്തിയെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തിക്കൊണ്ടുള്ള ഭക്ഷ്യഭദ്രീകരണപദ്ധതി ആസൂത്രണം ചെയ്യപ്പെട്ടതു്.

തേജോവിധേയങ്ങളായ ആപ്പിൾപ്പഴങ്ങൾ ഉദ്ദേശം നാലുമാസക്കാലത്തോളം അവയുടെ സ്വാഭാവികധൎമ്മങ്ങൾക്കു യാതൊരു ക്ഷതവും സംഭവിക്കാതെയിരിക്കുന്നതായി തെളിഞ്ഞു.

ഭക്ഷണസാധനങ്ങൾക്കെന്നപോലെ ഔഷധങ്ങൾക്കും, അവയുടെ വീര്യത്തിനു ശൈഥില്യം സംഭവിക്കാതെ വളരെക്കാലത്തേക്കു സ്ഥിതിചെയ്യുവാനുള്ള കഴിവു് രശ്മിപ്രസരംകൊണ്ടു ലഭിക്കുന്നു.

അണുരശ്മിപ്രസരം നിരന്തരം ലഭിക്കത്തക്ക സാഹചര്യത്തിൽ വളൎത്തപ്പെടുന്ന ഔഷധസസ്യങ്ങളിൽനിന്നും സജ്ജീകൃതമാകുന്ന ഔഷധങ്ങൾ തേജോദ്ഗിരങ്ങൾതന്നെയായിരിക്കും. ഈ ഔഷധങ്ങളുടെ ശക്തി മനുഷ്യശരീരത്തിൽ എത്രകാലം നിലനില്ക്കുന്നതാണു് എന്നു കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ കഴിയുമത്രേ. രോഗികളുടെ ശരീരസ്ഥിതിയെ ആസ്പദമാക്കി, രോഗികൾക്കു നല്കേണ്ട ഔഷധങ്ങളുടെ സൂക്ഷ്മമായ മാത്ര നിൎണ്ണയിക്കുന്നതിനു് ഈ അറിവു ഭിഷഗ്വരന്മാൎക്കു സഹായകമായി ഭവിക്കുന്നു.

'ഡിജിറേറാക്സിൻ' (digitoxin) എന്ന പേരോടുകൂടി ഹൃദ്രോഗത്തെ ശമിപ്പിക്കുന്നതിനു സമൎത്ഥമായ ഒരൗഷധം 'അംഗുലകസസ്യ'ത്തിൻെറ(Fox glove plant) പത്രങ്ങളിൽനിന്നും സജ്ജീകരിക്കുന്നുണ്ടു്. സസ്യങ്ങൾ ഭക്ഷണസജ്ജീകരണത്തിനു് ഇംഗാലാമ്ലവാതകത്തെയാണല്ലോ സ്വീകരിക്കുന്നതു്. അതുകൊണ്ടു് ഇംഗാലാമ്ലവാത

കത്തെ വഹിക്കുന്ന ഒരു സ്ഫടികസസ്യമന്ദിരത്തിൽ മേൽപ്പറഞ്ഞ അംഗുലകസസ്യങ്ങളെ വളത്തുക. സസ്യമന്ദിരത്തിലെ വാതകം തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ അംഗാരാണുക്കളാൽ (radio active carbon) അനുബദ്ധങ്ങളായിരിക്കണം. കൂടാതെ സസ്യമന്ദിരം വാതാവസ്ഥാപിതമായിരിക്കയും (air conditioned) വേണ്ടതാണു്. ഇപ്രകാരമുള്ള സാഹചര്യത്തിൽ വളരുന്ന അംഗുലകസസ്യങ്ങൾ ഭക്ഷണസജ്ജീകരണത്തിനു് ഇംഗാലാമ്ലവാതകത്തെ വലിച്ചെടുക്കുമ്പോൾ, ആ വാതകത്തിലെ അംഗാരം തേജോദ്ഗിരങ്ങളാകയാൽ, പ്രസ്തുത സസ്യങ്ങളിലും തേജോദ്ഗിരാണുക്കൾ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ആ സസ്യങ്ങളിൽനിന്നും സജ്ജീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഡിജിറേറാക്സിൻ എന്ന ഔഷധത്തിലും തേജോദ്ഗിരാണുക്കൾ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുണ്ടു്. ഡിജിറേറാക്സിനിൽ തേജോദ്ഗിരാണുക്കളുടെ സാന്നിദ്ധ്യംകൊണ്ടു്, മനുഷ്യശരീരത്തിൽ അതു് ഏതെല്ലാം സ്ഥാനങ്ങളിൽ വ്യാപിക്കുന്നുവെന്നും, എത്രസമയംവരെ നിലനില്ക്കുന്നുവെന്നും കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ പ്രയാസമില്ല. ചിക്കാഗോ സവ്വകലാശാലയിലെ ഡോക്ടർ ഇ. എം. ഗെയ്ലിംഗിൻെറ (Dr. E. M. Geiling) പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നും, ഈ ഔഷധം മനുഷ്യശരീരത്തിൽ 40 മുതൽ 70 ദിവസംവരെ വത്തിക്കുന്നതായി തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. ഇങ്ങനെയുള്ള അറിവുകൾ ഹൃദ്രോഗചികിത്സയിൽ ഭിഷഗ്വരന്മാക്കു വളരെ പ്രയോജനപ്പെടുന്നതാണു്.

പ്രകൃതിയുടെ കാലാവസ്ഥയ്ക്കുതന്നെയും സാരമായവിധം വ്യതിയാനം വരുത്തുവാൻ അണുശക്തിയെ പ്രയോജനപ്പെടുത്താവുന്നതാണെന്നു ശാസ്ത്രകാരന്മാർ പ്രവചിക്കുന്നു. ഈ പ്രവചനം സാത്ഥകമായിത്തീരുന്നപക്ഷം, മനുഷ്യൻ ഉദ്ദേശിക്കുന്ന സമയത്തും, സ്ഥലത്തും മഴപെയ്യിക്കുന്നതിനും അങ്ങനെ കൃഷിയെ അഭിവൃദ്ധിപ്പെടുത്തുന്നതിനും കഴിയുന്നതായിരിക്കും.

അണുപ്രവത്തകശക്തിയും വ്യവസായപുരോഗതിയും

ATOMIC ENERGY AND INDUSTRIAL ADVANCEMENT

അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ അണുബോംബുനിമ്മാണത്തിനുവേണ്ടി വിനിയോഗിച്ചകാലത്തു, വ്യവസായപുരോഗതിക്കു് ഈ ശക്തി നിദാനമാകുമെന്നു് ആരുംതന്നെ പ്രതീക്ഷിച്ചില്ല. എന്നാൽ മഹായുദ്ധം അവസാനിച്ച സമാധാനത്തെപ്പററി ചിന്തിച്ചപ്പോഴാണു്, വ്യവസായകാര്യങ്ങറംക്കുവേണ്ടി അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ എങ്ങനെ ഉപയോഗിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നുള്ള പ്രശ്നം വൈജ്ഞാനികന്മാരെ അഭിമുഖീകരിച്ചതു്. തത്ഫലമായിട്ടാണു് തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെപ്പററി കൂടുതൽ ഗവേഷണം നടത്തുവാൻ ശാസ്ത്രവേദികറം പ്രേരിതരായതു്.

തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങറംക്കു വ്യവസായത്തെ ഏതെല്ലാം പ്രകാരത്തിൽ പുരോഗമിപ്പിക്കുവാൻ കഴിയുമെന്നു വിവരിക്കുക സാദ്ധ്യമല്ല.

'ദൂരശ്രാവിണി' (telephone) സ്തംഭങ്ങറം കേടുകൂടാതെ ദീഘകാലം നിലനില്ക്കുന്നതിനു തേജോദ്ഗിരമായ സ്ട്റോൺഷിയം (radio active strontium) ഉപയോഗിച്ചാൽ മതിയാകുമെന്നു് ബെൽ ടെലിഫോൺ കമ്പനിക്കാർ (The Bell Telephone Laboratories) ചില പരീക്ഷണങ്ങളേക്കൊണ്ടു തെളിയിച്ചിട്ടുണ്ടു്.

ഒരു യന്ത്രത്തെ പ്രവൃത്തിക്ഷമമാക്കുമ്പോറം ഘർഷണം ഹേതുവായി ആ യന്ത്രത്തിനു തേയ്മാനം സംഭവിക്കുന്നതു സാധാരണമാണു്. എന്നാൽ ഈ തേയ്മാനത്തിൻെറ പരിമാണം എത്രമാത്രമെന്നു നിണ്ണയിക്കുന്നതിനു ശരിയായ മാഗ്ഗം മുമ്പുണ്ടായിരുന്നില്ല. ഇപ്പോഴാകട്ടെ തേജോദ്ഗരിതമായ പിസ്റ്റൺവലയങ്ങളെ (piston rings) ഉപയോഗിച്ചു് ഒരു യന്ത്രത്തിൻെറ തേയ്വ് വളരെ എളുപ്പത്തിൽ മനസ്സിലാക്കാവുന്നതാണു്.

പിസ്റ്റൺവലയങ്ങളെ ആദ്യമായി നീരലക്തങ്ങളുടെ ആഘാതം

ഏൽപ്പിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി അണുപ്രബാധകത്തിൽ വയ്ക്കുക. നിരലക്തധാരയേററു് തേജോദ്ഗരിതങ്ങളായിത്തീൎന്ന പിസ്റ്റൺ വലയങ്ങളെ പരീക്ഷണത്തിനുവേണ്ടിയുള്ള യന്ത്രസിലണ്ടറുകളിൽ (engine cylinder) ഘടിപ്പിക്കുക. യന്ത്രത്തെ പ്രവൃത്തിക്ഷമമാക്കിയതിൻെറശേഷം അതിലുള്ള എണ്ണ ഊററിയെടുത്തു പരിശോധിക്കുക. പിസ്റ്റൺവലയങ്ങൾ തേജോദ്ഗരിതങ്ങളായിരുന്നതിനാൽ ആ വലയങ്ങൾ തേഞ്ഞു് എണ്ണയിൽ ലയിച്ചുചേൎന്ന ലോഹാംശങ്ങളും തേജോദ്ഗിരങ്ങളായിരിക്കും. തേജോദ്ഗിരങ്ങളായ ഈ ലോഹാംശങ്ങളുടെ പരിമാണം എന്തുമാത്രമെന്നു നിഷ്പ്രയാസം നിർണ്ണയിക്കയും ചെയ്യാം.

ഈ മാൎഗ്ഗമുപയോഗിച്ചു കാലിഫോർണിയായിലെ സ്റ്റാൻഡാർഡ് എണ്ണക്കമ്പനി (Standard Oil Company) ഏകദേശം 35,000 ഡോളർ വ്യയംചെയ്തു നാലുകൊല്ലത്തോളം ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തിയിട്ടുണ്ടു്. പ്രാചീനമാൎഗ്ഗങ്ങളെ അവലംബമാക്കി ഈദൃശപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുന്നതിനു് ഏതാണ്ടു് 60 കൊല്ലത്തോളം വേണ്ടിവരുമെന്നുതന്നെയല്ല, അനേകലക്ഷം ഡോളറുകളും ചെലവാക്കേണ്ടതായിവരുന്നതാണു്. ഈ പരീക്ഷണങ്ങളിൽനിന്നു് ഏതുജാതി എണ്ണയാണു ഘർഷണത്തെ ലഘൂകരിക്കുന്നതിനു് ഏററവും ഉചിതമായതു് എന്നു മനസ്സിലാക്കുന്നതിനു കഴിഞ്ഞു.

ബി.എഫ്. ഗുഡ്റിച്ച്കമ്പനി (B.F. Goodrich Company) തേജോഭാസ്വരം (radio phosphorus) ഉപയോഗിച്ചു് ടയറിനുണ്ടാകുന്ന തേയ്മാനത്തെ നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനുള്ള ശ്രമം ഫലപ്രദമായിട്ടുണ്ടു്.

ഇതുപോലെതന്നെ യന്ത്രത്തിൻെറ ഏതു ഘടകത്തിലും സംഭവിക്കാവുന്ന തേയ്വിൻെറ പരിമാണം നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനു തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾ പ്രയോജനപ്പെടുന്നു.

റബ്ബർ, കടലാസ്സു്, പ്ലാസ്റ്റിക്ക്, ലോഹത്താളുകൾ, വസ്ത്രങ്ങൾ തുടങ്ങിയ വസ്തുക്കളുടെ ഘനം (thickness) നിശ്ചയിക്കുന്നതിനു തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ പ്രയോജനപ്പെടുത്താവുന്നതാണു്. ഈമാതിരി വസ്തുക്കളുടെ ഘനം നിയന്ത്രിക്കപ്പെടുന്നതു്, അവയുടെമേൽ അതിശീഘ്രത്തിൽ പരിവത്തനം ചെയ്യുന്ന ഉരുളുകൾ (rollers) കൊണ്ടാണല്ലോ. പ്ലിയോഫിലിം (pliofilm) പോലെയുള്ള ഒരു വസ്തുവിൻെറ പാളി (sheet) രണ്ടു് ഉരുളുകളുടെ മദ്ധ്യത്തിൽ വത്തിക്കുന്ന

വെന്നു സങ്കല്പിക്കുക. ഈ ഉരുളുകൾ ആ വസ്തുവിൻെറ ഘനത്തെ നിയന്ത്രിക്കുന്നവയാണ്. തേജഃസ്ഥാനീയം വസ്തുവിൻെറ ഒരു വശത്തും, തേജഃസ്ഥാനീയത്തിൽനിന്നുള്ള തേജോദ്ഗിരണത്തെ കണ്ടുപിടിച്ചളക്കുവാനുള്ള യന്ത്രവിശേഷം മറുവശത്തും വരത്തക്കവിധം ഒരു യാന്ത്രികോപകരണം ഉരുളുകളോടു ചേർത്തു നിബന്ധിച്ചിരിക്കും. പക്ഷേ, തേജഃസ്ഥാനീയമാകട്ടെ, തേജോദ്ഗിരണമാത്രയന്ത്രമാകട്ടെ പ്ലിയോഫിലിമിനെ സ്പശിക്കുന്നുമില്ല. ഉരുളുകളുടെ മദ്ധ്യവത്തിയായ പ്ലിയോഫിലിമിൻെറ ഘനം ഏതുഭാഗത്തെങ്കിലും അധികരിച്ചാൽ തേജോദ്ഗിരണത്തിൻെറ അളവ് തേജോദ്ഗിരണമാത്രായന്ത്രത്തിൽ കുറവായിട്ടായിരിക്കും രേഖപ്പെടുക. മദ്ധ്യവത്തിയായ ഫിലിമിൻെറ ഘനത്തിൻെറ ഏകരൂപതയ്ക്ക് ഇപ്രകാരം വ്യതിയാനം സംഭവിച്ചാലുടനെ തത്പരിഹാരാത്ഥം ഉരുളുകളുടെ പരിവത്തനഗതി സ്വയം പ്രേരിതമായി നിയന്ത്രിക്കപ്പെടുന്നു.

