க. நூ. வெ. இ. எண்—237

இன்றைய பௌதிகம்

(பட்டப்படிப்பிற்குரிய சிறப்புப் பாடம்)

ஆசிரியர்

டாக்டர் எம். ஏ. தங்கராஜ்,
எம்.ஏ., பி.ஹெச்.டி., (டொராண்டா),
முதல்வர்,
அமெரிக்கன் கல்லூரி, மதுரை.

கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகம்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—August 1970

D.C.P. No. 237

© Directorate of Collegiate Publications

MODERN PHYSICS (Major)

Dr. M. A. THANGARAJ

Net Price Rs. 6-75

(No discount)

Printed by

ANURADHA ACCHAGAM,

146. T. H. Road, Madras-2 .

அணிந்துரை

(திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன், தமிழகக் கல்வி-சுகாதார அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பத்து ஆண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ., வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப்படிப்பு வகுப்புகளிலும் விஞ்ஞானப் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன் வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி, இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் மாணவர்களுக் கலை, அறிவியல் பாடங்களைத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சிகளைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக் கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்து வரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழி பெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ் நாட்டுப் பாட நூல் நிறுவனத்தின் கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகம் நூல்களை வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான **'இன்றைய பௌதிகம்'** என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்—கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகத்தின் **237**ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை **272** நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழ்ப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும்; அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பலவகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரித்தாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

அணு இயல் (Atomic Physics)

		பக்கம்
1.	விஞ்ஞான வரலாறு (History of Science) ...	1
2.	வாயுக்களினூடே மின்னிறக்கம் (Discharge of Electricity Through Gases) ...	17
3.	எலக்ட்ரான் (The Electron) ...	24
4.	குவாண்டம் கொள்கையும் அதன் பிரயோகமும் (Quantum Theory and Its Application) ...	41
5.	வெப்ப அயனி, ஒளிமின் விளைவுகள் (Thermionic and Photoelectric Effects) ...	52
6.	நேர்மின் கதிர்கள் (Positive Rays) ...	70
7.	அணிகிற மாலையும் அணு அமைப்பும் (Series Spectra and Atomic Structure) ...	83
8.	அணுவின் வெக்டர் மாதிரி அமைப்பு (Vector model of the Atom) ...	112
9.	எக்ஸ் கதிர்கள் (X-Rays) ...	131
10.	ஒளிநிற மாலையியல் (Optical Spectroscopy) ...	162
11.	ஒளிச் சிதறலும் ராமன் விளைவும் (Scattering of Light and Raman Effect) ...	187
12.	இயற்கைக் கதிரியக்கம் (Natural Radioactivity) ...	194
13.	அயனிக் கதிர் உணர் கருவிகள் (Devices for the Detection of Ionizing Radiation) ...	204
14.	தனிமங்களின் செயற்கைப் பண்புமாற்றம் (Artificial Transmutation of Elements) ...	213
15.	தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம் (Induced Radioactivity) ...	228
16.	துகள்வேக முடுக்கிகள் (Particle Accelerators) ...	231
17.	அணுக்கருப் பிளவையும் அணு ஆற்றலும் (Nuclear fision and Atomic Energy) ...	243

பக்கம்

18. காஸ்மிக் கதிர்கள் (Cosmic Rays) ... 255

19. பருப் பொருளின் அலை இயல்பு (Wave Nature of Matter) ... 271

எலக்ட்ரான் இயல் (Electronics)

20. மாறுதிசை மின்னோட்டம் (Alternating Currents) ... 283

21. வெப்ப அயனி வால்வுகள் (Thermionic Valves) ... 300

22. வால்வு பெருக்கி, அலைப்பண்பிறக்கி, அலை இயற்றி (Valves : Amplifier, Detector and Oscillator) ... 316

23. ஒலி பரப்புதலும் ஏற்பும் (Elements of Broadcasting and Reception) ... 331

24. மின்காந்த அலைகளின் பரப்பல் (Propagation of Electromagnetic Waves) ... 348

25. டெலிவிஷன், ரேடார் (Television, Radar) ... 358

26. ஜங்க்ஷன் டிரான்சிஸ்டர் (The Junction Transistor) ... 369

அணு இயல்

(ATOMIC PHYSICS)

1 விஞ்ஞான வரலாறு

(History of Science)

நவீன இயற்பியல் என்பது இந்த நாள்வரை நாம் பௌதீக விஞ்ஞானத்தின் வாயிலாக அறிந்துள்ள எல்லா உண்மைகளையும் குறிப்பதாகும். சென்ற நூற்றாண்டின் இறுதியிலிருந்து கடந்த எழுபதாண்டுகளில் விஞ்ஞானம் பல துறைகளில் வெகு துரிதமாக முன்னேறி இயற்கையின் பல அரிய உண்மைகள் வெளிப்படுத்தியுள்ளது. சிறப்பாக பௌதிகத்துறையின் முன்னேற்றம் வியக்கத்தக்க வகையில் அமைந்துள்ளது. இந்த எழுபதாண்டுகளின் கண்டுபிடிப்புகளையும் புதுப்புனைவுகளையும் சுருக்கமாக குறிப்பிடலாம். இவ்வுண்மை விளங்கும். எக்ஸ் கதிர்கள் கதிரியக்கம் எலக்ட்ரான் ஒளிமின் வெப்பமின் விளைவுகள் அணு அமைப்பு சாபுக் கொள்கை குவான்டம் தொழில் செயற்கை அணுமாற்றம் அணுப்பிளவை அணு ஆற்றல் ரேடார் டெலிவிஷன் என்று ஏராளமான புதிய சாதனங்களையும் கொள்கைகளையும் உண்டுபண்ணி மனிதனின் நிலைப் பயணத்திற்கும் தயாரித்துள்ளது.

ஆனால் இருபதாம் நூற்றாண்டின் இயற்பியல் தீடீரென்று 1900ஆம் ஆண்டில் உதித்துவிடவில்லை. அதற்கு முன் சுமார் இருபதாண்டுகளாக பல நூற்றுக்கணக்கான விஞ்ஞானிகளின் முயற்சியாலும் ஆராய்ச்சிகளாலும் சாதனமாக வளர்க்கப்பட்டுவந்த விஞ்ஞானமே இந்த நூற்றாண்டில் யாவரும் பிரமிக்கத்தக்க முறையில் ஓங்கி வளர்ந்துள்ளது. ஆகவே இருபதாம் நூற்றாண்டின் பௌதிகவாராய்ச்சியை முற்றும் அறிந்து கொள்ளவேண்டுமானால் முந்திய நூற்றாண்டுகளில் அது வளர்ந்த

விதத்தையும் அன்று வளர்த்த முக்கியமான விஞ்ஞானிகளின் முயற்சிகளையும் குறித்துச் சிறிதேனும் அறிந்திருத்தல் மிக்க அவசியம். ஆகையால் இவ் வத்தியாயத்தில் பௌதிகத்தின் வரலாற்றைச் சுருக்கமாகக் குறிப்பிடுவோம்.

பழங்காலத்து மக்கள் வாழ்ந்த எகிப்து, கிரீஸ், மெசொபோடோமியா, இந்தியா, சீனா முதலிய பல்வேறு பாகங்களிலும், விண்ணியல், மருத்துவம், இராசயனம் முதலிய விஞ்ஞானங்கள் ஒரு வகையாக அறியப்பட்டிருந்தாலும், அவைகளுடன் சோதிடம் இரசவாதம், மந்திரஜாலம் முதலியவைகளும் வெகுவாகக் கலந்திருந்தன. அத்துடன் இந் நாடுகளில் விஞ்ஞானம் எவ்வளவு தூரம் முன்னேறின என்பதைக் குறித்துத் துப்புரவான தகவல் அதிகமாகக் கிடைக்கவில்லை ஆனால், கிரேக்கர்களிடையே விஞ்ஞானம் சற்று அதிகமாக வளர்ந்துள்ளதாக எழுத்தின் வாயிலாக அறிகிறோம்.

மைலீட்பஸில் வாழ்ந்த தேல்ஸ் (Thales of Miletus) என்பவர் (கி. மு. 624—547), காந்தம் இரும்பாலான பொருட்களை இழுக்கும் தன்மைபெற்றது என்பதையும், கம்பளித் துணியால் தேய்க்கப் பட்ட அம்பர் தண்டு (Amber rod) சிறு பொருட்களை இழுக்கும் ஆற்றல் வாய்ந்தது என்பதையும் அறிந்திருந்தார் என்று கிரேக்க ஞானி அரிஸ்டாட்டல் எழுதியுள்ளார் ஆனால், அவர், உலகம் உருளை வடிவமாக, நீரின்மேல் மிதந்துகொண்டுள்ளதென்று நம்பியதாகவும், அரிஸ்டாட்டல் குறிப்பிடுகிறார். பிதாகொரஸ் (Pythagoras) (கி.மு. 580-500) என்ற சிறந்த கிரேக்க தத்துவ ஞானி, கணிதத்திலும் வல்லுனர்; நமது பூமி உருண்டையாக உள்ளதென்றும், அது நமது பேரண்டத்தின் (Universe) மையத்திலிருக்க, சூரியன், நிலா, விண்மீன்கள் அனைத்தும் அதைச் சுற்றி வெவ்வேறு பாதைகளில் சுழன்று செல்கின்றன என்றும் நம்பினார்.

அனக்ஸாகொரஸ் (Anaxagoras) (கி.மு. 500-428) 2500 ஆண்டுகளுக்கு முன்பு வாழ்ந்தாரெனினும், தற்காலத்திய விஞ்ஞானக் கொள்கைகள் பலவற்றை நம்பினார். சூரியன் பழுக்கக் காய்ந்த உலகமென்றும், அதன் ஒளியாலேயே நிலா பிரகாசிக்கிறதென்றும், பூமியின் நிழல் நிலாவின்மீது விழுவதால், சந்திர கிரகணமும், நிலை சூரியனை மறைப்பதால் சூரிய கிரகணமும் உண்டாகின்றன; சந்திர கிரகணம் பௌர்ணமியன்றும், சூரிய கிரகணம் அமாவாசையன்றும் உண்டாகின்றனவென்றும் நம்பினார். இவை

கிரேக்கச் சமயக் கொள்கைகளுக்கு விரோதமானவை என்று, அவரை ஏதேன்ஸ் நகரத்திலிருந்து விரட்டிவிட்டனர். தற்காலத்திய அணுக் கொள்கை (Atomic Theory) பொருளின் அழிவின்மைக் கொள்கை (Law of Conservation of matter) முதலிய சிறந்த உண்மைகளையும் அவரே முதலில் பிரஸ்தாபித்தார். பொருள்களின் மாற்றம் உண்டாவதற்குக் காரணம் அவற்றிலுள்ள கண்ணுக்குத் தென்படாத மிகச்சிறிய துகள்கள் கூடுவதும் பிரிவதுமே என்றும், இத் துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று வித்தியாசமானவை, ஒருக்காலும் மாறுதலை, அழியாதவை என்றும் கூறினர். இவரது அணுக் கொள்கையை அவருக்குப் பின்வந்த டெமாக்ரிட்டஸ் (Demacritus) (கி.மு. 460-370), இன்னும் விவரமாக விளக்கினர். ஆனால், அரிஸ்டாட்டல் இக் கொள்கையை ஏற்றுக்கொள்ளவில்லை.

அரிஸ்டாட்டல் (Aristotle) (கி.மு. 384-332) என்ற தலை சிறந்த கிரேக்க தத்துவஞானி, பிளேட்டோ (Plato) என்னும் மாபெரும் தத்துவஞானியின் மாணவர். இவர், தர்க்கம், அணியிலக்கணம் (Rhetoric), தத்துவ சாஸ்திரம், விஞ்ஞானம் முதலிய எல்லாத் துறைகளிலும் சிறந்து விளங்கியதுடன், அவை வளர்வதற்குப் பெரிதும் துணைபுரிந்தார். இவர் பல துறைகளில் தலை சிறந்து விளங்கியபடியால், இவரது கொள்கைகளை எல்லாத்துறைகளிலும் மக்கள் ஏற்றுக்கொண்டனர். அவருக்குப்பின் பல நூற்றாண்டுகளாக விஞ்ஞானம் வளராமல் இருந்ததற்கு இது ஒரு முக்கிய காரணமாகும். இதற்கு இரு உதாரணங்களைக் குறிப்பிடலாம். ஒன்று : கீழேவிழும் பொருட்களைப் பற்றியது; மற்றது; பூமி, நிலா, சூரியன் இவற்றைப் பற்றியது.

கீழேவிழும் பொருள் அதிக கனமாயிருந்தால், அதிக வேகமாயும், கனம் குறைவாயிருந்தால் குறைந்த வேகத்துடனும் கீழே விழும் என்று அரிஸ்டாட்டல் கூறினர். அவரது செல்வாக்கு அவ்வளவு அதிகமாயிருந்தபடியால், இதன் உண்மையைப் பல நூற்றாண்டுகளாக எவரும் சோதித்தறிய முற்படவில்லை. சுமார் இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்குப் பின்னரே, கலீலியோ என்ற விஞ்ஞானி இக் கொள்கை தவறு என்று நிரூபித்தார். இரண்டாவதாக, நமது பூமியே இப் பேரண்டத்தின் மையத்தில் உள்ளதென்றும், நிலா, சூரியன், விண்மீன்கள் அனைத்தும் பூமியைச் சுற்றி வெவ்வேறு தூரத்தில் சுழன்று செல்கின்றன என்றும் கூறினர். இதுவே, நாம் கண்கூடாகப் பார்க்கும் உண்மைபோல் தோன்றுவதால், இதை மக்கள் யாவரும் நம்பினர். வானியல் அறிவு வளர்வதற்கு இது பெரிதும் தடையாயிருந்தது.

அரிஸ்தர்கு (Aristarchus) (கி.மு. 310-230), "சூரியனும் விண்மீன்களும் அசையாமல் ஒரே நிலையில் உள்ளன. பூமிதான் சூரியனைச் சுற்றி வட்டமாகச் சுற்றிவருகிறது. விண்மீன்களின் தூரம் சூரியனின் தூரத்தைவிட மிகமிக அதிகமானது" என்றெல்லாம் போதித்தார். ஆனால், மகா மேதாவி அரிஸ்டாட்டல் பூமையக் கொள்கையை (Geo-centeric theory) ஆதரித்தபடியால் அரிஸ்தர்குவின் சூரிய மையக் கொள்கையை ஒருவரும் ஏற்றுக் கொள்ளவில்லை. சுமார் இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் இதையே **கோபர்னிகஸ்** என்ற ஞானி வெளியிட்டார்

ஆர்க்கிமிடீஸ் (கி.மு. 287-212) என்பவர் ஒரு சிறந்த பழங்கால விஞ்ஞானி. இவர் நில நீரியல் (hydrostatics), கணிதம், பொறியியல் இவற்றில் சிறந்தவர். "ஒரு திரவத்தில் அமிழ்த்தப்பட்ட பொருள் எதுவும் தன் எடையில் ஒரு பகுதியை இழந்ததுபோலத் தோன்றும்; அது இழந்த எடை வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாகும்" என்ற மிகப் புகழ்பெற்ற தத்துவத்தைக் கண்டுபிடித்தவர் இவரே.

ஆர்க்கிமிடீசுக்குப் பிறகு சுமார் 17 நூற்றாண்டுகளாக விஞ்ஞானத்தில் முன்னேற்றம் எதுவும் அதிகமாக ஏற்படவில்லை. அலெக்ஸண்டிரிய ஊராணுகிய டாலமி (Ptolemy) (கி.பி. 70-147) என்பவர், கண்ணாடிகளின் எதிரொளிப்பு, ஒளி விலகல் இவற்றைக் குறித்துச் சோதனைகள் செய்து விவரித்துள்ளார். கோள்கள் பூமியைச் சுற்றிச் செல்லும் வட்டப் பாதைகளின் மையங்கள் பூமியைச் சுற்றி வட்டமான பாதைகளில் நகருகின்றன என்று சில சிக்கலான கொள்கைகளை வெளியிட்டார். கி.பி. 1000ஆம் ஆண்டில் அரேபிய விஞ்ஞானி அல்ஹாஸன் ஒளி இயலைக் குறித்து ஏழு புத்தகங்கள் வெளியிட்டார். பிரிட்டிஷ் தத்துவஞானி ரோஜர் பேக்கன் (Roger Bacon) (கி.பி. 1214-1294), இத்தாலிய ஓவியர், தத்துவஞானி, விஞ்ஞானியாகிய லெனர்டோ டாவின்சி (Leonardo da Vinci) (கி.பி. 1452-1519) முதலியோர், சோதனைகளின்மூலம் தத்துவ உண்மைகளை நிலைநாட்டுவதன் முக்கியத்துவத்தை வற்புறுத்தினர்.

கடைசியாக, கி.பி. பதினாறும் நூற்றாண்டில் ஐரோப்பாவில் விஞ்ஞானம் புத்துயிர் பெற்று, வெகு விரைவில் முன்னேற்றமடைந்தது. கோபர்னிகஸ், டைகோ, கெப்ளர், கலீலியோ, நியூட்டன் முதலிய தலைசிறந்த விஞ்ஞானிகள் தோன்றி, ஒரு நூற்றாண்டில் மகத்தான விஞ்ஞான முன்னேற்றங்களை உண்டுபண்ணினர்.

கோபர்னிகஸ் (Copernicus) (கி.பி. 1473-1543) என்ற டேனிஷ் விஞ்ஞானி, பொலோன்யா (Bologna) பல்கலைக் கழகத்தில் கணிதம் விண்ணியல் இவற்றைப் புகழ்பெற்ற பேராசிரியர்களிடம் கற்றி ருந்தார். கிறிஸ்தபர் கொலம்பசும் இவரும் ஒரே காலத்தில் வாழ்ந் தவர்கள். இவர் நமது பேரண்டத்தைக் குறித்த பல கொள்கை களை ஆழ்ந்து ஆராய்ந்து, டாலமியின் பூமையக் கொள்கை உண் மையல்ல, சூரிய மையக் கொள்கையே உண்மையானதென்று முடி வுக்கு வந்தார். இம் முடிவுகளை "விண் கோள்களின் சுழற்சி" என்ற புத்தகத்தில் விவரித்துள்ளார். பூமியும் மற்ற கோள்களைப் போலவே சூரியனைச் சுற்றி வட்டப்பாதையில் செல்கிறது என்று கொண்டால் பல பிச்சனைகள் சுலபத்தில் தீர்ந்துவிடும் என்பதைக் கண்டார். கோள்கள் சிலசமயம் முன்னேக்கியும் சிலசமயங்களில் பின் நோக்கியும் செல்வதுபோலத் தோன்றுவது, எளிதில் விளங்கி விடும். பூமி தன் அச்சில் தன்னைத்தானே சுற்றிக்கொள்வ தாலேயே இரவும் பகலும் உண்டாவதுடன், சூரியன் விண்மீன் கள் முதலியன பூமியைச் சுற்றிச் செல்வதுபோல் தோன்று கின்றன என்பதையும், பூமி சூரியனைச் சுற்றி வட்டப்பாதையில் ஆண்டிற்கொருமுறை செல்வதால், பருவங்கள் உண்டாகின்றன என்பதையும் விளக்கினார். விண்மீன்கள் பூமியிலிருந்து மிக மிக தூரத்திலிருப்பதால் அவை ஆயிரக்கணக்கான ஆண்டுகளாக நிலைபெயராதிருப்பதைப்போல் தோன்றுகின்றன என்று கூறி னார். சூரியனிலிருந்து வெவ்வேறு தூரத்திலுள்ள கோளகளைச் சரியான ஒழுங்கில் குறிப்பிட்டார். கோபர்னிகஸின் கொள்கையை அறிஞர் பலர் ஏற்று அதை மேலும் வலுவடையச் செய்தனர். இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளாக அரிஸ்டாட்டலின் கொள்கைகளின் பிடியில் அகப்பட்டுத்திணறிய விஞ்ஞானம், புத்துயிர் பெற் றெழுந்தது.

கலீலியோ கலீலியை (Galileo Galilei) (1564-1642) நவீன பௌதிகத்தின் பிதாவெனக் கருதப்படும் கலீலியோ ஓர் இத்தா லியக் கோமகன் வம்சத்தில் பிறந்தவர். பிளாரன்ஸ் நகரக் கருகில் இருந்த மடத்தில் கல்வி பயின்று, இலக்கியத்திலும், விஞ்ஞானத்திலும் தேர்ச்சி பெற்றார். பதினேழாம் வயதில் பீசா நகரப் பல்கலைக்கழகத்தில் மருத்துவம் கற்கச் சென்றபோது தமது முதலாம் கண்டுபிடிப்பைச் சந்தித்தார். 1581ஆம் ஆண்டில் ஒரு நாள் பீசா நகரக் கோவிலில் ஆராதனை நடக்கையில் கூரையி லிருந்து தொங்கிக்கொண்டிருந்த பெரும் விளக்குகள் காற்றில் ஊசலாடுவதைக் கவனித்தார். ஊசலின் வீச்சுக் குறைந்து கொண்டே வந்தபோதினும், ஊசல் நேரம் ஒரே அளவாக இருப் பதைக் கண்டார். இதிலிருந்தே ஊசல் கடிகாரம் (oscillatory pendulum) தோன்றியது.

கணிதத்தின் மீதுள்ள ஆர்வத்தால் மருத்துவக் கல்வியை விட்டு, கணிதத்தில் தேர்ச்சிபெற்று, தமது இருபத்தேழாம் வயதில் பீசா பல்கலைக் கழகத்தில் கணிதப் பேராசிரியராகப் பதவி யேற்றார். அங்கு அரிஸ்டாட்டலின் பல கொள்கைகள் தவறானவை என்பதைச் சோதனை வாயிலாகக் காண்பித்தார். சிறப்பாக, கன மான பொருள்கள் அதிக வேகமாகவும் எடை குறைந்த பொருள் கள் குறைந்த வேகத்துடனும் கீழேவிழுகின்றன என்ற கொள்கை முற்றும் தவறானது என்பதை, பீசா நகரத்துச் சாய்ந்த கோபுரத் தின் உச்சியிலிருந்து இரு எடைகளை விழவைத்து நிரூபித்தார். இதைக் கண்கூடாகக் கண்ட பின்னரும் பலர் இதை நம்பவில்லை யென அறிகிறோம்.

இதன் பின்னர் கலீலியோவைத் துன்புறுத்த முற்பட்டனர் சிலர். அது காரணமாக 1592-ல் அவர் பீசாவைவிட்டு பதுவா (Padua) பல்கலைக் கழகத்திற்குச் சென்று அங்குக் கணிதப் பேராசிரியர் பதவியை ஏற்றார். அங்குப் பதினெட்டாண்டுகளாகத் தடை எதுவுமின்றிப் போதித்தும் ஆராய்ச்சிகள் நடத்தியும் பெரும் புகழ் பெற்றார்.

1608 ஆம் ஆண்டில், **லிப்பர் ஹெ** (Lipper hey) என்ற டச்சுக் கண்ணாடி வியாபாரி ஒருவர், இரு கண் லென்சுகளை ஒரு குழாயில் வைத்து, தூரமான பொருள்களை அருகில் தெரியுமாறு செய்தாரென்று கேள்விப்பட்டு, தொலைநோக்கியின் தத்துவத்தை உடனே அறிந்தவராய், 1609 ஆம் ஆண்டு ஜூன் மாதம் கலீலியோ ஒரு தொலைநோக்கியை நிறுவினார்; அதை ஒரு மாத காலமாக வெனிஸ் நகரத்தில் வைத்துக் காண்பித்து, வெனிஸ் நகரமக்களைப் பிரமிக்கச் செய்தார். 1610 ஆம் ஆண்டு ஜனவரி மாதத்தில் 30 மடங்கு பெருக்கக்கூடிய தொலைநோக்கி ஒன்றை நிறுவி, அதைக் கொண்டு பல அரிய உண்மைகளை முதன்முதலாகக் கண்டுபிடித் தார். தொலைநோக்கி மூலமாகக் கோள்களைப்பார்த்து, அவை நிலாவைப்போல் வட்ட வடிவமாயிருப்பதையும், வெள்ளிக்கோள் வளர்பிறை - தேய்பிறை காண்பிப்பதையும், வியாழனைச் சுற்றி நான்கு சந்திரர்கள் வட்டமிடுவதையும் கண்டார். பால்வீதி எனப்படும் மேகம் போன்ற படலத்தைத் தொலைநோக்கிமூலம் பார்த்து, அது எண்ணுக்கடங்கா அதிகமான விண்மீன்களா லானது என்று கண்டார். இவ் வதிசயக் கண்டுபிடிப்புகள் அவருக்கு மிகுந்த புகழைக் கொண்டுவந்தன. அத்துடன் பீசா பல்கலைக் கழகம் அதிமான ஊதியத்துடன் அவரைக் கணிதப் பேராசிரியராக ஏற்றுக் கொண்டது.

ஆனால், பீசா நகரத்தில் அவருக்குப் பலத்த எதிர்ப்பு உண்டாயிற்று. 1615ஆம் ஆண்டு கத்தோலிக்கச் சபையின் தலைவரான போப்பின் முன்னால் அவரை நிறுத்தி கோபர்னிகஸின் கொள்கைகளைப் போதித்தால் சிறையிலிடப்படுவாரெனப் பயமுறுத்தி அனுப்பிவிட்டனர். பீசா திரும்பிய அவர் தமது ஆராய்ச்சிகளைத் தொடர்ந்து நடத்திவந்தார். கடைசியாக 1632ஆம் ஆண்டில் "டாலமி, கோபர்னிகஸ் கொள்கைகளைக் குறித்த தர்க்கம்" என்ற தலைப்பில் ஒரு புத்தகத்தை வெளியிட்டார். இதில் கோபர்னிகஸின் கொள்கையை ஆதரித்ததால் அவரைக் கண்டனம்செய்து, தமது கருத்து அத்தனையும் தவறு என்று முழங்காலில் நின்று அறிக்கையிடுமாறு செய்தனர். 67 வயதான கலீலியோ தமது வீட்டிலேயே காவலில் வைக்கப்பட்டுத் தம் இறுதி நாட்களைக் கழித்தார்.

விண்ணியலைக் குறித்த பல புதிய கண்டுபிடிப்புகளுடன் கலீலியோ முடுக்கத்துடன் செல்லும் பொருளைக்குறித்த வாய்பாட்டை விளக்கினார். மேலே எறியப்படும் பொருளின் பாதை பரவளையமானது (Paraboloa) என்று காண்பித்தார்; உராய்வு இல்லாத பரப்பின்மீது கிடைமட்டமாக உந்தப்பட்ட பொருள் சாஸ்வதமாகச் சென்றவண்ணம் இருக்கும் என்று காண்பித்தார். இவரது கொள்கைகளைக் கொண்டே ஐசக் நியூட்டன் புகழ்பெற்ற தமது மூன்று இயக்க விதிகளை வெளியிட்டார்.

டைகோ பிராஹே (Tyeho Brahe) (1546 - 1601) என்பவர் ஸ்விடன் நாட்டின் பிரபல பிரபுக் குடும்பத்தில் பிறந்தவர். அரசியல் துறைக்காகக் கல்வி கற்றுரென்றாலும், விண்ணியலில் அதிக ஆர்வமுடையவராய், தாமாக பல விண் ஆராய்ச்சிகளை நடத்தினார். 29-வயதில் ஊரானிபர்க் விண்ஆராய்ச்சி நிலையத்திற்குத் தலைவராக நியமிக்கப்பட்டு, 20 ஆண்டுகாளாகக் கோள்களின் நிலைகளையும் போக்கையும் நுட்பமாகக் கணிக்கிட்டுக் குறித்து வைத்தார்; விண்மீன்களின் பட்டியலைத் தயார் செய்தார்; தொலைநோக்கியின் உதவியின்றி, இவர் விண்ணியல் புள்ளிவிவரங்களை வெகுநுட்பமாகக் கணக்கிட்டுக் குறித்து வைத்துள்ளமையால், அவை இவருடன் ஆராய்ச்சி நடத்திவந்த யோஹான் கெப்ளருடைய புகழ் பெற்ற கணக்கீடுகளுக்குப் பெரிதும் உதவியாயிருந்தன.

யோஹான் கெப்ளர் (Johan kepler) (1571 - 1630). பிராகா நகரத்தில் டைகோவின் கடைசி நாட்களில் அவருடன் ஆராய்ச்சி நடத்திய புகழ்பெற்ற கணித விஞ்ஞானி யோஹான் கெப்ளர் என்பவர். அவர் கோபர்னிகஸின் கொள்கையை ஆதரித்தவர். ஆனால், கோள்களின் பாதைகள் வட்டமானவை என்று கொண்டு,

செவ்வாயின் நிலைகளைக் கணித்துப் பார்த்ததில் டைகோ குறித்து வைத்த புள்ளிவிவரங்கள் கோளின் நிலைகளைச் சரியாகத் தரவில்லை. அநேக முயற்சிகளுக்குப் பின்னரும் அவை ஒவ்வாதிருக்கவே, கோள்களின் பாதைகள் வட்டமாயிராமல் நீள் வட்டமாக உள்ளன என்று வைத்துக்கொண்டு கணித்துப் பார்த்தார். உடனே கோளின் நிலைகள் மிகத்திருத்தமாகத் தரப்பட்டன. கோள்கள் சூரியனைச்சுற்றி நீள்வட்டமான (elliptical) சுற்றுப் பாதைகளில் செல்கின்றன என்பது நிச்சயமாயிற்று.

டைகோவின் மற்ற புள்ளி விவரங்களையும் கவனமாக ஆராய்ந்து பார்த்ததில், வேறுபல உண்மைகளும் வெளியாயின. அவை கெப்ளரின் புகழ்வாய்ந்த மூன்று விதிகளாய் அமைந்துள்ளன; அவையாவன:

(1) சூரியனைச் சுற்றிக் கோள்கள் நீள்வட்டமான பாதைகளில் செல்கின்றன ; சூரியன் ஒரு குவியத்திலுள்ளது.

(2) சூரியனையும் கோளையும் இணைக்கும் கோடு, சம காலங்களில் சமமான பரப்புகளை வரைகின்றது.

(3) கோள்கள் சூரியனைச் சுற்றிச் செல்லும் காலங்களின் இரு மடிகள் அவற்றின் சுற்றுப் பாதைகளின் ஆரங்களின் மும்மடிகளுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளன.

கோள்கள் சுற்றிச் சென்றவண்ணமிருப்பதற்கு அவற்றின் மீது ஒரு விசை செயல்பட வேண்டும்; அது ஈர்ப்பு விசையாயிருக்கலாமாவென்று ஊகித்தார். இதையே பின்பு நியூட்டன் தமது புகழ்பெற்ற ஈர்ப்பு விதிகளாக விளக்கினார். கெப்ளர் விண்ணியலில் மட்டுமன்றி ஒளி இயலிலும் பல கொள்கைகளை விளக்கினார்.

கலீலியோ, டைகோ, கெப்ளர் முதலியோரின் விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிகளின் பயனாக, ஐரோப்பாவின் பல பாகங்களில் அநேகர் விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிகளில் ஈடுபட்டனர். அத்துடன் விஞ்ஞான முன்னேற்றக் குழுக்கள் பல நிறுவப்பட்டன. அவற்றில் முக்கியமானவை இத்தாலியில் லின்சியன் குழு (Lincean Society) (1603), இங்கிலாந்தில் ராயல் குழு (Royal Society) (1662), ஃபிரான்சில் ராயல் அகாடமி ((Royal Academy of Sciences) (1666) என்பவை. இவை விஞ்ஞானத்தை வளர்ப்பதற்குப் பெரிதும் துணைபுரிந்தன.

1600-ல், ஆங்கில வைத்தியர் கில்பர்ட் (Gilbert) காந்தங்களைக் குறித்துத் தாம் நடத்திய பல சோதனைகளைப் புத்தக வாயி

லாக வெளியிட்டார். இதன் பயனுக அக் காலத்தில் நம்பப்பட்டு வந்த பல தப்பெண்ணங்கள் திருத்தப்பட்டன. உதாரணமாக, காந்தத்தை ஒரு வெள்ளைப் பூண்டால் தேய்த்தால் அது காந்த சக்தியை இழந்துவிடுமென்றும், அதன்மேல் ஆட்டு ரத்தத்தைப் பூசினால் இழந்த காந்தத்தைத் திரும்பப்பெற்று விடுமென்றும் நம்பி வந்தனர். நமது பூமி ஒரு பெரிய கோளகாந்தமென்பதைக் கில்பர்டே முதன் முதலாகக் கண்டுபிடித்தார், ஸ்னெல் (Snell) (1591-1626) ஒளி விலகலின் விதிகளைக் கண்டுபிடித்தார். டாரி செல்லி (Torricelli) (1608-1647) பாரமானியை நிறுவினர்; காற்ற முக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தார்; உயரச் செல்லச் செல்லக் காற்றழுத் தம் குறைகிறதென்பதைக் கண்டுபிடித்தார். வான் கெரிக்கெ (Von Gnericke) (1602-1686) காற்றுப் பம்பை உண்டுபண்ணினர். அதன் பிறகு வந்தார் மகா மேதாவி நியூட்டன். அவர் காலத்தில் மற்றும் பல புகழ்பெற்ற விஞ்ஞானிகள் இருந்தாரெனினும், நியூட் டன் அவர்களெல்லோரையும் விடத் தலை சிறந்து விளங்கினர்.

சர் ஐசக் நியூட்டன் (Sir Isaac Newton) (1642-1727): கலீலியோ இறந்த சிலமாதங்களில், இங்லாந்து நாட்டில் வுல்ஸ்தார்ப் என்னும் ஊரில் பிறந்தார் நியூட்டன். கிரந்தம் என்ற ஊரின் பள்ளியில் கல்வி பயின்று முடித்ததும் அவரைத் தோட்ட வேலைசெய்ய அனுப் பினர். ஆனால், அவருக்குத் தோட்டவேலையில் பிரியமில்லை: விஞ்ஞானப் படிப்பிலும், புதிய கருவிகள் செய்வதிலுமே ஆர்வங் கொண்டிருந்தார். அங்கிருக்கையில், நீர்க்கடிகாரம், நீர்ச்சக்கரம், சூரியக்கடிகாரம், காற்றுடிமில் முதலியவற்றை உண்டுபண்ணி னர். ஆகவே அவரது அன்னை அவரை மறுபடியும் பள்ளிக்கு அனுப்பி, கடைசியில் 1661-ல் கேம்பிரிட்ஜுக்கு அனுப்பினர். மாணவனாயிருக்கையிலேயே அவர், பைனமியல் தேற்றம் (Binomial Therem), நிறைலாத் தொடர் (Infinite Series), கேல் குலஸ் (Calculus) முதலிய பல அரிய கணித முறைகளைக் கண்டு பிடித்தார்.

அச் சமயம் ஐரோப்பாவில் பெருங்கொள்ளை நோய் பரவியதால் பல்கலைக் கழகம் மூடப்பட்டது. தமது சொந்த ஊர் சென்று, தமது தோட்டத்தில் பல மாதங்கள் வசித்தார். அங்குதான் அவரது புகழ்பெற்ற ஈர்ப்புக் கொள்கை உருவெடுத்தது. ஒரு நாள் தம் தோட்டத்திலிருந்த ஓர் ஆப்பிள் மரத்தடியில் உட்கார்ந்திருக் கையில், பழுத்த ஆப்பிள் பழம் ஒன்று "பொத்" தென்று கீழே விழுந்தது. உடனே நியூட்டனுக்கு "அப்பழம் ஏன் மேலே போகவில்லை? ஏன் கீழே வேண்டும்?" என்ற எண்ணங்கள் தோன்றி, புவியின் ஈர்ப்பு விசையைக் குறித்து பல எண்ணங் களைக் கிளப்பிவிட்டது. கெப்ளரின் கோள்கள் விதிகளையும்

ஈர்ப்பு விசையையும் சேர்த்து, அகிலமெங்கும் செயல்படும் பொது ஈர்ப்பு விதியை விளக்கினார். (Universal Gravitation).

1667 ஆம் ஆண்டில், தமது 26 ஆவது வயதில், கேம்பிரிட்ஜ் பல்கலைக் கழகத்தின் கணிதப் பேராசிரியராக நியமிக்கப்பட்டார். 1703 ஆம் ஆண்டில் ராயல் சொஸைடியின் தலைவராகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டார். 24 ஆண்டுகளாக அப் பதவியை வகித்து, 1727 ஆம் ஆண்டு மார்ச் 20 ஆம் தேதி உயிர் நீத்தார். 1705 ஆம் ஆண்டு ஆன் ராணி அவருக்கு 'சர்' பட்டம் அளித்தார்.

நியூட்டன், விஞ்ஞானம், கணிதம், விண்ணியல் முதலிய அறிவுத்துறைகளுக்குப் பல அரிய புதிய கண்டுபிடிப்புகளை அளித்து, அவற்றை மேம்படச் செய்தார். "வெண் ஒளி" என்பது எண்ணுக்கடங்கா பல நிறங்களாலானகூட்டு ஒளி என்பதை, ஒரு பட்டகத்தைக் கொண்டு சூரிய ஒளியைப் பல நிறங்களாகப் பகுத்துக் காண்பித்து நிரூபித்தார். சிவப்பு நிற ஒளியை விட ஊதாநிற ஒளி அதிகமான விலகல் அடைகிறது என்பதையும் காண்பித்தார். எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல், சன்னத்தகடுகளின் நிறமுண்டாதல் இவற்றைக் குறித்த தமது ஆராய்ச்சிகளை 1705 ஆம் ஆண்டில் ஒளியியல் (Opticks) என்ற புத்தக வடிவமாக்கியிட்டார்.

இவரது ஒளியியல் ஆராய்ச்சிகளே இவருக்குப் பெரும் புகழ் அளித்திருக்குமெனினும், இவரது இயக்கவியல் (Mechanics) ஆராய்ச்சிகள் இன்னும் அதிக சிறப்பு வாய்ந்தவை. "இப் பேரண்டத்தின் ஒவ்வொரு பொருளும் மற்ற பொருள்களைத் தன்னிடம் இழுக்கின்றது, அந்த ஈர்ப்பு விசை அப்பொருள்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தின் இருமடிக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலுள்ளது" என்ற விதியை அவர் கண்டுபிடித்ததன் பயனாக, சூரியனைச் சுற்றிக் கோள்களைச் செல்லவைக்கும் விசையும், ஆப்பிள் பழத்தைத் தரைக்கு இழுக்கும் விசையும் ஒன்றே என்பது வெளியாயிற்று. அத்துடன், இப் பேரண்டம் தெளிவான விதிகளுக்கு உட்பட்டது; தன்னிஷ்டம்போல் காரணமின்றித் திடீரென மாறுபாடு அடையும் ஒன்றல்ல என்பதும் தெளிவாயிற்று.

தமது ஈர்ப்பு விதியைக்கொண்டு, கோள்களைப்பற்றிய கெப்ளரின மூன்று விதிகளையும் வருவிக்கலாம் என்று நியூட்டன் காண்பித்ததுடன் அதைக்கொண்டு நமது நிலா, பூமியைச் சுற்றிச் செல்லும் பாதை, வேகம் இவற்றிற்குள்ள சம்பந்தத்தை அதிக திருத்தமாயக் கணிக்கலாம் என்றும் காண்பித்தார். இதைக் கணித்தபொழுது அவருக்கு வயது இருபத்து மூன்றே.

பல ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர், இவற்றையும், கோள்களின் போக்கைக் குறித்த வேறு பல உண்மைகளையும் 1683ஆம் ஆண்டில் ராயல் சொஸைடிக்கு அனுப்பினர். உடனே அக் குழு நியூட்டனின் ஈர்ப்பு ஆராய்ச்சிகள் அத்தனையையும் வெளியிட்டது. நான்கு ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் உலகிலேயே மிக்கப் புகழ்பெற்ற "பௌதிகத்தின் கணிதத் தத்துவங்கள்" (Mathematical Principles of Natural Philosophy-the "Principia") என்ற நூல் வெளியாயிற்று. விஞ்ஞானத்தில் இதற்கு ஒப்பான அல்லது மிக்கான நூல் இதுவரை வெளிவந்ததில்லை. நியூட்டனின் மூன்று இயக்க விதிகள் அதில் மூலக்கோள்களாக வருகின்றன. பொருள்களின் இயக்க விதிகள், அவை இயங்கும் வகை யாவும் முதல் இரு பகுதிகளிலும், சூரிய மண்டலத்தில் அவை எவ்வாறு செயல்படுகின்றன என்பதை மூன்றும் பகுதியிலும் விளக்கியுள்ளார்.

இவரே முதன்முதலாக ஒரு பொருளின் பொருண்மை என்பது என்ன என்பதையும், பொருண்மைக்கும் படைக்குமுள்ள சம்பந்தத்தையும் விளக்கினர். விசை என்பது என்ன என்பதையும், விசை இணைகரத் தத்துவத்தையும் (Parallelogram of Forces) விஸ்தரித்தார். கேல்குலஸ் என்ற மிக்க வல்லமை பொருந்திய கணித முறையை அவர் உண்டுபண்ணி, கணிதம் வெகுதூரிதமாக முன்னேறுவதற்குப் பெரிதும் துணைபுரிந்தார்.

ஆயினும், ஒளியைக் குறித்து அவர் கொண்டிருந்த கொள்கைகள் முழுவதும் சரியானவையல்ல. ஒளி என்பது அலைகளால் ஆனதல்ல; சிறு சிறு துகள்களாலானது என்று நம்பினர். அவர் இறந்த நூறு ஆண்டுகளுக்குப் பின்னரே, ஒளி அலைகளாலானது என்பது சோதனை வாயிலாக நிரூபிக்கப்பட்டது. ஆனால், நியூட்டன் தனது கொள்கையே உண்மையானது என்று சாதிக்கவில்லை. ஒளி அலை வடிவமாயிருக்க முடியாது; அப்படியிருந்தால் அது வழியிலுள்ள தடைகளைச் சுற்றிப் பரவவேண்டும் (ஒலி அலைகள் பரவுவதுபோல்); ஆகவே, பொருளின் நிழல் உண்டாக முடியாது. ஆகையால் ஒளி அலைவடிவமாயிருக்க முடியாது ஆயினும் இதை நேராகச் சோதனைசெய்து அறிய வேண்டும்" என்று கூறுகிறார். இதுவே உண்மையான விஞ்ஞான மனப்பான்மை.

அவ்வளவு பெரிய மேதாவியாயினும் நியூட்டன் மிகவும் எளிய மனது படைத்தவர். "நான் உலகத்திற்கு எவ்வாறான மனிதனாய்த் தோன்றுவேனோ அறியேன். ஆனால், என்னைப் பொறுத்தமட்டில் நான் கடற்கரையில் விளையாடும் ஒரு

சிறுவனைப் போன்றவன்; சிலசமயங்களில் ஓர் அழகிய கிளிஞ்சலோ, வழவழப்பான கூழாங்கல்லோ கண்டெடுப்பேன்; ஆனால் உண்மை என்ற மாபெருங்கடல் என்முன்னே அறியப்படாமல் கிடக்கிறது." என்று அவர் எழுதியிருப்பதிலிருந்து, அவர் எவ்வளவு அடக்கமும் தாழ்மையும் உடையவர் என்பது தெரிய வரும். உலகத்தின் மாபெரும் விஞ்ஞானிகளுள் நியூட்டன் தலை சிறந்தவர் என்பதற்கையமில்லை.

நியூட்டன் வாழ்ந்த காலத்தில் வேறு பல புகழ்பெற்ற விஞ்ஞானிகளும் வாழ்ந்தனர். 'பாயில்விதி'யைக் கண்டுபிடித்த ராபர்ட் பாயில் (Robert Boyle)(1627-1691), ஒளியின் அலை வடிவக் கொள்கையை விளக்கிய ஹைகன்ஸ் (Hyghens) (1629-1695), கேல்குலஸ் என்ற கணிதத்துறையை இன்னும் விருத்தி செய்த லைப்னிட்ஸ் (Leibnitz) (1646-1716) முதலிய விஞ்ஞானிகள் வாழ்ந்த சமயம் அது.

பதினெட்டாம் நூற்றாண்டில், டேனியல் பெர்னூல்லி (Bernonlli) (1700-1782), ஆய்லர் (Auler) (1707–1783), லக்ராஞ்ஜ் (Lagrange) (1736-1813) முதலியோர் இயக்கவியலில் பல புதிய கொள்கைகளை விளக்கினர். வெப்பநிலையை அளக்க 1597-லேயே கலீலியோ ஒரு காற்று வெப்பமானியை நிறுவியிருந்தார். 1724-ல் ஃபாரன்ஹீட் என்பவர் அவரது பெயரால் வழங்கும் வெப்பநிலை அளவையை பிரஸ்தாபித்தார். ஜேம்ஸ் பிளாக் (Black) (1728-1799) என்ற ரசாயனப் பேராசிரியர் வெப்பத்தை அளப்பதற்கான பலசோதனைகள் செய்து, வெப்பத்திற்கும் வெப்ப நிலைக்குமுள்ள வேற்றுமையை விளக்கினார். ஆனால், 18ஆம் நூற்றாண்டில் வெப்பத்தைக் குறித்துத் தவறான கொள்கைகள் நம்பப்பட்டு வந்தன. வெப்பம் என்பது "கேலரிக்" என்ற ஒரு வகையான பாய்பொருள் என்றும், ஒரு பாருளைத் தேய்க்கும் போது அதிலுள்ள கேலரிக் வெளியே கசிவதாலேயே வெப்பம் உண்டாகிறதென்றும் நம்பினர். இத்தற்கு 'கேலரிக் கொள்கை' என்று பெயர். இந் நூற்றாண்டில் ஒளியைக் குறித்த சோதனைகள் எதுவும் நடைபெறவில்லையாகையால், ஒளியியலும் அதிகமாக முன்னேற்றமடையவில்லை.

மின்னியல், இந் நூற்றாண்டில் சில முன்னேற்றமடைந்தது பெஞ்ஜமின் ஃப்ராங்க்ளின் (Banjamin Franklin) (1706-1790) மின்சாரத்தின் தன்மையைக் குறித்துப் பல சோதனைகள் செய்து, மின்னலில் உண்டாவது மின்சாரப் பொறியே என்று காண்பித்தார். ஹென்றி கேவண்டிஷ் (Henry Cavendish) (1713-1810), சார்லஸ் கூலம் (Charles Coulomb) (1736-1806)

இருவரும் மின்சாரத்தை அளவியலாக ஆராய்ந்து, பல புதிய கொள்கைகளைக் கண்டுபிடித்தனர். கேவண்டிஷ், நிலை மின் விசை, மின்தேக்கி, மின்னழுத்தம் இவற்றைக் குறித்துப் பல ஆராய்ச்சிகள் செய்து, பல முக்கியமான முடிவுகளைக் கண்டா ரெனினும், அதை வெளிப்படுத்தாமல் இரகசியமாய் வைத்துக் கொண்டபடியால் எவரும் பயனடையவில்லை. 1879 ஆம் ஆண்டில் இவற்றை மாக்ஸ்வெல் வெளியிட்டபின்னர் இவை யாவருக்கும் தெரியவந்தன. கூலம், தனது முறுக்குத் தராசைக் கொண்டு, நிலை மின்விசைகள் இருமடித் தலைகீழ் விதியை (Inverse Square Law)ப் பின்பற்றுகின்றன என்பதைக் காண்பித்தார்.

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் விஞ்ஞானத்தின் பல பகுதிகள் வெகு துரிதமாக மிகுந்த முன்னேற்றமடைந்தன. இவற்றில் சிலவற்றையே இங்குச் சுருங்கமாகக் குறிப்பிடுவோம்.

வெப்பம் என்பது 'கேலரிக்' என்னும் பாய்பொருள் அல்ல; அது ஆற்றலின் ஓர் அம்சம் என்பது இந் நூற்றாண்டில் தெளிவாக நிரூபிக்கப்பட்டது. இதற்கு அடிகோலியவர் கவுண்டு ரம்ஃபோர்டு (Count Rumford) என்ற இராணுவ என்ஜினியர்; பீரங்கிகளைக் கடைவதால் ஏராளமான வெப்பம் உண்டாவதைக் கவனித்து, வெப்பம் என்பது வேலை செய்வதால் உண்டாவது என்று முடிவு கட்டினார். ஆங்கில விஞ்ஞானி ஜூல் (Joule) (1818-1889) மிகக் கவனமாகப் பல சோதனைகள் செய்து, 778 அடிப் பவுண்டல் வேலை செய்தால் ஒரு பவுண்டு நீரின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி பாரன்ஹீட்டாக உயருகிறது என்று கண்டுபிடித்தார். 1847ஆம் ஆண்டில் இதை விஞ்ஞானக் குழு ஒன்றில் பிரஸ்தா பித்து, வெப்பம் என்பது ஆற்றலின் ஓர் அம்சம் என்பதை நிரூபித்தார். ஆற்றலுக்கும் வெப்பத்திற்குமுள்ள விகிதத்தை "ஜூல்" என்று குறிப்பிடுகிறோம். ஆற்றல் வெப்பமாக மாற்றப் படுவதை அறிந்தவுடன் ஆற்றலின் அழிவின்மைக் கொள்கையும் (Conservation of energy) ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது. வெப்பவியல் வெகுவேகமாக முன்னேறத் தொடங்கியது. 1850-ல் கிளாஸியஸ் (Clausius) வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதியை வெளியிட்டார். இவ்வாறாக வெப்பவியல் விரைவில் முன்னேற்ற மடைந்தது.

ஒளி: தாமஸ்யங் (Thomas Young) (1773-1823) என்பவர், ஒளி அலைகளானது, துகள்களால் அல்ல என்பதைப் பல சோதனைகள்மூலம் நிரூபித்தார். நியூட்டனின் வளையங்கள் என்ற சோதனையை அலைக் கொள்கையின் வாயிலாக விளக்கியதோடு ஒளியின் அலை நீளத்தையும் அளந்து காண்பித்தார். குறுகலான ஒரு நீள் துவாரத்தில் ஒரு பட்டு இழையை வைத்து, துவாரத்தின்

வழியே வரும் ஒளி குறுக்கீட்டு விளைவினால் ஒளிவரிகள் உண்டு பண்ணுவதைக் காண்பித்தார். விளிம்பு வளைவின் தன்மையை விளக்கி, அதைக்கொண்டு ஒளிஅலை நீளத்தை அளந்தார். இவருடைய அலைக் கொள்கைக்குப் பலத்த எதிர்ப்பு நேர்ந்தது.

1815 ஆம் ஆண்டில் ஃப்ரெனல் (Fresnel) (1788-1827) என்ற பிரஞ்சு விஞ்ஞானி ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவை இரு கண்ணுடித் துண்டுகளை வைத்து உண்டுபண்ணினதோடு, அது உண்டாகும் விதத்தையும் கணித வாயிலாக விளக்கினார். கடைசியாக 1850-ஆம் ஆண்டில், ஃபூக்கோ (Foucault) தம் சுழல் கண்ணுடிச் சோதனையால் ஒளியின் வேகத்தை அளந்து, நீரில் ஒளியின் வேகம் குறைவாகவும், காற்றில் அதிகமாகவும் இருப் பதை நிரூபித்தார். துகள் கொள்கையின்படி இவ் வேகங்கள் இதற்கு எதிர்மாறாக இருக்கவேண்டும். ஆகவே, அலைக்கொள் கையே உண்மையென்று யாவராலும் ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டது. ஆயினும் 20ஆம் நூற்றாண்டில் துகள் கொள்கை சிறிது மாறுதல்களுடன் திரும்பிவந்துள்ளது நாம் அறிந்ததே

மின், காந்தவியல்: பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் மிக அதிகமான முன்னேற்றமடைந்தவை மின், காந்தவியல்களே. 1786ஆம் ஆண்டில் இத்தாலிய விஞ்ஞானி கால்வானி (Galvani) கவனித்த ஒரு சோதனையை ஆதாரமாக வைத்து, அலெசாண் டரோ வோல்டா (Alessandro Volta) என்ற வேறொரு இத்தாலிய விஞ்ஞானி மின்சாரம் உற்பத்தி செய்யும் வழியைக் கண்டு பிடித்தார். 1800ஆம் ஆண்டில், இவர் செப்பு, துத்தநாகத் தகடு களை ஒன்றன் மேலொன்றாய் மாறி மாறி வைத்து, அவைகளுக் கிடையே உப்பு நீரில் நனைத்த காகிதத் துண்டுகளை வைத்து, அடிக்கத்தகட்டையும் மேல்தகட்டையும் கம்பியால் இணைத்தால் அதில் மின்சாரம் பாய்வதைக் காண்பித்தார். இதற்கு "வோல் டாவின் அடுக்கு" என்று பெயர். இவ்வாறே ஒரு கோப்பையில் உப்பு நீரையோ நீர்த்த அமிலத்தையோ ஊற்றி, அதில் செப்பு, துத்தநாகத் தகடுகளை வைத்து, அவற்றை ஒரு கம்பியால் இணைத்தாலும் மின்சாரம் உண்டாவதைக் கண்டார்.

இதைத் தொடர்ந்து பலர் மின்சார சோதனைகள் செய்து, நீரை மின்னாற்பகுத்தல், மின் வெப்ப விளைவு, மின்வில் ஒளி இவற்றைக் கண்டுபிடித்தார்.

மின்சாரத்திற்கும், காந்தத்திற்குமுள்ள தொடர்பை முதன் முதலாக ஓயர்ஸ்டெட் (Oersted) 1820-ல் கண்டுபிடித்தார். ஒரு கம்பி வழியாக மின்சாரம் சென்றால், அதனருகில் வைக்கப்பட்ட காந்த ஊசி கம்பிக்கு நேர்கோணத்தில் நிற்கும் என்பதைக் கண் டார். பிரஞ்சு விஞ்ஞானி ஆம்பியர் (Ampere) (1775-1836)

வளைந்த கம்பிவழியாகப் பாயும் மின்சாரம் காந்த ஓட்டுக்குச் சமம் என்பதைக் காண்பித்து, காந்தம் என்பதே மூலக் கூறுகளில் மின்சாரம் பாய்வதால் உண்டாகும் விளைவு என்று கூறினார். அவரே சில நாட்களில், காந்தப் புலனில் வைக்கப்பட்ட மின்சாரம் பாயும் கம்பியின் மீது செயல்படும் விசையையும் கண்டு பிடித்தார்.

மைகேல் ஃபாரடே (Michael Faraday) (1791-1867) ஃபாரடே இலண்டனுக்கருகிலுள்ள ஒரு சிறு கிராமத்தில், ஒரு கொல்லனின் மகனாகப் பிறந்தார். குடும்பம் ஏழ்மை நிலையிலிருந்தமையால், 13 வயதில் ஒரு புத்தக வியாபாரியின் வேலைக்காரப் பையனாக வேலை ஏற்றார். அவரது கடைக்கு அட்டையிட வரும் புத்தகங்களை ஓய்வு நேரங்களில் படித்து வந்தார். இதைத் தவிர அவர் பள்ளியில் எங்கும் கல்வி பயின்றது கிடையாது. 1813ஆம் ஆண்டில் ராயல் இன்ஸ்யூட்டின் தலைவரான சர் ஹம்ஃப்ரி டேவிக்கு உதவியாளராகப் பதவி ஏற்றார். அங்கு, டேவியின் ஆதரவில் வெகு ஊக்கமாக ரசாயனத்திலும், பௌதிகத்திலும் பல அரிய ஆராய்ச்சிகள் செய்தார். 1825இல் அவ் வாராய்ச்சி சாலையின் தலைவராக நியமிக்கப்பட்டார்.

மின் காந்த விளைவுகள் இவரது கவனத்தைப் பெரிதும் கவர்ந்தன. விடாமுயற்சியாலும் கூர்ந்த கவனத்தாலும் இவர் 1821ஆம் ஆண்டில் முதலாவது மின்சார மோட்டார் ஒன்றை நிறுவினார். மின்சாரத்தைச் சுற்றிலும் காந்தவிசை இயங்குவதை ஓயர்ஸ்டெட் காண்பித்தவுடன், ஃபாரடே காந்தத்தைக்கொண்டு மின்சாரம் உண்டுபண்ண முடியுமா என்று முயன்றார். பல தோல்விகளுக்குப் பின்னர், 1831ஆம் ஆண்டு, ஒரு செப்புத் தகட்டை ஒரு காந்தப் புலத்தில் சுழற்றி, மின்சாரம் உண்டாக்கிக் காண்பித்தார். இதுவே, முதலாவது டைனமோ. தற்காலத்தில் மின்சாரம் உற்பத்தியாவது இதே தத்துவத்தைக் கொண்டுதான்.

அதன்பின் மின்னூற் பகுப்பு விளைவுகளில் தமது கவனத்தைச் செலுத்தினார் ஃபாரடே. அவரது ஆராய்ச்சியின் விளைவாக மின்னூற் பகுப்பு விதிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

அவ்வாறே இருபது ஆண்டுகளாக முயன்று, பல தோல்விகளிலும் மனம் சோர்ந்துபோகாமல், கடைசியில் காந்தத்திற்கும் ஒளிக்கும் உள்ள தொடர்பைக் கண்டுபிடித்தார். ஓர் ஈயக் கண்ணாடித் தண்டை காந்தப்புலனில் வைத்து அதன்வழியே ஒருதள ஒளிக்கற் றயை காந்தக் கோடுகளுக்கு இணையாகச் செலுத்தினால், ஒளியின் தளம் சுழன்றிருப்பதைக் கண்டார். இதற்கு ஃபாரடே விளைவு என்று பெயர்.

பள்ளி சென்றறியாத இவ் விஞ்ஞானி, தமது புத்தி நுட்பத்தாலும் விடாமுயற்சியாலும், மகா அரிய விஞ்ஞானக் கண்டுபிடிப்புகளை உலகிற்கு ஈந்தார்.

ஜேம்ஸ் க்ளார்க் மேக்ஸ்வெல் (James Clark Maxwell) (1831-1879): மேக்ஸ்வெல் ஸ்காட்லாந்து தேசத்தில் ஒரு பணக்காரக் குடும்பத்தில் பிறந்தவர். பள்ளியிலும், பின்பு கேம்பிரிட்ஜ் பல்கலைக் கழகத்திலும் கல்வி பயின்று, சிறந்த வெற்றியுடன் வெளிவந்தார். சிறுவயதிலிருந்தே கணித பௌதிகத்தில் விருப்புற்றுப் பல ஆராய்ச்சிக் கட்டுரைகள் வெளியிட்டார்.

இவர் தமது நாற்பத்தெட்டாவது வயதிலேயே அகால மரணமடைந்தாரெனினும், சுமார் 100 ஆராய்ச்சிக் கட்டுரைகள் வெளியிட்டிருந்தார். அவை நிறப் பார்வை, மூலக்கூறுக் கொள்கை, மின்காந்தக் கொள்கை என மூன்று பிரிவுகளைச் சேர்ந்தவை. வாயுக்களின் மூலக்கூறுக் கொள்கையின் மூலம் பல புதிய தத்துவங்களும், ''மாக்ஸ்வெல் விதி''யும் தெளிவாயின. அவரது மின்காந்தக் கொள்கையும் அதன் கணித விளக்கங்களும், மின்காந்த அலைகளின் தன்மையைத் தெளிவாக விளக்கியதுடன், ஒளியும் மின்காந்த அலையே என்பதை விளக்கியது. 1873 ஆம் ஆண்டில் இவர் வெளியிட்ட ''மின்சாரம், காந்தவியல்'' என்ற நூல், நியூட்டனின் பிரின்ஸிப்பியாவுடன், உலகிலேயே மிகச் சிறந்த நூல் என்று கருதப்படுகிறது.

விஞ்ஞானிகளைப்பற்றியும் அவர்கள் விஞ்ஞானத்தை வளர்த்த முறைகளைப் பற்றியும் சுருக்கமாகக் கவனித்தபின், தற்சமயத்தில் விஞ்ஞானம் எவ்வாறு முன்னேறியுள்ளது என்பதைப் பார்ப்போம். பௌதிகத்தில் நாம் அடைந்துள்ள முன்னேற்றங்கள் ஏறக்குறைய அனைத்தும் அணுக்களையோ அல்லது அணுத்துகள்களையோ பற்றியவை. ஆகவே நாம் முதலில், அணுவியலைக் கவனிப்போம். அணுவியலின் முக்கிய கண்டுபிடிப்புக்கள் அனைத்தும் இருபெரும் நிகழ்ச்சிகளைச் சார்ந்தவை; வாயுக்களினூடே மின்னிறக்கத்தை ஆராய்ந்ததின் பயனாக எலக்ட்ரான்; நேர் மின் கதிர்கள், எக்ஸ் கதிர்கள் முதலியன கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இயற்கைக் கதிரியக்கத்தை ஆராய்ந்ததன்மூலம் ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமாக் கதிர்களும், அணுக் கருவைப்பற்றிய பல உண்மைகளும் தெரியவந்தன. ஆகவே, அணுவியலைக் கற்கப் புகும் நாம், வாயுக்களினூடே மின்னோட்டம் செல்லும் வகையென்ன என்னும் தலைப்புடன் நம் ஆராய்ச்சிகளைத் துவங்குவோம்.

2. வாயுக்களினூடே மின்னோட்டம்

(Discharge of Electricity through Gases)

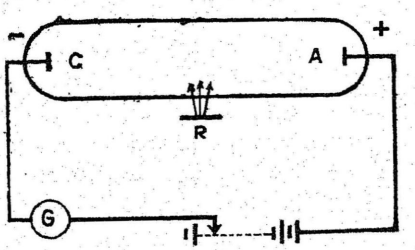
காற்றும் மற்ற வாயுக்களும் தங்கள் இயல்பான அழுத்தத்தில் மின்சாரத்தைக் கடத்தா. அப்படிக் கடத்தக் கூடுமானால், மேலே கம்பிவழியே செல்லும் மின்சாரம் காற்றின் வழியாக வந்து நம்மை வெகுவாகப் பாதித்துவிடும். காற்று ஒரு மின் கடத்தாப் பொருள். ஆனால், சில சூழ்நிலைகளில் அது மின்கடத்தும் தன்மையைப் பெறக்கூடும். அதிக சூடேற்றப்பட்டாலோ, அல்லது புற ஊதாக் கதிர், எக்ஸ் கதிர் முதலிய கதிர்கள் அதன்வழியாகப் பாய்ந்தாலோ, காற்றும் மற்ற வாயுக்களும் மின்கடத்தும் தன்மையைப் பெறுகின்றன.

அயனித்தல்: இவ்வாறு மின்கடத்தும் தன்மையைப் பெறுவதற்குக் காரணம் இவ் வாயுக்களில் மின்னேற்றமுடைய துகள்கள் உண்டாக்கப்படுவதே என்று தெரியவருகிறது. இம் மின்னேற்றமுடைய துகள்களுக்கு அயனிகள் (ions) என்று பெயர். அதிக வெப்பமோ, கதிர் வீச்சோ வாயுக்களில் அயனிகளை உண்டு பண்ணுகின்றன. இச் செயலுக்கு அயனியாக்கம் (ionisation) என்று பெயர். காற்றணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் இயல்பாக மின்னேற்றமற்றவை. அதிவெப்பம் அல்லது கதிர்வீச்சு காரணமாக ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் அம் மூலக்கூறுகளிலிருந்து வெளியேற்றப்படுகின்றன. எலக்ட்ரான் எதிர் மின்னேற்றமுடையதாகையால், எலக்ட்ரானை இழந்த அணு, அல்லது மூலக்கூறு, அதே அளவு நேர் மின்னேற்றமடைகிறது. இவ்வாறு எலக்ட்ரான்களும் நேர் மின்னேற்றமுடைய துகள்களும் உண்டாவதையே அயனியாக்கம் என்கிறோம். அயனியாக்கப்பட்ட வாயுவில் மின்னழுத்தத்தைச் செயல்படுத்தினால் எதிர் மின்னேற்றமுடைய எலக்ட்ரான்களெல்லாம் ஒரு முனையையும், நேர் மின்னேற்றமுடைய அயனிகள் எல்லாம் மறு முனையையும் நோக்கிப் பாய்ந்து செல்லும். இதையே மின்சாரம் பாய்கிறது

என்கிறோம். மின் கடத்தா வாயுக்கள் இவ்வாறு சில சூழ்நிலை களில் மின் கடத்தும் தன்மையைப் பெற்றுவிடுகின்றன.

விண்வெளிப் பயணிகள் பூமிக்குத் திரும்புகையில் நமது காற்று மண்டலத்தில் புகுந்தவுடன் சிறிது காலத்திற்கு அவர் களுடன் ரேடியோத் தொடர்பு அற்றுப் போகிறது என்ற உண் மையை நாம் அறிந்துள்ளோம். இதன் காரணம் அதி வெப்பத் தால் உண்டாகும் அயனிகளே. மணிக்கு 25,000 மைல் வேகத்தில் பாய்ந்துவரும் விண்வெளிக் கப்பல் நமது காற்று மண்டலத்தில் புகுந்தவுடன், உராய்வு காரணமாகச் சூடேற்றப்பட்டு, 3000 டிகிரி வெப்ப நிலையை அடைகிறது. இவ் வதி வெப்பநிலை காரணமாக, அதைச் சுற்றியுள்ள காற்று அயனிக்கப்படுவதால், விண்வெளிக் கூண்டைச் சுற்றி வெகு திரளான அயனிகள் சூழ்ந்துள்ளன. இவை ரேடியோ அலைகளை எதிரொளித்துவிடுவதால், பூமியி லிருந்து செல்லும் அலைகள் கூண்டிற்குள் செல்லமுடியாமலும், கூண்டிலிருந்து அனுப்பப்படும் அலைகள் வெளியே செல்லமுடியா மலும் போகின்றன. ஆகவே, கூண்டின் வெப்பம் தணியும்வரை அதனுடன் ரேடியோத் தொடர்பு அற்றுப்போகிறது.

