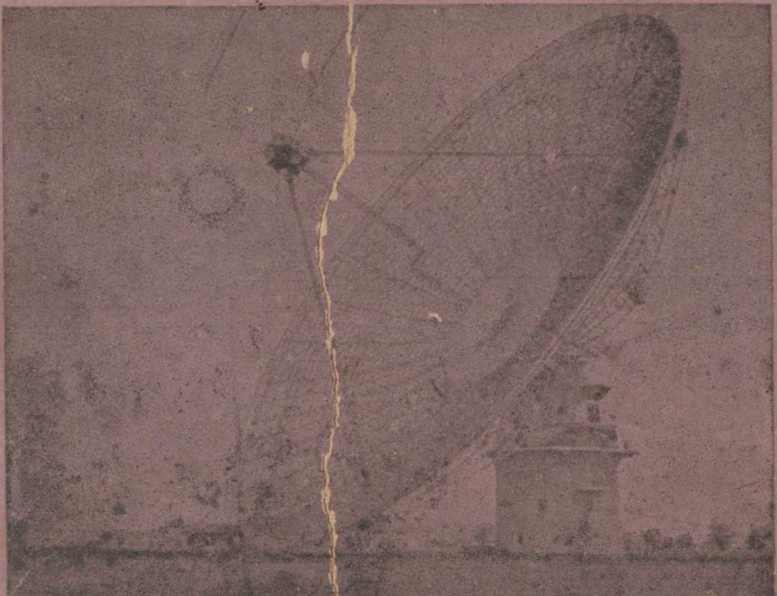
സൗരയൂഥ റേഡിയോപര്യവേഷണം

അലക്സ് ജി. സ്മിത്ത്
തോമസ് ഡി. കാർ



കേരള ഭാഷാ ഇൻസ്റ്റിററ്യൂട്ട്
തിരുവനന്തപുരം

സൗരയൂഥ റേഡിയോപര്യവേഷണം

Malayalam

SOURAYOODHA RADIOPARYAVESHANAM

(Radio Exploration of the Planetary System)

Authors :
ALEX G. SMITH
and
THOMAS D. CARR

Translator :
P. S. NAMBOODIRI

First Published : June 1981

Copies : 2000

Price : Rs. 7.00

Printed at : Vijnanamudranam Press, Trivandrum-3

Published by :
State Institute of Languages, Kerala, Trivandrum-3

© State Institute of Languages, Trivandrum-3

Published by the State Institute of Languages, Kerala, Trivandrum under the centrally sponsored scheme for production of text books in regional languages, at the University level, of Govt. of India, Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

SIL / 702 FT / 604

സൗരയൂഥ
റേഡിയോപര്യവേഷണം

മൂലഗ്രന്ഥകാരന്മാർ

അലക്സ് ജി. സ്മിത്ത്

തോമസ് ഡി. കാർ

വിവർത്തകൻ

പി. എസ്. നമ്പൂതിരി

കേരള ഭാഷാ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട്

തിരുവനന്തപുരം

ജനറൽ എഡിററർ
ഡോ. ഏ. എൻ. പി. ഉമ്മർകുട്ടി

സാങ്കേതിക എഡിററർ
ഡോ. സി. ജി. കർത്താ

ഭാഷാ എഡിററർ
ഡോ. കെ. നാരായണ അയ്യർ

General Editor
Dr. A. N. P. Ummerkutty

Technical Editor
Dr. C. G. Kartha

Language Editor
Dr. K. Narayana Iyer

ഒന്നാം പതിപ്പ്: ജൂൺ 1981

അച്ചടി:
വിജ്ഞാനമുദ്രണം പ്രസ്സ്
തിരുവനന്തപുരം-3

വില: ക. 7.00

First Published: June 1981

Printed at:
Vijnanamudranam Press
Trivandrum-3

Price: Rs. 7.00

ആമുഖം

കേരള ഭാഷാ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട് സർവകലാശാലാ നിലവാരത്തിൽ പുസ്തകങ്ങൾ തയ്യാറാക്കുന്ന പദ്ധതിയിൻ ഉൾപ്പെടുത്തിയാണ് 'സൗരയൂഥ റേഡിയോ പര്യവേഷണം' എന്ന പുസ്തകം പ്രസിദ്ധപ്പെടുത്തുന്നത്. റേഡിയോ ഖഗോളീയ വിജ്ഞാനം മനുഷ്യന് ചന്ദ്രനെയും മററു ഗ്രഹങ്ങളെയും കുറിച്ച് അറിയാൻ എത്രത്തോളം ഉപകരിച്ചു എന്ന കാര്യം ഈ പുസ്തകത്തിൽ വ്യക്തമാക്കിയിട്ടുണ്ട്. ഈ വിജ്ഞാനശാഖയിലെ ആദ്യത്തെ പുസ്തകമായതിനാൽ ഖഗോളീയ വിജ്ഞാനത്തിന്റെ ചരിത്രം, പരീക്ഷണ സജ്ജീകരണങ്ങൾ എന്നിവ കൂടി ലഘുവായി ഇതിൽ പ്രതിപാദിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഈ പുസ്തകം മലയാളത്തിലേക്ക് വിവർത്തനം ചെയ്തത് പത്തനംതിട്ട കാത്തലിക്കേററ് കോളേജിലെ ഭൗതികശാസ്ത്രാദ്ധ്യാപകനായ ശ്രീ പി. എസ്. നമ്പൂതിരിയാണ്.

ഇതിൽ വന്നിരിക്കാവുന്ന കുററങ്ങളും കുറവുകളും ചൂണ്ടിക്കാണിക്കുന്നവരോട് ഞങ്ങൾ കൃതജ്ഞരായിരിക്കും.

തിരുവനന്തപുരം
15 ജൂൺ 1981

ഡോ. എ. എൻ. പി. ഉമ്മർകുട്ടി
ഡോ. സി. ജി. കർത്താ

ഉള്ളടക്കം

അധ്യായം		*പേജ്*
1	റേഡിയോഖഗോളീയ വിജ്ഞാനത്തിന്റെ തുടക്കം ...	1
2	ഗ്രഹീയ റേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാനിയുടെ പണി ക്കോപ്പുകളും സങ്കേതങ്ങളും ...	10
3	ചന്ദ്രനിൽ നിന്നും ഗ്രഹങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള താപവികിരണം ...	37
4	വ്യാഴത്തിന്റെ റേഡിയോസ്പെക്ട്രം ...	77
5	ഗ്രഹറേഡിയോ സിഗ്നലുകളുടെ ഉറവിടങ്ങൾ ...	109
6	റഡാർ ഖഗോളവിജ്ഞാനം ...	123
7	റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനവും സ്പേസ്യുഗവും ...	144
	റഫറൻസ് ...	165
	ശബ്ദാവലി	
	സൂചിക	

1

റേഡിയോ ഖഗോളീയ വിജ്ഞാന ത്തിൻെറ തുടക്കം

റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തെ തുടർന്നു് അധികം താമസി യാതെ തന്നെ റേഡിയോ സിഗ്നലുകളെപ്പററിയുള്ള അന്വേഷണവും ആരം ഭിച്ചു. 1865 ൽ തന്നെ മാക്സ്‌വെൽ തൻെറ വിഖ്യാതമായ വിദ്യുത്കാ ന്തിക വികിരണ സിദ്ധാന്തം ആവിഷ്കരിച്ചെങ്കിലും, റേഡിയോ ആവൃത്തി തരംഗങ്ങൾ പരീക്ഷണശാലയിൽ ഉല്പാദിപ്പിച്ചു് ഹെൻറിഹെട്സ് മാപന ങ്ങൾ നടത്തിയതു് 1888 ൽ മാത്രമാണു്. കേവലം ആറു വർഷത്തിനുശേഷം ഗ്രേററ് ബ്രിട്ടനിലെ റോയൽ ഇൻസ്ററിററ്യൂഷനിൽ സർ ഒലിവർ ലോഡ്ജ് ഇങ്ങനെ പറയുകയുണ്ടായി "ഒരുകറുത്ത പലകയോ, വേണ്ടത്ര അതാര്യമായ മറേറതെങ്കിലും പദാർഥമോ ഉപയോഗിച്ചു് സൗരവികിരണത്തിലെ സുപരി ചിതമായ സാധാരണ തരംഗങ്ങളെ വേർതിരിച്ചു മാററിയാൽ ദീർഘ തരംഗ വികിരണം കണ്ടെത്താനാവുമെന്നു് ഞാൻ പ്രത്യാശിക്കുന്നു".

1900 ത്തോടടുപ്പിച്ചു് അദ്ദേഹം ഇതിനൊരു പരീക്ഷണം നടത്തുകയു ണ്ടായി. അതിനുപയോഗിച്ച ഉപകരണത്തെപ്പററി അദ്ദേഹം തന്നെ പിന്നീടു നൽകിയ വിശദീകരണത്തിൽ നിന്നും അദ്ദേഹം വിഭാവനം ചെയ്ത "ദീർഘ തരംഗവികിരണം റേഡിയോ സെപക്ട്രത്തിലെ സെൻറീമീററർ മേഖല യിൽ ഉൾപ്പെടുന്നവയാണെന്നു് അനുമാനിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. "ഭൗമമായ വിക്ഷോഭങ്ങളുടെ ആധിക്യ"മാണു് തൻെറ പരീക്ഷണത്തിൻെറ പരാജയകാര ണമായി സർ ഒലിവർചൂണ്ടിക്കാണിച്ചിട്ടുള്ളതു്. അദ്ദേഹം തുടർന്നു പറയുന്നു "പരീക്ഷണം വിജയിക്കണമെങ്കിൽ സജ്ജീകരണം അതീവ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹക മായിരിക്കണം, അതിനു തർക്കമില്ല." ലോഡ്ജ് തൻെറ പരീക്ഷണത്തിനുപ യോഗിച്ച നിദർശകം ബാറററിയുംഗാൽവനോ മീറററുമായി ശ്രേണിയിൽ ഘടി പ്പിച്ചിട്ടുള്ളതു ലോഹകണികകൾ നിറച്ചിട്ടുള്ള ഒരു നാളിമാത്രമായിരുന്നുവെന്ന കാര്യം രണ്ടാമത്തെ അഭിപ്രായപ്രകടനത്തിൻെറ വെളിച്ചത്തിൽ പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധേയമാണു്.[1]

1900-ാമാണ്ടു് സെപ്തംബർ മാസത്തിൽ, ഒരു ഫ്രഞ്ചു ബിരുദവിദ്യാർ ഥിയായിരുന്ന ചാൾസ്നോർഡ്മാൻ ഇത്തരമൊരു പരീക്ഷണം തനിയെ

നടത്തുകയുണ്ടായി. അതിൽ അദ്ദേഹം വ്യത്യസ്തമായ രണ്ടു കൊഹെറൗകളും (മേല്ലറഞ്ഞ ലോഹകണക്കുഴലുകൾ) 175 മീററർ നീളമുള്ള ഒരു ആൻെറന്നയും ഉപയോഗിച്ചു. "അന്തരീക്ഷത്തിൽ വെച്ചുണ്ടാകുന്ന അവശോഷണം ആവുന്നത്ര ഇല്ലാതെയാക്കുവാൻ വേണ്ടി അദ്ദേഹം തൻെറ ഉപകരണം 3100 മീററർ ഉയരത്തിലുള്ള ഒരു മഞ്ഞു പർവതത്തിന്മേലാണ് ക്രമീകരിച്ചത്. വിൽസിങ്ങും (Wilsing) ഷെയ്നറു (Scheiner) കൂടി പോട്സ്ഡാവിൽ വെച്ച് 1896 ൽ നടത്തിയെന്നു കരുതപ്പെടുന്ന ചില ആദ്യകാല പരീക്ഷണങ്ങളെപ്പററിയും നോർഡ്മാൻ തൻെറ ഡോക്ടറൽ ഗവേഷണപ്രബന്ധത്തിൽ "സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള വിദ്യുത്കാന്തിക വികിരണത്തെ സംബന്ധിക്കുന്ന ഇദംപ്രഥമമായ പരീക്ഷണഗവേഷണമാണ് അതു"' എന്നു പരാമർശിക്കുന്നുണ്ട്. സൂര്യകളങ്ക (sunspot) പ്രവർത്തനത്തോടനുബന്ധിച്ച് സൂര്യനിൽ നിന്നും റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ ശക്തമായ ഉൽസർജനമുണ്ടാകുമെന്ന് തികഞ്ഞ ദീർഘവീക്ഷണത്തോടുകൂടിതന്നെ നോർഡ്മാൻ പ്രവചിക്കുകയുണ്ടായി. അദ്ദേഹം തൻെറ അഭിപ്രായത്തിൽ ഉറച്ചുതന്നെ നിന്നു. തൻെറ പരീക്ഷണങ്ങളുടെ നിഷേധാത്മകഫലങ്ങൾക്കു കാരണം അന്തരീക്ഷത്തിലുണ്ടാകുന്ന അവശോഷണം മാത്രമാണെന്നും അദ്ദേഹം ആരോപിച്ചു.

അങ്ങനെ ഹെട്സ് റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ കണ്ടുപിടിച്ചതിനുശേഷം ഒരു ദശകത്തിനുള്ളിൽ തന്നെ തീരെ കുറഞ്ഞതു് മൂന്നു സംഘം ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരെങ്കിലും ഭൗമേതര റേഡിയോസിഗ്നലുകൾ നിദർശിക്കുവാൻ തീവ്രശ്രമം നടത്തുകയുണ്ടായി. എന്നാൽ നിർഭാഗ്യമെന്നു പറയട്ടെ, അത്തരം പരീക്ഷണങ്ങൾ വിജയത്തിലെത്താൻ പാകത്തിൽ ഇലക്ട്രോണികത്തിൽ മുന്നേററമുണ്ടാവാൻ മൂന്നു ദശകങ്ങൾക്കൂടി കാത്തിരിക്കേണ്ടിവന്നു. ഭൗമേതര റേഡിയോ സിഗ്നലുകളുടെ കണ്ടുപിടിത്തം തികച്ചും യാദൃച്ഛികമായിരുന്നുവെന്നതും അങ്ങനെ നിദർശിക്കപ്പെട്ട സ്രോതസ് ആദ്യകാല പരീക്ഷണലക്ഷ്യമായിരുന്ന സൂര്യൻ അല്ലായിരുന്നുവെന്നതും ഏററക്കുറെ ഒരു വിരോധാഭാസം തന്നെയാണ്.

ജാൻസ്കിയും കോസ്മിക റേഡിയോരവവും

(ഇവിടെ സിഗ്നലിൻെറ വിപരീതമായാണ് രവം എന്ന വാക്കുപയോഗിക്കുന്നതു്. സിഗ്നലിനെ തടസ്സപ്പെടുത്തുന്ന ഏതു വികിരണത്തേയും രവമെന്നു പറയാം.)

ഒരു യുവഭൗതികജ്ഞനായിരുന്ന കാറൾജാൻസ്കി (Karl Jansky) 1928-ൽ ബെൽടെലിഫോൺലബോറട്ടറീസിൽ ഉദ്യോഗത്തിൽ പ്രവേശിച്ചു. ന്യൂജഴ്സിയിലെ ഹോംഡെൽ (Holmdel) ഫീൽഡുസ്റ്റേഷനിലേക്കാണ് അദ്ദേഹത്തെ നിയോഗിച്ചതു്. റേഡിയോ ടെലിഫോണിയിൽ ഒരു സൊല്ല (ശല്യമായി) യായിത്തീർന്ന സ്ഥൈതികവും മററുരൂപങ്ങളിലുള്ളവയുമായ വ്യതികരണങ്ങളെക്കുറിച്ചുള്ള പഠനമാണ് അദ്ദേഹത്തെ ഭാരമേല്പിച്ചിരുന്ന പ്രശ്നം. 1930 ഓടുകൂടി ജാൻസ്കി ഒരു വലിയ ദിശിക ആൻെറന ഡിസൈൻചെയ്തു നിർ

മിച്ചു കഴിഞ്ഞു. സെക്കൻെറിൽ 20 മെഗാസൈക്കിൾ (20 Mc/sec) ആവൃത്തിയിലാണ് അതു് പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നതു്. പ്ലേററ് 1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ഒരു കറങ്ങും യന്ത്രത്തിലാണ് ആൻെറന്നാ ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതു്. അതിനാൽ വ്യതികരണ സ്രോതസ്സുകളെ കൃത്യമായി സ്ഥാനനിർണയം ചെയ്യാൻ പാകത്തിൽ ആൻെറനാ ഏതു ദിശയിലേക്കും തിരിക്കാം.

സമീപസ്ഥവും വിദൂരസ്ഥവുമായ ഇടിമിന്നലിൽ നിന്നുണ്ടാകുന്ന സ്ഥിര ഉത്സർജനം പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നതുപോലെ ജാൻസ്കിയും രേഖപ്പെടുത്തുകയുണ്ടായി. എന്നാൽ 1932 ജനുവരിയിൽ വ്യത്യസ്തമായ ഒരിനം സിഗ്നലുകളുടെ സാന്നിധ്യം അദ്ദേഹത്തിനനുഭവപ്പെട്ടു. ''സെക്രവസി''ൽ നിന്നും പെട്ടെന്നു വേർതിരിച്ചറിയാനാവാത്ത ഒരിനം ഫോൺസീൽക്കാരം എന്നു് അദ്ദേഹം അതിനെ വിശദീകരിച്ചു. ഈ ഘട്ടത്തിലാണ് ജാൻസ്കി ഒരു യഥാർഥ ശാസ്ത്രകാരൻെറ സവിശേഷമായ ലക്ഷണങ്ങൾ പ്രകടമാക്കുകയും തദ്വാരാ അനശ്വരത സമ്പാദിക്കുകയും ചെയ്തതു്. അജ്ഞാതമായ സീൽക്കാര ശബ്ദത്തെ 'നിസ്സാര'മെന്നു തള്ളിക്കളയുന്നതിനു പകരം അതിനെ അനുധാവനം ചെയ്തു കണ്ടുപിടിക്കുവാൻ തന്നെ അദ്ദേഹം തയ്യാറായി. പ്രസ്തുത രവത്തിൻെറ സൂക്ഷ്മമായ റെക്കോർഡുകൾ തയ്യാറാക്കാൻ ഒരു വർഷം അദ്ദേഹം ചെലവഴിച്ചു.

ഏററവും ശക്തമായ സിഗ്നൽ ഒരു ദിശയിൽ നിന്നും വരുന്നതായി തോന്നിയെന്നുമാത്രമല്ല പ്രസ്തുത ദിശ ചക്രവാളത്തിനു ചുററും പകൽ സമയത്തു് കിഴക്കു നിന്നും പടിഞ്ഞാറോട്ടു് നീങ്ങുന്നതായും തോന്നി. ആദ്യമൊക്കെ ഈ ചലനം സൂര്യൻെറ ചലനവുമായി ഏകീഭവിക്കുന്നതായും തോന്നി. സൂര്യനായിരിക്കും ഈ സീൽക്കാരരവത്തിൻെറ ഉറവിടമെന്നും ജാൻസ്കി സ്വാഭാവികമായും സംശയിച്ചു. എന്നാൽ മാസങ്ങൾ കടന്നുപോകുന്തോറും, രവത്തിനു സൂര്യനോടൊപ്പമുണ്ടായിരുന്ന താളം കൂടുതൽ കൂടുതൽ തെററുന്നതായും കണ്ടു. ഇതിനിടയിൽ ജാൻസ്കി ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൻെറ പ്രാഥമിക തത്വങ്ങൾ, സഹജമായ സമ്പൂർണതയോടെ സ്വയം വശമാക്കിക്കഴിഞ്ഞിരുന്നു. ആകാശത്തു്, നക്ഷത്രങ്ങൾക്കു് ആപേക്ഷികമായി നിശ്ചലമായിരിക്കുന്ന ഒരു ബിന്ദുവിൽ നിന്നാണ് ഈ സീൽക്കാരം വരുന്നതെന്നു് അദ്ദേഹത്തിനു മനസ്സിലായി. വാസ്തവത്തിൽ ക്ഷീരപഥ (Milky Way) കേന്ദ്രത്തിൻെറ ദിശയിൽ നിന്നാണ് പ്രസ്തുതശബ്ദം വരുന്നതെന്നുതോന്നി—അതായതു് നമ്മുടെ ഗാലക്സിയുടെ കേന്ദ്രത്തിൽ നിന്നും.

അങ്ങനെ തൻെറ ഇരുപത്തിയാറാമത്തെ വയസ്സിൽ ജാൻസ്കി ആദ്യത്തെ വിജയശ്രീലാളിതനായ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനി—''കോസ്മിക റേഡിയോ രവം'' കണ്ടെത്തിയ ആൾ—ആയിത്തീർന്നു. പല വ്യത്യസ്ത ആവൃത്തികളിലും ഈ രവത്തിൻെറ മാനചിത്രം തയ്യാറാക്കുന്നതിനുവേണ്ടി പിൽക്കാലത്തു് റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികളുടെ പല തലമുറകൾതന്നെ തങ്ങളുടെ സമയവും പ്രയത്നവും ഉഴിഞ്ഞുവെയ്ക്കുകയുണ്ടായി. ജാൻസ്കിയുടേതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തിയുള്ള ഉപകരണങ്ങളുടെ സഹായത്താൽ തയ്യാറാക്കിയവയാണ് ഈ മാനചിത്രങ്ങൾ. അനന്തവിഹായസ്സിൻെറ എല്ലാ ഭാഗത്തു

നിന്നും കോസ്മിക രവം പുറപ്പെടുന്നതായി അവ വെളിപ്പെടുത്തുന്നു. എങ്കിലും ക്ഷീരപഥ തലത്തിൽ സിഗ്നൽ ഏററവും ശക്തിയുള്ളതായി കാണപ്പെടുന്നു. ഗ്യാലക്സികേന്ദ്രത്തിൻെറ ദിശയിൽ കിടക്കുന്ന സാജിറേററിയസ് താരമണ്ഡലത്തിലാണ് അവ ഉച്ചതമാവസ്ഥയെ പ്രാപിച്ചിരിക്കുന്നതു്. കോസ്മിക രവം ഏററവുമധികം തീവ്രമായിരിക്കുന്ന താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലാണെങ്കിലും റേഡിയോ സ്പെക്ട്രത്തിലുടനീളം അതു് വിസ്തൃതവും അവിരാമവുമായി വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്നു. നക്ഷത്രങ്ങൾക്കിടയ്ക്കുള്ള അതിവിശാലമായ സ്പേസിലെ ദുർബലമായ കാന്തികമണ്ഡലത്തിൽ സർപ്പിളമായി സഞ്ചരിക്കുന്ന ഉച്ചവേഗ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉത്സർജ്ജിക്കുന്ന സിക്രോട്രോൺ വികിരണമാണ് പ്രധാനമായും ഈ രവം എന്നു് ആധുനിക സൈദ്ധാന്തികന്മാർ വിശ്വസിക്കുന്നു.

അല്പനാളത്തെ പ്രചുര പ്രചാരത്തിനുശേഷം ജാൻസ്കിയുടെ കണ്ടുപിടുത്തം ആരിലും തുടർന്നു് താല്പര്യം ഉണർത്തി വിട്ടില്ലയെന്നതു് ശാസ്ത്രത്തിൻെറ ചരിത്രത്തിലെ ദുരൂഹമായ സംഭവങ്ങളിലൊന്നാണ്. ദുർബലമായ കോസ്മിക റേഡിയോ രവത്തിനു് എന്തെങ്കിലും പ്രായോഗിക പ്രാധാന്യമുള്ളതായി ആർക്കും തോന്നിയില്ല. അക്കാരണത്താൽ തൻെറ ഗവേഷണങ്ങൾ തുടർന്നു കൊണ്ടുപോകുവാൻ ജാൻസ്കിക്കു് പ്രോത്സാഹനവും ലഭിച്ചില്ല. ഖഗോള വിജ്ഞാനികളോ റേഡിയോ എൻജിനിയറന്മാരോ ആ വഴിക്കു മുന്നേറാൻ കൂട്ടാക്കിയുമില്ല. പിന്നീട് ഒരു ദശാബ്ദക്കാലത്തേയ്ക്കു് റേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാന സംബന്ധമായി നടന്ന ഒരേയൊരു പ്രവർത്തനം, സഹജമായ അഭിനിവേശത്തോടെ അവിടേയ്ക്കു് കടന്നുവന്നു് അതിന്നായി ജീവിതം ഉഴിഞ്ഞുവെച്ച ഗ്രോട്ട്റബറിൻേറതുമാത്രമാണ്.

ജാൻസ്കിയുടെ പ്രസിദ്ധീകൃതങ്ങളായ ലേഖനങ്ങളിൽ നിന്നും പ്രചോദനം ലഭിച്ച റെബർ ഇല്ലിനോയിലെ വീററണിലുള്ള തൻെറ വീട്ടുമുററത്തു് 31 അടിവ്യാസമുള്ള ഒരു പാരബോളിക പ്രതിഫലക ആൻറന്ന (ദർപ്പണം) സ്ഥാപിച്ചു. ആൻെറന്നായ്ക്കു് ഈ രൂപം തിരഞ്ഞെടുത്തതിനു് ഒരു പ്രത്യേക കാരണമുണ്ടായിരുന്നു. കൂടുതൽ വിഭേദനക്ഷമത—അതായതു്, പരസ്പരം വളരെ അടുത്തിരിക്കുന്ന രണ്ടു സ്രോതസ്സുകളെ വ്യവച്ഛേദിച്ചറിയാനുള്ള കഴിവു് ലഭിക്കണമെങ്കിൽ ഉന്നതാവൃത്തികളിൽ പ്രവർത്തിക്കേണ്ടിവരുമെന്നു് അദ്ദേഹം ശരിയ്ക്കും തീരുമാനിച്ചു. തടികൊണ്ടുള്ള ചട്ടക്കൂട്ടിൽ ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള ഒരു ലോഹ 'ചർമ'മാണ് പ്രതിഫലകത്തിൻെറ പ്രധാനഭാഗം. ക്ഷൈതിജമായ (തിരശ്ചീനമായ) കിഴക്കു—പടിഞ്ഞാറു് അക്ഷത്തിന്മേൽ മേലോട്ടും താഴോട്ടും ചലിക്കാൻ പാകത്തിലാണ് അതു് ഉറപ്പിച്ചിരുന്നതു്. അങ്ങനെ മിറിഡിയൻ കടന്നുപോകുന്ന ഏതൊരു ഖഗോള വസ്തുവിനേയും ദിവസത്തിലൊരിക്കൽ ക്രമവീക്ഷണം ചെയ്യാൻ അതിനു കഴിഞ്ഞിരുന്നു. ചക്രവാളത്തിലെ ഉത്തര ബിന്ദുവിൽ നിന്നും ശിരോബിന്ദുവി (Zenith) ലൂടെ ദക്ഷിണ ബിന്ദുവരെയെത്തുന്ന സാങ്കല്പികരേഖയാണ് മിറിഡിയൻ.

ഇന്നത്തെ ഭീമാകാരങ്ങളായ റേഡിയോ ദൂരദർശികളുടെ മുൻഗാമിയെന്നു കരുതാവുന്ന ഈ ഉപകരണം പ്രവർത്തനമാരംഭിച്ചതു് 1938 ൻെറ തുടക്കത്തിലാണു്. അനുകൂലമായ ഒരൊററ ഫലവും ലഭിക്കാതിരുന്നിട്ടും ദർപ്പണത്തിൻെറ ഫോക്കസിൽ വിവിധങ്ങളായ നിദർശകങ്ങളും റിസീവറുകളും ക്രമീകരിച്ചു നടത്തിയ റെബറിൻെറ നിശ്ചയദാർഢ്യത്തിനു മുമ്പിൽ നാം തലകുനിച്ചേ മതിയാവൂ. ഒരു വർഷത്തിലേറെ പരീക്ഷണങ്ങൾ അവസാനം 1939 ഏപ്റിലിൽ ക്ഷീരപഥത്തിൽ നിന്നും 162 മെഗാഹെർട്ട്സ് ആവൃത്തിയിലുള്ള വികിരണം നിദർശിക്കപ്പെട്ടതോടെ ഒരു നിരീക്ഷണപരമ്പരയ്ക്കു തന്നെ തുടക്കം കുറിച്ചു. പ്രസ്തുത നിരീക്ഷണങ്ങൾ, ഈ ആവൃത്തിയിലുള്ള കോസ്മികറേഡിയോ രവത്തിൻെറ ഒരു സമഗ്രമായ മാനചിത്രം 1944-ൽ പ്രസിദ്ധീകരിക്കുന്നതിനു വഴിയൊരുക്കി.

1947 ൽ റെബറും അദ്ദേഹത്തിൻെറ 31 അടി റേഡിയോ ദൂരദർശിയും നാഷനൽ ബ്യൂറോ ഓഫ് സ്ററാൻഡേർഡ്സിൻെറ വെർജീനിയായിലുള്ള ഫീൽഡ് സ്റേറഷനിലേക്കു മാററപ്പെടുന്നതുവരെ വീററണിലെ പരീക്ഷണങ്ങൾ തുടർന്നുകൊണ്ടേയിരുന്നു. ഉച്ച-ആവൃത്തി റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൻെറ ഉപജ്ഞാതാവു് ഇത്തരുണത്തിൽ റേഡിയോ സ്പെക്ട്രത്തിൻെറ മറേറ ഭാഗത്താണു് ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തിക്കൊണ്ടിരുന്നതു് എന്ന വസ്തുത വിചിത്രമായി തോന്നിയേക്കാം. ദക്ഷിണാർദ്ധഗോളത്തിലെ ചില പ്രത്യേക സ്ഥാനങ്ങളിൽ നിന്നു് ഭൂമിയുടെ അയണമണ്ഡലത്തിലുണ്ടെന്നുകരുതപ്പെടുന്ന ദ്വാരങ്ങളിലൂടെ, ഏതാനും മെഗാസൈക്കിൾ മാത്രം ആവൃത്തിയുള്ള കോസ്മിക രവത്തെപ്പററി നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്താൻ റെബർ ശ്രമിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുകയായിരുന്നു.

അവസാനം സൂര്യനും

1942 ഫെബ്രുവരിയിൽ 55 മുതൽ 88 വരെ മെഗാഹെർട്ട്സ് ആവൃത്തിയിൽ പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരുന്ന ബ്രിട്ടീഷ് ആൻറിഎയർ ക്രാഫ്ററു് റഡാറുകൾക്കു് അവിചാരിതമായി രൂക്ഷമായ വ്യതികരണം അനുഭവപ്പെടാൻ തുടങ്ങി. ജർമൻ കപ്പൽപട ഇംഗ്ലീഷ് ചാനലിൽ തങ്ങളുടെ പ്രവർത്തനമാരംഭിച്ചതു് അന്നേയ്ക്കു് ഏതാനും ദിവസങ്ങൾ മുമ്പു് മാത്രമാണു്. ഒരു കടന്നാക്രമണം നടത്തുന്നതിൻെറ തയ്യാറെടുപ്പെന്നോണം ജർമൻകാർ ബ്രിട്ടീഷ് റഡാറുകളുടെ പ്രവർത്തനം സ്തംഭിപ്പിക്കാൻ ശ്രമിക്കുകയാണെന്നായിരുന്നു അന്നു പൊതുവേയുണ്ടായിരുന്ന അഭ്യൂഹം. കുഴപ്പങ്ങളുടെ നിജസ്ഥിതി കണ്ടു പിടിക്കുന്നതിനു വേണ്ടി സ്റ്റാൻലെ ഹെ (Stanyley Hey) യുടെ നേതൃത്വത്തിൽ ഒരു അന്വേഷണ സംഘത്തെ നിയോഗിച്ചു (അങ്ങോട്ടയച്ചു).

റഡാർ ആൻെറനകൾ അങ്ങേയററം ദിശികസ്വഭാവത്തോടു കൂടിയവയായിരുന്നതിനാൽ ആകാശത്തിൻെറ ഏതു ഭാഗത്തേക്കും തിരിച്ചുവെക്കാമായിരുന്നു, അക്കാരണത്താൽ വ്യതികരണത്തിൻെറ ഉറവിടം എവിടെയെന്നു കണ്ടു പിടിക്കു

ന്നതിനും പ്രയാസമുണ്ടായിരുന്നില്ല. ജർമൻകാരനല്ല പ്രത്യുത സൂര്യൻ തന്നെയാണ് സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തിയുള്ള അഭിഗ്രാഹികക(റഡാർ)ളുടെ പ്രവർത്തനത്തെ തടസ്സപ്പെടുത്തുന്നതെന്ന് ഏതാനും ദിവസങ്ങൾക്കുള്ളിൽ തന്നെ ഹെയ്ക്ക് മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിഞ്ഞു. ആ സമയം ഒരു വലിയ sunspot (സൂര്യകളങ്കം) ദൃശ്യമായിരുന്നുവെന്നും അദ്ദേഹത്തിന്റെ ശ്രദ്ധയിൽപ്പെട്ടു. അസാധാരണമായ റേഡിയോതരംഗ ഉൽസർജനം ഏതെങ്കിലും തരത്തിൽ സൂര്യകളങ്കപ്രവർത്തനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെന്ന് ഒരു നിഗമനത്തിലും അദ്ദേഹമെത്തി. അദ്ദേഹത്തിന്റെ നിഗമനം ശരിയായിരുന്നുവെന്ന് ഇപ്പോൾ നമുക്കറിയാം. അങ്ങനെ നാല്പതു വർഷത്തിനു ശേഷം ചാൾസ് നോർഡ്മാന്റെ 'വിദഗ്ധമായ അഭ്യൂഹം' സ്ഥിരീകരിക്കപ്പെട്ടു.

കേവലം നാലു മാസങ്ങൾക്കു ശേഷം, അതായത് 1942 ജൂണിൽ ബെൽ ടെലിഫോൺ ലബോറട്ടറീസിലെ ജി. സി. സൗത്ത് വർത്തും (Southworth) സൗര–റേഡിയോ ഉത്സർജനം നിദർശിക്കുകയുണ്ടായി. സൗത്ത് വർത്തും റഡാർ സജ്ജീകരണം തന്നെയാണ് ഉപയോഗിച്ചിരുന്നതെങ്കിലും അദ്ദേഹത്തിനു ലഭിച്ച നിരീക്ഷണഫലങ്ങൾ യാദൃച്ഛികങ്ങളായിരുന്നു. സൗരറേഡിയോ തരംഗങ്ങളെപ്പററിയുള്ള സോദ്ദേശ്യമായ അന്വേഷണത്തിലൂടെ ലഭിച്ചവയായിരുന്നു അവ. 3000 മുതൽ 10,000 മെ. ഹെർട്ട്സ് വരെ ആവൃത്തിയുള്ള സൂക്ഷ്മതരംഗങ്ങളുടെ മേഖലയിലാണ് സൗത്ത് വർത്ത് നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയത്. താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ ഹെ വേർതിരിച്ചറിഞ്ഞ കൂടുതൽ ശക്തമായ ഇടവിട്ടുള്ള ഉൽസർജനങ്ങളല്ല. പ്രത്യുത സാധാരണ താപവികിരണം തന്നെയായിരുന്നു സൗത്ത് വർത്ത് മാപനവിധേയമാക്കിയ വികിരണത്തിലേറിയ ഭാഗവും.

യുദ്ധകാലനിയന്ത്രണങ്ങൾ കാരണം ഹെ, സൗത്ത്വർത്ത് എന്നിവരുടെ ഗവേഷണങ്ങൾ രഹസ്യമായി തന്നെ സൂക്ഷിച്ചിരുന്നു. 1943 സെപ്തംബറിൽ സൗരറേഡിയോ ഉൽസർജനം സ്വതന്ത്രമായി കണ്ടു പിടിച്ച മൂന്നാമത്തെ ആൾ എന്ന ബഹുമതിക്ക് ഗ്രോട്ട് റെബെറും അർഹനായി. 160 മെ. ഹെർട്ട്സ് അഭിഗ്രാഹിയോടു കൂടിയ തന്റെ 31 അടി പരാബോളിക ദർപ്പണമാണ് അദ്ദേഹം ഇതിലേക്ക് ഉപയോഗിച്ചത്, ആദ്യത്തെ പരിശ്രമത്തിൽ തന്നെ. ഏകദേശം അര മണിക്കൂർ നേരത്തേക്ക് ശാന്തനായ സൂര്യൻ ,പേനയെ സ്കെയിലിന്റെ പരമാവധി പരിധിയിലേക്ക് ചലിപ്പിച്ചു എന്നദ്ദേഹം പ്രസ്താവിച്ചു. റിക്കാർഡിംഗ് യന്ത്രത്തിലെ പേന ചലിക്കുന്ന ദൂരം, അതിൽ കൊടുക്കുന്ന സിഗ്നലിന്റെ തീവ്രതയെ കുറിക്കുന്നതിനാൽ, അര മണിക്കൂർ നേരത്തേക്ക് സൂര്യനിൽ നിന്നുള്ള സിഗ്നൽ വളരെ തീവ്രമായിരുന്നു എന്നു സാരം.

സൗരറേഡിയോതരംഗങ്ങൾ നിദർശിക്കാനുള്ള ആദ്യപരിശ്രമങ്ങൾ നടന്നു കഴിഞ്ഞിട്ട് ഏകദേശം അര നൂററാണ്ടു കാലമായിരുന്നു. രണ്ടു വർഷം പോലും തികയുന്നതിനു മുമ്പു തന്നെ മൂന്നു പേർ സ്വതന്ത്രമായ നിരീക്ഷണങ്ങളിലൂടെ

വിജയം നേടുകയും ചെയ്തു. സാങ്കേതികരംഗത്തു് പുരോഗതിയുണ്ടാകുന്നതുവരെ ശാസ്ത്രീയ ഗവേഷണങ്ങൾ നടത്താൻ പലപ്പോഴും കാത്തിരിക്കേണ്ടതായും വന്നിട്ടുണ്ടു്. ഇത്തരം മുന്നേററങ്ങൾ ഉണ്ടായിക്കഴിഞ്ഞതോടെ ശാസ്ത്രീയമായ നേട്ടങ്ങൾ പലതും കൈവരിക്കുന്നതിനു് നൂതനസാങ്കേതികവിദ്യയെ ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നതിൽ ധിഷണാശാലികളായ പലരും പ്രാപ്തരായിത്തീർന്നു. റേഡിയോ ഖഗോളീയ വിജ്ഞാനത്തിൽ ഇന്നോളമുള്ള ആകെ പരിശ്രമത്തിന്റെ മൂന്നിലൊന്നിലേറെയും സൗരപഠനങ്ങൾക്കു വേണ്ടിയുള്ളവയായിരുന്നുവെന്നു കണക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. സൂര്യന്റെ റേഡിയോസ്പെക്ട്രം അതീവസങ്കീർണമായ ഒന്നാണെന്നു നമുക്കിപ്പോഴറിയാം. ഒരു തപ്തവസ്തു എന്ന നിലയ്ക്കു് ഉത്സർജിക്കുന്ന താപവികിരണത്തിനു പുറമേ തീരെ കുറഞ്ഞതു് വ്യത്യസ്തമായ അഞ്ചു തരം ക്ഷണിക (ഹ്രസ്വ) ഉത്സർജനങ്ങളെങ്കിലും അതിൽ തിരിച്ചറിഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. സൗരയൂഥത്തിന്റെ റേഡിയോ ഖഗോളീയ വിജ്ഞാനത്തെപ്പററിയാണു് ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൽ പ്രതിപാദിക്കുന്നതു്. സൂര്യനെ സംബന്ധിക്കുന്ന റേഡിയോ ഖഗോളീയ പഠനം എന്ന വിഷയം അതിബൃഹത്താണു്. അതിനു് ഒരു പ്രത്യേക ഗ്രന്ഥം തന്നെ വേണ്ടിവരും.

റേഡിയോനക്ഷത്രങ്ങൾ

രണ്ടാം ലോകമഹായുദ്ധാനന്തരം അധികം താമസിയാതെ തന്നെ പരിഷ്കരിച്ച 64 മെ. ഹെ. ആന്റിഎയർ ക്രാഫ്ററ് റഡാറുകളുപയോഗിച്ചു് കോസ്മികറേഡിയോരവം മാനചിത്രണം ചെയ്യാൻ സ്റ്റാൻലെ ഹെ ശ്രമമാരംഭിച്ചു. സിഗ്നസ് (Cygnus) താരമണ്ഡലത്തിൽ സാരമായ തീവ്രതാവ്യതിയാനങ്ങൾ പ്രകടമാക്കുന്ന ഒരു മേഖല 1946–ൽ അപ്രതീക്ഷിതമായി അദ്ദേഹത്തിന്റെയും സഹപ്രവർത്തകരുടെയും ശ്രദ്ധയിൽപ്പെട്ടു. വാസ്തവത്തിൽ ഒരു മിനിററോ അതിൽ കുറഞ്ഞതോ ആയ കാലയളവിലുള്ളിലാണു് സിഗ്നൽ തീവ്രതയിൽ ബൃഹത്തും അതേ സമയം അസ്ഥിരവുമായ ഈ പാകങ്ങളൊക്കെയുമുണ്ടാകുന്നതു്. ഈ വികിരിണത്തിനു കാരണഭൂതമായിരിക്കുന്ന സ്രോതസ് (സ്രോതസ്സുകൾ) ഭൗതികമായി വളരെ ചെറുതായിരിക്കണമെന്ന നിഗമനത്തിൽ ഹെയും അനുയായികളും എത്തിച്ചേർന്നു. ഒരു വലിയ വസ്തുവിൽ ഇത്ര ദ്രുതഗതിയിൽ എങ്ങനെ മാററമുണ്ടാകുന്നുയെന്ന കാര്യത്തിൽ അവർ സംശയാലുക്കളായിരുന്നു.

സിഗ്നസ് സ്രോതസ്സിന്റെ കോണീയ വലുപ്പം ചാപത്തിന്റെ 8 മിനിട്ടിൽ കുറവാണെന്നു 1948–ൽ ആസ്ത്രേലിയാക്കാരനായ ജെ. ജി. ബോൾട്ടണും (J. G. Bolton) ജി. ജെ. സ്റ്റാൻലിയും വെളിപ്പെടുത്തുകയുണ്ടായി. അതിനും പുറമെ പ്രകടമായ വ്യതിയാനം സ്രോതസ്സിനു തന്നെയുണ്ടാകുന്ന സ്വതസിദ്ധമായ വിചരണമെന്നതിനേക്കാളുപരി ഭൂമിയുടെ അയണമണ്ഡലത്തിലുണ്ടാകുന്ന ഒരു തരം "മിന്നിമായൽ' പ്രഭാവം മാത്രമാണെന്നും തെളിയിക്കപ്പെട്ടു. സ്രോതസ്സിന്റെ കോണീയ വലുപ്പം കുറവായിരിക്കുന്നതിനാലാണു് പ്രസ്ഫുരണങ്ങൾ പ്രകടമായിരിക്കുന്നതു്. രാത്രിയിൽ നക്ഷത്രങ്ങൾ മിന്നിമിന്നി

പ്രകാശിക്കുമ്പോൾ, അവയേക്കാൾ വലിയ കോണകം സമ്മുഖമാക്കുന്ന ഗ്രഹങ്ങൾ അങ്ങനെ പ്രകാശിക്കാറില്ലയെന്ന കാര്യം ഓർമിക്കുക.

വലുപ്പം കുറവാകയാൽ ഈ പുതിയ സ്രോതസ്സിന്ന് 'റേഡിയോനക്ഷത്രം' എന്നാണു പറഞ്ഞു പോരുന്നത്. അതിനു സിഗ്നസ് A എന്നു പേരും നൽകി. ഇക്കാലത്തിനിടയിൽ പ്രധാനമായും ഇംഗ്ലണ്ട് ആസ്ട്രേലിയ എന്നിവിടങ്ങളിൽ ജോലി ചെയ്തിരുന്ന റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ 2000 ത്തിലേറെ അത്തരം വസ്തുക്കൾ മാനചിത്രണം ചെയ്തു. അവയിലൊന്നിനു മാത്രമേ സിഗ്നസ് A യേക്കാൾ തീവ്രതയുള്ളു. ഈ റേഡിയോ സ്രോതസ്സുകളും പ്രകാശിക വസ്തുക്കളും രണ്ടല്ലെന്നു സ്ഥാപിക്കാൻ ഈയിടെയായി ഒട്ടേറെ പരിശ്രമങ്ങൾ നടക്കുന്നുണ്ട്. നമ്മുടെ ഗ്യാലക്സിയിൽ തന്നെ ഉൾപ്പെട്ട സ്ഫോടനവിധേയമായ നക്ഷത്രങ്ങൾ അഥവാ സൂപ്പർനോവകളുടെ അവശിഷ്ടങ്ങളാകാം അവയിൽ ചിലതു്. എന്നാൽ അവയിൽ സിംഹഭാഗവും പ്രത്യേക പ്രകൃതത്തോടു കൂടിയ മററു ഗ്യാലക്സികളുമായി ബന്ധപ്പെട്ടവയാണെന്നും ഊഹിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഈ വ്യൂഹങ്ങളിൽ ചിലതു് സംഘട്ടന പ്രക്രിയയിലേർപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന രണ്ടു ഗ്യാലക്സികൾ തന്നെയാണെന്നും വ്യാഖ്യാനിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. മിക്കവാറും എല്ലാ റേഡിയോനക്ഷത്രങ്ങളും വാസ്തവത്തിൽ നക്ഷത്രപ്രകൃതമില്ലാത്തവയാണെന്നു വ്യക്തമാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതിനാൽ അവയെ ''വിവിക്തസ്രോതസ്സ്'' എന്നു വിളിക്കാനാണ് ഖഗോളവിജ്ഞാനികളിപ്പോൾ ഇഷ്ടപ്പെടുന്നതു്.

ഹൈഡ്രജൻരേഖ

നാം ഇതേ വരെ ചർച്ച ചെയ്ത സ്രോതസ്സുകളെല്ലാം റേഡിയോ സ്പെക്ട്രത്തിൻെറ ഭൂരിഭാഗവുമുൾക്കൊള്ളുന്ന വീതി കൂടിയതും അവ്യക്തവുമായ ആവൃത്തിബാൻഡുകളെല്ലാം ഉത്സർജിക്കുന്നുണ്ട്. ഉദാസീന ഹൈഡ്രജൻ അണുക്കൾ 1420 മെ: ഹെ ആവൃത്തിയിൽ ഒരൊററ തീഷ്ണ വർണരാജീരേഖ ഉത്സർജിക്കുമെന്നു 1944–ൽ നെതർലണ്ടുകാരനായ എച്ച്. സി. വാൻഡെ ഹൾസ്റ്റ് സൈദ്ധാന്തികപശ്ചാത്തലത്തിൽ അഭിപ്രായപ്പെടുകയുണ്ടായി. നക്ഷത്രങ്ങൾക്കിടയിലെ സ്പേസിൽ ഹൈഡ്രജൻവാതകം വിരളമായി കാണപ്പെടുന്നതിനാൽ, റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ ഈ വർണരേഖ നിദർശിക്കാനിടയുണ്ടെന്ന അഭ്യൂഹം യുക്തിസഹം തന്നെ. എന്നാൽ 1951–നു മുമ്പ് ഇങ്ങനെയൊരു വികിരണം നിദർശിക്കാനിടയായില്ല. 1951–ൽ ഹാർവാർഡിലെ എച്ച്. ഐ ഇവെന്നും ഇ. എം. പർസെല്ലും കൂടി ആദ്യമായി അതു നിദർശിച്ചു. ഈ സിഗ്നൽ അതീവ ദുർബലമാണെന്നും തെളിയിക്കപ്പെട്ടു.

ഏകവർണവികിരണത്തിൻെറ നിരീക്ഷണത്തോടെ ഒരു വലിയ മുന്നേററത്തിനുള്ള സാധ്യത തെളിഞ്ഞു വന്നു. അതോടെ വിഖ്യാതമായ 'ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം' ഉപയോഗിച്ച് ഹൈഡ്രജൻ മേഘങ്ങളുടെ പ്രവേഗം തിട്ടപ്പെടുത്താൻ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്കു കഴിഞ്ഞു. ഒരു ഹൈഡ്രജൻമേഘം ഭൂമി

യിൽ നിന്നു് അകന്നകന്നു പോയ്ക്കൊണ്ടിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ പ്രത്യക്ഷ-ആവൃത്തി 1420 മെ. ഹെ-ൽ കുറവായിരിക്കും; മേഘം ഭൂമിയോടടുത്തുകൊണ്ടിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ ആവൃത്തിയിൽ വർധനയുണ്ടാവും. നമ്മുടെ ഗ്യാലക്സിയുടെ സർപ്പിളഭുജങ്ങളിൽ ഹൈഡ്രജൻ ധാരാളമുള്ളതിനാൽ ഇതിനോടകം തന്നെ ഗ്യാലക്സിയുടെ സാമാന്യം വിശദമായ ഒരു മാനചിത്രം തയ്യാറാക്കാൻ റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്കു കഴിഞ്ഞു. ഗ്യാലക്സിതലത്തിലെ ദൃശ്യമായ വളരെയധികം പരിമിതപ്പെടുത്തുന്ന പൊടിപടലങ്ങളും വാതകപിണ്ഡവും സൃഷ്ടിക്കുന്ന തടസ്സം കാരണം കോശിക ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്കു വളരെക്കാലമായി നേടാൻ കഴിയാതിരുന്ന ഒരു ലക്ഷ്യമായിരുന്നു ഇതെന്ന കാര്യം നാം സ്മരിക്കുമ്പോൾ ഇപ്പോഴത്തെ ഈ നേട്ടം പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധാർഹമാണു്.

നമ്മുടെ സമീപത്തുള്ള മെഗല്ലൻ ക്ലൗഡ് (clouds of megellen) ഉൾപ്പെടെ മററു് പല ഗ്യാലക്സികളിലും ഹൈഡ്രജൻ വികിരണം നിദർശിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. മററു വർണരേഖകൾ, (വിശിഷ്യാഡ്യൂററീറിയം, OH എന്നിവ ചേർന്ന രേഖകൾ,)ക്കു വേണ്ടി അന്വേഷണങ്ങൾ നടത്തിയിട്ടുണ്ടെങ്കിലും 1420 മെ. ഹെ ആവൃത്തിയുള്ള ഹൈഡ്രജൻ രേഖ മാത്രമാണു് ഇന്നിപ്പോഴും റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്കു ലഭ്യമായിട്ടുള്ള ഏകവർണവികിരണം. ഒരൊററ മൂലകം കൊണ്ടു നമുക്കു് തൃപ്തിപ്പെടേണ്ടി വരുമ്പോൾ അതു് ഹൈഡ്രജൻ തന്നെയായാലും, തരക്കേടൊന്നുമില്ല. കാരണം പ്രപഞ്ചത്തിലാകെയുള്ള ദ്രവ്യത്തിൻെറ ഏകദേശം 80% ഹൈഡ്രജനാണത്രെ.

റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൻെറ ഹ്രസ്വകാലചരിത്രത്തിലെ ഏതാനും സുപ്രധാനസംഭവങ്ങളുടെ ഒരു സംക്ഷിപ്തവിവരണമാണു് ഈ അധ്യായത്തിൽ നൽകിയിരിക്കുന്നതു്. ഈ പ്രതിപാദനരീതി തുടർന്നുള്ള അധ്യായങ്ങൾക്കൊരു പശ്ചാത്തലമൊരുക്കുമെന്നും സൗരയൂഥറേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനം ശാസ്ത്രസംവിധാനത്തിൽ എങ്ങനെ ഇണങ്ങിച്ചേർന്നിരിക്കുന്നുവെന്നു് മനസ്സിലാക്കാൻ വായനക്കാരെ സഹായിക്കുമെന്നും പ്രതീക്ഷിക്കുന്നു.

ചന്ദ്രനിൽ നിന്നുമുള്ള താപവികിരണത്തെപ്പററി 1946-ൽ നടത്തിയ മാപനം, അതേ വർഷം തന്നെ ചന്ദ്രൻ. കൊള്ളിമീൻ (meteor) എന്നിവയെപ്പററി നടത്തിയ റഡാർ നിരീക്ഷണങ്ങൾ എന്നിങ്ങനെ പിന്നീടു് വിശദമായി പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുള്ള പല സുപ്രധാന സംഗതികളും ഇവിടെ ഞങ്ങൾ ബോധപൂർവം വിട്ടുകളഞ്ഞിട്ടുണ്ടു്. 1955-ൽ മാത്രമാണു് ഒരു ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോസിഗ്നലുകൾ ഇദംപ്രഥമമായി നിദർശിച്ചതു്. റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിലെ പല കണ്ടുപിടിത്തങ്ങളെയും പോലെ ഇതും യാദൃച്ഛികമായാണു് സംഭവിച്ചതു്. ഇപ്പോഴും ശൈശവ ദശയിലിരിക്കുന്ന സൗരയൂഥ റേഡിയോ പര്യവേഷണത്തിൽ താല്പര്യത്തിൻേറതായ ഒരു യുഗം അതോടെ സമാഗതമായി.

2

ഗ്രഹീയ റേഡിയോഖഗോള വിജ്ഞാനിയുടെ പണിക്കോപ്പുകളും സങ്കേതങ്ങളും

വായനക്കാരിൽ പലർക്കും—തൊഴിൽ സംബന്ധമായോ, ഹോബി എന്ന നിലയ്ക്കോ ഇലക്ട്രോണികത്തിൽ താല്പര്യമുള്ളവർക്ക് പ്രത്യേകിച്ചും —റേഡിയോ ഖഗോളീയ വിജ്ഞാനിയുടെ പണിപ്പുരയുടെ സാങ്കേതിക വിശദാംശങ്ങളറിയാൻ അതിയായ താല്പര്യമുണ്ടായിരിക്കും. അവർക്കു വേണ്ടിയുള്ളതാണ് ഈ അധ്യായം. ഖഗോളീയ വിജ്ഞാനിയുടെ ഉപകരണങ്ങളേക്കാൾ അയാളുടെ നിരീക്ഷണ ഫലങ്ങളാണ് മറ്റു ചില വായനക്കാരിൽ ജിജ്ഞാസ ഉണർത്തുന്നതെങ്കിൽ അഥവാ ഈ അധ്യായത്തിലെ പ്രതിപാദ്യം അവർക്ക് അല്പം ദുർഗ്രഹമായി തോന്നുന്നുവെങ്കിൽ, അത്തരക്കാർക്ക് തുടർന്നുള്ള അധ്യായങ്ങളുടെ ആസ്വാദനത്തിന് വിഘാതമാവാത്തവണ്ണം ഇതു് ഒന്നു കണ്ണോടിച്ചു നോക്കിയങ്ങു പോകാം.

ഭൗമേതര റേഡിയോ സിഗ്നലുകളുടെ പ്രകൃതം

പ്രകാശത്തെയും വിദ്യുത്കാന്തിക വികിരണത്തിന്റെ മറ്റു രൂപങ്ങളെയും പോലെ റേഡിയോ തരംഗങ്ങളും പരസ്പരം ലംബമായ വിദ്യുതികവും കാന്തികവുമായ മണ്ഡലങ്ങളുടെ കമ്പനങ്ങൾ ചേർന്നാണുണ്ടായിരിക്കുന്നതു്. പ്രസ്തുത കമ്പനങ്ങൾ രണ്ടും തരംഗപ്രസരണ ദിശക്കു പരസ്പരം ലംബവു (അനുപ്രസ്ഥവു)മായിരിക്കും. അവ രണ്ടും ഒത്തുചേർന്ന് സ്പേസിലൂടെ 3×10^8 മീറ്റർ/സെക്കന്റ് പ്രവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. റേഡിയോ ട്രാൻസ്മിറ്ററിൽ നിന്നുമുള്ള അമോഡുലിത തരംഗങ്ങളിൽ വിദ്യുതികവും കാന്തികവുമായ കമ്പനങ്ങൾ സൈൻ (sinusoidal) സ്വഭാവമുള്ളവയും, വികിരണം ഏറക്കുറെ ഏകവർണാത്മകവുമായിരിക്കും. ഗ്രഹീയ സ്രോതസ്സുകളിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ സ്ഥിതി ഇങ്ങനെയല്ല. വാസ്തവത്തിൽ, ഹൈഡ്രജൻ ഉത്സർജിക്കുന്ന ഏകവർണാത്മക വികിരണമൊഴികെ, റേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാനത്തിൽ പ്രതിപാദിതമാകുന്ന മറ്റെല്ലാ വികിരണങ്ങളും വലിയ ബാൻഡ് വീതിയോടു കൂടിയവയാണ്. സ്പെക്ട്രത്തിൽ ആ സിഗ്നൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഭാഗത്തു് നിരന്തരം വിതരിത (വിതീർണ്ണ)മായിരിക്കുന്ന വ്യത്യസ്തമായ ആവൃത്തിയോടു കൂടിയ അസംഖ്യം സൈൻ ഘടകങ്ങൾ ചേർന്നാണ്

അത്തരം സിഗ്നലുകളുണ്ടായിരിക്കുന്നതെന്ന് കണക്കാക്കാം. വ്യാഴത്തിൽ നിന്നു ഇടവിട്ടുള്ള സിഗ്നലുകളുടെ കാര്യത്തിലെന്ന പോലെ ആകമാന വർണരാജീ ബാൻഡ് വീതി പ്രധാന ആവൃത്തിയുടെ ചെറിയൊരു ശതമാനം മാത്രമാകാം. മററു ചിലപ്പോഠം പല ഖഗോളീയ വസ്തുക്കളുടെയും താപവികിരണത്തിൻെറ കാര്യത്തിലെന്ന പോലെ, സ്പെക്ട്രത്തെ മുഴുവനായും അതു് ഉൾക്കൊണ്ടെന്നും വരാം. പരിണത സിഗ്നൽ ആയാമത്തിൻെറ ക്ഷണിക മൂല്യങ്ങൾക്കു് ഏററ ക്കുറച്ചിലുകളുണ്ടാകുന്നതിനാൽ അത്തരം സിഗ്നലിനെ പലപ്പോഴും 'യാദൃച്ഛിക രവം' എന്നാണു് വിശേഷിപ്പിക്കാറുള്ളതു്. സ്റ്റേഷൻ ട്യൂൺ ചെയ്യാതെ വെച്ചിരിക്കുന്ന ടെലിവിഷൻ റിസീവറിൽ കേൾക്കാറുള്ള സീൽക്കാരത്തിനു (ചൂളം വിളിയ്ക്കു്) കാരണം ഇത്തരം സിഗ്നലുകളാണു്. റേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാനത്തിൽ പരാമർശിക്കപ്പെടാറുള്ള നാനാതരം സിഗ്നലുകൾ ഒരു പരിധിവരെയെങ്കിലും യാദൃച്ഛിക രവത്തോടു സാദൃശ്യമുള്ളവയാണു്.

മാപന പ്രാചലങ്ങൾ

ഖഗോളീയ റേഡിയോ സിഗ്നലുകളെപ്പററി ക്രമീകൃതമായി പഠിക്കുന്നതിനു് അവയുടെ ഗുണധർമങ്ങളെ പരിമാണാത്മകമായി പ്രതിപാദിക്കുവാൻ നമുക്കു് കഴിയണം. കണക്കിലെടുക്കേണ്ട പ്രാചലങ്ങളിൽ ഒന്നാമത്തേതു് ഓരോ ദിശയിലും ഓരോ ആവൃത്തിയിലും ഓരോ സമയത്തുമുള്ള സിഗ്നൽ തീവ്രതയും രണ്ടാമത്തേതു് തരംഗങ്ങളുടെ ധ്രുവണവുമാണു്.

സിഗ്നൽ തീവ്രത

അഭിഗ്രാഹീവ്യൂഹം ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്ന സിഗ്നൽ ശക്തി ആൻെറനയുടെ ഫലപ്രദമായ വിസ്താരത്തിനും അഭിഗ്രാഹി (റിസീവർ)യുടെ ആവൃത്തി ബാൻഡ് വീതിക്കും ആനുപാതികമായിരിക്കും. പ്രതി മാത്രാതരംഗതല വിസ്തീർണം പ്രതിമാത്രാആവൃത്തിബാൻഡ്വീതി എന്നതു് ഓരോ ആവൃത്തിയിലുമുള്ള സിഗ്നൽ തീവ്രതയുടെ ഒരു അളവാണു്. ഈ പരിമാണമാണു് ഫ്ളക്സ് സാന്ദ്രത S. എം. കെ. എസ് മാത്രയിൽ S നു് വാട്ട്/ചതുരശ്രമീററർ/ഹെ. (w/m²/Hz) ൻെറ വിമകളാണുള്ളതു്. തന്നിരിക്കുന്ന സിഗ്നലിൻെറ ഫ്ളക്സ് സാന്ദ്രത സാധാരണയായി വ്യത്യസ്ത ആവൃത്തികളിൽ വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും. ചരസിഗ്നലുകളിൽ S സമയത്തിൻെറയും ഒരു ഫലനമായിരിക്കും.

ഗ്രഹീയ റേഡിയോ സ്രോതസുകളുടെ കോണീയവീതി ഭൂമിയിൽ നിന്നു നോക്കുമ്പോൾ അഭിഗ്രാഹി ആൻെറനയുടെ സംവേദനക്ഷമമായ കോണുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിയാൽ വളരെ കുറവാണു്. അതിനാൽ സ്രോതസ്സിനു കുറുകെ ആൻെറന്നാ ബീം ചലിപ്പിച്ചു് അതിൻെറ വലുപ്പം നേരിട്ടു നിർണയിക്കാനാവില്ല. എന്തൊക്കെയായാലും സ്രോതസ്സിൻെറ വീതി എന്നതു് ഒരു സുപ്രധാന പരിമാണമാണു്. ഇക്കാര്യം പിന്നാലെ വ്യക്തമാകും. വ്യതികരണമാപീ (ഇൻറർഫെറോമീററർ) ടെക്നിക്കുകളുപയോഗിച്ചു് അതു് അളന്നു് തിട്ടപ്പെടുത്തു

കയും ചെയ്യാം. സ്രോതസ്സ് ഭൂമിയിൽ സമ്മുഖമാക്കുന്ന ഘനകോണനു് Ω എന്നു പേരു നൽകിയിരിക്കുന്നു. അതു് അളക്കുന്നതു് 'സ്റ്റെറേഡിയൻ' എന്ന മാത്രയിലാണു്.

സ്രോതസ്സിൻെറ തീവ്രത (ശക്തി) യുടെ മററു രണ്ടു് അളവുകളെപ്പററി മൂന്നാം അധ്യായത്തിൽ നമുക്കു ചർച്ച ചെയ്യാം. അവയാലൊന്നു് സ്രോതസ്സിൻെറ *ദ്യുതി* (ദീപ്തി) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. അതു് S/Ω യോടു തുല്യമാണു്. മററേതിനെ സ്രോതസ്സിൻെറ ദ്യുതിതാപനില എന്നു പറയുന്നു.

ധ്രുവണം

റേഡിയോ സിഗ്നലിനെ പൂർണമായി വ്യവഹരിക്കുന്നതിനു് അതിൻെറ ധ്രുവണവും അറിഞ്ഞിരിക്കണം. വിദ്യുത്ക്ഷേത്രത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്ന സദിശങ്ങൾ എല്ലായ്പോഴും എല്ലാ സ്ഥാനങ്ങളിലും പ്രസരണദിശയ്ക്കു് സമാന്തരമായ ഒരു സ്ഥിരതലത്തിനു് സമാന്തരമാണെങ്കിൽ വികിരണം *രേഖാ-ധ്രുവിത*മായിരിക്കും.

ഓരോ സ്ഥാനത്തും വിദ്യുത് സദിശത്തിൻെറ അഗ്രം ആവർത്തനകാലത്തിലൊരിക്കൽ ഓരോ വൃത്തം നിർണയിക്കുന്നുവെങ്കിൽ സംഗതമായ ഏകാവൃത്തീവികിരണം വൃത്തധ്രുവിതമാണെന്നു പറയാം. ദീർഘവൃത്തമാണു് ആലേഖനം ചെയ്യപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ വികിരണം *ദീർഘവൃത്തധ്രുവിത*മായിരിക്കും.

വിദ്യുത്സദിശത്തിൻെറ ദിശയിൽ തിരിയുന്ന ഒരു വലംകൈ സ്ക്രൂ പ്രസരണ ദിശയിൽ മുന്നേറുന്നുവെങ്കിൽ വൃത്തധ്രുവിതം അഥവാ ദീർഘവൃത്തധ്രുവിതം വലംകയ്യിൽ (right handed) ആണെന്നു പറയുന്നു. വിദ്യുത്സദിശം എതിർദിശയിൽ തിരിയുന്നുവെങ്കിൽ ധ്രുവണം ഇടം കയ്യിൽ (left handed) ആയിരിക്കും. പരസ്പരം ലംബമായ തലങ്ങളിൽ രേഖാധ്രുവിതവും 90° ഫേസ് വ്യത്യാസമുള്ളതുമായ രണ്ടു തരംഗങ്ങൾ ചേർന്നുണ്ടാകുന്നതാണു് ഒരു വൃത്തധ്രുവിത തരംഗമെന്നു് വേണമെങ്കിൽ പറയാം.

വിശാലമായ ആവൃത്തി ബാൻഡു് ഉൾക്കൊള്ളുന്ന രവവും വൃത്തധ്രുവിതമോ ദീർഘവൃത്തധ്രുവിതമോ ആവാം. ഏതൊരു ചെറിയ ബാൻഡ് വീതി $\Delta f (\Delta f \ll f)$ ലും ഉൾപ്പെടുന്ന ആവൃത്തീഘടകങ്ങളെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്ന വിദ്യുത് സദിശങ്ങളുടെ അഗ്രങ്ങൾ ആവർത്തന കാലത്തിലൊരിക്കൽ വൃത്തങ്ങളോ ദീർഘവൃത്തങ്ങളോ ആലേഖനം ചെയ്യും. രവത്തിൽ അനിയമിതമായുണ്ടാകുന്ന ഏററക്കുറച്ചിലുകളുടെ ഫലമായി ബാൻഡ് Δf ലെ ആവൃത്തിഘടകങ്ങളുണ്ടാക്കുന്ന വൃത്തങ്ങളുടെയും ദീർഘവൃത്തങ്ങളുടെയും ആയാമവും ഫേസും $1/\Delta f$ ക്രമത്തിലുള്ള സമയാന്തരാളത്തിൽ മാററങ്ങൾക്കു വിധേയമാവുന്നു. എന്നാൽ അവയുടെ ആകൃതിയും, അഭിവിന്യാസവും ഘൂർണന ദിശയും വ്യത്യാസപ്പെടുന്നില്ല.

ഓരോ സ്ഥലത്തും വിദ്യുത്സദിശത്തിൻെറ ദിശയിലും ആയാമത്തിലും അനിയതമായ ഏററക്കുറച്ചിലുകളുണ്ടാകുന്നുവെങ്കിൽ റേഡിയോരവം അധ്രുവിതം

അഥവാ അനിയതധ്രുവിതമായിരിക്കും. (എങ്കിലും വിദ്യുത്സദിശം എല്ലായ്പോഴും പ്രസരണദിശക്കു ലംബമായിരിക്കും). ഒരു അധ്രുവിത വികിരണ പുഞ്ജത്തെ (ബീം) അന്യോന്യം ലംബമായ തലങ്ങളിൽ രേഖാധ്രുവിതമായിരിക്കുന്ന രണ്ടു സ്വതന്ത്രഘടക പുഞ്ജങ്ങളായി വിഭേദനം ചെയ്യാം. സാമാന്യമായി പറഞ്ഞാൽ അധ്രുവിത പുഞ്ജത്തിന്റെ പകുതി ശക്തി വീതം ഓരോ രേഖാധ്രുവിതഘടകത്തിലുമുണ്ടായിരിക്കും.

റേഡിയോ ദൂരദർശികൾ

ഭൗമേതര റേഡിയോ സിഗ്നൽ പഠനത്തിനുപയോഗിക്കുന്ന ഉപകരണങ്ങളുടെ ഇനത്തിൽ വളരെയേറെ വൈവിധ്യമുണ്ട്. എന്നിരിക്കിലും എല്ലാററിനെയും ''റേഡിയോ ദൂരദർശികൾ'' എന്നാണ് പറയാറുള്ളതു്. വിവിധ പ്രവർത്തനങ്ങൾക്കായി അഭികല്പന ചെയ്തിട്ടുള്ള റേഡിയോ ദൂരദർശികളെല്ലാം കാഴ്ചയിൽ വളരെ വ്യത്യസ്തമാണെങ്കിലും അവയുടെ അടിസ്ഥാനഘടകങ്ങൾ ഒന്നു തന്നെയാണ്. വികിരണം പിടിച്ചെടുക്കുന്നതിനുള്ള ആന്റെന്ന, അതിനെ വിദ്യുത്ധാരയാക്കി മാററി ഒരു റെക്കോർഡറിനെ ഉത്തേജിപ്പിക്കുന്ന റിസീവർ, റെക്കോർഡർ എന്നിവയാണ് മേല്പറഞ്ഞ ഘടകങ്ങൾ.

താരതമ്യേന ചെറുതും ദുർബലവുമായ സ്രോതസ്സുകളുടെ നിദർശനത്തിനു് വിശാലമായ ആന്റെന്നകൾ ആവശ്യമാണ്. ഇതിനു് രണ്ടു കാരണങ്ങളുണ്ട്. ഒന്നാമതായി, റിസീവറിൽ തന്നെയുണ്ടാകുന്ന അനിവാര്യമായ രവത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിൽ മാപനീയമാംവണ്ണം വേണ്ടത്ര ഊർജം പിടിച്ചെടുക്കുന്നതിനു് ആന്റെന്നയുടെ ഫലപ്രദമായ വിസ്തീർണം (പ്രഭാവ വിസ്താരം) വേണ്ടത്ര വലുതായിരിക്കണം. രണ്ടാമതായി വിഭംഗനം കാരണം ഏതു ദൂരദർശിയുടെയും, റേഡിയോ ദൂരദർശിയായാലും പ്രകാശിക ദൂരദർശിയായാലും, കോണീയവിഭേദനം, അപ്പർച്ചറും തരംഗനീളവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തിലെ ഓരോ വർധനവിനനുസൃതമായി മെച്ചപ്പെടുന്നു. ('അപ്പർച്ചർ' എന്നതു കൊണ്ടു് ആന്റെന്ന അഥവാ ലെൻസിന്റെ വലുപ്പം എന്നാണർഥമാകുന്നതു്).

സാരാംശത്തിൽ, പ്രകാശത്തിന്റെ ബിന്ദു സ്രോതസ്സുകളായ നക്ഷത്രങ്ങളുടെ ദൂരദർശി പ്രതിബിംബങ്ങൾ വാസ്തവത്തിൽ വിഭംഗന പാറേറണുകളാണ് (വിന്യാസമാണ്). ഈ വിഭംഗന പാറേറണുകളിലോരോന്നിന്റെയും കേന്ദ്ര മാക്സിമത്തിന്റെ കോണീയ വ്യാപ്തി ഏകദേശം λ/D റേഡിയൻ ആയിരിക്കും. ഇവിടെ λ തരംഗദൈർഘ്യവും D ദൂരദർശിയിലെ അഭിദൃശ്യകത്തിന്റെ വ്യാസവുമാണ്. ദൂരദർശിയുടെ നിർമാണം കുററമററതാണെങ്കിൽ ഈ പ്രസ്താവം ശരിയായിരിക്കും. അങ്ങനെയല്ലെങ്കിൽ പ്രതിബിംബങ്ങൾ കൂടുതൽ വലുതായിരിക്കും.

അതുപോലെ തന്നെ റേഡിയോ ദൂരദർശിയുടെ ആന്റെന ബിന്ദു രൂപത്തിലുള്ള റേഡിയോ സ്രോതസ്സിനു കുറുകെ ചലിപ്പിക്കുമ്പോൾ ഏകദേശം λ/D റേഡിയൻ കോണിനുള്ളിലെ വികിരണം സ്വീകരിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഇവിടെ D എന്നതു് ആൻെറന്നായുടെ സഫല (പ്രഭാവി) വീതിയാണു്. അതായതു് രണ്ടു ചെറിയ സ്രോതസ്സുകൾ തമ്മിലുള്ള കോണീയ അകലം λ/D യേക്കാൾ വളരെക്കുറവാണെങ്കിൽ അവ രണ്ടു കൂടി ഒരൊററ സ്രോതസ്സായിട്ടേ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയുള്ളു. അഥവാ അവയെ വിഭേദനം ചെയ്യാൻ സാധിക്കാതെ വരുന്നു.

ഏററവും വലിയ പ്രകാശീക ദൂരദർശിയുടെ ഏററവും കുറഞ്ഞ (നിമ്നതമ) വിഭേദനകോണ് 10^{-5} ഡിഗ്രിയിൽ കുറവാണു്. റേഡിയോ ഖഗോള പഠനത്തിൽ വളരെക്കൂടുതൽ ദൈർഘ്യമുള്ള തരംഗങ്ങൾ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ റേഡിയോ ദൂരദർശികളുടെ നിമ്നതമ വിഭേദന കോണുകൾ താരതമ്യേന വലുതായിരിക്കും. താരതമ്യേന കുറഞ്ഞ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ (ഉദാ : 21 സെ ; മീ) പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഏററവും വലിയ പാരബോളിക ആൻെറന്നകൾക്കു പോലും നിമ്നതമ വിഭേദനകോണ് 1/10 ഡിഗ്രിയിൽക്കൂടുതലാണു്. ഇങ്ങനെയൊക്കെയാണെങ്കിലും വ്യതികരണമാപന ടെക്നിക്കുകളിലൂടെ കൂടുതൽ വിഭേദനക്ഷമത നേടിയെടുക്കാം, അക്കാര്യം പിന്നാലെ വ്യക്തമാവും.

5 മെ ; ഹെ. (λ = 60 മീററർ) മുതൽ 75000 മെ : ഹെ. (λ = 4 മി : മീ) വരെ ആവൃത്തികളാണ് ഗ്രഹങ്ങളുടെ റേഡിയോ ഖഗോളപഠനത്തിനുപയോഗിച്ചു വരുന്നതു്. ഭൂമിയുടെ അയണ മണ്ഡലത്തിൻെറ അതാര്യത കാരണം താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലും, ട്രോപ്പോസ്ഫിയറിൻെറ അതാര്യത കാരണം ഉച്ച-ആവൃത്തിയിലും, ഉപയോഗപ്രദമായ സ്പെക്ട്രത്തിനു പരിമിതിയുണ്ടായിരിക്കുന്നു. താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ ശരിയായി ഡിസൈൻ ചെയ്ത റേഡിയോ ദൂരദർശിയുടെ സംവേദന ക്ഷമതയെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നതു് കോസ്മിക റേഡിയോരവമാണു്. 7-ാം അധ്യായത്തിൽ വിശദമാക്കുകയും ചിത്രം 7-1 ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുകയും ചെയ്തിരിക്കുന്നതു പോലെ അതു് ഏററവും രൂക്ഷമാവുന്നതു് ഏററവും താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലാണു്. എങ്കിലും ആൻെറനയുടെ വലുപ്പം കൂട്ടി, ഗ്യാലക്റ്റിക രവത്തിൻെറ അനിവാര്യമായ പശ്ചാത്തലത്തിനാപേക്ഷികമായി, ഗ്രഹങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോ രവത്തിൻെറ ശക്തി വർധിപ്പിച്ചെടുക്കാം.

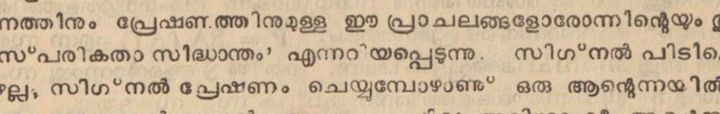
സ്പെക്ട്രത്തിൻെറ ഉച്ച-ആവൃത്തി മേഖലയിലെ സ്ഥിതി ഇതിൽ നിന്നും തികച്ചും വിഭിന്നമാണു്. ആവൃത്തി കൂടുന്തോറും റിസീവറിനുള്ളിൽ തന്നെയുണ്ടാകുന്ന രവം കൂടിവരുമെങ്കിലും കോസ്മികരവം കുറഞ്ഞുവരുന്നുവെന്നതാണിതിനു കാരണം. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ താപീയ പ്രവർത്തനം കാരണം പരിപഥഘടകങ്ങളിലുണ്ടാകുന്ന ധാരാ വ്യതിയാനങ്ങൾ മൂലമാണു് റിസിവറിനുള്ളിൽ ഒച്ച (രവം) ഉണ്ടാകുന്നതു്. പരമ്പരാഗതങ്ങളായ റീസിവറുകളിൽ ഏതാനും ദശ മെഗാസൈക്കിൾ/സെക്കൻെറ് ആവൃത്തികൾക്കു മീതെ കാര്യമായ പരിമിതിയുളവാക്കുന്നതു് ഗ്യാലസ്റ്റിക രവത്തേക്കാളുപരി ഇത്തരം ആന്തരരവം തന്നെയാണു്. 1956 മുതൽ തികച്ചും നൂതനങ്ങളായ രവം കുറഞ്ഞ രണ്ടു തരം റിസീവറുകൾ നിർമിച്ചെടുത്തിട്ടുണ്ടു്. അതോടെ സ്ഥിതിഗതികളൊക്കെ

മാറിപ്പോയിരിക്കുന്നു. *മേസറും പരാമെട്രിക പ്രവർധക*വുമാണ് ഈ പുതിയ റിസീവറുകൾ. അവ ആന്തര രവത്തെ നൂറിലൊന്നായി കുറയ്ക്കുകയും അതോടൊപ്പം, ഉച്ച–ആവൃത്തികളിൽ റേഡിയോ ദൂരദർശിയുടെ ആകെപ്പാടെയുള്ള സംവേദനക്ഷമത ആറു മടങ്ങു വർധിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ റീസീവറുകളിൽ ഏതാനും ശത മെ: സൈ/സെ ആവൃത്തിവരെ, ഗ്യാലക്ടിക രവവുമായി തട്ടിച്ചുനോക്കുമ്പോൾ ആന്തര രവം തീരെ നിസ്സാരമാണ്. അത്രമാത്രം ഉയർന്ന സംവേദനക്ഷമതകളിൽ ആൻെറന്നായുടെ വശങ്ങളിലേക്കോ പിൻഭാഗത്തേക്കോ ഭൂമിയിൽ നിന്നു ബീം ചെയ്യുന്ന താപവികിരണം ഗ്യാലക്ടിക രവത്തോടൊപ്പം എത്തിയെന്നു വരാം. ചില സന്ദർഭങ്ങളിൽ റേഡിയോ ദൂരദർശിയുടെ സംവേദനക്ഷമതയെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്ന ഘടകം ഇതാകാം.

ആൻെറന്നാകളുടെ ഗുണധർമങ്ങൾ

റേഡിയോ ദൂരദർശികളിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന വിവിധങ്ങളായ പ്രത്യേക തരം ആൻെറനകളെപ്പററി വിവരിക്കുന്നതിനു മുമ്പ് ആൻെറനകളുടെ ഗുണധർമ്മങ്ങൾ വ്യവഹരിക്കുന്നതിനാവശ്യമായ ചില പ്രാചലങ്ങൾ നിർവഹിക്കുന്നതു സഹായകമായിരിക്കും. ദിശിക സംരചന, പുഞ്ജവീഥി ഫലപ്രദമായ വിസ്തീർണം, ക്ഷമത, ദിശീയത, ബാൻഡ് വീഥി എന്നിവയാണ് ഇപ്പോഴത്തെ ചർച്ചകൾക്കാവശ്യമായ ചില സുപ്രധാന പ്രാചലങ്ങൾ. ഇവയും, ഇവയോടു ബന്ധപ്പെട്ട മററു ചില പരിമാണങ്ങളും പ്രേഷണത്തിനും സ്വീകരണത്തിനും ഉപയോഗിക്കുന്ന ആൻെറന്നകൾക്ക് ഒരുപോലെ സാധുവാണ്. അഭിഗ്രഹണത്തിനും പ്രേഷണത്തിനുമുള്ള ഈ പ്രാചലങ്ങളോരോന്നിന്റെയും തുല്യത 'പാരസ്പരികതാ സിദ്ധാന്തം' എന്നറിയപ്പെടുന്നു. സിഗ്നൽ പിടിച്ചെടുക്കുമ്പോഴല്ല, സിഗ്നൽ പ്രേഷണം ചെയ്യുമ്പോഴാണ് ഒരു ആൻെറന്നയിൽ പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്താൻ കൂടുതൽ എളുപ്പം. ചില അഭിഗ്രാഹീ ആൻെറനകളുടെ പ്രവർത്തനരീതിയെക്കുറിച്ച് മനസ്സിലാക്കുന്നതിനും അവയെ പരീക്ഷണാർഥം അംശാങ്കനം ചെയ്യുന്നതിനും പാരസ്പരികതാ സിദ്ധാന്തം സഹായകമായിരിക്കും.

ഒരു ഏക-പുഞ്ജ ആൻെറനയുടെ ദിശിക സംരചന ചിത്രം 2–1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. സ്രോതസ്സിൻെറ ദിശയ്ക്കു ലംബമായ അക്ഷത്തിന്മേൽ 360° തിരിയുന്ന ആൻെറന്നയിൽ സ്ഥിരതീവ്രതയുള്ള വിദൂരസ്ഥമായ ഒരു ബിന്ദു സ്രോത



ചിത്രം 2 1

സ്സിൽ നിന്നും സിഗ്നൽ വന്നുവീഴുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന ആപേക്ഷിക നിർഗമശക്തിയുടെ ധ്രുവീയ ചിത്രണമാണ്. ഈ പാറ്റേൺ (സംരചന) ആദ്യത്തെ അക്ഷത്തിനും സ്രോതസ്സിന്റെ ദിശയ്ക്കും ലംബമായ ഒരു രണ്ടാം അക്ഷത്തിന്മേൽ ആന്റെന്ന കറങ്ങുമ്പോഴത്തെ ചിത്രവുംകൂടി ആയെങ്കിൽ മാത്രമേ ദിശിക പാറ്റേണിന്റെ ത്രിമാന ചിത്രം പൂർത്തിയാകൂ. ദിശിക പാറ്റേണുകളിൽ ചിത്രം 2–1 ലെപ്പോലെ സാധാരണയായി ഒരു പ്രധാന ദലവും (lobe) അനേകം ഉപദലങ്ങളുമുണ്ടായിരിക്കും. പലപ്പോഴും ഉപദലങ്ങളെ ഒഴിവാക്കാനാവില്ല. ആന്റെന്നാ അനുയോജ്യമായി രൂപകല്പന ചെയ്ത് അവ തീരെ ചെറുതാക്കാം. ഈ പ്രധാന ദലത്തിന്റെ ദിശയിലായിരിക്കും ആന്റെന്ന, ഏറ്റവും കൂടുതൽ ഊർജ്ജം സ്വീകരിക്കുന്നതും പ്രേഷണം ചെയ്യുന്നതും.

ഉച്ചതമ ശക്തിയുടെ ദിശയിലെ ശക്തിയുടെ പകുതി ശക്തി ലഭിക്കുന്ന രണ്ടു ദിശകൾക്കിടയിലെ കോണാണ് പ്രധാന ദലത്തിന്റെ *അർധ–ശക്തി പുഞ്ജവീതി* (half power beamwidth) ഉദാഹരണത്തിന് ചിത്രം 2–1 ലെ പാറ്റേണിന്റെ കാര്യത്തിൽ അർധശക്തി ബീംവീതി 20° ആണ്. പരസ്പരം ലംബമായ രണ്ടു തലങ്ങളിൽ ഒരു നിർദിഷ്ട ആന്റെനയുടെ ബീംവീതികൾ വ്യത്യസ്തങ്ങളായിരിക്കും. സാമാന്യമായി പറഞ്ഞാൽ ആന്റെനയുടെ ബീംവീതി റേഡിയൻ കണക്കിൽ λ/L നോടടുത്തടുപ്പിച്ചായിരിക്കും. ഇവിടെ λ തരംഗനീളവും L ബീംവീതി മാപനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന തലത്തിൽ ആന്റെന്നയുടെ ഉച്ചതമ നീളവുമാണ്.

ആന്റെനയ്ക്ക് ഊർജം ശേഖരിക്കാൻ സാധ്യമാകുന്ന തരംഗാഗ്രതലത്തിന്റെ ഒരു അളവാണ് ആന്റെന്നയുടെ പ്രഭാവതലം. $P = SA(\Delta f)$ എന്ന സമീകരണത്താൽ അതു നിർവചിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഇതിൽ S ആന്റെന്നായ്ക്കു സംവേദനക്ഷമമാവുന്ന ധ്രുവണ ഘടകത്തിന്റെ ഫ്ളക്സ് സാന്ദ്രതയും, A ഈ ധ്രുവണത്തിനു സംഗതമായ ആന്റെന്നായുടെ പ്രഭാവതലവും P, മാച്ച്ചെയ്യുന്ന റിസീവറിലേക്കു Δf ബാൻഡ് വീതിയുള്ള സിഗ്നൽ വിട്ടുകൊടുക്കുന്ന ശക്തിയുമാണ്. പ്രഭാവതലം ആപതിത വികിരണത്തിന്റെ ദിശയുടെ ഒരു ഫലനമാണ്. പ്രധാനദല അക്ഷത്തിലൂടെ വികിരണം ആന്റെന്നയിലെത്തുമ്പോൾ പ്രഭാവതലം ഉച്ചതമമായിരിക്കും. വലിയ പാരബോളിക ആന്റെന്നകളുടെ പ്രഭാവതല വിസ്തീർണം യഥാർഥ വിസ്തീർണത്തിന്റെ 0.5 മുതൽ 0.9 വരെയായിരിക്കും.

പ്രേഷിതവികിരണം ഒരു നിർദിഷ്ട ദിശയിൽ എത്രത്തോളം തിരിച്ചുവിടപ്പെടുന്നുവെന്നതിന്റെ അളവുകളാണ് ആന്റെന്നായുടെ ദിശീയതയും ക്ഷമതയും. അഥവാ ഒരു നിർദിഷ്ടദിശയിൽ നിന്നും സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന വികിരണത്തിന്റെ അളവുമാകാം അവ. ഒരു നിശ്ചിത അളവ് ആകെ ശക്തിപ്രേഷണം ചെയ്യപ്പെടുമ്പോൾ പ്രധാന ദല–അക്ഷത്തിന്റെ ദിശയിൽ വളരെ അകലെയുണ്ടാകുന്ന ഫ്ളക്സ് സാന്ദ്രതയും അതേ ശക്തി എല്ലാം ദിശകളിലേക്കും ഒരു

പോലെ വികിരണം ചെയ്യുമ്പോൾ അവിടെയുണ്ടാകുന്ന ഫ്ളക്സ് സാന്ദ്രതയും തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തിന് ഉച്ചതമ ദിശീയത എന്നു പറയുന്നു. വർദ്ധനയുടെ നിർവചനവും ഏറെക്കുറെ ഇതു തന്നെയാണ്. പ്രധാന ദലത്തിന്റെ അക്ഷത്തിന്റെ ദിശയിലുണ്ടാകുന്ന ഫ്ളക്സ് സാന്ദ്രതയും *ആന്റെനാ ടെർമിനലുകൾക്കു നൽകുന്ന* ശക്തി എല്ലാ ദിശകളിലേക്കും തുല്യമായി വികിരണം ചെയ്യപ്പെട്ടാൽ അതേ ദിശയിലുണ്ടാകുന്ന ഫ്ളക്സ് സാന്ദ്രതയും തമ്മിലുള്ള അനുപാതമാണ് ഉച്ചതമ വർദ്ധന. അതായത് നിവേശിത ശക്തിയിലൊരംശം വികിരണം ചെയ്യപ്പെടാതെ ആന്റെനയെ ചൂടാക്കുന്നതു മൂലം നഷ്ടപ്പെടുമ്പോൾ മാത്രമാണ് മേൽപ്പറഞ്ഞ പരിമാണങ്ങൾ രണ്ടും വിഭിന്നങ്ങളാവുന്നത്. ഇതേ രീതിയിൽ തന്നെ പ്രധാന ദലഅക്ഷത്തിന്റെ ദിശയെക്കൂടാതെ മറ്റേതു ദിശയിലെ വർദ്ധനയും ദിശീയതയെയും നിർവചിക്കാം. അങ്ങനെ ഈ പരിമാണങ്ങൾ രണ്ടും ദിശയുടെ ഫലനങ്ങൾ തന്നെയാണ്. ചിത്രം 2–1 ൽ ധ്രുവീയ അക്ഷത്തിലെ തോതിനെ ആന്റെനയുടെ ഉച്ചതമ ലാഭം കൊണ്ടു ഗുണിച്ചാൽ ലഭിക്കുന്ന വക്രം ദിശയും വർദ്ധനയും തമ്മിലുള്ള ആരേഖമായിരിക്കും. വർദ്ധന പ്രഭാവിതല വിസ്തീർണത്തിന് ആനുപാതികമായിരിക്കും. രണ്ടു പരിമാണങ്ങളും $S = 4\pi A/\lambda^2$ എന്ന സൂത്രത്താൽ ബന്ധിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഇതിൽ S എന്നത് A പ്രഭാവിതല വിസ്തീർണമായിരിക്കുന്ന അതേ ദിശയിലെ വർദ്ധനയാണ്. ഏക–ദല ആന്റെനകളിൽ ഉച്ചതമ ദിശീയതയും ബീം വീതിയും ഏറെക്കുറെ വ്യുൽക്രമാനുപാതത്തിലായിരിക്കും.

ആന്റെനയുടെ വർദ്ധന ആവൃത്തിക്കനുസരണമായി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. സാധാരണയായി അതു് ഏറ്റവും കൂടുതലാകുന്നതു് അനുനാദ–ആവൃത്തിയിലാണ്. വർദ്ധനയ്ക്കു് ആവൃത്തിയിന്മേലുള്ള ആശ്രയത്വം സുപരിചിതമായ അനുനാദവക്രത്തെ അനുധാവനം ചെയ്യുന്നു. അനുനാദാവൃത്തിയിലെ വർദ്ധനയുടെ പകുതി വർദ്ധന ഉള്ള രണ്ടു ആവൃത്തികൾ തമ്മിലുള്ള അന്തരമാണ് അർദ്ധ ശക്തി ബാൻഡ് വീതി.

പ്രേഷണത്തിനുപയോഗിക്കുന്ന അനുനാദആന്റെന ഒരു പ്രതിരോധംപോലെയാണ്. കാരണം ഒരു പ്രേഷിത്രം അതിനുള്ളിലേക്ക് അയയ്ക്കുന്ന പവർ അതു് നിരന്തരം വിസരണം ചെയ്യുന്നു. ഈ പ്രത്യക്ഷപ്രതിരോധത്തിന്റെ മൂല്യമാണ് വികിരണപ്രതിരോധം. ഒരു ആന്റെന അനുനാദ ആവൃത്തിയിൽ അഭിഗ്രഹണത്തിനുപയോഗിക്കുകയാണെങ്കിൽ അതു് മേൽപറഞ്ഞ വികിരണപ്രതിരോധത്തിനു തുല്യമായ ആന്തരപ്രതിരോധമുള്ള ഒരു റേഡിയോ ആവൃത്തി ജനിത്രം പോലെയാണ്. ആന്റെനായിൽ നിന്നും റിസീവറിലേക്കു നേരിട്ടുള്ള ശക്തിപ്രസരണം ഉച്ചതമമായിരിക്കണമെങ്കിൽ റിസിവറിന്റെ നിവേശപ്രതിരോധം ആന്റെനയുടെ വികിരണപ്രതിരോധത്തിനു തുല്യമായിരിക്കണം. അപ്പോൾ ആന്റെനയും റിസിവറും 'പൊരുത്തപ്പെട്ടു'വെന്നു പറയാം. ആന്റെന്നയും റിസീവറും തമ്മിൽ സാരമായ അകൽച്ചയുണ്ടെങ്കിൽ ആന്റെനയുടെ വികിരണ പ്രതിരോധത്തിനു തുല്യമായ അഭിലക്ഷണിക പ്രതിരോധമുള്ള ഒരു

പ്രേഷണ ലൈൻ ഉപയോഗിക്കണം. എങ്ങനെയൊക്കെയായിരുന്നാലും അനുയോജ്യമായ അനുരൂപകട്രാൻസ്ഫോർമറുകളുണ്ടെങ്കിൽ ആൻറനപ്രതിരോധം, ലൈനിൻെറ അഭിലക്ഷണിക പ്രതിരോധം റസീവറിൻെറ നിവേശപ്രതിരോധം എന്നിവയൊക്കെ വ്യത്യസ്തമാണെങ്കിൽത്തന്നെയും ഉച്ചതമ-ശക്തിവിനിമയം സാധ്യമാവും.

ആൻറനഇനങ്ങൾ

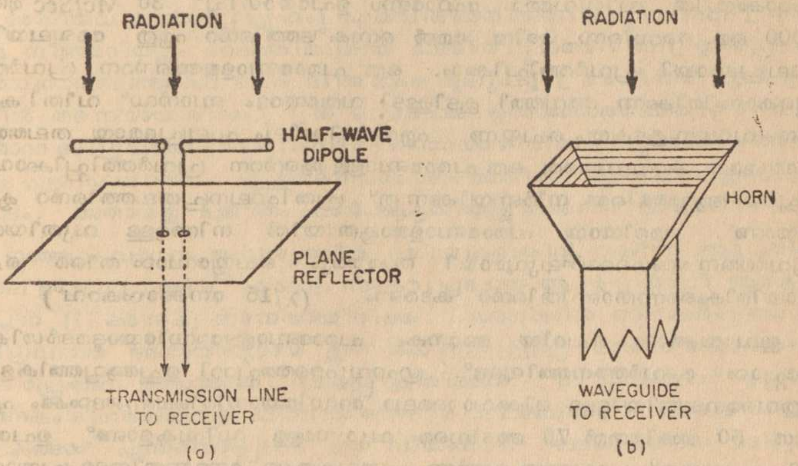
ആൻറനയുടെ രൂപകൽപനയിൽ വരുത്താവുന്ന മാററങ്ങൾക്ക കയ്യുംകണക്കും ഇല്ലെന്നു തന്നെ പറയാം. റേഡിയോഖഗോളപഠനത്തിൽ ഒട്ടേറെ വിവിധ ഇനങ്ങൾ ഇപ്പോൾത്തന്നെ പ്രയോഗത്തിൽ വന്നുകഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. ഏററവുമധികം വ്യാപകമായി ഉപയോഗിച്ചുവരുന്ന ഒരിനം ആൻറനയാണ് ദ്വിധ്രുവം. കൂടുതൽ സങ്കീർണമായ ആൻറനകളുടെ ഒരു ഘടകമായി അതു് പലപ്പോഴും പ്രത്യക്ഷപ്പെടാറുണ്ട്. അർധതരംഗത്തിൻെറയോ പൂർണതരംഗത്തിൻെറയോ ദൈർഘ്യമാണ് ദ്വിധ്രുവത്തിനുള്ളതെങ്കിൽ അതിന് അനുനാദസ്വഭാവമുണ്ടായിരിക്കും. സ്വതന്ത്രസ്പേസിൽ അത്തരമൊരു ദ്വിധ്രുവത്തിൻെറ വർധന അതിനുതന്നെ ലംബമായ ദിശകളിൽ ഉച്ചതമവും, സമാന്തരദിശകളിൽ പൂജ്യവുമായിരിക്കും.

അത്യുന്നതാവൃത്തികളിലൊഴികെ മററെല്ലാ ആവൃത്തികളിലും ദ്വിധ്രുവങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്. ദ്വിധ്രുവത്തിൽ നിന്നും റിസിവറിലേക്കുള്ള പവർ വിനിമയത്തിന് സാധാരണയായി കോആക്സിയൽ ഇനത്തിലോ പെട്ട വിവൃത-വയർ (ഇൻസുലേഷനില്ലാത്ത കമ്പി) ഇനത്തിലോ പെട്ട പ്രേഷണ ലൈനുകൾ ഉപയോഗിക്കുന്നു. ചിത്രം 2—2ൽ ഒരു സമതലപ്രതിഫലകത്തിനു മുകളിലായി ദ്വിധ്രുവം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ദ്വിധ്രുവവും പ്രതിഫലകവും തമ്മിലുള്ള അകലം തരംഗദൈർഘ്യത്തിൻെറ നാലിലൊന്നാണെങ്കിൽ ദ്വിധ്രുവത്തിലേക്ക പ്രതിഫലിക്കുന്ന വികിരണവും ആപതിതവികിരണവും ഒരേ ഫേസിലായിരിക്കും. തൽഫലമായി പ്രതിഫലനതലത്തിനു മുകളിൽ നിന്നും വരുന്ന വികിരണത്തിൻെറ വർധന കൂടുകയും, എതിർവശത്തുനിന്നു വരുന്ന വികിരണത്തിൻെറ വർധന കുറയുകയും ചെയ്യും.

കോണീയപ്രതിഫലകം, പരാബോളികപ്രതിഫലകങ്ങൾ എന്നിങ്ങനെ മററുചിലയിനം പ്രതിഫലകങ്ങളും ഉപയോഗത്തിലുണ്ട്. ഭാഗികമായി തുറന്നുവെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ഗ്രന്ഥംപോലെ പരസ്പരം സന്ധിക്കുന്ന രണ്ടു തലങ്ങൾ ചേർന്നാണ് കോണീയപ്രതിഫലകം ഉണ്ടായിരിക്കുന്നതു്. ഇതിൽരണ്ടു തലങ്ങൾക്കുമിടയിൽ പ്രതിച്ഛേദരേഖയ്ക്കു സമാന്തരമായി ദ്വിധ്രുവം വച്ചിരിക്കുന്നു. കോണീയപ്രതിഫലക-ആൻറനയുടെ വർധന സമതലപ്രതിഫലക ദ്വിധ്രുവത്തിൻേറതിനേക്കാൾ അൽപം കൂടുതലായിരിക്കും. തലങ്ങളുടെ വലുപ്പം ഒരു നിശ്ചിത സീമാന്തവലുപ്പത്തേക്കാൾ കൂടുന്നതുകൊണ്ട് വർധന ഒട്ടും വർധിക്കുന്നില്ല. പ്രതിഫലകം പരാബോളജപ്രതലത്തോടുകൂടി

യതും ദ്വിധ്രുവം ഫോക്കസ്സിലുമാണെങ്കിൽ പരാബോളജത്തിൻെറ വിസ്തീർണം വർധിപ്പിച്ച് നേടാവുന്ന വർധനയ്ക്ക് താത്വികമായി സീമയൊന്നുമില്ല.

ഉച്ച–ആവൃത്തികളിൽ മാത്രം ഉപയോഗിക്കുന്ന ലഘുവായ മറ്റൊരിനം ആന്റെനയാണ് ഹോൺ. ചിത്രം 2 2–ൽ ഈ ആൻെറനയും കാണിച്ചിട്ടുണ്ട്,



ചിത്രം 2.2.

സരളആന്റെനകൾ. (a) ഒരു സമതലപ്രതിഫലകത്തിനു മുകളിൽ ദ്വിധ്രുവം. (b) ഹോൺ.

ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന തരംഗഗൈഡ് പ്രത്യേകഡിസൈൻചെയ്ത ഒരു കുഴലാണ്. പിടിച്ചെടുക്കുന്ന വികിരണത്തെ അതു് റിസീവറിലെ അനുനാദകാവിററിയിലേക്കു നയിക്കുന്നു. തരംഗഗൈഡിൻെറ തുറന്ന അററത്തുള്ളൊരു വിസ്തൃതഭാഗമാണ് ഹോൺ. തരംഗപ്രതലത്തിൽ നിന്നും തരംഗഗൈഡിലേക്ക് ഊർജത്തിൻെറ ഉച്ചതമവിനിമയം നടക്കാൻ പററിയ രീതിയിലാണു അതിൻെറ ആകൃതി ഹോണും അതുമായി ബന്ധപ്പെട്ട മററു തരംഗഗൈഡ് ആൻെറനകളും നൂറുകണക്കിനു മെ. ഹെ. ആവൃത്തിക്കുമീതെയാണ് ഏററവും ഉപയോഗപ്രദമായിരിക്കുന്നതു്. പരാബോളജ പ്രതിഫലകങ്ങളോടൊപ്പം പലപ്പോഴും ഹോൺ ഉപയോഗിക്കാറുണ്ട്. ഇങ്ങനെ ഉപയോഗിക്കുമ്പോൾ അതു് പരാബോളജപ്രതലത്തിൽ നിന്നും പ്രതിഫലിക്കുന്ന വികിരണം ശേഖരിക്കാൻ പാകത്തിൽ ഫോക്കസ്സിലാണ് വെയ്ക്കുന്നതു്.

റേഡിയോ ഖഗോളപഠനത്തിനുപയോഗിക്കുന്ന ആന്റെനകളിലേററവും കൗതുകകരങ്ങളായ ഭീമാകരങ്ങളായ പരാബോളജ ആൻെറനകൾ അഥവാ ഡിഷുകൾ

ആണ്ഇപ്പോൾ പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന തിരിക്കാവുന്ന പരാബോളജങ്ങളിലേററവും വലുത്. ഇംഗ്ലണ്ടിലെ ജോർദർ ബാങ്കിലാണിതു്. അതിന്റെ വ്യാസം 250 അടിയാണ്. കൂടുതൽ സൂക്ഷ്മവും 210 അടി വ്യാസമുള്ളതുമായ ഒരു തിരിക്കാവുന്ന ആൻെറന ഈ അടുത്തകാലത്ത് ആസ്ട്രേലിയായിൽ നിർമാണം പൂർത്തിയായിട്ടുണ്ട്. (പ്ലേററ് II കാണുക.) അത്തരം വലിയ ആൻെറനകൾ ഫോക്കസ്സിൽ ദ്വിധ്രുവമോ ഫോണോ ഉപയോഗിച്ച് 30 Mc/Sec മുതൽ 1000 മെ. സൈ/സെ ക്കിനു മേൽ സ്പെക്ട്രത്തിൻെറ ഏതു മേഖലയിലും ഫലപ്രദമായി പ്രവർത്തിപ്പിക്കാം. ഒരു പരാബോളജആൻെറന പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ആവൃത്തി കൂടിക്കൂടി വരുമ്പോറും ബൻഡ് വീതി കുറയുകയും വർധന കൂടുകയും ചെയ്യുന്നു. എന്നിരിക്കിലും ഫലപ്രദമായ തലത്തനുകാര്യമായ കുറവുവരാതെ ഒരു പരാബോളജ ആൻെറന പ്രവർത്തിപ്പിക്കാവുന്ന ഉച്ചതമ-ആവൃത്തിയെ നിർണയിക്കുന്നതു് പ്രതിഫലനപ്രതലത്തിൻെറ കൃത്യതയാണ്. ശരിയായ പരാബോളജാകൃതിയിൽ നിന്നുമുള്ള വ്യതിയാനം പ്രവർത്തനതരംഗദൈർഘ്യവുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുമ്പോൾ തീരെ ചെറുതായിരിക്കുമെന്നതാണിതിൻെറ കാരണം. ($\lambda/15$ നേക്കാൾകുറവ്)

ഇവയേക്കാൾ ചെറിയ അനേകം പരാബോളജറേഡിയോദൂരദർശികൾ ഇപ്പോൾ പ്രവർത്തനത്തിലുണ്ട്. ഗ്രഹവ്യൂഹത്തെപ്പററി ഉച്ചആവൃത്തികളിൽ ഇതുവരെനടത്തിയിട്ടുള്ള മിക്കവാറുമെല്ലാ റേഡിയോനിരീക്ഷണങ്ങൾക്കും ഏകദേശം 50 അടിമുതൽ 70 അടിവരെ വ്യാസമുള്ള ഡിഷുകളാണ് ഉപയോഗിച്ചുപോന്നതു്. വേണ്ടത്ര ഉയർന്ന പ്രതലകൃത്യത നേടുന്നതിനുള്ള പ്രയാസം കാരണം മില്ലീമീററർതരംഗങ്ങൾക്ക് ഇതിലും ചെറിയ പരാബോളജങ്ങളാണുപയോഗിക്കുന്നതു്.