ചില തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങൾകൊണ്ടു യന്ത്രഘടകങ്ങളിലെ കേടുകൾ പെട്ടെന്നു കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണ്. വളരെ കട്ടികൂടിയ ലോഹങ്ങളുടെ ആഭ്യന്തരസ്ഥിതി മനസ്സിലാക്കുവാൻ എക്സ്-രശ്മികളേയും (X-rays), തൈജസത്തേയും, (radium) ആണ് ഉപയോഗിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നതു്. ഒരു വസ്തുവിൻെറ കേടുള്ള ഭാഗത്തുകൂടിയാണു രശ്മികൾ ക്ഷണം കടക്കുന്നതു്. രശ്മികളുടേയും, തൈജസത്തിൻേറയും സ്ഥാനത്തു് ഇപ്പോൾ ഉപയോഗിക്കുന്നതു് തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെയാണ്.

വിമാനങ്ങളുടെ ചട്ടങ്ങളിൽ സംഭവിക്കുന്ന കേടുകളുടെ സ്ഥാനവും, ചില ആലക്തിക ബന്ധങ്ങൾക്കുണ്ടാകുന്ന ശൈഥില്യവും കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനു തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ ഒരു പരിശോധനായുധമായി (inspection tool) ഉപയോഗിച്ചുവരുന്നു. വിമാനച്ചട്ടങ്ങളിൽ ചില സ്ഥാനത്തുണ്ടാകുന്ന ദോഷങ്ങൾ കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ വളരെ ശ്രമം ചെയ്യേണ്ടതായി വരുന്നുണ്ടു്. എന്നാൽ സീഷിയം-137 (cesium-137) എന്ന തേജഃസ്ഥാനീയം മേൽപ്പറഞ്ഞ ശ്രമത്തെ ലഘൂകരിക്കുന്നതിനു പ്രയോജനപ്പെടുന്നുണ്ടു്. സീഷിയം-137 ഒരണുപ്രബാധകത്തിൽ പ്രയോജനശൂന്യമായി അവശേഷിച്ചിട്ടുള്ള ഒരു സ്ഥാനീയമാകുന്നു.

നിർമ്മാണശാലകളിൽനിന്നും വെളിയിലേക്കു് അയക്കപ്പെടുന്ന സാധനങ്ങൾ, അവയുടെ ധാരകളിൽ ശരിയായി നിറച്ചിട്ടുണ്ടോ

എന്നു കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനും തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങരം സഹായകമായി ഭവിക്കുന്നു. ധാരകങ്ങരം ശരിയായി നിറയ്ക്കപ്പെട്ടിട്ടില്ലെങ്കിൽ തേജഃപ്രസരം ധാരകങ്ങളുടെ ഒരു വശത്തുനിന്നും മറുവശത്തേക്കു് അധികമായി വ്യാപിക്കുമത്രേ.

ഒരു ലോഹച്ചൂളയിൽ ലോഹദ്രവത്തിന്റെ നിരപ്പു കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനോ, പവ്തോപരിയിലെ മഞ്ഞുകട്ടകളിലുള്ള ജലത്തിന്റെ ആകെത്തുക നിർണ്ണയിക്കുന്നതിനോ സ്ഥാനീയങ്ങരം പ്രയോജനപ്പെടുന്നുണ്ടു്.

ഒരു നഗരത്തിനാവശ്യമുള്ള ജലം പ്രഭവസ്ഥാനത്തുനിന്നും കുഴൽവഴിയായിട്ടാണല്ലോ ഉദ്ദിഷ്ടസ്ഥാനങ്ങളിൽ എത്തിക്കുക. എന്നാൽ കുഴലിനു് എവിടെയെങ്കിലും സൂക്ഷ്മമായ പഴുതുകരം ഉണ്ടായിരുന്നാൽ ആ പഴുതുകളിൽക്കൂടി ജലം വാർന്നുപോകുന്നതാണു്. അതിദീർഘങ്ങളായ കുഴലുകളിലെ പഴുതുള്ള സ്ഥാനം നിർണ്ണയിക്കുക സുഗമമായ ഒരു കാര്യമല്ല. ഇങ്ങനെയുള്ള ഘട്ടങ്ങളിൽ തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ ഫലപ്രദമാംവിധം ഉപയോഗിക്കുവാൻ കഴിയും. തേജഃപ്രസരാണുക്കളെ കുഴലിലുള്ള ജലത്തോടു കലത്തിയാൽ കുഴൽപഴുതുകളിൽക്കൂടി വാൻപോകുന്ന ജലത്തോടൊന്നിച്ചു തേജോദ്ഗിരാണുക്കളും പ്രസരിക്കുന്നതിനാൽ, തേജോദ്ഗിരണത്തെ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനുള്ള യന്ത്രം ഉപയോഗിച്ചു കുഴൽപ്പഴുതുകളുടെ ശരിയായ സ്ഥാനം നിർണ്ണയിക്കുവാൻ കഴിയുന്നതാണു്.

ഇനിയും തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ എണ്ണക്കമ്പനികരം എങ്ങനെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നു എന്നു നോക്കാം. ഒരേ കുഴൽപ്പാതയിൽക്കൂടി ഡീസൽ എണ്ണ, പെട്രോരം, മണ്ണെണ്ണ തുടങ്ങിയ പലജാതി എണ്ണകരം ആനയിക്കപ്പെടുന്നു എന്നു വിചാരിക്കുക. ഉദ്ദിഷ്ടസ്ഥാനത്തെത്തുമ്പോരം ഒരേ പാതയിൽക്കൂടി പ്രയാണം ചെയ്യുന്ന ഈ എണ്ണകളെ തരംതിരിച്ചു വെവ്വേറെ സംഭരിക്കേണ്ടതാണു്. എന്നാൽ ഒരു ജാതിയിലെ എണ്ണ അവസാനിക്കുന്നതും, വേറൊരു ജാതിയിലെ എണ്ണ ആരംഭിക്കുന്നതുമായ സന്ധിസ്ഥാനം സാധാരണഗതിയിൽ നിർണ്ണയിക്കുക അസാദ്ധ്യമത്രേ. ഈ സന്ധിസ്ഥാനം തേജഃപ്രസരംകൊണ്ടു ഗ്രഹിക്കാവുന്നതിനാൽ എണ്ണകരം തമ്മിൽ കലൻപോകാതെ ശേഖരിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നതാണു്.