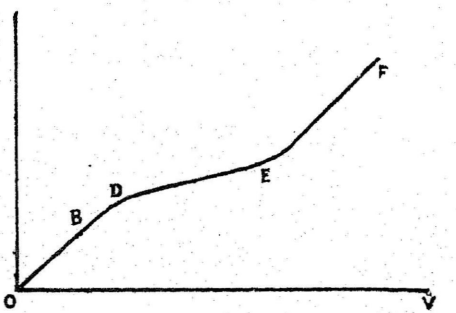
அயனியாக்க மின்னோட்டம் (Ionisation Current) ஒரு குழா யில் A, C என்ற இரு மின்வாய்களைப் பொருத்தி, அவை மாற்றக் கூடிய அதி மின்னழுத்தமுண்டாக்கும் மூலம் ஒன்றில் பிணைக்கப் பட்டுள்ளன. (படம் 1) குழாயில் உள்ள காற்றை அயனிக்க அத னருகில் சிறிது கதிரியக்கப் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. (R) மின்னோட்டத்தை G என்ற கால்வனோ மீட்டர் அளிக்கின்றது.



படம் 1. அயனியாக்க மின்னோட்டம்

உண்டாக்கப்பட்ட அயனிகள் சில மறுபடியும் ஒன்றோ டொன்று சேர்ந்துவிடுகின்றன. மற்றவை நேர் மின்வாயையும் எதிர் மின்வாயையும் நோகிக்கிப் பாய்ந்து செல்கின்றன. இது காரணமாக அயனி ஓட்டம் ஏற்படுகிறது. செயல்படும் மின் னழுத்தத்தைக் கொஞ்சம் கொஞ்சமாக ஏற்றினால், அயனி மின்

னோட்டம் படம் 2-ல் காண்பதுபோல் மாறுகின்றது. இதில் V என்பது மின்னழுத்தத்தையும், I என்பது அயனி மின்னோட்டத்தையும் குறிக்கின்றன. OB என்ற பாகம் ஏறக்குறைய நேர் கோடானது : ஓமின் விதி இப் பாகத்தில் மட்டுமே உண்மையாகின்றது; அதாவது, மின்னழுத்தம் உயர்ந்தால் அதன் நேர் விகிதத்தில் மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கின்றது. B-க்குப் பிறகு, மின்னோட்டம் அதிகரித்தால் மின்னோட்டம் குறைவாகவே அதிக



படம் 2. அயனி மின்னோட்டமும் மின்னழுத்தமும்

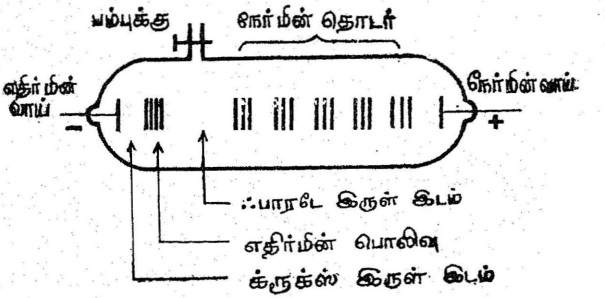
ரித்து (BD), பிறகு DE என்ற பாகத்தில் ஒரே அளவாக நின்று விடுகிறது. இதன் காரணம் என்னவென்றால், கதிரியக்கத்தால் உண்டாக்கப்படும் அயனிகள் அனைத்தும் மின்வாய்களை நோக்கிப் பாய்ந்துவிடுவதால், மின்னழுத்தத்தை அதிகரித்தால் அதற்கேற்றவாறு மின்னோட்டம் உயர்வதற்கு வழியில்லை. அயனிகளின் எண்ணிக்கை உயர்ந்தால்தான் மின்னோட்டம் உயர வழியுண்டு. DE குறிப்பிடும் அயனி மின்னோட்டத்தின் அளவு, கதிரியக்கப் பொருளின் அயனிக்கும் சக்தியை அளக்கப் பயன்படுகிறது.

E என்ற புள்ளி குறிப்பிடும் அளவிற்குமேல் மின்னழுத்தம் அதிகமாக ஏறினால், அயனிகள் அதிக வேகம்பெற்று, காற்றின் மூலக்கூறுகளுடன் மோதி அவற்றை அயனிக்கின்றன. ஆகவே மின்னோட்டம் மறுபடியும் அதிகரிக்கின்றது (EF). மின்னழுத்தம் மிக அதிகமானால், (50,000 வோல்ட்டுக்கு அதிகமானால்) காற்றின் எதிர்ப்பைக் கிழித்து, தீப்பொறி வடிவமாக மின்சாரம் ஒரு மின்வாயிலிருந்து மறு மின்வாய்க்குத் குதிக்கிறது. இதற்குப் பொறி மின்னிறக்கம் (Spark Discharge) என்று பெயர். பொறி மின்னிறக்கம் ஏற்படும்பொழுது அயனிகளை உண்டுபண்ணும் கதிரியக்கம் தேவையில்லை. மின்னல் என்பது மாபெரும் பொறி மின்னிறக்கமே.

அழுத்தம் குறைந்த வாயுக்களில் மின்னேட்டம்

இதுவரை இயல்பான அழுத்தமுடைய வாயுக்களில் மின்னேட்டமேற்படுவதைக் கவனித்தோம். வாயுக்களின் அழுத்தத்தைக் குறைத்தால், பல முக்கியமான சம்பவங்கள் நிகழ்வதைக் காண்போம். இவற்றின்மூலம் அணுவைப்பற்றிய பல அரிய உண்மைகள் தெரிய வந்துள்ளன.

சுமார் 30 செ. மீ. நீளமும் 4 செ. மீ. விட்டமுமுடைய ஒரு நீண்ட கண்ணாடிக் குழாயில் இரு அலுமினிய மின்வாய்கள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. குழாயின் பக்கத்திலுள்ள ஒரு சிறு



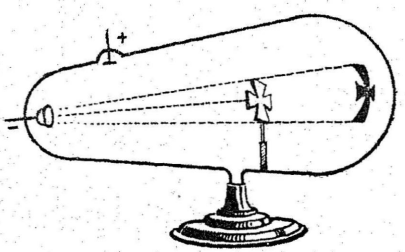
படம் 3. வாயுவில் மின்னிறக்கம்

குழாய் காற்றுப் பம்புடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் வழியாய்க் குழாயின் காற்றை அப்புறப்படுத்தலாம். மின்வாய்கள் இரண்டும் அதி மின்னழுத்தம் தரும் தூண்டு மின்சுருளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

குழாயிலுள்ள காற்றழுத்தம் குறைக்கப்பட்டால், முதலில் ஒன்றும் நேராது. அழுத்தம் 4, 5 செ. மீ. ஆகக் குறையும்பொழுது, ஒரு சிவப்பு-ஊதா நிறமான சன்ன ஒளி நேர் மின்வாயிலிருந்து எதிர் மின்வாய்வரை வளைந்து நெளிந்து செல்வது தெரியவரும். அழுத்தம் 1 செ. மீ. ஆகக் குறையும்பொழுது, குழாய் முழுவதிலும் இவ் வொளி வியாபித்து, 'ஸ் ஸ்' என்ற ஓசையுடன் மின்னேட்டம் ஏற்படுகின்றது. இவ்வொளிக்கு நேர்மின்தொடர் (Positive Column) என்று பெயர். இவ் வொளியின் நிறம் குழாயிலுள்ள வாயுவுக்குத் தக்கதாக மாறும்—காற்றிற்கு சிவப்பு-ஊதாவாகவும், நியானுக்குப் பிரகாசமான சிவப்பாகவும், கரியமில வாயுவுக்கு நீல-வெள்ளை நிறமாகவும் இருக்கும். நியான் விளக்கு என்பது இவ்விதமான குழாயில் மின்னேட்டம் செல்வதேயாகும்.

அழுத்தம் இன்னும் குறைந்தால், நேர் மின்ஒளி விரிந்து, வெவ்வேறு பகுதிகளாகப் பிரிந்து, எதிர்மின் வாயிலிருந்து விலகி விடுகிறது. எதிர் மின்வாயில் ஒரு பிரகாசமான ஒளி தென்படும். இதற்கு எதிர் மின் பொலிவு (negative glow) என்று பெயர். நேர் மின் ஒளிக்கும் எதிர் மின்பொலிவுக்குமிடையே உள்ள இருண்ட பாகத்திற்கு ஃபாரடே இருள் இடம் (Faraday Dark Space) என்று பெயர். அழுத்தம் இன்னும் குறைந்தால், எதிர்மின் பொலிவு எதிர் மின் வாயை விட்டு விலகுகிறது; அதற்கும் எதிர் மின்வாய்க்கு மிடையேதோன்றும் இடத்திற்கு க்ரூக்ஸ் இருள் இடம் (Crookes' Dark Space) என்று பெயர். நேர் மின் தொடர்ச்சி சிறு சிறு வரிப் பள்ளங்களாக (Striations) பிரிந்து ஒளி குறைகிறது. ஃபாரடே இருள் இடம் விரிந்து நேர்மின் வாய்ப்புறமாக நகருகிறது. படம் 3-ல் இந் நிலை காட்டப்பட்டுள்ளது. அழுத்தம் 10 4 செ. மீ. ஆகக் குறைந்தால், க்ரூக்ஸ் இருள் இடம் குழாய் முழுவதிலும் பரவிவிடுகிறது. நேர் மின் ஒளி, எதிர் மின் ஒளியாகவும் மறைந்து விடுகின்றன. ஆனால், இப்பொழுது ஒரு புதிய சம்பவம் நிகழ் கிறது.

எதிர் மின்வாய்க்கு எதிராக உள்ள கண்ணாடிக் குழாயின் சுவர்கள் நீல நிறமாக அல்லது பச்சை நிறமாக ஒளிர்கின்றன. எதிர் மின்வாய்க்கு எதிராக ஒரு பொருளை நிறுத்தினால் அதன் நிழல் வெகு தெளிவாகக் குழாயின் சுவரில் விழுவது தெரியும். ஆகவே, எதிர் மின்வாயிலிருந்து ஒரு விதமான கதிர்கள் புறப் படுட்டு, நேர் கோட்டில் செல்கின்றன என்பது தெளிவாகிறது. இக் கதிர்களே எதிர்மின் கதிர்கள் (Cathode rays) எனப்படும்.



படம் 4. எதிர்மின் கதிர்களால் நிழல்

எதிர் மின்கதிர்கள் (Cathode Rays) : எதிர்மின் கதிர்களை க்ரூக்ஸ், J. J. தாம்சன், பெரின் முதலிய பல விஞ்ஞானிகள் ஆராய்ந்துள்ளனர். இவ் வாராய்ச்சிகளின் பயனாய் பல உண்மை கள் வெளிய வந்துள்ளன.

(1) எதிர்மின் கதிர்கள் எதிர்மின் வாயிலிருந்து அதி வேக

மாக வெளிவிடப்படும் எதிர் மின்னேற்றமுடைய துகள்களின் கற்றையாகும்.

(2) இவை நேர் கோட்டில் செல்கின்றன. ஒரு சிலுவை வடிவமான பொருள் எதிர்மின் வாய்க்கெதிரில் நிறுத்தப்பட்டால், அதன் நிழல் எதிர்ச் சுவரில் தெளிவாக விழுவது தெரியும் (படம் 4.)

(3) இக் கதிர்கள் எதிர்மின் வாய்க்குச் செங்குத்தாகச் செல்கின்றன. எதிர்மின் வாயைக் குழி வடிவமாகச் செய்தால், வாய்க்குச் செங்குத்தாகச் செல்லும் கதிர்கள் யாவும் ஒரு புள்ளியில் குவிக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு குவிக்கப்படும் கதிர்கள் ஏராளமான வெப்பமுண்டுபண்ணுகின்றன. அப் புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட பிளாட்டினத் துண்டையும் உருக்கிவிடக்கூடிய அளவு வெப்பமுண்டாகும்.

(4) இக் கதிர்களின் பாதையில் ஒரு சிறு சக்கரம் நிறுத்தப்பட்டால், கதிர்கள் அதன்மேல் மோதி அதை இலேசாகச் சுழல வைக்கும்.

(5) இக் கதிர்கள் பல படிகங்கள், உப்புக்கள், கனிப் பொருட்கள் இவற்றின்மீது விழும்பொழுது அவற்றை ஒளிரச் (Fluoresce) செய்கின்றன.

(6) இவை போட்டோப் பசையின்மீது விழுந்தால் ஒளியைப் போல் அப் பசையைப் பாதிக்கும் தன்மையுடையவை. இவ் விருதன்மைகளும் இக் கதிர்களை ஆராய உதவுகின்றன.

(7) மிகவும் சன்னமான மைக்கா, அலுமினியத் தகடுகளினூடே செல்லக்கூடியவை.

(8) வாயுக்களினூடே செல்லுகையில் வாயுவை அயனிக்கின்றன. கடினமான பொருளால் இவை திடீரென்று நிறுத்தப்பட்டால், எக்ஸ் கதிர்கள் உண்டாகின்றன. எதிரிலுள்ள குழாயின் கண்ணுடிச் சுவர்கள் ஒளிர்வதன் காரணம் எதிர் மின் கதிர்கள் சுவர்களால் தடுக்கப்படுவதால் உண்டாகும் எக்ஸ் கதிர்களே.

(9) இவ் வெதிர் மின்கதிர்கள், மின்புலம் காந்தப்புலங்களால் விலக்கமடைகின்றன. இவ்விலக்கத்தின் திசையைக்கொண்டு இவை எதிர் மின்னேற்றமுடையவை என்பதை அறியலாம்.

உதாரணமாக, இக் கதிர்கள் செல்லும் மின்னிறக்கக் குழாயினுள் அவை செல்லும் திசைக்கு இணையாக இரு உலோகத் தகடுகளைப் பொருத்தி, தகடுகளுக்கிடையே மின்னழுத்தம் உண்டுபண்ணினால், மின்புலம் கதிர்கள் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்

தாக இருக்கும். இப்பொழுது கதிர்கள் நேர் மின்னேற்றமுடைய தகட்டின் புறமாக விலக்கமடையும். அவ்வாறே இரு காந்தத் தண்டுகளைக்கொண்டு கதிர்கள் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தாகக் காந்தபுலம் உண்டுபண்ணினால், கதிர்கள் விலக்கமடைவதைக் காண்போம்.

மேற்கூறிய தன்மைகளைக்கொண்டு, எதிர் மின்கதிர்கள் மிகவும் சிறிய எதிர் மின்னேற்றமுடைய துகள்களென்பதும், மின்புலத்தில் அவை அதிவேகத்துடன் எதிர் மின்வாய்க்கு எதிராகப் பாய்ந்து செல்கின்றன என்பதும் தெளிவாகின்றது. இத்துகள்களுக்கு ஜான்ஸ்டன் ஸ்டோனி (Johnston Stoney) என்ற விஞ்ஞானி எலக்ட்ரான் (Electron) என்று பெயரிட்டார். இப் பெயரே நிலைபெற்றுவிட்டது. மின்னேற்றக் குழாயில் எவ்வித வாயு இருந்தாலும், எதிர் மின்வாய் எவ்வுலோகமாயிருந்தாலும், அதே எலக்ட்ரான்கள் வெளிவிடப்படுவதால், எலக்ட்ரான்கள் எல்லாப் பொருட்களிலும் உள்ளன என்பது தெளிவாகிறது. இவற்றின் எடை, மின்னேற்றம் முதலியவற்றைக் குறித்த ஆராய்ச்சியை அடுத்த அத்தியாயத்தில் காணலாம்.

வினாக்கள்

1. ஒரு மின்னிறக்கக் குழாயின் அழுத்தங் குறையக்குறைய அதில் ஏற்படும் நிகழ்ச்சிகளை விவரி.
2. எலக்ட்ரான் மின்னூட்டமுடைய துகளென்பதை எவ்வாறு நிரூபிக்கலாம்? மின்னிறக்கக் குழாயில், அது எதிர் மின் வாயிலிருந்து நேர்கோட்டில் செல்கிறது என்பதை எவ்வாறு காண்பிக்கலாம்?
3. எதிர் மின் கதிர்களின் பண்புகளை விவரி.

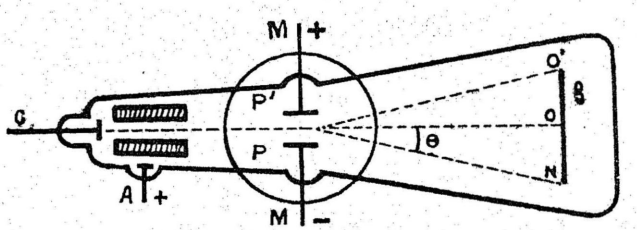
3. எலக்ட்ரான்

(The Electron)

சென்ற அத்தியாயத்தில், எதிர் மின்கதிர்கள் என்பவை அதி வேகமுடைய எதிர் மின்னேற்றமுடைய எலக்ட்ரான் என்னும் துகள்களே என்றும், எலக்ட்ரான்கள் எல்லாப் பொருட்களிலும் உள்ளன என்பதையும் கண்டோம். ஆகவே, எலக்ட்ரான் என்னும் துகளின் நிறை, மின்னேற்றம் இவற்றை வெகு துல்லியமாக அளப்பது அவசியமாகின்றது.

எலக்ட்ரானின் e/m : தாம்சனின் முறை : 1897ஆம் ஆண்டில் சர் J. J. தாம்சன் எலக்ட்ரானின் மின்னேற்றம், நிறை இவற்றின் விகிதத்தை முதன்முதலாகக் கண்டுபிடித்தார். எதிர்மின் கதிர்களை மின்புலம், காந்தப்புலம் இவற்றிற்குட்படுத்தி, அதிலேற்படும் விலக்கங்களை அளந்து, இவ் விகிதத்தைக் கணித்தார்.

தாம்சனது ஆய்கருவி 5ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. C என்ற எதிர் மின்வாயிலிருந்து எதிர் மின் கதிர்கள் புறப்பட்டு,



படம் 5. தாம்சனின் ஆய் கருவி

A என்னும் நீள் உருளை வடிவ நேர் மின்வாயிலுள்ள சிறிய துவாரத்தின்வழியே சென்று, S என்னும் ஒளிர் திரையின்மீது

O என்னும் புள்ளியாக விழுகிறது. A வரை முடுக்கத்துடன் செல்லும் மின்கதிர், A-யைத் தாண்டியபின், சீர்திசை வேகத்துடன் செல்கிறது. PP^1 என்ற இணையான தகடுகளைக் கிடைமட்டமாக வைத்து, அவற்றிற்கு மின்னழுத்த மூட்டினால் எதிர் மின் கதிர்களின் மீது செங்குத்தான மின்புலம் செயல்படுகின்றது. இதன் விளைவாகக் கதிர் கேர் மின்னேற்றமுடைய P^1 தகட்டின் புறமாக விலக்கமடைவதால், ஒளிப்புள்ளி திரைமீது O என்னுமிடத்திலிருந்து O^1-க்கு விலக்கப்படுகிறது. மின்னழுத்தம் (v), தகடுகளுக்கிடையே உள்ள தூரமும் (d) தெரிந்தால், மின்புலத்தின் அளவு தெரியவரும் (v/d).

இப்பொழுது ஒரு மின்காந்தப் புலத்தை வட்டமாகக் காட்டிய படி தாளுக்குச் செங்குத்தாக வடதுருவம் தாளுக்கு மேற்புறமாகவும், தென் துருவம் தாளுக்கு அடியிலுமாகச் செயல்படச் செய்தால், ஃப்ளெமிங்கின் இடது கை விதியின்படி (Fleming's Left Hand Rule) எதிர் மின்கதிர் கீழ்ப்புறமாக விலக்கப்பட வேண்டும். மின்புலத்தின் அளவை மாற்றி, ஒளிப்புள்ளி O^1-லிருந்து O என்னும் பழைய இடத்திற்கே வருமாறு செய்ய வேண்டும். இப்பொழுது எதிர் மின்கதிர்மீது செயல்படும் மின்புல விசையும் காந்தபுல விசையும் சமமாயிருக்கவேண்டும். ஏனெனில், அவற்றின் ஏற்படும் விலக்கங்கள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்து அழித்துவிடுகின்றன. இக் காந்தப் புலத்தின் அளவையும் அளந்து கொள்ளவேண்டும் (H).

எதிர் மின்கதிர்த் துகளின் (எலக்ட்ரானின்) நிறை m என்றும் அதன் மின்னேற்றம் e என்றும் வேகம் v என்றும் வைத்துக் கொள்வோம்.

மின்தகடுகளின் நீளம் l என்றும், அவற்றிற்கிடையே உள்ள தூரம் d என்றும், மின்னழுத்தம் v என்றும் வைத்துக்கொண்டால், செயல்படும் மின்புலம் $x = v/d$

எலக்ட்ரான்மீது செயல்படும் விசை $= xe = \frac{v}{d} e$

இதனால் ஏற்படும் வேக முடுக்கம் $= \frac{\text{விசை}}{\text{நிறை}} = \frac{xe}{m}$ ↑

எலக்ட்ரான் தகடுகளுக்கிடையே (மின்புலத்தில் t காலம் செல்கிறது: $t = \frac{l}{v}$

இந்த t நேரத்தில் எலக்ட்ரான் மேல்புறமாக விலக்கப்பட்டு, வளைந்து சென்று, மின்புலத்தைக் கடந்ததும், கடைசித் திசையில் நேர்கோட்டில் சென்று, O^1 என்ற புள்ளிமீது விழுகிறது.

t நேரத்தில் மேல்புறமாக விலக்கப்படும் அளவு $y_0 = \frac{1}{2} at^2$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{xe}{m}\right)\left(\frac{l}{v}\right)^2$$

திரையில் ஏற்பட்ட விலக்கம் $OO^1 = y_1$.

திரைக்கும் மின்புலத்தின் மத்திய பாகத்திற்கும் இடையே உள்ள தூரம் L என்று வைத்துக்கொண்டால்,

$$\frac{y_0}{\frac{1}{2}l} = \frac{y_1}{L}$$

$$\therefore y_1 = \frac{2y_0 L}{l} = \frac{2L}{l} \cdot \frac{1}{2}\left(\frac{xe}{m}\right)\left(\frac{l}{v}\right)^2 = \frac{Llx}{v^2}\left(\frac{e}{m}\right) \ldots\ldots\ldots 1$$

இதுவே மின்புலத்தால் திரையில் உண்டான புள்ளியின் விலக்கம் OO^1.

எலக்ட்ரான்மீது, மேலிருந்து உட்புறமாக H என்னும் செறிவுடைய காந்தப்புலம் செயல்பட்டால், அந்த எலக்ட்ரான்மீது இயங்கும் விசை $F = {}^*Hev \downarrow$

இவ் விசை செங்குத்தாகக் கீழ்ப்புறமாகச் செயல்படுகிறது. காந்தப்புலத்தின் அளவைமாற்றி, ஒளிப்புள்ளி O^1-லிருந்து O என்னும் பழைய இடத்திற்கு வரச் செய்தால், எலக்ட்ரான்மீது செயல்படும் காந்தப்புல விசையும் மின்புல விசையும் ஒன்றுக் கொன்று எதிராகவும் சமமாகவும் உள்ளன என்பது தெளிவு.

$$\therefore \underline{Hev} = \underline{Xe} \quad \therefore \quad V = \frac{X}{H} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

(1) என்பது $Y_1 = \frac{Llx}{v^2}\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{Ll \times H^2}{X^2}\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{LlH^2}{X}\left(\frac{e}{m}\right)$

$$\therefore \frac{e}{m} = \frac{X}{LlH^2} Y_1 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

இச் சமன்பாட்டின் வலது புறமுள்ள அளவுகள் அனைத்தும் தெரியுமாகையால் எலக்ட்ரானின் $\frac{e}{m}$-ஐக் கணிக்கலாம்.

---

* மின்னோட்டம் என்பது மின்னேற்றம் பாய்ந்து செல்லும் விதம் என்று அறிவோம். e என்னும் மின்னேற்றம் dt நேரத்தில் ds தூரம் சென்றால், மின்னோட்டம் $i = \frac{e}{dt}$; i மின்னோட்டமுடைய ds நீளமுடைய பகுதியின்மீது காந்தப்புலம் செயல்படுத்தும் விசை $F = Hids = H\frac{e}{dt}\frac{ds}{} = He\frac{ds}{dt} = Hev$.

தாம்சன் தமது அளவுகளைக் கொண்டு கணிதத்தில் $\frac{e}{m}$ இன் அளவு 1.7×10^7 e. m. u./கிராம், அல்லது 1.7×10^8 கூலம்/கிராம், அல்லது 5.1×10^{17} e. s. u./கிராம் என்று கண்டார். தற்காலத்தில் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட அளவு $\frac{e}{m} = 1.7589 \times 10^7$ e. m. u./கிராம். ஆகவே, சுமார் 70 ஆண்டுகளுக்கு முன் தாம்சன் கணித்த e/m அளவு தற்காலத்திய அளவுக்கு வெகு அருகில் உள்ளது கவனிக்கத்தக்கது.

குறிப்பு : மின்னேற்றத்தை அளக்கப் பல அலகுகள் உபயோகத்திலுள்ளன. அவற்றிற்குமுள்ள சம்பந்தம் வருமாறு :

1 மின்காந்த அலகு (electromagnetic unit : e m.u.)
= 3×10^{10} நில் மின் அலகு (electrostatic unit : e.s.u.)
= 10 கூலம் (Coulomb) : (செய்முறை அலகு - Practical unit)

அவ்வாறே, மின்னழுத்த அலகுகளாவன :
1 வோல்டு = $\frac{1}{300}$ e.s u. = 10^8 e.m.u:
கூலம், வோல்டு என்பன செய்முறை அலகுகள்.

உதாரணம் : தாம்சனது முறையில் e/m-ஐக் கணிக்க, 6 செ மீ. நீளமுடைய இணைத்தகடுகள் 4 செ மீ. தூரத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்க, அவற்றின் மீது 800 வோல்டு பின்னழுத்தம் செயல்பட்டபோது, 30 செ. மீ. தூரத்திலுள்ள திரையில் ஒளிப்புள்ளி 12.5 செ. மீ. விலக்கமடைந்தது. மின்புலத்திற்குச் செங்குத்தாக 9 ஓயர்ஸ்டட் காந்தப்புலம் செயல்பட்டபோது ஒளிப்புள்ளி தன் பழைய இடத்திற்கு வந்துவிட்டது. e/m அளவைக் கண்டுபிடி.

குறிப்பு : காத்த அளவுகள் வரும்பொழுது, அளவுகளும் மின்காந்த (e.m.u.) அலகுகளாக இருத்தல் அவசியம்

காந்தப்புலம் H = 9 ஓயர்ஸ்டட் = 9 e m u

மின்புலம் $X = \frac{\text{மின்னழுத்தம்}}{\text{தூரம்}} = \frac{800 \text{ வோல்டு}}{4 \text{ செ. மீ.}}$

$= \frac{800 \times 10^8}{4}$ $\frac{\text{e.m.u.}}{\text{செ.மீ.}}$

$= 200 \times 10^8$ e.m.u./செ. மீ

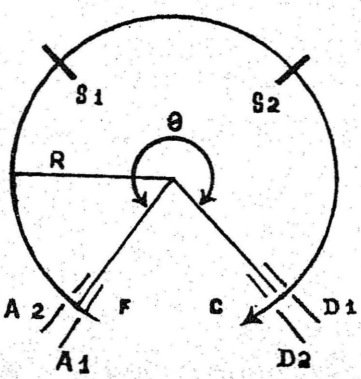
விலக்கம் $Y_1 = 12.5$ செ. மீ.

$L = 30$ செ. மீ; $l = 6$ செ. மீ.

$$\therefore \quad \frac{e}{m} = \frac{XY_1}{L/H^2} = \frac{200 \times 10^8 \times 12.5}{30 \times 6 \times 9^2}$$
$$= 1.72 \times 10^7 \text{ e.m.u./கிராம்.}$$

e/m : டன்னிங்டனின் முறை (Dunnington's Method)

எலக்ட்ரான்கள் F என்ற கம்பி இழை சூடேற்றப்படுவதால், வெளிவிடப்பட்டு, A_1 A_2 என்ற வெட்டுத் துளைகளினூடே வேக முடுக்கம் அடைகிறது (படம் 6). A_1 A_2 என்ற வெட்டுத் துளைகளினிடையே உயர்ந்த அதிர் வெண்ணுடைய மாறுதிசை மின்னழுத்தம் பிரயோகிக்கப்படுவதால். தொடர்ந்து அதிகரிக்கும் பல்வேறு வேகங்கள் சொண்ட எலக்ட்ரான்கள் A_2 துளையைவிட்டு வெளியேறுகின்றன. H என்ற அளவுடைய சீரான காந்தப்புலம்



படம் 6. டன்னிங்டனின் ஆய்கருவி

இவ்வெலக்ட்ரான்களின் மீது செங்குத்தாய்ச் செயல்படுவதால், அவை தம் வேகத்திற்கேற்ப வெவ்வேறு வட்டமான பாதைகளில் வளைக்கப்படுகின்றன. ஒரே ஒரு குறிப்பிட்ட வேகமுடைய எலக்ட்ரான்கள் R என்ற ஆரத்தில் வளைந்து, S_1 S_2 என்ற துளைகளினூடே சென்று, D_1 D_2 என்ற இரு வெட்டுத் துளைகளை வந்தடைகின்றன. இவ் வெலக்ட்ரான்களுக்கு

$$He v = \frac{mv^2}{R} \qquad \therefore \quad v = \frac{He\,R}{m}$$

என்ற சமன்பாடு பொருந்தும்.

இவை D_1 -ஐ வந்தடைந்தவுடன் என்ன நேரிடுகிறது என்பது, அவை A_1-விலிருந்து S_1 S_2 வழியாய் D-ஐ வந்தடைய எவ்வளவு நேரம் பிடித்தது என்பதைப் பொறுத்துள்ளது. A_1 A_2-வினிடையேயும் பிரயோகிக்கப்படுகிறது; ஆகையால் A_2-வும்

D_1-வும் எப்பொழுதும் ஒரே மின்னழுத்தத்திலுள்ளன. இதன் விளைவாக, A_2-விலிருந்து D_1-க்கு வந்து சேருவதற்கு மாறு மின்னழுத்தத்தின் ஒரு அலைவு நேரம் பிடிக்கும். எந்த எலக்ட்ரானும், D_1-இலிருந்து D_2 போய்ச் சேர்வதற்குள் தம் வேகத்தையெல்லாம் இழந்து விடுகிறது; C என்ற ஏற்பு வாய்க்குச் சேரா. (இதே னென்றால், A_1 இலிருந்து A_2-வுக்கு செல்லும் எலக்ட்ரான்களுக்கு வேகமுடுக்கம் ஏற்படுவதுபோல், D_2-விலிருந்து D_1-க்கு வேக முடுக்கம் ஏற்படும். ஆனால் D_1 இலிருந்து D_2-க்கு எதிர்முடுக்கந் தான் ஏற்படும் A_2-வும் D_1-உம் ஒரே மின்னழுத்தத்திலிருப் பதால் எலக்ட்ரான்களின்மீது A_2-, D_1 துளைகளிடம் செயல் படும் விசைகள் ஒரே அளவாய் ஆனால் நேர் எதிராக உள்ளன.)

ஆகவே, இச்சோதனையில் செய்யப்படுவது யாதெனில், காந்தப் புலனைத் தொடர்ச்சியாக மாற்றி, C-ஐ வந்தடையும் எலக்ட்ரான் களின் அளவைச் சிறுமமாக்கவேண்டும். இக் காந்தப்புலம் H என்று வைத்துக்கொள்வோம். எலக்ட்ரான்கள் A_2-விலிருந்து D_1-க்கு வளைந்து செல்லும் கோணம் θ என்றும், அவற்றின் வட்டப்பாதையின் ஆரம் R என்றும், மாறு மின்னழுத்த அலைவு நேரம் T என்றும் வைத்துக் கொண்டால், எலக்ட்ரான்களின் வேகம் $v = \frac{R\theta}{T} = R\theta f$. இதில் f என்பது மாறு மின்னழுத் தத்தின் அதிர் வெண்; θ ரேடியனில் அளக்கப்பட வேண்டும். மேற்கண்ட இரு சமன்பாடுகளையும் ஒன்று சேர்த்து,

$$v = R\theta f = \frac{HeR}{m}$$

$$\therefore \frac{e}{m} = \frac{\theta f}{H}$$

ஆகவே ஒரு கோணம், ஓர் அதிர் வெண், ஒரு காந்தப்புலம் இவற் றைத் துல்லியமாக அளந்தால், எலக்ட்ரானின் e/m திருத்தமாகக் கிடைக்கும். இம்முறையில் டன்னிங்டன் $\frac{e}{m} = 1{\cdot}7571 \times 10^7$ e.m.u./கிராம் என்ற அளவைக் கண்டுபிடித்தார்.

எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் (l): தாம்சனின் முறைப்படி எலக்ட்ரானின் e/m அளவைக் கணிதத்தில் அது $1{\cdot}7 \times 10^7$ e.m.u/கிராம் எனத் தெரியவந்தது. அநேகம் ஆண்டுகளுக்கு முன்பு, மின்னூற்பகுப்பு முறையில், ஒரு கிராம் ஹைட்ரஜனை வெளிவிடுவ தற்கு 9573 e.m.u, மின்னூட்டம் தேவை என்று கண்டுபிடித் திருந்தனர். அதாவது, ஹைட்ரஜனின் e/m அளவு 9573 emu/கிராம், ஆகவே எலக்ட்ரானின் e/m அளவு ஹைட்ரஜனைப்போல் சுமார் 1840 மடங்கு அதிகமாயிருப்பதாகத் தெரியவந்தது. இதிலிருந்து

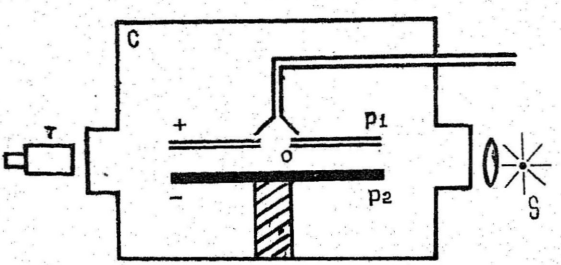
ஒரு முக்கியமான உண்மை தெரியவந்தது. அதாவது, ஹைட்ரஜன், எலக்ட்ரான் இவற்றின் நிறை சமமாயிருந்தால், எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் ஹைட்ரஜனைப்போல் 1840 மடங்கு அதிகமாயிருக்க வேண்டும். அல்லது, அவற்றின் மின்னூட்டங்கள் சமமாய் இருந்தால், எலக்ட்ரானின் நிறை ஹைட்ரஜனைவிட 1840 மடங்கு குறைவாயிருக்க வேண்டும். இதை அறிவதற்கு எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும்.

இதைக் கண்டுபிடிக்க டௌண்செண்ட், J. J. தாம்சன், வில்சன் முதலியோர் முயற்சித்தனர். ஆனால், அவர்களது முறைகள் அவ்வளவு திருத்தமானவையல்ல.

மில்லிக்கனின் எண்ணெய்த் துளி முறை (Milikan's oil drop experiment)

1913 ஆம் ஆண்டில் R. A. மில்லிக்கன் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தைத் துல்லியமாக அளந்து வெற்றி கண்டார்.

அவரது உபகரணத்தில் P_1 P_2 என்ற ஒளியியல் தட்டையான இரு பித்தளைத் தட்டுகள் 1 அல்லது 2 செ.மீ. தூரத்தில் வைக்கப்



படம் 7. மில்லிக்கனின் உபகரணம்

பட்டுள்ளன. அவற்றின் விட்டம் 22 செ.மீ. அவற்றிற்கிடையே சில ஆயிரம் வோல்டு மின்னழுத்த பேதம் உண்டுபண்ண வழியுண்டு. மேல்தட்டில் ஒரு சிறிய துவாரம் (O) உள்ளது. அதற்கு நேராக மேலே, எந்திரஎண்ணெய்போன்றகனமானஎண்ணெயைச் சிறு திவலைகளாகத் தூவுவதற்கு ஒரு சாதனம் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. திவலைகளில் சில துவாரத்தின் வழியாய், தகடுகளுக்கு கிடையேயுள்ள பாகத்தில் மெதுவாக இறங்குவதை T என்ற சிறு தொலைநோக்கிக் காணலாம். இவற்றின்மீது S என்ற வில் மின் ஒளியைக் குவிவில்லைக்கொண்டு குவித்தால், திவலைகள் ஒளிப்புள்ளிகள்போல் தொலைநோக்கியில் தோன்றும். காற்றால் இவை பாதிக்கப்படா வண்ணம், இவை முழுவதும் ஒரு பெரிய உலோகப்

பெட்டியால் (c) மூடப்பட்டு வெப்பநிலை மாறுமல் இருக்க நீர்க் குழாய்களால் சூழப்பட்டுள்ளன (படத்தில் இது காண்பிக்கப்பட வில்லை).

எண்ணெய்த் திவலைகள் தூவப்பட்டவுடன் தொலைநோக்கி மூலம் ஓர் ஒளிப்புள்ளி (திவலை)யைத் தெரிந்துகொண்டு, அது கீழே செல்லும் வேகத்தை அளக்க. இப்பொழுது P_1 P_2 தகடுகளிடையே மின்னழுத்த பேதம் உண்டுபண்ணினால், சில திவலைகள் உடனே வேகக் குறைவுடன் கீழே செல்லும்; சில மேலே நகர ஆரம்பிக்கும்; வேறு சில அதிக வேகத்துடன் கீழே செல்லும். இதன் காரண மென்னவென்றால், எண்ணெய்த் திவலைகள் தூவப்படும் பொழுது, உராய்வு காரணமாக அவை அயனிக்கப்படுகின்றன. சில திவலை களின்மீது எதிர்மின்னூட்டமும், சிலவற்றின்மீது நேர்மின்னூட்டமும் ஏறியிருக்கலாம். P_1 என்ற மேல்தட்டு நேர்மின்னூட்டமடைவதால். எதிர்மின்னூட்டம் பெற்ற திவலைகள் மேல் நோக்கி ஈர்க்கப்படும். ஆகையால் அவை கீழே செல்லும் வேகம் குறையும். ஈர்ப்பு விசை திவலையின் எடையை விட அதிகமாயிருந்தால், திவலை மேலே நகர ஆரம்பிக்கும். நேர்மின்னூட்டம் ஏறிய திவலை கீழ்நோக்கி அதிக வேகமாய்ச் செல்லும்.

தொலைநோக்கியின் விழிவில்லையில் ஓர் அளவுகோல் நிறுவப் பட்டுள்ளதால், துளிகள் செல்லும் தூரத்தை நேரில் அளந்து விடலாம். ஒரு நிறுத்தக் கடிகாரம் கொண்டு நேரத்தையும் அளந்தால், துளிகள் கீழேயோ, மேலேயோ செல்லும் வேகத்தைக் கணித்து விடலாம். மில்லிக்கன் ஒரே துளியின் வேகத்தைப் பல முறை அளந்தார்; மின்புலத்தை அகற்றிவிட்டால் துளி கீழ் நோக்கி விழும். மின்புலத்தை மறுபடியும் உண்டுபண்ணினால் அதே துளி மேல்நோக்கி நகரும். இவ்வாறு நூற்றுக்கணக்கான முறை வேகத்தை அளக்கலாம். துளியின் எண்ணெய் ஆவியாகிப் போய்விடவில்லை என்றால் துளி கீழ்நோக்கிச் செல்லும் வேகம் மாறுமல் இருக்கும். ஆனால், அது மேல்நோக்கிச் செல்லும் வேகம் மின்புலத்தின் அளவையும் துளியின்மீது எவ்வளவு எதிர் மின்னூட்டம் உள்ளது என்பதையும் பொறுத்திருக்கும்.

ஒரு திரவத் துளி காற்றின் ஊடகத்தே விழும்போது அதன் மீது இயங்கும் விசைகள் இரண்டு: (1) துளியின்மீது செயல் படும் புவிஈர்ப்பு விசை, கீழ்நோக்கி இயங்குகிறது. (2) காற்றின் பாகுநிலைவிசை (Viscous force) - இது, துளியின் வேகத்திற்கு நேர் விகிதமாய் மேலே நோக்கி இயங்குகிறது.

துளி முதலில் விழ ஆரம்பிக்கும்பொழுது, அதன்மீது செயல் படும் புவிஈர்ப்பு விசை காரணமாக அதன் வேகம் அதிகரிக்

கின்றது. வேகம் அதிகமாக ஆக, அதை எதிர்க்கும் பாகுநிலை விசையும் அதிகமாகிக் கொண்டேபோய், ஒரு குறிப்பிட்ட வேகம் அடைந்தவுடன் அது புவிஈர்ப்பு விசைக்குச் சமமாகி விடுகிறது. அதன்பின், துளி சீரான வேகத்துடன் கீழேயே விழுகிறது. இவ்வேகத்திற்கு முற்றுத் திசைவேகம் (Terminal Velocity) என்று பெயர்.

துளியின் ஆரம் a, எண்ணெயின் அடர்த்தி P, காற்றின் அடர்த்தி ∽, துளியின் சீரான வேகம் v, புவிஈர்ப்பு முடுக்கம் g, காற்றின் பாகியல் எண் n, என்று வைத்துக்கொண்டால்,

துளியின் செயலுறு எடை $= mg = \frac{4}{3}\pi a^3 (P - \backsim) g$

ஸ்டோக்ஸின் விதிப்படி, பாகுநிலை விசை $= 6\pi\eta av$

துளி சீரான வேகத்துடன் கீழே விழுவதால், இவ்விரு விசைகளும் சமம் என்பது தெரியவருகிறது.

$$\therefore mg = \tfrac{4}{3}\pi a^3 (p - \backsim) g = 6\pi\eta a v \quad \ldots \ldots (1)$$

$$\therefore a^2 = \frac{9\eta v}{2g(p - \backsim)}$$

$$\therefore a^3 = \left[\frac{9}{2}\,\frac{\eta v}{g(p - \backsim)}\right]^{3/2}$$

ஆகவே, துளியின் செயலுறு நிறை,

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 (P - \backsim) = \frac{4}{3}\pi \left[\frac{9}{2}\,\frac{\eta v}{g(p - \backsim)}\right]^{3/2} (p - \backsim)$$

$$\ldots \ldots (2)$$

துளி கீழே விழும் வேகத்தை (v) அளந்துவிட்டால் அதன் நிறை (m) உடனே தெரியவரும். ஏனென்றால், இச் சமன்பாட்டில் வரும மற்றெல்லா அளவுகளும் நமக்கு நன்கு தெரிந்தவை. v மாறுமலிருந்தால் துளியின் நிறை மாறுமலிருப்பது என்பது வெளிப்படை.

இப்பொழுது V வோல்டு மின்னழுத்த பேதம் $P_1 P_2$ என்ற தகடுகளிடையே செயல்படச் செய்கிறோம். P_1 தகடு நேர்மின்னூட்டம் தரப்படுகிறது. உடனே துளி மேல்நோக்கிச் செல்கிறது. இந்த வேகத்தை மேலே குறிப்பிட்டவாறு அளக்கவேண்டும் (v_1). துளியின்மீது n_1 எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்று வைத்துக் கொண்டால், துளியின் மின்னூட்டம் n, e.

மின்புலச் செறிவு $X = \frac{V}{d}$

துளியின்மீது செயல்படும் விசை $= X n_1 e - mg$
$= 6\pi n a v_1$

ஆனால், $mg = 6\pi nav$ என்று மேலே பார்த்தோம். ... (1)

$\therefore X n_1 e - 6\pi n a v = 6\pi n a v_1$

$\therefore X n_1 e = 6\pi n a (v + v_1)$

$\therefore n_1 e = \frac{6\pi n a}{X} (v + v_1) = \frac{m g}{X v} (v + v_1)$ ... (3)

சிறிது நேரத்திற்கப்புறம் துளியின்மீது இன்னும் சில எலக்ட்ரான்கள் சேர்ந்தால், $(n_2 e)$, துளியின் வேகம் v_2 ஆக மாறுகிறது.

$\therefore n_2 e = \frac{m g}{X v} (v + v_2)$ ... ... (4)

$\therefore (n_2 - n_1) e = \frac{m g}{X v} (v_2 - v_1)$ ... ... (5)

$\frac{mg}{xv}$ என்னும் அளவு ஒரே துளியைப் பொறுத்தமட்டில் மாறுதிருக்குமாகையால், புதிதாகப் பிடிக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $(n_2 - n_1)$ எப்பொழுதும் வேகமாற்றத்திற்கு $(v_2 - v_1)$ நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

ஒரே துளியை வைத்து நூற்றுக்கணக்கான அளவீடுகளை எடுத்ததில், வேகமாற்றங்கள் $(v_2 - v_1)$ யாவும் ஒரு சிறிய வேக மாற்ற அளவின் முழு எண் மடக்கையாக இருந்தன. சில சமயங்களில் $(v_2 - v_1)$ மிகையாக இருந்தது $(v_2 > v_1)$; சிலசமயங்களில் எதிராக இருந்தது $(v_2 < v_1)$. ஆனால் $(v_2 - v_1)$ எப்பொழுதும் ஒரு சிறிய அளவின் முழு எண் மடங்காகவே இருந்தது. இதிலிருந்து, துளியின்மீது சேரும் மின்னூட்டங்கள் நேராகவோ, எதிராகவோ இருக்கலாம். ஆனால், அவையாவும் ஒரு சிறிய ஒற்றை அலகு மின்னூட்டத்தின் முழு எண் மடங்கானவை என்று தெரியவருகிறது. ஆகவே, $(v_2 - v_1)$-ன் மிகச் சிறிய வேகமாற்றம் நேரும்போது, துளி ஒரே ஒரு மின்னூட்ட மாற்றம் அடைகிறது என்று விளங்குகிறது.

அதாவது $(v_2 - v_1)$ சிறுமமாகும்பொழுது $n_2 - n_1 = 1$.

$\therefore e = \frac{m g}{xv} (v_2 - v_1)$ சிறுமம் ... ... (6)

$= \frac{6\pi n a}{x} (v_2 - v_1)$ சிறுமம் ... ... (7)

மில்லிக்கன், எண்ணெய், கிளிஸரின், பாதரசம் முதலிய பல திரவங்களின் வெவ்வேறு பருமனுன துளிகளைக்கொண்டு காற்று, ஹைட்ரஜன் முதலிய பல வாயுக்களில் ஆயிரக்கணக்கான சோதனைகள் நடத்தி, எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தை (6), (7) சமன்பாடுகளால் கணித்தார்.

அதன் அளவு: $e = 4.770 \times 10^{-10}$ e. s. u.

இது ஒரு மிகவும் முக்கியமான மாறிலியாகையால் இதன் அளவை வெவ்வேறு முறைகளில் பலர் கணித்துள்ளனர். இதன் விளைவாக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட அளவு,

$$e = 4{\cdot}803 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$$
$$= 1{\cdot}601 \times 10^{-20} \text{ e.m.u.}$$

எலக்ட்ரானின் நிறை

எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தைக் கணித்தவுடன் அதையும் e/m அளவையும் கொண்டு, எலக்ட்ரானின் நிறை கணிக்கப் பட்டது.

$$\frac{e}{m} = 1{\cdot}7597 \times 10^{7} \text{ e.m.u./கிராம்.}$$

$$e = 1.601 \times 10^{-20} \text{e.m u.}$$

$$\therefore\ m = \frac{e}{e/m} = \frac{1\ 601 \times 10^{-20}}{1{\cdot}7597 \times 10^{7}} \text{ கிராம்,}$$

$$= 9{\cdot}108 \times 10^{-28} \text{ கிராம்.}$$

எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டமும், ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டமும் ஒரே அளவாயிருப்பதால், எலக்ட்ரானின் நிறை ஹைட்ரஜனின் நிறையைவிட, சுமார் 1836 மடங்கு குறைவானது என்பது தெளிவாகிறது. எலக்ட்ரானின் எடையே உலகிலுள்ள யாவற்றிலும் மிகச் சிறியதாகும்.

அவோகெட்ரோ எண் (Avogadro Number) (N)

இவ்வெண்பௌதிகத்திலும் வேதியியலிலும் மிகமுக்கியமான எண். இது ஒரு கிராம்—அணுவிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக் கையாகும். ஒரு கிராம்—மூலக்கூறிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் இதுவே. ஒரு தனிமத்தின் 'கிராம்-அணு' என்பது அத் தனிமத்தின் அணு எடைக்குச் சமமான கிராம்கள் கொண்ட அதன் எடையாகும். அதாவது ஆக்ஸிஜனின் அணு எடை 16. ஆகவே, 16 கிராம் எடையுள்ள ஆக்ஸிஜனை எடுத்துக் கொண்டோமானுல், அதுவே ஆக்ஸிஜனின் கிராம்-அணு எனப்

படுவது. இதில் N ஆக்ஸிஜன் அணுக்கள் இருக்கும் என்பது அவோகெட்ரோ கண்டுபிடித்த உண்மை. அவ்வாறே ஹைட்ரஜனின் அணு எடை 1·008. ஆகவே 1·008 கிராம் எடையுள்ள ஹைட்ரஜனை எடுத்துக்கொண்டால், அதிலும் N ஹைட்ரஜன் அணுக்களே இருக்கும். இதன் அளவை வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை, பிரவுணியன் இயக்கம் இவற்றிலிருந்து கணித்துள்ளனர். $N = 6.025 \times 10^{23}$

இதன் அளவை ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டத்தைக் கொண்டும் கணிக்கலாம்.

ஒரு கிராம் ஹைட்ரஜனை மின்னுற் பகுப்புமுறையில் வெளிவிட, 9573 e·m.u. மின்னூட்டம் தேவை என்று முன்னே கூறினோம். ஹைட்ரஜனின் அணு எடை 1·008 ஆகையால் ஒரு கிராம் = அணு ஹைட்ரஜனின் மின்னூட்டம் 9573×1.008 e·m·u· என்றாகிறது. ஒரு ஹைட்ரஜன் அயனியின் மின்னூட்டம் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்திற்குச் சமம்; அதாவது 1.601×10^{-20} e·m·u. ஆகவே, ஒரு கிராம்—அணுஹைட்ரஜனிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை

$$N = \frac{9573 \times 1.008}{1.601 \times 10^{-20}} = 6.024 \times 10^{23}$$

இது மேற்கூறிய முறைகளில் கணிக்கப்பட்ட அளவுக்கு வெகு அருகிலுள்ளது கவனிக்கத்தக்கது.

ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை

ஆகவே, 1·008 கிராம் ஹைட்ரஜனில் 6.024×10^{23} அணுக்கள் உள்ளன என்பது தெளிவாகிறது. இதிலிருந்து ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறையைக் கணிக்கலாம்.

$$M = \frac{1.008}{6.024 \times 10^{23}} = 1.67 \times 10^{-24} \text{ கிராம்}$$

$$\frac{\text{ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை}}{\text{எலக்ட்ரானின் நிறை}} = \frac{1.67 \times 10^{-24}}{9.108 = 10^{-28}} = 1837$$

இதுவும் முன்னே கணிக்கப்பட்ட அளவுக்கு வெகு அருகில் உள்ளது.

எலக்ட்ரான் வோல்டு (Electron-volt : e, v.)

நவீன பௌதிகத்தில் 'எலக்ட்ரான் வோல்ட்டு' (electron-volt அல்லது e.v.) என்ற ஆற்றல் அலகு மிகவும் வசதியானது.

ஒரு வோல்டு மின்னழுத்த பேதத்தில் சென்ற எலக்ட்ரான் அடையும் வேக ஆற்றலே 'எலக்ரான் வோல்டு' எனப்படுகிறது.

$$I\,e\,v = \tfrac{1}{2} m v^2 = v \times e$$

v = 1 வோல்டு = $\frac{1}{300}$ e.s.u.;

$e = 4{\cdot}803 \times 10^{-10}$ e.s.u.

$$\therefore\ I\,e\,v = \frac{4.803 \times 10^{-10}}{300} \text{ எர்கு} = 1{\cdot}601 \times 10^{-12} \text{ எர்கு}$$

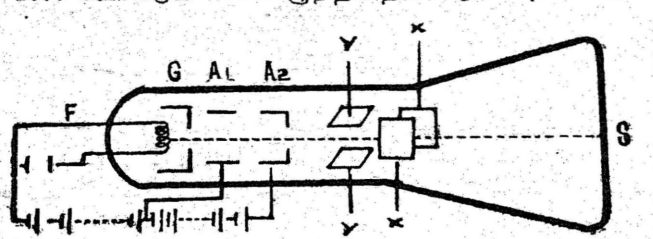
10 லட்சம் (ஒருமில்லியன்) எலக்ட்ரான்வோல்டு, அணுக்கரு பௌதிகத்தின் அலகாகப் பின்பு பயன்படும். (*mev*).

$$1\ mev = 10^6\ ev = 1.601 \times 10^{-6} \text{ எர்கு}$$

எதிர் மின்கதிர் ஆசிலகிராஃப் (Cathode Ray Oscillograph) :

எலக்ட்ரான் நமது வாழ்க்கையில் ஏராளமான முறைகளில் நமக்குப் பயன்படுகின்றது. எலக்ட்ரானியல் என்ற தலைப்பின்கீழ் இப் புத்தகத்தின் கடைசியில் இதைச் சற்று விவரமாகக் கவனிப்போம். தற்பொழுது, எதிர்மின் கதிர்க்குழாய் என்ற மிக முக்கியமான சாதனத்தில் இது எவ்வாறு பிரயோகிக்கப்படுகிறது என்பதைமட்டும் சுருக்கமாகக் கவனிப்போம். இச் சாதனம், விஞ்ஞானம், பொறி நுட்பத்துறை, தொழிற்துறை முதலிய பல துறைகளில் வெகுவாகப் பயன்படுகின்றது.

எதிர்மின் ஆசில கிராஃபின் அமைப்பு 8ஆம் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளது. F என்ற டங்ஸ்டன் இழையைச் சூடேற்றுவதால் எலக்ட்ரான்கள் ஏராளமாக வெளிவிடப்படுகின்றன. இவற்றை G, A_1, A_2 என்ற மின்வாய்களின் உதவியால், S என்ற திரையின்மீது ஒரு சிறிய புள்ளியாக்குவிக்கலாம். G என்ற மின்வாய்க்கு -50 வோல்டும், A_1-க்கு சுமார் 800 வோல்டும், A_2,க்குச் சுமார் 2000 வோல்டும் மின்னழுத்தம் தரப்படுகின்றன. S என்ற

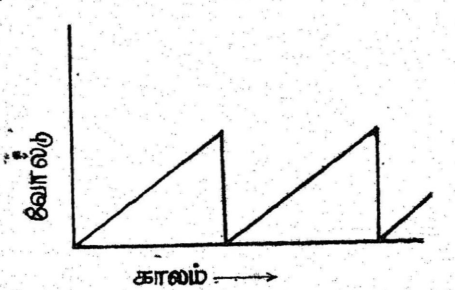


படம் 8. எதிர் மின்கதிர் ஆசிலகிராஃப்

திரையின்மீது துத்தநாக சல்பைடு போன்ற ஒளிரும் பசை பூசப்பட்டுள்ளதால், எலக்ட்ரான் கற்றை அதன்மீது விழும்போது

ஓர் ஒளிப்புள்ளி உண்டாகிறது. G-யின் மின்னழுத்தத்தை மாற்றி புள்ளியின் ஒளியையும், A_1-ன் மின்னழுத்தத்தால் புள்ளியின் கூர்மையையும் கட்டுப்படுத்தலாம். எலக்ட்ரான் கற்றை திரைக்குச் செல்லும் வழியில் இரு ஜோடித் தகடுகளினூடே செல்கின்றது. YY என்ற தகடுகளுக்கு மின்னழுத்த பேதம் ஏற்படுத்தினால், எலக்ட்ரான்கள் மேலும் கீழும் விலக்கமடையும். XX என்ற தகடுகளுக்கு மின்னழுத்த பேதம் ஊட்டினால் கற்றை கிடைமட்டமாக விலக்கமடையும். எலக்ட்ரான்கள் மிகவும் லேசான துகள்களாகையால், XX, YY தகடுகளுக்கு அதிவிரைவில் மாறும் மின்னழுத்தங்களை ஊட்டினால்-வினாடிக்கு 10 கோடிமுறை அலைவும் மின்னழுத்தமென்றாலும் – திரையில் விழும் ஒளிப்புள்ளி அவ் அலைவுகளுக்கேற்ப விலக்கமடையும். ஆகவே, இதைக்கொண்டு அதிவேகமாக மாறும் மின்னழுத்தங்களையும், அலை வடிவங்களையும் ஆராயலாம்.

உதாரணமாக, நமது வீடுகளுக்கு வரும் 50-சைக்கிள் AC மின்னழுத்தத்தை YY தகடுகளுக்கு ஊட்டினால், திரையில் விழும் புள்ளி மேலும்கீழும் வினாடிக்கு 50 முறை உசலாடும். வினாடிக்கு 50 முறை ஊசலாடுவதை, நமது கண்கள் தனித்தனியே காண இயலாது. நமது கண்களுக்கு அது ஒரு செங்குத்தான கோடு போல் தோன்றும். AC-யின் வடிவத்தைக் காண்வண்டுமானால், புள்ளி மேலும்கீழும் செல்லுகையில் அதைப் பக்கவாட்டமாகவும் இழுக்கவேண்டும். இதற்கு X தகட்டிற்குச் சீராக அதிகரிக்கும் மின்னழுத்தம் கொடுத்தோமானால், புள்ளி வலதுபுறமாகவும் நகரும். அதுவே AC அலை வடிவம் [≈] தெரியவரும். ஆனால் X தகட்டின் மின்னழுத்தம் அதிகரித்துக்கொண்டே போனால், புள்ளி வலதுபுறமாகவே சென்று, கடைசியில் திரைக்கு அப்பால்

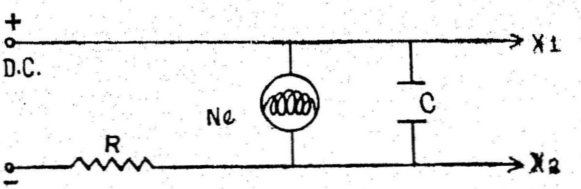


படம் 9. இரம்பப்பல் மின்னழுத்தம்

போய்விடும். ஆகையால் புள்ளி வலதுபுறக் கோடிக்குச் சென்றதும், உடனே பளிச்சென்று இடது புறக்கோடிக்கு வரச்செய்ய

வேண்டும். இதற்கு X தகட்டின் மின்னழுத்தம் திடீரென்று பூஜ்யம் ஆகிவிட வேண்டும். அதாவது XX தகடுகளுக்கு 9 ஆம் படத்தில் காட்டியதுபோன்ற மின்னழுத்தம் தரப்படவேண்டும். இது வடிவத்தில் ஓர் இரம்பத்தின் பற்களை ஒத்திருப்பதால், இதற்கு 'இரம்பப்பல் மின்னழுத்தம்' (Saw-tooth voltage) எனப் பெயர். அலை வடிவங்களை ஆராய்வதற்கு இவ்வித மின்னழுத்தமே XX தகடுகளுக்குக் கொடுக்கப்பட வேண்டும். புள்ளி வலது புறம் சீரான திசை வேகத்தில் நகருவதால், இதற்கு 'நேர்க் கோட்டுக் காலவடி' (Linear Time Base) என்றும் பெயர்.

இவ்வித மின்னழுத்தைப் பெற 10ஆம் படத்தில் கண்ட மின் சுற்று பயன்படுகிறது. இதில் C என்ற மின் தேக்கியும், Ne என்ற நியான் விளக்கும் இணையாகச் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. DC சப்ளையைக் கொடுத்தவுடன் மின்தேக்கி R என்றும் மின் தடையின் வழியாய் மின்னேற்றமடைகிறது: X_1-ன் மின்னழுத்தம் சீராக உயர்கிறது. மின்தேக்கி தகடுகளின் மின்னழுத்தம் சுமார்



படம் 10. நேர்கோட்டுக் காலவடி மின்சுற்று

150 வோல்டு ஆனவுடன் நியான் விளக்கு எரிந்து, மின் கடத்தியாகி, மின்தேக்கியின் ஊட்டத்தைப் பூஜ்யமாக்கி விடுகிறது. உடனே விளக்கு அணைந்து, மின்தேக்கி மறுபடியும் மின்னூட்டமடைய ஆரம்பிக்கிறது. இது அடுத்தடுத்து நடைபெறுவதால், மின்தேக்கியின் தகடுகளிடையே உள்ள மின்னழுத்தம் தேவையான இரம்பப்பல் வடிவமடைகிறது. இது நடைபெறும் நேரம் CXR-க்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. இதை XX தகடுகளுக்கும், ஆராயப்படும் அலைவடிவ மின்னழுத்தம் YY தகடுகளுக்கும் தரப்படல்வேண்டும். அலை வடிவம் அசையாமலிருப்பதற்கு, இரு ஜோடித் தகடுகளுக்கும் தரப்படும் மின்னழுத்தங்களின் அதிர்வெண்கள் சமமாக இருத்தல் அவசியம். C-யின் அளவையோ R-ன் அளவையோ மாற்றினால், இரம்பப்பல் மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண் தேவையான அளவுக்கு மாறும்.

எதிர் மின்கதிர் ஆசிலகிராஃபைக் கொண்டு பற்பல ஆராய்ச்சிகள் நடத்தப்படுகின்றன. அலை வடிவுகளை ஆராய்தல், அதிர்

வெண்கலைக் கண்டுபிடித்தல், இரும்பு = எஃகு இவற்றின் காந்தத் தயக்கத்தை ஆராய்தல்; ரேடியோ ஏற்பி, பரப்பிகளைச் சோதித்தல்; மின்னல், வளிமின் குழப்பங்கள் இவற்றை ஆராய்தல்; ஆப்பிள்டன், ஹெவிசைடு அயனி அடுக்குகளின் உயரங்களை அளத்தல் முதலிய பல ஆராய்ச்சிகளுக்கு இச் சாதனம் வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றது. அத்துடன் மின்கதிர்க் குழாய் ரேடார், டெலிவிஷன் சருவிகளுக்கு இன்றியமையாத தொன்றுகும்.

உதாரணம்

ஓர் எலக்ட்ரான் $3{\cdot}5\times10^9$ செ.மீ./வினாடி வேகத்தில் 200 ஓயர்ஸ்டெட் காந்தப்புலத்துள் செங்குத்தாக உட்செலுத்தப்படுகிறது. அது செல்லும் வட்டப் பாதையின் ஆரமென்ன ?

$(e/m = 1{\cdot}75\times10^7$ emu/கிராம்)

$$\mathrm{H}ev = \frac{mv^2}{r} \quad \therefore\ r = \frac{\mathrm{M}}{e} \times \frac{v}{\mathrm{H}}$$

$$\therefore\ r = \frac{1}{1{\cdot}75\times10^7} \times \frac{3{\cdot}5\times10^9}{200} = \frac{3{\cdot}5\times10^9}{3{\cdot}5\times10^9}$$

$= 1$ செ.மீ.

வினாக்கள்

1. எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தைக் கண்டுபிடிப்பதற்காகச் செய்யப்பட்ட மில்லிக்கன் சோதனையொன்றில் கீழ்க்கண்ட புள்ளி விவரங்கள் குறிக்கப்பட்டன.

துளியின் ஆரம் $=10^{-4}$ செ.மீ; புவிஈர்ப்பில் அதுவிழும் வேகம் $=2\times10^{-4}$ செ.மீ./வினாடி: தகடுகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்தம் $=1000$ வோல்டுகள். அவற்றிற்கிடையே உள்ள தூரம் = 2 செ.மீ.

இம் மின்னழுத்தத்தில் துளியின் மேற்புற வேகம் $=10^{-3}$ செ.மீ./வி. துளியின் அடர்த்தி $=0{\cdot}945$ கிராம்/கன செ.மீ.;

காற்றின் பாகுநிலை எண் $=0001826$ c.g.s. அலகு.

$e = 4{\cdot}8\times10^{-10}$ e.s.u.

துளியின் மீதுள்ள மின்னூட்டத்தின் எண்ணிக்கை என்ன ? [29]

2. ஓர் எலக்ட்ரான் 20 c.g.s. அலகு காந்தப்புலத்திற்குச் செங்குத்தாக 4 செ.மீ. ஆரமுடைய வட்டப் பாதையில்செல்கிறது.

எலக்ட்ரானின் வேகமென்ன? $\frac{e}{m} = 1.75 \times 10^{7}$ *emw*/கிராம்.