മില്ലിമീററർ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ റേഡിയോഖഗോളപഠനത്തിൽ അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടിവരുന്ന പ്രശ്നങ്ങളിൽ പലതും പ്രകാശികഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിലെ അത്തരം പ്രശ്നങ്ങളുമായി സാദൃശ്യമുള്ളവയാണ്. നിർദിഷ്ടമായ കൃത്യതയുള്ള പരാബോളജ പ്രതലങ്ങളുടെ നിർമാണത്തിനും സംരക്ഷണത്തിനും അങ്ങേയററം സൂക്ഷ്മതയാവശ്യമാണ്. ബീം വീതി വളരെ കുറവാകയാൽ ഡിഷ് അഭിമുഖമാകേണ്ട ദിശയെ നിയന്ത്രിക്കുന്നതിൽ നിഷ്കർഷയുണ്ടായിരിക്കണം. നിരീക്ഷണാലയങ്ങളുടെ സ്ഥാനവും നിരീക്ഷണസമയങ്ങളും ഏററവും നന്നായി 'കാണാൻ' പാകത്തിൽ സശ്രദ്ധം തെരഞ്ഞെടുക്കണം.

താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ പരാബോളജങ്ങളേക്കാൾ മേൽത്തരമായിട്ടുള്ളവ മററിനം ആൻെറനകളാണ്. ഉദാഹരണത്തിനു് മീററർ, ഡെസീമീററർ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ നിരക്ഷീയവ്യൂഹം ഉപയോഗിച്ച് ഏതാനും ഡിഗ്രി ബീം വീതികൂടുതൽ ലാഭകരമായി നേടിയെടുക്കാം; നിരക്ഷീയവ്യൂഹത്തിൽ ഏതാനും ദ്വിധ്രുവങ്ങൾ നിരകളിലും വരികളിലുമായി പ്രതിഫലനതലത്തിനുമുകളിൽ വെച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രേഷണലൈനുകളുപയോഗിച്ച് ദ്വിധ്രുവങ്ങളെ റിസീവറുമായി ഘടിപ്പിക്കണം. ഒരു നിർദിഷ്ട ദിശയിലൂടെ വികിരണം എത്തി

ച്ചേരുമ്പോഠം എല്ലാ സിഗ്നലുകളും ഒരേ ഫേസിൽ റിസീവറിൽ സമ്മേളിക്കാൻ വേണ്ടത്രനീളം പ്രേഷണലൈനുകഠംക്കുണ്ടായിരിക്കണം. പ്രധാന ദലത്തിന്റെ ദിശ മാറ്റുന്നതിനു് ഒന്നുകിൽ ദ്വിധ്രുവസഞ്ചയത്തെ മൊത്തത്തിൽ ഘൂർണനം ചെയ്യണം. (കൂടിയ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ ഇതു് അപ്രായോഗികമാണു്) അല്ലെങ്കിൽ പുതിയ ദിശയിൽക്കൂടി വികിരണം സ്വീകരിക്കപ്പെട്ടപ്പോഠം മാത്രം ദ്വിധ്രുവങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകഠം ഒരേ ഫേസിലാകും വിധം പ്രേഷണലൈനുകളുടെ നീളം വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു.

രേഖീയവിന്യാസം (വ്യൂഹം) ഏകവിമീയനിരക്ഷീയവ്യൂഹമാണു് L നീളമുള്ള നീളമേറിയതും ക്ഷൈതിജവുമായ രേഖീയവ്യൂഹത്തിന്റെ L ഉഠംപ്പെടുന്ന ഊർധ്വാധരതലത്തിലെ ബീം വീതിയുടെ മൂല്യം T/L റേഡിയൻ എന്ന ക്രമത്തിൽ തന്നെയായിരിക്കും. L നു ലംബമായ ഊർധ്വാധരതലത്തിലെ ബീം ഒരൊററ ദ്വിധ്രുവത്തിന്റെ ബീംവീതി തന്നെയായിരിക്കും. വ്യൂഹത്തിനു താഴെയുള്ള പ്രതിഫലനതലം എന്തുതന്നെയാണെങ്കിലും അതിന്റെ പ്രഭാവവും ഇതിലുഠംപ്പെടും. അതായതു് പുജ്ഞം ഫാൻ–ആകൃതിയുള്ളതാണെന്നു് അർഥം.

ഇടത്തരം വർധന ആവശ്യത്തിനു മതിയാകുമെങ്കിൽ താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലെ ഉപയോഗത്തിനു് ഏററവും സൗകര്യപ്രദമായ ആന്റെന യാഗി ആന്റെന (പ്ലേററ് III കാണുക) തന്നെയായിരിക്കും. യാഗിയിൽ ഒരു അർധ–തരംഗ ദ്വിധ്രുവത്തെ അനുയോജ്യമായ ഇണക്കൽ (matching) ട്രാൻസ്ഫോർമറിൽക്കൂടെ പ്രേഷണ ലൈനുമായി ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. ദ്വിധ്രുവത്തിനു് മുമ്പിൽ അനേകം ദിശാത്മകങ്ങളും പിമ്പിൽ ഒരു പ്രതിഫലകവുമുണ്ടു്. 'പാരാസിററിക് ഘടകങ്ങഠം' എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഈ വിശേഷാൽ ഘടകാംശങ്ങഠം ദ്വിധ്രുവത്തിനു സമാന്തരമായി വെച്ചിരിക്കുന്നതും അതിനേക്കാഠം അല്പം നീളവ്യത്യാസമുള്ളതുമായ വെറും ദണ്ഡുകഠം മാത്രമാണു്.

വികിരണം ഒരു പാരാസിററിക് ഘടകാംശത്തെ കടന്നുപോകുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന പ്രേരിത വിദ്യുത്ധാര ആപതിത പുഞ്ജത്തിലെ പവറിലൊരംശത്തെ പുനർവികിരണം ചെയ്യുന്നുവെന്ന വസ്തുതയിൽ അധിഷ്ഠിതമാണു് യാഗിയുടെ പ്രവർത്തനം. തീർച്ചയായും ഈ ദ്വിതീയക വികിരണത്തിന്റെ ആവൃത്തി ആദ്യവികിരണത്തിന്റേതുതന്നെയായിരിക്കും; എന്നാൽ ഫേസ് വ്യത്യസ്തമായിരിക്കും. പ്രസ്തുത വികിരണം ഘടകാംശത്തിനു തന്നെ സമാന്തരമായ ദിശയിലൊഴികെ മറെറല്ലാദിശയിലേക്കും പ്രസരിക്കുന്നു. പാരാസിററിക ഘടകത്തിന്റെ നീളത്തിൽ അല്പസ്വല്പം വ്യത്യാസം വരുത്തി ഏതു നിർദ്ദിഷ്ട ബിന്ദുവിലെത്തുന്ന ദ്വിതീയകവികിരണത്തിന്റെയും ഫേസിൽ മാററംവരുത്താം. പ്രതിഫലകത്തിന്റെയും ദിശാത്മകത്തിന്റെയും നീളം ക്രമപ്പെടുത്തി ദ്വിതീയക തരംഗങ്ങളെല്ലാം ആപതിതവികിരണവുമായി ദ്വിധ്രുവത്തിൽ ക്രിയാത്മകമായി കൂടിച്ചേരാൻ പാകത്തിൽ ദ്വിതീയക തരംഗശ്രേണിയുടെ ഫേസുകഠം ക്രമപ്പെടുത്തിയെടുക്കാം. ദ്വിധ്രുവത്തിലുണ്ടാകുന്ന പരിണിത ഫ്ളക്സ്ഘനത്വം പാരാസിററിക ഘടകങ്ങളില്ലാത്തപ്പോഴത്തേതിനേക്കാഠം കൂടുതലായിരിക്കും.

അതിനാൽ യാഗിയുടെ വർധന കേവലദ്വിധ്രുവത്തിന്റേതിനേക്കാൾ കൂടുതലാണ്. ഗ്രഹനിരീക്ഷണങ്ങളിൽ യാഗിയ്ക്കുള്ള ഏററവും വലിയ മേന്മ അതിന്റെ ചലനക്ഷമത ആണ്.

ഒരൊററ യാഗി പ്രദാനം ചെയ്യുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ വർധന നേടുന്നതിനു യാഗീവ്യൂഹങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കാം. യാഗികളെ രേഖീയവ്യൂഹത്തിലോ ചതുരവ്യൂഹത്തിലോ ക്രമീകരിക്കാം. ഒരു യാഗീവ്യൂഹത്തിൽ നിന്നും, അതേ വലുപ്പമുള്ള നിരക്ഷീയ വ്യൂഹത്തിന്റെ അത്രയും തന്നെ കാര്യക്ഷമമായ പ്രവർത്തനം ലഭിക്കും. വ്യൂഹം നിറയ്ക്കുന്നതിനാവശ്യമായ യാഗികളുടെ എണ്ണം സംഗതമായ നിരക്ഷീയ വ്യൂഹത്തിലെ ദ്വിധ്രുവങ്ങളുടെ എണ്ണത്തേക്കാൾ വളരെ കുറവുമായിരിക്കും. യാഗീവ്യൂഹത്തിന്റെ പ്രധാന ദലം ഒരു ചലിക്കുന്ന സ്രോതസ്സിനെ അനുധാവനം ചെയ്യണമെങ്കിൽ ഒന്നുകിൽ വ്യൂഹത്തെ ഒരു ദൃഢവസ്തുവെന്നോണം ഘൂർണനം ചെയ്യിക്കണം. അല്ലെങ്കിൽ റിസീവറിന്റെ നിവേശസ്ഥാനത്തു് സിഗ്നലുകൾ എല്ലാം ഒരേ ഫേസിലായിരിക്കത്തക്കവണ്ണം യാഗികളിൽ നിന്നും റിസീവറിലേക്കുള്ള പ്രേഷണലൈനുകളുടെ നീളം നിരന്തരം വ്യത്യാസപ്പെടുത്തി യാഗികളോരോന്നായി സ്രോതസ്സിനെ പിന്തുടരണം.

ഇതുവരെ നാം ചർച്ച ചെയ്ത ആന്റെനകളെല്ലാം രേഖീയ ധ്രുവിതങ്ങളാണ്. ഹെലിക്സ് ആകൃതിയിലുള്ള ആന്റെനകളുടെ ധ്രുവണം വൃത്താകൃതിയിലായിരിക്കും. വികിരണത്തിന്റെ സഞ്ചാരദിശയിൽ ഹെലിക്സീയ വാഹിയിലൂടെ നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ബിന്ദുവിന്റെ ചലനദിശ തന്നെയായിരിക്കും സംഗതമായ വിദ്യുത്സദിശത്തിന്റെ ഘൂർണനദിശയും. വൃത്തീയ ധ്രുവിത ആന്റെനായ്ക്കു മറെറാരുദാഹരണമാണ് *ടേൺസ്റ്റയിൽ*. ആപതിതവികിരണത്തിനും അതേ സമയം പരസ്പരവും ലംബവുമായ ഒരുജോടി ദ്വിധ്രുവങ്ങൾ ചേർന്നതാണ് ഈ ആന്റെന. രണ്ടു സിഗ്നലുകളും തമ്മിൽ കൂടിച്ചേരുന്നതിനു മുമ്പ്, ഒരു ദ്വിധ്രുവത്തിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നൽ മറേറതിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലിനേക്കാൾ ഫേസിനു് 90° പിറകിലായിരിക്കും. ആന്റെനയ്ക്കു സംവേദനക്ഷമമായ വൃത്തീയധ്രുവണത്തിന്റെ ദിശ, രണ്ടു സിഗ്നലുകളിലേതിനു് ഇപ്രകാരം കാലവിളംബമുണ്ടാകുന്നുവെന്നതിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും.

ഏകപുഞ്ജ സ്ഥിരാവൃത്തി റേഡിയോ ദൂരദർശികൾ

വിഹായസ്സിലെ റേഡിയോസ്രോതസ്സുകൾ ഗ്രഹങ്ങൾ മാത്രമായിരുന്നുവെങ്കിൽ അവയുടെ വികിരണങ്ങൾ നിദർശിക്കുന്നതും ഫ്ളക്സ് ഘനത്വം മാപനം ചെയ്യുന്നതും പ്രായേണ ലഘുവായ സംഗതികളായിരുന്നേനെ. ഒരൊററ ദലവും വേണ്ടത്ര വർധനയുമുള്ള ആന്റെന, ഒരു റിസീവർ, ഒരു റെക്കോർഡർ, അംശാങ്കനത്തിനുള്ള ഏതെങ്കിലുമൊരു ഉപാധി ഇത്രമാത്രമേ അതിനാവശ്യമുള്ളു. ആദ്യം ആന്റെന ഗ്രഹത്തിലേക്കും, പിന്നീട് അതിൽ നിന്നകലേയ്ക്കും അഭിമുഖമാക്കിവെയ്ക്കുകയും (അഥവാ ഗ്രഹം ബീമിനെ കുറുകെ കടന്നുപോകത്തക്കവിധം ബീം അഭിവിന്യസിക്കാം). റെക്കോർഡറിലെ വ്യതി

ചലനങ്ങളിലുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസങ്ങൾ നിരീക്ഷിക്കുകയും ചെയ്യാം. പിന്നീട് റിസീവറുമായി ആന്റെനക്കു പകരം ഘടിപ്പിച്ചിട്ടുള്ള അംശാങ്കകത്തിൽ നിന്നും വരുന്ന നിശ്ചിത പവർ ഉള്ള രവസിഗ്നലുപയോഗിച്ച് ഈ വ്യതിചലനത്തിന്റെ ഒരു തനിപകർപ്പുണ്ടാക്കാം. രവ സിഗ്നൽ ശക്തി മാത്രാ ബാൻഡ് വീതി ആന്റെനയുടെ പ്രഭാവിതല വിസ്തീർണം അഥവാ വർധന (പ്രാമാണിക ടെക്നിക്കുകളുപയോഗിച്ച് ഇതു് അളക്കുകയോ കണക്കുകൂട്ടി കണ്ടുപിടിക്കുകയോ ചെയ്യാം) എന്നിവയിൽ നിന്നും ഗ്രഹത്തിലുണ്ടാകുന്ന ഫ്ളക്സ് ഘനത്വം അനായാസമായി നിർണയിക്കാം.

വാസ്തവത്തിൽ, വളരെയേറെ ദിശീയതയുള്ള ഒരു ആന്റെനയുണ്ടെങ്കിൽ മാത്രമേ, ഗ്രഹങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള അതീവദുർബലമായ താപവികിരണം നിദർശിക്കുന്നതിനും, മാപനം ചെയ്യുന്നതിനും ഈ സരളമായ രീതി (നേർരീതി) പ്രയോഗക്ഷമമാവൂ. ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ ബീം 'കാണുന്ന' കോസ്മികറേഡിയോ രവം അധികമാകാതിരിക്കണമെങ്കിൽ ബീം വേണ്ടത്ര ഇടുങ്ങിയതായിരിക്കണം. ദിശീയത കുറഞ്ഞ ആന്റെനകളിൽ, ഗ്യാലക്സികരവത്തിന്റെ പ്രഭാവം കുറയ്ക്കാൻ വ്യതികരണമാപി ടെക്നിക്കുകളുപയോഗിക്കാം. സാരാംശത്തിൽ ഒരു ബഹു-പുഞ്ജആന്റെന തന്നെയായ വ്യതികരണമാപിയെപ്പററി പിന്നീട് ചർച്ച ചെയ്യാം.

പ്രത്യുത 30 മെ. ഹെ.ൽ താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും ഉൽസർജിക്കപ്പെടുന്ന പ്രായേണ ശക്തികൂടിയ രവ സ്പന്ദങ്ങളെ ഏററവും ലഘുവായ ഇനത്തിൽപ്പെടുന്ന റേഡിയോ ദൂരദർശിനികളുപയോഗിച്ച് നിദർശിക്കാനും മാപനം ചെയ്യാനും കഴിയും. പ്ലേററ് III ലെ സരളമായ യാഗി ആന്റെന കൊണ്ടു് പിടിച്ചെടുക്കുമ്പോൾ പോലും കോസ്മിക റേഡിയോ രവത്തിന്റെ തീവ്രതയെ മറികടക്കാൻ പാകത്തിൽ ശക്തിയേറിയവയാണ് ഈ സ്പന്ദങ്ങൾ. ഗ്യാലക്സിക പശ്ചാത്തലത്തിന്മേൽ അധ്യാരോപിതമായിരിക്കുന്ന കുറേയേറെ വ്യാഴഗ്രഹസ്പന്ദങ്ങൾ പ്ലേററ് X ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒരു സരള റേഡിയോ ദൂരദർശിയാൽ അഭിലേഖനം ചെയ്യപ്പെട്ടവയാണവ. സ്പന്ദ ആയാമത്തെ 'മാച്ച്' ചെയ്യുന്ന അംശാശോധക സിഗ്നലും നിർബാധമായ ഗ്യാലക്സിക പശ്ചാത്തലത്തെ മാച്ചുചെയ്യുന്ന അംശശോധക സിഗ്നലും തമ്മിലുള്ള അന്തരത്തിൽ നിന്നും മേൽപ്പറഞ്ഞ രീതിയിൽ സ്പന്ദത്തിന്റെ ശിഖര-ഫ്ളക്സ് ഘനത്വം നിർണയിക്കാം. റെക്കോർഡറിന്റെസമയ സ്ഥിരാംഗം സ്പന്ദത്തിന്റെ ഘടന കൃത്യമായി പ്രകടമാക്കാൻ പാകത്തിൽ വേണ്ടത്ര ചെറുതായിരിക്കണമെന്നു മാത്രം.

റിസീവറുകളും റെക്കോർഡറുകളും

റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന റിസീവറുകൾ പൊതുവേ സൂപ്പർഹെററിറോഡൈൻ ഇനത്തിൽ പെടുന്നവയാണ്. ഇതിനെപ്പററിയുള്ള വിവരണങ്ങൾ പ്രാഥമിക ഭൗതികത്തിലോ വൈദ്യുത എൻജിനീയ

യറിംഗ് പാഠ പുസ്തകത്തിലോ കാണാം. റിസീവറിന്റെ നിർഗമത്തെ സാധാരണയായി ഒരു പെൻ—റെകോർഡറിനോട് ഘടിപ്പിച്ചിരിക്കും. റിസീവറിൽ, സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന ഡയോഡ് നിദർശകത്തിനു പകരം വർഗനിയമ—നിദർശകം ഉപയോഗിച്ച്, സൂചികയുടെ വ്യതിചലനം സിഗ്നൽ പവറിന് ആനുപാതികമാക്കാം. ആവൃത്തി തുടർച്ചയായിമാററാവുന്ന റിസീവറുകളുടെ നിർഗമം അഭിലേഖനം ചെയ്യുന്നതിനും വ്യാഴസ്പന്ദങ്ങളോ സൗര രവസ്പന്ദങ്ങളോ വിശദമായി പഠിക്കുന്നതിനും കാഥോഡ് കിരണബിന്ദു ഛായാഗ്രഹണം ഉപയോഗിക്കുന്നു. അതിവേഗം പരക്കേ ഉപയോഗത്തിൽ വന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഡിജിററൽ റെകോർഡറുകളിൽ റിസീവർ നിർഗമം ആവർത്തിച്ചാവർത്തിച്ച് സാമ്പിളനം ചെയ്യപ്പെടുകയും ഒരു സംഖ്യാനുക്രമമായി അഭിലേഖനം ചെയ്യപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. അവ കംപ്യൂട്ടറിനാൽ പ്രക്രമണത്തിനും നേരിട്ടു നൽകാവുന്നതാണ്.

അനിയമിതരവം പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന സ്ഥിരസ്രോതസ്സിൽ നിന്നും സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന പവറിന്റെ അളവെത്രയെന്നു നിർണയിക്കാൻ ഒരു നിരീക്ഷണം നടത്തുമ്പോൾ ഹ്രസ്വമായ ഒരു സമയാന്തരാളത്തിലെ ശരാശരി പവറിന്റെ അളവാണ് നമുക്ക് ലഭിക്കുന്നതു്. തുടരെത്തുടരെയുള്ള മാപനങ്ങൾ കൃത്യമായും ഒരേ മൂല്യം തന്നെ പ്രദാനം ചെയ്യണമെന്നില്ല. മൂല്യങ്ങൾ ഒരു മാധ്യമികമൂല്യത്തിനേക്കാൾ ഏറിയും കുറഞ്ഞുമിരിക്കും. ശരാശരി അന്തരാളങ്ങളുടെ ദൈർഘ്യം കൂട്ടുകയാണെങ്കിൽ ഏററക്കുറച്ചിലുകളുടെ വ്യാപ്തി കുറയുകയും ശരാശരികൾ യഥാർഥ മാധ്യമികത്തോടടുക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. വ്യൂഹത്തിന്റെ സമയസ്ഥിരാങ്ക (T) ത്തിനോട് ഏറെക്കുറെ തുല്യമായ അന്തരാളത്തിൽ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന ശരാശരി പവറിനേയാണ് റേഡിയോ ദൂരദർശിയുടെ റെകോർഡർ സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. സമയസ്ഥിരാങ്കത്തിനു കാരണം പ്രധാനമായും പേനയുടെ ജഡത്വമോ നിദർശകത്തിനും റികോർഡറിനുമിടയിലെ നിമ്നആവൃത്തി നിസ്പന്ദനമോ അഥവാ രണ്ടിന്റെയും ഒരു സംയോജനമോ ആയിരിക്കും. അങ്ങനെ, റേഡിയോ ദൂരദർശിയിലെത്തുന്ന അനിയമിതരവത്തിന്റെയും ആന്തരികമായുണ്ടാകുന്ന രവത്തിന്റെയും ഫലമായി റെകോർഡറിലുണ്ടാകുന്ന ഏററക്കുറച്ചിലുകളെ സമയസ്ഥിരാങ്കം വർധിപ്പിച്ച് പരിമിതപ്പെടുത്താം. പക്ഷേ സിഗ്നലിന്റെ ശരാശരി ശക്തിയിലുണ്ടാകുന്ന സാരമായ മാററങ്ങളെ റെകോർഡറിനു അനുധാവനം ചെയ്യാൻ കഴിയത്തക്കവണ്ണം സമയസ്ഥിരാങ്കം വേണ്ടത്ര ചെറുതുമായിരിക്കണം.

റെകോർഡറിലെ ഏററക്കുറച്ചിലുകളുടെ വ്യാപ്തി റിസീവർ ബാൻഡ് വീതി Δf നെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. റേഡിയോ ആവൃത്തി—പ്രവർധകത്തിന്റെ ബാൻഡ് വീതി പ്രായേണ കൂടുതലാകയാൽ മൊത്തത്തിൽ റിസീവറിന്റെ ബാൻഡ് വീതി പ്രായോഗികമായി $i.f$ പ്രവർധകത്തിന്റേതുതന്നെയായിരിക്കും. സാധാരണയായി ഏതൊരു അനുനാദക വ്യൂഹത്തിന്റെയും ദോലനായാമം വ്യത്യാസപ്പെടുത്താനാവശ്യമായ സമയം, അതിന്റെ ബാൻഡ

വീതിയുടെ വ്യുൽക്രമത്തിന്റെ അതേ ക്രമത്തിലായിരിക്കും. അതായതു് അനുനാദം തീഷ്ണമാകുന്തോറും ദോലനങ്ങളുടെ വൃദ്ധിയും ക്ഷയവും സാവധാനത്തിലാവുന്നു. *i. f.* ദോലനങ്ങൾ അനിയതരൂപത്തിൽ നിന്നും വ്യുൽപ്പാദിപ്പിക്കപ്പെടുന്നവയാകയാൽ അവയിലെ ശക്തിക്കു് ഏറ്റക്കുറച്ചിലുകളുണ്ടാവുന്നു. $1/\Delta f$ നെ അപേക്ഷിച്ചു് ചെറുതായ സമയാന്തരാളത്തിൽ പവറിൽ മാററങ്ങളുണ്ടാവുകയില്ല. എന്നാൽ ഏറെക്കുറെ ഓരോ $1/\Delta f$ സെക്കന്റിലും പവർ ഒരു പുതിയ മൂല്യം പ്രാപിക്കും. അങ്ങനെ *i. f.* പവറിനെ സമയത്തിന്റെ ഒരു ഫലനമായി പ്രതിസെക്കന്റിൽ സ്വതന്ത്രമായ Δf മൂല്യങ്ങൾ കൊണ്ടു സൂചിപ്പിക്കാം. ഒരു ശരാശരി മൂല്യത്തിൽ നിന്നും അനിയമിതമായി മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഏതൊരു പരിമാണത്തിന്റെ കാര്യത്തിലും n സ്വതന്ത്രമൂല്യങ്ങളുടെ മാധ്യമികത്തിനുണ്ടാകുന്ന മാതൃകാ വ്യതിയാനവും, തനി ശരാശരിയും തമ്മിലുള്ള അനുപാതം $1/\sqrt{n}$ ന്റെ ക്രമത്തിലുള്ളതായിരിക്കും. ഇതു് സാംഖ്യികത്തിലെ വിഖ്യാതമായ ഒരു തത്വമാണു്. റെക്കോർഡറിന്റെ സമയസ്ഥിരാങ്ക (τ)ത്തിനു തുല്യമായ കാലയളവിൽ $\tau\Delta f$ സ്വതന്ത്രമൂല്യങ്ങളുണ്ടായിരിക്കും.

$$\text{അതിനാൽ} \quad \frac{\Delta P}{P} \simeq \sqrt{\frac{1}{\tau\Delta f}}$$

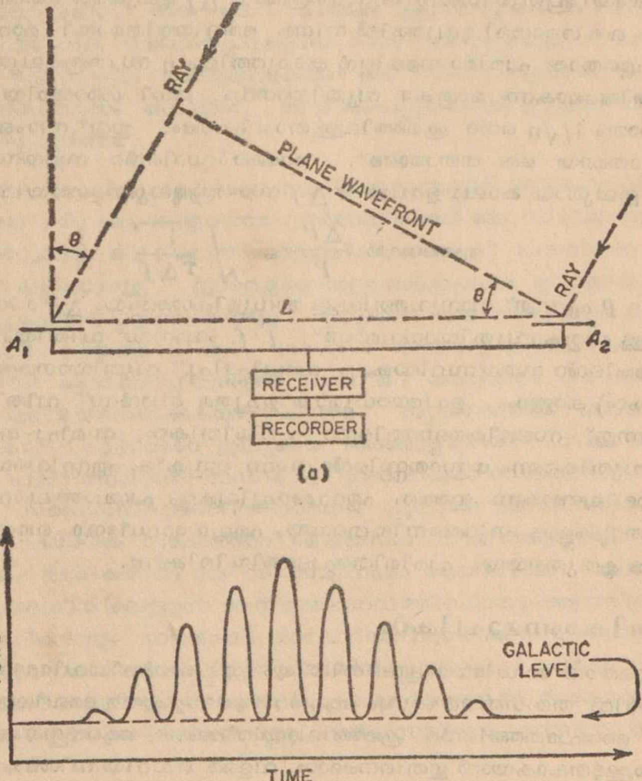
ഇവിടെ P എന്നതു് വാസ്തവത്തിലുള്ള മാധ്യമികശക്തിയും ΔP മാധ്യമികത്തിൽ നിന്നുള്ള മാതൃകാവ്യതിയാനവുമാണു്. *i. f.* ബാൻഡ് വീതിയും അഭിലേഖന വ്യൂഹത്തിന്റെ സമയസ്ഥിരാങ്കവും വർധിപ്പിച്ചു് വ്യതിയാനങ്ങൾ (ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ) കുറയ്ക്കാം. ഉപയോഗ്യമായ ഉച്ചതമ ബാൻഡ് വീതിയെ നിർണയിക്കുന്നതു് സജ്ജീകരണത്തിന്റെ പരിമിതികൾ, സമീപ–ആവൃത്തികളുമായുള്ള വ്യതികരണം സ്രോതസ്സിന്റെ തന്നെ സ്പെക്ട്രം എന്നിവയൊക്കെയാകും. സിഗ്നലിലുണ്ടാകുന്ന ഇത്തരം ഏററക്കുറച്ചിലുകളും പശ്ചാത്തലരവവും ദുർബല സ്രോതസ്സുകളുടെ നിദർശനീയതയെയും എല്ലാ റേഡിയോ ഖഗോളീയമാപനങ്ങളുടെ കൃത്യതയെയും പരിമിതപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു.

വ്യതികരണമാപികൾ

ഏതൊരു റേഡിയോ ദൂരദർശിനിയുടെയും കോണീയവിഭേദനം റേഡിയൽ കണക്കിൽ തരംഗദൈർഘ്യവും ആന്റെനയുടെ ഉച്ചതമ രേഖീയമാനവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തിന്റെ ക്രമത്തിലായിരിക്കും. ആന്റെനയുടെ ബീംവീതി വളരെക്കൂടുതലാകയാൽ ഇതിനെക്കാൾ വളരെ ചെറിയ വിശദാംശത്തെ വിഭേദനം ചെയ്യാൻ സാധ്യമല്ല. ചുരുക്കത്തിൽ ഗ്രഹീയ സ്രോതസ്സിന്റെ ഘടനാപരമായ വിശദാംശങ്ങളെ വിഭേദനം ചെയ്യാനോ സ്രോതസ്സിന്റെ വ്യാസത്തെപ്പററി ഏകദേശരൂപം ലഭിക്കാൻപോലുമോ വേണ്ടത്ര വലുപ്പമുള്ള പാരബോളജ ആന്റെനകളോ നിരക്ഷീയ വ്യൂഹമോ നിലവിലില്ല. എന്നിരുന്നാലും റേഡിയോ വ്യതികരണമാപികളുടെ സഹായത്താൽ അത്യധികം നേർത്ത പുഞ്ജവും തദനുസരണമായി ഉച്ച–വിഭേദനവും ആർജിക്കാം.

സരളവ്യതികരണമാപി

ഏതെങ്കിലും ഇനത്തിൽപ്പെട്ടന്ന രണ്ടു ആന്റെനകൾ ചേർന്നതാണ് ഏററവും സരളമായ വ്യതികരണമാപി. അവ തമ്മിലുള്ള അകലം L പ്രവർത്തന തരംഗ ദൈർഘ്യവുമായി തട്ടിച്ചു നോക്കുമ്പോൾ പളരെ കൂടുതലായിരിക്കും. പ്രേഷണ ലൈനുകൾ സിഗ്നലുകളെ ആന്റെനകളിൽ നിന്നും ഒരു സന്ധിയിലെത്തിക്കുന്നു. അവിടെ വച്ച് അവയെ സങ്കലനം ചെയ്ത് റിസീവറിലേക്കു് അയ



ചിത്രം 2.3

യ്ക്കുന്നു. ചിത്രം 2.3 ൻെറ സഹായത്താൽ വ്യതികരണമാപിയുടെ പ്രവർത്തനം മനസ്സിലാക്കാം. ആൻെറനകൾക്കു് A_1 എന്നും A_2 എന്നും പേരു നൽകിയിരിക്കുന്നു A_2, A_1 ന്റെ പടിഞ്ഞാറു ഭാഗത്താണ്. ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരി

കുന്ന കിരണങ്ങൾ (അവ വളരെ അകലെയുള്ള ഒരു ബിന്ദുസ്രോതസ്സിൽ നിന്നു വരുന്നവയാണെന്നു സങ്കല്പിച്ചിരിക്കുന്നു). മിറിഡിനൽ തല (അതായതു് L ന ലംബമായ ഒരു തലം) വുമായി θ എന്ന കോണുമുണ്ടാക്കുന്നു. ഓരോ തരംഗതലത്തിനും A_1 ലെത്താൻ A_2 ലെത്താൻ വേണ്ടതിനേക്കാൾ $L\sin\theta$ ദൂരം കൂടുതൽ സഞ്ചരിക്കേണ്ടതുണ്ടു്. A_1 ൽ നിന്നും A_2 ൽ നിന്നും സന്ധിയിലേക്കുള്ള പ്രേഷണ ലൈനുകളുടെ നീളം തുല്യമാണെങ്കിൽ സിഗ്നലുകൾ സന്ധിക്കുന്നിടത്തു് A_1 ൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നൽ A_2 ൽ നിന്നുമുള്ളതിനേക്കാൾ ഫേസിൽ $L\sin\theta \frac{360}{\lambda}$ ഡിഗ്രി പിമ്പിലായിരിക്കും. നിർദിഷ്ട സ്രോതസ്സു് ഒരു ഗ്രഹമോ റേഡിയോ നക്ഷത്രമോ ആണെങ്കിൽ അതു് ആകാശത്തിൽ കുറുകെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ θ യുടെ മൂല്യം നിമിഷംപ്രതി കൂടി കൂടി വരും. ഫേസ് വ്യത്യാസം $L\sin\theta \times \frac{360}{\lambda}$ 360° യുടെ ഒരു പൂർണ സംഖ്യാ ഗുണിതമായിരിക്കുമ്പോഴെല്ലാം (അഥവാ പാതവ്യത്യാസം $L\sin\theta$ തരംഗദൈർഘ്യത്തിന്റെ പൂർണസംഖ്യാഗുണിതമായിരിക്കുമ്പോഴെല്ലാം) റിസീവറിന്റെ നിവേശസ്ഥാനത്തു് രണ്ടു സിഗ്നലുകളും സംപോഷകമായി കൂടിച്ചേരും. അപ്പോൾ റിസീവറിനുള്ളിലെത്തുന്ന സിഗ്നൽ പവർ ഉച്ചതമമായിരിക്കും. നേരേ മറിച്ച് ഫേസ് വ്യത്യാസം 130° യുടെ ഒരു ഒറ്റ സംഖ്യാ ഗുണിതമായിരിക്കുമ്പോൾ സിഗ്നലുകൾ രണ്ടും റദ്ദായിപ്പോകുന്നു. അങ്ങനെ, θ വർധിക്കുന്തോറും റിസീവറിലെത്തുന്ന സിഗ്നൽ അടുത്തടുത്ത മാക്സിമം മിനിമകളിലൂടെ കടന്നു പോവുകയും ഒരു വ്യതികരണ സംരചന റെക്കാർഡു ചെയ്യപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു. (വിതരിതമായിരിക്കുന്ന കോസ്മിക രവത്തിന്റെ പശ്ചാത്തലമുള്ളതിനാൽ മിനിമങ്ങൾ പൂജ്യമായിരിക്കില്ല).

മാക്സിമയുണ്ടാകുന്നതിനുള്ള നിബന്ധന $n\lambda = L\sin\theta$ എന്നതാണ്. ഇവിടെ n ഒരു പൂർണസംഖ്യയാണ്. A_1, A_2 ആന്റെനകളിലോരോന്നിനും അതതിന്റേതായ ഒരു ദിശികപാറ്റേൺ ഉണ്ടു്. അതു് തീർച്ചയായും വ്യതികരണമായി ദലങ്ങളേക്കാൾ വളരെ വിസ്തൃതമായിരിക്കും. $\theta = 0$ ആയിരിക്കുമ്പോൾ A_1, A_2 ഇവകളിലോരോന്നിന്റെയും പുഞ്ജങ്ങൾ സ്രോതസ്സിന്റെ ദിശയിലേക്കു തിരിച്ചുവെച്ചിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ ദലങ്ങളുടെ മാക്സിമ (അതായതു്, അവയുടെ ബാഹ്യതലം) ആന്റെനകളിലേതെങ്കിലുമൊന്നിന്റെ ദിശികാപാറ്റേണിന്റെ അതേ ആകൃതിയുള്ള ഒരു വക്രത്തിന്മേലായിരിക്കും. കേന്ദ്രദല ($\theta = 0$ ആയിരിക്കുമ്പോൾ) മാണ് ഏററവും വലുതു്. കേന്ദ്രദലത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ദൂരത്തിനനുസരണമായി മററു ദലങ്ങളുടെ വലുപ്പം ക്രമേണ കുറഞ്ഞുവരും. ചിത്രം 2.3 ലെ വക്രം ഈ പ്രഭാവത്തെ ചിത്രീകരിക്കുന്നു. റേഡിയോ നക്ഷത്രം ആകാശത്തു് ഒരിടത്തു നിന്നു മറുഭാഗത്തേക്കു നീങ്ങുന്നതിനനുസരിച്ച് റിസീവർ നിർഗമത്തെ സമയത്തിന്റെ ഫലനമായി ആരേഖണം ചെയ്തിരിക്കുന്നതാണതു്. ഈ സരളമായ വ്യതികരണമാപിക്കു് "മൊത്തം പവർ വ്യതികരണമാപി"യെന്നു പറയുന്നു. അചല ചിത്രണത്തിന്റെ ഉച്ച

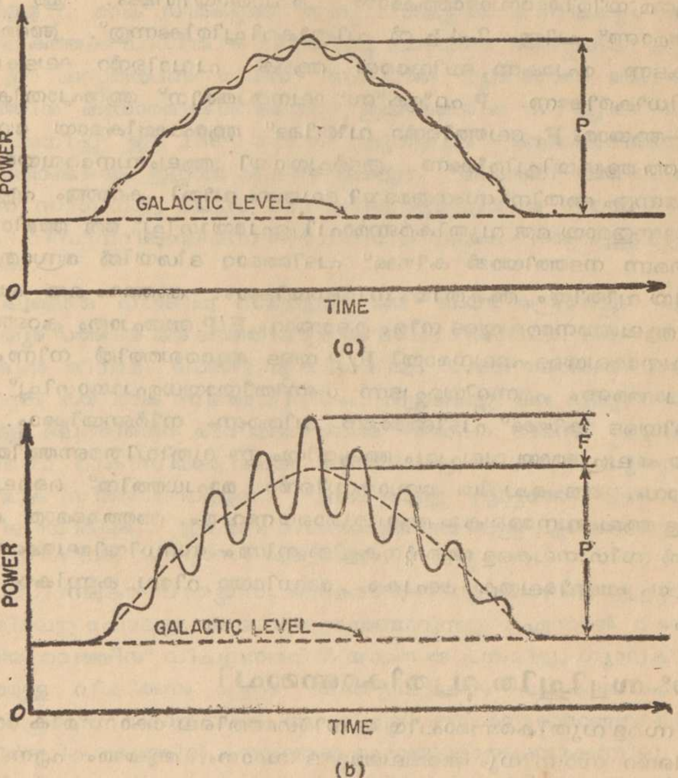
തമ-ആയാമം ആന്റെനയിൽ പതിക്കുന്ന പവറിനു ആനുപാതികമായിരിക്കുമെന്നതാണിതിനു കാരണം. അങ്ങനെ നോക്കുമ്പോൾ വ്യതികരണമാപിയുപയോഗിച്ച് നിർണയിക്കാവുന്ന പ്രാചലങ്ങളിലൊന്ന് ഫ്ളക്സ്ഘനത്വം S ആണ്.

വാസ്തവത്തിൽ, ഒരു വ്യതികരണമാപി പ്രായേണ വിസ്താരമേറിയ ആന്റെനാപുഞ്ജത്തെ വളരെ കൂടുതൽ വിഭേദനക്ഷമതയുള്ള നേർത്തതും (ഇടുങ്ങിയതും) ഫാൻ-ആകൃതിയുള്ളതുമായ അസംഖ്യം പുഞ്ജങ്ങളാക്കി രൂപഭേദം വരുത്തുന്നു. ഒററപ്പെട്ട സ്രോതസ്സുകളുടെ കോണീയ സ്ഥാനങ്ങൾ കൂടുതൽ കൃത്യമായി സ്ഥാപനം ചെയ്യാൻ ഈ രൂപാന്തരണം സഹായകമാവുന്നു. ഗ്രഹങ്ങളേപ്പോലെ തീരെ ചെറുതായ സ്രോതസ്സുകളുടെ കോണീയ വലുപ്പവും അളന്നു തിട്ടപ്പെടുത്താം.

സ്ഥിരനക്ഷത്രങ്ങളെന്നറിയപ്പെടുന്നവയ്ക്ക് ആപേക്ഷികമായി ആകാശത്തിൽ ഏതൊരു ബിന്ദുവിനെയും നിർദേശിക്കുന്നതിനു രണ്ടു നിർദേശാങ്ക കോണുകൾ ആവശ്യമാണ്. വിഷുവാംശവും, അപക്രമവുമാണ് സർവസാധാരണമായി ഇതിനുപയോഗിക്കുന്നത്. ഈ പരിമാണങ്ങളുടെ നിർവചനങ്ങൾ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൻെറ ഏതു പ്രാഥമിക ഗ്രന്ഥത്തിലും കാണും. ഖഗോളത്തിലെ അപക്രമം ഏറെക്കുറെ ഭൂമിയുടെ അക്ഷാംശത്തിനും വിഷുവാംശം രേഖാംശത്തിനും അനുരൂപമാണ്. വ്യതികരണമാപി ചിത്രത്തിലെ കേന്ദ്ര മാക്സിമമുണ്ടാകുന്ന സമയം, നിരീക്ഷണ ലയത്തിന്റെ അക്ഷാംശം എന്നിവയിൽ നിന്നും ഒരു റേഡിയോ നക്ഷത്രത്തിൻെറ വിഷുവാംശം നിർണയിക്കാം. തുടർച്ചയായ രണ്ടു മാക്സിമങ്ങൾക്കിടയിലെ സമയാന്തരാളം, ആലംബനരേഖയുടെ നീളം, തരംഗദൈർഘ്യം എന്നിവയിൽ നിന്ന് അപക്രമം കണക്കാക്കാം. ആലംബനരേഖയുടെ നീളം കൂടിയിരുന്നാൽ രണ്ടു ദിശാ നിർദ്ദേശാങ്കങ്ങളുടെയും മാപനത്തിൽ കൂടുതൽ കൃത്യതയുണ്ടായിരിക്കും.

വാസ്തവത്തിൽ റേഡിയോ സ്രോതസ്സുകളൊന്നും തന്നെ ബിന്ദുക്കളല്ല, തീർച്ച തന്നെ. ഒരു വ്യതികരണമാപി ദലത്തിൻെറ വീതിയുമായി തട്ടിച്ചുനോക്കുമ്പോൾ സ്രോതസ്സിന്റെ കോണീയ വീതി കുറവായിരുന്നാൽ നമുക്കു കിട്ടുന്ന പാറ്റേൺ ഒരു ബിന്ദുസ്രോതസ്സിന്റേതുതന്നെയായിരിക്കും. പ്രത്യുത ഒരു വ്യതികരണമാപി ദലവുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ സ്രോതസ്സ് വീതി കൂടിയതാണെങ്കിൽ വ്യതികരണ പാറ്റേണിൽ അഞ്ചലങ്ങൾ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയില്ലയെന്നുതന്നെ പറയാം. ചിത്രം 2-4 a കാണുക. അതിനുപകരം ഓരോ ആന്റെനയുടെയും ദിശാ പാറ്റേണുകൾക്ക് സംഗതമായി ഓരോ വിസ്തൃതമായ മാക്സിമം മാത്രമേ കാണൂ (സ്രോതസ്സ് ഈ പാറ്റേണുകളേക്കാൾ ഇടുങ്ങിയതാണെങ്കിൽ മാത്രം). അനേകം വ്യതികരണമാപി ദലങ്ങളുൾപ്പെടുന്ന ഒരു കോണിൽ വിതരിതമായിരിക്കുന്ന ബിന്ദുസ്രോതസ്സുകളുടെ ഒരു സമാഹാരമാണ് യഥാർഥ സ്രോതസ്സ് എന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ വ്യതികരണാഞ്ചലങ്ങളുടെ തിരോധാനത്തെ നമുക്ക് വിശദീകരിക്കാം. ഏതെങ്കിലുമൊരു നിർദിഷ്ട സമയത്ത് ബിന്ദുസ്രോതസ്സുകളിലേതാനുമെണ്ണം ദലത്തിന്റെ മാക്സിമയുടെ ദിശയിലായിരിക്കാം. എന്നാൽ ഏകദേശം അത്രയുമെണ്ണം മിനിമയുടെ ദിശകളിലും ഉണ്ടായിരിക്കും.

അങ്ങനെ വിശാല സ്രോതസ്സുകളുടെ കാര്യത്തിൽ അന്ധാലങ്ങൾ പ്രായേണ മുഴച്ചു കാണാറില്ല.



ചിത്രം 2.4

സാരമായ കോണീയ വ്യാസമുള്ള സ്രോതസ്സുകളുടെ വ്യതികരണമാപി റെക്കോർഡുകൾ

(a) സ്രോതസ്സ് വീതി ദലത്തിന്റെ കനത്തേക്കാൾ വളരെ കൂടുതൽ
(b) ദലത്തിന്റെ കനത്തോടു താരതമ്യപ്പെടുത്താവുന്ന സ്രോതസ്സ് വീതി

പ്ലേറ്റ് 1 കാൾ ജാൻസ്കിയും കോസ്മിക റേഡിയോരവം കണ്ടെത്താൻ അദ്ദേഹമുപയോഗിച്ച കറങ്ങും ആന്റെനയും. (ബൽ ടെലിഫോൺ ലബോറട്ടറീസിനോടു കടപ്പാട്).

പ്ലേറ്റ് II ആസ്ട്രേലിയായിൽ ഈയിടെ നിർമാണം പൂർത്തിയായ കോമൺവെൽത്ത് ശാസ്ത്രീയ–വ്യാവസായിക ഗവേഷണ സംഘടനയുടെ 210–അടി വ്യാസമുള്ള പാരബോളിക റേഡിയോ ദൂരദർശി. (സി. എസ്. ഐ. ആർ. ഒ. റേഡിയോ ഭൗതിക ലബോറട്ടറിയോടു ചിത്രത്തിനു കടപ്പാട്).

സ്രോതസ്സിന് വ്യതികരണമാപീദലത്തിന്റെ കനത്തോളം വിസ്തിയുണ്ടെങ്കിൽ അഞ്ചലങ്ങൾ ദൃശ്യമാവും. എന്നാൽ അവ സ്രോതസ്സ് ഒരു ബിന്ദുവിൽ കേന്ദ്രീകൃതമായിരിക്കുമ്പോഴത്തേക്കാൾ ചെറുതായിരിക്കും. ഈ സ്ഥിതി വിശേഷമാണ് ചിത്രം 2–4 b ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നത്. അഞ്ചലങ്ങളിലൂടെ കടന്നു പോകുന്ന ബിന്ദുരേഖ ആകെ പ്രവാഹത്തിന്റെ ഘടകാംശത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. P ഫ്ളക്സ് ഘനതത്വത്തിന് ആനുപാതികമാണ്. അഞ്ചല–ആയാമം F, ദലത്തിന്റെ വീതിക്ക് ആപേക്ഷികമായ സ്രോതസ്സ് വലുപ്പത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. തുടർച്ചയായി ആലംബനരേഖയുടെ നീളം കൂടി വരുന്നതും അതിന് സംഗതമായി ദലങ്ങൾ വീതി കുറഞ്ഞും എണ്ണത്തിൽ കൂടി വരുന്നതുമായ ഒരു വ്യതികരണമാപി ഉപയോഗിച്ച് ഒരു അഭിലേഖനപരമ്പര തന്നെ നടത്തിയാൽ കിഴക്ക് പടിഞ്ഞാറു ദിശയിൽ സ്രോതസ്സിന്റെ കോണീയ വീതിയും ആകൃതിയും നിർണയിക്കാം. അത്തരം ഒരു പരീക്ഷണത്തിൽ ആലംബനരേഖയുടെ നീളം കൂടുന്തോറും F/P അനുപാതം കുറഞ്ഞു വരും. ആലംബനരേഖയുടെ ഫലനമായി F/P യുടെ ആരേഖത്തിൽ നിന്നും ഫൂറിയർ രൂപാന്തരണം എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഗണിതീയായുധമുപയോഗിച്ച് സ്രോതസ്സ്ദ്യുതിയുടെ കിഴക്ക് പടിഞ്ഞാറൻ വിതരണം നിർണയിക്കാം. സ്രോതസ്സിന്റെ ഫലപ്രദമായ വലുപ്പവും ആകൃതിയും ഈ ദ്യുതിവിതരണത്തിൽ നിന്നും പ്രകടമാവും. ഒരു ചെറിയ സ്രോതസ്സിന്റെ മാപനത്തിന് മൈലുകളോളം നീളമുള്ള ആലംബനരേഖകൾ ആവശ്യമായെന്നുവരും. അത്തരമൊരു സാഹചര്യത്തിൽ സിഗ്നലുകളെ ആന്റെനകളിൽ നിന്നും സന്ധിയിലേക്കെത്തിക്കുന്നതിന് പ്രേഷണീലൈനുകൾക്കുപകരം റേഡിയോ റിലേ കണ്ണികൾ ഉപയോഗിക്കാം.

ഫേസ്-സ്വിച്ചിത വ്യതികരണമാപി

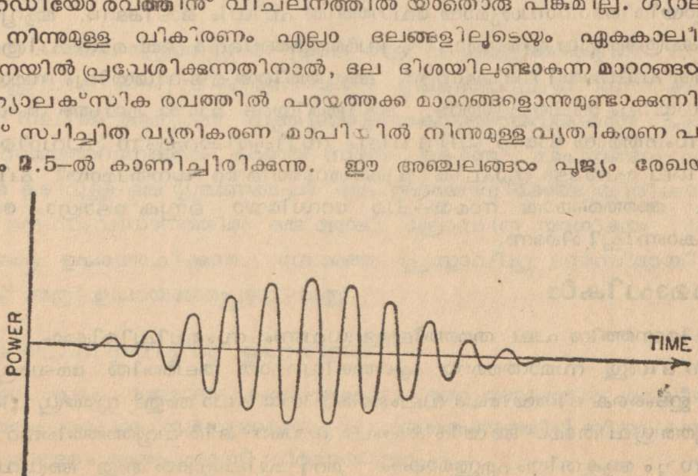
ഒരു സരള വ്യതികരണമാപിയുടെ നിർഗമത്തിലെ കോസ്മിക റേഡിയോ രവത്തിന്റെ സാന്നിധ്യം അഞ്ചലങ്ങളുടെ സ്ഥാനം, ആയാമം എന്നിവ നിർണയിക്കുന്നതിലുള്ള കൃത്യതയെ കുറയ്ക്കാനിടയാക്കുന്നു. സ്രോതസ്സ് വളരെ ദുർബലമാണെങ്കിൽ, കോസ്മിക രവത്താലുണ്ടാകുന്ന പ്രായേണ സ്ഥിരമായ വിചലനത്തിന്മേൽ അധ്യാരോപിതമായിരിക്കുന്ന വളരെ ചെറിയ ദോലനങ്ങളായിട്ടായിരിക്കും റെക്കാർഡർ ആരേഖണത്തിൽ വ്യതികരണ പാറ്റേൺ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നത്. (ഗ്യാലക്സിക സ്രോതസ്സ് ഒരു വ്യതികരണമാപി ദലകത്തിന്റെ കനത്തേക്കാൾ വളരെ വിസ്താരമുള്ളതാകയാൽ കോസ്മിക റേഡിയോ രവം വ്യതികരണ–അഞ്ചലങ്ങളുണ്ടാക്കുകയില്ല).

ഫേസ് സ്വിച്ചിത വ്യതികരണമാപി കൂടുതൽ സങ്കീർണമായ ഒരു ഉപകരണമാണ്. അതിൽ കോസ്മിക റേഡിയോ രവത്തിന്റെ അഭിലേഖനം ഒഴിവാക്കിയിരിക്കുന്നു. അതു കൊണ്ട് അതിൽ ദൃശ്യമാവുന്ന വിചലനങ്ങൾ കോണീയ വ്യാസം കുറവായ സ്രോതസ്സുകളുടെ വ്യതികരണ പാറ്റേണുകൾ

മാത്രമായിരിക്കും. സരള വ്യതികരണമാപിയുടെ ഭുജങ്ങളിലൊന്നിൽ നിന്നുള്ള സിഗ്നലുകളുടെ ഫേസ് 180° ഉയർത്തുകയാണെങ്കിൽ (ഉദാഹരണത്തിന് തരംഗനീളത്തിന്റെ പകുതി നീളമുള്ള ഒരു പ്രേഷണലൈൻ കൂട്ടതലായികൂട്ടിച്ചേർത്തു്), മാക്സിമകളുടെ ആദ്യ ദിശകളിൽ മിനിമകളും നേരെ മറിച്ചും ഉണ്ടാകത്തക്ക വിധത്തിൽ ദലത്തിന്റെ പാറ്റേൺ ആകപ്പാടെ വ്യത്യാസപ്പെടും. ഈ വസ്തുതയാണ് ഫേസ് സ്വിച്ചിത വ്യതികരണ മാപിയുടെ പ്രവർത്തനത്തിനു് ആധാരമായിരിക്കുന്നതു്. ഇലക്ട്രോണിക സ്വിച്ചിങ്ങ് ടെക്നിക്കുകളുപയോഗിച്ച് ഈ 180° ഫേസ് വ്യത്യാസം സെക്കൻറിലനേകം പ്രാവശ്യം ഉണ്ടാക്കുകയും ഇല്ലാതാക്കുകയും ചെയ്യാം. അങ്ങനെ അഭിലേഖനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന സിഗ്നൽ, ഫേസ് സ്വിച്ചിന്റെ തുടർച്ചയായ സ്ഥാനങ്ങൾക്കു സംഗതമായി റിസീവറിലുണ്ടാകുന്ന നിർഗമ സിഗ്നലുകൾ തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസമായിരിക്കും.

ഏതെങ്കിലുമൊരു നിർദിഷ്ട സമയത്തു് ഒരു ബിന്ദു സ്രോതസ്സ് പൂജ്യം ഫേസ് വ്യത്യാസത്തിൽ ഒരു ദലത്തിന്റെ മാക്സിമം ദിശയിലും, 180° ഫേസ് വ്യത്യാസത്തിൽ മിനിമം ദലത്തിന്റെ ദിശയിലും വരാനിടയായാൽ സിഗ്നൽ വ്യത്യാസം ഒരു മാക്സിമമായിരിക്കും. സ്രോതസ്സ് ഒരു പൂജ്യം ഫേസ് വ്യത്യാസമുള്ള ദലത്തിന്റെ മിനിമത്തിലേക്കു് അഥവാ ഫേസ് വ്യത്യാസമുള്ള ദലത്തിന്റെ മാക്സിമത്തിലേക്കു നീങ്ങുമ്പോൾ സിഗ്നൽ വ്യത്യാസം വീണ്ടും ഒരു മാക്സിമത്തിലെത്തുന്നു. എന്നാൽ ഇതു ആദ്യത്തേതിന്റെ വിപരീത ദിശയിലായിരിക്കും. ഈ രണ്ടു ദിശകൾക്കുമിടയിലുള്ള ഏതെങ്കിലുമൊരു ബിന്ദുവിൽ സിഗ്നൽ വ്യത്യാസം പൂജ്യമാവും,

അങ്ങനെ സിഗ്നലുകൾ വ്യത്യാസം റെക്കോർഡു ചെയ്യുമ്പോഴും സരളവ്യതികരണ മാപിയിലേതു പോലുള്ള അഞ്ചലങ്ങളാണുണ്ടാവുന്നതു്. എന്നാൽ കോസ്മിക റേഡിയോ രവത്തിനു് വിചലനത്തിൽ യാതൊരു പങ്കുമില്ല. ഗ്യാലക്സിയിൽ നിന്നുമുള്ള വികിരണം എല്ലാം ദലങ്ങളിലൂടെയും ഏകകാലികമായി ആന്റെനയിൽ പ്രവേശിക്കുന്നതിനാൽ, ദല ദിശയിലുണ്ടാകുന്ന മാററങ്ങൾ ആകെയുള്ള ഗ്യാലക്സിക രവത്തിൽ പറയത്തക്ക മാററങ്ങളൊന്നുമുണ്ടാക്കുന്നില്ല. ഒരു ഫേസ് സ്വിച്ചിത വ്യതികരണ മാപിയിൽ നിന്നുമുള്ള വ്യതികരണ പാററേൺ ചിത്രം 2.5–ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ അഞ്ചലങ്ങൾ പൂജ്യം രേഖയിന്മേൽ



ചിത്രം 2.5

സമമിതമാണ്. ഒരു സ്രോതസ്സിൻെറ ദിശയും, വികിരണത്തിൻെറ ഫ്ളക്സ് ഘനത്വവും നിർണയിക്കാൻ ഫേസ് സ്വിച്ചിത വ്യതികരണമാപി ഉപയോഗിക്കാം. എന്നാൽ ചിത്രം 2.4 ലെ മൊത്തം പവർ ഘടകാംശം ചിത്രം 2.5 ൽ പ്രകടമാവാത്തതിനാൽ സ്രോതസ്സിൻെറ വലുപ്പം കണക്കാക്കാൻ ഈ വ്യതികരണമാപി കൊണ്ടു സാധ്യമല്ല.

റേഡിയോ സ്പെക്ട്രോഗ്രാഫുകൾ

ഒരു വിശാലബാൻഡ് ആന്റെന, ഒരു മാർജക–ആവൃത്തി (swept frequency) റിസീവർ, ആവൃത്തിയുടെയും സമയത്തിൻെറയും ഫലനമായി സിഗ്നൽ പവറിനെ പ്രദർശിപ്പിക്കാൻ കഴിവുള്ള റെക്കാർഡർ എന്നിവയാണ് ഒരു റേഡിയോ സ്പെക്ട്രോഗ്രാഫിന്റെ അടിസ്ഥാന ഘടകങ്ങൾ. യാന്ത്രികമോ ഇലക്ട്രോണികമോ ആയ ഉപാധികളുപയോഗിച്ച് ആവശ്യമായ സ്പെക്ട്രമേഖയിൽ റിസീവർ ആവൃത്തി വീണ്ടും വീണ്ടും മാർജനം ചെയ്യുന്നു. കാഥോഡ് കിരണനാളിയിലെ പ്രകാശബിന്ദുവിനെ ഛായാഗ്രഹണം ചെയ്യാൻ കഴിവുള്ള ഒരു ചലച്ചിത്ര ക്യാമറാ റെക്കോർഡറായി ഉപയോഗിക്കാം. റിസീവറിൻെറ ട്യൂണിംഗിന് ഏകകാലികമായി പ്രകാശബിന്ദുവിനെ ക്ഷൈതിജമായി മാർജനം ചെയ്യുന്നു. റിസീവർ നിർഗമം അതിനെ ഊർധ്വാധരദിശയിലും വിചലിപ്പിക്കുന്നു. അങ്ങനെ പവറിനെ ആവൃത്തിയുടെ ഫലനമായി അതിവേഗത്തിൽ ആരേഖണം ചെയ്യുന്ന പ്രവർത്തനമാണ് റെക്കോർഡിങ്ങിൽ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്നത് (പ്ലേറ്റ് XII കാണുക). മറ്റൊരു ഫോട്ടോഗ്രാഫിക റെക്കോർഡിങ് സമ്പ്രദായത്തിൽ പ്രകാശബിന്ദുവിനെ ലംബദിശയിൽ വിചലിപ്പിക്കുന്നതിനുപകരം റിസീവർ നിർഗമം ഉപയോഗിച്ചു തീവ്രതാ-മോഡുലനം ചെയ്യുന്നു. തുടർച്ചയായ മാർജനങ്ങളുടെ പ്രതിബിംബങ്ങൾ അന്യോന്യം സമീപസ്ഥങ്ങളായിരിക്കാനാവശ്യമായ വേഗത്തിൽ ഫിലിം ഓടിക്കുന്നു. ആവൃത്തി–സമയ ക്ഷേത്രത്തിലെ വർണരാജി പ്രവർത്തനത്തിൻെറ ഒരു മാന ചിത്രമായിരിക്കും തത്ഫലമായി ലഭിക്കുന്നത്. ആവൃത്തിയെ ഒരു ദിശയിലും സമയത്തെ മറെറ ദിശയിലും രേഖപ്പെടുത്തുന്നു. ആവൃത്തിയുടെ ഓരോ മൂല്യത്തിനും സമയത്തിനും സംഗതമായ ഓരോ ബിന്ദുവിലും സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന പവറിനെ ആ ബിന്ദുവിലെ ഫോട്ടോഗ്രാഫിക പ്രകാശനത്തിൻെറ ഘനത്വമായി ചിത്രീകരിക്കുന്നു. അത്തരമൊരു സമയ–ചര റേഡിയോ സ്പെക്ട്രോഗ്രാം പ്ലേറ്റ് XIII ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

ധ്രുവണമാപികൾ

വികിരണത്തിനു പല തരത്തിലുള്ള ധ്രുവണം സംഭവിച്ചിരിക്കാം. അതു് പ്രസരണ ദിശയ്ക്കു സമാന്തരമായ ഏതെങ്കിലുമൊരു തലത്തിൽ രേഖാധ്രുവിതമാകാം. ഇടംകൈ ദിശയിലോ വലംകൈ ദിശയിലോ അതു് വൃത്തധ്രുവിതമോ ദീർഘവൃത്തധ്രുവിതമോ ആയിരിക്കാം. ധ്രുവണ ദീർഘവൃത്തത്തിൻെറ അഭിവിന്യാസവും ആകൃതിയും എന്തുമാകാം. മററു ചിലപ്പോൾ അതു് അധ്രുവിതമാ

യിരിക്കും; അഥവാ അധ്രുവിത ഘടകവും മേൽപ്പറഞ്ഞ ഏതെങ്കിലും ധ്രുവണം സംഭവിച്ച ഒരു ഘടകവും ചേർന്നതാവാം അത്.

മുഖ്യാക്ഷത്തിൻെറ നീളവും ഉപാക്ഷത്തിന്റെ നീളവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതത്തിനാണ് ധ്രുവണ ദീർഘവൃത്തത്തിൻെറ അക്ഷാനുപാതം എന്നു പറയുന്നത്. അക്ഷാനുപാതം യഥാക്രമം ∞ യും 1 ഉം ആയി വരുന്ന ദീർവൃത്ത ധ്രുവണത്തിന്റെ രണ്ടു പ്രത്യേക സന്ദർഭങ്ങൾ മാത്രമാണ് രേഖാധ്രുവണവും വൃത്തധ്രുവണവും. പൊതുവേ ഭാഗികമായി മാത്രം ധ്രുവണം സംഭവിച്ചിരിക്കുന്ന വികിരണത്തിന്റെ ധ്രുവണാവസ്ഥയെ പൂർണമായി വിവരിക്കുന്നതിനു് മൂന്നു സംഖ്യകൾ ആവശ്യമാണ്. അക്ഷാനുപാതം, ധ്രുവണകോണ് ധ്രുവണ ഭിന്നം എന്നിവയാണവ. പ്രസരണദിശക്കു സമാന്തരമായ ഒരു നിർദേശ തലത്തിനാപേക്ഷികമായി മുഖ്യാക്ഷത്തിനുള്ള ചെരിവു കോണാണ് ധ്രുവണകോണ്. ധ്രുവിതഘടകാംശത്തിൻെറ ഫ്ളക്സ് ഘനത്വവും ധ്രുവിതവും അധ്രുവിതവുമായ ഘടകാംശങ്ങളുടെ മൊത്തം ഫ്ളക്സ് ഘനത്വവും തമ്മിലുള്ള അനുപാതമാണ് ധ്രുവണഭിന്നം ദീർഘവൃത്ത ധ്രുവിത തരംഗത്തിൻെറ ഘൂർണന ദിശയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് അക്ഷാനുപാതത്തിൻെറ ചിഹ്നമാണ്. കീഴ്വഴക്കമനുസരിച്ച് വലംകൈ ദിശക്ക് അതു ഋണവും ഇടംകൈ ദിശക്ക് ധനവുമാണ്. ദ്വിധ്രുവങ്ങൾ പോലുള്ള രേഖാധ്രുവിത ആന്റെനകൾ ഉപയോഗിച്ച് ഒരു മൊത്തം—പവർ വ്യതികരണമാപിയുടെ സഹായത്താൽ, നിരന്തരം വികിരണോത്സർജനം നടത്തിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന സ്രോതസ്സുകളുടെ വികിരണത്തിൻെറ ധ്രുവണം നിർണയിക്കാം. ദ്വിധ്രുവങ്ങൾക്കു ഒരു ക്ഷൈതിജതലത്തിൽ വിഭിന്നങ്ങളായ അഭിവിന്യാസങ്ങൾ നൽകുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന വ്യതികരണാഞ്ചലങ്ങളുടെ ആയാമം, ആപേക്ഷികമായ സ്ഥാനങ്ങൾ എന്നിവയിൽ നിന്നും ധ്രുവണ പ്രാചലങ്ങൾ നിഗമനം ചെയ്ത് കണ്ടുപിടിക്കാം.

ഒരു ചഞ്ചല സ്രോതസ്സിൽ (ഉദാ: താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുള്ള വികിരണം) വികിരണത്തിന്റെ ധ്രുവണാവസ്ഥ നിർണയിക്കുന്നതിനു്, സിഗ്നലിൽ കാര്യമായ വ്യത്യാസമുണ്ടാകുന്നതിനാവശ്യമായ ഏററവും കുറഞ്ഞ സമയത്തിനേക്കാൾ കുറഞ്ഞ സമയം കൊണ്ടു് മാപനങ്ങൾ പൂർത്തിയാക്കാൻ കഴിവുള്ള ഒരു ധ്രുവണമാപി നാം ഉപയോഗിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. അതിനുള്ള ഒരു സംവിധാനത്തിൽ ഒരു ജോടി ക്രോസിത യാഗികൾ (പ്ലേററു് IV കാണുക) ഉപയോഗിക്കുന്നു. നേരത്തെ പ്രസ്താവിച്ച ടൺസ്ററയിൽ തത്വമാണ് അതു് ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നത്.

ഇലക്ട്രോണ സ്വിച്ചിങ് ഉപാധികൾ

ഇടം, വലം വൃത്തഘടകാംശങ്ങളുടെയും രണ്ടു അലംബിക രേഖീയ ഘടകങ്ങളുടെയും മാപനം സാധ്യമാക്കുന്നു. പ്രസ്തുത മാപനത്തിൽ നിന്നും മൂന്നു ധ്രുവണ പ്രാചലങ്ങളും അനുപമമായി നിർണയിക്കാം.4

ഭൗമാന്തരീക്ഷ പ്രഭാവങ്ങൾ

മുകളിൽ നിന്നും അയണമണ്ഡലത്തിൽ ലംബമായി വന്നു പതിക്കുന്ന വികിരണം, അതിൻെറ ആവൃത്തി ഒരു നിർദിഷ്ടമൂല്യത്തിനേക്കാൾ താഴെയാണെങ്കിൽ, അയണമണ്ഡലത്തിൽ പ്രതിഫലിച്ച് സ്പേസിലേക്കു തന്നെ മടങ്ങിപ്പോകും. ഈ 'ക്രാന്തിക ആവൃത്തി', അങ്ങനെയാണ് അതു് അറിയപ്പെടുന്നതു്, സാമാന്യമായിപ്പറഞ്ഞാൽ 3 മെ. സൈ/സെ നും 8 മെ./സെക്കൻെറിനുമിടയിലാണ്. അയണമണ്ഡലത്തിലെ സാഹചര്യങ്ങൾക്കനുസരിച്ച് അതിൽ മാററങ്ങളുണ്ടാകാറുണ്ട്. ആപതനം ചെരിഞ്ഞാണെങ്കിൽ ഇതിനേക്കാൾ ഉയർന്ന ആവൃത്തികളും പ്രതിഫലിച്ചുപോകും. താഴ്ന്ന അന്തരീക്ഷത്തിൽ അഥവാ ട്രോപ്പോസ്ഫിയറിലെ ഓക്സിജൻ, ജലബാഷ്പം എന്നിവ മൂലമുണ്ടാകുന്ന അവശോഷണം 15000 മെ. സൈ/സെക്കൻെറിനുമേൽ രൂക്ഷമാവുന്നു. അന്തരീക്ഷം സുതാര്യമായിട്ടുള്ള സ്പെക്ട്രമേഖലയിൽ പോലും അപവർത്തനവും പ്രസ്ഫുരണവും (scintillation) സംഭവിക്കുന്നുണ്ട്.

ശിരോബിന്ദുവിൽ നിന്നും അന്തരീക്ഷത്തെ തുളച്ചിറങ്ങുന്ന കിരണങ്ങൾക്ക് അപവർത്തനം സംഭവിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ മററെല്ലാ ദിശകളിൽ നിന്നുമുള്ള കിരണങ്ങൾ അയണമണ്ഡലത്തിലും ട്രോപ്പോസ്ഫിയറിലും വളയുന്നു. തത്ഫലമായി സ്രോതസ്സിൻെറ ഉന്നതാംശകോണ് ഉയർന്നതായി തോന്നും. സെനിത്തിൽ നിന്നുമുള്ള കോണും കൂടുന്നതനുസരിച്ച് ഈ അപവർത്തനവും വർധിക്കുന്നു. ട്രോപ്പോസ്ഫിയറിൽ റേഡിയോതരംഗത്തിനുണ്ടാകുന്ന അപവർത്തനം ഏറക്കുറെ പ്രകാശത്തിനുണ്ടാകുന്ന അപവർതനത്തോടു തുല്യമാണ്; സാധാരണയായി അതു് 1° യേക്കാൾ വളരെ കുറവായിരിക്കും. അയണമണ്ഡലത്തിൽ ആവൃത്തി കുറയുന്തോറും അപവർത്തനം കൂടുന്നു. താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലും കൂടിയ സെനിത്ത് കോണുകളിലും അതു് പല ഡിഗ്രികൾ വരെയാകാം.

ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ കടന്നുപോകുന്നതിൻെറ ഫലമായി ഖഗോളീയ സ്രോതസ്സുകളിൽ നിന്നുമുള്ള വികിരണത്തിനു് രൂക്ഷമായ വ്യതിയാനങ്ങൾ (ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ) ഉണ്ടാവുമെന്നു് അധ്യായം I ൽ നാം കണ്ടു. അയണമണ്ഡലത്തിലെ സാന്ദ്രമായ F മേഖലയിലൂടെ വികിരണം കടന്നുപോകുമ്പോഴാണ് ഈ 'പ്രസ്ഫുരണം' സംഭവിക്കുന്നതു്. F മേഖലയിൽ ഉച്ചവേഗത്തിൽ ഒഴുകി നടക്കുന്ന അയോൺ സംഘാതം ചലിക്കുന്ന ലെൻസുപോലെയോ വിഭംഗന ഗ്രേററിങ്ങുപോലെയോ പ്രവർത്തിക്കുകയും ഭൂമിയിൽ അവ്യവസ്ഥിതമായ ചില പാറേറണുകൾ പതിപ്പിക്കുന്നുവെന്നും പറയാം. ചില ഭാഗങ്ങളിൽ തീവ്രത ഉച്ചമായിരിക്കും, മററു ഭാഗങ്ങളിൽ പ്രായോഗികമായി പൂജ്യവുമായിരിക്കും. ഈ ഭാഗങ്ങൾ അയണമണ്ഡലസംഘാതങ്ങളുടെ അതേ വേഗത്തിൽ നീങ്ങിക്കൊണ്ടുമിരിക്കും. പ്രകാശികത്തിലെന്നപോലെ ഇവിടെയും സ്രോതസ്സിൻെറ കോണീയവലുപ്പം കുറവായിരുന്നാൽ ഫോക്കസനവും തരംഗവ്യതികരണ പ്രതിഭാസവും കൂടുതൽ പ്രകടമായിരിക്കും.

താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലുണ്ടാകുന്ന സ്വാഭാവികവും കൃത്രിമ (മനുഷ്യനിർമിത) വുമായ വ്യതികരണത്തിലേറിയ പങ്കിനു നിദാനം അന്തരീക്ഷം തന്നെ യാണ്. റേഡിയോ സ്ഥിതികരവത്തിന്റെ ഉറവിടമായ മിന്നൽ തീർച്ചയായും ഒരു അന്തരീക്ഷപ്രതിഭാസം തന്നെയാണ്. ഭൂമിയുടെ വക്രതലത്തിലവിട വിടെയുള്ള റേഡിയോസ്റ്റേഷനുകളിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളുടെയും സ്ഥിതികരവത്തിന്റെയും പ്രസരണം അയണമണ്ഡലത്തിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രതിഫലനത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. അയണമണ്ഡലഘനത്വം ഏററവും താഴ്ന്നിരിക്കുമ്പോഴാണ് സാധാരണയായി അത്തരം വ്യതികരണങ്ങൾ ഏററവും കുറഞ്ഞിരിക്കുന്നത്. കാരണം, സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുള്ള വികിരണത്തിലേറിയ പങ്കും അയണമണ്ഡലം കടന്ന് അപ്പുറത്തേക്കു പോകുന്നു; ഭൂമിയിലേക്കു പ്രതിഫലിച്ചു മടങ്ങിവരുന്നത് വളരെ തുച്ഛമായിരിക്കും.

താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലുള്ള ഗ്രഹീയറേഡിയോ സിഗ്നലുകൾ നിരീക്ഷിക്കുന്നതിന് അയണമണ്ഡലം അങ്ങേയററം സുതാര്യമായിരിക്കുന്ന കാലയളവുകൾ പരമാവധി ഉപയോഗപ്പെടുത്തണം. നിർദിഷ്ട സിഗ്നലുകളുടെ ശോഷണം കുറയ്ക്കുന്നതിനു മാത്രമല്ല മററു വ്യതികരണസിഗ്നലുകളുടെ ശല്യം കുറയ്ക്കുന്നതിനു കൂടിയാണിങ്ങനെ ചെയ്യേണ്ടതു്. അയണീകരണത്തിൻെറ പ്രധാന കാരണം സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള അൾട്രാവയലററ് വികിരണമാകയാൽ സൂര്യാസ്തമയത്തിനു ശേഷം താഴത്തെ E മേഖലയിൽ അതിവേഗത്തിലും, അതിനുമേലുള്ള F മേഖലയിൽ സാവധാനത്തിലും അയണമണ്ഡലഘനത്വം കുറയുന്നു. അടുത്ത സൂര്യോദയത്തിനു മുമ്പ് അയണമണ്ഡലം നീചതമഘനത്വം—അതായത് ഉച്ചതമ സുതാര്യത കൈവരിക്കുന്നു. സുപരിചിതമായ ഏകാദശവത്സര (11–വർഷ) ചക്രത്തെ തുടർന്ന് സൂര്യകളങ്കപ്രവർത്തനം കുറഞ്ഞുവരുന്നതിനനുസരിച്ചും അയണമണ്ഡലഘനത്വം കുറയുന്നു. സൂര്യകളങ്കപ്രവർത്തനങ്ങൾ മിതമായിരിക്കുന്ന വർഷങ്ങളിൽ ശീതകാലത്തു് തെക്കൻ ഐക്യനാടുകളിലെ സ്റ്റേഷനുകൾക്ക് ഏതുസമയത്തും സെനിത്തിനോടടുത്ത സ്രോതസ്സുകളെ തൃപ്തികരമാം വണ്ണം നിരീക്ഷിക്കാം. നിരീക്ഷിക്കേണ്ട ആവൃത്തി തീരെക്കുറഞ്ഞതു് 30 മെ. ഹെ. എങ്കിലും ആയിരിക്കണമെന്നുമാത്രം. സൂര്യാസ്തമയം കഴിഞ്ഞാലുടൻ തന്നെ ഉപയോഗ്യമായ ഏററവും കുറഞ്ഞ ആവൃത്തി ഏകദേശം 20 മെ. ഹെ. ആയി താഴുന്നു. അർധരാത്രിക്കും അരുണോദയത്തിനുമിടയിൽ 10 മെ. ഹെ. നോളം താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയും ഉപയോഗിക്കാം.

ട്രോപ്പോസ്ഫിയറിക അവശോഷണം മൂലം റേഡിയോനിരീക്ഷണങ്ങൾ 15,000 മെ. ഹെ. വരെയായി പരിമിതപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ഓക്സിജൻെറയും ജലബാഷ്പതന്മാത്രകളുടെയും ഘൂർണനോർജവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന അവശോഷണം ചില ആവൃത്തിബാൻഡുകളിൽ കൂടുതൽ രൂക്ഷമാവാറുണ്ട്. അവശോഷണബാൻഡുകൾക്കിടയിലുള്ള ചില വാതായനങ്ങളിൽ കൂടെ ഖഗോളീയ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്താൻ സാധിക്കും. അത്തരം വാതായനങ്ങൾ ഏറെക്കുറെ 9 മിമീ, 3.5 മി.മി, 2 മി. മീ, 1.3 മി മീ എന്നീ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളോടടു

ത്താണ് കാണപ്പെടുന്നത്. ഈ വാതായനങ്ങൾക്കുള്ളിലെ അവശോഷണം തന്നെയും ഒരു വലിയ പ്രശ്നമാണ്. നിരീക്ഷണാലയങ്ങൾ ഉന്നത സ്ഥാനങ്ങളിൽ സ്ഥാപിച്ചും, ആർദ്രത കുറഞ്ഞ സമയങ്ങളിൽ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയും ഇതു് ഒട്ടൊക്കെ പരിഹരിക്കാം.

അന്തരീക്ഷത്തിനു മുകളിൽ നിന്നുമുള്ള നിരീക്ഷണങ്ങൾ

അന്തരീക്ഷത്തിനു മുകളിൽ നിന്നും നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുകയാണെങ്കിൽ താഴ്ന്ന ആവൃത്തിയിലെ അയണമണ്ഡലപ്രഭാവങ്ങളും ഉന്നതാവൃത്തികളിലെ ട്രോപ്പോസ്ഫീയറിക അവശോഷണവും ഒഴിവാക്കാം. കൃത്രിമോപഗ്രഹങ്ങളിലും സ്പേസ് പരിശോധകങ്ങളിലും വെച്ചിട്ടുള്ള ലഘുറേഡിയോ ദൂരദർശികളുപയോഗിച്ച് ഇതിനോടകം തന്നെ പ്രാഥമികപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിക്കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. ഭാവിയിൽ കൂടുതൽ വലുതും വിപുലവും സങ്കീർണവുമായ റേഡിയോ ദൂരദർശികൾ ഭ്രമണപഥത്തിലെത്തും. താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലേക്ക് നൂറു കണക്കിന് അടി നീളമുള്ള ദ്വിധ്രുവങ്ങളായിരിക്കും ആൻറനകളായുപയോഗിക്കുന്നത്. മില്ലിമീറ്റർ തരംഗങ്ങൾക്കും അതിനു താഴെയും ചെറുതെങ്കിലും കൃത്യതയുള്ള പരാബോളജആൻറനകളാവും ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നത്. ചന്ദ്രനിലേക്കുള്ള യാത്രാസൗകര്യങ്ങൾ (മടക്കയാത്രയും) മെച്ചപ്പെടുന്നതോടെ മനുഷ്യനോടുകൂടിയ സ്ഥിരമായ റേഡിയോ ഖഗോളനിരീക്ഷണാലയങ്ങൾ ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിൽ സ്ഥാപിതമാവും. ഭൗമ—രവങ്ങളുടെ ശല്യമുണ്ടാകാതിരിക്കാൻ മിക്കവാറും അതു് ചന്ദ്രൻെറ മറുവശത്തായിരിക്കും സ്ഥാപിക്കുന്നതു്. അതോടെ 10 മെ ഹെ. മുതൽ ഏററവും താണ ആവൃത്തിവരെയും 15000 മെ ഹെ. മുതൽ ഇൻഫ്റാറെഡ് വരെയുമുള്ള അതിവിപുലമായ സ്പെക്ട്രമേഖല ഗ്രഹവ്യൂഹത്തിൻെറയും ശേഷം പ്രപഞ്ചത്തിൻെറയും പഠനത്തിന് പ്രാപ്യമായിത്തീരും.

ചന്ദ്രനിൽ നിന്നും ഗ്രഹങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള താപവികിരണം

കേവലപൂജ്യത്തിനുമേൽ താപനിലയുള്ള ഏതു വസ്തുവും 'താപവികിരണം' എന്നറിയപ്പെടുന്ന വിശാലസ്പെക്ട്രം ഉത്സർജിക്കുന്നു. വസ്തു വേണ്ടത്ര തപ്തമാണെങ്കിൽ ദൃശ്യവികിരണങ്ങൾ കൊണ്ട് മിന്നിത്തിളങ്ങുന്നു. അപ്പോൾ അതു് സൂര്യനെപ്പോലെയോ വൈദ്യുതബൾബിലെ ഫിലമെൻറുപോലെയോ താപദീപ്തമായെന്നു നാം പറയുന്നു. വസ്തു കുറേക്കൂടി ശീതളമാണെങ്കിൽ അതിന്റെ ഉത്സർജനം മിക്കവാറും സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഇൻഫ്റാറെഡ് മേഖലയിലായിരിക്കും. അപ്പോൾ അതു് ഉത്സർജിക്കുന്ന ഊർജത്തെ 'താപവികിരണം' എന്നു പറയുന്നു. സുപരിചിതവും സരളമെന്നു തോന്നുന്നതുമായ ഈ വസ്തുതകളുടെ വസ്തുനിഷ്ഠമായ വിശദീകരണം സൈദ്ധാന്തികന്മാർക്കു് ഒരു കീറാമുട്ടിയായിരുന്നു. പ്രശ്നപരിഹാരാർത്ഥം മൗലികമായി നൂതനമെന്നു പറയാവുന്ന ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തം ആവിഷ്കരിക്കുവാൻ വാക്യാർത്ഥത്തിൽ തന്നെ പ്ലാങ്ക് നിർബന്ധിതനായി. അങ്ങനെ താപവികിരണപഠനത്തിൽ നിന്നും, ആധുനിക ഭൗതികത്തിലെ ഏററവും വിചാരോജ്ജ്വലമായ സങ്കല്പനങ്ങളിലൊന്നു ഉദിച്ചുയർന്നു.

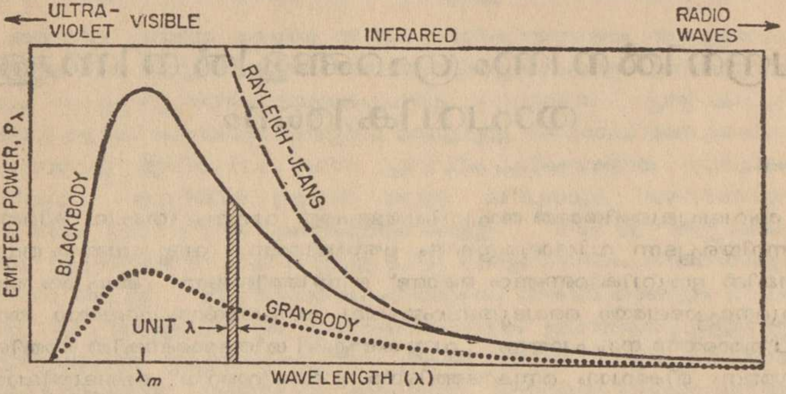
താപവികിരണസിദ്ധാന്തം

കൃഷ്ണികാവക്രം

ഭൗതികത്തിലെ ചില മണ്ഡലങ്ങളെ ഒരൊററ വക്രം കൊണ്ടു തന്നെ ഏറക്കുറെ സമഗ്രമായി വിശദീകരിക്കാം. താപവികിരണത്തെക്കുറിച്ചുള്ള പഠനം അത്തരമൊരു മണ്ഡലമാണ്. ചിത്രം 3–1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്ന 'കൃഷ്ണിക' വക്രം എന്നറിയപ്പെടുന്ന വക്രമാണ് അതിനുപയോഗിക്കുന്നതു്.

എന്താണ് ഈ വക്രത്തിന്റെ അർത്ഥം? ആപതിതവികിരണത്തെയാകമാനം അവശോഷണം ചെയ്യുന്ന ഒരു വസ്തുവാണ് കൃഷ്ണിക. ദൃശ്യവർണരാജിയിൽ, കരികൊണ്ടു മൂടിയ പ്രതലം ഏറക്കുറെ ഈ ലക്ഷണമൊത്ത ഒന്നാണ്. ആപതിതപ്രകാശത്തിന്റെ ഒരു ശതമാനത്തോളം മാത്രമേ അതു പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്നുള്ളുവെന്നതാണതിനു കാരണം. നല്ല അവശോഷകം നല്ല ഒരു ഉത്സർജകം

(വികിരണകാരി) കൂടിയാകയാൽ കൃഷ്ണിക തന്നെയാണ് ഏററവും കാര്യക്ഷമമായ താപ–വികിരണകാരി. ഒരു സ്ഥിരതാപനിലയിൽ ആദർശവികിരണകാരി ഉത്സർജിക്കുന്ന പവർ തരംഗനീളത്തിനനുസരണമായി എങ്ങനെ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്ന് ചിത്രം 3.1 വ്യക്തമാക്കുന്നു. ഈ വക്രത്തിന്റെ വ്യുൽപ്പാദന



ചിത്രം 3–1.

ഒരു കൃഷ്ണിക (കറുത്തവസ്തു) യുടെയും ധൂസരവസ്തുവിൻെറയും T താപനിലയിലെ താപവികിരണവക്രങ്ങൾ. T വർധിക്കുകയാണെങ്കിൽ വക്രങ്ങളുടെ ഉയരവും വർധിക്കും. ശിഖരങ്ങൾ ഇടത്തോട്ടു നീങ്ങുകയും ചെയ്യും.

മാണ് പ്ലാങ്കിനെ ഈ നൂററാണ്ടിൻെറ പ്രാരംഭത്തിൽ ക്വാണ്ടം സിദ്ധാന്തത്തിലേക്കു നയിച്ചതു്. Y–അക്ഷത്തിൽ ആരേഖനം ചെയ്തിരിക്കുന്ന P_λ ഒരൊററ തരംഗനീളം λ യിൽ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ശക്തിയല്ല. (അതു് 0 ആയിരിക്കും!) പ്രത്യേക ഏകമാത്രാവീതിയുള്ള ഒരു തരംഗബാൻഡിൽ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന പവർ ആണ്. അതായതു് λ മൈക്രോൺ തോതിൽ അളക്കുകയാണെങ്കിൽ ബാൻഡ്‌വീതി ഒരു മൈക്രോൺ ആയിരിക്കും. ചിത്രത്തിലെ ഷേഡ് ചെയ്ത ഭാഗം അത്തരമൊരു ബാൻഡിനെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു.

റാലെ-ജീൻസ് സൂത്രം

കൃഷ്ണികാവികിരണവക്രത്തിൻെറ പ്ലാങ്ക് സമീകരണം ക്ലിഷ്ടമാണെങ്കിലും, വക്രത്തിന്റെ വലത്തെ അററത്തു മാത്രം ഒതുങ്ങിനില്ക്കുന്ന റേഡിയോതരംഗങ്ങൾക്ക് പ്രസ്തുത സമീകരണത്തിൻെറ സരളമായ ഒരു ഏകദേശനം ഉപയോഗിക്കാം. കൃഷ്ണികാപ്രശ്നം നിർധാരണം ചെയ്യുന്നതിനുവേണ്ടി നടത്തി പരാജയപ്പെട്ട പരിശ്രമങ്ങളിലൊന്നു് റാലേയും ജീൻസും കൂടി നടത്തിയതായിരുന്നു. അവരുടെ പരീക്ഷണഫലങ്ങൾ ചിത്രം 3.1 ൽ ഇടമുറിഞ്ഞ വക്രമായി കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.

λ യുടെ കൂടിയ മൂല്യങ്ങളിൽ റാലേ ജീൻസ് സൂത്രം കൃഷ്ണികാവികിരണ ദത്ത (data) ങ്ങളുമായി പൊരുത്തപ്പെടുന്നു. എന്നാൽ വക്രത്തിന്റെ ശിഖരത്തോടടുത്ത് പ്രസ്തുത സൂത്രം ശരിയാകുന്നില്ല. λ പൂജ്യത്തോടടുക്കുന്തോറും വക്രം അനന്തതയിലേക്കു പോകുന്നു. റാലേ ജീൻസ് സമീകരണം സരളമാകയാലും, തങ്ങൾക്കു താല്പര്യമുള്ള മേഖലയിൽ അനുയോജ്യമാകയാലും റേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാനികൾ പൊതുവേ ഈ ഏകദേശനം ഉപയോഗിക്കുന്നു. സാധാരണ റേഡിയോ ഖഗോളീയമാത്രയിൽ റാലേ ജീൻസ് സമീകരണം ഇങ്ങനെയെഴുതാം.

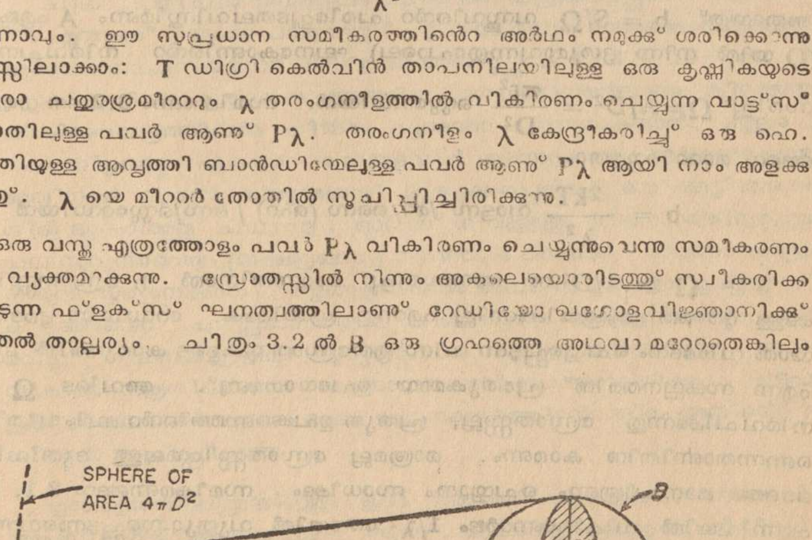
$$P\lambda = \frac{2\pi kT}{\lambda^2} \text{ വാട്ട്/മീ}^2\text{/സൈ: / സെ} \quad (3.1)$$

ഇതിൽ k ബോൾട്ട്സ്മാൻ സ്ഥിരാങ്കം 1.38×10^{-23} ജൂൾസ് / ഡിഗ്രിയാണ്. ഈ സമീകരണത്തിലെ സംഖ്യാഘടകങ്ങളെ ഒന്നിച്ചുചേർത്താൽ സമീകരണം 3.1

$$P\lambda = 8.66 \times 10^{-23} \frac{T}{\lambda^2} \text{ വാട്ട് സ്/മീ}^2\text{/സൈ (ഹെ) / സെ.}$$

എന്നാവും. ഈ സുപ്രധാന സമീകരത്തിന്റെ അർത്ഥം നമുക്ക് ശരിക്കൊന്നു മനസ്സിലാക്കാം: T ഡിഗ്രി കെൽവിൻ താപനിലയിലുള്ള ഒരു കൃഷ്ണികയുടെ ഓരോ ചതുരശ്രമീററും λ തരംഗനീളത്തിൽ വികിരണം ചെയ്യുന്ന വാട്ട്സ് തോതിലുള്ള പവർ ആണ് $P\lambda$. തരംഗനീളം λ കേന്ദ്രീകരിച്ച് ഒരു ഹെ. വീതിയുള്ള ആവൃത്തി ബാൻഡിന്മേലുള്ള പവർ ആണ് $P\lambda$ ആയി നാം അളക്കുന്നത്. λ യെ മീററർ തോതിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു.

ഒരു വസ്തു എത്രത്തോളം പവർ $P\lambda$ വികിരണം ചെയ്യുന്നുവെന്നു സമീകരണം 3.1 വ്യക്തമാക്കുന്നു. സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും അകലെയൊരിടത്ത് സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഫ്ളക്സ് ഘനത്വത്തിലാണ് റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനിക്ക് കൂടുതൽ താല്പര്യം. ചിത്രം 3.2 ൽ B ഒരു ഗ്രഹത്തെ അഥവാ മറേറതെങ്കിലും



ചിത്രം 3.2

വികിരണകാരിയെ പ്രതിനിധീകരിക്കുമ്പോൾ O പ്രസ്തുത സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും D അകലെയുള്ള നിരീക്ഷകനാണ്. സ്രോതസ്സിന്റെ $4\pi r^2$ വിസ്തീർണമുള്ള പ്രതലത്തിൽ നിന്നും ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന ഫ്ളക്സ് O യിലെത്തുമ്പോൾ $4\pi D^2$ പ്രതലവ സ്തീർണമുള്ള വളരെ വലിയ ഗോളത്തിന്റെ ഉപരിതലത്തിലെമ്പാടും വ്യാപിക്കുന്നു. തത്ഫലമായി ഫ്ളക്സ് ഘനത്വം $(r/D)^2$ അംശമായി കുറയുന്നു (ഇതു് തീർച്ചയായും വെറുമൊരു വ്യൽക്രമവർഗനിയമം മാത്രമാണ്). അങ്ങനെ O യിലെ നിരീക്ഷകൻ മാപനം ചെയ്യുന്ന ഫ്ളക്സ് ഘനത്വം

$$S = \frac{2\pi kT}{\lambda^2}\left(\frac{r}{D}\right)^2 \text{ വാട്ടസ്/മീ²/സൈ (ഹെ) / സെ.} \qquad (3.2)$$

ആയിരിക്കും.

സമീകരണം 3.2 നെ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ സാധാരണയായി സ്രോതസ്സിന്റെ ദ്യുതി (b) എന്നറിയപ്പെടുന്ന പദം കൊണ്ടാണ് വ്യവഹരിക്കാറുള്ളതു്. ഇവിടെ b എന്നതു് സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഫ്ളക്സ് ഘനത്വത്തെ സ്രോതസ്സ് സമ്മുഖമാക്കുന്ന ഘനകോണ് Ω കൊണ്ടു ഭാഗിക്കുന്നതിനോടു തുല്യമാണ്. അതായതു് $b = S/\Omega$ വസ്തുവിന്റെ പരിച്ഛേദതലവിസ്തീർണം A എങ്കിൽ (O യിൽ നിന്നു ദൃശ്യമാവുന്നതുപോലെ) ഘനകോണിന്റെ നിർവചനമനുസരിച്ച് $\Omega = A/D^2 = \dfrac{\pi r^2}{D^2}$ സ്റ്റെറേഡിയൻ. സമീകരണം 3.2 നെ നമുക്കിങ്ങനെ മാററിയെഴുതാം

$$b = \frac{2kT}{\lambda^2} \text{ വാട്ടസ്/മീ/സൈ (ഹെ) / സെ/സ്റ്റെറേഡിയൻ}$$

S ഉം Ω ഉം $1/D^2$ ന് അനുസരിച്ച് മാറുന്നതിനാൽ b സ്രോതസ്സിലേക്കുള്ള ദൂരത്തെ ആശ്രയിക്കുന്നില്ല എന്നതു ശ്രദ്ധിക്കുക. റേഡിയോ ദൂരദർശിയാൽ വിഭേദനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന വിസ്തൃതസ്രോതസ്സുകളുടെ കാര്യത്തിൽ ദ്യുതി എന്ന സങ്കല്പനത്തിന് പ്രത്യേകമായ ഉപയോഗമുണ്ട്. അവിടെ Ω യെ നിർവചിക്കുന്നതു് സ്രോതസ്സല്ല, പ്രത്യുത ഉപകരണത്തിന്റെ ബിംബവീതിയാണെന്നതാണിതിനു കാരണം. മാത്രമല്ല സ്രോതസ്സിന്മേലുള്ള ദ്യുതിവിതരണത്തെ മാനചിത്രണം ചെയ്യാനും സാധിക്കും. സമീകരണങ്ങൾ 3.1, 3.3 എന്നിവയിൽ വികിരണോർജം $1/\lambda^2$ തോതിൽ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്നതും ശ്രദ്ധിക്കുക. 1 സെ മീ തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഫ്ളക്സ് 1 മീററർ തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ ലഭിക്കുന്നതിനേക്കാൾ 100 00 മടങ്ങ് കൂടുതലറയിരിക്കുമെന്നതാണ് ഇപ്പറഞ്ഞതിന്റെ അർഥം. ഗ്രഹങ്ങളുടെ താപവികിരണത്തെപ്പററിയുള്ള പഠനം സൂക്ഷ്മതരംഗ (microwaves) മേഖലയിൽ നടത്തിപ്പോരുന്നതിൽ ഒട്ടും അതിശയിക്കേണ്ടതില്ല!

വീൻ വിസ്ഥാപന നിയമം

ഒരു കഷണം ഇരുമ്പ് തീജ്വാലയിൽ വെച്ചാൽ ആദ്യം അത് ഇരുണ്ട ചുവപ്പുനിറത്തോടെ തിളങ്ങും. ക്രമേണ താപനില ഉയരുമ്പോൾ ഇരുമ്പു കഷണം ഓറഞ്ചുനിറത്തിൽ നിന്ന് മഞ്ഞയിലേക്കു മാറി അവസാനം ധവളാഭമായിത്തീരുന്നു. ഈ ഓരോ ഘട്ടത്തിലും ചിത്രം 3.1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെയുള്ള വികിരണവക്രങ്ങൾ വരച്ചാൽ, ഇരുമ്പിന്റെ താപനില കൂടുന്തോറും വക്രത്തിൻെറ ശിഖരം തരംഗനീളം കുറഞ്ഞ ഭാഗത്തേക്കു നീങ്ങുന്നതായി നമുക്കു കാണാം. താപനിലയും ശിഖരത്തിൻെറ തരംഗനീളം λ_m ഉം തമ്മിലുള്ള യഥാർത്ഥ ബന്ധം വളരെ ലഘുവാണ്.

$$\lambda_m T = 2{\cdot}897 \times 10^{-3} \qquad (3.4)$$

ഇവിടെ λ_m മീററിലും T ഡിഗ്രി കെൽവിനിലുമാണ് മാപനം ചെയ്യുന്നത്. λ_m, വികിരണകാരീപ്രതലത്തിൻെറ താപനിലയ്ക്കു് വ്യൽക്രമാനുപാതികമായിരിക്കുമെന്ന് വീൻ വിസ്ഥാപനനിയമം എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഈ സമീകരണം സിദ്ധാന്തിക്കുന്നു.

ചില പരിചിതവസ്തുക്കളുടെ വികിരണവക്രങ്ങളെപ്പററി സമീകരണം 3.4 എന്താണ് നമ്മോടു പറയുന്നത്? T യുടെ മൂല്യം സൗരോപരിതലത്തിന്റെ ഏകദേശ താപനിലയായ 6000°k ആയാൽ $\lambda_m = 4{\cdot}83 \times 10^{-7}$ മീ. ഇത് സ്പെക്ട്രത്തിലെ പ്രായേണ ഇടുങ്ങിയ ദൃശ്യമേഖലയിലാണു കിടക്കുന്നത്. വികിരണവക്രത്തിൻെറ ശിഖരം ഏറെക്കുറെ പരന്നതാകയാൽ, എല്ലാ ദൃശ്യ തരംഗനീളങ്ങളും ഏറെക്കുറെ ഒരേയളവിൽ ഉണ്ടെന്നാണ് അർത്ഥമാക്കേണ്ടത്. അതിനാൽ സൂര്യൻ ധവളാഭമായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നു. ഒരു തെളിഞ്ഞ രാത്രിയിൽ ആകാശത്ത് ചുവന്നതും, ഓറഞ്ച് നിറമുള്ളതും നീലനിറത്തിലുള്ളതുമായ പല സൂര്യന്മാരെയും (നക്ഷത്രങ്ങൾ) നിങ്ങൾക്കു കാണാം. ശോണനക്ഷത്രങ്ങൾ നമ്മുടെ സൂര്യനേക്കാൾ ശീതളങ്ങളാകയാൽ അവയുടെ ദൃശ്യമായ ഊർജം സ്പെക്ട്രത്തിൻെറ ചുവപ്പുഭാഗത്തേക്കു നീങ്ങുന്തോറും കൂടിക്കൂടിവരുന്നു. നേരെ മറിച്ച് നീലനക്ഷത്രങ്ങൾ സൂര്യനേക്കാൾ ചൂടുകൂടിയവയാണ്. അവയുടെ വികിരണവക്രശിഖരങ്ങൾ അൾട്രാവയലററ് ഭാഗത്തായിരിക്കും. ചുട്ടുപഴുത്ത ഇരുമ്പുകഷണത്തിലെന്നപോലെ ഒരു നക്ഷത്രത്തിൻെറ നിറം അതിൻെറ താപനിലയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.

ഭൂഗോളത്തിലെല്ലായിടത്തും കൂടി ശരാശരി കണക്കാക്കിയാൽ ഭൂമിയുടെ താപനില 8°C അഥവാ 281°K ആണ്. അതായത് ഭൂമിയുടെ വികിരണവക്രത്തിൻെറ ശിഖരങ്ങൾ 1×10^{-5} മീററർ തരംഗനീളത്തോടടുത്തുവരും. ഇത് ഇൻഫ്രാറെഡ് മേഖലയുടെ അടിത്തട്ടിലാണ്. റേഡിയോതരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ ഭൂമി സൂര്യനേക്കാൾ കൂടുതൽ ഊർജം ഉത്സർജിക്കുന്നുവെന്നാണോ ഇതിൻെറ അർത്ഥം? അല്ലേയല്ല. ചൂടുകൂടിയ വസ്തു എല്ലാ തരംഗനീളങ്ങളിലും തണുത്ത വസ്തുക്കളേക്കാൾ കൂടുതൽ ഊർജം ഉത്സർജിക്കുന്നു.