വസ്ത്രങ്ങരം കഴുകി ശുദ്ധിയാക്കുവാനായി ഉപയോഗിക്കുന്ന വിവിധജാതി സോപ്പുകളുടെ ഗുണങ്ങരം തിരിച്ചറിയുന്നതിനും ആ ഗു

ണങ്ങളെ ആസ്പദമാക്കി സോപ്പുകളെ തരംതിരിക്കുന്നതിനും തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ ആലംബമാക്കാവുന്നതാണു്. സോപ്പുപരീക്ഷണക്രിയയിൽ സ്ഥാനീയങ്ങരം (isotopes) ഏതാണ്ടു മാന്ത്രികദൃഷ്ടി (magic eye) എന്നപോലെയാണു പ്രവത്തനം നടത്തുന്നതു്. ഈ പരീക്ഷണത്തിൽ അതിസൂക്ഷ്മജീവാണുക്കളെ (bacteria) തേജഃസ്ഥാനീയംകൊണ്ടു തേജോദ്ഗരിതമാക്കി ശുദ്ധിയാക്കുവാനുള്ള വസ്ത്രത്തിന്മേൽ നിക്ഷേപിക്കയാണു് ആദ്യമായി ചെയ്യുക. അനന്തരം ഓരോ വസ്ത്രവും ഓരോ ജാതി സോപ്പുപയോഗിച്ചു കഴകിയതിൻെറ ശേഷം ഓരോ വസ്ത്രത്തിലും അവശേഷിച്ചിട്ടുള്ള ജീവാണുക്കളുടെ അളവിനെ അവലംബമാക്കി ശുദ്ധീകരണക്രിയയ്ക്കു് ഏററം യോജിച്ച സോപ്പു് ഏതെന്നു മനസ്സിലാക്കാം.

ഭൂഗഭശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ മണ്ണിൻെറ ഗുണം, ഭൂഗഭത്തിൽ വത്തിക്കുന്ന ജലത്തിൻെറ സ്ഥാനം, അളവു തുടങ്ങിയ കാര്യങ്ങരം സൂക്ഷ്മമായി ഗ്രഹിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ പ്രയോജനപ്പെടുത്തുന്നുണ്ടു്.

കൃഷിസ്ഥലത്തേക്കു ജലം കൊണ്ടുപോകുന്നതിനുള്ള വെള്ളച്ചാലുകളിൽ ചില ജാതി പായലുകരം വളൻ ജലത്തിൻെറ പ്രവാഹഗതിയെ പ്രതിരോധിക്കുന്നതായി കാണുന്നുണ്ടു്. ഈ പായലുകളെ നശിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള രാസവസ്തുക്കളെ വെള്ളച്ചാലുകളിൽ നിക്ഷേപിച്ചാൽ, ആ വസ്തുക്കളുടെ നശീകരണക്രിയകരം പായലുകളെ എങ്ങനെ ബാധിക്കുന്നു എന്നു കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനു് രാസപദാത്ഥങ്ങളോടു് അംഗാരത്തിൻെറ (carbon) തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ അനുബന്ധിപ്പിച്ചാൽ മതിയാകുന്നതാണു്. ഇപ്രകാരം ലഭിക്കുന്ന അറിവുകളിൽനിന്നു്, പായലുകളെ നശിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള രാസപദാത്ഥങ്ങളെ പൂവ്വാധികം കാര്യക്ഷമമായവിധം പ്രയോഗിക്കുന്നതിനുള്ള മാഗ്ഗങ്ങരം സ്വീകരിക്കുന്നതിനു കർഷകക്കു സാധിക്കുന്നതാണു്.

രത്നവ്യാപാരികരം തങ്ങളുടെ അമൂല്യങ്ങളായ രത്നവിശേഷങ്ങളെ തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങരം ഉപയോഗിച്ചു തേജോദ്ഗരിതമാക്കുന്നതുമൂലം, പ്രസ്തുത രത്നങ്ങരം അപഹരിക്കപ്പെട്ടാൽത്തന്നെയും കുററക്കാരനെ തൊണ്ടിസഹിതം കണ്ടുപിടിക്കുന്നതിനു പോലീസിനു നിഷ്പ്രയാസം സാധിക്കുന്നുണ്ടു്.

അണുപദ്ധതിയും ഭാരതവും

അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ നാനാമുഖങ്ങളായ പ്രയോജനങ്ങളെ പരിഗണിക്കുമ്പോരം ലോകത്തിന് അതിശോഭനമായ ഒരു ഭാവിയെ വീക്ഷണംചെയ്യാവുന്നതാണ്. മനുഷ്യസമുദായം ഭാവനയിൽക്കൂടിമാത്രം ദർശിച്ച ഒരു ലോകത്തെ സാക്ഷാത്കരിക്കുന്നതിന് അണുവിനു സാധിക്കുന്നു. അതിൻെറ തേജഃപ്രസരത്തിനു ലോകവ്യവഹാരങ്ങളുടെ അധോതലങ്ങളിലേക്കു ചുഴിഞ്ഞിറങ്ങുന്നതിനു കഴിയുന്നതാണ്. കർഷകൻ, വൈജ്ഞാനികൻ, വ്യാവസായികൻ, ഭിഷഗ്വരൻ, യാന്ത്രികൻ തുടങ്ങി നാനാവൃത്തികളിൽ ഏർപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ഏതൊരുവനും അവനവൻെറ വൃത്തികളിൽ പൂവ്വാധികം പ്രചോദനം ലഭിക്കത്തക്ക ഒരു അന്തരീക്ഷമാണ് അണുയുഗം സൃഷ്ടിച്ചിരിക്കുന്നതു്.

ഇനിയും ഒരു മഹായുദ്ധത്തിൻെറ സാദ്ധ്യത ഇല്ലാതെയാക്കുന്നതിന് അണുവായുധങ്ങരംക്കു കഴിയുമെന്നു രാഷ്ട്രങ്ങരം പ്രതീക്ഷിക്കുന്നതോടൊപ്പം, ലോകത്തിനു സുരക്ഷിതത്വത്തേയും, ക്ഷേമത്തേയും പ്രദാനംചെയ്തു്, ഐശ്വര്യസമ്പൂണ്ണമായ ഒരു മഹാഭാവിയെ കൈവരുത്തുന്നതിന് അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ വികസിപ്പിക്കാവുന്നതാണെന്നു ലോകസാമ്രാജ്യങ്ങരംക്കു ബോദ്ധ്യമായിട്ടുണ്ടു്.

അണുപ്രവത്തകശക്തി, അതിൻെറ ഇന്നത്തെ നിലയിലായിത്തീരുന്നതിനാവശ്യമായ പ്രാരംഭയത്നങ്ങരം, ഓരോരോ ഘട്ടങ്ങളിലായി അനേകരാജ്യങ്ങളിലെ വൈജ്ഞാനികരാണനിവ്വഹിച്ചിട്ടുള്ളതു്. ജമ്മനിയിലെ ഹാൻ, സ്ട്രോസ്സ്മാൻ, നാസ്സികളിൽനിന്നും രക്ഷനേടി കോപ്പൻ ഹേഗനിൽ പ്രവത്തനം നടത്തിയ ലൈസ്മെയിററ്നർ, നാസ്സികളെ ഭയപ്പെട്ടു് അമേരിക്കയെ അഭയംപ്രാപിച്ച ഐൻസ്റ്റീൻ(Einstein), സിലാർഡ്(Szilard), ഫേർമി(Fermi) എന്നിവരെല്ലാംതന്നെ അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ ആവിഷ്കരണത്തിൽ വിശിഷ്ടയത്നം നിവ്വഹിച്ചവരാണ്.