[1.4×10^{9} செ.மீ./வினாடி]

3. எண்ணெய்த் துளி சோதனையில், 2.1 செ.மீ. தூரத்திலுள்ள இரு தகடுகளிடையே 2250 வோல்டு மின்னழுத்தம செயல்படுகின்றது. ஓர் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தைக் கொண்ட நீர்த் துளி ஒன்று அசையாமல், அத் தகடுகளிடையே நிற்கிறதென்றால், அதன் நிறையென்ன?

[1.74×10^{-12} கிராம்.]

4. சூடேற்றப்பட்ட டங்ஸ்டன் மின்னிழையிலிருந்து வெளிவிடப்பட்ட ஓர் எலக்ட்ரான் 300 வோல்டு மின்னழுத்தத்தால், நேர்மின்தகட்டை நோக்கி உந்தப்படுகிறது. அதன் வேக ஆற்றலென்ன? நேர்மின் தகட்டை அடைகையில் அதன் வேகமென்ன?

எலக்ட்ரானின் நிறை = 9.11×10^{-28} கிராம்.

[4.8×10^{-10} எர்கு; 1.03×10^{9} செ.மீ./வி.]

4. குவாண்டம் கொள்கையும் அதன் பிரயோகமும்

(Quantum Theory and Its application)

இருபதாம் நூற்றாண்டின் துவக்கத்தில் இரு புதிய பௌதிகக் கொள்கைகள் வெளிவந்து விஞ்ஞானத்தின் அடிப்படை எண்ணங்களை வெகுவாக மாற்றியமைத்து, விஞ்ஞானம் பல துறைகளில் முன்னேறுவதற்குப் பெரிதும் உதவிபுரிந்தன. அவை, 1900 ஆம் ஆண்டில் ஜெர்மனிய விஞ்ஞானி மாக்ஸ் பிளாங்க் (Max Planck) வெளியிட்ட குவாண்டம் கொள்கை (Quantum Theory), 1905 ஆம் ஆண்டில் ஐன்ஸ்டைன் வெளியிட்ட சார்புக் கொள்கை (Theory of Relativity) என்பனவாகும். இவற்றை முழுவதுமாகப் புரிந்துகொள்ள, ஆழமான கணிதப் பயிற்சி தேவைப்படும். எனினும், அணு விஞ்ஞானத்தில் குவாண்டம் கொள்கை பல்வேறு முறைகளில் பயன்படுத்தப் பெறுவதால், அதன் அடிப்படை எண்ணங்களைச் சுருக்கமாக அறிந்து கொள்வது அவசியமாகும். சார்புக் கொள்கையின் எண்ணங்களைக் கணிதவாயிலாகத்தான் விளக்க முடியுமாகையால் அவற்றை இங்குக் குறிப்பிடவில்லை.

குவாண்டம் கொள்கை விஞ்ஞானத்தில் பல பாகங்களில் பயன்படுகிறதெனினும், அது முதன்முதலாகத் தேவைப்பட்ட பாகம் கதிர் வீச்சில்தான், வெப்ப நிலை அதிகமாயுள்ள பொருளிலிருந்து வெப்பக் கதிர் வீச்சாக வெளிவிடப்படுகிறது என்பதை நாம் அனுபவத்தில் கண்டுள்ளோம். அவ்வாறு வெளிவிடப்படும் வெப்பத்தின் அளவுக்கும் பொருளின் வெப்ப நிலைக்கும் ஏதாவது சம்பந்தமுண்டா? வெப்ப அலைகளின் நீளத்திற்கும் வெளிவிடப்படும் வெப்ப அளவுக்கும் சம்பந்தமுண்டா? என்பதுபோன்ற பிரச்சனைகளை ஆராய்கையில்தான், ஜெர்மன் விஞ்ஞானி மாக்ஸ் பிளாங்க், 'வெப்பக் கதிர் வீச்சு தொடர்ச்சியான அலைகளாக வெளிவிடப்படுவதில்லை; சிறுசிறு சக்திச் சொட்டுகளாக வெளி

விடப்படுகிறது' என்ற முக்கியமான உண்மையைக் கண்டு பிடித்தார். ஐந்தாண்டுகளில், விஞ்ஞானி ஐன்ஸ்டைன் இதே கொள்கையை ஒளிக் கதிர் வீச்சுக்கும் பயன்படுத்தி, 'ஒளி சிறு சிறு துணுக்குகளாகவே வெளிவிடப்படுகிறது, உட்கொள்ளப் படுகிறது என்று விளக்கி, ஒளி மின் விளைவில் இதன் உண்மை தெளிவாக விளங்குவதையும் சோதனைவாயிலாகக் காண்பித்தார். இவ்வாராய்ச்சிகளுக்காகவே அவருக்கு நோபல் பரிசும் வழங்கப் பட்டது. இவ் வொளித்துணுக்கே 'ஒளிக் குவாண்டம்' (Light Quantum) அல்லது 'சக்திக் குவாண்டம்' (Quantum of enengy) எனப்படுவது. ('குவாண்டம்' என்னும் லத்தீன் சொல்லுக்குச் சிறு அளவு என்று பொருள்.) ஒளிக் குவாண்டத்திற்கு 'ஃபோட்டான்' (Photon) என்ற பெயர் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. 'ஒளி, வெப்பக்கதிர் வீச்சு சிறுசிறு சக்திச் சொட்டுகளாகவே வெளிவிடப்படுகிறது. அல்லது உட்கொள்ளப்படுகிறது' என்றக் கொள்கையே 'குவாண்டம் கொள்கை' (Quantum Theory) எனப்படுவது.

ஒளியைப்பற்றிய பழங் கொள்கைகள்: பழங்கால கிரேக்கர்கள், 'சூரியன், நட்சத்திரங்களிலிருந்து ஒளி எவ்வாறு வந்து சேருகிறது?' என்ற கேள்வியை ஆராய்ந்தனர். ஒளி நேர்க்கோட்டில் செல்வதால், ஒளி மூலத்திலிருந்து சிறுசிறு ஒளித்துகள்கள் (Corpuscles) எல்லாத் திசைகளிலும் வீசியெறியப்படவேண்டும் என்றும், அவற்றில் சில ஒளித்துகள்கள் நம் கண்களில் புகுந்து ஒளி உணர்ச்சியை உண்டுபண்ணுகின்றன என்றும் நம்பினர். பிரபல ஆங்கில விஞ்ஞானி நியூட்டனும் இத் 'துகள் கொள்கையை (Corpuscular Theory of Light) ஏற்றுக்கொண்டு, ஒளியின் பல தன்மைகளை அதன்மூலம் விளக்கினர். ஆனால், நியூட்டனின் காலத்திலேயே, 1680ஆம் ஆண்டில் டச்சு விஞ்ஞானி ஹைகன்ஸ் (Huyghens) அதை மறுத்து, ஒளி அலைகளாகவே வெளிவிடப்படுகிறது என்றுகூறி, இக் கொள்கையைக் கொண்டு ஒளித்திருப்பம், விலகல் முதலிய தன்மைகளை விளக்கினர். ஆயினும், நியூட்டனின் பெருமையை விஞ்ஞான உலகம் அறிந்திருந்தபடியால், அவரது ஒளித்துகள் கொள்கையையே விஞ்ஞானிகள் ஏற்றுக் கொண்டனர்.

சென்ற நூற்றாண்டின் துவக்கத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு (Interference of Light), விளிம்பு விளைவு (diffraction) முதலிய விளைவுகளைத் துகள் கொள்கையினால் விளக்கமுடியவில்லை. அலைக் கொள்கையினால் (wave theory) இவற்றை விளக்க முடியும். உதாரணமாக, குறுக்கீட்டு

விளைவில், இரு ஒளிமூலங்களைக் கொண்டு இருண்டபாகங்கள் உண்டாகின்றன. ஒளித் துகள்களாகப் பாய்ந்து சென்றால், இரு ஒளித் துகள்கள் அதிகமான ஒளியைத்தான் உண்டுபண்ண முடியும்; இருளை உண்டுபண்ண முடியாது. ஆனால், ஒளி அலைகளாகச் சென்றால், ஓர் அலையின் முகடு (Crest) மற்றொரு அலையின் பள்ளத்தின்மீது விழுந்தால், இரண்டும் அழிந்து, அலையே இல்லாமல் போகலாம்; அதாவது, இரு ஒளி அலைகளினால் இருள் உண்டாக வழியுண்டு. அவ்வாறே, ஒளி விளிம்புகளைச் சுற்றிச் சிறிதளவு வளைந்து செல்வதை அலைக் கொள்கைதான் விளக்கமுடியும். 1860 ஆம் ஆண்டில், நீரினூடே ஒளியின் வேகத்தை அளந்து, அது காற்றினூடே செல்லும் வேகத்தை விடக் குறைவாயிருப்பதைக் கண்டவுடன், ஒளித்துகள் கொள்கை கைவிடப்பட்டது. ஏனெனில், அக் கொள்கையின்படி, ஒளி நீரினூடே அதிக வேகமாகச் செல்லவேண்டும். ஆகவே, அலைக் கொள்கையே யாவராலும் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டது.

இவ் வலைகள் எத்தன்மையானவை என்பதையும் க்ளார்க் மேக்ஸ் வெல் (Clark Maxwell) என்ற ஸ்காட்டிஷ் விஞ்ஞானி 1864 ஆம் ஆண்டில் கணிதவாயிலாகக் காண்பித்தார். ஒளி அலைகள் மின், காந்தப் புலன்களின் ஏற்படும் மாறுதல்களால் உண்டாகின்றன என்றும், அவற்றின் அலைவு அவை செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தாக உள்ளனவென்றும் விளக்கினார். இம்மின் காந்த அலைகளை (Electromagnetic waves) 1887 ஆம் ஆண்டில், ஹெர்ட்ஸ் (Hertg) என்ற ஜெர்மன் விஞ்ஞானி கண்டுபிடித்தார். இவைகளே ரேடியோவில் வெகுவாகப் பயன்படுகின்றன. மேலும், நடந்த ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக, ஒளி, வெப்பம், ரேடியோ அலைகள் அனைத்தும் மின்காந்த அலைகளே என்பதும், அவற்றின் அலை நீளங்கள் மட்டுமே வித்தியாசமானவை, ஏனைய தன்மைகள் அனைத்தும் ஒன்றுனவை என்பதும் வெளியாயின.

வெப்பக்கதிர்வீச்சு: ஒரு பொருளைச் சூடேற்றி ஒரே வெப்பநிலையிலேயே வைத்திருந்தாலானால், அதிலிருந்து வெப்பம் கதிர் வீச்சாக வீசப்படுவதை அருகிலிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம். பொருளின் வெப்பநிலை மாறுமலிருப்பதால், அதிலிருந்து வெளி வீசப்படும் வெப்ப ஆற்றலின் அளவும், கிரகிக்கப்படும் வெப்பத்தின் அளவும் சமம் என்பது வெளிப்படை. அத்துடன் ஒரு பொருளுக்குப் பிரதிபலிக்கும் சக்தியே இல்லையென்று வைத்துக்கொண்டால், அதன்மீது விழும் கதிர்கள் அனைத்தும் உட்கவரப்பட்டுவிடும்; ஆகவே, அது கடுமையாகத் தென்படும்.

அதிலிருந்து வெளிவீசப்படும் கதிர் வீச்சுக்குக் 'கரும் பொருள் கதிர் வீச்சு' (black body Radiation) என்று பெயர். தன் மீது விழும் எல்லாக் கதிர்களை உட்கவரும் 'கரும் பொருள்' (black body) ஓர் இலட்சியக்கதிர் வீச்சு மூலம் என்பது வெளிப்படை.

இத் தன்மை வாய்ந்த முழுக்கரும் பொருளை அனுபவத்தில் கண்டுபிடிப்பது இயலாத காரியம். ஆனால், ஒரு காலிப் பெட்டியை எடுத்து, அதில் ஒரு சிறிய துவாரம் உண்டுபண்ணினால், அத் துவாரத்தின் வழியே உட் செல்லும் கதிர் உள்ளே அங்குமிங்கும் பிரதிபலிக்கப்படுவதால், அது வெளியேவர இயலாது; அதாவது முழுவதும் உட்கவரப் பட்டுவிடுகிறது. ஆகவே, இத் தகைய பெட்டியிலிருந்து வெளிவரும் கதிர் வீச்சு 'கரும் பொருள் கதிர் வீச்சு' எனப்படுகிறது.

இத்தகைய 'கரும் பொருளைச்' சூடேற்றி வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் வைத்து, அதிலிருந்து வெளிவரும் மொத்த வெப்ப ஆற்றலைத் திருத்தமாக அளந்து, 1884ஆம் ஆண்டில் ஸ்டீபனும் (Stefan) போல்ட்ஸ்மனும் (Boltmann) ஒரு முக்கியமான விதியைக் கண்டுபிடித்தனர். அதாவது 'ஒரு கரும் பொருளின் ஒரு சதுர செ.மீ.லிருந்து ஒரு வினாடியில் வெளிவிடப்படும் வெப்பத்தின் மொத்த அளவு, அப் பொருளின் வெப்ப நிலையின் நான்காம் படிக்கு (4th Power) நேர்விகிதத்திலுள்ளது' என்று கண்டுபிடித்தனர். இதற்கு 'ஸ்டீபனின் நான்காம் படி விதி' (Stefan's fourth Power Law) என்று பெயர்.

கரும் பொருளின் வெப்பநிலை T^0K, என்றும் அதன் ஒரு சதுர செ. மீ. பரப்பிலிருந்து ஒரு வினாடியில் வெளிவீசப்படும் வெப்ப ஆறறல் R என்றும் வைத்துக் கொண்டால்,

$$R = \sigma T^4$$

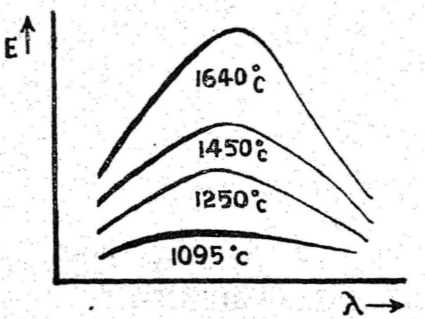
இதில், σ என்பது 'ஸ்டீபனின் மாறிலி' (Stefan's Constant) எனப்படும். இச் சமன்பாட்டின் உண்மை பல சோதனைகளின் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது.

($\sigma = 5.67 \times 10^{-12}$ வாட்/செ. மீ.^{2} $K^{04} = 1.374 \times 10^{-12}$ கேலரி/செ.மீ^{2}/செக்k^4)

வியனின் பெயர்ச்சிவிதி (Wien's Displacement Law): ஒரு கரும் பொருளிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சில் கணக்கற்ற அலை நீளக் கதிர்கள் உள்ளன. கொடுக்கப்பட்ட ஒரு வெப்ப நிலையில் எந்த அலை நீளக்கதிர் அதிகமான அளவில் வீசப்படுகிறது என்பதை வியன் என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானி 1893 ஆம் ஆண்டில்

கணித முறையில் ஆராய்ந்து, $\lambda_m T$ = மாறிலி, என்ற சமன்பாட்டைக் கண்டுபிடித்தார். இதில் λ_m என்பது அதிக அளவில் வீசப்படும் கதிரின் அலை நீளத்தையும், T என்பது கதிர் வீசும் கரும் பொருளின் வெப்ப நிலையையும் குறிக்கும். இதற்கு 'வியனின் பெயர்ச்சி விதி' என்று பெயர். அதாவது, வெப்பநிலை அதிகமாக ஆக, பெரும் அளவு கதிர் வீச்சின் அலை நீளம் குறைந்து செல்கிறது.

இதன் உண்மையை லம்மர் (Lummer), ப்ரிங்ஷீம் (Pringsheim) என்ற இரு விஞ்ஞானிகள் 1893 முதல் 1897 வரை நடத்திய ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் நிரூபித்தனர். ஒரு கரும் பொருளை வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் வைத்து, அதிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சை



படம் 11. கரும்பொருள் கதிர்வீச்சில் ஆற்றல்-அலைநீளத் தொடர்பு

ஒரு ஃப்ளோர்ஸ்பார் (Fluorspar) பட்டகத்தினூடே செலுத்தி அலைகளைப் பிரித்து, அவற்றின் செறிவைத் தனித்தனியே அளந்தனர். அவர்களது ஆராய்ச்சிகளின் முடிவு 11 ஆம் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளது. பொருளின் வெப்பநிலை அதிகமாகையில் பெரும் அளவு கதிர் வீச்சின் அலை நீளம் குறைந்து வருவது தெரிய வருகிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒரு கரும் பொருளிலிருந்து வெளிவரும் மொத்த ஆற்றலின் அளவு, அவ்வெப்ப நிலையின் வரைபடத்திற்கும் x- அச்சிற்குமிடையே உள்ள பரப்பால் தரப்படுகிறது. 1 ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்ட வரைபடங்களின் பரப்பு வெப்பநிலைகளின் நான்காம் படிக்கு நேர் விகிதத்தில் அதிகரித்துச் செல்வதால், ஸ்டீபனின் நான்காம் படி விதியும் நிரூபிக்கப்படுகிறது.

கரும்பொருள் கதிர் வீச்சின் வாய்பாடுகள்: வியன் தனது பெயர்ச்சி விதியையும் ஸ்டீபனின் நான்காம் படி விதியையும் கொண்டு, ஒரு சரும் பொருளிலிருந்து வரும் ஒரு குறிக்கப்பட்ட அலை நீளத்தின் கதிர் வீச்சின் மொத்த ஆற்றல் என்ன என்பதைக் கீழ்க்கண்ட சமன் பாட்டால் குறிப்பிட்டார்.

$$E_\lambda = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

இதில், $E\lambda$ என்பது λ என்ற அலைநீளமுடைய கதிர் வீச்சில் உள்ள மொத்த ஆற்றல்; C_1, C_2 என்பன மாறிலிகள்; T வெப்ப நிலை (கெல்வின் அளவையில்).

இச் சமன்பாடு குறுகிய அலை நீளக்கதிர் வீச்சிற்கு உண்மையென்றும், நீண்ட அலைக்கதிர் வீச்சிற்கு இச் சமன்பாடு பயன்படாதென்றும், லம்மர்—ப்ரிங்ஷீமின் ஆராய்ச்சிகள் காண்பித்துள்ளன.

ராலே (Rayleigh) யும் ஜீன்சும் (Jeans) கணிதவாயிலாகக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைக் கண்டுபிடித்தனர்:

$$E_\lambda = \frac{8\pi RT}{\lambda 4}$$

இதில் k என்பது போல்ட்ஸ்மானின் மாறிலி (Boltzmanis Constant) இதன் அளவு $k = 1{\cdot}381 \times 10^{-16}$ எர்குடிகிரி.

இச் சமன்பாடு, நீண்ட அலைக்கதிர் வீச்சிற்கு ஏற்றதாயும், குறுகிய அலைக்கதிர் வீச்சிற்குப் பயனற்றதாயும் உள்ளதென ஆராய்ச்சிகள் காண்பிக்கின்றன.

பிளாங்கின் குவாண்டம் கொள்கை (Planck's Quantum Theory)

மேற்கண்ட சமன்பாடுகள் சரியான முறையிலேயே விருவிக்கப்பட்டதெனினும் அவைகளும் பொருளின் கதிர் வீச்சைச் சரியாக விளக்காததன் காரணமென்ன என்பதை மாக்ஸ் பிளாங்க் (Maxplanck) ஆராய்ந்து பார்த்தார். வியன், ராலே, ஜீன்ஸ் முதலியோர் கதிர் வீச்சைக் குறித்த பழங்கொள்கையைக் கொண்டே தமது முடிவுகளை வருவித்தனர்; ஆகவே, அக கொள்கைகளிலேயே குறை இருக்கலாமென்று பிளாங்க் முடிவு கட்டினார். அதாவது, பழங்கொள்கையின்படி, கதிர் வீசு அலைவடிவமாகத் தொடர்ந்து இராமல், தனித்தனியான சிறுசிறு ஆற்றல் துணுக்குகளாக வருகின்றது என ஊகித்தார். இதுவே, அவரது குவாண்டம் கொள்கை. இவ்வாற்றல் துணுக்குகளுக்குக்

'குவாண்டம்' (energy Quantum) என்று பெயர். ஒரு பொருளிலிருந்து ஆற்றல் வெளிவிடப்படும் பொழுது தொடர்ச்சியாக வெளிவிடப்படுவதில்லை. துணுக்குகளாகவே வெளிவிடப்படுகிறது என்றும் அவ்வாற்றல் துணுக்கின் அளவு,

$$\varepsilon = h\nu$$

என்றும் ஊகித்தார். இதில் ε என்பது ஆற்றல் துணுக்கின் அளவு; ε என்பது கதிர்வீச்சின் அலைவு எண் (Frequency); ε என்பது ஒரு பொதுவான மாறிலி; இதற்குப் பிளாங்கின் மாறிலி (Planck's constant) என்று பெயர்.

$$h = \frac{\text{ஆற்றல்}}{\text{அலைவு எண்}} = \text{ஆற்றல்} \times \text{அலைவு நேரம்},$$

பிளாங்கின் மாறிலியின் அளவு $h = 6{\cdot}625 + 10^{-27}$ எர்கு—வினாடி.

கதிர் வீச்சு ஒளியின் வேகத்தில் (c) பரப்பப்படுவதால், ஆற்றல் குவாண்டம் $\varepsilon = hr = \frac{hc}{\lambda}$. ($\lambda$, கதிரின் அலைநீளம்)

தமது குவாண்டம் கொள்கையை அடிப்படையாகக்கொண்டு, பிளாங்க்கதிர் வீச்சை விளக்கினார். T என்ற வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு கரும் பொருள் λ என்ற அலை நீளத்தில் வெளிவிடும் ஆற்றல், கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது.

$$E\lambda = \frac{8\pi ch}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{(ehc/\lambda kT) - 1}$$

இதில் c ஒளியின் வேகம்; h பிளாங்கின் மாறிலி; k போல்ட்ஸ்மானின் மாறிலி. கரும் பொருளின் வெப்பநிலை (T) அதிகமோ, குறைவோ, கதிர் வீச்சின் அலைநீளம் (λ) அதிகமோ, குறைவோ, எல்லாச் சந்தர்ப்பங்களிலும் இச் சமன்பாடு ஆற்றலின் அளவை வெகுதிருத்தமாகத் தருகிறது என்று ஆராய்ச்சிகள் நிரூபித்துள்ளன. ஆகவே, பிளாங்கின் குவாண்டம் கொள்கை உண்மையானது என்று நிரூபிக்கப்படுகிறது.

குவாண்டம் கொள்கையின் பிரயோகங்கள் — ∴ போட்டான்கள்
(Applications of Quantum Theory — Photons)

பிளாங்க்புகுத்திய குவாண்டம்கொள்கை மிகப்புரட்சிகமான படியால் எவரும் அதை உடனே ஏற்றுக்கொள்ள முன்வரவில்லை. இதை முதன் முதலாக ஏற்று, விஞ்ஞானப் புதிர்களைச் சிக்கலறுப்பதற்கு அதைப்பயன்படுத்தியவர், விஞ்ஞானி ஐன்ஸ்டைனுவர். அவர் 1805 ஆம் ஆண்டில் இக் குவாண்டம் கொள்கையை ஒளிமின் விளைவிற்குப் பயன்படுத்தி, அதன் பல சிக்க

லான முடிவுகளைத் தெளிவாக விளக்கினார். பின்பு 1907 ஆம் ஆண்டில இக் கொள்கையைப் பொருட்களின் வெப்ப எண் பிரச்சனைக்குப் பயன்படுத்திச் சிறந்த வெற்றி கண்டார்.

1913 ஆம் ஆண்டில் நீல்ஸ்போர் (Niels Bohr) என்ற டேனிஷ் விஞ்ஞானி, இக் கொள்கையை அணு அமைப்பின் சிக்கலை அறுப்பதற்குப் பயன்படுத்தியதன் விளைவாக, அமோகமான வெற்றி எய்தினார்; அணுவின் அமைப்பு நமது சூரிய மண்டலத்தைப் போன்றதென்றும், நடுவிலுள்ள அணுக்கருவைச் சுற்றிப் பல்வேறு சுற்றுப்பாதைகளில் எலக்ட்ரான்கள் பாய்ந்து செல்கின்றனவென்றும், ஒரு சுற்றுப்பாதையிலிருந்து வேறொரு சுற்றுப் பாதைக்கு எலட்ரான் தாவும்பொழுது, சுற்றுப்பாதைகளின் ஆற்றல் வித்தியாசம் ஓர் ஆற்றல் குவாண்டமாக ($E_1 - E_2 = h\nu$) வெளிவிடப்படுகிற தென்றும் கூறி, அணுநிறமாலை உண்டாகும் விதத்தையும் விளக்கினார். 1922 ஆம் ஆண்டில், காம்ப்டன் இக் கொள்கையைக்கொண்டு, தாம் கண்டுபிடித்த காம்டன் விளைவைக் கணிதவாயிலாக விளக்கிக் காட்டினார். ராமன் விளைவும் குவாண்டம் கொள்கை கொண்டே விளக்கப்பட்டது. எங்கெல்லாம் அணுக்களுக்கும் கதிர்வீச்சுக்குமிடையே வினையாக்கம் ஏற்படுகிறதோ அங்கெல்லாம் குவாண்டம் கொள்கை பிரயோகிக்கப்படுகிறது.

சிறப்பாக, ஒளிமின் விளைவை விளக்குவதற்காக ஐன்ஸ்டைன் 'ஒளித்துணுக்கு' என்ற ஃபோட்டான் (Photon) கொள்கையைப் புகுத்தினார். ஒளி ஒருமூலத்திலிருந்து வெளிச் செல்லும் பொழுது, அது சிறுசிறு துணுக்கு வடிவமாகவே செல்கிறது; அலைவடிவமாகத் தொடர்ந்து விரிந்தவண்ணம் செல்வதில்லை என்று கூறினார். ஒளியின் அலை நீளம் λ என்றால், அதன் அலைவு எண் $\gamma = \frac{c}{\lambda}$; அந்த ஒளித் துணுக்கின் (ஃபோட்டானின்) ஆற்றல் $h\nu$ ஆகும். எவ்வளவு தூரம் சென்றாலும், ஃபோட்டானின் ஆற்றல் குறையாது. (ஆற்றல் குறைந்தால் γ குறையும்; ஒளியின் நிறம் மாறிவிடும். ஆனால், சிவப்பு ஒளி எவ்வளவு தூரம் சென்றாலும் சிவப்பு நிறமாகவே உள்ளது என்பது நாம் அறிந்ததே). ஒளிக் கற்றையின் செறிவு (Intensity) என்பது, அக் கற்றையின் ஒரு சதுர செ.மீ. குறுக்களவில் எத்தனை ஃபோட்டான்கள் உள்ளன என்பதைப் பொறுத்துள்ளது; ஒளியின் ஆற்றலுக்கும், அதன் செறிவுக்கும் ஒரு சம்பந்தமுமில்லை என்பது போன்ற பல முக்கியமான கொள்கைகளை வெளியிட்டார். இவை பழைய கொள்கைகளுக்கு முற்றிலும்

வேறுபட்டவை என்பது வெளிப்படை. உதாரணமாக, கதிர் வீச்சு அலைகளாகக் கருதப்பட்ட பழங் கொள்கையின்படி, ஒளியின் ஆற்றல் அதன் அலையின் செறிவைப் பொருத்துள்ளது.

ஒளிமின் விளைவில், ஒளி ஒரு பொருளின்மீது விழும் பொழுது, அப் பொருளின் அணுக்களால் கிரகிக்கப்படுகிறது. ஆற்றல் பெற்ற அணுவிலுள்ள ஒரு எலக்ட்ரான் அவ்வாற்றலை ஏற்று அணுவை விட்டு வெளியேறுகிறது. இக் கிரியை நடக்கும் விதத்தை ஒளியின் அலைக் கொள்கையைக் கொண்டு விளக்க முடியாது. விரிந்து செல்லும் அலையை ஓர் அணு விழுங்க முடியாது. ஆனால், ஒளி ∴போட்டான் என்னும் துணுக்கு வடிவமாகச் சென்றால், அது ஓர் அணுவுடன் மோதிக் கிரகிக்கப்பட வழியுண்டு. ∴போட்டானின் ஆற்றல் ($h\nu$) முழுவதும் உட்கவரப்பட்டு உள்ளேயிருக்கும் எலக்ட்ரானுக்கு மாற்றப்படுவதால், எலக்ட்ரான் $h\nu$ என்றவேக ஆற்றலுடன் வெளியேறுகிறது. வெளியேறுகையில் கவர்ச்சி விசைகளுக்கு எதிராகச் சிறிது ஆற்றல் செலவாகிறது (w). எஞ்சியுள்ள ஆற்றலுடன் செல்லும் ஒளிமின் எலக்ட்ரானின் வேக ஆற்றலை அளந்து, $\frac{1}{2} mv^2 = h\nu - w$ என்று நிரூபித்துள்ளனர். ஆகவே, குவாண்டம் கொள்கையே இதற்கு அமையமானது என்பது விளங்கும்.

இவ்வத்தியாயத்தின் துவக்கத்தில் ஒளியின் துகள் கொள்கை, அலைக் கொள்கை இவற்றைப் பற்றிக் குறிப்பிட்டு ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு, விளிம்பு விளைவு ஆகிய பல முக்கியமான சோதனைகள் ஒளியின் அலைத் தன்மையை எடுத்துக்காட்டுகின்றன என்று பார்த்தோம். ஒளி பொருட்களிலிருந்து வெளியேறும் பொழுதும், பொருட்களால் உட்கிரகிக்கப் படும் பொழுதும் துணுக்கு வடிவமாக விளைபுரிகின்றது என்று இப்பொழுது அறிகிறோம். ஆகவே, ஒளிக்கு முற்றிலும் வேறுபட்ட இரு தன்மைகளும் உண்டு என்ற விசித்திரமான முடிவுக்கு நாம் வரவேண்டியவர்களாகிறோம். ஒளிமின் விளைவைக் குறித்துச் சற்று விவரமாக அடுத்த அத்தியாயத்தில் பார்ப்போம்.

உதாரணங்கள்

1. சூரியனிலிருந்து ஒவ்வொரு நிமிஷமும் பூமியின் ஒவ்வொரு சதுர செ.மீ. பரப்பின்மீது விழும் வெப்ப ஆற்றல் 1.948 கேலரிகள் என்றால், சூரியனது மேற்பரப்பின் வெப்பநிலை என்ன?

(பூமிக்கும் சூரியனுக்குமிடையே உள்ள தூரம் = 9·3 கோடி மைல்கள்

சூரியனின் ஆரம் = 4,32,990 மைல்கள்

ஸ்டீபனின் மாறிலி = $1{\cdot}374 \times 10^{-12}$ கேலரி/செ.மீ.^{2}/வினாடி)

சூரியனின் மேற்பரப்பின் ஒவ்வொரு செ. மீ. லிருந்து ஒவ்வொரு வினாடியும் R கேலரி வெப்ப ஆற்றல் வெளிவீசப் படுகிறதென்றும், சூரியனது மேற்பரப்பின் வெப்பநிலை $T^\circ k$ என்றும் கொண்டால், ஸ்டீபனின் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$R = \sigma \times T^4$$

என்று அறிவோம். σ ஸ்டீபனின் மாறிலி.

சூரியனைச் சுற்றி 9·3 கோடி மைல் ஆரமுடைய ஒரு கோளம் வரைந்தால், அதன் ஒவ்வொரு சதுர செ.மீ. மீதும் ஒரு நிமிஷத்திற்கு 1·948 கேலரிகள் சூரியனிலிருந்து கிடைக்கின்றன என்று தரப்பட்டுள்ளது.

ஆகவே, சூரியனிலிருந்து வெளிவீசப்படும் கதிர் வீச்சின் மொத்த அளவு $= 4 \times \pi \times (9{\cdot}3 \times 10^7 \times 5280 \times 30)^2 \times \frac{1.}{60}$ கேலரி/வினாடி.

இந்த மொத்த ஆற்றல் சூரியனின் பரப்பு முழுவதிலிருந்து வெளிவீசப்படுகிறது;

ஆகவே, சூரியனது பரப்பின் ஒரு சதுர செ.மீ. லிருந்து வெளிவீசப்படும் ஆற்றல்,

$$= \frac{4\pi[9{\cdot}3 \times 10^7 \times 5280 \times 30]^2 \times}{4\pi[432990 \times 5280 \times 30]^2} \times \frac{1.948}{60}$$

கேலரி/வினாடி

$$= \sigma T^4 = 1{\cdot}374 \times 10^{-12} \times T^4$$

$$\therefore \quad T = \left[\frac{(9{\cdot}3 \times 10^7)^2}{(432990)^2} \times \frac{1.948}{60} \times \frac{1}{1{\cdot}374 \times 10^{-12}}\right]^{\frac{1}{4}} = 5745^\circ k$$

சூரியனது மேற்பரப்பின் வெப்பநிலை $= 5745^\circ k$

2. 6000 AU அலை நீளமுடைய மஞ்சள் ஒளியின் ஒர்எர்கு ஆற்றலில் எத்தனை ஃபோட்டான்கள் உள்ளன? ($h = 6{\cdot}622 \times 10^{-27}$ எர்கு வினாடி; $c = 3 \times 10^{10}$ செ. மீ. வினாடி)

ஒரு ஃபோட்டானின் ஆற்றல் $= h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

$$= \frac{6.622\times10^{-27}\times3\times10^{10}}{6000\times10^{-8}} = \frac{6.622}{2}\times10^{-12} \text{ எர்கு}$$

$$= 3.311\times10^{-12} \text{ எர்கு}$$

ஆகவே ஒரு எர்கில் உள்ள ∴போட்டான்கள்

$$= \frac{1}{3.311\times10^{-12}} = 3\times10$$

அத்தியாயம் 4

வினாக்கள்

1. ஒளியைப் பற்றிய பழங் கொள்கைக்கும், புதிய கொள்கைக்குமுள்ள முக்கிய வேறுபாடுகள் யாவை? சோதனை வாயிலாக எக்கொள்கை எவ்வாறு மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது?

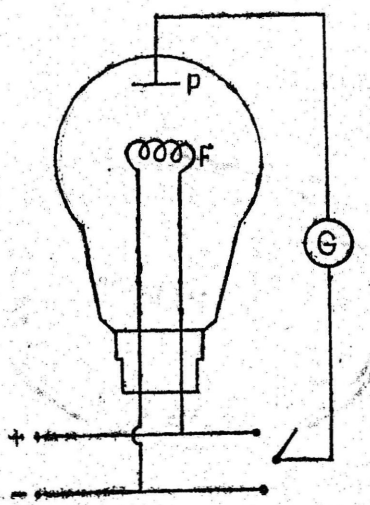
2. ஒரு காமாக்கதிரின் அலை நீளம் 0.01 AV என்றால் அதன் ∴போட்டானின் ஆற்றல் என்ன? [1.99×10⁻⁶ எர்கு]

3. ஒரு மேற் பரப்பிலிருந்து சிதறலாகிவரும் மஞ்சள் ஒளியின் திறன் குறைந்தது 6.7×10^{-6} எர்கு/செ.மீ./வினாடியாயிருந்தால்தான் அது கண்ணுக்குத் தென்படும். மஞ்சள் ஒளியின் அலைநீளம் 5890 AV என்றால், அப்பரப்பு கண்ணுக்குத் தென்படுவதற்குத் தேவைப்படும் ∴போட்டான்களின் எண்ணிக்கை என்ன? [1.98×10^{6}]

5. வெப்ப அயனி, ஒளி மின் விளைவுகள்

(Thermionic and Photoelectric Effects)

வெப்பமான பொருள்களிலிருந்து மின்னூட்டங்கள் வெளி விடப்படுவதே வெப்ப அயனி விளைவு (Thermionic effect) எனப் படும். பழுக்கக காய்ச்சிய உலோகங்களினருகே உள்ள காற்று மின் கடத்தியாகிறது என்பது வெகுகாலமாகவே தெரிந்த உண்மையாகும். 1882-லிருந்து 1889வரை எல்ஸ்டரும் கைட்டலும் (Elster and Geitel) பழுக்கச் சூடேற்றப்பட்ட உலோக இழையின் மின்னூட்டத்தைத் தூண்டித் துப் பல ஆராய்ச்சிகள் நடத்தினர். 1885 ஆம் ஆண்டில் தாமஸ் ஆல்வா எடிசன், தாம் புதிதாகக் கண்டுபிடித்த கார்பன் இழை மின்விளக்கினுள் P என்ற ஒர் உலோகத் தகட்டைப் பொருத்தி, கண்ணுடி பல்பிலுள்ள காற்றை முற்றிலும் வெளியேற்றினர். கார்பன் இழை வெண்சூடேற்றப் பட்டது. P-ஐ ஒரு கால்வனுமீட்டர் வழியாக சப்ளை பாட்டரியின் நேர்மின் வாயுடன் இணைத்த பொழுது, கால்வனுமீட்டரில் மின் னோட்டம் செல்வது தெரிந்தது. தகட்டை எதிர்மின் வாயுடன் இணைத்த பொழுது மின்னோட்ட மில்லை, இதிலிருந்து, சூடேற்றப் பட்ட இழையிலிருந்து எதிர் மின்னூட்டங்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன

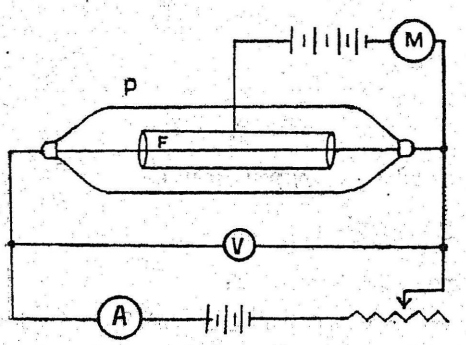


படம் 12. எடிசன் விளைவு

வென்றும், தகடு P நேர்மின்னூட்டம் அடைந்திருந்தால், அவை தகட்டிற்கு ஈர்க்கப்பட்டு மின்னேட்டம் விளைவிக்கிறதென்றும், P எதிர்வாயாக இருந்தால், மின்னேட்டம் விளைய வகையில்லை யென்றும் விளங்குகிறது. இது 'எடிசன் விளைவு' (Edison effect) எனப்படுகிறது, எடிசன் இவ் விளைவைத் தொடர்ந்து ஆராய வில்லை. சுமார் இருபதுஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் J.A. ஃபிளெமிங் இவ் விளைவைத் தொடர்ந்து பயன்படுத்தி ''ஃபிளெமிங் வால்வு'' சாதனத்தை உண்டு பண்ணினார். இதுவே வெப்ப அயனி வால்வு என்ற பெயருடன் ரேடியோத்துறையில் வெகுவாகப் பயன் பட்டது.

ரிச்சர்ட்ஸனின் சோதனைகள் (Richardson's Experiments)

பேராசிரியர் ரிச்சர்ட்சன், வெப்ப அயனி வெளியீடு எவ்வாறு வெளியேற்றியின் வெப்பநிலை, தன்மை, பரப்பளவு இவற்றையும்; செயல்படுத்தும் மின்னழுத்தம், சுற்றியுள்ள வாயுவின் தன்மை, அழுத்தம் இவற்றையும் பொறுத்துள்ளது என்பதை வெகு விவர



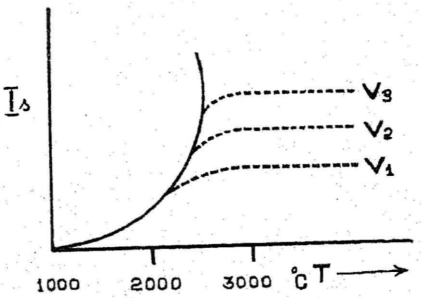
படப் 13. ரிச்சர்ட்ஸனின் உபகரணம்

மாகவே ஆராய்ந்தார். 13 ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள அவரது கருவியில் F என்ற சன்னமான கம்பி P என்ற உலோக நீள் உரு ளையின் அச்சாக வைக்கப்புட்டு, அவை இரண்டும் ஒரு கண்ணாடி பல்பால் மூடப்பட்டுள்ளன. அதிலுள்ள காற்றை வெளியேற் றவோ, அல்லது வேறு வாயுவால் நிரப்படபடவோ முடியும். கம்பியைச் சூடேற்றும் மின்னேட்டத்தை மாற்றி, கம்பியின் வெப்ப நிலையை மாற்றலாம். கம்பியினூடே பாயும் மின்னேட் டம், அதன் முனைகளின் மின்னழுத்த பேதம் இவற்றை (A, V என்ற கருவிகளால்) அளந்து, கம்பியின் மின்தடையைக் கணித்து அதன்மூலம் அதன் வெப்ப நிலையை அறியலாம்.

இன்னொரு பாட்டரியின் உதவியால் கம்பிக்கும் உருளைக்கும் இடையே மின்னழுத்த பேதம் உண்டுபண்ணி, அவற்றி

னிடையே பாயும் மின்னோட்டத்தை M என்ற மில்லி அம் மீட்டர் கொண்டு அளக்கலாம்.

கம்பியைச் சூடேற்றி, பல்பின் காற்றை வெளிப்படுத்தி P-க்கு நேர் மின்னூட்டம் கொடுத்தால், மில்லி அம் மீட்டரில் மின்னோட்



படம் 14. T-Is வரைப்படம்

டம் ஒடுவது தென்பட்டது. P-கு எதிர்மின்னூட்டமளித்தால் M-ல் மின்னோட்டமில்லை. ஆகவே வெப்ப அயனிகள் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றவை என்பது வெளிப்படை. அவற்றின் $\frac{e}{m}$ அளவைக் கணித்து, அவை எலக்ட்ரான்களே என்பதையும் ரிச்சர்ட்ஸன் நிரூபித்தார்.

வெப்பமின் விளைவும் வெப்பநிலையும்;

உருளை P-ஐ ஒரு குறிப்பிட்ட நேர்மின்னழுத்தத்தில் (Vp) வைத்து, கம்பியின் வெப்பநிலை சிறிது சிறிதாக உயர்த்தப்படுகிறது. தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளில் மின்னோட்டம் ஒன்றுமில்லை. சுமார் 1000°c வெப்பநிலையானதும், மில்லி அம் மீட்டரில் சிறிது மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. வெப்பநிலை உயர உயர மின்னோட்டம் வெகு விரைவில் உயருகிறது.

ஆனால், சிறிது உயர்ந்த பின்னர் ஒரு மட்டநிலையை அடைந்துவிடுகிறது. இதற்கு தெவிட்டிய மின்னோட்டம் (Saturation Current Is) என்று பெயர். செயல்படும் மின்னழுத்தம் இதற்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான்களை ஈர்க்கச்சக்தியற்றுள்ளது. எலக்ட்ரான்கள் கம்பியைச்சுற்றி ஈக்கள்போல் மொய்த்து மேற்கொண்டு எலக்ட்ரான்கள் உருளைக்குச் செல்லாதபடி தடுத்துவிடுகின்றன. இதற்கு 'இடமின்னூட்டத் தெவிட்டம்' (Space charge saturation) என்று பெயர். உருளைத் தகட்டின் மின்னழுத்தத்தை $\sqrt{2}$ ஆக உயர்த்தினால், மின்னோட்டம் இன்னும்

அதிகரித்து. மட்ட நிலையை அடைகிறது. தேவையான அளவு மின்னழுத்தம் தகட்டிற்குக் கொடுக்கப்பட்டால், உண்டாகும் எலக்ட்ரான்கள் அனைத்தும் ஈர்க்கப்பட்டுவிடும். மின்னோட்டம் தொடர்ச்சிவரை படத்தில் கண்டதுபோல் விரைவில் உயரும்.

இம் மின்னோட்டத்திற்சம் வெப்பநிலைக்குமுள்ள தொடர்பை ரிச்சர்ட்ஸன் கணிதமுறையில் கண்டுபிடித்தார்:

$$I = AT^2\varepsilon^{-e\phi/RT}$$

இதில் I என்பது மின்னோட்டம் : T = தனி வெப்ப நிலை யளவை; R போல்ட்ஸ்மானின் மாறிலி A,ϕ என்பவை கம்பியைச் சார்ந்த மாறிலிகள். இதற்கு ரிச்சர்ட்ஸனின் 'T^2 = வாய்பாடு' என்று பெயர்.

இச் சமன்பாட்டை ரிச்சர்ட்சன் வெப்ப இயக்கக் கொள்கை (Thermodynamical Principles) களின் உதவியால் வெகு சிக்கலான முறையில் வருவித்தார், இதை வருவிக்கும் முறையை அறிந்துகொள்ளவேண்டிய அவசியமில்லாமலே, இச் சமன்பாட்டை விளங்கிக்கொள்ளலாம். இதில் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் e வருவதால், நேப்பியரின் அடிமட்டம் (Naperion base) ε ('எப்சைலன்') என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

டேவிஸன், ஜெர்மர், ஷலிக்டர் முதலியோரின் ஆராய்ச்சி களின்படி, வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் I என்ற மின்னோட்டத்தை அளந்து, இச் சமன்பாடு மெய்ப்பிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால், இந்த உச்ச வெப்பநிலைகளைத் திருத்தமாக அளப்பது கடினமாகையால், சிறிது சந்தேகத்திற்கும் இடமுண்டு. அத்துடன் சமன்பாட்டின் கடைசி எண் ($\varepsilon^{-e\phi/RT}$) அதிவிரைவில் மாறுவதால், T^2 என்பது சரிதானுஎன்பதைக் குறித்தும் சந்தேகம் ஏற்படுகிறது.

இச் சமன்பாட்டில் ($e\phi$) என்பது ஆற்றலைக் குறிக்கும். ஆகவே, ϕக்கு 'ஆற்றல் எண்' (work function) என்று பெயர். அதாவது, ஓர் உலோகத்தின் மேற்பரப்பிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் விடுபட்டு வெளியேறுவதற்குத் தேவையான ஆற்றல் $e\phi$ ஆகும். ϕ வோல்டுகளில் அளக்கப்படும் இதன் அளவு, வெவ்வேறு உலோகங்களுக்குச் சாதாரணமாக 2 முதல் 6 வோல்டு வரை இருக்கும். ϕ இன் அளவைக் கண்டுபிடிப்பது சுலபம். வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில (T) மின்னோட்டத்தை (I) அளந்து $\log (I/T^2)$-ஐயும் $\left(\frac{1}{T}\right)$ ஐயும் ஒரு வரை படத்தில் வரைந்தால் ஒரு

நேர்கோடு கிடைக்கும். ஏனென்றால் ரிச்சர்ட்ஸனின் சமன் பாட்டிலிருந்து,

$$\log (I/T^2) = \log A - \frac{e\phi}{k} \cdot \frac{1}{T}$$

இங்கோர் கோட்டின் சாய்வு (slope) ($-e\phi/k$) ஆகும். இதிலிருந்து ϕ-ஐக் கணிக்கலாம்.

குளிர் நிலை அயனி வெளியீடு (Cold emission)

ஒரு இழையினருகில் ஒரு உலோகத்தகட்டை வைத்து, அதிக அளவு நேர்மின்னழுத்தம் கொடுத்தால், ஒரு புதிய இயக்கம் ஆரம்பிக்கிறது. பெருமளவு உயர்ந்த மின்புலத்தால் இழுக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள், இழையின் வெப்பநிலை குறைவாக இருக்கும் பொழுதே மின் புலத்தால் இழுக்கப்பட்டு வெளியேறி விடுகின்றன. இதற்கு "குளிர் நிலை அயனி வெளியீடு" என்று பெயர். ஆனால் மின்புலம் 100,000 வோல்டு/செ.மீ.கு மேல் இருந்தால்தான் குளிர் வெளியீடு ஆரம்பிக்கும். ஆகையால் இவ்விளைவு செயல் முறையில் பயன்பட வழியில்லை. இவ்விளைவின் மின்னோட்டம்

$$I = a E^{2} e^{-b/E}$$

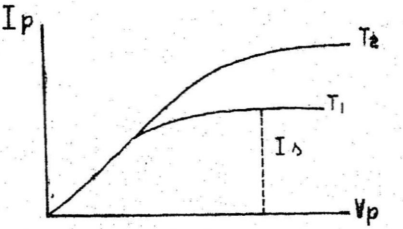
என்ற சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது. இதில் E மின்புலம்; a, b மாறிலிகள். இதில் வெப்ப நிலை வரவில்லை என்பது கவனிக்கத்தக்கது.

ஒரு மிகச் சன்னமான 10^{-6} செ.மீ. தடிப்பமுள்ள, குறைகடத்தியாகிய செப்பு ஆக்ஸைடு Cu_2O படியப்பட்டால், இப்படலத்தினூடே ஒரு சில வோல்டு மின்னழுத்தம் பிரயோகித்தாலும் குளிர் வெளியீடு ஏற்படும். ஒரு செப்புக் கம்பி வலையை வைத்து, அவற்றின்மீது ஒரு சில வோல்டு மின்னழுத்தம் கொடுத்தால், குளிர் வெளியீடு உண்டாகிறது. ஆனால் அடியிலுள்ள தடிப்பமான செப்புத் தகட்டில் அதிகமான எலக்ட்ரான்களும், மேலேயுள்ள Cu_2O படலத்தில் குறைவான எலக்ட்ரான்களும் உள்ளபடியால், மின்னோட்டம் ஒரு திசையில் அதிகமாகவும், மறுதிசையில் குறைவாகவும் செல்லும். ஆகையால் மாறுதிசை மின்னழுத்தம் பிரயோகிக்கப்பட்டால் இச்சாதனம் அதைச் சீராக்கி, ஒருதிசை மின்னோட்டம் ஏற்படுத்தும். இது மின்சாரவியல், ரேடியோத் துறைகளில் வெகுவாகப் பயன்படுகின்றது.

வெப்ப அயனி வெளியீடும் செயல்படும் மின்னழுத்தமும்

கம்பியின் வெப்ப நிலையை மாறாமல் வைத்துக்கொண்டு தகட்டின் மின்னழுத்தத்தை உயர்த்தினால் மின்னோட்டம் I_p

உயர்ந்து சென்று, ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் நின்று விடுகிறது. வெளிபிடப்படும் எலக்ட்ரான்கள் அத்தனையும் தகட்டிற்கு ஈர்த்து விடப்படுவதால் அதற்கு மேல் மின்னோட்டம் ஏறவழி யில்லை. மின்னழுத்தம் அதிகரித்தால், அதே எண்ணிக்கை யான எலக்ட்ரான்கள் இன்னும் அதிக வேகத்துடன் சென்று தகட்டின்மீது மோதும்; அவ்வளவுதான். கம்பியின் வெப்ப நிலையை T_2 ஆக அதிகரித்தால், இன்னும் உயரச் செல்லும் மின்னோட்டம்.



படம் 15. V_p—I_p வரைபடம்

செயல் முறையில், இந்தத் தெவிட்டிய மின்னோட்ட நிலை ஒன்றுக்கும் பயன்படுவதில்லை.

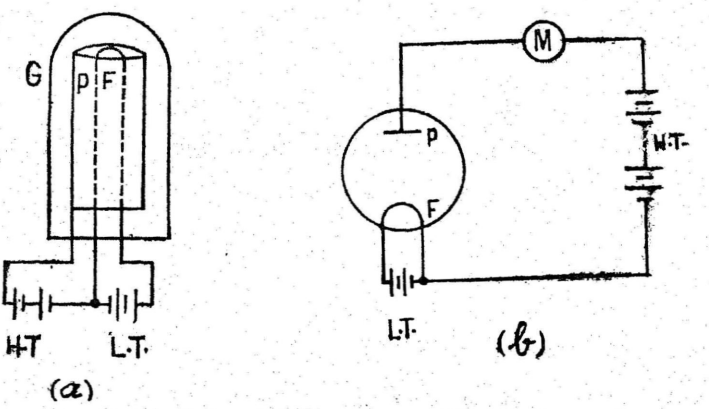
வெப்ப அயனி வெளியீடும் வெளியேற்றியின் தன்மையும்: கம்பி டங்ஸ்டன், பிளாட்டினம் முதலிய உலோகங்களாயிருந்தால், தேவையான அளவு எலக்ட்ரான்களைப்பெற கம்பியின் வெப்பநிலை சுமார் 2000°C க்கு உயர்த்தப்பட வேண்டும். ஆனால் அக் கம்பிகளின் மீது கேல்ஷியம், பேரியம், ஸ்ட்ரான்ஷியம் இவற்றின் ஆக்ஸைடுகளைத் தடவினால், சுமார் 750°C, 800°C வெப்ப நிலையிலேயே பெருமளவு எலக்ட்ரான்கள் வெளி விடப்படுகின்றன. பாட்டரி சக்தி மிகக்குறைந்த அளவிலே செலவழிக்கப்படுகிறது. தற்காலத்தில் ரேடியோ ஏற்பிகளில் உபயோகிக்கப்படும் 'வால்வுகள்' யாவிலும் இவ்வித ஆக்ஸைடு தடவப்பெற்ற கம்பிகளே உள்ளன.

டையோடு வால்வு (Diode Valve)

J.A. ஃப்ளெமிங் என்ற ஆங்கில விஞ்ஞானி இம் முதலாம் வெப்ப அயனி வால்வை நிர்மாணித்தார். இதை முதலில் ஃப்ளெமிங் வால்வு என்று குறிப்பிட்டனரென்றாலும், தற்சமயம் இதற்கு டையோடு வால்வு என்ற பெயரே நிலைத்து விட்டது. 'டையோடு' என்றால் இரு மின் வாய்களையுடையது என்பது பொருள். இச் சாதனத்தில் F என்ற கம்பியும் அதைச் சுற்றி P என்ற உலோகத் தகடும் G என்ற கண்ணாடி பல்பினுள்

பொருத்தி வைக்கப்பட்டுள்ளன. (படம் 16 (a)). L.T. என்ற சிறு பாட்டரி கொண்டு F பழுக்கச் சூடேற்றப்படுகிறது. கம்பிக்குழம தகட்டிற்குமிடையே H.T. என்ற பல பாட்டரிகள் கொண்டு அதிக மின்னழுத்தம் பிரயோகிக்கப்படுகிறது (L.T.=Low Tension: குறைந்த மின்னழுத்தம; H.T.=High Tension = அதிக மின்னழுத்தம்) கம்பியைச் சூடேற்ற 6 வோல்டு பாட்டரியும், தகட்டிற்கு நேர் மின்னூட்டம் தர 100-250 வோல்டு பாட்டரியும் தேவைப்படும்.

படம் 16 (*a*) வால்வின் உண்மையான வடிவைக் காட்டுகிறது. ஆனால், இதைப் படத்தில் (*b*) யில் காட்டியபடி வரைவது வழக்கம்.



படம் 16 டையோடு வால்வு

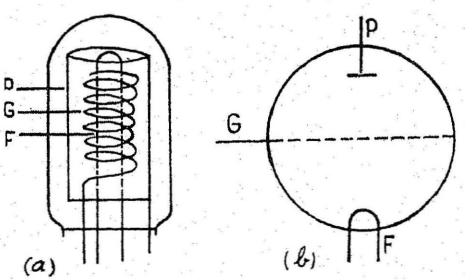
கம்பி பழுக்கச் சூடேற்றப்படுவதால் அதிலிருந்து பெருவாரியான எலக்ட்ரான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன, கம்பியைச் சுற்றியுள்ள தகடு நேர் மின்னூட்டம் பெற்றிருப்பதால் எலக்ட்ரான்கள் அதை நோக்கி ஈர்க்கப்படுகின்றன. இதன் விளைவாக M என்ற மில்லி அம் மீட்டரில் மின்னோட்டம் காண்பிக்கப்படுகிறது. தகட்டிற்கு எதிர் மின்னூட்டம் கொடுத்தால் அதனிடம் எலக்ட்ரான்கள் ஈர்க்கப்படுவதில்லை. M சுற்றில் மின்னோட்டமும் உண்டாவதில்லை. பம்புகளில் நீரையோ காற்றையோ ஒரு திசையில் மட்டும் செல்லவிடுத்து, எதிர்த் திசையில் செல்லவிடாமல் தடுக்கும் சாதனத்திற்கு 'வால்வு' என்று பெயர். ஆகவே இச் சாதனத்திற்கும் 'டையோடு வால்வு' எனப் பெயர் வழங்குகிறது.

உயர் அழுத்த H.T. பாட்டரிக்குப் பதிலாக அவ்விடத்தில் மாறுதிசை மின்னழுத்தம் (A. C. Voltage) கொடுத்தால்

தகட்டின் மின்னூட்டம் A.C. மின்னழுத்தத்திற்கேற்ப நேர் எதிராக மாறும். தகடு நேர் மின்னூட்டம் பெறும்பொழுது மட்டுமே எலக்ட்ரான்கள் அதனிடம் ஈர்க்கப்படும்; மின்னோட்டமும் செல்லும்; தகடு எதிர் மின்னூட்டம் பெறுகையில் மின்னோட்டமிராது. ஆகவே, இச்சுற்றில் மாறுதிசை மின்னழுத்தம் இணைக்கப்பட்டாலும் மின்னோட்டம் ஒரு திசையில் மட்டுமே ஓட அனுமதிக்கப்படும். எதிர்த் திசையில் ஓட முடியாது. ஆகையால் இந்த டையோடு வால்வைக்கொண்டு மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை நேர்திசை மின்னோட்டமாக மாற்றலாம். இதை இன்னும் விவரமாகப் பின்பு கவனிப்போம்.

மும்மின்வாய் வால்வு—ட்ரையோடு (Triode)

டையோடிலுள்ள தகட்டிற்கும், கம்பிக்குமிடையே ஒரு வலைக் கம்பியைப் பொருத்தி அதற்கு வெவ்வேறு மின்னூட்டங்கள் கொடுத்தால் வால்வு சுற்றில் செல்லும் மின்னோட்டத்தின் தன்மை முற்றிலும் வேறுபடுகிறது. மூன்று மின்வாய்களுடைய இச் சாதனத்திற்கு 'ட்ரையோடு' என்று பெயர். கம்பிக்கும் தகட்டிற்குமிடையே பொருத்தப்பட்ட கம்பி வலைக்கு 'கிரிட்' (grid) என்று பெயர். படம் 17 (*a*) ட்ரையோடின் உண்மை வடிவத்தையும் 17 (*b*) படங்களில் அது வரையப்படும்



படம் 17. ட்ரையோடு வால்வு

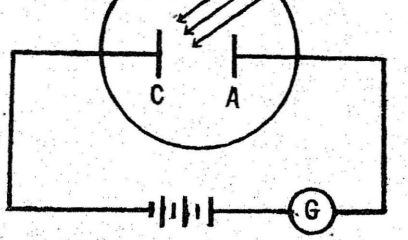
விதத்தையும் காண்பிக்கின்றன. எலக்ட்ரானியல் தற்போது அடைந்துள்ள மாபெரும் முன்னேற்றத்திற்குப் பெரும்பாலும் இந்த ட்ரையோடே காரணமாகும். இதைப் பின்பு விவரமாக விவரிப்போம்.

ஒளியின் விளைவு (Photoelectric effect)

ஒரு பொருளின் மீது ஒளி படுவதால் எலக்ரான்கள் வெளி விடப்படுவதே ஒளிமின் விளைவு எனப்படும். இதை 1887-ல்

ஹெர்ட்ஸ் (Hertz) முதன் முதன் முதலகக் கண்டுபிடித்தார். இவர் அப்பொழுது ரேடியோ அலைகளைக் குறித்து, சோதனைகள் நடத்தி வந்தார். இரு மின்வாய்களுக்கிடையே மின்பொறி செல்கையில், புற ஊதா ஒளி எதிர் மின் வாயின்மீது விழுந்தால், மின்பொறி இன்னும் அதிக தூரம் பாயும் என்பதைக் கண்டார். இதைத் தொடர்ந்து, ஹால் வாக்ஸ் (Hall wachs) என்பவர், எதிர்மின்னூட்டம் பெற்ற துத்த நாகத் தகட்டின்மீது புற ஊதா ஒளி விழுந்தால் மின்னூட்டம் கசிந்து போகிறதென்றும், தகடு நேர்மின்னூட்டம் பெற்றிருந்தால் ஒன்றும் நேர்வதில்லை என்றும் கண்டுபிடித்தார்; இதன் காரணம், புற ஊதா ஒளி விழுபடுவதால் தகட்டிலிருந்து எதிர் மின்னூட்டங்கள் வெளி விடப்படுவதே என்றும் கண்டறிந்தார். 1889-ல், எல்ஸ்டரும் கைட்டலும் (Elster and Geitel) பொட்டாஸிய, சோடியத் தகடு களின்மீது ஒளிபடுவதாலும் இதே விளைவு உண்டாகிறதென்று கண்டுபிடித்தனர். முதலாம் ஒளி மின்கலம் ஒன்றையும் நிறுவினர். இதில் B என்ற கண்ணாடி பல்புக்குள் A, C, என்ற இரு தகடுகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன.

C என்பது சோடியத் தகடு. பல்பிலுள்ள காற்று வெளி யேற்றப்பட்டுள்ளது. A-க்கு நேர்மின்னூட்டமும் C-க்கு எதிர் மின்னூட்டமும் தரப்பட்டுள்ளன. C-யின்மீது ஒளிபட்டால்



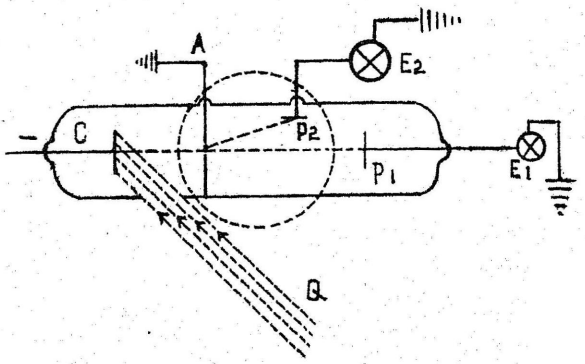
படம் 18. ஒளி மின்கலம்

G என்ற கால்வனோ மீட்டரில் மின்னோட்டம் பாய்வது தெரிய வரும். இவைகளெல்லாம் எலக்ட்ரானை J.J. தாம்சன் கண்டு பிடிக்கும் முன்னரே செய்யப்பட்ட சோதனைகளாகும்.

லெனர்டின் ஆராய்ச்சிகள் (Lenard's Experiments)

லெனர்டு ஒளி மின்னூட்டங்களின் e/m விகிதத்தை அளந்து, அவை எலக்ட்ரான்களே என்பதை நிருபித்தார்.

அவரது சாதனம் 19ஆம் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளது. ஒரு நீளக் கண்ணாடிக் குழாயினுள் A, C என்ற நேர், எதிர்மின் வாய்த் தகடுகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. குழாயிலுள்ள காற்றெல்லாம் வெளியேற்றப்பட்டு, C என்ற அலுமினியத் தகட்டின்மீது புற ஊதா ஒளி Q என்ற குவார்ட்ஸ் ஜன்னல் வழியாய் வந்து விழுகிறது. இதனால் வெளிவிடப்படும் மின்னூட்டங்கள் A என்ற நேர்மின் வாயை நோக்கிப் பாய்ந்து, அதிலுள்ள



படம் 19. லெனார்டின் சாதனம்

துவாரத்தினூடே ஒரு சிறு கற்றையாகச் சென்று, P_1 என்ற தகட்டின்மீது விழுகின்றன. P_1 மின்னூட்டம் பெறுவதை E_1 எலக்ட்ரா மீட்டர் காண்பிக்கிறது. இப்பொழுது படத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக ஒரு காந்தப் புலத்தைச் செயல்படச் செய்தால் (புள்ளி வட்டமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது.) எல்கட்ரான்கள் வளைந்து, P_2 என்ற தகட்டின்மீது விழும்: இதை E_2 காட்டும்.

C தகட்டிற்கு V என்ற வெகு அதிகமான எதிர் மின்னூட்டம் தரப்படுகிறது. ஆகவே, அயனிகள் A-ஐ வந்தடையும்பொழுது அவற்றின் வேகம் v என்று வைத்துக் கொண்டால், $Ve = \frac{1}{2} mv^2$. இதில் m, e என்பவை அயனிகளின் மின்னூட்டம்.

A-ஐத் தாண்டிய பின்னர் அயனிகள் v என்ற சீரான வேகத்துடன் செல்லும். அப்பொழுது H என்ற சீரான காந்தப் புலம் அவற்றின்மீது செயல்படுவதால் அவை r என்ற ஆர முடைய வட்டப்பாதையில் வளைந்து செல்கின்றன:

$$He\, v = \frac{mv^2}{r} \qquad \therefore \quad v = \frac{He\, r}{m}$$

இதை முந்திய சமன்பாட்டில் ஈடு செய்தால்,

$$Ve = \frac{1}{2} m \left(\frac{H e r}{m}\right)^2$$

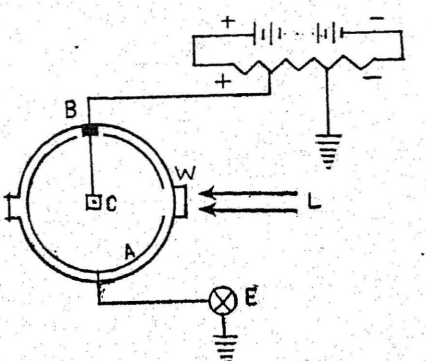
$$\therefore \quad \frac{e}{m} = \frac{2V}{H^2 r^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

V, H, r இவற்றின் அளவுகள் தெரியுமாகையால், 1ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து $\frac{e}{m}$ இன் அளவைக் கணிக்கலாம். லெனர்டு இதன் அளவு 1.2×10^7 e.m.u/கிராம் என்று கண்டார். 1912 ஆம் ஆண்டில் இச் சோதனையைத் திருத்தமாகச் செய்து $\frac{e}{m} = 1.765 \times 10^7$ e.m.u/கிராம் என்று கண்டுபிடித்தனர். ஆகவே, ஒளியின் அயனிகள் எலக்ட்ரான்களே என்பது நிச்சயமாகிறது.