ധൂസരവസ്തുക്കൾ

മിക്കവാറുമെല്ലാ സാധാരണ വസ്തുക്കളുടെയും വികിരണക്ഷമത കൃഷ്ണികയേക്കാൾ വളരെക്കുറവാണ്. എന്നാൽ പല സന്ദർഭങ്ങളിലും അവയുടെ വികിരണ വക്രങ്ങൾക്ക് കൃഷ്ണികയുടെ വക്രത്തിന്റെ സാമ്യാകൃതിയുണ്ടായിരിക്കും. ചിത്രം 3.1 ലെ ബിന്ദുരേഖ അത്തരമൊരു വസ്തുവിനെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. അതിനെ 'ധൂസരവസ്തു'വെന്നു പറയാം. ഓരോ തരംഗദൈർഘ്യത്തിലും ഒരു ധൂസരവസ്തു കൃഷ്ണികാവികിരണത്തിന്റെ ഒരു നിശ്ചിതാംശം (e) വികിരണം ചെയ്യുന്നു. ഇവിടെ e യെ പദാർഥത്തിന്റെ ഉത്സർജകത എന്നു വിളിക്കുന്നു

ചില പദാർഥങ്ങളുടെ വികിരണവക്രത്തിന്റെ ആകൃതി പോലും കൃഷ്ണികാവക്രത്തിന്റെ ആകൃതിയിൽ നിന്നും വിഭിന്നമായിരിക്കും. താണ മർദത്തിലുള്ള വാതകമാണിതിനു് ഒരുത്തമോദാഹരണം. അതിന്റെ സ്പെക്ട്രത്തിൽ പല തരംഗനീളങ്ങളിലും അനേകം ഒററതിരിഞ്ഞ തീക്ഷ്ണരേഖകളുണ്ടായിരിക്കും. റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ പലപ്പോഴും സ്രോതസ്സിന്റെ ദ്യുതിതാപനില T_b യെപ്പററി പറയാറുണ്ട്. സ്രോതസ്സ് ഒരു ശരിയായ കൃഷ്ണികയോ ചിലപ്പോൾ താപോത്സർജകം പോലുമോ ആയിരിക്കില്ല. യഥാർഥ സ്രോതസ്സിനോളം ദ്യുതിയുള്ള, സമാനമായ ഒരു കൃഷ്ണികാസ്രോതസ്സിന്റെ താപനില മാത്രമാണ് T_b. സമീകരണം 3.3 ൽ നിന്നും $T_b = \frac{b\lambda^2}{2k}$ എന്നെഴുതാം.

ഒരു താപീയപ്രക്രിയ എന്നതിനേക്കാളുപരി സർപ്പിളമായി സഞ്ചരിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളാൽ ഉത്സർജിതമാകുന്നതാണു് കോസ്മിക റേഡിയോരവം എന്നു നാം വിശ്വസിക്കുമ്പോൾ തന്നെ, ഗ്യാലക്സികകേന്ദ്രത്തോടടുത്ത ആകാശത്തിനു് 15 മീററർ തരംഗനീളത്തിൽ 50,000°K ദ്യുതിതാപനിലയുള്ളതായി നമുക്കു് പറയാം. 50000°K യിലുള്ള കൃഷ്ണികയുടെ പ്രതലത്തിലേക്കു നാം നോക്കിയാൽ എപ്രകാരമാണോ അതുപോലെ തന്നെയായിരിക്കും ആകാശത്തിൽ ആ ഭാഗത്തിന്റെ റേഡിയോ ദ്യുതി b, എന്നാണു ഇതിന്റെ അർഥം.

പ്രശാന്തസൂര്യൻ

അതിവിശാലമായ സൗരറേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തെപ്പററി ചർച്ച ചെയ്യുക എന്നതു് ഈ ഗ്രന്ഥത്തിന്റെ ലക്ഷ്യത്തിനതീതമാണെന്നു് ഞങ്ങൾ നേരത്തേ തന്നെ സൂചിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. എന്നിരിക്കിലും സൗരയൂഥത്തിലെ ഏററവും വലുതും തപ്തവുമായ കേന്ദ്രവസ്തു എന്ന നിലക്കു് സൂര്യൻ തീർച്ചയായും താപീയ റേഡിയോ ഉത്സർജനത്തിന്റെ ഒരു പ്രധാന ഉറവിടമായിരിക്കണം. ഈ അധ്യായത്തിൽ അതിനെപ്പററി പ്രതിപാദിക്കുന്നതു് സന്ദർഭോചിതമായിരിക്കുമെന്നു തോന്നുന്നു.

ഈ നൂററാണ്ടിന്റെ തുടക്കത്തിൽ സൗരറേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ നിദർശിക്കാൻ പല പര്യവേക്ഷകന്മാരും പരിശ്രമങ്ങൾ നടത്തിയിരുന്നതായി ഒന്നാം അധ്യായത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചിട്ടുള്ളതു് നിങ്ങൾ ഇപ്പോൾ ഓർക്കുന്നുണ്ടാവും. അവരിലൊരാൾ അതായതു് നോർദ്മാൻ താൻ അന്വേഷിക്കുന്നതു് വെറും താപവികിരണങ്ങളല്ലായെന്നു വ്യക്തമാക്കുകയുണ്ടായി. കൃഷ്ണികാവികിരണം എന്ന പ്രഹേളികയ്ക്കു് ഉത്തരം കണ്ടെത്താൻ പ്ലാങ്ക് ശ്രമിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന കാലത്താണു് ഈ ചരിത്രങ്ങളൊക്കെ നടന്നതു് എന്നതു് വെറും യാദൃച്ഛികം മാത്രമാവാം. പരാജയത്തിൽ കലാശിച്ച ഈ ആദ്യകാല നിരീക്ഷണങ്ങൾക്കും സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള താപീയ റേഡിയോ ഉത്സർജനങ്ങൾ സൗത്തു് വർത്തു് യഥാർഥത്തിൽ നിദർശിച്ചതിനുമിടയിൽ ദശകങ്ങൾ നാലു കടന്നു പോയി.

ഈ ദശകങ്ങളിലെ സൗരറേഡിയോ പഠനങ്ങളെ പ്ലാങ്ക്സിദ്ധാന്തം നിരുത്സാഹപ്പെടുത്തുകയുണ്ടായി എന്നു് സൗത്ത്‌വർത്തിനു് തോന്നിയതു് വിരോധാഭാസപരം തന്നെ. അദ്ദേഹം എഴുതുകയുണ്ടായി "പല വർഷങ്ങളായി നിലനിന്നുവരുന്ന കാഴ്ചപ്പാട് ഒരു തരത്തിലും പ്രോത്സാഹജനകമയിരുന്നില്ലം ഏററവും ഉയർന്ന റേഡിയോ ആവൃത്തികളിലും അന്നു ലഭ്യമായിരുന്നവയിലേററവും ദിശീയതയുള്ള ആന്റെനകളിൽപോലും സിഗ്നൽ തീവ്രത പ്രാദേശികറേഡിയോ റിസീവറുകളിലുണ്ടായിരുന്ന രവവ താനത്തേക്കാൾ താഴെയായായിരിക്കുമെന്നാണ് പ്ലാങ്ക്സിദ്ധാന്തത്തെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള കണക്കുകൂട്ടലുകൾ സൂചിപ്പിച്ചതു്" രണ്ടാം ലോകമഹായുദ്ധത്തിനു മുമ്പുണ്ടായിരുന്ന ഇലക്ട്രോണികവിദ്യയുടെ അവസ്ഥയെപ്പററിയാണു് സൗത്ത്‌വർത്ത് ചിന്തിച്ചിരുന്നതു്, സംശയമില്ല.

യുദ്ധകാലത്തു് പെട്ടെന്നു് സ്ഥിതിഗതികളാകെ മാറി. റഡാർ വികസിപ്പിച്ചെടുക്കുന്നതിൽ വ്യാപൃതരായിരുന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരുടെ പരിശ്രമങ്ങൾ അഭിനന്ദനാർഹം തന്നെ സ്വന്തം നിരീക്ഷണങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുന്നിടത്തു സൗത്ത് വർത്ത് എഴുതിയിരിക്കുന്നു "1942 ൽ ലഭ്യമായിരുന്ന ഏററവും നല്ല സൂക്ഷ്മതരംഗ അഭിഗ്രഹണോപാധികളുപയോഗിച്ച് പിടിച്ചെടുക്കപ്പെടുന്ന പവർ റിസീവറിലെ ഒന്നാം നിദർശകത്തിലുണ്ടാവുന്ന രവത്തിനിടയിൽ തന്നെ മറഞ്ഞുപോകും. എന്നാൽ അപ്പോഴും അതു് നിരീക്ഷിക്കത്തക്കതായിരിക്കും. ഒന്നാം നിദർശകരവം കുറയ്ക്കാൻ പാകത്തിൽ ഒരു ദ്വി-നിദർശകറിസീവർ നിർമിച്ചു കഴിഞ്ഞതോടെ, ആന്റെന സൂര്യനിലേക്കു നാം തിരിച്ചുവെച്ചെങ്കിൽ അതു തികച്ചും സ്വാഭാവികം മാത്രമാണു്. പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നതുപോലെ മൊത്തം രവനിർഗമത്തിലുണ്ടാകുന്ന നേരിയ വർധനവ് സൗരരവത്തെ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നുവെന്നു് ബോധ്യമായി. നേരിയ വിഷാദത്തോടെ അദ്ദേഹം തുടരുന്നു. "യുദ്ധം തുടങ്ങിക്കഴിഞ്ഞിരുന്നതിനാൽ സൗരനിരീക്ഷണങ്ങൾക്കു സമയം കണ്ടെത്താൻ വിഷമമായിരുന്നു".

പ്രകാശികഖഗോള വിജ്ഞാനികൾ സൗരോപരിതല താപനില 6000°k യെന്നു സ്ഥാപിച്ചു കഴിഞ്ഞിരുന്നു. തൻെറ മാപനങ്ങൾ പ്രസ്തുത താപനിലയെ സ്ഥിരീകരിച്ചു കഴിഞ്ഞിരിക്കുന്നതായി ആദ്യമൊക്കെ സൗത്ത്‌വർത്ത്‌ വിശ്വസിച്ചിരുന്നു. പിൽക്കാലത്തു് അദ്ദേഹത്തിൻെറ കണക്കുകൂട്ടലുകളിൽ ഒരു തെററു് കണ്ടുപിടിക്കുകയുണ്ടായി. തിരുത്തിയെഴുതിയ താപനില 18000°k ആണെന്നു വ്യക്തമായി. സൂര്യൻെറ മാപിത താപനില മാപനം നടത്തപ്പെടുന്ന തരംഗനീളത്തെ വളരെയേറെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതായി പെട്ടെന്നുതന്നെ ഖഗോള വിജ്ഞാനികൾ മനസ്സിലാക്കി. തരംഗനീളം കൂടുന്തോറും സൂര്യൻെറ പ്രത്യക്ഷ താപനില വിസ്മയകരമായ തോതിൽ വർധിച്ചുവരുന്നു.

ചുരുക്കത്തിൽ സൂക്ഷ്മതരംഗ–ഊർജം വാസ്തവത്തിൽ താപവികിരണം അല്ലെന്നാണോ ഇതുകൊണ്ടു് അർഥമാക്കേണ്ടിയിരുന്നതു് ? പ്രശാന്തസൂര്യൻെറ വൻസൂര്യകളങ്കങ്ങൾ, സൗരജ്വാലകൾ മററു പ്രവർത്തനങ്ങൾ എന്നിവയാൽ വിക്ഷുബ്ധമാകാത്ത സൂര്യൻ—കാര്യത്തിലെങ്കിലും സൂക്ഷ്മതരംഗ ഉത്സർജനം ഉല്പത്തിപരമായി യഥാർഥത്തിൽ താപീയമായിരിക്കണമെന്നതാണു് ശരിയായ വ്യാഖ്യാനമെന്നു തോന്നുന്നു. വിവിധ റേഡിയോ തരംഗനീളങ്ങൾ സൗരാന്തരീക്ഷത്തിലെ പല വിതാനങ്ങളിൽനിന്നാണു് ഉത്ഭവിക്കുന്നതു്. ഹ്രസ്വതരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ സൗരോപരിതലത്തിനു തൊട്ടുമുകളിലുള്ള പ്രായേണ തണുത്ത 10000°k താപനിലയിലുള്ള ഒരു മേഖലയിൽ നിന്നാണു് വരുന്നതു്. നേരെ മറിച്ചു് ഒരു മീററും അതിൽ കൂടുതലും ദൈർഘ്യമുള്ള തരംഗങ്ങൾ സൂര്യൻെറ ബാഹ്യാന്തരീക്ഷം അഥവാ 'കൊറോണ' യിലാണു് ഉത്ഭവിക്കുന്നതു്. അവിടത്തെ താപനില 1000,000°k വരെ ഉയർന്നിരിക്കുന്നു. അങ്ങനെ ഓരോ തരംഗനീളവും അതാതിൻെറ ഉത്ഭവമേഖലയുടെ താപനിലയെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. സൂര്യൻെറ താപവികിരണത്തെപ്പററി ഏറെക്കുറെ നന്നായിത്തന്നെ നാം മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ടെന്നു് ഇപ്പോൾ പറയാമെങ്കിൽ തന്നെയും വിക്ഷുബ്ധസൂര്യൻെറ ഏറെക്കുറെ അനന്തമായി മാറിക്കൊണ്ടാണിരിക്കുന്നതും സങ്കീർണവുമായ പ്രതിഭാസങ്ങളെപ്പററി അങ്ങനെ അസന്ദിഗ്ധമായ പ്രസ്താവനകളൊന്നും നമുക്ക ചെയ്യാനാവില്ല.

ചന്ദ്രനിൽനിന്നുള്ള താപവികിരണം

സ്പേസിൽ നമ്മുടെ ഏററവും അടുത്ത അയൽക്കാരൻ ചന്ദ്രനാണു് 'കേവലം 240,000 മൈലുകലെയുള്ള അതു സൂര്യനേക്കാൾ ഏകദേശം 400 മടങ്ങു് ഭൂമിയോടു് അടുത്താണു്. ഭൂമിയും ചന്ദ്രനും ഉൾപ്പെടുന്ന വ്യൂഹത്തെ ചിലപ്പോൾ 'യുഗ്മഗ്രഹം' എന്നും വിവക്ഷിക്കാറുണ്ടു്. സൗരയൂഥത്തിലെ മറേറതു ഉപഗ്രഹത്തേക്കാളും സ്വന്തം മാതൃഗ്രഹത്തെ അപേക്ഷിച്ചു് ചന്ദ്രൻ വളരെ വലുതാണു് എന്നതാണിതിനു കാരണം. വേലാഘർഷണം ചന്ദ്രൻെറ ഘൂർണനത്തെ സാവധാനത്തിലാക്കി ഇന്നത്തെ രീതിയിലേക്കെത്തിച്ചിരിക്കുന്നു. ഭൂമിയെ ഒന്നു വലംവെയ്ക്കുന്ന സമയം കൊണ്ടു് അതു് സ്വന്തം അക്ഷത്തിൽ

ഒന്നു തിരിയുന്നു. അക്കാരണത്താൽ ചന്ദ്രന്റെ ഒരേ വശം തന്നെയാണ് നമുക്കു അഭിമുഖമായി വരുന്നത്. അതേ കാരണത്താൽ ചാന്ദ്രദിനത്തിന്—ചാന്ദ്രമാസ—നമ്മുടെ 29½ ദിനങ്ങൾ—ത്തിന്റെ ദൈർഘ്യം താന്നെയാണുള്ളത് ഇതേ കാലയളവുകൊണ്ടുതന്നെയാണ് അതു് കലകളുടെ (വൃദ്ധിക്ഷയങ്ങൾ) ഒരു ചക്രം പൂർത്തിയാക്കുന്നതും.

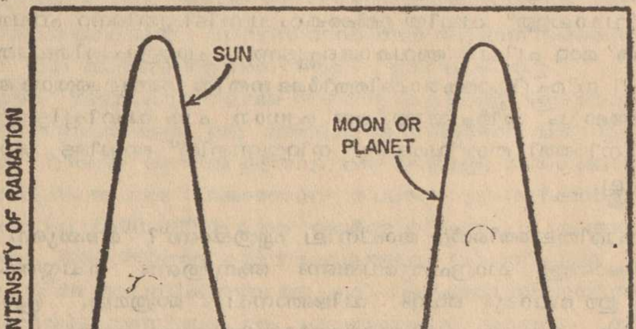
ദൂരദർശിയിലൂടെ നോക്കുമ്പോൾ പ്ലേററ് 5 ൽ നാം കാണുന്നമാതിരി അറപ്പുതോന്നിപ്പിക്കുന്ന ഒരു ദൃശ്യമാണ് ചന്ദ്രൻ പ്രദാനം ചെയ്യുന്നത്. സമുദ്രങ്ങളെന്നു അറിയപ്പെടുന്ന പ്രാമേണ നിരപ്പുള്ള ഇരുണ്ടഭാഗങ്ങൾ അവിടെ ധാരാളമായിക്കാണാം. അവ മിക്കവാറും ലാവാപ്രവാഹത്തിന്റെ അവശിഷ്ടങ്ങളാവാം. എന്നാൽ ഉപരിതലത്തിലേറിയ പങ്കും പലപ്പോഴും ഒന്നിനുമേൽ ഒന്നായി കിടക്കുന്ന വൻഗർത്തങ്ങളാൽ വസൂരികുത്തു വീണു നിറഞ്ഞിരിക്കുകയാണെന്നു തോന്നും. ഗർത്തങ്ങളുടെ ഉത്ഭവത്തെപ്പററി ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ സുദീർഘമായ ചൂടുപിടിച്ച വാഗ്വാദങ്ങൾ നടത്തിയിട്ടുണ്ട്. അഗ്നിപർവതസ്ഫോടനങ്ങളുടെ ഫലമായാണവ ഉണ്ടായതെന്നു ചിലർ അഭിപ്രായപ്പെടുന്നു. പൂർവകാലത്തു് വലിയ ഉൽക്കകൾ വന്നിടിച്ചതിന്റെ ഫലമായുണ്ടായവയാണെന്ന് മററു ചിലർ അവകാശപ്പെടുന്നു. ചാന്ദ്രോപരിതലത്തെ കുന്നും കുഴിയുമാക്കി നിരപ്പില്ലാത്തതാക്കിത്തീർക്കുന്നതിൽ ഗണ്യമായൊരു അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ അഭാവം തീർച്ചയായും ഒരു പ്രധാന പങ്കു വഹിച്ചിട്ടുണ്ട്. കുന്നുകളെ തട്ടി നിരത്തി താഴ്വരകളെ നിറയ്ക്കുന്നതിന് അവിടെ കാലാവസ്ഥ എന്നൊന്നില്ല.

ചന്ദ്രോപരിതലത്തിന്റെ താപനില എത്രയാണ്? മനുഷ്യനെ കൂടെ ഉൾപ്പെടുത്തിക്കൊണ്ടുള്ള ചാന്ദ്രപര്യവേഷണം ആസൂത്രണം ചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്ന ഘട്ടത്തിൽ ഈ ചോദ്യം വെറും വിജ്ഞാനപരം മാത്രമല്ല, പ്രായോഗിക പ്രാധാന്യമുള്ള ഒരു സംഗതിയായിത്തീർന്നിരിക്കുന്നു അതു്. വിദൂരവും അപ്രാപ്യവുമായ ഒരു ഖഗോളീയ വസ്തുവിന്റെ ഉപരിതല താപനില അളക്കുന്നതിനുപയോഗിക്കുന്ന തത്വങ്ങളേവയെന്ന് ഇത്തരുണത്തിൽ നമുക്കൊന്നു പരിശോധിക്കാം.

സമീകരണം 3.2 നെ ഈ ആവശ്യത്തിലേക്ക് അനായാസമായി ഉപയോഗിക്കാമെന്നു് വായനക്കാരായ നിങ്ങൾക്ക് ഒരു പക്ഷേ തോന്നിക്കാണും. ഏതെങ്കിലുമൊരു സൗകര്യപ്രദമായ തരംഗദൈർഘ്യം λ യിൽ S മാപനം ചെയ്യുക മാത്രമേ ചെയ്യേണ്ടതായിട്ടുള്ളവെന്നു തോന്നുന്നു. വരട്ടെ അങ്ങനെ തിടുക്കം കൂട്ടാതിരിക്കൂ. നാം വെളിയിലേക്കിറങ്ങി ചന്ദ്രനെയൊന്നു നിരീക്ഷിക്കുകയാണെങ്കിൽ നാം കാണുന്ന പ്രകാശം മുഴവനും പ്രതിഫലിച്ചുവരുന്ന സൂര്യപ്രകാശമാണെന്നു വ്യക്തമാകും. പ്രതിഫലനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന സൂര്യപ്രകാശത്തിന്റെ മാപനം കൊണ്ടു് ചാന്ദ്രതാപനിലയെപ്പററി നമുക്ക് യാതൊന്നും തന്നെ ഗ്രഹിക്കാനാവില്ല എന്ന കാര്യം തികച്ചും വ്യക്തമാണ്,

ചന്ദ്രൻ സ്വയം ഉത്സർജിക്കുന്ന താപോർജത്തെയാണ് നാം അളന്നു തിട്ടപ്പെടുത്തേണ്ടത്.

സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ദൃശ്യമേഖലയിൽ സൂര്യൻ തീവ്രമായും ചന്ദ്രൻ ദുർബലമായും വികിരണം നടത്തുന്നു. എന്നാൽ ഇൻഫ്രാറെഡിലേക്ക നീങ്ങുമ്പോൾ ഭാഗ്യവശാൽ സ്ഥിതിഗതികൾ നേരെമറിച്ചാകാൻ തുടങ്ങുന്നു. സൗരോർജത്തിന്റെ അളവ് വളരെ വേഗം കുറയുകയും ചാന്ദ്രവികിരണം കൂടിവരുകയും ചെയ്യുന്നതാണിതിനു കാരണം. ഗ്രഹോപരിതലത്തിൽ നിന്നും പ്രതിഫലിക്കുന്ന സൗരവികിരണം 3 മൈക്രോണിൽ താഴെയുള്ള തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ ഏറെക്കുറെ പൂർണമായും ഒതുങ്ങിനിൽക്കുന്നു. അതേ സമയം ചന്ദ്രൻ, മററു ഗ്രഹങ്ങൾ എന്നിവയുടെ തനതായ ഉത്സർജനം മൂന്നു മൈക്രോണിനു മുകളിലുള്ള മേഖലയിലാണ് സാന്ദ്രീകൃതമായിരിക്കുന്നത്. ഇക്കാര്യം ചിത്രം 3.3 ൽ നിന്നും വ്യക്തമാവും. അപ്പോൾ, ചാന്ദ്രതാപനില നിർണയിക്കണമെന്നുണ്ടെങ്കിൽ ദീർഘതരംഗങ്ങളിൽ പഠനഗവേഷണങ്ങൾ നടത്തിയേ മതി



ചിത്രം 3–3. (6000°K (സൂര്യൻ) യിലും 273°K (ചന്ദ്രൻ അഥവാ ഗ്രഹം) യിലുമുള്ള കൃഷ്ണികകളുടെ വികിരണവക്രങ്ങൾ. ചാന്ദ്രോപരിതലം അഥവാ ഗ്രഹോപരിതലത്തിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രതിഫലനം ഹേതുവായി സൗരവികിരണത്തിന്റെ തീവ്രത ശീതവസ്തുവിന്റെ വികിരണതീവ്രതയോട് തുല്യമായിരിക്കുന്നുവെന്നു സങ്കല്പിച്ചിരിക്കുന്നു)

മാവു എന്നു വ്യക്തമാണ്. നിർദിഷ്ടമായ സ്പെക്ട്രമേഖലകളെ 'അരിപ്പ' കളുപയോഗിച്ചു വേർതിരിച്ച് പ്രകാശിക ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ വളരെക്കാലമായി ഇക്കാര്യം നിർവഹിച്ചുപോരികയാണ്.

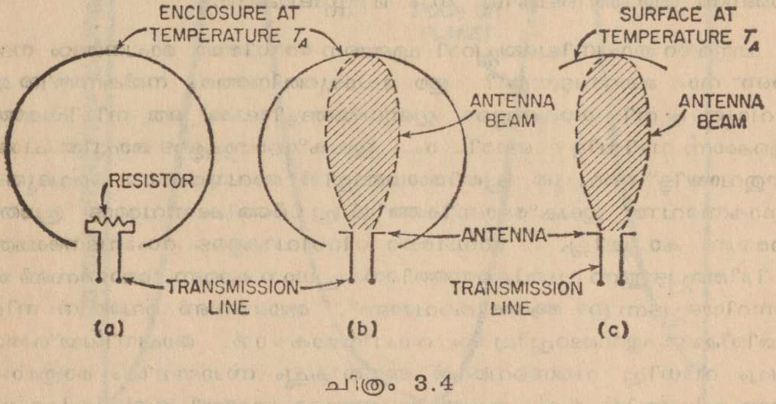
ചന്ദ്രനഭിമുഖമായി വച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു വലിയ ദൂരദർശിയുടെ ഫോക്കസിൽ ഒരു ചെറിയ താപയുഗ്മം വെച്ചാണ് അവർ ചാന്ദ്രോർജത്തെപ്പററി മാപനങ്ങൾ നടത്തിയതു്. ഉപകരണം അംശാങ്കനം ചെയ്യുന്നതിനു് കൃഷ്ണികയോ മററു പ്രമാണ ശ്രോതസ്സുകളോ ഉപയോഗിക്കുന്നു. അങ്ങനെ ലഭിക്കുന്ന ഫലങ്ങളിൽ അവശിഷ്ട സൗരവികിരണം, അന്തരീക്ഷാവശോഷണം എന്നിവയ്ക്കു വേണ്ട സംശോധനം വരുത്തേണ്ടതുണ്ടു്.

റേഡിയോ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിലെത്തുമ്പോഴേക്കും സൗരഘടകാംശം തീരെ നിസ്സാരമായിത്തീരുന്നു. നാം സ്വീകരിക്കുന്ന ഊർജം മുഴുവനും പ്രത്യക്ഷത്തിൽ, ചന്ദ്രനിൽ നിന്നു തന്നെയുള്ള ശരിയായ താപവികിരണം തന്നെയാണ്. സെമീ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ പ്രതിഫലിച്ചുവരുന്ന സൂര്യകിരണങ്ങൾ പ്രത്യക്ഷ താപനിലയെ ഒരു ഡിഗ്രിയിൽ താഴെ മാത്രമേ ഉയർത്തുകയുള്ളുവെന്നു കണക്കാക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ടു്. അങ്ങനെ ചന്ദ്രന്റെയും ഗ്രഹങ്ങളുടെയും താപനിലകൾ അളക്കുന്നതിനു് ഏററവും പററിയതു് റേഡിയോതരംഗമേഖലയാണെന്നു തത്വത്തിലെങ്കിലും നാം മനസ്സിലാക്കുന്നു.

ചന്ദ്രന്റെ താപനിലയെപ്പററി എങ്ങനെ റേഡിയോ മാപനങ്ങൾ നടത്താനാണ് നാം ഒരുമ്പെടുന്നതു്? ഈ ചോദ്യത്തിനുത്തരം നൽകുന്നതിനു മുമ്പ് വൈദ്യുത പ്രതിരോധകങ്ങളുടെ ഗുണധർമങ്ങളിലേക്ക് ഒരു നിമിഷത്തേക്ക് നമുക്കൊന്നു വഴിവിട്ടു സഞ്ചരിക്കാം. ഇലക്ട്രോണുകളുടെ താപീയ ചാലനം ഹേതുവായിട്ട് വൈദ്യുത പ്രതിരോധങ്ങളിൽ അവയുടേതായ വൈദ്യുതരവം ഉണ്ടാകുന്നുവെന്നു് ഇലക്ട്രോണികത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്നവരോടു പ്രത്യേകം പറയേണ്ട കാര്യമില്ല. റേഡിയോ റിസീവറുകളുടെ സംവേദനക്ഷമതയെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്ന വ്യതികരണത്തിന്റെ പ്രധാന കാരണം 'ജോൺസൺ രവം' എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഈ ആന്തരീകരവമാണ്. ജോൺസൺ രവത്തിനു നിദാനമായിരിക്കുന്ന ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ താപീയമാകയാൽ, താപനിലയ്ക്കൊപ്പം രവവും വർധിച്ചു വരുന്നുവെങ്കിൽ അതുതികച്ചും സ്വാഭാവികം മാത്രമാണ്. വേണ്ട വിധത്തിൽ വാച്ചു ചെയ്ത പ്രേഷണലൈനുമായി ഒരു പ്രതിരോധകം ഘടിപ്പിച്ചാൽ, റിസീവർ ലൈനിലേക്കു ഫീഡു ചെയ്യുന്ന രവത്തിന്റെ ശക്തി $P = KT(\Delta f)$ വാട്ട്സ് ആയിരിക്കും. ഇവിടെ k ബോൾട്ട്സ്മാൻ സ്ഥിരാങ്കം തന്നെ T പ്രതിരോധകത്തിന്റെ കേവല താപനിലയും Δf രവം മാപനം ചെയ്യാൻ നാം ഉപയോഗിക്കുന്ന ബാൻഡ് വീതിയുമാണ്.

പ്രതിരോധകത്തെ T_A താപനിലയിലുള്ള ഒരാവരണത്തിനുള്ളിലാക്കിയാൽ (ചിത്രം 3–4 a കാണുക) താമസംവിനാ അതു് പുറംപാടുകളുടെ താപനിലയെ പ്രാപിക്കും. പ്രേഷണലൈനിലേക്കു് അതു് വിതരണം ചെയ്യുന്ന

ശക്തി (പവർ) T_A യ്ക്ക് അഭിലക്ഷണികമായിരിക്കും. അതായത് $W = K T_A \triangle f$ വാട്ട്സ് ഇനി പ്രതിരോധകത്തിനു പകരം പ്രേഷണലൈനു മായി മാച്ച്ചെയ്ത ഒരു ആൻെറന വസ്തുകയാണെങ്കിൽ (ചിത്രം 3.4 b) അത്യന്തം കൃത്യമായും പ്രതിരോധകം വിതരണം ചെയ്യുന്നിടത്തോളം പവർ വിതരണം ചെയ്യും. ഇതാണ് ഏററവും പ്രധാനമായ കാര്യം. മറെറാരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ ആൻെറന 'നോക്കിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന' ഉപരിതലത്തിൻെറ താപനിലയ്ക്ക് അഭിലക്ഷണികമായ രീതിയിൽ ഒരു താപീയ രവ ശക്തിയെ അത് പ്രേഷണലൈനുകളിലേക്ക് അയയ്ക്കുന്നു. ഈ പരിതസ്ഥിതിയിൽ പ്രസ്തുത ആൻെറനയ്ക്ക് 'T_A ആൻെറന താപനില' യുണ്ടെന്നും സാധാരണയായി പറയാറുണ്ട്. പ്രായോഗികമായി ആൻെറന ഒരു സമതാപീയ ആവരണത്താൽ ചുററപ്പെട്ടിരിക്കണമെന്നില്ല. ആവരണത്തിൻെറ ആൻെറന 'കാണുന്ന' ഭാഗമൊഴികെ ബാക്കിയെല്ലാം നമുക്കു നീക്കം ചെയ്യാം (ചിത്രം 3.4 c) അപ്പോഴും ആൻെറന മുമ്പിലത്തേപ്പോലെ തന്നെ രവം വിതരണം ചെയ്യുന്നുണ്ടാവും. *ആൻെറനയുടെ താപനിലയും ആൻെറനതാപനില* T_A യും തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായ സംഗതികളാണെന്നു കേൾക്കുമ്പോൾ വായനക്കാരനൊരു പക്ഷേ ചിന്താക്കുഴപ്പമുണ്ടായെന്നു വരാം.



ചിത്രം 3.4

ആൻെറന താപനില എന്ന സംകല്പനം

മറെറാരുവസ്തുവിനെന്നപോലെയും ആൻെറനയുടെ യഥാർഥ ഭൗതികതാപനില അതിനു തൊട്ടടുത്ത പരി: സ്ഥിതി, അതിൽ സൂര്യപ്രകാശം വീഴുന്നോ ഇല്ലയോ എന്നിവയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. നേരെമറിച്ച് T_A, ആൻെറനയുടെ ബീമിനുള്ളിൽ വരുന്നതെന്തുമാകട്ടെ, അതിൻെറ താപനിലയെ മാത്രം ആശ്രയിക്കുന്നുള്ളു. ചിലപ്പോൾ അത് ചന്ദ്രനെപ്പോലെ വിദൂരസ്ഥമായ ഒരു വസ്തുവായിരിക്കാം.

ചന്ദ്രന്റെ താപനില അളക്കുകയെന്ന പ്രശ്നത്തിലേക്കുതന്നെ നമുക്കിനി മടങ്ങിപ്പോകാം. ചന്ദ്രന്റെ പ്രത്യക്ഷ വ്യാസം ഏകദേശം ½° ആണ്. സെന്റി മീററർ തരംഗദൈർഘ്യമേഖലയിൽ ഇതിനെക്കാൾ വളരെ താണ ബീം വീതിയുള്ള ഒരു റേഡിയോ ദൂരദർശി നിർമിക്കാൻ വലിയ പ്രയാസമൊന്നു മില്ല. അക്കാരണത്താൽ ചന്ദ്രബിംബത്തെ ഓരോ ഭാഗങ്ങളായി ക്രമവീക്ഷണം ചെയ്യാനും സാധിക്കും. അപ്പോൾ നാം നേരത്തെ കണ്ടതുപോലെ ആന്റെന താപനില T_A, ബീമിനുള്ളിൽ വരുന്ന ചാന്ദ്രപ്രദേശത്തിന്റെ ശരാശരി താപനില T യ്ക്കു സംഗതമായിരിക്കും. മറെറാരുതരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ $T = T_A$ അങ്ങനെ നമ്മുടെ പ്രശ്നം T_A നിർണയ പ്രശ്നമായി ചുരുങ്ങുന്നു. പ്രായേണ വ്യക്തമായ ഒരു അംശാങ്കന ബർത്തനമുറയിലൂടെ അതു നിറവേ ററാനും കഴിയും.

ആന്റെന ചന്ദ്രനിലേക്കു തിരിച്ചുവെയ്ക്കുമ്പോൾ റേഡിയോ ദൂരദർശിയുടെ നിർഗമമാപി ഒരു നിർദിഷ്ട വിചലനം d രേഖപ്പെടുത്തുന്നുവെന്ന് ആദ്യം സങ്കല്പിക്കുക. ആന്റെനയെ പ്രേഷണലൈനിൽ നിന്നു വേർപ്പെടുത്തി തൽ സ്ഥാനത്തു് ആന്റെനയുടെ വികിരണപ്രതിരോധത്തിനു തുല്യമായ പ്രതിരോധ മുള്ള ഒരു പ്രതിരോധകം വെച്ചെന്നിരിക്കട്ടെ. അങ്ങനെ നാം വീണ്ടും 3.4a ലെ വിന്യാസത്തിലെത്തിയിരിക്കുന്നു. നിർഗമവിചലനം ഒരിക്കൽക്കൂടി d യിലെത്താൻ പാകത്തിൽ പ്രതിരോധകത്തെ ചൂടാക്കുക. ചൂടാക്കിയ പ്രതി രോധകത്തിന്റെ താപനില അളക്കുക മാത്രമേ ഇനി ചെയ്യേണ്ടതുള്ളുവെന്ന് ചിത്രം 3-4 നെപ്പററിയുള്ള നമ്മുടെ ചർച്ചയിൽ നിന്നും വായനക്കാരനു വ്യക്ത മായിക്കാണുമല്ലോ. ഏതൊരു സാധാരണമാർഗത്തിലൂടെയും അതു സാധ്യ മാവും. പ്രസ്തുത താപനില ആന്റെന താപനില T_A യ്ക്കു സംഗതമായിരിക്കും. അതു് ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിന്റെ താപനിലയും ആയിരിക്കും പരീക്ഷണശാല യിലെ പ്രതിരോധകത്തിന്റെ താപനില അളന്ന് ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിന്റെ താപനില നിർണയിക്കാമെന്നതു് തികച്ചും ആശ്ചര്യകരംതന്നെ!

അന്തരീക്ഷാവശോഷണത്തിനുള്ള സംശോധനം യഥാർഥത്തിലുള്ള ആന്റെന പാറേറണിനാവശ്യമായ സംശോധനം തുടങ്ങി പ്രായോഗികമായി അൽപം ബുദ്ധിമുട്ടുള്ള ചില വിശേഷങ്ങൾ നാം ഇവിടെ വിട്ടുകളയുകയുണ്ടായി. എന്നി രുന്നാലും മാപന തത്വം നാമിവിടെ പ്രതിപാദിച്ചതുപോലെ സരളമായി തന്നെയിരിക്കുന്നു.

ചന്ദ്രന്റെ താപനില നിർണയിക്കുന്നതെങ്ങനെയെന്നു വിശദീകരിക്കു വാൻ നാം വളരെയേറെ സമയം വിനിയോഗിക്കുകയുണ്ടായി. യഥാർഥ നിരീക്ഷണഫലങ്ങൾ എന്തൊക്കെയാണ്? ചന്ദ്രനിൽനിന്നുമുള്ള താപവികി രണം ആദ്യമായി നിദർശിച്ചതു് 1946-ൽ അമേരിക്കൻ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരായ ആർ. എച്ച്. ഡിക്കും ആർ. ബെറിൻജറുമാണ്. പരിഷ്കരിച്ച 1.25 സെ. മീ. റഡാർ സജ്ജീകരണമാണ് അവർ ഇതിനുപയോഗിച്ചതു്.

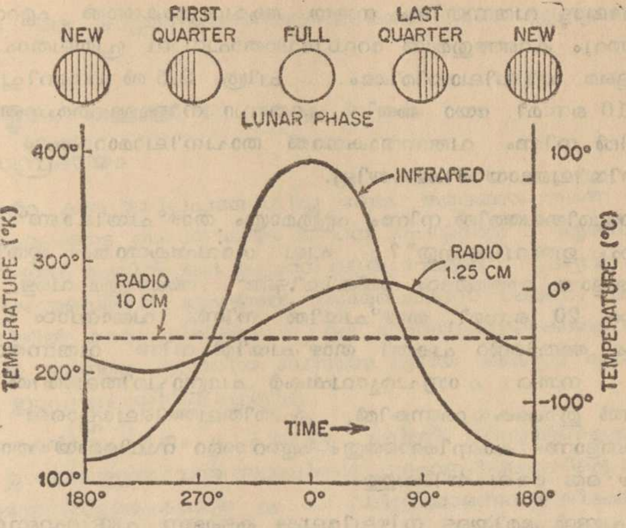
പിൽക്കാലഗവേഷകന്മാർ 4 മി. മീ. മുതൽ 75 സെ. മീ. വരെയുള്ള തരംഗ ദൈർഘ്യങ്ങളിലാണ് മാപനങ്ങൾ നടത്തിയതു്.

ചന്ദ്രന്റെ വൃദ്ധിക്ഷയങ്ങൾക്കനുസൃതമായി ചന്ദ്രബിംബത്തിന്റെ കേന്ദ്ര ത്തിലെ താപനില എങ്ങനെ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്നു കാണിക്കുന്നവയാണ് പരീക്ഷണഫലങ്ങളിലേററവും രസകരമായിട്ടുള്ളവ. ചന്ദ്രമുഖത്തിന്റെ നടു വിൽ നാം ഒരു താവളം സ്ഥാപിച്ചുവെന്നു സങ്കല്പിക്കുക. അവിടെ നമ്മുടെ ശിരോബിന്ദുവിൽ ഭൂമി ഏറെക്കുറെ സ്ഥിരമായി തൂങ്ങിനിൽപുണ്ടാവും. ഭൂമി യിലെ രണ്ടാഴ്ചക്കാലത്തേക്കു നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന ചന്ദ്രദിനത്തിന്റെ തുടക്കം വിളിച്ചറിയിച്ചുകൊണ്ടു് ഓരോ 29 ദിവസം കൂടുന്തോറും നമ്മുടെ കിഴക്കൻ ചക്രവാളത്തിൽ സൂര്യൻ ഉദിച്ചുയരും. സൂര്യൻ ഏറെക്കുറെ നമ്മുടെ തലക്കു നേരെ മുകളിലെത്തുന്ന ചാന്ദ്രമധ്യാഹ്നത്തോടടുപ്പിച്ചാണ് അവിടെ ഏററവും കൂടുതൽ ചൂടു് അനുഭവപ്പെടുന്നതെന്നു് സ്വാഭാവികമായും നമുക്കു പ്രതീ ക്ഷിക്കാം. ആ സമയത്തു് ഭൂമിയിലുള്ളവർ 'പൂർണചന്ദ്രനെ' കണ്ടു് ആനന്ദി ക്കുകയായിരിക്കും. നേരെമറിച്ചു്, സൂര്യൻ ചന്ദ്രന്റെ മറുവശത്തു് പ്രകാ ശിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന സമയമായ ചന്ദ്രനിലെ അർധരാത്രിയിലായിരിക്കണം ഏററവും കൂടുതൽ തണുപ്പു് അനുഭവപ്പെടേണ്ടതു്. ഭൂനിവാസികൾക്ക് ആ സമയം കറുത്തവാവു് (അമാവാസി) ആയിരിക്കും.

മൗണ്ടു് വിൽസണിലെ 100 ഇഞ്ചു് ദൂരദർശിയുപയോഗിച്ചു് ഇ. പെററിററ്, എസ്. ബി. നിക്കോൾസൺ എന്നിവർ നടത്തിയ ഇൻഫ്രാറെഡ് മാപ നങ്ങൾ പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നതുപോലെയുള്ള മാററങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കുന്നുണ്ടു്. ചിത്രം 3.5 സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ പൗർണമിയിലെ ഇൻഫ്രാറെഡ് താപനില 390°K യിലെത്തുന്നു. ഇതു് വെള്ളത്തിന്റെ സാധാരണ തിള നിലയേക്കാൾ അല്പം മുകളിലാണ്. കറുത്തവാവിന് നാൾ (നമ്മുടെ താവള ത്തിലുള്ളവർക്ക് അർധരാത്രി) താപനില 120°K യിലേക്ക് താഴുന്നു. അതു് ദ്രവവായുവിന്റെ താപനിലയേക്കാൾ വളരെ ഉയരെയൊന്നുമല്ല.

റേഡിയോമാനങ്ങൾ അവയിൽ ചിലതാണ്. ചിത്രം 3.5 ൽ ആരേ ഖണം ചെയ്തിരിക്കുന്നതു്, രണ്ടു പ്രധാന കാര്യങ്ങളിൽ ഇൻഫ്രാറെഡ് ഫല ങ്ങളിൽ നിന്നും വിഭിന്നമായിരിക്കുന്നു. ഒന്നാമതായി താപനിലാവ്യത്യാസ ത്തിന്റെ പരാസം (Range) ഇത്രത്തോളം വലുതല്ല. രണ്ടാമതായി ഉച്ചതമതാപ നില അനുഭവപ്പെടുന്നതു് പൗർണമിനാളിലല്ല, അനേക ദിവസങ്ങൾക്കു ശേഷം മാത്രമാണ് ഈ വ്യത്യാസങ്ങളുടെ കാരണമെന്താണ്?

ചാന്ദ്രോപരിതലം ഇൻഫ്രാറെഡ് വികിരണത്തിനു് അതാര്യമാണെന്നു് ഏറെക്കുറെ തീർച്ചയാണെന്നു തോന്നുന്നു. അക്കാരണത്താൽ സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ഈ ഭാഗത്തുള്ള താപോത്സർജനം മുഴുവനും വളരെ നേരിയ പ്രതലസ്തരത്തിൽ നിന്നും വരുന്നതാവണം. ഈ സ്തരത്തിനു താഴെ നിന്നും ഉത്ഭവിക്കുന്ന ഇൻഫ്രാറെഡ് ഊർജം പുറത്തുകടക്കുന്നതിനു മുമ്പു തന്നെ അവശോഷണം



ചിത്രം 3.5 ചാന്ദ്രമാസത്തിലുടനീളം ചന്ദ്രബിംബത്തിന്റെ കേന്ദ്രഭാഗത്തെ താപനില. (പല ലേഖകരും പൗർണമിനാളിലല്ല കറുത്തവാവിൻ നാളിലാണ് $\varphi = 0$ എന്നെടുക്കുന്നത്). പെററിററിന്റെയും നിക്കോൾസന്റെയും ഇൻഫ്രാറെഡ് ദത്തം. കോഷെൻകോ, കുസ്മിൻ, സലോമോനോവിച്ച് എന്നിവിടങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള 10 സെ. മീ. റേഡിയോദത്തം.

ചെയ്യപ്പെടും. പ്രത്യുത റേഡിയോതരംഗങ്ങൾ അവശോഷണവിധേയമാകുന്നതിനു മുമ്പ് അലോഹപദാർഥങ്ങളിൽ അല്പദൂരം തുളച്ചുകയറും. തത്ഫലമായി അവയ്ക്ക് ഇത്രയും താഴ്ചയിൽ നിന്നു പുറത്തു കടക്കാനും കഴിയും. അക്കാരണത്താൽ റേഡിയോഊർജത്തിലധികഭാഗവും ചന്ദ്രോപരിതലത്തിനു താഴെ നിന്നും വരുന്നതാകാനാണു സാധ്യത. നമ്മുടെ ചാന്ദ്രപര്യവേഷകർ ചന്ദ്രനിലെ മണ്ണിൽ ഒരു താപമാപി വെച്ചാൽ കിട്ടുന്ന പാഠ്യാങ്കങ്ങൾ ഇൻഫ്രാറെഡ് ദത്തവുമായി സാദൃശ്യമുള്ളവയായിരിക്കും. എന്നാൽ, റേഡിയോഫലങ്ങളെ അതുപോലെ പകർത്തണമെന്നുണ്ടെങ്കിൽ ഉപകരണത്തിന്റെ ബൾബ് മണ്ണിൽ വളരെ താഴ്ത്തിവെയ്ക്കണം.

റേഡിയോ നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ കാണപ്പെടുന്ന ചില ചില്ലറ താപനിലാമാററങ്ങളെ മനസ്സിലാക്കാൻ വലിയ പ്രയാസമില്ല. മണ്ണും പാറകളും ഏററവും മോശമായ താപവാഹികളാണെന്ന് ഈ ഭൂമിയിലെ അനുഭവത്തിൽ നിന്നും നമുക്കറിയാം. ഉപരിതലത്തിലുണ്ടാവുന്ന താപനിലാമാററങ്ങളിൽ നിന്നും ഭൗമാന്തർഭാഗങ്ങളെ നല്ലവണ്ണം മറച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നാണ് ഇതിന്റെ അർഥം. താപത്തിനു മണ്ണിലേക്ക് ആഴ്ന്നിറങ്ങുന്നതിനും ആഴത്തിൽ

നിന്നും മേലോട്ട വരുന്നതിനും സമയം ആവശ്യമാകയാൽ ഏററവും കൂടി യതും ഏററവും കുറഞ്ഞതുമായ റേഡിയോതാപനാല പ്രതലതാപനിലകളേക്കാറം വളരെ പിമ്പിലായിരിക്കും. ചിത്രം 3.5 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു പോലെ 10 സെമീ. യോ അതിൽ കൂടുതലോ നീളമുള്ള തരംഗങ്ങറം വളരെ താഴ്ചയിൽ നിന്നും വരുന്നതാകയാൽ താപനിലാമററങ്ങറം മനപനീയമായ രീതിയിലുണ്ടായിരിക്കുകയില്ല.

ചന്ദ്രോപരിതലത്തിൽ നിന്നും എത്രമാത്രം താഴ്ചയിലാണ് റേഡിയോ തരംഗങ്ങറം ഉത്ഭവിക്കുന്നത്? പല ഗവേഷകന്മാരും ഇതിനു വളരെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായ ഉത്തരങ്ങറം നൽകിയിട്ടുണ്ട്. അതെന്തുമാവട്ടെ, 3 സെമീ. തരംഗങ്ങറം 20 സെമീ. താഴ്ചയിൽ നിന്നും വരുമ്പോറം 1 സെമീ. തരംഗങ്ങറം അതിൻെറ പകുതി താഴ്ചയിൽ നിന്നു വരുന്നതാകാനാണ് സാധ്യത. നമ്മുടെ ചന്ദ്രപര്യവേഷകർ ചന്ദ്രോപരിതലത്തിൽ 1 മീററർ താഴ്ചയിൽ തുരക്കുകയാണെങ്കിൽ, ഉപരിതലത്തിലെപ്പോലെ വൻ ഏററക്കുറച്ചിലുകളൊന്നും കാണിക്കാത്തതും ഏറെക്കുറെ സ്ഥിരമായ താപനിലയിലുള്ളതുമായ ഒരു മേഖലയിലെത്തും.

പൂർണചന്ദ്രൻ ഭൂമിയുടെ നിഴലിലേക്കു കടക്കുന്ന ചന്ദ്രഗ്രഹണവേളയിലെ സംഭവങ്ങറം ഈ നിഗമനങ്ങറംക്കു പിൻബലം നൽകുന്നവയാണ്. ഭൂമിയുടെ നിഴലിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന ചന്ദ്രൻെറ പ്രതലതാപനില ഒരു മണിക്കൂറിനുള്ളിൽ 200° യോളം താഴുന്നതായി ഇൻഫ്രാറെഡ് ദത്തങ്ങറം വ്യക്തമാക്കുന്നു. അതുപോലെ ഗ്രഹണാന്ത്യത്തിൽ താപനില പെട്ടെന്നുയരുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇത്തരം പെട്ടെന്നുള്ള മാററങ്ങറം ചന്ദ്രൻെറ വളരെ നേർത്ത ''പുറന്തൊലി' യിൽ മാത്രമേയുണ്ടാകാനിടയുള്ളു. നേരെ മറിച്ച് ഗ്രഹണ സമയത്ത് റേഡിയോദത്തങ്ങറം മാററമൊന്നും കാണിക്കുന്നില്ല. ചന്ദ്രൻെറ പുറന്തോടിൻെറ താഴ്ന്ന സ്തരങ്ങറംക്ക് ഈ രീതിയിൽ പെട്ടെന്നുണ്ടാകുന്ന മാററങ്ങറംക്കനുസരണമായി പ്രതികരണമുണ്ടാക്കാനുള്ള കഴിവില്ല എന്നതാണിതിനു കാരണം.

ഭൂമിയിലേക്കാറം കുറഞ്ഞ താഴ്ചയിൽ തന്നെ ചന്ദ്രൻെറ താപനില സ്ഥിരമാകുന്നതിനാൽ അസാധാരണമാംവിധം താപരോധശേഷിയുള്ള ഒരു പദാർഥത്താൽ ചന്ദ്രൻ ആവരണം ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കണമെന്ന നിഗമനത്തിലാണ് പല ഗ്രന്ഥകാരന്മാരും എത്തിച്ചേർന്നിട്ടുള്ളത്. നേർത്ത പൊടികൊണ്ടുള്ള ഒരു സ്തരമോ ചെറു സുഷിരങ്ങളോടു കൂടിയ ഒരിനം പാറയോ ആയിരിക്കാം അത് എന്നു പലരും അഭിപ്രായപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. രണ്ടിൻെറയും ഒരു മിശ്രിതമായിരിക്കണമെന്നാണ് ചില ഗവേഷകരുടെ അഭിപ്രായം. കണക്കുകൂട്ടലുകറം അനുസരിച്ച് ധൂളീസ്തരത്തിൻെറ താഴ്ച മില്ലിമീററിൻെറ ഒരംശം മുതൽ പത്തു കണക്കിനു മീററുകറം വരെ എന്തുമാകാം (ഒരു പക്ഷേ നമ്മുടെ ചാന്ദ്ര പര്യവേഷകർക്ക് ഹിമപാദുകങ്ങറം ആവശ്യമായെന്നും വരാം). റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികറം നാഴികമണിക്കെതിരെയുള്ള നെട്ടോട്ടത്തിൽ ഏർപ്പെ

ട്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ഘട്ടത്തിലെത്തിയിരിക്കുകയാണിന്ന് ശൂന്യാകാശപര്യവേഷണം.

ഗ്രഹങ്ങളുടെ താപനില

മാപനസമ്പ്രദായം

ചന്ദ്രന്റെ കാര്യത്തിലുപയോഗിച്ച അതേ തത്വങ്ങൾ തന്നെ ഉപയോഗിച്ചാണ് ഗ്രഹങ്ങളുടെ താപനിലയും മാപനം ചെയ്യുന്നത്. എങ്കിലും പ്രായോഗികമായി ഇവ തമ്മിൽ ഒരു പ്രധാന വ്യത്യാസമുണ്ട്. ചന്ദ്രൻ $\frac{1}{2}°$ കോണം സമ്മുഖമാക്കുന്നുവെങ്കിൽ ഗ്രഹങ്ങൾ സമ്മുഖമാക്കുന്ന കോണം ആർക്കിന്റെ ഒരു മിനിട്ടിൽ കുറവായിരിക്കും. ഒരു ഗ്രഹബിംബംകൊണ്ട് നിറയുവാൻ പാകത്തിൽ വേണ്ടത്ര ഇടുങ്ങിയ ബീമോടു കൂടിയ ഒരൊററ റേഡിയോ ദൂരദർശിയും ഇന്നോളം നിർമ്മിച്ചിട്ടില്ല.

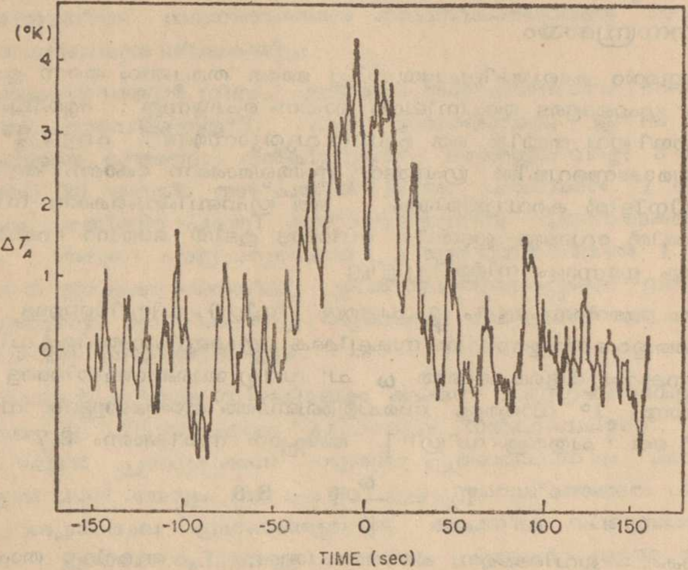
ഒരു ആന്റെന്ന ബീം β ചതുരശ്ര ഡിഗ്രി വിസ്തീർണമുള്ള ആകാശഭാഗത്തെ ഉൾക്കൊള്ളുന്നുവെന്നു സങ്കല്പിക്കുക. ഗ്രഹബിംബത്തിന്റെ വിസ്തീർണം ഇതിനേക്കാൾ വളരെ കുറഞ്ഞ ω ച: ഡിഗ്രിയാണെന്നുമിരിക്കട്ടെ [വശങ്ങളോരോന്നും 1° വീതമുള്ള സമചതുരഖണ്ഡത്തിലുൾക്കൊള്ളുന്ന വിസ്തീർണമാണ് ഒരു 'ചതുരശ്ര ഡിഗ്രി']. അപ്പോൾ സമീകരണം 3.7

$$T_A = \frac{\omega}{\beta}T \qquad 3.8$$

എന്നാകും. ഇവിടെ മുമ്പു പറഞ്ഞപോലെ, T_A ആന്റെന്ന താപനിലയും T ഗ്രഹോപരിതലത്തിന്റെ ദ്യുതിതാപനിലയുമാണ്. അങ്ങനെ ആന്റെന്ന താപനില ബീമിൽ ഗ്രഹം നിറഞ്ഞിരിക്കുമ്പോഴുണ്ടായിരിക്കേണ്ട താപനിലയുടെ ω/β ഭാഗം മാത്രമാണെന്നു വ്യക്തമാവുന്നു. പൊതുവേ ω/β വളരെ ചെറുതായിരിക്കുന്നതിനാൽ ഇക്കാര്യം ഗൗരവതരമായ ഒരു പ്രശ്നം തന്നെയാണ്. തത്ഫലമായി ഗ്രഹസിഗ്നലുകൾ, അനിയമിത ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ കൊണ്ട് മറഞ്ഞുപോകാനിടയാകത്തക്കവണ്ണം ആന്റെന്ന താപനില വളരെയധികം താണുപോകാനിടയാകും.

ഗ്രഹത്തിനു ചുററുമുള്ള ആകാശപശ്ചാത്തലത്തിൽ നിന്നും വരുന്ന കോസ്മിക റേഡിയോരവം നമ്മുടെ മാപനങ്ങളെ എങ്ങനെയൊക്കെ ബാധിക്കുന്നു? ഒന്നാമതായി സെ. മീ. തരംഗനീളങ്ങളിൽ ആകാശത്തിന്റെ ദ്യുതി താപനില വളരെയധികം താഴെയായിരിക്കും. അതായത് കേവലപൂജ്യത്തേക്കാൾ ഏതാനും ഡിഗ്രി മേൽ ആയിരിക്കില്ല. രണ്ടാമതായി ഗ്രഹത്തേക്കാൾ ദിഗംശത്തിൽ മുമ്പിലായിരിക്കത്തക്കവണ്ണം ആന്റെന്ന സജ്ജീകരിച്ചാണ് പാഠ്യാങ്കങ്ങളെടുക്കുന്നത്. അക്കാരണത്താൽ ഭൂമി കറങ്ങുമ്പോൾ പ്രസ്തുത ഗ്രഹം ബീമിൽ കൂടി കടന്നുപോകാനിടയുണ്ട്. ഈ രീതിയിൽ ഗ്രഹസീഗ്നൽ പശ്ചാത്തലരവത്തേക്കാൾ അല്പം ഉയർന്നായിരിക്കും പ്രത്യക്ഷ

പ്പെടുന്നതു്. അതായതു് ഗ്രഹം കടന്നു പോകുന്നതുമൂലം ആന്റെന്ന താപനിലയിലുണ്ടാകുന്ന *വർധനവു്* $\triangle T_A$ യായിരിക്കും നാം യഥാർഥത്തിൽ മാപനം ചെയ്യുന്നതു്.



ചിത്രം 3.6 യു. എസ്. എ. യ ലെ നാവികഗവേഷണ ലബോറട്ടറിയിലെ 50 അടി റേഡിയോ ദൂരദർശിയുടെ ബീമിലൂടെ ശുക്രൻ കടന്നുപോകുമ്പോൾ ആന്റെന്ന താപനിലയിലുണ്ടാകുന്ന വർധന. തരംഗനീളം 3.15 സെ. മീ. യാണു്. അസ്ഥിരപ്രകൃതിയായ ഏററക്കുറച്ചിലുകൾക്കു കാരണം സിഗ്നലിലും റിസീവറിലുമുള്ള 'രവം' ആണു്.

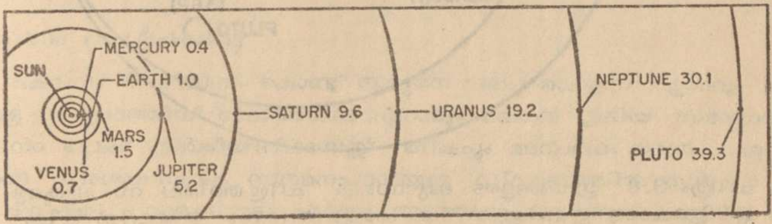
അത്തരം അനേകം ക്രമവീക്ഷണങ്ങളുടെ ശരാശരിയെടുത്താൽ അനിയതമായ ഏററക്കുറച്ചിലുകളുടെ പ്രഭാവം കുറയും. മേൽത്തരം ആധുനികറിസീവറുകളുപയോഗിച്ചു് ആന്റെന്ന താപനിലയിലുണ്ടാകുന്ന 0.01°K വർധന പോലും നിദർശിക്കാനാവും.

സൗരയൂഥം

സൗരയൂഥത്തെപ്പററി ഒരു ഏകദേശധാരണയുള്ള വായനക്കാരെ ഉദ്ദേശിച്ചുള്ളതല്ല ഈ ഭാഗം. ഗ്രഹങ്ങളുടെ താപാനിലാമാപനങ്ങൾ പോലുള്ള റേഡിയോ ഖഗോളപ്രശ്നങ്ങളിൽ ഗ്രഹങ്ങളുടെ വലുപ്പവും അകലവും ഒരു പ്രധാന ഘടകമാകയാൽ, ഖഗോളവിജ്ഞാനപരമായി പിന്നോക്കം നിൽക്കുന്നവരുടെ സഹായത്തിനായിട്ടാണു് ഇതു് ഇവിടെ ചേർത്തിരിക്കുന്നതു്.

ചിത്രം 3.7 ൽ ഗ്രഹങ്ങളുടെ ഭ്രമണപഥങ്ങൾ ഒരു നിശ്ചിത തോതിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഏററവും ഉള്ളിലുള്ള ഗ്രഹമായ ബുധൻെറയും ഏററവും പുറമേയുള്ള പ്ലൂട്ടോയുടെയും ഭ്രമണപഥങ്ങളാണ് വൃത്തങ്ങളിൽ നിന്നും വളരെ വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരിക്കുന്നത് എന്ന വസ്തുത വളരെ വിചിത്രമായി തോന്നാം. ചിലയവസരങ്ങളിൽ പ്ലൂട്ടോയുടെ ഭ്രമണപഥം വളരെയേറെ വികേന്ദ്രീയമാവാറുണ്ട്. അതായത്, ഈ വിദൂരസ്ഥഗ്രഹം നെപ്ട്യൂണിനേക്കാൾ സൂര്യനോടടുത്തു വരും.

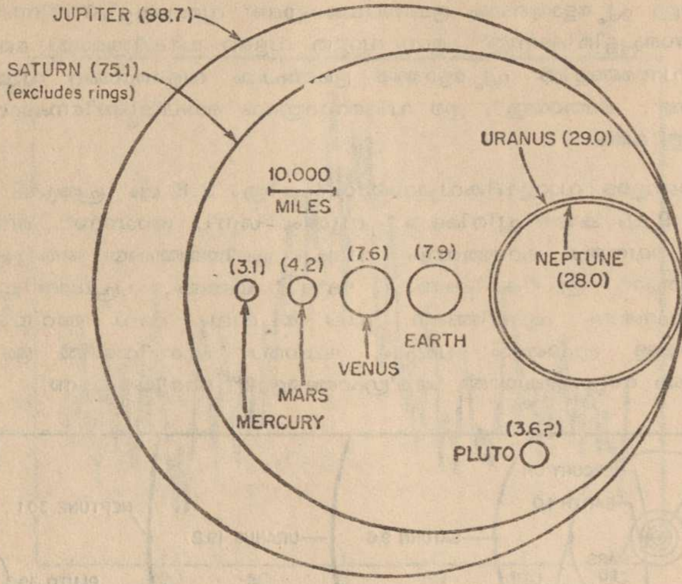
ഗ്രഹങ്ങളുടെ വാസ്തവികവ്യാസങ്ങൾ ചിത്രം 3.8 ലും പ്രത്യക്ഷ വ്യാസങ്ങൾ 3.9 ലും കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. വ്യാഴം, ശനി, യുറാനസ്, നെപ്ട്യൂൻ എന്നിവ ഘനത്വം കുറഞ്ഞവയും വലുപ്പം കൂടിയവയുമായ ഒരു പ്രത്യേക ഗ്രൂപ്പ് തന്നെ രൂപീകരിക്കുന്നു. 'ഭീമ' ഗ്രഹങ്ങൾ, 'പ്രധാന' ഗ്രഹങ്ങൾ 'വ്യാഴ' ഗ്രഹങ്ങൾ എന്നിങ്ങനെ പല പേരിലും അവ അറിയപ്പെടുന്നു. ബാക്കിയുള്ള ഗ്രഹങ്ങൾ വലുപ്പം, ഘനത്വം എന്നിവയിൽ ഭ്രമിയോട് ഏറെക്കുറെ സദൃശമാകയാൽ 'ഭൗമ' ഗ്രഹങ്ങളെന്ന് അറിയപ്പെടുന്നു.



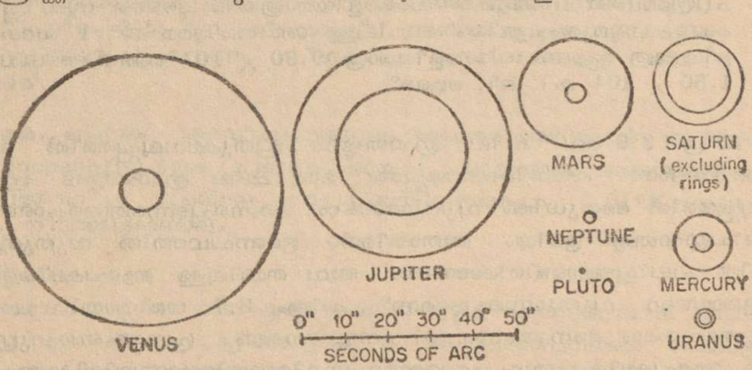
ചിത്രം 3.7 സൂര്യനിൽ നിന്നും ഗ്രഹങ്ങളിലേക്കുള്ള ശരാശരി ദൂരം ചിത്രത്തിലെ സംഖ്യകൾ ഖഗോളീയമാത്രയിൽ ദൂരത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. സൂര്യനും ഭ്രമിയും തമ്മിലുള്ള ശരാശരിദൂരമാണ് 1 ഖഗോളീയമാത്ര. ഒരു ഖഗോളീയമാത്ര 9.30×10^7 മൈൽ അഥവാ 1.50×10^8 കി. മീ. ആണ്.

ചിത്രം 3.9 ലെ ചില ഗ്രഹങ്ങളുടെ പ്രത്യക്ഷവലുപ്പത്തിൽ വലിയ മാററങ്ങളൊന്നും കാണിക്കാത്തപ്പോൾ മററു ചില ഗ്രഹങ്ങളുടെ പ്രത്യക്ഷ വലുപ്പത്തിൽ അത്യധികം വ്യത്യാസങ്ങൾ കാണപ്പെടുന്നതെന്തുകൊണ്ടാണ്? സമീപഗ്രഹങ്ങളും ഭ്രമിയും അതാതിൻെറ ഭ്രമണപഥത്തിൽ വ്യത്യസ്തവേഗത്തിൽ ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ അവ തമ്മിലുള്ള ആപേക്ഷികദൂരങ്ങൾ വളരെയേറെ വ്യത്യാസപ്പെടുമെന്ന് ചിത്രം 3.7 ശരിയായി പഠിക്കുന്ന ഏതൊരാൾക്കും അനായാസമായി മനസ്സിലാക്കാം. പ്രത്യുത ബാഹ്യഗ്രഹങ്ങളുടെ ആപേക്ഷികദൂരങ്ങൾ ഏറെക്കുറെ സ്ഥിരമായിത്തന്നെയിരിക്കുന്നു. ഭ്രമിയുടെ ഭ്രമണപഥവുമായി തട്ടിച്ചു നോക്കുമ്പോൾ അവയുടെ ഭ്രമണപഥങ്ങൾ വളരെ വലുതാണെന്നതാണ് ഇതിനു കാരണം. ഈ പ്രതിഭാസങ്ങൾ പ്രകാ

ശിക–നിരീക്ഷകന്മാർക്കും റേഡിയോനിരീക്ഷകന്മാർക്കും ഒരു പോലെ വളരെയധികം പ്രായോഗികപ്രാധാന്യമുള്ളവയാണെന്നു എടുത്തു പറയേണ്ടതില്ല.



ചിത്രം 3.8 ഗ്രഹങ്ങളുടെ വ്യാസം ചിത്രത്തിലെ സംഖ്യകളെ 1000 കൊണ്ടു ഗുണിച്ചാൽ ശരിക്കുള്ള വ്യാസം മൈലിൽ കിട്ടും. പ്ലൂട്ടോയുടെ വ്യാസം അജ്ഞേയവും അനിശ്ചിതമാണെന്നാണ് ബ്രാക്കറ്റിലെ ചോദ്യചിഹ്നംകൊണ്ടു കുറിക്കുന്നത്.



ചിത്രം 3.9 ഗ്രഹങ്ങളുടെ ഏററവും കൂടിയതും ഏററവും കുറഞ്ഞതുമായ കോണീയവ്യാസം—ഭൂമിയിൽ നിന്നും ദൃശ്യമാവുന്നത്.

ഒരു ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോ സിഗ്നലുകൾ ഇദം പ്രഥമായി നിദർശിച്ചതു് 1955 ലാണ്. ഡെക്കാമീററർ തരംഗനീളങ്ങളിൽ വ്യാഴഗ്രഹം ഉത്സർജ്ജിക്കുന്ന തീവ്രമായ താപേതരവികിരണത്തെ രണ്ടു യുവ ഖഗോള വിജ്ഞാനികൾ തികച്ചും യാദൃച്ഛികമായി ററ്യൂൺ ചെയ്യപ്പോഴാണ് അതു സംഭവിച്ചതു്. അടുത്ത വർഷം തന്നെ, ആദ്യം ശുക്രനിൽ നിന്നും തുടർന്നു് ചൊവ്വ, കുജൻ, വ്യാഴം എന്നിവയിൽ നിന്നും ഉത്സർജ്ജിക്കപ്പെടുന്ന സൂക്ഷ്മതരംഗ വികിരണം മാപനം ചെയ്യുന്നതിൽ അമേരിക്കയിലെ നാവികഗവേഷണ ലബോറട്ടറിയിലെ (Naval Research Laboratory) ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ വിജയിച്ചു തുടർന്നുള്ള വർഷങ്ങളിൽ ശനി, ബുധൻ എന്നിവയിൽ നിന്നുമുള്ള സൂക്ഷ്മതരംഗ ഊർജ്ജവികിരണവും നിദർശിക്കുകയുണ്ടായി. അങ്ങനെ ഏററവും ഉള്ളിലുള്ള അഞ്ചു ഗ്രഹങ്ങളുടെ അതായതു് പ്രാചീനമനുഷ്യരുടെ അറിവിൽപ്പെട്ടിരുന്ന അഞ്ചു നഗ്ന നേത്രഗോചര ഗ്രഹങ്ങളുടെ റേഡിയോമാപനങ്ങൾ നമുക്കിന്നു ലഭിച്ചിട്ടുണ്ടു്. ഇനി നമുക്കു് ഈഗ്രഹങ്ങളെ ഓരോന്നോരോന്നായി എടുത്തു് അവയുടെ റേഡിയോ നിരീക്ഷണങ്ങൾ എന്തൊക്കെ വെളിപ്പെടുത്തുന്നുവെന്നു നോക്കാം.

ബുധൻ (മെർക്കുറി)

കേവലം 88 ദിവസം കൊണ്ടു് സൂര്യനെ വലം വെയ്ക്കുന്ന ഏററവും ഉള്ളിലുള്ള ഈ ഗ്രഹത്തിനു് ദേവന്മാരുടെ ഏററവും വേഗത കൂടിയ സന്ദേശവാഹകൻെറ പേരു് നൽകിയിരിക്കുന്നതു് തികച്ചും അന്വർഥം തന്നെ. ഏററവും എന്ന വിശേഷണപദം ബുധനെപ്പററിയുള്ള വിവരണത്തിൽ സർവദാ ഉപയോഗിക്കാം. സൂര്യനോടു് ഏററവും അടുത്ത ഗ്രഹമാണെന്നു മാത്രമല്ല, ഏററവും ചെറിയ ഗ്രഹവും ഏറെക്കുറെ ഏററവും ഘനത്വമേറിയ ഗ്രഹവും ബുധൻ തന്നെയാണ്. സൂര്യനോടുള്ള സാമീപ്യം കാരണം ശുക്രനെപ്പോലെ ഏററവും ചൂടുകൂടിയ ഗ്രഹമെന്ന ബഹുമതിയും ബുധനു തന്നെയാണ്. വിചിത്രമെന്നു പറയട്ടെ, ബുധൻ തന്നെയാകാം ഒരു പക്ഷേ ഏററവും തണുപ്പുള്ള ഗ്രഹവും! ഇതെങ്ങനെ സാധ്യമാവും?

സമീപസ്ഥമായ സൂര്യൻെറ അതി തീവ്രമായ വേലാവലിവു കാരണം, ഒരു വശം എല്ലായ്പോഴും സൂര്യനഭിമുഖമായും മറുവശം നിരന്തരം പ്രായേണ തണുത്ത ബാഹ്യസ്പേസിലേക്കും തിരിഞ്ഞിരിക്കത്തക്ക വിധം ബുധൻെറ ഘൂർണനവേഗം മന്ദീഭവിച്ചിരിക്കുന്നു എല്ലായ്പോഴും സൂര്യനോടടുത്തായിരിക്കുന്നതിനാലും ചന്ദ്രനെപ്പോലെ കലകൾ (വൃദ്ധിക്ഷയങ്ങൾ) കാണിക്കുന്നതിനാലും ബുധനെ നിരീക്ഷിക്കുവാൻ പ്രയാസമാണ്. ശുഷ്കവും പ്രത്യക്ഷത്തിൽ വായുരഹിതവുമായ ബുധൻ പുറം കാഴ്ചയിലും ഭൗതികസ്ഥിതിയിലും ചന്ദ്രനോടു സാദൃശ്യം വഹിക്കുന്നു. ബുധൻെറ അന്തരീക്ഷമർദ്ദം ഭൗമാന്തരീക്ഷമർദ്ദത്തിൻെറ ആയിരത്തിലൊന്നിൽ കൂടുതൽ വരില്ലയെന്നാണ് ഏററവും വിശ്വസനീയമായ കണക്കുകൂട്ടലുകൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു്. അക്കാരണത്താൽ സൂര്യ

പ്രകാശം വീഴുന്ന ഭാഗത്തു നിന്നും തമോവൃതമായ മറുവശത്തേക്ക താപത്തെ വഹിച്ചുകൊണ്ടുപോകുന്നതിൽ കാററുകൾക്ക യാതൊരു പങ്കുമില്ല. (അന്തരീക്ഷമേയില്ലെങ്കിൽ പിന്നെ കാററില്ലെന്നു് എടുത്തുപറയേണ്ടതില്ലല്ലോ !) അപ്പോൾ പിന്നെ ഗ്രഹപദാർഥത്തിലൂടെയുള്ള താപസംവഹനം കൊണ്ടുമാത്രമേ രണ്ടു് അർധഗോളങ്ങളിലെയും താപനിലകൾ തുല്യമാകാൻ തരമുള്ളു. എന്നാൽ ഗ്രഹീയ പദാർഥങ്ങൾ താപീയമായി കുചാലകങ്ങളെന്നു് കുപ്രസിദ്ധിയാർജ്ജിച്ചവയാണെന്നു നേരത്തെ തന്നെ നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു. തമോവൃതഭാഗത്തിൽ അല്പമെങ്കിലും താപം ഉണ്ടെങ്കിൽ അതിന്റെ നിദാനം അധോപ്രതല (ഉപരിതലത്തിനു താഴെ നിന്നും) റേഡിയോ ആക്ററിവതമാത്രമാണെന്നു വിശ്വസിച്ചുപോരുന്നു.

ഉപസൗരബിന്ദുവിൽ അഥവാ സൂര്യപ്രകാശം പതിക്കുന്ന അർധഗോളത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തിൽ, ബുധന്റെ പ്രതല താപനില 613°K (340°C) ആണെന്നു് മൗണ്ടു് വിൽസണിലെ പെററിററു് നിക്കോൾസൺ തുടങ്ങിയവരുടെ ഇൻഫ്രാറെഡു് മാപനങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു.

ഇതു് ലെഡിന്റെ (കറുത്തീയം) ന്റെ ഉരുകൽ നിലയേക്കാൾ കൂടുതലാണു് ! ഗ്രഹത്തിന്റെ ഇരുണ്ട വശത്തു നിന്നും വികിരണം വരുന്നതായി നിർശിച്ചിട്ടില്ല. ആ ഭാഗം കേവലപൂജ്യം താപനിലയേക്കാൾ അധികം ഉയരെയായിരിക്കുകയില്ലയെന്നതാണു് ഇതു സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. അധോപ്രതല റേഡിയോ ആക്ററിവതയെ ആധാരമാക്കിയുള്ള കണക്കു കൂട്ടലുകൾ വ്യക്തമാക്കുന്നതു് താപനില 28°K യായിരിക്കാമെന്നാണു്. ഇതു് ദ്രാവകവായുവിനേക്കാൾ വളരെയേറെ തണുപ്പുള്ളതാണു്. ബുധന്റെ താപനിലയിലുള്ള ഈ അജഗജാന്തരവുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ ചന്ദ്രന്റേതു് വളരെ കുറവാണെന്നു തോന്നും.

1961 ൽ മിഷിഗൺ സർവകലാശാലയിലെ 85 അടി റേഡിയോ ദൂരദർശി കൊണ്ടു് ബുധനിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോ ഉത്സർജനം നിദർശിക്കുകയുണ്ടായി. 3.45 സെ. മീ 3.75 സെ മീ എന്നീ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ നടത്തിയ മാപനങ്ങളുടെ ശരാശരി എടുത്തപ്പോൾ ആന്റെന്ന താപനില 0.05°K എന്നു ലഭിച്ചു ഗ്രഹത്തിന്റെ സൂര്യപ്രകാശം പതിക്കുന്ന ഭാഗത്തെ താപനില ഏകസമാനമാണെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ $\triangle T_A$ യുടെ ഈ മൂല്യമനുസരിച്ചു് ബിംബത്തിനുമൊത്തം ദ്യുതിതാപനില 380°K യാണെന്നു കാണാം.

താപനില ഏററവും ഉയർന്നിരിക്കുന്നതു് ഉപസൗരബിന്ദുവിലാണെന്നും, പ്രസ്തുത ബിന്ദുവിൽ നിന്നു് അകലേക്കു നീങ്ങുകയും സൂര്യന്റെ ഉന്നതാംശം കുറയുകയും ചെയ്യുമ്പോൾ താപനില താഴുമെന്നും ഊഹിക്കുന്നതു് കൂടുതൽ യുക്തിസഹമായിരിക്കും. ഗ്രഹോപരിതലത്തിന്റെ താപനില $(\cos\delta)^{\frac{1}{4}}$ ക്രമത്തിൽ താഴുമെന്നാണു് സിദ്ധാന്തം സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. δ എന്നതു് സെനിത്തിൽ നിന്നും സൂര്യനിലേക്കുള്ള കോണീയദൂരമാണു്. ഈ നിയമം നാം സ്വീകരിക്കു

കയാണെങ്കിൽ ഉപസൗരബിന്ദുവിലെ റേഡിയോ താപനില 1100°K യാണെന്നു കാണാം. അതു് തീർച്ചയായും ഇൻഫ്രാറെഡ് ഫലത്തിനേക്കാൾ ഏകദേശം 500° കൂടുതലാണു്. റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ ഗ്രഹോപരി തലത്തിൽ നിന്നും ഏതാനും സെ: മീ താഴെ നിന്നാണു് വരുന്നതെന്ന വസ്തുതയാണോ ഈ വ്യത്യാസത്തിനു കാരണം? താപനില $(\cos\delta)^{\frac{1}{4}}$ നിയമത്തെ അനുസരിക്കുന്നില്ലെന്നും അക്കാരണത്താൽ സിദ്ധാന്തം പ്രവചിക്കുന്നതിനേക്കാൾ ഗ്രഹത്തിന്റെ അരികു് ചൂടുകൂടിയതും കേന്ദ്രം താരതമ്യേന തണുത്തുമാണെന്നും വരാനാണു് കൂടുതൽ സാധ്യതയുള്ളതെന്നു തോന്നുന്നു.

ശുക്രൻ (വീനസ്)

ശുക്രനെപ്പററിയുള്ള ആധുനികസിദ്ധാന്തങ്ങളുടെ അത്ഭുതാവഹമായ വൈവിധ്യം തന്നെ പ്രസ്തുത ഗ്രഹത്തെപ്പററി നമുക്കുള്ള ശരിയായ ജ്ഞാനത്തിന്റെ അഭാവത്തിലേക്കുള്ള ഒരു നല്ല ചൂണ്ടുപലകതന്നെയാണെന്നു കരുതാം. ശുക്രന്റെ ഉപരിതലം ശുഷ്കമായ മരുഭൂമികൾകൊണ്ടു മൂടപ്പെട്ടതാണെന്നും, സമുദ്രങ്ങളാലും ചതുപ്പു പ്രദേശങ്ങളാലും നിറഞ്ഞതാണെന്നും, അതല്ല എണ്ണക്കടൽ കൊണ്ടു മൂടിയിരിക്കുകയാണെന്നുമൊക്കെ തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായ അഭിപ്രായങ്ങൾ വച്ചു പുലർത്തുന്നവരാണു് പ്രമുഖരായ പല ഖഗോളവിജ്ഞാനികളും. മറേറതു ഗ്രഹത്തേക്കാളും ഭൂമിയോടടുത്തു വരുന്ന ശുക്രനെപ്പററി ഇത്ര വളരെക്കുറച്ചു മാത്രമേ അറിയാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടുള്ളു എന്ന കാര്യം ആശാഭംഗത്തിനിടയാക്കുന്നു. ഇതിനോടകം തന്നെ ശുക്രൻ നമ്മുടെ പല ശൂന്യാകാശപര്യവേക്ഷണങ്ങളുടെയും ലക്ഷ്യമായിത്തീർന്നിട്ടുമുണ്ടു്. വലുപ്പത്തിലും ദ്രവ്യമാനത്തിലും മറേറതു ഗ്രഹത്തെക്കാളും ഭൂമിയോടു സാദൃശ്യം വഹിക്കുന്നതു് ശുക്രനാണെന്ന കാര്യം കൂടി നാം കണക്കിലെടുക്കുമ്പോൾ, കൂടുതൽ വിവരങ്ങൾ ശേഖരിക്കാൻ ഇന്നു നടക്കുന്ന യത്നങ്ങളുടെ പ്രാധാന്യം എളുപ്പം മനസ്സിലാക്കാം.

നമ്മുടെ ഇപ്പോഴത്തെ ഈ അജ്ഞതയുടെ കാരണങ്ങൾ എന്തെല്ലാമാണു്? ശുക്രൻ മിക്കവാറുമെല്ലായ്പോഴും സാന്ദ്രമായ മേഘങ്ങളാൽ ആവൃതമായിരിക്കുമെന്നതാണു് ഇതിന്റെ ഏററവും പ്രധാന കാരണം. ഒരൊററ പ്രകാശിക ദൂരദർശിക്കും ഈ മേഘങ്ങളെ തുളച്ചു് ഗ്രഹോപരിതലത്തിലെത്താൻ കഴിവില്ല. പ്ലേററ് VI ൽ കാണപ്പെടുന്നതുപോലെ മേഘങ്ങളിന്മേൽ ചില അവ്യക്തമായ ഛായകൾ കാണിക്കാൻ മാത്രമേ ദൂരദർശികൊണ്ടു് സാധ്യമാവൂ. ഗ്രഹത്തിന്റെ ഘൂർണന കാലം തിട്ടപ്പെടുത്താൻ പോലും പര്യാപ്തമല്ലാത്തവിധം ഉപരിപ്ലവങ്ങളാണവ. ഭൂമിയോടു് ഏററവും അടുത്തുവരുമ്പോൾ അതു് സൂര്യനും ഭൂമിക്കുമിടയിൽ വരുന്നതിനാൽ അതിന്റെ ഇരുണ്ട വശം മാത്രമേ നമുക്കു ദൃശ്യമാവൂ. സൂര്യന്റെ മറുവശത്തായിരിക്കുമ്പോൾ ആണ അതിന്റെ പ്രകാശ ദീപ്തമായ വശം മുഴവനായും നമുക്കു് അഭിമുഖമായി വരുന്നതു്. അന്നു് ഫലപ്രദമായ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്താൻ വേണ്ടത്ര വലുപ്പം ഗ്രഹബിംബത്തിനുണ്ടായിരിക്കുകയുമില്ല. ഈ രണ്ടു പരമകാഷ്ഠകൾക്കുമിടയിൽ ചന്ദ്രനെപ്പോലെ ശുക്രനും വൃദ്ധിക്ഷയങ്ങൾ (കലകൾ) പ്രകടമാക്കുന്നു.

ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തിൽ മേഘങ്ങളുടെ വിതാനം വരെ മാത്രമേ പ്രകാശിക ടെക്നിക്കുകളുപയോഗിച്ച പര്യവേക്ഷണങ്ങൾ നടത്താനാവൂ. എങ്കിലും, അതി സാന്ദ്രമായ ഒരു അന്തരീക്ഷത്താൽ ശുക്രൻ ആവൃതമാണെന്നു ലഭിച്ചിട്ടുള്ള തെളിവുകൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. നമ്മുടെ അന്തരീക്ഷത്തിലുള്ളതിന്റെ 5 മുതൽ 50 മടങ്ങുവരെ അന്തരീക്ഷം മർദ്ദം ശുക്രോപരിതലത്തിലുണ്ടെന്നാണ് ഈ അടുത്ത കാലത്തു നടത്തിയ കണക്കുകൂട്ടലുകൾ വ്യക്തമാക്കുന്നത്. അവിടെ വൻതോതിൽ കാർബൺ ഡയോക്സൈഡ് ഉണ്ടെന്ന് വർണരാജീലേഖികൾ വെളിപ്പെടുത്തുന്നു. അതു് രണ്ടുകിലോമീററർ അന്തരീക്ഷമർദ്ദം അതായതു് അന്തരീക്ഷത്തിലെല്ലായിടത്തും ഏകമാനമായ ഒരു അന്തരീക്ഷമർദ്ദത്തിനുതുല്യമായിരുന്നുവെങ്കിൽ അതു് മേഘങ്ങളുടെ മുകളിൽ 2 കി. മീ കനമുള്ള ഒരു സ്തരം ഉണ്ടാക്കുമെന്നാണ് കണക്കാക്കിയിട്ടുള്ളതു്. ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിൽ ആകെയുള്ള കാർബൺ ഡയോക്സൈഡിന്റെ 200 മടങ്ങിലധികമാണിതു്! ഭൂമിയിലുറപ്പിച്ചിട്ടുള്ള വൻദൂരദർശികളോടു വർണരാജീലേഖികൾ ഘടിപ്പിച്ച് ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തിൽ ഓക്സിജനും ജലബാഷ്പവും നിദർശിക്കാൻ നടത്തിയ പരിശ്രമങ്ങളൊന്നും വിജയത്തിലെത്തിയിട്ടില്ല. ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലെ ഓക്സിജനും ജലബാഷ്പവും മൂലമുണ്ടാകുന്ന ആച്ഛാദനപ്രഭാവം ഈ ഉപകരണങ്ങളുടെ പ്രവർത്തനത്തെ വിഘാതപ്പെടുത്തുന്നുവെന്ന കാര്യം നാം മനസ്സിലാക്കണം. 1959-ൽ നമ്മുടെ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ മേലെ ഏറെക്കുറെ കടന്ന് 80000 അടി ഉയരത്തിലെത്തിയ ഒരു ബലൂണിൽ വെച്ച് ജോൺസ്ട്രോങ്ങിന്റെ (John strong) നേതൃത്വത്തിലുള്ള ഒരു സംഘം ശാസ്ത്രകാരന്മാർ സ്പെക്ട്രം എടുക്കുകയുണ്ടായി. അവരുടെ പരീക്ഷണഫലങ്ങൾ തർക്കമററവയല്ലെങ്കിൽ തന്നെയും ശുക്രന്റെ ഉപരി അന്തരീക്ഷത്തിൽ അല്പസ്വല്പം ജലബാഷ്പത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നവയാണവ. (ഭൂമിയുടെ വായുമണ്ഡലത്തിന്റെ അതിർത്തികളൊക്കെകടന്ന് ഉപഗ്രഹനിരീക്ഷണാലയങ്ങളിൽ വൻ ദൂരദർശികൾ ഭ്രമണപഥത്തിലെത്തിക്കാൻ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ എന്തുകൊണ്ടിത്ര താല്പര്യം കാണിക്കുന്നുവെന്നതിന് ഉത്തമദൃഷ്ടാന്തമാണ് ഈ പരീക്ഷണം)

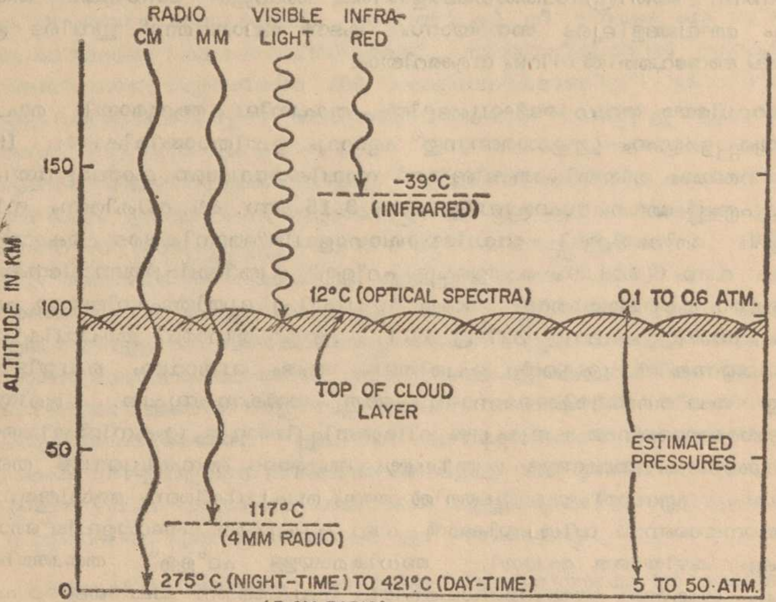
ശുക്രോപരിതലത്തിന്റെ താപനില നമുക്കറിയാമെങ്കിൽ അവിടത്തെ സ്ഥിതിയെപ്പററിയുള്ള മർമ്മപ്രധാനമായ ഒരു സൂചന നമുക്കു ലഭിച്ചുവെന്നുള്ളതു് വ്യക്തമാണ്. നിർഭാഗ്യവശാൽ ഇൻഫ്രാറെഡ് തരംഗങ്ങളെ മേഘങ്ങൾ തടഞ്ഞു നിറുത്തുന്നു. ഉപരി—അന്തരീക്ഷത്തിലുള്ള കാർബൺഡയോക്സൈഡുപോലും ഈ തരംഗങ്ങൾക്ക് അതാര്യമാണ്. ചിത്രം 3.10 ൽ കാണിച്ചിട്ടുള്ളതുപോലെ മേഘങ്ങൾക്കു മീതെ 40 കി മി കൂടുതൽ താഴ്ചയുള്ള ഒരു മേഖലയിലേക്കു ഇൻഫ്രാറെഡ് കിരണങ്ങൾക്ക് ആഴ്ന്നിറങ്ങാനാവില്ല. അക്കാരണത്താൽ സാധാരണ ഇൻഫ്രാറെഡ് രീതിയിൽ മാപനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന താപനിലയായ −39° C (234° K) അന്തരീക്ഷത്തിലെ ഈ ഉന്നത സ്തരത്തിനുമാത്രമേ സാധുവാകയുള്ളു. സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ ദൃശ്യഭാഗത്തിനുസമീപം കാർബൺ ഡയോക്സൈഡു തന്മാത്രയുടെ സ്പെക്ട്രനിരീക്ഷണത്തിൽ നിന്നും മേഘങ്ങ

ളുടെ തൊട്ടുമുകളിലുള്ള താപനില 12° C ആണെന്ന് ജെ. ഡബ്ളിയു ചേംബർലൈൻ, ജി. പി. കൂപർ എന്നിവർ കണക്കാക്കിയിട്ടുണ്ട്. ഇതു് ഗ്രഹോപരിതലത്തോട് അല്പം കൂടി അടുത്താണെങ്കിൽ തന്നെയും പ്രകാശീകഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്ക് ശരിയായ ഉപരിതല താപനില ഊഹിച്ചുകണ്ടുപിടിക്കുകയെന്നതിൽ കൂടുതലൊന്നും ചെയ്യാനാവില്ല. പല കണക്കു കൂട്ടലുകളും 100°C യോടടുത്തുവരുന്നവയാണ്. ജലത്തിനു് ദ്രാവകരൂപത്തിൽ അവിടെ സ്ഥിതിചെയ്യാനാവുമോയെന്ന മർമ്മ പ്രധാനമായ ഒരു ചോദ്യം ഇവിടെ ഉദിക്കാനിടയുണ്ട്. ഇന്നോളം ലഭിച്ചിട്ടില്ലാത്ത വിവരങ്ങൾ ലഭിക്കാനെന്താണൊരു വഴി? റേഡിയോ ടെക്നിക്കുകളാണ് ഈ സ്ഥിതിയിലേററവും ഉചിതമെന്നു തോന്നുന്നു. അതിഹ്രസ്വതരംഗങ്ങളൊഴികെ മറെറല്ലാം റേഡിയോ തരംഗങ്ങളും മേഘങ്ങളിലൂടെ അനായാസം കടന്നു പോകുമെന്നു് ഇവിടെ ഭൂമിയിലെ അനുഭവത്തിൽ നിന്നും നമുക്കറിയാം.

റേഡിയോ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ താപനില ആദ്യമായി മാപനം ചെയ്യപ്പെട്ട ഗ്രഹം ശുക്രനാണെന്നതു് ഏററവും ഉചിതമായിരിക്കുന്നു. 1956 മേയ് രണ്ടാം തീയതി വാഷിങ്ടൺ നാവികഗവേഷണ ലാബറട്ടറിയിലെ സി. എച്ച് മേയറും സഹപ്രവർത്തകരും 3.15 സെ. മീ. വികിരണം നിരീക്ഷിച്ചു. ഒരിക്കൽക്കൂടി റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനികളുടെ കൊയ്ത്തുകാലം വന്നു. മാപനം ചെയ്യപ്പെട്ട ഫ്ളക്സ് പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നതിനേക്കാൾ എത്രയോ കൂടുതലായിരുന്നു. അതു സൂചിപ്പിച്ച ദ്യുതിതാപനിലയോ ഏകദേശം 600°K അഥവാ 327°C യും! ഇതു് യഥാർത്ഥ താപവികിരണമായിരുന്നെങ്കിൽ ശുക്രന്റെ ഉപരിതലം ആരും വിഭാവനം ചെയ്തിട്ടില്ലാത്ത തപ്തമായിരിക്കുമെന്നാണ് അതു് നൽകുന്ന സൂചന. ഭൂമിയുടെ ഇരട്ടസഹോദരനെന്നു പലപ്പോഴും വിശേഷിപ്പിക്കാറുള്ള ശുക്രനിൽ ജീവന്റെ സ്ഫുരണം കാണുമെന്നുള്ള പ്രതീക്ഷയും അതോടെ അസ്തമിച്ചുവെന്നു തന്നെ പറയാം. എന്നാൽ യഥാർത്ഥത്തിൽ അതു് താപവികിരണം ആയിരുന്നോ? അങ്ങനെയാണെന്നു വിശ്വസിക്കാൻ പല പ്രകാശിത ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്കും കഴിയാതെ പോയി. അധികമായുള്ള ഫ്ളക്സ്, തത്വത്തിലെങ്കിലും, ശുക്രന്റെ അയണമണ്ഡലത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ ചലനങ്ങളുടെ ഫലമായുണ്ടാകുന്നതാണെന്നു റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്കു സമ്മതിക്കേണ്ടിവന്നു. എങ്കിലും നിരീക്ഷിച്ചത്ര ഊർജം ഉണ്ടായിരിക്കണമെങ്കിൽ പ്രായേണ അസംഭാവ്യമെന്നു തോന്നാവുന്നത്ര ഘനത്വവും വ്യാപ്തിയും ഈ അയണമണ്ഡലത്തിനുണ്ടായിരിക്കണം.

കഴിഞ്ഞ ആറു വർഷക്കാലത്തിനിടയിൽ 4 മി മീ. മുതൽ 21 സെ.മീ. വരെയുള്ള തരംഗനീളങ്ങളിൽ ശുക്രനിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോഊർജം പഠനവിധേയമായിട്ടുണ്ട്. 3 സെമീ. മുതൽ 21 സെമീ. വരെയുള്ള സ്പെക്ട്രം ഏകദേശം 350°C യിലുള്ള കൃഷ്ണികയുടെ സ്പെക്ട്രം പോലെയുള്ളതാണ്. ഈ തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ ഗ്രഹോപരിതലത്തിൽ നിന്നും ഉത്ഭവിക്കുന്നവയാ

ണെന്നും നാം മാപനം ചെയ്യ താപനില, നമുക്കിഷ്ടമാണെങ്കിലും അല്ലെങ്കിലും ഗ്രഹോപരിതലത്തിന്റെ താപനിലതന്നെയാണെന്നുമുള്ളതിനു് മതിയായ തെളിവുകളുണ്ടു്. 2 സെ. മീററിനു താഴെയുള്ള തരംഗദൈർഘ്യങ്ങളിൽ താപനില കുറയുന്നു. 4 മി. മീററിൽ അതു് ഏകദേശം 117°C യോളമെത്തുന്നു. ചിത്രം 3.10 സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ ഉപരിതലത്തിൽ നിന്നും കുറച്ചു് ഉയരത്തിൽ വെച്ചു് സാന്ദ്രമായ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ അധോമേഖല അതിഹ്രസ്വറേഡിയോതരംഗങ്ങളെ തടഞ്ഞു നിർത്തുന്നു. അക്കാരണത്താൽ മി. മീ. തരംഗദൈർഘ്യത്തിനു സംഗതമായ താപനില വാസ്തവത്തിൽ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ അധോമേഖലയുടെ താപനിലതന്നെയാണു്.



ചിത്രം 3.10 ശുക്രോപരിതലത്തിനു സമീപം ഉണ്ടായേക്കാനിടയുള്ള പരിതസ്ഥിതികൾ. വിവിധ താപനിലകളുടെ മാപനരീതികൾ ചിത്രത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. വിവിധ തരം വികിരണങ്ങൾ ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തിൽ എത്രമാത്രം ആഴത്തിലേക്കു തുളച്ചിറങ്ങുമെന്നും അതു സൂചന നൽകുന്നു. ചിത്രത്തിൽ തന്നിരിക്കുന്ന മൂല്യങ്ങളിൽ പലതും വിവാദപരവും തിരുത്തപ്പെടാൻ സാധ്യതയുള്ളതുമാണു്.

ശുക്രൻ ഭൂമിയോടു് ഏററവും അടുത്തുവരുന്ന സമയങ്ങളിലാണു് മിക്കവാറും എല്ലാ റേഡിയോ നിരീക്ഷണങ്ങളും നടത്തിയിട്ടുള്ളതു്. സൂര്യന്റെ അങ്ങേവശ

ത്തായിരിക്കുമ്പോൾ ഉള്ളതിനേക്കാൾ 30 മടങ്ങു തീവ്രത സിഗ്നലുകൾക്കപ്പോഴുണ്ടായിരിക്കുമെന്നതാണ് ഇതിന്റെ പ്രധാന കാരണം. അതുകൊണ്ട് മാപനം ചെയ്യപ്പെട്ട താപനിലകളെല്ലാം തന്നെ ഗ്രഹത്തിന്റെ ഇരുണ്ട അർധഗോളത്തിന്റെ താപനിലകളാണ്. തൻമൂലം 'കലാപ്രഭാവം' —അതായത് നിശാർധഗോളത്തിന്റെയും ദിനാർധഗോളത്തിന്റെയും താപനിലകൾ തമ്മിലുള്ള അന്തരം—എന്നൊന്ന് നിലവിലുണ്ടോയെന്നൊരു പ്രശ്നം പൊന്തിവന്നു. ശുക്രന്റെ ദ്യുതിതാപനില വൃത്തിക്ഷയങ്ങൾക്കനുസൃതമായി

$$T_b = 621^\circ + 73 \cos (\varphi - 12^\circ)^\circ K$$

എന്ന നിയമപ്രകാരം വ്യത്യാസപ്പെടുമെന്ന് നാവികഗവേഷണലബോറട്ടറിയിൽ ഈയിടെ നടത്തിയ 3.15 സെ.മീ നിരീക്ഷണങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇവിടെ φ = 'കലാ–കോണം'. ചിത്രം 3.5 ലെ ചാന്ദ്രആരേഖത്തിലെ അതേ അർഥം തന്നെയാണ് ഇതിനു് ഇവിടെയും. സൂര്യപ്രകാശം പതിക്കുന്ന അർധഗോളത്തിന്റെ താപനില ഇരുണ്ട അർധഗോളത്തിന്റെ താപനിലയേക്കാൾ 146° കൂടുതലായിരിക്കുമെന്ന് ഈ നിരീക്ഷണഫലം വ്യംജിപ്പിക്കുന്നു. അതായത് ചന്ദ്രനെപ്പോലെ തന്നെ പൂജ്യം (പൂർണ) ഫേസും ഉച്ചതമതാപനിലയും തമ്മിൽ 12° ഫേസ് വിളംബം ഉണ്ടായിരിക്കുമെന്നു സാരം.

നേരെ മറിച്ച് ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തിന്റെ ഉപരിമേഖലയുടെ പകൽസമയത്തെയും രാത്രിസമയത്തെയും താപനിലകൾ തമ്മിൽ അന്തരമൊന്നുമില്ലെന്നാണ് ഇൻഫ്രാറെഡ് ദത്തങ്ങൾ കാണിക്കുന്നത്. ഗ്രഹം അതിവേഗം ഘൂർണനം ചെയ്യുന്നുവെന്നതിന്റെ തെളിവാണ് ഇതെന്നു ചിലർ വാദിക്കുന്നു. എന്നാൽ, ഘൂർണനകാലം തികച്ചും അജ്ഞാതമാണെന്നതാണ് വാസ്തവം. 15 മണിക്കൂർ മുതൽ 225 ദിവസങ്ങൾ വരെയുള്ള വിവിധ മൂല്യങ്ങൾ ഘൂർണനകാലത്തിനു കണക്കാക്കപ്പെടുകയോ നിരീക്ഷിക്കപ്പെടുകയോ ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. ശരിയായ മൂല്യം ഇവയ്ക്കിടയിലായിരിക്കാമെന്നതിൽ കവിഞ്ഞൊന്നും ആർക്കും പറയാനാവില്ല. ശുക്രനിൽ നിന്നും 11 മീറ്റർ തരംഗനീളത്തിൽ തീവ്രമായ താപേതരസിഗ്നലുകൾ വരുന്നതു താൻ നിരീക്ഷിക്കുകയുണ്ടായി എന്ന് 1956 ൽ ജെ. ഡി. ക്രൗസിനു തോന്നി. പ്രസ്തുത വികിരണത്തിന് വ്യാഴത്തിൽ നിന്ന് ഇടവിട്ടുണ്ടാകുന്ന ദീർഘ-തരംഗ ഉത്സർജനത്തോട് സാദൃശ്യമുള്ളതായും തോന്നി. സിഗ്നലുകൾക്ക് 22 മ. 17 മി. ആവർത്തനകാലം ഉണ്ടായിരുന്നതിനാൽ അതുതന്നെയായിരിക്കണം ചിരകാലമായി തേടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ശുക്രന്റെ ഘൂർണനകാലം എന്നും നിർദേശിക്കപ്പെട്ടു. ഇങ്ങനെയൊക്കെയാണെങ്കിലും പ്രൊ. ക്രൗസ് തന്നെ ചൂണ്ടിക്കാണിച്ചിട്ടുള്ളതുപോലെ, അദ്ദേഹം നിരീക്ഷിച്ച വികിരണം ഭൗമവ്യതികരണം മൂലമുണ്ടായതാകാനാണ് സാധ്യത എന്നിപ്പോൾ തോന്നുന്നു.