1939-ൻെറ പ്രാരംഭത്തിൽ സ്വതന്ത്രരാഷ്ട്രങ്ങളിലെ വൈജ്ഞാനികന്മാർ ഒന്നിച്ചുകൂടി അണുക്കളിൽ നിഹിതമായ പ്രവത്തകശക്തി

യെ വിമോചിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള മാഗ്ഗങ്ങളെപ്പററി ഗവേഷണങ്ങരം നടത്തിയതാണ് അണുബോംബിൻെറ ആവിർഭാവത്തിനു കാരണമായതു്. ഒരുപക്ഷേ, നാസ്സികരം യുദ്ധാഹ്വാനം നടത്താതിരുന്നെങ്കിൽ അണുബോംബുകരം ഉണ്ടാകുമായിരുന്നോ എന്നൊരു പ്രശ്നം ഉയന്നേക്കാം. അണുബോംബിൻെറ സൃഷ്ടിക്കാവശ്യമായ സാഹചര്യത്തിൻെറ അഭാവത്തിൽ അണുപ്രവത്തകശക്തിയുടെ വിമോചനമാഗ്ഗങ്ങളെക്കുറിച്ചു ശാസ്ത്രകാരൻ വേണ്ടവിധം ചിന്തിക്കുവാനും ഇടയില്ലാതിരുന്നേനേ. ഏതായാലും യുദ്ധം അവസാനിച്ചതോടുകൂടി ലോകത്തിൽ അണുയുഗം ആരംഭിച്ചു. ഇനിയും അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ നശീകരണവസ്തുക്കളുടെ നിമ്മാണത്തിനുവേണ്ടിയല്ല, മനുഷ്യസമുദായത്തിൻെറ ജീവിതത്തോതു് ഉയത്തുന്നതിനുള്ള ഒരുപാധിയായിട്ടാണു സ്വീകരിക്കേണ്ടതു് എന്നു ലോകം ഉറച്ചിരിക്കയാണു്.

ഈ ലക്ഷ്യത്തെ മുൻനിറുത്തിക്കൊണ്ടാണു് 1954 നവംബർ 15-ാം തീയതി അമേരിക്കയുടെ ഭരണാദ്ധ്യക്ഷനായ ഡ്വൈററ് ഡി. ഐസൻഹോവർ(Dwight D. Eisenhover) സമാധാനത്തിനുവേണ്ടിയുള്ള അണുപദ്ധതി(atom for peace programme) പ്രഖ്യാപനംചെയ്തതു്. ഈ പദ്ധതിയെ വിജയകരമാക്കുന്നതിനു ലോകരാഷ്ട്രങ്ങരം ഇന്നും യത്നിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കയാണു്.

ഈ പദ്ധതിയെ പ്രായോഗികമാക്കുന്നതിനു പ്രയത്നംചെയ്യുന്ന രാഷ്ട്രങ്ങളുടെ കൂട്ടത്തിൽ ഭാരതത്തിന് ആകർഷകമായ ഒരു സ്ഥാനമാണ് ഇന്നു ലഭിച്ചിട്ടുള്ളതു്. അണുബോംബുകളുടെ നിമ്മാണപരിപാടിയും അണുവായുധങ്ങളുടെ പരീക്ഷണകോലാഹലങ്ങളും നിറുത്തിവച്ചു്, അണുപ്രവത്തകശക്തിയെ സൃഷ്ടിപരമായ കാര്യങ്ങരംക്കുവേണ്ടി വിനിയോഗിക്കുന്നതിനു ലോകത്തെ ആഹ്വാനംചെയ്യുന്ന വിഷയത്തിൽ ഭാരതം അനിഷേധ്യമായ ആധിപത്യം വഹിക്കുന്നുവെന്നതു ഭാരതീയക്കു പൊതുവേ അഭിമാനജനകമായ ഒരു കാര്യമാണു്.

അണുപദ്ധതിക്കു നേതൃത്വംവഹിച്ചു് അതിനെ കാര്യക്ഷമമായ വിധം വികസിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള സകല ചുമതലയും അതാതു രാഷ്ട്രങ്ങളിലെ ഭരണകൂടത്തിൻെറ നിയന്ത്രണത്തിൻകീഴിൽ വത്തിക്കുന്ന അണുശക്തിവിഭാഗത്തിനാണു്.

1954-ൽ ആണു് ഭാരതത്തിൽ ഒരു അണുപ്രവത്തകശക്തിവകുപ്പു്(Atomic Energy Department) സ്ഥാപിതമായതു്. ഭാരത

ത്തിൻെറ പഞ്ചവത്സരപദ്ധതികളിൽ അണുപ്രവത്തനങ്ങൾക്ക ഒരു വലിയ സ്ഥാനം നല്കിയിട്ടുണ്ട്. സമാധാനപരമായ ലക്ഷ്യപ്രാപ്തിക്കുവേണ്ടി മാത്രമാണ് ഇൻഡ്യൻ അണുശക്തിവിഭാഗം പ്രവത്തനം നടത്തുന്നത്. 1954-ൽത്തന്നെ അണുപ്രവത്തനങ്ങൾക്കുവേണ്ടി ഏതാണ്ട് ഒരുകോടി രൂപയോളം ഗവമ്മെൻറ് വ്യയംചെയ്തു. എന്നാൽ 1957 ആയപ്പോഴേക്കും ഈ പദ്ധതിയുടെ വികാസത്തെ ഉദ്ദേശിച്ചു പന്ത്രണ്ടുകോടി രൂപയാണ ചെലവായത്.

ദ്വിതീയപഞ്ചവത്സരപദ്ധതിയുടെ കാലപരിധിക്കുള്ളിൽ കുറഞ്ഞത് ഒരണുശക്തിനിമ്മാണകേന്ദ്രമെങ്കിലും സ്ഥാപിക്കുകയെന്നതാണ് ഇൻഡ്യയുടെ ലക്ഷ്യം. ഈ കേന്ദ്രംമുഖേന ആലക്തികശക്തിയെ ഉത്പാദിപ്പിക്കയും വിഘടനയോഗ്യങ്ങളായ പ്ലൂട്ടോണിയം തുടങ്ങിയ വസ്തുക്കളെ സൃഷ്ടിക്കയും ചെയ്യണമെന്നത്രേ ഭാരതം അഭിലഷിക്കുന്നത്. ഈ ലക്ഷ്യത്തെ പ്രായോഗികമാക്കുന്നതിനു ബോംബയിൽ ഒരു പരിശീലനവിദ്യാലയം ആരംഭിച്ചു പ്രവത്തനം നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നുണ്ട്.

ഇൻഡ്യയിൽ യുറേനിയത്തിൻെറ നിക്ഷേപങ്ങൾ ഉള്ളതായി ഇപ്പോൾ കണ്ടുപിടിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. രാജസ്ഥാൻ, ബീഹാർ ഈ സ്ഥലങ്ങളിൽ യുറേനിയം അയസ്സുങ്ങളുടെ(uranium ores) നിക്ഷേപങ്ങൾ കാണപ്പെടുന്നു. കൂടാതെ റാഞ്ചിയിൽ യുറേനിയത്തിൻേറയും, തോറിയത്തിൻേറയും അയസ്സുങ്ങൾ ഉള്ളതായി വെളിപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ഏതാണ്ട് 33 ലക്ഷം ടൺ യുറേനിയം അയസ്സുങ്ങൾ അവിടെനിന്നും ലഭിക്കാൻ സാദ്ധ്യതയുണ്ടെന്നാണ് ഊഹിക്കപ്പെടുന്നത്. കേരളത്തിൻെറ തീരപ്രദേശത്തുനിന്നും ലഭിക്കുന്ന തോറിയത്തിൻെറ അമ്പതു ശതമാനംകൂടി അധികം ലോഹം റാഞ്ചിയിൽ ഉള്ളതായിട്ടാണ കണക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത്.