காம்டன், ரிச்சர்ட்சனின் சோதனைகள் (Experiments of Compton and Richardson)

ஒளி மின்னேட்டம், ஒளியின் செறிவு, அதன் நிறம், எதிர்மின்வாயின் மின்னழுத்தம் இவற்றை எவ்வாறு சார்ந்துள்ளது என்பதைக் காம்டனும், ரிச்சர்ட்சனும் ஆராய்ந்துள்ளனர்.

அவர்களது சாதனம் 20ஆம் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளது. B என்ற ஒரு கண்ணாடி பல்பு முழுவதுமாக வெற்றிடமாக்கப்பட்டு, அதன் மையத்தில் C என்ற ஒரு சிறு உலோகத் தகடு

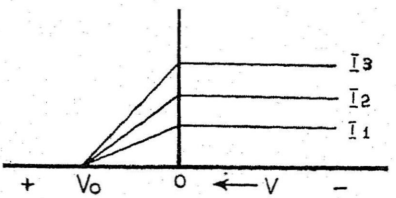


படம் 20, காம்டன் ரிச்சர்ட்சனின் சாதனம்

பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அதற்கு வெவ்வேறு நேர், எதிர் மின்னழுத்தங்களைத் தருவதற்கு ஒழுங்கு செய்யப்பட்டுள்ளது.

W என்ற குவார்ட்ஸ் ஜன்னல் வழியாய் ஒரு நிறமுள்ள ஒளி (L) வந்து C-யின்மீது விழுவதால், ஒளியின் அயனிகள் வெளி விடப்படுகின்றன. பல்பின் உட்புறம் முழுவதும் வெள்ளி முலாம் பூசப்பட்டிருப்பதால், அயனிகள் C-யிலிருந்து A-க்கு ஈர்க்கப்படுகின்றன. இம் மின்னோட்டத்தை E என்ற எலக்ட்ரா மீட்டர் அளக்கிறது.

ஒளிச் செறிவுக்கும் மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள தொடர்பு : முதலில் C-க்கு உயர்ந்த மின்னழுத்தம் கொடுத்தபொழுது, E-யில் மின்னோட்டம் ஒன்றுமில்லை. வெளிவிடப்பட்ட அயனிகள் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றிருப்பதால், மின்வாயின் நேர் மின்னூட்டம் அவற்றைத் தன்னிடமே ஈர்த்துக்கொள்ளும். C-யின் மின்னழுத்தம் குறைந்துகொண்டே வந்து, $+V_0$



படம் 21 ஒளிமின்னோட்டமும் எதிர்மின் வாயின் மின்னழுத்தமும்

வோல்டாயிருக்கையில் E-யில் மின்னோட்டம் தென்பட்டது. வெளிவிடப்படும் அயனிகளுக்குச் சிறிது இயக்க ஆற்றல் இருப்பதால், அவை $+V_0$ வோல்டு ஈர்ப்பு விசையை மீறி வெளி வருகின்றன என்பது வெளிப்படை. மின்னழுத்தத்தை இன்னும் குறைத்துக்கொண்டே போனால், மின்னோட்டம் (I) உயர்ந்து கொண்டே போகிறது. V பூஜ்யமாகும் பொழுது, மின்னோட்டம் பெரும அளவை அடைகிறது. C-க்கு எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுத்தால், மின்னோட்டம் அதற்குமேல் உயர்வதில்லை. வெளி விடப்படும் அயனிகள் யாவும் A-ஐ அடைந்துவிட்டன என்பது விளங்குகிறது. இப் பெரும அளவு மின்னோட்டம் I_1 ஒளியின் L_1 என்ற செறிவைச் சார்ந்தது. ஒளியின் நிறத்தை மாற்றாமல் வைத்து, அதன் செறிவை இரு மடங்காக்கினால் (L_2), மின்னோட்டம் பழைய V_0 என்ற மின்னழுத்தத்திலேயே ஆரம்பிக்கிறது ஆனால், அதன் பெரும அளவு I_2 முந்திய I_1-ஐப் போல் இரு மடங்காக உயருகிறது. ஒளியின் செறிவை மும்மடங்காக்கினால், பெரும மின்னோட்டம் I_3 மும்மடங்காகிறது. ஆனால் மின்னோட்டம் ஆரம்பிப்பது பழைய V_0 மின்னழுத்தத்தில்தான். ஆகவே, மின்னோட்டத்தின் பெரும அளவு (I_m)

ஒளியின் செறிவிற்கு (L) நேர்விகிதமாயுள்ளது என்பது தெளிவாகிறது.

அதாவது, $I_m \propto L$..... (2)

மின்னோட்டம் அயனிகளின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்தது. ஆகவே, வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஒளியின் செறிவுக்கு நேர்விகிதமாயுள்ளது என்பது தெரிய வருகிறது.

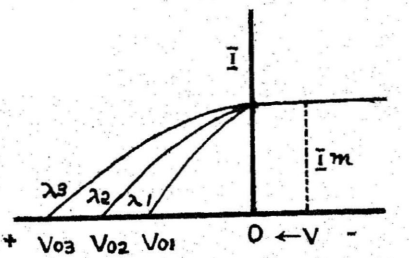
ஆனால், ஒளியின் செறிவு என்னவாயிருந்தாலும், எலக்ட்ரான்கள் வெளிவர ஆரம்பிக்கும் மின்னழுத்தம் (V_0). ஒரே அளவாயிருப்பதிலிருந்து வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்களின் பெரும இயக்க ஆற்றல் ஒரே அளவானது என்பது வெளியாகிறது. எப்படியென்றால், ஒளி எதிர்மின் வாய்மீது விழும் பொழுது, வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்களின் வேகம் பூஜ்யத்திலிருந்து ஒரு பெரும அளவு V_m வரை இருக்கலாம். மின்வாயின் மின்னழுத்தம் $+ V_0$ க்கு அதிகமாயிருக்கையில் மின்னோட்டம் ஒன்றுமில்லை. எலக்ட்ரான்கள் நேர் மின்னழுத்தத்தை மீறி வெளிவர இயலவில்லை. மின்னழுத்தம் $+ V_0$ ஆகும்பொழுது, பெரும வேகமுள்ள எலக்ட்ரான்கள் ஈர்ப்பு விசையை மீறி வெளிவந்து விடுகின்றன. மின்னோட்டம் சிறிது உண்டாகிறது. மின்னழுத்தம் V_0-க்குக் குறைந்தால், இன்னும் குறைவான வேகமுடைய எலக்ட்ரான்களும் தப்பித்து வெளிவந்து விடுகின்றன. ஆகவே, பெரும வேகமுடைய எலக்ட்ரான்களின் இயக்க ஆற்றல் $V_0 e$-க்குச் சமம் என்பது வெளிப்படை.

ஆகவே, $\frac{1}{2} mv^2_m = V^0 e$..... (3)

ஒளியின் செறிவு மாறினால், வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைதான் மாறுகிறதேயொழிய, அவற்றின் பெரும வேகம் மாறுவதில்லை.

ஒளியின் அதிர்வெண்ணுக்கும் எலக்ட்ரான்களின் திசைவேகத்திற்கும் உள்ள சம்பந்தம்: அடுத்தாற்போல் ஒளியின் செறிவை மாறுமல் வைத்து, அதன் நிறத்தை மாற்றி, மேற்கண்ட சோதனைகளைச் செய்தனர். ஒளியின் அலைநீளம் λ_1 ஆக இருந்தபொழுது மின்னோட்டம் $+ V_{01}$ என்ற மின்னழுத்தத்தில் ஆரம்பித்து உயர்ந்து, மின்னழுத்தம் பூஜ்யமாகும்பொழுது Im பெரும அளவை அடைந்தது. பிறகு λ_2 என்ற குறைந்த அலைநீளமுடைய ஒளி e-யின்மீது விழுந்த பொழுது, எலக்ட்ரான்கள் $+V_{02}$ என்ற அதிக நேர்மின்னழுத்தத்திலேயே வெளிவர ஆரம்பித்தன. அவ்வாறே ஒளியின் அலைநீளத்தை λ_3-ஆகக் குறைத்தபொழுது இன்னும் அதிக மின்னழுத்தத்தில் ($+V_{03}$) மின்னோட்டம் ஆரம்பித்தது.

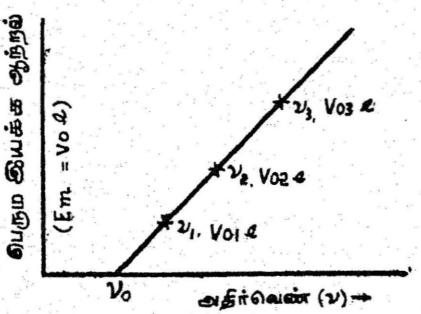
இதிலிருந்து ஒளியின் அலைநீளம் குறைந்தால் வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்களின் பெரும வேகம் v_m அதிகரிக்கிறது என்பது



படம் 22. ஒளியின் அலைநீளமும் ஒளி மின்னோட்டமும்

தெளிவாகிறது. ஒளியின் அலைநீளமும் அதன் அதிர்வெண்ணும் தலைகீழ் விகிதத்திலிருப்பதால் $\left(\lambda = \frac{c}{\nu}\right)$, இம் முடிவை, ஒளியின் அதிர்வெண் உயர்ந்தால் எலக்ட்ரான்களின் பெரும இயக்க ஆற்றலும் உயர்கிறது என்பதாகக் கூறலாம். $(\frac{1}{2} mv^2_m = V_0 e)$ எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை உயர்வதில்லை.

எலட்ரான்களின் பெரும இயக்க ஆற்றலையும் ($E_m = V_{01} e$, $V_{02} e$, $V_{03} e$), ஒளியின் அதிர்வெண்ணையும் (ν_1, ν_2, ν_3)



படம் 23. E_m-ν வரைபடம்

வரைபடத்தில் குறித்தபொழுது, புள்ளிகள் யாவும் ஒரே நேர் கோட்டில் இருந்தன. அத்துடன், அந் நேர்கோட்டை நீட்டி விட்டதில், அது அதிர்வெண் அச்சை ν_0 என்ற புள்ளியில் வெட்டியது. அதாவது, ஒளியின் அதிர்வெண் ν_0 ஆகும் பொழுது ஒளிமின் விளைவு பூஜ்யமாகி விடுகிறது. அதற்குக் குறைந்த அதிர்வெண்ணுள்ள ஒளியால் C-யிலிருந்து அயனிகளை வெளிப்படுத்தவே முடியாது என்றுகிறது. ν_0-க்கு 'தொடக்க அதிர்வெண்' (threshold frequency) என்று பெயர்.

23-ம் படத்தின் நேர்க்கோட்டின் சமன்பாடு கீழ் வருமாறு:

$$V_0 e = \tfrac{1}{2} m v^2_m = h(\nu - \nu_0) \ldots\ldots\ldots (4)$$

இதில் h என்பது நேர்கோட்டின் வாட்டம்: நேர்கோடு ν_0 - இலிருந்து ஆரம்பிப்பதால், $V_0 e$ என்பது $(\nu - \nu_0)$ க்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது. நிலை ஆயத்தை (Ordinate) எர்கிலும், கிடை ஆயத்தை (abscissae) சைகிள்/வினாடியிலும் குறிப்பிட்டால், மில்லிக்கன் இவ் வாட்டத்தின் அளவை $h = 6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ எர்கு-வினாடி என்று கண்டுபிடித்துள்ளார். இதுவே, அணுவியலில் மிக முக்கியமான **'பிளாங்கின் மாறிலி'** (Plancks' constant) என்பதை வாசகர்கள் இந் நேரம் உணர்ந்திருப்பர். இம் மாறிலியை பல் வேறு முறைகளில் பல ஆராய்ச்சியாளர் அளந்துள்ளனர். $h\nu$ என்பது 'சக்திக் குவாண்டம்' (Quantum of energy) எனப்படும்.

மேலே (4)-ல் கண்டுள்ள சமன்பாட்டை மகா மேதாவி **ஐன்ஸ்டைன்** முதன் முதலில் 1906ஆம் ஆண்டில் கணித வாய்லாக வருவித்தார். இதற்கு 'ஐன்ஸ்டைனின் ஒளி மின் சமன்பாடு' (Einstein's Photoelectric equation) என்று பெயர். அவரது சமன்பாடு கீழ்க்கண்டவாறு:

$$\tfrac{1}{2} m v^2_m = h\nu - w_0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

இதற்கும் (4)-ம் சமன்பாட்டிற்கும் வேற்றுமை எதுவுமில்லை யென்பது வெளிப்படை. இச் சமன்பாட்டை கண்டுபிடிப்பதற்கு அவருக்கு 1921-ம் ஆண்டில் நோபல் பரிசு அளிக்கப்பட்டது. ஏனெனில், அவர் அப்பொழுது புதிதாக வெளியிடப்பட்டிருந்த 'குவாண்டம் கொள்கை'யை (Quantum Theory)ப் பிரயோகித்து இச் சமன்பாட்டை வருவித்து, இதன்மூலமாய் ஒளி என்பது அலைவுத் தன்மையுள்ளதோடு, துகள் தன்மையும் உடையது என்ற மிக முக்கியமான உண்மையை நிரூபித்தார்.

ஒளி என்பது 'போட்டான்' (Photon) என்ற மிகச் சிறிய நிறையில்லாச் சக்திச் சொட்டுக்களால் ஆனவை; அவற் றிற்கு 'ஒளிக்குவாண்டங்கள்' (light Quanta) என்றும் பெயர். ஒளியின் செறிவு என்பது இக் குவாண்டங்களின் எண்ணிக் கையே. ஒளியின் அதிர்வெண் ν என்றால், அந்த ஒளிக்குவாண் டத்தின் சக்தி $h\nu$ ஆகும். h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி. இக் குவாண்டங்கள் ஓர் உலோகப் பரப்பின்மீது விழும்பொழுது, அவற்றில் சில அவ்வுலோக அணுக்களுடன் மோதி அவ்வணுக் களால் உட்கொள்ளப்பட்டுவிடுகின்றன. இச் சக்தியை உட் கொண்ட அணு, தண்ணீரில் உள்ள எலக்ட்ரானுக்கு அதைக் கொடுத்து விடுகிறது. எலக்ட்ரான் $h\nu$ என்ற ஆற்றலுடன்

அணுவைவிட்டு வெளியேறுகிறது. ஆனால், உலோகத்தின் பரப்பைவிட்டு வெளியேறுவதற்கு ஆற்றலின் ஒரு பகுதி செலவாகி விடுகிறது. இதற்கு 'ஒளி மின் வெளியேற்று ஆற்றல்' (Photo elctric work function) என்று பெயர் (w_0). எலக்ட்ரான் மீதியாயுள்ள ஆற்றலோடு வெளியேறுகிறது. இதையே $\frac{1}{2} mv^2_m = h\nu - w_0$ என்று குறிப்பிட்டார். $w_0 = h\nu_0$ என்பது எளிதில் விளங்கும்.

இவரது கொள்கையைக்கொண்டு ஒளிமின் விளைவுகள் அனைத்தையும் திருத்தமாக விளக்கிவிடலாம் ஒளியின் செறிவு போட்டான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்திருப்பதால், அது வெளியிடப்படும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை, அதாவது மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. ஒவ்வொரு போட்டானின் ஆற்றலும், ஒளியின் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்திருப்பதால், வெளியிடப்படும் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் ஒளியின் அதிர்வெண்ணைச் சார்ந்துள்ளது. இவையாவும் இன்னும் அநேக முடிவுகளும் சோதனைவாயிலாக நிரூபிக்கப்பட்டவை. ஆனால், ஒளியின் அலைவுக் கொள்கையின்படி, ஒளியின் செறிவு எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலைக் கட்டுப்படுத்தும் என்ற தப்பான முடிவுக்கு வந்து சேருகிறோம். ஐன்ஸ்டனின் ஒளிமின் சமன்பாடு குவாண்டம் கொள்கையின் உண்மையையும் முக்கியத்துவத்தையும் வெகு தெளிவாக விளக்கியது. இதன் பயனாக சில ஆண்டுகளில் அணுமின் அமைப்பு, அணுக்கருச்சிதைவு, அணு மாற்றம், அணுத் துகள்கள், அணு சக்தி முதலிய மகாமுக்கியமான அணு ஆராய்ச்சிகள் மும்முரமாக நடந்தேறின. இவற்றிற்கெல்லாம் அடிகோலியாக விளங்கின ஒளிமின் சமன்பாட்டிற்காக ஐன்ஸ்டனுக்கு நோபல் பரிசு கிடைத்ததில் ஆச்சரியமில்லையல்லவா ?

ஒளிமின் சாதனங்கள் : ஒளிமின் விளைவுகளைக் கொண்டு நம் வாழ்க்கையில் பயன்படும் பல சாதனங்கள் நிறுவப்பட்டுள்ளன. ஒளி மின் கலனின் அமைப்பை 18 ஆம் படத்தில் பார்த்தோம். ஒளி, புற ஊதா ஒளி, புறச்சிவப்பு ஒளி இவற்றால் இயங்கும் பல மாதிரியான ஒளிமின் கலன்கள் உபயோகத்திலுள்ளன. ஒளி இதன்மேல் பட்டவுடன் உண்டாகும் மின்னோட்டத்தைப் பல சாதனங்களால் பெருக்கி, அதைக்கொண்டு கதவுகளைத் திறக்கவும் மூடவும், எச்சரிக்கைச் சாதனங்களை இயக்கவும், பல தானியங்குசாதனங்கள் நிறுவப்பட்டுள்ளன. ஒளி மின்கலன் பேசும் படங்களில் படமாகப் பதிவு செய்யப்பட்ட பேச்சு, பாடல்களை மறுபடியும் ஒலியாக்கப் பயன்படுகிறது. டெலிவிஷனில் மிக முக்கியமான பாகமாகிய காமிராவில் ஒளி

பேதங்களை மின்னழுத்த பேதங்களாக மாற்றுவதும் ஒளிமின் விளைவே.

விண்மீன்கள், நெபுலா இவற்றின் வெப்ப நிலைகளை அறிவதற்கும், விண்மீன்களின் நிறமாலைகளை ஆராய்வதற்கும், மின்சூளைகளின் வெப்பநிலையை அளக்கவும் கட்டுப்படுத்தவும் ஒளிமின்கலன்கள் உதவுகின்றன. சூரியன் அஸ்தமித்து வெளிச்சம் குறைவதைக் கண்டு, நகர விளக்குகள் தாமாக ஏற்றப்படுவதற்கும், இரயில் பாதைகளில் எச்சரிப்புக்காகவும், பலவிதமான எண்ணும் கருவிகளை இயக்கவும், இவ்விதமான நூற்றுக்கணக்கான வழிகளில் ஒளிமின் விளைவு பயன்படுகிறது.

உதாரணங்கள்

(1) சீஸியத்தின் வெளியேற்று ஆற்றல் 1·4 வோல்டு. சீஸியத்தில் ஒளிமின் விளைவு உண்டுபண்ணும் ஒளியின் அதி நீள அலை நீளமென்ன ?

$h = 6.6 \times 10^{-27}$ எர்கு — வினாடி ;
$c = 3 \times 10^{10}$ செ. மீ./வினாடி.
$w_0 = v_0 e = 1.4 \times \frac{1}{300} \times 4.8 \times 10^{-10}$ எர்கு

ஒளிமின் விளைவின் எலக்ட்ரான்கள் பூஜ்ய வேகத்துடன் வெளிவருகின்றன.

(அதி நீள அலை) $\therefore \quad h\nu - w_0 = 0$

$$\therefore \quad \frac{hc}{\lambda} = w_0$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{hc}{w_0} = \frac{6.6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{1.4 \times 4.8 \times 10^{-10}} \times 300 = 8.839 \times 10^{-5} \text{ செ. மீ.}$$

$$= 8839\ AU$$

2. ஓர் உலோகத்தின் ஒளிமின் துவக்க அலைநீளம் 3000 *AU*. அதிலிருந்து 1200 *AU* அலைநீள ஒளியால் வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் என்ன ?

$$\tfrac{1}{2} mv^2 = h(\nu - \nu_0) = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)$$

$$= hc\left(\frac{10^8}{1200} - \frac{10^8}{3000}\right)$$

$$= 6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{-10} \times 10^8 \left(\frac{1800}{1200 \times 3000}\right) = 9.93 \times 10^{-12} \text{ எர்கு.}$$

அத்தியாயம் 5

வினாக்கள்

1. ஒரு டையோடு வால்வின் நேர்மின் எதிர்மின் வாய்களுக்கிடையே 1200 வோல்டு செயல்படுகிறது. எலக்ட்ரான் நேர் மின் வாயை அடையும்பொழுது அதன் வேகமென்ன ?

$$m = 9{\cdot}11 \times 10^{-28} \text{ கிராம்}$$
$$e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10} \text{ e. s. u.}$$

[$2{\cdot}06 \times 10^{9}$ செ.மீ./வி]

2. 2537 AU அலைநீள ஒளிபடும் செப்பு உலோகப் பரப்பில், ஒளிமின் விளைவை நிறுத்திவிடத் தேவையான மின்னழுத்தம் 0·24 வோல்டு. செம்பில் ஒளிமின் துவக்க அலை நீளமென்ன ? செப்பு பரப்பிலிருந்து எலக்ட்ரானை விடுவிக்கத் தேவையான ஆற்றலென்ன ?

[$\lambda_0 = 2669$ AU ; $w_0 = 4{\cdot}65$ eV]

3. சீசியத்தின் வெளியேற்று ஆற்றல் 1·38 எலக்ட்ரான் வோல்டு என்றால், 2AU அலைநீளமுடைய எக்ஸ்கதிரால் சீசியத்திலிருந்து வெளிவிடப்படும் ஃபோட்டோ எலக்ட்ரானின் வேகமென்ன ? அந்த எலக்ட்ரானை வெளிவராமல் தடுப்பதற்குத் தேவையான மின்னழுத்தமென்ன ?

[$4{\cdot}67 \times 10^{9}$ செ.மீ./வி ; 6205 வோல்டு]

4. துத்தநாகத்தின் வெளியேற்று ஆற்றல் 3·6 எலக்ட்ரான் வோல்டு. அதன் ஒளிமின் துவக்க அதிர்வெண் $8{\cdot}7 \times 10^{14}$ விநாடி என்றால், பிளாங்கின் மாறிலியைக் கணி.

[$h = 6{\cdot}621 \times 10^{-27}$ எர்கு — விநாடி]

3. டங்ஸ்டனின் ஒளிமின் துவக்க அலைநீளம் 2300 AU, அதன் மேற்பரப்பிலிருந்து 1800 AU அலைநீளமுடைய புற ஊதாக் கதிர்களால் வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரானின் வேக ஆற்றலென்ன?

[1·5 ev]

6. நேர்மின் கதிர்கள்

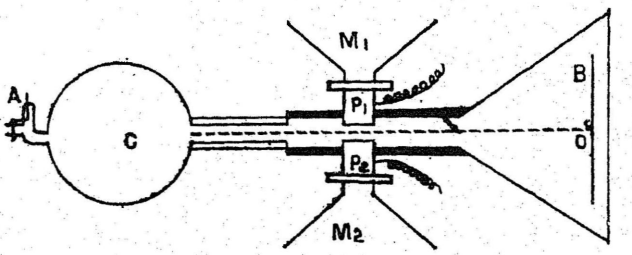
(Positive Rays)

கோல்ட்ஸ்டைன் (Gold Stein) 1886-ஆம் ஆண்டில், 3 ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள மின்னிறக்கக் குழாயின் எதிர் மின் வாயில் பல துளைகள் செய்து பார்த்தபொழுது, மின்வாய்க்குப் பின்புறமாகத் துளைகள் வழியாக ஒளிக் கற்றைகள் பாய்ந்து செல்வதைக் கண்டார். அவை ஒளிக் கால்வாய்களைப்போல் தோன்றியதால், அவற்றிற்குக் 'கால்வாய்க் கதிர்கள்' (Canal Rays) என்று பெயரிட்டார். அவை மின்புலம், காந்தப் புலத்தில் விலக்கமடைந்தன. விலக்கமடையும் திசையைக்கொண்டு அவை நேர் மின்னூட்டமுடையன என்பது தெரியவந்தது. ஆகையால் அவை உண்மையில் 'நேர் மின் கதிர்களாகும்.' மின்னிறக்கக் குழாயிலுள்ள வாயுவின் அணுக்கள் அயனிக்கப்படுவதால் தமது எலக்ட்ரான்களில் ஒன்றை இழந்துவிடுகின்றன. மீதியாயுள்ள அணு ஒரு நேர் மின்னூட்ட அளவுபெற்ற அயனியாகி விடுகிறது. இவைகளே எதிர்மின் வாயை நோக்கி ஈர்க்கப்பட்டு மின்வாயிலுள்ள துளைகள் வழியாகக் "கால்வாய்க் கதிர்"களாகச் செல்கின்றன. எலக்ட்ரானின் நிறை நிராகரிக்கப்படுமளவு சிறிதாகையால், நேர்மின் அயனியின் நிறை அணுவின் நிறைக்குச் சமமாகும். இதைக்கொண்டு அணு எடைகளை வெகு திருத்தமாக அளக்கமுடியும். தாம்சன், ஆஸ்டன் (Aston). பெபின் பிரிட்ஜ் (Bain bridge) முதலியோர் நேர்மின் கதிர்களை ஆராய்ந்து, அணு எடைகளை வெகு திருத்தமாக அளக்கும் "நிறை மாலை வரைவி"களை (Mass Spectrographs) நிறுவலாயினர்.

நேர்மின் கதிர் ஆராய்ச்சி — தாம்சனின் முறை

தாம்சன் எதிர் மின்கதிர்களின் e/m விகிதத்தைக் கண்டுபிடித்ததுபோலவே, நேர்மின் கதிர்களின் $\frac{E}{M}$ விகிதத்தையும் மின், காந்தப் புலங்களைப் பிரயோகித்துக் கண்டுபிடித்தார். மின்

னிறக்கக் குழாயின் எதிர் மின்வாய் C–யில் ஒரு சன்னமான துளை செய்து, சுமார் 10000 — 20000 வோல்டு மின்னழுத்தம் பிரயோகித்து, ஒரு சிறு கற்றை நேர்மின் கதிர்கள் மின் வாயின் துளையின் வழியாய்ச் சென்று. ஒரு ஒளிப்படத் தட்டின்மீது (*B*) விழச் செய்தார். அவை செல்லும் பாதையில் *M*, M_1 என்ற சக்தி வாய்ந்த மின்காந்தத் துருவங்கள் மேலும் கீழும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இக் காந்தப் புலத்தின் விசை, நேர்மின் கதிர்களை ஃப்ளெ



படம் 24. தாம்சனின் நேர்மின் கதிர்நிறை மாலை வரைவி

மிங்கின் இடதுகை விதியின்படி தாளின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உட்புறமாகவோ, வெளிப்புறமாகவோ விலக்கமடையச் செய்யும், அதே துருவ முனைகளில் மின்னழுத்த மூட்டினால் P_1 P_2 திசையில் மின்புலமும் பிரயோகிக்கப்படும். இதன் விளைவாக நேர்மின் கதிர்கள் தாளின் தளத்தில் மேற்புறமாகவோ, கீழ்ப்புறமாகவோ விலக்கமடையும். இவ்விரு மின், காந்தப் புலங்களை ஒன்றுக்கொன்று இணையாக, ஒரே சமயத்தில் பிரயோகித்தால், நேர்மின்கதிர்கள் இவ்விரு விசைகளுக்குட்பட்டு, ஒரு பரவளைவு (Parabola) வடிவத்தில் விலக்கமடைகின்றன. இவை வெற்றிடமாக்கப்பட்ட காமிரா வழியாகச் சென்று, ஓர் ஒளிப்படத் தட்டின் மீது விழுந்து, பரவளைவு வரிகளை உண்டுபண்ணுகின்றன.

ஒரு நேர்மின் அயனியின் நிறை M, மின்னூட்டம் *e*, திசை வேகம் *v*, என்று கொள்வோம். மின், காந்தப்புலன்களை ஒன்றுமில்லை யென்றால், அயனி நேர்க்கோட்டில் சென்று O என்ற புள்ளியில் விழும் துருவங்களிடையே மின்னழுத்த பேதம் உண்டுபண்ணினால், X என்ற மின்புலம் $\left(= \frac{v}{d} \right)$ அதைத் தன் திசையில் x^1 என்ற அளவு விலக்கமடையச் செய்யும்.

மின்புலத்தின் பாதை நீளம் *l* என்றும், அயனி அம் மின்புலத்தில் *t* என்ற நேரம் செல்கிறது என்றும் வைத்துக்

கொண்டால்,

$$t = \frac{l}{v}$$

மின்புலத்தில் அயனியின் வேகமுடுக்கம் $a = \frac{xe}{M}$

இதன் விளைவாக மின்புலத்திசையில் (போகும் திசைக்குச் செங்குத்தாக) அடையும் விலக்கம்

$$x^1 = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{xe}{M}\right)\left(\frac{l}{v}\right)^2 \quad \ldots\ldots \quad 1$$

மின்புலத்தை அகற்றிவிட்டு, காந்தப் புலத்தைமட்டும் பிரயோகிப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். காந்தப்புலத்தின் செறிவு H; அதன் பாதை நீளம் முன்போலவே l. இதன்விளைவாக அயனி படத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக விலக்கமடைகிறது.

இவ் விலக்கம் $y^1 = \frac{1}{2} a^1 t^2 = \frac{1}{2} \frac{Hev}{M}\left(\frac{l}{v}\right)^2$

$$= \frac{1}{2} \frac{Hel^2}{Mv} \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

இவ்விரு புலங்களும் ஒன்றுய்ச் செயல்பட்டால், அயனி இவ்விரு விலக்கங்களுக்குட்படும்.

$$\frac{y^1}{x^1} = \frac{H^2e^2(l^2)^2}{4M^2v^2} \cdot \frac{2Mv^2}{xel^2} = \frac{1}{2} \frac{H^2 l^2}{X} \cdot \frac{e}{M} \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

நேர்மின் அயனி துருவங்களை விட்டு வெளியேறியபின் நேர்க் கோட்டில் சென்று ஒளிப்படத்தட்டின்மீது விழுமாகையால், அத் தட்டின்மீது அயனி அடையும் ஒதுக்கம் x, x^1-க்கு நேர் விகிதத்திலும், y, y^1 க்கு நேர் விகிதத்திலுமிருக்கும். ஆகையால் அயனி படத்தட்டின்மீது அடையும் ஒதுக்கங்களின் சார்பு

$$\frac{y^2}{x} = K^1 \frac{1}{2} \frac{H^2 l^2}{X} \frac{e}{M} = K \frac{H^2}{X} \frac{e}{M} \quad \ldots \ldots \quad (4)$$

K^1, $\frac{1}{2}$, l யாவும் மாறிலிகள் ஆகையால், யாவற்றையும் சேர்த்து ஒன்றுக K என்ற மாறலியால் குறித்தப்பட்டுள்ளது.

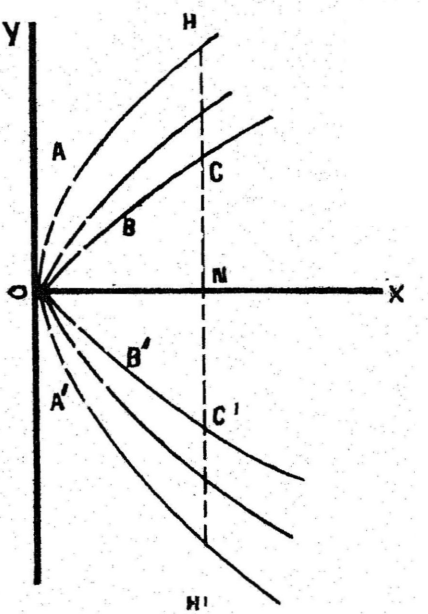
மின்னிறக்கக் குழாயின் வாயு அணுக்கள் யாவும் ஒரே $\frac{e}{M}$ உடையவை. H, X புலங்களும் மாறுமலிருப்பவை. ஆகவே, (4)-ம் சமன்பாட்டின் வலதுபுற அளவுகள் யாவும் மாறுதவை.

$$y^2 = Ax \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

இது ஒரு பரவளைவின் சமன்பாடு என்று அறிவோம். இதில் அயனிகளின் வேகங்கள் காணப்படவில்லை. அவை வாயுவின் அணுக்களோடும் ஒன்றோடொன்றும் மோதுவதால், அவற்றின்

வேகங்கள் மிகவும் மாறுபட்டவையாயிருக்கும். ஆனால், மேற் கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து, வெவ்வேறு வேகமுடைய அயனிகள் யாவும் ஒளிப்படத் தட்டின்மீது ஒரே பரவளைவின் வெவ்வேறு பகுதிகளில் விழுந்து, ஒரே பரவளைவை உண்டுபண்ணும் என்பது வெளியாகிறது. அதிவேகமுடைய அயனிகள் O-விலிருந்து சிறிதே விலக்கமடையும். குறைந்த வேகமுடையவை மின், காந்தப்புலங்களால் அதிக விலக்கமடைந்து பரவளைவின் வெளி முனையருகில் விழும்.

தாம்சன் பெற்ற பரவளைவுகள் 25ஆம் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளன. மின்னிறக்கக் குழாயிலுள்ள ஒவ்வொரு வாயுவிற்கும் ஒரு பரவளைவு உண்டாகும். ஏனெனில் வெவ்வேறு வாயு அணுக்களின் e/M அளவு வித்தியாசமாயிருக்கும். எல்லாச் சோதனைகளிலும், மற்ற வாயுக்களுடன் ஹைட்ரஜன் எப்பொழுதும் குழாயில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டது. ஹைட்ரஜனின் நிறை யாவற்றிலும் குறைவானது. ஆகையால் அதன் பரவளைவு யாவற்றிற்கும் வெளிப்புறத்திலிருக்கும். காந்தப்புலத்தை நேர்மாறுக்கி, அதே தட்டில் படம்பிடித்தால் பரவளைவின் கீழ் பாகங்களும் விழும்.



படம் 25. தாம்சனின் நேர்மின்கதிர் பரவளைவுகள்

அணுக்களின் நிறைகளை (4)ஆம் சமன்பாட்டைக் கொண்டு 23 ஆம் படத்திலிருந்து கண்டுபிடிக்கலாம். AH, A^1 H^1 என்பன ஹைட்ரஜனின் பரவளைவுகள் என்றும், B = C, B^1 C^1 என்பன வேறொரு வாயு அணுக்களின் பரவளைவுகள் என்றும் கொள்வோம். வாயுகள் சாதாரணமாக ஒற்றை அயனிக்கப்படுவதால் நேர் அயனிகள் ஒரே மின்னூட்டமுள்ளவை. அவற்றின் நிறைகள் M_H என்றும் M என்றும் வைத்துக்கொள்வோம். H H^1 என்ற செங்குத்துக்கோடு வரையப்படுகிறது.

(4)-ம் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\frac{M}{M_H} = \frac{e/M_H}{e/M} = \frac{y^2_H/x}{y^2/x} = \frac{y_H{}^2}{y^2} = \frac{NH^2}{NC^2} \frac{(HH^1)^2}{(CC^1)^2}$$

ஒளிப்படத்திலிருந்து HH^1, CC^1-ஐ அளக்கலாம். ஹைட்ரஜனின் நிறையைக் கொண்டு மற்ற அயனியின் நிறையைச் சுலபத்தில் கணித்துவிடலாம்.

ஐசடோப்புகள் (Isotopes)

தாம்சன் தமது பரவளைவு முறையைக் கொண்டு முதன்முதலாக நியான் வாயுவை ஆராய்ந்து பார்த்தபொழுது இருபரவளைவுகளைக்கண்டார். ஒன்றின் நிறை 20ம் மற்றது 22-ஆக இருந்தன. நியானின் அணு எடை, வேதியல் முறையின்படி அளக்கப்பட்டது 20·2 ஆகும். ஆகவே 22, நிறையைச் சார்ந்த பரவளையம் ஏதோ ஒரு அந்நிய பொருளது என்றெண்ணி அதனை அகற்றப் பலமுறைகளைக் கையாண்டார். ஆனால், அப் பரவளையம் மறைந்த பாடில்லை. ஒரு பரவளையம் செறிவில் குன்றினால் மற்றதும் அதே விகிதத்தில் செறிவு குன்றுவதையும் கண்டார். கடைசியாக, இரு பரவளையங்களும் நியான் அணுக்களையே சார்ந்தன வென்றும், நியான் அணுகள் 20, 22 ஆகிய இரு நிறைகளை உடையன வென்றும் முடிவுகட்டினார். அவ்விரு பரவளையங்களின் செறிவுகள் 9 : 1 என்ற விகிதத்திலிருப்பதைக் கவனித்து, செறிவுகள் அணுக்களின் ஒப்பு எண்ணிகையைக் குறைக்கின்றன என்று கருதி, நியானின் எடைச் சராசரி நிறையை (Wighted mean)க் கணித்தார் :

$$M = \frac{20 \times 9 + 22 \times 1}{10} = 20{\cdot}2$$

இதுவே வேதியல் முறைப்படி நியானின் அணு எடையாக அளக்கப்பட்டது. ஆகவே நியான் இருவித அணுகளைக் கொண்டது; அவற்றின் அணு எடைகள் 20, 22; இவற்றின் ஒப்பு எண்ணிக்கை 9 : 1 என்ற விகிதத்திலுள்ளன என்ற உண்மைகள் ஊர்ஜிதமாயின.

இருவித அணுக்களும் நியான் அணுக்களே. எடை ஒன்றைத் தவிர வேறெதிலும் அவை வேறுபடுவதில்லை. அவை தனிம அட்டவணையில் ஒரே இடத்தில் (நியான் இடத்தில்) இருப்பதால், அவற்றிற்கு "ஐசடோப்புகள்" (Isotopes) என்று பெயர் வந்தன. கிரேக்க மொழியில் "Isos" என்றால் "ஒரே" என்றும், "topos" என்றால் 'இடம்' என்றும் பொருள்.

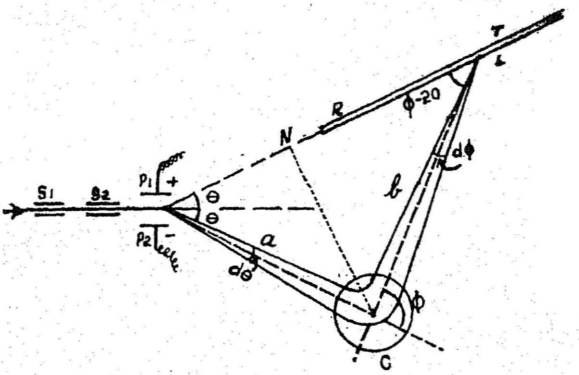
தாம்சனின் பரவலைய முறை ஐசடோப்புகளைக் கண்டுபிடிக்க உதவியது எனினும், அதைக்கொண்டு அணு எடைகளைத் திருத்தமாக அளக்கமுடியவில்லை. நேர் அயனிகள் ஒரு பரவலையத்தில் பரவலாக விழுவதால், பரவலையத்தின் ஒளிச்செறிவு மிகக் குறைவாயுள்ளது. ஒளிப்படத் தட்டில் பரவலையக்கோடு தெளிவின்றித் தடிப்பமாக உள்ளதால், அளவுகளைத் திருத்தமாகக் கணிக்க முடியவில்லை.

ஆஸ்டனின் நிறைமாலை வரைவி (Aston's Mass Spectrograph)

ஆஸ்டன் 1919ஆம் ஆண்டில் நேர் அயனிகளின் எடைகளைத் துல்லியமாக அளப்பதற்கான முதலாம் 'நிறைமாலை வரைவி'யை (mass spectrograph) நிறுவினார். இதில் மின்புலமும் காந்தப் புலமும் வெவ்வேறு இடங்களில், ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாகச் செயல்படுகின்றன. மின்புலம் வெவ்வேறு நிறைகளுடைய அயனிகளைப் பிரிக்கின்றது. அத்துடன் ஒரே நிறையுடைய வெவ்வேறு வேகமுடைய அயனிகளும் பிரிக்கப்படுகின்றன. ஆனால், காந்தப்புலம் அயனிகளை எதிர்ப்புறமாக வளைத்து ஒரே e/m அளவுடைய அயனிகளனைத்தும் ஒரே புள்ளியில் குவியுமாறு செய்கிறது. இதன்விளைவாக மிகத்தெளிவான, சன்னமான வரிப்படங்கள் கிடைப்பதால், அயனியின் நிறைகளைத் துல்லியமாகக் கணிக்கலாம், அயனிகளின் வரிக்கோடுகள் நிறமாலைக் கோடுகளைப்போல் தோற்றமளிப்பதால் இவற்றை 'நிறைமாலை' (mass spectra) என்பர்.

26ஆம் படத்தில் ஆஸ்டனின் முறை விளக்கப்படுகிறது. நேர்மின் அயனிகள் மின்னிறக்கக் குழாயிலிருந்து S_1 S_2 என்ற இரு சிறு துளைகளின் வழியாய்ச் சென்று, P_1 P_2 என்ற தகடுகளிடையே செயல்படும் மின்புலத்தினூடே சென்று விலக்கமடைகிறது. ஒரே e/m அளவுடைய அயனிகள் θ என்ற கோணத்தில் விலக்கமடைகின்றன. ஆனால் அவற்றில் அதிக வேகமுடையவை சற்று குறைவாகவும், குறைந்த வேகமுடையவை சற்று அதிகமாகவும் விலக்கமடைவதால், அயனிகள் சற்றுப் பரவலடைகின்றன. ($d\theta$). C என்ற இடத்தில் காந்தப் புலம் தாளின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாகச் செயல்படுவதால்,

அயனிகள் எதிர்ப்புறமாக விலக்கமடைகின்றன, மறுபடியும் அதிக வேகமுடைய அயனிகள் குறைவாகவும் குறைந்த வேக முடையவை அதிகமாகவும் எதிர்ப்புறத்தில் விலக்கப்படுவதால், இவை யாவும் L என்ற இடத்தில் ஒன்றுகக் குவிய ஏதுவா



படம் 26. ஆஸ்டனின் நிறைமாலைவரைவி

கின்றது. அவ்விடத்தில் RT என்ற ஒளிப்படத் தட்டைவைத் தால், ஒரே e/m அளவுடைய அயனிகள் யாவும் ஒரே இடத்தில் விழுகின்றன. வேறு e/m அளவுடைய அயனிகள் வெவ்வேறு இடங்களில் குவிகின்றன.

இவை குவியுமிடத்தைக் கணித வாயிலாகக் கணிக்கலாம். ஒரே e/m அளவுடைய அயனிகள், மின்காந்தப் புலங்களில் θ, ϕ என்ற கோண விலக்கங்கள் பெறுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். அயனிகளுக்குள்ளே dv வேக வேற்றுமையிருப்பதால், இப் புலங் களில் பரவும் கோணங்கள் $d\theta$, $d\phi$ என்று கொள்வோம். மின் புலத்தில் அயனிகள் l_1 என்ற தூரம் செல்வதால், s_1 இடப் பெயர்ச்சி அடைகின்றது.

$$\theta = \frac{s_1}{l_2}$$

ஆனால் $s_1 = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \frac{\times e}{M} \left(\frac{l_1}{v}\right)^2$

$$\therefore \quad \theta = \tfrac{1}{2} \frac{\mathrm{X}e}{\mathrm{M}} \cdot \frac{l_1}{v^2} \qquad \ldots \quad (1)$$

$$= v^2 \theta = \tfrac{1}{2} \frac{\mathrm{X}e}{\mathrm{M}} l_1 = \text{மாறிலி}$$

வகுப்பதன் மூலம், $2 v dv \cdot \theta + v^2 d\theta = 0$

$$\therefore \quad \frac{dv}{v} = -\frac{d\theta}{2\theta} \qquad \ldots \quad (2)$$

அவ்வாறே, காந்தப்புலத்தில் l_2 தூரம் சென்று s_2 இடப் பெயர்ச்சியடைந்தால்,

$$\phi = s_2/l_2$$

ஆனால் $s_2 = \frac{1}{2}\frac{He v}{M}\frac{l_2^2}{v^2}$

$$\therefore \phi = \frac{He}{M}\frac{l_2}{v} \quad \ldots (2)$$

$$\therefore v\phi = Hl_2\frac{e}{M} = \text{மாறிலி}$$

பகுப்பதால், $dv.\phi + v.d\phi = 0$

$$\therefore \frac{dv}{v} = -\frac{d\phi}{\phi} \quad \ldots (3)$$

$(2) = (4) \quad \therefore \frac{d\theta}{2\theta} = \frac{d\phi}{\phi}$

$$\therefore \frac{d\phi}{d\theta} = \frac{\phi}{2\theta} \quad \ldots (5)$$

மின் புலத்திற்கும் காந்தப் புலத்திற்குமிடையே உள்ள தூரம் a என்றும், காந்தப்புலத்திற்கும்குவியுமிடத்திற்குமிடையே தூரம் b என்றும் கொள்வோம் ($oc = a$; $cL = b$) c என்னுமிடத்தில் அயனிகளின் பரவல், அகலம் $= ab\theta$. காந்தப்புலம் இல்லையென்றால், இன்னும் b என்ற தூரம் சென்றால் மொத்த அகலம் $(a+b)d\theta$.

ஆனால், காந்தப்புலத்தால் இப் பரவல் அழிக்கப்பட்டு b தூரத்தில் அவை குவியமடைகின்றன.

$$\therefore bd\phi = (a+b)d\theta$$

$$\frac{a+b}{b} = \frac{d\phi}{d\theta} = \frac{\phi}{2\theta}$$

$$\therefore \frac{b}{a} = \frac{2\theta}{\phi - 2\theta} \quad \ldots (6)$$

6 ஆம் சமன்பாடு, 24 ஆம் படத்தில் O என்ற புள்ளியிலிருந்து Oc-யுடன் 2θ கோணத்தில் வரையப்பட்ட ஒரு நேர்கோட்டைக் குறிக்கின்றது. அப்படி வரைந்தால்,

$$a.2\theta = CN = b(\phi - 2\theta)$$

என்பது தெரியவரும். ஆகவே, ஒளிப்படத்தட்டை (RT) இந்நேர்க்கோட்டின்மீது வைத்தால், வெவ்வேறு e/m அளவுடைய அயனிகள் அதன்மீது குவியப்படும்.

தட்டை வைக்கவேண்டிய இடத்தையும் சுலபமாய்க் கண்டுபிடிக்கலாம். 6-ஆம் சமன்பாட்டின்படி, $\phi = 2\theta$ ஆனால், $b = \infty$; ஆகவே, அயனிகள் குவிக்கப்படவே மாட்டா. $\phi = 4\theta$ ஆனால்,

$b = a$. ஆகவே மின், காந்தப்புலங்களை ஒழுங்குசெய்து $\phi = 4\theta$ ஆகும்படி செய்தால், ஒளிப்படத் தட்டை OL நேர்க்கோட்டில் $b = a$ என்ற தூரத்தில் வைத்து, அதன்மீது அயனிகளைக் குவிய வைக்கலாம். ஒவ்வொரு நிறையான அயனிச்சும் ஒரு கோடு வரையப்படும்.

சாதாரணமாக நிறைகள் அறியப்பட்ட சில வாயுக்களையும் நிறை அறியப்படாதவற்றையும் மின்னிறக்கக் குழாயில் கலந்து படங்கள் எடுப்பது வழக்கம். அவற்றின் வரிகளின் தூரங்களை ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியிலிருந்து அளந்து, வரைபடம் வரைந்தால், அதிலிருந்து அறியப்படாத நிறைகளைக் கணித்துவிடலாம்.

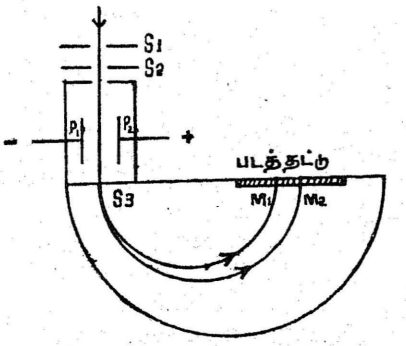
ஆஸ்டன் 1919இல் நிறுவிய நிறைமாலை வரைவி நிறைகளை 1000-த்தில் ஒரு பங்கு துல்லியமாக அளக்க உதவியது. 1927-ல் அவர் நிறுவிய வரைவியைக் கொண்டு நிறைகளை 10,000-இல் ஒரு பங்கு திருத்தமாக அளக்க முடிந்தது.

பெயின் பிரிட்ஜின் நிறைமாலை வரைவி (Bainbridge's Mass Spectrograph)

1933-ஆம் ஆண்டில், பெயின் பிரிட்ஜ் 'திசைவேகத்தேர்வி' (Velocity selector) என்ற புதியதொரு சாதனத்தைக்கொண்டு, நிறைமாலை வரைவி ஒன்றை நிறுவி, அயனிகளின் நிறைகளைத் திருத்தமாகவும் படுதிறனுடனும் அளந்து வெற்றி கண்டார். அத்துடன், நிறைகள் படத்தட்டில் தமது இடங்களுக்கு நேர் விகிதத்திலிருந்ததால், நிறைகளைக் கணிப்பதும் சுலபமாயிற்று.

பெயின் பிரிட்ஜின் நிறைமாலை வரைவியை 97ஆம் பக்கத்தில் காணலாம். மின்னிறக்கக் குழாயில் உண்டான நேர்மின் அயனிகளை S_1, S_2 என்ற இரு பிளவுகள்மூலம் செலுத்தி, ஒரு சன்னமான கற்றையாக்கப்படுகின்றன. இவ்வயனிக்கற்றை பிறகு 'திசை வேகத் தேர்வி' என்ற சாதனத்தினூடே செலுத்தப்படுகிறது. இச்சாதனத்தில் தாம்சனது e/m முறையில் கண்டது போன்ற (22ஆம்பக்கம்) குறுக்கிட்ட மின், காந்தப்புலங்கள் அயனிகளின்மீது செயல்படுகின்றன. P_1, P_2 என்ற இரு தகடுகளுக்கு மின்னழுத்தமூட்டி, அயனிகளின் பாதைக்குச் செங்குத்தாக மின்புலம் செயல்படுகிறது. அத்துடன் அதே பரப்பில், தாளுக்குச் செங்குத்தாக (உட்புறம் நோக்கி) காந்தப்புலமும் செயல்படுகிறது. மின்புலம் நேர் அயனிகளை இடதுபுறமாகவும், காந்தப்புலம் அவற்றை வலதுபுறமாகவும் விலக்க முயற்சிக்கின்றன. மின்புலத்தின் செறிவு x என்றும், காந்தப்புலத்தின் செறிவு H என்றும் கொண்டால், $v = \frac{x}{H}$ என்ற திசைவேகங் கொண்ட

அயனிகளின் மீது செயல்படும் காந்த, மின்புல விசைகள் ஒன்றை யொன்று அவமாக்கிவிடுவதால், அந்த அயனிகள் மட்டுமே இத்



படம் 27. பெயின் பிரிட்ஜின் நிறைமாலை வரைவி

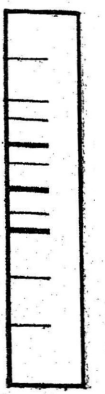
தேர்வியினூடே செல்லும். $\left(Hev = Xe \;\therefore\; v = \frac{x}{H}\right)$ மற்ற அயனிகள் வலப்புறமோ இடப்புறமோ விலக்கமடைந்து. தேர்வியினூடே செல்லா. ஊடே சென்றுவிடும் அயனிகள் அனைத்திற்கும் ஒரே வேகம் v உண்டு; ஆனால், அவற்றின் நிறைகள் வெவ்வேறாயிருப்பதால், அவற்றின் ஆற்றல் வேறுபடும்.

ஒரே வேகங்கொண்ட இந்த அயனிகள் S_3 என்ற குறுபிளவினூடே சென்று, தாளிற்குச் செங்குத்தாய் (உட்புறமாக) செயல்படும் H_1 என்ற வேறொரு காந்த புலத்திற்குள் நுழைகின்றன. இக்காந்தப் புலத்தின் விசை $H_1 ev$, இவ்வயனிகளை R என்ற ஆரமுடைய வட்டப்பாதையில் வளைக்கின்றது : $H_1 ev = \frac{Mv^2}{R}$

ஆகவே, $M = \frac{H_1 e}{v}$, $R = \frac{H_1 He}{X} \cdot R = K \cdot R$ ... (7)

இதிலிருந்து அயனிகளின் நிறைகளை, அவற்றின் வட்டப்பாதை ஆரத்திற்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளன என்பது வெளிப்படை. அயனிகள் அரைவட்டப்பாதைகளில் வளைந்து சென்று, ஓர் ஒளிப்படத் தட்டின்மீது விழுந்து, சன்னக்கோடுகளை உண்டுபண்ணுகின்றன. S_3 என்ற குறு பிளவிலிருந்து இக்கோடுகளின் தூரம் அயனிகளின் நிறைகளைத்தரும்; ஏனெனில், இத் தூரமே வட்டத்தின் விட்டமாகும். 15000 கௌஸ் காந்தப்புலமும் 20 செ. மீ. ஆர வட்டமுங்கொண்டு, பெயின்பிரிட்ஜ் ஆஸ்டனின் முறையைவிட, அதிகத் திருத்தமாகவும் பகுதிறனுடனும் நிறைகளை அளந்தார்.

சுமார் 280 வகையான ஐசடோப்புகள் இயற்கையாக உள்ளதாக நிறைமாலை வரைவிகளைக் கொண்டு அறிந்துள்ளோம். அவற்றின் திருத்தமான நிறைகள் முழு எண்களிலிருந்து சற்றேவேறுபட்டிருப்பது கவனிக்கத்தக்கது. ஒவ்வொரு தனிமத்திற்கு முள்ள மொத்த ஐசடோப்புகளின் எண்ணிக்கை வெவ்வேறாகும். உதாரணமாக தங்கள். ஃப்ளோரின் இவற்றிற்கு ஒரே ஒரு ஐசடோப்புதான் உண்டு, ஆனால், தகரத்திற்கு (டின்) பத்து ஐசடோப்புகளின் நிறை மாலையை 28ஆம் படத்தில் காணலாம். அவற்றின் நிறைகளுடன் ஒப்பு எண்ணிக்கையையும் படத்திலிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம். தற்காலத்திய நிறைமாலை வரைவிகளைக்கொண்டு, 2500ல் 1 பாகமே நிறை வேற்றுமைப்படும் CO_1 N_2 அயனிகளையும் வெவ்வேறாகப் பிரித்துவிடலா மென்றால், இக் கருவிகளின் பகுதிறன் எவ்வளவு அதிகம் என்பது விளங்கும்.



படம் 28.
தகரத்தின்
நிறைமாலை

ஐசடோப்புகளைப் பிரித்தல்

ஒரு தனிமத்தின் ஐசடோப்புகள் வேதியல் முறைப்படி ஒரே தனிமம் ஆகையால், அவற்றின் வேதியல் பண்புகள் யாவும் வேற்றுமையின்றி ஒன்றாயிருக்கும். ஆகவே, அவற்றைப் பிரிப்பதற்கு வேதியல் முறைகள் பயன்படா. அவற்றின் நிறைவேற்றுமைக்கொண்டே அவற்றைப் பிரிக்கவேண்டும்.

(1) **மின்காந்தமுறை :** இது ஆஸ்டனின் நிறைமாலை வரைவியின் தத்துவத்தையே கொண்டது. ஒளிப்படத் தட்டிற்குப் பதிலாக அவ்விடத்தில் சிறுசிறு பாத்திரங்களை வைத்தால், வெவ்வேறு ஐசடோப்புகள் அவற்றில் போய்விடும். இம்முறையில் ஐசடோப்புகளை முழுவதுமாகப் பிரித்துவிடலாம். ஆனால், சேகரிக்கப்படும் அளவு மிக மிகக் குறைவானது. ஒரு முழுநாளில் இம்முறையில் சேகரிக்கப்படும் அளவு ஒரு சில மைகிரோகிராம் (10^{-6} கிராம்)தான்.

(2) **விரவல்முறை** (Diffusion Method): ஒரு வாயு ஒரு நுண்துளைத்தடுப்பின் ஊடே விரவும் வேகம், அவ் வாயுமூலக் கூறு நிறைகளின் இருமடி மூலத்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலுள்ளது என்பதை அறிவோம். ஆகவே, ஒரு வாயுவின் வெவ்வேறு ஐசடோப்புகள் வெவ்வேறு வேகத்தில விரவல் அடைகின்றன. இதைக்கொண்டு வாயு, திரவங்களின் ஐசடோப்புகளை ஓரளவு பிரிக்கலாம். முழுவதுமாக பிரிப்பது இயலாத காரியம். ஆயினும்,

பல நுண்துளைத் தடுப்புகளுடைய விரவல் பாத்திரங்களைக் கொண்டு நிறைவேறுபட்ட ஐசடோப்புகளின் செறிவை அதிகமாக்கவோ, குறைக்கவோ செய்யலாம். அமெரிக்க விஞ்ஞானிகள் 1945ஆம் ஆண்டில், முதலாம் அணுகுண்டை உற்பத்தி செய்வதற்குப் போதுமான அளவு யுரேனியம்—235 ஐசடோப்பை யுரேனியம்—238 ஐசடோப்பிலிருந்து பிரிப்பதற்கு இம்முறையையே கையாண்டனர். முழுவதுமாகப் பிரிக்கப்படவில்லையென்றாலும், போதுமான அளவு U-235, தேவையான செறிவில் கிடைத்தது.

(3) **வெப்ப விரவல் முறை** (Thermal Diffusion): ஒரு மீட்டர் நீளமுடைய கண்ணுடிக் குழாயின் மையத்தில் நீள வாட்டமாக ஒரு கம்பியைப் பொருத்தி, குழாயில் ஐசடோப்புகளுடைய வாயுவை அடைத்து, கம்பிவழியாக மின்சாரம் பாய்ச்சி, 1000°C வெப்பமேற்றினால், நிறைகுறைவாயுள்ள ஐசடோப்புகள் கம்பியருகிலும் நிறை அதிகமாயுள்ள ஐசடோப்புகள் வெப்பம் குறைந்த குழாயின் சுவரருகிலும் பெரும்பாலும் சேர்ந்துவிடுகின்றன. இம்முறையைக்கொண்டு சில வாயுக்களின் ஐசடோப்புக்களை 99 சத வீதம் பிரித்துவிடலாம். ஆனால், அதி வெப்பத்தில் கம்பியுடன் இயக்கமடையா வாயுக்களையே இம்முறையில் பிரிக்கலாம். அவை அதிக வெப்பத்தால் பாதிக்கப்படாமலும் இருத்தல் அவசியம்.

(4) **மின்னுற் பகுப்பு முறை** (Seperation by Electrolysis): ஓரளவு நீரை ஏறக்குறைய முழுவதுமாக மின்னுற் பகுத்துவிட்டால், எஞ்சியுள்ள சிறிது நீர் அநேகமாக முழுவதும் சுத்தமான 'கன நீர்' (heavy water) என்று கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளது. அதாவது, அந் நீரில் ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுடன் சேர்ந்திருக்கும் ஹைட்ரஜனின் அணு எடை 2 எனக் காணலாம். இந்த ஐசடோப்பிற்கு 'கன ஹைட்ரஜன்' (heavy hydrogen) அல்லது ட்யூட்டரான் (deuteron) என்று பெயர். ஒரு கிராம் கனநீர் பெறுவதற்குச் சுமார் 30,000 ஆம்பியர் மணி (ampere hours) மின்சாரம் தேவைப்படும். கனநீரின் உறைநிலை 3.8°c, கொதிநிலை 101.4°c, அதன் செறிவு 11°யில் பெரும அளவை அடைகிறது. (சாதாரண நீர் 4°c-ல் பெரும அளவை அடைகிறது.) அதன் ஆவியாகலின் உள்ளுறை வெப்பம் 796 கேலரி/கிராம் (சாதாரண நீர் 541 கேலரி/கிராம்). கனநீர் அணு உலைகளில் (atomic reactors) நியூட்ரான்களின் வேகத்தைத் தணிப்பதற்குத் தேவையான தணிப்பான்களாக வெகுவாகப் பயன்படுகிறது.

உதாரணம்

புரோட்டான்களும் டியூட்டரான்களும் கலந்த அயனிக்கற்றை 100,000 வோல்டு மின்னழுத்தத்தால் முடுக்கம் பெற்று, 15000 கௌஸ் செறிவுடைய காந்தப்புலத்தில் செங்குத்தாக நுழைந்து வளைகிறது. ஓர் அரை வட்டம் வளைந்தபின், புரோட்டான்களும் டியூட்டரான்களும் எவ்வளவு தூரமாகப் பிரிந்து போயிருக்கும்? (சென்னை M. Sc. 1961)

(புரோட்டானின் நிறை $= 1.673 \times 10^{-24}$ கிராம்; டியூட்டரான் அதைப்போல் 2 மடங்கு)

வேக ஆற்றல் $\frac{1}{2} mv^2 = Ve = \frac{100,000}{300} \times 4.8 \times 10^{-10}$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{3.2 \times 10^{-7}}{m}} = 1.6 \times 10^{-7} \text{ எர்கு},$$

$$\frac{Hev}{c} = \frac{mv^2}{r} \qquad \therefore r = \frac{mvc}{He} = m \sqrt{\frac{3.2 \times 10^{-7}}{m}} \frac{c}{Hc}$$

$$\sqrt{m \times 3.2 \times 10^{-7}} \frac{c}{He}$$

புரோட்டன்கள் :

$$r_1 = \sqrt{\frac{1.673 \times 10^{-24} \times 3.2 \times 10^{-7} \times 3 \times 10^{10}}{15.000 \times 4.8 \times 10^{-10}}} = 3.05 \text{ செ.மீ.}$$

டியூட்டரான்கள்: $r_2 = \sqrt{2}\, r_1 = \sqrt{2} \times 3.05 = 4.31$ செ. மீ.

$\therefore$ பிரிவு தூரம் $= 2(r_2 - r_1) = 2(4.31 - 3.05)$

$= 2.52$ செ. மீ.

அத்தியாயம் 6

வினாக்கள்

1. ஐசடோப்புகள் என்றால் என்ன? ஐசடோப்புகளைப் பிரிக்கும் வகை யாது?

2. அணுக்களின் நிறைகளைக் கண்டுபிடிக்கடன்னிங்டனின் முறை எவ்வாறு பயன்படுகிறது? இம்முறையின் சிறப்பு யாது?

3 ஆஸ்டனின் நிறைமாலை வரைவில், இருமின் தகடுகளுக்கிடையே 350 வோல்டு செயல்பட்டு, 9 அலகு நிறையுடைய பெரில்லிய அயனிகளின் வரிக்கோட்டை உண்டுபண்ணுகிறது. லிதியம்-7 அயனிகளை அதே இடத்தில் வரிக்கோட்டை உண்டு பண்ணுவதற்குத் தேவையான மின்னழுத்தம் யாது?

(காந்தப்புலம் மாறுமல் உள்ளது)

[450 வோல்டு]

7. அணி நிறமாலையும் அணு அமைப்பும்

(Series Spectra and Atomic Structure)

உலகில் நாம் காணும் பொருட்கள் யாவும் மின்னூட்ட மின்றியே உள்ளன என்பதை நாம் அறிவோம். ஆயினும், பொருட்கள் யாவற்றிலும் எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான்கள் உள்ளனவென்றும், ஒளி, வெப்பம் இவற்றால் இவ் வெலக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்படுகின்றன வென்றும், 3-ம், 4-ம் அத்தியாயங்களில் கண்டோம். ஆகவே, பொருட்களின் உள்ளமைப்பில், எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான்களும், அதற்குச் சமமான நேர் மின்னூட்டமுடைய பாகமும் இருக்க வேண்டும் என்று தெரியவருகிறது. பொருட்களின் அணுக்களில் இந் நேர், எதிர் மின்னூட்டங்கள் எவ்வாறு அமைந்துள்ளன? அதாவது, அணுவின் அமைப்பு என்ன? என்ற புதிரை இந் நூற்றாண்டின் துவக்கத்தில் விஞ்ஞானிகள் சிக்கலறுத்து வெற்றிகண்டவிதம் பௌதிகத்தின் சுவைமிக்க கட்டமாகும்.