കേവല സ്കെയിലിൽ ഭൂതാപനില (281°K) യുടെ ഇരട്ടിയിലേറെ (621°K) വരുന്ന ശരാശരി ശുക്രതാപനിലയ്ക്ക് നമുക്ക് എങ്ങനെയൊരു വിശദീകരണം

നൽകാനാവും? ശുക്രൻ സൂര്യനോട് വളരെ അടുത്താണ്. ശരി തന്നെ. എന്നാൽ, മററു കാര്യങ്ങൾ തുല്യമാകയാൽ ഗ്രഹത്തിൻെറ താപനില $1/\sqrt{r}$ എന്ന നിരക്കിൽ മാത്രമേ വ്യത്യാസപ്പെടാവൂ. r സൂര്യനിൽ നിന്നും വസ്തുവിലേക്കുള്ള ശരാശരി ദൂരമാണ്. നിർവചനപ്രകാരം ഭൂമിയുടെ r = 1.00 ഖഗോളിയമാത്രയും ശുക്രൻേറതു് 0 72 ഖഗോളീയമാത്രയുമാണ്. അങ്ങനെ നോക്കുമ്പോൾ ദൂരവ്യത്യാസം കൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന താപനിലാനുപാതം 1:2:1 എന്നായിരിക്കണം. മററു ഘടകങ്ങൾ ഇതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ പ്രാധാന്യമുള്ളവയാണെന്ന് ഇവിടെ വ്യക്തമാവുന്നു.

ശുക്രൻെറ ഉയർന്ന ഉപരിതല താപനിലയ്ക്കു കാരണം വൻതോതിലുള്ള ഒരു 'ഹരിതഗേഹപ്രഭാവം' ആയിരിക്കാമെന്നു തോന്നുന്നു. ഹരിതഗേഹം ചൂടാക്കുന്നതു് അതിൻെറ മേൽക്കൂരയ്ക്ക് ഉപയോഗിക്കുന്ന ഗ്ലാസ്സിൻെറ ഒരു തരം 'ഏകദിശാ' ഗുണധർമം മൂലമാണെന്ന കാര്യം നമ്മുടെ വായനക്കാരിൽ പലരും ഓർമിക്കുന്നുണ്ടാവും. ഗ്ലാസ്സിലൂടെ പ്രകാശം അനായാസമായി കടന്നു വരുന്നു. എന്നാൽ ഹരിതഗേഹത്തിനുള്ളിലെ പ്രതലത്തിൽ ഒരിക്കൽ വന്നു തട്ടിയാലുടൻ അതു് അവശോഷണം ചെയ്യപ്പെടുകയും താപമായി മാറുകയും ചെയ്യുന്നു അങ്ങനെ തപ്തമാകുന്ന പ്രതലം അപ്പോൾ തീർച്ചയായും താപവികിരണം ഉത്സർജിക്കും. എന്നാൽ അവയിലൊട്ടുമുക്കാലും സ്ഫടികത്തിനു് അതാര്യമായ ഇൻഫ്രാറെഡ് തരംഗനീളമുള്ളവയായിരിക്കും. അങ്ങനെ അകത്തുകടക്കുന്ന ഊർജം ഹരിതഗേഹത്തിനുള്ളിൽ തടവിലാക്കപ്പെടുന്നു. അതായതു് അകത്തുകടന്നു, പുറത്തേക്കുപോകാൻ വഴിയുമില്ല. ഒരു ഗ്രഹത്തിൻെറ അന്തരീക്ഷത്തിൽ കാർബൺഡയോക്സൈഡും ജലബാഷ്പവും ഹരിതഗേഹത്തിലെ ഗ്ലാസ് പോലെ ഏറെക്കുറെ പ്രവർത്തിക്കുന്നുവെന്നു പറയാം. അകത്തേക്കു വരുന്ന സൗരവികിരണത്തിലെ ഊർജത്തിലേറിയ പങ്കിനെയും വഹിക്കുന്ന തരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾക്ക് അവ പ്രായേണ സുതാര്യമായിരിക്കും. എന്നാൽ ഗ്രഹോപരിതലം വികിരണം ചെയ്യുന്ന ഇൻഫ്രാറെഡ്തരംഗങ്ങൾക്ക് അവ തികച്ചും അതാര്യമാണ്.

CO_2 നു തനിയെ വേണ്ടത്ര തോതിൽ ഹരിതഗേഹപ്രഭാവം ഉണ്ടാക്കുവാനുള്ള കഴിവില്ലാത്തതിനാൽ ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തിൽ ധാരാളം ജലബാഷ്പം ഉണ്ടായിരിക്കണമെന്നു് സൈദ്ധാന്തികപശ്ചാത്തലത്തിൽ സി. സാഗൻ ഒരു വാദം ഉന്നയിച്ചിട്ടുണ്ട്. എല്ലാ സമീപഗ്രഹങ്ങളിലും ഉണ്ടാവേക്കാനിടയുള്ള ജീവന്റെ സൂചനയെന്നോണം നാം സാകൂതം തേടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന അതേ ജലം തന്നെയാണ് ജീവൻെറ സാധ്യതയെ പ്രത്യക്ഷത്തിൽ നിരാകരിക്കുന്നത്ര ഉയർന്ന താപനില ശുക്രനിൽ സൃഷ്ടിക്കുന്നതെങ്കിൽ അതു വാസ്തവത്തിൽ ഒരു വിരോധാഭാസംതന്നെയാണ്.

ഹരിതഗേഹപ്രഭാവത്തിനു പകരം കൂടുതൽ സാർഥമായ മറെറാരു പോംവഴി ഇ. ജെ. ഓപിക് നിർദേശിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഉഗ്രൻ കാററുകളും ധൂളിവാതങ്ങളും ചീറിയടിക്കുന്ന വിശാലമായ മരുഭൂമിയായിട്ടാണ് ശുക്രോപരിതലത്തെ

അദ്ദേഹം വിഭാവനം ചെയ്തിട്ടുള്ളതു്. ഓപിക്കിന്റെ അഭിപ്രായത്തിൽ ഈ കാററുകളുടെ കൂട്ടിയുരസൽ (ഘർഷണം) മൂലമാണത്രേ ഉയർന്ന താപനില യുണ്ടാകുന്നതു്. അങ്ങനെ വഞ്ചി ഇപ്പോഴും തീരുനക്കര തന്നെ—പരസ്പര വിരുദ്ധവും തെളിയിക്കപ്പെടാത്തവയുമായ സിദ്ധാന്തങ്ങൾ മാത്രം നിലവി ലുണ്ടു്. ആത്യന്തികമായ സത്യം എന്തുതന്നെയായാലും ഒരു കാര്യത്തിൽ സംശയമില്ല. വ്യാഴം കഴിഞ്ഞാൽ ഖഗോളീയവിജ്ഞാനികൾക്കു് ഏററവും അധികം താല്പര്യം ശുക്രനിൽ തന്നെയാണു്.

കുജൻ

സൗരകുടുംബത്തിലെ മറേറതു് അംഗത്തേക്കാളും കുജൻ നമ്മളിൽ വളരെ യേറെ താല്പര്യം ജനിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നതെന്തുകൊണ്ടാണു്? മററെല്ലാം ഗ്രഹ ങ്ങളെപ്പററിയും ആകെയുള്ളതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ ഗ്രന്ഥങ്ങൾ കുജനെപ്പററി തന്നെ രചിച്ചിട്ടുള്ളതിന്റെ കാരണം എന്താണു്? നമുക്കു് തൃപ്തികരമാം വിധം പരിശോധിക്കാവുന്ന പ്രതലത്തോടു കൂടിയ ഒരേയൊരു ഗ്രഹം കുജൻ മാത്രമാണു്. ഈ സരളമായ വസ്തുതയല്ലാതെ സങ്കീർണമായ മറെറാന്നു മായിരിക്കില്ല മേൽപ്പറഞ്ഞ ചോദ്യങ്ങൾക്കുത്തരമെന്നു തോന്നുന്നു. ശുക്രനും മററു ഭീമഗ്രഹങ്ങളും എക്കാലവും സാന്ദ്രമായ മേഘങ്ങളാൽ ആവൃതമായി രുന്നു. സൂര്യനിൽ നിന്നും 28° യിൽ കൂടുതൽ അകലെയായി നാം ഒരി ക്കലും ബുധനെ കാണാറില്ല. അതിനാൽ ചക്രവാളത്തിനു സമീപമുള്ള വിക്ഷുബ്ധമായ വായുവിലൂടെയോ വിസ്തൃതമായ പകൽവെളിച്ചത്തിലോ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. പ്ലൂട്ടോ അതിവിദൂരതയിലാണു്. ഏററവും വലിയ ദൂരദർശിയിൽ പോലും ഒരു പ്രകാശബിന്ദുപോലെമാത്രമേ അതു പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുള്ളു.

കുജനു ചുററും ഒരു നേർത്ത അന്തരീക്ഷമുണ്ടു്. ഭൂമിയിലുള്ളതിന്റെ പത്തി ലൊന്നു പ്രതലമർദം അതിനുണ്ടെന്നും വിശ്വസനീയമായ രീതിയിൽ കണ ക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. വല്ലപ്പോഴുമൊക്കെ അവിടവിടെയുണ്ടാകുന്ന മേഘ ങ്ങളും മൂടൽമഞ്ഞും ചിലപ്പോഴൊക്കെയുണ്ടാവുന്ന ധൂളീവാതങ്ങളു (പൊടി ക്കാററുകൾ) മൊഴിച്ചാൽ സുതാര്യമായ ഈ അന്തരീക്ഷം പ്രകാശഖഗോള വിജ്ഞാനികൾക്കു് യാതൊരു ശല്യവുമുണ്ടാക്കുന്നില്ല. ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തിലെ പ്പോലെ കുജാന്തരീക്ഷത്തിലും കാർബൺഡയോക്സൈഡു് വൻതോതിലുണ്ടെന്നു വർണരാജീലേഖികൾ വെളിപ്പെടുത്തുന്നു. എന്നാൽ, ഓക്സിജനെത്തേടിയുള്ള അനുസ്യൂതമായ അന്വേഷണങ്ങളൊട്ടുമുക്കാലും വിഫലമാവുകയാണുണ്ടായതു്.

ജലബാഷ്പം നിദർശിക്കുന്നതിലുണ്ടായ ഇത്തരമൊരു പരാജയം ശാസ്ത്ര കാരന്മാർക്കു് വളരെക്കാലത്തേക്കു് ഒരു പ്രഹേളികയായിരുന്നു. ഐസിന്റെയോ ഹിമത്തിന്റെയോ നേർത്ത ആവരണം പോലെ വർത്തിക്കുന്ന വെളുത്ത ധ്രുവ തൊപ്പികൾ ഗ്രഹത്തിൽ പ്രകടമായി കാണപ്പെടുന്നുവെന്നതായിരുന്നു ചിന്താ ക്കുഴപ്പത്തിനു കാരണം (പ്ലേററു് VII കാണുക). രണ്ടു ഗ്രഹങ്ങളുടേയും അക്ഷ

ങ്ങൾ അവയുടെ ഭ്രമണപഥതലങ്ങളിലേക്ക് ഏറെക്കുറെ ഒരേ ചരിവുള്ളതാക യാൽ കുജനിലെ കാലങ്ങൾ ഭൂമിയിലെ കാലങ്ങളോട് സാദൃശ്യമുള്ളവയാണ്. കുജദിനത്തിന് നമ്മുടെ ദിനത്തേക്കാൾ വെറും 37 മിനിട്ടിന്റെ നീളക്കൂടുതൽ മാത്രമേയുള്ളു. കാലങ്ങൾ മാറിമാറി വരുമ്പോൾ ധ്രുവത്തൊപ്പികൾ ചുരുങ്ങു കയും വികസിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. വെള്ളത്തിന്റെ ഉരുകലും ഉറയലും മൂലം ഇതുണ്ടാകാമെന്ന് ആരും പ്രതീക്ഷിക്കും. അവസാനം 1963 ഏപ്രിലിൽ മൗണ്ട് വിൽസൺ നിരീക്ഷണശാലയിലെ 100 ഇഞ്ച് ദൂരദർശി ഉപയോഗി ച്ചെടുത്ത സ്പെക്ട്രങ്ങളിൽ വ്യക്തമായ ജല–ബാഷ്പരേഖകൾ നിദർശിക്കുന്ന തിൽ എച്ച്. സ്പിനാർഡ്, ജി. മങ്ക്, എൽ. കെപ്ലാൻ എന്നീ ഖഗോള വിജ്ഞാനികൾ വിജയിച്ചു. ഭൂമിയുടെ തന്നെ അന്തരീക്ഷത്തിലുള്ള ജലം ഹേതുവായുണ്ടാകുന്ന കൂടുതൽ തീവ്രമായ രേഖകളിൽ നിന്നും കുജന്റെ ജല–ബാഷ്പരേഖകളെ ഡോപ്പ് ഇർപ്രഭാവം മൂലം സ്ഥാനഭ്രംശം വരുത്തിക്കാണി ക്കത്തക്ക ഉച്ചപ്രവേഗത്തിൽ കുജൻ ഭൂമിയിൽനിന്നും അകന്നകന്നു പൊയ്ക്കൊ ണ്ടിരിക്കുന്ന സമയത്ത് നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുകയെന്നതായിരുന്നു അവ രുടെ തന്ത്രം. കുജാന്തരീക്ഷത്തിലെ ജലാംശത്തിന്റെ അളവ് വളരെ കുറ വായിരിക്കുമെന്നാണ് പ്രാഥമികസൂചന. ജലാംശം മുഴുവനും ഗ്രഹോപരി തലത്തിൽ ഘനീഭവിച്ചാൽ വെറും 0.01 മി. മീ കനമുള്ള ഒരു നേർത്ത പാടയെ ഉണ്ടാവുകയുള്ളു.

ഗ്രഹോപരിതലത്തിലധികഭാഗവും ചുവന്ന മരുഭൂമി പോലെ കാണ പ്പെടുന്നതിനാൽ ഗ്രഹം ശുഷ്കമാണെന്നു തെളിയുന്നു. മരുഭൂമിയുടെ വിരസത യിൽ ആശ്വാസം പകരുന്ന ഇരുണ്ട ഭാഗങ്ങളുടെ നിറത്തിലും തീവ്രതയിലും കാലാകാലങ്ങളിൽ മാററങ്ങൾ കാണപ്പെടുന്നുണ്ട്. ഏതെങ്കിലും രൂപത്തി ലുള്ള സസ്യജീവിതത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തെ അംഗീകരിച്ചു കൊടുക്കുന്ന താവും ഈ മാററങ്ങൾക്കു നൽകാവുന്ന സരളവും സ്വാഭാവികവുമായ വിശദീ കരണമെന്നു പല ഖഗോളവിജ്ഞാനികളും വിശ്വസിക്കുന്നു. വിഖ്യാതവും വിവാദപരവുമായ 'കനാലുകളുടെ' കാര്യം എന്താണ്. അമേരിക്കൻ ഖഗോള വിജ്ഞാനിയായ പെഴ്സിവിൽ ലോവൽ അവയെപ്പററി 1908 ൽ ഇങ്ങനെയെഴുതി.

"ഇപ്പോൾ അവ നിറവേററിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ലക്ഷ്യങ്ങൾക്കനുസൃതമായി വിഭാവനം ചെയ്യപ്പെട്ടവയാണവ. ഗ്രഹത്തിലെ കനാലുകളിൽ ചൊവ്വ യിലിപ്പോൾ പ്രഗത്ഭമായി കാണപ്പെടുന്ന പ്രാദേശിക ബുദ്ധിപരതയുടെ പ്രവർത്തനങ്ങൾ കണ്ടെത്താൻ നാം ശ്രമിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുകയാണ്". തെളിഞ്ഞ രേഖകൾ പോലെ പ്രത്യക്ഷപ്പെടാവുന്ന കുജോപരിതലത്തിന്റെ വിശദാംശങ്ങൾ ലഭ്യമാണെന്ന് ഇന്നു ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ പൊതുവേ സമ്മതിക്കുന്നുണ്ട്. നിരീക്ഷണസാഹചര്യങ്ങൾ കൂടുതൽ മെച്ചപ്പെടുത്തിയാൽ ഈ അടയാളങ്ങൾ കൂടുതൽ സ്വാഭാവികമായി തോന്നുമെന്ന സംഗതി പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്നു. ധ്രുവത്തൊപ്പികളിലെ ജലത്തിന്റെ വിതരണത്തിനും

സംരക്ഷണത്തിനും വേണ്ടി രൂപകല്പന ചെയ്ത കൃത്രിമകനാലുകൾ കുജോപരിതലത്തിലെമ്പാടും വ്യാപിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്ന ലോവൽസിദ്ധാന്തത്തെ ഇന്നിപ്പോൾ പിന്താങ്ങുന്നവർ വിരളമായിരിക്കും.

കുജൻെറ പ്രതലതാപനില ഉപസൗരബിന്ദുവിലെ 33°C (306°K) മുതൽ ധ്രുവപ്രദേശത്തെ –72°C വരെ വ്യാപിച്ചുകിടക്കുന്നതായി ഇൻഫ്രാറെഡ് മാപനങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. 1956 സെപ്റ്റംബറിൽ നാവികഗവേഷണ ലബോറട്ടറിയിലെ മേയറും അദ്ദേഹത്തിൻെറ സഹപ്രവർത്തകരും കൂടി തങ്ങളുടെ 50 അടി റേഡിയോ ദൂരദർശി കുജനിലേക്ക് അഭിമുഖമാക്കി ഗ്രഹത്തിൻെറ റേഡിയോ താപനില ഇദംപ്രഥമമായി നിർണയിച്ചു. 3.15 സെമീ. തരംഗദൈർഘ്യത്തിൽ നിരീക്ഷണം നടത്തിയപ്പോൾ –55°C അഥവാ 218°K ദ്യുതി താപനിലയ്ക്കു സംഗതമായ 0.24°C ശരാശരി ആൻെറന താപനില അവർക്കു ലഭിച്ചു. കൊളംബിയാ സർവകലാശാലയിലെ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ നിർമിച്ച സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തിയുള്ള ഒരു മേസർപ്രവർധകം ഉപയോഗിച്ച് ഇതേ ആൻെറന കൊണ്ടു തന്നെ 1958 ൽ നടത്തിയ റേഡിയോമാപനമാണ് പിന്നീടു നടത്തിയ ഒരേയൊരു റേഡിയോമാപനം 3.14 സെമീ. തരംഗനീളത്തിൽ നടത്തിയ ഈ നിരീക്ഷണം –62°C താപനില പ്രദാനം ചെയ്തു.

റേഡിയോ മാപനങ്ങൾ ഇൻഫ്റാറെഡ് ദത്തങ്ങളുമായി എങ്ങനെ പൊരുത്തപ്പെടും. റേഡിയോ ദൂരദർശി കൊണ്ട് ഗ്രഹത്തെ അല്പം പോലും വിഭേദനം ചെയ്യാനാവാത്തതിനാൽ റേഡിയോ താപനില ഒരു ശരാശരി മാത്രമേയാകുന്നുള്ളു. ഇൻഫ്രാറെഡ് ദത്തങ്ങളെയും അതുപോലെ ശരാശരിയെടുക്കാനുള്ള ശ്രമങ്ങൾ നടത്തിയതിൻെറ ഫലമായി – 13° C മുതൽ – 86° C വരെയുള്ള മൂല്യങ്ങൾ ലഭിച്ചിട്ടുണ്ട്. പ്രത്യക്ഷത്തിൽ തന്നെ റേഡിയോ താപനില ഇതിനേക്കാൾ താഴെയാണ്. ചന്ദ്രൻെറ കാര്യത്തിലെന്നപോലെ ഇവിടെയും ഇൻഫ്രാറെഡ് മൂല്യങ്ങൾ നേർത്ത പ്രതല സ്തരത്തെ ആസ്പദമാക്കിയുള്ളവയും, റേഡിയോ ഉത്സർജനങ്ങൾ പ്രതലത്തിനു കുറെയധികം താഴെ നിന്നും വരുന്നവയാണെന്നുമുള്ളതാവാം ഇതിനു കാരണം.

കുജനിലിറങ്ങുന്ന ബഹിരാകാശസഞ്ചാരികൾക്ക് അവിടത്തെ കാലാവസ്ഥ രൂക്ഷമാണെന്നു കാണാം. എന്നാൽ വേണ്ട രീതിയിൽ വസ്ത്രധാരണം ചെയ്തിട്ടുണ്ടെങ്കിൽ അതു് ദുസ്സഹമായി തോന്നുകയില്ല. ഇന്നോളം മനുഷ്യന് അവൻെറ സ്വന്തം ഗ്രഹത്തിനപ്പുറം ലഭിച്ചിട്ടുള്ള ജീവൻെറ സൂചനയെപ്പററി അന്വേഷണങ്ങൾ നടത്തുന്നതിനും അവർക്കൊരവസരം കൈവരും.

വ്യാഴം (ജൂപ്പിററർ)

വ്യാഴമാണ് ഗ്രഹങ്ങളിലേററവും വലുതെന്ന് മിക്കവാറുമെല്ലാവർക്കും അറിയാമെങ്കിലും, ഗ്രഹവ്യൂഹത്തിലെ ആകെ ദ്രവ്യമാനത്തിൻെറ 71 ശതമാനം ഈ ഗോളം ഉൾക്കൊള്ളുന്നുവെന്ന് പലരും ധരിച്ചിട്ടില്ല. ഭൂമിയുടെ ദ്രവ്യമാനത്തെ

M_E കൊണ്ടു സൂചിപ്പിക്കുന്നുവെങ്കിൽ വ്യാഴത്തിൻെറ ദ്രവ്യമാനം 313 M_E യാണെന്നും അവശേഷിക്കുന്ന 8 ഗ്രഹങ്ങളുടെ മൊത്തം ദ്രവ്യമാനം കേവലം 130 M_E മാത്രമാണെന്നും പറയാം. ഭീമമായ വലുപ്പം കാരണം വ്യാഴത്താനു് സൂര്യനും മററു ഗ്രഹങ്ങൾക്കും കൂടി ആകെയുള്ളതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ കോണീയ സംവേഗമുണ്ടു്. സൗരയൂഥത്തിൻെറ ഉല്പത്തിയെക്കുറിച്ചു വിശദീകരിക്കാൻ ശ്രമിക്കുന്നവർക്കു് ചില ബുദ്ധിമുട്ടുകൾ ഉളവാക്കുന്ന ഒരു വസ്തുതയാണിതു്.

വ്യാഴത്തിൻെറ ദ്രവ്യമാനം വിസ്മയകരമാം വിധം കൂടുതലാണെന്നു തോന്നുന്നുവെങ്കിൽ, പ്രസ്തുത ഗ്രഹത്തിൻെറ വ്യാസം ഭൂമിയുടെ വ്യാസത്തിൻെറ 11 മടങ്ങാണെന്ന കാര്യവും വായനക്കാരൻ ഓർമിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഗോളത്തിൻ്റെ വ്യാപ്തം അതിൻെറ വ്യാസത്തിൻെറ മൂന്നാം വർഗത്തിനനുസൃതമായി വർധിക്കുന്നതിനാൽ വ്യാഴത്തിനു് ഭൂമിയോളം ഘനത്വമുണ്ടായിരിക്കണമെങ്കിൽ അതിൻെറ ദ്രവ്യമാനം 1300 M_E യിലധികമായിരിക്കണം! ഈ ബൃഹത്ഗ്രഹത്തിനു് ഭൂമിയുടെ കഷ്ടിച്ചു് നാലിലൊന്നു ഘനത്വം പോലുമില്ല എന്നതു വ്യക്തമാണു്.

വ്യാഴത്തിൻെറ ഘനത്വം (1.35 ഗ്രാം/ സെ മീ^{3}) പോലെ കുറഞ്ഞ ഘനത്വമുണ്ടായിരിക്കണമെങ്കിൽ ഗ്രഹം ഏറെക്കുറെ മുഴുവനായും ഏററവും ഘനം കുറഞ്ഞ ഹൈഡ്രജൻ, ഹീലിയം എന്നീ മൂലകങ്ങളാൽ നിർമിതമായിരിക്കുമെന്നു് അനുമാനിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. ഘനത്വമേറിയ പദാർഥങ്ങൾ കൊണ്ടുള്ള ഒരു ചെറിയ ഉൾക്കാമ്പും ഗ്രഹത്തിനുണ്ടായി കൂടെന്നില്ല. വ്യാഴത്തിൻെറ ഉപരിതലം നേരിയതോതിൽ സ്വയം പ്രകാശിക്കുവാൻ പാകത്തിൽ തപ്തമായിരിക്കുമെന്നു് ഈ നൂററാണ്ടു വരെയും പൊതുവേ വിശ്വസിച്ചിരുന്നു. പ്രായേണ വലുപ്പം കുറഞ്ഞ ഒരു ഖരവസ്തുവിനെ ആവരണം ചെയ്തിരിക്കുന്ന ആഴമേറിയ അന്തരീക്ഷത്തിൻെറ വെറും ബാഹ്യസ്തരം മാത്രമാണു് വ്യാഴത്തിൻെറ ദൃശ്യ പ്രതലമെന്ന സങ്കല്പനത്തിന്മേൽ ഗ്രഹത്തിൻെറ പ്രകടമായ താഴ്ന്ന ഘനത്വത്തിനു് വിശദീകരണം നൽകിയിരിക്കുന്നു. 1888-ൽ സർ റോബർട്ടു് ബോൾ (Sir Robert Ball) എന്ന വിഖ്യാതനായ ഖഗോളവിജ്ഞാനി ഭൂമിയുമായുള്ള ഒരു സാദൃശ്യത്തിലൂടെ ഈ തത്വം ഇങ്ങനെ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു:

അവിശ്വസനീയമാംവണ്ണം വിദൂരമായ ഏതെങ്കിലുമൊരു കാലഘട്ടത്തിൽ ഭൂമിയിലിന്നു കാണപ്പെടുന്ന സമുദ്രങ്ങളും, ഇപ്പോൾ ഖരാവസ്ഥയിലുള്ള പുറന്തോടിൻെറ ഒരു നല്ല ഭാഗവും ബാഷ്പാവസ്ഥയിലായിരുന്നിരിക്കണം. നമ്മുടെ സമുദ്രങ്ങളെല്ലാം ബാഷ്പമായിരൂപാന്തരപ്പെടുകയും അങ്ങനെ അന്തരീക്ഷമെല്ലാം മേഘാവൃതമാവുകയുമാണെങ്കിൽ അതിനു് ഇപ്പോഴത്തേതിൻെറ നൂറു മടങ്ങു വലുപ്പമുണ്ടായിരിക്കും. അതിനനുസരിച്ചു് ഭൂഗോളത്തിൻെറ വലുപ്പം കൂടും. വിദൂരതയിലുള്ള ഒരു ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നു നോക്കുമ്പോൾ മേഘാവൃതമായ അന്തരീക്ഷം നമ്മുടെ ഗോളത്തിൻെറ വലുപ്പത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നതിയിതോന്നും. അതിൻെറ ഘനത്വം ഇപ്പോഴുള്ളതിനേക്കാൾ വളരെക്കുറവാണെന്നൊരു നിഗമനത്തിൽ നാം എത്തുകയും ചെയ്യും. യുഗയുഗാന്തരങ്ങൾക്കു മുമ്പു് നമ്മുടെ ഭൂമി

എങ്ങനെയായിരുന്നുവോ അതു പോലുള്ള അതിതപ്തമായ ഒരു അവസ്ഥയിലാണ് വ്യാഴം ഇപ്പോഴെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ, നമ്മുടെ ഭൂമിയുമായി തട്ടിച്ചു നോക്കുമ്പോൾ, വ്യാഴത്തിന്റെ ഭാരവും വലുപ്പവും തമ്മിലുള്ള പൊരുത്തക്കേട് പൂർണമായും പരിഹരിക്കപ്പെടും. ഒരു ഗ്രഹത്തിന്റെയും അന്തരീക്ഷത്തിന് സീമാതീതമായ വ്യാപ്തിയുണ്ടാകാനിടയില്ലെന്ന് 1934-ൽ റൂപ്പർട്ട് വിൽഡ്റ്റ് ചൂണ്ടിക്കാണിച്ചു. റോബർട്ട് ബോളിന്റെ അത്യാകർഷകമായ സിദ്ധാന്തത്തിനേററ കനത്ത ആഘാതമായിരുന്നു ഇതു്. ഒരു നിശ്ചിത താഴ്ചയിൽ അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ മർദം കൊണ്ടുതന്നെ വാതകങ്ങൾ ദ്രാവമാവുകയോ ചിലപ്പോൾ ഖരാവസ്ഥയെ തന്നെ പ്രാപിക്കുകയോ ചെയ്തെന്നു വരാം. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ വ്യാഴഗ്രഹത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷത്തിന് എത്ര മാത്രം താഴ്ചയുണ്ടായിരിക്കും? ദ്രവീകരണം സംഭവിക്കുന്നതിനാവശ്യമായ ക്രാന്തിക താഴ്ച വാതകങ്ങളുടെ സംഘടനം, താപനില എന്നിവയെയും, ഗ്രഹത്തിന്റെ പ്രതല ഗുരുത്വത്തേയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ ഇതിന് കൃത്യമായ ഒരുത്തരം നൽകാനാവില്ല. അതു് 100 കി. മീ. ആണെന്നു പോലും കണക്കാക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. അതായതു് വ്യാഴത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷം ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തേക്കാൾ ആഴം കുറഞ്ഞതാണെത്രേ!

അന്തരീക്ഷത്തിന്റെ ആഴം എന്തു തന്നെയായാലും ശരി, അതു മുഴുവനും അജ്ഞാതമായ സംഘടനത്തോടു കൂടിയ സാന്ദ്രമായ മേഘങ്ങളാൽ നിബിഡമാണെന്നു ദൂരദർശികൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു. പ്രസ്തുത മേഘങ്ങൾ അവയ്ക്കടിയിലുള്ളതിനെ എന്തു തന്നെയുമാകട്ടെ, പൂർണമായും മറച്ചുകളയുന്നു. വലുപ്പം ഇത്രയേറെയുണ്ടെങ്കിലും ഈ ഗ്രഹം പത്തു മണിക്കൂറിൽ കുറഞ്ഞ സമയം കൊണ്ടു തന്നെ സ്വന്തം അക്ഷത്തിൽ ഒരു പ്രാവശ്യം ചക്രണം ചെയ്യുന്നു. അതിവേഗത്തിലുള്ള ഈ ഘൂർണനം കാരണം മേഘങ്ങൾ മധ്യരേഖയ്ക്കു സമാന്തരമായ ചില ബൽററുകളിലായി ചലിക്കുന്നു. പ്ലേററ് VIII ൽ നാം കാണുന്നതു പോലെ ഗ്രഹത്തിന് ചുററും ബാൻഡുകൾ കാണപ്പെടുന്നതിന്റെ കാരണമിതാണ്. മേഘങ്ങളുടെ നിരന്തരം മാറിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ദൃശ്യങ്ങൾ പഠിക്കുന്നതിന് പ്രതിജ്ഞാബദ്ധരായ നിരീക്ഷകന്മാർ ജീവിതത്തിലെ ഒരു നല്ല പങ്കം വിനിയോഗിച്ചിട്ടുണ്ട്. ചില മേഘങ്ങളുടെ പെരുമാററരീതികളും ചരിത്രവും ഒന്നു പരാമർശിക്കുന്നതിന് ഒരവസരം അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ നമുക്കു ലഭിക്കും. മേഘങ്ങൾക്കു മീതെയുള്ള വ്യാഴത്തിന്റെ അന്തരീക്ഷത്തിൽ അമോണിയാ, മീഥെയ്ൻ എന്നീ ആപൽക്കരങ്ങളായ വാതകങ്ങൾ പ്രായേണ നല്ല അളവിലുണ്ടെന്നു സ്പെക്ട്രോഗ്രാഫുകൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു. എങ്ങനെയൊക്കെയാണെങ്കിലും അന്തരീക്ഷത്തിലേറിയ ഭാഗവും ഏറെക്കുറെ ഹൈഡ്രജനും ഹീലിയവുമായിരിക്കും. ഹീലിയമായിരിക്കും കൂടിയ അളവിലുണ്ടാവുക.

ചുരുക്കത്തിൽ, പ്രപഞ്ചത്തിലേററവും സാധാരണമായി കാണപ്പെടുന്ന ഹൈഡ്രജൻ, ഹീലിയം എന്നിവ കൊണ്ടുണ്ടാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന ഭീമാകാരമായ ഒരു വസ്തുവാണ് വ്യാഴമെന്നു പറയാം. അതേ വാതകങ്ങളുടെ ഒരു അന്തരീക്ഷ

ത്തറൽ അതു് ആവരണം ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. പ്രായേണ കുറഞ്ഞ ആഴത്തിൽ വച്ചു തന്നെ സ്വന്തം ഭാരം കൊണ്ടു തന്നെ ഒരു ദ്രാവക സാഗരമായി അതു് മാറുന്നു. അതിലും താഴ്ചയിൽ ഗ്രഹം ദ്രാവകാവസ്ഥയിലോ ഖരാവസ്ഥയിലൊയെന്നതു്, 10^8 വരെയുള്ള ഉന്നത അന്തരീക്ഷ മർദത്തിൽ ദ്രവ്യത്തിൻെറ അജ്ഞാതമായ പെരുമാററരീതിയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നു. ഉന്നത മർദ ഖരാവസ്ഥാ ഭൗതികത്തിൽ പുരോഗതിയുണ്ടാകുന്നതോടെ മാത്രമേ വ്യാഴഗ്രഹത്തിൻെറ അന്തർഭാഗത്തെപ്പററി വിശദമായ ഒരു മാതൃക നമുക്കു ലഭിച്ചെന്നു വരൂ. ചില സൈദ്ധാന്തികന്മാരുടെ അഭിപ്രായത്തിൽ ഒരു ഗ്രഹത്തിനുണ്ടായിരിക്കാവുന്നതിൻെറ പരമാവധി വലുപ്പം വ്യാഴത്തിനുണ്ടത്രെ. ഈ കാഴ്ചപ്പാടനുസരിച്ചു്, വ്യാഴത്തിനു് കുറേ കൂടി ഭാരമുണ്ടായിരുന്നെങ്കിൽ അതു് സ്വന്തം ഗുരുത്വാകർഷണം ഹേതുവായിട്ടു് തകർന്നു പോവുകയും അങ്ങനെ ഗ്രഹമെന്നതിനുപരിയായി ശ്വേതവാമനന്മാർ' എന്ന ഗണത്തിൽപ്പെടുന്ന ഒരു നക്ഷത്രമായിത്തീരുകയു. ചെയ്തേനേ.

വ്യാഴത്തിൻെറ താപനിലയെപ്പററി നാം ഇതു വരെ ഒന്നും പറഞ്ഞില്ല. നാവിക ഗവേഷണ ലബോറട്ടറിയിലെ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർ 3.15 സെ.മീ. തരംഗനീളത്തിൽ വ്യാഴഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുമുള്ള സൂക്ഷ്മതരംഗ ഉത്സർജനം നിദർശിച്ചിട്ടുണ്ടു്. വ്യാഴത്തിൻെറ ദ്യുതിതാപനില —133°C അഥവാ 140° K യായിരിക്കുമെന്നു് 1956–ലെ അവരുടെ ആദ്യമാപനങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇൻഫ്രാറെഡ് ഒത്തങ്ങൾ പ്രദാനം ചെയ്യുന്ന ഫലങ്ങൾ ഈ റേഡിയോ താപനിലയോടു ഏറക്കുറെ തുല്യമാകയാൽ യാതൊരു തരത്തിലുള്ള സംശയത്തിനും കാരണം കാണുന്നില്ല. തുടർന്നുള്ള രണ്ടു വർഷക്കാലത്തിനിടയിൽ പല പരീക്ഷണശാലകളിലും റേഡിയോമാപനങ്ങൾ ആവർത്തിക്കുകയുണ്ടായി. പക്ഷേ അവയെല്ലാം 3 സെ. മീ. തരംഗനീളത്തോടടുപ്പിച്ചായിരുന്നു. അങ്ങനെ ലഭിച്ച താപനിലകൾ ആദ്യം ലഭിച്ച 140° K യിൽ നിന്നും വളരെ വ്യത്യസ്തങ്ങളായിരുന്നു.

നാവിക ഗവേഷണ ലബോറട്ടറിയിലെ (NRL) ഇ. എഫ്. മക്‌ലയിൻ, ആർ. എം. സ്ലോവാനേക്കർ എന്നിവരുടെ പരീക്ഷണങ്ങളാണു് വാസ്തവത്തിൽ ആദ്യമായി പലരിലും അത്ഭുതമുളവാക്കിയതു്.[12] NRL ലെ 84–അടി റേഡിയോ ദൂരദർശി ഉപയോഗിച്ചു് 1958–ലെ ശരത്കാലത്തു് അവർ രണ്ടു പേരും കൂടി 10.3 സെ. മീ. തരംഗങ്ങളുപയോഗിച്ചു് അറുപതു് നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുകയുണ്ടായി. നിരീക്ഷണങ്ങളിലോരോന്നിലും 390° K മുതൽ 860° K വരെയുള്ള താപനിലകളാണു ലഭിച്ചതു്. അതായതു് ശരാശരി മൂല്യം 560° K ! 3 സെ. മീ. തരംഗനീളത്തിനും 10 സെ. മീ, തരംഗ നീളത്തിനുമിടയിൽ താപനിലയിൽ അപ്രതീക്ഷിതമായ ഈ കുതിച്ചു കയററം ഉണ്ടാകുന്നതിൻെറ അർഥമെന്താണു്? 10 സെ.മീ. തരംഗങ്ങളിലേറിയപങ്കും താപോത്ഭവമല്ലായെന്നു് പെട്ടെന്നൊരു സംശയമുണ്ടാകുവാൻ അതിടയാക്കി, കൂടുതൽ വലിയ തരംഗ നീളങ്ങളിൽ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി ഇതിൻെറ നിഗൂഢത കണ്ടെത്താൻ മററു് റേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാനികൾക്കു പെട്ടെന്നൊരു

പ്രചോദനം ലഭിച്ചു. എന്നാൽ ഈ കഥ അതിന്റെ അവസാനം വരെ കേൾക്കണമെങ്കിൽ നമുക്ക് അടുത്ത അധ്യായം വരെ കാത്തിരിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

ശനി

ശനിയും വ്യാഴവും ഘടനാപരമായി ഒരു പോലെയാണെന്നു ഊഹിക്കപ്പെടുന്നു. അക്കാരണത്താൽ വലുപ്പം കുറഞ്ഞതും ലേശം തണുപ്പു കൂടിയതുമായ ഒരു 'വ്യാഴം' എന്ന നിലയ്ക്കു ശനിയെപ്പററി ചിന്തിക്കുന്നതു് കൂടുതൽ ഉപയോഗപ്രദമായിരിക്കും; എന്നിരുന്നാലും ശനിയുടെ ശരാശരി ഘനത്വം വ്യാഴത്തിന്റേതിനേക്കാൾ വളരെക്കുറവാണെന്നു മാത്രമല്ല, ജലത്തിന്റെ ഘനത്വത്തേക്കാളും താഴെയാണ്. അക്കാരണത്താൽ സിദ്ധാന്ത പ്രകാരമെങ്കിലും ഈ ഗ്രഹം വെള്ളത്തിൽ പൊങ്ങിക്കിടക്കും!

വ്യാഴത്തേപ്പോലെ ശനിയും വേഗത്തിലുള്ള ഘൂർണ്ണനം ഹേതുവായിട്ട് മധ്യരേഖയ്ക്കു സമാന്തരമായുള്ള ബെൽററുകളിലായി നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന അതാര്യമായ മേഘജാലത്താൽ ആവരണം ചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ശനിക്കു ചുററുമുള്ള വളയങ്ങൾ വ്യാഴത്തിനു ചുററുമുള്ളവയേക്കാൾ അനുക്രമമായിട്ടുള്ളവയാണെന്നു് പ്ലേററുകൾ VIII ഉം IX ഉം താരതമ്യം ചെയ്തു നോക്കിയാൽ നമുക്കു മനസ്സിലാവും. അതായതു് ശനിഗ്രഹം ആകപ്പാടെ കൂടുതൽ *പ്രശാന്ത*മാണെന്നു തോന്നുന്നു. കളങ്കങ്ങൾ അതുപോലുള്ള മററു ബഹിർഗമനങ്ങൾ എന്നിവ സാധാരണമല്ല. അക്കാരണത്താൽ പ്രകടമായ ഏതൊരു അടയാളവും സംഗതമായ വളയം അഥവാ മേഖലയുടെ ഘൂർണനകാലം നിർണയിക്കാനുള്ള ഒരു അവസരമെന്ന നിലയിൽ കൗതുകപൂർവം കണക്കിലെടുക്കാറുണ്ടു്.

ശനിക്കു ചുററുമുള്ള വിഖ്യാതവും—നമുക്കറിയാവുന്നിടത്തോളം അനുപമവുമായ വലയവ്യൂഹത്തിന്റെ കഥയെന്താണ്? ഈ വലയങ്ങൾ ദൂരദർശിയിലെ ഒരു പ്രധാന ദൃശ്യമാണെങ്കിലും ഗ്രഹത്തിന്റെ ആകെ ദ്രവ്യമാനവുമായി തട്ടിച്ചു നോക്കുമ്പോൾ അവയുടെ മൊത്തം ദ്രവ്യമാനം തുലോം നിസ്സാരമാണ്. ഖരാവസ്ഥയിലോ ദ്രവാവസ്ഥയിലോ ഉള്ള വളയത്തിന് ഒരു സ്ഥായിയായ വിന്യാസമുണ്ടാക്കാനാവില്ല എന്നു തെളിയിച്ചു് 1857-ൽ പ്രശസ്ത ഭൗതികജ്ഞനായിരുന്ന ക്ലെർക് മാക്സ്‌വെൽ കേംബ്രിഡ്ജ് സർവകലാശാലയുടെ വക സമ്മാനം നേടുകയുണ്ടായി. മാക്സ്‌വെല്ലിന്റെ നിഗമനം ഇതാ. "ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ദൂരങ്ങൾക്കനുസരിച്ചു് വ്യത്യസ്തമായ പ്രവേഗങ്ങളിൽ അതിന്റെ ചുററും ഭ്രമണം ചെയ്തു കൊണ്ടിരിക്കുന്നതും പരസ്പരം ബന്ധിക്കപ്പെടാത്തതുമായ അസംഖ്യം കണികകൾ ചേർന്നുണ്ടാകുന്ന ഒരു വളയവ്യൂഹത്തിനു മാത്രമേ അസ്തിത്വമുള്ളു." മറെറാരു വിധത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ ഓരോ കണികയെയും ശനിയുടെ മധ്യരേഖയ്ക്കു ചുററും സ്വന്തം ഭ്രമണപഥമുള്ള ഓരോ ചെറിയ ഉപഗ്രഹങ്ങളായി കണക്കാക്കാം. ഭ്രമണപഥങ്ങളെല്ലാം മധ്യരേഖാതലത്തിൽ ദൃഢമായി ഒതുങ്ങി നില്ക്കുന്നു. അക്കാരണത്താൽ വളയങ്ങളുടെ കനം ഏകദേശം 1 കി. മീ. ആണെന്നു തിട്ടപ്പെടുത്താൻ എം. എസ്. ബാബ്‌രോവിനു കഴിഞ്ഞു. വളയവ്യൂഹത്തിന്റെ

ബഹിർവ്യാസം 278,000 കി. മി ആണ്. ഈ ഗ്രന്ഥത്തിലെ ഒരു പേജിന്റെ നീളത്തെ അപേക്ഷിച്ച് അതിന്റെ കനം വളയങ്ങളുടെ നീളത്തെ അപേക്ഷിച്ചുള്ള കനത്തിന്റെ 80 മടങ്ങ് ആയിരിക്കുമെന്നതാണ് ഇതിന്റെ അർഥം.

അവിശ്വസനീയമായ ഈ വളയവ്യൂഹത്തിന്റെ ഉത്ഭവം എങ്ങനെയാണ്? ശനിക്ക് ഇപ്പോൾ ഒമ്പതു ചന്ദ്രന്മാരുണ്ട്. ഒരു കാലത്ത് അതനോടടുത്ത് പത്താമതൊരെണ്ണം കൂടിയുണ്ടായിരുന്നുവെന്നും ഗുരുത്വാകർഷണബലം കാരണം അതു തകർന്നു പോയിയെന്നും ഊഹിക്കുന്നതിൽ തെററില്ല. അങ്ങനെ നാശോന്മുഖമായിത്തീർന്ന ഉപഗ്രഹത്തിന്റെ അവശിഷ്ടങ്ങളാവാം ഇന്നു കാണുന്ന വളയങ്ങൾ. എന്തായാലും ശരി വളയങ്ങളിലെ ദ്രവ്യം ചെറുകഷണങ്ങളാണെന്നു പ്രകാശികമാപനങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു. ഒരു ചന്ദ്രൻ ഇത്ര ചെറിയ കഷണങ്ങളായി പൊട്ടിച്ചിതറിയെന്നു വിശ്വസിക്കാനും പ്രയാസമാണ്. സൗരവ്യൂഹത്തിനു രൂപം നൽകിയ മൂല (ആദ്യ) പദാർഥത്തിൽ നിന്നും ഏതോ ചില കാരണങ്ങളാൽ ഘനീഭവനം സംഭവിക്കാതിരുന്ന ഒരു ശക്തിമാനായ ഉപഗ്രഹത്തെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നവയാവാം ഈ വളയങ്ങളെന്നു തോന്നുന്നു.

ശനിയുടെ താപനില 125°K അഥവാ-148°C യോടടുത്താണെന്ന് പെററിററിന്റെയും മററു ചിലരുടെയും ഇൻഫ്രാറെഡ്മാപനങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. മേഘസ്തരത്തിന്റെ ഉപരിഭാഗത്തോടടുത്ത ഒരു മേഖലയിലെ താപനിലയാകാം ഇത്. വ്യാഴത്തേക്കാൾ വെറും 20° യിൽ കൂടുതൽ തണുപ്പേ ശനിക്കുള്ളുവെങ്കിലും അതിന്റെ അന്തരീക്ഷത്തിൽ അമോണിയ വളരെക്കുറച്ചേയുള്ളൂ. അന്തരീക്ഷത്തിൽ നിന്നും അമോണിയം അതിവേഗം ഖരീഭവിച്ചു നീങ്ങുന്നു. താപനിലാപരിസരത്തിൽ തന്നെയാണ് ഈ 20° താപനിലാതാഴ്ചയുണ്ടാവുന്നതു്.

1957 ൽ എഫ്. ഡി. ഡ്രേക്കും, എച്ച്, ഐ. ഇവനും കൂടി വെറും 28 അടി വ്യാസമുള്ള ഒരു പാരബോളിക ആന്റെന്ന ഉപയോഗിച്ച് ശനിയിൽ നിന്നും 3 സെ. മീ റേഡിയോതരംഗങ്ങൾ നിദർശിച്ചു. ആന്റെന്ന താപനില വെറും 0.04°K മാത്രമായിരുന്നു. ഗ്രഹത്തിന്റെ സൂക്ഷ്മതരംഗതാപനിലയെപ്പററി വളരെ പ്രാകൃതമായ ഒരു കണക്കു കൂട്ടൽ നടത്താനേ കഴിഞ്ഞുള്ളൂ. ഈ അടുത്ത കാലത്ത് മിച്ചിഗൺ സർവകലാശാലയിലെ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ ഒരു 85 അടി റേഡിയോദൂരദർശിയും 3.4 സെ.മി തരംഗനീളത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരു റൂബീമേസർ പ്രവർധകവും ഉപയോഗിച്ച് മാപനം ആവർത്തിക്കുകയുണ്ടായി. ഈ വലിയ ആന്റെന്ന ഉപയോഗിച്ചപ്പോൾ $\triangle T_A$ ഏകദേശം 0.1°K ആയിരുന്നു. ശനിയുടെ 14, ക്രമവീക്ഷണനിരീക്ഷണങ്ങളുടെ ശരാശരി ദ്യുതി താപനില 106°K യുമായിരുന്നു. ഈ മൂല്യം ഇൻഫ്രാറെഡ് ഫലത്തേക്കാൾ അല്പം താഴെയാണെങ്കിലും ആ വ്യത്യാസം രണ്ടുമാപനങ്ങളിലുമുണ്ടായേക്കാനിടയുള്ള പിശകിനേക്കാൾക്കുറവാണ്.

സൂക്ഷ്മതരംഗഉത്സർജനത്തിൽ വലയങ്ങൾക്കു യാതൊരു പങ്കുമില്ല എന്ന സങ്കല്പത്തെ ആധാരമാക്കിയാണ് റേഡിയോ താപനില കണക്കാക്കുന്നതു്.

വലയങ്ങൾ മാപനീയമാംവിധം 3.4 സെ. മി സിഗ്നൽ ഉത്സർജിക്കുന്നുവെന്നു നാം സങ്കല്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ കണക്കാക്കപ്പെടുന്ന താപനില ഇതിലും താഴെയായിരിക്കും. അതേ ഊർജം (സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന ഫ്ളക്സ്) തന്നെ കൂടുതൽ വലിയ പ്രതലത്തിൻേറതെന്നു കണക്കാക്കേണ്ടി വരുന്നതാണിതിനു കാരണം. ഇതു് റേഡിയോ താപനിലയും ഇൻഫ്രാറെഡ് താപനിലയും തമ്മിലുള്ള അന്തരം വർധിപ്പിക്കുമെന്നതിനാൽ വലയങ്ങൾ സൂക്ഷ്മതരംഗ ഊർജം കാര്യമായി ഉത്സർജിക്കുന്നില്ല എന്നതിൻെറ ഒരു തരം പരോക്ഷസൂചനയായി ഇതിനെ കണക്കാക്കാം. ഒന്നുകിൽ വളരെ താണതാപനിലയാകാം ഇതിൻെറ കാരണം. അഥവാ വലയകണങ്ങൾ വളരെ ചെറുതും അന്യോന്യം വളരെ അകലെയുമാണെന്നതാകാം. ഈ രണ്ടു സ്ഥിതിവിശേഷങ്ങളും ഒരേ സമയം നിലനില്ക്കുന്നുവെന്നതും അസംഭാവ്യമല്ല.

താപ-മാപനങ്ങളുടെ ഭാവി

താപ-റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൻെറ ഭാവി എന്താണു്? വലിയ പാരബോളികറേഡിയോ ദൂരദർശികളാൽ കീഴടക്കപ്പെടുന്നതിനു് വിധേയമം കാത്തിരിക്കുന്ന നവീനലോകങ്ങൾ ഏതൊക്കെയാണു്? സൗരവ്യൂഹത്തിലെ രണ്ടാം ഇനത്തിൽ പെടുന്ന ഇരട്ടകളായ യുറാനസ്, നെപ്ട്യൂൺ എന്നീ ഭീമഗ്രഹങ്ങൾ ശനിക്കും അപ്പുറത്താണു്. ഭൂമിയും ശുക്രനുമെന്ന പോലെ ഈ വസ്തുക്കളും വലുപ്പത്തിൽ അന്യോന്യം ഏറെക്കുറെ തുല്യമാണു്. ഓരോന്നിനും വ്യാഴത്തിൻെറ മൂന്നിലൊന്നോളം വ്യാസമുണ്ടു്. അവയോരോന്നും വ്യാഴത്തേക്കാൾ ലേശം ഘനത്വം കൂടിയവയാണു്. വലിയ ഗ്രഹങ്ങളിലുള്ളതിനേക്കാൾ കുറഞ്ഞ അളവിൽ ഹൈഡ്രജനും കൂടിയ തോതിൽ ഹീലിയവും ചേർന്ന ഒരു മിശ്രിതത്താലാണ് ഈ ഗ്രഹങ്ങൾ നിർമിതമായിരിക്കുന്നതെന്നു് ഇതു സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഈ രണ്ടു ഗ്രഹങ്ങളും അതിവിദൂരങ്ങളാകയാൽ ദൂരദർശിയിൽ വിശദമായൊന്നും കാണാൻ കഴിയുകയില്ല. ലഭിച്ചിട്ടുള്ള തെളിവുകൾ ഇവയ്ക്കു് വ്യാഴം ശനി എന്നിവയോടു് ബാഹ്യമായ ചില സാദൃശ്യങ്ങളുണ്ടെന്ന സൂചന നൽകുന്നവയാണു്.

സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള ദൂരക്കൂടുതൽ കാരണം യുറാനസും നെപ്ട്യൂണും തണുത്തുമരവിച്ച ഗോളങ്ങളാണെന്നു നമുക്കു് ഊഹിക്കാം. രണ്ടു ഗ്രഹങ്ങളുടെയും അന്തരീക്ഷം മീഥേൻ കൊണ്ടു സമ്പന്നമാണെന്നും അമോണിയാ മുഴുവൻ തണുത്തുറഞ്ഞിരിക്കയാണെന്നും വർണരാജീലേഖികൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു. യുറാനെസിന്റെ താപനില ദ്രാവകവായുവിൻെറ തിളനിലയോടടുത്ത 90°K അഥവാ—183°C മാത്രമാണെന്നു ഇൻഫ്രാറെഡ് മാപനങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. നെപ്ട്യൂണിന്റെ താപനില പ്രത്യക്ഷമായ രീതികളിലൊരിക്കലും മാപനം ചെയ്യിട്ടില്ലെങ്കിലും ഇതിനേക്കാൾ 15° താഴെയാകാനാണു സാധ്യത.

സൗരവ്യൂഹത്തിൻെറ 'അതിർത്തിക്കല്ല്' എന്നോണം പ്ലൂട്ടോ എന്ന നിഗൂഢഗ്രഹം നിലകൊള്ളുന്നു. ലോകത്തിലെ ഏററവും വലിയ രണ്ടോ മൂന്നോ ദൂരദർ

ശികളിൽ മാത്രമേ ഒരു നക്ഷത്രബിന്ദുവിൽ നിന്നും അതിനെ വേർതിരിച്ചറിയാനാവൂ. മൗണ്ട്പലോമർ ഒബ്സർവേററിയിലെ 200-ഇഞ്ച് ദൂരദർശിയുടെ സഹായത്താൽ പ്ലൂട്ടോയുടെ വ്യാസം ഭൂമിയുടെ വ്യാസത്തിൻെറ 46 ശതമാനം മാത്രമാണെന്നു കൂപെർ കണക്കാക്കിയിട്ടുണ്ട്. എന്നാൽ അതിനു് ഭൂമിയോളം തന്നെ ദ്രവ്യമാനമുണ്ടെന്നാണ് മററു ഗ്രഹങ്ങളിന്മേൽ അതു ചെലുത്തുന്ന ഗുരുത്വാകർഷണബലം സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. ഈ നിഗമനങ്ങളെ അവയുടെ മുഖ വിലയ്ക്കു തന്നെ നാം സ്വീകരിക്കുകയാണെങ്കിൽ പ്ലൂട്ടോവിന്റെ ഘനത്വം 50ഗ്രാ/സെമി^{3}ൽ കൂടുതലായിരിക്കണം. ഇതു ആർക്കും വിശ്വസിക്കാൻ കഴിഞ്ഞെന്നു വരികയില്ല. ഈ വിദൂരവസ്തുവിൻെറ താപനില ഊഹിച്ചെടുക്കാനേ കഴിയൂ. അതു ഏറെക്കുറെ 45°K യോടടുത്തായിരിക്കാനാണു സാധ്യത. ഭ്രമണപഥത്തിൻെറ ഉൽകേന്ദ്രത കാരണം പ്ലൂട്ടോ ഭൂമിയോടടുത്തു കൊണ്ടിരിക്കുകയാണ്. 1969നും 2009 നു മിടയിൽ അതു് വാസ്തവത്തിൽ നെപ്ട്യൂണിനേക്കാൾ ഭൂമിയോടടുത്തായിരിക്കും. 1989 ൽ അതു് ഭൂമിയോട്ട് ഏററവും അടുത്തു വരുന്ന വേളയിൽ റേഡിയോ, പ്രകാശിക ടെക്നിക്കുകളെ ഏകോപിപ്പിച്ച് ശക്തമായ ഒരു 'ആക്രമണം' തന്നെ നടത്തിയാൽ ചില നിഗൂഢതകളൊക്കെ വെളിപ്പെട്ടെന്നു വരും.

ഈ മൂന്നു ബാഹ്യഗ്രഹങ്ങളുടെ താപനിലകൾ റേഡിയോമാപനം നടത്താനുള്ള സാധ്യതകൾ എന്തൊക്കെയാണ്? ഗ്രഹം സമ്മുഖമാക്കുന്ന കോണം θ എന്നും $r/D = \theta/2$ എന്നുമെടുത്തു് സമീകരണം 3.2 നെ കൂടുതൽ സൗകര്യപ്രദമായ ഒരു രൂപത്തിലെഴുതാം. അപ്പോൾ

$$S = \frac{2\pi KT}{\lambda^2}\left(\frac{\theta}{2}\right)^2 \text{ വാട്ട്സ്/മീ}^2\text{/ച:പ്ര.സെ. (ഹെ.)}$$

സംഖ്യാസ്ഥിരാങ്കങ്ങളെ സംയോജിപ്പിക്കുകയും ആർക്കിന്റെ ഒരു സെക്കന്റ് 4.86×10^{-6} റേഡിയനു തുല്യമാണെന്ന് എടുക്കുകയും ചെയ്താൽ

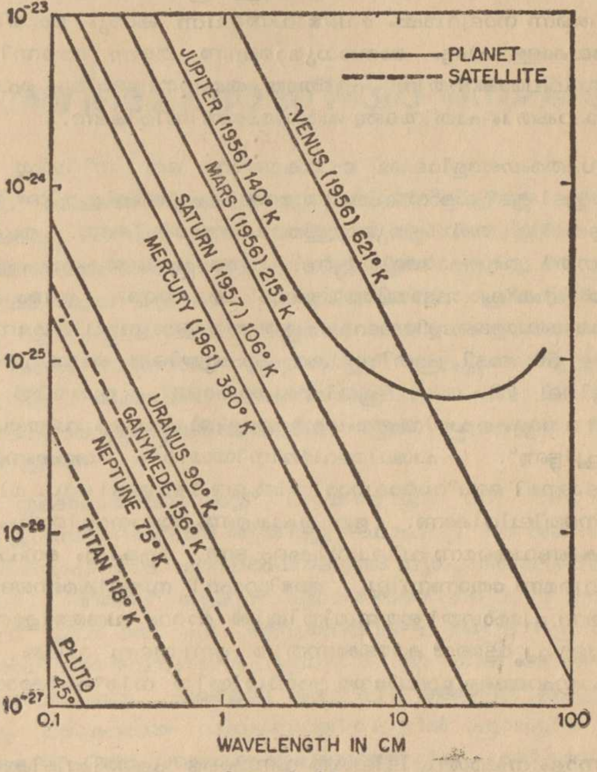
$$S = 5.14 \times 10^{-34} \ \frac{T}{\lambda^2}\, \theta_s{}^2 \text{ വാ/മീ}^2\text{/ച:പ്ര.സെ. (ഹെ.)} \tag{3–9}$$

എന്നു കിട്ടും.

ഇവിടെ θ_s ഗ്രഹത്തിൻെറ പ്രത്യക്ഷകോണീയവ്യാസം ആർക്കിൻെറ സെക്കന്റ് എന്ന തോതിൽ സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ ഏകകത്തിലാണ്. അത്തരം വ്യാസങ്ങൾ മിക്കവാറുമെല്ലാപ്പോഴും പട്ടിക രൂപത്തിലെഴുതുന്നതു്.

ഭൂമിയിൽ നിന്നും ഓരോഗ്രഹവും അതാതിൻെറ ലഘുതമ ദൂരത്തിലായിരിക്കുമ്പോൾ അവയിൽ നിന്നും വരുന്ന ഫ്ളക്സ് കണക്കാക്കുന്നതിന് സമീകരണം 3.9 നാം ഉപയോഗപ്പെടുത്തി. അങ്ങനെ ലഭിച്ച ഫലങ്ങൾ ചിത്രം 3–11 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. റേഡിയോ താപനിലയുടെ മൂല്യം ലഭിച്ചു കഴിഞ്ഞിട്ടുള്ള സന്ദർഭങ്ങളിലൊക്കെ കണക്കു കൂട്ടലുകളിൽ അതു തന്നെയാണ് ഉപ

യോഗിച്ചിട്ടുള്ളതു്. സൗരവ്യൂഹത്തിലെ രണ്ടു വലിയ ഉപഗ്രഹങ്ങളായ വ്യാഴത്തിൻെറ ഗാനിമിഡ് ശനിയുടെ ടിററാൻ എന്നിവയുടെ വക്രങ്ങളും ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിട്ടുണ്ടു്.



ചിത്രം 3–11

[ഓരോ ഗ്രഹത്തിൻെറയും രണ്ടു ഉപഗ്രഹങ്ങളുടെയും ഉച്ചതമ സൂക്ഷ്മതരംഗ ഫ്ളക്സ്ഘനത്വം. വ്യാഴവക്രത്തിലെ മേലോട്ടു വളഞ്ഞ വാൽ താപേതര ഉത്സർജനം മൂലമുണ്ടാകുന്നതാണു്. അഞ്ചു് അന്തർഗ്രഹങ്ങളുടെ കാര്യത്തിൽ ബ്രാക്കററിൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന സംഖ്യ യഥാർഥ നിരീക്ഷണത്തിൻെറ തീയതി സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ബുധനൊഴികെ മററെല്ലാ വസ്തുക്കളും ഭൂമിയിൽ നിന്നും നിമ്നതമ ദൂരത്തിലായിരിക്കുമ്പോൾ സാധുവാകുന്ന വക്രങ്ങളാണിവ. ബുധൻെറ കാര്യത്തിൽ സൂര്യനിൽ നിന്നും അതിലേക്കുള്ള കോണീയദൂരം ഉച്ചതമമായിരിക്കുമ്പോൾ മാത്രം ബാധകമാണു ചിത്രത്തിലെ വക്രം. തൃപ്തികരമായ നിരീക്ഷണം ഇപ്പോൾ സാധ്യമാകുന്ന ഒരേയൊരു പരിതസ്ഥിതി ഇതു മാത്രമാണു്.]

[ആവശ്യമായ ഉപകരണ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകത്വത്തിനു അനുസരിച്ചായിരുന്നു (അതായതു് ചിത്രം 3–11 ൽ വലത്തു നിന്നും ഇടത്തോട്ടു്) ഗ്രഹങ്ങളുടെ സൂക്ഷ്മ തരംഗനിദർശനമെന്ന കാര്യം ഒരു പക്ഷേ അപ്രതീക്ഷിതമായിരിക്കയില്ല. ചിത്രത്തിൽ ശനിക്കും ബുധനുമിടയിലുള്ള പ്രായേണ നേർത്ത വിടവു നികത്തു ന്നതിനു തന്നെ നാലുവർഷം വേണ്ടിവന്നുവെന്ന കാര്യം ഓർമിക്കുമ്പോൾ യുറാ നെസിലേക്കുള്ള ചാട്ടം അസാധ്യമാണെന്നു തന്നെ തോന്നിയേക്കാം. ഈ ഉദ്യമം സഫലമാകുന്നതിനു് ഏതൊരു തരംഗനീളത്തിലും ഉപകരണത്തിന്റെ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകത്വം പതിന്മടങ്ങു വർധിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

ഹ്രസ്വതരംഗങ്ങളിലേക്കു പോകുന്തോറും ഒരു നിർദിഷ്ട ഗ്രഹത്തിന്റെ ഫ്ളക്സ് കൂടി കൂടി വരാൻ സാധ്യതയുണ്ടു്. എന്നാൽ ഇതിനു് ആന്റെന്ന ഉപരി തലം കൂടുതൽ കൂടുതൽ കൃത്യതയുള്ളതാകേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. അധ്യായം രണ്ടിൽ ഈ സംഗതി വ്യക്തമാക്കിയിട്ടുണ്ടു്. അപ്പോഴുണ്ടാകുന്ന എൻജിനീയറിങ് പ്രശ്നങ്ങൾ ദുഷ്കരങ്ങളായിത്തീരുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇന്നുപയോഗത്തിലിരി ക്കുന്ന പരാബോളജങ്ങളിലേററവും കൃത്യതയുള്ളവ നാവികഗവേഷണ ലബോറ ട്ടറിയിലെ 50 അടി പ്രതിഫലകവും റഷ്യയിലെ ലെബ്ഡേവ് ഭൗതിക ഇൻ സ്റ്റിററ്യൂട്ടിലെ 72 അടി പ്രതിഫലകവുമാണു്. തുവയിൽ രണ്ടാമത്തേതു് 4 മി. മീ നോളം ചെറിയ തരംഗനീളങ്ങളിൽ പോലും വിജയകരമായി പ്രവർ ത്തിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ടു്. പശ്ചിമവെർജിനീയയിലെ നാഷണൽ റേഡിയോ അസ്ട്രോണമി ഒബ്സർവേററിയിൽ ഒരു 140 അടി സെ. മി തരംഗആന്റെന നിർമാണത്തിലിരിക്കുന്നു. ഈ ഉപകരണം യുറാനസിനെയും നമ്മുടെ പിടി യിൽ കൊണ്ടുവരുമെന്നു വിശ്വസിക്കപ്പെടുന്നു. എങ്കിലും നെപ്ട്യൂണിനെ കീഴ ടക്കാനാവുമെന്നു തോന്നുന്നില്ല. അഭിഗ്രാഹീ സജ്ജീകരണങ്ങളിൽ നിരന്തരം കൈവരുന്ന പുരോഗതി ഈ സ്ഥിതിയിൽ മാററം വരുത്തിക്കൂടെന്നില്ല. വിദൂ രതയിലുള്ള പ്ലൂട്ടോയെ കീഴടക്കുന്നതിനു മുമ്പു തന്നെ വ്യാഴം, ശനി എന്നിവ യുടെ ഉപഗ്രഹങ്ങളെ റേഡിയോ ദൂരദർശിയിൽ നിരീക്ഷിക്കാൻ കഴിഞ്ഞെന്നു വരും.

ഇന്നോളം നിദർശിച്ചിട്ടില്ലാത്ത വസ്തുക്കളെ എത്തിപ്പിടിക്കുന്നതിൽ മാത്രമേ താപീയ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിനു ഭാവിയുള്ളോ? അല്ലേയല്ല! നടത്തിക്കഴിഞ്ഞിട്ടുള്ള പ്രായേണ അപരിഷ്കൃതങ്ങളായ മാപനങ്ങൾ പരിഷ്ക രിക്കണമെന്നുള്ളതും ഇത്രത്തോളം തന്നെ പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്നു. ശുക്രന്റെ ഘൂർണന കാലം, ഗ്രഹോപരിതലം എന്നു കീററമുട്ടിയുടെ ശരിയായ ഭൗതിക സ്വഭാവം, ശനി വലയങ്ങളുടെ (സംഘടന) തുടങ്ങിയ ചില സുപ്രധാന ഖഗോള വിജ്ഞാനനിഗൂഢതകൾ നിർധാരണം ചെയ്യാൻ സമീപഗ്രഹങ്ങളുടെ മെച്ചപ്പെട്ട നിരീക്ഷണങ്ങൾ സഹായിച്ചെന്നുവരും. താപീയ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാ നിയുടെ പ്രവർത്തനങ്ങൾ കഷ്ടിച്ചു തുടങ്ങിയിട്ടേയുള്ളൂ.

4

വ്യാഴത്തിന്റെ റേഡിയോ സ്പെക്ട്രം

തനിക്കു മുമ്പ് ലോകത്തിൽ മറെറാരാളും അറിഞ്ഞിട്ടില്ലാത്ത എന്തെങ്കിലുമൊന്ന് താൻ പഠിച്ചു കഴിഞ്ഞുവെന്നു പറയുവാൻ കഴിയുന്നതിൽ പരം വികാരോഷ്മളമായ ഒരനുഭവം ഒരാൾക്കുമുണ്ടാകാനില്ല എന്ന് പ്രശസ്ത ശാസ്ത്രകാരനായിരുന്ന വാനേവർ ബുഷ് ഒരിക്കൽ പറയുകയുണ്ടായി. ഗ്രഹങ്ങളിലേററവും വലിയവനായ വ്യാഴം ഇടയ്ക്കിടെ തീവ്രമായ റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ ഉത്സർജിക്കുന്നുവെന്ന് താനും ബർനാർഡ് ബ്രൂക്കും കൂടി തികച്ചും യാദൃച്ഛികമായി കണ്ടുപിടിച്ചപ്പോൾ തനിക്കുണ്ടായ വികാരാനുഭൂതികൾ വിവരിക്കുന്നതിനിടയിൽ ഒരു യുവജ്യോതിശ്ശാസ്ത്രജ്ഞനായ കെ. എൽ. ഫ്രാങ്ക്ളിൻ ഉദ്ധരിച്ചതാണ് ഈ അഭിപ്രായം

1955–ന്റെ തുടക്കമായിരുന്നു അത്. വാഷിങ്ടൺ. സി. സി; യ്ക്കു സമീപം കാർണീജി ഇൻസ്ററിററ്യൂഷൻ ആയിടയ്ക്കു സ്ഥാപിച്ച ഒരു വലിയ റേഡിയോ വ്യതികരണമാപിയുടെ പരിശോധനകളിൽ വ്യാപൃതരായിരുന്നു നമ്മുടെ കഥാനായകന്മാർ. ‹മിൽസ് ക്രോസ്'' എന്നയിനത്തിൽപ്പെടുന്ന ഈ പുതിയ ആന്റെന്നവ്യൂഹം 22.2 മെ. ഹെ. ആവൃത്തിയിൽ ഒററപ്പെട്ട സ്രോതസ്സുകളും കോസ്മിക റേഡിയോ രവവും മാനചിത്രണം ചെയ്യുന്നതിനു വേണ്ടി അഭികല്പന ചെയ്തിട്ടുള്ളതായിരുന്നു. തങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തിനു മുമ്പുള്ള സംഭവങ്ങളെപ്പററിയുള്ള രസകരമായ വിവരണത്തിനിടയിൽ ഫ്രാങ്കളിൻ ഇങ്ങനെ അനുസ്മരിക്കുന്നു '' ചിലപ്പോഴൊക്കെ അഭിലേഖങ്ങളിൽ വ്യതികരണത്തിന്റെ പ്രത്യേകതകൾ പ്രകടമായിരുന്നു. പ്രസ്തുത വ്യതികരണത്തിന്റെ ഉല്പത്തിയെപ്പററി എന്നെങ്കിലുമൊരിക്കൽ നമുക്കൊരു അന്വേഷണം നടത്തേണ്ടതുണ്ടെന്നും ഒരിക്കൽ ഞാൻ പറഞ്ഞതായി ഓർമിക്കുന്നു.''

ഒട്ടേറെ അഭിലേഖങ്ങൾ അവസാനം താരതമ്യം ചെയ്തു നോക്കിയപ്പോൾ 'വ്യതികരണം' എല്ലായ്പോഴും ഏറക്കുറെ ഒരേ സമയത്തു തന്നെ നടക്കുന്നതായിക്കണ്ടു ബർക് അത്ഭുതപരതന്ത്രനായിപ്പോയി. അതായത് സാധാരണ ക്ളോക്കുകൾ പ്രകാരം ഓരോ രാത്രിക്കും നാലു മിനുററുകൾക്കു മുമ്പായിരുന്നു അത് സംഭവിച്ചത്. രവത്തിന്റെ ഉത്ഭവം ഖഗോളീയമായിരുന്നുവെന്നതിന്റെ മതിയായ സൂചനയായിരുന്നു അത്. ആന്റെനബീമിൽ യഥാസമയങ്ങളിൽ വന്നെത്താനിടയുള്ള ഒരു വസ്തുവിനെ കണ്ടുപിടിക്കാൻ വേണ്ടി *താര-ചിത്രഗ്രന്ഥ*

ത്തിൽ നക്ഷത്ര അററ്ലസിൽ നടത്തിയ അന്വേഷണങ്ങളൊക്കെ പരാജയപ്പെടുകയാണുണ്ടായത്.

ഫ്രാങ്ക്ളിൻെറ വിവരണം ഇങ്ങനെ തുടർന്നു പോകുന്നു. ''ഞങ്ങളുടെ സ്രോതസ്സ് വ്യാഴം ആയിരിക്കാനാണു സാധ്യതയെന്നു പരേതനായ ഹോവാർഡ് ടാറേറൽ ഏറക്കുറെ തമാശരൂപേണ ബർക്കിനോടും എന്നോടും അഭിപ്രായപ്പെടുകയുണ്ടായി. ഈ അഭിപ്രായ പ്രകടനത്തിൻെറ അസംഗതമായ പ്രകൃതം ഞങ്ങളെയും രസിപ്പിച്ചു. അതിനെതിരായി ഒരു വാദം തന്നെ നടത്തുന്നതിനു വേണ്ടി ''അമേരിക്കൻ എഫിമെരിസ് ആൻഡ് നോട്ടിക്കൽ അൽമനാക്കിൻ (American Ephemeris and Nautical Almanac) വ്യാഴത്തിൻെറ സ്ഥാനം നോക്കിക്കണ്ടു പിടിക്കാൻ ഞാൻ ശ്രമിച്ചു. വ്യാഴം ഏറക്കുറെ യഥാസ്ഥാനത്തുതന്നെയാണെന്നു കണ്ടപ്പോൾ ഞാൻ അത്ഭുതപ്പെട്ടു പോയി ... ... സന്ധ്യാവെളിച്ചം വന്നു പോയി ആകാശം തെളിഞ്ഞപ്പോൾ ഞങ്ങൾ ആഹ്ളാദഭരിതരായി. ഏറക്കുറെ മിറിഡിയനിൽ കാണപ്പെട്ട അസാധാരണ ദ്യുതിയുള്ള വസ്തു ഏതാണെന്ന് ബർക് എന്നോട് ചോദിച്ചു. അത് വ്യാഴമാണെന്നു ഞാൻ അദ്ദേഹത്തോടു പറഞ്ഞപ്പോൾ ഞങ്ങളിരുവരും ഉള്ളു കുളിർക്കെ ചിരിച്ചു.''

അടുത്ത ദിവസം ഫ്രാങ്ക്ളിൽ ഖഗോളീയ നിർദ്ദേശാങ്കങ്ങളിൽ വ്യതികരണ സംഭവങ്ങളുടെ ഒരു ആരേഖം തയ്യാറാക്കി. പിന്നീട് അദ്ദേഹം അതേ ആരേഖത്തിൽ തന്നെ വ്യാഴത്തിൻെറ സ്ഥാനവും അടയാളപ്പെടുത്തി. ''ഞാൻ ഓരോ ബിന്ദുവും അടയാളപ്പെടുത്തുമ്പോൾ എൻെറ ഇടതു വശത്തു നിന്ന് അതു വീക്ഷിച്ചു കൊണ്ടിരുന്ന ബർക് ആശ്ചര്യദ്യോതകമായ ശബ്ദം പുറപ്പെടുവിച്ചു കൊണ്ടിരുന്നു. ഓരോ ബിന്ദുവും ഓരോ സംഭവത്തിൻെറ ആരംഭത്തെയും അവസാനത്തെയും പ്രതിനിധീകരിക്കുന്ന അതിർത്തി രേഖകളുടെയിടക്ക് ഒത്ത നടുവിലായിരുന്നു. ഇതിൻെറ അർഥം സുവ്യക്തമാണ്. മിൽക്രോസ്സിലെ നേർത്ത പ്രധാന പുഞ്ജത്തിൻെറ പരിധിക്കുള്ളിൽ വ്യാഴഗ്രഹം വരുമ്പോൾ മാത്രമേ ഈ സംഭവങ്ങൾ അഭിലേഖനം ചെയ്യപ്പെടുന്നുള്ളു .... ഇടവിട്ട വികിരണത്തിൻെറ ഉറവിടം തീർച്ചയായും വ്യാഴവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടതായിരിക്കണം.''

തികച്ചും അപ്രതീക്ഷിതമായ ഈ കണ്ടുപിടിത്തത്തോടെയാണ് ഒരു ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോ ആവൃത്തി ഊർജം ഇദംപ്രഥമമായി തിരിച്ചറിഞ്ഞത്. റേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാനത്തിൽ വലിയ കാൽവെയ്പുകൾ അതിനു ശേഷമുണ്ടായിട്ടുണ്ടെങ്കിലും ഒരു റേഡിയോ പ്രേക്ഷപിതം എന്ന നിലയിൽ വ്യാഴത്തിനു ഗ്രഹങ്ങൾക്കിടയിൽ അദ്വിതീയ സ്ഥാനമാണുള്ളത്. റേഡിയോ സ്പെക്ട്രത്തിൻെറ ഹ്രസ്വതരംഗ ബാൻഡുകളിൽ ശക്തമായ ഉത്സർജ്ജനങ്ങളുണ്ടാക്കുന്ന സ്രോതസ്സെന്ന നിലക്കു ഈ ഗ്രഹത്തിനോടു കിടപിടിക്കുന്നതു സൂര്യൻ മാത്രമാണ്. ചരിത്രത്തിലെ മറേറതു കാലയളവിലുണ്ടായിരുന്നതിനേക്കാളേറെ കൂലങ്കഷമായി വ്യാഴത്തെ പഠിച്ചു കൊണ്ടിരിക്കുന്നതു ഇക്കാലത്താണെന്നു പറയുന്നതിൽ അപാകതയൊന്നുമില്ലെന്നു തോന്നുന്നു.

സ്ഥാനീകൃത സ്രോതസ്സുകൾ

കണ്ടെത്തലിനു മുമ്പുള്ള നിരീക്ഷണങ്ങൾ

യുറാനെസ്, നെപ്ട്യൂൺ എന്നീ ഗ്രഹങ്ങളെ, അവയുടെ ശരിയായ പ്രകൃതം തിരിച്ചറിയുന്നതിനു മുമ്പ് പല പ്രാവശ്യം നക്ഷത്രങ്ങളെന്ന രീതിയിൽ മാനചിത്രണം ചെയ്തിട്ടുള്ളതായി ഖഗോള വിജ്ഞാന ചരിത്രത്തിൽ പ്രതിപാദിച്ചിട്ടുണ്ട്. അവസാനം 1871–ൽ ഹെർഷൽ ഒരു പുതിയ ഗ്രഹത്തെ 'കണ്ടെത്തു'ന്നതുവരെ യുറാനെസിനെ ഒരു നക്ഷത്രമെന്നു് പന്ത്രണ്ടു പ്രാവശ്യം രേഖപ്പെടുത്തിയെന്ന അതുല്യ ബഹുമതിക്ക് അർഹനായ ഒരു ഖഗോള വിജ്ഞാനിയുണ്ടായിരുന്നു! അതു പോലെ തന്നെ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോ സിഗ്നലുകളെ ആത്യന്തികമായി ബർക്കും ഫ്രാങ്ക്ലിനും തിരിച്ചറിയുന്നതിനു മുമ്പ് തന്നെ അവയെ രേഖപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ളതായി കാണുന്നുണ്ട്.

തങ്ങളുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തിന് ഒരു വർഷം മുമ്പു തന്നെ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമുള്ള തീവ്രമായ ഉത്സർജനങ്ങൾ തങ്ങൾപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ളതായി മേൽപ്പറഞ്ഞ രണ്ടു കാർണീജി ശാസ്ത്രകാരന്മാരുടെയും ശ്രദ്ധയിൽപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. എന്നാൽ ഏററവും കൗതുകകരമായ 'കണ്ടെത്തൽ' നടത്തിയതു് ആസ്ട്രേലിയൻ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനിയായ സി. എ. ഷെയ്ൻ ആണ്. വ്യാഴത്തിൻെറ റേഡിയോ ഉത്സർജനങ്ങളുടെ നിദർശനം മനസ്സിലാക്കിയ ഉടനെ തന്നെ ഷെയ്ൻ 1950–ലും 1951–ലുമായി 18.8 മെ. സൈ/ സെക്കൻറ് ആവൃത്തിയിലെടുത്ത ഒരു നീണ്ട റെക്കോർഡു പരമ്പരയെ പുന:പരിശോധനയ്ക്കു വിധേയമാക്കി. ഈ ഈ റെക്കോർഡുകൾ കോസ്മിക റേഡിയോ രവം മാനചിത്രണം നടത്തുന്നതിനു വേണ്ടി നിർമ്മിച്ചവയായിരുന്നെങ്കിലും അവയിൽ 61 എണ്ണത്തിലും വിക്ഷോഭങ്ങളുണ്ടെന്നു വ്യക്തമായി. വ്യാഴം ഹേതുവായി ഉണ്ടായവയാണവ എന്നു് അവയുടെ സ്ഥാനങ്ങളിൽ നിന്നും ഇപ്പോൾ വ്യക്തമാണ്.[2] ബർക്, ഫ്രാങ്ക്ലിൻ എന്നിവരെപ്പോലെ അദ്ദേഹവും ആദ്യമൊക്കെ ഈ സിഗ്നലുകളെ ഭൗമ വ്യതികരണം മൂലമുണ്ടാകുന്നവയാണെന്നു് കരുതി അവഗണിക്കുകയാണുണ്ടായതു്. ഗ്രഹീയ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൻെറ സ്ഥാപകനാകാനുള്ള അവസരം അദ്ദേഹം പാഴാക്കിക്കളഞ്ഞു. എന്നാൽ വാസ്തവത്തിലുള്ള കണ്ടുപിടിത്തത്തിനു് ഏകദേശം അഞ്ചു വർഷം മുമ്പ് ശേഖരിച്ചെടുത്ത ദത്തങ്ങളുടെ ഒരു വലിയ കുമ്പാരം തന്നെ തൻെറ ഇച്ഛാനുസരണം ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നതിനു് അദ്ദേഹത്തിൻെറ കൈവശമുണ്ടായിരുന്നു. കൈവന്ന അവസരം അദ്ദേഹം ശരിക്കും വിനിയോഗിക്കുകയും ചെയ്തു. റേഡിയോ ഊർജം ഗ്രഹത്തിൻെറ എല്ലായിടത്തു നിന്നും എന്നതിനേക്കാളുപരി ഒരു സ്ഥാനീകൃത മേഖല അഥവാ 'സ്രോതസ്സി'ൽ നിന്നും വരുന്നവയാണെന്നു് കുറച്ചു കാലത്തിനുള്ളിൽ തന്നെ തെളിയിക്കുവാൻ അദ്ദേഹത്തിനു കഴിഞ്ഞു. ഇതിനുമുപരിയായി സ്രോതസ്സ് ദൃശ്യബിംബത്തിൻെറ കേന്ദ്രത്തിനു സമീപം ആയിരിക്കുമ്പോൾ മാത്രമേ അതു കേൾക്കുവാൻ കഴിയൂ എന്നും അദ്ദേഹം മനസ്സിലാക്കി—അതായതു് അതു് ഏറെക്കുറെ ഭൂമിയെ ലക്ഷ്യോന്മുഖമാക്കുമ്പോൾ മാത്രം.

നിലവിലുണ്ടായിരുന്ന ഡെക്കാമീററർ–തരംഗ റേഡിയോ ദൂരദർശികൾക്കൊന്നിനും വ്യാഴബിംബത്തെ ബിന്ദു–ബിന്ദുവായി വിശ്ലേഷണം ചെയ്യുന്നതിനു വേണ്ട വിഭേദനക്ഷമതയില്ലാതിരുന്ന അക്കാലത്തു് ഈ ആസ്ട്രേലിയക്കാരനു് ഇത്തരം ആധികാരികമായ പ്രഖ്യാപനങ്ങൾ നടത്താൻ എങ്ങനെ കഴിഞ്ഞു? ഗ്രഹത്തിന്റെ ദൃശ്യപ്രകൃതത്തെ അനുധാവനം ചെയ്യുന്നതിൽ തല്പരരായ പ്രകാശിക ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ ഉപയോഗിച്ചിരുന്ന ഒരു സങ്കേതം തന്നെയാണു് സ്ഥാനികൃത സ്രോതസ്സിന്റെ സാന്നിധ്യം പ്രകടമാക്കാൻ അദ്ദേഹം സ്വീകരിച്ചതു്. ഒരു സ്വേച്ഛാപര വ്യാഴരേഖാംശരേഖാ വ്യൂഹമാണു് അദ്ദേഹം ഉപയോഗിച്ചതു്.

വ്യാഴത്തേപ്പോലെ എപ്പോഴും മേഘാവൃതമായിരിക്കുന്ന ഒരു വസ്തുവിനു് രേഖാംശരേഖാ വ്യൂഹം കല്പിക്കുന്നതു് അത്ര സുസാധ്യമല്ലെന്നു് ഒററ നോട്ടത്തിൽ തോന്നിയേക്കാം. സ്ഥിരവും വ്യക്തവുമായ അടയാളങ്ങളൊന്നും അതിന്മേലില്ല എന്നതാണിതിനു കാരണം. [ഗ്രീനിച്ച് എവിടെയാണു് എന്നു് ഒരു പക്ഷേ വായനക്കാരൻ ചോദിച്ചേക്കാം]. ഭൂമിയിലെ അടയാളരഹിതങ്ങളായ സമുദ്രങ്ങളിന്മേൽ മിറിഡിയനുകൾ സങ്കല്പിക്കുന്നതിനു വേണ്ടതിൽ കൂടുതൽ ഭാവനാവിലാസമൊന്നും വേണ്ട, ഈ രേഖാംശരേഖാ വ്യൂഹമെന്ന സങ്കല്പത്തിനും ഒരു നിർദിഷ്ട സമയത്തു് രേഖാംശരേഖയുടെ 0° വ്യാഴബിംബത്തിന്റെ കേന്ദ്രത്തിലാണെന്നും അതിനു ശേഷം പ്രസ്തുത വ്യൂഹം സ്ഥിരവേഗത്തിൽ എന്നെന്നേക്കും ഘൂർണനം ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്നുവെന്നും കേവലം സങ്കല്പിക്കാവുന്നതേയുള്ളൂ. ഗ്രഹത്തിന്റെ അടുത്തടുത്ത ഘൂർണനത്തിനിടയിൽ പ്രധാന മിറിഡിയന്റെ (ദൃശ്യബിംബത്തെ സമച്ഛേദിക്കുന്ന രേഖ) രേഖാംശം ക്രമേണ 0° യിൽ നിന്നും 360° യിലേക്കു വർധിക്കുന്നു. ലഘുവായ കണക്കുകൂട്ടലിലൂടെ ഏതൊരു നിമിഷത്തിലും ഈ രേഖാംശം നിർണയിക്കാം. അങ്ങനെ ഏതൊരു അടയാളത്തിന്റെയും രേഖാംശം, അതു് എപ്പോൾ പ്രധാന മിറിഡിയനെ കടന്നു പോകുന്നുവെന്നു നോക്കി സ്ഥിരീകരിക്കാവുന്നതേയുള്ളൂ.

ഒരു അടയാളം രേഖാംശവ്യൂഹത്തേക്കാൾ വേഗത്തിൽ ഘൂർണനം ചെയ്യുകയാണെങ്കിൽ അതിന്റെ രേഖാംശം നിരന്തരം കുറഞ്ഞു വരുമെന്നും, സാവധാനത്തിൽ ഘൂർണനം ചെയ്യുകയാണെങ്കിൽ കൂടി കൂടി വരുമെന്നും കാണാൻ പ്രയാസമില്ല. അങ്ങനെ രേഖാംശരേഖാ വ്യൂഹത്തിനാപേക്ഷികമായി ഒരു അടയാളത്തിനുണ്ടാകുന്ന 'നീക്കം' ഘൂർണന നിരക്കിന്റെ ഒരു അളവുമായിരിക്കും. അടയാളങ്ങളെ പിന്തുടരുന്നതിനു് ഇത്തരം 'നീക്ക'ങ്ങളെ ഉന്മൂലനം! ചെയ്യുന്നതാണു് കൂടുതൽ സൗകര്യപ്രദം:—അതായതു കഴിയുന്നിടത്തോളം നിർദിഷ്ട അടയാളത്തിന്റെ അതേ നിരക്കിൽത്തന്നെ ഘൂർണനം ചെയ്തു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു രേഖാംശാ വ്യവസ്ഥ നിർവചിക്കുന്നതാണു് അഭികാമ്യം. അങ്ങനെയാവുമ്പോൾ പ്രസ്തുത അടയാളങ്ങളുടെ രേഖാംശം സ്ഥിരമായി നിൽക്കും. ഇവിടെ ഒരു വ്യാഴ നിരീക്ഷകനു് ഒരു വിഷമ സന്ധി അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടി വരുന്നു. വ്യാഴത്തിന്റെ ശീഘ്ര ഘൂർണനം കാരണം മേഘങ്ങൾ മധ്യരേഖയ്ക്കു സമാന്തര

മായ ബൽററുകളിലൂടെ വലിച്ചിഴക്കപ്പെടുന്നു. (പ്ലേററ് VIII കാണുക). പല ബൽററുകളും പല വേഗത്തിലാണ് ഘൂർണനം ചെയ്യുന്നത്. മണിക്കൂറിൽ 250 മൈൽ ആപേക്ഷിക പ്രവേഗത്തിൽ അന്യോന്യം കടന്നു പോകുന്ന സമീപ ബൽററുകൾ പോലും ഉണ്ടത്രെ! മധ്യരേഖയ്ക്കും 10° ക്കുള്ളിലുള്ള മേഘങ്ങളും ഉന്നത അക്ഷാംശങ്ങളിലുള്ള മേഘങ്ങളും തമ്മിൽ ഏററവുമധികം പ്രവേഗവ്യത്യാസം കാണപ്പെടുന്നതിനാൽ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ വളരെ മുമ്പു തന്നെ രണ്ടു രേഖാംശാവ്യൂഹങ്ങളെ വെവ്വേറെ നിർവചിച്ചിട്ടുണ്ട്. 'വ്യൂഹം 1' 9 മ. 50 മി. 30.003 സെക്കൻറിൽ ഘൂർണനം ചെയ്യുന്നു. മധ്യരേഖാ മേഖലയിൽ ഇതുപയോഗിക്കുന്നു. 92 മ. 55 മി 40.32 സെ. കാലത്തോടു കൂടിയ 'വ്യൂഹം II' ഗ്രഹത്തിന്റെ ശേഷം ഭാഗത്തിനുപയോഗിക്കുന്നു.*

വിവിധ രേഖാംശങ്ങൾ ഗ്രഹത്തിന്റെ പ്രധാന മിറിഡിയനിലായിരിക്കുമ്പോൾ സിഗ്നലുകൾ എത്ര തവണ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്നുവെന്ന് അടയാളപ്പെടുത്തുക എന്ന സരളമായ രീതിയിൽ വ്യാഴത്തിൽ പ്രാദേശിക റേഡിയോ സ്രോതസ്സിന്റെ അസ്തിത്വം പ്രകടമാക്കുവാൻ ഷെയ്ന് കഴിഞ്ഞു. ചിത്രം 4—1 ൽ നാം കാണുന്നതു പോലെ കൈകാര്യം ചെയ്യുന്നതിനുള്ള സൗകര്യത്തിനുവേണ്ടി ദത്തങ്ങളെ രേഖാംശത്തിൽ 5° അന്തരാളങ്ങളായി വിഭജിച്ചിരിക്കുന്നു. ഈ രീതിയിൽ ദത്തങ്ങളെ ഗണം തിരിച്ചിട്ടുള്ള ആരേഖത്തെ 'ഹിസ്റ്റോഗ്രാം എന്നു വിളിക്കുന്നു. വ്യാഴത്തിന്റെ ഒരു പ്രത്യേക വശം ഭൂമിയിലേക്കു തിരിഞ്ഞിരിക്കുമ്പോഴാണ് വികിരണ നിദർശനങ്ങൾ ഒട്ടുമുക്കാലും നടത്തിയതെന്ന് വ്യക്തമാണ്. ഷെയ്നിന്റെ തന്നെ വാക്കുകളിൽ പറഞ്ഞാൽ 67° ക്കു ചുററും 0° മുതൽ 135° വരെ വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്ന ഒരു രേഖാംശാബാൻഡിൽ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന സിഗ്നലുകളുടെ എണ്ണം ബാൻഡിനു വെളിയിലേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്നു ചിത്രം വ്യക്തമാക്കുന്നു. വ്യാഴത്തിലെ അത്യന്തം സ്ഥാനീകൃതമായ ഒരു സ്രോതസ്സിൽ നിന്നുമാണ് അവ ഉത്ഭവിക്കുന്നതെന്ന് ഇത് സൂചിപ്പിക്കുന്നു.[2]

അനുയോജ്യമായ രേഖാംശാവ്യൂഹത്തെ അന്വേഷിക്കുന്നതിനിടയിൽ ഈ ആസ്ട്രേലിയാക്കാരൻ വ്യൂഹം I ഉം വ്യൂഹം II ഉം പരീക്ഷിച്ചു നോക്കുകയുണ്ടായി. റേഡിയോദത്തങ്ങളുടെ ആവർത്തനകാലം ഏറെക്കുറെ വ്യൂഹം II ലെ ദത്തങ്ങളുടെ ആവർത്തനകാലത്തോടു പൊരുത്തപ്പെടുന്നതായിക്കണ്ടു. എന്നാൽ ഏതാനും ആഴ്ചകളുടെ അന്തരാളത്തിനിടയിൽ ഒരല്പം നീക്കം ദൃശ്യമായി. അതു് റേഡിയോസ്രോതസ്സിന് അല്പം കൂടി ഹ്രസ്വമായ 9 മ 55 മി 13 സെ ആവർത്തനകാലം സ്വീകരിക്കാൻ അദ്ദേഹത്തെ പ്രേരിപ്പിച്ചു. വികിരണം എത്ര പ്രാവശ്യം സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്നുവെന്നു നോക്കി മാത്രമാണ് പ്രാദേശിക റേഡിയോ

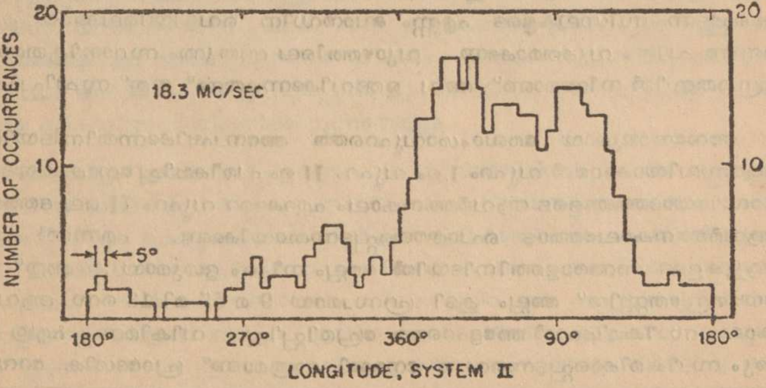
* ദി അമേരിക്കൻ എഫിമെരിസ് നോട്ടിക്കൽ അൽമനാകിൽ (യു. എസ് നേവൽലബോറട്ടറി വാർഷികമായി തയ്യാറാക്കി ഗവണ്മെൻറു പ്രിൻറിങ് ഓഫീസ് പ്രസാധനം ചെയ്യുന്നതു്) പട്ടികയുണ്ട്. പ്രധാന മിറിഡിയത്തിന്റെ ഏതു വ്യൂഹത്തിലെയും ഏതൊരു സമയത്തെയും രേഖാംശം ഇതിൽ നിന്നും നിഷ്പ്രയാസം നിർണയിക്കാം.

ട്രോതസ്സിൻെറ അസ്തിത്വം ഷെയ്ൻ വെളിപ്പെടുത്തിയതെന്നു നാം കണ്ടു. എന്നാൽ ഇത്തരമൊരു വിശ്ലേഷണം സ്രോതസ്സിൻെറ അക്ഷാംശത്തെപ്പററി യാതൊരു വിവരവും നൽകുന്നില്ല എന്നു വായനക്കാരൻ മനസ്സിലാക്കണം.

സമീപകാല നിരീക്ഷണങ്ങൾ

വ്യാഴനിരീക്ഷകന്മാരുടെ നിരയിൽ നിന്നും അകാലനിര്യാണം മൂലം ഷെയ്ൻ എന്നെന്നേക്കുമായി തിരോഭവിച്ചപ്പോൾ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിനു ഒരു കനത്ത നഷ്ടം നേരിട്ടു. ഇക്കഴിഞ്ഞ ഏതാനും വർഷങ്ങളിൽ ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൻെറ രചയിതാക്കൾ അവരുടെ ശിഷ്യന്മാർ യേൽ സർവകലാശാലയിലെ പ്രൊഫസർമാരായ ഹാർലാൻസ്മിത്ത് (Harlan Smith) ജെയിംസ് ഡഗ്ളസ് (James Douglas) കോളോറാഡോയിലുള്ള ബോൾഡറിലെ ഹൈ ആൾട്ടിററ്യൂഡ് ഒബ്സർവേററിയിലെ ഡോ. ജെയിംസ് വാർവിക് (Dr. James Warwick) എന്നിവർ വ്യാഴത്തെപ്പററി വിപുലമായ ഡെക്കാമീററർ റേഡിയോ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയിട്ടുണ്ട്. വികിരണം വ്യാഴബിംബത്തിൽ സ്ഥാനീകൃതമാണെന്നുള്ള ഷെയ്നിൻെറ നിഗമനത്തെ അങ്ങേയററം സ്ഥിരീകരിക്കുന്നവയാണ് ഈ നിരീക്ഷണങ്ങൾ. ഒന്നിലധികം റേഡിയോ സ്രോതസ്സുകൾ ഉണ്ടെന്നും അവ വെളിപ്പെടുത്തുകയുണ്ടായി.

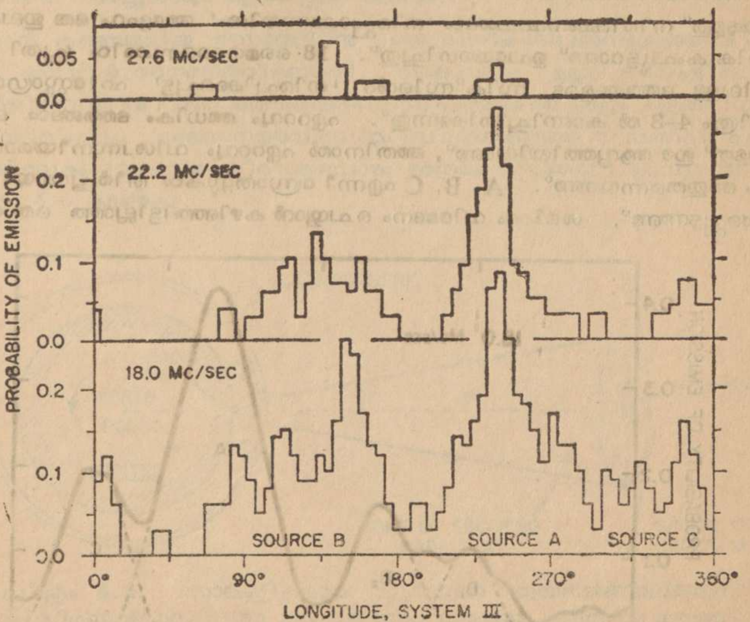
ഫ്ളോറിഡാ യൂണിവേഴ്സിററി റേഡിയോ നിരീക്ഷണാലയത്തിൻെറ 1960 ലെ ദത്തങ്ങളിൽ നിന്നും നിർമിച്ചെടുത്ത മൂന്നു ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകളാണ് ചിത്രം 4–2 ൽ നാം കാണുന്നതു്. ഈ ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകൾ ഷെയ്ൻ ഹിസ്റ്റോ



ചിത്രം 4–1. 1951 ലെ കണ്ടുപിടിത്തത്തിനു മുമ്പ് വ്യാഴത്തിൽ നടത്തിയ റേഡിയോ നിരീക്ഷണങ്ങളുടെ സി. എ. ഷെയ്ൻ ഹിസ്റ്റോഗ്രാം. ആഗസ്റ്റ് 15 മുതൽ ഒക്ടോബർ 2 വരെയുള്ള കാലയളവിലെടുത്ത ദത്തങ്ങളാണിതു്. (അവലംബം സി. എ. ഷെയ്ൻ നേച്ചർ 176, 837 [1955]).

ഗ്രാമുകളിൽ നിന്നും അല്പം വ്യത്യസ്തമാണ്. ഇവയുടെ ഊർധ്വാധരാക്ഷം വികിരണാഭിഗ്രഹണത്തിന്റെ സംഭാവ്യതയെ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു. സിഗ്നൽ സ്വീകരണത്തിന്റെ വെറും എണ്ണത്തെയല്ല അവ പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നത്. ഒരു നിർദ്ദിഷ്ടരേഖാംശമേഖല പ്രധാന മിറിഡിയനിലായിരിക്കുമ്പോൾ, സിഗ്നലുകൾ നിദർശിക്കപ്പെടുന്ന സമയാംശമെന്നു സംഭാവ്യതയെ വിശദമാക്കാം. അതു് ഏറക്കുറെ ഒരു സ്ഥിരാങ്കമായിരിക്കുമെന്നൊരു മേന്മയുമുണ്ട്. എന്നാൽ, സിഗ്നൽ സ്വീകരണത്തിന്റെ എണ്ണമാകട്ടെ എത്ര നേരം നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുന്നുവെന്നതിനെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും.

ചിത്രം 4–2 ലെ ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകൾ ഒന്നിലേറെ ശിഖരങ്ങൾ കാണിക്കുന്നതായും വ്യത്യസ്ത ആവൃത്തികളിൽ അഭിലേഖനം ചെയ്തിട്ടുള്ള ദത്തങ്ങൾക്കനുസരണമായി പാറ്റേണുകൾ സ്വയം ആവർത്തിക്കപ്പെടുന്നതായും നിങ്ങൾക്കു കാണാം. നീണ്ട കാലയളവുകളിൽ ഈ പാറ്റേണുകൾക്കുള്ള സ്ഥായിത്വം എന്താണ്? ഓരോ വർഷവും ഒരേ പാറ്റേണുകൾ തന്നെ ആവർത്തിക്കപ്പെടുന്ന

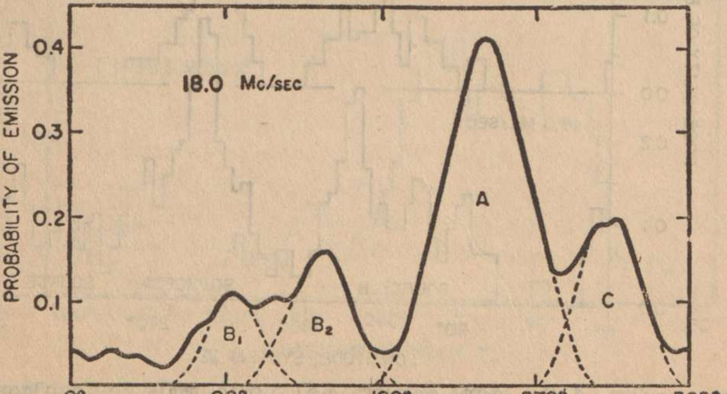


ചിത്രം 4–2. മൂന്നു് ആവൃത്തികളിൽ വ്യാഴത്തിന്റെ റേഡിയോ രവ ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകൾ. 1959 ഡിസംബർ 26 മുതൽ 1960 മേയ് 21 വരെ ഫ്ളോറിഡാ യൂണിവേഴ്സിറ്റിയിലെ റേഡിയോ ഒബ്സർവേറ്ററിയിൽ നടത്തിയ നിരീക്ഷണങ്ങളെ ആധാരമാക്കിയുള്ളതു്.