അപ്സര(Apsara) എന്ന പേരോടുകൂടി ഒരണുപ്രബാധകം (atomic reactor) നിമ്മിച്ച് ആദ്യമായി അണുപ്രവത്തനം ഇൻഡ്യയിൽ ആരംഭിച്ചു. അതിനേത്തുടന്നു കാനഡാ ഇൻഡ്യയ്ക്കു ദാനംചെയ്ത N. R. X. എന്ന പ്രബാധകം ട്രോംബയിൽ സ്ഥാപിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്.

കൃഷി, വ്യവസായം, ഔഷധം ഈ വകുപ്പുകളിലേക്കാവശ്യമുള്ള റേഡിയോ കോബാൾട്ട്(radio cobalt) ഈ പ്രബാധകത്തിൽ നിമ്മിക്കുവാൻ സാധിക്കുന്നതാണ്. ഈ പ്രബാധകത്തെ പ്രവത്തനക്ഷമമാക്കുന്നതിനുള്ള സാങ്കേതികവൈദഗ്ധ്യം ലഭിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി

ഒരു സംഘം ഇൻഡ്യൻശാസ്ത്രകാരന്മാർ കാനഡായിൽ എത്തി പരിശീലനം നടത്തിവരുന്നുണ്ടു്.

1959-ൽത്തന്നെ പ്രവത്തനം ആരംഭിക്കത്തക്കവിധം സേർലിനാ (zerlina) എന്ന പ്രബാധകത്തിന്റെ(reactor) സ്ഥാപനത്തെ ലക്ഷ്യമാക്കിയുള്ള യത്നങ്ങളും ഇൻഡ്യയിലെ അണുപ്രവത്തകശക്തി സംഘടന(Atomic Energy Establishment) തീവ്രമായി നടത്തിവരുന്നുണ്ടു്. ഇൻഡ്യയിൽ ധാരാളമായി ലഭിക്കുന്ന തോറിയത്തെ (thorium) ഉപയോഗയോഗ്യമാക്കുന്നതിനുവേണ്ടിയാണു് ഈ പ്രബാധകം വിധാനംചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതു്.

കൂടാതെ യുറേനിയം, നെപ്ററൂണിയം, പ്ലൂട്ടോണിയം, അമേരിഷിയം(americium) തുടങ്ങിയ വിഘടനയോഗ്യങ്ങളായ ധാതുക്കളെ ആലംബമാക്കി പരീക്ഷണം നടത്തുന്നതിനു പര്യാപ്തമായ വിധം ഒരു തേജോരസവിജ്ഞാനീയപരീക്ഷണശാല(Radio Chemistry Laboratory)ട്രോംബയിൽ സ്ഥാപിക്കുന്നതിനുള്ള സജ്ജീകരണങ്ങൾ ചെയ്തുവരുന്നുണ്ടു്. അതിതേജോദ്ഗിരങ്ങളായ ധാതുക്കളെ കൈകാര്യംചെയ്യുന്നതിനുള്ള മാർഗ്ഗങ്ങൾ പരീക്ഷണങ്ങൾമൂലം കണ്ടുപിടിക്കയാണു് ഈ പരീക്ഷണശാലയുടെ ലക്ഷ്യം. ഈ പരീക്ഷണശാലയെ പ്രവത്തനക്ഷമമാക്കിത്തീക്കുന്നതിനു ബ്രിട്ടീഷ് അണുപ്രവത്തകശക്തിസമിതിയുടെ അംഗമായ ജി. ആർ. ഹാളിന്റെ(G. R. Hall) സേവനം കൊളംബോപദ്ധതി അനുസരിച്ച് ഇൻഡ്യയ്ക്കു ലഭിച്ചിട്ടുണ്ടു്.

ദക്ഷിണഭാരതത്തിന്റെ പശ്ചിമസമുദ്രതീരത്തുനിന്നും സുലഭമായി ലഭിക്കുന്ന 'മോണസൈററ്'(monazite) മണലിൽനിന്നും, തോറിയം ഓക്സൈഡ്(thorium oxide) രൂപപ്പെടുത്തുന്നതിനു് ആലുവായിൽ സ്ഥാപിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന നിർമ്മാണകേന്ദ്രത്തിന്റെ പ്രവത്തനം ദ്വിഗുണീഭവിപ്പിക്കുവാൻ ദ്വിതീയ പഞ്ചവത്സരപദ്ധതിയിൽ പ്രത്യേകവ്യവസ്ഥകൾ കാണുന്നതു് ആശാസ്യമാണു്.

കോക്കിൽ (coke)നിന്നും അണുപദ്ധതിക്കാവശ്യമായവിധം സംസ്കരിക്കപ്പെട്ട 'ലിഖിജം'(graphite) നിർമ്മിക്കുന്നതിനുള്ള ഒരു പദ്ധതിയും ഇൻഡ്യയിലെ അണുപ്രവത്തകശക്തിവകുപ്പിന്റെ ശ്രദ്ധയ്ക്കു വിഷയീഭവിച്ചിരിക്കയാണു്. ഒരു അണുപ്രബാധകത്തിൽ (atomic reactor) 'മിതകാരിണി'(moderator)യായി ഉപയോഗിക്കപ്പെടുന്ന വസ്തുക്കളിൽ'ലിഖിജം'(graphite)അതിപ്രാധാന്യം വഹിക്കുന്ന ഒന്നത്രേ.

ഇൻഡ്യയിൽ അതിസുലഭമായി ലഭിക്കുന്ന ഒരു അപൂർവ്വ ഖനിജമാണ് (rare mineral) ബെറിൽ (beryl) എന്നതു്. ബെറിലിനെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ള പ്രാരംഭപഠനത്തിൽനിന്നും, കുറഞ്ഞതോതിൽ ആലക്തികശക്തിയുണ്ടാക്കുന്നതിനുവേണ്ടി, പ്രബാധകങ്ങളിൽ 'മിതകാരിണി' (moderator)യായി ഉപയോഗിക്കുന്നതിനു ബെറിലിൽനിന്നും സജ്ജീകരിക്കപ്പെടുന്ന 'ബെറിലിയം ഓക്സൈഡ്'' (beryllium oxide) ലിഖിജത്തെ(graphite) അപേക്ഷിച്ച് വളരെ ചെലവു കുറഞ്ഞിരിക്കുമെന്നു തെളിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. തന്നെയുമല്ല. അണുപ്രബാധകങ്ങളുടെ രചനയ്ക്കു പററിയ ഒരു വിശിഷ്ടലോഹമായി ബെറിലിയത്തെ പരിഗണിക്കാവുന്നതുമാണു്.