ஆனால், அணுவின் அமைப்பிற்கும், சென்ற நூற்றாண்டில் பல விஞ்ஞானிகளால் அளக்கப்பட்டிருந்த அணி நிறமாலைக்கும் ஏதாவது தொடர்பு இருக்கலாமென்று அவற்றை அளந்த விஞ்ஞானிகள் எவரும் கனவிலும் நினைத்திருக்கமாட்டார்கள்! இத் தொடர்பையும், அணுவின் அமைப்பையும் விவரிக்குமுன், அணி நிறமாலையைக் குறித்த விவரங்கள் சிலவற்றை அறிந்து கொள்வது அவசியம்.

அணிநிறமாலை (Series Spectra) :

எரியும் நெருப்பில் சிறிது உப்புத்தூளைத் தூவினால், பட படவென்ற ஒலியுடன், மஞ்சள் நிறமான தீக் கொழுந்து ஒளிர்வதை யாவரும் கவனித்திருப்போம். ஒரு புன்சன் (Bunsen Burner) சூடேற்றியின் வாயருகே ஒரு கம்பி வளையத்

தைப் பொருத்தி, சிறிய துண்டு துணியால் அதைச் சுற்றி, சிறிது உப்புநீரை அதன்மீது தெளித்து, சூடேற்றியைக் கொளுத்தினால், நெருப்புக் கொழுந்து துணியின் ஊடே எரிந்து மஞ்சள் நிறமான சுவாலையை உண்டுபண்ணும். இந்த ஒளியை ஒரு நிறமாலை காட்டி (Spectroscope) கொண்டு பாகு படுத்திப் பார்த்தால், இரு சன்னமான மஞ்சள்நிறக் கோடுகள் இருப்பது தெரியவரும். அவ்வாறே, சூடேற்றியில் செப்பு சல்பேட்டை (Copper Sulphate) வைத்துச் சூடேற்றினால், மூன்று பச்சைநிறக் கோடுகள் இருப்பது தெரியவரும். இவ்வாறு, வெவ்வேறு விதமான பொருட்களின் ஒளியை ஆராயும் முறையை 8ஆம் அத்தியாயத்தில் இன்னும் விவரமாகப் பார்ப்போம். இம் முறைக்கு நிறைமாலை இயல் (Spectroscopy) என்று பெயர்.

சென்ற நூற்றாண்டில், பல விஞ்ஞானிகள் தனிமங்களின் ஒளியை நிறமாலை காட்டி கொண்டு ஆராய்ந்ததில், அவை ஏராளமான, பல்வேறு நிறங்கொண்ட வரிகளைக் கொண்டுள்ளதாகக் கண்டு, அந்நிற வரிகளின் அலை நீளங்களையும் அளந்தனர். ஆனால், அக்கோடுகளில் ஒழுங்கு எதுவும் இருந்ததாகவோ அல்லது அந்த அலைநீளங்களுக்கிடையே தொடர்பு எதுவும் இருந்ததாகவோ தெரியவில்லை.

ஹைட்ரஜன் வாயு தனிமங்களுக்குள்ளே மிக எளியது; இலேசானது. அதன் ஒளியில் நான்கு நிறக்கோடுகள் இருந்தன. அவற்றில் ஒன்று சிவப்பு நிறம்; இரண்டு நீல நிறம்; ஒன்று ஊதா நிறம். அவற்றின் அலை நீளங்கள் முறையே 6562.8 A.U*.; 4861·3 A.U., 4340·5 A.U., 4101.7 A.U. ஆகும். 1885ஆம் ஆண்டில் பாமர் (Balmer) என்பவர் இந்த நான்கு கோடுகளுக்கிடையே ஒரு தொடர்பு இருப்பதைக் கண்டறிந்தார். இக்கோடுகளின் அலைநீளங்களின் தலைகீழ்ப் பின்னங்களைக் கணித்தால், ஒரு சென்டி மீட்டரில் எத்தனை அலைகள் உள்ளன என்பது கிடைக்கும். இதற்கு 'அலை எண்கள்' (Wave Numbers) என்று பெயர். இந்த நான்கு கோடுகளின் அலை எண்கள் முறையே

---

*ஒளியின் வெவ்வேறு நிறங்கள் வெவ்வேறு நீளமுடைய அலைகளாலானவை என்பது விஞ்ஞானம் கண்டறிந்த உண்மை. இவ்வலை நீளங்கள் மிக மிகச் சிறியவை; சிவப்பு அலைநீளம் 0.00007 செ.மீ; ஊதா அலைநீளம் 0.00004 செ.மீ. இச் சிறிய நீளங்களை அளவிட 'ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு' (Angstrom Unit) என்ற அலகை உபயோகிக்கிறோம் (A.U. என்பது அதன் சுருக்கம்). 1 A.U. $=10^{-8}$ செ.மீ. ஆகவே, சிவப்பு அலைநீளம் $=0.00007$ செ.மீ. $=7000$ A.U.

15,233 செ.மீ.$^{-1}$, 20,565 செ.மீ.$^{-1}$, 23,032 செ.மீ.$^{-1}$, 24,373 செ.மீ.$^{-1}$ ஆகும். இந் நான்கு அலை எண்களையும் கீழ்கண்ட வாய்பாடு கொடுப்பதைச் சுலபத்தில் சோதித்தறியலாம்:

λ என்ற குறி ('லாம்டா' (lambda) என்ற கிரேக்க எழுத்து) அலை நீளத்தைக் குறித்தால், $\frac{1}{\lambda}$ அலை எண்ணைக குறிக்கும்.

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad \ldots (1)$$

என்ற வாய்பாடு, மேற்கண்ட நான்கு கோடுகளின் அலை எண்களையும் தருகின்றது. இதில் R என்பது ஒரு மாறிலி. அதற்கு 'ரிட்பர்க் மாறிலி' (Rydberg Constant) என்று பெயர். அதன் அளவு:

$$R = 109,677.58 \text{ செ.மீ.}^{-1} \quad \ldots (2$$

n என்பதற்கு 3 என்ற அளவைக் கொடுத்தால்,

$$\frac{1}{\lambda} = 109,677.58\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 15,233 \text{ செ.மீ.}^{-1}$$

என்று வருகிறது; இதுவே ஹைட்ரஜன் சிவப்பு வரியின் அலை எண் ஆகும். $n=4$ என்று கொடுத்தால், $\frac{1}{\lambda} = 20,565$ என்றும், அவ்வாறே, $n=5$, 6 என்று கொடுத்தால் மற்ற இருகோடுகளின் அலை எண்களும் கொடுப்படுவது தெளிவாகும். ஆகவே ஹைட்ரஜன் ஒளியில் காணப்படும் நான்கு நிறக் கோடுகளையும் மேற்கண்ட ஒரே வாய்பாடு இணைக்கின்றது என்பது வெளிப்படை.

ஆனால், $n=6$ என்ற எண்ணுடன் ஏன் நிறுத்திக்கொள்ள வேண்டும்? $n = 7$, 8, 9 ..... என்று உயர்த்திக்கொண்டே போனால், அவைகளுக்கேற்ற அலை எண்களில் ஏதாவது ஒளிக் கோடுகள் உண்டா என்ற கேள்வியை விஞ்ஞானிகள் கேட்டனர். கணித்துப் பார்த்தால் அந்த அலை எண்கள் புற ஊதாஒளி அலை நீளங்களை உடையன என்பது தெரியவரும். உதாரணமாக, $n=7$, $\lambda = 3970$ AU; $n=8$, $\lambda = 3889$ A.U..... இவையெல்லாம் புற ஊதா அலைகள். நம் கண்ணுக்குத் தென்படா. ஆனால், ஒளிப்பட இயல் உபயோகத்திற்கு வந்தவுடன் இதைப் படம் பிரித்துப் பார்த்ததில், அந்த அலைநீளங்களையுடைய கோடுகள் யாவும் இருப்பது தெரியவந்தது. அவற்றின் அலை நீளங்களின் வித்தியாசம் குறைந்து கொண்டேபோய், $n=\infty$ (எண்ணிலி) யாகும்பொழுது $\lambda = 3646$ AU என்ற அலை நீளத்தில் முடிவடைகிறது. அதன்பிறகு கோடுகளில்லை; தொடர்நிறமாலை (Continuous spectrum) தான் தென்படுகிறது. இத்தனை கோடுகளும்

கொண்ட நிறமாலைக்கு 'பாமர் அணி' (Balmer Series) என்று பெயர்:

சரி : ஆஞல் (1) என்ற வாய்பாட்டின் அடைப்பிற்குள் (bracket) இருக்கும் முதலாவது எண், ஏன் 2ஆக இருக்க வேண்டும்? 'ஏன் 1, அல்லது 3, 4, 5.....என்று இருக்கக் கூடாது?' என்ற கேள்வியும் எழலாம். இந்த எண்களுக்கேற்ற நிறக்கோடுகள் உள்ளனவா? இந்த எண்களை இட்டு, அவ் வாய் பாட்டைக் கணித்துப் பார்த்ததில், ஊகித்தது போலவே ஒவ்வொரு எண்ணிற்கும் ஒவ்வோர் அணி (Series) நிறமாலை இருப்பது தெரிய வந்தது. உதாரணமாக (1) என்ற வாய் பாட்டின் அடைப்பிற்குள், 2 என்ற எண்ணுக்குப் பதிலாக 1 என்ற எண்ணை வைத்து, $n=2, 3, 4, 5$.....என்ற எண் களைக் கொடுத்தால், ஒவ்வொரு எண்ணுக்கும் ஒவ்வொரு கோடு வரும் :

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right), \quad n=2, 3, 4, 5 \qquad \ldots(2)$$

இந்த அலை நீளங்கள் யாவும் புற ஊதா நிறமாலையில் உள்ளன. இவற்றை 1914ஆம் ஆண்டில், லைமன் (Lyman) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். ஆகவே, இவற்றிற்கு 'லைமன் அணி' (Lyman Series) என்று பெயர்.

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right), \quad n=4, 5, 6; 7 \qquad \ldots(3)$$

என்பதைக் கணித்தால், அவை யாவும் புறச் சிவப்பு (Infra Red) நிறமாலை அலை நீங்கலாக உள்ளன. அவற்றை 1909ஆம் ஆண் டில் பாஷன் (Paschen) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். ஆகையால் அவற்றிற்குப் 'பாஷன் அணி' (Paschen Series) என்று பெயர். அவ்வாறே தூரப் புறச் சிவப்பு பாதத்தில் பிராக்கட் என்பவர் 1922ஆம் ஆண்டில் இன்னொரு அணிக் கோடுகளைக் கண்டுபிடித் தார். இப் 'பிராக்கட் அணி' (Bracket Series) யின் கோடுகள் கீழ்க்கண்ட வாய்பாட்டில் தரப்படுகின்றன :

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 5, 6, 7, 8, \qquad \ldots \ldots \qquad (4)$$

வாய்பாடுகள் (1), (2), (3), (4) என்ற நான்கையும் ஒன்று சேர்த்து,

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad \ldots \ldots \qquad (5)$$

என்று குறிப்பிடலாம். இதில் முறையே,

$m = 1, n = 2, 3, 4, 5$ ... என்று கணித்தால், லைமன் அணி;

$m = 2, n = 3, 4, 5, 6$ ... என்று கணித்தால், பாமர் அணி;

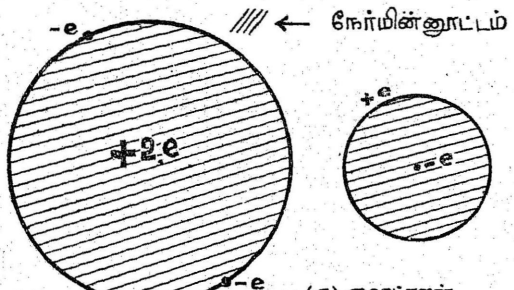
$m = 3, n = 4, 5, 6, 7 \ldots$ என்று கணித்தால், பாஷின் அணி ;
$m = 4, n = 5, 6, 7, 8 \ldots$ என்று கணித்தால், பிராக்கட் அணி; இவையாவும் ஹைட்ரஜன் மின்னிறக் குழாயின் ஒளியில் உள்ளன. இவ் வாய்பாட்டை முதன்முதலில் ரிட்பர்க் (Rydberg) என்பவர் ஊகித்து வெளியிட்டார். ஆகையால் இதில் வரும் மாறிலிக்கு 'ரிட்பர்க் மாறிலி' என்று பெயர் தரப்பட்டுள்ளது. அதாவது, $\left(\frac{R}{m^2} - \frac{R}{n^2}\right)$ என்ற வாய்பாட்டில், ஹைட்ரஜன் ஒளியில் உள்ள வெவ்வேறு அலைநீள அணிகள் யாவும் தரப்படுவது, வியப்பிற்குரிய காரியமாகும். ஆனால், அவை இவ்வாறு தரப்படுவதன் அர்த்தமென்ன வென்பது ஒருவருக்கும் விளங்காத மர்மமாயிருந்தது. அணுவின் அமைப்பைப்பற்றிய புத்தம் புதிய கருத்துகள் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட பின்னரே, இப் புதிர் விளங்கிற்று.

அணு அமைப்பு (Atomic Structure) : கி. மு. 5ஆம் நூற்றாண்டில், கிரேக்க ஞானிகள் அனக்சகோரஸ், டிமாக்ரிட்டஸ் முதலியோர் பொருட்கள் யாவும் பகுக்கப்படமுடியாவெகு சிறிய அணுக்களாலானவை என்று நம்பினர் என்பதை முதலாம் அத்தியாயத்தில் பார்த்தோம். கி. பி. 1815 ஆம் ஆண்டில் பிரௌட் (Prout) என்பவர், எல்லாத் தனிமங்களும் ஹைட்ரஜன் அணு எடையின் முழு எண் மடங்காக இருந்தன. ஆனால், நாளடைவில் அணு எடைகள் திருத்தமாக அளக்கப்பட்டபொழுது, அவற்றில் பல முழு எண் மடங்காக இல்லை என்று தெரிய வந்தது. உதாரணமாக, குளோரினின் அணு எடை 35·5; இவ்வாறு பல அணு எடைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டமையால் பிரௌட்டின் கொள்கை கைவிடப்பட்டது. ஆனால், பல்லாண்டுகளுக்குப் பின்னர், அக் கொள்கை சிறிது மாற்றத்துடன் ஏற்றுக்கொள்ளப்படுவதற்குப் பல சோதனைகள் காரணமாயிருந்தன.

பொருட்களின் அணுக்கள் யாவற்றிலும் எதிர் மின்னூட்ட எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்ற உண்மையை, சர். J. J. தாம்சன் கண்டுபிடித்தவுடன், மின்னூட்டமில்லா அணுக்களில் எலக்ட்ரான்களிருந்தால், அவற்றின் எதிர்மின்னூட்டத்திற்குச் சமமான நேர் மின்னூட்டமும் அணுக்களில் இருக்கவேண்டும் என்ற உண்மை வெளியாயிற்று. அப்படியானால் அவை அணுக்களில் எவ்வாறு அமைக்கபபட்டுள்ளன என்ற பிரச்சனை எழுந்தது. இதற்கு வெவ்வேறு விஞ்ஞானிகள் வெவ்வேறு விடைகள் அளித்தனர். அவை யாவும் சில அடிப்படையான உண்மைகளை விளக்குவதாக இருக்கவேண்டுவது அவசியமாகிறது.

முதலாவதாக, எவ்வித அமைப்பையுடையதாக இருப்பினும், அணுக்கள் நிலையுள்ளனவாக இருத்தல் அவசியம். ஏனெனில் அணுக்களால் ஆன பொருட்கள் நிலையாக உள்ளன. அணுவின் நேர், எதிர் மின்னூட்டமுடைய பாகங்கள் தனித்தனியே அருகில் அமைக்கப்பட்டிருந்தால், அவை ஒன்றையொன்று கவர்வதால், ஒன்றோடொன்று மோதி அழித்துலிடலாம். இரண்டாவதாக, எலக்ட்ரானின் எடை, அணுக்களிலேயே மிகச் சிறிய ஹைட்ரஜன் அணுவின் எடையைவிட 1837 மடங்கு சிறியது என்பதை 4ஆம் அத்தியாயத்தில் படித்தோம். ஆகவே, அணுவின் எடை முழுவதும் நேர் மின்னூட்டமுடைய பாகத்துடனேயே இருத்தல் அவசியம். மூன்றாவதாக, பொருட்கள் ஒளிவிடும்போது அவ் வொளியில் காணப்படும் நிறக் கோடுகளுக்கும் அணுவின் அமைப்பிற்கும் ஏதாவது தொடர்பு இருத்தல் வேண்டும்.

தாம்சனின் அணு அமைப்பு மாதிரி (Thomson's model of the Atom): முதன்முதலாக அணுவிற்கு ஓர் அமைப்பை விளக்கியவர் சர். J. J. தாம்சன் ஆவார். அவரது மாதிரியின்படி, அணுவின் பொருண்மையும் அதன் நேர் மின்னூட்டமும், அணுவின் கோளம் முழுவதும் சமமாகப் பரப்பப்பட்டுள்ளன; எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான்கள் இவ் வணுவில் வெவ்வேறு இடங்களில் பதிக்கப்பட்டுள்ளன. உதாரணமாக, ஹைட்ரஜன் அணுவில்



படம் 29. தாம்சனின் அணு அமைப்பு

ஓர் எலக்ட்ரான் உண்டு. ஹைட்ரஜன் அணு சுமார் 1 A. u. (10^{-8} செ. மீ.) விட்டமுடைய ஓர் கோளம், அக் கோளம் முழுவதிலும் 4.8×10^{-10} esu. நேர்மின்னூட்டமும், 1.6×10^{-24} கிராம் நிறையுடைய பொருண்மையும் பரப்பப்பட்டுள்ளன. அதன் மையத்தில் 4.8×10^{-10} e.s.u. எதிர் மின்னேற்றமுடைய எலக்ட்ரான் உள்ளது. (படம் 29 (a)). ஒரு கோளம் முழுவதும்

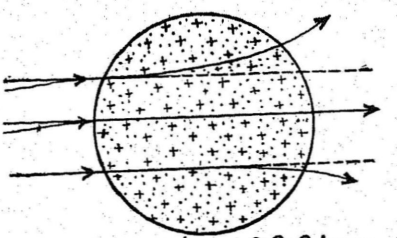
பரவலாக உள்ள மின்னூட்டங்களின் தொகுபயன் அதன் மையத்தில்செயல்படுவதால், வெளிப்புற விளைவுகளைப் பொறுத்தமட்டில், அணுவின் கோளத்திலுள்ள ஒரு நேர் மின்னூட்டமும் அதன் மையத்திலுள்ள ஓர் எதிர் மின்னூட்டமும் சேர்ந்து, அணுவை மின்னூட்டமற்ற பொருளாகச் செய்துவிடுகின்றன.

அவ்வாறே ஹீலிய அணுவில், $(+2e)$ நேர் மின்னூட்டம் அணுவின் கோளமுழுவதிலும் பொருண்மையுடன் பரப்பப்பட்டிருக்க இரு எலக்ட்ரான்கள் ($2e$) அக்கோளத்தின் (ஒரு விட்டத்தின் இரு முனைகளில் பதிக்கப்பட்டுள்ளனஎன்பது தாம்சனின் கருத்து. இவ்விரு எலக்ட்ரான்களின் தொகுபயன் $(-2e)$ கோளத்தின் மத்தியில் செயல்படுவதால், அணுவின் மொத்த மின்னூட்டம் பூஜ்யமாகிவிடுகிறது. எலக்ட்ரான்கள் அணுவின் பொருண்மையில் பதிக்கப்பட்டிருப்பதால், அணு நிலையாக உள்ளது. ஆனால் நிறமாலைக்கோடுகள் எவ்வாறு உண்டாகின்றன வென்று இவ்வமைப்பு விளக்கம் தருவதில்லை.

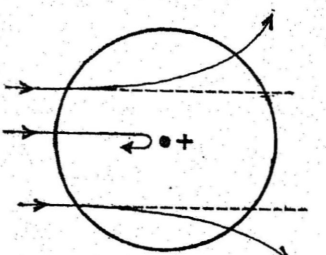
ரதர்ஃபோர்டின் கரு அணு அமைப்பு (Ruther ford's Nuclear atom Model): 1904ஆம் ஆண்டில், ஆங்கில விஞ்ஞானி ரதர்ஃபோர்டும் (Ruther ford), அவருடைய சகாக்கள் கைகரும், மார்ஸ்டனும் (Geiger and Marsden), ரேடியோ கதிரியக்கத்தில் வெளிவிடப்படும், ஆல்பாத்துகள்களை (Alpha particals) வெகு சன்னமான தகடுகளின்னூடே செலுத்துகையில், அத் துகள்கள் வெகு அதிகமான ஒடுக்கம் அடைவதைக் கவனித்தனர். சில துகள்கள் 90 டிகிரிக்கு அதிகமாகவும், இன்னும் சில 180 டிகிரிக்கு, சென்ற பாதையிலேயே திரும்பிப் பிரதிபலித்தும் சென்றன. இவ் விளைவை தாம்சனின் அணு அமைப்பைக்கொண்டு விளக்க இயலாது. ஆல்பாத் துகள்கள் நேர் மின்னூட்டமுடையவை. சன்னத் தகட்டின் அணுக்களினூடே பாய்ந்து செல்கையில், அணுவின் நேர் மின்னூட்டம் துகள்களை எதிர்த்து, ஒதுக்கமடையச் செய்கிறது. ஆனால், தாம்சனின் அணு மாதிரியின்படி பார்த்தால், அணுவின் நேர் மின்னூட்டம் பரவலாக உள்ளபடியால், துகள்களை அதிகமாக ஒதுக்க இயலாது; சிறிய அளவு ஒதுக்கமே அடையச் செய்யும். (படம் 30(a)). அணுவின் மையத்தில் செல்லும் துகள் ஒதுக்கமே அடையாது. ஏனெனில், அதன் இருபுறமும் உள்ள நேர் மின்னூட்டத்தில் எதிர்ப்பு ஒன்றையொன்று அழுத்திவிடும்.

இதை விளக்க, ரதர்ஃபோர்டு அணுவிலுள்ள நேர் மின்னூட்டம் அத்தனையும் அணுவின் மையத்திலே குவிக்கப்பட்டுள்ளது என்றும், அதன் குறுக்களவு 10^{-18} செ. மீ.க்குக் குறைவானது என்றும் வைத்துகொண்டார். இவ்வாறு அணுவின் மையதிலே

குவிக்கப்பட்ட நேர் மின்னூட்டத்திற்கு அணுக் கரு (Nuclues) என்று பெயரிட்டார். எலக்ட்ரான்களின் நிறை நிராகரிக்கப்படும் அளவு குறைவான தாகையால், அணுவின் நிறை அத்தனையும்



(a) தாம்சனின் மாதிரியின்படி



(b) ரதர்ஃபோர்டின் மாதிரியின்படி

படம் 30.

அந்த அணுக் கருவிலே அடங்கியிருக்கவேண்டும். ஆல்பாத் துகள் கள் அணுக் கருவின் மிக அருகிலே அணுகினால், அணுக் கருவின் நேர் மின்னூட்டம் துகளின் நேர் மின்னூட்டத்தை எதிர்த்து, அதை அதிகமான ஒதுக்கமடையச் செய்யும். அணுக்கருவிற்கு நேரே செல்லும் ஆல்பாத் துகள் தன் பாதையிலே திரும்பிச் சென்றுவிடும் (படம் 30(b)).

நேர்மின்னூட்டமுடைய அணுக் கருவுக்கும் எதிர் மின்னூட்ட முடைய எலக்ட்ரானுக்கும்மிடையே செயல்படும் விசை காரண மாக, எலக்ட்ரான் அணுக் கருவைச் சுற்றி வட்டப் பாதையில், சூரியனைச் சுற்றிக் கோள்கள் செல்வதுபோல் சுற்றிச் செல்கிறது. ஆகவே, எலக்டரானின் மைய விலகு விசை கவர்ச்சி விசையைச் சரியீடுகட்டி, அணு நிலையாக இருக்க உதவுகிறது.

ஆனால், ரதர்ஃபோர்டின் தற்கோள் பழைய மின்காந்தக் கொள்கைக்கு எதிரான முடிவுகளைத் தந்தது. மின்காந்தக் கொள் கையின்படி, வட்டப் பாதையில் சுற்றிச் செல்லும் எலக்ட்ரான் தொடர்ச்சியாக ஆற்றலைக் கதிரியக்கமாக வெளிவிட வேண்டும்.

இவ் வாற்றல் எலக்ட்ரானின் வேக ஆற்றலிலிருந்தே வந்ததாகக் வேண்டுமாகையால், எலக்ட்ரானின் வேகம் தொடர்ச்சியாகக் குறைந்து கொண்டே போகும். இது காரணமாக மைய விலகு விசை குறைந்து, அணுக்கருவின் கவர்ச்சி விசையைச் சமன்படுத்த இயலாமற்போகும். எலக்ட்ரான் வட்டப் பாதையைவிட்டு, சுருள் பாதையில் தொடர்ச்சியாக அணுக் கருவை அணுகி, கடைசியில் அணுக் கருவுடன் ஒன்றித்து, அணுவே இல்லாமற் போய்விடும். தொடர்ச்சியாக வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் தொடர்நிறப்பட்டையை உண்டுபண்ண வேண்டும். ஆனால், உண்மையில் இவ்விரண்டும் நேர்வதில்லை. அணு அழிந்து போவதில்லை; நிலையாக உள்ளது. அணுவிலிருந்து வரும் நிறமாலை, கோடுகளாக உள்ளது; பட்டையாக அல்ல.

ஆகவே, பழைய கொள்கைகள் அணுஅமைப்பைச்சரியாக விளக்க இயலாதவை என்பது வெளியாகிறது. நீல்ஸ் போர் (Niels Bohr) என்ற டேனிஷ் விஞ்ஞானி குவாண்டம் கொள்கையைக்கொண்டு ரதர்ஃபோர்டின் கரு அணுஅமைப்பை விளக்கிச் சிறந்த வெற்றி கண்டார்.

போரின் ஹைட்ரஜன் அணு அமைப்பும் ஆற்றல் மட்டங்களும்
(Bohr's theory of the hydrogen atom and the energy levels)

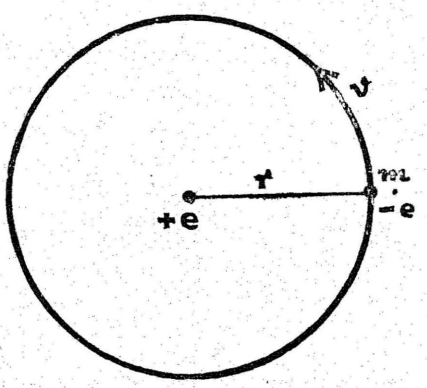
போர், குவாண்டம் கொள்கையைத் தழுவிய மூன்று புதிய எடுகோள்களை (Postulates)க்கொண்டு, அணுவின் அமைப்பை விளக்கினார். அவையாவன:

(1) அணுவின் மையத்தில் அணுக்கரு உள்ளது. அதைச் சுற்றி எலக்ட்ரான் வட்டமிடுகிறது. ஆனால், எலக்ட்ரான் அணுக்கருவிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட சில தூரங்களில்தான் கருவைச்சுற்றி வட்டமிடும். இச் சுற்றுப் பாதைகளில் எலக்ட்ரானின் சுழல் உந்தம் (angular momunttum) $\frac{h}{2\pi}$ என்பதன் முழு மடங்காக இருத்தல்வேண்டும். இச் சுற்றுப்பாதைகளைத் தவிர, வேறுபாதைகளில் எலச்ட்ரான் வட்டமிடாது. h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி (Planck's constant).

(2) இக் குறிப்பிட்ட சுற்றுப் பாதைகளில் சுற்றிச் செல்கையில், எலக்ட்ரான் தன் ஆற்றலை வெளிவிடாது, என்பது இரண்டாம் எடுகோள். இது பழங்கொள்கைக்கு நேர்விரோதமானதெனினும், இதன் உதவியால் அணுஅமைப்பை மிக நுட்பமாய் விளக்கி வெற்றி கண்டமையால், இது ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இச் சுற்றுப்பாதைகளுக்கு நிலையான பாதைகள் (Stable or Stationary orbits) என்று பெயர்.

(3) எலக்ட்ரான் உயர்வான ஆற்றல் வாய்ந்த சுற்றுப் பாதையிலிருந்து குறைவான ஆற்றலுடைய சுற்றுப்பாதைக்குத் தாண்டிக் குதிக்கும்பொழுது, எஞ்சிய ஆற்றலைக் கதிரியக்கமாக வெளிவிடும், என்பதுமூன்றும் எடுகோள். உயர்வான ஆற்றல் E_2 என்றும், குறைவான ஆற்றல் E_1 என்றும் வைத்துக் கொண்டால், ஆற்றல் வித்தியாசம் $(E_2—E_1)$ ஒரு சக்திச் சொட்டாக, அதாவது $h\nu$ என்ற கதிர் குவாண்டமாக வெளி விடப்படுகிறது. இதில் h என்பது பிளாங்கின் மாறலி ν என்பது வெளிவிடப்படும் கதிரின் அலைவெண்.

இக் கருத்துக்களைக்கொண்டு ஹைடரஜன் அணு அமைப்பை ஆராய்வோம். ஹைட்ரஜன் அணுவின் மையத்தில் ஒற்றை நேர் மின்னூட்டமுடைய அணுக்கரு உள்ளது. இதற்குப் புரோட்டான் (proton) என்று பெயர். இதைச்சுற்றி ஓர் எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான் ஒரு வட்டப் பாதையில் சுற்றிச் செல்கிறது. எலக்ட்ரானின் நிறை, மின்னூட்டம், வேகம் இவை



படம் 31. போரின் அணு அமைப்பு

முறையே, m, $(-e)$, v என்றும் அதன் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் r என்றும் வைத்துக் கொள்வோம். அணுக் கருவாகிய புரோட்டனின் நிறை எலக்ட்ரானைப்போல், 1836 மடங்கு அதிக மாகையால், அது அசையாமல் ஒரே இடத்தில் நிலையாக உள்ளது என்றும் கொள்வோம். புரோட்டானின் மின்னூட்டம் $(+e)$.

---

* ν என்பது ஒரு கிரேக்க எழுத்து; இதை 'ந்யூ' என்று உச்சரிப்பார்கள்; ஆங்கிலத்தில் n என்ற ஒலிக்குச் சமமானது.

அணுக் கருவுக்கும் எலக்ட்ரானுக்குமிடையே செயல்படும் கவற்சி விசை $= \frac{e \times e}{r^2} = \frac{e^2}{r^2}$. இதற்கு எதிராகச் செயல்படும் மைய விலகு விசை $= \frac{mv^2}{r}$

அணுநிலையாக இருக்கவேண்டுமானால், இவ்விருவிசைகளும் சமமாயிருக்கவேண்டும்,

அதாவது, $\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}$ ...(6)

$\therefore \quad v^2 = \frac{e^2}{mr}$ ...(7)

வட்டமான சுற்றுப்பாதையில் செல்லும் எலக்ட்ரானின் சுழல் உந்தம் (angular momentum) $= mvr$.

[குறிப்பு : 'சுழல் உந்தம்' என்பதை, 'உந்தத்தின் திருப்பு திறன்' (moment of mumentum) என்றும் அழைப்பர். mv என்பது எலக்ட்ரானின் உந்தம் (momeutum), அணுமையத்தைச் சுற்றி இதன் திருப்புத்திறன் (moment) $= mv \times r = mvr$ ஆகும்.]

போரின் முதலாம் எடுகோளின்படி, இச் சுழல் உந்தம் $\frac{h}{2\pi}$ என்பதன் முழு மடங்காக இருத்தல்வேண்டும். அதாவது, எலக்ட்ரான் செல்லும் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் r_1 என்று வைத்துக்கொண்டால், $mvr_1 = \frac{h}{2\pi}$ ஆக இருத்தல் வேண்டும்.

சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் r_2 என்றால், $mvr_2 = 2 \times \frac{h}{2\pi}$

சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் r_3 என்றால், $mvr_3 = 3 \times \frac{h}{2\pi}$

சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் r_n என்றால், $mvr_n = n \times \frac{h}{2\pi}$ ...(8)

இதில், $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots$

(n என்பது $1\frac{1}{2}$ என்றோ, 5·8 என்றோ, பின்னமாக இருத்தல் முடியாது; முழு எண்ணாகத்தான் இருத்தல் வேண்டும்)

(3) ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து, $v = \frac{nh}{2\pi mr_n}$

$\therefore \quad v^2 = h^2/4\pi^2 m^2 v_n^2$ ... (9)

(9), (7) சமன்பாடுகளை ஒத்திவிட்டால்,

$$\frac{e^2}{mr_n} = \frac{n^2h^2}{4\pi^2m^2r_n^2}$$

$$\therefore \quad \gamma_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 me^2} \qquad \ldots (10)$$

$$n = 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots\ldots$$

இச் சமன்பாட்டில் h, π, m, e யாவும் மாறிலிகளாகையால், γ_n என்பது n^2 க்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது. அதாவது, முதலாம் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் r_1 என்றால் $(r_1 = h_3/4\pi^2 me^2)$, இரண்டாம் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம் $r_2 = 4r_1$; மூன்றும் சுற்றுப் பாதையின் ஆரம் $r_n = n^2 r_1$. இந்த n என்ற சுற்றுப் பாதையின் ஆரம் $r_3 - 9rn$ எண்ணுக்குக் 'குவாண்டம்' (quantum number) என்று பெயர்.

முதலாம் சுற்றுப்பாதையின் ஆரம்

$r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 me^2}$. இதில் h_1 π, m, e இவற்றின் அளவுகளை இட்டுக் கணித்தால்,

$$r_1 = \frac{(6.622 \times 10^{-27})^2}{4\pi^2 \times 9.113 \times 10^{-28} \times (4.8 \times 10^{-10})^2} = .53 \times 10^{-8}$$

செ.மீ = .53 A U.

இதற்கு 'போரின் முதலாம் சுற்றுப்பாதை' (First Bohr Orbit) என்று பெயர். இம் முதலாம் சுற்றுப்பாதையின் விட்டம் 1.06×10^{-8} செ.மீ. வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கையிலிருந்து கணிதத்தின்படி, அணுக்களின் விட்டங்களின் அளவும் இதுவே யாகும்.

அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்கள் (Energy Levels)

ஒர் அணுவின் மொத்த ஆற்றல், அதன்வேக ஆற்றல் நிலை ஆற்றல் இவற்றின் கூட்டுத்தொகையாகும். அணுவின் வேக ஆற்றல், அதாவது. எலக்ரானின் வேக ஆற்றல் $= \frac{1}{2}mv^2$

$= \frac{e^2}{2\gamma_n}$ இது (6) ம் சமன்பாட்டிலிருந்து கிடைக்கிறது.

நிலை ஆற்றல் என்பது, எலக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தை ஈறிலா தூரத்திலிருந்து அணுக் கருவுக்கு γ_n தூரத்திக்கொண்டு வருவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலையாகும்.

அணுக்கருவிலிருந்து r என்ற தூரத்திலுள்ள e என்ற மின்னூட்டத்தை dr தூரம் நகர்த்துவதற்குச் செய்யப்படும் வேலை

$$= \text{விசை} \times \text{தூரம்}$$

$$= \frac{e^2}{r^2} \times dr$$

$$\therefore \text{ நிலை ஆற்றல்} = \int_{\infty}^{r_n} \frac{e^2}{r^2}\, dr = \left[-\frac{e^2}{r} \right]_{\infty}^{r_n} = \frac{e^2}{r_n}$$

$$\therefore \text{ மொத்த ஆற்றல்} = -\frac{e^2}{r_n} + \frac{e^2}{2r_n} = -\frac{e^2}{2r_n}$$

(10) ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து r_n-இன் அளவை இதில் விட்டால்,

$$\text{மொத்த ஆற்றல் } E_n = -\frac{e^2}{2} \times \frac{4\pi^2 me^2}{n^2 h^2} = -\frac{2\pi^2 me^4}{n^2 h^2} \quad \ldots(11)$$

$$n = 1, 2, 3, \ldots\ldots\ldots$$

ஆகவே, அணுவின் மொத்த ஆற்றல், சுற்றுப்பாதையின் குவாண்டம் எண்ணின் இருமடி எதிர் விதியாக (inverse square) அமைந்துள்ளது.

அணு ஆற்றலின் அளவு எதிர்க் குறியுடன் இருப்பதால், குவாண்டம் எண்ணின் (n) அளவு பெரிதாக ஆக, E_n-இன் எண் மதிப்பு (numerical value) குறையுமென்றாலும், அதன் உண்மையான அளவு அதிகரிக்கின்றது. அதாவது, வெளிப்புறச் சுற்றுப்பாதைகளின் ஆற்றல் அதிகம்; உள்புறச் சுற்றுப்பாதைகளின் ஆற்றல் குறைவு. முதலாம் சுற்றுப்பாதையில் அணுவின் ஆற்றல் மிகச் சிறியதாகும். ஆகவே, முதலாம் சுற்றுப்பாதையில்தான் அணு அதிக நிலையாக உள்ளது. (ஆற்றல் குறைவாயுள்ள நிலையிலேயே பொருட்கள் அதிக ஸ்திரமாய் நிலைத்திருப்பதை நாம் அன்றாட ஜீவியத்தில் அறிந்துள்ளோம். உதாரணம்: தரையின் மீதுள்ள பொருள் மேசை மீதுள்ள பொருளைவிட ஸ்திரமானநிலையிலுள்ளது, 'கீழே விழ' ஏதுவில்லை). அணுவின் இயல்பான கிளர்ச்சியற்ற நிலையில் அதன் எலக்ட்ரான் இந்த முதலாம் (அல்லது உள்) சுற்றுப்பாதையிலேயே இருக்கும். ஏதாவது ஒரு வகையில்–வெப்பத்தாலோ, மின்னழுத்தத்தாலோ–அணு ஆற்றல் பெற்றால், அதன் எலக்ட்ரான் உள் சுற்றுப்பாதையிலிருந்து வெளிச் சுற்றுப்பாதைக்குத் தாவிக் குதிக்கும். இந்நிலை அணுவின் "கிளர்ச்சி நிலை" (exicted state) எனப்படும். ஆனால், இக்கிளர்ச்சி நிலையில் அணு வெகு சிறிது காலமே இருக்கும். வினாடியின் லட்சத்தில் ஒரு பாக காலத்திற்கு மேல் அங்கு இராது; மறுபடியும் தன் தரைமட்ட நிலைக்குத் தாவி விடும். இவ்விரு சுற்றுப்பாதைகளுக்கிடையே உள்ள ஆற்றல் பேதமே கதிர்வீச்சாக வெளிவிடப்படுகிறது. எலக்ட்ரான் எந்தச் சுற்றுப்பாதையில் சென்றாலும் ஆற்றல் வெளிவிடப்படுவதில்லை. வெளிச்

சுற்றுப்பாதையிலிருந்து உள் சுற்றுப்பாதைக்குத் தாவினால் தான் ஆற்றல் பேதம் கதிர்வீச்சாக வெளிவிடப்படுகிறது.

போரின் மூன்றும் எடுகோளின்படி, இவ் வாற்றல் பேதம் $= h\nu$ என்னும் கதிர்வீச்சு.

E_1 என்பது ஓர் உள் சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல் என்றும், E_2 என்பது ஒளி வெளிச் சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல் என்றும் வைத்துக்கொள்வோம். எலெக்ட்ரான் வெளிப் பாதையிலிருந்து உள் பாதைக்குத் தாவினால்,

$$h\nu = E_2 - E_1$$

$$\therefore \quad \nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \qquad \ldots \quad (12)$$

வெளிவிடப்படும் கதிர்வீச்சின் அலைவெண் ν என்பது ஆற்றல் பேதம் $(E_2 - E_1)$ அதிகமாயிருந்தால், கதிர்வீச்சின் அலைவெண் ν அதிக அளவுள்ளதாயிருக்கும். கதிரின் அலை நீளம் குறைவுள்ளதாயிருக்கும். வெளியிடப்படும் கதிர்வீச்சு சிவப்பு நிற ஒளியா, ஊதாநிற ஒளியா, அல்லது இவற்றிற்கு அப்பாற்பட்டதா என்பது $(E_2 - E_1)$ அளவைப் பொறுத்தது. இதுவே நிறமாலையின் அடிப்படைக் கொள்கையாகும்.

E_1, E_2 என்ற ஆற்றல்கள் n_1, n_2 என்ற இரு குவாண்டம் எண்களைச் சார்ந்தவை. (11) ஆம் சமன்பாட்டின்படி, இவை முறையே,

$$E_1 = = \frac{2\pi^2 me^4}{n_1^2 h^2}$$

$$E_2 = - \frac{2\pi^2 me^4}{n_2^2 h^2}$$

$$\therefore \quad \nu = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad \ldots \quad (13)$$

இதை ν என்ற அலை எண்ணுகக் காண்பித்தால், $\overline{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{1}{\lambda}$ என்று வரும். ஏனென்றால், எந்த அலைக்கும் $c = \nu\lambda$ என்ற சமன்பாடு பொருந்தும். இதில் c = ஒளியின் வேகம் ; λ = ஒளியின் அலை நீளம்,

ஆகவே, $\overline{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} \| \frac{2\pi^2 me^4}{h^3 c}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \ldots \quad (14)$

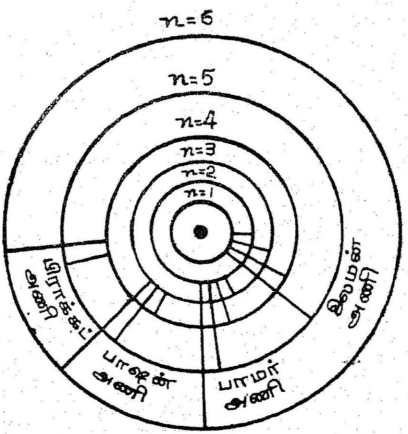
இச்சமன் பாட்டில் வரும் π m, e, h, c என்ற மாறிலிகளின் அளவுகளைக் கொண்டு கணித்தால்,

$$\frac{2\pi^2 me^4}{h^3 c} = 109737 \text{ செ. மீ.}^{-1} \quad \ldots \quad (15)$$

என்று வருகிறது. (2) ஆம் சமன்பாட்டில் நாம் கண்ட ரிட்பர்க் மாறிலியின் அளவும் இதுவே என்பது வெளிப்படை. அத்துடன் (14) ஆம், (5) ஆம் சமன்பாடுகள் ஒன்றையே குறிப்பிடுகின்றன. என்பதும் தெளிவாகின்றது. (2 ஆம், 15 ஆம் சமன்பாடுகளில் வரும் R-இன் அளவுகள் சிறிது வித்தியாசமாயிருப்பதன் காரணம் பின்பு தெளிவாகும். (பக்கம் : 84).

14ஆம் சமன்பாட்டைக் கொண்டு ஹைட்ரஜனின் நிறமாலை அணிகள் அனைத்தையும் விளக்கிவிடலாம்.

உதாரணமாக, $n_1 = 1$ என்றும், $n_2 = 2, 3, 4, 5 \ldots\ldots$ என்றும் கொண்டால், லைமன் அணியின் கோடுகள் யாவும்



படம் 32. ஹைட்ரஜனின் அணிநிறமாலை

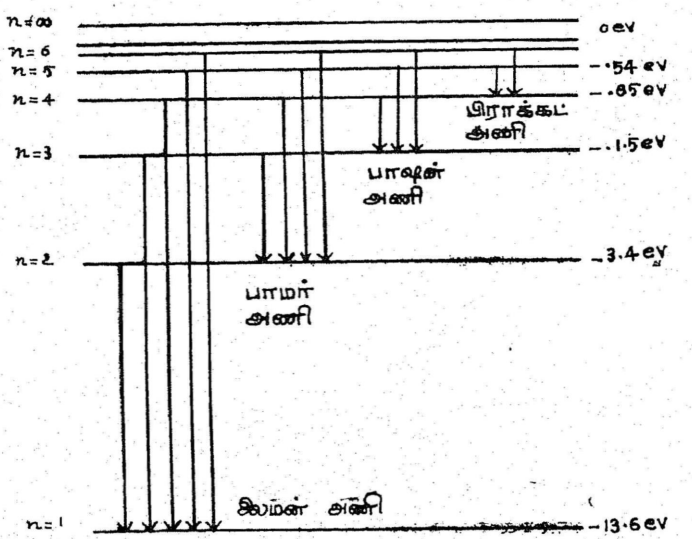
கிடைக்கின்றன. அதாவது, எலெக்ட்ரான் வெளிப்புறச் சுற்றுப் பாதைகளிலிருந்து. $n = 1$ என்ற உள் பாதைக்குத் தாவினால், லைமன் அணி நிறமாலையின் கோடுகள் உண்டாகின்றன. $n_1 = 2$ என்றும் $n_2 = 3, 4, 5, 6 \ldots\ldots$ என்றும் கொண்டால், பாமர் அணி நிறமாலையின் கோடுகள் அனைத்தும் தரப்படுகின்றன. அதாவது, பாமர் அணியின் கோடுகள், எலக்ட்ரான் வெளிச் சுற்றுப் பாதையிலிருந்து இரண்டாம் சுற்றுப்பாதைக்குத் தாண்டுவதால் உண்டாகின்றனவென்பது வெளிப்படை.

அவ்வாறே, $n_1 = 3$; $n^2 = 4, 5, 6$.....பாஷன் அணி

$n_1 = 4$; $n_2 = 5, 6, 7, 8$..... பிராக்கட் அணி

32ஆம் படத்தில் இவை காட்டப்பட்டுள்ளன. (ஆனால், சுற்றுப் பாதைகளின் அளவுகள் சரியான விகிதந்தில் இல்லை.)

32ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள சுற்றுப்பாதைகளைவிட, ஆற்றல் மட்டங்களைக் காண்பிக்கும் படம் முக்கியமாகும். ஓர் அணு தொடர்ச்சியாக எந்த ஆற்றலையும் உடைத்தாயிருக்க முடியாது; தனித் தனியான ஆற்றல் அளவுகளைத்தான் பெற்றிருக்க முடியும் என்பதை, 11 ஆம்சமன்பாடு காண்பிக்கிறது. இதையே 33ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. கிடைமட்டக்



படம் 33. ஹைட்ரஜனின் ஆற்றல் மட்டங்கள்.

கோடுகள் ஹைட்ரஜன் அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்களைக் குறிப்பிடுகின்றன. மட்டங்களின் குவாண்டம் எண்கள் (n) இடப்புறத்திலும், ஆற்றலின் அளவுகள் எலக்ட்ரான் வோல்டு அலகில் கோடுகளின் வலப்புறத்திலும் தரப்பட்டுள்ளன. எலக்ட்ரான் உயர்ந்த ஆற்றலுடைய மட்டத்திலிருந்து கீழ்மட்டத்திறகுத் தாண்டுவதை செங்குத்துக் கோடுகள் காண்பிக்கின்றன. $n = 1$ என்ற அடிமட்டமே ஹைட்ரஜனின் இயல்பான நிலை. ஹைட்ரஜன் வாயுவில் கிளர்ச்சி எதுவும் ஏற்படவில்லை யென்றால், அதன் அணுக்கள் இந்த அடிமட்ட ஆற்றல் நிலையில்தான் இருக்கும்.

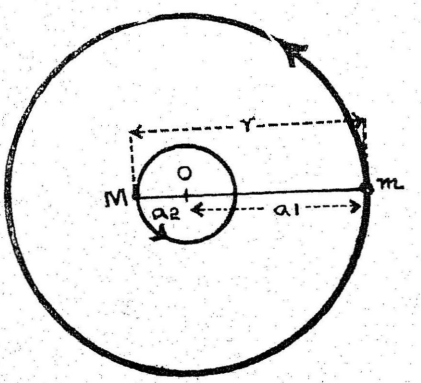
(11) ஆம் சமன்பாட்டின்படி, $En = \frac{2\pi^2 me^4}{n^2 h^2}$. இதில் வரும் π, m, e, h இம் மாறிலிகளின் அளவுகளை யிட்டுக் கணித்தால், $En = \frac{-21{\cdot}8 \times 10^{-12}}{n^2}$ எர்கு $= \frac{13{\cdot}6}{n^2}$ எலக்ட்ரான் வோல்டு. ஆகவே, $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots \infty$ மட்டங்களின் ஆற்றல்கள் $-13{\cdot}6$ ev, $-3{\cdot}4$ ev, $-1{\cdot}5$ ev ....., 0 ev என்றாகும்.

வெப்பம், மின்னழுத்தம், மோதல் இவற்றின் மூலமாக அணுவுக்கு ஆற்றல் தரப்பட்டால், அதன் எலக்ட்ரான் அடிமட்டத்திலிருந்து எந்த உயர்ந்த மட்டத்திற்காவது தாவும் எந்த மட்டத்திற்குத் தாவும் என்பது ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட ஆற்றலின் அளவைப் பொறுத்தது. உதாரணமாக, 13⋅6 எலட்க்ரான் வோல்டு ஆற்றல் பெற்றால், அணுவின் எலக்ட்ரான் $n = 1$ மட்டத்திலிருந்து $n = 5$ மட்டத்திற்குத் தாவும். அந்த மேல்மட்டத்தில் வெகு சிறிது நேரமே இருந்தபின் நேராகவோ, அல்லது இரண்டு மூன்று படிகளிலோ தாவி அடிமட்டத்திற்கு வந்துசேரும். நேராகத் தாவிக் குதித்தால் லைமன் அணியின் நான்காவது கோடு வெளிவிடப்படும். முதலில் $n = 2$ மட்டத்திற்குத் தாவி, பின் அடிமட்டத்திற்கு வந்து சேர்ந்தால், பாமர் அணியின் மூன்றாவது கோடும், லைமன் அணியின் முதலாம் கோடும் வெளிவிடப்படும். ஒவ்வொரு அணி நிறமாலையின் கோடுகளும், எலக்ட்ரான் மேல்மட்டங்களிலிருந்து எதாவதொரு குறிப்பிட்ட கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் தாவிக் குதிப்பதால் ஏற்படுகின்றன என்பது விளங்கும்.

மேல் மட்டங்களுக்குச் செல்லச் செல்ல, அவை ஒன்றுக் கொன்று நெருங்கி, நெருக்கமடைவதைக் காண்கிறோம். $n = \infty$ என்று ஆகும்பொழுது, ஆற்றல் பூஜ்யமாகிவிடுகிறது; தனித் தனி ஆற்றல் மட்டங்களும் ஒன்றோடொன்று ஒன்றித்து, தொடர் ஆற்றலாகிவிடுகிறது. கண்ணுக்குத் தென்படும் பாமர் அணியை எடுத்துக்கொண்டோமானால், அதன் முதலாம் கோடாகிய H_α (H ஆல்ஃபா என்று உச்சரிக்கப்படும்) $n_2 = 3$ மட்டத்திலிருந்து $n_1 = 2$ மட்டத்திற்குத் தாண்டுவதால் ஏற்படுவது. அதன் அலைநீளம் 6563 Au; சிவப்பு நிறம். இரண்டாம் கோடு $H\beta$ (H —பீட்டா) $n_2 = 4$-லிருந்து $n_1 = 2$ மட்டத்திற்கு மாறுவதால் உண்டாவது. இதன் அலைநீளம் 4861 Au; பச்சை—நீலநிறம்; $H\nu$ (H—காமா) 4341 Au; நீலநிறம்; $n_2 = 5 \rightarrow n_1 = 2$. $H\delta$ (H — டெல்டா) 4102 AU, ஊதாநிறம்; $n_2 = 6 \rightarrow n_1 = 2$. இந் நான்கும் கண்ணுறும் (Visible) கோடுகள். இவ்வாறே மேல்மட்டங்களுக்குச் சென்றால், அலைநீளங்கள் குறுகி, புற ஊதாவாகிவிடுகின்றன. இவ் வணியின் கடைசிக் கோடு ($n_2 = \infty$) 3646 Au அலைநீளமுடையது.

இவ்வாறே $n_2 = 2, 3, 4 \ldots$ முதலிய மட்டங்களிலிருந்து $n_1 = 1$ என்ற அடிமட்டத்திற்கு மாற்றலாவதால் லைமன் அணியின் கோடுகள் ஏற்படுகின்றன. இவற்றின் ஆற்றல் பேதங்கள் அதிக அளவுள்ளவையாகையால் வெளிவிடப்படும் கதிரின் ($h\nu$) அதிர்வெண் மிக அதிகமாயும், அவற்றின் அலைநீளங்கள் மிகக் குறைவாகவும் உள்ளன. ஆகையால், இவ் வணியின் கோடுகள் யாவும் புற ஊதாவிலேயே உள்ளன. முதலாம் கோட்டின் அலை நீளம் 1215 AU; கடைசிக் கோடு = 911 AU. இதுபோலவே, மேல் மட்டங்களிலிருந்து $n_1 = 3$ஆம் மட்டத்திற்கு ஏற்படும் மாற்றல்களால் பாஷன் அணிக் கோடுகளும், $n_1 = 4$ஆம் மட்டத்தின் மாற்றல்களால் பிராக்கட் அணிக் கோடுகளும் உண்டாகின்றன. இவ்விதமாக நீல்ஸ் போரின் கொள்கை ஹைட்ரஜன் அணு அமைப்பையும், ஹைட்ரஜன் அணி நிறமாலைகள் அனைத்தையும் வெகு தெளிவாய் விளக்குகிறது.

அணுக்கரு நிறையின் விளைவு (Effect of Nuclear Mass): மேலே விளக்கிய போரின் கொள்கையில், அணுக் கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரான் வட்டப்பாதையில் செல்கிறதென்றும், அணுக் கரு அசையாமல் ஒரே இடத்தில் நிலையாக நிற்கிறதென்றும் வைத்துக்



படம் 34. அணுக் கருவின் சுழற்சி

கொண்டோம். ஆனால், அணுக் கருவின் நிறை ஈறிலியாக (infinity) இருந்தால்தான் இது உண்மையாகும். அந் நிறை ஈறிலியல்ல; எலக்ட்ரானைப்போல் சுமார் 1840 மடங்கு நிறையுள்ளது. இது காரணமாக, அணுக் கரு, எலக்ட்ரான் இரண்டுமே ஒரு பொதுவான ஈர்ப்பு மையத்தைச் (O) சுற்றி இரு வட்டங்களில் சுற்றும். அதிக எடையுள்ள அணுக்கரு a_2 என்றும் சிறிய ஆரமுடைய வட்டத்திலும், எடை குறைவாயுள்ள எலக்ட்ரான் a_1 என்றும் பெரிய

வட்டத்திலும் சுற்றிவரும். அணுக் கருவின் நிறை M என்றும் எலக்ட்ரானின் நிறை m என்றும் வைத்துக்கொண்டால், ஈர்ப்பு மையத் தோற்றத்தின்படி $Ma_2 = ma_1$. அணுக் கருவுக்கும் எலக்ட்ரானுக்குமியே உள்ள தூரம் முன்போல் r என்று கொண்டால்,

$$a_1 = r - a_2 = r - \frac{ma_1}{M}$$

$$\therefore\ a_1\left(1+\frac{m}{M}\right) = r \therefore a_1 = r/\left(1+\frac{m}{M}\right) \quad \ldots\ (16)$$

$$a_2 = \frac{m}{M}\ a_1 = \frac{mr}{M+m} \quad \ldots\ (17)$$

எலக்ட்ரானும் அணுக்கருவும், O என்ற பொது ஈர்ப்பு மையத்தை ஒன்றுக்கொன்று எதிர்க்கெதிராக, ஒரு விட்டத்தின் இருமுனைகளிலிருந்தவாறு சுற்றி வருகின்றன. ஆகையால், அவற்றின் கோண வேகம் (w) சமமாகும். அணுவின் மொத்த வேக ஆற்றல், எலக்ட்ரான், அணுக்கரு இவ்விரண்டின் வேக ஆற்றலின் கூட்டுத் தொகையாகும். அதாவது,

$$\text{மொத்த வேக ஆற்றல்} = \tfrac{1}{2}mv_2 + \tfrac{1}{2}MV^2$$
$$= \tfrac{1}{2}mw^2a^2{}_1 + \tfrac{1}{2}\ Mw^2a^2{}_2$$

a_1, a_2 இவற்றின் அளவுகளை (16), (17) சமன்பாட்டிலிருந்து எடுத்தால் மொத்தவேக ஆற்றல் $= \tfrac{1}{2}w^2\left[m\left(\frac{r^2}{1+\frac{m}{M}}\right)^2 + M\frac{r^2m^2}{(M+m)^2}\right]$

$$= \tfrac{1}{2}w^2r^2m\left[\left(\frac{1}{1+\frac{m}{M}}\right)^2 + \frac{Mm}{(M+m)^2}\right]$$

$$= \tfrac{1}{2}w^2r^2m\left[\frac{1}{\left(1+\frac{m}{M}\right)^2} + \frac{Mm}{M^2\left(1+\frac{m}{M}\right)^2}\right]$$

$$= \tfrac{1}{2}\ v\frac{m}{\left(1+\frac{m}{M}\right)} = \tfrac{1}{2}\ w^2r^2\mu \quad \ldots\ (18)$$

இதில் $\mu = \dfrac{m}{\left(1+\frac{m}{M}\right)}$: இதற்கு 'சுருக்கிய நிறை' (reduced Mass) என்று பெயர்.

வேக ஆற்றல் $\tfrac{1}{2}\ mv^2 = \tfrac{1}{2}\ mw^2r^2$

என்று முன்னே எடுத்துக்கொண்டதை, அணுக்கருவின் சுழற்சி

யையும் கொண்டு வருவித்ததில், $\frac{1}{2}\mu w^2 r^2$ என்று வருகின்றது. அதாவது, எலெக்ட்ரானின் நிறை m வரும் இடத்தில் $\mu\left(=\frac{m}{1+\frac{m}{M}}\right)$ என்ற சுருக்கிய நிறை வருகிறது. அவ்வளவுதான் வித்தியாசம்.

இச் சிறு மாற்றத்தைக்கொண்டு, போரின் கொள்கைப்படி ஹைட்ரஜனின் ஆற்றல் மட்டங்களைக் கணித்தால், ஹைட்ரஜன் அணி நிறமாலைகளின் அலை எண் (14 ஆம் சமன்பாடு)

$$\overline{\nu} = \frac{2\pi^2 me^4}{eh^3}\left(\frac{1}{1+\frac{m}{M}}\right)\left(\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right) \quad \ldots (19)$$

என்று வரும்.

ஆகவே, ஹைட்ரஜன் அணுவின் ரிட்பர்க் மாறிலி

$$R^h = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}\left(\frac{1}{1+\frac{m}{M}}\right) = R_\infty\left(\frac{1}{1+\frac{m}{M}}\right) \quad \ldots (20)$$

என்றாகிறது. அதாவது அணுக்கருவின் நிறை M ஈறிலி (∞)யாக இருந்தால் $m/M = 0$, $R_h = R_\infty$ என்றாகும். இதுவே, (15)-ஆம் சமன்பாட்டின் ரிட்பர்க் மாறிலி. அதன் அளவு $R_\infty = 109737$ செ. மீ.$^{-1}$. ஆனால் ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவின் நிறை ஈறிலியல்ல; எலக்ராட்ன் நிறையைப்போல் 1840 மடங்கு அதிகமானது. அதாவது, $\frac{m}{M_h} = \frac{1}{1840}$. ஆகையால் ஹைட்ரஜன் அணுவின் ரிட்பர்க் மாறிலி

$$R_h - R_\infty\left(\frac{1}{1+\frac{m}{M}}\right) = 109737 \times \left(\frac{1}{1+\frac{1}{1840}}\right)$$
$$= 109677 \text{ செ. மீ.}^{-1}$$

இதுவே, ஹைட்ரஜன் அணி நிறமாலை அளவுகளிலிருந்து (2ஆம் சமன்பாட்டில்) கிடைத்த ரிட்பர்க் மாறிலி அளவாகும். இவ்விரண்டு அளவுகளுக்கிடையே ஏன் சிறிது வித்தியாசமுள்ளது என்பது இதிலிருந்து தெளிவாகிறது.

அவ்வாறே, ஹீலிய அணுக்கருவின் நிறை ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவைப்போல் நான்குமடங்கு அதிகமாயிருப்பதால், ஹீலிய அணுவின் ரிட்பர்க் மாறிலி

$$\left(\frac{1}{1+\frac{m}{\text{Мне}}}\right) = 109737 \times \left(\frac{1}{1+\frac{1}{4\times 1840}}\right)$$
$$= 109722 \text{ செ. மீ.}^{-1}$$

ஹீலிய அணி நிறமாலையிலிருந்து கிடைக்கும் ரிட்பர்க் மாறிலியின் அளவும் இதுவே.

இவ்வாறு, அணிநிறமாலை அளவுகளிலிருந்தும், போரின் கணிப்பின்படியும் கிடைக்கும் ரிட்டர்க் மாறிலி அளவுகள் ஒன்றாயிருப்பதனால், போரின் கொள்கைகள் முற்றிலும் உண்மையானவை என்பது விளங்குகிறது. அத்துடன், நிறமாலை அளவுகளைக்கொண்டு $\left(\frac{m}{\text{Мн}}\right)$ அளவைத் திருத்தமாகக் கணிக்க முடிகிறது. இதிலிருந்து $\left(\frac{e}{m}\right)$ அளவையும் வெகு திருத்தமாகக் கணிக்கலாம். ஏனென்றால், $\frac{e}{m} = \frac{e/\text{Мн}}{m/\text{Мн}}$.

இதில் $e/\text{Мн}$ என்பது ஒரு 'கிராம்—அணு' ஹைட்ரஜனில் உள்ள மின்னூட்டம்; வெகு திருத்தமாக அறியப்பட்டுள்ளது (96, 494 கூலம்கள்). ஆகவே, e/m ஐத் திருத்தமாகக் கணிக்கலாம். இதிலிருந்து கிடைத்த அளவு $\frac{e}{m} = 1.77 \times 10^{7}$ emu / கிராம். இது எதிர் மின்கதிர்களைக் கொண்டு அளந்த அளவுகளைவிட, வெகு திருத்தமானது.

அணுக்களின் கிளர்தலும் அயனியாக்கமும் (Excitation and Ionization of Atoms)

போரின் கொள்கைப்படி, ஓர் அணு தன் அடிமட்ட ஆற்றல் நிலையிலிருந்தால், அதுதன் இயல்பானநிலையிலுள்ளது எனப்படும். ஏதாவதொரு வகையில் ஆற்றல்பெற்று மேல் ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு மாற்றலடைந்தால், அது 'கிளர்ச்சிநிலை'யில் உள்ளது எனப்படும். அதிகமான ஆற்றல் பெற்றால், அதன் எலக்ட்ரான் அணுவிலிருந்து (அதாவது அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்களிலிருந்து) முழுவதுமாக வெளியேற்றப்பட்டுவிடலாம். அப்பொழுது அணு அயனியாக்கப்பட்டது எனப்படும்.

ஓர் அணுவைக் கிளர்வதற்கும் அயனியாக்குவதற்கும் சுலபமான முறை, எலக்ட்ரான்களால் அணுவைத் தாக்குவதாகும். ஒரு குழாயில் ஒரு கம்பிச்சுருளைப் பொருத்தி, அதில் மின்னோட்டம் பாய்ச்சினால் கம்பி சூடேற்றப்பட்டு, எலக்ட்ரான்களை

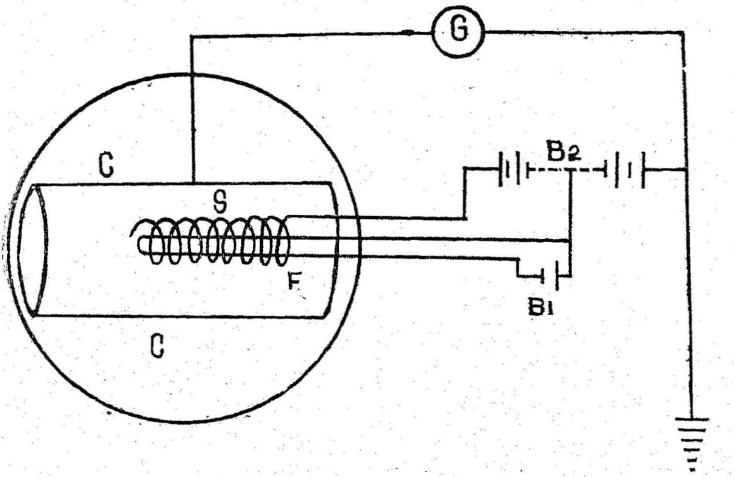
வெளிவிடும். குழாயின் மறுகோடியில் ஒரு மின்வாயைப் பொருத்தி, அதற்கு நேர் மின்னூட்டமளித்தால், விடுபட்ட எலக்ட்ரான்கள் நேர் மின்வாயை நோக்கி அதிகரிக்கும் ஆற்றலுடன் பாய்ந்துசெல்லும். குழாயில் தேவையான வாயுவை எடுத்துக்கொண்டால், பாய்ந்துசெல்லும் எலக்ட்ரான்கள் வாயு அணுக்களுடன் மோதி, அவற்றைக் கிளர்ந்தும் அயனித்தும் ஆற்றலூட்டுகின்றன. ஓர் அணுவை அதன்மேல் ஆற்றல் மட்டத்திற்கு மாற்றமடையச் செய்வதற்குத் தேவையான ஆற்றலை எலக்ட்ரான் வோல்டு அலகில் குறிப்பிட்டால், அதற்குக் 'கிளர்தல் மின்னழுத்தம்' (exeitation potential) என்று பெயர். எலக்ட்ரானை முழுவதுமாக வெளியேற்றி, அணுவை அயனியாக்கத தேவைப்படும் ஆற்றலுக்கு 'அயனியாக்க மின்னழுத்தம்' (ionization potential) என்று பெயர்.