തായി തോന്നുന്നു. പ്രത്യേകിച്ചും A, B, C എന്നീ സ്രോതസ്സുകൾ വിശ്വാസ യോഗ്യമായ ദത്തങ്ങളെ ആധാരമാക്കിയുള്ള ഏതൊരു ഹിസ്റ്റോഗ്രാമിന്റെയും മുഖലക്ഷണങ്ങളാണ്. ഷെയ്നിന്റെ 1951 ലെ ഹിസ്റ്റോഗ്രാമിലും ഈ ശിഖരങ്ങൾ ഏതൊരാൾക്കും കാണാം. വ്യാഴത്തിലെ റേഡിയോസ്രോതസ്സുകൾ, അനുസ്യൂതം ഉത്സർജിക്കുന്നവയല്ലെന്നും ചിത്രം വ്യക്തമാക്കുന്നുണ്ട്.

പ്രധാന സ്രോതസ്സ് A യുടെ സംഭാവ്യത പോലും 0.34 ൽ കൂടുതലാകുന്നില്ല. ഈ സ്രോതസ്സ് പ്രധാനമിറിഡിയനിലായിരിക്കുന്നതിന്റെ മൂന്നിലൊന്നു സമയത്തേക്കു മാത്രമേ സിഗ്നലുകൾ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്നുള്ളുവെന്നാണ് ഇതു് സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. സ്രോതസ്സുകളുടെ പ്രവർത്തനം അങ്ങേയററം ഒററ തിരിഞ്ഞുണ്ടാകുന്നവയാണെന്നതു് സ്പഷ്ടം തന്നെ.

ഈ അടുത്ത കാലത്തു് ഫ്ളോറിഡാസംഘത്തിലെ ഡോ: എൻ. എഫ്. സിക്സ് (Dr. N. F. Six) ലഭ്യമായ ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകളിൽ സൂക്ഷ്മപഠനം നടത്തുകയുണ്ടായി. ഏതാനും വർഷങ്ങളിലെ ദത്തങ്ങൾ സംയോജിപ്പിക്കുന്നതിനും ഓരോ ബിന്ദുവിനും അതിനിരുവശവുമുള്ള ബിന്ദുക്കൾ കൊണ്ടു് ശരാശരിയെടുത്തു് നിരീക്ഷണഫലങ്ങൾ 'നിരപ്പാക്കുന്നതിനും' അദ്ദേഹം ഒരു ഇലക്ട്രോണിക കംപ്യൂട്ടറാണ് ഉപയോഗിച്ചതു്. 18 മെഗാസൈക്കിൾ പ്രതി സെക്കന്റിലുള്ള ദത്തങ്ങളുടെ സിക്സിന്റെ 'നിരപ്പിക്കപ്പെട്ട' ഹിസ്റ്റോഗ്രാമാണ് ചിത്രം 4–3 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു്. ഏററവും അധികം ദത്തങ്ങൾ ലഭിച്ചിട്ടുള്ളതു് ഈ ആവൃത്തിയിലാണ്, അതിനാൽ ഏററവും വിശ്വസനീയമായിട്ടുള്ളതും അതുതന്നെയാണ്. A, B, C എന്നീ സ്രോതസ്സുകൾ തീർച്ചയായും പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നുണ്ടു്. ശരിക്കും വിഭേദനം ചെയ്യാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടില്ലാത്ത ഒരു ജോഡി



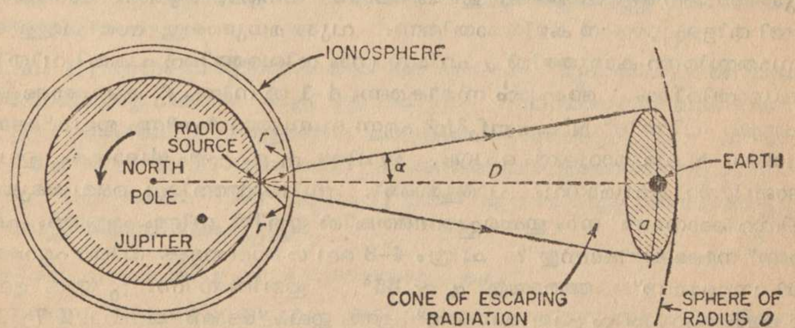
ചിത്രം 4.3. റേഡിയോസ്രോതസ്സുകളിലൊന്നിനുണ്ടായേക്കാനിടയുള്ള ദ്വിവിഭജനം വ്യക്തമാക്കുന്ന വൃദുലീന ശരാശരി ഹിസ്റ്റോഗ്രാം.

സ്രോതസ്സുകളാണ് വാസ്തവത്തിൽ 13 എന്നതിനും തക്കതായ സൂചനകൾ ലഭിച്ചിട്ടുണ്ട്. വ്യാഴത്തിലെ ഡക്കാമീററർ സ്രോതസ്സുകളുടെ ഇന്നിപ്പോൾ കിട്ടാവുന്നതിലേററവും നല്ല ചിത്രണമാണ് ഈ ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകളെന്നു പറയാം. ഈ സ്രോതസ്സുകളുടെ സാന്നിദ്ധ്യം വിശദീകരിക്കുകയും അവയുടെ ഭൂമിശാസ്ത്രപരമായ വിതരണത്തെ വിശദമാക്കുകയും എന്നതു്, ഏതൊരു വിജയകരമായ വികിരണ സിദ്ധാന്തത്തിൻെറയും പ്രധാന കർത്തവ്യമാണെന്നതു വളരെ വ്യക്തമാണ്.

വ്യാഴത്തിലെ അയണമണ്ഡലം

തൊട്ടുമുമ്പുള്ള ചർച്ച നിങ്ങൾ ശ്രദ്ധാപൂർവം മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ടെങ്കിൽ, ഷെയ്നിനെ അലട്ടിയിരുന്ന അതേ ചോദ്യം തന്നെ നിങ്ങളും ചോദിച്ചേക്കാം. ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകളുടെ ശിഖരങ്ങളോരോന്നും 180 ഡിഗ്രി രേഖാംശം മുഴുവനും എന്തുകൊണ്ടു് വ്യാപിച്ചുകിടക്കുന്നില്ല? ഓരോ സ്രോതസ്സും, വ്യാഴത്തിൻെറ ദൃശ്യാർദ്ധഗോളത്തിലെവിടെയെങ്കിലും ആയിരിക്കുന്നിടത്തോളം കാലം അതു് കേൾക്കാനാവുമെന്ന് തീർച്ചയായും ആരും പ്രതീക്ഷിക്കും.

താൻ കണ്ടെത്തിയ സ്രോതസ്സിനു് ഒരു ദിശികാസ്വഭാവമുണ്ടായിരിക്കാമെന്നു് ഷെയ്ൻ നിഗമനത്തിലെത്തി. വികിരണം എല്ലാ ദിശകളിലേക്കും ഉത്സർജിക്കുന്നതിനു പകരം ഒരു നേർത്ത ലംബ പുഞ്ജത്തിൽ മാത്രം ഒതുങ്ങി നില്ക്കുകയായിരിക്കാം. അങ്ങനെയാവുമ്പോൾ ബിംബകേന്ദ്രത്തിനു സമീപം പുഞ്ജം ഭൂമിയിലേക്കു 'ലക്ഷ്യ'മായിരിക്കുമ്പോൾ മാത്രമേ സ്രോതസ്സ് ശ്രവ്യമാകയുള്ളൂ (ചിത്രം 4.4 കാണുക).



ചിത്രം 4.4. സാങ്കല്പികമായ വ്യാഴഗ്രഹ അയണമണ്ഡലത്താൽ വികിരണ കോണിൻെറ രൂപീകരണം (ദൂരങ്ങൾ നിശ്ചിത തോതിലല്ല).

സ്രോതസ്സിനു മീതെയുള്ള ഒരു *അയണമണ്ഡലം* ഉദ്ദിഷ്ടരീതിയിൽ വികിരണത്തെ ഒരു ലംബകോണിൽ പരിമിതപ്പെടുത്തുമെന്നു മനസ്സിലാക്കാൻ പ്രസ്തുത ആസ്ത്രേലിയാക്കാരനു് അധികസമയം വേണ്ടിവന്നില്ല.

അയണമണ്ഡലസ്തരത്തെ തുളച്ചുകയറാൻ ശക്തിയുള്ള നിമ്നതമ ആവൃത്തിയെ പ്രസ്തുതസ്തരത്തിന്റെ ''ക്രാന്തിക ആവൃത്തി'' f_0 എന്നു പറയുന്നു. സ്തരത്തിനു താഴെ f ആവൃത്തിയുള്ള ഒരു സ്രോതസ്സുണ്ടെങ്കിൽ, അതിൽ നിന്നുമുള്ള വികിരണത്തിനു് ഒരു കോണിലേക്കു മാത്രമേ പുറത്തു കടക്കാനാവൂ. പ്രസ്തുത കോണിന്റെ അർധകോണം α ആണെങ്കിൽ

$$\cos \alpha = f_0/f \longrightarrow 4-1$$

ഈ കോണിനു പുറത്തുള്ള കിരണങ്ങൾ, ചിത്രം 4–4 ൽ r എന്നു് അടയാളപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ളവ, പൂർണമായും പ്രതിഫലിക്കുന്നതിനാൽ അയണമണ്ഡലത്തിനു മീതെയുള്ള ഒരു നിരീക്ഷകനിലെത്തുകയില്ല.

ഷെയ്നിന്റെ ആകർഷകമായ വ്യാഴഗ്രഹ അയണമണ്ഡലമെന്ന സിദ്ധാന്തത്തിന്റെ ഭാഗ്യദോഷമെന്നു പറയട്ടെ, കൂടുതൽ കൂടുതൽ ഉയർന്ന ആവൃത്തികളിൽ ദത്തങ്ങൾ ശേഖരിച്ചുനോക്കിയപ്പോൾ ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകൾ നേർത്തുനേർത്തു വരുന്നതിനുള്ള പ്രവണതയാണു കാണിച്ചതു്. ചിത്രം 4.2 ൽ നോക്കി വായനക്കാരനു തന്നെ ഇക്കാര്യം സാധൂകരിക്കാം. പ്രത്യുത ആവൃത്തി f കൂടുന്നതനുസരിച്ച് കോണിന്റെ α കോണ് കൂടണമെന്നാണു് സമീകരണം 4.1 സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. അതായതു് ഹിസ്റ്റോഗ്രാം ശിഖരങ്ങളുടെ വീതി കൂടി വരണമത്രെ! അങ്ങനെ സിദ്ധാന്തവും പരീക്ഷണവും തമ്മിൽ പൊരുത്തപ്പെടാത്തതിനാൽ തല്ക്കാലത്തേക്കെങ്കിലും ഈ സിദ്ധാന്തം നിരാകരിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

ചിത്രം 4.4 ലെ സരളമായ അയണമണ്ഡല മാതൃക ശരിയായിരുന്നുവെങ്കിൽ വ്യാഴ–അയണമണ്ഡലത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ ഘനത്വം ആർക്കും അനായാസമായി തിട്ടപ്പെടുത്താൻ കഴിയുമായിരുന്നു. വ്യാഴ മധ്യരേഖയ്ക്കു സമീപമുള്ള ഒരു സ്രോതസ്സിന്റെ കാര്യത്തിൽ α ഹിസ്റ്റോഗ്രാം ശിഖരത്തിന്റെ പകുതി വീതിക്കു തുല്യമായിരിക്കും. അപ്പോൾ സമീകരണം 4–1 ൽ നിന്നും f_0 കണക്കാക്കുകയും ചെയ്യാം. പിന്നീടു് $N = \pi m f_0^2/c^2$ എന്ന ബന്ധത്തിൽ നിന്നും ഇലക്ട്രോൺ ഘനത്വം N ലഭ്യമാവുകയും ചെയ്യും. ഇവിടെ m ഉം c യും യഥാക്രമം ഇലക്ട്രോണിന്റെ ദ്രവ്യമാനവും ചാർജ്ജമാണ്. സിദ്ധാന്തത്തിലെ വൈഷമ്യങ്ങൾ വിസ്മരിക്കാനാണു് നാം ഇഷ്ടപ്പെടുന്നതെങ്കിൽ ഇതിൽ നിന്നും ഏതുതരം ഫലമാണു് നമുക്കു ലഭിക്കുന്നതു്? ചിത്രം 4–3 ലെ ശിഖരങ്ങളുടെ വീതി ഏറക്കുറെ 70° യോളമാണ്. അതായതു് $\alpha \cong 35°$. ഇതിൽ നിന്നും f_0 യുടെ മൂല്യം 15 മെഗാസൈക്കിൾ പ്രതിസെക്കന്റ് എന്നും ഇലക്ട്രോൺ ഘനത്വം 2.7×10^6 ഇലക്ട്രോൺ / ഘന സെമി ആണെന്നും സിദ്ധിക്കുന്നു.

അയണമണ്ഡലസിദ്ധാന്തം തെററാണെങ്കിൽ വ്യാഴസ്രോതസ്സുകളിൽ നിന്നുമുള്ള വികിരണകോണിനെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നതെന്താണ്? ഈ വൻഗ്രഹത്തെപ്പററി ഇന്നോളം നിർധാരണം ചെയ്യപ്പെടാത്ത നിഗൂഢതകളിലൊന്നാണിതു്. റേഡിയോ ഉത്സർജനത്തെപ്പററിയുള്ള വിജയകരമായ ഏതൊരു സിദ്ധാന്തത്തിനാലും വിശദീകരിക്കപ്പെടേണ്ട മറെറാരു പ്രഹേളികയുമാണിതു്.

റേഡിയോ ഘൂർണ്ണനകാലം

റേഡിയോ സ്രോതസ്സുകൾക്ക്, പ്രകാശിക ഖഗോളവിജ്ഞാനികളുപയോഗിച്ചിരുന്ന 'വ്യൂഹം II' നേക്കാൾ 28 സെക്കൻറു കുറവായ ഒരു ഘൂർണ്ണനകാലം സ്വീകരിക്കുവാൻ ഷെയ്നിനിടയായിയെന്നു നാം കണ്ടല്ലോ. എന്തായാലും രണ്ടു മാസക്കാലത്തിലും കുറവായ കാലയളവിലെ നിരീക്ഷണങ്ങളെ അടിസ്ഥാനമാക്കിയുള്ള അദ്ദേഹത്തിൻെറ നിരീക്ഷണഫലങ്ങൾ കൃത്യമായിരുന്നില്ല. വ്യൂഹം II നേക്കാൾ 11 സെക്കൻറു കുറവായ ഒരു കാലമാണ് കൂടുതൽ ഉത്തമമെന്നു സമീപകാല നിരീക്ഷണങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കുന്നു. വാസ്തവത്തിൽ ഈ പുതിയ ആവർത്തനകാലത്തിലെ പിശക് ഒരു സെക്കൻറിൻെറ പത്തിലൊന്നിലും കുറവാണെന്ന് പരക്കെ വിശ്വസിക്കപ്പെടുന്നു.

റേഡിയോദത്തങ്ങളിൽ നിന്നും ഇത്രമാത്രം കൃത്യമായ മൂല്യത്തിലെത്തിച്ചേർന്നതെങ്ങിനെയാണ്? രേഖാംശവ്യൂഹത്തിനു നാം കൈക്കൊണ്ട ഘൂർണ്ണനകാലം ശരി ആണെങ്കിൽ മാത്രമേ വർഷം തോറും ആരേഖണം ചെയ്യുന്ന ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകളിൽ ശിഖരങ്ങൾ ഒരേ രേഖാംശത്തിൽ തന്നെ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയുള്ളൂ, അതു ശരിയല്ലെങ്കിൽ വർഷംതോറും ശിഖരങ്ങൾ രേഖാംശത്തിൽ വഴുതി നീങ്ങിക്കൊണ്ടേയിരിക്കും. 1951 ലാണ് ആദ്യമായി ദത്തങ്ങൾ ശേഖരിച്ചതു്. അതിനുശേഷം 11 വർഷത്തിൻെറ ഇടവേള കഴിഞ്ഞിരിക്കുന്നു. അതിനു നമുക്ക് ഷെയ്നോട്ട് കൃതജ്ഞതയുണ്ട്. ഈ നീളത്തോടു കൂടിയ ഒരു സമയ ആലംബനരേഖ കണക്കിലെടുക്കുമ്പോൾ രേഖാംശവ്യൂഹത്തിൻെറ ആവർത്തന കാലത്തിലുണ്ടാകുന്ന 0.1 സെക്കൻറ് പിശക് 10° യുടെ ആകെ നീക്കം അതായതു് ഹിസ്റ്റോ ഗ്രാമുകളിൽ നിദർശനീയമായ അളവിലുള്ള ഒരു നീക്കം ഉണ്ടാക്കാനിടയാക്കും.

വ്യൂഹം III എന്നറിയപ്പെടാനിടയുള്ള ഒരു രേഖാംശ വ്യൂഹത്തെപ്പററി പല റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനികളും ഇന്നിപ്പോൾ ഒരു ധാരണയിലെത്തിയിട്ടുണ്ട്. (ഈ വ്യൂഹത്തിനു് അത്രയേറെ മൗലികത്വമൊന്നുമില്ല!). ഈ പുതിയ വ്യൂഹം 9 മ 55 മി 29.37 സെക്കൻറ് ആവർത്തനകാലത്തോടെ ഘൂർണ്ണനം ചെയ്യുന്നു. 1957 ജനുവരി 1ന് വ്യൂഹം II മായി ഏകീഭവിച്ച വരത്തക്കവണ്ണമാണ് അതു് നിർവചിക്കപ്പെട്ടതു്.

പ്രകാശികസവിശേഷതകളും റേഡിയോസ്രോതസ്സുകളും

വ്യാഴറേഡിയോ സിഗ്നലുകൾ ഒരു സ്ഥാനീകൃത സ്രോതസ്സിൽ നിന്നും വരുന്നവയാണെന്ന് ഷെയ്ൻ ആധികാരികമായി പ്രസ്താവിച്ചപ്പോൾ നിരീക്ഷകന്മാർ പ്രസ്തുത സ്രോതസ്സിനെ ഗ്രഹത്തിൻെറ ചില ദൃശ്യസവിശേഷതകളുമായി ബന്ധപ്പെടുത്താൻ ശ്രമിച്ചതു് തികച്ചും സ്വാഭാവികം മാത്രമായിരുന്നു. 1951 നവംബർ 30 ന് ഇൗ. ജെ. റീസ് (E. J. Reese) തയ്യാറാക്കിയ ഒരു ദൂരദർശി ആരേഖത്തെ പരാമർശിച്ചു കൊണ്ടു് ഷെയ്ൻ ഇങ്ങനെ എഴുതി. "രേഖാംശത്തിലുണ്ടാവുന്ന നിരന്തരമായ നീക്കം അനുവദിച്ചാൽ നവംബർ 30 ന് സ്രോത

സ്സിൻെറ രേഖാംശം, റീസ് ആരേഖത്തിലെ പ്രകടമായ വെളുത്ത അടയാളങ്ങളി ലൊന്നിനെ മറികടന്നിട്ടുണ്ടാകണം. അക്കാരണത്താൽ തിരിച്ചറിയൽ സംശയ രഹിതമായി തെളിയിക്കപ്പെട്ടിട്ടില്ലെങ്കിലും വിക്ഷുബ്ധമെന്നു ദർശിക്കപ്പെടുന്ന ഈ മേഖല തന്നെയാകണം റേഡിയോ വികിരണത്തിനും നിദാനം.

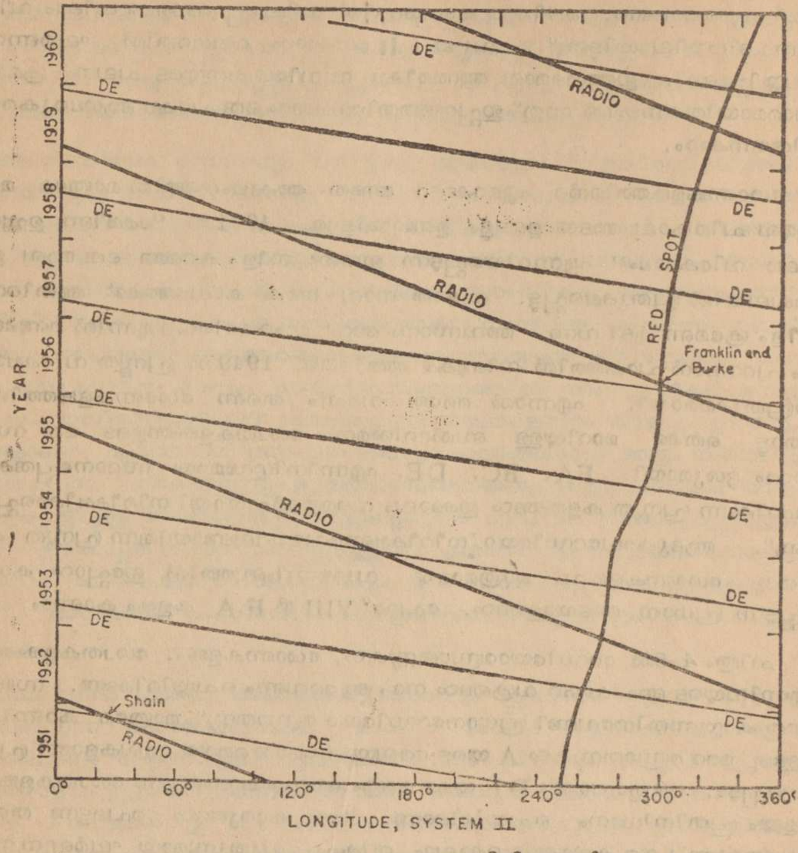
ഒരു റേഡിയോ സ്രോതസ്സും ഒരു ദൃശ്യ അടയാളവും ഏകീഭവിക്കുന്നുവോ ഇല്ലയോ എന്നു തീരുമാനിക്കുന്നതു് താരതമ്യേന ലഘുവായ കാര്യമാണെന്നു് വായനക്കാരൻ ഒരു പക്ഷേ അക്ഷമനായി വാദിച്ചേക്കാം. റേഡിയോദത്തങ്ങൾ സ്രോതസ്സുകളുടെ രേഖാംശം മാത്രമേ പ്രദാനം ചെയ്യുന്നുള്ളവെന്നകാര്യം അയാൾ ഓർമിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. അവയുടെ അക്ഷാംശങ്ങൾ തികച്ചും അജ്ഞാതമാണു്. ദൂരദർശിയിലൂടെ ദൃശ്യമാവുന്ന സവിശേഷതകൾ വ്യാഴത്തെ ആവരണം ചെയ്തി രിക്കുന്ന മേഘങ്ങളുടെ മേൽഭാഗങ്ങൾ മാത്രമാണെന്നതാണു് ഇതിനേക്കാൾ ഗൗര വതരമായ മറെറാരു കാര്യം. മേഘ രൂപീകരണത്തിൽ നാം പ്രതീക്ഷിക്കുന്നതു പോലെ അവിടവിടെയായി കാണപ്പെടുന്ന അടയാളങ്ങൾ തികച്ചും ഉപരിപ്ല വങ്ങളാണു്. ഏതാനും ദിവസങ്ങൾ അഥവാ മാസങ്ങളോളം മാത്രം നിലനില്ക്കു ന്നവയാണവ. ദശകങ്ങളോളം പ്രവർത്തനനിരതങ്ങളെന്നു ഇതിനോടകം തെളി യിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള റേഡിയോസ്രോതസ്സുകളുമായി അവയെ താരതമ്യപ്പെടുത്തുന്ന തിനെ ഈ വസ്തുത നിരുത്സാഹപ്പെടുത്തുന്നു. എന്നാൽ ആശ്ചര്യമെന്നു പറയട്ടെ, ഏതാനും ചിര-കാലസവിശേഷതകളും ഇതിനോടൊപ്പം രേഖപ്പെടുത്തിയി ട്ടുണ്ടു്. അവയാണു് റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികളുടെ ശ്രദ്ധയാകർഷിച്ചി ട്ടുള്ളതും.

സ്ഥിരമായ ഇത്തരം അടയാളങ്ങളിലേററവും പ്രസിദ്ധം പ്ലേററ് VIII ൽ കാണപ്പെടുന്ന ''മഹാശോണകളങ്ക'' മാണു്. 1831ൽ തയ്യാറാക്കിയ വരപ്പുക ളിൽ പോലും 'ശോണകളങ്കം' പ്രകടമാണു്. 1664 ൽ ഹുക്കു് വരച്ച ഒരു പ്രത്യേ കയടയാളവും ഇതും ഒന്നുതന്നെയാകാനാണു സാധ്യത. അങ്ങനെ ശോണകളങ്ക ത്തിനു് തീരെകുറഞ്ഞതു് 131 വർഷത്തെയെങ്കിലും ഒരു പക്ഷേ മൂന്നുനൂററാണ്ടുക ളോളം പോലും പഴക്കമുണ്ടെന്നനുമാനിക്കാം. ഒരു അന്തരീക്ഷ പ്രതിഭാസത്തിനു് ഇത്രയുമൊരു ജീവിതകാലം അത്യസാധാരണമല്ല. ശോണകളങ്കത്തിൻെറ ഭൗതിക പ്രകൃതം ഇന്നും അജ്ഞാതമാണു്. ഗ്രഹത്തെ കുറിച്ചു പഠിക്കുന്നവരിൽ പലരും അതിനെ ഘനത്വമേറിയ അന്തരീക്ഷത്തിൽ പൊങ്ങിക്കിടക്കുന്ന എന്തോ ഒരു വസ്തുവായിട്ടാണു് കണക്കാക്കുന്നതു്. തൽക്കാലത്തേയ്ക്കു താഴെയുള്ള മേഘങ്ങളിലേക്കു താഴ്ന്നുപോയാലെന്നപോലെ അതു് ഇടയ്ക്കിടെ അദൃശ്യമാകാ റുണ്ടു്. ഈ വസ്തുത മേൽപ്പറഞ്ഞ സിദ്ധാന്തത്തെ പിന്താങ്ങുന്നു. വ്യൂഹം II നിർ ദ്ദേശകങ്ങളിൽ ശോണ കളങ്കത്തിൻെറ പത്തു വർഷക്കാലത്തെ രേഖാംശങ്ങളുടെ ഒരു ആലേഖമാണു് ചിത്രം 4-5ൽ നാം കാണുന്നതു്. സാമാന്യമായി പറ ഞ്ഞാൽ വ്യൂഹം II നേക്കാൾ വളരെ സാവധാനത്തിൽ ശോണകളങ്കം ഘൂർണനം ചെയ്യുന്നു വെന്നാണു് കളങ്കത്തിൻെറ ദീർഘ-കാലനീക്കം സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്. എന്നിരുന്നാലും കളങ്കത്തിൻെറ ചലനം ഏകമാനമല്ലെന്നു വക്രത്തിലെ 'വളവു

കറം' വ്യക്തമാകുന്നു. കഴിഞ്ഞ കാലങ്ങളിൽ ചിലപ്പോഴൊക്കെ നീക്കം വിപരീത ദിശയിലായിട്ടുണ്ട്., വ്യൂഹം II നേക്കാറം വേഗത്തിൽ ഘൂർണ്ണനം ചെയ്തിട്ടുമുണ്ട്. ഇത്തരമൊരു അന്തരീക്ഷ സവിശേഷതയുടെ ചലനം ക്രമാനുസാരമായിരുന്നെങ്കിൽ അതു് ഇപ്പറഞ്ഞതിനേക്കാറം ഒരു പക്ഷേ ആശ്ചര്യകരമായിരുന്നേക്കാം.

ശോണകളങ്കത്തിന്റെ ഏറെക്കുറെ അതെ അക്ഷാംശത്തിൽ മാത്രമേ മററു പ്രമുഖ ചിരകാല അടയാളങ്ങളും ഉണ്ടായിട്ടുള്ളു. 1901 ൽ "ദക്ഷിണ ഉഷ്ണമേഖലാ വിക്ഷോഭം" എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഇരുണ്ട നീളം കുറഞ്ഞ ഒരു രേഖ ഈ മേഖലയിൽ പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ടു. അടുത്ത നാലു ദശക കാലത്തേക്കു് അതിന്റെ നീളം ക്രമേണ കൂടി വന്നു. അവസാനം അതു് ഗ്രഹത്തിന്റെ മൂന്നിൽ രണ്ടുഭാഗവും ചുററുവാൻ പാകത്തിൽ നീണ്ടുകഴിഞ്ഞിരുന്നു. 1949 ൽ പ്രസ്തുത വിക്ഷോഭം അപ്രത്യക്ഷമായി. എന്നാൽ അതേ വർഷം തന്നെ ശോണകളങ്കത്തിന്റെ തൊട്ടു തെക്കു മാറിയുള്ള ബൽററിൽമൂന്നു ശ്വേതകളങ്കങ്ങളുടെ ഒരു സമാഹാരം ദൃശ്യമായി. FA, BC, DE എന്നീനിഗൂഢമായ സ്ഥാനപ്പേരുകറം വഹിക്കുന്ന പ്രസ്തുത കളങ്കങ്ങറം ഇക്കാലം വരെതുടർച്ചയായി നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ആദ്യകാലറേഡിയോ നിരീക്ഷണവേളയിലുണ്ടായിരുന്ന പ്രസ്തുത കളങ്കങ്ങളും ശോണകളങ്കവും മാത്രമാണു് വ്യാഴബിംബത്തിൽ ഇപ്പോറം കാണപ്പെടുന്ന പ്രധാന അടയാളങ്ങറം. പ്ലേററ് VIII ൽ F.A കളങ്കം കാണാം.

ചിത്രം 4–5ൽ റേഡിയോസ്രോതസ്സുകറം, ശോണകളങ്കം, ശ്വേതകളങ്കങ്ങറം എന്നിവയുടെ അപവാഹ വക്രങ്ങറം നാം ആരേഖണം ചെയ്തിരിക്കുന്നു. സങ്കീർണ്ണത കുറയ്ക്കുന്നതിനുവേണ്ടി പ്രധാനറേഡിയോ സ്രോതസ്സ് മാത്രമേ കാണിച്ചിട്ടുള്ളു. മററു സ്രോതസ്സുകറം A യുടെ രേഖയ്ക്കു സമാന്തരമായ രേഖകളായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടും. അതുപോലെ D E യുടെ മാത്രം രേഖ കൊണ്ടു് മൂന്നു ശ്വേതകളങ്കങ്ങളെയും പ്രതിനിധാനം ചെയ്തിരിക്കുന്നു. രണ്ടു കാര്യങ്ങറം പെട്ടെന്നു തന്നെ വ്യക്തമാണു്; ഈ കളങ്കങ്ങറംക്കെല്ലാം തികച്ചും വ്യത്യസ്തമായ ഘൂർണ്ണന നിരക്കാണുള്ളതെന്നാണു് അവയിലാദ്യത്തേതു്. റേഡിയോ സ്രോതസ്സുകറംക്കും പ്രകാശിക അടയാളങ്ങറംക്കും തമ്മിൽ ഭൗതിക ബന്ധമൊന്നുമില്ലെന്നു് അതു സൂചിപ്പിക്കുന്നു. രണ്ടാമതായി വ്യത്യസ്തമായ ഘൂർണ്ണനനിരക്കു കാരണം രേഖാംശത്തിലെ താൽക്കാലിക ഏകീഭവനങ്ങറം അനിവാര്യമാണെന്നു മാത്രമല്ല പ്രായേണസാധാരണവുമാണു്. ഉദാഹരണത്തിനു് പ്രധാന റേഡിയോസ്രോതസ്സും ശ്വേതകളങ്കം DE യുമായുള്ള താത്കാലിക ഏകീഭവനം കാരണമാണു് ഷെയ്ൻ തന്റെ റേഡിയോ സ്രോതസ്സിനെ ഒരു ദൃശ്യകളങ്കമെന്നു ധരിക്കാനിടയാക്കിയതെന്നു ചിത്രം വ്യക്തമാക്കുന്നു. ഇതേ സ്രോതസ്സും ശോണകളങ്കവുമായി 1956-ൽ നടന്ന ഏകീഭവനം റേഡിയോ ഊർജത്തിന്റെ നിദാനം ശോണകളങ്കമായിരിക്കാമെന്നു വിഭാവനം ചെയ്യാൻ ഫ്രാങ്ക്ളിൻ, ബർക് എന്നിവരെ പ്രേരിപ്പിച്ചു.



ചിത്രം 4.5 വ്യൂഹം II നിർദേശാങ്കങ്ങളിൽ റേഡിയോ സ്രോതസ്സുകളുടെയും പ്രകാശിക അടയാളങ്ങളുടെയും അപവാഹ വക്രങ്ങൾ. വ്യൂഹം II നേക്കാൾ അല്പം മന്ദഗതിയിലാണ് ശോണകളങ്കം ഘൂർണനം ചെയ്യുന്നത്. റേഡിയോസ്രോതസ്സുകളും ശ്വേതകളങ്കങ്ങളും (DE കൊണ്ടു സൂചിപ്പിക്കുന്നു) ഇതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ വേഗത്തിലാണ് ഘൂർണനം ചെയ്യുന്നത്. ഏതെങ്കിലുമൊരു അടയാളം രേഖാംശ വ്യൂഹത്തിന്റെ അതേ വേഗത്തിലാണ് ഘൂർണനം ചെയ്യുന്നതെങ്കിൽ അപവാഹ വക്രം ലംബമായ ഒരു നേർവരയായിരിക്കും.

ഡെക്കാമീറ്റർ സ്രോതസ്സുകളെപ്പറ്റിയുള്ള ആനുകാലിക സിദ്ധാന്തങ്ങളിൽ പലതും അവയെ വ്യാഴത്തിന്റെ ഉപരി-അന്തരീക്ഷത്തിലെ പ്രതിഭാസങ്ങളായിട്ടാണ് വിശദീകരിക്കാറുള്ളത്. ഗ്രഹത്തിന്റെ കാന്തികക്ഷേത്രത്തിലൂടെ മാത്രമേ അവയ്ക്കു ഗ്രഹോപരിതലവുമായി ബന്ധമുള്ളൂ. സംഗതി ഇങ്ങനെയാ

ണെങ്കിൽ അവയോടനുബന്ധിച്ച് പ്രകാശിക പ്രതിഭാസങ്ങളൊന്നും തന്നെ കാണുകയില്ല. എന്തായാലും ഒരു സംഗതി സുപ്രധാനമെന്നു തന്നെ തോന്നുന്നു. റേഡിയോ സ്രോതസ്സുകൾ ഗ്രഹവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നതു് നേരിട്ടോ കാണികക്ഷേത്രത്തിലൂടെയോ എന്തുമാവട്ടെ, റേഡിയോ ഘൂർണന കാലമായ 9മ 55മി 29.37 സെക്കൻറ് ഗ്രഹത്തിന്റെ ഖരോപരിതലത്തിന്റെ കട്ടപിടിച്ച മേഘങ്ങൾക്കിടയിൽ ഒളിഞ്ഞിരിക്കുന്ന അദൃശ്യമായ ഉപരിതലത്തിന്റെ-ഘൂർണനകാലമാണെന്നു വിശ്വസിക്കാൻ കാരണമുണ്ട്.

ഡക്കാമീററർ തരംഗങ്ങൾ - ചിലവിശദാംശങ്ങൾ

ആവൃത്തീവിതരണം

വ്യാഴത്തിൽനിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളെ ഏതു് ആവൃത്തിയിൽ നിദർശിക്കുന്നതാണ് ഏററവും എളുപ്പം. 18 മുതൽ 20 (മെ ഹെ) വരെയുള്ള ആവൃത്തികളാണ് ഏററവും ഫലപ്രദമെന്ന് നിരീക്ഷകന്മാർ പൊതുവെ മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുണ്ട്. 20 മെ.ഹെ നു മേലുള്ള ആവൃത്തികളിൽ വികിരണം പെട്ടെന്നു കുറയുമെന്നതിൽ സംശയമേയില്ല. ഭൂമിയുടെ അയണ മണ്ഡലം കാരണം 18 മെ.ഹെ. നു താഴെയുള്ള ആവൃത്തികളിൽ സ്ഥിതിഗതികളാകെ സംകീർണമാകുന്നു. നിമ്ന–ആവൃത്തി സിഗ്നലുകളെ സംബന്ധിച്ചിടത്തോളം അയണമണ്ഡലം അതാര്യമായ ഒരു ദർപ്പണം പോലെയാകയാൽ അതിന് രണ്ടുതരം പ്രഭാവങ്ങളുണ്ട്. ഒന്നാമതായി പുറത്തുനിന്നുവരുന്ന അത്തരം തരംഗങ്ങളെ അയണമണ്ഡലം ശരിക്കും സ്പേസിലേക്കു തന്നെ പ്രതിഫലിപ്പിച്ചു മടക്കി അയയ്ക്കുകയും അങ്ങനെ ആൻറനകളിലെത്തുന്നതിനെ തടസ്സപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. രണ്ടാമതായി വിദൂരസ്ഥമായ മിന്നലുകളിലുണ്ടാകുന്ന സ്ഥിതിക സിഗ്നലുകളെയും ഭൂമിയിലെ നിരവധി റേഡിയോനിലയങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളെയും ഉപര്യന്മുഖ ആൻറനകളിലേക്കു പ്രതിഫലിപ്പിക്കുകയും അങ്ങനെ, സ്പേസിൽനിന്നും വന്നേക്കാനിടയുള്ള സിഗ്നലുകളെ മുക്കിക്കളയാൻ പാകത്തിൽ വിക്ഷോഭങ്ങൾ സൃഷ്ടിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു.

1955-ൽ വ്യാഴ സിഗ്നലുകൾ കണ്ടെത്തിയതിനെ തുടർന്നുള്ള വർഷങ്ങൾ ഇക്കാര്യത്തിൽ പ്രത്യേകിച്ചും മോശമായിരുന്നു. കാരണം 11 വർഷസൂര്യകളങ്കചക്രം അതിന്റെ മൂർധന്യത്തോടടുത്തു കൊണ്ടിരിക്കുന്ന കാലമായിരുന്നു അത്. സൂര്യകളങ്കം ഉച്ചതമമാകുന്നതോടെ അയണീകരണ തരംഗങ്ങളും കണങ്ങളും ചൊരിയുന്നതിൽ സൂര്യൻ അസാധാരണമാം വിധം ഔദാര്യം കാട്ടാറുണ്ട്. തത്ഫലമായി അയണ മണ്ഡലത്തിന്റെ ഇലക്ട്രോൺ ഘനത്വം ഗണ്യമായി വർധിക്കുന്നു. അയണ മണ്ഡലത്തിൽ ഇങ്ങനെയുണ്ടാകുന്ന അതാര്യതാ വർധന ഫ്രാങ്ക്ളിൻ, ബർക്, ഷെയ്ൻ എന്നിവരുടെ ഗവേഷണങ്ങൾ തുടർന്നു പോന്നവർക്കു പല വൈഷമ്യങ്ങളും സൃഷ്ടിച്ചു. അയണ മണ്ഡലം ശോഷിച്ച് ലോലമായിത്തീരുന്ന രാത്രിയുടെ വൈകിയ വേളകളിൽ മാത്രമേ വിശ്വസനീയമായ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്താൻ കഴിഞ്ഞിരുന്നുള്ളു. ഫലപ്രദമായ നിരീക്ഷണ

കാലം, അർധരാത്രിക്കും സൂര്യോദയത്തിനുമിടയിൽ വ്യാഴം മിറിഡിയൻ കടന്നു പോകുന്ന ഏതാനും മാസങ്ങളിൽ മാത്രമായി പരിമിതപ്പെട്ടിരുന്നു.

1958 ന്റെ തുടക്കത്തിൽ സൂര്യകളങ്കങ്ങൾ അവയുടെ പരമകാഷ്ഠയിലെത്തി. പിന്നീട് അവ ക്ഷയിക്കുവാൻ തുടങ്ങി. താഴ്ന്ന ആവൃത്തി നിരീക്ഷകന്മാർക്ക് അതോടെ ആശ്വാസമായി. രാത്രിയിൽ കൂടുതൽ സമയവും വർഷത്തിൽ കൂടുതൽ മാസങ്ങളിലും നിരീക്ഷണ പഠനങ്ങൾ സാധ്യമായിത്തീർന്നു. കൂടുതൽ കൂടുതൽ താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ പഠനം നടത്താനും കഴിഞ്ഞു. 1960-ൽ ഫ്ളോറിഡാ സർവകലാശാലയ്ക്കു 10 മെ.ഹെ. ആവൃത്തിയിൽ ദത്തങ്ങൾ ലഭിച്ചു. 1961 ൽ ആവൃത്തി പരാസത്തിന്റെ താഴ്ന്ന സീമ 5 മെ.ഹെ. വരെ താണു.

ഈ താഴ്ന്ന ആവൃത്തി നിരീക്ഷണങ്ങൾ എന്തൊക്കെയാണു വെളിപ്പെടുത്തുന്നതു്? ദത്തങ്ങളുടെ അപഗ്രഥനം നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതേയുള്ളുവെങ്കിലും വ്യാഴവികിരണത്തിന്റെ ചില സാമാന്യ സ്വഭാവങ്ങൾ ഇതിനകം തന്നെ വ്യക്തമായിക്കഴിഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. സിഗ്നലുകൾ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന സന്ദർഭങ്ങളുടെ എണ്ണം നാം കണക്കാക്കുകയാണെങ്കിൽ അതു് താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ പെട്ടെന്നു് വർധിക്കുന്നതായി കാണാം. 1961 ലെ പല മാസങ്ങളിൽ വിഭിന്ന ആവൃത്തികളിൽ വികിരണം നിദർശിക്കാൻ സാധിച്ച രാത്രികളുടെ ശതമാനം ചിത്രം 4–6ൽ ആലേഖനം ചെയ്തിരിക്കുന്നു.(ഇത്തരം എണ്ണലുകളിൽ 5 മെ.ഹെ. ആവൃത്തിയിലുള്ള ദത്തങ്ങൾ വിശ്വാസയോഗ്യമായിരിക്കാൻ പാകത്തിൽ ശ്രവണപരിതഃസ്ഥിതികൾ മെച്ചപ്പെട്ടവയല്ലാത്തതിനാൽ അവ വിട്ടുകളഞ്ഞിരിക്കുന്നു).

10 മെ.ഹെ. സിഗ്നലുകൾ മിക്കവാറുമെല്ലാ നിരീക്ഷണ നിശകളിലും ലഭിച്ചിട്ടുള്ളതായി ഈ വക്രം വ്യക്തമാക്കുന്നു. വാസ്തവം പറഞ്ഞാൽ ഗ്രന്ഥകാരന്മാരിലൊരാൾ ആസ്ട്രേലിയായിൽ നിന്നും മൂന്നു മാസക്കാലത്തിനുള്ളിൽ നടത്തിയ നിരീക്ഷണങ്ങൾക്കിടയിൽ ശ്രവണകാലം മുഴുവനും 10 മെ.ഹെ. വികിരണം നിദർശിക്കുകയുണ്ടായി. നേരെമറിച്ച് 27.6 മെ സൈ/സെ സിഗ്നലുകൾ വളരെക്കുറച്ച് (ഏതാനും ശതമാനം) രാത്രികളിൽ മാത്രമേ രേഖപ്പെടുത്തുകയുണ്ടായുള്ളു.

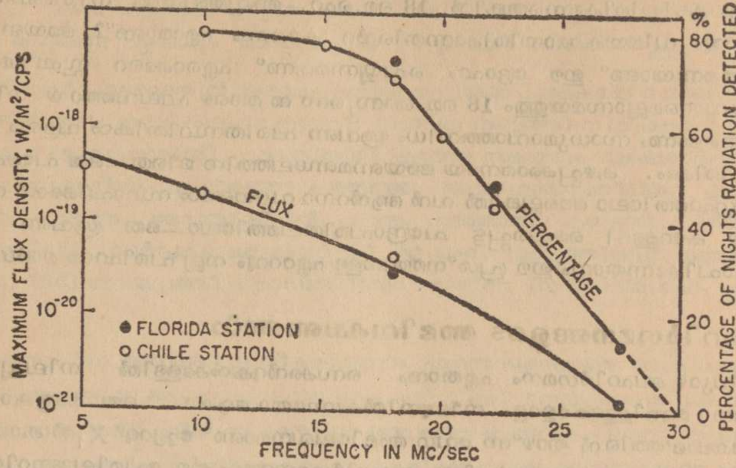
ആവൃത്തി കുറയുന്തോറും വ്യാഴവികിരണത്തിന്റെ തീവ്രതയും അതിവേഗം കൂടുന്നതായി കാണപ്പെടുന്നു. 1961 ൽ ഓരോ ആവൃത്തിയിലും പിടിച്ചെടുത്ത ഏററവും ശക്തമായ അഞ്ചു് ഉത്സർജനങ്ങളുടെ ശരാശരി തീവ്രത ചിത്രം 4.6ൽ കാണിച്ചിട്ടുണ്ട്. താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ ഉണ്ടാകുന്ന ഊർജവർധന അതിവേഗമാകയാൽ അവയെ യഥായോഗ്യം പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നതിനു് ലോഗരിതമിക തോതു് ഉപയോഗിക്കേണ്ടി വന്നു. കുറേക്കൂടി കൃത്യമായിപ്പറഞ്ഞാൽ 27.6 മെ. ഹെ.റിൽ സ്വീകരിച്ചതിന്റെ 300 മടങ്ങ് ഫ്ളക്സ് മെ. ഹെ. റിൽ സ്വീകരിക്കുകയുണ്ടായി.

താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലാണ് വ്യാഴഉത്സർ ജനങ്ങൾ എണ്ണത്തിലും തീവ്രതയിലും കൂടിയിരിക്കുന്നതെങ്കിൽ, 18 മെ.ഹെ. ആവൃത്തിയുള്ള നിരീക്ഷണങ്ങൾ ഏററവും വിജയകരമായിരിക്കുന്നതിൻെറ കാരണം എന്താണ്? അയണമണ്ഡലം തന്നെയാണ് ഈ ദ്രോഹം ചെയ്യുന്നതെന്ന് ഏറെക്കുറെ സ്പഷ്ടമാണ്. മിക്കവാറുമെല്ലാസമയത്തും 18 മെ.സൈ/സെ ന താഴെ ഫലവത്തായ നിരീക്ഷണങ്ങളൊന്നും സാധ്യമാവാത്തവിധം ശ്രവണ പരിതസ്ഥിതികൾ വളരെ മോശമായിരിക്കും. കുഴപ്പക്കാരനായ അയണമണ്ഡലത്തിനു മീതെ—ഒരു പക്ഷേ ഒരു ഉപഗ്രഹത്തിലോ അല്ലെങ്കിൽ വൻ ആൻറനാ വ്യൂഹങ്ങൾ സ്ഥാപിക്കാൻ സാധ്യമായ കുറേക്കൂടി മെച്ചപ്പെട്ട ചന്ദ്രോപരിതലത്തിലോ—ഒരു ശ്രവണ സ്തംഭം സ്ഥാപിക്കുന്നതാവും ഈ പ്രശ്നത്തിനുള്ള ഏററവും നല്ല പരിഹാര മാർഗം.

ബഹിർഗമനങ്ങളുടെ അഭിലക്ഷണങ്ങൾ

വ്യാഴ ബഹിർഗമനം ഏതാനും സെക്കൻറുകൾക്കുള്ളിൽ നിലച്ചുപോകുന്നതോ മണിക്കൂറുകളോളം നീണ്ടുനിൽക്കുന്നതോ ആകാം. ഒരു മാതൃകാ 'രവവിക്ഷോഭ'ത്തിന്റെ താഴ്ന്ന വേഗ അഭിലേഖനമാണ് പ്ലേററ് X_1ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. ദൈർഘ്യമേറിയ ബഹിർഗമനങ്ങൾ ഈ പേരിലാണറിയപ്പെടുന്നത്. അത്തരമൊരു വിക്ഷോഭത്തിനിടയിൽ അഭിലേഖീ തൂലികയ്ക്കുണ്ടാകുന്ന ഓരോ വിചലനവും വ്യാഴ രവത്തിന്റെ ഓരോ ബഹിർഗമനത്തെയും പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. ഈ ബഹിർഗമനങ്ങൾ പൊതുവേ സംകീർണമാണെന്നും ഒററയൊററയായുള്ള അസംഖ്യം *സ്പന്ദങ്ങൾ* ചേർന്നുണ്ടാകുന്നവയാണെന്നും ഉച്ചവേഗ അഭിലേഖങ്ങൾ (പ്ലേററ് X_1 കാണുക) വെളിപ്പെടുത്തുന്നു. ഈ പ്രാഥമിക സ്പന്ദങ്ങളുടെ കാലയളവ് സാധാരണയായി 0.2 സെ മുതൽ 2 സെ. വരെയാകാം. എന്നാൽ സ്പന്ദങ്ങളുടെ ബഹിർഗമനങ്ങൾ ഏതാനും സെക്കൻറുകളോ ഒരു മിനുട്ടോ മാത്രമേ നിലനിൽക്കുകയുള്ളു. ഏതാനും മില്ലിസെക്കൻറു കാലയളവോടുകൂടിയ അതിഹ്രസ്വസ്പന്ദങ്ങളും ചിലപ്പോൾ നിദർശിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ശക്തമായ ഒരു വ്യാഴ രവവിക്ഷോഭം ഉച്ചഭാഷിണിയിലൂടെ കേൾക്കുമ്പോൾ വലിയ ബഹളംതന്നെ സൃഷ്ടിക്കാറുണ്ട്. തീരത്തു തട്ടി തകരുന്ന തിരമാലകളുടെ ശബ്ദത്തോട് ഇതിനെ ഉപമിക്കാം.

രണ്ടോ മൂന്നോ ആവൃത്തികളിൽ നിരീക്ഷകന്മാർ ഏകകാലിക റെക്കോർഡുകൾ തയ്യാറാക്കാൻ തുടങ്ങിയതോടെ വ്യത്യസ്ത ആവൃത്തികളിൽ അഭിലേഖനം ചെയ്ത സ്പന്ദങ്ങൾ തമ്മിൽ യാതൊരു പരസ്പരബന്ധവും ഇല്ലെന്നു പ്രകടമായി. ഉദാഹരണമായി 18 മെ.ഹെ—ൽ ഒരു ശക്തമായ സ്പന്ദം ഉണ്ടാവുമ്പോൾ, സമീപത്തുള്ള 20 മെ. ഹെ. റിസീവർ യാതൊന്നുംതന്നെ നിദർശിച്ചില്ല. എന്തായിരുന്നുഇതിൻെറ അർഥം? സ്പന്ദങ്ങൾക്ക് പ്രായേണ ഇടുങ്ങിയ ബാൻഡ് വീതികളേ ഉണ്ടായിരിക്കാനിടയുള്ളവെന്നാണ് ഇതു നൽകുന്ന സൂചന. സ്പന്ദങ്ങളിലെ ഊർജത്തിൻെറ വർണരാജീവിതരണം പഠിക്കുന്നതിന് ഫ്ളോറിഡാ ഗ്രൂപ്പിലെ ഡോ. എൻ. ഇ. ചാററർട്ടൺ ഒരു റേഡി



ചിത്രം 4.6 വ്യാഴ റേഡിയോ ബഹിർഗമനങ്ങളുടെ തീവ്രതയും എണ്ണവും നിരീക്ഷണ ആവൃത്തിയുടെ ഫലമായി ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു [ഫ്ളോറിഡാ സർവകലാശാല)

യോ വർണരാജീദർശി നിർമ്മിച്ചെടുത്തു. അതിൽ ഒരു മാർജക–ആവൃത്തി റിസീവർ ഒരു വിസ്തൃതബാൻഡ്–റോംബിക ആൻറനാവ്യൂഹവുമായി ഘടിപ്പിച്ചിരുന്നു. 0 മുതൽ 25 മെ. ഹെ. വരെ 4 മെ. ഹെ. വരെ, വീതിയുള്ള ഏതു വർണരാജീ ഖണ്ഡത്തെയും ഈ റിസീവർ തുടർച്ചയായി ക്രമവീക്ഷണം ചെയ്യുന്നു. സിഗ്നലിനെ ഒരു കാഥോഡ് റേസ്ക്രീനിൽ വീഴ്ത്തുകയും ചലച്ചിത്ര ക്യാമറാ ഉപയോഗിച്ച് അതു് ഛായാഗ്രഹണം നടത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. പ്രാഥമിക സ്പന്ദങ്ങളുടെ ബാൻഡ്‌വീതി മെഗാഹെർട്ട്സിൻെറ ദശാംശങ്ങൾ മുതൽ അനേകം മെഗാഹെർട്ട്സ് വരെ വ്യാപിച്ചു കിടക്കുന്നതായി ഈ നൂതന സജ്ജീകരണം അധികം താമസിയാതെ വെളിപ്പെടുത്തി. സ്പന്ദങ്ങളിൽ ചിലതു് തികച്ചും നിഷ്കോണ രൂപത്തിലായിരുന്നെങ്കിൽ മററു ചിലവ അനേകം ശിഖരങ്ങളോടുകൂടി സംകീർണമായിരുന്നു.

പ്ലേററ് XII രണ്ടു മാതൃകാസ്പന്ദങ്ങളുടെ വൃദ്ധിയും ക്ഷയവും കാണിക്കുന്നു. മാർജക–ആവൃത്തി റിസീവർ അഭിലേഖനം ചെയ്തവയാണവ. നിഷ്കോണയിനത്തിൽപെടുന്നതാണ് ഒന്നാമത്തെ സ്പന്ദം. രണ്ടാമത്തേതു് വ്യത്യസ്തമായ പല ആവൃത്തികളിലും കൂർത്ത ശിഖരങ്ങൾ പ്രകടമാക്കുന്നു. ഈ ബഹിർഗമനങ്ങൾക്ക് നിദാനം എന്തുതന്നെയായിരുന്നാലും അവ അനുനാദകസ്വഭാവത്തോടു കൂടിയവയായിരിക്കണം. കാരണം പ്രധാന ആവൃത്തിയുടെ 1 മുതൽ 10 ശതമാനംവരെമാത്രമേ സ്പന്ദങ്ങളുടെ ബാൻഡ്‌വീതി വ്യാപിച്ചിട്ടുള്ളൂ. ഇത്ര

യും ഇടുങ്ങിയ ബാൻഡ് വീതിയുള്ള വൈദ്യുതപരിപഥം തീക്ഷ്ണമായി ട്യൂൺ ചെയ്തിട്ടുള്ളതാണെന്ന് കരുതപ്പെടുന്നു.

കൊളോറാഡോയിലെ ബോർഡറിൽ ബാൻഡ്‌വീതി വളരെ കൂടുതലുള്ള ഒരു മാർജക ആവൃത്തി റിസീവർ ഉപയോഗിച്ച് ഡോ. ജെയിംസ് വാർവിക് വ്യാഴത്തെ നിരീക്ഷിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ഫ്ളോറിഡാ റിസീവറിനെപ്പോലെ വിശദമായിട്ടല്ലെങ്കിലും ഈ ഉപകരണം റേഡിയോ സ്പെക്ട്രത്തെ 7.5 മെ. ഹെ. മുതൽ 41 മെ. സൈ/സെവരെ ക്രമവീക്ഷണം ചെയ്യുന്നു. പ്ലേററ് XIII ൽ നാം കാണുന്നതുപോലെ വാർവിക്കിൻെറ ഉപകരണം രവ വിക്ഷോഭത്തിൻെറ സ്പെക്ട്രത്തിൽ മേൽകീഴുള്ള വൻതോതിലുള്ള ചലനങ്ങളുടെ ഒരു സുന്ദരമായ ചിത്രം പ്രദാനം ചെയ്യുന്നു. പല സന്ദർഭങ്ങളിലും രവ വിക്ഷോഭം താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ ആദ്യം പ്രത്യക്ഷപ്പെടുകയും, അതിനുശേഷം പ്രവർത്തനകേന്ദ്രം സ്കേലിൻെറ ഉച്ച–ആവൃത്തി അഗ്രത്തേക്ക് സാവധാനം നീങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. മററു ചില അവസരങ്ങളിൽ ആക്ടിവത (പ്രവർത്തനം) ഉച്ച– ആവൃത്തികളിൽ ആരംഭിക്കുകയും താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിലേക്ക് നീങ്ങുകയും ചെയ്യും. ചില സമയങ്ങളിൽ അപവാഹം (നീക്കം) ക്രമരഹിതമാവാം; ചിലപ്പോഠം പ്രകടമായ അപവാഹം ഉണ്ടായില്ലെന്നും വരാം. വൈവിധ്യങ്ങഠംക്ക് ഒരറുതിയില്ലയെന്നതു് വ്യാഴപ്രതിഭാസങ്ങളുടെ ഒരു മുഖമുദ്രയാണെന്നുപോലും തോന്നിപ്പോകുന്നു.

പ്രസ്ഫുരണം (Scintillation)

ആദ്യത്തെ വിച്ഛിന്നസ്രോതസ്സായ സൈനസ് A യുടെ കണ്ടുപിടിത്തത്തിനു നിദാനം അതിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രസ്ഫുരണമായിരുന്നുവെന്ന് ഒന്നാം അധ്യായത്തിൽ നാം കണ്ടുവല്ലോ. ചെറിയ കോണീയ വ്യാപ്തിയുള്ള സ്രോതസ്സുകളുടെ അഭിലക്ഷണമാണ് അത്തരം ഏററക്കുറച്ചിലുകളെന്നും ചൂണ്ടിക്കാണിക്കുകയുണ്ടായി. ഈ ചിന്താസരണിയിലൂടെ മുന്നേറിയ ഗാർഡ്നറും ഷെയ്നും ഇങ്ങനെ എഴുതി ''വ്യാഴത്തിലെ സ്രോതസ്സിൻെറ കോണീയവലുപ്പം ജ്ഞാതമായ മറേറതു റേഡിയോ സ്രോതസ്സിൻെറ വലുപ്പത്തെക്കാളും വളരെക്കുറവാണ്. ഭൂമിയുടെ അയണമണ്ഡലത്തിലെ പ്രസ്ഫുരണം കാരണം ചിലപ്പോഠം തീവ്രതയിൽ രൂക്ഷമായ ഏററക്കുറച്ചിലുകഠം ഉണ്ടാകുമെന്നു പ്രതീക്ഷിക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.''

ഇത്തരമൊരു പരികൽപന നമുക്ക് എങ്ങനെ പരീക്ഷിച്ചറിയാം? നമ്മുടെ അയണമണ്ഡലത്തിലുണ്ടാവുന്ന ഏററക്കുറച്ചിലുകളെ വ്യാഴത്തിൽ തന്നെയുണ്ടാവുന്ന യഥാർഥ ഏററക്കുറച്ചിലുകളിൽ നിന്നും എങ്ങനെ വ്യവച്ഛേദിക്കാം? അയണമണ്ഡല ഏററക്കുറച്ചിലുകഠം സ്ഥാനികപ്രഭാവങ്ങളാണെന്നും, ഭൂമിയുടെ ഉപരിതലത്തിൽ അവ സ്ഥാനഭേദമനുസരിച്ച് വ്യത്യാസപ്പെടുമെന്നും മേൽപ്പറഞ്ഞ രണ്ടു ആസ്ത്രേലിയക്കാരും സമർഥിച്ചിട്ടുണ്ട്. സൂര്യപ്രകാശം പതിക്കുന്ന ഒരു പരന്ന തടാകത്തിലെ വെള്ളത്തിനിളക്കം തട്ടുമ്പോഠം അതിന്നടിയിൽ കാണു

പ്പെടുന്ന ചാഞ്ചാടുന്ന നിഴലും വെളിച്ചവും ചേർന്ന പാറ്റേണുകളോടു വളരെ സാദൃശ്യമുള്ളവയാണ് പ്രകാശിക അഥവാ റേഡിയോ പ്രസ്ഫുരണങ്ങൾ. അടിത്തട്ടിലെ ചില ബിന്ദുക്കളിൽ നിമിഷനേരത്തേക്ക് സൂര്യപ്രകാശം കേന്ദ്രീകരിക്കപ്പെടുമ്പോൾ മറ്റു ചിലയിടങ്ങളിൽ അതു് വിസരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഗാർഡനറും ഷെയ്നും കൂടി 25 കി. മി. അകലത്തിൽ രണ്ടു ആൻറെനകൾ ക്രമീകരിച്ചു. അവരുടെ വാദം ശരിയാണെങ്കിൽ ഈ രണ്ടു സ്ഥാനങ്ങളിലും വിഭിന്നമായ റെക്കോർഡുകളുണ്ടാക്കി അയണമണ്ഡലത്താലുണ്ടാകുന്ന പ്രസ്ഫുരണങ്ങൾ അവയുടെ സാന്നിധ്യം സ്വയം വെളിപ്പെടുത്തേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

1956 ൻെറ തുടക്കത്തിൽ മൂന്നു രാത്രികളിൽ ഈ ആസ്ട്രേലിയക്കാർക്ക് തങ്ങളുടെ ആൻെറനകളിൽ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളുടെ ഏക കാലിക അഭിലേഖങ്ങൾ ലഭിച്ചു. രണ്ടു റിസീവറുകളും കൃത്യമായും ഒരേ ആവൃത്തിക്ക് തന്നെ ട്യൂൺ ചെയ്തുവെയ്ക്കാൻ ആവുന്നിടത്തോളമൊക്കെ പരിശ്രമിച്ചെങ്കിലും, ലഭിച്ച അഭിലേഖങ്ങളിൽ പ്രകടമായ വ്യത്യാസങ്ങളുണ്ടായിരുന്നു. "വ്യാഴവികിരണത്തിൻെറ കാലികമായ മാററങ്ങളിൽ ഭൂമിയുടെ അയണ മണ്ഡലത്തിനു ഗണ്യമായ പ്രഭാവമുണ്ടെന്ന നിഗമനത്തിലെത്തേണ്ടിയിരിക്കുന്നു"വെന്ന് അവർ വിധിയെഴുതി. പ്രഭാവത്തിൻെറ വലുപ്പം (മൂല്യം), അതായതു് സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന വികിരിണത്തിൽ അയണമണ്ഡലത്താലുണ്ടാകുന്ന ബഹിർഗമനയുടെ അളവ്, കൂടുതൽ വ്യാപ്തിയുള്ള ഇടവിട്ട റിസീവർ നിരീക്ഷണങ്ങൾകൊണ്ടു മാത്രമേ നിർണയിക്കാനാവൂ."

1959ൽ പ്രധാന നിരീക്ഷണാലയത്തിൽ നിന്നും ഏകദേശം 7040 കിലോമീററർ അകലെ ചിലിയിലെ മേയ്പൂവിൽ ഫ്ളോറിഡായൂണിവേഴ്സിററി ഒരു റേഡിയോ ഫീൽഡുസ്റ്റേഷൻ സ്ഥാപിച്ചു. ഈ നീണ്ട ആലംബനരേഖയുടെ രണ്ടഗ്രങ്ങളിൽ നിന്നും ഒരേസമയം വ്യാഴത്തെപ്പററി നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുകയെന്നതായിരുന്നു ഫീൽഡുസ്റ്റേഷൻെറ പ്രധാന ലക്ഷ്യങ്ങളിലൊന്ന്. ഈ രണ്ടു നിലയങ്ങളിൽ നിന്നും ഒരേസമയം വ്യാഴ രവ വിക്ഷോഭത്തിൻെറ ഇരുപതുകണക്കിനു് റെക്കോർഡുകൾ ഇതിനോടകം തന്നെ തയ്യാറാക്കിയിട്ടുണ്ട്. റെക്കോർഡുകൾ താരതമ്യം ചെയ്തുനോക്കിയപ്പോൾ ആക്റ്റിവതയുടെ മൊത്തത്തിലുള്ള ആവർത്തന കാലത്തിൽ നല്ല പൊരുത്തമുണ്ടെങ്കിലും ബഹിർഗമനങ്ങളുടെയും വിച്ഛിന്ന സ്പന്ദങ്ങളുടെയും വിശദാംശങ്ങൾ തിരിച്ചറിയാൻ പാടില്ലാത്ത വിധം വികൃതമാക്കപ്പെട്ടിരുന്നു.

അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ വ്യാഴ സിഗ്നലുകളുടെ സൂക്ഷ്മസംരചന ഭൂമിയുടെ അയണമണ്ഡലത്തിൽ ഉത്ഭവിക്കുന്നതാവാൻ സാധ്യതയുണ്ടോ? ഗാർഡനറും ഷെയ്നും വികിരണത്തിൻെറ 'ബഹിർഗമനത'യെന്നു വ്യവഹരിച്ചതൊട്ടുമുക്കാലും പ്രസ്ഫുരണഫലമായുണ്ടാകുന്നതാണെന്ന കാര്യം തീർച്ചയാണെന്നു തോന്നുന്നു. സ്പന്ദങ്ങൾ ഹ്രസ്വപരമ്പരകൾ അഥവാ ബഹിർഗമനങ്ങളായി ഉണ്ടാകാനുള്ള പ്രവണതയെയാണ് 'ബഹിർഗമനത' എന്നുള്ളതുകൊണ്ടുദ്ദേശിക്കുന്നതു്. മിക്കപ്പോഴും ഈ രണ്ടു സ്റ്റേഷനുകളിലും ഒരേസമയത്തെന്നതിനേക്കാളുപരി

ഒന്നിടവിട്ടാണ് ഈ പ്രസ്ഫോടങ്ങൾ സ്വീകരിക്കപ്പെട്ടത്. ഇടവിട്ടുള്ള ഈ ശക്തിക്ഷയം പ്ളേററ് XI ൽ വ്യക്തമായി ചിത്രീകരിച്ചിട്ടുണ്ട്. 30 ഓ 40 ഓ സെക്കൻറ് ആവർത്തനകാലത്തിലാണ് ഇതു് സാധാരണ സംഭവിക്കാറുള്ളതു്. വിഘരിന്ന സ്രോതസ്സുകളുടെ പ്രസ്ഫുരണത്തിൽ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുള്ള ആവർത്തനകാലം ഇത്തരത്തിലുള്ളതാകയാൽ ഇതു് അങ്ങേയററം ധ്വാന്യാത്മകമാണു്,

ഒററയായ സ്പന്ദങ്ങൾ അയണമണ്ഡലത്തിൽ *രൂപം കൊള്ളുന്നവയാണോ* അതോ അതിനാൽ വികൃതമാക്കപ്പെടുന്നവ മാത്രമാണോ എന്ന കാര്യം ഇനിയും വ്യക്തമല്ല. 1961 ൽ യേലിലെ ഡഗ്ലസ്സും സ്മിത്തും 100 കി.മി. വരെ ദൈർഘ്യമുള്ള ആലംബനരേഖകളിന്മേൽ ഏകകാലിക അഭിലേഖനങ്ങൾ നടത്തുകയുണ്ടായി. ചിലപ്പോഴൊക്കെ സ്പന്ദങ്ങളുടെ സൂക്ഷ്മാംശങ്ങൾ പരസ്പരം ഏറെക്കുറെ നൂറു ശതമാനം പൊരുത്തം കാണിക്കുന്നതായി അവർ കണ്ടു. എന്തായാലും ഒന്നുകിൽ പ്രസ്തുത സ്പന്ദങ്ങൾ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും ഉൽഭവിക്കുന്നവയായിരിക്കണം. അല്ലെങ്കിൽ അവയുടെ രൂപീകരണത്തിനു ഹേതുഭൂതമായ അയണമണ്ഡലസംക്ഷോഭങ്ങൾ 100 കി. മി. ലേറെ വ്യാപ്തിയുള്ളവയായിരിക്കണം എന്നാണ് ഇതു നൽകുന്ന സൂചന. അയണമണ്ഡലത്തിനുമീതെ നിന്നു് നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി തീരുമാനിക്കേണ്ട മറെറാരു പ്രശ്നമാണിതു്.

സിഗ്നലുകളുടെ ധ്രുവീകരണം

രണ്ടാം അധ്യായത്തിൽ നാം റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ ധ്രുവീകരണം ചർച്ച ചെയ്യുകയും ഈ സുപ്രധാന ഗുണധർമം മാപനം ചെയ്യുന്നതിനാവശ്യമായ ഉപകരണങ്ങളെപ്പററി വിവരിക്കുകയും ചെയ്തു. 1956 ജനുവരി 24 നു് ഗാർഡനർ ഷെയ്ൻ എന്നിവരുൾപ്പെടുന്ന ആസ്ത്രേലിയൻ സംഘം വ്യാഴസിഗ്നലുകളുടെ ധ്രുവണം ഇദംപ്രഥമമായി മാപനം ചെയ്തു. ശാസ്ത്രരംഗങ്ങളിൽ പലപ്പോഴും കാണപ്പെടാറുള്ള കടുത്ത മൽസര്യത്തിൻെറ സൂചനയെന്നപോലെ ഇതേ ദിനത്തിൽ തന്നെയാണ് ഫ്രാങ്ക്ളിനും ബർക്കും കൂടി ഐക്യനാടുകളിൽ ഒരു ധ്രുവണമാപി പ്രവർത്തിപ്പിച്ചു തുടങ്ങിയതു്. രണ്ടു ദിവസത്തിനുശേഷം, അതായതു് ജനുവരി 26 നു് അമേരിക്കക്കാർക്ക് അവരുടെ ആദ്യഫലം ലഭിച്ചു.

വ്യാഴവികിരണം വൃത്തധ്രുവിതമോ ദീർഘവൃത്തധ്രുവിതമോ ആണെന്നും, രണ്ടു നിരീക്ഷണാലയങ്ങളിലും വിദ്യുത്സദിശത്തിൻെറ ഘൂർണനം വലംകൈദിശയിലാണെന്നും രണ്ടു സംഘക്കാരും ഒരുപോലെ അഭിപ്രായപ്പെട്ടു. എന്താണീ വസ്തുതകൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നതു്? ഒന്നാമതായി, ഒരു കാന്തമണ്ഡലത്തിൽ നിമഗ്നമായിരിക്കുന്ന അയണിത മാധ്യമത്തിലൂടെ സിഗ്നലുകൾ കടന്നുപോന്നതായി അവ സൂചിപ്പിക്കുന്നു. കാരണം അത്തരമൊരു സംഘാതം ദീർഘവൃത്തധ്രുവണമുണ്ടാക്കാനിടയുണ്ട്. ഇവിടെ സുപരിചിതമായ ഒരു പ്രശ്നം ഒരിക്കൽ കൂടി ഉയർന്നു വരുന്നു. വ്യാഴത്തിൻെറ അയണമണ്ഡലത്തിലും കാന്ത

മണ്ഡലത്തിലും വെച്ചാണോ ധ്രുവണം സംഭവിക്കുന്നതു് അതോ ഭൗമ അയണ മണ്ഡലത്തിലും കാന്തമണ്ഡലത്തിലും കൂടി കടന്നു പോകുമ്പോഴാം വികിരണത്തിനുമേൽ അടിച്ചേൽപിക്കപ്പെടുന്നതാണോ അതു്?

ഈ ചോദ്യത്തിനൊരു മറുപടിയെന്നോണം ആസ്ത്രേലിയൻ നിരീക്ഷകർ ഇപ്രകാരമെഴുതി ''ഉത്തരാർധഗോളത്തിൽ വെച്ചു നിരീക്ഷിക്കുമ്പോഴും ദക്ഷിണാർധഗോളത്തിൽ വെച്ച നിരീക്ഷിക്കുമ്പോഴും ഘൂർണന ദിശ വാസ്തവത്തിൽ ഒന്നു തന്നെയാണെങ്കിൽ...വ്യാഴവികിരണത്തിൽ വൃത്തധ്രുവണമുണ്ടാക്കുന്നതു് ഭൗമ–അയണമണ്ഡലമാകാൻ തരമില്ല. ധ്രുവണത്തിനു നിദാനം ഭൗമ മണ്ഡലമായിരുന്നുവെങ്കിൽ, ഭൂമിയുടെ വ്യത്യസ്ത കാന്തികാർധഗോളങ്ങളിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന നിരീക്ഷണാലയങ്ങളിൽ വിദ്യുത് സദിശത്തിന്റെ ഘൂർണന ദിശ വിപരീതമായിരുന്നേനേയെന്നാണു് ഗാർഡ്നറും ഷെയ്നും ഇതുകൊണ്ടു് അർത്ഥമാക്കിയതു്. വാസ്തവം ഇതല്ലായിരുന്നതിനാൽ ധ്രുവണമെന്നതു് ശരിക്കും വ്യാഴം മൂലമുണ്ടാകുന്നതാണെന്നു് പറയാമെന്നു തോന്നുന്നു.'

ഏതാനും നിരീക്ഷണങ്ങളെ മാത്രം ആധാരമാക്കിയുള്ളവയാണു് ഈ നിഗമനങ്ങൾ. ഉത്തരദക്ഷിണ അർധഗോള റെക്കോർഡുകൾ ഒരേ സമയത്തു എടുത്തവയല്ല– വാസ്തവം പറഞ്ഞാൽ ആസ്ത്രേലിയയും വാഷിങ്ടണും തമ്മിലുള്ള രേഖാംശവ്യത്യാസം കാരണം ഒരേ സമയം എടുക്കാനാവില്ല —എന്നതാണു് കൂടുതൽ ഗൗരവമേറിയ സംഗതി. ഫ്ളോറിഡാസ്റ്റേഷനുമായി ചേർന്നു് രണ്ടു് കാന്തികാർധ ഗോളങ്ങളിലും ഒരേ സമയം റെക്കോർഡുകൾ തയ്യാറാക്കുകയും മേൽപ്പറഞ്ഞ അല്പമാത്രമായ ധ്രുവണത്തെ വിപുലമാക്കുകയുമായിരുന്നു ഫ്ളോറിഡായൂണിവേഴ്സിറ്റി റേഡിയോ നിരീക്ഷണാലയത്തിന്റെ ചിലിയിലെ നിലയത്തിന്റെ പ്രധാന ലക്ഷ്യം.

ഇനി എന്തെല്ലാം നിഗമനങ്ങൾ നടത്താം. രണ്ടു് അർധഗോളങ്ങളിലും വാസ്തവത്തിൽ ഘൂർണനം ഒരേ ദിശയിലാണെന്നു പുതിയ നിരീക്ഷണങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്നുവെന്നതാണു് സർവപ്രധാനമായ സംഗതി. ഇടംകൈ ദിശയിലുള്ള ധ്രുവണവും ചിലപ്പോഴൊക്കെ റെക്കോർഡു ചെയ്തിട്ടുണ്ടെങ്കിലും പൊതുവേ ധ്രുവണം വലംകൈ ദിശയോടു കൂടിയതാണു്. ധ്രുവണം പൊതുവേ ദീർഘവൃത്തീയമായിരിക്കും ദീർഘവൃത്തത്തിന്റെ ഉൽകേന്ദ്രത ബഹിർഗമനങ്ങൾതോറും വ്യത്യാസപ്പെടുന്നു. ധ്രുവണം ചിലപ്പോഴൊക്കെ പൂർണമായും വൃത്തീയമായിത്തീരുന്നു. അവസാനമായി A, B, C എന്നീ സ്രോതസ്സുകളുടെ വികിരണത്തിന്റെ ധ്രുവണത്തിൽ വ്യവസ്ഥാപരമായ ചില വ്യത്യാസങ്ങളുണ്ടാകുന്നതിനും ചില തെളിവുകൾ ലഭിച്ചിട്ടുണ്ടു്.

ധ്രുവണപ്രതിഭാസങ്ങൾ പ്രായേണ സങ്കീർണവും അനായാസം ഗ്രഹിക്കാൻ വിഷമമുള്ളവയുമാണു്. ഡെക്കാമീറ്റർ സിഗ്നലുകളുടെ ഉത്ഭവത്തെപ്പറ്റി അവ സുപ്രധാന വിവരങ്ങൾ നൽകുന്നവയാണെന്ന കാര്യത്തിൽ സംശയമില്ല. അതുകൊണ്ടാണു് നാം അതിനെപ്പറ്റി ചുരുക്കത്തിൽ ഇവിടെ പ്രതിപാദിച്ചതു്.

ഡക്കാമീററർതരംഗങ്ങൾ സൗരസംഭവങ്ങളുമായി ബന്ധപ്പെട്ട വയാണോ?

രവ പ്രിക്ഷോഭത്തിൻെറ സൗരസംപ്രേരണ

1958 ആദ്യം ജെ. ഡി. ക്രോവ്സ് ഇങ്ങനെയെഴുതി "1957 ഫെബ്രുവരി 26 ലെ തീവ്രമായ വ്യാഴ ആക്ററീവത സംഭവിച്ചതു് അതിബൃഹത്തായ ഒരു സൗരജ്വാലയ്ക്കു നാലര ദിവസങ്ങൾക്കു ശേഷമായിരുന്നുവെന്നതു് പ്രത്യേകം ശ്രദ്ധേയമാണു്. അതുപോലെ 1956 ഫെബ്റുവരി 14 ലെ തീവ്രമായ വ്യാഴ പ്രവർത്തനം നടന്നതു് മഹത്തായ ഒരു സൗരോദ്ഗാരത്തിനു മൂന്നര ദിവസങ്ങൾക്കു ശേഷമാണു്. പ്രസ്തുത സൗരോദ്ഗാരം സൗരബിംബത്തിൽ നിന്നും 1100 കി. മി പ്രവേഗത്തിൽ ഫെബ്റുവരി 10–ാം തീയതി ബഹിർഗമിച്ചു. ഈ അനുക്രമങ്ങൾ തികച്ചും യാദൃച്ഛികങ്ങളാവാം. എങ്കിലും വ്യാഴവികിരണത്തിനു നിദാനമായ മെക്കാനിസത്തിൻെറ കാഞ്ചിവലിക്കുന്നതു് സൂര്യനിൽ നിന്നും ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന കണങ്ങളാണെന്നതിനു സാധ്യതയുണ്ടെന്നു് ഇവ സൂചിപ്പിക്കുന്നു.[7]

ഖഗോളവിജ്ഞാനികളുടെയിടയിൽ 'ജ്വാലകം' എന്നറിയപ്പെടുന്ന വൻ സൗരവിസ്ഫോടനങ്ങൾ ചാർജിത കണങ്ങളെ തുരുതുരെ പുറത്തേക്കു വിടുന്നുവെന്ന സംഗതി സുസ്ഥാപിതമായിക്കഴിഞ്ഞിരിക്കുന്നു. ഒന്നോ രണ്ടോ ദിവസങ്ങൾക്കു ശേഷം ഈ കണങ്ങൾ ഭൂമിയിലെത്തുകയും 'അറോറാബോറിയാലിസ്' (ഉത്തരധ്രുവദീപ്തി), പലതരം കാന്തികവിക്ഷോഭങ്ങൾ എന്നിവയുണ്ടാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഭൂമിയുടെ കാന്തമണ്ഡലത്തെപ്പററി പഠിക്കുന്ന ഭൂഭൗതികവിജ്ഞാനികൾ അത്തരം സമയങ്ങളിൽ കാന്തികവിക്ഷോഭങ്ങളെപ്പററി സംസാരിക്കുന്നു. ഭൗമകാന്തമണ്ഡലത്തിൻെറ തീവ്രതയിലും, ദിശയിലും പൊടുന്നനെയുണ്ടാകുന്ന വലിയ മാററങ്ങളെയാണു് കാന്തികവിക്ഷോഭം എന്നതുകൊണ്ടുദ്ദേശിക്കുന്നതു്.

ക്രോവ്സിൻെറ പരികല്പന ശരിയാണെങ്കിൽ ഭൂമി വ്യാഴത്തിനും സൂര്യനുമിടയിലായിരിക്കുമ്പോൾ സൗരകണങ്ങൾ വ്യാഴത്തിലെത്തുന്നതിനു മുമ്പുതന്നെ ഭൂമിയിലെത്തിച്ചേരുമെന്ന കാരണത്താൽ, വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും റേഡിയോ ഉത്സർജ്ജനമുണ്ടാകുന്നതിനു തൊട്ടുമുമ്പു് ഭൗമകാന്തികവിക്ഷോഭങ്ങൾ ഉണ്ടാകണമെന്നു് ഹാർവാർഡിലെ യൂജീൻ എപ്സ്റ്റെയിൻ 1959 ൽ ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൻെറ കർത്താക്കളോടു് അഭിപ്രായപ്പെടുകയുണ്ടായി. 1961 ൽ രണ്ടു ഗ്രഹങ്ങളും യഥായോഗ്യം ഒരേ രേഖയിൽ വരുന്ന നിർണായകവേളയിൽ ആവുന്നിടത്തോളം മെച്ചപ്പെട്ട ദത്തങ്ങൾ ശേഖരിക്കാൻ വേണ്ട ശ്രമങ്ങളെല്ലാം നടത്തി. വ്യാഴനിരീക്ഷണങ്ങളെ ഭൂകാന്തികദത്തങ്ങളുമായി താരതമ്യം ചെയ്തു നോക്കിയപ്പോൾ എപ്സ്റ്റെയ്ൻ പ്രവചിച്ചമാതിരിയുള്ള ഒരു ബന്ധത്തിനാവശ്യമായ തെളിവുകളുണ്ടെന്നു വ്യക്തമായി. പല സന്ദർഭങ്ങളിലും ഭൗമകാന്തികവിക്ഷോഭങ്ങളെ തുടർന്നു് ഏകദേശം എട്ടു ദിവസത്തിനു ശേഷം വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും റേഡിയോ രവം ഉണ്ടാകുന്നതായി കാണപ്പെട്ടു.[3]

സൗരകണങ്ങൾക്ക ഭൂമിയിൽ നിന്നും വ്യാഴത്തിലെത്താൻ എട്ട ദിവസം വേണമെന്നതു് യുക്തിസഹമായിരിക്കുമോ? റേഡിയോ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുന്നതിനിടയിൽ എട്ട സന്ദർഭങ്ങളിൽ സൗരഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ, ഭൗമ കാന്തികവിക്ഷോഭങ്ങൾക്ക നിദാനമായ സൗരജ്വാലകൾ യഥാർത്ഥത്തിൽ ദർശിക്കുകയുണ്ടായി. അപ്പോഴൊക്കെ ജ്വാലകൾ പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ട് 1.2 മുതൽ 2.8 ദിവസങ്ങൾക്ക ശേഷമാണ് ഭൂമിയിൽ കാന്തവിക്ഷോഭങ്ങൾ ആരംഭിച്ചതു്. സൂര്യനിൽ നിന്നും ഭൂമിയിലേക്കുള്ള ദൂരം അറിയാവുന്നതിനാൽ കണങ്ങളുടെ പ്രവേഗങ്ങൾ നിഷ്പ്രയാസം നിർണയിക്കാവുന്നതേയുള്ളു. അതേ വേഗത്തിൽ അവ തുടർന്നും സഞ്ചരിക്കുകയാണെങ്കിൽ വ്യാഴത്തിന്റെ ഭ്രമണപഥത്തിലെത്താൻ അവയ്ക്കു വേണ്ട സമയം കണക്കാക്കാൻ ഒരു പ്രയാസവുമില്ല. ഇതിനു വേണ്ട കാലയളവ് 5 മുതൽ 12 ദിവസങ്ങൾ വരെയാകാം. അതായതു് ശരാശരി 8 3 ദിവസം വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമുള്ള രവവിക്ഷോഭത്തിന്റെ കാഞ്ചിവലിക്കുന്നതു് സൗരകണങ്ങളാണെന്ന് ഇതിൽ നിന്നും തെളിയിക്കപ്പെടുന്നില്ലെങ്കിലും അങ്ങനെ കരുതുന്നതു് പ്രഥമദൃഷ്ട്യാ ശരിയും യുക്തിയുക്തവുമാണെന്നു തോന്നുന്നു.

ഇപ്പോൾ ചർച്ച ചെയ്തു കഴിഞ്ഞ പ്രതിഭാസത്തിൽ ശരിക്കും പൊരുത്തപ്പെടുന്നില്ലെങ്കിൽ തന്നെയും സൗരപ്രവർത്തനവും വ്യാഴപ്രവർത്തനവും തമ്മിൽ ബന്ധമുണ്ടെന്നുള്ളതിന് വേറെയും ചില തെളിവുകളുണ്ട്. സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള ഡെക്കാമീററർ തരംഗഉത്സർജനം അസാധരണമാം വണ്ണം ഉയർന്നിരിക്കുന്ന കാലയളവിലാണ് വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും രവവിക്ഷോഭങ്ങളുണ്ടാകുന്നതെന്ന് 1960 ൽ വാർവികിന്റെ ശ്രദ്ധയിൽ പെട്ടു.[8] 'സാന്തത്യം' എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഇത്തരം സൗരവികിരണം ചാർജിതകണങ്ങളുടെ ഉത്സർജനത്തിനു വഴിതെളിക്കുന്ന ചില പ്രവർത്തനങ്ങളുമായി സാധാരണയായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കും. അങ്ങനെ ഭൗമകാന്തിക വിക്ഷോഭങ്ങളെപ്പോലെ സൗരറേഡിയോരവങ്ങളെയും സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള കണങ്ങളുടെ പ്രവാഹത്തിന്റെ കൊടിയടയാളമായി കണക്കാക്കാം. സൗരബന്ധങ്ങളെന്ന വിഷയം മൊത്തത്തിൽ പ്രശ്നവിമുക്തമല്ലെങ്കിലും ധ്രുവദീപ്തി, കാന്തികവിക്ഷോഭങ്ങൾ, വ്യാഴറേഡിയോ ഉത്സർജനങ്ങൾ എന്നീ വിവിധ പ്രതിഭാസങ്ങൾക്കെല്ലാം പൊതുവായ ഉല്പത്തിയാണുള്ളതെന്ന സങ്കല്പം ആരിലും കൗതുകമുണർത്തും.

സൗരകണങ്ങൾ വന്നിടിക്കുന്നതിന്റെ ഫലമായിട്ടാണ് വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും ഡെക്കാമീറർ വികിരണം ഉണ്ടാകുന്നതെങ്കിൽ തത്ഫലമായി ഭൂമിയിലേപ്പോലെ വ്യാഴത്തിലും ധ്രുവദീപ്തിയുണ്ടാകാനിടയില്ലേ? വ്യാഴത്തിന്റെ പകൽ വെളിച്ചം ദീപ്തമായ ഭാഗം മാത്രമേ നാം കാണുന്നുള്ളു. അക്കാരണത്താൽ ധ്രുവദീപ്തി നിദർശനം പ്രകാശികഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്ക ഒരു തലവേദനയാണ്. റേഡിയോ ഉത്സർജനസമയത്തു് ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രകാശം റെക്കോർഡു ചെയ്യുന്നതിന് ഖഗോളീയ ദൂരദർശികളോടൊപ്പം പ്രകാശവിദ്യുത് സെല്ലുകളും പല പരീക്ഷണസംഘങ്ങളും ഉപയോഗിക്കുകയുണ്ടായി.[3, 9] രവവിക്ഷോഭങ്ങളോട ബന്ധപ്പെട്ട് പ്രകാശത്തിൽ ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ ഉണ്ടാകുമെ

ന്നതിനു് ഇന്നോളം തെളിവുകളൊന്നും ലഭിച്ചിട്ടില്ല. എന്നാൽ കൂടുതൽ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകങ്ങളായ ഉപകരണങ്ങളുപയോഗിച്ചു് പരീക്ഷണങ്ങൾ ഇപ്പോഴും തുടർന്നു കൊണ്ടിരിക്കുന്നതേയുള്ളു.

ദീർഘകാല പ്രവണത

വ്യാഴത്തിൻെറ റേഡിയോ ഉത്സർജനങ്ങളുടെ കാഞ്ചിവലിക്കുന്നതു് സൗര പ്രവർത്തനമായിരിക്കാമെന്നു് മുൻ ഖണ്ഡത്തിൽ സൂചിപ്പിച്ചുവല്ലോ. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ സൗരപ്രവർത്തനം പരമകാഷ്ഠയിലെത്തുന്ന സൂര്യകളങ്ക സമയത്തു് വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമുള്ള രവവിക്ഷോഭങ്ങൾ തുടരെത്തുടരെയുണ്ടാകണം.

വ്യാഴത്തിൻെറ റേഡിയോ സിഗ്നലുകളെപ്പററി ക്രമീകൃതമായ നിരീക്ഷണങ്ങൾ ഇദംപ്രഥമമായി നടത്തപ്പെട്ട 1955 ലും 1956 ലും സൂര്യകളങ്ക പ്രവർത്തനം അതിൻെറ നിമ്നതമാവസ്ഥയോടടുത്തായിരുന്നു (ചിത്രം 4.7 കാണുക). തുടർന്നുള്ള പല വർഷങ്ങളിലും സൂര്യകളങ്കങ്ങളുടെ എണ്ണം വർധിച്ചു വന്നപ്പോൾ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുള്ള റേഡിയോ ഉത്സർജനത്തിൽ ഗണ്യമായ കുറവുണ്ടാകുകയാണു ചെയ്തതു്. 1958 ലും 1959 ലും രവവിക്ഷോഭങ്ങൾ അങ്ങേയററം വിരളമായിത്തീർന്നു ക്ഷയോന്മുഖമായ ഒരു പ്രതിഭാസത്തെപ്പററിയാണു തങ്ങൾ പഠിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്നതെന്നു് അഭിപ്രായപ്പെടാൻ പോലും ഗ്രന്ഥകാരന്മാരിലൊരാൾ നിർബന്ധിതനായി. 1960 ആയപ്പോഴേക്കും സൂര്യകളങ്കചക്രം അതിൻെറ ഉച്ചതമാവസ്ഥയെ പിന്നിട്ടു കഴിഞ്ഞിരുന്നു. അതോടെ വ്യാഴപ്രവർത്തനം പുനരുജ്ജീവിക്കുവാനും തുടങ്ങി. സൂര്യകളങ്ക സംഖ്യയും* വ്യാഴത്തിൻെറ ഡെക്കാമീററർ ഉത്സർജനവും തമ്മിൽ വ്യൽക്രമബന്ധമാണുണ്ടായിരിക്കാനിടയുള്ളതെന്നു് പല നിരീക്ഷകന്മാർക്കും തോന്നി.

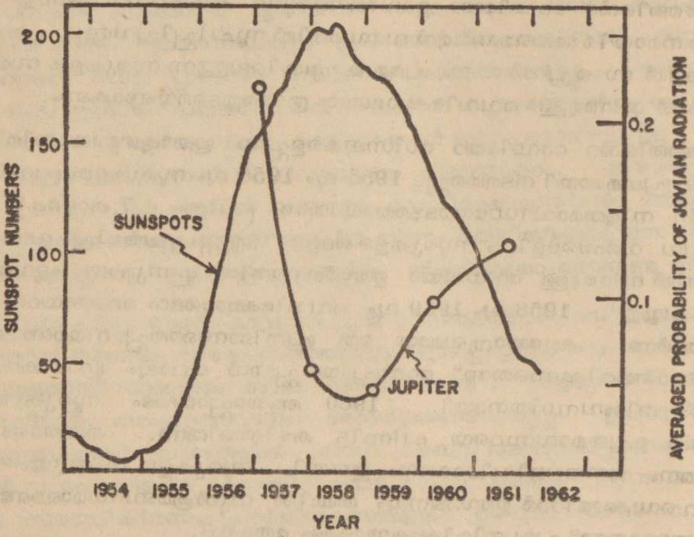
1956 മുതൽ ഓരോ വർഷത്തെയും 18 മെ. ഹെ. വ്യാഴഉത്സർജനങ്ങളുടെ 'ശരാശരി'യുടെ ചിത്രണമാണു് ചിത്രം 4–7 ലെ താഴത്തെ വക്രം. എങ്ങനെയാണു് ഈ വക്രം ലഭിച്ചതു്? ചിത്രം 4–2 ലെപ്പോലുള്ള ഹിസ്റ്റോഗ്രാമുകൾ ഒരൊററ വർഷത്തെ മുഴുവൻ നിരീക്ഷണങ്ങളെയും പ്രതിനിധാനം ചെയ്യുന്നു. അതിനാൽ ഒരു വർഷത്തെ ദത്തങ്ങളുടെ സമയശരാശരിയാണു് ആ വർഷത്തെ ഹിസ്റ്റോഗ്രാം. എല്ലാ ലംബബാറുകളുടെയും നീളങ്ങൾ തമ്മിൽ കൂട്ടി അതിനെ ബാറുകളുടെ ആകെയെണ്ണം (5° രേഖാംശ അന്തരാളമുപയോഗിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ ബാറുകളുടെ എണ്ണം 72 ആയിരിക്കും) കൊണ്ടു ഹരിച്ചാൽ വികിരണസംഭാവ്യതയുടെ ശരാശരി കിട്ടുമെന്നു പറയാം. ചിത്രം 4–7 ലെ ഓരോ ബിന്ദുവും ഗ്രഹത്തിൻെറ

---

* സൂര്യകളങ്ക സംഖ്യയെന്നു പറഞ്ഞാൽ സൂര്യകളങ്കങ്ങളുടെ എണ്ണം തന്നെയാണെന്നു നിങ്ങൾ വിചാരിച്ചേക്കാം. വാസ്തവത്തിൽ $k\ (10g + f)$ നെയാണു് സൂര്യകളങ്കസംഖ്യ (R) എന്നു നിർവചിക്കുന്നതു്. എണ്ണാനുപയോഗിക്കുന്ന ദൂരദർശിയുടെ വലുപ്പത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ഘടകമാണു് k (ഏറെക്കുറെ 1 നോടടുത്തായിരിക്കും), കളങ്കഗ്രൂപ്പുകളുടെ എണ്ണമാണു് g. ഒററപ്പെട്ട കളങ്കങ്ങളുടെ എണ്ണമാണു് f. ഗ്രൂപ്പുകൾക്കാണു് പ്രാധാന്യമെന്നു സൂത്രവാക്യം വ്യക്തമാക്കുന്നു.

മൊത്തമായി ഇങ്ങനെ കിട്ടുന്ന വാർഷികശരാശരിയെയാണ് സൂചിപ്പിക്കുന്നത്.

വ്യാഴദത്തങ്ങളുടെയും സൗരദത്തങ്ങളുടെയും പ്രവണത അന്യോന്യം വിപരീതമാണെന്ന കാര്യത്തിൽ സംശയമില്ല.



ചിത്രം 4–7

സൂര്യകളങ്കങ്ങളും വ്യാഴറേഡിയോ ഉത്സർജനത്തിന്റെ ശരാശരി സംഭാവ്യതയും തമ്മിലുള്ള വ്യുൽക്രമബന്ധം. (ഫ്ളോറിഡാ സർവകലാശാലാ ദത്തം).

ഇത്തരുണത്തിൽ വായനക്കാരൻ ഏറക്കുറെ ചിന്താകുഴപ്പത്തിലായെന്നുവരാം. അക്കാര്യത്തിൽ നിങ്ങൾ ഒററയ്ക്കായിരിക്കുകയുമില്ല. ഒരു ഹ്രസ്വകാല ധനാത്മക സഹബന്ധവും ഒരു ദീർഘകാല ഋണാത്മകസഹബന്ധവുമാണ് സൂര്യകളങ്ക സംഖ്യകളും ശരാശരി ഡെക്കാമീററർ ഉത്സർജനവും തമ്മിലുള്ളതെന്ന് ചുരുക്കിപ്പറയാം. ഈ രണ്ടു കാഴ്ചപ്പാടുകളെയും സമഞ്ജസമായി കൂട്ടിയിണക്കാൻ സാധ്യമാണോ? ഒരു പക്ഷേ സൗരകണങ്ങളാവാം രവവിക്ഷോഭത്തിന്റെ കാഞ്ചി വലിക്കുന്നത്? എന്നാൽ സൂര്യകളങ്കത്തിന്റെ മൂർധന്യദശയിൽ ഭൂമിയുടെ അയണമണ്ഡലത്തെപ്പോലെ വ്യാഴത്തിന്റെ അയണമണ്ഡലവും കൂടുതൽ അതാര്യമായിത്തീരുകയും വികിരണത്തിനു സ്പേസിലേക്കു രക്ഷപെടാൻ സാധിക്കാതെ വരികയും ചെയ്യുന്നു. അല്ലെങ്കിൽ വാർവിക് അഭിപ്രായപ്പെട്ടിട്ടുള്ളതുപോലെ ഗ്രഹങ്ങൾക്കിടയ്ക്കുള്ള സ്പേസ് ആകമാനം വ്യാഴസിഗ്നലുകൾക്കു തടസ്സം സൃഷ്ടിക്കുന്ന സൗരകണങ്ങൾകൊണ്ടു 'മലിന'മാവുന്നുണ്ടായിരിക്കാം.

അനംഗതസൂക്ഷ്മതരംഗവികിരണം

നിരീക്ഷണങ്ങളുടെ ചരിത്രം

മൂന്നാം അധ്യായത്തിൽ നാം വ്യാഴത്തിൻെറ സൂക്ഷ്മതരംഗനിരീക്ഷണങ്ങളുടെ ആദ്യകാലചരിത്രം പുനരവലോകനം ചെയ്തു. 1956 നും 1658 നമിടയ്ക്കു് റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനികളുടെ പല സംഘങ്ങളും 3സെ മീ. തരംഗനീളങ്ങളോടടുപ്പിച്ച് മാപനങ്ങൾ നടത്തിയ കാര്യം വായനക്കാരൻ ഓർമിക്കുന്നുണ്ടാവും. നിരീക്ഷണഫലങ്ങൾ അത്ര കൃത്യമായിരുന്നില്ലെങ്കിൽ തന്നെയും ഗ്രഹത്തിൻെറ അംഗീകൃതതാപനിലയോടു് ഏറെക്കുറെ പൊരുത്തപ്പെടുന്നവയായിരുന്നു. മക്‌ലെയിനും സ്ലോനാക്കറും കൂടി 10 സെമീ. തരംഗനീളത്തിൽ പരീക്ഷണം ആവർത്തിച്ചപ്പോൾ മാത്രമാണ് വ്യാഴത്തെക്കുറിച്ചു പഠിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നവർക്കിടയിൽ ഒരു ഞെട്ടലുളവായതു്. ശരാശരി താപനില 580°K യെന്നു പ്രസ്തുത മാപനങ്ങൾ സൂചിപ്പിച്ചു. ഇതു് ആദ്യം ലഭിച്ച മൂല്യത്തേക്കാൾ നാലു മടങ്ങു കൂടുതലായിരുന്നു. എവിടെയോ തകരാറുണ്ടു്. സംശയമില്ല!

അപ്രതീക്ഷിതമായ ഈ നിരീക്ഷണഫലത്താൽ ജിജ്ഞാസാഭരിതരായിത്തീർന്ന ഒട്ടേറെ നിരീക്ഷകന്മാർ തങ്ങളുടെ കൈവശമുള്ള വിസ്തൃതമായ 'തളികകളും' (ആൻെറന്ന) സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തിയുള്ള റിസീവറുകളും വ്യാഴത്തിലേക്കു തിരിച്ചുവച്ചു. 1959 ൻെറ അന്ത്യത്തോടു കൂടി 21, 22, 31, 68 സെമീ. തരംഗനീളങ്ങളിൽ ഗ്രഹത്തിൻെറ താപനില അളന്നുകഴിഞ്ഞു. ലഭിച്ച ഫലങ്ങൾ പട്ടിക 4–1 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്നു.

പട്ടിക 4–1. വ്യാഴത്തിൻെറ സൂക്ഷ്മതരംഗനിരീക്ഷണങ്ങൾ*

തരംഗനീളം സെമീ.	ലഭിച്ച ഫ്ളക്സ് വാ / മീ^{2} / ചപ്രസെ $\times 10^{-26}$	ദ്യുതി താപനില °K	നിരീക്ഷകന്മാർ
3.2	1.5	140	മേയർ (Mayer) മക്കല്ലോഫ് (McCullough) സ്ലോനാക്കർ (Slonaker)
10.3	0.63	580	മക്‌ലെയിൻ, സ്ലോനാക്കർ
21.0	0.60	2500	മക്‌ലെയിൻ
21.0	0.71	3000	എപ്സ്റ്റെയിൻ (Epstein)
22.0	0.65	3000	ഡ്രേക്ക് (Drake)
31.0	0.60	5500	റോബർട്ട്സ്, സ്റ്റാൻലെ
68.0	1.10	50,000	ഡ്രേക്ക്, ഹ്‌വാട്ടം (Hvatum)

എന്താണിതു വ്യംജിപ്പിക്കുന്നതു്? ഒരു ശരിയായ കൃഷ്ണികാവികിരണ കാരിയിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോഫ്ളക്സ് തരംഗനീളത്തിൻെറ വ്യുൽക്രമ വർഗത്തിനനുസരണമായി കുറയുമെന്നു സമീകരണം 3–2 സൂചിപ്പിക്കുന്നു. വ്യാഴത്തിൻെറ ഏറെക്കുറെ പരന്ന സൂക്ഷ്മതരംഗ വർണരാജി, സരളമായ താപവികിരണഫലമായുണ്ടാകുന്നതല്ലെന്നു റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്കു ബോധ്യമായതെങ്ങിനെയെന്നു് ഇതിൽനിന്നും വ്യക്തമാവും.

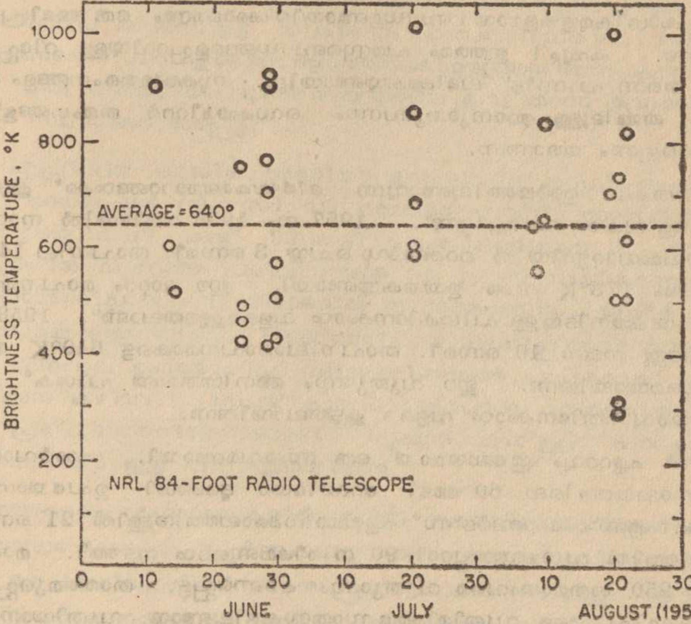
റിസീവറിലെത്തുന്ന ഫ്ളക്സിനെ വ്യാഴബിംബത്തിലെല്ലായിടത്തു നിന്നും വരുന്ന താപവികിരണമെന്ന രീതിയിൽ വ്യാഖ്യാനിച്ച കണക്കു കൂട്ടുന്നതിൻെറ ഫലമായി ലഭിക്കുന്ന താപനിലകളാണ് പട്ടിക 4–1 ലെ മൂന്നാം കോളത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതു്. ദീർഘതരംഗദൈർഘ്യങ്ങൾ സൂചിപ്പിക്കുന്ന താപനിലകൾ വാസ്തവികമാണെന്നു വാദിക്കാൻ വലിയ പ്രയാസമാണ്. ഡക്കാമീററർ തരംഗങ്ങളുടെ കാര്യത്തിലെന്നപോലെ ഇവിടെയും അസാമാന്യതീവ്രതയുള്ള റേഡിയോവികിരണങ്ങളെ ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്ന സങ്കീർണങ്ങളായ ചില താപേതരമെക്കാനിസം പ്രവർത്തനത്തിലുണ്ടെന്നു തോന്നുന്നു.