വിവിധങ്ങളായ തേജഃസ്ഥാനീയങ്ങളെ(radio isotopes) ആസ്പദമാക്കി ജീവശാസ്ത്രപരമായ ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തുന്നതിനു് ഒരു ഗവേഷണകേന്ദ്രം സ്ഥാപിക്കുവാനുള്ള ശ്രമവും ഇൻഡ്യയിൽ നടന്നു വരുന്നുണ്ടു്.

ഇങ്ങനെ അണുപ്രവർത്തകശക്തിയെ സമാധാനപരമായ ലക്ഷ്യത്തിലേക്കു് ആനയിക്കുന്നതിനുള്ള ഭാരതത്തിന്റെ അക്ഷീണശ്രമം സർവ്വഥാ സ്തുത്യർഹമാണു്. അണുപ്രവർത്തനപദ്ധതിയിൽ ഏഷ്യയിലെ ഇതരരാജ്യങ്ങളെ അപേക്ഷിച്ചു് ഇൻഡ്യ മുന്നിട്ടുനില്ക്കുകയാണെന്നുള്ളതും സ്മരണീയമാണു്.

★

സാങ്കേതികശബ്ദകോശം

Accelerating impulse —ഗതിപ്രചോദനം
Acceleration —തീവ്രത
Alpha ray —ആല്ഫാ രശ്മി
Alchemy —രാസവിദ്യ
Alchemist —രാസവിദ്യാകാരൻ
Alternating current —പരിവത്തനാലക്തികം
Anode —ഉത്പഥം
(ഗ്രീക്ക്: ana+hods. ana = up; hodos=way.)
Artificial radio activity —കൃത്രിമ തേജോദ്ഗിരണം
Atom —അണു
Atom explosion —അണുവിസ്ഫോടനം
Atomic fusion —അണുസംയോജനം
Atomic motion —അണുചലനം
Atomic nucleus —അണുബീജം
Atomic number —അണുസംഖ്യ
Atomic power —അണുശക്തി
Atomic power plant —അണുശക്ത്യുത്പാദകയന്ത്രം
Atomic projectile —അണുക്ഷേപകം
Atomic reaction —അണുപ്രക്രിയ
Atomic reactor —അണുപ്രബാധകം
Atomic science —അണുശാസ്ത്രം
Atom smashing —അണുഭഞ്ജനം
Atomic theory —അണുസിദ്ധാന്തം
Atomic weight —അണുഭാരം
Auxiliary coil —ഉപതന്തുവലയം
Bacteria —ജീവാണു
Barrier plate —രോധകഫലകം
Basic element —അടിസ്ഥാനധാതു
Beta ray —ബീററാ രശ്മി
Binding energy —സംയോജകശക്തി
Blood vessel —രക്തധമനി
Breeder —അഭിജന്യകം
Breeding process —അഭിജനനക്രിയ
Burning fuel —ദാഹകേന്ധനം

Cancer —യമാർബ്ബുദം
Carbon —ഇംഗാലം, അംഗാരം
Carbon cycle —ഇംഗാലചക്രം
Cathode —അധഃപഥം
(ഗ്രീക്ക്: cata+hodos. cata=down; hodos=way)
Centrifugal force —കേന്ദ്രനിഷ്ക്രമണശക്തി
Centripetal force —സംകേന്ദ്രണശക്തി
Chain reaction —ശൃംഖലപ്രക്രിയ
Chemical analysis —രാസവിശകലനം
Chemical combination —രാസയോഗം, രസായനിക
Chemical decomposition —രാസവികലനം [യോഗം
Chemical element —രാസകധാതു, രസായനികധാതു
Chemical symbol —രാസകചിഹ്നം, രസായനിക
ചിഹ്നം
Chemistry —രസതന്ത്രം, രസവിജ്ഞാനീയം
Chlorine —ഹരിതകം
Cloud chamber —ജലബാഷ്പവേശ്മം
Concentration —സംകേന്ദ്രണം
Conductor —ചാലകം
Conducting sphere —ചാലകഗോളം
Combustion —ദാഹകക്രിയ
Compound —യൗഗികം
Conservation of energy —ക്രിയാശക്തിഭദ്രത
Container —ധാരകം
Control house —നിയന്ത്രണാലയം
Coolant —ശൈത്യദ്രവം
Critical mass —ആത്യന്തികഘനം
Crusher —മർദ്ദകയന്ത്രം
Crystal —അക്ഷം
Decomposition —വിഭജനം, വികലനം
Deflection —അപഗതി, ഗതിഭേദം, വ്യതി
Denseness —സാന്ദ്രീഭാവം [യാനം
Density —സാന്ദ്രത
Diffusion —അഭിസരണം
Diffusion stage —അഭിസരണഘട്ടം
Direct current —ഏകദിഗാലക്തികം
Disintegration —വികലനം
Displacement —സ്ഥാനഭേദം
Dynamic universe —ക്രിയാത്മകപ്രപഞ്ചം