33ஆம் படத்தில் விளக்கியபடி, ஹைட்ரஜன் அணுவை அதன் இயல்பான ($n=1$) நிலையிலிருந்து முதலாம் கிளர்ந்த நிலைக்கு ($n=2$) மாற்றமடையச் செய்வதற்கு (13·6 — 3·4) 10·2 எலக்ட்ரான் வோல்டு ஆற்றல் தேவைப்படும். இரண்டாம் கிளர்ந்த நிலைக்கு ($n=3$) உயர்த்த (13·6 — 1 5) 12·1 எலக்ட்ரான் வோல்டு ஆற்றல் தேவை. எலக்ட்ரானை முழுவதுமாக அணுவிலிருந்து அப்புறப்படுத்த 13·6 எலக்ட்ரான் வோல்டு ஆற்றல் தேவை. ஆகவே ஹைட்ரஜன் அணுவின் அயனியாக்க மின்னழுத்தம் 13·6 வோல்டு என்றும், கிளர்தல் மின்னழுத்தங்கள் 10·2, 12·1.....வோல்டுகள் என்றும் தெளிவாகின்றது. அணு கிளர்தல் நிலையை அடைந்தால்தான் மறுபடியும் தரைமட்ட நிலைக்கு விழுந்து, நிறமாலைக் கோடுகளைக் கதிர்வீச்சாக வெளிவிடமுடியும் என்பது விளங்கும்.

கிளர்தல், அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களை அளக்கும் விதம்
(Determination of Excitation and Ionization Potentials)

கிளர்தல், அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களுக்கு மாறுநிலை மின்னழுத்தங்கள் (critcial potentials) என்றும் பெயர். இவற்றை அளப்பதற்கு 35ஆம் படத்தில் கண்டுள்ள சாதனம் பயன்படுகின்றது. F என்னும் மின்னிழை B பாட்டரியால் சூடேற்றப்படுவதால், வெப்ப அயனிகள் வெளிவிடப்படுகின்றன. F-ஐச் சுற்றிலும் S என்ற சுருள்கம்பி B_2 பாட்டரியால் நேர் மின்னூட்டம் பெற்றுள்ளதால், வெளிவிடப்படும் வெப்ப அயனிகள் வேக முடுக்கம் அடைகின்றன. S-ஐச் சுற்றியுள்ள CC என்ற உலோக நீள் உருளை, G என்ற கால்வனோ மீட்டருடன் பிணைக்கப்பட்டு,

வேகமாக வரும் அயனிகளை ஏற்று, கால்வனோ மீட்டரில் மின்னோட்டமாகக் காண்பிக்கிறது. F,S,C. அனைத்தும் ஒரு கண்ணாடி

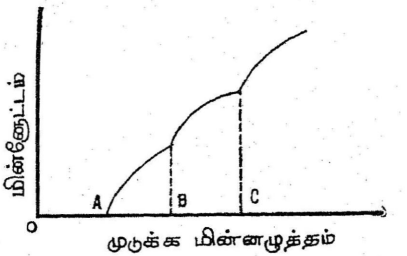


படம் 35. மாறுநிலை மின்னழுத்தங்களை அளக்கும் சாதனம்

பல்பினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இப் பல்பினுள் ஆராய்ச்சி வாயு தேவைப்பட்ட அழுத்தத்தில் அடைபட்டுள்ளது.

வெப்ப அயனிகள் V என்ற மின்னழுத்தத்தால் முடுக்கம் பெற்றால், அவை S-க்கும் C-க்கும் இடையே வரும்பொழுது அவற்றின் வேக ஆற்றல் Ve ஆக இருக்கும். அயனிகள் அணுக்களுடன் மோதி ஆற்றலை இழக்கவில்லையென்றால், அவை நேரே உருளைக்குச் சென்று, கால்வனோ மீட்டரால் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. முடுக்க மின்னழுத்தம் V உயர உயர, உருளைக்குப் பாயும் மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தத்திற்கு வந்தவுடன், அயனிகளின் ஆற்றல், வாயு அணுக்களை அவற்றின் முதலாம் கிளர்ந்த நிலைக்கு ஏற்றப் போதுமானதாயுள்ளது. உடனே மின்னோட்டத்தில் ஒரு குறைவு ஏற்படுகிறது; ஏனென்றால், அநேக அயனிகள் அணுக்களைக் கிளர்ந்தநிலைக்கு ஏற்றித் தமது ஆற்றலை இழந்துவிடுகின்றன. முடுக்க மின்னழுத்தத்திற்கும், மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள சம்பந்தத்தை 36ஆம் வரைபடம் காண்பிக்கிறது. வரைபடத்தின் தொடர்ச்சியற்ற இடங்கள் வெவ்வேறு கிளர்ந்த நிலைகளைக் குறிக்கின்றன. OA என்பது முதலாம் கிளர்ந்த நிலை மின்னழுத்தம்; OB இரண்டாம் கிளர்தல மின்னழுத்தம்.

இவ்வாறே மின்னழுத்தத்தை உயர்த்திக்கொண்டே போனால், அயனிகள் அணுவை அயனிக்கும் சக்தி பெற்றுவிடுகின்றன.



படம் 36. மாறுநிலை மின்னழுத்தங்கள்

உடனே, உருளைக்கு ஓடும் மின்னோட்டம் பெருவாரியாக அதிகரிக்கிறது.

இம் முறையைக்கொண்டு, 1903ஆம் ஆண்டில் முதன் முதலாக லெனார்டு என்பவர் காற்று, ஹைட்ரஜன் முதலிய பல வாயுக்களின் அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களை அளந்தார். 1913ஆம் ஆண்டில் ஃப்ராங்க்கும் ஹெர்ட்சும் இம் முறையைக் கொண்டு மெர்க்குரியின் கிளர்தல் மின்னழுத்தங்களை அளந்தனர். 1917ஆம் ஆண்டில், டேவிஸ், கௌகர் இருவரும் இம் முறையைச் சிறிது மாற்றியமைத்து, வாயுக்களின் கிளர்தல், அயனியாக்க மின்னழுத்தங்களைத் திருத்தமாக அளந்தனர்.

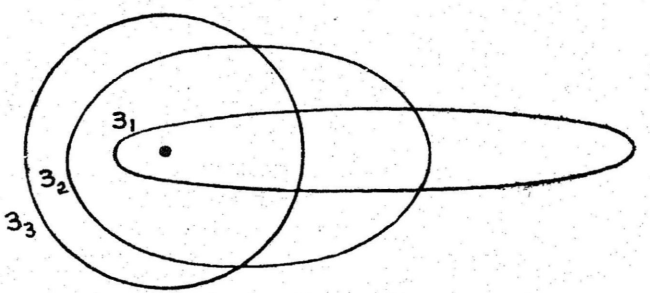
சாம்மர்ஃபெல்டின் நீள்வட்டச் சுற்றுப்பாதைகள் (Summerfeld's Elliptical Orbits)

போரின் கொள்கைகளும், வட்டச் சுற்றுப்பாதைகளும் அநேக உண்மைகளைத் தெளிவாக விளக்கி வெற்றிகண்டன வென்றாலும், ஹைட்ரஜன் நிறமாலையின் சில நுண்ணிய விபரங்களை விளக்கமுடியவில்லை. நுட்பமான கருவிகளைக்கொண்டு ஹைட்ரஜன் நிறமாலையை ஆராய்ந்தபோது, அதன் வரிகள் ஒவ்வொன்றும் உண்மையில் வெகு நெருக்கமாக அமைந்துள்ள பல வரிகளானவை என்பது வெளியாயிற்று. இதற்கு 'நுண்வரி அமைப்பு' (fine structure) என்று பெயர். உதாரணமாக, பாமர் அணியின் முதலாம் வரியாகிய Hx பல நெருக்கமான வரிகளானது என்று தெரியவந்தது. இதைப் போரின் கொள்கைகளைக்கொண்டு விளக்க இயலாது. ஏனென்றால் அவரது கொள்கையின்படி, n என்ற ஒவ்வொரு குவாண்டம் எண்ணிற்கும் ஒரே ஒரு சுற்றுப்பாதையுண்டு என்று கொள்கிறோம். ஆனால், நுண்வரி அமைப்பை விளக்க, ஒரு குறிப்பிட்ட n குவாண்டம்

எண்ணிற்குப் பல சுற்றுப்பாதைக்ள் உள்ளன என்று கொண்டாகவேண்டும்.

மேற்கண்ட கருத்துக்களை மனதில் வைத்து, 1915 ஆம் ஆண்டில், சாம்மர்ஃபெல்டு என்பவர் போரின் கொள்கைகளைச் சற்று மாற்றியமைத்து, எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றி வட்டப்பாதையில் செல்லாமல் நீள்வட்டப் பாதைகளில் செல்கின்றன என்ற கொள்கையை வெளியிட்டார். இக் கொள்கையின்படி ஒரு குறிப்பிட்ட n என்ற குவாண்டம் எண்ணிற்கு n சுற்றுப்பாதைகள் உள்ளன; அவற்றில் ஒன்று வட்டப்பாதையாகவும், மீதியனைத்தும் வெவ்வேறு வேற்றுமைய எண்ணுடைய (eccantricity) நீள் வட்டப்பாதைகளாகவும் உள்ளன. $n=3$ என்ற குவாண்டம் எண்ணின் மூன்று சுற்றுப்பாதைகள் 37-ம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவற்றில் 3_3 என்ற சுற்றுப்பாதை வட்டம்; மற்ற 3_2, 3_1 இரண்டும் நீள்வட்டங்கள். இவற்றின் பொதுக் குவியத்திலேயே அணுக்கரு அமைந்துள்ளது.

சுற்றுப்பாதை நீளவட்டமாயிருப்பதால், எலக்ட்ரான் அப் பாதையில் செல்லும்பொழுது அதன் வேகம் சீராயிருப்பதில்லை.



படம் 37. நீள்வட்டப் பாதைகள்

அணுக்கருவின் அருகில் செல்லும்பொழுது அதன் வேகம் மிக அதிகமாகவும், அணுக்கருவிலிருந்து அதிதூரத்தில் செல்லும் பொழுது வேகம் குறைவாகவும் செல்கிறது. இவ் வேகமாற்றம் காரணமாக எலக்ட்ரானின் நிறையும் மாற்றமடைகிறது; இதன் விளைவாக அணுவின் ஆற்றலும் சுற்றுப்பாதைக்குத் தகுந்தாற் போல் மாறுகிறது. மிக நீண்ட வட்டத்தின் பாதையில் வேக மாற்றமும் நிறைமாற்றமு மிக அதிகமாயுள்ளன; நீள்வட்டம் குறைந்து சரிவட்டமாகையில் வேகமாற்றமில்லை, ஆகவே ஒவ்வொரு சுற்றுபபாதைக்கும் சற்றும் வித்தியசமான ஆற்றல் பொருந்தும். ஆதலால், n என்ற குவாண்டம் எண்ணுடைய

நிலையில், மிகச் சிறிது வேறுபட்ட ஆற்றல்களுடைய n சுற்றுப் பாதைகள் உள்ளன. இவை ஒன்றிலிருந்து எலக்ட்ரான் வேறொன்றுக்குத் தாவும்பொழுது ஒரு நிறவரி வெளிவிடப்படுகிறது. இவ்வாற்றல் நிலைகள் யாவும் ஒன்றுக்கொன்று மிக அருகிலுள்ளபடியால், அவற்றிற்கிடையே மாற்றமடைவதால் உண்டாகும் வரிகளும் மிக நெருக்கமாக உள்ளன.

போரின் கொள்கைப்படி, n என்ற குவாண்டம் எண்ணுடைய நிலைக்கு ஒரே ஆற்றல் மட்டந்தான் உண்டு. அதிலிருந்து எலக்ட்ரான் மாற்றமடைவதால் ஒரே ஒரு வரிதான் வெளிவிடப்படும். ஆனால், சாம்மர்ஃபெல்டின் கொள்கையின்படி n என்ற குவாண்ட நிலைக்குச் சற்று வித்தியாசமான ஆற்றல்களையுடைய n ஆற்றல் நிலைகள் உண்டு; அவற்றிற்கிடையே எலக்ட்ரான் மாற்றமடைவதால் ஒரு வரிச்சுப் பதிலாக, மிக நெருக்கமான பல வரிகள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இதன் உண்மையைக் கணித வாயிலாகவும் சோதனை மூலமாகவும் நிரூபித்துள்ளனர்.

ஏனைய அணுக்களின் அமைப்பு (Structure of other atoms)

நீல்ஸ் போரின் ஹைட்ரஜன் அணு அமைப்பே, சில மாறுதல்களுடன் ஏனைய அணுக்களுக்கும் பொருந்தும் என்று தெரிய வந்துள்ளது. அதாவது, அணுக்கள் யாவிலும் உட்புறத்தில் நேர் மின்னூட்டமுடைய அணுக்கருவும் அதைச் சுற்றி வட்டமிடும் எதிர் மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான்களும் உள்ளன அணுவின் நிறை முழுவதும் சிறு துகளாகிய அணுக்கருவிலேயே உள்ளது. ஏனெனில், எலக்ட்ரான்களின் நிறை நிராகரிக்கப் படத்தக்கவை. அணுவின் நிறை அதிகமாக ஆக, அதன் அணுக்கருவின் நேர் மின்னூட்டமும் அதிகமாகிறது. இந் நேர் மின்னூட்ட அளவிற்கு 'அணு எண்' (Atomic Number) என்று பெயர். ஹைட்ரஜனின் அணு எண் ஒன்று. அதைச் சுற்றி ஓர் எதிர் மின்னூட்டமுடைய ஓர் எலக்ட்ரான் சுழல்கிறபடியால், அணுவின் மொத்த மின்னூட்டம் பூஜ்யம். (உலகத்திலுள்ள பொருட்கள் யாவும் அணுக்களாலானவை. அவை தம் இயற்கை நிலையில் மின்னூட்டமற்று இருக்கின்றன என்பது நாம் அறிந்ததே).

ஹைட்ரஜனுக்கடுத்த ஹீலிய வாயுவின் அணுஎண் இரண்டு; ஏனெனில், அதன் அணுக்கருவின் நேர் மின்னூட்டம் 2. அதைச் சுற்றி இரு எலக்ட்ரான்கள் வட்டமிடுவதால், அணுவின் மொத்த மின்னூட்டம் பூஜ்யம். ஹீலிய அணுவின் எடை ஹைட்ரஜன் அணு எடையைப்போல் நான்கு மடங்காகும். ஆகையால்

ஹைட்ரஜனின் 'நிறை எண்' (Mass Number) என்று ஒன்றும், ஹீலியத்தின் நிறை எண் நான்கு என்றும் குறிக்கப்படுகின்றன.

அடுத்தாற்போலுள்ள லிதிய அணுவின் அணு எண் 3; அதன் நிறை எண் 7. அணுக் கருவைச் சுற்றி மூன்று எலக்ட்ரான்கள் வட்டமிடுகின்றன. அதற்கடுத்த பெரிலியத்தின் அணு எண் 2. (நிறை எண் 8.) அணுக்கருவைச் சுற்றி நான்கு எலக்ட்ரான்கள் வட்டமிடுகின்றன. இவ்வாறே அணு எண்கள் 5, 6, 7, 8,.....என்று 104 வரை செல்கின்றன. ஆனால், 1 முதல் 92 வரையுள்ள அணுச்கள்தாம் இயற்கையில் கிடைக்கின்றன, அணு எண்கள் 93-லிருந்து 104 வரையுள்ள அணுச்கள், அணு உலையிலோ, அணுக்கரு தாக்குதல்களிலோதான் செயற்கையாக உண்டுபண்ணப்பட்டுள்ளன. யுரேனியத்தின் அணு எண் 92. அதன் அணுக் கருவைச் சுற்றி 92 எலக்ட்ரான்கள் வட்டமிடுகின்றன.

ஆனால், அத்தனை எலெக்ட்ரான்களும் ஒரே வட்டப் பாதையில் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக ஓடுகின்றன என்று நினைத்துவிடக் கூடாது. அடுத்த அத்தியாயத்தில் விவரமாகக் கண்டுள்ளவாறு 'பவுலின் தவிர்க்கைத் தத்துவம்' (Pauli's Exclusion Principle) என்ற ஒரு முக்கியமான விதியையொட்டி, ஒவ்வொரு சுற்றுப் பாதையிலும் இத்தனை எலக்ட்ரான்களுக்கு மேல் இருக்க முடியாது என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. சுற்றுப் பாதையின் குவாண்டம் எண் n என்றால், அச்சுற்றுப் பாதையில் $2n^2$-க்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் இருக்க முடியாது. ஆகவே, முதலாம் சுற்றுப் பாதையில் ($n = 1$) இரு எலக்ட்ரான்களுக்கு மேல் இருக்கமுடியாது. மீதி எலக்ட்ரான்கள் அடுத்த சுற்றுப் பாதைகளில்தான் சுற்றியாகவேண்டும். இரண்டாம் சுற்றுப் பாதையில் ($n = 2$) 8 எலக்ட்ரான்களுக்குமேல் இருக்கமுடியாது. மூன்றும் சுற்றுப் பாதையில் 18, நான்காம சுற்றுப் பாதையில் 32, என்று இவ்வாறு வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது.

இத் தத்துவத்தைக்கொண்டு தனிம அட்டவணையையும், தனிமங்களின் வேதியல் இயறகைக் குணங்களையும் எவ்வாறு விளக்கமுடியும் என்று அடுத்த அத்தியாயததில் விவரமாகக் காண்போம்.

உதாரணங்கள்:

(1) பாமர் அணியின் H δ வரியின் அலைநீளம் 4107·7 AU. ரிட்பர்க் மாறிலியைக் கணி.

H δ கோட்டிற்கு $n_1 = 2$, $n_2 = 6$ (14 ஆம் சமன்பாடு)

$$\bar{v} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{4107{\cdot}7 \times 10^{-8}} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2}\right) = R\frac{8}{36}$$

$$\therefore \quad R = \frac{36}{8} \times \frac{10^8}{4107{\cdot}7} = 109{,}550 \text{ செ. மீ.}$$

(2) ஹைட்ரஜன் அணுவைத் தரை ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து $(n_1 = 1)$ $n_2 = 3$ என்ற கிளர் மட்டத்திற்கு ஏற்றத் தேவைப்படும் ஆற்றல் என்ன ? அது உடனே நேரடியாகத் தரை மட்டத்திற்குத் திரும்பினால், வெளிவிடப்படும் கதிர் வீச்சின் அலை நீளமென்ன ?

$(m = 9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ கிராம் , $e = 4{\cdot}805 \times 10^{-10}$ esu ; $h = 6{\cdot}622 \times 10^{-27}$ எர்கு/வினாடி)

$$En = -\frac{2\pi^2 me^4}{n^2 h^2} = -\frac{2\pi^2 \times 9{\cdot}11 \times 10^{-28} \times (4{\cdot}805 \times 10^{-10})^4}{n^2 \times 6{\cdot}622^2 \times 10^{-54}} \text{ எர்கு}$$

$$= -\frac{2{\cdot}183 \times 10^{-11}}{n^2} \text{ எர்கு} = -\frac{13{\cdot}64}{n^2} \text{ e. v.}$$

$\therefore \quad E_1 = -2{\cdot}188 \times 10^{-11}$ எர்கு ;
$E_3 = -0{\cdot}243 \times 10^{-11}$ எர்கு.

$\therefore$ $n_1 = 1$-லிருந்து $n_2 = 3$க்கு மாற்றலாகத் தேவைப்படும் ஆற்றல் $= E_3 - E_1 = (2{\cdot}183 - 0{\cdot}243) \times 10^{-11} = 1{\cdot}94 \times 10^{-11}$ எர்கு மறுபடியும் $n_2 = 3$ இலிருந்து $n_1 = 1$-க்குத் திரும்பும் பொழுது இதே ஆற்றல் $h\nu$ என்னும் கதிர் குவாண்டமாக வெளிவிடப்படுகிறது. இக் கதிரின் அலை நீளம் λ என்று கொள்வோம்.

$$\therefore \quad h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 1{\cdot}94 \times 10^{-11} \text{ எர்கு}$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{hc}{1{\cdot}94 \times 10^{-11}} = \frac{6{\cdot}622 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{1{\cdot}94 \times 10^{-11}} \text{ செ.மீ.}$$

$$= 1{\cdot}024 \times 10^{-5} \text{ செ.மீ. } \mathbf{1024\ AU}$$

(3) ரிட்பர்க் மாறிலி 109678 செ.மீ.$^{-1}$ என்றால், பாஷன் அணிக் கடைசி வரியின் அலை நீளமென்ன ?

பாஷன் அணியின் கடைசி வரியின் $n_1 = 3$, $n_2 = \infty$

$$\therefore \quad \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$= 109678\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty}\right) = 109678 \times \frac{1}{9}$$

$$\therefore \lambda = \frac{9}{109678} \text{ செ.மீ.} = 8{\cdot}206 \times 10^{-5} \text{ செ.மீ.} = \mathbf{8206\ A.U.}$$

அத்தியாயம் 7

வினாக்கள்

(1) தாம்சன். ரதர்ஃபோர்டு இவர்களின் அணு அமைப்பு மாதிரி என்ன ? அவற்றின் குறைபாடுகள் யாவை ?

(2) ரதர்ஃபோர்டு அணு அமைப்பிற்கும் போரின் அணு அமைப்பு மாதிரிக்குமுள்ள ஒற்றுமை வேற்றுமைகள் யாவை ? எந்த அமைப்பு சிறந்தது ? ஏன் ?

(3) போரின் அணு அமைப்பு மாதிரியைக்கொண்டு ஹைட்ரஜன் அணி நிறமாலையை விளக்கு.

(4) லைமன் அணியின் முதலாம், இரண்டாம் வரிகளின் அலை எண்களின் வித்தியாசம் பாமர் அணியின் முதலாம் வரியின் அலை எண்ணுக்குச் சமம். லைமன் அணியின் முதலாம் மூன்றும் வரிகளின் வித்தியாசம் பாமர் அணியின் இரண்டாம் வரிக்குச் சமம். இவற்றை விளக்கு.

(5) H_α வரியின் அலைநீளம் 6563 AU என்றால், ரிட்பர்க் மாறிலியைக் கணி.

[109700 செ.மீ.$^{-1}$]

(6) போரின் முதலாம் நான்காம் சுற்றுப் பாதைகளின் ஆரங்களைக் கணி. (தேவைப்படும் மாறிலிகளைப் பட்டியல் நூலிலிருந்து எடுத்துக்கொள்ளவும்)

[0·528 AU ; 8·448 AU]

(7) ஹைட்ரஜன் அணுவைத் தரை ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து $n = 5$ கிளர் மட்டத்திற்கு உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றல் என்ன ? அக் கிளர் மட்டத்திலிருந்து தரைமட்டத்திற்கு அணு திரும்பினால், வெளிவிடப்படும் க்தியின் அலை நீளமென்ன ?

[13 ev ; 949·5 AU]

(8) ரிட்பர்க் மாறிலி 108678 செ.மீ.$^{-1}$ என்றால், லைமன் அணியின் கடைசி வரியின் அலை நீளமென்ன ?

[911 AU]

8. அணுவின் வெக்டர் மாதிரி அமைப்பு

(Victor model of the Atom)

அணுவின் வெக்டர் மாதிரி அமைப்பு, ரதர் ஃபோர்டு, போர், சாம்மர் ஃபெல்டு முதலியோரின் அணு மாதிரிகளின் விரிவே யாகும். புதிய ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாகப் பல புதிய உண்மை கள் வெளிவந்தன. இவற்றை, விளக்குவதற்கெனப் புகுத்தப் பட்ட மாதிரி அமைப்பாகும் இது. போரின் கொள்கையைக் கொண்டு மிக எளிய ஹைட்ரஜன் அணு நிறமாலையை மட்டும் விளக்க முடிந்தது. அணு எண் ஒன்றுக்கு அதிகமாயுள்ள வேறு அணுக்களின் ஆற்றல் மட்டங்களைக் கணிக்கவோ, அவற்றின் அணு நிறமாலைக் கோடுகளை விளக்கவோ அக் கொள்கையால் இயலவில்லை.

ஹைட்ரஜன் அணு நிறமாலையின் வரிகள் ஒற்றையாய் இரா மல், பல வரிகள் நெருக்கமாக ஒன்று சேர்த்திருப்பதைக்கூட போரின் கொள்கை விளக்க முடியவில்லை. அதற்கு சாம்மர் ஃபெல்ஷின் நீள் வட்டக் கொள்கை தேவைப்பட்டது. ஆனால், இக் கொள்கையும் இவற்றை முழுவதுமாக விளக்க முடியவில்லை. நுண் வரியமைப்பில் எத்தனை வரிகள் உள்ளன. அவற்றின் செறிவென்ன என்பது போன்ற விவரங்களை விளக்க இயல வில்லை. முரணிய சீமான் விளைவு (Anomalous zeaman effect), ஸ்டார்க் விளைவு (Stark Effect) முதலிய புதிய கண்டு பிடிப்புகளை யும் இப் பழங்கொள்கைகளால் விளக்க முடியவில்லை. போரின் கொள்கையின் வேறொரு குறைபாடு என்னவென்றால், அணுக்களி லுள்ள எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றி எவ்வாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன என்பதை விளக்கவில்லை. அத்துடன், அணுக்களின் நிலையான சுற்றுப்பாதைகளை விளக்கக் குவாண்டம் கொள்கையையும், சுற்றுப் பாதையில் எலக்ட்ரானின் போக்கை விளக்கப் பழங்கொள்கையையும் என்று இரு முற்றிலும் முரண் பாடான கொள்கைகளைப் போர் பயன்படுத்த வேண்டியிருந்தது.

ஆகவே, சிக்கலான அணு நிறமாலைகளையும், அவற்றிற்கும் அணு அமைப்பிற்குமுள்ள தொடர்பையும் விளக்க, வெக்டர் அணு மாதிரியமைப்பு (Victor atom model) உருவாயிற்று. இதனை உருவாக்கி வளர்த்தவர்களில் முக்கியமானோர், போர், சாம்மர்பெல்டு, ஊலன்பெக் (Ulenbeack), கூட்ஸ்மிட் (Goudsmit), பவுலி (Pauli), லான்டே (Lande) முதலியோராவர்.

வெக்டர் மாதிரியமைப்பு (Vector Atom Model) :

இப் புதிய உருவமைப்பின் அம்சங்கள் இரண்டு. அவையாவன : (1) இடத்தை (அதாவது திசையை)க் குவண்டப்படுத்தல் (spatial quantisation) (2) எலக்ட்ரானின் சுழற்சி (spin) போர் — சாம்மர்பெல்டின் கொள்கைப்படி, சுற்றுப்பாதைகளின் அளவும் உருவமும் குவாண்டப்படுத்தப்பட்டன. ஆனால், குவாண்டம் கொள்கையின்படி, அச்சுற்றுப்பாதைகளின் திசைகளும் குவாண்டப்படுத்தப்படவேண்டும். அதாவது, சுற்றுப் பாதைகள் எந்தத் திசையையும் நோக்கி இருக்கலாமென்பது பழைய கொள்கை ; ஆனால், குவாண்டம் கொள்கையின்படி, ஒரு சில திசைகளை நோக்கிய சுற்றுப்பாதைகள் அமையலாம் இத் திசைகள் யாவை என்பதை அறிய, அணுக்களின் மீது ஒருவிசை செயல்படுதல் வேண்டும். அவ்விசையின் திசைக்கேற்ப சுற்றுப்பாதைகள் ஒரு குறிப்பிட்ட ஒழுங்கில் அமையும். இதைப் பின்பு விவரமாகப் பார்ப்போம். சுற்றுப்பாதைகளுக்கு அளவுடன் திசையும் சேர்ந்துவிடுவதால், அவை 'வெக்டர்' அளவுகள் ஆகி விடுகின்றன.

இரண்டாவதாக, எலக்ட்ரான் அணுக்கருவைச் சுற்றித்தன் சுற்றுப் பாதையில் செல்லும்பொழுது, அது தன்னைத்தானே சுற்றிக்கொள்கிறது, என்பது இக்கொள்கையின் தத்துவம். ஒரு கோள் சூரியனைச் சுற்றிச் செல்லுகையில், தனது அச்சில் தன்னைத் தானே சுற்றிக்கொள்ளுகிறதல்லவா ? அதுபோல், எலக்ட்ரானுக்குச் சுற்றுப்பாதை இயக்கமும் சுழற்சி இயக்கமும் உண்டு. இந்த எலக்ட்ரான் சுழற்சி (electron spin) தத்துவத்தை 1925இல் முதன் முதலாகப் புகுத்தியவர் ஊலன்பெக் (ulehnbeck) கூட்ஸ்மித் (goudsmith) என்ற இரு டச்சு விஞ்ஞானிகள், சோடியம், பொட்டாசியம் முதலிய அணுக்களின் நிறமாலைகளில் மிக நெருக்கமான இருவரிகள் உள்ளதையும், மக்னீசியம், மெர்குரி போன்ற அணுக்களில் மும்மூன்று வரிகள் ஒன்று சேர்ந்து வருவதையும் காண்கிறோம். இவ்விதக் 'கூட்டு வரியமைப்பை' (multiplet structure) விளக்குவதற்கே அவ்விரு விஞ்ஞானிகளும் எலக்ட்ரான் சுழற்சி தத்துவத்தைப் புகுத்தினர்.

எலக்ட்ரானுக்கு மின்னூட்டமுண்டு. ஆகையால், சுழலும் எலக்ட்ரான் ஒரு மின்னோட்டச் சுற்றுக்குச் சமமாகிறது. இதன் விளைவாக காந்த திருப்புதிறன் (magnetic moment), ஏற்படுகிறது. பழங்கொள்கையின்படி, எலக்ட்ரானுக்குச் சுற்றுப்பாதை இயக்கம் மட்டுமே இருப்பதாகக் கொண்டனர். ஆதலால் சுற்றுப்பாதையின் கோண உந்தமும் (angular momentum) காந்தத் திருப்புத் திறனும் மட்டுமே உள்ளதாகக்கொண்டு, அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்கள் கணிக்கப்பட்டன. எலக்ட்ரானுக்குச் சுழற்சியும் இருக்குமானால், இச்சுழற்சிக்கும் கோண உந்தமும், காந்தத்திருப்பு திறனும் உண்டாகும். இதனால் அணுவின் மொத்தக் கோண உந்தமானது எலக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை இயக்கம், சுழற்சி இயக்கம் என்ற இரு இயக்கங்களின் பயனாக உண்டாகும். அவ்வாறே அணுவின் காந்தத் திருப்பு திறனும் இவ்விரு இயக்கங்களின் கூட்டுத் தொகையாகும்.

குவாண்டம் கொள்கையின்படி, எலக்ட்ரானின் சுழற்சியும், குவாண்டப்படுத்தப்படல் வேண்டும். ஆகையால், 'சுழற்சி குவாண்டம் எண்'' (spin quantum number), என்ற புதிய எண் புகுத்தப்படுகிறது. '' சுற்றுப்பாதை குவாண்டம் எண்' (orbital quantum number), சுழற்சிக் குவாண்டம் எண் இரண்டும், அளவிலும் திசையிலும் குவாண்டப்படுவதால், அவை குவாண்டப்படுத்தப்பட்ட வெக்டர்கள் இவைகளைக் கொண்டு உருவான அணு அமைப்பை 'வெக்டர் அணு மாதிரியமைப்பு என்று அழைப்பது' சரிதானே?

குவாண்டம் எண்கள்: வெக்டர் அணு மாதிரியமைப்பில் பலகோண உந்தங்கள் (angular momenta) வருகின்றன. இவற்றைக் கொண்டு அணுவின காந்த திருப்பு திறன்களையும் ஆற்றல் மட்டங்களையும் கணிக்கும் விதத்தைப் பின்பு காண்போம். இக் கோண உந்தங்களை வெக்டர்களால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். வெக்டரின் நீளம் உந்தத்தின் அளவையும் அதன் திசை சுழற்சி அச்சின் திசையையும் குறிப்பிடும். ஒரு குவாண்டம் எண் n என்றால் அதற்குரிய கோண உந்தம் $nh/2\pi$ என்றாகும். கீழ்க் கண்ட குவாண்டம் எண்கள் சாதாரணமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

(1) **மொத்த (அல்லது முதன்மை) குவாண்டம் எண்** (total or principle quantum number):

இது **n** என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும். போர் சாம்மர்பெல்டு கொள்கையில் வந்த அதே குவாண்டம் எண்தான் இது. இதன் அளவு 1, 2, 3, 4,.....என்ற முழு எண்கள் மட்டும் தான். கோண உந்தம் = $nh/2\pi$.

(2) **சுற்றுப்பாதைக் குவாண்டம் எண்** (orbital quantum no.) l :

இது பூஜ்யத்திலிருந்து $(n-1)$ வரையுள்ள எல்லா முழு எண்களையும் கொண்டது. அதாவது, $n=4$ என்றால், $l=0, 1, 2, 3$ என்ற நான்கு அளவுகளைக் கொள்ளக்கூடும். இதன் அர்த்தமென்னவென்றால், 4 என்ற முதன்மை குவாண்டம் எண்ணுடைய சுற்றுப்பாதை, நான்கு துணைப்பாதைகளால் ஆனது. அவற்றின் கோண உந்தங்கள் $p_\theta = lh/2\pi$ (அதாவது, 0, $h/2\pi$, $2h/2\pi$, $3h/2\pi$) அளவுகளை உடையன. $l=0$ என்ற பாதையின் எலக்ட்ரான் 's எலக்ட்ரான்' என்றும். $l=1$ என்றால், 'p எலக்ட்ரான்' என்னும், $l=2$ என்றால், 'd எலக்ட்ரான்' என்றும், $l=3$ என்றால், 'f எலக்ட்ரான்' என்றும் அழைப்பது வழக்கம்.

(3) **சுழற்சிக் குவாண்டம் எண்** (spin quantum no.) :

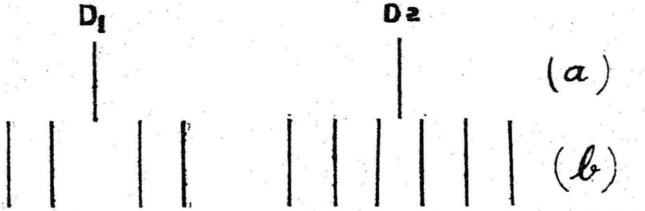
இதன் அளவு எப்பொழுதும் $\frac{1}{2}$ தான். அதாவது, ஓர் எலக்ட்ரானின் சுழற்சியின் கோண உந்தம் எப்பொழுதும் $p_s = \frac{1}{2}\frac{h}{2\pi}$ தான்.

(4) **மொத்தக் கோண உந்தக் குவாண்டம் எண்** j (total angular quantium no.)

இது எலக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதைக் கோண உந்தம், சுழற்சிக் கோண உந்தம் இவற்றின் வெக்டர் கூட்டுத்தொகை, இவை இரண்டும் ஒரே திசையில் செயல்பட்டால், $j = l+s$; நேர் எதிர்த் திசைகளில் செயல்பட்டால் $j = l - s$. மொத்தக் கோண உந்தம் $pj = jh/2\pi$ இவ்வாறு, j — வெக்டரின் அளவு பல்வேறுக அமைந்துள்ளபடியால், அணுவின் ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் நெருக்கமாக உள்ள பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களாலான கூட்டு மட்டமாக அமைந்துள்ளது. ஆகவே, இவைகளுக்கிடையே மாற்றலாவதால் வெளிவிடப்படும் கதிர்வீச்சும் தனித்தனிக் கோடுகளாயிராமல், நெருக்கமாக உள்ள கூட்டு வரியாக அமைந்துள்ளது.

ஒளிவீசும் ஒரு சோடிய மின் குழாயை இரு காந்த முனைகளுக்கிடையே வைத்து, பலமான காந்தப் புலம் செயல்படச் செய்தால், மஞ்சள் நிறமான் அதன் இரு நிறமாலை வரிகள் ஒவ்வொன்றும் பல நெருக்கமான வரிகளாகப் பிரிவதைக் காண்போம். 5896 AU அலை நீளமுடைய D_1 வரி நான்கு வரிகளாகவும், 5890 AU அலை நீளமுடைய D_2 வரி ஆறு வரிகளாகவும் பிரியும். அவற்றின் தோற்றம் 38ம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. காந்தப் புலம் இல்லையென்றால் 38 (*a*) ஆகவும், காந்தப்புலம் செயல்பட்டால் 38 (*b*) போலும் தோற்றமளிக்கும்.

காந்தப் புலத்தில் நிறமாலைவரிகள் பிரிவதன் காரணம் ஆற்றல் மட்டங்கள் பிரிவதாலேயே. இதை விளக்குவதற்கு

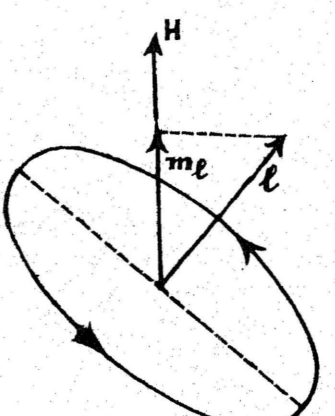


படம் 38. சோடியம் D. வரிகளின் சீமான்பிரிவு

வேறு மூன்று குவாண்டம் எண்கள் புகுத்தப்படுகின்றன. இவற்றிற்குக் 'காந்தக் குவாண்டம் எண்கள்' (magnetic quantum numbers) என்று பெயர்.

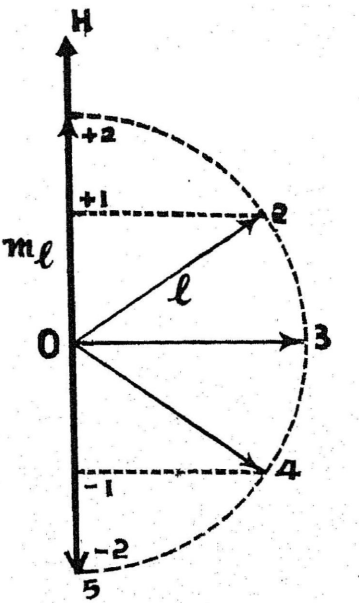
(5) காந்தச் சுற்றுப்பாதைக் குவாண்டம் எண் : ml (magnetic orbital quantum no)

காந்தப் புலத்தின் திசையில் சுற்றுப்பாதைக்குவாண்டம் எண்ணை (l) வீழ்த்துவதன் (projection) அளவே m_l ஆகும். இந்த l-வெக்டரின் வீழ்த்தியும் குவாண்டப்படுத்தப்படுவதால், m_l இன் அளவு முழு எண்களாகத்தான் இருக்கமுடியும். அது $(-l)$ இலிருந்து, பூஜ்யம் உள்பட $(+l)$ வரை உள்ள $(2l+1)$ எண்களையும் தன் அளவாகக்கொள்ளலாம். இதன் அர்த்தம் என்னவென்றால், சுற்றுப்பாதைக் கோண திருப்புதிறன் (l) காந்தப் புலத்திற்கு (H) சில குறிப்பிட்ட திசைகளில்தான் அமையமுடியும் (எல்லாத் திசைகளிலும் அமையமுடியாது). உதாரணமாக, l-வெக்டர் H-க்கு θ கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள தென்றால், $m_l = l \cos\theta = l, (l-1), (l-2), \ldots 1, 0, -1, -2, \ldots -l)$; என்ற அளவுகளை மட்டுமே கொள்ளமுடியும். உதாரணமாக, $l = 2$ என்று எடுத்துக்கொண்டால், (படம் 40) m_l இன் அளவு 2, 1, 0, −1, −2 என்ற ஐந்து அளவுகளை மட்டுமே கொள்ளமுடியும்.



படம் 39. காந்தவெக்டர் m_l

ஆகவே, l வெக்டர் படத்தில் காட்டப்பட்ட ஐந்து திசைகளில் மட்டுமே அமைய முடியும்; வேறு திசைகளில் அமைய முடியாது. இதையே 'திசைக் குவாண்டப் படுத்தல்' (spatial quantisation) என்கிறோம். (l வேறு திசைகளில் அமைந்தால், ml முழு எண்களாக இருக்க முடியாது என்பது வெளிப்படை).



படம் 40.
திசைக்குவாண்டப்படுதல்
$l=2$

(6) காந்த சுழற்சிக் குவாண்டம் எண்: ms: (magnetic spin quantem no காந்தப் புலத்தின் திசையில் சுழற்சிக் கோணத் திருப்பு திறனே (s) வீழ்த்துவதன் அளவே ms ஆகும். s-இன் அளவு $\frac{1}{2}$ என்று மேலே குறிப்பிட்டோம். ஆகவே ms—க்கு $+\frac{1}{2}-\frac{1}{2}$ என்ற இரண்டே அளவுகள் தான் உண்டு.

(7) காந்த மொத்தக் கோணத் திருப்பு திறன் குவாண்டம் எண் mj (magnetic total angular momentum quantum Number).

காந்தப் புலத்தின் திசையில் மொத்தக் கோணத்திருப்பு திறனின் வீழ்த்தியே mj என்பது. $j=l\pm\frac{1}{2}$ ஆகையால், mj யின் அளவும் $\frac{1}{2}$ எண்களைக் கொண்டது. அது j, $(j-1),\ldots(j-1)$, $-j$ என்ற $(2j+1)$ அளவுகளை மேற்கொள்ளும், உதாரணமாக, $l=2$ என்றும், $s=\frac{1}{2}$ என்றும் கொண்டால், $j=2\frac{1}{2}$; $mj=2\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$, $-1\frac{1}{2}$, $-2\frac{1}{2}$ என்ற ஆறு அளவுகளைக் கொள்ளும் $(2j+1=6)$.

குவாண்டம் எண்கள் ஏழு உண்டென்றாலும், அவை அனைத்தும் எப்பொழுதும் செயல்படா, ml, ms என்பவை மிகப் பெரிய காந்தப்புலம் பிரயோகிக்கப்பட்டால் மட்டும் செயல்படும்.

இதுவரை பார்த்த குவாண்டம் எண்களெல்லாம் தனித் தனி எலக்ட்ரான்களைக் குறிப்பவை. ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் குவாண்டப்படுத்திய வெக்டர்களைத் தகுந்த முறையில் தொகுத்தால் அணுவின் நிலைகள் தரப்படும். தனித் தனி எலக்ட்ரான்களைக் குறிப்பிடும்பொழுது l, s, j, s, p, d, f, என்ற சிறிய

எழுத்துக்களையும், அணுவை மொத்தமாகக் குறிப்பிடும் பொழுது *l, s, j, S, P, D, F* என்ற பெரிய எழுத்துக்களையும் பயன்படுத்துவது மரபு.

L-S தொகுப்பு (L-S Coupling): சாதரணமாக ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் *l*-வெக்டர்களையும் *s*-வெக்டர்களையும் தொகுக்கும் முறைக்கு *L-S* தொகுப்பு என்று பெயர். இம் முறையில், எலக்ட்ரான்களின் *l*-வெக்டர்களெல்லாம் தனியாகவும், *s*-வெக்டர்களெல்லாம் தனியாகவும் தொகுக்கப்பட்டு, அவைகளின் கூட்டுத் தொகையாகிய *L S* என்பவை பின்பு தொகுக்கப்படும். இதை $(l_1 + l_2 + \ldots) + (s_1 + s_2 + \ldots) = L + S \; J$, என்று குறிப்பிடலாம்.

L, S; J மூன்று வெக்டர்களும் குவாண்டப்படுத்தப்பட்டவை. L-வெக்டர் 0, 1, 2, 3...என்ற முழு எண்களேமட்டும் எடுக்கும். S-வெக்டரின் அளவு எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து, முழு எண்களாகவோ அரை எண்களாகவோ இருக்கும். எலக்ட்ரானின் எண்ணிக்கை ஒற்றையாக இருந்தால் S அரை எண்களையும், இரட்டையாக இருந்தால் முழுஎண்களையும் கொள்ளும்.

J வெக்டர் L, S இரண்டின் கூட்டுத்தொகையாகையால், S முழு எண்ணையிருந்தால் J-யும் முழு எண்; S அரை எண்ணையிருந்தால் J-யும் அரை எண்ணையிருக்கும். ஆனால், J-யின் அளவு பூஜ்யத்திற்குக் கீழே ஒருக்காலும் செல்லாது

பவுலியின் தவிர்க்கை தத்துவம் (Pauli's Exclusion Principle):

இது அணுவியலில் ஒரு முக்கியமான விதி. இதுவரை இவ்விதிக்கு விலக்காக எந்த அணுவும் காணப்படவில்லை. அவ்விதியாவது: 'ஓர் அணுவில் இரு எலக்ட்ரான்களின் குவாண்டம் எண்கள் அனைத்தும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாயிருக்க முடியாது. அவை ஒரு குவாண்டம் எண்ணிலாவது வேறுபட்டிருக்க வேண்டும்.' அப்படி ஒரு எலக்ட்ரானின் குவாண்டம் எண்கள் அனைத்தும் வேறொரு எலக்ட்ரானின் குவாண்டம் எண்களுக்குச் சமமாயிருந்தால், அவ்விரு எலக்ட்ரான்களில் ஒன்று அணுவின் அமைப்பிற்குள் வராதபடி தவிர்க்கப்பட்டுவிடும் இதுவே பவுலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவமாகும்

ஓர் எலக்ட்ரானின் குவாண்டம் எண்களில் *n, l, ml, ms* என்ற நான்கு எண்கள் அவ் வெலக்ட்ரானின் நிலையை முழுவதுமாகக் குறித்துவிடுகின்றன. (S என்ற சுழற்சி எண்ணுக்கு $\frac{1}{2}$ என்ற ஒரே ஓர் அளவுதான் இருப்பதால் அதை எடுத்துக்

கொள்ளவேண்டிய அவசியமில்லை.) இரு எலக்ட்ரான்களின் இந்த நான்கு எண்களும் சமமாக இருந்தால் அந்த எலக்ட்ரான்களில் ஒன்றுதான் அணுவில் இருக்க முடியும். இத் தத்துவத்தைக் கொண்டு தனி அட்டவணையை (Periodic table of elements)

தனிம அட்டவணை விளக்கம்

இலேசான தனிமங்களிலிருந்து கனமான தனிமங்களுக்குச் சென்றால் அவற்றின் அணுக்களிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாகும் என்பது வெளிப்படை. இந்த எலக்ட்ரான்களெல்லாம் அணுவினுள் எவ்வாறு ஒழுங்கு படுத்தப் பட்டுள்ளன? யாவும் அணுக் கருவைச் சுற்றி ஒரே சுற்றுப் பாதையில் ஓடுகின்றனவா? அல்லது வெவ்வேறு சுற்றுப் பாதைகளில் தாமாறுகவோ, ஓர் ஒழுங்கைப் பின்பற்றியோ அமைக்கப்பட்டுள்ளனவா?

இயற்கையில் நாம் காணும் எப் பொருளும், எந்த அமைப்பும், தனது சிறும ஆற்றல் நிலையிலேயே இருக்கப் பிரயத்தனப் படுகிறது. (உயர இருக்கும் பொருட்கள் கீழே விழுந்து தமது நிலை ஆற்றலைக் குறைத்துக் கொள்வது நாம் அனுபவத்தில் கண்ட உண்மை.) கீழ் நிலையிலிருந்தால் ஸ்திரமான நிலை ஏற்படுகிறது. அப்படியானால், அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் யாவும், ஆற்றல் சிறுமமாயுள்ள $n=1$ என்ற தரைமட்டத்திலேயே இருக்கவேண்டும். ஆனால், உண்மையில் அவை அப்படி ஒரே சுற்றுப் பாதையில் இல்லை. தனிமங்களின் வேதியல் தன்மை ஆராய்ச்சி, எக்ஸ்கதிர் ஆராய்ச்சி, இவற்றின் மூலமாக, எலக்ட்ரான்கள் வெவ்வேறு சுற்றுப் பாதைகளில ஓர் ஒழுங்கைப் பின்பற்றி அமைக்கப்பட்டுள்ளன என்று திட்டவட்டமாகத் தெரிய வருகிறது.

1871 ஆம் ஆண்டில், ரஷ்ய விஞ்ஞானி மெண்டலீஃவ் (Mendeleeff) இயற்கையில் காணப்படும் தனிமங்களை அவற்றின் வேதியல் குணம், அணு எடை இவற்றைக் கொண்டு ஒழுங்குபடுத்தினார். மோஸ்லி (Moseley) என்ற ஆங்கில விஞ்ஞானியின் எக்ஸ்கதிர் ஆராய்ச்சியின் விளைவாக அணுக்களின் ஒழுங்கில் அணு எண்ணே முக்கியம், அணு எடையல்ல என்ற உண்மை வெளியாயிற்று. அப்படி அவற்றின் அணு எண்ணின் படி, 1, 2, 3,..... என்று 92 வரை ஒழுங்குபடுத்தியதில், அணுக்களின் வேதியல், பௌதிக குணங்கள் வரிசையாக, ஒழுங்காக மாறிக்கொண்டே போய், ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணுக்குப் பிறகு மறுபடியும் மேற்கண்ட குணங்களையே ஒத்ததாக இருப்பது தெரிய வந்தது.

தனிம அட்டவணையில் தனிமங்கள் யாவும் ஏழு வரிகளாகவும் (horizontal rows), எட்டுப் பத்திகளாகவும் (Column) பிரிக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு வரியில் இடமிருந்து வலம் சென்றால், தனிமங்களின் அணு எண் ஒழுங்காக மாறுகின்றன. அடுத்த வரிக்கு வந்தால், மேற்கண்ட அதே குணங்கள் மறுபடியும் காணப்படுகின்றன. ஆகவே, ஓர் பத்தியில் தனிமங்கள் யாவும் ஒத்த குணங்களையே உடைத்ததாயுள்ளன. இதிலிருந்து, எலக்ட்ரான்கள் வெவ்வேறு சுற்றுப் பாதைகளில் ஒரு ஒழுங்காக அமைக்கப்பட்டுள்ளன என்று ஊகிக்க இடமுண்டு.

எச்ஸ்கதிர் நிறமாலை ஆராய்ச்சியிலிருந்தும் இதே முடிவு வருகிறது. எலக்ட்ரான்கள் ஒரு அணுவில் வெவ்வேறு கூடுகளில் (Shells) அமைந்துள்ளன. அணுக்கருவுக்கு அருகிலுள்ள $n=1$க்கு K–கூடு என்றும், அடுத்தாற்போலுள்ள $n=2$ கூட்டிற்கு L-கூடு என்றும், $n=3$, M – கூடு என்றும், இவ்வாறுகப் பெயர் கொடுத்துள்ளனர். ஒரு கூடு முழுவதும் எலக்ட்ரானால் நிறைந்த பிறகு அடுத்தக் கூடு நிரப்பப் பெற ஆரம்பிக்கிறது. இதனால் முந்திய வரியின் வேதியல் குணங்கள் மறுபடியும் காணப்படுகின்றன.

ஒரு கூட்டில் எத்தனை எலக்ட்ரான்கள் இருக்கக் கூடும் என்பதை அறிய, தனிம அட்டவணையிலிருந்தே சில உண்மைகளைப் பயன்படுத்தலாம். அட்டவணையின் ஒவ்வொரு வரியின் முடிவிலிருக்கும் தனிமங்கள் ஒற்றை அணுவாயுக்கள்; மற்ற தனிமங்களுடன் சேரா. அதாவது, வேதியல் முறைப்படி இயக்க மற்றவை; அவற்றைக் திரவப்படுத்துவது வெகு கடினம். அவற்றிற்கு "மந்த வாயுக்கள்" (Inert gases) என்று பெயர். அவை யாவன: ஹீலியம், நியான், ஆர்கான், க்ரிப்டான், சீனான், ரேடான் என்பன. இவற்றின் அணு எண்கள் 2, 10, 18, 36, 54, 86 என்றிருப்பதால். அவற்றின் அணுக் கருவைச் சுற்றிச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் அதே அளவில் இருக்க வேண்டும். இவற்றை கீழ்கண்டவாறு அமைக்கலாம் என்று ரிட்பர்க் காண்பித்தார்:

(2)	ஹீலியம்	(He)	: $2\ (1^2)$
(10)	நியான்	(Ne)	: $2\ (1^2+2^2)$
(18)	ஆர்கான்	(A)	: $2\ (1^2+2^2+2^2)$
(36)	க்ரிப்டான்	(Kr)	: $2\ (2^2+2^2+3^2+2^2)$
(54)	சீனான்	(Xe)	: $2\ (1^2+2^2+3^2+2^2)$
(86)	ரேடான்	(Rn)	: $2\ (1^2+2^2+3^2+4^2+3^2+2^2)$

இதிலிருந்து வெளியே சுற்றும் எலக்ட்ரான்களை வெவ்வேறு கூடுகளில் அமைக்கலாம் என்பது வெளியாகிறது. உதாரணமாக ஹீலிய அணுவில் ஒரே ஒரு கூடு உண்டு; அதில் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன; நியான் அணுவில் இரு கூடுகள், முதல் கூட்டில் இரு எலக்ட்ரான்கள்; இரண்டாம் கூட்டல் 8 எலக்ட்ரான்கள, ஆர்கான் அணுவில் மூன்று கூடுகள். முதல் இரண்டில் மேற்கண்டவாறு 2 + 8 எலக்ட்ரான்களும், மூன்றும் கூட்டில் 8 எலக்ட்ரான்களும் உள்ளன என்று, இவ்வாறு ஊகிக்க இடமிருக்கிறது.

அத்துடன், இம் மந்த வாயுக்கள் வேதியியல் முறையில் வேறெந்த தனிமத்துடனும் சேர மறுப்பதாலும், வாயு நிலையிலிருந்து திரவ நிலைக்கு மாறுவதற்கும் எதிர்ப்பு அளிப்பதாலும், இவை வெகு ஸ்திரமான நிலைகளை உடையவை என்பது அறியப்படுகின்றது. மேலும் அவற்றிற்கு அடுத்தாற்போலுள்ள லீதியம் (3), சோடியம் (11), பொட்டாசியம் (19), ருபீடியம் (37), சீசியம் (55) என்பவை, ஸ்திரமான நிலைகளையுடைய மந்த வாயுக்களைக் காட்டிலும் ஓர் எலக்ட்ரான் அதிகமாக உடையவை; அவை அனைத்தும் ஒன்றுக்கொன்று மிகவும் ஒத்த வேதியல் குணங்களை உடையவை என்பதை அறிவோம். அவ்வாறே, மந்த வாயுக்களுக்கு இருபடி தள்ளிய மக்னீசியம் (12), கேல்ஷியம் (20) ஸ்ட்ரான்ஷியம் (38), பேரியம் (56), ரேடியம் (88) முதலிய தனிமங்களும் மிகவும் நெருங்கிய குணங்களை உடையவை என்பதை அறிவோம். இவை ஒவ்வொன்றுக்கும் மந்த வாயுக்களைவிட இரு எலக்ட்ரான்கள் அதிகமாக உள்ளன என்பதையும் நினைவில் வைக்கவேண்டும். இதுபோலவே, மந்த வாயுவுக்கு ஒருபடி முந்திய இடத்திலுள்ள தனிமங்களுக்கு ஒரு எலக்ட்ரான் குறைவாயிருக்கவேண்டும். இவை 'ஹேலோஜன் குழு' (halogen group) எனப்பட்ட வாயுக்கள். ஃப்ளோரின் (9), குளோரின் (17), புரோமின் (35), ஐயோடின் (53), என்ற இவையும், ஒரு படித்தான வேதியல் குணங்கள் பெற்றவை. 'ஹேலோஜன்' என்றால் 'உப்பு உண்டுபண்ணுபவை' என்பது பொருள். சோடியம், பொட்டாசியம் முதலிய உலோகங்களுடன் வெகு துரிதமாகச் சேர்ந்து, உப்புப் போருள்களை உண்டுபண்ணும் தன்மை வாய்ந்தவையாதையால், அவற்றிற்கு இப் பெயர் வந்தது.

மேற்கூறிய குணங்களிலிருந்து ஒரு முக்கியமான உண்மை வெளிப்படுகிறது: அதாவது, ஒரு தனிமத்தின் வேதியல், இயற்கைக் குணங்கள், அதன் வெளிப்புறக் கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும், அமைப்பையும் சார்ந்திருக்கின்றன;

அணுவிலுள்ள மொத்த எலக்ட்ரானின் எண்ணிக்கை அவ்வளவு முக்கியமில்லை, என்பதுதான்.

இனி, பவுலியின் தவிர்க்கை விதியைகொண்டு, அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் ஏன் வெவ்வேறு கூடுகளில் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன, ஒவ்வொரு கூட்டில் பெரும் அளவு எத்தனை எலக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம், என்பது போன்ற பிரச்சனைகளை ஆராயலாம்.

பவுலியின் தவிர்க்கை விதியின்படி ஓர் அணுவிலுள்ள எந்த இரு எலக்ட்ரான்களும் தமது குவாண்டம் எண்கள் அனைத்தும் ஒருபடித்தாகக் கொண்டிருக்கக்கூடாது; ஓர் எண்ணிலாவது வேறுபாடு இருந்தாக வேண்டும். இதன்படி k — கூட்டை எடுத்துக் கொண்டால், அதன் $n = 1$. ஆகையால், $l = 0$ ஆக இருந்தாகவேண்டும் $l = 0, 1, 2 \ldots\ldots n - 1)$. ஆகவே, $ml = 0$; $s = \frac{1}{2}$; $\therefore ms = (+\frac{1}{2})$ அல்லது $(-\frac{1}{2})$ ஆக இருக்கலாம். ஆகவே, k — கூட்டில் ஓர் எலக்ட்ரான் $(n = 1, l = 0, ml = 0, s = \frac{1}{2}, ms = +\frac{1}{2})$ என்றும், வேரொன்று $n = 1, l = 0, ml = 0. s = \frac{1}{2}, ms = -\frac{1}{2})$ என்றுமாக, இரண்டே எலக்ட்ரான்கள்தான் இருக்கமுடியும். மூன்றாவது எலக்ட்ரான் இருந்ததானால், அதன் குவாண்டம் எண்கள் அனைத்தும் முதலாவது அல்லது இரண்டாவது எலக்ட்ரானின் எண்களுக்குச் சமமாக இருந்தாக வேண்டும். ஆகையால், அது அந்த அணுவிலிருந்து தவிர்க்கப்பட்டுவிடும். ஆகவே, $n=1$ என்ற k — கூட்டில் மொத்தம் இரு எலக்ட்ரான்கள் மட்டுமே இருக்கமுடியும்.

$n = 2$ என்ற L — கூட்டிற்கு, $l = 0, 1$ என்று இரு அளவுகளை E கொள்ளக்கூடும். ஆகவே, $n=2$, $l = 0$, $ml = 0$ என்ற குழுவுடன், $ms = +\frac{1}{2}$, $ms = -\frac{1}{2}$ என்ற இரு அளவுகளைச் சேர்த்து, 2 எலக்ட்ரான்களைக் கொள்ளலாம். $n = 2, l = 1$ என்ற நிலைக்கு, $ml = +1, 0, -1$ என்ற மூன்று நிலைகளும், அவை ஒவ்வொன்றிற்கும் $ms = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ என்ற இரு நிலைகளும் அமையலாமாகையால், இந் நிலையில் 6 எலக்ரான்களைக கொள்ளலாம். ஆகவே, L — கூட்டின் $l = 0$ என்ற s — நிலையில இரு எலக்ட்ரான்களும், $l = 1$ என்ற p — நிலையில் 6 எலக்ட்ரான்களுமாக மொத்தம் எட்டு எலக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம். அவற்றின் குவாண்டம் எண்களில் ஒன்றாவது மற்றவைகளிலிருந்து வேறுபட்டிருக்கும். அவற்றைக் கீழ்கண்டவாறு அட்டவணைப்படுத்தலாம்: s-இன் அளவு எப்பொழுதும் மாறுமல் $\frac{1}{2}$ என்றே இருப்பதால், இத் தொகுப்புகளில் அதை எடுத்துக் கொள்வதில்லை.

	n	l	ml	ms
இவ்வாறே, $n = 3$ என்ற M-கூட்டில்,	2	0	0	$+\frac{1}{2}$
$l = 0$, $l = 1$, $l = 2$ என்ற மூன்று துணைக்	2	0	0	$-\frac{1}{2}$
கூடுகள் உள்ளன. $l = 0$ என்ற s-துணைக்	2	1	$+1$	$+\frac{1}{2}$
கூட்டில் மேலே கண்டவாறு இரு எலக்ட்	2	1	$+1$	$-\frac{1}{2}$
ரான்களும், $l = 1$ என்ற p-துணைக் கூட்டில்	2	1	0	$+\frac{1}{2}$
ஆறு எலக்ட்ரான்களும், $l = 1$ என்ற d	2	1	0	$-\frac{1}{2}$
துணைக் கூட்டில் $2(2l + 1)$ அதாவது,	2	1	1	$+\frac{1}{2}$
பத்து எலக்ட்ரான்களுமாக, இக் கூட்டில்	2	1	-1	$-\frac{1}{2}$
மொத்தம் 18 எலக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம்.				

இவ்வாறே, $n = 4$ என்ற N — கூட்டில் மொத்தம் 32 எலக்ட்ரான்கள் இருக்கக்கூடும் என்று காண்பிக்கலாம். கூட்டின் குவாண்டம் எண் n என்றால், அதில் இருக்கக்கூடிய எலக்ட்ரானின் பெரும எண் $2n^2$ என்று விளங்குகிறது.

ஆகவே, வெக்டர் அணு மாதிரி அமைப்பையும் பவுலியின் தத்துவதையும் கொண்டு, அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான் அனைத்தும் ஏன் தரை ஆற்றல் மட்டத்தில் குவிந்திராமல், வெவ்வேறு கூடுகளில் அமைந்துள்ளன என்பதை விளக்க முடிகிறது.

அணுவில் எலக்ட்ரான் நிலை அமைப்பு (Electonic configuration in the atom) : மேலே விளக்கிய கொள்கைகளைச் சில உதாரணங்கள் மூலமாக விளக்குவோம்.

ஹைட்ரஜன் (அணு எண் $Z = 1$) : இதற்கு ஒரே ஒரு எலக்ரான்தான் உண்டு. அது சிறும ஆற்றலுடைய $n = 1$ எண்ணுடைய K — கூட்டில் உள்ளது. $n = 1$ என்றிருப்பதால், l பூஜ்யமாகத்தான் இருக்கவேண்டும். ஆகையால் இதை ஒற்றை எலக்ட்ரான்கள் $1s$ நிலையில் உள்ளது. K — கூட்டை நிரப்புவதற்கு இரு எலக்ட்ரான்கள் தேவைபடுமாகையால், ஒற்றை எலகரானையுடைய ஹைட்ரஜன் அணு மற்ற அணுக்களுடனும், வேறொரு ஹைட்ரஜன் அணுவுடனும் சேர்ந்து, மூலக்கூறுகளை உண்டு பண்ண வெகு தயாராயிருக்கிறது.

ஹீலியம் ($Z = 2$) : இதற்கு இரு எலக்ட்ரான்கள் உண்டு. இவை யிரண்டும் K – கூட்டிலே இருக்கலாம். நிறமாலை ஆராய்ச்சிகளும், அயனிக்கும் மின்னழுத்தச் சோதனைகளும் இதன் உண்மையை ஊர்ஜிதப்படுத்தியுள்ளன. மேலும், இரு எலக்ட்ரான்களுடன் இக் கூடு பூர்த்தியடைந்துவிடுவதால், ஹீலியம் செயலற்ற, ஒற்றை அணு, மந்த வாயுவாக உள்ளது. அதன் இரு எலக்ட்ரான்களும் $1s$ நிலையிலிருப்பதால், அவற்றை $1s^2$ என்று குறிப்பிடல் வழக்கம்.

லிதியம் ($Z = 3$): இதிலுள்ள மூன்று எலக்ட்ரான்களில் இரண்டு $n = 1$ என்ற முதலாம் K கூட்டிலும், மூன்றாவது எலக்ட்ரான் $n = 2$ என்ற இரண்டாம் கூட்டிலும் அமைந்துள்ளன. இதை $1S^2$, $2s$ என்று குறிப்படுகிறோம். இந்த இரண்டாம் சுற்றுப் பாதையின் ஆரம் முதலாம் சுற்றுப் பாதையைப்போல் நான்கு மடங்கு அதிகமாகையால், (அத்தியாயம் 7, சமன்பாடு 10), இதில் சுற்றிச் செல்லும் தனி எலக்ட்ரான் அணுக் கருவுக்கு அதிக தூரத்திலுள்ளது. ஆகையால், மற்ற இரு எலக்ட்ரான்களைப் போல் இவ்வளவு பலமாக அணுக் கருவுடன் பிணைக்கப்படவில்லை. ஆகையால், சுலபத்தில் வெளிவந்துவிடக்கூடியது; அதாவது, சுலபமாக அயனியாக்கம் அடைய க்கூடியது. அந்தத் தனி ஒற்றை எலக்ட்ரானே லிதியம் மற்ற அணுக்களுடன் இயக்கம் அடைவதற்குத் துணைபுரிகிறது. ஆகையால், 'ஒற்றைக கூடுகை எண்' (monovelent) உடையது. இதன் நிறமாலையும் மற்ற 'ஒற்றை எலக்ட்ரான்' அணுக்களின் நிறமாலையை ஒத்ததாயுள்ளது.