സൂക്ഷ്മതരംഗ ഊർജത്തിലുണ്ടാകുന്ന മാററങ്ങൾ

വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമുള്ള ഡെക്കാമീററർ വികിരണത്തിൻെറ ഏററവും പ്രകടമായ സവിശേഷത ഒരു പക്ഷേ, കാലികമായി അതിനുണ്ടാകുന്ന ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ തന്നെയാണെന്നു പറയാം. ഡക്കാമീററർ സിഗ്നലുകളുടെ തീവ്രത ചിലപ്പോൾ പൂജ്യമാണെങ്കിൽ മററു ചിലപ്പോൾ സൂര്യനേർത്തിനോട്ട കിടപിടിക്കുന്നതായിരിക്കും. നാം നേരത്തെ കണ്ടതുപോലെ ഈ മാററങ്ങൾ ഗ്രഹത്തിൻെറ ഘൂർണനവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. നേരെ മറിച്ച് സൂക്ഷ്മതരംഗവികിരണത്തിൽ മാററങ്ങളുണ്ടാവുന്നുണ്ടോ എന്നതു തന്നെ സന്നിഗ്ധമാണ്. ഉണ്ടായേക്കാനിടയുള്ള ഏററക്കുറച്ചിലുകൾക്ക് വ്യാഴത്തിൻെറ ഘൂർണനവുമായോ മററു പ്രതിഭാസങ്ങളുമായോ ബന്ധമുണ്ടോയെന്ന കാര്യം ഇതിനേക്കാളും അനിശ്ചിതമാണ്.

ഗ്രഹത്തിൽ നിന്നുള്ള സൂക്ഷ്മതരംഗവികിരണം നിർദ്ദേശിക്കുന്നതു തന്നെ പ്രയാസമായിരിക്കെ, ചെറിയ മാററങ്ങൾ മാപനം ചെയ്യുന്നതിൻെറ ബുദ്ധിമുട്ട് പ്രത്യേകം പറയേണ്ടതില്ലല്ലോ? ചിത്രം 3–6 സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ ശുക്രനിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രായേണ ശക്തികൂടിയ സിഗ്നൽ പോലും രവത്തിലുണ്ടാകുന്ന വ്യതിയാനങ്ങൾക്കുള്ളിൽ മറഞ്ഞു പോകും. 1958–ലെ രണ്ടു മാസക്കാലത്തെ നിരീക്ഷണങ്ങളിൽ നിന്നും നാവികഗവേഷണ ലബോറട്ടറി കണക്കാക്കിയ വ്യാഴത്തിൻെറ താപനിലകളാണ് ചിത്രം 4–8 ൽ അടയാളപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നതു്. ഒരൊററ ദിവസത്തെ ഫലങ്ങളിൽ തന്നെ വലിയ മാററങ്ങളുണ്ടാകുന്നുവെന്നതു് വ്യക്തമാണ്. ഈ മാററങ്ങളിൽ എത്രത്തോളം വാസ്തവികമായിരിക്കും, എത്രത്തോളം ഉപകരണസംബന്ധമായിരിക്കും എന്നൊക്കെ പറയുവാൻ ബുദ്ധിമുട്ടുണ്ട്. സൂക്ഷ്മതരംഗനിരീക്ഷകനെ

അഭിമുഖീകരിക്കുന്ന പ്രശ്നം ഒന്നു മനസ്സിലാക്കാനെങ്കിലും വായനക്കാരനു കഴിയും.



ചിത്രം 4–8. മാപനം ചെയ്യപ്പെട്ട വ്യാഴത്തിന്റെ 10 സെമീ. ദ്യുതി താപനിലയിലുണ്ടാകുന്ന ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ.

വ്യാഴത്തിന്റെ ഒരർധഗോളത്തിലെ താപനില മറേറതിലേക്കാൾ കൂടുതലാണെന്നു് തങ്ങളുടെ 10 സെമീ, 21 സെമീ. ദത്തങ്ങൾ കാണിക്കുന്നില്ലേയെന്നു നാവികഗവേഷണ ലബോറട്ടറിയിലെ ശാസ്ത്രസംഘം സന്ദേഹിക്കുകയുണ്ടായി. ഈ വ്യത്യാസം ദത്തങ്ങളിലുണ്ടാവുന്ന അനിയമിതമായ ഏററക്കുറച്ചിലുകളിൽ കവിഞ്ഞൊന്നുമല്ലായിരുന്നതിനാൽ ശരിയായ നിഗമനങ്ങളിലൊന്നുമെത്താൻ അവർക്കു കഴിഞ്ഞില്ല. 3 സെമീ., 22 സെമീ., 31 സെമീ., 68 സെമീ. എന്നീ തരംഗനീളങ്ങളിൽ വികിരണത്തിനു് വ്യാഃത്തിന്റെ ഘൂർണനവുമായി ഗണ്യമായ പരസ്പരബന്ധമൊന്നുമില്ലെന്നു് മററു ഗവേഷകന്മാർ റിപ്പോർട്ടു ചെയ്തു. കൊളംബിയാ സർവകലാശാലയിലെ ഒരുസംഘമാളുകളുടെ റിപ്പോർട്ടായിരുന്നു അവയിലേററവും ശ്രദ്ധേയവും രസകരവുമായിരുന്നതു്. 1958 ൽ വ്യാഴത്തിന്റെ ബൽററുകളിലൊന്നിൽ കളങ്കങ്ങൾ പൊടുന്നനെ പ്രത്യക്ഷപ്പെട്ട സമയത്തോടടുപ്പിച്ചു് അസാ

ധാരണമാംവണ്ണം ഉയർന്ന 3 സെമീ. താപനില അവർ റെക്കാർഡു ചെയ്യുകയുണ്ടായി. റേഡിയോമാപനങ്ങൾ നടത്തിയ സമയത്തു് ഈ കളങ്കങ്ങൾ പ്രധാന മിറിഡിയനു സമീപം ആയിരുന്നതിനാൽ റേഡിയോവികിരണത്തിനു് പ്രകാശികമുദ്രകളുമായി ബന്ധമുണ്ടായിരിക്കാമെന്നും ഒരു അഭിപ്രായം പൊന്തിവന്നു. കഷ്ടം! ഇത്തരം പരസ്പരബന്ധങ്ങളെപ്പററിയുള്ള റിപ്പോർട്ടുകളൊന്നും തന്നെ പിന്നീടു് ലഭിക്കുകയുണ്ടായില്ല. സൂക്ഷ്മതരംഗങ്ങളും ദൃശ്യകളങ്കങ്ങളും തമ്മിലുള്ള അന്യോന്യബന്ധം ഡെക്കാമീററർ തരംഗങ്ങളിലെപ്പോലെയില്ലെന്നും തോന്നുന്നു.

സൂക്ഷ്മതരംഗ ഊർജത്തിലുണ്ടാവുന്ന *ദീർഘകാലമാററങ്ങൾക്കു്* കൂടുതൽ ഈടുററ തെളിവുകൾ ലഭിച്ചിട്ടുണ്ടു്. 1957 നും 1958 നമിടയിൽ നാവികഗവേഷണലബോറട്ടറിയിൽ റെക്കാർഡു ചെയ്ത 3 സെമീ. താപനില 145°K യിൽ നിന്നും 173°K വരെ ഉയരുകയുണ്ടായി. ഈ മാററം മാപനത്തിൽ കടന്നുകൂടിയേക്കാനിടയുള്ള പിശകിനേക്കാൾ വളരെക്കൂടുതലാണു്. 1958 നും 1959 നമിടയ്ക്കു നടന്ന 10 സെമീ. താപനിലാമാപനമാകട്ടെ 640°K മുതൽ 315°K വരെയായിരുന്നു. ഈ വ്യത്യാസം അനിയതമായ പിശകു് എന്നു തള്ളിക്കളയാവുന്നതിനേക്കാൾ വളരെ കൂടുതലായിരുന്നു.

1961 ൽ ഏററവും ശ്രദ്ധേയമായ ഒരു സംഭവമുണ്ടായി. ഹാർവാർഡു് നിരീക്ഷണാലയത്തിലെ 60 അടി റേഡിയോ ദൂരദർശി ഉപയോഗിച്ചു് ഡോ: എം. എസ്. റോബർട്സ് ഏഴ് മാസക്കാലത്തിനുള്ളിൽ 21 സെമീ. തരംഗനീളത്തിൽ വ്യാഴത്തെപ്പററി 90 നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി. മാപിത ഫ്ളക്സിൽ 250 ശതമാനംവരെ വ്യത്യാസം കാണപ്പെട്ടു. താരതമ്യപ്പെടുത്തലിനുപയോഗിച്ച രണ്ടു വ്യതിരിക്തസ്രോതസ്സുകളിലുണ്ടായ വ്യതിയാനങ്ങൾ ഇതിനേക്കാൾ വളരെക്കുറവായിരുന്നു. സൗരപ്രവർത്തനത്തിൽ വർധനയുണ്ടായി. രണ്ടു മുതൽ ആറു ദിവസങ്ങൾക്കു ശേഷമാണു് വ്യാഴഫ്ളക്സിൽ വർധനവുണ്ടാകുന്നതെന്നതാണു് എല്ലാററിലും ശ്രദ്ധേയമായ കാര്യം. ഒരു വലിയ സൗരപ്രജ്വാലയെ തുടർന്നു് വ്യാഴത്തിൻെറ 21 സെമീ. താപനിലയിലുണ്ടായ പ്രകടമായ ഉയർച്ചയെപ്പററി 1959 ൽ നാവികഗവേഷണലബോറട്ടറിയിലെ മക്ലെയിൻ വ്യാഖ്യാനം നടത്തിയെന്ന കാര്യം ചരിത്രപരമായി അത്യന്തം രസകരമാണു്.

ഒരു വ്യാഴവികിരണബൽററ്

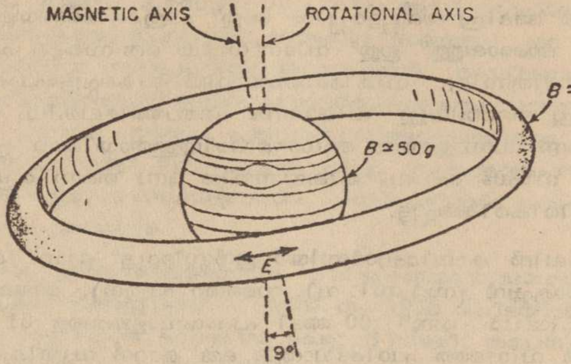
മറെറാരു ഗ്രഹത്തിനു് ഭൂമിയോടു് എന്തെങ്കിലും സാദൃശ്യമുണ്ടായാൽ അതു് പൊതുജനങ്ങൾക്കിടയിൽ താല്പര്യമുളവാക്കും. ഇതിനോടകം പ്രസിദ്ധമായിക്കഴിഞ്ഞിരിക്കുന്ന ഭൂമിയുടെ വാൻഅല്ലൻ ബൽററുകളിലെപ്പോലെ വ്യാഴഗ്രഹത്തിനു ചുററുമുള്ള വികിരണബൽററുകളിൽ നിന്നായിരിക്കണം അതിൻെറ സൂക്ഷ്മതരംഗഊർജം ഉത്ഭവിക്കുന്നതെന്നു് ദേശീയറേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനനിരീക്ഷണാലയത്തിലെ (U. S. A.) ഡോ. എഫ്. ഡി.

ഡ്രേക് 1959 ൽ അഭിപ്രായപ്പെട്ടപ്പോൾ അതു് പത്രക്കാരുടെയെല്ലാം ശ്രദ്ധ പിടിച്ചുപററി. അക്കാലത്തു് ഇതു് വിദഗ്ധമായ ഒരു സങ്കല്പം എന്നതിൽ കവിഞ്ഞൊന്നുമായിരുന്നില്ല. വികിരണബെൽററിൽ അകപ്പെട്ടുപോകുന്ന കണങ്ങൾ നിരീക്ഷിച്ച തരത്തിലുള്ള വികിരണം തത്വത്തിലെങ്കിലും ഉത്സർജിക്കുന്നുണ്ടാവണമെന്ന വസ്തുതയെ ആധാരമാക്കിയുള്ളതായിരുന്നു പ്രസ്തുത സങ്കല്പം. ഒരു വർഷം പോലും തികയുന്നതിനു മുമ്പു തന്നെ ഡ്രേക്കിന്റെ സിദ്ധാന്തം സ്ഥിരീകരിക്കപ്പെട്ടു.

1960 ഏപ്രിലിൽ കാലിഫോർണിയാ ഇൻസ്റ്റിററ്യൂട്ട് ഓഫ് ടെക്നോളജിയിലെ രാധാകൃഷ്ണൻ (സർ സി. വി. രാമന്റെ പുത്രൻ), റോബർട്ട്സ്, മോറിസ് തുടങ്ങിയവർ രണ്ടു് 90 അടി പരാബോളജങ്ങളെ 31 സെമീ. തരംഗനീളത്തിൽ വ്യാഴത്തെ പഠിക്കുവാനുള്ള ഒരു ക്ലററൻ വ്യതികരണമാപിയായി ഉപയോഗിച്ചു.[10] റെയിലുകളിൽ നീങ്ങത്തക്കവിധം ക്രമീകരിച്ചിരുന്ന– അവ തമ്മിലുള്ള അകലം 1600 അടിവരെ വർധിപ്പിക്കാമായിരുന്നു. ഈ ആലംബനരേഖ ഉപയോഗിച്ച് വ്യാഴബിംബത്തെ ഭാഗികമായി വിഭേദനം ചെയ്യാൻ കഴിയും. ഡ്രേക്ക് പ്രവചിച്ചതുപോലെ ഗ്രഹത്തിനു ചുററുമുള്ള ഒരു പ്രഭാവലയത്തിൽനിന്നുമാണ് സൂക്ഷ്മതരംഗഫ്ളക്സ് പുറപ്പെടുന്നതെന്നു കാണിക്കാൻ ഇതു പര്യാപ്തമായിരുന്നു.

ആന്റെന്നകളുടെ ഫോക്കസുകളിൽ ഊർജം ശേഖരിക്കാനുപയോഗിക്കുന്ന വേവ് ഗൈഡുഹോണുകൾ ഘൂർണംചെയ്ത് തരംഗങ്ങളുടെ ധ്രുവണം നിർണയിക്കാനും ഈ കാലിഫോർണിയൻ ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാർക്കു സാധിച്ചു. ഫ്ളക്സിന്റെ 30 ശതമാനത്തോളം രേഖാധ്രുവിതമാണെന്നു തെളിയുകയുണ്ടായി. വിദ്യുത്സദിശം ഏറെക്കുറെ വ്യാഴമധ്യരേഖയ്ക്കു സമാന്തരവുമായിരുന്നു. ഗ്രഹം ഘൂർണനം ചെയ്യുമ്പോൾ ധ്രുവണതലം ഏകദേശം 18° യിലൂടെ ദോലനം ചെയ്യുന്നതായും തോന്നി. മുൻപു പറഞ്ഞ പ്രഭാവലയം ചാഞ്ചാടുന്നുവെന്നതിന്റെ സൂചനയാണിതു്''.

കാലിഫോർണിയായിലെയും ഹാർവാർഡിലെയും ശാസ്ത്രകാരന്മാർ തങ്ങളുടെ പഠനം തുടർന്നതിന്റെ ഫലമായി രൂപമെടുത്ത വ്യാഴത്തിന്റെ വാൻ അല്ലൻ ബെൽററിന്റെ ചിത്രമാണ് ചിത്രം 4–9 ൽ നാം കാണുന്നതു്. ഗ്രഹത്തിന്റെ മൂന്നിരട്ടി വ്യാസമുള്ള ഒരു നേർത്ത വലയത്തിൽ വികിരണമെല്ലാം കേന്ദ്രീകൃതമായിരിക്കുന്നുവെന്നു തോന്നുന്നു. ഈ മേഖലയ്ക്കുള്ളിൽ ഫ്ളക്സ് ഭാഗികമായി ധ്രുവിതമാണ്. വിദ്യുത്സദിശം വലയത്തിന്റെ തലത്തിനു സമാന്തരമായിരുന്നു. വ്യാഴത്തിന്റെ ഘൂർണനാക്ഷവുമായി വലയം 9° ചരിഞ്ഞിരിക്കുന്നുവെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ ധ്രുവണതലത്തിന്റെ ദോലനം നിഷ്പ്രയാസം വിശദീകരിക്കാം. അങ്ങനെ ഗ്രഹം സ്വന്തം അക്ഷത്തിൽ തിരിയുമ്പോൾ വലയം അങ്ങോട്ടുമിങ്ങോട്ടും ചാഞ്ചാടുന്നു.



ചിത്രം 4–9. താപേതര സൂക്ഷ്മതരംഗ ഉത്സർജനത്തിന് നിദാനമെന്നു കരുതപ്പെടുന്ന വ്യാഴത്തിന്റെ വികിരണബെൽറ്റ്.

ഇതിന്റെയെല്ലാം അർത്ഥം എന്താണ്? ഭൂമിയുടെ കാന്തമണ്ഡലത്തോട് വളരെ സാമ്യമുള്ള ഒരു ചെരിഞ്ഞ കാന്തമണ്ഡലത്താൽ ഗ്രഹത്തോട് ബന്ധിക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്ന വിശാലമായ ഒരു വികിരണബെൽറ്റിനാൽ വ്യാഴം ചുറ്റപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. വ്യാഴത്തിന്റെ ഈ ചിത്രവുമായി തികച്ചും പൊരുത്തപ്പെടുന്നതാണ് നമ്മുടെ മേൽപ്പറഞ്ഞ സങ്കല്പമെന്ന് അടുത്ത അധ്യായത്തിൽ നാം കാണും.

5

ഗ്രഹറേഡിയോ സിഗ്നലുകളുടെ ഉറവിടങ്ങൾ

വ്യാഴഗ്രഹം അതിശയകരമാംവിധം തീവ്രതയും സംകീർണതയുമുള്ള ഒരു റേഡിയോ സ്പെക്ട്രം ഉത്സർജിക്കുന്നതായി 4-ാം അധ്യായത്തിൽ നാം കണ്ടു. അസാധാരണമെന്നുതോന്നുന്ന ഈ പെരുമാററ രീതിയുടെ കാരണമെന്താണ്? സൗരവ്യൂഹത്തിലെ ഏററവും വലിയ ഗ്രഹം വ്യാഴമാണെന്ന അവബോധത്തോടുകൂടി തന്നെ നമുക്ക് ചില അനുമാനങ്ങൾക്ക് തുടക്കമിടാം. നക്ഷത്രങ്ങളെപ്പോലെ സ്വയം പ്രകാശമുള്ളതാവാൻ വേണ്ടത്ര ഉയർന്ന ദ്രവ്യമാനമുള്ള ഗ്രഹങ്ങളുടെ തനതായ അഭിലക്ഷണമാണോ ഇത്തരം ഉത്സർജനം?

വ്യാഴപ്രസ്ഫോടനങ്ങളിലെ ഊർജം

റേഡിയോ തരംഗങ്ങളെ ഇടവിട്ട് ഉത്സർജിക്കുന്നുവെന്ന് തീർത്തും അറിയപ്പെടുന്ന ഖഗോളീയ വസ്തുക്കൾ സൂര്യനും വ്യാഴവും മാത്രമാകയാൽ അവയുടെ വികിരണങ്ങളെ താരതമ്യപ്പെടുത്തുന്നത് സ്വാഭാവികം മാത്രമാണ്. ഏററവും ശക്തമായ വ്യാഴ ഉത്സർജനങ്ങൾ 5 മെ. ഹെ. ആവൃത്തിയിലാണ് നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടതെന്നു 4-ാം അധ്യായത്തിൽ നാം കാണുകയുണ്ടായി. പ്രസ്തുത ആവൃത്തിയിൽ ഫ്ളക്സ് ഘനത്വം 10^{-18} വാ/മീ^{2}/ഹെ. യോളമെത്തിയിരുന്നു. ഡെക്കാമീററർ തരംഗനീളങ്ങളിൽ* സാധാരണ സൗരോത്സർജന തീവ്രതയുടെ ഉപരിസീമയും ഇത്രത്തോളം തന്നെയാണെന്നു കാണാനിടയായി. അങ്ങനെ രണ്ടുവസ്തുക്കളും നമ്മുടെ ആൻെറനകളിൽ ഒരേ ഉച്ചതമസിഗ്നലുകളുണ്ടാക്കുന്നതായി നാം ഇവിടെ കാണുന്നു. വരട്ടെ. തിടുക്കം കൂട്ടാതിരിക്കൂ! ഭൂമിയോട് ഏററവും അടുത്തുവരുന്ന വേളയിൽപ്പോലും വ്യാഴം സൂര്യനേക്കാൾ നാലുമടങ്ങു ദൂരെയായിരിക്കും. ഫ്ളക്സ് ഘനത്വം ദൂരത്തിൻെറ വ്യുത്ക്രമ

* 1947 മാർച്ച് 8-ാം തീയതി 10^{-15} വാ/മീ^{2}/ഹെ. (60 മെ: ഹെ. ആവൃത്തിയിൽ) യിൽ കൂടിയ ഒരു സൗരോൽസർജനം രേഖപ്പെടുത്തുകയുണ്ടായി. ഒരുപക്ഷേ ഇതൊരു 'ലോകറെക്കോർഡു'തന്നെയായിരിക്കാം. എന്തായാലും 10^{-18} വാ/മീ^{2}/ഹെ. യിൽ കൂടിയ ഉൽസർജനങ്ങൾ അസാധാരണ സംഭവങ്ങളാണ്, അവയെ മാതൃകാപരമെന്നു കരുതാനും പ്രയാസമാണ്.

വർഗത്തിന്നനുസരണമായി കുറയുന്നതിനാൽ വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമു... ഗ്നലുകൾ സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ളവയേക്കാൾ 16 മടങ്ങ് തീവ്രതയുള്ളവ... ിരിക്കണം. സൂര്യന്റെ ഉപരിതലവിസ്തീർണം വ്യാഴത്തിന്റേതിനേക്കാൾ 1... മടങ്ങ് കൂടുതലാണെന്നും സൗരാന്തരീക്ഷത്തിലെ താപനില ദശലക്ഷം ഡിഗ്രിയിൽ കൂടുതലാണെന്നുമുള്ള വസ്തുതകൾ നാം സ്മരിക്കുമ്പോൾ ഈ നിഗമനം വാസ്തവത്തിൽ വിസ്മയജനകം തന്നെയാണ്.

ഒരു വ്യാഴസ്പന്ദത്തിലുൾക്കൊള്ളുന്ന ഊർജം എത്രയെന്ന് നമുക്കൊന്നു കണക്കാക്കാം. എല്ലാദിശകളിലേക്കും ഏകസമാനമായി ഗ്രഹം വികിരണം നടത്തുന്നുവെങ്കിൽ അതു് ഉൽസർജിക്കുന്ന മൊത്തം പവർ P ഭൂമിയിലെത്തുന്ന ഫ്ളക്സ് ഘനത്വ (S) ത്തിന്റെയും, വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും ഭൂമിയിലേക്കുള്ള ദൂരം (D) ത്രിജ്യയുള്ളഗോളത്തിന്റെ വിസ്തീർണത്തിന്റേയും ഗുണനഫലമായിരിക്കുമെന്നു കാണാൻ പ്രയാസമില്ല. (ചിത്രം 4–4 കാണുക) വ്യാഴം ഏററവും അടുത്തുവരുമ്പോൾ $D = 5.9 \times 10^{11}$ മീ എന്നെടുത്താൽ $P = 10^{-8}$ വാ/മീ^{2}/ഹെ. $\times 4\pi (5.9 \times 10^{11})^2 = 4.4 \times 10^{6}$ വാ/ഹെ. ആയിരിക്കും. എന്നാൽ വ്യാഴസ്രോതസ്സ് എല്ലാ ദിശകളിലേക്കും വികിരണം നടത്തുന്നില്ല. ഒരു പരിമിതമായ കോണിൽ മാത്രമേ വികിരണം നടക്കുന്നുള്ളു. അക്കാരണത്താൽ നാം ഇവിടെ വ്യുൽപ്പാദിപ്പിച്ച പവർ വളരെ കൂടുതലാണ്. കോണിന്റെ അർധകോണം α 30° യെന്നു നമുക്ക് സങ്കല്പിക്കാം. ചിത്രം 4–2, 4–3 എന്നിവയനുസരിച്ച് ഈ ശരാശരി മൂല്യം യുക്തിസഹമായിരിക്കും. ചിത്രം 4.4 ലെ കോണിനാൽ അന്തഃഛേദിതമാകുന്ന വിസ്തീർണം a ഗോളത്തിന്റെ ആകെ വിസ്തീർണത്തിന്റെ 1/15 നോടടുത്തതായിരിക്കും. അപ്പോൾ P 3×10^{5} വാ/ഹെ. യായി കുറയുന്നു.

സ്പന്ദത്തിലെ ഊർജത്തിന്റെ അളവ് തിട്ടപ്പെടുത്താമെന്ന നിലയിലാണ് നാം ഇപ്പോൾ. ഒരു മാതൃകാ സ്പന്ദത്തിന്റെ ബാൻഡ് വീതി 1 മെ. ഹെ. ആണെന്നും വർണരാജീപഠനങ്ങൾ വ്യക്തമാകുന്നതിനാൽ വികിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന ആകെ പവർ $P_T = 3 \times 10^{5} \times 10^{6} = 3 \times 10^{11}$ വാട്ട്സ് അഥവാ 3×10^{8} കി: വാ. അവസാനമായി സ്പന്ദത്തിന്റെ ശരാശരി കാലം 1 സെക്കന്റ് എന്നെടുക്കുമ്പോൾ സ്പന്ദത്തിലെ ഊർജം 3×10^{11} ജൂൾസ് എന്നു ലഭിക്കും.

കൂടുതൽ പരിചിതങ്ങളായ പരിമാണങ്ങളായിപ്പറഞ്ഞാൽ ഈ സംഖ്യകൾ എന്താണർഥമാക്കുന്നതു്. 3×10^{8} കി: വാ വിദ്യുത്ജനകശേഷി എന്നതു് ഐക്യനാടുകളിലാകെയുള്ള പവർ പ്ലാൻറുകളുടെ മൊത്തംശേഷിയേക്കാളും കൂടുതലാണ്. ഒരു സ്പന്ദത്തിലെ ഊർജത്തെ ഒരു ടൺ ടി. എൻ. ടി യുടെ സ്ഫോടകശക്തിയുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തിപ്പറയാം. ഇത്ര ടൺ ടി. എൻ. ടി. എന്ന മാത്രയാണ് ഗുണത്തിനായാലും ദോഷത്തിനായാലും നമ്മുടെ പത്രപാരായണക്കാർക്കൊക്കെ സുപരിചിതമായിട്ടുള്ളതു്. ഒരു ടൺ ടി. എൻ. ടി യുടെ സ്ഫോടനഫലമായി 4×10^{9} ജൂൾസ് ഊർജം വിമോചിതമാക്കപ്പെടുന്ന

... വ്യാഴസ്പന്ദത്തിലെ റേഡിയോ ഊർജം 75 ടൺ ടി. എൻ. ടി ...മാനമാണെന്നു പറയാം. ഈ സംഖ്യയുടെ നിസ്സാരതയിൽ നിരാശനാ... വായനക്കാരനു അശനിപാതം (മിന്നൽ ആഘാതം) സൗരാഘാതതരംഗങ്ങൾ തുടങ്ങിയ മററു പ്രകൃതി പ്രതിഭാസങ്ങളിൽ ആകെ ഊർജത്തിൻെറ ലക്ഷത്തിലൊരംശം മാത്രമേ റേഡിയോ തരംഗങ്ങളായി രൂപാന്തപ്പെടുന്നുള്ളവെന്ന ആർ. എം. ഗാല്ലാറി ൻെറ നിരീക്ഷണം അല്പം ആശ്വാസം പകർന്നുകൊടുക്കും. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ ഈ സ്പന്ദത്തിനു നിദാനമായ വ്യാഴപ്രവർത്തനത്തിൽ 10^{16} ജൂംസ് അതായതു് ടി, എൻ. ടി. തോതിൽ "മെഗാടൺ" കുണക്കിനു ഊർജം അന്തർഭവിച്ചിരിക്കണം. ഡെക്കാ മീററർ വികിരണം ലഘുവായ താപോർജം തന്നെയാണെന്നു ഒരാശം ദുശ്ശാഠ്യം പിടിക്കുകയാണെങ്കിൽ, നിരീക്ഷണവിധേയമായ 5 മെ. ഹെ. ഫ്ളക്സ് ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്നതിനു് എന്തു് താപനില ആവശ്യമായി വരും? വ്യാഴോപരിതലത്തിൽ എല്ലായിടത്തു നിന്നും വികിരണം വരുന്നുവെന്നു നാം സങ്കല്പിക്കുകയാണെങ്കിൽ പോലും സമീകരണം 3–5 പ്രകാരം താപനില 3×10^{15} °K എന്ന അതിഭീമമായ ഒരു മൂല്യത്തിലെത്തും. ഉപരിതലത്തിലെല്ലായിടത്തു നിന്നും എന്നതിനേക്കാളുപരി പരിമിതമായ ഭാഗത്തുനിന്നുമാത്രമേ റേഡിയോ സിഗ്നലുകൾ വരുന്നുള്ളവെന്നു നാം കണ്ടു കഴിഞ്ഞ സ്ഥിതിക്കു് ഈ ഭാഗങ്ങൾ 3×10^{15} °k യിലേറെ തപ്തമായിരിക്കണമെന്നതാണു് കൂടുതൽ വഷളായ മറെറാരു സത്യം. ഏററവും തപ്തമായ നക്ഷത്രങ്ങൾക്കുപോലും കേവലം 10^{5} °k ഉപരിതല താപനിലയേയുള്ളു. വ്യാഴത്തിൻെറ ഡെക്കാമീററർ ഊർജം വെറും താപവികിരണമാണെന്നു് ആരും വിശ്വസിക്കാത്തതിൻെറ പൊരുൾ ഇപ്പോൾ വ്യക്തമായല്ലോ? സൂക്ഷ്മതരംഗദൈർഘ്യയിൽപ്പോലും സമീകരണം 3.5 പട്ടിക 4–1 ൽ കാണിച്ചിട്ടുള്ളതുപോലെ വാസ്തവമായിരിക്കാനിടയില്ലാത്തവിധം ഉയർന്ന താപനിലയാണു് വിഭാവനം ചെയ്യുന്നതു്. 10 സെ. മീ കുറഞ്ഞ തരംഗനീളങ്ങളിലേത്തുമ്പോൾ മാത്രമേ വികിരണം പ്രധാനമായും താപീയമാണെന്നു തോന്നുന്നുള്ളു.

വ്യാഴത്തിലെ ഇടിമിന്നൽ

വ്യാഴറേഡിയോരവത്തിൻെറ ഉല്പത്തിയെപ്പററിയുള്ള അനുമാനങ്ങൾക്കു് ഒരിക്കലും ഒരു ലോപവുമുണ്ടായിട്ടില്ല. 1955 ൽ ബർക്കും ഫ്രാങ്ക്ളിനും ഡെക്കാമീററർ ഉൽസർജനങ്ങൾ കണ്ടുപിടിച്ച് അധികം താമസിയാതെ തന്നെ നേച്ചർ എന്ന ശാസ്ത്രമാസികയുടെ പത്രാധിപന്മാർ ഇപ്രകാരമെഴുതുകയുണ്ടായി. "പ്രക്ഷേപണസ്വീകരണി (റേഡിയോ റിസീവർ) യിൽ ഇടിമിന്നൽ മൂലമുണ്ടാകുന്ന വ്യതികരണങ്ങളോടു സദൃശമായ ഹ്രസ്വവും അനിയമിതവുമായ സ്ഥിതിക ഉൽസർജനങ്ങളുടെ രൂപഭാവങ്ങളോടുകൂടിയവയാണു് ഈ റേഡിയോ ഉൽസർജനങ്ങളെന്നു റിപ്പോർട്ടു ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലെ മിന്നൽ പിണർപ്പോലെയുള്ളവയും എന്നാൽ അവയേക്കാൾ കൂടിയതോതിൽ ഗ്രഹാന്തരീ

ക്ഷത്തിൽ നടക്കുന്നതുമായ വിക്ഷോഭങ്ങൾ മൂലമുണ്ടാകുന്നവയാണ് [illegible] ഗ്നലുകളെന്നും അഭിപ്രായമുണ്ടായിട്ടുണ്ട്.''[7]

ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലെ അശനിപാതങ്ങളോട് വ്യാഴ ഉൽസർജ്ജനങ്ങളെ എങ്ങനെ താരതമ്യപ്പെടുത്താം. വ്യാഴത്തിലേക്ക് മാററപ്പെടുകയാണെങ്കിൽ ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലെ ഇടിമിന്നലുകൾ നിർദ്ദേശിക്കാനാവുമോ? മിന്നലുണ്ടാകുമ്പോൾ 5 മെ. ഹെ. ആവൃത്തിയിൽ ഏകദേശം 4×10^{15} വാ/ഹെ. പവർ വികിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഈ ഊർജ്ജം എല്ലാദിശകളിലേക്കും തുല്യമായി ഉൽസർജ്ജിക്കപ്പെടുന്നുവെന്നു നാം സങ്കൽപിക്കുകയാണെങ്കിൽ വ്യാഴത്തിനോളം അകലെയൊരിടത്തെ ഫ്ലക്സ് ഘനത്വം 10^{-29} വാ/മീ^{2}/ഹെ, ആയിരിക്കും ഈ സിഗ്നൽ ഇന്നുള്ള ഉപകരണങ്ങൾകൊണ്ട് നിർദ്ദേശിക്കാനാവാത്ത വിധം വളരെ ദുർബലമാണെന്നു മാത്രമല്ല വ്യാഴത്തിൽ നിന്നും യഥാർത്ഥത്തിൽ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുള്ള ശക്തമായ 5 മെ. ഹെ. ഉൽസർജ്ജനത്തേക്കാൾ 11 മടങ്ങു ശക്തി കുറഞ്ഞവയുമാണ്. റേഡിയോ സിഗ്നലുകൾക്ക് നിദാനം വ്യാഴത്തിലെ ഇടിമിന്നലുകളാണെങ്കിൽ അവ തീർച്ചയായും വൻതോതിലുള്ളവയായിരിക്കണം.

പ്രസ്തുത ഇടിമിന്നൽ സിദ്ധാന്തം ഡെക്കാമീററർ വികിരണത്തിന് സരളവും സ്വാഭാവികവുമായ വിശദീകരണം നൽകുന്നെങ്കിൽ തന്നെയും 1955 ൽ തന്നെ ബ്രിട്ടീഷ്ഖഗോളവിജ്ഞാനിയായ എഫ്. ജീ. സ്മിത്ത് അതിനെ ചോദ്യം ചെയ്യുകയുണ്ടായി. ഇതിനൊരുപോംവഴിയെന്ന നിലക്ക് ഗ്രഹാന്തരീക്ഷത്തിൻെറ വിഭിന്ന ഘൂർണനം—അതായത് വ്യാഴോപരിതലത്തിന് ആപേക്ഷികമായും പരസ്പരാപേക്ഷമായും വിവിധ മേഘ ബെൽററുകളുടെ വഴുതി നീങ്ങൽ—ആയിരിക്കണം റേഡിയോ ഉൽസർജ്ജനത്തിനാവശ്യമായ ഊർജ്ജം പ്രദാനം ചെയ്യുന്നതെന്ന് സ്മിത്ത് നിർദ്ദേശിക്കുകയുണ്ടായി.[3] ഈ ഘൂർണന ഊർജ്ജം എങ്ങനെ റേഡിയോ സിഗ്നലുകളായി രൂപാന്തരപ്പെടുന്നുവെന്നു വിശദീകരിക്കുവാൻ സ്മിത്തിനു കഴിഞ്ഞില്ല. എന്നാൽ ഒരു ഡൈനാമോ മെക്കാനിസം ഇതിനൊരുത്തരം നൽകിയേക്കാമെന്ന് 1960 ൽ പ്രിൻസടണിലെ ജി. ബി. ഫീൽഡ് ചൂണ്ടിക്കാണിക്കുകയുണ്ടായി.[4] ഡൈനാമോയിൽ, യന്ത്രത്തിൻെറ കമ്പിച്ചുററുകളാൽ കാന്തികഫ്ലക്സ് വിച്ഛേദിക്കപ്പെടുന്നതുപോലെ ഗ്രഹത്തിൻെറയും ഗ്രഹാന്തരീക്ഷത്തിൻെറയും വിഭിന്ന ഘൂർണനഫലമായി വ്യാഴ കാന്തമണ്ഡലം അന്തരീക്ഷത്തിലെ വാതകങ്ങളെ മുറിച്ചു കടന്നു പോകുന്നുവെന്നു സാരം. അനുകൂലസാഹചര്യങ്ങളിൽ—ഗ്രഹത്തിൻെറ നേർത്ത ഉപര്യന്തരീക്ഷത്തിൽ ഈ പ്രവർത്തനഫലമായി സ്ഫുലിംഗനിസ്ചാർജ്ജനം നടക്കാൻ വേണ്ടത്ര ശക്തമായ വിദ്യുത്മണ്ഡലങ്ങളുണ്ടായേക്കാനിടയുണ്ടെന്ന് ഫീൽഡ് സമർത്ഥിച്ചു. ഈ പരികൽപനയും ഇടിമിന്നൽ സിദ്ധാന്തത്തോടു സാദൃശ്യമുള്ളതാണെങ്കിലും, ചില പ്രധാന വൈഷമ്യങ്ങൾ ദൂരീകരിക്കുവാൻ പാകത്തിൽ അതു് മേൽപറഞ്ഞതിൽ നിന്നു വ്യത്യസ്തമാണ്. എന്നാൽ ചില സമീപകാല സിദ്ധാന്തങ്ങൾ, വ്യാഴ റേഡിയോ സിഗ്നലുകളുടെ ഉറവിടം

പ... നിഷ്ചാർജനംആയിരിക്കാമെന്ന വാദത്തെ പാടേ തള്ളിക്കളഞ്ഞിരിക്...വന്നതേയുള്ളൂ.

പ്ലാസ്മാദോലനങ്ങൾ

ഏതാനും വർഷം മുമ്പുവരെ 'പ്ലാസ്മ' എന്ന പദം, വാതകങ്ങളിലൂടെയുള്ള വിദ്യുത് നിഷ്ചാർജനത്തിൽ പ്രത്യേകപഠനം നടത്തിയ ഒരു സംഘം ആളുകൾക്കുമാത്രം പരിചിതമായ ഒന്നായിരുന്നു. പൊടുന്നനെ "പ്ലാസ്മ ഭൗതികം" ശാസ്ത്രത്തിന്റെ ഒരു പ്രധാനപ്പെട്ട നൂതനമേഖലയായിത്തീർന്നു. ഹൈഡ്രജൻ ബോംബിനെ മെരുക്കിയെടുക്കുന്നതിനും അണുകേന്ദ്രസംലയന പ്രതിക്രിയകളിൽ നിന്നും ഉപയോഗപ്രദമായ ശക്തി ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്നതിനുമുള്ള പരിശ്രമങ്ങളിൽ പ്ളാസ്മവഹിക്കുന്ന സുപ്രധാന പങ്ക് അതിവേഗം വർധിച്ചുവരുന്നതാണിതിനു കാരണം. എന്താണ് പ്ളാസ്മ? വാസ്തവത്തിൽ അയണനം സംഭവിച്ച വാതകം എന്നതിൽ കവിഞ്ഞൊന്നുമല്ല അത്. നൂതനത്വവും മോഹനത്വവുമുള്ള ഒരു അഭിധാനം അത് ആർജിച്ചിരിക്കുന്നുവെന്നുമാത്രം. ഒരു ഫ്ളൂറസൻറ് ദീപത്തിന്റെ (ട്യൂബ് ലൈററിന്റെ) വെളിച്ചത്തിൽ ഈ പുസ്തകം വായിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ആളിന്റെ തൊട്ടടുത്തുതന്നെ സേവനനിരതനായ ഒരു പ്ളാസ്മയുണ്ട്. ദീപത്തിലെ മിന്നിത്തിളങ്ങുന്ന മെർക്കുറി ബാഷ്പം പ്രധാനമായും പ്ളാസ്മയാണ്.

സാധാരണയായി, ഇലക്ട്രോണുകളും ധന അയോണുകളും പ്ളാസ്മയിലുടനീളം ഏകമാനമായി കൂടിക്കലർന്നിരിക്കുന്നു. അക്കാരണത്താൽ ഒരു ചെറിയ വ്യാപ്തം പ്ളാസ്മ വൈദ്യുതപരമായി ഉദാസീനമായിരിക്കും. എന്നാൽ താരതമ്യേന ഭാരക്കുറവുള്ള ധന അയോണുകളെക്കാൾ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഗതിശീലനമുള്ളവയാണ്. ഏതെങ്കിലുമൊരു വിക്ഷോഭമുണ്ടായാൽ അത് വിജാതീയ ചാർജുകളെ തൽക്കാലത്തേക്ക് വേർപെടുത്തിയെന്നുവരാം. ഈ വിക്ഷോഭബലം നീക്കിയാലുടൻ തന്നെ, ധനചാർജുകളും ഋണചാർജുകളും തമ്മിലുള്ള ആകർഷണം, സന്തുലിതാവസ്ഥ വീണ്ടെടുക്കാൻ ശ്രമിക്കുന്നു. അതിനുള്ള യത്നത്തിൽ കണങ്ങൾ അവയുടെ ആദ്യസ്ഥാനങ്ങൾ മറികടന്ന് അപ്പുറത്തേക്ക് നീങ്ങുകയും അങ്ങനെ ദോലന ചലനം ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്യുന്നു.

വ്യാഴത്തിന്റെ ഡക്കാമീററർ വികിരണത്തിനു കാരണം പ്രസ്തുത ഗ്രഹത്തിന്റെ അയണമണ്ഡലത്തിലെ പ്ലാസ്മദോലനങ്ങളായിരിക്കാമെന്ന് 1958 ൽ റഷ്യൻ സൈദ്ധാന്തികനായ വി. വി ഷെലസ്നിയാകോവ് (V. V. Zheleznìakov) അഭിപ്രായപ്പെടുകയുണ്ടായി.[5] ഷെലസ്നിയാകോവിന്റെ അഭിപ്രായത്തിൽ വ്യാഴ അന്തരീക്ഷത്തിലുണ്ടാകുന്നുവെന്നു തെളിയിക്കപ്പെട്ട അനിയന്ത്രിതമായ കടച്ചിൽ മൂലം ഗ്രഹത്തിന്റെ കാന്തമണ്ഡലത്തിൽ അയണമണ്ഡലപ്ലാസ്മയ്ക്ക് ശീഘ്രസ്ഥാനാന്തരം ഉണ്ടാകാനിടയുണ്ടത്രേ. ഇത്തരം സ്ഥാനാന്തരങ്ങൾ സ്ഥാനീകൃത വിദ്യുത്മണ്ഡലങ്ങളുടെ രൂപീകരണത്തെ പ്രേരിപ്പിക്കുന്നു. ഇവിടം വരെ നമ്മുടെ റഷ്യൻ ശാസ്ത്രകാരന്റെ സിദ്ധാന്തം ഫീൽഡിന്റെ ഡൈ

നമോ മെക്കാനിസത്തോടു സാദൃശ്യമുള്ളതാണ്. എന്നാൽ, ഷെലച[illegible]യാകോവ്, പ്രേരിതമണ്ഡലത്തെ പ്ലാസ്മദോലനങ്ങൾ തുടങ്ങുന്നതിനാവ[illegible]യ വെറും പ്രാരംഭവിക്ഷോഭങ്ങളായി മാത്രമേ ഉപയോഗപ്പെടുത്തുന്നുള്ളു. പ്ലാസ്മ ദോലനം അനുദൈർഘ്യതരംഗമാണ്. സാധാരണയായി അതിന് വിദ്യുത് കാന്തികവികിരണത്തെ ഉത്തേജിപ്പിക്കുവാൻ സാധ്യമല്ല; കാരണം, രണ്ടാമതു പറഞ്ഞവ അനുപ്രസ്ഥതരംഗ*മാണ്. വ്യാഴ അയണമണ്ഡലത്തിലെ ഇലക്ട്രോൺ ഘനത്വം ഒട്ടുംതന്നെ ഏകമാനമല്ലെന്നും, അത്തരം സാഹചര്യങ്ങളിൽ പ്ലാസ്മദോലനങ്ങൾ റേഡിയോതരംഗങ്ങളായി രൂപാന്തരപ്പെടാൻ സാധ്യതയുണ്ടെന്നും ഷെലസ്നിയാകോവ് വാദിച്ചു. വിവിധതരം സൗരറേഡിയോ ബഹിർഗമനങ്ങൾക്കു നിദാനം പ്ലാസ്മദോലനങ്ങളാണെന്ന് ഇതിനോടകം അംഗീകരിക്കപ്പെട്ടു കഴിഞ്ഞിരിക്കുന്ന സ്ഥിതിക്ക് ഈ സിദ്ധാന്തം കൂടുതൽ യുക്തിസഹമായി തോന്നി.

ഈ സിദ്ധാന്തത്തെ പിന്താങ്ങിയതു് ഷെലസ്നിയാകോവ് മാത്രമായിരുന്നില്ല. ഗാലററ് (Gallet), ആസ്ട്രേലിയാക്കാരായ എഫ്.എഫ്.ഗാർഡ്നർ, സി. എ. ഷെയ്ൻ എന്നിവർ ഗ്രഹോപരിതലത്തിലെ അഗ്നിപർവതസ്ഫോടനങ്ങളിൽ നിന്നും ഉയർന്നുപൊങ്ങുന്ന ഷോക്തരംഗങ്ങൾ വ്യാഴ അയണമണ്ഡലത്തെ ദോലനം ചെയ്യിക്കുമെന്ന് കൗതുകകരമായ ഒരു നിർദ്ദേശം ഉന്നയിക്കുകയുണ്ടായി. വ്യാഴത്തിലെ അഗ്നിപർവതങ്ങൾ എന്ന സങ്കൽപം പ്രസ്തുത ഗ്രഹം തപ്തദീപ്തമായിരുന്നുവെന്നു കരുതപ്പെടുന്ന ആ പ്രാചീന കാലങ്ങളിൽ നിന്നും ഉരുത്തിരിഞ്ഞുവരുന്ന ഒന്നാണ്. തിളച്ചുമറിയുന്ന നരകലോകമെന്ന് വ്യാഴത്തെപ്പററി നമുക്കുണ്ടായിരുന്ന സങ്കൽപം തണുത്തുറഞ്ഞ ഹിമലോകമെന്ന് മാറിമറിഞ്ഞുവന്ന കാലയളവിലെല്ലാം ഈ സങ്കൽപം അഭംഗുരം നിലനിന്നുപോന്നു.

സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള കണങ്ങൾ

വ്യാഴത്തിൻെറ റേഡിയോ ഉത്സർജനം സൂര്യനുമായി ബന്ധപ്പെട്ടതായിരിക്കാമെന്ന് സന്ദേഹിക്കുന്നതിൽ സാംഗത്യമുണ്ടെന്ന് നാലാം അധ്യായത്തിൽ നാം കണ്ടു. സൂക്ഷ്മതരംഗമേഖലയിലും ഡെക്കാമീററർ മേഖലയിലും, സൗരോത്സർജനങ്ങളെ തുടർന്ന് വ്യാഴപ്രവർത്തനത്തിൽ വർധനയുണ്ടാകുന്നതായി നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. ഈ ബന്ധം സാധുവാണെന്നു തെളിയിക്കപ്പെടുകയാണെങ്കിൽ, മേൽപറഞ്ഞ രണ്ടു വസ്തുക്കളെയും തമ്മിൽ ബന്ധിപ്പിക്കുന്ന മെക്കാനിസത്തിൻെറ പ്രകൃതം എന്തായിരിക്കും?

'ജ്വാല'കളെന്നു നാം വിളിക്കുന്ന അസാധാരണമായ സൗരസ്ഫോടനങ്ങൾ നടക്കുന്ന സമയത്തു് സൂര്യൻ സ്പേസിലേക്കു വമിക്കുന്ന ചാർജിതകണങ്ങളുടെ—പ്രധാനമായും ഇലക്ട്രോണുകളും പ്രോട്ടോണുകളും—മഹാപ്രവാഹത്തിൽ ഇതി

---

* അനുദൈർഘ്യതരംഗത്തിൽ ദോലനചലനം മുമ്പോട്ടും, പിമ്പോട്ടും, അതായതു് തരംഗചലന ദിശയ്ക്കു സമാന്തരമാണ്. അനുപ്രസ്ഥതരംഗത്തിൽ ദോലനം തരംഗചലനദിശയ്ക്ക് ലംബമാണ്.

നെ... കണ്ടെത്താൻ കഴിഞ്ഞേക്കാം. ഭൂമിയെ കടന്ന് ഒഴുകിപ്പോകുന്ന ഈ ക...ങ്ങൾ നാനാതരത്തിലുള്ള വിക്ഷോഭങ്ങളുളവാക്കുന്നതായി നാം കണ്ടു കഴിഞ്ഞു. ഈ സൗരവസ്തുക്കളിൽ ചിലതിനെ ഭൂമിയുടെ കാന്തമണ്ഡലം പിടിച്ചെടുക്കുന്നതുകൊണ്ടാണ് നമ്മുടെ ഗ്രഹത്തിനു ചുററുമുള്ള വാൻ അല്ലൻ വികിരണ ബൽററ് രൂപം കൊള്ളുന്നതും നിലനിന്നുപോരുന്നതെന്നും വിശ്വസിക്കപ്പെടുന്നു. ഈ സൗരകണപ്രവാഹങ്ങൾ അവസാനം വ്യാഴത്തിലെത്തുന്നതായി നാം സങ്കൽപിക്കുകയാണെങ്കിൽ അവിടെയും ഇതുപോലുള്ള പ്രതിഭാസങ്ങൾ ഉണ്ടായിക്കൂടെന്നില്ല. കണങ്ങളിൽ പലതും വ്യാഴകാന്തമണ്ഡലത്തിൻെറ 'കെണിയിൽപ്പെട്ടെന്ന്' വരാം. വ്യാഴത്തിനു ചുററും ഒരു സൂക്ഷ്മതരംഗ പ്രഭാവലയം വാസ്തവത്തിൽ നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടതോടെ ഈ ചിത്രത്തിൻെറ സാധുതയെപ്പററിയുണ്ടായിരുന്ന സന്ദേഹങ്ങളെല്ലാം ദൂരീകരിക്കപ്പെട്ടു. വ്യാഴത്തിൻെറ റേഡിയോസ്പെക്ട്രത്തെപ്പററി ഈ അടുത്ത കാലത്തുണ്ടായ സിദ്ധാന്തങ്ങളിൽ പലതും, ഒരു വ്യാഴ വികിരണ ബൽററിനുള്ളിൽ തടവിലാക്കപ്പെട്ട ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സിഗ്നൽ ഉത്സർജനത്തെ ആധാരമാക്കിയുള്ളവയാണ്,

ഡെക്കാമീററർ വികിരണം

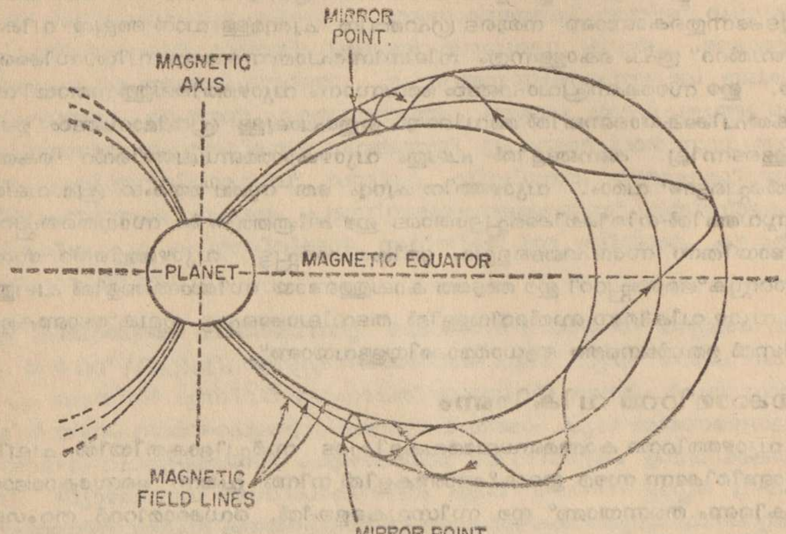
വ്യാഴത്തിൻെറ കാന്തമണ്ഡലരേഖകളിലൂടെ സർപ്പിളാകൃതിയിൽ ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന സൗര ഇലക്ട്രോണുകളിൽ നിന്നും വരുന്ന സൈക്ലോട്രോൺ വികിരണം തന്നെയാണ് ഈ സിഗ്നലുകളെങ്കിൽ, ഡെക്കാമീററർ തരംഗങ്ങളുടെ ദീർഘവൃത്ത ധ്രുവണത്തിനൊരു വിശദീകരണം നൽകാനാവുമെന്ന് 1958 ൻെറ തുടക്കത്തിൽ തന്നെ ററി. ഡി. കാർ (T. D. Carr) അഭിപ്രായപ്പെടുകയുണ്ടായി.[7] ഒരു കാന്തമണ്ഡലത്തിനു ലംബമായി ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ചാർജിതകണങ്ങൾ ഒരു വൃത്താകാരഭ്രമണപഥത്തിലൂടെ നീങ്ങുവാൻ നിർബന്ധമായിത്തീരുന്നുവെന്ന് ഏതൊരു ഭൗതികശാസ്ത്രവിദ്യാർഥിക്കും അറിയാം. സൈക്ലോട്രോൺ, ബീററാട്രോൺ എന്നീ ത്വരിത്രങ്ങളുടെ പ്രവർത്തന തത്വം വാസ്തവത്തിൽ ഈ നിയന്ത്രിതചലനം തന്നെയാണ്. ഈ കണങ്ങൾക്ക് കാന്തമണ്ഡല ദിശയിൽ ഒരു പ്രവേഗ ഘടകാംശമുണ്ടെങ്കിൽ അവയുടെ പാത മണ്ഡലരേഖകൾക്കു ചുററുമുള്ള എലിപ്സുക (സർപിളങ്ങ) ളായിരിക്കും.

നാം ചർച്ച ചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്ന തരത്തിൽ കക്ഷ്യകളിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾ കാന്തമണ്ഡലരേഖകൾക്കു ചുററും ഒരു സെക്കൻറിൽ 2.8 B ദശലക്ഷം തവണ കറങ്ങുന്നുണ്ടാവും. ഇവിടെ B ഗോസ് തോതിലുള്ള കാന്തമണ്ഡല തീവ്രതയാണ്. തത്ഫലമായി ഇലക്ട്രോണുകൾ അതേ ആവൃത്തിയിലുള്ള റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ ഉത്സർജിക്കുന്നു.

$$f_c = 2.8\ B \text{ മെ. ഹെ.} \qquad (5\text{–}1)$$

ഇങ്ങനെ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങളെ "സൈക്ലോട്രോൺ വികിരണ"മെന്നും f_c യെ സൈക്ലോട്രോൺ ആവൃത്തിയെന്നുമാണ് സാധാരണയായി വ്യവഹരിക്കാറുള്ളത്. മണ്ഡലരേഖകൾക്ക് നേരെ അഭിമുഖമായോ, അഥവാ അവയ്ക്കു

ലംബമായോ നിലകൊള്ളാത്ത ഏതൊരു നിരീക്ഷകനും അത്തരം ച[illegible]രണം ദീർഘവൃത്തധ്രുവിതമാണെന്നു കാണാവുന്നതാണ്,



ചിത്രം 5–1. ഒരു ഗ്രഹത്തിൻെറ കാന്തമണ്ഡലത്തിലകപ്പെട്ടു പോയ അയോണിൻെറ പ്രക്ഷേപ്യപഥം.

ഒരു ഗ്രഹത്തിൻെറ കാന്തമണ്ഡലത്തിലകപ്പെട്ടു പോയ അയോണിൻെറ പ്രക്ഷേപ്യപഥമാണ് ചിത്രം 5–1 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നത്. മണ്ഡലരേഖകളിലൂടെ സർപ്പിളാകൃതിയിൽ കണങ്ങൾ കാന്തധ്രുവങ്ങളിലൊന്നിലേക്കു നീങ്ങുന്നു. ധ്രുവത്തോടടുത്ത് മണ്ഡലതീവ്രത വർധിക്കുമ്പോൾ അയോണിൻെറ എലിപ്സാകൃതിയിലുള്ള പാത ചുരുങ്ങിച്ചുരുങ്ങി വരികയും അവസാനം കണങ്ങൾ 'പ്രതിഫലന'വിധേയമായി വിപരീത ദിശയിലേക്കു നീങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. ഏതെങ്കിലും വിക്ഷോഭം കാരണം കണങ്ങൾ അവയുടെ സ്ഥിരഭ്രമണപഥത്തിൽ നിന്നും തുത്തെറിയപ്പെടുന്നില്ലെങ്കിൽ ഈ രീതിയിൽ ഒരു ധ്രുവത്തിൽ നിന്നും മറേറ ധ്രുവത്തിലേക്ക് അയോണുകൾക്ക് അനന്തമായി ദോലനം ചെയ്യാൻ കഴിയും. ഇതുപോലെയുള്ള പ്രക്ഷേപ്യപഥങ്ങളിൽ ദോലനം ചെയ്തുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന അത്തരം കണങ്ങളുടെ ഒരു വൻ സമാഹാരം ഒരു വികിരണ ബൽററിന് രൂപം നൽകുന്നു. ചില മേഖലകളിൽ മാത്രം ബൽററുകളുണ്ടാകുന്നതെന്തു കൊണ്ട്, അഥവാ കണങ്ങൾ ആദ്യമായി കെണിയിൽപ്പെടുന്നതെങ്ങനെ? എന്നീ കാര്യങ്ങളുടെ വിശദാംശങ്ങൾ ഭൂമിയുടെ കാര്യത്തിൽപ്പോലും ഇതുവരെയും ശരിക്കും മനസ്സിലാക്കാൻ കഴിഞ്ഞിട്ടില്ല.

...ിൻെറ ഡെക്കാമീററർ വികിരണത്തിൻെറ സൈക്ലോട്രോൺ മാതൃക അ...് വിവിധ ആവൃത്തികളിലുള്ള റേഡിയോ ബഹിർഗമനങ്ങൾ, കാന്ത മണ്ഡ...ിൻെറ വിവിധ മേഖലകളിൽ സർപ്പിളാകൃതിയിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന കണങ്ങളാൽ ഉത്സർജിക്കപ്പെടുന്നവയാണ്. താഴ്ന്ന ആവൃത്തികൾ ഗ്രഹത്തിൻെറ മധ്യരേഖയ്ക്കുമേലുള്ള ദുർബലമായ മണ്ഡലത്തിൽ ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളിൽ വികിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നവയാണെന്നും, ഉച്ച ആവൃത്തികൾ മണ്ഡലം ഏററവും തീവ്രമായിരിക്കുന്ന ധ്രുവമേഖലകളിൽ നിന്നു് വരുന്നവയാണെന്നും സമീകരണം (5–1) വ്യക്തമാക്കുന്നു. മണ്ഡലതീവ്രത കൂടിക്കൂടി വരുന്ന മേഖലകൾ അയോണുകളെ വികർഷിച്ച് അകററുന്നതിനാൽ വളരെ കുറച്ച് ഇലക്ട്രോണുകൾ മാത്രമേ വാസ്തവത്തിൽ ധ്രുവത്തിനു സമീപം എത്തുകയുള്ളു. ഉച്ച ആവൃത്തികളിൽ ഉത്സർജനം പെട്ടെന്നു കുറഞ്ഞുപോകുന്നതു് ഇക്കാരണത്താലാണ്. ആവൃത്തി കൂടുന്തോറും സ്രോതസ്സിൻെറ കോണീയ വ്യാപ്തി ചുരുങ്ങിപ്പോകുന്നതായി തോന്നുന്നതിൻെറ കാരണം ധ്രുവത്തിനു സമീപം ഉച്ച ആവൃത്തികൾക്കുണ്ടാകുന്ന സംകേന്ദ്രീകരണം കൊണ്ടു വിശദമാക്കാം. (ചിത്രം 4–2 കാണുക).

30 മെ. ഹെ. ആവൃത്തിക്കുമേലുള്ള സിഗ്നലുകൾ വളരെ അപൂർവമായേ നിദർശിക്കാറുള്ളുവെന്നു് ചിത്രം 4–6 സൂചിപ്പിക്കുന്നു. അതിൽ നിന്നും സർപ്പിളനം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ സാധാരണയായി പ്രാപിക്കുന്ന കാന്തമണ്ഡലത്തിനു് ഒരു ഉപരിസീമ കല്പിക്കാൻ പ്രയാസമില്ല.

സമീകരണം (5–1) പ്രകാരം

$$B = \frac{f_c}{2.8} = \frac{30}{2.8} \cong 11 \text{ ഗോസ്}.$$

ധ്രുവണമാപനങ്ങളിൽ നിന്നും 1958 ൽ ഈ ഗ്രന്ഥത്തിൻെറ കർത്താക്കൾക്കു ലഭിച്ച 7 ഗോസ്സ് എന്ന മൂല്യത്തിൽ നിന്നും വളരെ അകലെയൊന്നുമല്ല ഇതു്. ഈ കണക്കു കൂട്ടലുകൾ ശരിയാണെന്നു തെളിയിക്കപ്പെടുന്നപക്ഷം വ്യാഴത്തിൻെറ കാന്തമണ്ഡലം നമ്മുടെ ഗ്രഹത്തിൻെറ മണ്ഡലത്തേക്കാൾ വളരെ തീവ്രമായിരിക്കും. കാന്തധ്രുവങ്ങളിൽപ്പോലും ഭൂമിയുടെ മണ്ഡലം 0.7 ഗോസ്സിൽ കവിയുന്നില്ല.

ഡെക്കാമീററർ വികിരണത്തിൻെറ പല സവിശേഷതകളെയും സൈക്ലോട്രോൺ സിദ്ധാന്തം വിശദീകരിക്കുന്നതായി നാം കാണുകയുണ്ടായി. ഈ പരികല്പന, തെളിയിക്കപ്പെട്ടതെന്ന നിലയിൽ നമുക്കു സ്വീകാര്യമെന്നു് ഇതുകൊണ്ടു് അർത്ഥമാക്കേണ്ടതുണ്ടോ? വേണ്ടേവേണ്ട. നമുക്കു തള്ളിക്കളയാനാവാത്ത മററു ചില ഊഹാപോഹങ്ങളും (സങ്കല്പനങ്ങളും) നിലവിലുണ്ടു്. വാർവിക്കി (Warwick) ൻെറ അഭിപ്രായത്തിൽ സിഗ്നലുകൾക്കു നിദാനം 'ഷെറംകോവ് വികിരണം' ആയിരിക്കാം. ചാർജിതകണങ്ങൾ സ്വന്തം വിദ്യുത് കാന്തികതരംഗങ്ങളെ പിന്നിലാക്കികൊണ്ടു് അതിവേഗത്തിൽ ഒരു മാധ്യമത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുമ്പോൾ മാത്രമുണ്ടാകുന്ന ഒരു തരം ഉത്സർജനമാണു് ഷെറൻ

കോവ് വികിരണം.[9] വ്യാഴഗ്രഹത്തിലെത്തുന്ന സൗരകണധാരക[illegible]ണ മണ്ഡലത്തിൽ പ്ലാസ്മദോലനങ്ങളോ, മററു പലതരം തരംഗങ്ങളേപ്ര[illegible]ിക്കുകയും അവയിലേതെങ്കിലുമൊന്നോ പരോക്ഷമായി റേഡിയോ സിഗ്നലുകൾക്ക ജന്മം കൊടുക്കുന്നതിനുമുള്ള സാധ്യതയാണ് മറെറാന്ന്. ഉദാഹരണത്തിന് ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ധാരക്ക് അതിലുള്ള ഊർജം അതുമായി ഏററവു മുട്ടുന്ന ദുർബലമായ വിദ്യുത്കാന്തികതരംഗത്തിലേക്ക് പകർന്നുകൊടുക്കാനും അങ്ങനെ ശക്തമായ ഉത്സർജനങ്ങളുണ്ടാക്കുവാൻ പാകത്തിൽ, തരംഗങ്ങളെ തീവ്രതരമാക്കാനും കഴിഞ്ഞെന്നു വരാം. 'സഞ്ചാരീ–തരംഗ പ്രവർധനം' എന്ന് നാമകരണം ചെയ്യപ്പെട്ട ഈ മെക്കാനിസമാണ് ഭൂമിയിൽ നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള ചില താഴ്ന്ന ആവൃത്തീ സിഗ്നലുകൾക്ക നിദാനമെന്ന് ഗാലററും, ആർ. എ. ഹെല്ലിവെല്ലും (R. A. Helliwell) വിശ്വസിക്കുന്നു.[10] വ്യാഴത്തിൻെറ ഡെക്കാമീററർ വികിരണത്തിന് വിശദീകരണം നൽകാൻ ആവിഷ്കരിച്ച പരികല്പനകൾക്ക് യാതൊരു ലോപവുമില്ലെന്നു വായനക്കാരൻ ഇതിനകം മനസ്സിലാക്കിക്കാണുമല്ലോ. പല സാധ്യതകളിൽ നിന്നും ശരിയായതിനെ തെരഞ്ഞെടുക്കുകയെന്നതാണ് കാതലായ പ്രശ്നം.

സൂക്ഷ്മതരംഗവികിരണം

സൈക്ലോട്രോൺ വികിരണം വ്യാഴത്തിൻെറ ദീർഘതരംഗഉത്സർജനത്തെ വിശദീകരിക്കുമെന്നു നാം കണ്ടുകഴിഞ്ഞു. സൂക്ഷ്മതരംഗ ഉത്സർജനംവിശദീകരിക്കാനും അതിനു കഴിയുമോ? തീരെക്കുറഞ്ഞതു് 3000 മെ ഹെ. നോളം ഉയർന്ന ആവൃത്തികളിലെങ്കിലും താപേതര ഊർജം നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഈ ആവൃത്തിയിൽ ഇലക്ട്രോണുകളെ ചുഴററുന്നതിന് 1100 ഗോസ്കാന്തമണ്ഡലം ആവശ്യമാണെന്നു സമീകരണം 5–1 വ്യക്തമാക്കുന്നു. അത്തരമൊരു മണ്ഡലം ഒരു പക്ഷേ അസാധ്യമല്ലായിരിക്കാം. എന്നാൽ അതു് അസംഭവ്യമെന്നു തോന്നത്തക്ക വിധം തീവ്രതരമാണ്. ഭാഗ്യവശാൽ ഈ വൈതരണി കടക്കാൻ ഒരു വഴിയുണ്ട്. 'ആപേക്ഷിക' പരാസത്തിൽ ഉൾപ്പെടുത്താൻ പാകത്തിൽ ഉയർന്ന ഊർജം സർപ്പിളനം ചെയ്യുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾക്കുണ്ടെങ്കിൽ അതായതു് അതിവേഗം സഞ്ചരിക്കുന്നതിനാൽ ആപേക്ഷികതാവാദം പ്രവചിക്കുന്ന തരത്തിൽ അവയുടെ ദ്രവ്യമാനം ഗണ്യമായി വർധിച്ചിട്ടുണ്ടെങ്കിൽ—അവ മൗലികമായ സൈക്ലോട്രോൺ ആവൃത്തിക്കു പുറമേ അതിൻെറ നിരവധി ഹാർമോണികങ്ങളും വികിരണം ചെയ്യും. അത്തരം ഉത്സർജനത്തെ 'സിംക്രോട്രോൺ വികിരണം'എന്നു വിളിക്കുന്നു. സിംക്രോട്രോൺ എന്നറിയപ്പെടുന്ന അണുകേന്ദ്രത്വരിത്രത്തിലാണ് അവ ആദ്യമായി നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടതു്. ഗ്യാലക്സികളിൽ നിന്നുള്ള കോസ്മിക റേഡിയോരവം, ഒററതിരിഞ്ഞ സ്രോതസ്സുകളുടെ ഉത്സർജനം, ചിലയിനം സൗരഉത്സർജനങ്ങൾ എന്നീ സുപ്രധാന പ്രതിഭാസങ്ങളുടെ ഹേതു സിംക്രോട്രോൺ പ്രക്രിയയാണെന്ന് കരുതപ്പെടുന്നതിനാൽ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ പ്രസ്തുതപ്രക്രിയയിൽ അതീവ താല്പര്യം കാണിക്കുന്നുണ്ട്.

...ക്രോട്രോൺ സിദ്ധാന്തം വ്യാഴത്തിൻെറ സൂക്ഷ്മതരംഗസ്പെക്ട്രം വിശദീ... ...നാവശ്യമായ കാന്തമണ്ഡലത്തെ ഗണ്യമായി കുറയ്ക്കുന്നുണ്ട്. കാരണം ഇ... ...സിദ്ധാന്തപ്രകാരം മൗലികസൈക്ലോട്രോൺ ആവൃത്തി നമ്മുടെ ഇച്ഛാനുസരണം എത്രയും താഴ്ന്നതാവാം. അതിനും പുറമേ ഇലക്ട്രോണുകൾ വേണ്ടത്ര ഊർജസ്വലമാണെങ്കിൽ ഹാർമോണികങ്ങളുടെ എണ്ണം അസംഖ്യമാവുകയും വാസ്തവത്തിൽ നിരീക്ഷിച്ചിട്ടുള്ളമാതിരി വിശാലമായ ഒരു സന്തത സ്പെക്ട്രം രൂപം കൊള്ളുകയും ചെയ്യുന്നു. കുറെക്കൂടി വിശദമായ സിദ്ധാന്തങ്ങൾ പല ശാസ്ത്രജ്ഞന്മാരും ആവിഷ്കരിട്ടുണ്ട്. പ്രിൻസ്ടണിലെ ഫീൽഡ് കാലിഫോർണിയാ ഇൻസ്റ്റിററ്യൂട്ട് ഓഫ് ടെക്നോളജിയിലെ ജെ. എ. റോബർട്ട്സ്, ജി. ജെ. സ്റ്റാൻലി എന്നിവർ അക്കൂട്ടത്തിൽപ്പെടുന്നു. [11, 12] നമ്മുടെ വാൻ അല്ലൻ ബെൽററിനു സമാനമായി വ്യാഴത്തിലുള്ള ബെൽററിനുള്ളിൽ അകപ്പെടുന്ന ശീഘ്ര ഇലക്ട്രോണുകളിൽ നിന്നുമുള്ള സിങ്ക്റോട്രോൺ ഉത്സർജനമാണ്, സൂക്ഷ്മതരംഗ ഊർജത്തിലേറിയ പങ്കിനും നിദാനമെന്നു ഇന്നിപ്പോൾ തോന്നുന്നു. സിങ്ക്റോട്രോൺ പ്രക്രിയ രേഖാധ്രുവിതവികിരണം ഉല്പാദിപ്പിക്കുന്നതിനാൽ നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള ധ്രുവണപ്രഭാവങ്ങളെയും ഈ രീതിയിൽ വിശദീകരിക്കാനാവും.

വികിരണബെൽററിൻെറ അനിയതമായ അനുപാർശ്വചലനവും തത്ഫലമായുണ്ടാകുന്ന ധ്രുവണ തല ദോലനവും എങ്ങനെ വിശദീകരിക്കാം? വ്യാഴത്തിൻെറ കാന്തമണ്ഡലം ഘൂർണനാക്ഷവുമായി 9° യോളം ചരിഞ്ഞിരിക്കുകയാണെങ്കിൽ ഇതു് അനായാസം വിശദീകരിക്കാനാവും. ഒരു വികിരണബെൽററിൻെറ അഭിവിന്യാസം തീർച്ചയായും കാന്തമണ്ഡലത്തിൻെറ അഭിവിന്യാസത്തെ അനുധാവനം ചെയ്യണം എന്നതാണിതിനു കാരണം. ഭൂമിയുടെ കാന്തികാക്ഷം ഘൂർണനാക്ഷത്തിൽ നിന്നും 11° ചരിഞ്ഞിരിക്കുന്നതിനാൽ വാസ്തവത്തിൽ നമ്മുടെ വാൻ അല്ലൻ ബെൽററും ഇതേരീതിയിൽ സ്പേസിൽ പരിഭ്രമണം നടത്തും.

ചിത്രം 4–9 ൽ നാം സൂചിപ്പിച്ചിട്ടുള്ളതുപോലെ വ്യാഴവികിരണ ബെൽററിലെ കാന്തമണ്ഡലം 2 ഗോസിനോളമായിരിക്കണമെന്ന് സിങ്ക്റോട്രോൺ സിദ്ധാന്തം വ്യഞ്ജിപ്പിക്കുന്നു. അങ്ങനെയെങ്കിൽ വ്യാഴത്തിൻെറ മധ്യരേഖയിൽ ഉപരിതലമണ്ഡലം 50 ഗോസ് ആയിരിക്കണം. ഭൂമിയുടെ മധ്യരേഖാമണ്ഡലത്തിൻെറ 150 മടങ്ങും കൂടുതലാണിതു്. ഡെക്കാമീററർ തരംഗങ്ങൾ മധ്യരേഖയ്ക്കും ധ്രുവങ്ങൾക്കുമിടയിൽ മണ്ഡലരേഖയിലുടനീളം ഉത്ഭവിക്കുന്നവയാണെങ്കിൽ ഈ മൂല്യങ്ങൾ പേജ് 117 ലെ കണക്കാക്കപ്പെട്ട മൂല്യങ്ങളുമായി തികച്ചും പൊരുത്തപ്പെടുന്നവയാണ്. നിരീക്ഷിക്കപ്പെട്ടിട്ടുള്ള സൂക്ഷ്മതരംഗ ഉത്സർജനമുണ്ടാക്കുന്നതിനുണ്ടായിരിക്കേണ്ട ആപേക്ഷിക ഇലക്ട്രോണുകളുടെ വൻതോതിലുള്ള ഫ്ളക്സിനൊരു വിശദീകരണം നൽകുകയെന്നതാണ് ഇനി അവശേഷിക്കുന്ന പ്രധാനപ്രശ്നം. ദ്രവകാന്തികതരംഗങ്ങൾ എന്നറിയപ്പെടുന്ന തരംഗങ്ങൾ അഥവാ സൗരപ്ളാസ്മാധാരകൾ ഗ്രഹവുമായി സംഘ

ട്ടനത്തിലേർപ്പെടുമ്പോൾ ഗ്രഹത്തിൻെറ ബാഹ്യാന്തരീക്ഷത്തിലുണ്ട[illegible] ഗ്ഗം ക്ഷോഭങ്ങൾ ഹേതുവായി ഇലക്ട്രോണുകൾ ആവശ്യമായ പ്രവേശഞ്ചം [illegible] തരിപ്പിക്കപ്പെടുന്നതായി ഹാർവാർഡിലെ എം. എസ്. റോബ[illegible]ട്ടും (M. S. Roberts) ഹഗിനിനും (Huguenin) വിഭാവനം ചെയ്തു.

ഏതായാലും ഈ ദീപഗ്രഹം അതിൻെറ രഹസ്യങ്ങളൊന്നും അത്ര പെട്ടെന്ന് വെളിപ്പെടുത്തുന്നില്ല. സൗരപ്രവർത്തനങ്ങളുടെ പ്രതികരണമെന്നോണം ഏററക്കുറച്ചിലുകളുണ്ടാകുന്നത് വ്യാഴത്തിൻെറ താപേതര ഉത്സർജനത്തിലെ ധ്രുവിത ഘടകാംശകത്തിനു മാത്രമാണെന്നു 1962 ൽ റോബർട്ട്സും ഹഗിനിനും കണ്ടുപിടിച്ചു. മറേറ ഘടകാംശത്തിൻെറ ഉല്പത്തി വിഭിന്നമാണെന്ന് ഇത് വ്യഞ്ജിപ്പിക്കുന്നു. സൂക്ഷ്മതര ഊർജം തീരെക്കുറഞ്ഞതു് മൂന്നു ഘടകങ്ങളുടെയെങ്കിലും ഒരു മിശ്രമാണെന്ന് ഇന്നിപ്പോൾ തോന്നുന്നു. ഏകദേശം 140°k താപനിലയ്ക്കു സംഗതമായി ഗ്രഹോപരിതലത്തിൽ നിന്നുമുള്ള സാധാരണ താപവികിരണം, വികിരണ ബൽററിലെ ഇലക്ട്രോണുകളിൽ നിന്നുമുള്ള സിങ്ക്റോട്രോൺ ഉത്സർജനം അജ്ഞാതമായ ഉല്പത്തിയോടു കൂടിയ മൂന്നാമതൊരു ഘടകം എന്നിവയാണിവ. ഈ അവസാനഘടകം ആരോ അഭിപ്രായപ്പെട്ടതു് പോലെ വിഭിന്നമായ സ്തരത്തിൽ നിന്നുമുള്ള താപവികിരണമാണെങ്കിൽ 2000°k യ്ക്കു മീതെയുള്ള ഒരു താപനിലയെ അതു സൂചിപ്പിക്കും. വ്യാഴത്തിൻെറ അയണമണ്ഡലത്തിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾക്കുണ്ടാവുന്ന അനിയമിത ചലനം ഹേതുവായിട്ടും അതുണ്ടാകാം. പക്ഷേ അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ ഈ അയണമണ്ഡലത്തിന് ഭൗമ—അയണമണ്ഡലത്തിൻെറ 100 മടങ്ങ് ഘനത്വവും 5 മടങ്ങ് കനവും ഉണ്ടായിരിക്കണം. ഈ നിബന്ധനകളൊന്നും തന്നെ സംഭാവ്യമല്ലെന്നു തോന്നുന്നതിനാൽ നമ്മുടെ മുമ്പിൽ മറെറാരു നിഗൂഢരഹസ്യം കൂടി ഇന്നു അവശേഷിച്ചിരിക്കുന്നു.

തീവ്രമായ റേഡിയോ ഉത്സർജനത്തിൻെറ ഉറവിടമായ ഒരു വികിരണ ബെൽററിനാൽ വ്യാഴം ചുററപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെങ്കിൽ നമ്മുടെ വികിരണ ബെൽററിൽ നിന്നുമുള്ള ശക്തമായ സിഗ്നലുകളാൽ നാം എന്തുകൊണ്ട് വീർപ്പുമുട്ടുന്നില്ല എന്നു ആരും അതിശയിച്ചുപോകും. തീർച്ചയായും അവ വ്യാഴത്തിൻെറ വികിരണ ബൽററിനേക്കാൾ വളരെ സമീപസ്ഥമാണ്? ചുററുമുള്ള കാന്തമണ്ഡല തീവ്രതയ്ക്കു് ആപേക്ഷികമായി ഭൂമിയുടെ അയണമണ്ഡലത്തിനുള്ള ഉയർന്ന ഘനത്വമാകും ഇതിനൊരു മറുപടി. ബാഹ്യ വാൻ അല്ലൻ ബെൽററിൻെറ അകലത്തിൽ ഭൂമിയുടെ കാന്തമണ്ഡലം വെറും 0.01 ഗോസ് ആയി കുറയുന്നു. ഈ മേഖലയിൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ സൈക്ലോട്രോൺ ആവൃത്തി വെറും 30 കി. ഹെ. റോളം മാത്രമാണ്. ആന്തരബെൽററിനോടടുത്തു് മണ്ഡലം ഇതിനേക്കാൾ 10 മടങ്ങു ശക്തമാണെങ്കിലും സൈക്ലോട്രോൺ ആവൃത്തി ഇപ്പോഴും വെറും 300 കി. ഹെ. ആകുന്നേയുള്ളൂ. ഇതുപോലെ താഴ്ന്ന ആവൃത്തികൾക്കൊന്നും അയണമണ്ഡലം തുളച്ചുകടക്കാനാവില്ല. അങ്ങനെ വാൻ അല്ലൻ ബൽററിലെ സൈക്ലോട്രോൺ വികിരണത്തിൽനിന്നും

ന... ...പ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. എന്നാൽ സിങ്ക്റോട്രോൺ വികിരണരണത്തിന്റെ കാര്യ... ...യി? അയണമണ്ഡലത്തിലൂടെ കടന്നുപോകാൻ പററിയ ആവൃത്തികളി... ...ക്തമായ സിങ്ക്റോട്രോൺ ഉത്സർജനമുണ്ടാക്കണമെങ്കിൽ ഉയർന്ന ആപേക്ഷികതയുള്ള അസംഖ്യം ഇലക്ട്രോണുകളാവശ്യമാണ്. പ്രത്യക്ഷത്തിൽ അത്തരത്തിലുള്ള കണികകളുടെ ഫ്ളക്സ് ഉണ്ടായിക്കാണാറുമില്ല. ഭൂമിയും വ്യാഴത്തേപ്പോലെ പക്ഷെ വളരെ താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ ഒരു റേഡിയോ സ്പെക്ട്രം ഉത്സർജിക്കുന്നതായി സ്പേസിലുള്ള ഒരു നിരീക്ഷകൻ കണ്ടേക്കുവരാം.

വ്യാഴം കിടയററതോ

ഒരൊററഗ്രഹത്തിനുവേണ്ടിത്തന്നെ നാം രണ്ടു അധ്യായങ്ങൾ ഉഴിഞ്ഞുവയ്ക്കുകയുണ്ടായി. എന്താണിതിനു കാരണം? സൂര്യനെ വലംവയ്ക്കുന്ന വസ്തുക്കളുടെ കൂട്ടത്തിൽ റേഡിയോ തരംഗങ്ങൾ കൂടുതലായി ഉത്സർജിക്കുന്നതു് വ്യാഴമാണെന്നതാണു് ഇതിന്റെ കാരണം. അസാധാരണമാം വിധം താല്പര്യജനകമായ ഒരു സൂക്ഷ്മതരംഗ സ്പെക്ട്രം ശുക്രനുണ്ടെന്നു് മൂന്നാം അധ്യായത്തിൽ നാം കണ്ടു. എന്നാൽ ഒരിക്കൽ റിപ്പോർട്ടുചെയ്യപ്പെട്ട ഡെക്കാമീററർ ഉത്സർജനങ്ങൾ ഒരിക്കലും സ്ഥിരീകരിക്കപ്പെട്ടില്ല. കുജനിലും യുറാനസിലും നടത്തിയ നിരീക്ഷണങ്ങളും ഇന്നത്തെ ഉപകരണങ്ങൾക്കു പ്രാപ്യമായ താപേതര സിഗ്നലുകളെ വെളിപ്പെടുത്തുന്നതിൽ പരാജയപ്പെടുകയാണുണ്ടായതു്.

യേൽ (Yale), ഫ്ളോറിഡാസർവകലാശാല എന്നിവിടങ്ങളിലെ നിരീക്ഷകന്മാർ [14, 15] പല സന്ദർഭങ്ങളിലും ശനിയിൽനിന്നും വന്നേക്കാനിടയുള്ള ഡക്കാമീററർ ഉത്സർജനങ്ങൾ നിദർശിച്ചിട്ടുണ്ടു്. വേർതിരിച്ചറിയാൻ വിഷമമാകും വിധം പ്രസ്തുത വികിരണം എല്ലാ സന്ദർഭങ്ങളിലും അതീവ ദുർബലവും ശീഘ്രവുമായിരുന്നു. ഈ സിഗ്നലുകൾ അവ നിലനിൽക്കുന്നുണ്ടെങ്കിൽ തന്നെയും, വ്യാഴത്തിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളേക്കാൾ തീവ്രത കുറഞ്ഞവയും വളരെ അപൂർവവുമാണെന്ന കാര്യം സ്പഷ്ടം തന്നെ. ശനിയിൽ നിന്നും നാം യഥാർഥത്തിൽ റേഡിയോ ഉത്സർജനങ്ങൾ പ്രതീക്ഷിക്കേണ്ടതുണ്ടോ? ഒരു രീതിയിൽ നോക്കുമ്പോൾ സൗരയൂഥത്തിലെ മറേറതു ഗോളത്തേക്കാളും വലുപ്പത്തിലും കാഴ്ചയിലും ശനി വ്യാഴത്തോടു സാദൃശ്യമുള്ളതാകയാൽ ഈ സാദൃശ്യകാരണം വലയങ്ങളോടുകൂടിയ ഗ്രഹവും (ശനി) ഡെക്കാമീററർ വികിരണം ഉത്സർജിക്കുന്നുവെന്നു നമുക്കു് ന്യായമായും പ്രതീക്ഷിക്കാം. നേരെമറിച്ച് ശനിയുടെ വലയങ്ങൾ ഒരു വികിരണ ബെൽററിന്റെ രൂപീകരണത്തിലിടപെടുകയും തദ്വാര താപേതര റേഡിയോ തരംഗങ്ങളുടെ ഉത്സർജനത്തെ വിഘാതപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്യാനുമിടയുണ്ടു്. ഈ വാദഗതികളിൽ ഏതിനാണു് കൂടുതൽ സാധുതയെന്നു് കണ്ടുപിടിക്കാമെന്ന പ്രത്യാശയോടു കൂടി ഗ്രഹീയ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ ശനിയിലേക്കു് ഉററുനോക്കിക്കൊണ്ടിരിക്കുകയാണു്.

1957 ലെ വസന്തകാലത്തു് ഓഹിയോ സ്റ്റേററ്യൂണിവേഴ്സിററിയിലെയും ബൽജിയം റോയൽ ഒബ്സർവേറററിയിലെയും ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ആറെൻഡ്

റൊനാൽഡ് (Arend Ronald) എന്ന പ്രത്യക്ഷ ധൂമകേതുവിൽ [illegible]ള്ള റേഡിയോ സിഗ്നലുകൾ റിപ്പോർട്ടു ചെയ്യുകയുണ്ടായി (പ്ലേറ്റ് XI [illegible]ക്കുക). ഈ അമേരിക്കൻ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തിയത് 27.6 മെ. ഹെ. ആവൃത്തിയിലാണ്. അതിൽ ഉച്ചതമ ഫ്ളക്സ് 5×10^{-22} വാ / മീ^{2} / ഹെ. ആയിരുന്നു. അതേസമയം ബൽജിയംകാർ 600 മെ. ഹെ. ആവൃത്തിയിൽ 8×10^{-23} വാ / മീ^{2} / ഹെ. ഫ്ളക്സ്മാപനം ചെയ്തു. ആറെൻഡ് റൊനാൽഡിൽനിന്നും ഏതെങ്കിലും ഉത്സർജനം നിദർശിക്കുന്നതിന് മററു ഖഗോള വിജ്ഞാനികൾക്കു കഴിഞ്ഞില്ല. അതിനുശേഷം മററു പല വാൽനക്ഷത്രങ്ങളും സശ്രദ്ധമായ നിരീക്ഷണത്തിനു വിധേയമായിട്ടുണ്ടെങ്കിലും അവയിൽനിന്നും റേഡിയോ സിഗ്നലുകൾ വരുന്നതായി റിപ്പോർട്ടുചെയ്യപ്പെട്ടില്ല. ശനിയിൽനിന്നുമുള്ള ഡെക്കാമീററർ വികിരണം പോലെ ധൂമകേതുക്കളെപ്പററിയുള്ള റേഡിയോ നിരീക്ഷണങ്ങളെയും തൽക്കാലത്തേക്ക് 'അനിശ്ചിതം' (സന്ദിഗ്ധം) എന്ന് അടയാളപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്ന ഫയലിൽ ചേർക്കേണ്ടിയിരിക്കുന്നു.

6

റഡാർ ഖഗോളവിജ്ഞാനം

യുക്തിചിന്തയുടെ ഉദയം മുതൽക്കേ മനുഷ്യൻ നഭോമണ്ഡലത്തെപ്പററി അറിയുവാൻ അതിയായ ആകാംക്ഷ പ്രകടിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ട്. സഹസ്രാബ്ദങ്ങൾക്കു മുമ്പു തന്നെ അവൻ ക്രമീകൃതമായ ഖഗോളീയപഠനത്തിനു തുടക്കമിട്ടു. എന്നാൽ അനന്തമായ ഖഗോളീയ പരീക്ഷണശാലയിലെ ഒരു ഒററപ്പെട്ട ദ്വീപിൽ ഒതുങ്ങിക്കഴിഞ്ഞിരുന്ന അവൻ താൻ പഠിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന വസ്തുക്കളിന്മേൽ നിയന്ത്രിതപരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുവാൻ അപ്രാപ്തനായിരുന്നു. അക്കാരണത്താൽ ഖഗോളീയപഠനത്തിൽ റഡാറിന്റെ പ്രയോഗം ഒരു വമ്പിച്ച നേട്ടം തന്നെയായിരുന്നു. ചന്ദ്രൻ, സൂര്യൻ, സമീപഗ്രഹങ്ങൾ എന്നിവയിൽ പരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്താൻ അതു് അവനെ പ്രാപ്തനാക്കിയെന്നതുതന്നെയാണിതിനു കാരണം. താമസംവിനാ മനുഷ്യൻ ഈ ഗോളങ്ങളിൽ ചിലതിലെങ്കിലും സന്ദർശനം നടത്തുമെന്ന അവിശ്വസനീയമായ വസ്തുത, സൗരയൂഥപര്യവേഷണത്തിനു ഖഗോളവിജ്ഞാനികളെ ഇദംപ്രഥമമായി പ്രാപ്തനാക്കിയ ഉപാധിയെന്ന നിലയ്ക്കു് റഡാറിനുള്ള മഹോന്നതസ്ഥാനത്തിനു യാതൊരു കളങ്കവും വരുത്തിക്കൂടാ.

റഡാർ ഖഗോളപഠനത്തിന്റെ ആദ്യകാലചരിത്രം

പ്രക്ഷേപണം ചെയ്യപ്പെട്ട റേഡിയോ സിഗ്നലുകളുടെ പ്രതിധ്വനികൾ പിടിച്ചെടുത്തു് 1926 ൽ ബ്രെയിററും ട്യൂവേയും റഡാറിന്റെ തത്വം പ്രായോഗികമായി വിശദീകരിച്ചതോടെ റഡാർ—ഖഗോളപഠനത്തിന്റെ തുടക്കം കുറിച്ചു. പ്രതിധ്വനിക്കു കാരണം അയണമണ്ഡലത്തിലുണ്ടാകുന്ന പ്രതിഫലനമാണെന്ന അവരുടെ അഭിപ്രായവും ശരിതന്നെയായിരുന്നു. 1928 ൽ ഹീസിങ്ങ് ഹ്രസ്വ പ്രതിധ്വനികൾ നിരീക്ഷിച്ചു. അയണമണ്ഡലത്തിന്റെ നിമ്നമേഖലയിലെ നൈമിഷികമായ ഇലക്ട്രോൺ ഘനത്വവർധനവിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്നവയായിരുന്നു അവ. കൊള്ളിമീനുകളാലുണ്ടാകുന്ന അയണീകരണമാവാം ഈ വർധനവുകൾക്കു നിദാനമെന്ന സ്ക്കെല്ലററിന്റെ അഭിപ്രായം ശരിയാണെന്നു് 1931 ൽ ഷേഫർ, ഗുഡാൾ, സ്ക്കെല്ലററ് എന്നിവർ തെളിയിക്കുകയും ചെയ്തു. കൊള്ളിമീനുകൾ ദൃശ്യമാകുന്നതോടൊപ്പം തന്നെ പലപ്പോഴും അയണീകരണവർധനയുണ്ടാകുന്നതായി അവർ കണ്ടു. കൊള്ളിമീനുകൾ സന്തതതരംഗ

സിഗ്നലുകളെ പ്രതിഫലിപ്പിക്കുന്നുവെന്ന് ഇദംപ്രഥമമായി [illegible]ട്ട് ചെയ്തത് 1941 ൽ ഇന്ത്യയിലെ ചമൻലാലും വെങ്കിട്ടരാമനുമാണ്. ച[illegible]ിയാൽ അകലെയുള്ള ഡൽഹി റേഡിയോ ട്രാൻസ്മിററിലെ അമോഡുലിത [illegible]ളിക തരംഗത്തിന് ട്യൂൺ ചെയ്തപ്പോൾ അതിവേഗം മാറിമറിഞ്ഞുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന താരത്വത്തോടു കൂടിയ ദുർബലമായ ചൂളംവിളികൾ അവർ കേൾക്കാനിടയായി. ട്രാൻസ്മിററിൽ നിന്നും നേരിട്ടു വരുന്ന തരംഗവും ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന കൊള്ളിമീൻ ശീർഷത്തിനു സമീപമുള്ള അയണനത്തിൽ നിന്നും പ്രതിഫലിച്ചു വരുന്ന തരംഗവും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസ ആവൃത്തികളായിരുന്നു ഈ ചൂളംവിളികൾ. ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം കാരണം രണ്ടാമത്തെ തരംഗത്തിന്റെ ആവൃത്തിയിൽ മാററങ്ങളുണ്ടായിരുന്നു.

രണ്ടാം ലോകമഹായുദ്ധകാലത്ത് സൈനിക റഡാറുകൾ കണ്ടുപിടിക്കുന്നതു വരെ ഒരു ഗവേഷണരംഗമെന്ന നിലയ്ക്ക് റഡാർ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൽ ക്രമാനുസൃതമായ വികാസങ്ങളൊന്നും തന്നെ ഉണ്ടായില്ല. യുദ്ധാവസാനത്തോടു കൂടി റഡാർ ടെക്നിക്കുകൾ പരിപൂർണതയിലെത്തുകയും അന്യോന്യമുണ്ടായിരുന്ന വൈരം നിലച്ചതോടെ റഡാർ സജ്ജീകരണങ്ങൾ ഗവേഷണോദ്ദേശ്യങ്ങൾക്ക ലഭ്യമായിത്തീരുകയും ചെയ്തു.

ആധുനികറഡാർ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിന്റെ തുടക്കം കുറിച്ചത് 1946 ലാണ്. യു. എസ്. ആർമി സിഗ്നൽകോറിലെ ജെ എച്ച്. ഡീവിററിനും ഈ. കെ. സ്റ്റെഡോളായ്ക്കും ചന്ദ്രനിൽ നിന്നും പ്രതിധ്വനികൾ ലഭിച്ചതും, ഇംഗ്ലണ്ടിൽ ഹെയും സ്റ്റ്യൂവാർട്ടും കൊള്ളിമീൻ പഠനത്തിനു റഡാർ ഉപയോഗിച്ചതും അന്നാണ്. ചാന്ദ്രപ്രതിധ്വനികൾ ലഭിക്കാനുള്ള തങ്ങളുടെ വിജയകരമായ യത്നത്തിൽ ഡീ വിററും സ്റ്റെഡോളായും നവീകൃത 115 മെ. ഹെ. സൈനികറഡാർ സജ്ജീകരണമാണ് ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയത്. 0.3 സെക്കന്റ് കാലയളവുള്ള ഒരു 3000 വാട്ട് സ്പന്ദം നാലു സെക്കന്റ് ഇടവിട്ട് അവർ പ്രക്ഷേപണം ചെയ്തു. പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നതുപോലെ ഓരോ സ്പന്ദവും പ്രക്ഷേപണം ചെയ്ത് ഏകദേശം 2.5 സെക്കൻറു കഴിഞ്ഞപ്പോൾ ചന്ദ്രനിൽനിന്നുമുള്ള ദുർബലമായ പ്രതിധ്വനികൾ സ്വീകരിക്കപ്പെട്ടു. തുടരെത്തുടരെയുള്ള പ്രതിധ്വനികളുടെ തീവ്രത വ്യത്യാസപ്പെടുകയും ചില സമയങ്ങളിൽ സിഗ്നൽ പൂർണമായും അപ്രത്യക്ഷമാകുകയും ചെയ്തു.

ഡീ വിററ്, സ്റ്റെഡോളാ എന്നിവർ നേട്ടങ്ങൾ കൈവരിച്ച അതേ കാലത്തു തന്നെ ഹംഗറിയിലെ ഇസ്സഡ്. ബേയ്ക്കും ചന്ദ്രനിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോ പ്രതിധ്വനികൾ ലഭിച്ചു. അദ്ദേഹത്തിന്റെ മാപനങ്ങൾ ചോദ്യം ചെയ്യപ്പെട്ടേക്കാവുന്ന മൂല്യങ്ങളാണു നൽകിയതെങ്കിലും, തനിക്ക് അധീനമായുണ്ടായിരുന്ന പരിമിതമായ സൗകര്യങ്ങൾ കൊണ്ടു വിജയത്തിലെത്താൻ കഴിഞ്ഞുവെന്നത് തീർച്ചയായും ശ്രദ്ധാർഹമാണ്. ബേ ഉപയോഗിച്ച അഭിലേഖന ഉപകരണം അങ്ങേയററം പുതുമയുള്ള ഒന്നായിരുന്നു. ഓരോ സ്പന്ദത്തിന്റെയും പ്രക്ഷേപണത്തിനുശേഷം റിസീവർ നിർഗമത്തിൽ ഒന്നിനു പിറകെ

ഒന്നിച്ച് അനേകം ജലവോരാട്ടാമീററുകാരം ഘടിപ്പിക്കുന്നു. സജ്ജീകരണം കുറേ നേരം പ്രവർത്തിച്ചു കഴിയുമ്പോരം വിവിധ സെല്ലുകളിൽ വിമോചിതമാക്കപ്പെടുന്ന ഹൈഡ്രജന്റെ അളവിൽ നിന്നും പ്രതിധ്വനികളുടെ സാന്നിധ്യവും അസാന്നിധ്യവും നിഗമനികരീത്യാ നിർണയിക്കാം. തീവ്രമായ പശ്ചാത്തല രവത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തിൽ ദുർബലമായ ആവർത്തകസിഗ്നലുകളെ നിദർശിക്കാനുപയോഗിക്കുന്ന സമാകലനസങ്കേതങ്ങരംക്ക് ഒരു ഉദാഹരണമാണിത്.

1947 ൽ കെർ, ഷെയിൻ, ഹിഗ്ഗിൻസ്[4] എന്നിവർക്കു താരതമ്യേന താണ ആവൃത്തികളായ 18 ഉം 22 ഉം മെ: ഹെ. ൽ ചന്ദ്രപ്രതിധ്വനികരം ലഭിച്ചു. സ്പന്ദപ്രക്ഷേപണത്തിനു് അവർ ഹ്രസ്വതരംഗപ്രക്ഷേപണനിലയങ്ങളാണുപയോഗിച്ചതു്. നിരീക്ഷണവിധേയമായ സിഗ്നൽ മങ്ങൽ രണ്ടുതരമുണ്ടെന്നു് കെറും ഷെയിനും തെളിയിച്ചു. അവയിലൊരിനത്തിന്റെ ആവർത്തനകാലം ഏതാനും സെക്കൻറുകളും മറേറതിന്റെ ആവർത്തനകാലം അനേകം മിനിറ്റുകളുമാണത്രേ. ഹ്രസ്വആവർത്തനകാല-ശക്തിക്ഷയം, ഭൂമിയിലെ ഒരു നിരീക്ഷകനു കാണാൻ കഴിയുന്ന ചന്ദ്രന്റെ പ്രകടമായ കലുങ്ങി കലുങ്ങിയുള്ള നീക്കം കാരണമാണെന്നു് കെറും ഷെയ്നും വെളിപ്പെടുത്തി. പ്രതിധ്വനി സിഗ്നൽ ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിലെ വിവിധ പ്രകീർണനകേന്ദ്രങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള ഘടകങ്ങളുടെ ഒരു സമാഹാരമാകയാൽ, ഭൂമിക്കു് ആപേക്ഷികമായി ചന്ദ്രൻ ഘൂർണനം ചെയ്യുമ്പോരം ഈ സിഗ്നൽ ഘടകാംശങ്ങരം തമ്മിലുള്ള ഫേസ് ബന്ധങ്ങരം മാറിമറിഞ്ഞു വരികയും തദ്വാരാ ഹ്രസ്വ-ആവർത്തനകാല ശക്തി കുറഞ്ഞുവരുകയും ചെയ്യുന്നു.

1954 വരെ മന്ദ-ശക്തിക്ഷയത്തിനു് ഒരു ശരിയായ വിശദീകരണം ലഭ്യമായിരുന്നില്ല. ഫാരഡേ ഘൂർണനം കാരണമാണു് ഇതുണ്ടാകുന്നതെന്നു് അക്കൊല്ലം ഡബ്ളിയു. എ. എസ്. മുറേയും ജെ. കെ. ഹാർഗ്രീവ്സും[5] തെളിയിച്ചു. വെളിയിലേക്കു പോകുന്നതും മടങ്ങിവരുന്നതുമായ തരംഗങ്ങരം ഭൂമിയുടെ അയണമണ്ഡലത്തെ തരണം ചെയ്യുമ്പോരം അവയുടെ ധ്രുവണതലത്തിനുണ്ടാകുന്ന ഘൂർണനത്തേയാണു് ഫാരഡേ ഘൂർണനം എന്നു പറയുന്നതു്. അയണമണ്ഡലപരിതഃസ്ഥിതികരംക്കനുസൃതമായി ഫാരഡേ ഘൂർണനത്തിന്റെ മൂല്യം വ്യത്യാസപ്പെടുന്നതിനാൽ, സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന സിഗ്നലിന്റെ ധ്രുവണതലത്തിനും വ്യത്യാസങ്ങളുണ്ടാവുന്നു. ചിലപ്പോരം അതു് ആന്റെന്നയുടെ ധ്രുവണത്തിന്റെ തലത്തിനു സമാന്തരവും മററു ചിലപ്പോരം ലംബവുമായിരിക്കും. ആദ്യത്തേതാണു സംഭവിക്കുന്നതെങ്കിൽ സിഗ്നൽ ഉച്ചതമശക്തിയിൽ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്നു, രണ്ടാമത്തെ സന്ദർഭത്തിലാണെങ്കിൽ സിഗ്നൽ ഒട്ടുംതന്നെ നിദർശിക്കപ്പെടുന്നില്ല.