Electric charge —ആലക്തികഭാരം

Electrically charged —ആലക്തികനിർഭരം

Electric current —ആക്തികധാര

Electric field —ആലക്തികക്ഷേത്രം

Electricity —ആലക്തികം

Electrical particle —ആലക്തികബിന്ദു

Electrification —ആലക്തീകരണം

Electrode —ആലക്തികദ്വാരം

Electromotive force —ആലക്തികസമ്മർദ്ദം

Electron —അലക്തനം

Electron theory —അലക്തനസിദ്ധാന്തം

Electro magnet —ആലക്തികകാന്തം

Electromagnetic radiation—ആലക്തികകാന്തക വികിരണം

Electro static unit —നിശ്ചലാലക്തികമാത്ര

Electro static generator —നിശ്ചലാലക്തികജന്യകം

Electron volt —അലക്തനമർദ്ദമാത്ര

Element —ധാതു, ധാതുകം

Elementary quantum —പ്രാഥമികതന്മാത്ര

Energy —പ്രവർത്തകശക്തി, ക്രിയാശക്തി

Ether —ആധാരം

Evacuated glass tube —നിവാതസ്ഫടികനാളിക

Explosive force —വിസ്ഫോടനശക്തി

Fast Neutron —ശീഘ്രനിരലക്തം

Filament —തന്തു

Force —ബലം, ശക്തി

Fourth state —ചതുർത്ഥഭാവം

Fox glove plant —അംഗുലകസസ്യം

Frequency of radiation —പ്രസരവേഗം

Friction —ഘർഷണം

Fuel —ഇന്ധനം

Gamma ray —ഗാമാരശ്മി

Gaseous diffusion —വാതകാഭിസരണം

Geiger counter —വികിരണസൂചിക

Generator —ജന്യകം

Graphite —ലിഖിജം

Graphite pile —ലിഖിജസ്തംഭം

Green salt —ഹരിതലവണം

Half life —അർദ്ധകാലം

Heat —ഉഷ്ണം, ഊഷ്മാവ്, താപം

Heat exchanger —ഉഷ്ണവിനിമയയന്ത്രം
Heat of reaction —പ്രക്രിയോഷ്ണം
Heat radiation —ഉഷ്ണവികിരണം; ഉഷ്ണപ്രസരം
Heavy water —സാന്ദ്രജലം
High energy electron —തീവ്രാലക്ട്രനം
Hydrogen —അബ്ജനകം
Hydro chloric acid —അബ്ജഹരിതാമ്ലം
Hydrogen chloride —അബ്ജഹരിതകവാതകം
Induced Radio activity —പ്രേരിതതേജോദ്ഗിരണം
Inspection tool —പരിശോധനായുധം
Ion —അയനം
(ഗ്രീക്ക്: ienai = to go)
Irradiation —രശ്മിപ്രസരോന്മുഖത
Isotope —സ്ഥാനീയം
(ഗ്രീക്ക്: isos + topes = In the same place)
Kinetic energy —ചലനക്രിയാശക്തി
Kinetic theory —ചലനസിദ്ധാന്തം
Laboratory —പരീക്ഷണശാല
Lattice pile —ജാലകസ്തംഭം
(Pile—from pila = pillar)
Law of definite proportion—നിശ്ചിതാനുപാതനിയമം
Law of multiple proportion—ഗുണിതാനുപാതനിയമം
Lift —ഉത്പാതശക്തി
Like charge —സമാനാലക്തികഭാരം
Liquid —ദ്രവം
Liquid fuel —ദ്രവേന്ധനം
Magnetic field —കാന്തക്ഷേത്രം
Magnitude —മഹത്വം, പരിമാണം
Mass —ഘനം
Mass number —ഘനസംഖ്യ
Mass separator —ഘനാന്തരവിയോജിനി
Mass spectrograph —ഘനാന്തരവിലേഖിനി
Mass unit —ഘനമാത്ര
Matter —വസ്തു; പദാർത്ഥം
Mechanical —യാന്ത്രികം
Mechanical hand —യാന്ത്രികഹസ്തം
Metal jacket —ലോഹകഞ്ചുകം
Metal rod —ലോഹശലാക
Microscope —സൂക്ഷ്മദർശിനി

Mineral —ഖനിജം
Moderator —മിതകാരിണി
Molecule —മൂലകം
Multiplication factor —ഗുണിതഘടകം
Mutation —ധർമ്മാന്തരത
Negative —ഋണകം
Negative charge —ഋണാലക്തികഭാരം
Neutron —നിരലക്തം
Neutron capture —നിരലക്തഗ്രഹണം
Neutron radiation —നിരലക്തപ്രസരം
Neutron stream —നിരലക്തധാര
Nitrogen —പാക്യജനകം
Núcleus —ബീജം
Nuclear fission —ബീജവിഘടനം
Nutritive mixture —പോഷകമിശ്രം
Opaque —പ്രഭാരോധകം
Ore —അയസ്സം
Oxygen —അമ്ലജനകം
Paddle wheel —ക്ഷേപിണീചക്രം
Particle —ബിന്ദു
Periodic table —ധാത്വനുക്രമണിക
Period of motion —പ്രയാണകാലം
Phosphorus —ഭാസ്വരം
Phosphorescence —ഭാസമാനത
Photo electric effect —പ്രഭാലക്തികഭാവം
Photographic plate —പ്രഭാചിത്രണഫലകം
Photo synthesis —പ്രഭാസങ്കലനം
Physics —ഭൗതികവിജ്ഞാനീയം; ഭൗതികശാസ്ത്രം
Pile —സ്തംഭം
(from Latin—pila = pillar)
Piston ring —പിസ്റ്റൺവലയം
Positive —ധനകം
Positive charge —ധനാലക്തികഭാരം; ധനഭാരം
Positron —ധനാലക്തനം
Potential Energy —നിഹിതക്രിയാശക്തി
Preservation —സംഭദ്രത
Projectile —ക്ഷേപകവസ്തു
Propeller —പ്രണോദകം
Pressure —മർദ്ദം; വിമർദ്ദം

Primary coil	—പ്രാഥമികതന്തുവലയം
Proton	—പ്രധനം
Pulse of electricity	—ആലക്‌തികസ്പന്ദം
Quantity	—പരിമാണം
Quantum	—മാത്രകം
Quantum theory	—മാത്രകസിദ്ധാന്തം
Radiant Energy	—പ്രസാരകക്രിയാശക്തി; വികിര-
Radiant state	—പ്രസാരകഭാവം [ണക്രിയാശക്തി
Radiating unit	—വികിരണയന്ത്രം
Radio active	—തേജോദ്‌ഗിരം
Radio activity	—തേജോദ്‌ഗിരണം; തേജഃപ്രസരം
Radio active element	—തേജോദ്‌ഗിരധാതു
Radio element	—തേജോധാതു
Radio isotope	—തേജഃസ്ഥാനീയം
Radio phosphorus	—തേജോഭാസ്വരം
Radio sulphur	—തേജോഗന്ധകം
Radio wave	—തേജോതരംഗം
Radium	—തൈജസം
Rate of decay	—ക്ഷതിക്രമം
Reaction	—പ്രക്രിയ; പ്രത്യാഘാതം; പ്രതി
Reaction formula	—പ്രക്രിയാസൂത്രം [ശക്‌തി .
Relativistic mass	—ആപേക്ഷികഘനം
Repulsion	—വികർഷണം
Resistance	—പ്രതിരോധം
Rest mass	—നിശ്ചലഘനം
Rotational Therapy unit	—ഭ്രാമകചികിത്സായന്ത്രം
Scintillation	—പ്രഭാസ്ഫുലിംഗം
Secondary coil	—ദ്വിതീയ തന്തുവലയം, ഉപവല
Slow neutron	—ഉദാസീനനിരലക്‌തം [യം
Solution	—വിലേയനം
Spectroscope	—വർണ്ണാന്തരദർശിനി
Stable atom	—സ്ഥിരാണു
Stable isotope	—സ്ഥിരസ്ഥാനീയം
Steam	—പ്രബാഷ്പം
Steam boiler	—പ്രബാഷ്പപാത്രം
Steam turbine	—ബാഷ്പശകടം
Tagged atom	—അനുബദ്ധാണു
Telephone	—ദൂരശ്രാവിണി
Temperature	—ഉഷ്ണത

Theoretical	—സിദ്ധാന്തപരം
Theory of Relativity	—ആപേക്ഷികസിദ്ധാന്തം
Tiny unit	—സൂക്ഷ്മമാത്ര
Tracer	—അനുരേഖിക
Transformer	—പരാവർത്തകം
Transmutation	—രൂപവിപരിണാമം; വസ്തുവിപരിണാമം
Thyroid gland	—ഗളഗ്രന്ഥി
Ultimate particle	—പരമബിന്ദു
Ultra gaseous state	—ഉപരിവാതകഭാവം
Ultra violet ray	—അതീതനീലരശ്മി
Unit of electricity	—ആലക്തികമാത്ര
Unlike charge	—അസമാനാലക്തികം
Vacuum chamber	—നിവാതവേശ്മം
Vacuum tube	—നിവാതനാളിക
Vibration	—വിഭ്രമണം
Voltage	—ആലക്തികമർദ്ദം
Wave	—തരംഗം
Wave length	—തരംഗദൈർഘ്യം
Work	—ക്രിയ
Workshop	—കർമ്മശാല
Weight	—ഭാരം
X-ray	—എക്സ്-രശ്മി

KOTTAYAM PUBLIC LIBRARY
KOTTAYAM

Cl. No. M500 Acc. No. 7313

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

22 JUN 1988
10 MAR 1989
20 DEC 1990
6 JAN 2000
15 NOV 2000

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

ന. 500

7313

ചാരത്തം. ഷം. ബഷ്ണു

ഗാനപ്രവർത്തകഗന്ധി

Indic Digital Archive Foundation
gpura.org
M
00
HA-
A