பெரிலியம் ($Z = 4$): இதன் இரு எலக்ட்ரான்கள் முதலாம் சுற்றுப்பாதையிலும், மீதியான இரு எலக்ட்ரான்கள் இரண்டாம் சுற்றுப்பாதையிலும் செல்வதால், அவற்றை $1s^2\ 2s^2$ என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம். (இரு எலக்ட்ரான்கள் $n = 1$, $l = 0$ நிலையிலும், மற்ற இரு எலக்ரான்கள் $n = 1l = 0$ நிலையிலும் உள்ளன). இதன் கூடுகை எண் 2. நிறமாலையும் இரட்டை எலக்ட்ரான் அணுக்களின் நிறமாலையை ஒத்தது.

இவ்வாறே அணு எண் 5, 6, 7, 8, 9, 10 என்ற அணுக்களில், இரு எலக்ட்ரான்கள் முதலாம் சுற்றுப்பாதையிலும் ($1s^2$) மீதியாயுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இரண்டாம் சுற்றுப்பாதையின் இருதுணைக் கூடுகளான $2s$, $2p$ யிலும் அமைகின்றன. $Z = 10$ ஆகிய நியான் வாயுவில் முதலாம், இரண்டாம் கூடுகள் இரண்டும் நிறைந்து விடுவதால், இது இயக்கமற்ற மந்த வாயுவாகிறது. இந்த எலக்ட்ரான்களின் நிலையை $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

சோடியம்: ($Z = 11$): இதிலுள்ள 11 எலக்ட்ரான்களில் 10 பவுலியின் விதிப்படி முதலாம் இரண்டாம் கூடுகளில் அடைத்து, அவற்றை நிரப்பிவிடுகின்றன. ஆகவே, மீதியான ஒற்றை எலக்ட்ரான் மூன்றாவது கூடாகிய M கூட்டில் உள்ளது. இவ்வெலக்ட்ரான்களின் நிலையை $[1s^2\ 2s^2\ 2p^6]3s^1$ என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம். இந்த ஒற்றை M எலக்ட்ரான் லிதியத்தின் ஒற்றை எலக்ட்ரானைப் போலவே, சுலபத்தில் வெளிவரக்கூடியது. கூடுகை எண் ஒன்று; நிறமாலை ஒற்றை எலக்ட்ரான் நிறமாலையாகும்.

புளோரின் ($Z = 9$): இதில் ஒன்பது எலக்ட்ரான்கள் உள்ளபடியால், மந்தவாயுவின் ஸ்திரமான அமைப்பை அடைவதற்கு ஒன்று குறைவாயுள்ளது. ஆகையால் ஓர் எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொள்ள இவ்வணு தயாராயுள்ளது. அப்படி ஏற்றுக்கொண்டால், அது எதிர் மின்னேற்றமுடைய அயனியாய் விடும்.

அவ்வாறே சோடியம் தனது ஒற்றை M எலக்ட்ரானைச் சுலபமாய் இழந்து, நியானின் ஸ்திரமான அமைப்பை அடையத் தயாராயுள்ளது. சோடியத்தைப் போலவே மந்தவாயுக்களுக்கு ஒருபடி அடுத்தாற்போலுள்ள பொட்டாசியம் (19), ருபீடியம் (36), சீசியம் (55) இவைகளும் தம் வெளிச் சுற்றுப் பாதையில் ஒற்றை எலக்ட்ரானை உடையவை. இவற்றின் வேதியல், பௌதிய, நிறமாலைக குணங்கள் யாவிலும் அதிக ஒற்றுமை காணப்படுகின்றன. மந்த வாயுக்களுக்கு ஒருபடி முன்னுள்ள புளோரின் (9), குளோரின் (17), புரோமின் (35), ஐயோடின் (53) இவை ஓர் எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொள்ளத் தயாராயுள்ளன. இவ்வாறு சோடியம் அயனி நேர் மின்னூட்டமும், குளோரின் அயனி எதிர் மின்னூட்டமும் கொள்வதால், அவை ஒன்றையொன்று கவர்ந்து வெகு சுலபத்தில் கூட்டுப் பொருளை உண்டு பண்ணுகின்றன. 'சோடியம் குளோரைடு' என்னும் சாதா உப்பு பூமியில் மிக அதிகமாகக கிடைப்பது நாம் அறிந்ததே.

அவ்வாறே மந்த வாயுக்களுக்கு இருபடி அடுத்தாற் போலுள்ள மக்னீசியம் (12), கேல்ஸியம் (20), ஸ்ட்ரான்ஷியம் (38), பேரியம் (56), ரேடியம (38), பேரியம் (59), ரேடியம் (88), இவற்றின் கடைசி சுற்றுப் பாதையில் இரு எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இவ்வணுக்களின் கூடுகை எண் இரண்டு. (உதாரணம்: $CaCl_2$) இவை மிகவும் ஒத்த வேதியல், பௌதிய, நிறமாலைக் குணங்களை உடையன.

இவ்வாறு பவுலியின் விதியைக்கொண்டு ஒவ்வொரு சுற்றுப் பாதையில் எத்தனை எலக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம்; அவை எவ்வாறு வெவ்வேறு சுற்றுப்பாதைகளில் அமைகின்றன; அணுக்களின் வேதியல், நிறமாலைக குணங்கள் எவ்வாறு சுற்றப்பாதைகளில் எலகடரான்களின் அமைப்பைப் பொறுத்துள்ளன, என்பது போன்ற மிகவும் முக்கியமான உண்மைகளை விளக்கி விடலாம். அணுக்களின் குணவேறுபாடுகள், அவை ஒன்றோடொன்று வேதியல் முறையில் சேர்ந்து கூட்டுப்பொருளாகும் விதம், நிறமாலைக் குணங்கள் முதலிய யாவும், அணுக்கருவைச் சுற்றிக் கடைசிச் சுற்றுப்பாதையில் செல்லும் எலகடரான்களின் எண

ணிக்கை, அமைப்பு இவைகளையே பொறுத்துள்ளன என்பது கவனிக்கத் தக்கது.

அணு நிறமாலையில் கூட்டு வரியமைப்பு (Multiplet Structure in Atomic Spectra)

நிறமாலையின் கூட்டுவரியமைப்பை விளக்குவதற்காகவே கூட்ஸ்மிட், ஊலன்பெக் என்பவர்கள், எலக்ட்ரான் சுழற்சி என்னும் தத்துவத்தைப் புகுத்தினார்கள் என்று, மேலே கூறினோம். இது எவ்வாறு சோடிய நிறமாலையின் இரட்டை வரிகளை விளக்குகிறது என்று பார்ப்போம்.

சோடியம், பொட்டாசியம் வகுப்பைச் சேர்ந்த ஒற்றை எலக்ட்ரான் அணுக்களின் கடைச் சுற்றுப்பாதையில் ஓர் எலக்ட்ரான் செல்லுகிறது. அணுவிற்கு ஆற்றல் ஊட்டிக் கிளர் நிலையை அடையச் செய்தால், இந்த ஒற்றை எலக்ட்ரான், மேல் ஆற்றல் மட்டங்களுக்குத் தாவி, சற்று நேரத்தில் மறுபடியும் தன் தரை ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் திருப்பி குதிப்பதால், நிறமாலை வரிகள் உண்டாகின்றன, உள் சுற்றுப்பாதைகளில் நிறைந்திருக்கும் எலக்ட்ரான்கள் இந் நிறமாலை உற்பத்தியில் பங்கு பெறுவதில்லை.

மேல் ஆற்றல் மட்டங்கள் என்றால், $n = 3$-லிருந்து $n = 4, 5, 6, \ldots\ldots$ என்ற சுற்றுப்பாதைகளுக்கு மட்டுமல்ல; அவற்றில் துணைமட்டங்கள் உள்ளன; அவைகளில் ஒன்றுக்குத் தாவி, அங்கிருந்தும் கீழே குதிக்கக்கூடும். $n=4$ என்றால், $l=0$, 1, 2 3 என்ற நான்கு துணைக் கூடுகளும், அவை ஒவ்வொன்றிற்கும் $s = +\frac{1}{2}$ அல்லது $(-\frac{1}{2})$ ஆக இருக்கலாம் என்றும் பார்த்தோம். (இவ்வணுவில் ஒரே ஓர் எலக்ட்ரான் மொத்த நிலையைத் தருவதால், l, s, j, என்பதற்குப் பதிலாக L, S, J, என்ற அணு நிலைகளை உபயோகிப்போம்). ஆகவே, $n=4$ என்ற குவாண்டம் எண்ணையுடைய ஆற்றல் மட்டங்கள் பல உண்டு என்று விளங்குகிறது. $J=L\pm S$ ஆகையால், L O என்றால், $J=O+\frac{1}{2}=\frac{1}{2}$ என்ற ஓர் அளவை எடுக்கும். (J பூஜ்யத்துக்குக் கீழே இராது; ஏனென்றால், அது மொத்த கோண உந்தத்தைக் குறிக்கிறது).

$L=1$ என்றால், $J=1+\frac{1}{2}$, $1-\frac{1}{2}$, அதாவது $\frac{3}{2}$, $\frac{1}{2}$ என்ற இரு அளவுகளைக் கொள்ளும்.

$L=2$ என்றால், $J=\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$ என்ற இரு அளவுகளை எடுக்கும்.

ஒவ்வொரு J அளவுக்கும் ஓர் ஆற்றல் மட்டமுண்டு.

மேலும் $L = O, 1, 2, 3...$ என்ருல், அவற்றை S, P, D, F... நிலைகள் என்று குறிப்பது வழக்கம் என்று முன்பே கூறினேம். ஆகவே, $L = 1$, $J = \frac{3}{2}, \frac{1}{2}$ என்ற இரு ஆற்றல் மட்டங்களை $P_{\frac{3}{2}}$, $P_{\frac{1}{2}}$ என்று குறிப்பது மரபு. அவ்வாறே $L = 2$, $J = \frac{5}{2}, \frac{3}{2}$ என்பதை $D_{\frac{5}{2}}$, $D_{\frac{3}{2}}$ என்று குறிப்போம். $L = 3$, $J = \frac{7}{2}, \frac{5}{2}$ என்பதை $F_{\frac{7}{2}}$, $F_{\frac{5}{2}}$ என்று குறிப்போம். இவ்வாறு ஆற்றல் மட்டங்கள் இரண்டு இரட்டையாய் வருவது வெளிப்படை ஆகையால், இவற்றை $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$, $^2D_{\frac{5}{2}}$, $^2D_{\frac{3}{2}}$, $^2F_{\frac{7}{2}}$, $^2F_{\frac{5}{2}}$ என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம். இவற்றுடன் சேர்ந்த $L = O$, $J = \frac{1}{2}$ என்ற ஒற்றை மட்டத்தையும் $^2S_{\frac{1}{2}}$ என்றே குறிப்பிடுவது மரபு.

அவ்வாறே $n = 3$ என்ற நிலைக்கும் $L = O, 1, 2$ என்ற அளவுகள் உண்டு அல்லவா? இந்த குவாண்டம் எண்ணையுடைய ஆற்றல் மட்டங்கள் $^2S_{\frac{1}{2}}$; $^2P_{\frac{1}{2}}$, $^2P_{\frac{3}{2}}$; $^2D_{\frac{5}{2}}$, $^2D_{\frac{3}{2}}$ என்பவை. சோடிய அணுவின் ஒற்றை எலக்ட்ரான் தனது இடற்கை நிலையில் தரை ஆற்றல் மட்டமாகிய $^2S_{\frac{1}{2}}$ மட்டத்தில்தான் இருக்கும். ஆற்றல் பெற்றுக் கிளர்ச்சியுற்ருல், $^2P_{\frac{1}{2}}$, $^2P_{\frac{3}{2}}$ என்ற உயர்ந்த நிலைக்குச் சென்று, அங்கிருந்து திரும்பிக குதிக்கையில் நிறமாலைக் கோடுகளை வெளிவிடும்.

ஆனுல், ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து வேறு எல்லா ஆற்றல் மட்டங்களுக்கும் குதிக்க முடியாது. இதற்குச் சில 'மாற்றல் விதிகள்' (transition rules) உண்டு. அவையாவன:

$$\triangle L = \pm 1; \quad \triangle J = O, \pm 1.$$

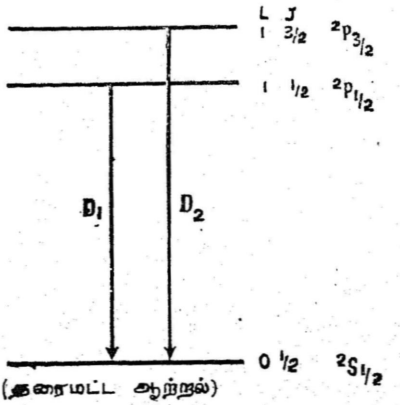
இதன் அர்த்தமென்னவென்ருல், L அளவு O-விலிருந்து 1-க்கோ அல்லது 1-லிருந்து O-க்கோ மாறலாம்; 2-லிருந்து 1-க்கு மாறலாம்; ஆனுல் 2-லிருந்து O-க்கு மாறமுடியாது. ($\triangle L$ என்ருல், L அளவின் மாற்றம் என்பது பொருள்.) ஏனென்ருல் 2-லிருந்து O-க்கு மாறுவதற்கு $\triangle L = -2$ என்ருகிறது. இது நடைபெறுது. அவ்வாறே D-மட்டத்திலிருந்து P-மட்டத்திற்கோ, F-மட்டத்திற்கோ மாறலாம் ($\triangle L = \pm 1$) ஆனுல் D-யிலிருந்து S-க்கு மாற முடியாது. ($\triangle L = -2$). அவ்வாறே ஒரு P-மட்டத்திலிருந்து மற்ற P-மட்டத்திற்கு மாறமுடியாது. ஏனென்ருல் L-மாறவில்லை ($\triangle L = O$). இதுவும் நடைபெறுது. அவ்வாறே, $\triangle J = O$, அல்லது ± 1-ஆக இருக்கவேண்டும்.

இவ்விதிகளை மனதில் வைத்து, சோடியத்தின் தரை மட்டத்திற்கடுத்த மூன்று ஆற்றல் மட்டங்களைப் படம் 4ல் காட்டியபடி

வரைந்து, அவற்றிற்கிடையே நடைபெறக்கூடிய மாற்றங்களைச் செய்தால்,

$$^2P_{\frac{1}{2}} \rightarrow {}^2S_{\frac{1}{2}},\ ^2P_{\frac{3}{2}} \rightarrow {}^2S_{\frac{1}{2}}$$

என்ற இரு நிறமாலை வரிகள் வெளிவிடப்படுவதை அறியலாம்.



படம் 41. சோடியம் D-வரிகள்

இவற்றிற்கு D_1, D_2 வரிகள் என்று பெயர். இவற்றின் அலை நீளங்கள் 5896AU, 5890AU ஆகும்.

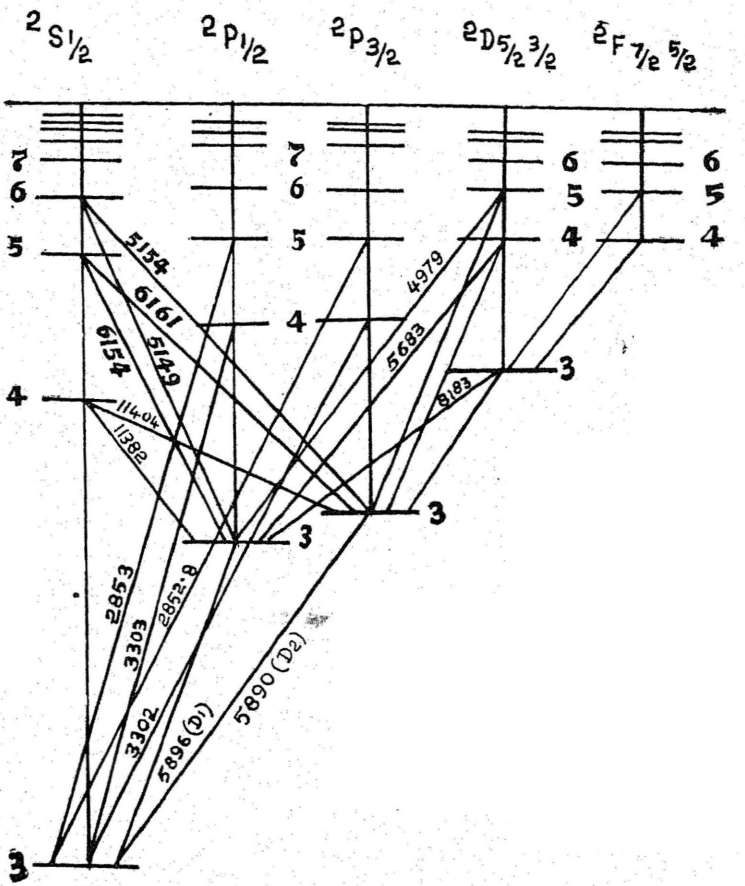
இம்முன்று ஆற்றல் மட்டங்களும் $n=3$ என்ற குவாண்டம் நிலையைச் சார்ந்தவை. இவ்வாறே $n=4, 5, 6$, என்ற குவாண்டம் எண்களைச் சார்ந்த $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$ மட்டங்களிலிருந்து தரைமட்டத்திற்கு ($n=3_1$ $^2S_{\frac{1}{2}}$) மாற்றங்கள் ஏற்படுவதால், இரட்டை இரட்டையான வரிகள் உண்டாகின்றன. இவற்றிற்கு 'முதன்மை அணி' (Principal series) என்று பெயர்.

இதுபோலவே, $n=4, 5, 6,$.....குவாண்டம் எண்களின் $^2S_{\frac{1}{2}}$ மட்டத்திலிருந்து, கீழேயுள்ள $n=3$, $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$ மட்டங்களுக்கு மாற்றலாவதால் உண்டாகும் வரிகளுக்கு 'கூர்மை அணி' (sharp series) என்று பெயர் தரப்பட்டுள்ளது. ஏனெனில் அவை வெகு தெளிவாய் உள்ளன.

$^2D_{\frac{5}{2}}$, $^2D_{\frac{3}{2}}$ மட்டங்களிலிருந்து $^2P_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{1}{2}}$ மட்டங்களுக்கு மூன்று மாற்றங்கள் நடைபெறலாம். ($2D_{\frac{5}{2}} \rightarrow {}^2P_{\frac{1}{2}}$ கூடாது; $\Delta J = 2$)- இவை மிக நெருக்கமாக உள்ளபடியால், அவை மங்கலாக தெளிவற்று) இருந்தன. ஆதலால் 'மங்கல் அணி' (diffuse series) என்று பெயர் தரப்பட்டது. அவ்வாறே F-மட்டங்களிலிருந்து ($n=3$) D-மட்டங்களுக்கு மாற்றலாவதால் உண்டாகும்

வரிகளுக்கு 'அடிப்படை அணி' (fundamental series) என்று பெயர் வழங்கப்பட்டது. இவ்வாறு (sharp principal, diffuse, fundamental series) என்றும் சோடிய நிறமாலை அணிகளிலிருந்தே S, P, D, F என்ற ஆற்றல் மட்டங்களின் பெயர்கள் வந்தன.

சோடியத்தைப் போன்ற ஒற்றை எலக்ட்ரான் அணுக்களான பொட்டாசியம், ருபீடியம், கிசியம் அணுக்களிலும் இவ்வாறே



படம் 42. சோடிய நிறமாலை அணிகள்

இரட்டையான ஆற்றல் மட்டங்களும், மேலே கண்ட நான்கு அணிகளும் உளளன.

42ஆம் படத்தில் சோடியத்தின் ஆற்றல்மட்டங்களும், அவைகளிடையே நேரிடும் மாற்றங்களால் உண்டாகும் அணிகளும் காட்டப்பட்டுள்ளன :

sharp series , $n^2S_{\frac{1}{2}} \rightarrow 3^2P_{\frac{1}{2}, \frac{3}{2}}$

principal series : $n\,^2P_{\frac{1}{2}, \frac{3}{2}} \rightarrow 3^2S_{\frac{1}{2}}$

diffues series : $n^2D \rightarrow 3^2P_{\frac{1}{2}}$

fundamental series : $n^2F \rightarrow 3^2D$.

அத்தியாயம் 8

வினாக்கள்

1. வெக்டர் மாதிரி அமைப்பின் அம்சங்கள் என்ன ? விளக்கு.
2. குவாண்டம் எண் என்பது என்ன ? அணு பௌதிகத்தில் வரும் குவாண்டம் எண்கள் யாவை ? அவற்றின் முக்கியத்துவம் என்ன ?
3. 'திசைக் குவாண்டப் படுத்தல்' என்னும் கருத்தை விளக்கு.
4. 'எலக்ட்ரான் சுழற்சி' என்னும் கருத்தை விளக்கி அதைக் கொண்டு அணிநிறமாலையின் கூட்டு வரியமைப்பை எவ்வாறு விளக்கலாம் என்பதைக் காண்பி.
5. பவுலியின் தவிர்க்கைத் தத்துவம் என்ன ? அதைக் கொண்டு தனிம அட்டவணையை எவ்வாறு விளக்கலாம்?
6. சோடிய அணுநிறமாலையில் உண்டாகும் நான்குவித அணிகள் யாவை ? அவை எவ்வாறு உண்டாகின்றன?

୨. எக்ஸ் கதிர்கள்

(X—Rays)

1895 ஆம் ஆண்டு அக்டோபர் மாதத்தில், ஜெர்மானியப் பேராசிரியர் கான்ரட் ராஞ்ஜன் (Konrad Rontgan) என்பவர் அழுத்தம் குறைந்த வாயுக்களினூடே மின்சாரம் பாய்வதைக் குறித்த ஆராய்ச்சி நடத்திக்கொண்டிருந்தார். (இரண்டாம் அத்தியாயத்தில் இதைப் பார்த்தோம்). மின்னிறக்கக் குழாயைச் சுற்றி ஒரு கறுப்பு அட்டை மூடியிருந்தும், அருகே வைக்கப்பட்டிருந்த பேரியம் பிளாட்டினோ சயனைடு திரையில் மிகப் பிரகாசமான ஒளிர்தல் உண்டாவதைக் கவனித்தார். திரையை ஆறடி தூரம் தள்ளி வைத்தார்: பசை தடவிய பக்கத்தை மின்னிறக்கக் குழாயைப் பார்த்தவாறும் வைத்தார்; அதற்கு மறுபுறமும் திருப்பிவைத்தார். இன்னும் ஒளிர்தல் நேர்ந்தவாறே இருந்தது. மின்னிறக்கக் குழாயில் மின்சார ஓட்டம் நின்றபொழுது, இந்த ஒளிர்தலும் நின்றுபோனது. ஆகவே ராஞ்ஜன், மின்னிறக்கக் குழாயில் எதிர் மின்கதிர்கள் தமக்கு எதிரேயுள்ள குழாயின் சுவரைத் தாக்கும்பொழுது, அதிலிருந்து ஒருவிதமான புதிய கதிர்கள் புறப்பட்டு, மூடியுள்ள அட்டையினூடே சென்று, திரையின்மீது விழுந்து ஒளிர்கின்றன, என்று ஊகித்தார், அதன் தன்மை இன்னதென்று அறியாததால், அதற்கு எக்ஸ் கதிர்கள் (X-rays='அறியப்படாத கதிர்கள்') என்று பெயரிட்டார் அப்பெயரே இன்றும் நிலைத்துவிட்டது. அக்கதிர்களை 'ராஞ்ஜன் கதிர்கள்' என்றும் கூறுவது வழக்கம்.

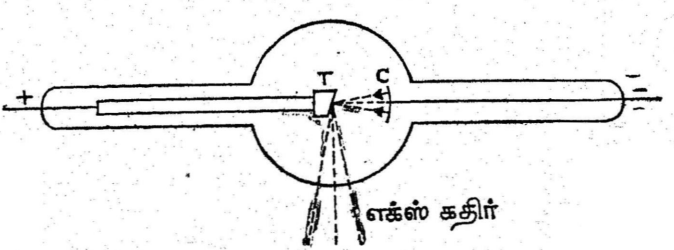
எக்ஸ் கதிர்களின் கண்டுபிடிப்பு ஒருமிக முக்கியமானதாகும் மருத்துவம், விஞ்ஞான ஆராய்ச்சி, தொழில் துறை, விவசாயம், பொறியியல் முதலிய பல்வேறு துறைகளில் எக்ஸ்கதிர்கள் வெகுவாகப் பயன்படுகின்றன, இக்கதிர்கள் சதையினூடே இலகுவாகவும், எலும்பினூடே சிறிதளவும், ஊடுருவிச் செல்வதால், உடம்பின் உட்பாகங்களைப் படம் பிடித்துக்காட்ட வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றன. கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சில ஆண்டுகளில்,

1901-ஆம் ஆண்டு நடந்த கிரைமியப் போரில் (Crimean war), உடம்பில் பாய்ந்துள்ள ரவைக் குண்டுகளை அறுவைச் சிகிச்சை மூலம் வெளியேற்ற வெந்தவாய்ப் பயன்படுத்தப்பட்டன.

எக்ஸ் கதிர்களின் உற்பத்தி : வேகமாய்ப் பாய்ந்து செல்லும் எலக்ட்ரான்களை ஒரு திடப்பொருள் திடீரென்று தடுத்து நிறுத்தினால் எக்ஸ்கதிர்கள் உண்டாகின்றன. இக் கதிர்களை உண்டு பண்ண இரு முக்கியமான வழிகள் உண்டு. முதலாவது: மின்னிறக்கக் குழாயில் உண்டாகும் எதிர் மின்கதிர் எலக்ட்ரான்களுக்கு வேகமூட்டி, உலோகத் தடுப்பின் மீது மோதச் செய்தல். இரண்டாவது, வெப்ப அயனிமுறையில் எலக்ட்ரான்களை உண்டு பண்ணி, முன்போல் பயன்படுத்தல். முதலாவது முறைக்கு 'வாயுக் குழாய் முறை' என்றும், இரண்டாவதற்கு 'எலக்ட்ரான் குழாய்' அல்லது 'கூலிட்ஜ் குழாய்' (coolidge tube) முறை என்றும் பெயர்.

வாயுக் குழாய்கள் (gas tubes):

இவையே முதன் முதலாகப் பயன்படுத்தப்பட்டன. ஒரு பெரிய மின்னிறக்கக் குழாயிலுள்ள குழிவடிவ எதிர்மின்வாயிலிருந்து (C) வெளிவரும் எதிர்மின் கதிர்கள் T என்ற உலோக இலக்கின்மீது குவிக்கப்படுகின்றன. குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் சுமார் 0·001 மி.மீ. நேர்எதிர் மின்வாய்களுக்கிடையே சுமார் 30,000- திலிருந்து 50,000 வோல்டுவரை மின்னழுத்த பேதம் தரப்படுவதால், எதிர்மின்கதிர்கள் அதிவேகத்துடன்



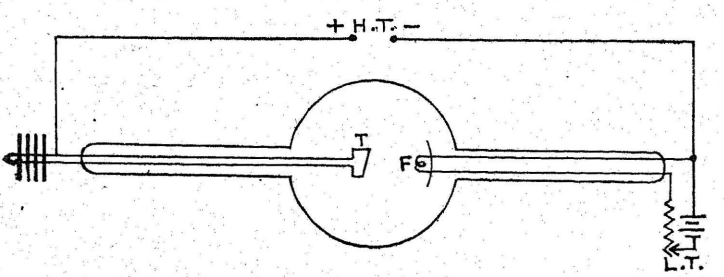
படம் 43 (a) வாயு எக்ஸ்கதிர் குழாய்

இலக்கின்மீது மோதுகின்றன. எலக்ட்ரான்களின் வேக ஆற்றலின் பெரும்பாகம் வெப்பமாக மாறிவிடுகின்றது; ஒரு சிறிது பாகம் எக்ஸ்கதிர்களாக வெளிவருகின்றது: எலக்ட்ரான் தாக்குதலால் அதிக வெப்பமேற்றப்படும். உலோகத் தண்டை நீரால் குளிர்விக்கின்றனர்.

வெளிவிடப்படும் எக்ஸ்கதிரின் செறிவும் ஆற்றலும் குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம், பிரயோகிக்கப்படும் மின்னழுத்த பேதம் இவற்றைச் சார்ந்துள்ளன. இக் குழாய்களில் எக்ஸ் கதிரின் செறிவையும் ஆற்றலையும் தனித்தனியே மாற்ற இயலாது; ஒன்றை மாற்றினால் மற்றதும் மாறும். இக் குழாயின் மற்றொரு குறைபாடு என்னவென்றால், இது சிறிது நேரம் இயங்கினால், இதிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் குறைந்து கொண்டே போகிறது. மின்சார ஓட்டம் தொடர்ந்து செல்ல வேண்டுமானால், மின்னழுத்தத்தை உயர்த்திக்கொண்டே போக வேண்டும். கடைசியில் மின்னோட்டம் நின்றுவிடும். மறுபடியும் குழாயை இயங்கச் செய்யவேண்டுமானால், ஒரு சிறிது வாயுவை உள்ளேவிட்டு, அழுத்தத்தை உயர்த்தவேண்டும். இதற்கு வெவ்வேறு வழிவகைகள் வகுத்திருந்தனர்.

கூலிட்ஜ் குழாய் (coolidge tube)

1913ஆம் ஆண்டில் டார்டர் கூலிட்ஜ் என்பவர் இக் குழாயை நிறுவினர். இதில் வாயுக்குழாயின் குறைபாடுகள் நிவர்த்தி செய்யப்பட்டுள்ளன. இக் குழாயிலுள்ள வாயுவெல்லாம் முற்றிலுமாக அகற்றப்பட்டு, அழுத்தம் 0.00001 மி. மீக்குக் குறைவாக உள்ளது. ஒரு சிறிய டங்ஸ்டன் இழையை (F) பாட்டரி கொண்டு (L.T.) சூடேற்றி, வேண்டிய அளவு எலக்ட்ரான்களை உண்டுபண்ணிக் கொள்ளலாம். இவ் வெலக்ட்ரான்கள் ஒரு குழி



படம் 43 (b) கூலிட்ஜ் எக்ஸ்ரதிர் குழாய்

ஆடியின் உதவியால் இலக்கின் மீது (T) குவிக்கப்பட்டு, நிறுத்தப்படுகின்றன. உடனே எக்ஸ் கதிர்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இலக்குவிற்கும் இழைச்சுருளுக்கும் இடையே 50,000-லிருந்து 400,000 வோல்டு வரை மின்னழுத்தம் பிரயோகிக்கப்படுமாகையால், எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மிக அதிகம்; ஆகையால் வெளிவிடப்படும் எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றலும், ஊடுருவிச் செல்லும் சக்தியும் அதிகம்.

இக்குழாயின் சிறப்பு என்னவென்றால், எக்ஸ்கதிரின் செறிவையும், அதன் ஊடுருவிச் செல்லும் ஆற்றலையும் தனித்தனியே மாற்றலாம். இழைக்கம்பியைச் சூடேற்றும் மின்னோட்டத்தை ஏற்றினால், வெப்பநிலை ஏறும்; வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாவதால் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவும் அதிகரிக்கின்றது. கம்பிக்கும் உலோகத் தண்டிற்குமிடையே பிரயோகிக்கப்படும் மின்னழுத்தத்தை உயர்த்தினால், எலக்ட்ரான்களின் வேக ஆற்றல் அதிகரிக்கின்றது; ஆகையால் வெளிவிடப்படும் எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றலும் அதிகமாகின்றது. குழாயில் வாயு ஒன்றுமில்லையாகையால், அழுத்தமாற்றங்களில் ஏற்படும் தொல்லைகளும் இல்லை.

எக்ஸ் கதிர்களின் குணங்கள்

(1) எக்ஸ்கதிர்கள் மிகக் குறுகிய அலைநீளமுடைய மின்காந்த அலைகள். ஒளியின் தன்மைகள் அனைத்தும் இவற்றிற்கு உண்டு.

(2) இவை நேர்க்கோட்டில், ஒளியின் வேகத்தில் செல்கின்றன.

(3) எதிர் மின்கதிர்களைப் போலன்றி, இவை மின், காந்தப் புலன்களால் பாதிக்கப்படா.

(4) இவற்றிற்குப் பொருள்களினூடே ஊடுருவிச் செல்லும் தன்மையுண்டு. மரப்பலகை, தசை, அட்டை இவற்றினூடே மிகச் சுலபமாய் செல்லும்; உலோகத் தகடுகளை வெவ்வேறு அளவிற்கு இக் கதிர்களைத் தடுக்கும். அலுமினியத் தகடு ஒரு சிறிதே இக்கதிர்களைத் தடுக்கவல்லது, ஆனால், ஈயத்தகடு இக் கதிர்களை ஏறக்குறைய முற்றிலும் தடுத்துவிடும். நமது உடம்பினூடே எக்ஸ்கதிர்களைச் செலுத்தினால், எதிர்ப்புறமாக வைக்கப்படடுள்ள ஒளிர்திரையில் உடம்பின் எலும்புகளின் நிழல் தெளிவாக விழும்.

(5) இவை ஒளியைப் போலவே, ஒளிப்படத் தட்டை (photographic plate)ஐப் பாதிக்கும் தன்மையுடையவை.

(6) துத்தநாக சல்பைடு, பேரியம் பிளாடினோ சயனைடு, கால்ஷீயம் உப்புக்கள், முதலிய பல பொருள்களில் இக் கதிர்கள், ஒளிர்தலை உண்டுபண்ணும்,

(7) வாயுக்களை அயனிக்கும் தன்மையுடையவை; இதைக் கொண்டு இக் கதிர்களின் செறிவை அளக்கலாம்.

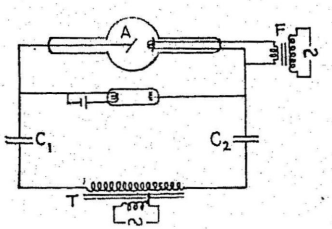
(8) இவை பொருள்களில் ஒளிமின் விளைவை உண்டு பண்ணுகின்றன.

(9) இவை உயிரணுக்களை அழிக்கவோ சேதப்படுத்தவோ வல்லவை; உயிரினங்களில் ஜீவமாற்றங்களையும் (mutations) உண்டுபண்ணக் கூடியவை.

இவ்வளவு பல்வேறு முக்கிய குணங்களையுடைய கதிர்கள், விஞ்ஞானம், மருத்துவம், தொழில்துறை, அன்றாட வாழ்க்கை முதலிய பலதுறைகளில் வெகுவாய்ப் பயன்படுமென்பது வெளிப் படை.

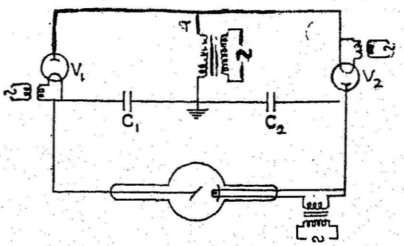
எக்ஸ்கதிர் நிறுவனம்

எக்ஸ்கதிர்களை உண்டுபண்ணுவதற்கு, அதிகப்படியான மின்னழுத்தம் தேவை, அதுவும் மாறுதிசை மின்னழுத்தமாயிராமல், ஒருதிசை மின்னழுத்தமாயிருக்க வேண்டும். ஏனென்றால், எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் உலோக இலக்கு, நேர்மின்னழுத்த முடையதாயிருந்தால்தான் எலக்ட்ரான்களை ஈர்க்க முடியும்; எலக்ட்ரான்களின் தாக்குதலினாலேயே எக்ஸ் கதிர்கள் வெளிவிடப் படுகின்றன என்று மேலே பார்த்தோம் ஆகவே, எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனங்களில் மின்னழுத்தங்களைப் பெருக்குவதற்குத் தேவையான மின்மாற்றிகளும் (transformers), மாறுதிசை மின்சாரத்தை ஒருதிசை யாக்குவதற்கு வால்வுகளும் உள்ளன, 44ஆம் (a) படத்தில் வில்லார்டு என்பவர் நிறுவிய எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனத்தைக் காணலாம். T என்னும் மின்மாற்றி மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தைப் பன்முறை பெருக்கி, C_1, C_2 என்னும் இருமின் தேக்கி (condensers) களின் வழியே எக்ஸ்க்கதிர்க் குழாயின் இரு மின் வாய்களுக்குச் செலுத்துகிறது. மின்தேக்கிகளினிடையே V என்ற ஒருடையோடு வால்வு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மின் மாற்றியின் இடதுமுனை நேர் மின்னழுத்த முடையதாக இருந்தால், அது நேரடியாக எக்ஸ் கதிர்க் குழாயின் உலோகத் தண்டிற்குச் செல்லும்; வால்வு செயல் படாது, அடுத்த அரைச்சுழற் சியில் இடதுமுனை நேர்மின் னழுத்த முடையதாகும்போது, வால்வு செயல்பட்டு, மறுபடியும் உலோகத் தண்டிற்கு நேர்மின் னழுத்தத்தையே உண்டு பண்ணுகிறது. ஆகவே, எக்ஸ் கதிர்க் குழாய் தொடர்ச்சியாகச் செயல்படுகின்றது, C_1, C_2 என்ற இருமின் தேக்கிகளும் மின்னூட்டத்தைத்



படம் 44(a)
வில்லார்டு எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனம்

தேக்கிவைத்து மின்னழுத்தம் ஏறியும் இறங்கியும் மாறுபடா வண்ணம் ஒரே அளவுப்படுத்துகின்றன. F என்னும் இறங்கு மின்மாற்றி, எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் இழையைச் சூடேற்றுவதற்குத் தேவையான குறைந்த மின்னழுத்தத்தை உண்டுபண்ணுகிறது. 44 (b)-ம் படத்தில் கிரைஞகர் (Grainacar) என்பவரின் எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனம் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில்



44 (b) கிரைஞகர் எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனம்

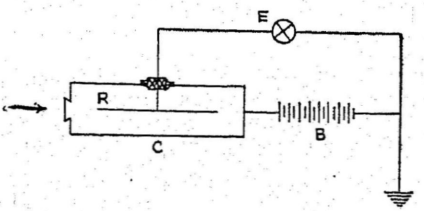
இருவால்வுகள் (V_1, V_2) ஒன்றுக்கொன்று எதிர் எதிராக இணைக்கப்பட்டுள்ளதால், மாறுதிசை மின்சாரத்தின் இரு பாதிகளும் சீராக்கப்பட்டு, எக்ஸ்கதிர்க் குழாய்க்குச் செலுத்தப்படுகின்றன. இது காரணமாக மின்னழுத்தம் மாறுமல், ஒரே சீராக நிற்கும். இதற்கு மின் தேக்கிகள் (C_1, C_2) இரண்டும் உதவுகின்றன.

எக்ஸ்கதிர்கள் உடம்பின் திசுக்களுக்குப் பெருங்கேதம் விளைவிக்குமாகையால், எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனத்தில் தகுந்த பாதுகாப்பு இருக்கவேண்டும். எக்ஸ்கதிர் குழாயைச் சுற்றிலும் தடிப்பமான ஈயத்தகடுகள் வைக்கப்பட்டு, கதிர்கள் செல்வதற்கு வேண்டிய துவாரங்கள் விடப்பட்டிருக்கும், சோதனைப் பொருட்கள்மீது விழும் கதிர்கள் சிதறலடைந்து ஆராய்ச்சியாளர்மீது படாவண்ணம், அப்பொருள்களைச் சுற்றிலும் ஈயத் தகடுகள் வைக்கப்படவேண்டும். எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனத்தில் வேலை செய்பவர்கள் எவ்வளவு எக்ஸ்கதிர்களை கிரகிக்கிறார்கள் என்பதை அறிய, அவர்களது சட்டைப்பையில் ஒரு துண்டு போட்டோப் படலத்தைக் கறுப்புக் காகிதத்தில் சுற்றிவைக்கின்றனர். சில நாட்களுக்குப் பிறகு அதை எடுத்து உருத்துலக்கிப் பார்த்தால், எக்ஸ்கதிர்கள் அவர்மீது பாய்ந்துள்ளதா இல்லையா என்பது தெரியவரும். பாய்ந்த கதிர்களின் செறிவு என்ன என்பதும் படலம் பாதிக்கப்பட்ட அளவிலிருந்து தெரியவரும். எக்ஸ்கதிர்கள் பாய்ந்திருந்தால் உடனடியாக இரத்த சோதனை செய்து

கொள்ளவேண்டும். லுக்கீமியா (Leukemia) என்னும் பயங்கர மான இரத்தப் புற்றுநோய் எக்ஸ் கதிர்களால் உண்டாவது.

எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை அளத்தல் (Intensity of X-rays)

எக்ஸ்கதிர்கள் ஒரு வாயுவினூடே செல்கையில் அவ் வாயுவை அயனிக்கும்; இதைக்கொண்டு கதிர்களின் செறிவை அளக்க லாம். இக் கருவிக்கு 'அயனிக்கலன்' (Ionization Chamber) என்று பெயர். (படம் 45) C என்ற ஒரு நீள் உருளைவடிவ வெண்கலக்கலனின் அச்சுசகு இணையாக அதன் நடுவில்



படம் 45. அயனிக் கலன்

R என்ற உலோகத்தண்டு வைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்விரண்டிற்கு மிடையே சுமார் 300—400 வோல்டு மின்னழுத்தபேதம் தரப்பட்டுள்ளது. கலனில் காற்று அல்லது மிதைல் அயோடைடு போன்ற வாயு ஒரு வளியழுத்தத்தில் (One atmospheric pressure) அடைக்கப்பட்டுள்ளது. W என்ற ஜன்னல வழியாகக் கதிர்கள் உள்ளே விடப்படுகின்றன.

எக்ஸ்கதிர்களால் வாயுவில் உண்டாக்கப்படும் அயனிகள், R, C இவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் காரணமாக அவற்றை நோக்கி உந்தப்படுகின்றன. இவ்வயனி ஓட்டத்தை E என்னும் எலக்ட்ரா மீட்டர் அளக்கின்றது. இவ்வயனி மின்னோட்டம் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவுக்கு நேர் விகிதத்தி லுள்ளது.

எக்ஸ்கதிர்களின் உட்கவர்தல் (Absorption of X-rays)

அலுமினியம் போன்ற ஒரு தரமான உலோகத்தில் கிரகிக்கப் படும் அளவைக்கொண்டு எக்ஸ்கதிர்களின் ஊடுருவும் சக்தியை அளக்கலாம்.

I_0 என்ற செறிவுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள் ஓர் அலுமினியத் தகட்டின்மீது விழுகின்றன என்றும், அதனூடே x தூரம் சென்றபின், கதிர்களின் செறிவு I என்றும் வைத்துக்கொள் வோம். இன்னும் ஒரு dx தூரம் சென்றால், அதன் செறிவு dI

அளவு குறைகிறதென்றால், $-\frac{dI}{dx}$ என்பது செறிவு குறையும் வீதமாகும். இவ் வீதம் கதிர்களின் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

அதாவது $-\frac{dI}{dx} \propto I$

$$\therefore \quad -\frac{dI}{dx} = \mu I \qquad \ldots (1)$$

இதில் μ என்பது, கதிர்கள் செல்லும் பொருளைச் சார்ந்தது; அதற்கு அப் பொருளின் **உட்கவர் எண்** (absorption coefficient) என்று பெயர்.

$$\frac{dI}{I} = -\mu\, dx$$

இருபுறத்தையும் குழிந்து ஆக்கினால் (Integrating),

$$\log_e I = -\mu x + c \qquad \ldots (2)$$

சென்ற தூரம் (x) சுழியாயிருக்கையில், $I = I_0$ என்று அறிவோம்

$$\therefore \quad \log_e I_0 = 0 + C$$

2) $\log_e I = -\mu x + \log_e I_0$

$$\log_e \left(\frac{I}{I_0}\right) = -\mu x$$

$$\therefore \quad I = I_0 e^{-\mu x} \qquad \ldots (3)$$

ஒரு பொருளின் உட்கவர் திறனை அறிய, எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவைப் பாதியாகக் குறைப்பதற்கு வேண்டிய பொருளின் தடிப்பம் என்ன என்பதை அளக்கவேண்டும். அதாவது, $I = \frac{I_0}{2}$ என்று குறைவதற்குத் தேவையான x என்று கண்டுபிடிக்கவேண்டும். இதை 3)-ம் சமன்பாட்டில் இட்டு,

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x}$$

$$\therefore \quad e^{\mu x} = 2$$

$$\therefore \quad \mu \frac{\log_e 2}{x} = \frac{0.6931}{x} \qquad \ldots (4)$$

ஆகவே, x என்னவென்று அளக்கப்பட்டால், μ-வின் அளவு உடனே தெரியவரும்.

எக்ஸ்கதிர்களின் ஊடுருவுதிறனை, அலுமினியத்தில் அதன் μ அளவைக்கொண்டு அறியலாம். μ-வின் அளவு குறைவா

யிருந்தால், அலுமினியம் அக் கதிர்களை உட்கிரகிப்பதும் குறைவு என்றுகிறது; ஆகவே, கதிர்களின் ஊடுருவு திறன் அதிகம் என்றறியலாம். அவ்வாறே μ வின் அளவு அதிகமாயிருந்தால் (உட்கவர் எண் அதிகம்), கதிர்களின் ஊடுருவுதிறன் குறைவு என்று அறியலாம். அதிகமாக ஊடுருவும் எக்ஸ்கதிர்களைக் 'கடின'க் கதிர்கள் (hard-rays) என்றும், அதிகம் ஊடுருவு திறன் இல்லாதவற்றை 'மென்' கதிர்கள் (soft-rays) என்றும் கூறுவர்.

ஈயத்தின் உட்கவர் எண் அலுமினியத்தின் உட்கவர் எண்ணைவிடப் பன்மடங்கு அதிகம். இது காரணமாகவே எக்ஸ்கதிர் ஸ்தாபனங்களில் ஈயதகடுகளை பாதுகாப்புக்காக உபயோகிக்கின்றனர்.

உட்கிரகிக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்களுக்கு என்ன நேருகிறது? இவை மூன்றுவிதமான கதிர்களை உண்டுபண்ணுகின்றன: (1) சிதறப்பட்ட கதிர்கள்: இவை கிரகிக்கப்பட்ட கதிர்களின் தன்மையையே உடையவை 2) அதிவேக உடைய எலக்ட்ரான்கள்: இவை ஒளிமின் விளைவால் உண்டானவை; கிரகிக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்களின் ($h\nu$) ஆற்றலை விவக ஆற்றலாகக் கொண்டவை. (3) சிறப்பிடல் எக்ஸ்கதிர்கள் (characteristic X-rays). இவை உட்கிரகிக்கும பொருளைமட்டுமே சார்ந்தவை; கிரகிகக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்களைப் பொறுத்தவை அல்ல. இவற்றைக் குறித்துப்பின்புகவனிபபோம்.

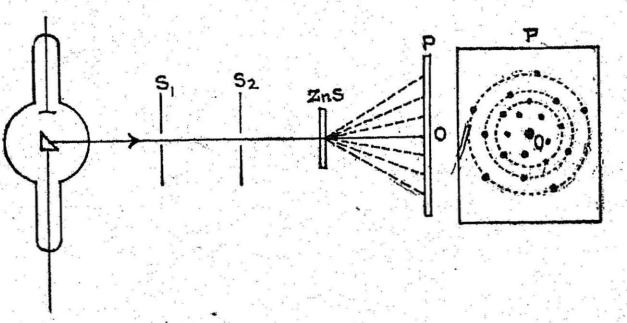
படிகங்களினால் எக்ஸ்கதிர் கோணுதல் (X-ray diffration by crystals)

எக்ஸ்கதிர்கள் ஒளியைப்போன்ற மின்காந்த அலைகளானால், அவை ஒளியைபபோலவே குறுக்கீட்டு விளைவு (Inter ference), விளிம்பு விளைவு (diffraction) முதலிய தன்மைகளைக் காண்பிக்க வேண்டும். சோடிய ஒளியை ஒரு கதிர்நோணும் கீற்றணியின் (diffraction grating) ஊடே செலுத்தினால், ஒரு சென்டி மீட்டருக்கு 6000 வரிகள் கொண்ட அக் கீற்றணி ஒளியின் மூன்று பிம்பங்களை உண்டுபண்ணுகிறது. ஒளி சென்ற அதே திசையில் ஒரு பிமபமும், அதற்கு 2) டிகிரி அளவு வலப் புறத்தில் ஒரு பிம்பமும் அதே 20 டிகிரி அளவு இடது புறத்தில் ஒரு பிம்பமுமாக மூன்று பிம்பங்களைக் காண்போம். பக்கத்திலுள்ள இரு பிம்பங்களுக்கும் முதல் வரிசை பிம்பங்கள் (fust order images) என்று பெயர். இதை ஆராய்ந்து பார்த்தால் கீற்றணியின் கோடுகளுக்கிடையே உள்ள தூரம், ஒளி அலையின் நீளத்திற்கு அருகிலிருந்தால்தான் இவ் விளைவு உண்டாகும் என்பது தெரியவருகிறது.

எக்ஸ் கதிர்களின் அலைநீளம் சுமார் 10^{-8} செ.மீ. என்று சில சோதனைகள் வாயிலாகத் தெரியவந்ததால், கீற்றணியின் வரி

களை அவ்வளவு நெருக்கமாக இடுவது சாத்தியமாகாதென்று கண்டனர். ஆனால், 1912ஆம் ஆண்டில் ஜர்மானிய விஞ்ஞானி வான்லாவே (von lave) இதற்கு ஒரு மிகச்சாதுரியமான வழியைக் கண்டுபிடித்தார். ஒரு படிகத்திலுள்ள அணுக்கள் கீற்றணியிலுள்ள வரிகளைப்போல ஒழுங்காகவும், சுமார் 10^{-8} செ.மீ. தூரத்திலும் அமைக்கப்பட்டிருப்பதால், படிகங்களை ஏன் எக்ஸ் கதிர் கீற்றணிகளாக உபயோகிக்கக்கூடாது என்று கருதினர். ஒரே ஒரு வித்தியாசம் என்னவென்றால், கீற்றணி ஒரே தளத்தில் வரிகளைக் கொண்டது; படிகத்தின் அணுக்களோ ஒன்றுக்கொன்று இணையான பல தளங்களில் அமைந்துள்ளன. ஆகவே, படிகங்களை 'முப்பரிமாண' (3 – dimensional) கீற்றணி எனலாம்.

லாவே ஆராய்ச்சிகள் : 1913ஆம் ஆண்டில், லாவே, ஃப்ரிட்ரிக், நிப்பிங் ஆகிய மூவரும் (lave, friedrik and knipping) படிகங்களைக் கொண்டு எக்ஸ் கதிர் கோணுமை ஆராய்ச்சிகளை நடத்தினர். ஓர் எக்ஸ் கதிர்க் குழாயிலிருந்து வரும் எக்ஸ் கதிர்களை S , S_2 என்னும் இரு தூவாரங்களின் வழியே செலுத்தி, இணைக்கற்றையாக்கி, அதை ஒரு சிறு துத்தநாக பிளெண்டு (zinc blende zns), படிகத்தின்மீது விழச் செய்தனர். அதனூடே சென்ற கதிர்களை



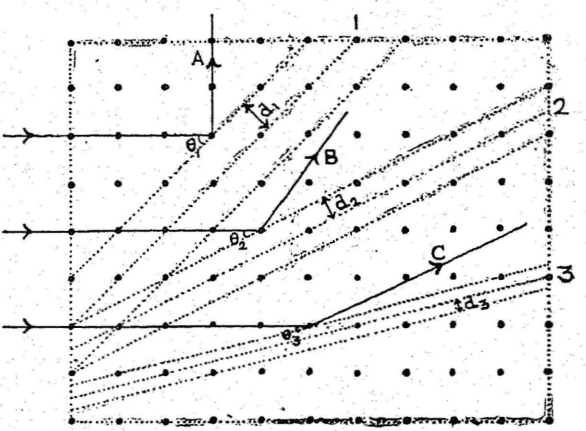
படம் 46. லாவேயின் எக்ஸ் கதிர் கோணும் சோதனை

ஓர் ஒளிப்படத் தட்டின்மீது (P) பல மணி வேரங்களாக ஏற்று உருத்துலக்கியபோது, O என்ற இடத்தில் கதிர்கள்பட்ட பிம்பம் பிரகாசமாகவும், அதைச் சுற்றிலும் ஒழுங்காகப் பல மங்கலான புள்ளிகளும் இருப்பது தெரியவந்தது. இவற்றிற்கு லாவேயின் புள்ளிகள் (lave's spots) என்று பெயர். இச் சோதனையின்மூலம் இரு முக்கியமான உண்மைகள் ஊர்ஜிதமாயின: (1) எக்ஸ்கதிர்கள் ஒளியைப் போன்ற மின் காந்தக் கதிர்கள்தாம்; (2) படிகங்களில் அணுக்கள் முப்பரிமாணத்தில் ஒழுங்காக அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அத்துடன், லாவேயின் சோதனை இரு மிக முக்கிய

மான ஆராய்ச்சித் துறைகளை ஆரம்பித்து வைத்தது. (1) எக்ஸ் கதிர் நிறமாலை ஆராய்ச்சி, எக்ஸ்கதிர் அலைநீளங்களை அளத்தல் முதலியன ; (2) எக்ஸ்கதிர்களைக் கொண்டு, படிகங்களில் அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் எவ்வாறு அமைந்துள்ளன என்பதுபற்றிய ஆராய்ச்சி.

பிராக்கின் அணிக் கோவைத்தள விளக்கம் (Bragg's concept of Lattice peannes) :

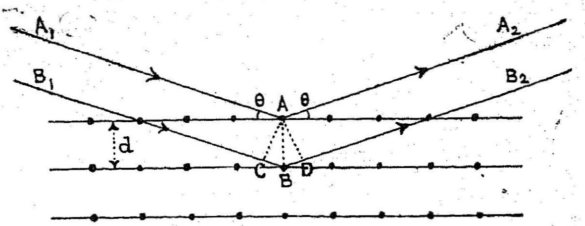
மேலேகண்ட லாவேயின் புள்ளிகளை விளங்கிக் கொள்வதற்கு ஒரு மிக எளிய முறையை சர் W. L. பிராக் (W. L. bragg) விளக்கினார். 47 ஆம் படத்தில் கண்டதுபோல், ஒரு படிகத்திலுள்ள அணுக்களின் வழியாக, இணையான, வெவ்வேறு தூரத்திலுள்ள பல தளங்களை வரையலாம். மூன்றுவிதத் தளங்கள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. அவற்றினிடையே உள்ள தூரமும் வெவ்வேறு. இவற்றிற்கு அணிக்கோவைத் தளங்கள் எனப் பெயர். (lattice planes) எக்ஸ்கதிர்கள். இவற்றின்மீது விழும்போது,



படம் 47. அணிக் கோவைத்தளங்கள்

வெவ்வேறு அலை நீளமுடைய கதிர்கள் வெவ்வேறு தளங்களில் பட்டுத் திருப்பம் அடைவதாலேயே, லாவேயின் புள்ளிகள் உண்டாகின்றன என்று பிராக் காண்பித்தார். இப் புள்ளிகள உண்டாவதற்குச் சில நிபந்தனைகள் உள்ளன ; இதையும் பிராக் எடுத்துக் காட்டினார் ; அதற்கு பிராக்கின் விதி (Bragg's law) என்று பெயர். 48ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்ட கிடைமட்டத் தளங்கள் படிகத்திலுள்ள அணுக்களினூடே வரையப்பட்ட அணிக்கோவைத தளங்கள். λ என்னும் ஒரே அலை நீளமுடைய

எக்ஸ்-கதிர்கள் A_1 A என்ற தி சையில் சென்று, படிகத்தின் மேற் பரப்பிற ஆ θ என்ற கோணத்தில், அத்தளத்திலிருந்து திருப்பம் பெற்று, A A_2 என்ற கதிராகச் செல்கிறது. எக்ஸ்-கதிர்கள்



படம் 48. பிராக்கின் விதி

படிகத்தினூடே சுலபத்தில் ஊடுருவிச் செல்லுமாகையால், படிகத் தின் உட் தளங்களிலிருந்து திருப்பம்பெற்று வெளிவரும் கதிர் களையும் கவனித்தாக வேண்டும். β_1 B என்ற கதிர் θ என்ற அதே கோணத்தில் அடுத்த தளத்தின்மீது விழுந்து B B^1 என்ற கதிராகத் திருப்பம் பெறுகிறது. இவ்விரு தளங்களுக்குமிடையே உள்ள தூரம் d. Ac. AD செங்குத்துக் கோடுகள்.

அடுத்தடுத்துள்ள தளங்களிலிருந்து திருப்பம் பெற்ற A_1 A A_2 B_1 B B_2 என்ற கதிர்களின் பாதை வித்தியாசம் கதிர் அலை நீளத் தின் முழு எண்ணுயிருந்தால், கதிர்கள் ஒன்றையொன்று வலி யூட்டும் என்பதை ஒளியியலிலிருந்து அறிவோம். 48 ஆம் படத்தி லிருந்து, இவ்விரு கதிர்களுக்கிடையேயுள்ள பாதை வித்தியாசம் CB+BD. இது $n\lambda$—ஆக இருந்தால், (n என்பது ஓர் முழு எண்) பிராக்கின் நிபந்தனை பூர்த்தியாகிறது.

ஆனால், $CB = BD = AB \sin\theta = d \sin\theta$.

$$\therefore \quad CB + BD = 2d \sin\theta = n\lambda, \; n = 1, 2, 3 \ldots\ldots (5)$$

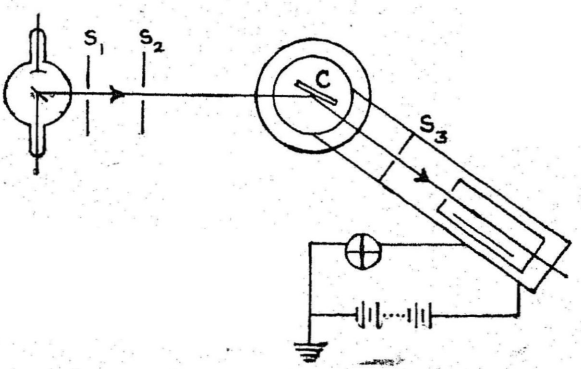
இச் சமன்பாட்டிற்கு பிராக்கின் விதி (Bragg's law) என்று பெயர். படிகத்தளங்களில் திருப்பம் பெறும் எக்ஸ்கதிர்கள் வலி யூட்டம் பெறுவதற்கான நிபந்தனையை இது தருகின்றது.

இப்பொழுது 47ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள பல தளங் களில் பல்வேறு நீளங்களைக்கொண்ட எக்ஸ்கதிர்கள் விழுகின்றன என்று வைத்துக்கொள்வோம். 1 என்ற எண்ணுள்ள தளங் களின் தூரம் d_1 ; 2 என்ற தளங்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் d_2 ; இவ்வாறே d_3 d_4.....எக்ஸ்கதிர்களின் ஓர் அலை நீளம், λ_1 என்றும், அந் நீளம் $2d_1 \sin \theta_1 = n\lambda_1$, என்ற சமன் பாட்டைப் பூர்த்தி செய்கிறதென்றும் வைத்துக்கொண்டால்,

A என்ற திசையில் ஒரு லாவே புள்ளி உண்டாகும். அவ்வாறே B, C என்ற.....திசைகளிலும் புள்ளிகள் உண்டாகும். இவை காகிதத்தின் தளத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள தளங்களிலிருந்து உண்டானவை. இவ்வாறே, காகிதத்திற்கு வெவ்வேறு கோணங்களிலும் தளங்கள் வரையலாம். அவற்றிலிருந்தும் புள்ளிகள் உண்டாகலாம். இவ்விதமாகவே லாவேயின் புள்ளிகள் உண்டாகின்றன என்று பிராக் காண்பித்தார்.

பிராக்கின் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மாணி (Bragg's x-ray spectrometer :

W. H. பிராக்கும், அவர் மகன் W.L. பிராக்கும் இக்கருவியை நிறுவினர். இது ஒளி நிறமாலை மானியை ஒட்டியே உள்ளது. எக்ஸ்கதிர்கள் S_1 S_2 என்ற துவாரங்கள் மூலம் செல்வதால், இணைக் கற்றையாக்கப்பட்டு, C என்ற படிகத்தின்மீது விழுகின்றன. இப் படிகம் பாறை உப்பு (rock salt nacp) அல்லது கேல்ஸைட்டால் ஆனது. இப் படிகம் வைக்கப்பட்ட செங்குத்தான

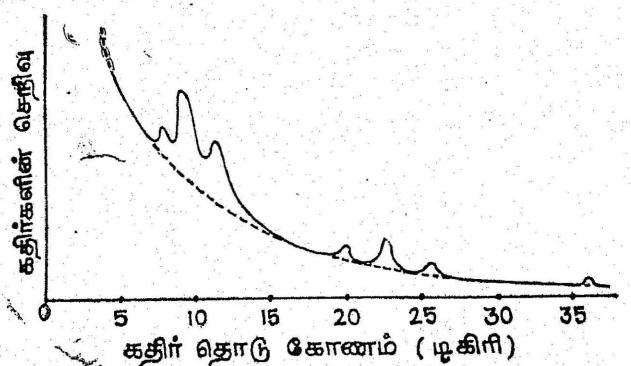


படம் 49. பிராக்கின் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மானி

அச்சில் சுழலக்கூடியது. படிகத்தில் திருப்பம்பெற்ற எக்ஸ்கதிர்கள் S_3 என்ற மூன்றும் துவாரத்தின் வழியே சென்று, அயனிக் கலனுள் செல்கின்றன. இக் கலனும் பீடம் சுழலும் செங்குத்தான அச்சிலேயே சுழலக்கூடியது. பல் சக்கரங்களால் இவ்விரண்டையும் இணைத்து, படிகம் θ என்ற கோணத்திலும் முன்றால், கலன் 2θ என்ற கோணம் சுழலுமாறு பொருத்திவைக்கப்பட்டுள்ளது. ஆகையால், படிகத்தில் திருப்பம்பெறும் எக்ஸ்கதிர்கள் எப்பொழுதும் அயனிக்கலத்தில் பிரவேசிக்கும். இந்த அயனிக் கலனுச்குப் பதிலாக ஒளிப்படத் தட்டையும் உபயோகித்து எக்ஸ் கதிர்களின் செறிவை அளக்கலாம்.

எக்ஸ்கதிர்கள் θ என்ற மிகச் சிறிய கோணத்தில் படிகத்தின் மீது விழுந்து, அவற்றின் திசைக்கு 2θ என்ற கோணத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள அயனிக்கலத்தில் நுழைகின்றன. கலனுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ள எலக்ட்ராமீட்டரின் முள் அடையும் ஒதுக்கம் எக்ஸ்கதிரின் செறிவைக்குறிக்கும். கதிர் தொடு கோணத்தைச் சிறிதுசிறிதாக உயர்த்தி, (அயனிக்கலனை இரு மடங்கு கோணத்தில் திருப்பி) கதிர்களின் செறிவை அளந்துகொண்டேபோக வேண்டும்.

இவ்வாறு அளந்தகதிர், தொடுகோணங்களையும் அக்கோணங்களில் அளக்கப்பட்ட கதிர் செறிவையும் ஒரு வரை படத்தில் காண்பித்தால், 50-ஆம் படத்தில் கண்ட படம் கிடைக்கிறது. இது எக்ஸ்கதிர் குழாயில் பிளாட்டினத் தண்டை இலக்காகக்கொண்ட



படம் 50.

எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை (பிளாட்டினத் தண்டு இலக்கு)

கதிர்களால் உண்டானது. வளைபடம் தொடு கோணத்துடன் சீராக மாறுவதில்லை. 9·9°, 11·6°, 13·6° கோணங்களில் திடீரெனச் செறிவு அதிகரிக்கின்றது. (a_1 b_1 c_1); மறுபடியும் சுமார் இரு மடங்கு அளவான கோணங்களில் a_2 b_2 c_2 என்ற மூன்று பெருமங்கள் (maxima) காணப்படுகின்றன. இவை ஒற்றை அலை நீளங்கொண்ட (monochromatic) மூன்று கதிர்கள் என்றும், a_1 b_1 c_1 என்பவை முதல் வரிசை நிறமாலையிலும் a_2 b_2 c_2 என்பவை அதே கதிர்கள் இரண்டாம் வரிசை நிறமாலையிலும் வருகின்றனவென்றும் பிராக் சரியாக ஊகித்தார்.:

(5)ஆம் சமன்பாட்டைக் கொண்டு கணித்ததில் (பாதை உப்பின் d = 2·814 AU).