യുദ്ധാനന്തരം ഉൽക്ക (കൊള്ളിമീൻ) പഠനത്തിലും റഡാറിന്റെ ഉപയോഗം അതിവേഗം വർധിച്ചുവന്നു. യുദ്ധത്തിനു മുമ്പു ഉൽക്കകളുമായി നടത്തിയ റേഡിയോ സമ്പർക്കം കൊണ്ടു്, പ്രകാശികനിരീക്ഷണങ്ങരം വഴി അവയെപ്പററി ആർജിച്ച പരിജ്ഞാനത്തിൽ കൂടുതലായൊന്നും കൂട്ടിച്ചേർക്കാൻ കഴി

ഞ്ഞിരുന്നില്ല. ഉൽക്കകളെപ്പററിയുള്ള അന്വേഷണപഠനങ്ങൾക്ക് ചന്ദ്രദിക്കം ക്രമാനുസൃതമായി പ്രയോഗിച്ചു തുടങ്ങിയതു് 1946 ൽ ഹെയും സ്റ്റിവാർട്ടുമാണ്. ഉൽക്കാവിജ്ഞാനത്തിൽ അതു് ഒരു വിപ്ലവം സൃഷ്ടിക്കുകയും ചെയ്തു. അന്നു മുതൽക്കിങ്ങോട്ട് റഡാറുകൾ വിവരങ്ങൾ സ്വായത്തമാക്കിയതിന്റെ നിരക്ക് പ്രകാശോപാധികളാൽ ലഭ്യമായിരുന്നവയുടേതിനേക്കാൾ വളരെയധികമാവുകയും ചെയ്തിട്ടുണ്ട്.

100 കിലോമീററോളം ഉന്നതാംശത്തിലുണ്ടാകുന്ന ഉൽക്കാപ്രതിധ്വനികൾ പഠിക്കുന്നതിനു് 70 മെ. ഹെ. ൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന സൈനിക റഡാർ ആണു് ഹെയും സ്റ്റിവാർട്ടും ഉപയോഗിച്ചതു്. ഈ ആവൃത്തി, അയണമണ്ഡലത്തിന്റെ ക്രാന്തിക ആവൃത്തിയേക്കാൾ വളരെ മുകളിലാകയാൽ, താഴ്ന്ന ആവൃത്തികളിൽ നടത്തപ്പെട്ട മുൻ പര്യവേക്ഷണങ്ങളിൽ അനുഭവപ്പെട്ടിരുന്ന തികച്ചും അയണമണ്ഡലജന്യങ്ങളായ പല സങ്കീർണതകളെയും ഒഴിവാക്കാൻ കഴിഞ്ഞു. ഉൽക്കയുടെ അയണിത വഴിത്താര റഡാർ സജ്ജീകരത്തിൽ നിന്നുമുള്ള തരംഗങ്ങളുടെ പ്രസരണദിശക്കു ലംബമായിരിക്കുമ്പോഴാണു് പ്രതിധ്വനികൾ ഉണ്ടാവുന്നതെന്നു് ഹെയും സ്റ്റിവാർട്ടും നിസ്സംശയം തെളിയിച്ചു (1938 ൽ പിയേഴ്സ് അഭിപ്രായപ്പെട്ടിരുന്നതുപോലെ). ആന്റെന്ന പുഞ്ചത്തിനു ലംബമായി കടന്നുപോകുന്ന ദൃശ്യമായ ഉൽക്കകളിലൊട്ടുമുക്കാലും, എല്ലാം ഇല്ലെങ്കിൽ തന്നെയും, പ്രതിധ്വനികൾക്കിടയാക്കുന്നുവെന്നും; പ്രതിധ്വനികളുണ്ടാക്കുന്ന അദൃശ്യമായ അസംഖ്യം ചെറിയ ഉൽക്കകളുണ്ടെന്നും അവർ തെളിയിച്ചു. ഉൽക്കാപഥത്തിൽ നിന്നും പ്രതിഫലനമുണ്ടാകുന്ന സന്ദർഭങ്ങളിലെല്ലാം തന്നെ, പരാസം ഏറക്കുറെ സ്ഥിരമായിരിക്കുന്നെങ്കിലും അനുക്രമമായ പ്രതിധ്വനികളുടെ തീവ്രത കുറയുന്നുണ്ടായിരുന്നു. കടന്നുപോകുന്ന ഉൽക്കയാൽ ഉപേക്ഷിക്കപ്പെടുന്ന അയണന സ്തംഭത്തിന്റെ ചിന്നിച്ചിതറലാണത്രേ ഈ പ്രഭാവത്തിന്റെ കാരണം. സ്ഥിരമായ പ്രധാന പ്രതിധ്വനിക്കു മുന്നോടിയായി അതിവേഗം സഞ്ചരിക്കുന്ന ദുർബലമായ ഒരു പ്രതിധ്വനിയും ഹെയും സ്റ്റിവാർട്ടും ചിലപ്പോഴൊക്കെ നിരീക്ഷിക്കുകയുണ്ടായി. വളർന്നു വരുന്ന അയണ സ്തംഭത്തിന്റെ പലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ശീർഷത്തിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രതിഫലനമാണു് അതെന്നു് അവർ വ്യാഖ്യാനിച്ചു. അയണനത്തിനു നിദാനമായ ഉൽക്കകളുടെ പ്രവേഗങ്ങൾ നേരിട്ടു മാപനം ചെയ്യുന്നതിനു് പ്രായേണ വിരളമായ ഈ സംഭവങ്ങൾ ഒരു രീതി പ്രദാനം ചെയ്തു.

ആദ്യകാല ചാന്ദ്ര–പ്രതിധ്വനി പരീക്ഷണങ്ങളെയും ഹെ, സ്റ്റിവാർട്ട് എന്നിവരുടെ ഉൽക്കാസംബന്ധമായ പ്രാരംഭഗവേഷണങ്ങളെയും തുടർന്നു് ലോകത്തിന്റെ വിവിധ ഭാഗങ്ങളിൽ, പ്രത്യേകിച്ചു് ഇംഗ്ലണ്ടിലും ഐക്യനാടുകളിലും, കാനഡയിലും റഡാർ ഖഗോളവിജ്ഞാന ഗവേഷണകേന്ദ്രങ്ങൾ ഉടലെടുത്തു. കൂടുതൽ മെച്ചപ്പെട്ട ചാന്ദ്രപ്രതിധ്വനിപരീക്ഷണങ്ങൾ പുതിയ വിവരങ്ങൾ കൂടുതലായി പ്രദാനം ചെയ്തു. പ്രകാശികോപാധികൾ കൊണ്ടു അന്നുവരെ സാധ്യമായിരുന്നതിനേക്കാൾ കൂടുതൽ കൃത്യമായി റഡാറുപയോഗിച്ചു് ശുക്രനിലേക്കുള്ള ദൂരം മാപനം ചെയ്യുകയും സൂര്യൻ, കുജൻ ബുധൻ

എന്നിവയിൽ നിന്നും പ്രതിധ്വനികൾ പിടിച്ചെടുക്കുകയും ചെയ്യും. ഇനിയുമുള്ള ചർച്ചയിൽ ഈ പിൽക്കാല സംഭവവികാസങ്ങളെ കാലാനുസൃതമായോ സമഗ്രമായോ അവതരിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള യാതൊരു ശ്രമവും നടത്തുന്നില്ല. റഡാർ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിന്റെ ആവശ്യമായ സാരാംശങ്ങളും കൂടുതൽ രസകരങ്ങളായ നിരീക്ഷണഫലങ്ങളുടെ ലഘുവിവരണങ്ങളും ഇവിടെ നൽകാം.

ഉൽക്കാ ഖഗോളവിജ്ഞാനം

ഉൽക്കകളുടെ പ്രകൃതം

സൂര്യനും ചുറ്റും തന്റെ ഭ്രമണപഥത്തിലൂടെ നിശ്ചിതവേഗത്തിൽ നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഭൂമി, ചെറുതെങ്കിലും വേഗതയേറിയ ലക്ഷോപലക്ഷം ഇരുമ്പിൻ കഷണങ്ങളുടെയും കല്ലിൻ കഷണങ്ങളുടെയും പാതകൾ മുറിച്ചുകടക്കുന്നുണ്ട്. ഈ മീററിയറോയിഡുകളിൽ പലതും കേവലം ധൂളീശകലങ്ങൾ മാത്രമാണ്. അവയിൽ ചിലതിന് ഒരു ഗ്രാം ഭാരമുണ്ടായിരിക്കാം. അങ്ങനെയിരിക്കേ സാമാന്യം വലുപ്പമുള്ള കഷണങ്ങളും പ്രത്യക്ഷപ്പെടാറുണ്ട്. ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിൽ പ്രവേശിക്കുന്നതോടെ ധൂളീശകലങ്ങൾ പെട്ടെന്നു മന്ദഗതിയിലാവുന്നു. ഉപരിതല–ദ്രവ്യമാന (ഉപരിതലവും ദ്രവ്യമാനവും തമ്മിലുള്ള) അനുപാതം പ്രായേണ കൂടുതലാകയാൽ അവയ്ക്ക് ഘർഷണതാപത്തെ വേഗം വികിരണം മൂലം പുറത്തുകളഞ്ഞ് ഭസ്മീകരണം ഒഴിവാക്കാൻ സാധിക്കുന്നു. കോസ്മികപ്രവേഗങ്ങൾ നഷ്ടപ്പെട്ട അവ അന്തരീക്ഷത്തിലൂടെ അലസമായി നീങ്ങുകയും ഏതാനും ദിവസങ്ങൾക്കു ശേഷം കാലാവസ്ഥാ രൂപീകരണവിതാനത്തിലെത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. അവിടെ അവ ജലശീകരങ്ങളുടെ സാന്ദ്രീകരണത്തിനു സഹായകമായ ആധാരബിന്ദുവായി വർത്തിക്കുന്നു. അവസാനം മഴത്തുള്ളികളോടൊപ്പം ഭൂമിയിലെത്തുകയും ചെയ്യുന്നു.

വല്ലപ്പോഴുമുണ്ടാകുന്ന വലുപ്പം കൂടിയ മീററിയറോയിഡുകളുടെ ശിരോലിഖിതം (വിധി) ഇതിനേക്കാൾ വിചിത്രമാണ്. താപദീപ്തമാകുംവിധം സമ്മർദനം ചെയ്യപ്പെട്ട വായുത്തൊപ്പിക്കു പിമ്പിലായി തീജ്വാലകളിലൂടെ ചീറിപ്പാഞ്ഞ് പിമ്പിൽ ഷോക്തരംഗങ്ങളുടെ ഒരു വഴിത്താരയുണ്ടാക്കി താഴേക്കു വരുന്ന അവയെ ജനലക്ഷങ്ങൾ കണ്ടെന്നുവരാം, തീപ്പന്ത് (അഗ്നിഗോളം) നെപ്പറ്റി പത്രങ്ങളിൽ തലക്കെട്ടുകൾ എഴുതിയെന്നും വരാം. തുടക്കത്തിൽ വേണ്ടത്ര വലുപ്പമുള്ളതായിരുന്നെങ്കിൽ പ്രസ്തുത മീററിയറോയിഡിന്റെ ഒരംശം ഭൂമിയിൽ പതിക്കാൻ അവശേഷിച്ചെന്നും വരാം.

അതെന്തുമാകട്ടെ, ഭൂമിയിൽ ഒരിക്കലും എത്താത്ത ഇടത്തരം വലുപ്പമുള്ള കഷണങ്ങളാണ് നമ്മുടെ ചർച്ചാവിഷയം. അതായത് ഒരു ഗ്രാമിൽ കുറവ് ഭാരമുള്ളത്, എന്നാൽ ധൂളീകണങ്ങളേക്കാൾ വലുപ്പമേറിയതും. അന്തരീക്ഷത്തിലേക്കു തുളച്ചു കയറുമ്പോൾ അത്തരമൊരു കഷണം വായുവിലെ അണുക്കളും തന്മാത്രകളുമായി സംഘട്ടനത്തിലേർപ്പെടുന്നു. ഈ അണുക്കൾ കഷണത്തോടൊട്ടി നിൽക്കുന്നു, ഓരോ സംഘട്ടനവും പ്രദാനം ചെയ്യുന്ന ഗതികോർജം

മീറ്റിയറോയ്ഡിന്റെ താപനില ഒന്നിനൊന്നു വർധിപ്പിക്കുമ്പ[illegible]സിയാതെ അതിന്റെ പ്രതലം ഉരുകുകയും ബാഷ്പമാകാൻ തുടങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു. ഈ കമ്പനത്തിന്റെ പ്രചണ്ഡമായ വേഗം തന്നെയായിരിക്കും ബാഷ്പീകൃത അണുക്കളുടെ പ്രധാന പ്രവേഗഘടകാംശവും. 1000 ഇലക്ട്രോൺവോൾട്ടിനോളമെത്തുന്ന ഗതികോർജത്തിനു് അതിടയാക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. കമ്പനത്തിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രായേണ ഉന്നതോർജ അണുക്കൾ മററു വായുതന്മാത്രകളുമായി സംഘട്ടനത്തിലേർപ്പെടുമ്പോൾ താപം, പ്രകാശം, അയണനം എന്നിവയുണ്ടാകുന്നു. മീററിയറോയിഡിനു തുടക്കത്തിൽ ഒരു മി: ഗ്രാമിലേറെ ഭാരമുണ്ടെങ്കിൽ ഒരു ഉൽക്ക എന്ന നിലയിൽ അതു് നഗ്നനേത്രങ്ങൾക്കു ഗോചരമായിത്തീരും. വലുപ്പം ഇതിൽ കുറവാണെങ്കിൽ അദൃശ്യമായിരിക്കും. അതിന്റെ വഴിത്താരയിൽ നിന്നുമുള്ള റഡാർ പ്രതിഫലനങ്ങൾ കൊണ്ടു മാത്രമേ അവയുടെ സാന്നിധ്യം വെളിപ്പെടുകയുള്ളു.

ഉൽക്കകളുടെ മൊത്തം സംഖ്യയിൽ നാലിൽ മൂന്നു ഭാഗത്തോളവും "വിച്ഛിന്ന" (ഒററതിരിഞ്ഞു് അവിടവിടെയുണ്ടാകുന്നവ) സ്വഭാവമുള്ളവയാണു്. ഏതു സമയത്തും ഏതു ദിശയിൽ നിന്നും അനിയമിതമായി വരുന്നവയാണവ. ശേഷിക്കുന്ന നാലിലൊന്നു 'ഷവർ' ഉൽക്കകളാണു്. ഒരു നിർദിഷ്ട ഷവറിലെ ഉൽക്കകളെല്ലാം സ്പേസിൽ ഒരേ ദിശയിൽ നിന്നും വരുന്നവയും ഏറെക്കുറെ ഒരേ പ്രവേഗത്തോടു കൂടിയവയുമാണു്. സാധാരണയായി ഒരു ഷവറിൽ ഉൽക്കകളുണ്ടാകുന്ന തോതു് വിച്ഛിന്ന ഉൽക്കകളുടേതിനേക്കാൾ അനേകമടങ്ങു കൂടുതലായിരിക്കും. ഒരു ഷവറിലെ ഉൽക്കകളെല്ലാം സ്പേസിൽ ഒരേ ദിശയിൽ നിന്നും വരുന്നവയാണെങ്കിലും പരിപ്രേക്ഷ്യപ്രഭാവം കാരണം അവയുടെ പാതകൾ, ഒരു ചക്രത്തിന്റെ ആരക്കാലുകളെന്നപോലെ, നക്ഷത്രങ്ങൾക്കിടയിലെ 'റേഡിയന്റ്' എന്നറിയപ്പെടുന്ന സ്ഥിരബിന്ദുവിൽ നിന്നും വെളിയിലേക്കു വ്യാപിക്കുന്നതായേ തോന്നൂ. ഷവറുകൾ ഏതാനും മണിക്കൂറുകൾ മുതൽ ഏതാനും ദിവസങ്ങൾ വരെ നീണ്ടുനിന്നേക്കാം. ഒരു വർഷത്തിന്റെ ഇടവേള വിട്ടു് അവ സാധാരണയായി ആവർത്തിച്ചുവരികയും ചെയ്യുന്നു.

ഏറെക്കുറെ തുല്യമായ പ്രവേഗത്തിൽ സൂര്യനെ വലംവെയ്ക്കുന്ന കണികകളുടെ ഒരു വ്യക്തമായ ധാരയിലൂടെ ഭൂമി കടന്നുപോകുന്നതിന്റെ ഫലമായാണു് ഷവർ ഉണ്ടാകുന്നതു്. ഒരു വാൽനക്ഷത്രത്തിന്റെ അവശിഷ്ടങ്ങൾ ചേർന്നാണു് അത്തരമൊരു ധാരയുണ്ടാകുന്നതെന്നു വിശ്വസിക്കപ്പെടുന്നു. മിക്കവാറുമെല്ലാ സന്ദർഭങ്ങളിലും ഇത്തരം അവശിഷ്ടങ്ങൾ ഭ്രമണപഥത്തിനു ചുററും ഏറെക്കുറെ ഏകസമാനമായി വിതരിതമായിരിക്കും. സജീവ ധൂമകേതുക്കളുമായി ബന്ധപ്പെട്ടവയല്ല അവ. പണ്ടെങ്ങോ തകർന്നുപോയ വാൽനക്ഷത്രങ്ങളുടെ അവശേഷിക്കുന്ന ഭാഗങ്ങളാവാം ഇത്തരം അവശിഷ്ടങ്ങൾ. ഭൂമി ഒരു സജീവ ധൂമകേതുവിന്റെ ഭ്രമണപഥത്തെ മറികടക്കുമ്പോൾ ധൂമകേതുവിന്റെ തൊട്ടു പിറകിൽ വെച്ചാണു് മറികടക്കൽ നടക്കുന്നതെങ്കിൽ തത്ഫലമായുണ്ടാകുന്ന ഉൽക്കാവർഷം (ഷവർ) സാധാരണയായി ഏറിയിരിക്കും. യുവധൂമകേതുവിന്റെ

പ...്പ നീങ്ങുന്ന അവശിഷ്ടങ്ങൾക്ക ഭ്രമണപഥത്തിലാകമാനം വ്യാപിക്കുന്ന ത...യം ലഭിച്ചിട്ടില്ലായെന്നു ഇതു സൂചിപ്പിക്കുന്നുവെന്നു തോന്നുന്നു.

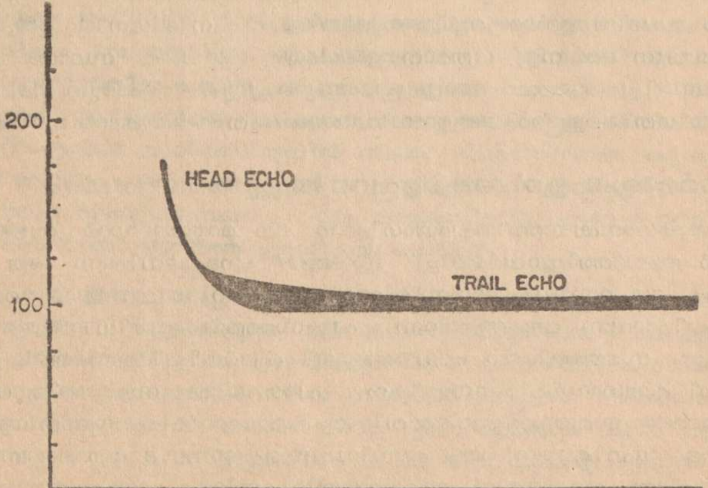
റഡാറിന്റെ ആഗമനത്തിനു മുമ്പ്, ഉൽക്ക–ഖഗോളവിജ്ഞാനം പൂർണമായും ആശ്രയിച്ചിരുന്നതു് ദൃശ്യവും ഫോട്ടോഗ്രാഫികവുമായ പ്രകാശികനിരീക്ഷണങ്ങളേയാണ്. ചന്ദ്രികയില്ലാത്ത രാവുകളിൽ അന്തരീക്ഷസ്ഥിതി അനുകൂലമായിരിക്കുമ്പോഴുണ്ടാകുന്ന വലിയ ഉൽക്കകളെ മാത്രമേ പ്രകാശികമായി നിദർശിക്കാൻ കഴിയൂ. ഉൽക്കകളുടെ സഞ്ചാരപഥങ്ങളും പ്രവേഗങ്ങളും മാപനം ചെയ്യുന്നതിനു് വളരെ അകലെയായി വെച്ചിരിക്കുന്ന ഒരു ജോഡി ക്യാമറകളുൾപ്പെടുന്ന ഒരു ഫോട്ടോഗ്രാഫികരീതി വിപ്പിൾ പൂർത്തിയാക്കി. അങ്ങേയററം സൂക്ഷ്മതയുള്ളതായിരുന്നു ഈ സമ്പ്രദായമെങ്കിലും, രണ്ടു ക്യാമറകളുടെയും ദൃശ്യമേഖലയിൽ വരികയും ഫോട്ടോ എടുക്കാൻ പാകത്തിൽ ദീപ്തിയോടു കൂടിയതുമായ ഉൽക്കകളുടെ എണ്ണം നിരാശാജനകമാംവിധം തുച്ഛമായിരുന്നു. ഏകദേശം 15 വർഷത്തെ പ്രവർത്തനത്തിനിടയിൽ, പ്രവേഗവും സ്ഥാനവും സംബന്ധിച്ച ഭേദപ്പെട്ട മാപനങ്ങൾ പ്രദാനം ചെയ്യുന്ന കേവലം അഞ്ചു് ഡി–നിലയ ഫോട്ടോഗ്രാഫുകൾ മാത്രമേ ലഭിച്ചുള്ളു. പകൽസമയത്തു് ഉൽക്കാവർഷം നിദർശിക്കാനാവുന്നില്ല എന്നതാണ് പ്രകാശികസമ്പ്രദായത്തിന്റെ മററൊരു പരിമിതി. പ്രത്യുത റഡാർ സമ്പ്രദയത്തെ പകൽ വെളിച്ചമോ, ചന്ദ്രികയോ, മേഘങ്ങളോ ഒരു തരത്തിലും ബാധിക്കുന്നില്ല. ദൃശ്യസീമയേക്കാൾ ചെറിയ ഉൽക്കകളെയും നിദർശിക്കാം. നിദർശനീയ ഉൽക്കകളിൽ താരതമ്യേന ഒരു നല്ല ശതമാനത്തിന്റെയും പ്രവേഗം, സ്ഥാനം എന്നിവ സംബന്ധിച്ച ദത്തങ്ങൾ അതു പ്രദാനം ചെയ്യും. ഉപരൃന്തരീക്ഷത്തിലെ സ്ഥിതിഗതികളെപ്പററി ഒട്ടേറെ വിവരങ്ങൾ അതിനു നൽകാനും കഴിയും.

റഡാർമുഖേന ഉൽക്കകളെപ്പററിയുള്ള അന്വേഷണം

ഉൽക്കഗവേഷണത്തിനുപയോഗിക്കുന്ന ഒരു മാതൃകാറഡാർ സജ്ജീകരണത്തിൽ ആവർത്തിച്ചാവർത്തിച്ച് സ്പന്ദങ്ങൾ പുറപ്പെടുവിക്കുന്ന ഒരു പ്രക്ഷേപിത്രം, ഒരു റസീവർ ട്രാൻസ്മിററിനോടും റിസീവറിനോടും മാറിമാറി ഘടിപ്പിക്കാവുന്ന ഒരു ആന്റെന്ന. പരാസത്തെയും പ്രതിധ്വനിയുടെ ആയാമത്തെയും സമയത്തിന്റെ ഫലനങ്ങളായി പ്രദർശിപ്പിക്കാൻ കഴിവുള്ള ഒരു ജോഡി കാഥോഡ്കിരണനാളികൾ, പരാസത്തെ സമയത്തിനെതിരായും ആയാമത്തെ സമയവക്രങ്ങൾക്കെതിരായും റെക്കോർഡുചെയ്യുന്നതിനുള്ള ഒരു ഫോട്ടോഗ്രാഫികസമ്പ്രദായം എന്നിവ ഉൾപ്പെടുന്നു. ഓരോ മാപനഅന്തരാളത്തിന്റെയും തുടക്കത്തിൽ ആന്റെന്നയിൽ നിന്നും പുറപ്പെടുന്ന വിദ്യുത്കാന്തികവികിരണത്തിന്റെ ഹ്രസ്വസ്പന്ദനം ഉൽക്കയെ ലക്ഷ്യമാക്കി 3×10^8 മീററർ/സെ എന്ന തോതിൽ സഞ്ചരിക്കുന്നു. ഉൽക്കയുടെ അയണീതപാതയിൽ തട്ടുന്ന വികിരണത്തിന്റെ ഒരു നേരിയ അംശം ആന്റെന്നയിലേക്കു് പ്രകീർണനം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ഈ ദുർബലമായ പ്രതിധ്വനി സ്വീകരിക്ക

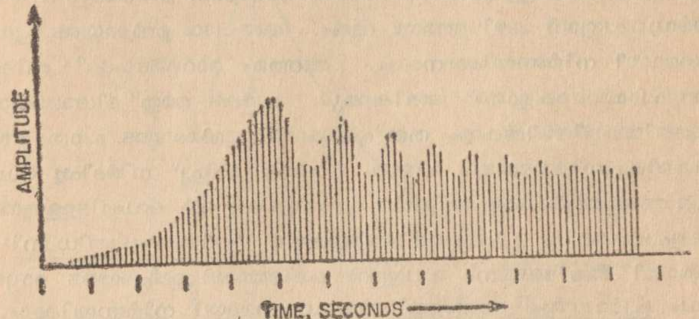
പ്പെടുകയും പ്രവർത്തനത്തിനു ശേഷം വോൾട്ടതയാക്കി രൂപാന്തരപ്പെടുത്തുകയും ചെയ്യുന്നു. പ്രസ്തുത വോൾട്ടത കാഥോഡ്കിരണപ്പൊട്ടുകളെ വ്യതിചലിപ്പിക്കുകയോ തീവ്രതരമാക്കുകയോ ചെയ്യും.

ഒരു *പരാസദോലനദർശി* പ്രതിധ്വനി കാലത്തിന്റെ ഒരു നിരന്തര സൂചന പ്രദാനം ചെയ്യുന്നു. പ്രതിധ്വനികാലം ഉൽക്കാപഥത്തിലേക്കുള്ള ദൂരത്തിനു് ആനുപാതികമായിരിക്കും സ്പന്ദനത്തിനു് ഏകകാലികമായി കാഥോഡ്കിരണബിന്ദു ഊർധ്വാധരദിശയിൽ രേഖീയമായി മാർജനം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. ബിന്ദുവിന്റെ തീവ്രത റസീവറിന്റെ നിർഗമത്താൽ നിയന്ത്രിക്കപ്പെടുന്നു. പ്രതിധ്വനിയൊന്നും സ്വീകരിക്കപ്പെടാത്തപ്പോൾ ബിന്ദു കാണാൻ പാടില്ലാത്ത വിധം മങ്ങിയതായിരിക്കും. എന്നാൽ പ്രതിധ്വനാസിഗ്നൽ അതിനെ പൂർണമായും ദീപ്തിമത്താക്കുന്നു. ഊർധ്വാധരമാർജനത്തിലൂടെ പ്രകാശബിന്ദു മടങ്ങിപ്പോരുന്ന ഉയരം ഉൽക്കാപഥത്തിലേക്കുള്ള പരാസത്തിന്റെ ഒരു അളവു് ആയിരിക്കും. ഏകസമാനവേഗത്തിൽ ക്ഷൈതിജമായി ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ഫിലിമിൽ ഈ പ്രകാശബിന്ദുവിനെ ഛായാഗ്രഹണം ചെയ്യുകയും ബിന്ദുവിന്റെ അനുക്രമമായ പ്രതിബിംബങ്ങൾ സമയത്തിന്റെ ഫലനമായി പരാസത്തിന്റെ ഒരു വക്രം ആലേഖനം ചെയ്യുകയും ചെയ്യുന്നു (ചിത്രം 61 കാണുക)



ചിത്രം 6.1 ഒരു ഉൽക്കയുടെ റഡാർ പരാസ—സമയഅഭിലേഖം ആദ്യം അടുത്തുവരുന്ന ശീർഷത്തിൽനിന്നും പിന്നീടു പിന്നിട്ട പാതയിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രതിധ്വനികൾ ലഭിച്ചു.

[illegible]പനിസിഗ്നലിന്റെ ആയാമത്തിന് ആനുപാതികമായി പ്രകാശബിന്ദു (ഇവിടെ അതിന്റെ ദീപ്തി സ്ഥിരമാണ്). മേലോട്ട് വിചലിക്കുവാൻ തക്കവണ്ണം മറ്റേ ദൂരദർശി റസീവറുമായി ഘടിപ്പിക്കുന്നു. ഈ ബിന്ദുവിനെയും ക്ഷൈതിജമായി നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന ഒരു ഫിലിമിൽ ഛായാഗ്രഹണം ചെയ്യുമ്പോൾ തുടരെത്തുടരെയുണ്ടാകുന്ന പ്രതിധ്വനികൾ ഉയരവ്യത്യാസമുള്ള ഒരുക്കൂട്ടം ശൂലങ്ങളുടെ ചിത്രമുണ്ടാക്കുന്ന ഈ ശൂലാഗ്രങ്ങളുടെ ഉപരിഭാഗം സമയത്തിന്റെ ഫലനമായി പ്രതിധ്വനിയുടെ ആയാമത്തിന്റെ ഒരു ആലേഖമായിരിക്കും (ചിത്രം 6.2 കാണുക).



ചിത്രം 6.2 ഉൽക്കാപഥത്തിന്റെ രൂപീകരണസമയത്ത് അതിൽ നിന്നുമുള്ള റഡാർപ്രതിധ്വനിയുടെ ആയാമസമയഅഭിലേഖം.

ഉൽക്കാപഠനത്തിനുപയോഗിച്ച റഡാർവ്യൂഹങ്ങളെ ആവൃത്തി സാമാന്യമായി 30 മുതൽ 50 വരെ മെ. ഹെ. ആയിരുന്നു—അതായത് അയണമണ്ഡലക്രാന്തികാവൃത്തിക്ക് വളരെ മുകളിലും എന്നാൽ അയണനം സംഭവിച്ച ഉൽക്കാപഥത്തിൽ നിന്നും പ്രകീർണ്ണനം ചെയ്യപ്പെടുവാൻ തക്കവിധം താഴ്ന്നതുമായ ആവൃത്തിയിൽ ട്രാൻസ്മിറ്റർ പവർ 10 മുതൽ 100 വരെ കിലോവാട്ട് വരെയും സ്പന്ദവീതി 3 മുതൽ 100 മൈക്രോസെക്കൻറ് വരെയും സ്പന്ദത്തിന്റെ ആവർത്തനാവൃത്തി 30 മുതൽ 2000 ഹെ. വരെയുമായിരുന്നു.

മിക്കവാറുമെല്ലാം ഉൽക്കകളുടേയും കാര്യത്തിൽ റഡാറിൽ നിന്നുമുള്ള ഒരു നേർവരയാൽ ലംബമായി അന്തഃഛേദിതമാകുവാൻ പാകത്തിൽ ഉൽക്കാപഥത്തിനു നീളമുണ്ടാകുമ്പോഴാണ് പ്രതിധ്വനികൾ ആദ്യമായി പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നത്. അപ്പോൾ പരാസസൂചകം ഏറെക്കുറെ സ്ഥിരമായ മൂല്യം കാണിക്കും. ഉൽക്കാപഥത്തിലേക്കുള്ള ലംബദൂരമായിരിക്കും പ്രസ്തുത മൂല്യം. റഡാർ പുള്ളം ഇട്ടങ്ങിയത്തും അതിന്റെ ദിശ ജ്ഞാതവുമാണെങ്കിൽ ഉൽക്കാപഥത്തിലെ ഏററവും അടുത്തു വരുന്ന ബിന്ദുവിന്റെ സ്ഥാനം തീർച്ചപ്പെടുത്താം. പഥത്തിന്റെ അഭിവിന്യാസം നിർണയിക്കുന്നതിന് മററുചില വിവരങ്ങൾ കൂടി ആവശ്യമാണ്. എന്നിരിക്കിലും ഷവർ ഉൽക്കകളുടെ കാര്യത്തിൽ ഒരൊററ നേരിയ

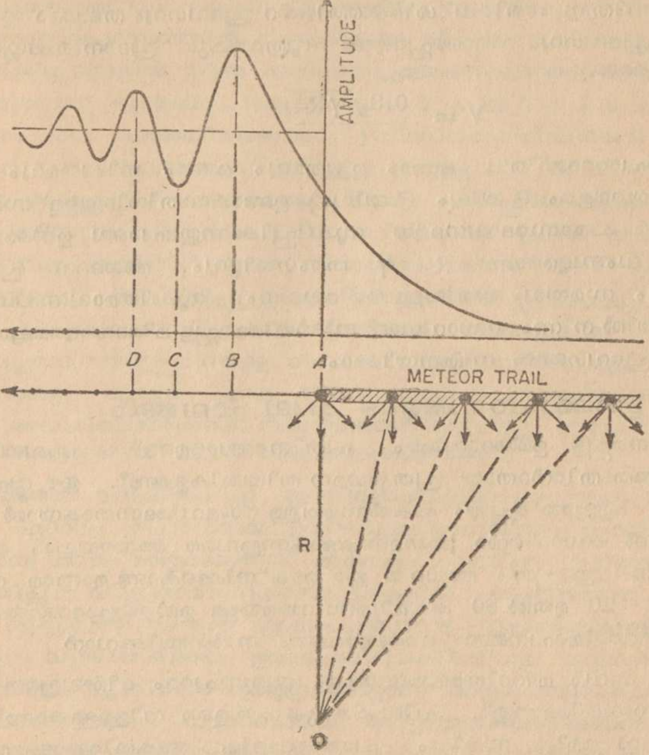
ബീം റഡാർ ഉപയോഗിച്ച് വിവിധ ദിശകളിൽ നടത്തുന്ന വ[illegible]ണ പരമ്പരകളിൽനിന്നും റേഡിയൻറിന്റെ നതിയും ദക്ഷിണാരോഹണവും നിഗമനികരീതിയിൽ കണ്ടുപിടിക്കാം.

ദീപ്തിയേറിയ ഏതാനും ഉൽക്കകളിൽ വളർന്നുവരുന്ന അയണനസ്തംഭത്തിന്റെ ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന ശീർഷത്തിൽ നിന്നും ഒരു നേരിയ പ്രതിധ്വനി കൂടുതൽ ശക്തമായ പഥ–പ്രതിധ്വനിക്കു മുമ്പായി ഉണ്ടാകുന്നതായി കാണാം. അങ്ങനെ ആർജിതസമയം മുതൽ ഏററവും അടുത്തെത്തുന്ന സമയം വരെ ഉൽക്കയിലേക്കുള്ള ദൂരത്തി (പരാസ) ലുണ്ടാകുന്ന മാററങ്ങളും ചിലപ്പോൾ റെക്കോർഡുചെയ്യാൻ കഴിഞ്ഞെന്നു വരും. അപ്പോൾ ഉൽക്കയുടെ പ്രവേഗവും ഏകദേശമായി നിർണയിക്കാനാവും. അത്തരം മാററങ്ങൾക്ക് വികൃതമായ ആന്റെന്നപാറേറണുകളാണ് അഭികാമ്യം. പക്ഷേ അത് ദിശാമാപനത്തിനു വിലങ്ങുതടിയായിത്തീരുകയും തത്ഫലമായി ഉൽക്കയുടെ പാത സ്പേസിൽ സ്ഥിരീകരിക്കാനാവാതെയും വരുന്നു. നേരേ മറിച്ച് നിർദിഷ്ട സ്ഥാനങ്ങളിൽ (ഒരു സമഭുജത്രികോണത്തിന്റെ മൂന്നു മൂലകളിൽ) വെച്ചിട്ടുള്ള മൂന്നുറഡാർ സെററുകളുപയോഗിച്ച ചലിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന "ശീർഷകപ്രതിധ്വനി" ഏകകാലികമായി അഭിലേഖനം ചെയ്യാൻ കഴിഞ്ഞാൽ ഉൽക്കയുടെ സ്പേസിലെ സ്ഥാനവും പ്രവേഗവും സമയത്തിന്റെ ഫലനമായി നിർണയിക്കാം.

ശീർഷണധ്വനികൾ പ്രായേണ ദുർലഭമാകയാൽ മറെറാരുരീതിയിലാണ് പലപ്പോഴും ഉൽക്കകളുടെ പ്രവേഗങ്ങൾ മാപനം ചെയ്യുന്നത്. പ്രസ്തുത സമ്പ്രദായത്തിൽ പഥത്തിൽ നിന്നും പ്രകീർണനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന റേഡിയോതരംഗങ്ങളുടെ *വിഭംഗന*മാണ് ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നത്. ഇവിടെ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്ന പ്രതിഭാസം പ്രകാശികത്തിൽ 'നൈഫ് എഡ്ജ് വിഭംഗനം' എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഏററവും സാധാരണമായ ഭൗതികഗ്രന്ഥത്തിൽ പോലും അതു വിശദീകരിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഒരു ഉൽക്കയുടെ പഥത്തിലുണ്ടാകുന്ന വിഭംഗനം ചിത്രം 6.3–ൽ ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. O എന്ന ബിന്ദുവിൽ സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന റഡാർട്രാൻസ്മിററിൽ നിന്നുമുള്ള തരംഗങ്ങൾ അയണനം സംഭവിച്ച ഉൽക്കാപഥത്തിൽ തട്ടുകയും തിരികെ താഴേക്കു പ്രകീർണനം ചെയ്യപ്പെടുകയും ചെയ്യുന്നു, വിശദീകരണം ലഘൂകരിക്കുന്നതിനുവേണ്ടി ഉൽക്കാപഥം വളരെ നേർത്ത ഋജുവായ ഒരു സ്തംഭമാണെന്നു നമുക്ക് സങ്കൽപിക്കാം. സ്തംഭത്തിന്റെ ഓരോ ഖണ്ഡവും ആന്റെന്നയിലേക്കു തിരികെ പ്രകീർണനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന വികിരണത്തിന്റെ ഉല്പാദനത്തിൽ പങ്കുവഹിക്കുന്ന ബിന്ദുസ്രോതസ്സുകളാണെന്നു കണക്കാക്കാം. വിവിധ ബിന്ദുസ്രോതസ്സുകളിൽ നിന്നും ആന്റെന്നയിലെത്തുന്ന വികിരണഘടകാംശങ്ങളുടെ ആപേക്ഷികമായ ഫേസും ആയാമവും അവ ആകെ സഞ്ചരിക്കുന്ന ദൂരത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും എല്ലാ ഘടകാംശ ആയാമങ്ങളുടെയും സദിശത്തുകയായിരിക്കും പരിണതസിഗ്നൽആയാമം. സദിശസമാകലനം വഴി അതു കണക്കാക്കുകയും ചെയ്യും. പ്രകാശികവിദ്യാർഥി

ക... സുപരിചിതമായ ഒരു 'നോമോഗ്രാ'മാണ് കോർണസർപ്പിളം. അ... നിന്നും പരിണതആയാമവും ഫേസും നേരിട്ട മാപനം ചെയ്യാനാവും.

ചിത്രം 6.3–ൽ ഉൽക്ക മുന്നോട്ട നീങ്ങുംതോറും ഉൽക്കാപഥം ഇടതുഭാഗത്തോട്ടു വളരുന്നു. ചിത്രത്തിൻെറ മുകളററത്തുള്ള ഗ്രാഫ് ആൻെറന്നയിൽ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന സിഗ്നലിൻെറ പരിണതയാമം പഥത്തിൻെറ നീളത്തിനനുസരിച്ച് എങ്ങനെ വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്ന് വ്യക്തമാക്കുന്നു. സ്തംഭ



ചിത്രം 6.3 ഒരു ഉൽക്കാപഥത്തിലുണ്ടാകുന്ന റഡാർ വിഭംഗനം വലത്തുനിന്നും ഇടത്തോട്ട് ഉൽക്ക നീങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. റഡാർ O യിലാണ്. പഥം ഇടത്തേക്കു നീളുന്നതനുസരിച്ച് പ്രതിധ്വനികളുടെ ആപേക്ഷികായാമങ്ങൾ വ്യക്തമാക്കുന്നതാണ് ഗ്രാഫ്.

ത്തിൻെറ ശീർഷം B യിലെത്തുന്നതുവരെ ആയാമം വർധിക്കുന്നു. Bയ്ക്കു മുമ്പിൽ (അപ്പുറം) സങ്കലിതമാവുന്ന പുതിയ ബിന്ദുസ്രോതസ്സുകളിൽ നിന്നുമുള്ള തരംഗഘടകാംശങ്ങൾ Bയ്ക്കു പിറകിലുള്ള എല്ലാം സ്രോതസ്സുകളുടേയും പരി

ണനതവുമായി ഒരേ ഫേസിലല്ലാത്തതിനാൽ B യും C യുമിടയിരു... ...യാമം കുറയുന്നു. സ്തംഭശീർഷം അകലേക്കു മുന്നേറുന്തോറും പരിണതയാമം ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നതുപോലെ ദോലനം ചെയ്യുന്നു. കാരണം ഗമനാഗമനദൂരങ്ങളായ OAO, OBO, OCO, ODO മുതലായവ അനുക്രമമായി ഒരു തരംഗനീളത്തിന്റെ പകുതി നീളക്കൂടുതലുള്ളവയാണ്. ഇങ്ങനെയാകയാൽ AB, CD എന്നീ ഖണ്ഡങ്ങളിലെ സ്രോതസ്സുകൾ പരിണതായാമത്തെ വർധിപ്പിക്കുമ്പോൾ BC യിലുള്ള അതിനെ വെട്ടിച്ചുരുക്കുവാൻ ശ്രമിക്കുന്നു.

അയണിതസ്തംഭത്തിലെ ശീർഷത്തിന്റെ പ്രവേഗവും തദ്വാരാ ഉൽക്കയുടെ തന്നെ പ്രവേഗവും താഴെപ്പറയുന്ന സൂത്രവാക്യം പ്രദാനംചെയ്യുന്നുവെന്നും തെളിയിക്കാം.

$$V = \frac{0.3\sqrt{\gamma R}}{t}$$

വിഭംഗനപാറ്റേണിലെ ഒന്നാം ഉച്ചതമവും ഒന്നാം നീചതമവും (ചിത്രം 6.3–ൽ യഥാക്രമം B യിലും C യിലും) ഉണ്ടാകുന്നതിനിടയ്ക്കുള്ള സമയമാണ് t. റഡാർ പരാസദോലനദർശി സൂചിപ്പിക്കുന്നതുപോലെ ഉൽക്കാപഥത്തിലേക്കുള്ള ലംബദൂരമാണ് R. γ തരംഗനീളവും. അങ്ങനെ പ്രതിധ്വനി ആയാമവും സമയവും തമ്മിലുള്ളഅഭിലേഖനം. സൂചിതമാവുന്നപഥപരാസം എന്നിവയിൽ നിന്നും റഡാറിനാൽ നിദർശിക്കപ്പെട്ട മിക്കവാറുമെല്ലാ ഉൽക്കകളുടേയും പ്രവേഗങ്ങൾ നിർണയിക്കാം.

റഡാർ ഉൽക്കാപഠനങ്ങളുടെ ചില ഫലങ്ങൾ

പ്രധാനപ്പെട്ട ഉൽക്കാവർഷം പതിനഞ്ചോളമുണ്ട്. അവയിലോരോന്നിനും അതാതിന്റേതായ പ്രത്യാഗമന തീയതികളുമുണ്ട്. ഈ വൃഷ്ടികളിൽ മൂന്നെണ്ണം എല്ലായ്പ്പോഴും പകൽസമയത്തു സംഭവിക്കുന്നതാകയാൽ ഖഗോളപഠനത്തിൽ റഡാറിന്റെ ആഗമനമുണ്ടാകുന്നതുവരെ അവയെല്ലാം അജ്ഞാതങ്ങളായിന്നു. ഇപ്പോഴും അവയെ ഈ ടെക്നിക്കുകൊണ്ടു മാത്രമേ നിരീക്ഷിക്കാനാവൂ. 20 മുതൽ 60 കി.മീ/സെ വരെയുള്ള ഉൽക്കാപ്രവേഗങ്ങൾ പ്രധാനമായും റഡാർമാപനങ്ങൾ കൊണ്ടുവേണം നിർണയിക്കുവാൻ.

എല്ലാ ഷവർ മീററിയറോയിഡുകളും സൂര്യനുചുററും ദീർഘവൃത്തകക്ഷ്യയിലാണ് സഞ്ചരിക്കുന്നതു്. ചില കക്ഷ്യകൾ വളരെ നീളമുള്ളതാണ്. അതിനാൽ അവ ഭൂമിയ്ക്കു സമീപം പാരബോളിക ആകൃതിയോടടുത്തെത്തുന്നു. റഡാറിന്റെ ആവിർഭാവത്തിനു മുമ്പ് വിച്ഛിന്ന ഉൽക്കകൾ ചിലപ്പോഴൊക്കെ സൗരയൂഥത്തിനു വെളിയിൽ നിന്നും വരുന്നവയാണോയെന്നുപോലും സന്ദേഹിക്കുകയുണ്ടായി. അങ്ങനെ സംഭവിക്കുകയാണെങ്കിൽഅവയുടെ ഭ്രമണപഥങ്ങൾ ദീർഘവൃത്തത്തിനു പകരം ഹൈപർബോളികമായിരിക്കും. ഭൗമഭ്രമണപഥത്തിന്റെ അതേ ദൂരത്തിൽ സൂര്യനു ചുററും പാരബോളികഭ്രമണപഥത്തിലുള്ള മീററിയിറായിഡിനു് സൂര്യനു് ആപേക്ഷികമായി 42.2 കി.മീ/സെ പ്രവേഗമുണ്ടായിരിക്കുമെന്നു് പ്രാഥമിക ഗതികത്തിന്റെ സഹായത്താൽ

[illegible]ിക്കാം. 42.2 കിമീ/സെക്കൻററിനേക്കാൾ കൂടിയ പ്രവേഗങ്ങളിൽ ഭൗമകക്ഷ്യയെ കടന്നുപോകുന്ന ഉൽക്കകൾ ഹൈപർബോളികപാതകളിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നവയും ഇതിനേക്കാൾ മന്ദഗതിയിൽ നീങ്ങുന്നവ ദീർഘവൃത്ത കക്ഷ്യയിലുള്ളവയുമായിരിക്കണം.

സൂര്യനു ചുററും ഏറെക്കുറെ വർത്തുളമായ സ്വന്തം ഭ്രമണപഥത്തിൽ ഭൂമിയുടെ തന്നെ ശരാശരി വേഗം 29.8 കി മീ/സെ ആണ്. ഹൈപ്പർബോളിക മീററിയറോയിഡ് പാതകൾ ഉണ്ടായിരുന്നില്ലെങ്കിൽ ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിൽ ഉൽക്കകളുടെ ഏററവും ഉയർന്ന നിരീക്ഷിതപ്രവേഗങ്ങൾ, ഭൂമിയും, സീമാന്ത പാരബോളികപ്രവേഗത്തിൽ സഞ്ചരിക്കുന്ന മീററിയറോയിഡുകളും തമ്മിലുള്ള നേർസംഘട്ടനങ്ങളിൽ നിന്നു പരിണമിച്ചുണ്ടാകുന്നവയായിരിക്കണം. അങ്ങനെയാവുമ്പോൾ ഉച്ചതമമാപിതപ്രവേഗം 42.2 + 22.8 + 1.0 = 73 കി മീ/സെ നേക്കാൾ കുറവായിരിക്കണം. മീററിയറോയിഡിന്മേൽ ഭൂമിയുടെ ആകർഷണഫലമായുണ്ടാകുന്നതാണ് കൂട്ടതലായുള്ള 1.0 കി മീ/സെ പ്രവേഗം പ്രത്യുത ഉൽക്കകളുടെ ഗണനീയമായ ഒരംശം ഹൈപ്പർബോളിക ഭ്രമണപഥങ്ങളിലായിരുന്നുവെങ്കിൽ 73 കി മീ/സെ നേക്കാൾ കൂടിയ മാപിതപ്രവേഗങ്ങൾ സാധാരണമായിരുന്നേനെ. സംഗതി അങ്ങനെയായെന്നു് കാനഡായിൽ മക്‌കിൻലെയും (McKinley) ഇംഗ്ലണ്ടിൽ ആൽമണ്ട് (Almond), ഡേവീസ് (Davies), ലോവെൽ (Lowell) എന്നിവരും സ്വതന്ത്രമായി തെളിയിച്ചു. ഉൽക്കാപ്രവേഗങ്ങളെപ്പററിയുള്ള റഡാർപഠനങ്ങളിൽനിന്നും എല്ലാ മീററിയോറോയിഡുകളും സൂര്യനു ചുററും ദീർഘവൃത്തഭ്രമണപഥങ്ങളിലാണു നീങ്ങുന്നതെന്നും അവയിലൊന്നുംതന്നെ നക്ഷത്രങ്ങൾക്കിടയിലുള്ള സ്പേസിൽ നിന്നുമുള്ള സന്ദർശകരല്ലായെന്നും അവർ തെളിയിക്കുകയുണ്ടായി.

നേരത്തേ വിശദീകരിച്ച ത്രിനിലയറഡാർമാപന ടെക്‌നിക്കുപയോഗിച്ച് ഏററവും വിച്ഛിന്നമായ ഉൽക്കകളുടെ ഭ്രമണകാലം പ്രായേണ ഹ്രസ്വമായ രണ്ടു വർഷം മാത്രമാണെന്ന് അനന്തരം ഡേവീസ് പ്രായോഗികമായി തെളിയിച്ചു. വിച്ഛിന്നമീററിയറോയിഡുകളിൽ പലതിൻെറയും ഭ്രമണപഥങ്ങൾ ആസ്റ്ററോയിഡുകളുടെ ഭ്രമണപഥങ്ങളോടു രൂപസാദൃശ്യമുള്ളവയാണ്. കുജൻെറയും വ്യാഴത്തിൻെറയും ഭ്രമണപഥങ്ങൾക്കിടയിലെ സ്പേസിൽ പ്രധാനമായും സമ്മേളിച്ചിരിക്കുന്ന സൂക്ഷ്മഗ്രഹങ്ങളാണ് അസ്റ്ററോയിഡുകൾ. വിച്ഛിന്ന മീററിയറോയിഡുകൾ വളരെചെറിയ അസ്റ്ററോയിഡുകളാണെന്നും ഏററവും വലിയ അസ്റ്ററോയിഡിൻേറതു (500 മൈലോളം വ്യാസമുണ്ടായിരിക്കാനിടയുണ്ട്) മുതൽ ഉൽക്കാധൂളികണങ്ങളുടേതു വരെ അവയുടെ വലുപ്പത്തിൽ നിരന്തരമായ തരംതിരിവുണ്ടായിരിക്കുമെന്നും സൂചന നൽകുന്നതാണീ വസ്തുതയെന്നു തോന്നുന്നു.

പരാസങ്ങളോടൊപ്പം, പ്രതിധ്വനികളുടെ നിരീക്ഷിതായാമങ്ങളിൽ നിന്നു് മീററിയറോയിഡുകളുടെ ദ്രവ്യമാനം റഡാർ ഉപയോഗിച്ചു നിർണയിക്കാം. ദൃശ്യ ഉൽക്കകളുടെ ദ്യുതിയിൽ നിന്നും അവയുടെ ദ്രവ്യമാനങ്ങൾ കണ

ക്കാക്കാം. വിച്ഛിന്ന ഉൽക്കകളുടെ ശരാശരി ദ്രവ്യമാന വിതരണം 0.02 മി. ഗ്രാം മുതൽ 100 മി ഗ്രാം വരെയാണെന്നു നിർണയിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഭൂമിയിലാകമാന മുള്ള പതന നിരക്ക് പ്രതിദിനം, 100 മി. ഗ്രാമിനും 10 മി. ഗ്രാമിനുമിടക്ക് ദ്രവ്യമാനമുള്ള 10^6 ഉൽക്കകളെന്നതിൽ നിന്നും 0.01 മി. ഗ്രാമിനും 0.001 മി. ഗ്രാമിനു മിടയിൽ ദ്രവ്യമാനമുള്ള 6.5×10^{10} ഉൽക്കകളായി വർധിക്കുന്നു. ഓരോ ദ്രവ്യമാന ദശകത്തിലും ഏകദേശം 50 കി. ഗ്രാം ഉൽക്കകൾ വീതം ദിവസംപ്രതി അന്തരീക്ഷത്തിൽ പ്രവേശിക്കുന്നുണ്ട്. മീററിയോറൈറ്റുക (അതാ യത്ത് ഭൂമിയിലെത്തുന്ന ഉൽക്കകൾ) ളെ ഒഴിവാക്കിയാൽ അന്തരീക്ഷത്തിൽ പ്രവേശിക്കുന്ന വിച്ഛിന്ന മീററിയറോയിഡുകളുടെ ആകെ ദ്രവ്യമാനം പ്രതി ദിനം 750 കി.ഗ്രാമിനോടടുത്തുവരും. ഭൂമിയിലെത്തുന്ന മീററിയോറൈറ്റുക ളുടെ മൊത്ത ദ്രവ്യമാനം പ്രതിദിനം 550 കി. ഗ്രാം ആണ്. ശരാശരി 250 കി. ഗ്രാം, പ്രതിദിനം എന്ന തോതിൽ വൃഷ്ടി (ഷവർ) ഉൽക്കകൾ അന്തരീക്ഷ ത്തിലെത്തുന്നു. വിവിധ വൃഷ്ടികളിലെ ഉൽക്കകളുടെ ദ്രവ്യമാന വിതരണ ത്തിൽ കാണപ്പെടുന്ന വ്യത്യാസങ്ങൾ ഒരുപക്ഷേ പ്രായവ്യത്യാസവുമായി ബന്ധപ്പെട്ടതായിരിക്കാം.

റഡാർമുഖേന ഉൽക്കകളെക്കുറിച്ച് നടത്തിയ പഠനങ്ങൾ ഉപര്യന്തരീക്ഷത്തെ പ്പററി നമുക്കുള്ള അറിവ് വളരെ വർധിക്കാനിടയാക്കി. ഉൽക്കാപഥങ്ങൾ പ്രത്യക്ഷപ്പെടുന്നത് 60 കി. മീ. മുതൽ 120 കി. മീ വരെ ഉയരത്തിലായി രിക്കും. പ്രതിധ്വനിമാപനങ്ങളിൽ നിന്നും ഈ മേഖലയിലെ അന്തരീക്ഷമർ ദവും, അയോണിക സംയോജനത്തോതും നിർണയിക്കാം. ഉൽക്കാപഥത്തിന്റെ അപവാഹങ്ങളിൽ നിന്ന് കാററിൻെറ പ്രവേഗങ്ങളും തിട്ടപ്പെടുത്താം.

റഡാർ-ഒരു ചാന്ദ്ര, ഗ്രഹ-പരിശോധകം എന്ന നിലയിൽ

സാധാരണ വിമാനവിരുദ്ധ റഡാറുകളുടെ നിദർശന സൂക്ഷ്മതയിൽ കവി ഞ്ഞ സൂക്ഷ്മതയൊന്നും ഉൽക്കാ റഡാറുകൾക്കാവശ്യമില്ല. എന്നാൽ, അസാ മാന്യമാം വിധം വലുതായ ദൂരങ്ങൾ അന്തർഭവിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ ചന്ദ്രനിൽ നിന്നോ സൗരയൂഥത്തിലെ മററു ഗോളങ്ങളിൽ നിന്നോ ഉള്ള പ്രതിധ്വനിക ളുടെ നിദർശനം ഒരു വലിയ പ്രശ്നം തന്നെയാണ്.

ഈ പ്രശ്നത്തിൻെറ ആഴം മനസ്സിലാക്കുന്നതിന്, പ്രതിഫലന ലക്ഷ്യത്തി ലേക്കുള്ള ദൂരം D യ്ക്കനുസൃതമായി പ്രതിധ്വനി ശക്തി എങ്ങനെ കുറയുന്നു വെന്ന് നമുക്കൊന്നു നിർണയിക്കാം. റഡാർ ട്രാൻസ് മിററർ P_T വാട്ട്സ് ശക്തിയുള്ള സ്പന്ദങ്ങൾ ഉത്സർജിക്കുന്നതായി സംകല്പിക്കുക, ആന്റെന്ന (പ്രക്ഷേപണത്തിനും അഭിഗ്രഹണത്തിനും അതു തന്നെയാണുപയോഗിക്കുന്നത്) യുടെ ലാഭം G യും ലക്ഷ്യ (ടാർജററ്) ത്തിലേക്കുള്ള ദൂരം D യുമാണെങ്കിൽ ടാർ ജററിൻെറ മാത്രാ വിസ്തീർണത്തിലുള്ള പവർ $\frac{G P_T}{4\pi D^2}$ ആയിരിക്കും. പതി തവികിരണത്തിൽ നിന്നും റഡാറിലേക്കു മടങ്ങിപ്പോവുന്ന അംശം ടാർജററിന്റെ

പദാർത്ഥം, അഭിവിന്യാസം, ആകൃതി, വലുപ്പം എന്നിവയെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും. യഥാർത്ഥ ടാർജററ് തിരിച്ചു വിടുന്നത്ര ശക്തി തന്നെ റഡാറിലേക്കു തിരിച്ചു വിടുന്ന ഒരു തികച്ചും സമദൈശികമായ പ്രകീർണകത്തിന്റെ ച്ഛേദതല വിസ്തീർണമായ σ കൊണ്ട് പ്രസ്തുത ടാർജററിന്റെ പ്രതിഫലന ശേഷി സൂചിപ്പിക്കാം. ടാർജററിൽ നിന്നും എല്ലാ ദിശകളിലേക്കും തുല്യമായി $\frac{\sigma G P_T}{4\pi D^2}$ ശക്തി വികിരണം ചെയ്യുമ്പോഴത്തെ അതേ ശക്തി തന്നെയായിരിക്കും സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന പ്രതിധ്വനി ശക്തി, അങ്ങനെ ആന്റെന്നയുടെ മാത്രാ വിസ്തീർണത്തിലെ പ്രതിധ്വനിശക്തി $\frac{\sigma G P_T}{(4\pi D^2)^2}$ ആയിരിക്കും.

സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന മൊത്തം ശക്തി

$$P_D = \frac{P_T\ G\sigma A}{(4\pi\ D^2)^2} = \frac{P_T\sigma A^2}{4\pi\ \lambda^2 D^4} \tag{6–1}$$

A ആന്റെന്നയുടെ പ്രഭാവിക വിസ്തീർണവും $G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}$ ഉം ആണ്. സമീകരണം (6–1) റഡാർ സമീകരണം എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഒരു നിർദിഷ്ട റഡാർ വ്യൂഹത്തിലെ സ്വീകരിക്കപ്പെടുന്ന പ്രതിധ്വനി ശക്തി σ/D^4 നു് ആനുപാതികമായി വ്യത്യാസപ്പെടുന്നുവെന്ന കാര്യം ഇവിടെ വ്യക്തമാണ്.

ഒരു സാധാരണ ദീർഘ-പരാസ വിമാനവിരുദ്ധ റഡാർ വ്യൂഹത്തിന് 100-അടി ചിറകു് വിസ്താരമുള്ള ഒരു വിമാനത്തെ 200 കി. മീററോളം അകലെ വച്ച് കഷ്ടിച്ച് നിദർശിക്കാനാവും. അത്തരമൊരു വിമാനത്തിന്റെ σ യുടെ മൂല്യം 40 മീ^{2} ആണെന്നു കണക്കാക്കപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. ചന്ദ്രനെപ്പോലെയുള്ള പരുക്കൻ ഗോളവസ്തുക്കളുടെ σ വസ്തുവിന്റെ ച്ഛേദതല വിസ്തീർണത്തിന്റെ 1/10 എന്ന ക്രമത്തിലായിരിക്കുമെന്നും കണക്കാക്കിയിട്ടുണ്ട്. ചന്ദ്രന്റെ കാര്യത്തിൽ σ/D^4 പ്രസ്തുത വിമാനത്തിന്റെ σ/D^4 ന്റെ 1/1000 മാത്രമാണെന്നു കാണാം, അതായത് ചാന്ദ്ര നിരീക്ഷണങ്ങൾക്ക് ആയിരം മടങ്ങ് സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തി കൂടുതൽ വേണമെന്നു സാരം. സൗരയൂഥത്തിലെ മററ് അംഗങ്ങളെ നിദർശിക്കുന്നതിനാവശ്യമായ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തിയോട്ട് അടുത്തെങ്ങുമെത്തുന്നില്ലയെന്നു പട്ടിക (6–1) ൽ നിന്നും കാണാവുന്നതേയുള്ളൂ.

ടാർജററിന്റെ വ്യാപ്തി കൂടുന്തോറും ഉപയോഗിക്കുന്ന സ്പന്ദങ്ങളുടെ ദൈർഘ്യവും കൂടിയെങ്കിൽ മാത്രമേ പട്ടിക 6–1 ലെ σ/D^4ന്റെ മൂല്യങ്ങൾക്ക് ആധാരമായിരിക്കുന്ന പ്രതിധ്വനിയുളവാക്കുന്ന വിസ്തീർണം ലഭിക്കൂ. വിമാന നിദർശനത്തിന് ഒരു മൈക്രോസെക്കന്റോ മററോ സ്പന്ദദൈർഘ്യം ധാരാളം മതി. സ്പന്ദം ഹ്രസ്വമാകുന്തോറും പരാസകൃത്യത വർധിക്കും. ഖഗോളീയ വലുപ്പമുള്ള ഗോളീയ ടാർജററുകളുടെ കാര്യത്തിൽ സ്പന്ദത്തിന്റെ കാലദൈർഘ്യം തീരെക്കുറഞ്ഞതു് വസ്തുവിന്റെ ത്രിജ്യയുടെ ഇരട്ടി ദൂരം സഞ്ചരിക്കുന്ന

പട്ടിക 6–1

ചന്ദ്രനു് ആപേക്ഷികമായി, വിവിധ റഡാർ ടാർജററുകളുടെ നിദർശനീയത

ടാർജററു്	σ/D^4 ന്റെ പരിമാപിത മൂല്യം (ചന്ദ്രന്റെ മൂല്യത്തിനു് അപേക്ഷികമായി)
ക്ലററൻ വിമാനം—200 കി. മീ. അകലെ	1000
ചന്ദ്രൻ	1
സൂര്യൻ	$< 1 \times 10^{-5}$
ശുക്രൻ	2×10^{-7}
കുജൻ	1.3×10^{-8}
ബുധൻ	1.7×10^{-9}
വ്യാഴം	3.8×10^{-10}
ശനി	1.7×10^{-11}
യുറാനസ്	1.7×10^{-13}
നെപ്ട്യൂൺ	2.3×10^{-14}

തിനു് ഒരു റേഡിയോ തരംഗത്തിനാവശ്യമായ സമയത്തോളമെങ്കിലുമുണ്ടായിരിക്കണം. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ ദൃശ്യ–അർധഗോളത്തിലെ ഏററവും സമീപസ്ഥമായ ഭാഗത്തു നിന്നും റഡാർ ആന്റെന്നയിൽ എത്തിച്ചേരുന്ന വികിരണം, കൂടുതൽ വിദൂരസ്ഥമായ ബിന്ദുക്കളിൽ നിന്നും വികിരണം ആദ്യമായി എത്തുന്ന സമയത്തു തന്നെ ഇപ്പോഴും എത്തുന്നുണ്ടായിരിക്കും. ഇക്കാരണത്താൽ ചാന്ദ്ര–റഡാർ സ്പന്ദങ്ങളുടെ ദൈർഘ്യം 11.6 മില്ലി സെക്കൻറിൽ കൂടുതലായിരിക്കണം. ഇങ്ങനെയൊക്കെയാണെങ്കിലും ദൃശ്യാർധഗോളത്തിലെ, അരമില്ലിസെക്കൻറു കാലദൈർഘ്യമുള്ളസ്പന്ദങ്ങൾ കൊണ്ടു വേണ്ട വിധം പഠിക്കാവുന്നതും പ്രായേണ ചെറുതുമായ ഒരു കേന്ദ്രമേഖലയിൽ നിന്നുമാണു് ചാന്ദ്ര പ്രതിധ്വനികളിലേറിയ പങ്കും മടങ്ങി വരുന്നതെന്നു് ഇവാൻസും (Evans)[10] ടെക്സലും[11] തെളിയിച്ചിട്ടുണ്ടു്. ചന്ദ്രനേക്കാൾ വലിയ ഗോളങ്ങളിൽ പൂർണമായ പ്രതിധ്വനി മേഖല ലഭ്യമാക്കുന്നതിനു് കൂടുതൽ ദൈർഘ്യമേറിയ, (ഗോളത്രിജ്യയ്ക്കു് ആനുപാതികമായിരിക്കണമെന്നു് ഊഹിക്കപ്പെടുന്നു) സ്പന്ദങ്ങൾ ഉപയോഗിക്കണം.

പ്രക്ഷേപിത ശക്തി P_T വർധിപ്പിച്ചു്, ആന്റെന്ന വിസ്താരം A കൂട്ടിയും അഥവാ നിദർശനീയമായ നിമ്നതമ ശക്തി P_D കുറച്ചും, ഒരു നിർദിഷ്ട തരംഗ നീളത്തിൽ പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരിക്കുന്ന റഡാറിന്റെ പരാസം D

വർധിപ്പിക്കാമെന്ന സമീകരണം 6–1 വ്യക്തമാക്കുന്നു. ട്രാൻസ്മിററർ ശക്തി അഥവാ ആൻെറന്ന വിസ്താരം വൻതോതിൽ വർധിപ്പിക്കുന്നതിനുള്ള അമിതമായ ചെലവ് ആദ്യം പറഞ്ഞ രണ്ടു ഘടകങ്ങളെ പരിമിതപ്പെടുത്തുന്നു. എന്നാൽ റിസീവറിൻെറ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തിയിൽ വലിയ വർധന ദുസ്കര സാധ്യമാണ്.

നിദർശനീയമായ നിമ്നതമ റഡാർസിഗ്നൽ ശക്തിയെ നിർണയിക്കുന്നതു് പശ്ചാത്തല രവ വിതാനമാണ്. പ്രസ്തുത രവം റിസീവർ ബാൻഡ് വീതിക്ക് ആനുപാതികവുമാണ്. മൈക്രോസെക്കൻറുകൾക്കുപകരം മില്ലിസെക്കൻറു ക്രമത്തിലുള്ള സ്പന്ദദൈർഘ്യങ്ങളുപയോഗിച്ചാൽ ബാൻഡ് വീതി 1/1000 മാത്രം മതി. ബാൻഡ് വീതിയുടെ അതേ അനുപാതത്തിൽ തന്നെ പശ്ചാത്തല രവവും കുറയുന്നതിനാൽ ദൈർഘ്യമേറിയ സിഗ്നലുകളുപയോഗിച്ചാൽ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകശക്തി ആയിരം മടങ്ങു വർധിക്കും. അമിതമായ ട്രാൻസ്മിററർശക്തിയും ആന്റെന്ന വിസ്താരവും കൂടാതെ തന്നെ ചാന്ദ്ര പ്രതിധ്വനികളുടെ നിദർശനം സാധ്യമാകുന്നതിനു് ഈ വർധന ധാരാളം മതി.

പശ്ചാത്തല രവവിതാനത്തിനു വളരെ താഴെയുള്ള ആവർത്തക സിഗ്നലുകൾ നിദർശിക്കുന്നതിനു്. ദീർഘ–കാല സമാകലന തന്ത്രങ്ങളുപയോഗിച്ചാണ് ശുക്രനിൽ നിന്നും റഡാർ പ്രതിധ്വനികൾ ലഭിക്കുന്നതിനാവശ്യമായ വൻതോതിലുള്ള സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകത്വ വർധനവ് പലപ്പോഴും കൈവരിക്കുന്നതു്. തന്റെ ചാന്ദ്രറഡാർ അന്വേഷണങ്ങളിൽ ബേ ആവിഷ്കരിച്ച നൂതന സമ്പ്രദായം ഇത്തരമൊരു ടെക്നിക്കിനുദാഹരണമാണ്. ശുക്ര റഡാർ സമാകലന വ്യൂഹങ്ങൾ തീർച്ചയായും ഇതിനേക്കാൾ പരിഷ്കൃതങ്ങളായിരിക്കും. മിൻസ്ററൺ റഡാർ ഒബ്സർവേററി (മസാച്ചു സെററ്സ് ഇൻസ്ററിററ്യൂട്ട് ഒഫ് ടെക്നോളജി)[12] യിലുപയോഗിച്ച സമ്പ്രദായത്തിൽ പ്രതിധ്വനിയുടെ ഗമനാഗമനകാലത്തിനേക്കാൾ അല്പം കുറഞ്ഞ സമയത്തേക്കു്, ഒരേ അകലമുള്ള സ്പന്ദങ്ങളുടെ ഒരു പരമ്പരയാണ് പ്രക്ഷേപണം ചെയ്തതു്. അവരുടെ പരീക്ഷണങ്ങളിൽ ഈ സമയം 283 മുതൽ 449 സെക്കൻറു വരെ വ്യത്യാസപ്പെട്ടിരുന്നു. ഒന്നാം പ്രതിധ്വനി സ്പന്ദം എത്തുന്നതിനു തൊട്ടു മുമ്പ് ട്രാൻസ്മിറററിൻെറ പ്രവർത്തനം നിറുത്തുകയും ആന്റെന റിസീവറിനോടു ഘടിപ്പിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ശുക്രൻെറ ഭൂമിക്കു് ആപേക്ഷികമായ ചലനം പ്രതിധ്വനി സിഗ്നലിൻെറ ആവൃത്തിയിൽ ഒരു ഡോപ്ളർ ഭ്രംശമുണ്ടാക്കുന്നതു കാരണം റിസീവർ പ്രസ്തുത പരിമാപിത ആവൃത്തിക്കനുസരണമായി ക്രമപ്പെടുത്തേണ്ടതുണ്ടു്.

റിസീവർ നിർഗമത്തെ ഡിജിററൽ രൂപേണ ഒരു ക്രമമായ അന്തരാളത്തിൽ കംപ്യൂട്ടറിലേക്കു് അയയ്ക്കുന്നു. പ്രസ്തുത അന്തരാളം സ്പന്ദത്തിൻെറ പുനരാവർത്തന കാലം T യുടെ ഒരു ചെറിയ അംശം മാത്രമായിരുന്നു. ഒന്നാം പ്രക്ഷേപിതസ്പന്ദത്തിൻെറ തുടക്കത്തിനു ശേഷം, T സെക്കൻറിൻെറ പൂർണ സംഖ്യാഗുണിതമായിവരുന്ന സമയത്താണ് ഒന്നാം റിസീവർ പാഠ്യാങ്കമെടുക്കുന്ന

തെന്നും അതിനെ തുടർന്ന് കൃത്യമായും T അന്തരാളങ്ങളിലുണ്ടാവുന്ന പാഠ്യാങ്കങ്ങളുടെ ശരാശരി എടുക്കുന്നതായും നമുക്കൊന്നു സങ്കല്പിക്കാം. അതു പോലെ രണ്ടാം പാഠ്യാങ്കത്തെ T സെക്കൻറിൻെറ പൂർണ സംഖ്യാ ഗുണിതമായി അതിനെ അനുധാവനം ചെയ്യുന്ന പാഠ്യാങ്കങ്ങളുമായി ശരാശരിയെടുക്കുന്നു. ഈ ശരാശരി മൂല്യങ്ങളെ ഓരോ പാഠ്യാങ്ക കാലത്തിൻെറയും തുടക്കം മുതൽ, ശരാശരിയെടുക്കേണ്ട സമ്പ്രദം തിരഞ്ഞെടുക്കുന്നേതു വരെയുള്ള സമയത്തിൻെറ ഫലനമായി പ്രദർശിപ്പിക്കുന്നു.

പാഠ്യാങ്കകാലങ്ങളിൽ പ്രതിധ്വനികളൊന്നുമില്ലാതിരിക്കുന്ന സമയത്തു നിരീക്ഷിക്കപ്പെടുന്ന ശരാശരി മൂല്യങ്ങൾ രവ വിതാനം മാത്രം കൊണ്ടുണ്ടാകുന്നതാണ്. പ്രതിധ്വനികളുൾപ്പെടുന്ന കാലയളവിലെടുക്കുന്ന ശരാശരികൾ ഇതിനേക്കാൾ അല്പം കൂടുതലായിരുന്നു. പ്രതിധ്വനികൾ കൊണ്ടുണ്ടാകുന്ന വർധന വ്യക്തമായി നിദർശിക്കുന്നതിന് ആയിരക്കണക്കിനു പാഠ്യാങ്ക കാലങ്ങളിലെ ശരാശരിയെടുക്കേണ്ടി വന്നു. പ്രതിധ്വനി സമയം T യുടെ ഒരു പൂർണ സംഖ്യാഗുണിതം കവിയുന്നതിനു വേണ്ട ആവർത്തനകാലത്തിൻെറ ഒരംശം മാത്രമേ ഈ രീതിയിലുള്ള ഒരൊററ അഞ്ചു മിനുട്ട് നിരീക്ഷണം പ്രദാനം ചെയ്യുള്ളു. എന്നാൽ ഈ ഗുണിതം എത്രയാണെന്നു നിർണയമില്ലായിരുന്നു. വ്യത്യസ്തമായ സ്പന്ദ പുനരാവർത്തനകാലങ്ങളിൽ ആവർത്തിച്ച നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തി ഈ അവ്യക്തത ഒഴിവാക്കാനാവും.

ചന്ദ്രനെപ്പററിയുള്ള റഡാർ പഠനങ്ങൾ

റഡാറിൻെറ ഉപയോഗം ചാന്ദ്രോപരിതലത്തെപ്പററി കൂടുതൽ വിവരങ്ങൾ പ്രദാനം ചെയ്യുന്നു. ഈയടുത്ത കാലത്തു വികാസം പ്രാപിച്ച ചില ടെക്നിക്കുകൾ, ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിലെ വിവിധ മേഖലകളിൽ നിന്നും പ്രകീർണനം ചെയ്യപ്പെടുന്ന പ്രതിധ്വനി വികിരണത്തിൻെറ ആപേക്ഷികമായ അളവ് നിർണയിക്കുന്നതു് സാധ്യമാക്കിത്തീർത്തു. അത്തരം നിരീക്ഷണ ഫലങ്ങളുടെ സാംഖിക വിശ്ലേഷണം പ്രതല വിതരണത്തിലുള്ള ക്രമക്കേടുകളെപ്പററി ചില സൂചനകൾ നൽകുന്നുണ്ട്. ഒരു പദാർഥത്തിൻെറ റഡാർ പ്രതിഫലനീയത അതിൻെറ വൈദ്യുത അഭിലക്ഷണങ്ങളെയും പ്രതലത്തിൻെറ മിനുസത്തെയും ആശ്രയിച്ചിരിക്കുന്നതിനാൽ പ്രകീർണനന പദാർഥത്തിൻെറ ശരാശരി ഡൈഇലക്ട്രിക (പരിവൈദ്യുത) സ്ഥിരാങ്കം കണക്കാക്കാനും സാധിക്കും.

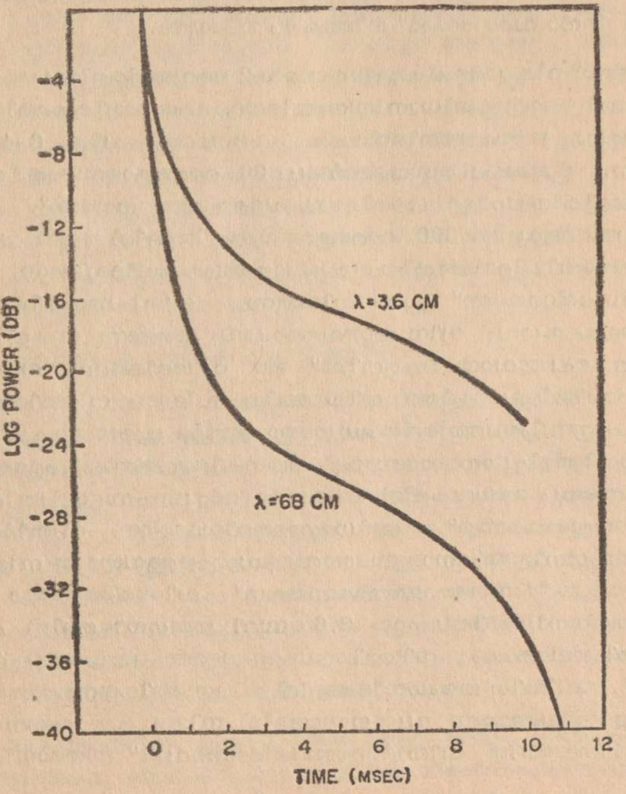
ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിൽ ഒരററം മുതൽ മറേറ അററം വരെ പ്രതിധ്വനി തീവ്രതയിലുണ്ടാകുന്ന മാററങ്ങൾ നേരിട്ടു നിർണയിക്കാൻ പാകത്തിൽ നേർത്തതല്ല. ഇന്നോളം ഉപയോഗിക്കുന്ന റഡാർ ആൻെറന്ന പുഞ്ജമെങ്കിലും, പരാസ ക്രമ വീക്ഷണം ഉൾപ്പെടെയുള്ള മററു മാർഗങ്ങളിലൂടെ ക്രമവീക്ഷണം നിർവഹിക്കാനാവും. ദൃശ്യ–അർധഗോളത്തിൻെറ എല്ലാ ഭാഗത്തു നിന്നും, താരതമ്യേന ചെറിയ പ്രക്ഷേപിത സ്പന്ദങ്ങളുടെ (30 മൈക്രോ സെക്കൻറും അതിൽ കുറവും) പ്രതിധ്വനികൾ ഇപ്പോൾ ലഭ്യമായിത്തീർന്നിട്ടുണ്ട്. വക്രമായ

പ്രതലത്തിലെ വിവിധ ഭാഗങ്ങളുടെ പരാസത്തിലുള്ള ഏറ്റക്കുറച്ചിലുകൾ കാരണം പ്രക്ഷേപിത സ്പന്ദങ്ങളുമായി താരതമ്യപ്പെടുത്തുമ്പോൾ പ്രതിധ്വനി സ്പന്ദങ്ങൾ വളരെയധികം ദൈർഘ്യീകരണം സംഭവിച്ചവയാണ്. ഓരോ പ്രതിധ്വനി സ്പന്ദത്തിലും ഒരു നിർദ്ദിഷ്ട സമയത്തെ ശക്തി ആ പ്രതിധ്വനി സമയത്തിനു സംഗതമായ പരാസത്തിലുള്ള ഇടുങ്ങിയതും വർത്തുളവുമായ ചാന്ദ്രോപരിതല ഭാഗത്തിലുണ്ടാകുന്ന പ്രതീപ പ്രകീർണനത്തിന്റെ ഒരു അളവ് ആയിരിക്കും. സമയം കടന്നു പോകുന്നതോടെ, ഭൂമിക്ക് ഏററവും സമീപസ്ഥമായ ബിന്ദുവിനെ കേന്ദ്രമാക്കിയുള്ള ഈ വർത്തുള നാട വികസിക്കുകയും ചന്ദ്രബിംബത്തിന്റെ വക്കിലേക്ക് നീങ്ങുകയും ചെയ്യുന്നു.

ഇവൻസ് റിപ്പോർട്ട ചെയ്യതു പോലെ 2 ആവൃത്തികളിലോരോന്നിന്റെയും ഒരു ശരാശരി ചാന്ദ്രപ്രതിധ്വനിസ്പന്ദത്തിന്റെ ആപേക്ഷികശക്തിയെ പ്രധാന അരികിനപ്പുറമുള്ള സമയത്തിന്റെ ഒരു ഫലനമായി ചിത്രം 6–4 ൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രക്ഷേപിതസ്പന്ദദൈർഘ്യം 30 മൈക്രോസെക്കന്റ് ആയിരുന്നു. പ്രധാന അരികിനപ്പുറമുള്ള ശക്തിക്ഷയം വളരെ കുത്തനെയാണ്. ഊർജത്തിലേറിയ പങ്കും ആദ്യത്തെ 300 മൈക്രോസെക്കന്റിനുള്ളിൽ തന്നെ ക്ഷയിക്കുന്നു. ഒന്നോ രണ്ടോ മില്ലിസെക്കന്റിനു ശേഷം ഈ ക്ഷയം മന്ദീഭവിക്കുന്നു. ഏറെക്കുറെ 11 മി. സെക്കൻറുകൊണ്ട് സ്പന്ദം നിലയ്ക്കുന്നു. പ്രതിപതനവികിരണത്തിൽ നിയമിതഘടകാംശവും വിസരണഘടകാംശവും ഉണ്ടെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ ഈ വക്രങ്ങളുടെ പൊതുവായ ആകൃതിക്ക് ഒരു വിശദീകരണം നൽകാനാവും. പ്രധാന അരികിലെ കൂർത്ത ശിഖരത്തിനു നിദാനം നിയമിതഘടകാംശം ആണ്. ചന്ദ്രബിംബത്തിന്റെ മധ്യത്തോടടുത്തുള്ള പ്രായേണ പരന്നതും (തരംഗനീളവുമായി തട്ടിച്ചു നോക്കുമ്പോൾ) പതനകിരണങ്ങൾക്ക് ഏറെക്കുറെ ലംബവുമായ അസംഖ്യം മേഖലകളിൽ നിന്നുമുള്ള ദർപ്പണ–സദൃശപ്രതിപതനങ്ങൾ മൂലമാണ് ഇതുണ്ടാകുന്നത്. അർധഗോളത്തിലാകമാനം വിതീർണമായിരിക്കുന്നതും തരംഗനീളത്തിനോടു സമാനമായ വലുപ്പമുള്ളവയുമായ നിരപ്പുകേടിൽ നിന്നുമുള്ള പ്രകീർണനത്താലുണ്ടാകുന്നതാണ് വിസരിതഘടകാംശം. 68 സെ. മീ തരംഗനീളത്തിലേക്കാൾ 3.6 സെമീ തരംഗനീളത്തിൽ ചിത്രം 6.4 ലെ വിസരിതഘടകാശം നിയമിതഘടകാംശത്തെ അപേക്ഷിച്ച് കൂടുതൽ വലുതാണ്. വിവിധ തരംഗനീളങ്ങളിൽ പരാസത്തിനനുസരണമായി പ്രതിധ്വനി ശക്തിയിലുണ്ടാകുന്ന വ്യത്യാസങ്ങളിൽ നിന്നും പ്രകീർണനകേന്ദ്രങ്ങൾ ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിൽ വിതീർണമായിരിക്കുന്നുവെന്ന് അനുമാനിക്കാം.

രണ്ടാമത്തെ ക്രമവീക്ഷണ ടെക്നിക്കൽ ഡോപ്ളർ പ്രഭാവം ഉപയോഗപ്പെടുത്തിയിരിക്കുന്നു. ഭൂമിയിൽ നിന്നും കാണുന്നതു പോലെ ചന്ദ്രൻ ഇടം വലമായും മേലുകീഴും ചെറിയകോണങ്ങളിലൂടെ ചാഞ്ചാടുന്നുണ്ട്. ഈ 'ചാഞ്ചാട്ടം' (libration), അങ്ങനെയാണ് അതു് അറിയപ്പെടുന്നതു്, കാരണം ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിലെ വിവിധ ബിന്ദുക്കൾ ഭൂമിയുടെ അടുത്തേക്കോ അകലേക്കോ വ്യത്യസ്ത പ്രവേഗങ്ങളിൽ നീങ്ങുന്നതിനിടയാക്കുന്നു. തത്ഫലമായി

ണ്ടാകുന്ന ഡോപ്ലർ ഭ്രംശങ്ങൾ കാരണം പ്രതിധ്വനി സ്പെക്ട്രത്തിന്റെ വീതി കൂടുന്നു. പ്രതിധ്വനികളുടെ പവർ സ്പെക്ട്രത്തിൽ നിന്നും ഒരു നിർദിഷ്ട ഡോപ്ലർഭ്രംശമുണ്ടാക്കുന്ന എല്ലാ പ്രതലബിന്ദുക്കളും പ്രകീർണനത്തിൽ വഹിക്കുന്ന പങ്ക് എത്രത്തോളമെന്നു അനുമാനിക്കാം. പരാസത്തിന്റെയും ആവൃത്തിയുടെയും സംയുക്ത ക്രമവീക്ഷണത്തിൽ നിന്നു ലഭിച്ച ദത്തങ്ങളെ ആസ്പദമാക്കി ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിലുണ്ടാവുന്ന റഡാർ പ്രകീർണനങ്ങളുടെ മാനചിത്രങ്ങൾ പെററൻഗിൽ (pettengill) [12] തയ്യാറാക്കിയിട്ടുണ്ട്. ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിലെ



ചിത്രം 6.4.

ചാന്ദ്രപ്രതിധ്വനികളുടെ ആപേക്ഷികശക്തിയെ സമയത്തിന്റെ ഫലനമായി ചിത്രീകരിച്ചിരിക്കുന്നു. പ്രധാന അരികിൽ നിന്നുമാണു് സമയം മാപനം ചെയ്തിരിക്കുന്നതു്. രണ്ടു തരംഗനീളങ്ങളിലും പ്രക്ഷേപിതസ്പന്ദത്തിന്റെ ദൈർഘ്യം 30 മൈ: സെ വീതമായിരുന്നു.

ഒരു തുല്യപരാസപ്രാന്ത്യരേഖ (കോണ്ടൂർ) തുല്യ-ഡോപ്പർഭ്രംശരേഖയെ രണ്ടു ബിന്ദുക്കളിൽ പരസ്പരം ഖണ്ഡിക്കുന്നതിനാൽ ഇത്തരം മാനചിത്രങ്ങൾ അവ്യക്തങ്ങളാണ്. ഡോപ്പർ വിപുലനവും പ്രതിധ്വനിതീവ്രതയും പരാസത്തിൻെറ ഫലനമായി ഒരേസമയം മാപനം ചെയ്ത് 'ചാഞ്ചാട്ട'ത്തിൻെറ ഘൂർണനപ്രവേഗവും നിർണയിക്കാം.

ചിത്രം 6.4 ൽ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന ദത്തങ്ങളുടെ അപഗ്രഥനത്തിൽ നിന്നും ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിലേറിയ പങ്കും മിനുസമുള്ളതും നിമ്നോന്നതവുമാണെന്നുമുള്ള നിഗമനത്തിൽ ഇവാൻസ് എത്തി. 68 സെ. മീ. അകലത്തിലുള്ള ബിന്ദുക്കൾ തമ്മിൽ ശരാശരി ഏകദേശം 10—ൽ ഒന്ന് ഗ്രേഡിയൻറും 3.6 സെമീ അകലെയുള്ള ബിന്ദുക്കൾക്ക് ഏകദേശം 7 ൽ 1 ഗ്രേഡിയൻറും ഉണ്ടത്രേ. ഉപരിതലത്തിൻെറ 8 ശതമാനത്തോളം മാത്രമേ 68 സെ.മീ നോളം വലുപ്പമുള്ള കുഴികളും കുന്നുകളും കൊണ്ടു നിറഞ്ഞിട്ടുള്ളൂ, 3.6 സെ മിനോടു താരതമ്യപ്പെടുത്താവുന്നത്ര നിമ്നോന്നതമാണ് ഉപരിതലത്തിൻെറ 14 ശതമാനം. ഫ്രിക്കർ തുടങ്ങിയവർക്കു ലഭിച്ച ചന്ദ്രൻെറ റഡാർ ഛേദതലത്തിൻെറ ഒരു മൂല്യം ഉപയോഗിച്ച് ചന്ദ്രോപരിതലപദാർഥത്തിന്റെ ശരാശരി ഡൈഇലക്ട്രികസ്ഥിരാങ്കം 2.8 ആണെന്ന് ഇവാൻസ് കണക്കാക്കിയിട്ടുണ്ട്. പ്രസ്തുത മൂല്യം ഈർപ്പമില്ലാത്ത മണലിന്റേതിനോടു ഏറക്കുറെ തുല്യവും ഖര ശിലയുടെതിൻെറ പകുതിയോളവുമാണെന്നും അദ്ദേഹം ചൂണ്ടിക്കാണിച്ചിട്ടുണ്ട്. ചന്ദ്രോപരിതലം സരന്ധ്രമാണെന്നും, അതിന് ഖരശിലയുടെ 40 ശതമാനത്തോളം ഘനത്വമുണ്ടെന്നും അദ്ദേഹം നിഗമനം നടത്തുന്നു.[13]

ഖഗോളീയ ഏകകം (മാത്ര)

പ്രകാശീകദൂരദർശികളുപയോഗിച്ചു വളരെ മുമ്പു നടത്തിയ കോണീയമാപനങ്ങൾ ഭൗമഭ്രമണപഥത്തിൻെറ ആകൃതിയെപ്പററി വളരെ കൃത്യമായ അറിവു പ്രദാനം ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. ഒരു നിർദിഷ്ട വർഷത്തിലുടനീളം വിവിധ സമയങ്ങളിൽ നക്ഷത്രങ്ങൾക്കാപേക്ഷികമായി സൂര്യൻെറ ദിശ നിരീക്ഷിക്കുന്നതിലൂടെ സൂര്യനിൽ നിന്നും ഭൂമിയിലേക്കുള്ള സംഗതമായ ദിശകൾ ലഭ്യമാകും.

7

റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനവും സ്പേസ്‌യുഗവും

റഡാർഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിനും ശൂന്യാകാശപര്യവേഷണത്തിനും പൊതുവായി പലതുമുണ്ട്. രണ്ടാംലോകമഹായുദ്ധകാലത്തെ സാങ്കേതിക പുരോഗതിയിൽ നിന്നുമാണ് ഈ രണ്ടു മണ്ഡലങ്ങളും പ്രചോദനം ഉൾക്കൊണ്ടത്. താൻ അധിവസിക്കുന്ന പ്രപഞ്ചത്തെപ്പററി മനുഷ്യനുള്ള ധാരണ വളരെയേറെ വർധിക്കുമെന്നു വാഗ്ദാനം ചെയ്യുന്ന നൂതനവും ജിജ്ഞാസജനകവും ആയ ശാസ്ത്രശാഖയാണ് അവയോരോന്നും. ഈ രണ്ടു മണ്ഡലങ്ങളും സൗഹൃദപരമായ മത്സരത്തിൽ ഏർപ്പെട്ട സന്ദർഭങ്ങൾ നമ്മുടെ ശ്രദ്ധയ്ക്കു വിഷയീഭവിച്ചിട്ടുണ്ട്. എങ്കിലും പലപ്പോഴും അവ പരസ്പരം സഹായിക്കുന്നതിനുള്ള പ്രവണതയാണു കാട്ടിയിട്ടുള്ളത്. ശൂന്യാകാശപര്യവേഷണം റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനിക്ക് തന്റെ ഉപകരണങ്ങളെ അവയുടെ ഇന്നത്തെ പരിസ്ഥിതികളുടെ പരിമിതികൾക്കപ്പുറത്തേക്ക് ഉയർത്തുവാൻ—അവയെ സൗരയൂഥത്തിലെ മററു ഗോളങ്ങളിലേക്കു കൊണ്ടുപോകുവാൻ പോലും—ഒരവസരം നൽകുന്നു. അതുപോലെ തന്നെ റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ വികസിപ്പിച്ചെടുത്ത ടെക്നിക്കുകൾ സ്പേസ്‌വാഹനങ്ങളെ അനുധാവനം ചെയ്യുന്നതിനും അവയുമായി സമ്പർക്കം പുലർത്തുന്നതിനും ആവശ്യമായ ടെക്നിക്കുകളോടു വളരെയേറെ അടുത്ത ബന്ധമുള്ളവയായും ഭവിച്ചിരിക്കുന്നു.

സ്പേസിൽ റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിനുള്ള പങ്ക്

റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനവും സ്പേസ്ഗവേഷണവും അടിസ്ഥാനപരമായി മൗലികശാസ്ത്രങ്ങൾ തന്നെയാണ്. അതായത് അവയോരോന്നും ജ്ഞാനാന്വേഷണമാണ്. പെട്ടെന്നുണ്ടാകുന്ന 'പ്രായോഗിക' ലാഭം എന്ന ചിന്തയേക്കാളുപരി മനുഷ്യന്റെ ജിജ്ഞാസയായിരുന്നു അവയിലെ പ്രധാന പ്രേരണാശക്തി. പെട്ടെന്നോ പിന്നീടോ മനുഷ്യസമൂഹത്തിനു സേവനമായിത്തീർന്നിട്ടില്ലാത്ത ശാസ്ത്രസംബന്ധമായ കണ്ടുപിടുത്തങ്ങളൊന്നും തന്നെയില്ല എന്ന ചരിത്രം നമ്മെ പഠിപ്പിക്കുന്നു. കണ്ടുപിടിത്തവും ഉപയോഗപ്പെടുത്തലും തമ്മിലുള്ള അന്തരാളം ഓരോ തലമുറ കഴിയുന്തോറും ചെറുതായി ചെറുതായി വരുന്നതായി തോന്നുന്നു,

ഈ സംഗതികൾ പ്രാധാന്യം ഊന്നിക്കൊണ്ട് പ്രശസ്ത ബ്രിട്ടീഷ് ഖഗോളവിജ്ഞാനിയായ സർ ബർണാർഡ് ലോവൻ തന്റെ 200 അടി റേഡിയോ ദൂരദർശിയെപ്പററി എഴുതുകയാണ്. "എന്റെ പ്രയത്നത്തിനുണ്ടായേക്കാവുന്ന ഏതെങ്കിലും പ്രായോഗിക ഫലത്തെപ്പററി അന്വേഷിക്കുകയെന്നതു് എന്റെ ദൈനംദിനജോലിയുടെ ഒരു ഭാഗമായിരുന്നില്ല. ഈ രാജ്യത്തു് റേഡിയോ ദൂരദർശികൾക്ക വേണ്ടി നീക്കിവെച്ചിട്ടുള്ള തുക പ്രപഞ്ചത്തെപ്പററിയുള്ള സ്വതന്ത്രമായ ഗവേഷണത്തിനു വേണ്ടി നിക്ഷേപിച്ചിട്ടുള്ളതായിരുന്നു. എന്നാൽ പ്രപഞ്ചപഠനത്തിനു വേണ്ടി വിഭാവനം ചെയ്തു നിർമിച്ച ദൂരദർശിയുടെ ഇദംപ്രഥമമായ ഉപയോഗം റഡാർ മുഖേന റഷ്യൻ സ്പുട്നിക്കിന്റെ വിക്ഷേപണറോക്കററു് നിദർശിക്കുകയെന്നതായിരുന്നു."[1]

സ്പേസ്‌വിജ്ഞാനത്തിനു് റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനം നൽകിയ പ്രധാന സംഭാവനകൾ എന്തൊക്കെയാണ്? വലിയ ആന്റിന വ്യൂഹങ്ങളുടെയും അതീവസൂക്ഷ്മഗ്രാഹകങ്ങളായ റിസീവറുകളുടെയും വികാസത്തിനു് റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനം കളമൊരുക്കിയെന്ന കാര്യത്തിൽ ഒട്ടും സംശയമില്ല. ബഹിരാകാശയത്നങ്ങളിൽ ഇത്തരം സൗകര്യങ്ങൾ ആവശ്യമായിവന്നകാലത്തിനു തൊട്ടു മുമ്പാണ് ഇതു സംഭവിച്ചതു്. റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിന്റെയും ബഹിരാകാശഗവേഷണങ്ങളുടെയും ആവശ്യങ്ങൾ ഏറക്കുറെ ഒന്നുതന്നെയായിരുന്നു. ഖഗോളീയ നിരീക്ഷണങ്ങൾ നടത്തുകയെന്നതിനേക്കാളുപരിയായി ഉപഗ്രഹങ്ങളുടെയും ബഹിരാകാശപരിശോധകങ്ങളുടെയും മാർഗം നിർണയിക്കുന്നതിലായിരുന്നു സർ ബർണാഡിന്റെ ദൂരദർശി അധികസമയവും വ്യാപൃതമായിരുന്നതു്. മാസാച്ചുസെററ്സിലെ വിൽസ്റ്റൺ റഡാർ, കാലിഫോർണിയായിലെ 'ഗോൾഡ്സ്റ്റോൺ' റഡാർ തുടങ്ങിയ മററു പ്രധാന പ്രതിഷ്ഠാപനങ്ങളും ഇതേ രീതിയിൽ അവരുടെ സമയം വിനിയോഗിച്ചിരുന്നു.

കോസ്മികറേഡിയോരവത്തെ സംബന്ധിക്കുന്ന ജാൻസ്കിയുടെ കണ്ടുപിടിത്തം റേഡിയോ എൻജിനീയറന്മാർ ശ്രദ്ധിച്ചതേയില്ല എന്നു നാം ഒന്നാം അധ്യായത്തിൽ കാണുകയുണ്ടായി. പ്രസ്തുത സിഗ്നലുകൾ എന്തെങ്കിലും പ്രായോഗിക പ്രാധാന്യം ഉണ്ടാകാനിടയില്ലാത്ത വിധം അതീവദുർബലമാണെന്നു് അവർക്കു തോന്നിയതായിരുന്നു ഇതിനു കാരണം. എന്നാൽ ഇന്നത്തെ സ്ഥിതി പാടെ വിഭിന്നമാണ്, മേസറുകളേയോ അഥവാ പരാമെട്രീകപ്രവർധകങ്ങളേയോ ആധാരമാക്കിയുള്ള റിസീവറുകൾ അങ്ങേയററം സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകങ്ങളാണ്. ഗ്യാലക്സിയിൽ നിന്നുമുള്ള രവം റേഡിയോസ്പെക്ട്രത്തിലധികഭാഗത്തും വാർത്താവിനിമയത്തിനു പരിമിതികളുണ്ടാക്കി ഒരു ഭീഷണിയായിത്തീരുമോയെന്നു പോലും ഇപ്പോൾ തോന്നിപ്പോവുന്നു. 800 മെ. ഹെ. താഴെയുള്ള ആവൃത്തികളിൽ കോസ്മികരവം അതിശീഘ്രം വർധിക്കുകയും അതേസമയം 10,000 മെ. ഹെ. നുമേൽ ഭൗമാന്തരീക്ഷത്തിലെ ഓക്സിജൻ—ജലബാഷ്പം എന്നിവയിൽ നിന്നുമുള്ള റേഡിയോരവം കുത്തനെ ഉയരുന്നതായും ചിത്രം 7–1 വ്യക്തമാക്കുന്നു. രവസ്പെക്ട്രത്തിൽ രണ്ടു വക്രങ്ങൾക്കുമിടയിലായി കാണപ്പെടുന്ന

'വാതായനം' റേഡിയോഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിന്റെ സുപ്രധാനമായ ഒരു പ്രായോഗിക ഉപോല്പന്നമാണ്. ഭൂമിയും സ്പേസിലെ മററു ഗോളങ്ങളും തമ്മിലുള്ള നേരിട്ടുള്ള സമ്പർക്കത്തിന് ഏററവും ഫലപ്രദമായിട്ടുള്ളവ ഈ വാതായനത്തിലടംപ്പെടുന്ന ആവൃത്തികളാണെന്നു സ്പഷ്ടമാണ്. സൂര്യനും വ്യാഴവും വളരെയേറെ രവം (ഒച്ച) ഉണ്ടാകുന്ന ഗോളങ്ങളാണെന്നും, അതീവശ്രദ്ധയോടെ ആവൃത്തികൾ തെരഞ്ഞെടുക്കുന്നില്ലെങ്കിൽ അവയിലേക്ക 'നോക്കുന്ന' ഏതൊരു വിനിമയസമ്പ്രദായവും അവയുടെ വ്യതികരണത്തിനു തീർച്ചയായും വിധേയമാകേണ്ടി വരുമെന്നും റേഡിയോ എൻജിനീയർമാർ ഓർമിക്കേണ്ടതുണ്ട്.

അസംഖ്യം വിച്ഛിന്നസ്രോതസ്സുകളുടെ സ്ഥാനങ്ങളും തീവ്രതകളും കൃത്യമായി മാപനം ചെയ്യുന്നതിന് റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ ആകാശമെല്ലാം സൗകര്യപ്രദമായ നിർദ്ദേശബിന്ദുക്കളുടെ ഒരു നെററ്വർക്ക് കൊണ്ട് ആവരണം ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. എൻജിനീയർമാർ തങ്ങളുടെ ആന്റെനകളുടെ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകത, ബീം വീതി, പോയിൻററിങ് കൃത്യത എന്നിവ അംശാങ്കനം ചെയ്യുന്നതിന് ഈ റേഡിയോനക്ഷത്രങ്ങൾ ഇപ്പോൾ ഉപയോഗിച്ചുവരുന്നു. സ്പേസിലെ മനുഷ്യനിർമിത വസ്തുക്കളുടെ സ്ഥാനങ്ങളെ സംബന്ധിക്കുന്ന തങ്ങളുടെ മാപനങ്ങൾ ശരിയാക്കുന്നതിന് അയണമണ്ഡലത്തിൽ റേഡിയോതരംഗങ്ങൾക്കുണ്ടാവുന്ന വളവ് അഥവാ അപവർത്തനം സംബന്ധിച്ച ഖഗോളീയനിരീക്ഷണങ്ങൾ അവർ ഉപയോഗിക്കുന്നുമുണ്ട്.

റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനം ടെക്നോളജിക്ക് നൽകിയ സംഭാവനകൾ ബഹിരാകാശപ്രശ്നങ്ങളിൽ മാത്രം ഒതുങ്ങിനിൽക്കുന്നവയല്ല. 1954–നു മുമ്പുതന്നെ യു. എസ്. നേവിയുടെ ആവശ്യത്തിലേക്കായി ഒരു സൗര "റേഡിയോ സെക്സ്ററൻറ്" വികസിപ്പിച്ചെടുത്തു കഴിഞ്ഞിരുന്നു[2]. മേഘാവൃതമായ അന്തരീക്ഷസ്ഥിതിയിൽപ്പോലും ഖഗോളീയ നാവിഗേഷൻ സാധ്യമാക്കിത്തീർക്കുകയായിരുന്നു ഇതിന്റെ ലക്ഷ്യം. സൂര്യനിൽ നിന്നുമുള്ള ഒരു സെ: മീ: സൂക്ഷ്മതരംഗവികിരണം ഉപയോഗപ്പെടുത്തി ഈ ഉപകരണം പരമ്പരാഗതമായ പ്രകാശിക സെക്സ്ററൻറിനെക്കാൾ കൂടുതൽ കൃത്യത പ്രദാനം ചെയ്യുന്നു. സൂര്യനിൽ നിന്നോ ചന്ദ്രനിൽ നിന്നോ ഉള്ള റേഡിയോരവം നിദർശിക്കാൻ കഴിവുള്ള റേഡിയോ മെട്രിക്സെക്സ്ററൻറു് മുഖേന ഇരുണ്ട ദിനാന്തരീക്ഷസ്ഥിതിയിൽ മിസൈൽ വിക്ഷേപണത്തിനാവശ്യമായ കൃത്യമായ സ്ഥാനനിർണയം (Fixes) നേവിയുടെ അന്തർവാഹിനികൾക്ക് ലഭിക്കുമെന്ന് ഈ അടുത്ത കാലത്ത് പ്രഖ്യാപിക്കപ്പെട്ടിട്ടുണ്ട്. കൂടുതൽ തീവ്രതയുള്ള റേഡിയോ നക്ഷത്രങ്ങളെ ഉൾപ്പെടുത്താൻ പാകത്തിൽ ഈ ടെക്നിക്ക് വിപുലമാകുമെന്ന് വിഭാവനം ചെയ്യാൻ വിഷമമൊന്നുമില്ല.

സൗരയൂഥത്തിലെ പ്രായേണ സമീപസ്ഥങ്ങളായ വസ്തുക്കളെപ്പററി പോലുമുള്ള നമ്മുടെ തുച്ഛമായ വിജ്ഞാനശേഖരത്തിൽ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിന്റെ നേരിട്ടുള്ള സംഭാവന എന്താണ്? മനുഷ്യനെ വഹിക്കുന്നതും അല്ലാ

ആദ്യമായ ബഹിരാകാശാപര്യവേക്ഷണ പരിപാടികളിൽ ഒരുപോലെ സാര മായ പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്നവയാണ് ഇന്നോളം ലഭിച്ചിട്ടുള്ള വിവരങ്ങളൊക്കെയും. ചാന്ദ്രോപരിതലത്തിന് ഏതാനും അടി താഴെ സ്ഥിരമായ താപ നില കണ്ടേക്കാമെന്ന് സൂചന നൽകുന്ന ഏറെക്കുറെ പ്രോത്സാഹജനകമായ ചാന്ദ്രതാപമാപനങ്ങളാണ് പെട്ടെന്ന് നാം ഓർമിച്ചുപോവുന്നത്. ബഹിരാകാശസഞ്ചാരികൾക്ക് ഭാവിയിൽ വ്യാഴത്തിൻെറ തീവ്രമായ വികിരണ ബൽററിനെ അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടി വരുമെന്ന കണ്ടുപിടുത്തവും ശുക്രോപരിതലത്തിൻെറ താപനില 300°C യിലേറെയാണെന്ന് ആശാവഹമല്ലാത്ത കണ്ടെത്തലും ഇപ്പോൾ നാം ഓർമിക്കുന്നുണ്ടാവും. വെറുമൊരു 'പറക്കൽ' ദൗത്യവുമായി ശുക്രനപ്പുറത്തേക്ക് ഒരൊററ സ്പേസ് പരിശോധകം അയയ്ക്കുന്നതിന് 18.5 ദശലക്ഷ ഡോളർ ആവശ്യമാണെന്നും ഗ്രഹോപരിതലത്തിൽ ഒരു ഉപകരണ പേടകം എത്തിക്കുന്നതിന് ഇതിലും കൂടുതൽ വേണ്ടിവന്നേക്കാം കാര്യം നാം പരിഗണിക്കുമ്പോൾ മേല്പറഞ്ഞ തരത്തിൽ മുൻകൂർ ലഭിക്കുന്ന വിവരങ്ങളുടെ പ്രാധാന്യം കൂടുതൽ ശ്രദ്ധേയമായിത്തീരുന്നു.

ശുക്രനെപ്പററിയും വ്യാഴത്തെപ്പററിയുമുള്ള റേഡിയോനിരീക്ഷണങ്ങളെ വ്യാഖ്യാനിക്കുന്നതിനിടയിൽ നാഷണൽ റേഡിയോ അസ്ട്രോണമി ഒബ്സർവേററിയിലെ ഡോ. എഫ്. സി. ഡ്രേക്ക് ഇങ്ങനെ പറഞ്ഞിട്ടുണ്ട്. "ഈ കണ്ടുപിടിത്തങ്ങൾക്ക് വളരെ കൂടിയ ഡോളർ മൂല്യവും സെൻറ് മൂല്യവുമുണ്ടെന്ന് നാം ഓർക്കേണ്ടതുണ്ട്. അവയെപ്പററി നാം അറിവ് നേടിയില്ലായിരുന്നുവെങ്കിൽ ഈ ഗ്രഹങ്ങളുടെ സമീപത്തേക്കുള്ള നമ്മുടെ ഇദംപ്രഥമമായ ബഹിരാകാശ പരിശോധകങ്ങൾ തീർച്ചയായും വേണ്ടവിധം ഉപകരണസജ്ജമായിരുന്നിരിക്കയില്ല. അക്കാരണത്താൽ ദൗത്യം ഒരു തികഞ്ഞ പരാജയവുമായിത്തീർന്നേനേ. അങ്ങനെ തീരെ കുറഞ്ഞത് രണ്ട് സ്പേസ് പരിശോധകങ്ങളുടെയെങ്കിലും ചെലവ് ലാഭിക്കുവാൻ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾക്ക് കഴിഞ്ഞിരിക്കുന്നു. ഈ ചെലവ് റേഡിയോഖഗോളപഠനത്തിന് ഇതുവരെ ചെലവഴിച്ച മൊത്തം പണത്തേക്കാൾ ഗണ്യമാംവിധം കൂടുതലുമാണ്''.[3] 1958 ൽ ഭൂമിയുടെ വാൻഅല്ലൻ ബൽററുകളെ കണ്ടെത്തിയ പര്യവേക്ഷകം I എന്ന ഉപഗ്രഹം ഡ്രേക്കിൻെറ അഭിപ്രായത്തെ ശരിക്കും വെളിപ്പെടുത്തുന്നുണ്ട്. അഭിമുഖീകരിക്കേണ്ടി വന്ന അപ്രതീക്ഷിതമാംവിധം ഉയർന്ന വികിരണവിതാനത്താൽ പ്രസ്തുത ഉപഗ്രഹത്തിലെ അത്യധികം സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകമായ ഗൈഗർ ഗണിത്രം പൂർണമായും പ്രവർത്തനരഹിതമാകയാൽ ബൽററുകളുടെ യഥാർഥ തീവ്രതയെപ്പററി യാതൊരു ദത്തവും പ്രദാനം ചെയ്യുവാൻ ഉപഗ്രഹത്തിന് കഴിഞ്ഞില്ല. ഗ്രഹത്തിൻെറ വികിരണ ബൽററിനെപ്പററി നാം മുൻകൂട്ടി അറിഞ്ഞില്ലായിരുന്നെങ്കിൽ നമ്മുടെ ഒന്നാമത്തെ വ്യാഴപരിശോധകത്തിൻെറയും വിധി ഏറെക്കുറെ ഇതുപോലെ തന്നെ ആയിരുന്നേനേ. ഇറച്ചി പൊരിക്കാനുപയോഗിക്കുന്ന അടുപ്പിനേക്കാൾ ഗണ്യമാംവിധം ചൂട് കൂടിയ ശുക്രോപരിതലത്തിൽ വേണ്ടത്ര

സംരക്ഷണസജ്ജീകരണങ്ങളില്ലാത്ത ഉപകരണപേടകം ഇറക്കിയാലുണ്ടാവുന്ന ദുരന്തഫലങ്ങൾ എന്തൊക്കെയെന്ന് നമുക്ക് സങ്കല്പിക്കാവുന്നതേയുള്ളു.

1962 ആഗസ്റ്റ് 27 ന് അററലസ് അഗീനാറോക്കററ് ശുക്രനെ ലക്ഷ്യമാക്കി 180 ദശലക്ഷം മൈൽ പ്രക്ഷേപ്യപഥത്തിൽ ഒരുമാരിനർ സ്പേസ്‌വാഹനം വിക്ഷേപിക്കുകയുണ്ടായി. ഈ പറക്കൽ ഒരു വൻവിജയം തന്നെയായിരുന്നു. അതിന് ന്യായമായും പൊതുജനങ്ങളുടെ അംഗീകാരവും ആശംസകളും ലഭിക്കുകയും ചെയ്തു. ഗ്രഹങ്ങൾക്കിടയിലെ സ്പേസിനെപ്പററി വളരെയേറെ വിവരങ്ങൾ ഭൂമിയിലേക്ക് അയച്ചുവെന്ന് മാത്രമല്ല, സൂര്യനു ചുററുമുള്ള ഭ്രമണപഥത്തിലേക്ക് പ്രവേശിക്കുന്നതിനുമുമ്പ് നമ്മുടെ സ്പേസ്‌വാഹനം ലക്ഷ്യഗ്രഹത്തിന് 21645 മൈൽ അടുത്തുകൂടെ കടന്നുപോവുകയും ചെയ്തു.

നേരിട്ടുള്ള ബഹിരാകാശപര്യവേക്ഷണവും ഗ്രഹീയറേഡിയോ ഖഗോള വിജ്ഞാനവും തമ്മിലുള്ള ദൃഢമായ ബന്ധത്തെ മാരിനർ പ്രതിനിധീകരിക്കുന്നു, സ്പേസ് വാഹനത്തിലുണ്ടായിരുന്ന ഏററവും പ്രധാനപ്പെട്ട ഉപകരണം ഒരു 20 ഇഞ്ച് പാരബോളിക ആന്റെനയായിരുന്നുവെന്നതാണ് ഇപ്പറഞ്ഞതിനു കാരണം. മാരിനറിന്റെ സഞ്ചാരവേളയിൽ ഈ ആന്റെന്ന ശുക്രോപരിതലത്തിന്റെ മൂന്ന് ക്രമവീക്ഷണങ്ങൾ എടുക്കുകയുണ്ടായി. ആന്റെനയിൽ നിന്നുമുള്ള സിഗ്നലുകളെ 1.35 ഉം 1.90 സെ. മീ. തരംഗനീളങ്ങളിൽ പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരുന്ന ഒരു സൂക്ഷ്മതരംഗ റേഡിയോമാപി വിശ്ലേഷണം ചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്നു. ഈ തരംഗനീളങ്ങൾ തെരഞ്ഞെടുത്തതിന് ചില കാരണങ്ങളുണ്ട്. 1.35 സെ. മി. വികിരണം ജലബാഷ്പത്താൽ ആഗിരണം ചെയ്യപ്പെടുന്നു. അക്കാരണത്താൽ ഈ ബാൻഡിലുള്ള ഒരു ദുർബലസിഗ്നൽ ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തിലെ ഈർപ്പത്തിന്റെ സാന്നിധ്യത്തെ സൂചിപ്പിക്കുന്നുണ്ടാവും. ജലബാഷ്പത്താൽ വളരെയൊന്നും ക്ഷീണനം സംഭവിക്കാത്ത 1.90 സെ. മീ. സിഗ്നൽ ശുക്രാന്തരീക്ഷത്തെ തുളച്ചു കടക്കാനും അങ്ങനെ ശുക്രോപരിതലതാപനില എന്ന കുഴഞ്ഞ പ്രശ്നത്തിനൊരു ഉത്തരം കണ്ടെത്താനും ഉദ്ദേശിച്ചിട്ടുള്ളതായിരുന്നു.

1.35 സെ. മി ദത്തം ഇനിയും പൂർണമായും അപഗ്രഥിച്ചു തീർന്നിട്ടില്ല. (ഈ ഗ്രന്ഥം 1964–ൽ എഴുതുമ്പോൾ) ഈ ചാനൽ വേണ്ടവിധം പ്രവർത്തിച്ചുവോ എന്നൊരു ചോദ്യം ഉയർന്നേക്കാനിടയുണ്ടെന്നു തോന്നുന്നു. 1.90 സെ. മി ദത്തത്തിന്റെ പ്രാഥമികമായ അപഗ്രഥനം ഉപരിതലതാപനില 700°K പ്രദാനം ചെയ്തിട്ടുണ്ട്. ഈ മൂല്യം ഭൗമാധിഷ്ഠിത റേഡിയോ മാപനങ്ങളുമായി ശരിക്കും പൊരുത്തപ്പെടുന്നുണ്ട്. റേഡിയോ ആവൃത്തികളിൽ ഗ്രഹബിംബത്തെ ഇദംപ്രഥമമായി *വിഭേദനം* ചെയ്യുവാൻ—അതായത് ഗ്രഹബിംബത്തിന് കുറുകെ റേഡിയോ ഫ്ളക്സിലുണ്ടാവുന്ന ഏററക്കുറച്ചിലുകൾ മാപനം ചെയ്യുവാൻ—മാരിനർക്ക് കഴിഞ്ഞുവെന്നതാണ് ഇതിനേക്കാൾ പ്രാധാന്യമർഹിക്കുന്ന സംഗതി. സാധാരണയിൽ കവിഞ്ഞ റേഡിയോ ഊർജം ഒരു ശുക്ര അയണമണ്ഡലത്തിൽ നിന്നും വരുന്നതാണെന്ന് പ്രതീക്ഷിച്ചിരുന്നവരുടെ കാല

ക്കേടെന്നു പറയട്ടെ, ഗ്രഹത്തിന്റെ അരികിനോടടുത്തു് 1.90 സെ. മി സിഗ്നൽ വാസ്തവത്തിൽ കുറയുകയാണുണ്ടായതു്. ഇതു് തീർച്ചയായും റേഡിയോ ഫ്ളക്സ് പ്രധാനമായും ശുക്രനു ചുററുമുള്ള ഒരു സ്തരത്തിൽ നിന്നും വരുന്നവയായിരുന്നുവെങ്കിൽ സംഭവിക്കുമായിരുന്നതിൻെറ നേരേ വിപരീതമാണു്. ഇത്തരം 'നിർണായകപരീക്ഷണങ്ങളു'ടെ പരിസമാപ്തിയെപ്പററി നാം സംശയാലുക്കളായിരിക്കണമെന്നു് അനുഭവം നമ്മെ പഠിപ്പിക്കുന്നുണ്ടെങ്കിലും മാരിനർ ഭൂമിയിലേക്കയച്ച ദത്തങ്ങൾ, നമ്മുടെ സഹോദരീഗ്രഹത്തിൽ ജീവൻ കണ്ടേക്കാമെന്ന നമ്മുടെ പ്രതീക്ഷകൾക്കു് ഒരു കനത്ത ആഘാതമാണെന്നതിനു് ലേശവും സംശയമില്ല.

നാം തനിച്ചാണോ?

പതിനഞ്ചും പതിനാറും നൂററാണ്ടുകളിൽ മഹാന്മാരായ നാവികർ ഭൂഗോളത്തെ ചുററിസഞ്ചരിച്ചതിനു ശേഷമുണ്ടായ ഏററവും നാടകീയ ധീരകൃത്യങ്ങളുടെ പട്ടികയിൽ പെടുന്നതാണു് ആളെ കയററിയ വാഹനങ്ങൾ കൊണ്ടു നടത്തിയ സൗരയൂഥപര്യവേക്ഷണം. എന്നിരിക്കിലും ഈ സാഹസികസംരംഭത്തെ കൂടുതൽ വികാരോഷ്മളമാക്കുമായിരുന്ന ഒരു ഘടകം കാണാനേയില്ല. നമ്മുടെ സൂര്യനെ പ്രദക്ഷിണംവയ്ക്കുന്ന മറെറാരു ഗ്രഹത്തിലും—നമുക്കിന്നു് അറിയാവുന്നതുപോലെ—ബുദ്ധിജീവികൾ കാണുമെന്നു് വാസ്തവത്തിൽ നാം പ്രതീക്ഷിക്കുന്നില്ല. മൂന്നാം അധ്യായത്തിലെ ദത്തങ്ങൾ വായിച്ചു മനസ്സിലാക്കിയിട്ടുള്ളവർക്കു് ഈ ദുരന്തദൃശ്ശങ്കയുടെ കാരണങ്ങൾ വ്യക്തമായിക്കാണും. നമുക്കിന്നുള്ള അറിവു് വച്ചു പറഞ്ഞാൽ നാം മനസ്സിലാക്കുന്നതുപോലെ കൂടുതൽ ഉയർന്ന തരം ജീവിതത്തിനു പററിയ മറെറാരു ഗ്രഹവും നമ്മുടെ സൗരയൂഥത്തിൽ കാണാൻ തരമില്ല.

അപ്പോൾ, ഈ പ്രപഞ്ചത്തിൽ നാം തനിച്ചാണെന്നാണോ ഇതു കൊണ്ടു് അർഥമാക്കേണ്ടതു്? ഇക്കഴിഞ്ഞ നൂററാണ്ടിനിടയിൽ തന്നെ ഈ പ്രശ്നത്തെ സംബന്ധിക്കുന്ന ശാസ്ത്രാഭിപ്രായം ശുഭാപ്തിവിശ്വാസത്തിൽ നിന്നു് ദുരന്തദൃശ്ശങ്കയിലേക്കും വീണ്ടും ശുഭാപ്തിവിശ്വാസത്തിലേക്കും തിരിഞ്ഞും മറിഞ്ഞും തുടങ്ങിയിടത്തുതന്നെ തിരിച്ചെത്തിയിരിക്കുന്നു. ഗ്രഹങ്ങളെല്ലാം ഭൂമിയേപ്പോലെ ശീതവസ്തുക്കളാണെന്നു് ദൂരദർശി ആദ്യമായി വെളിപ്പെടുത്തിയതിനു ശേഷമുള്ള അനേക നൂററാണ്ടുകാലത്തേക്കു് പ്രസ്തുത ഗ്രഹങ്ങളെല്ലാം അധിവാസയോഗ്യമായിരിക്കാൻ പാകത്തിൽ സൃഷ്ടിക്കപ്പെട്ടവയായിരിക്കാമെന്നതു് വെറുമൊരു വിശ്വാസത്തിൻെറ കാര്യമാണെന്നു് സങ്കല്പിക്കപ്പെട്ടിരുന്നു. പ്രായോഗിക ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തെപ്പററി 1760-ൽ പ്രസാധനം ചെയ്ത ഒരു പാഠ്യഗ്രന്ഥത്തിൽ ബ്രിട്ടീഷ് അധ്യാപകനായ ആർ. വെതറാംഡ് സ്വാഭാവികത ലേശം ഏറിപ്പോയെങ്കിൽ പോലും ഇപ്പോൾ സമാകർഷകമെന്നു് തോന്നുന്ന ഒരു അഭിലക്ഷണിക രീതിയിൽ ഈ വിശ്വാസത്തെ വ്യഞ്ജിപ്പിച്ചിട്ടുണ്ടു്. "വ്യാഴത്തിനു നാലു് ചന്ദ്രന്മാരുണ്ടെങ്കിൽ, അവ അതിനു് രാത്രികാലത്തു് പ്രകാശം

നൽകുന്നതിനു വേണ്ടിയുള്ളവയാണ്. ഗ്രഹങ്ങളിൽ മനുഷ്യവാസമില്ലെങ്കിൽ ഈ പ്രകാശത്തിൻെറ ഉദ്ദേശ്യമെന്താണ്? ആയതിനാൽ ഗ്രഹങ്ങൾ അധിവാസ യോഗ്യങ്ങളായ ലോകങ്ങൾ തന്നെയായിരിക്കണം''.[4]

ഇതേ രീതിയിൽ, നക്ഷത്രങ്ങൾ വാസ്തവത്തിൽ മററു സൂര്യന്മാരാണെന്ന് ഖഗോളവിജ്ഞാനികൾ മനസ്സിലാക്കിയ ഉടനെ തന്നെ അവ അധിവാസയോഗ്യങ്ങളായ ഗ്രഹങ്ങളാൽ ചുററപ്പെട്ടവയായിരിക്കണമെന്ന് പലരും സങ്കല്പിച്ചു. പതിനേഴാം ശതകത്തിന്റെ അന്ത്യത്തിൽ പ്രസിദ്ധ ഡച്ചുഭൗതികജ്ഞനും, ഗണിതജ്ഞനും ഖഗോളവിജ്ഞാനിയുമായിരുന്ന ക്രിസ്റ്റ്യൻ ഹൈഗൻസ് ഇപ്രകാരമെഴുതി. ''നമ്മുടെ സൂര്യനേപ്പോലെ ഈ നക്ഷത്രങ്ങൾ അഥവാ സൂര്യന്മാർക്ക് ഓരോന്നിനും അകമ്പടിക്കാരായ ചന്ദ്രന്മാരോടു കൂടിയ ഗ്രഹങ്ങളുടെ ഒരു വലിയ പരിവാരം തന്നെ എന്തുകൊണ്ടുണ്ടായിക്കൂടാ?.........അവയ്ക്ക് അവരുടേതായ സസ്യങ്ങളും ജന്തുക്കളും ഉണ്ടായിരിക്കണം, മാത്രമല്ല നമ്മേപ്പോലെ ഖഗോളത്തിൻെറ വലിയ ആരാധകന്മാരും സൂക്ഷ്മനിരീക്ഷകന്മാരുമായ വിവേചനാശീലമുള്ള ജീവികളും അവിടെയുണ്ടായിരിക്കാം''.[5]

ഈ ശുഭാപ്തിവിശ്വാസത്തിന് ഉടവു തട്ടാൻ കാരണം—പ്രധാനമായും ഈ നൂററാണ്ടിൽ—അങ്ങേയററം അസംഭവ്യമായ ഒരു യാദൃച്ഛിക സംഭവത്തിൻെറ ഫലമായാണ് സൗരയൂഥം തന്നെ ഉണ്ടായതെന്ന് നിലവിലുള്ള സിദ്ധാന്തങ്ങൾ അഭിപ്രായപ്പെടുന്നുവെന്നതാണ്. സൂര്യന് മറെറാരു നക്ഷത്രവുമായി സമീപ-സംഘട്ടനം അനുഭവപ്പെട്ടുവെന്നും ഈ സംഭവത്തിനിടയിൽ സൗരോപരിതലത്തിൽ നിന്നും ഒരു വലിയ വേലാജറ്റ് വേർപ്പെട്ടുപോന്നുവെന്നും ഒരു കാലത്ത് സങ്കല്പിച്ചിരുന്നു. ഈ സിദ്ധാന്തപ്രകാരം പിൽക്കാലത്ത് ഈ ജററ് ഘനീഭവിച്ച് ഗ്രഹങ്ങളുണ്ടായത്രെ. ഗ്യാലക്സിയുടെ ഘടനയെപ്പററി നമുക്കുള്ള അറിവ് മെച്ചപ്പെട്ടതോടു കൂടി ഇത്തരം സംഘട്ടനങ്ങൾ അങ്ങേയററം വിരളമായിരിക്കാൻ തക്കവണ്ണം സ്പേസിലെ നക്ഷത്രങ്ങളുടെ ശരാശരി എണ്ണം വളരെ താഴ്ന്നതാണെന്ന് വ്യക്തമായി. നമ്മുടെ ഗ്യാലക്സിയിലെ 100 ബില്യൻ നക്ഷത്രങ്ങളിൽ ഒന്നോ രണ്ടോ മാത്രമേ ഇത്തരമൊരു സംഘട്ടനത്തിനു വിധേയമായിരിക്കാനിടയുള്ളുവെന്ന് ഇപ്പോഴത്തെ സാംഖ്യികം സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെയൊരു അസാധാരണമായ രീതിയിലാണ് ഗ്രഹങ്ങളുണ്ടാവുന്നതെങ്കിൽ ഗ്യാലക്സിയിലുള്ള ഒരേയൊരു സൗരയൂഥം നമ്മുടെതു മാത്രമായിരിക്കാം.

പതിനെട്ടാം ശതകത്തിൽ കാന്റ് ആവിഷ്കരിച്ച ഒരു കാഴ്ചപ്പാടിലേക്കുള്ള തിരിച്ചുവരവ് ഇക്കഴിഞ്ഞ ദശകത്തിൽ ഉണ്ടായി. അതായത് ഗ്യാലക്സിയിലാകമാനം വ്യാപിച്ചുകിടക്കുന്ന വാതകത്തിൻെറയും ധൂളിയുടെയുംപടലങ്ങൾ ഒരു സ്വാഭാവിക രീതിയിൽ ഘനീഭവിച്ചാണത്രേ നക്ഷത്രങ്ങളും ഗ്രഹങ്ങളുമുണ്ടാവുന്നത്. തപ്തനക്ഷത്രങ്ങളിലധികവും അവയുടെ അക്ഷങ്ങളിന്മേൽ അതിവേഗം ചക്രണം ചെയ്യുമ്പോൾ നമ്മുടെ സൂര്യന് സദൃശമായ ശീതനക്ഷത്രങ്ങൾ പൊതുവേ വളരെ സാവധാനം ഘൂർണനം ചെയ്യുക മാത്രമേയുള്ളുവെന്ന വസ്തുതയിലേക്ക് ഓട്ടോ സ്ററുവ് നമ്മുടെ ശ്രദ്ധ ക്ഷണിച്ചിട്ടുണ്ട്. ഘനീഭവന

പ്രക്രിയ നടന്നുകൊണ്ടിരിക്കുമ്പോൾ ശീതനക്ഷത്രങ്ങൾക്ക് ചുററുമായി, നക്ഷത്രങ്ങളുടെ തന്നെ ഘൂർണനത്തിൽ പ്രകടമാകുമായിരുന്ന കോണീയസംവേഗത്തിലേറിയ പങ്കും നീക്കം ചെയ്തുകൊണ്ട് ഗ്രഹങ്ങൾ ഉണ്ടാകുന്നുവെന്നു സങ്കല്പിച്ചാൽ ചിന്താക്കുഴപ്പമുണ്ടാക്കുന്ന ഈ വ്യത്യാസം വിശദീകരിക്കാനാവും. അങ്ങനെയാവുമ്പോൾ ഗ്രഹരൂപീകരണം ചില സാധാരണയിനം നക്ഷത്രങ്ങളുടെ വികാസപരിണാമത്തിൻെറ സ്വാഭാവികമായ ഒരു ഉപജാതമായിരിക്കാനും സാധ്യതയുണ്ട്. അങ്ങനെയാണെങ്കിൽ നമ്മുടെ ഗ്യാലക്സിയിലെ നക്ഷത്രങ്ങളിലൊരു നല്ല പങ്കിനും അവയുടേതായ ഗ്രഹവ്യൂഹവുമുണ്ടായിരിക്കണം.

അപ്പോൾ ജീവനെ താങ്ങുവാൻ ത്രാണിയുള്ള ഗോളങ്ങൾ സാധാരണമാണെന്നാണോ ഇതുകൊണ്ട് അർഥമാക്കേണ്ടതു്? ഈ ചോദ്യത്തിനു് ഉത്തരം നൽകുന്നതിനു് നക്ഷത്രങ്ങളിലൊരു നിശ്ചിത ശതമാനം ഗ്രഹങ്ങളാൽ ചുററപ്പെട്ടിരിക്കുന്നുവെന്നു് അറിഞ്ഞതുകൊണ്ടു മാത്രമായില്ല എന്ന കാര്യം സുവ്യക്തമാണ്. ഗ്രഹങ്ങൾ അതിതപ്തങ്ങളോ അതിശീതങ്ങളോ ആയിരിക്കരുതു്. ഇതിനനുയോജ്യമായ അകലത്തിൽ (ഓരോന്നും അവയുടെ കേന്ദ്രനക്ഷത്രത്തിൽ നിന്നും) സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഗ്രഹങ്ങളുടെ എണ്ണവും നാം അറിഞ്ഞിരിക്കണം. അവസാനമായി, എന്നാലിതൊട്ടു് അപ്രധാനമല്ല, അനുകൂലമായ സ്ഥിതിചെയ്യുന്ന ഈ ഗ്രഹങ്ങളിലെത്രയെണ്ണത്തിനു് അനുയോജ്യമായ അന്തരീക്ഷവും മററു പരിസ്ഥിതികളുമുണ്ടെന്നും നാം അറിയേണ്ടതുണ്ട്.

പത്തുലക്ഷം നക്ഷത്രങ്ങളിലൊന്നിനു മാത്രമേ ആവശ്യമായ സാഹചര്യങ്ങളെല്ലാം ഒത്തിണങ്ങുന്ന ഒരു ഗ്രഹം ഉണ്ടായിരിക്കാനിടയുള്ളുവെന്നു് "നക്ഷത്രങ്ങളും മനുഷ്യരും" എന്ന രസകരമായ തൻെറ ലഘുഗ്രന്ഥത്തിൽ പ്രസിദ്ധ ഖഗോളവിജ്ഞാനിയായ ഹാർലോ ഷാപ്‌ലേ നിഗമനം നടത്തിയിട്ടുണ്ട്.[6] നമ്മുടെ ഗ്യാലക്സിയിൽ 10^{11} നക്ഷത്രങ്ങളുള്ളതിനാൽ ഉയർന്ന തരം ജീവികൾക്കനുകൂലമായ 100,000 ഗ്രഹങ്ങൾ ക്ഷീരപഥത്തിൽ ഉണ്ടായിരിക്കുമെന്നു് ഇതു് സൂചിപ്പിക്കുന്നു. 10^{22} നക്ഷത്രങ്ങൾ കണ്ടേക്കാവുന്ന പ്രപഞ്ചത്തെയാകമാനം നാം കണക്കാക്കുകയാണെങ്കിൽ ഷാപ്‌ലേയുടെ കണക്കു കൂട്ടലനുസരിച്ചു് അധിവാസയോഗ്യങ്ങളായ 10^{16} ഗ്രഹങ്ങളുണ്ടായിരിക്കണം! ഈ അടുത്ത കാലത്ത് Princeton Institute of Advanced Study ലെ സൂ. ഷൂ. ഹ്വാങ്ങ് ഈ പ്രശ്നം വളരെ വിശദമായി പുന: പരിശോധന നടത്തിയിട്ടുണ്ട്. ഒരു സമയത്തല്ലെങ്കിൽ മററൊരു സമയത്തു് ആകെ നക്ഷത്രങ്ങളിൽ ഒന്നോ രണ്ടോ ശതമാനം വിശേഷബുദ്ധിയുള്ള ജീവികൾക്കനുകൂലമായവയാണെന്നാണ് അദ്ദേഹത്തിൻെറ നിഗമനം.[7]

ഒരുഗ്രഹം ജീവിതത്തിനനുയോജ്യമായ സാഹചര്യങ്ങൾ പ്രദാനം ചെയ്യുന്നുവെന്നതുകൊണ്ട് അതിൽ ജീവൻ വാസ്തവത്തിൽ ഉരുത്തിരിഞ്ഞിട്ടുണ്ടെന്നു് അർഥമാക്കേണ്ടതുണ്ടോ? ഇവിടെ നാം ഭൗതികത്തിൻെറയും ഖഗോളവിജ്ഞാനത്തിൻെറയും മേഖലകൾക്കപ്പുറമെത്തിയിരിക്കയാണ്. അനുയോജ്യമായ പരിസ്ഥിതികൾ നിലനിൽക്കുന്നേടത്തെല്ലാം സംജാതമാവുന്ന ഒരു പ്രാകൃതികപ്രതി

ഭാസമായി ജീവനെ കണക്കാക്കുന്നതിലാണ് ആധുനിക ജീവശാസ്ത്രത്തിന്റെ പ്രവണത. ഇന്നത്തെ ഖഗോളവിജ്ഞാനികളിൽ ഭൂരിഭാഗത്തിൻെറയും വിശാ സപ്രമാണങ്ങളെ ഷാപ്ലേ ഇങ്ങനെ സംക്ഷേപിച്ചിട്ടുണ്ട്. "ദശലക്ഷ (മില്യൻ) ക്കണക്കിനു ഗ്രഹവ്യൂഹങ്ങൾ നിലനൽക്കുന്നുണ്ട്, ബില്യൻ കണക്കിന് എന്ന പദമാവും കൂടുതൽ ഉചിതം ... ഈ ഗ്രഹങ്ങളിൽ ചിലതിലെങ്കിലും വാസ്തവ ത്തിൽ ജീവനുണ്ടായിരിക്കുമോ? അതോ, നൂറായിരം മില്യൻ മററു നക്ഷത്ര ങ്ങളുൾപ്പെടുന്ന ഒരു ഗ്യാലക്സി—ഇതു തന്നെ ഇന്നറിയപ്പെടുന്ന മില്യൻ കണ ക്കിനു ഗ്യാലക്സികളിലൊന്നു മാത്രമാണ്—യുടെ ബഹിർഭാഗത്തു സ്ഥിതി ചെയ്യുന്ന ഒരു ശരാശരി നക്ഷത്രമായ സൂര്യൻെറ കുടുംബത്തിലെ മൂന്നാമ നായ നമ്മുടെ ഗ്രഹത്തിൽ മാത്രം ഒതുങ്ങി നിൽക്കുന്നതാണോ ഈ ജൈവ രസതന്ത്രപ്രവർത്തനം. ജീവൻ അങ്ങനെ ഒരിടത്തുമാത്രം ഒതുങ്ങി നിൽക്കുന്ന താണോ? തീർച്ചയായും അല്ല. നാം തനിച്ചല്ല."[6]

നക്ഷത്രങ്ങളിലേയ്ക്കു ഒരു ചെവി

മററൊരു സൂര്യൻെറ അധീനതയിലുള്ള ഒരു ഗ്രഹത്തിൽ നാം എന്നെങ്കിലും കാലു് കുത്തുമോ? തീർച്ചയായും സമീപഭാവിയിലെങ്ങുമില്ല. ഒരു വാഹ നത്തെ പ്രകാശത്തിൻെറ വേഗത്തിലേക്കു് ത്വരിപ്പിക്കാൻ നമുക്കു കഴിഞ്ഞാൽ തന്നെയും അതിനു് ഏററവും അടുത്തുള്ള നക്ഷത്രത്തിലേക്കു് പോയി വരുന്ന തിനു് എട്ടുവർഷം വേണ്ടിവരും. സമീപനക്ഷത്രങ്ങളിൽ പര്യവേഷണം നട ത്തുന്നതിനു് ദശകങ്ങളോളം നീണ്ടുനിൽക്കുന്ന സ്പേസ് യാത്രകളാവശ്യമായി വരും. അങ്ങനെയാകാൻ പ്രപഞ്ചത്തിൽ മററു ബുദ്ധിജീവികളുണ്ടെന്നു് നാം എങ്കിലും അറിയുമോ? ഇന്നിപ്പോൾ നമുക്കു് പ്രാപ്യമായ ഒരേയൊരു പോംവഴി റേഡിയോ കമ്മ്യൂണിക്കേഷൻ മാത്രമാണെന്നു തോന്നുന്നു (പ്രകാശം മുഖേന യുള്ള സിഗ്നലിങ് അത്യന്തികമായി സാധ്യമാവുമെന്നു് ലേസറിൻെറ ആവിർ ഭാവം സൂചിപ്പിക്കുന്നുണ്ടെങ്കിൽ തന്നെയും). വിദ്യുത്കാന്തിക ഊർജത്തിലെ കചാണ്ടങ്ങൾ അക്ഷീണരായ സന്ദേശവാഹകന്മാരാണ്. ആഹാരവും, ജലവും ഔഷധങ്ങളുമൊന്നുമില്ലാതെ തന്നെ അവ എക്കാലത്തും സ്പേസിൽ സഞ്ചരിക്കും.

നക്ഷത്രങ്ങൾ തമ്മിൽ—അഥവാ ഗ്രഹങ്ങൾ തമ്മിലെങ്കിലും—റേഡിയോ കമ്മ്യൂണിക്കേഷനുവേണ്ട സാങ്കേതികഘടകങ്ങൾ എന്തെല്ലാമാണ്? A_R വിസ്തീർ ണമുള്ള അഭിഗ്രാഹീ ആൻെറനയിൽ നിന്നും D ദൂരം അകലെയുള്ള A_T വിസ്തീർണമുള്ള ഒരു പ്രേഷണ ആൻെറന നമുക്കു പരിഗണിക്കാം. ഒരു നിർദിഷ്ട തരംഗനീളം λ യിൽ അഭിഗ്രഹണം ചെയ്യപ്പെടുന്ന പവർ (ശക്തി) P_R ഉം പ്രേഷിത ശക്തി P_T യും തമ്മിലുള്ള ബന്ധം

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{A_R\ A_T}{\lambda^2\ D^2} \tag{7-1}$$

ആണെന്നു തെളിയിക്കുവാൻ പ്രയാസമില്ല. ഈ സമീകരണത്തിൻെറ ഉപ യോഗം ഉദാഹരിക്കുന്നതിനു് കുജനമായി, അതു് അതിന്റെ നിമ്നതമ ദൂരമായ

34.5 മില്യൻ മൈൽ (1.82×10^{11} അടി) അകലെയായിരിക്കുമ്പോഴും, സിഗ്നലുകൾ കൈമാററം ചെയ്യുന്നതിനുപയോഗിക്കാവുന്ന ഏററവും കുറഞ്ഞശക്തി എത്രയെന്നു നമുക്കൊന്നു കണക്കാക്കാം. ഒരു സിഗ്നൽ തീരെ കുറഞ്ഞതു് റിസീവറിലെ രവവിതാനത്തോളമെങ്കിലും എത്തുന്നുവെങ്കിൽഅതു നിർദ്ദേശിക്കാനാവുമെന്നു സമ്മതിക്കാൻ നാം ഒരുക്കമാണെങ്കിൽ P_R റിസീവറിലെ താപീയ രവത്തിൻെറയും ഖഗോളീയ പശ്ചാത്തലരവത്തിൻെറയും തുകയോടു തുല്യമാണെന്നു നമുക്കു സങ്കല്പിക്കാം. ചിത്രം 7.1 ലെ രവവക്രത്തിൻെറ മിനിമത്തിനു സമീപം, 21 സെ.മി തരംഗനീളത്തിൽ പ്രവർത്തിക്കുന്ന ഒരു അത്യാധുനിക മേസർ പ്രവർധകം ഉപയോഗിച്ചു് അതിനു തുല്യമായ $10^\circ K$ രവതാപനിലനേടാൻ കഴിഞ്ഞെന്നു വരും. വ്യൂഹത്തിന്റെ ബാൻഡ് വീതി $\triangle f$, പ്രായേണ താഴ്ന്ന മൂല്യമായ 10 ഹെ. ൽ ക്രമപ്പെടുത്തുകയാണെങ്കിൽ സമീകരണം 3–6 പ്രകാരം രവവിതാനം

$$P_R = K\,T(\triangle f) = 1.38 \times 10^{-23} \times 10^{6} \times 10 \text{ Cps}$$
$$= 1.38 \times 10^{-21} \text{ വാട്ട്സ്}$$

ആയിരിക്കും.

നിരവധി 85 അടി പാരബോളിക ആൻെറനകൾ ഇന്നിപ്പോൾ പ്രവർത്തനത്തിലുള്ളതിനാൽ നമ്മുടെ ഓരോ ആൻെറനയും ഈ വലുപ്പമുള്ളതാണെന്നു നമുക്കു് സങ്കല്പിക്കാം. അതായതു് $A_R = A_T = 5360$ ച: അടി. സമീകരണം 7.1 ൽ വെറും പ്രതിസ്ഥാപനങ്ങൾ നടത്തിയാൽ

$$P_R = \frac{P_R\,\lambda^2 D^2}{A_R\,A_T} = 0.75 \times 10^{-6} \text{ വാട്ട്}$$

അഥവാ ഏകദേശം ഒരു *മൈക്രോവാട്ട്* എന്നു ലഭിക്കും.

ഇതു് അവിശ്വസനീയമാംവണ്ണം തുച്ഛമായ ശക്തിയാണല്ലോയെന്നു തോന്നിയേക്കാം. അനുകൂലസാഹചര്യങ്ങളിൽ ഒരു സ്ഥിര സിഗ്നലിൻെറ *നിർദ്ദേശനം* മാത്രമേ നമ്മുടെ കണക്കുകൂട്ടലിൽ ഉൾപ്പെടുത്തിയിട്ടുള്ളുവെന്ന കാര്യം നാം ഓർമിക്കേണ്ടതുണ്ടു്. ഉപയോഗപ്രദമായ വിവരങ്ങൾ പരസ്പരം കൈമാറുവാൻ [— അതായതു് സിഗ്നലിനെ വ്യത്യാസപ്പെടുത്തുവാൻ അഥവാ മോഡുലനം ചെയ്യാൻ —] നാം യഥാർത്ഥത്തിൽ ആഗ്രഹിക്കുന്നെങ്കിൽ നാം ഉദ്ദേശിക്കുന്ന ദത്തപ്രേഷണ നിരക്കിനാനുപാതികമായി നമ്മുടെ വ്യൂഹത്തിൻെറ ബാൻഡ് വീതി വർധിപ്പിക്കേണ്ടതുണ്ടു്. ഈ വർധനവു് റിസീവർ വരെ P_R നെയും ആവശ്യമായ പ്രേഷണശക്തി P_T യെയും വർധിപ്പിക്കും. ഉപകരണങ്ങളുടെ പാഠ്യാങ്കങ്ങൾ ദൂരമാപനം ചെയ്യുന്നതിനു് പോലും നൂറുകണക്കിനു ഹെ. ആവൃത്തിയുള്ള ബാൻഡ് വീതി ആവശ്യമാണു് 'സജീവ'മായ ടെലിവിഷൻ പ്രക്ഷേപണത്തിനു് പ്രതിസെക്കൻറിൽ ഒരു മെഗാസൈക്കിളിൽ കുറയാതെയുള്ള ബാൻഡ്‌വീതിയും വേണം. വേണ്ടത്ര അനുകൂലമായ സാഹചര്യങ്ങളല്ലെങ്കിൽ വ്യൂഹം വിശ്വാസയോഗ്യ

മായി പ്രവർത്തിക്കണമെങ്കിൽ ശക്തിയിൽ ഇതിലും ഗണ്യമായ വർദ്ധനയുണ്ടാകേണ്ടിയിരിക്കുന്നു. എന്നിരുന്നാലും പ്രായേണ മിതമായ ശക്തികൊണ്ടു തന്നെ സൗരയൂഥത്തിനുള്ളിലെ വിനിമയം ദുഷ്കരസാധ്യമാണെന്നു തോന്നുന്നു ഈ നിഗമനമനുസരിച്ച്, സൗര കുടുംബത്തിലെ മററു ഗ്രഹങ്ങളിൽ നമ്മുടേതിനേക്കാൾ വളർച്ച പ്രാപിച്ച സംസ്കാരം നിലനിൽക്കുന്നുവെന്ന സങ്കല്പം കൂടുതൽ അസംഭാവ്യമാണെന്നുതോന്നുന്നു. റേഡിയോവാർത്താവിനിമയത്തിന്റെ നിലവാരത്തിലേക്കു മുന്നേറിയിട്ടുള്ള മററു സമൂഹങ്ങൾ നമ്മുടെ സൗരയൂഥത്തിനുള്ളിൽ തന്നെ *ഉണ്ടായിരുന്നെങ്കിൽ* തീർച്ചയായും അവരുടെ പ്രേഷണങ്ങളെ നമ്മളും നമ്മുടെ പ്രേഷണങ്ങളെ അവരും നിദർശിക്കുമായിരുന്നു.

സമീപനക്ഷത്രങ്ങളുമായി വാർത്താവിനിമയം നടത്തുക എന്ന നമ്മുടെ മൗലികപ്രശ്നത്തിന്റെ കാര്യം എന്തായി? മിൽസ്റ്റൺ റഡാർ തുടങ്ങിയ നമ്മുടെ ഏററവും ശക്തി കൂടിയ ട്രാൻസ്മിററുകളുടെ ഉച്ചതമപ്രേഷണശക്തി P_T ഒരു ദശലക്ഷം വാട്ടോളം വരും. അനേകം പ്രകാശവർഷങ്ങൾ അകലെയുള്ള മറെറാരു ഗ്രഹത്തിൽ ഇത്തരമൊരു ട്രാൻസ്മിററർ പ്രവർത്തിച്ചുകൊണ്ടിരുന്നാൽ നമുക്ക് അതു നിർദ്ദേശിക്കാനാവുമോ?
സമീകരണം 7.1 നെ

$$D = \frac{1}{\lambda}\sqrt{A_R A_T (P_T / P_R)}$$

എന്ന രൂപത്തിൽ നമുക്കു വീണ്ടും വിന്യസിക്കാം (മാററിയെഴുതാം). കുജനെ സംബന്ധിക്കുന്ന പ്രശ്നത്തിൽ നാം ചെയ്തതുപോലെ 21 സെ. മി. തരംഗനീളവും 85–അടി ആന്റെനകളും, രവവിതാനം P_R 1.38×10^{-21} വാട്ടും സങ്കൽപിച്ചാൽ $D = 2.1 \times 10^{17}$ അടി അഥവാ 6.8 പ്രകാശവർഷങ്ങളാണെന്നു കാണാം. അഭിഗ്രാഹി ആന്റെനയുടെ വ്യാസം അടിക്കണക്കിൽ പറഞ്ഞാൽ, മിൽസ്റ്റൺ ഇനത്തിൽപെടുന്ന ഒരു ട്രാൻസ്മിറററിനെ പ്രസ്തുത വ്യാസത്തിന്റെ പത്തിലൊന്നിനോടു തുല്യമായ പ്രകാശവർഷം അകലത്തിലും നിദർശിക്കാനാവുമെന്ന് എഫ്. സി. ഡ്രേക്ക് പ്രായോഗികപരിചയത്തിൽ നിന്നും മനസ്സിലാക്കി. ഡ്രേക്കിന്റെ നിയമം അനുസരിച്ച് നമ്മുടെ 85–അടി ആന്റെനയെ 8.5 പ്രകാശവർഷം അകലെ നിദർശിക്കാം, തൊട്ടു മുമ്പു നമുക്കു ലഭിച്ച ഫലവുമായി നല്ലതുപോലെ പൊരുത്തപ്പെടുന്നതാണിത്.

ഏററവും അടുത്ത നക്ഷത്രം 4.3 പ്രകാശവർഷം അകലെയാകയാൽ, നമ്മുടെ ഇന്നത്തെ ടെക്നോളജി വെച്ചുനോക്കുമ്പോൾ, നക്ഷത്രാന്തരീയ സിഗ്നലിങ് ഒരു പരിധിവരെയെങ്കിലും പ്രയത്നസാധ്യമാണെന്നു തീർച്ചയാക്കാം. നാം ചർച്ചചെയ്തുകൊണ്ടിരുന്ന തരത്തിലുള്ള പ്രേഷിത്ര–അഭിഗ്രാഹി സംഘാതത്തിന്റെ പരിധിയിൽ വരുന്ന നൂറോളം നക്ഷത്രങ്ങളുണ്ട്. അഭിഗ്രാഹി ആന്റെന ജോഡ്റൻ ബാങ്കിലെ 250–അടി റേഡിയോ ദൂരദർശിയായിരുന്നെ

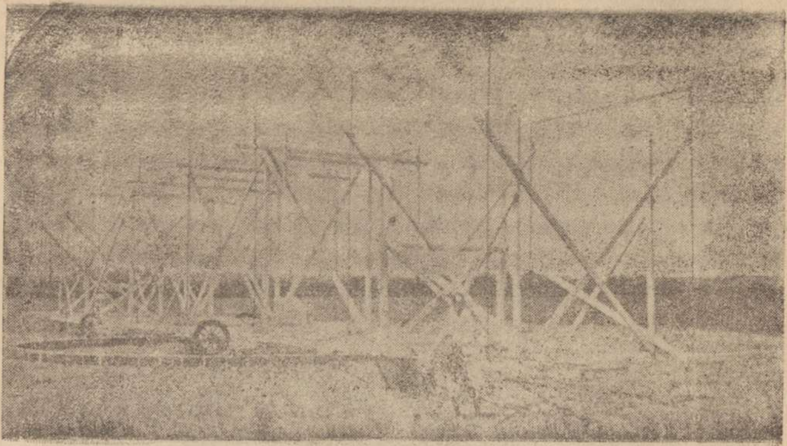
ങ്കിൽ ഇത്തരം നക്ഷത്രങ്ങളുടെ എണ്ണം നൂറായി വർധിക്കും. പ്യൂർട്ടോ റിക്കോ (Puerto Rico) യിൽ നിർമ്മാണത്തിലിരിക്കുന്ന സ്ഥിരമായ (ചലിക്കാത്ത) 1000-അടി പാരബോളജത്തിനു് 10000 നക്ഷത്രങ്ങളെയും മറികടന്നു പോവാം.

മററു ഗ്രഹീയ വ്യൂഹങ്ങളിൽ നിന്നും, വാർത്താവിനിമയമെന്ന ഉദ്ദേശ്യത്തോടുകൂടിയോ, മററു ചില സാങ്കേതിക ഉദ്ദേശ്യങ്ങളോടുകൂടിയോ ശക്തമായ റേഡിയോ സിഗ്നലുകൾ സ്പേസിലേക്ക് അയയ്ക്കുവാനുള്ള സാധ്യതകൾ എന്തെല്ലാമാണ്?. ആർക്കു് ഉത്തരം പറയാനാവത്ത ഒരു ചോദ്യമാണിതു്. ചില സമീപ നക്ഷത്രങ്ങളിൽ നിന്നുമുള്ള ക്രിത്രിമ സിഗ്നലുകളുടെ അന്വേഷണത്തിനായി തങ്ങളുടെ 85–അടി റേഡിയോ ദൂരദർശിനിയുടെ കുറെ സമയം ഉഴിഞ്ഞുവെയ്ക്കേണ്ടതാവശ്യമാണെന്നു മുന്നറിയിപ്പു നൽകാൻ പര്യാപ്തമായിരുന്ന സംഭവങ്ങളൊക്കെയെന്നു 1960–ൽ നാഷണൽ റേഡിയോ അസട്രോണമിയ ഒബ്സർവേററി [National Radio Astronomy Observatory] യിലെ ശാസ്ത്രകാരന്മാർക്കു തോന്നി. ഓസ്മാ പ്രോജക്ററു് [Ozma Project] എന്നറിയപ്പെടുന്ന ഈ സംരംഭത്തിനു നേതൃത്വം നൽകിയതു് ഡോ. ഡ്രേക്കു് ആയിരുന്നു. ഒബ്സർവേററി ഡയറക്ടരായ ഓട്ടോ സ്ട്രൂവ് (Otto Struve) അഭിപ്രായപ്പെട്ടതുപോലെ, ''ശ്രമിക്കുന്നില്ലായെങ്കിൽ നാം ഒരിക്കലും അറിയുകയില്ല''.

നിരീക്ഷണത്തിനു് ഏതു ആവൃത്തി തെരഞ്ഞെടുക്കണമെന്നതാണു് ഇത്തരമൊരു അന്വേഷണത്തിലെ ഏററവും ദീർഘടം പിടിച്ച പ്രശ്നം. ബുദ്ധിപൂർവമായി ഇതു തെരഞ്ഞെടുക്കാതെയുള്ള ഏതൊരു ഉദ്യമവും വാച്യാർഥത്തിൽ തന്നെ വയ്ക്കോൽത്തുറുവിൽ സൂചി തിരയുന്നതിനേക്കാൾ വ്യർഥമാണു്. 'ഓസ്മാപദ്ധതി'ക്കു വേണ്ടി ഒരു പ്രത്യേകതരം റിസീവർ രൂപകല്പന ചെയ്യുന്നതിൽ ഡ്രേക്കു് കോർണൽ (Cornell) ഭൗതികജ്ഞന്മാരായ ഗിസേപ്പ് കൊകോണി (Giuisepppe Cocconi) യുടെയും ഫിലിപ്പ് മോറിസണിന്റെയും (Philip Morrison) അഭിപ്രായം അനുസരിക്കുകയുണ്ടായി. റേഡിയോ ഖഗോളീയ–സ്പെക്ട്രത്തിലെ ഏററവും ശ്രദ്ധേയമായ ഒരേയൊരു ഭാഗം ഹൈഡ്രജൻ ഉത്സർജിക്കുന്ന 1420 മെ. ഹെ. ആവൃത്തി മാത്രമാണെന്നു അവർ അഭിപ്രായപ്പെടുന്നു. സ്പേസിൻെറ വിദൂരതയിലേക്കു് സിഗ്നലുകൾ അയയ്ക്കുന്നതിനു് ഒരു പരിഷ്കൃത സമുദായത്തിലെ ശാസ്ത്രകാരന്മാർ ഈ ആവൃത്തി തെരഞ്ഞെടുക്കുന്നതു് തികച്ചും യുക്തിസഹമായിരിക്കുമെന്നു് ഇവർ രണ്ടുപേരും അഭിപ്രായപ്പെടുന്നു. മററു ഗ്രഹങ്ങളിലെ സംസ്കാരസമ്പന്നരായ നിവാസികൾ തങ്ങളുടെ അതീവ സൂക്ഷ്മഗ്രാഹകങ്ങളായ റേഡിയോ ദൂരദർശികൾ പലതും ഹൈഡ്രജൻ രേഖയ്ക്കു ട്യൂൺചെയ്തിരിക്കുമെന്നു് ശാസ്ത്രകാരന്മാർക്കു ന്യായമായും പ്രതീക്ഷിക്കാം എന്നതാണീ അഭിപ്രായത്തിനു നിദാനം. എന്നിരുന്നാലും, നാം ഹൈഡ്രജൻ ആവൃത്തി (1420 മെ. ഹെ.) യിൽ അയക്കുന്ന ശക്തിയേറിയ പ്രേഷണങ്ങൾകൊണ്ടു് അന്യഗോളക്കാരുടെ ഉപകരണങ്ങളെ കേടാക്കുന്നു

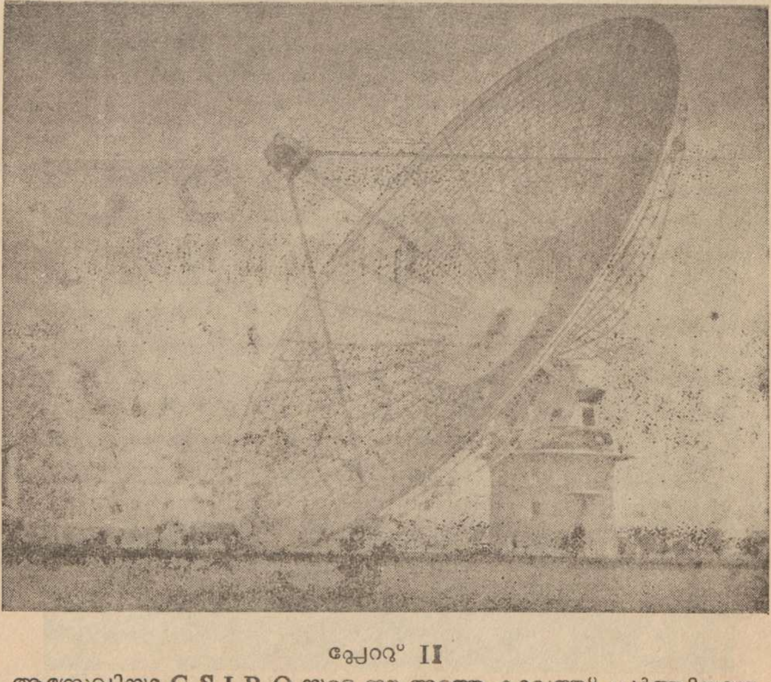
വെങ്കിൽ ഭൂമിയിലെ റേഡിയോ ഖഗോളവിജ്ഞാനികളിൽ നിന്നു പൊന്തി വരാവുന്ന എതിർപ്പിനെ മുന്നിൽ കണ്ടുകൊണ്ട്, 1420 മെ. ഹെ. ൽ അല്ല മററു ഗോളങ്ങളിൽ നിന്നും സിഗ്നലുകൾ പ്രതീക്ഷിക്കേണ്ടതു് എന്നു ശക്തമായി വാദിക്കാം.

കാര്യമെന്തായാലും ഓസ്മാപദ്ധതി ഇന്നോളം നിഷേധഫലങ്ങൾ മാത്രമേ പ്രദാനം ചെയ്തിട്ടുള്ളു. ഇതുപോലെ ദുഷ്കരമായ ഒരു അന്വേഷണത്തിൽ പെട്ടെന്നൊന്നും വിജയം ആരും പ്രതീക്ഷിച്ചിട്ടില്ലായെന്നതു് വാസ്തവം തന്നെ. എന്നിരുന്നാലും വർഷം തോറുമുണ്ടാകുന്ന സാങ്കേതികമുന്നേററങ്ങൾ അവസരങ്ങൾ നമുക്കനുകൂലമാക്കിത്തരും. ഡ്രേക്ക് ഇങ്ങനെ ഒരിടത്തു പറഞ്ഞിട്ടുണ്ട് "ഈ പദ്ധതിയോ ഇത്തരത്തിലുള്ള മറെറാന്നോ എന്നെങ്കിലുമൊരുദിവസം ഒരു കൃത്രിമ സിഗ്നൽ നിദർശിക്കുന്നതിൽ വിജയിക്കുമെന്നതു് സംഭാവ്യമാണെന്നു തോന്നുന്നു. അത്തരമൊരു കണ്ടെത്തലിന്റെ ശാസ്ത്രീയവും ദാർശനികവുമായ അർഥവും വ്യാപ്തിയും അങ്ങേയററം മഹത്തരമായിരിക്കുമെന്ന് എടുത്തുപറയേണ്ട ആവശ്യമില്ല". നമ്മുടേതിനേക്കാൾ വളരെയേറെ പുരോഗതി പ്രാപിച്ചിരിക്കാവുന്ന ഇതര സംസ്കാരങ്ങളുമായി സമ്പർക്കം സ്ഥാപിക്കുകയെന്ന ഉദാത്തമായ സാഹസികയത്നത്തിനൊരു നല്ല വാഗ്ദാനമാണ് റേഡിയോ ഖഗോളീയപഠനം.



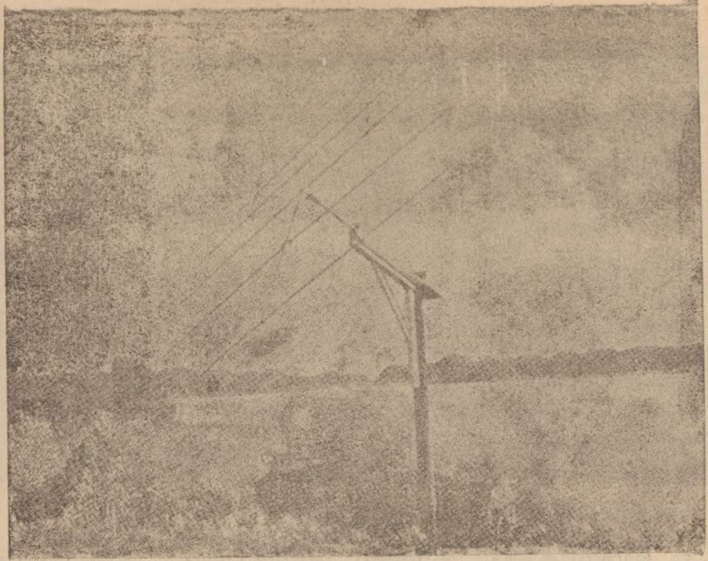
പ്ലേററ് I

കാറം ജാൻസ്കീയും, കറങ്ങുന്ന ആന്റെനയും. ഇതുപയോഗിച്ചാണ് കോസ്മിക റേഡിയോരവം അദ്ദേഹം കണ്ടുപിടിച്ചത്, (ബെൽ ടെലഫോൺ ലബോറട്ടറീസിനോട കടപ്പാട്).



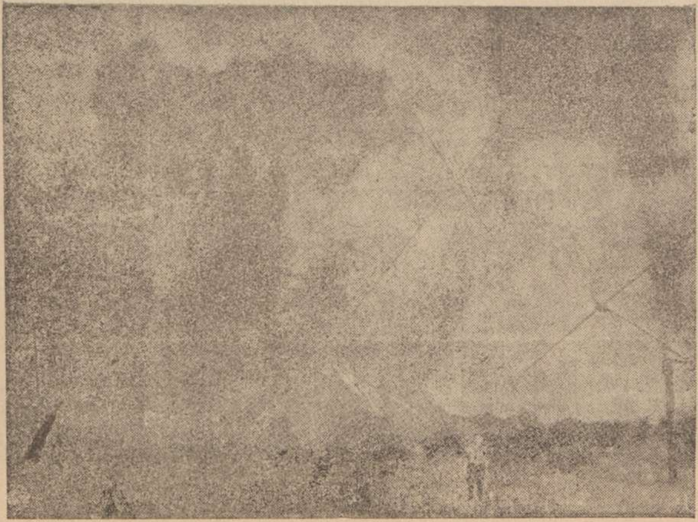
പ്ലേററ് II

ആസ്ട്രേലിയാ C S I R O യുടെ ഈ അടുത്ത കാലത്ത് പൂർത്തിയായ 210 അടി വ്യാസമുള്ള പാരബോളിക റേഡിയോ ദൂരദർശി. CSIRO റേഡിയോ ഫിസിക്സ് ലബോറട്ടറീസിനോട കടപ്പാട്).



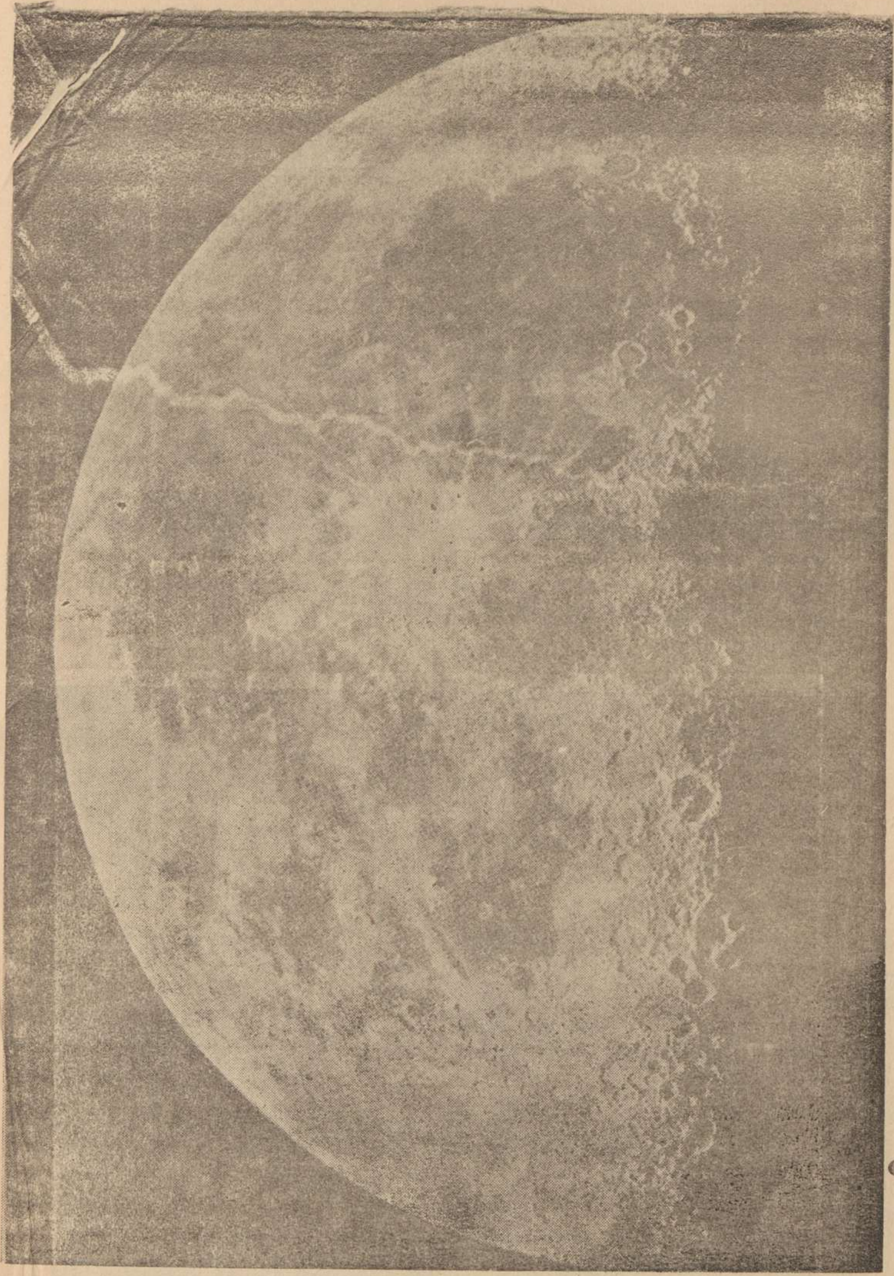
പ്ലേററ് III

ഫ്ളോറിഡാ റേഡിയോ നിരീക്ഷണാലയത്തിലെ ഒരു 19 Mc/sec യാഗീ ആന്റെന്ന. ഏററവും അടുത്തുകാണുന്ന ഭാഗം പ്രതിഫലകം, അതിനടുത്തത് പ്രവർത്തനനിരതമായ ദ്വിധ്രുവം, ഏററവും അകലെ കാണുന്ന മൂന്നു ഘടകങ്ങളും നിയാമകങ്ങളും. ഈ ആൻെറന്ന മധ്യ രേഖയിൽ സ്ഥാപിച്ചിരിക്കുന്നു, ഗ്രഹങ്ങളെ പിന്തുടരാൻ തക്കവണ്ണം മോട്ടോറിനാൽ ഓടിക്കപ്പെടുന്നു,



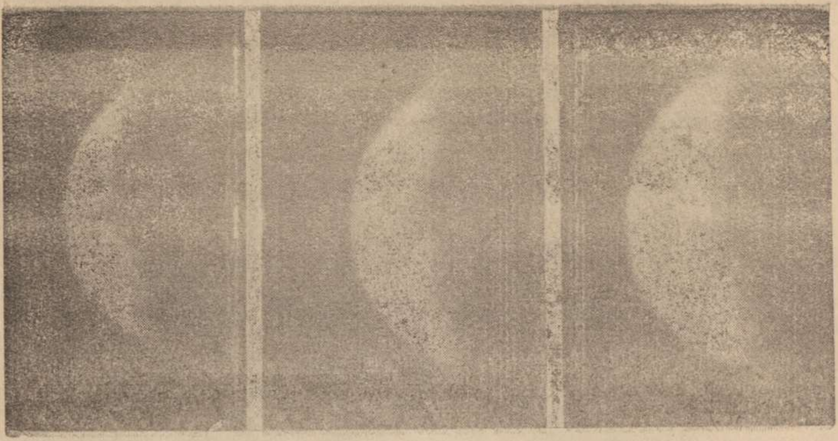
പ്ലേററു് VI

ഫ്ളോറിഡാ റേഡിയോ നിരീക്ഷണാലയത്തിലെ ഒരു ക്രോസിത് –യാഗി ധ്രുവണമാപി ആൻെറന്ന.



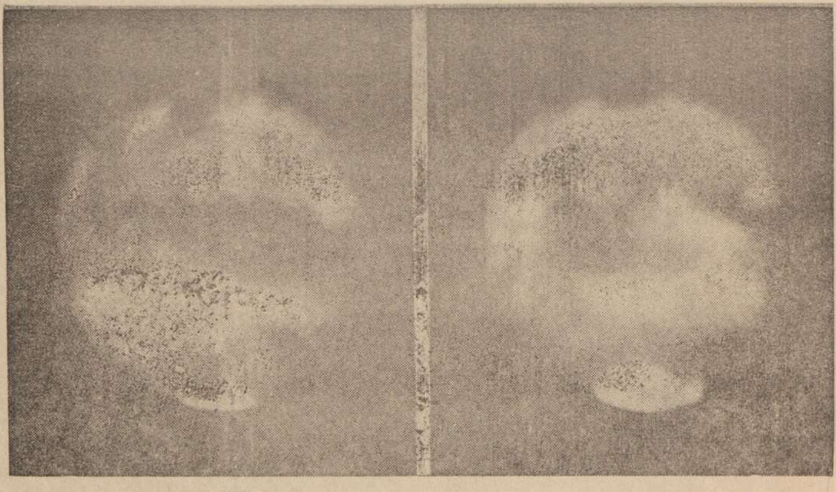
പ്ലേററ്റ് V

മൗണ്ടു് വിൽസണിലെ 100 ഇഞ്ച്യ് ദൂരദർശി ഉപയോഗിച്ചെടുത്ത ചന്ദ്രന്റെ ഒരു സംയുക്ത ഛായാചിത്രം. ''സമുദ്രങ്ങൾ'' വിള്ളലുകൾ, ഒരു പർവതനിര (താഴെ ഇടത്തു്) എന്നിവ കാണാം. [മൗണ്ടു് വിൽസൺ, പലോമർ നിരീക്ഷണാലയങ്ങളോടു് കടപ്പാടു്].



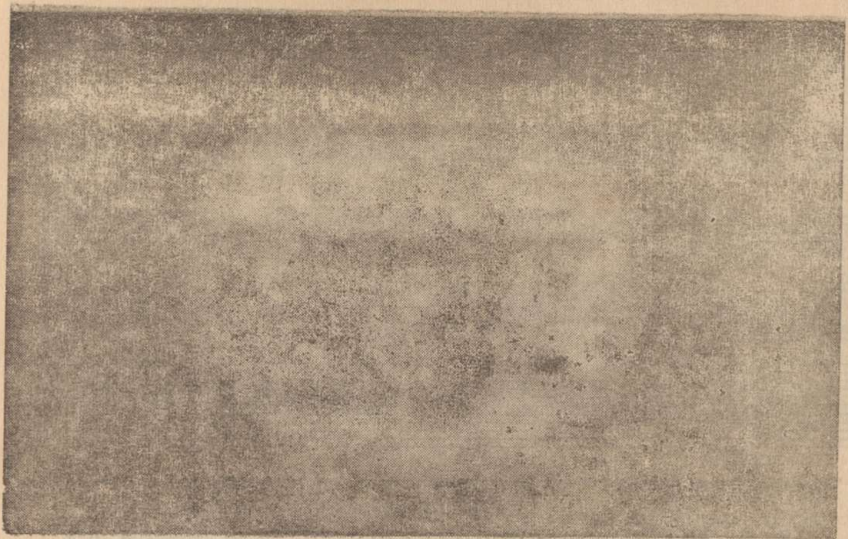
പ്ലേററ് VI

മൗണ്ടു് വിൽസണിലെ 100 ഇഞ്ചു് ദൂരദർശി ഉപയോഗിച്ചെടുത്ത ശുക്രന്റെ മൂന്നു ചിത്രങ്ങൾ. [മൗണ്ടു് വിൽസൺ, പലോമർ നിരീക്ഷണാലയങ്ങളുടെ അനുമതിയോടെ].



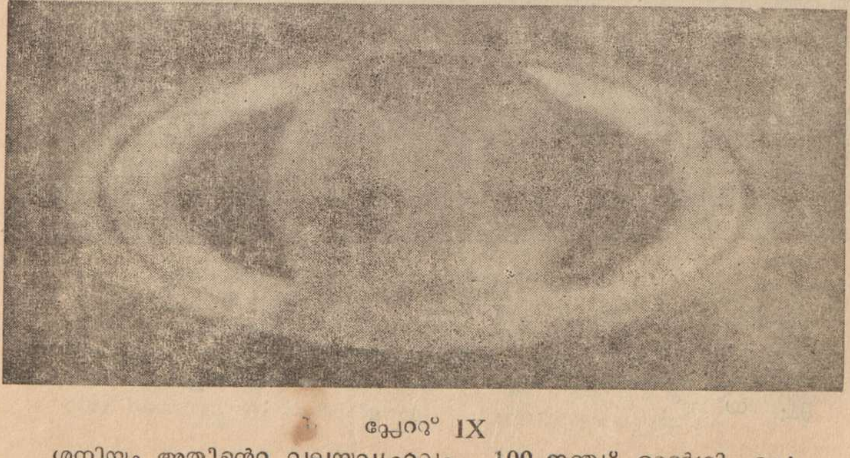
പ്ലേററ് VII

1956–ൽ കുജന്റെ രണ്ടു ദൃശ്യങ്ങൾ മൗണ്ടു് വിൽസണിലെ 60 ഇഞ്ചു് ദൂരദർശി ഉപയോഗിച്ചെടുത്തതു്. ഗ്രഹത്തിന്റെ എതിർ അർധഗോളങ്ങൾ ചിത്രത്തിൽ കാണാം. ഗ്രഹബിംബത്തിന്റെ മുകളിൽ വെളുത്തു കാണുന്നതു് തെക്കൻ ധ്രുവതൊപ്പി. (ഒരുപ്രതിലോമ ദൂരദർശിയിലെ വസ്തുക്കളുടെ അഭിവിന്യാസത്തിനു സംഗതമാകത്തക്ക വണ്ണം ഖഗോളീയ ചിത്രങ്ങൾ സാധാരണയായി പ്രതിലോമനം ചെയ്യിരിക്കും).



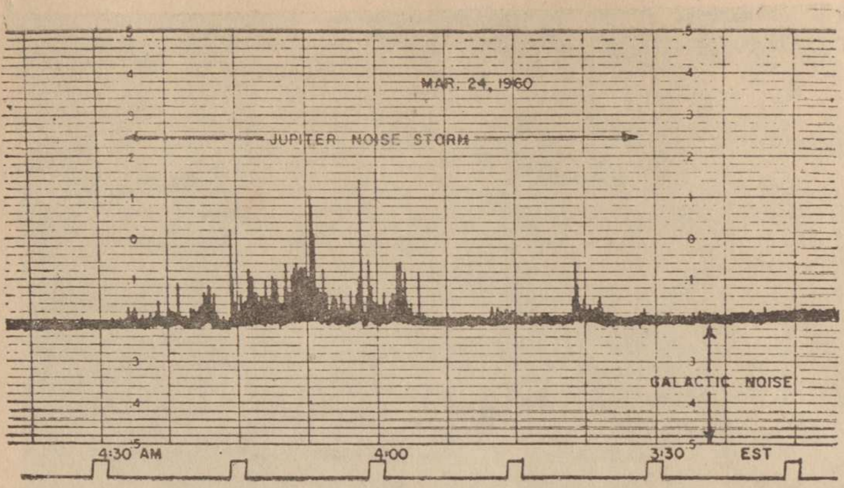
പ്ലേററ് VIII

200 ഇഞ്ച് ദൂരദർശി ഉപയോഗിച്ച് എടുത്ത വ്യാഴത്തിൻെറ ഒരു ചിത്രം. ബിംബത്തിൻെറ ഇടത്തേ അരികിൽ ദീർഘവൃത്താകൃതിയിൽ വലുപ്പത്തിൽ ഇരുണ്ട കാണപ്പെടുന്നതും മഹാശോണകളങ്കം. വ്യാഴത്തിൻെറ ഏററവും വലിയ ഉപഗ്രഹമായ ഗാനിമീഡ് വലത്തേ അരികിൽ മുകളിലായി കാണപ്പെടുന്നു. പ്രസ്തുത ഉപഗ്രഹത്തിന്റെ നിഴൽ ബിംബത്തിൻെറ വക്കിൽ ശോണകളങ്കത്തിനു മുകളിലായി കാണാം. ശോണകളങ്കത്തോടെ ഏറക്കുറെ ചേർന്നു കാണുന്നതു് ചിരഞ്ജീവിയായ ധവളകളങ്കം F A ആണ്. (മൗണ്ട് വിൽസൺ, പലോമർ നിരീക്ഷണാലയങ്ങളുടെ അനുവാദത്തോടെ മുദ്രണം ചെയ്തതു്).



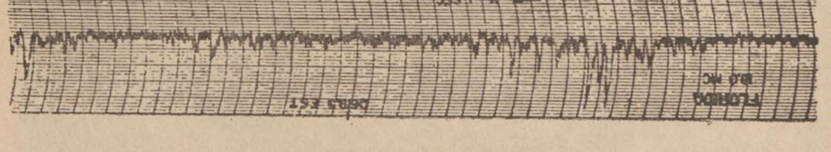
പ്ലേററ് IX

ശനിയും അതിൻെറ വലയവ്യൂഹവും. 100 ഇഞ്ച് ദൂരദർശി ഉപയോഗിച്ചെടുത്ത ചിത്രം,



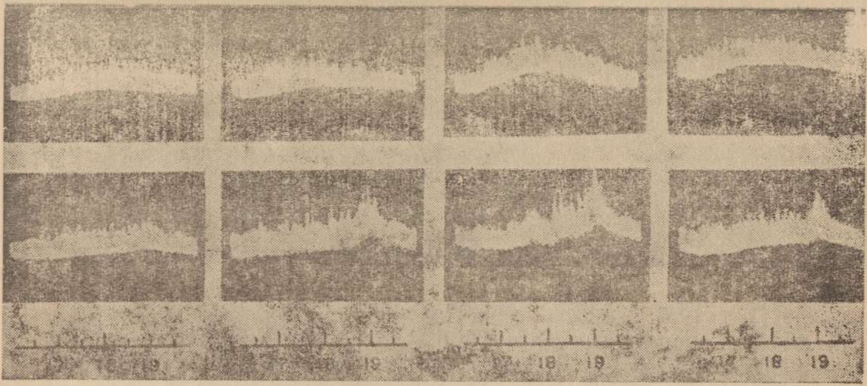
പ്ലേററ് X

18 മെ. സൈ/സെ ആവൃത്തിയിൽ വ്യാഴരവ വിക്ഷോഭത്തിന്റെ നിമ്ന വേഗ അഭിലേഖം. EST 3.30 AM കഴിഞ്ഞയുടനെ വിക്ഷോഭം ആരംഭിച്ചു. ഒരു മണിക്കൂറോളം അതു നീണ്ടുനിന്നു. ഗ്യാലക്സി യിൽ നിന്നുമുള്ള കോസ്മിക റേഡിയോരവം' എന്നറിയപ്പെടുന്ന സ്ഥായിയായ പശ്ചാത്തല സിഗ്നലിന്മേൽ വ്യാഴ രവ പ്രസ്ഫോടം അധ്യാരോപണം ചെയ്തിരിക്കുന്നു.

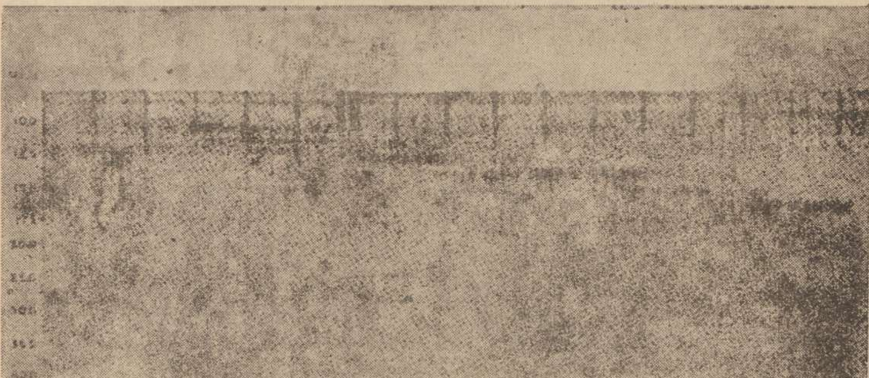


പ്ലേററ് XI

വ്യാഴരവ പ്രസ്ഫോടത്തി ൻറ. സ്ഫുരണപ്രഭാവം പ്രകടമാക്കുന്ന ഉച്ചവേഗ അഭിലേഖങ്ങൾ) മുകളിലെത്തെ അഭിലേഖം ഫ്ളോറി ഡായിലും താഴത്തേതു് അതേസമയം ചിലിയിലും തയ്യാറാക്കിയി ട്ടുള്ളവയാണു്.



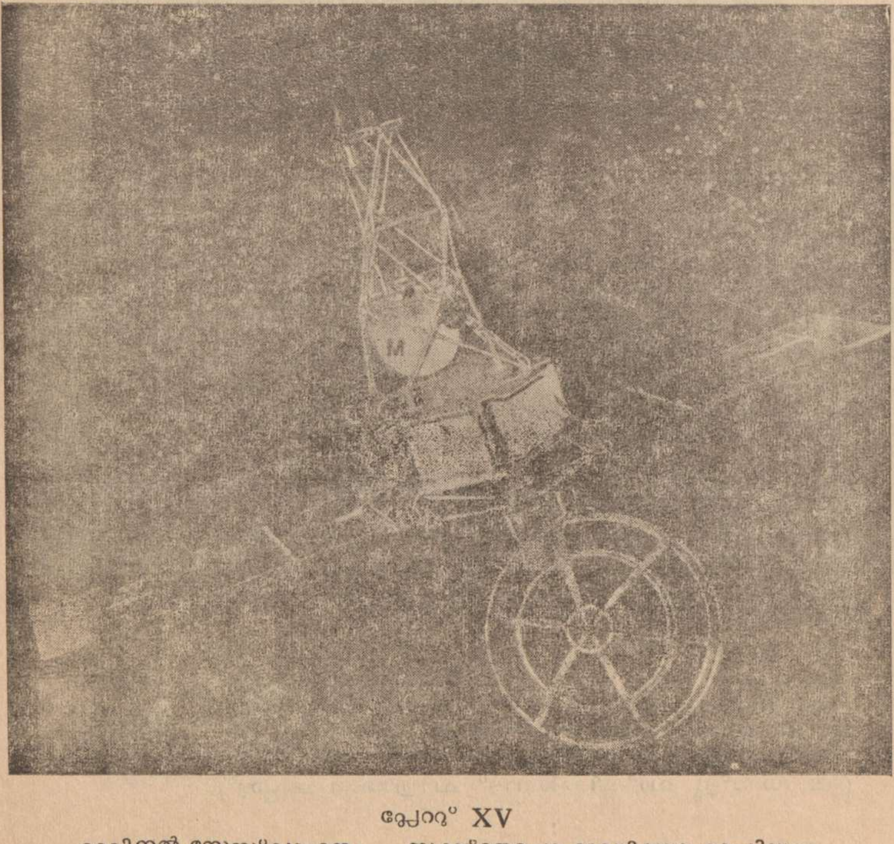
പ്ലേററ് XII
വ്യാഴരവ പ്രസ്ഫോടത്തിൻെറ സ്പെക്ട്രങ്ങൾ. രണ്ടു മാതൃകാസ്പന്ദങ്ങളുടെ വികാസം പ്രകടമാക്കുന്നു. ഇടത്തുനിന്നും വലത്തോ ; ഓരോ ചിത്രത്തിനും സമയം ഏകദേശം രണ്ടിലൊന്നു സെക്കൻറു വീതം കൂടിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്നു. ചിത്രത്തിൻെറ ചുവട്ടിൽ ഒരു ആവൃത്തി സ്കെയിലും കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.



പ്ലേററ് XIII
ഒരു വ്യാഴരവത്തിൻെറ ആവൃത്തിവിസ്ഥാപനം. 1.45 U T (Universal Time) യിൽ ബഹിർസ്ഫോടനം 10 Mc/sc ആവൃത്തിയിൽ ആരംഭിക്കുകയും 2.50 U T വരെ നിലനിൽക്കുകയും ചെയ്തു. ഈ 65 മിനിട്ടിനുള്ളിൽ വിക്ഷോഭത്തിൻെറ ആവൃത്തി ക്രമാനുഗതമായി വർധിച്ച് അവസാനം 17 മെ. സൈ/സെ യിലെത്തി. (ജെ. ഡബ്ല്യൂ വാർവിക്കിനോട് ചിത്രത്തിനു കടപ്പാട്).

പ്ലേററ് XIV

അറൻ്റ്—റോളണ്ട് ധൂമകേതു (1956 h) റേഡിയോ സ്രോതസ് എന്നു റിപ്പോർട്ടുചെയ്യപ്പെട്ടിരിക്കുന്നു. 1957 ഏപ്രിൽ 27 ന് മൗണ്ട് പലോമറിലെ 48 ഇഞ്ച് ഷിമിട് ക്യാമറ ഉപയോഗിച്ചെടുത്ത ചിത്രം. ശിരസ്സിൽ നിന്നും പുറത്തേക്കു ഉന്തിനിൽക്കുന്ന നേർത്ത 'പ്രകീലം' ഈ ധൂമകേതുവിൻെറ ഒരു പ്രത്യേകതയാണ്,



പ്ലേററ് XV

മാരിനർ സ്പേസ്‌വാഹനം. സൂക്ഷ്മതരംഗ റേഡിയോ മാപിയുടെ 20 ഇഞ്ച് ആൻെറന്ന M എന്ന അക്ഷരംകൊണ്ട് സൂചിപ്പിച്ചിരിക്കുന്നു. (ചിത്രകാരന് നാസയോട് കട[illegible])

REFERENCES

CHAPTER 1

1. Lodge, O. J., *Signalling Through Space Without Wires* (D. Van Nostrand Company, Inc., New York, 1906), 4th ed.
2. Nordmann, Chas., *Essai Sur le Role des Ondes Hertziennes en Astronomie Physique* (Gauthier-Villars, Paris, 1903).
3. Jansky, K. G., "Directional Studies of Atmospherics at High Frequencies," Proc. Inst. Radio Engrs. *20*, 1920–1932 (1932).
4. Reber, G., "Early Radio Astronomy at Wheaton, Illinois," Proc. Inst. Radio Engrs. *46*, 15–23 (1958).
5. Hey, J. S., "Solar Radiations in the 4-6 Metre Radio Wave-Length Band," Nature *157*, 47-48 (1946); Appleton, E., and Hey. J. S., "Solar Radio Noise," Phil. Mag. *37*, 73-84 (1946).
6. Hey, J. S., Parsons, S. J., and Phillips, J. W., "Fluctuations in Cosmic Radiation at Radio-Frequencies," Nature *158*, 234 (1946).
7. Bolton, J. G., and Stanley, G. J., "Variable Source of Radio Frequency Radiation in the Constellation of Cygnus," Nature *161*, 312-313 (1948).
8. Ewen, H. I., and Purcell, E. M., "Radiation from Hyperfine Levels of Interstellar Hydrogen," Phys. Rev. *83*, 881 (1951).

CHAPTER 2

1. Brown, R. H., and Lovell, A. C. B., *The Exploration of Space by Radio* (Wiley and Sons, New York, 1958).
2. Swenson, G. W., and Bracewell, R. N., "Some Russian Radio Telescopes," Sky and Telescope *22*, 77-80 (1961).
3. Pawsey, J. L., and Bracewell, R. N., *Radio Astronomy* (Oxford University Press, Oxford, 1955).
4. Cohen, M. H., "Radio Astronomy Polarization Measurements," Proc. Inst. Radio Engrs. *46*, 172-183 (1958).

CHAPTER 3

1. Southworth, G. C., *Forty years of Radio Research* (Gordon and Breach, New York, 1962).
2. Dicke, R. H., and Beringer, R., "Microwave Radiation from the Sun and Moon," Astrophys. J. *102*, 375–376 (1946).
3. Pettit, E., "Planetary Temperature Measurements," *Planets and Satellites*, edited by G. P. Kuiper and B. M. Middlehurst (University of Chicago Press, Chicago, 1961).
4. Howard, W. E., Barrett, A. H., and Haddock F. T., "Measurement of Microwave Radiation from the Planet Mercury," Astrophys. J. *136*, 995–1004 (1962).
5. "Water in Venus' Atmosphere," Sky and Telescope *19*, 343 (1960).
6. Chamberlain, J. W., and Kuiper, G. P., "Rotational Temperature and Phase Variations of Carbon Dioxide Bands of Venus," Astrophys. J. *124*, 399-407 (1956).
7. Mayer, C. H., McCullough, T. P., and Sloanaker, R. M., "Observations of Venus at 3.15-Cm Wavelength," Astrophys. J. *127*, 1–10 (1958).
8. Kraus, J. D., "Impulsive Radio Signals from the Planet Venus," Nature *178*, 33 (1956). See also Nature *178*, 103 and 159 (1956) and *186*, 462 (1960).
9. Lowell, P., *Mars as the Abode of Life* (The Macmillan Company, New York, 1909).
10. Mayer, C. H., McCullough, T. P., and Sloanaker, R. M., "Observations of Mars and Jupiter at a Wavelength of 3.15 Cm," Astrophys. J. *127*, 11–16 (1958).
11. Ball, R. S., *The Story of the Heavens* (Cassell and Co., Ltd., London, 1888).
12. McClain, E. F., and Sloanaker, R. M., "Preliminary Observations at 10-Cm Wavelength Using the NRL 84-Foot Radio Telescope," *Paris Symposium on Radio Astronomy*, edited by R. N. Bracewell (Stanford University Press, Stanford, 1959).
13. Alexander, A. F. O'D., *The Planet Saturn* (Faber and Faber, London, 1962).

14. Cook, J. J., Cross, L. G., Bair, M. E., and Arnold, C. B., "Radio Detection of the Planet Saturn," Nature *188*, 393-394 (1960).

CHAPTER 4

1. Franklin, K. L., "An Account of the Discovery of Jupiter as a Radio Source," Astron. J. *64*, 37-39 (1959).
2. Shain, C. A., "Location on Jupiter of a Source of Radio Noise," Nature *176*, 836-837 (1955).
3. Carr, T. D, Smith, A. G., Bollhagen, H., Six, N. F., and Chatterton, N. E., "Recent Decameter-Wave-Length Observations of Jupiter, Saturn, and Venus," Astrophys. *134*, 105-125 (1961).
4. Gardner, F. F., and Shain, C. A., "Further Observations of Radio Emission from the Planet Jupiter," Australian J. Phys. *11*, 55-59 (1958).
5. Douglas, J. N., and Smith, H. J., "Presence and Correlation of Fine Structure in Jovian Decametric Radiation," Nature *192*, 741 (1961).
6. Franklin, K. L., and Burke, B. F., "Radio Observations of the Planet Jupiter," J. Geophys. Research *63*, 807-824 (1958).
7. Kraus, J. D., "Planetary and Solar Radio Emission at 11 Meters Wavelength," Proc. Inst. Radio Engrs. *46*, 266-274 (1958).
8. Warwick, J. W., "Relation of Jupiter's Radio Emission at Long Wavelengths to Solar Activity," Science *132*, 1250-1252 (1960).
9. Jelley, J. V., and Petford, A. D, "A Preliminary Search for Hα Activity on the Planet Jupiter," The Observatory *81*, 104-106 (1961).
10. Radhakrishnan, V., and Roberts, J. A., "Polarization and Angular Extent of the 960-Mc/sec Radiation from Jupiter," Phys. Rev. Letters *4*, 493-494 (1960).
11. Morris, D., and Berge, G. L., "Measurement of the Polarization and Angular Extent of the Decimeter Radiation from Jupiter," Astrophys. J. *136*, 276-282 (1962).

CHAPTER 5

1. Gallet, R. M., "Radio Observations of Jupiter," *Planets and Satellites,* edited by G. P. Kuiper and B. M. Middlehurst (University of Chicago Press, Chicago, 1961).
2. "Radio Emission from Jupiter," Nature *175*, 1074 (1955).
3. Smith, F. G., "A Search for Radiation from Jupiter at 38 Mc/sec and at 81.5 Mc/sec," The Observatory *75*, 252–254 (1955).
4. Field, G. B., "The Source of Radiation from Jupiter at Decimeter Wavelengths," J. Geophys. Research 65, 1661-1671 (1960).
5. Zhelezniakov, V. V., "On the Theory of the Sporadic Radio Emission from Jupiter," Soviet Astron.-AJ *2*, 206–215 (1958).
6. Gardner, F. F., and Shain, C. A., "Further Observations of Radio Emission from the Planet Jupiter," Australian J. Phys. *11*, 55–69 (1958).
7. Carr, T. D., report before the December, 1958, meeting of the American Astronomical Society.
8. Smith, A. G., and Carr, T. D., "Radio-Frequency Observations of the Planets in 1957-1958," Astrophys. J. *130*, 641-647 (1959).
9. Warwick, J. W., "Theory of Jupiter's Decametric Radio Emission," Annals N. Y. Acad. Sci. *95*, 39–60 (1961).
10. Gallet, R. M., and Helliwell, R. A., "Origin of Very Low-Frequency Emissions," J. Research Natl. Bur. Standards *63D*, 21–27 (1959).
11. Field, G. B., "The Source of Radiation from Jupiter at Decimeter Wavelengths," J. Geophys. Research *64*. 1169–1177 (1959); *65*, 1661-1671 (1960); *66*, 1395–1405 (1961).
12 Roberts, J. A., and Stanley, G. J., "Radio Emission from Jupiter at a Wavelength of 31 Cm," Pubs. Astron. Soc. Pacific 71, 485–496 (1959).
13. Roberts, M. S., and Huguenin, G. R., *Proceedings of the 11th International Colloquium on Astrophysics*, edited by P. Swings (in press).

14. Smith, H. J., "Non-Thermal Solar System Sources Other Than Jupiter," Astron. J. *64*, 41–43 (1959).

15. Carr, T. D., Smith, A. G., Bollhagen, H., Six, N. F., and Chatterton, N. E., "Recent Decameter-Wavelength Observations of Jupiter, Saturn, and Venus," Astrophys. J. *134*, 105–125 (1961)

16. Kraus, J. D., "Observations at a Wavelength of 11 m. During the Close Approach of Comet Arend-Roland," Astron. J. *63*, 55–58 (1958); and Coutrez, R., Hunaerts, J., and Koecklenbegh, A, "Radio Emission from Comet 1956h on 600 Mc," Proc. Inst. Radio Engrs. *46*, 274-279 (1958).

CHAPTER 6

1. De Witt, J. H., and Stodola, E. K., "Detection of Radio Signals Reflected from the Moon," Proc. Inst Radio Engrs. *37*, 229–242 (1949).

2. Hey, J. S, and Stewart, G. S., "Radar Observations of Meteors," Proc. Phys. Soc. (London) *59*, 858-883 (1947).

3. Bay, Z., "Reflection of Microwaves from the Moon," Hungarian Physica Acta *1*, 1–22 (1946).

4. Kerr, F J., and shain, C. A., "Moon Echoes and Transmissions Through the Ionosphere," Proc. Inst. Radio Engrs. *39*, 230-242 (1951).

5. Murray, W. A. S., and Hargreaves, J. K., "Lunar Radio Echoes and the Faraday Effect in the Ionosphere," Nature *173*, 944-945 (1954).

6. Hanbury Brown, R., and Lovell, A. C. B., *The Exploration of Space by Radio* (Wiley & Sons' New York, 1958).

7. Whipple, F. L., "Photographic Meteor Studies," Proc. Am. Phil. Soc. *91*, 189–200 (1947).

8. McKinley, D. W. R., *Meteor Science and Engineering* McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, (1961).

9. Lovell, A. C. B., and Clegg, J. A., *Radio Astronomy* (Wiley& Sons, New York, 1952).

10. Evans, J. V., "The Scattering of Radio Waves by the Moon," Proc. Phys. Soc. (London), Series *B 70*, 1105–1112 (1957).

11. Trexler, J. H., "Lunar Radio Echoes," Proc. Inst. Radio Engrs. *46*, 286–292 (1958).

12. Pettengill, G. H., "Measurement of Lunar Reflectivity Using the Millstone Radar," Proc. Inst. Radio Engrs. *48*, 933–934 (1960).

13. Evans, J. V., *Radar Astronomy*, unpublished course notes, MIT, 1962.

14. Adams, W. S., "Some Results with the Coude Spectrograph of the Mount Wilson Observatory," Astrophys. J. *93*, 11-23 (1941).

15. Spencer Jones, H., Mem. Royal Astron. Soc. of London *46*, Part 2 (1941).

16. Staff, Millstone Radar Observatory, "The Scale of the Solar System," Nature *190*, 592 (1961).

17. Victor, W. K., and Stevens, R., "Exploration of Venus by Radar," Science *134*, 46–48 (1961).

18. Maron, I., Luchak, G., and Biltzstein, W., "Radar Observations of Venus," Science *134*, 1419-1421 (1961).

19. Thomson, J. H., Taylor, G. N., Ponsonby, J. E. B., and Roger, R. S., "A New Determination of the Solar Parallax by Means of Radar Echoes from Venus," Nature *190*, 519–520 (1961).

20. Kotel'nikov, V. A., "Radar Contact with Venus," paper presented at 12th Int'l Astronautical Congress, Washington, D. C. (Oct. 1961).

21. Dollfus, A., "Visual and Photographic Studies of Planets at Pic du Midi," *Planets and Satellites*, edited by G. P. Kuiper and B. M. Middlehurst (University of Chicago Press, Chicago, 1961).

22. Eshelman, V. R., Barthle, R. C., and Gallagher, P. B., "Radar Echoes from the Sun," Science *131*, 329–332 (1960).

23. Abel, W. G., Chisholm, J. H., Fleck, P. L., and James, J. C., "Radar Reflections from the Sun at Very High Frequencies," J. Geophys. Research *66*, 4303–4307 (1961).

24. "Radar Observations of Mars and Mercury," Sky and Telescope *25*, 191–195 (1963).

CHAPTER 7

1. Lovell, A. C. B., *The Individual and the Universe* (New American Library, New York, 1961).
2. Southworth, G. C., "Early History of Radio Astronomy," Sci. Monthly *82*, 55-66 (1956).
3. Drake, F. D., "Radio Emission from the Planets," Phys. Today *14*, 30–34 (1961).
4. Wetherald, R., *The Perpetual Calculator* (I. Thompson and Co , Newcastle upon Tyne, 1760).
5. Huygens, C., "Cosmotheoros," reprinted in *Theories of the Universe*, edited by M. K. Munitz (The Free Press, Glencoe, III., 1957).
6. Shapley, H., *Of Stars and Men* (Beacon Press, Boston, 1958).
7. Huang, Su-Shu, "Some Astronomical Aspects of Life in the Universe," Sky and Telescope *21*, 312-316 (1961).
8. See, for example, Pierce, J. R., *Electrons, Waves and Messages* Hanover House, Garden City, N. Y., 1956).
9. Drake, F. D., "How Can We Detect Radio Transmissions from Distant Planetary Systems?" Sky aud Telescope *19*, 140–143 (1960).

സൂചിക

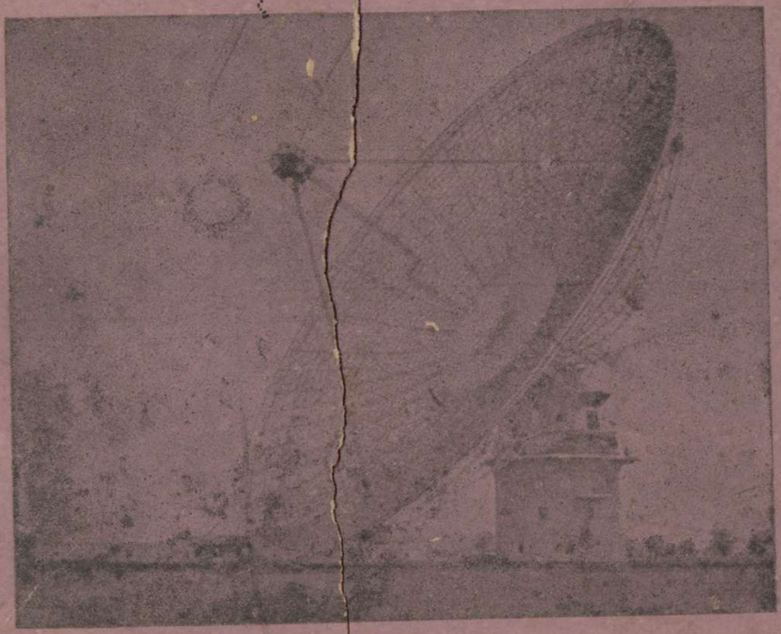
അയണമണ്ഡലം 85
അക്ഷാനപാതം 33
ആന്റന ഇനങ്ങൾ 18
ഉൽക്കാ ഖഗോളവിജ്ഞാനം 127
കറുത്തവാവ് 50
കുജൻ 65
കൊള്ളിമീൻ 9, 123, 125
ചാന്ദ്രവികിരണം 46
ഡക്കാമീററർ തരംഗങ്ങൾ 91, 99
ഡക്കാമീററർ വികിരണം 115
ഡോപ്ളർപ്രഭാവം 8, 124
താപനില 53, 62, 63, 67
താപവികിരണം 7, 44
താപവികിരണ സിദ്ധാന്തം 37
ദ്യുതി 12
ധ്രുവണം 12
ധ്രുവണഭിന്നം 33
ധ്രുവണമാപികൾ 32
ധ്രുവീകരണം 97
പാരസ്പരികതാസിദ്ധാന്തം 15
പ്രശാന്തസൂര്യൻ 42
പ്രസ്ഫുരണം 34, 95
പ്ലാസ്മാദോലനങ്ങൾ 113
പ്ളൂട്ടോ 65
ബീററാട്രോൺ 115
ബുധൻ 57
ഫാരഡേ ഘൂർണനം 125
ഭീമഗ്രഹങ്ങൾ 55
ഭൗമാന്തരീക്ഷപ്രഭാവങ്ങൾ 34
മെഗല്ലൻ ക്ലൗഡ് 9
വിഭേദനക്ഷമത 14
വിസ്ഥാപനനിയമം 41
വേലാഘർഷണം 44
വ്യതികരണം 77
വ്യതികരണമാപികൾ 25
വ്യാഴം 67, 121
വ്യാഴവികിരണബെൽററ് 106
ശനി 71, 121
ശുക്രൻ 59
സാജിറേററിയസ് 4
സിഗ്നൽ തീവ്രത 11
സൂര്യകളങ്കം 2, 6
സൂര്യകളങ്കസംഖ്യ 101
സൂക്ഷ്മതരംഗഊർജം 44
സൂക്ഷ്മതരംഗവികിരണം 118
സൈക്ലോട്രോൺ 115
സൗരയൂഥം 54
സൗരറേഡിയോതരംഗങ്ങൾ 6
സിംക്രോട്രോൺ 118
ഹൈഡ്രജൻരേഖ 8
റഡാർ 43, 136, 145
റഡാർ ഖഗോളവിജ്ഞാനം 123
റാലേ—ജീൻസ്സൂത്രം 38
റേഡിയോ ഘൂർണനകാലം 87
റേഡിയോതരംഗങ്ങൾ 52
റേഡിയോ ദൂരദർശികൾ 13
റേഡിയോനക്ഷത്രങ്ങൾ 7
റേഡിയോസ്പെക്ട്രം 7, 77
റേഡിയോസ്പെക്ട്രോഗ്രാഫുകൾ 32

ശബ്ദാവലി

അനുനാദം	resonance
അവശോഷണം	absorption
അക്ഷാനുപാതം	axial ratio
കുജൻ	mars
കൊള്ളിമീൻ	meteor
കൃഷ്ണികാവക്രം	blackbody curve
ചാഞ്ചാട്ടം	libration
ഡോപ്ളർപ്രഭാവം	Doppler effect
താപവികിരണം	thermal radiation
ദിശിക ആന്റെന	directional antenna
ധൂസര വസ്തുക്കൾ	gray bodies
ധ്രുവണം	polarisation
ധ്രുവണഭിന്നം	polarization factor
പണിക്കോപ്പ്	tools
പരാസദോലനദർശി	range oscilloscope
പര്യവേഷണം	exploration
പാരസ്പരികതാസിദ്ധാന്തം	principle of reciprocity
പ്രതിധ്വനി	echo
പ്രസ്ഫുരണം	scintillation
പ്രശാന്തസൂര്യൻ	quiet sun
മഹാശോണകളങ്കം	greatRed Spot
"മിന്നിമായൽ"	twinkling
ശീർഷകപ്രതിധ്വനി	head echo
വിഭേദനക്ഷമത	resolving power
വിവിക്ത സ്രോതസ്സ്	discrete source
വിസ്ഥാപനനിയമം	displacement law
വേലാഘർഷണം	tidal friction
സൂര്യകളങ്കം	sun spot
സൗരവികിരണം	solar radiation
സൗരസംപ്രേരണ	solar stimulation
ഹരിതഗേഹപ്രഭാവം	green-house effect
ക്ഷീരപഥം	milky way
റേഡിയോ ഖഗോളീയ വിജ്ഞാനം	radio astronomy

സൗരയൂഥ റേഡിയോപര്യവേഷണം

അലക്സ് ജി. സ്മിത്ത്
തോമസ് ഡി. കാർ



കേരള ഭാഷാ ഇൻസ്റ്റിറ്റ്യൂട്ട്
തിരുവനന്തപുരം