$2 \times 2{\cdot}814 \text{ Sin } 9{\cdot}9^\circ = 1 \times \lambda 1$ ($n = 1$, முதலாம் வரிசை)

$2 \times 2{\cdot}814 \text{ Sin } 11{\cdot}6^\circ = 1 \times \lambda 2$

$2 \times 2{\cdot}814 \text{ Sin } 13\,6^\circ = 1 \times \lambda 3$

ஆகவே λ_1, λ_2, λ_3 இவற்றின் அளவு 0·97 AU, 1·13 AU 1·32 AU என்று தெரியவருகின்றன.

b_2 என்ற பெருமம் 23·6 டிகிரியில் வருகின்றது.

$\therefore \quad 2 \times 2{\cdot}814 \times \text{Sin } 23{\cdot}6^\circ = 2 \times \lambda_2$

$\therefore \quad \lambda_2 = 1{\cdot}13 \text{ AU}$

b_3 என்ற பெருமம் 36 6 டிகிரியில் வருகின்றது.

$\therefore \quad 2 \times 2{\cdot}814 \quad \text{Sin } 36{\cdot}6^\circ = 3 \times \lambda_2$

$\therefore \quad \lambda_2 = 1{\cdot}12 \text{ AU}.$

பாறை உப்புப் படிகத்திற்குப் பதிலாக வேறு படிகத்தை உபயோகித்தபொழுது அதே மூன்று பெருமங்கள் அதே ஒப்புச் செறிவுகளுடன் தோன்றின. ஆனால், தொடு கோணங்கள்தான் வேறுயிருந்தன. இதற்குக் காரணம் படிகத்தின் தளதூரம் (d) வேறுயிருப்பதால்தான். அத் தளத் தூரத்தையும் கோணங்களையும் கொண்டு கணித்ததில் அலை நீளங்கள் முன்போலவே, 0·97, 1 13, 1·32 AU. என்று தெரியவந்தது. ஆகவே, இந்த ஒற்றைநிற எக்ஸ்கதிர்கள் படிகத்தைப் பொறுத்ததல்ல. அவற்றை உண்டுபண்ணும் இலக்கு உலோகத்தையே பொறுத்தது என்பது தெளிவாயிற்று. பிளாட்டினத்திற்குப் பதிலாக செப்புத்தண்டை எக்ஸ்கதிர் குழாயில் இலக்காக உபயோகித்தால், வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களில் வேறு அலை நீளக் கதிர்கள் இருப்பது தெரிய வருகின்றது.

படிகத்தின் தள தூரம் (d)

பிராக்கின் சமன்பாட்டில் (5) $2d \text{ Sin } \theta = n\lambda$, எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மானியைக்கொண்டு மேலே விவரித்த வண்ணம் θ என்னும் கதிர் தொடுகோணத்தை அளக்கிறோம். n என்னும் வரிசை ஒன்று அல்லது இரண்டாக இருக்கும். ஆகவே, தள தூரமாகிய d இன் அளவு தெரிந்தால், எக்ஸ்கதிர் அலை நீளத்தைக் (λ) கணிக்கலாம்; λ-இன் அளவு தெரிந்தால், தள தூரத்தைக் கணிக்கலாம். எக்ஸ்கதிர் ஆராய்ச்சியின் துவக்கத்தில் பாறை உப்புப் படிகம் (nacl) வெகுவாகப் உபயோகிக்கப்பட்டது. அதன் தள தூரத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணிக்கலாம்.

பாறை, உப்பு, சோடியம், குளோரின் அணுக்களடங்கிய கனசதுரப்படிகம் (cubical crystal) படிகத்தின் மூலவடிவம் ஒரு

கனசதுரம். அதன் மூலைகளில் சோடியம், குளோரின் அணுக்கள் மாறிமாறி அமைந்துள்ளன. படிகத்தின் மூலகன சதுரத்தின் பக்கங்கள் ஒவ்வொன்றின் அளவும் d ஆகும். சோடியம் குளோரைடின் மூலக்கூறு எடை $(23 \times 35{\cdot}46) = 58{\cdot}46$ அவொகெட்ரோவின்புனைவு கோளின்படி (avogodro's hypathesis) 58·46 கிராம் நிறையுள்ள சோடியக் குளோரைடில் N சோடிய அயனிகளும், N குளோரின் அயனிகளுமாக, 2 N அணுக்கள் இருத்தல் வேண்டும், (N என்பது அவொகெட்ரோ எண் $= 6{\cdot}064 \times 10^{-23}$).

பாறை உப்பின் அடர்த்தி $\rho = 2{\cdot}163$ கிராம்/கன செ.மீ. ஆகவே, 58·46 கிராம் பாறை உப்பின் பருமன் $= \left(\frac{58{\cdot}46}{2{\cdot}163}\right)$ கன செ.மீ. இதில் 2 N அணுக்கள் உள்ளன. ஆகவே, ஒரு கன செ. மீ. $2N \times \frac{2{\cdot}163}{58{\cdot}46} = 2 \times 6{\cdot}064 \times 10^{-23} \times \frac{2{\cdot}163}{58{\cdot}46}$ அணுக்கள் உள்ளன.

பாறை உப்பிலுள்ள அணுக்களிடையே உள்ள தூரம் d செ.மீ. ஆகவே, 1 செ.மீ. தூரத்தில் $1/d$ அணுக்கள் உள்ளன. ஆகையால், 1 செ.மீ. பக்கமுடைய கன சதுரத்தில் (1 கன செ.மீ. ரில்) $1/d^3$ அணுககள் இருத்தல்வேண்டும்.

$$\therefore \quad 1/d^3 = 2 \times 6{\cdot}064 \times 10^{-23} \times \frac{2{\cdot}163}{58{\cdot}46}$$

$$\therefore \quad d = 2{\cdot}814 \times 10^{-8} \text{ செ.மீ.} = 2{\cdot}814 \text{ AU}$$

[இதில் $N = 6{\cdot}064 \times 10^{23}$ என்பது பழைய அளவு. தற்காலத்தில் அளவை $N = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$ இதிலிட்டால், $d = 2{\cdot}820$ AU என்று வரும்.]

பாறை உப்பின் தனிப்படிகம் சுலபத்தில் கிடைப்பதில்லை; அத்துடன், அது காற்றின் ஈரத்தை உறிஞ்சும் தன்மையுடையது. ஆனால், கேல்சைட் படிகம் (calcite crystal) பெரிய தனிப் படிகமாக சுலபத்தில் கிடைக்கும். அதையே, எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மானியில் வெகுவாய்ப் பயன் படுத்துகின்றனர். அதன் தள தூரம் $d = 3\ 02945$ AU.

சிறப்பியல் எக்ஸ்கதிர்கள் (characteristic x-ray) :

மேலே விவரித்த வண்ணம், பிராக தமது எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மானியில் அளந்த ஒற்றை அலை நீளக்கதிர்கள் அவற்றை வெளிவிடும் உலோக இலக்கைப் பொறுத்தவை என்று பார்த்தோம். அவற்றிற்குச் சிறப்பியல் எக்ஸ்கதிர்கள் (characteristic x-ray) என்று பெயர்.

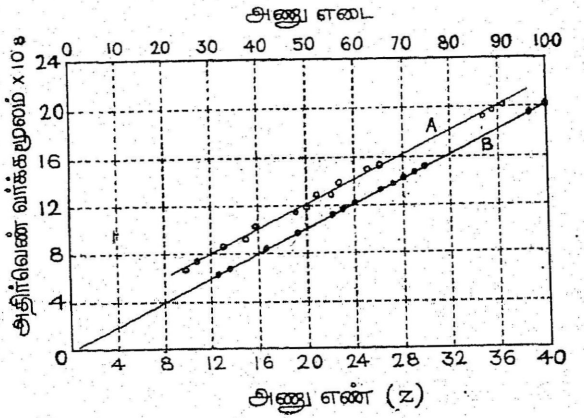
வெவ்வேறு உலோகங்களை எக்ஸ் கதிர்க் குழாயில் இலக்காக வைத்து இயக்கினால், அவற்றின் சிறப்பியல் கதிர்கள் வெளிவரும். உலோகமல்லாத பொருட்களின் சிறப்பியல் கதிர்களைப் பெறுவதற்கு பார்க்லாவும் (barkla), சாட்லரும் (sadlar) கடின எக்ஸகதிர்களை அப் பொருட்களின்மீது விழச் செய்து, வெளிவரும் கதிர்களை ஆராய்ந்தனர். அதில் சிதற லடைந்த மூலக்கதிர்களுடன் அப்பொருட்களின் சிறப்பியல் கதிர் களும் இருப்பதைக்கண்டனர். இச்சிறப்பியல் கதிர்களின் 'கடினம்' பொருட்களின் அணு எடையுடன் அதிகரிப்பதையும் கவனித்த னர். (மூலக்கதிர்களின் கடினம் சிறப்பியல் கதிர்களின் கடினத் தைவிட அதிகமாயிருத்தல் வேண்டும். இல்லையெனில், சிறப்பியல் கதிர்கள் வெளிவிடப்படமாட்டா). சிறப்பியல் கதிர்களில் குறுகிய அலைநீளமுடைய கதிர்களும், சற்று அதிக நீளமான இன்னொரு குழுவும் இருக்கவேண்டும், குறுகிய அலைநீளக் குழுவுக்கு K-தொடர் (k series) என்றும், நீள அலைத் தொகுதிக்கு L-தொடர் என்றும் பெயரிட்டனர்.

1913—14 ஆம் ஆண்டுகளில், இளம் விஞ்ஞானி மோஸ்லி (moseley), அலுமினியத்திலிருந்து தங்கம் வரையுள்ள சுமார் 40 உலோகங்களை, எக்ஸ்கதிர் குழாயில் இலக்காக வைத்து அவற்றின் சிறப்பியல் கதிர்களை ஒளிப்படத் தட்டின் உதவியால் ஆராய்ந்தார் நிறமாலைவரைவியிலுள்ள காற்றை அப்புறப்படுத்தியதால், நீள அலைக்கதிர்களும் கிரகிக்கப்படாமல், ஒளிப்படத் தட்டில் வரிகளை வரைந்தன. பார்க்லா கண்டுபிடித்த K, L தொடர்களுடன், இன்னும் நீள அலைகளைக்கொண்ட M,N என்ற இரு தொடர்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. ஒளி நிறமாலையைப் போலல்லாமல், எக்ஸ்கதிர் மாலை மிக எளியதாகவும், ஒரு சில வரிகளை கொண்ட தாகவும், தனிமத்தின் அணு எடை அதிகமாக ஆக, அதன்சிறப் பியல் கதிர்களின் அலைநீளம் குறைந்து வருவதாகவும் இருக்கக் கண்டார்.

மோஸ்லியின் விதி (moseley's law) :

K தொடரில் K_{α}, K_{β}, K_{γ} என்று பலவரிகள் உண்டு. (α, β, λ என்பன முறையே ஆல்பா, பீட்டா, காமா என்பவை கிரேக்க மொழியின் முதல் மூன்று எழுத்துக்கள்). மோஸ்லி, தனிமங்களின் அணு எண்ணுக்கும் (z), அவற்றின் K-α வரி களின் அலைவெண்களுக்கும் (γ) ஒரு எளிய சம்பந்தமிருப்பதைக் கண்டு பிடித்தார். அலை வெண்ணின் இருமடி (வர்க்க) மூலத் தையும் ($\sqrt{\gamma}$) அணு எண்ணையும் (z) ஒருவரை படத்தில் காண் பித்தால், ஒரு நேர்க்கோடு தரப்படுவதைக் கண்டார், (படம் 51)

படத்தில் *B*-என்ற கோடு இது. ஆனால், அலுவெண் வர்க்க மூலத்தையும் (ν $\sqrt{\nu}$) அணு எடையையும் வரை படத்தில் காண்பித்தால், *A* என்ற கோடு கிடைக்கிறது, ஆனால், புள்ளிகள்



படம் 51. மோஸ்லியின் Z : $\sqrt{\nu}$ வரை படம்

கோட்டின்மீது சரியாக விழுவதில்லை என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. ஆகவே, சிறப்பியல் எக்ஸ்கதிர்களைப் பொறுத்த வரையில், அணு எண்ணே அடிப்படையான து, அணு எடை யல்ல. என்பது தெளிவாகிறது,

மூலக அட்டவணையிலும் (Periodic table) தனிமங்களை அவற்றின் அணு எடைகளின் வரிசைக் கிரமத்தில் ஒழுங்கு படுத்துவதைவிட, அவற்றின் அணு எண் வரிசையில் ஒழுங்கு படுத்துவதே சரியான து என்று விளங்குகிறது. உதாரணமாக, அவ்வட்டவணையில் தனிமங்களை அதன் வேதியல் குணங்களுக் கேற்ப ஒழுங்குபடுத்துகையில் 40 அணு எடையுடைய ஆர்கான் முதலிலும், 39 அணு எடையுடைய பொட்டாஸியம் பிறகும் வருகின்றன. ஆனால், ஆர்கானின் அணு எண் 18, பொட்டா ஸியத்தின் அணு எண் 19 ஆகவே அணு எண் ஒழுங்கே சரி யானது என்று தெரியவருகிறது. அணு எண்ணின் முக்கியத்தை எடுத்துக் காண்பித்த பெருமை மோஸ்லிக்கே உரித்தாகும். இந்த ஒழுங்கைக்கொண்டு ஹாஃப்னியம், ரீனியம் முதலிய புதிய தனிமங்களையும் கண்டுபிடித்தனர்.

40 ஆம் படத்தின் நேர்க்கோட்டை

$\nu = 0{\cdot}248 \times 10^{16}(Z-1)^2$ .....(6) என்றசமன் பாட்டால் குறிட்பிடலாம் என்று மோஸ்லி காண்பித்தார். ∴ ஆரும்

அத்தியாயம் (16)—ஆம் சமன்பாட்டில், $n_1 = l$, $n_2 = 2$ என்று குறிப்பிட்டார், $\nu = 0{\cdot}328 \times 10^{16} Z^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$

$$= 0{\cdot}246 \times 10^{16} Z^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

என்று வரும் (m, e, h இவற்றின் அளவுகளை இட்டுக் கணிக்கப்பட்டுள்ளது.)

(6)ஆம் சமன்பாட்டில் வரும் ஒரு சிறிய திருத்தத்தைத் தவிர, (6), (7) இவை இரண்டும் ஒரே அளவுகளைக் கொடுப்பது கவனிக்கத்தக்கது. ஆகவே, நீல்ஸ்போரின் கொள்கைப்படி கணிக்கப்பட்ட ஹைட்ரசன் போன்ற அணுவின் லைமன் அடுக்கின் முதல் வரியின் அதிர்வெண்ணும், சிறப்பியல்பு எக்ஸ்கதிர்களின் K_α வரியின் அதிர்வெண்ணும் ஏறக்குறைய ஒரே அளவுடையவை என்பது தெரியவருகிறது.

இதைக் கொண்டு, சிறப்பியல்பு எக்ஸ்கதிர்கள் எவ்வாறு வெளிவிடப்படுகின்றன என்பதைக் குறித்த புனைவுகோளை (hypothesis) விளக்கலாம்.

சிறப்பியல் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலைக் கோடுகள் உண்டாகும் விதம் (Origin of the characteristic X-ray spectual lines)

ஆரும் அத்தியாயத்தில், அணு எண் அதிகமாயுள்ள அணுக்களில் எலக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு வெவ்வேறு சுற்றுப் பாதைகளில் 2, 8, 18, 32.....என்று அடுக்கப்பட்டுள்ளன என்று பார்த்தோம். $n = l$ என்ற சுற்றுப் பாதையில் 2 எலக்ட்ரான்களுக்குமேல் இருக்கமுடியாது. அவ்வாறே $n = 2$ சுற்றுப் பாதையில் 8 எலக்ட்ரான்களுக்குமேல் இருக்கமுடியாது. $n = l$ என்ற சுற்றுப் பாதைக்கு K சுற்றுப்பாதை என்றும், $n = 2$-க்கு L—சுற்றுப்பாதை என்றும், $n = 3$-க்கு M, என்றும் இவ்வாறுகப் பெயரிடப்பட்டுள்ளன.

இப்பொழுது, எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலுள்ள இலக்கு உலோகத்தின் ஒரு அணுவை ஒரு மிக்க ஆற்றலுடைய எலக்ட்ரான் தாக்கி, K—சுற்றுப் பாதையிலுள்ள இரு எலக்ரான்களில் ஒன்றை வெளியேற்றி விடுகிறது என்று வைத்துக்கொள்வோம். ஆகவே, K—சுறறுப் பாதையில் ஒரே ஓர் எலக்டரான்தான் விடப்பட்டுள்ளது; ஒரு காலியிடம் உள்ளது. ஆகவே, வெளிச் சுற்றுப் பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களில் ஒன்று K—சுற்றுபபாதைக்குத் தாவி, காலியிடதை நிரப்புகிறது. ஒரு L-எலக்ட்ரான் K—சுற்றுப பாதையில் விழுந்தால், அவ்விரண்டு ஆற்றல் மட்டங்களின் வித்தியாசம் ஓர் எக்ஸ்கதிர் கோடாக வெளிவிடப்படும். இதுவே, K_α கோடாகும். M சுற்றுப் பாதையிலிருந்து K-யில்

விழுந்தால், ஆற்றல் வித்தியாசம் $K\beta$ கோடாக வெளிவிடப் படுகின்றது. அவ்வாறே N-பாதையிலிருந்து K-க்கு விழுந்தால், $K\gamma$ கோடு தரப்படுகின்றது.

நீல்ஸ்போரின் கொள்கைப்படி, லமன் நிறமாலை அடுக்கின் முதலாம் கோடு, எலக்ட்ரான் $n=2$ ஆமறல் மட்டத்திலிருந்து $n=1$ மட்டத்திற்கு விழுவதால் ஏற்படுவது என்று அறிவோம், அதுபோலவே K—சுற்றுப்பாதையில் ஏற்பட்ட காலியிடத்தில் L-பாதையிலிருந்து எலக்ட்ரான் விழுந்தால், இவ்விரு ஆற்றல் களின் வித்தியாசம் லமன் அடுக்கின் முதலாம் கோட்டிற்குச் சமமாயிருக்க வேண்டும்; இது $K\alpha$ கோட்டைத் தருவதால், இவ் விரு கோடுகளும் ஒரே அதிர் வெண்ணைத் தரவேண்டும். இதையே (6) ஆம் (7) ஆம் சமன்பாட்டில் காண்கிறோம்.

(6) ஆம் சமன்பாட்டில் எண் Z-க்குப் பதிலாக $(Z-1)$ வருகிறது என்பதையும் விளக்கலாம், எலக்ட்ரான்களின் தாக்கு தலால் K-சுற்றுப் பாதையிலுள்ள இரு எலக்ட்ரான களில் ஒன்று அகற்றப்படுகிற்து என்று பார்த்தோம். ஆகவே, ஓர் எலக்ட்ரான் அச் சுற்றுப் பாதையில், அணுக்கருவுக்கு வெகு அருகில் விடப் பட்டுள்ளது. இவ்வெலக்ட்ரான் அணுக்கருவை 'மறைப்பதால்' அணுக்கருவின் கர்மின்னூட்டம் ஓர் அலகு குறைந்து $(Z-1)$ என்றாகிறது.

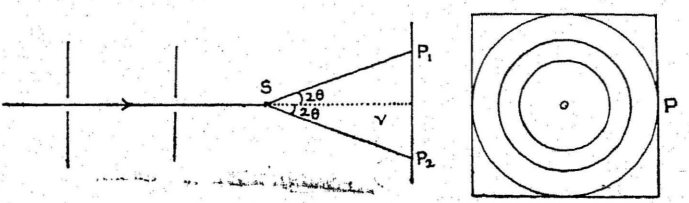
மேலே தரப்பட்ட விளக்கத்திலிருந்து, எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மிக எளிதாகவும், ஒரு சில வரிகளே கொண்டதாகவும், அணு எண் அதிகமான தனிமங்களுக்குச்சென்றால், அலை நீளம் குறைவ தாகவும் இருப்பதன் காரணம் என்னவென்பது தெரியவரும். தனிமங்கள் யாவற்றிலும் K-சுற்றுப் பாதையில் இரு எலக்ட்ரான் களும், L-பாதையில் 8-எலக்ட்ரான்களுமே இருக்க முடியும். எலக்ட்ரான்களின் ஒழுங்கு ஒரேவிதமா யிருப்பதால், அவற்றால் ஏற்படும் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலையும் ஒற்றுமையுள்ளதாயிருக்கிறது. அணு எண் அதிகமாகும்பொழுது, அணுக்கருவின் ஈர்ப்புவிசை அதிகமாகிறது; ஆற்றல் வித்யாசம் $(h\nu)$ அதிகமாகிறது; ஆகையால் அலைநீளம் குறைகிறது.

L-சுற்றுப் பாதையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் K-பாதையின் காலியிடத்தில் விழுந்தால், L பாதையில் ஒரு காலியிடம் ஏற்படு கிறது அதை நிரப்ப M, N,.....சுற்றுப் பாதைகளிலிருந்து ஒரு எலக்ட்ரான் L-பாதைக்கு விழலாம். இதன்விளைவாக L-அடுக்கு வரிகள் உண்டாகின்றன. இவ்வாறே, M, N,... அடுக்கு களும் உண்டாகின்றன.

எக்ஸ்கதிர் படிகத்தூள் விளிம்பு விளைவு (X-Ray Powdered crystal Diffraction).

ஒரு படிகத்தில் எக்ஸ்கதிர் அடையும் விளிம்பு விளைவிலிருந்து, அதாவது லாவேயின் புள்ளிகளின் எண்ணிக்கை, செறிவு, இடம், காணப்படாதவை, இவற்றைக்கொண்டு, படிகத்தின் அமைப்பையும், அதன் மூல அலகிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை, அமைப்பு இவைகளையும் கண்டறியலாம். ஆனால், ஒரு பெரிய, ஒற்றைப்படிகம் கிடைப்பது வெகு கடினம். பொருட்கள் பெரும்பாலும் சிறு சிறு படிகங்களாகவே கிடைக்கின்றன. இவற்றை ஆராய்வதற்கு ஜெர்மானிய விஞ்ஞானிகள் டிபை (*Debye*), ஷெரெர் (*Scherrer*) என்பவர்கள் வகுத்துள்ள படிகத்தூள் முறை மிகப்பயன்படுகிறது.

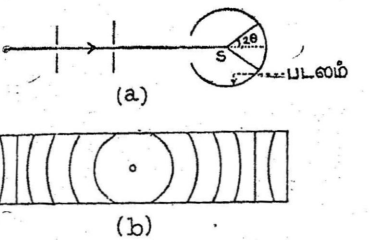
ஒரு பொருளை மாவுபோல் தூளாக்கினால், பொருளின் படிகங்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் நோக்கியவாறு தாறுமாறாக உண்



படம் 52. படிகத்தூள் முறை

டாகும். ஒரு சின்னமான ஒற்றைநிற எக்ஸ்கதிர்கற்றை S என்ற படித்தூளின் மீது விழுகிறதென்று கொள்வோம். தூளிலுள்ள நுண் படிகங்களில் பல $2d \sin\theta = n\lambda$ என்னும் பிராக்வித்தியை திருப்தி செய்யும் வகையில் அமைந்திருக்கும். ஆகவே, சிதறப்பட்ட கதிர்கள், படுகதிரின் திசைக்கு 2θ கோணத்தில் ஒன்றுக்கொன்று வலியூட்டும். நுண் படிகங்களின் அச்சுக்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் நோக்கியிருப்பதால், வலியூட்டும் கதிர்கள் 2θ அரை செங்குத்துக் கோணங்கொண்ட ஒரு கூம்பு வடிவத்தில் செல்லும் pp' என்ற ஒளிப்படத்தட்டு இவற்றிற்கு செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டால், அதில் பல பொதுமைய வளையங்கள் காணப்படும். இவை வெவ்வேறு வரிசைத் திருப்பங்களால் (Orders of refletion) உண்டானவை. வளையத்தின் ஆரத்தை (r)யும், SP தூரத்தையும் அளந்தால் θ கோணம் தெரிய வரும். வளையத்தின் வரிசை (n) யைக்கொண்டு கதிரின் அலை நீளத்தையோ (λ) படிகத்தின் தளதூரத்தையோ (d) கண்டு பிடிக்கலாம். ஒளிப்படத் தட்டிற்குப் பதிலாக ஒளிப்படப்

படத்தை (film) இதில் உபயோகிப்பது வழக்கம். ஒரு குறுகலான நீளமான படலத்துண்டை, படிகத்தூளைச் சுற்றி வட்டமாக வைத்து, நேராகச்செல்லும் எக்ஸ் கதிர்கள் படலத்தைக் கறுப்

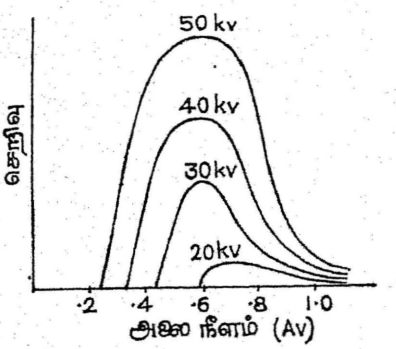


படம் 53. படிகத்தூள் : படலம்.

பாக்கி விடாதபடி அவை வெளியே சென்றுவிடுமாறு படலத்தில் ஒரு துளை செய்துவைத்தால் (படம் 53a), படலத்தில் நெடுக வளையங்களின் பகுதிகள் காணப்படும் (53b). அவற்றின் ஆரத்தை அளந்து, முன்போலவே θ கோணத்தையும் அலை நீளம் அல்லது தளதூரம் இவற்றையும் கணிக்கலாம்.

தொடர் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை (Continuous & Ray Speetrun)

50ஆம் படத்தில், சிறப்பியல் எக்ஸ்கதிர் வரிகள் ஒரு தொடர் நிறமாலையின்போது எற்பட்டிருப்பது தெரியவரும். எக்ஸ்கதிர் வரிகளின் அலைநீளம் குழாயிலுள்ள உலோக இலக்கைப் பொருத்தது என்று மேலே பார்த்தோம். ஆனால், தொடர் எக்ஸ் கதிர்



படம் 54. தொடர் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை

களின் அலைநீளங்கள் இலக்கைப் பொறுத்ததல்ல ; குழாயில் செயல்படும் மின்னழுத்தத்தையே பொறுத்தது. இலக்கு எதுவாயினும், மின்னழுத்தத்தை யொட்டியே எக்ஸ் கதிரின்

அலைநீளங்கள் அமைந்திருக்கும். 54ஆம் படத்தில், குழாயின் வெவ்வேறு மின்னழுத்தங்களில் வெளிவிடப்படும் எக்ஸ்கதிரின் அலைநீளம், செறிவு இவை தரப்பட்டுள்ளன. (50KV) என்பது 50 கிலோவோல்டு. (அதாவது 50,000 வோல்டு). வரைபடம் பல சீரான தொடர் வளைகோடுகளாயிருப்பதைக் காண்கிறோம். இலக்கு உலோகம் எதுவாயிருப்பினும், ஒவ்வொரு மின்னழுத்தத்திற்கும் இதுபோன்ற வளைகோடுகளே தரப்படும். அதிக அலைநீளப் பகுதியில் துவங்கி, அலைநீளம் குறையக்குறைய, கதிரின் செறிவு அதிகமாகிக்கொண்டு போகிறது. ஒரு பெரும் அளவை அடைந்தவுடன் அதிவிரைவில் செறிவு பூஜ்யமாகி விடுகிறது.

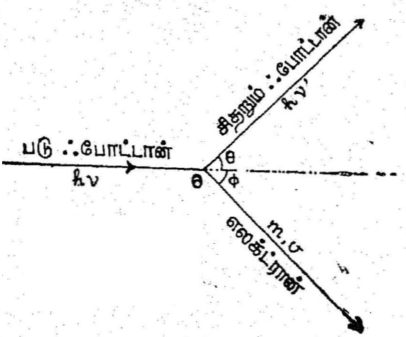
செறிவு பூஜ்யமாகும் சிறும அலைநீளத்திற்கும் அதை வெளிவிடும் மின்னழுத்தத்திற்கும் ஓர் எளிய சம்பந்தமுள்ளது என்று, டுவேன், ஹண்ட் (Duane, Hunt) என்ற விஞ்ஞானிகள் கண்டுபிடித்தனர். அதாவது, சிறும அலைநீளம் (λmin) அதன் மின்னழுத்தத்திற்கு (V)த் தலைகீழ் விகிதத்திலுள்ளது என்று கண்டனர் : $V \propto \frac{1}{\lambda \text{ min}}$ இதைக் குவாண்டம் கொள்கையினால் தான் சரியாக விளக்கமுடியும். எக்ஸ்கதிர்க் குழாயில் வேகமூட்டப்படும் எலக்ட்ரான்கள் Ve என்ற வேக ஆற்றலுடன் உலோக இலக்கைத்தாக்கி நிறுத்தப்படுவதால்தான் எக்ஸ் கதிர்கள் உண்டாகின்றன. இந்த ஆற்றலில் பெரும்பகுதி வெப்பமாக மாறி, இலக்கைச் சூடேற்றுகிறது ; ஒருபகுதி ஆற்றலே எக்ஸ் கதிராக வெளிவிடப்படுகிறது. ஆனால், சில எலக்டரான்களின் வேக ஆற்றல் முழுவதும் (Ve) எக்ஸ் கதிர் ஆற்றலாக மாறி, பெரும ஆற்றலுடன் ($h\nu$max) வெளிவிடப்படுகிறது. அலைநீளம் $\lambda = c/\nu$ என்றிருப்பதால் $V\text{max} = \frac{c}{\lambda \text{min}}$. ஆகவே $h\nu\text{max} = Ve = h\,c/\lambda$ min. இதையே $\nu \propto \frac{1}{\lambda}$ min. என்று மேலே கண்டோம்.

இதில் h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி (Planck's Constant), c என்பது ஒளியின் வேகம். தொடர் எக்ஸ்கதிரின் சிறும அலைவைத் திருத்தமாக அளந்தால், மேலே குறிப்பிட்டச் சமன்பாடிலிருந்து ($Ve = h\,c/\lambda$ min) பிளாங்கின் மாறிலியின் அளவைத் திருத்தமாகக் கணிக்கலாம். இதிலிருந்து கணித்த ($6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ எர்க்-வினாடி) அளவே சரியானதென ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டுள்ளது.

காம்ப்டன் விளைவு (Compton Effect)

எக்ஸ்கதிர்கள் பொருட்களின் மீது படுச் சிதறும்பொழுது, சிதறிவரும் கதிர்களைக் குறித்த கொள்கைகளை சர் J. J. தாம்சன் மிக விவரமாக ஆராய்ந்து வெளியிட்டிருந்தார். அதில் ஒன்று, அவற்றின் அலைநீளம் படுகதிர்களின் அலைநீளத்திற்குச் சமமாக இருத்தல் வேண்டுமென்பது. இம் முடிவு மென்கதிர்களுக்கு (அதிக அலைநீளக் கதிர்களுக்கு) உண்மை என்று சோதனைவாயிலாகக் கண்டிருந்தனர். ஆனால், காம்ப்டன் கடின எக்ஸ்கதிர் (hard x-rays) களுக்கு இது உண்மையல்லவென்றும், சிதறிவந்த கதிர்களில் படுகதிர் அலைநீளத்துடன், இன்னும் அதிக நீளமான கதிர்களும் உள்ளனவென்றும் காண்பித்தார். இதற்குக் "காம்ப்டன் விளைவு" என்று பெயர். சிதறும் அலைகளின் நீளம் சிதறச்செய்யும் பொருளைப் பொருத்ததல்லவென்றும், கதிர்கள் சிதறப்படும் திசையை மட்டுமே பொறுத்ததென்றும் காண்பித்தார். அத்துடன் 1922ஆம் ஆண்டில் குவாண்டம் கொள்கையைக்கொண்டு இதற்கு ஒரு திருப்திகரமான விலக்கத்தையும் கொடுத்தார்.

இவ்விளக்கம் பின்வருமாறு : $h\nu$ என்றும் ஆற்றல் படைத்த ஓர் எக்ஸ் கதிர் ∴போட்டான். ஒரு பொருளிலுள்ள O என்ற ஒரு தனி எலக்ட்ரானுடன் மோகி, அதற்குச் சிறிது ஆற்றலைக்



படம் 55. காம்ப்டன் விளைவு

கொடுத்து, $h\nu^1$ என்ற குறைந்த ஆற்றலுடன் சிதறிச் செல்கிறது. ஆற்றல் பெற்ற எலக்ட்ரான் v என்ற வேகத்துடன் பொருளை விட்டு வெளியேறுகிறது.

அலையின் நீளம் λ என்றும், அலைவெண் ν என்றும் வேகம், c என்றும் கொண்டால், $\nu = c/\lambda$ என்பதை நாம் அறிவோம்

$h\nu^1$ என்பது $h\nu$-வை விடக் குறைந்தது. அதாவது $\frac{h\,c}{\lambda^1} < \frac{h\,c}{\lambda}$

$\therefore\ \nu^1 > \nu$. ஆகையால் சிதறிவரும் எக்ஸ்கதிரின் அலைநீளம் அதிகமாகிறது என்பதைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணிக்கலாம்

இம்மோதல் விளைவில் எலக்ட்ரானின் ஆற்றலும் வேகமும் மிக அதிகமாகையால், சார்புக் கொள்கையின்படி அதன் நிறை அதிகமாகும். மோதலுக்கு முன்பு, எலக்ட்ரான் நிலையாக இருக்கையில் அதன் நிறை m. என்றும், வேகம் v என்று அதிகரித்த பின், அதன் நிறை m என்றும் வைத்துக்கொண்டால், சார்புக் கொள்கைபின்படி, $m = m_0 / \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$ .... (8)

அத்துடன், எலக்ட்ரானின் நிறை ஆற்றல் m_0c^2, mc^2 என்றும் கொள்ளல்வேண்டும்.

சிதறிச்செல்லும் ∴போட்டான் தனது முந்திய திசையுடன் θ என்ற கோணத்திலும், எலக்ட்ரான் ϕ என்ற கோணத்திலும் செல்கின்றன என்று வைத்துக்கொள்வோம்.

ஆற்றல் அழியா விதியின்படி (Law of conservation energy)

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu^1 + mc^2 \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ (9)$$

∴ போட்டானின் ஆற்றல் $h\nu$ என்றும், வேகம் c என்றும் இருப்பதால், அதன் உந்தம் $h\nu/c$ என்பது வெளிப்படை. உந்தத்திற்கு அளவும் திசையும் உண்டு ஆகையால், ∴போட்டான் முதலில் சென்ற திசையிலும் அதற்குச் செங்குத்தான திசையிலும் உந்தகங்களைப் பாகுபடுத்தி,

உந்தம் அழியா விதியின்படி (Conservation of momentum).

$$\frac{h\nu}{c} + 0 = \frac{h\nu^1}{c}\cos\theta = mv\cos\phi \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ (10)$$

$$0 = \frac{h\nu^1}{c}\sin\theta - mv\sin\phi \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ (11)$$

(10)லிருந்து, $mvc\cos\phi = h(\nu - \nu^2\cos\theta)$

(11)லிருந்து, $mvc\sin\phi = h(\nu^1\sin\theta)$

இவ்விரண்டையும் இருமடித்துக் (squaring) கூட்டினால்,

$$m^2v^2c^2 = h^2(\nu^2 - 2\nu\nu^1\cos\theta + \nu^1\cos\theta^2) + \nu^{12}\sin^2\theta$$
$$= h^2(\nu^2 - 2\nu\nu^1\cos\theta + \nu^{12}) \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ (12)$$

(9) லிருந்து, $mc^2 = h(\nu - \nu^1) + m_0c^2$

இதை இருமடித்தால்,

$$m^2c^4 = h^2(\nu^2 - 2\nu\nu^1 + \nu^{1^2}) + 2h(\nu - \nu^1)m_0c^2 + m_0^2c^4 \ldots\ldots\ldots (13)$$

(13-லிருந்து (12)-ஐக் கழித்தால்,

$$m^2 c^2 (c^2 - v^2) = -2 h^2 \nu\nu^1 (1 - \cos\theta) + 2h(\nu - \nu^1) moc^2 + mo^2 c^4 \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

(8)-ஐ இருமடித்தால், $m^2 = \dfrac{mo^2}{1 - \dfrac{v^2}{c^2}} = \dfrac{m^2 oc^2}{c^2 - v^2}$

$$\therefore m^2 c^2 (c^2 - v^2) = mo^2 c^4$$

$$\therefore (14) \rightarrow m^2{}_o c^4 = -2h^2 \nu\nu^1 (1-\cos\theta) + 2h(\nu - \nu^1) m_0 c^2 + mo^2 c^4$$

$$\therefore 2h(\nu - \nu^1) m_o c^2 = 2h^2 \nu\nu^1 (1 - \cos\theta)$$

$$\therefore \frac{c(\nu - \nu^1)}{\nu\nu^1} = \frac{c}{\nu^1} - \frac{c}{\nu} = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta)$$

$$i.e. \quad \lambda^1 - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta)$$

$$\text{அதாவது, } \lambda^1 = \lambda + \frac{2h}{m_o c} \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \Big\} \ldots\ldots (15)$$

இதிலிருந்து கீழ்க்கண்டவை தெரிய வருகின்றன :

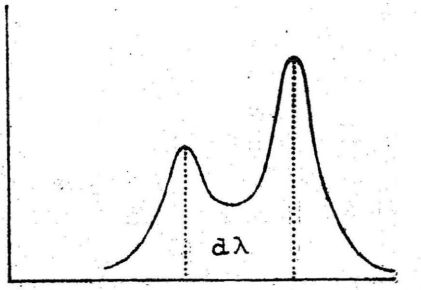
(1) அலை நீள மாற்றம் ($\lambda^1 - \lambda$) படுகதிரின் அலைநீளத்தையோ, சிதறச் செய்யும் பொருளையோ, எவ்விதத்திலும் பொறுத்ததல்ல.

(2) அலை நீள மாற்றம், சிதறல் கோணம் (θ) ஒன்றையே பொறுத்தது. θ பூஜ்யமாயிருக்கையில், அதாவது படுகதிரின் திசையில், $d\lambda = \lambda^1 - \lambda - 0$; ($\cos 0^0 = 1$); அதாவது சிதறிய கதிர் படுகதிரின் அலை நீளத்தையே உடையது.

$\theta = 90°$ ஆக, இருந்தால், அதாவது, படுகதிருக்குச் செங்குத்தான திசையில், $d\lambda = \dfrac{h}{m_o c}$; ($\cos 90° = 0$); இது ஒரு மாறிலி, இதற்கு, 'காம்ப்டன் அலை நீளம்' என்று பெயர். h, m_o, c இவற்றின் அளவுகளையிட்டுக் கணித்தால், $d\lambda = 0.0242$ AV என்று வருகிறது. ஆகவே, அலைநீள மாற்றம் மிகமிகச் சிறிய அளவுடையது என்பது வெளியாகிறது.

(15) ஆம் சமன்பாடு எலக்ட்ரான் கட்டுப்படாத சுயேச்சையான நிலையிலுள்ளது எனக்கொண்டு வருவிக்கப்பட்டது. ஆனால், எக்ஸ் கதிர், அணுவில் கட்டுண்ட எலக்ட்ரானுடனும் மோது வெளிவரலாம். அப்படியானால் அலை நீள மாற்றத்தில் வரும் m_o என்பது எலக்ட்ரான் நிறையை அல்ல; அணுவின் நிறையைக் குறிக்கும். ஆனால், அணுவின் நிறை எலக்ட்ரான் நிறையைப்போல் பல்லாயிரம் மடங்கு ஆகையால், $d\lambda = 0$ என்று

வரும். அதாவது, படுகதிர் அலை நீள மாற்றமின்றி சிதறடிக்கப் பட்டு வெளிவரும். ஆகவே, சிதறிய கதிர்களில் அலை நீளம்

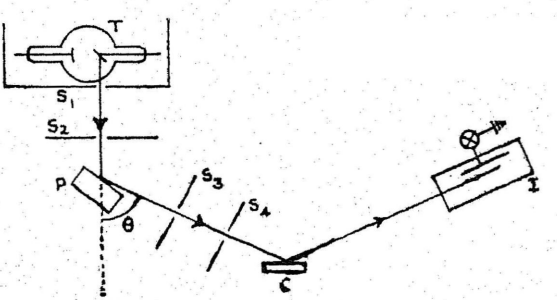


படம் 56. காம்ப்டன் அலைநீளமாற்றம்

மாறிய கதிர்களும், அலைநீளம் மாறுக் கதிர்களும் கலந்து வருகின்றன. ஒரு படிகத்தைக்கொண்டு சிதறிவரும் கதிர்களை ஆராய்ந்தால், 56 ஆம் படத்தில் காணப்படுவதுபோல் அலைநீளம் மாறிய/மாறுத இரு கோடுகளும் தரப்படுகின்றன.

காம்ப்டனின் கொள்கையைச் சோதித்தறிதல் (Experimental Verifi) eation of Compton's Theory)

காம்ப்டனின் விளைவைக் குறித்த முடிவுகள் அனைத்தையும் சோதனை வாயிலாகச் சோதித்தறிந்துள்ளனர். இதற்குத் தேவையான உபகரணம் 57ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. T என்ற



படம் 57. காம்டனின் உபகரணம்

குழாயிலிருந்து எக்ஸ் கதிர்கள் S_1S_2 என்ற துளைகள் வழியே இணையாக்கப்பட்டு, P என்ற கார்பன் துண்டின்மீது விழுந்து சிதறலடைகின்றன. θ என்னும் கோணத்தில் சிதறலடையும் கதிர்கள் S_3S_4 துளைகள் வழியே சென்று, C என்னும் படிகத்தின் மீது விழுந்து பிரதிபலிக்கப்பட்டு, I என்னும் அயனிக் கலத்தால்

செறிவு அளக்கப்படுகின்றன. S_3 S_4 Cl என்பவை பிராக்கின் நிறமாலை மானி என்பது விளங்கும்.

எக்ஸ் கதிர்க் குழாயிலிருந்த மாலிப்டெனம் இலக்கின் k_2 வரியின் அலை நீளம் 0.708AU. இக் கதிர் கார்பன் துண்டிலிருந்து சிதறலடைந்து செல்லும்பொழுது, வெவ்வேறு கோணத்தில் செல்லும் கதிர்களின் அலைநீளத்தை நிறமாலைமானியால் காம்ப்டன் அளந்து, 0.708 AU வரியுடன் வேறுவரியும் இருப்பதைக் கண்டார். இந்த இரண்டாம் வரியின் அலை நீளம் சிதறலாகும் கோணத்தைச் சார்ந்திருப்பதைக் காண்பித்தார். கோணம் அதிகமாக ஆக, வரியின் அலை நீளமும் உயர்ந்தது (சமன்பாடு 15) 90° கோணத்தில் அதன் அலை நீளம் 0.732 A.U. ஆக இருந்தது. ஆகவே, அலை நீளமாற்றம் 0·024 AU ஆகிறது. 'காம்ப்டனின் அலை நீளம்' 15 ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து கணித்தது 0.0242 AU என்று மேலே பார்த்தோம். இதிலிருந்து, காம்ப்டனி முடிவு சோதனையால் முற்றும் நிரூபிக்கப்படுகிறது.

கார்பனுக்குப் பதிலாக வெவ்வேறு பொருட்களை வைத்து, சிதறலான கதிர்களின் அலை நீளத்தை அளந்ததில், அலை நீள மாற்றம் முன்னைய அளவையே காட்டிற்று. எக்ஸ் கதிர்க் குழாயில் வெவ்வேறு இலக்குகளைக் கொண்டு வெவ்வேறு அலை நீளக்கதிர்களைப் பயன்படுத்திய பொழுதும், அலைநீள மாற்றம் அதே அளவாக இருந்தது. ஆகவே, அலை நீள மாற்றம் $(\lambda^1 - \lambda)$ சிதறல் கோணமாகிய θ-வைத் தவிர வேறெதிலும் சார்ந்தில்லை என்பது உண்மையாகிறது.

அவ்வாறே, வெளியேற்றப்படும் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல், திசை இவற்றையும் அளந்து, 15 ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து கிடைக்கும் அளவுக்குச் சமமாயிருப்பதை நிரூபித்தனர்.

காம்ப்டன் விளைவில் எக்ஸ்கதிர் ஃபோட்டான் ஒரு துகளின் தன்மையைக காண்பிப்பது விளங்குகிறது; ஆற்றல், உந்தம் இவற்றின் அழியா வ்திகளுக்குட்பட்டுள்ளது. கதிரின் அலை வெண் (ν) அதிகமாக ஆக, அதாவது கதிரின் ஆற்றல் ($h\nu$) அதிகமாக ஆக, அதன் துகள் தன்மையும் அதிகமாக வெளிப்படுகிறது. இன்னும் அதிக ஆற்றல் படைத்த காமாக்கதிர் துகள் தன்மையை இன்னும் தெளிவாகக் காண்பிக்கிறது.

எக்ஸ் கதிர்களின் பயன்கள் (Applications of x-rays)

எக்ஸ்கதிர்கள் மனித வாழ்க்கையின் எல்லா முக்கிய துறைகளிலும் வெகுவாகப் பயன்படுகின்றன. அவற்றில் சிலவற்றையே இங்குக் குறிப்பிடுவோம்.

எக்ஸ்கதிர்களின் ஊடுருவும் தன்மையே முதன்முதலாகப் பயன்படுத்தப்பட்டது இவை கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சில ஆண்டுகளுக்குள் கிரைமியப் போரில் குண்டுபட்டு காய முற்றவர்களின் அறுவை சிகிச்சைக்கு இவை பயன்படுத்தப்பட்டன வென்று முன்பே குறிப்பிட்டோம். முறிந்துபோன எலும்புகளைப் படம் பிடிக்கவும், குண்டு பாய்ந்துள்ள இடத்தை அறியவும், உள்ளே அறியாமல் விழுங்கிவிட்ட ஊசி முதலிய பொருட்களைக் கண்டு பிடிக்கவும் இக் கதிர்கள் வெகுவாய்ப்பயன்படுகின்றன. கூடிய ரோகம், உட்புறக் கட்டி இவற்றைக் கண்டுபிடிக்கவும் இக்கதிர்கள் அவ்வாறே பயன்படுகின்றன. கண்டுபிடிப்பதுடன், கட்டிகளைக் கரைக்கவும், புற்றுநோய்ச் சதைகளைக் கொல்லவும் எக்ஸ் கதிர்கள் அதிகமாய்ப் பயன்பட்டுவருகின்றன. ஆனால், இக் கதிர்கள் சுகமாயுள்ள சதைகளையும் செல்களையும் கொல்லுமாகையால், இவற்றை உபயோகிக்கும்போது, வேண்டிய இடங்களைத்தவிர வேறெங்கும் கதிர்கள் பாயாதபடி வெகு ஜாக்கிரதையாயிருக்க வேண்டும்.

எக்ஸ்கதிர்கள் விஞ்ஞான ஆராய்ச்சிகளுக்கு அதிகமாய்ப் பயன்படுகின்றன, எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை, விளிம்பு விளைவு ஆகிய முறைகளைக் கொண்டு, படிகங்களில் அணுக்கள் எவ்வாறு அமைந்துள்ளன; புரதப் பொருட்கள், அமினோ அமிலங்கள், நியூக்ளிக் அமிலங்கள் இவற்றின் தூமைப்பு என்ன; அவற்றின் வேதியல், பௌதிக குணாதிசயங்கள் என்ன என்பதையெல்லாம் ஆராய எக்ஸ்கதிர்கள் வெல்வாய்ட பயன்படுகின்றன.

தொழில் துறையிலும் எக்ஸ்கதிர்களின் பயன்கள் அதிகம். உலோகங்கள், உலோகக் கலவைகள் இவற்றின் தன்மை, அமைப்பு இவற்றையும், ரார்கள், பட்டு, கம்பளி, ரேயான், சோப்பு, சிமிட்டி, சர்க்கரைகள், வண்ணச்குழம்புகள், பிளாஸ்டிக்குகள், பீங்கான் கோப்பைகள் முதலியவற்றின் அமைப்பை ஆராய்ந்து, அவற்றில் ஏதாவது குமிழிகள், கண்ணுக்குத் தெரியாத சிறிய பிளவைகள். பழுதுகள் முதலியன உண்டோவென்று கண்டறிய இக் கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. குப்பியில் அடைக்கப்பட்டுள்ள வெவ்வேறு வகை உணவுப் பதார்த்தங்களை எக்ஸ் கதிர் மூலமாக ஆராய்ந்து, வேண்டாத பொருள் வகைகள் உணவில் கலந்துள்ளனவோ வென்று ஆராயலாம். முட்டை, பழவகைகள், பழங்காலத்து ஓவியங்கள் இவற்றை எக்ஸ்கதிர் திருப்பம்மூலம் ஆராய்ந்து பார்க்கலாம். இவ்வாறு எக்ஸ்கதிர்கள் மருத்துவம், விஞ்ஞானம், தொழில்துறை முதலிய எல்லாத்துறைகளிலும் வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றன.

உதாரணங்கள்

(1) 80,000 வோல்டு மின்னழுத்தத்தில் செயல்படும் ஓர் எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மிகக்குறுகிய அலை நீளம் 0·1552 AU. பிளாங்கின் மாறிலியைக் கணி.

$Ve = hc/\lambda$ min.

$V = 80000$ வோல்டு $= 80000/300$ e.s.u ; $e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u.

$C = 3 \times 10^{10}$ செ.மீ./வி.; λ min $0{\cdot}1552$ AV $= 0{\cdot}1552 \times 10^{-9}$ செ.மீ

$$h = \frac{\nu e\lambda}{c} \text{ min} = \frac{80000}{300} \times \frac{4{\cdot}8 \times 10^{-10}}{3 \times 10^{10}} = 1{\cdot}552 \times 10^{-9}$$

$$= 6{\cdot}622 \times 10^{-27} \text{ எர்கு-வினாடி}$$

(2) காம்ப்டன் விளைவில், படுகதிரின் திசைச்சு 90 டிகிரி கோணத்தில் சிதறிவரும் எக்ஸ கதிரின் அலை நீளமாற்றம் என்ன?

$$\lambda^1 - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$$

$h = 6\ 621 \times 10^{-27}$; $m_0 = 9{\cdot}11 \times 10^{-28}$; $c = 3 \times 10^{10}$; $\theta = 90°$

$\therefore \cos\theta = 0.$

$$\therefore \text{ அலை நீளமாற்றம் } (\lambda^1 \quad \lambda) = \frac{6\ 621 \times 10^{-27}}{9{\cdot}11 \times 10^{-28} \times 3 \times 10^{10}}$$

$$= \frac{6{\cdot}621}{9{\cdot}11 \times 3} \times 10^{-9} \text{ செ.மீ.}$$

$$= 0\ 0242 \text{ A U.}$$

அத்தியாயம் 9

வினாக்கள்

1) பிராக்கின் விதியை வருவி. அணிக்கோவைத்தளம் என்பது என்ன?

2) பிராக்கின் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மானியை வருணித்து, அதைக்கொண்டு எக்ஸ்கதிர்களின் அலை நீளங்களை எவ்வாறு அளக்கலாம் என்பதைக் காண்பி.

3) சிறப்பியல் எக்ஸ்கதிர்கள் யாவை? அவற்றின் உற்பத்தி எவ்வாறு?

4) காம்ப்டன் விளைவை விளக்கி, காம்டன் அலை நீள மாற்றத்தைக் கண்டுபிடி.

5) மோஸ்லியின் ஆராய்ச்சிகளை விவரித்து, அவற்றின் முக்கியத்துவம் என்ன என்பதை விளக்கு.

6) மாலிப் டெனத்தின் K_α கதிர் ($= 0{\cdot}71$ AU) கேல்சைட் படிகத்திலிருந்து ($d = 3{\cdot}036$ AU) பிரதிபலிக்கப்பட்டுவரும் சிறும தொடுகோணம் யாது? நான்காம் வரிசையில் (4 th order) பிரதிபலிக்கும் கோணம் என்ன? [6 43'; 7;054']

7) ஓர் எக்ஸ்கதிர்க்குழாய் 40 கிலோவோல்டு, 10 மில்லி ஆம்பியரில் இயங்குகிறதென்றால், அதன் இலக்குவில் உண்டாகும் வெப்ப ஆற்றல் எவ்வளவு? அதிலிருந்து வெளிவரும் கதிர்களின் சிறும அலை நீளமென்ன? (95·2 கேலரி/விநாடி; 0·51 A.U.)

8) 0.124 AU அலை நீளமுடைய எக்ஸ்கதிர் கார்பனிலிருந்து காம்டன் சிதறலடைகிறது. 180 டிகிரி கோணத்தில் சிதறும் கதிரின் அலை நீளமென்ன? [0·172 AU]

9) ஓர் எக்ஸ்கதிர் குழாயிலிருந்து 0.2 AV அலை நீளமுடைய கதிர்களை உண்டுபண்ணுவதற்குத் தேவைப்படும் சிறும மின்னழுத்தம் யாது? [62 கிலோ வோல்டு]

10. ஒளி நிறமாலையியல்

(Optical Spectroscopy)

ஒளி நிறமாலை (Optical spectrum) என்பது, நாம் கண்களால் காணக்கூடிய ஒளியின் வெவ்வேறு அலைகளை அதன், அலை நீளங்களுக்கேற்றவாறு வரிசையாகக்கப்பட்ட ஓர் ஒழுங்கு, என்ற லாம். நிறமாலைகாட்டி, நிறமாலைமானி (Spectroscope spectro meter) என்பவை, இந் நிறமாலையின் வெவ்வேறு அலைகளை அவற்றின் அலைநீளங்களுக்கேற்றவாறு பிரித்துக்காட்டவோ அவற்றை அளக்கவோ உதவுபவை.

ஒளி நிறமாலையியலைத் துவக்கிவைத்த பெருமை சர் ஐசக் நியூட்டனையே சாரும். அவர் 1666ஆம் ஆண்டில், சூரிய ஒளியை ஒரு துவாரத்தின் வழியாய் ஓர் இருட்டறைக்குள் விடுத்து, அதை ஒரு கண்ணாடிப் பட்டகத்தினூடே செலுத்தி, எதிரேயிருந்த சுவரின்மீது விழச்செய்தபோது, துவாரத்தின் பல்வேறு நிறப்பிம்பங்கள் சுவரின்மீது உண்டாவதைக்கண்டார். இதையே 'நிறமாலை' (spectrum) என்றழைத்தார். இதைக் கொண்டு, சூரிய ஒளியானது பல்வேறு நிறங்களாலானது என்றும், 'இந் நிறங்கள்' வெவ்வேறு அளவு விலகுந்தன்மை (refrangibility) உடையவை என்றும், கண்ணாடிப்பட்டகம் அந்நிறங்களை வெவ்வேருகப் பிரிக்கிறதேயன்றி, அந நிறங்களை உண்டுபண்ணுவதில்லை என்றும் விளக்கினார். பட்டகத்துடன் ஒரு குவிவில்லையையும் சேர்த்து (convex lens), துவாரதத்தின் பிம்பங்களைக் குவியச்செய்து, நிறங்களை வெவ்வேருக நன்கு பிரித்தமையால், நிறமாலை 'சுத்தமாயிற்று' (pure spectrnm).

நியூட்டனுக்குப்பின் நூறு ஆண்டுகளுக்கு மேலாக வேரொரு முன்னேற்றமும் நிறமாலை இயலில் உண்டாகவில்லை. 1814ஆம் ஆண்டில் பரிசாதனை நிபுணர் ஃப்ரான்ஹோஃபர் (Fraun hofer) முதலாம் நிறமாலை காட்டியை நிறுவினார். சூரிய ஒளி ஒரு குறுகலான வெட்டுத்துளை வழியாகச் சென்று, ஒரு குவிவில்லை

யால் இணைக்கற்றையாக்கப்பட்டு, ஓர் 60° தீக்கண்ணுடிப் பட்டகத்தின்மீது (flint glass prism) விழுந்து, நிறப்பிரிகையடைகிறது (dispersed). இதை ஒரு தொலைநோக்கி கொண்டு பார்த்தால், சுத்தமான நிறமாலை, நிறக் குழப்பமின்றித் தெளிவாய்த் தெரிகிறது. இவ்வாறு பார்த்தபொழுது, சூரியஒளி நிறமாலையில் கருமையான செங்குத்துக்கோடுகள் பல இருப்பது தெரியவந்தது. இவற்றிற்கு ஃப்ரான்ஹோஃபர் கோடுகள் (Frainhofer lines) என்று பெயரிடப்பட்டது. ஒரு சென்டி மீட்டருக்கு 3000 வரிகள்கொண்ட முதலாவது கண்ணுடிக் கீற்றணியையும் (grating) இவர் தயாரித்தார். கீற்றணியின் வரிகளை வரைவதற்காக, தாம் சொந்தமாகவே ஒரு வரிகளிடும் பொறியையும், அதற்குத் தேவைப்பட்ட வைர முனையையும் தயாரித்துக்கொண்டார். முதலாக நிறமாலையிலுள்ள கோடுகளின் அலை நீளங்களை அளந்து, சோடிய ஒளியின் நிறமாலையில் அடுத்தடுத்து இரு மஞ்சள் நிறக்கோடுகள் உள்ளனவென்றும், அவற்றின் அலைநீளங்கள் 5896 A.U. ; 5890 A.U (0.00005896 செ.மீ ; 0.00005890 செ.மீ.) என்றும் காண்பித்தார்.

1860ஆம் ஆண்டில் கிர்க்காஃப் (kirchhoff), புன்சன் (Bunsen) இருவரும், நிறமாலையைக்கொண்டு இரசாயனப் பொருட்களை எவ்வாறு கண்டு பிடிக்கலாம் என்று காண்பித்தனர். அதோடு, அம்முறையைக்கொண்டு சூரியனது நிறமாலையில் உள்ள புதிய சில தனிமங்களையும் கண்டுபிடித்தனர். 1868-ம் ஆண்டில், ஆங்ஸ்ட்ராம் என்ற விஞ்ஞானி (Angstom) கீற்றணியைக்கொண்டு சூரிய நிறமாலையை ஆராய்ந்து, அலைநீளங்களை அளப்பதற்கான நம்பத்தகுந்த, தரமான அலைநீளங்களைத் தந்தார். அவர் அலைநீளங்களை அளப்பதற்கு, ஒரு மில்லி மீட்டரின் ஒரு கோடியில் ஒருபாக நீளத்தை (10^{-8} செ.மீ.) அலகாக உபயோகித்தார். இதுவே 'ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு' (Angstrom unit; A.U.) எனப்படுவது.

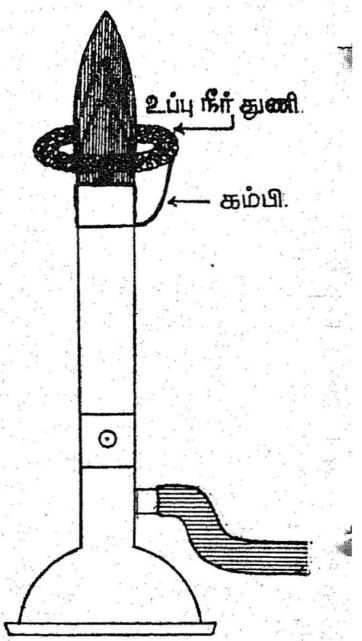
ஒரு நிறமாலை காட்டியுடன் ஓர் காமிராவை இணைத்தால் அதற்கு நிறமாலை விரைவி (spectrograph) என்று பெயர். இதைக்கொண்டு நிறமாலைக் கோடுகளைப் படம்பிடிக்கலாம். கோடுகள் யாவும் அவற்றின் அலைநீளங்களுக்குத் தகுந்தாற்போல் ஒழுங்குபடுத்தப்பட்டிருப்பதால், அவற்றின் நிறங்களைக் காண்பிக்கவேண்டும் என்ற அவசியமில்லை; படத்தில் அவற்றின் இடத்தைக்கொண்டு அலைநீளங்களைக் கண்டுபிடித்து, அவை இன்ன நிறமாக இருக்கவேண்டுமென்று அறிந்து கொள்ளலாம். உதாரணமாக, அலைநீளம் சுமார் 7500 A.U. விலிருந்து 6400 A.U. வரை சிவப்புநிறம்; 6400 A.U. —5900 A.U. -; ஆரஞ்சு;

5900—5500 A.U. மஞ்சள்; 5500—5000 பக்சை, 4 00—4250 A.U. ஊதா. இவ்வலைநீள எல்லைகளெல்லாம் சுமாரானவைதாம். ஒருநிறம் இந்த நீளத்தில்தான் ஆரம்பித்து இந்த அலைநீளத்தில் தான் முடியவேண்டுமென்று நிச்சயமாகச் சொல்வதற்கில்லை.

நாம் காணும் ஒளியாவும் அணுக்களிலிருந்தோ மூலக்கூறுகளிலிருந்தோதான் வருகிறது. அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் ஆற்றல் பெற்றுக் கிளர்ச்சியுற்றால் (excuted), அவை ஆற்றலை வெளிவிடும்போது ஒளி உண்டாகிறது. உலகத்திலுள்ள யாவும், தூசி, நிர்த்துளி, நிலா, விண்மீன், யாவும்—அணுக்களாலும் மூலக் கூறுகளாலும் உண்டாயிருப்பதால், பருட்பொருள் எதையும் கிளர்ச்சியடையச் செய்து, இது வெளிவிடும் ஒளியை நிறமாலை வரைவி கொண்டு பகுத்து, அதன் அணுக்களைப்பற்றிய பல உண்மைகளை அறியலாம். ஆகவே, நிறமாலையியல் பொருட்களின் தன்மைகளை அறிவதற்கு ஒரு சிறந்த வழியாகும்.

நிறமாலைக்கான ஒளி மூலங்கள் (Light sources for production of spectra).

நிறமாலை ஆராய்ச்சி வெற்றி பெறவேண்டுமானால், நிறமாலையை உண்டுபண்ணும் ஒளி மூலங்கள் ஏற்றவையாயிருக்க வேண்டும். நான்கு வகையான ஒளிமூலங்கள் உள்ளன அவையாவன; வெப்பத்தால் ஒளிர் பவை, மின்வில் சுடர் (arc source) மின்பொறி முலம் (spark source); மின்னிறக்கக் குழாய்கள் (discharge tubes).



படம் 58.
புன்சன் சுடர்மூலம்

சுடர்நிறமாலை (Flame spectra)

ஒரு புன்சன் சூடேற்றியின் (Bunsen Burner) தண்டில் ஒரு கம்பியைப் பிணைத்து, அதன் மேல் பாகத்தை வட்டமாக வளைத்து, அதைச் சுற்றிலும் ஒரு துண்டுத் துணியைச்சுற்றி, சூடேற்றியின்வாய்க்கு மேலாகப் பொருத்தி, அதில் உப்பு நீரை விட்டபின், சூடேற்றியைக்

கொளுத்தினால் புன்சன் சுடர் சிறிது நேரத்தில் மஞ்சள் நிறச் சுவாலையுடன் எரியும். உப்பு நீரிலுள்ள உப்பு அதிகச் சூடேற்றப் பட்டு ஆவியாகி, அதிலுள்ள சோடிய அணுக்கள் கிளர்ச்சி யடைந்து, தமக்குச் சிறப்பியல்பான மஞ்சள் நிறக் கதிர்களை வெளிவிடுவதால், இம் மஞ்சள் சுவாலை உண்டாகிறது. சோடிய உப்புக்குப் பதிலாக வெவ்வேறு உலோக உப்புக்களை இவ்வாறே உபயோகித்து, அவற்றின் சிறப்பியல்பு நிறமாலைகளை ஆராய லாம். இம்முறை மிகவும் எளியது; பழமையானது.

ஒளி, புறஊதா, புறச்சிவப்புக் கதிர்களை ஆராய, வெண்சுடர் தரும் மின் விளக்குப் பல்புகள் பயன்படுகின்றன. இதில் ஒரு மெல்லிய உலோக இழை (பெரும்பாலும் டங்ஸ்டன் இழை) வெண் சூடேற்றப்படுக் கதிர் வீசுகின்றது. அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் இவை கிளர்ச்சியடைந்து கதிர் வீசினால் வரி நிறமாலையும் (Line spectrum) ஓர் திடப் பொருள் (கம்பி இழை, உலோகக்கட்டி முதலியன) சூடேற்றப்பட்டு ஒளி வீசினால், தொடர் நிறமாலையும் (Continuous spectrum) உண்டாகும்.

சுடர் விளக்குகள் (arc Lamps)

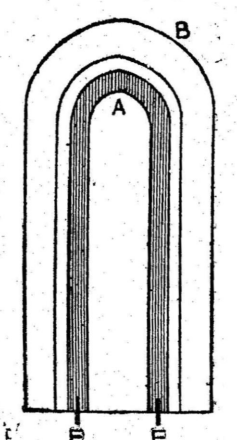
இரு உலோகத் தண்டுகளை (இரும்பு, செம்பு, பித்தளை) ஓர் இடுக்கியின் இரு புயங்களில், மின்சம்பந்த மில்லாதவாறு பொருத்தி, அவற்றை ஓர் நேர் மின்னோக்கியுடன் பிணைத்து, சுமார் 100 வோல்டு மின்னழுத்தம் கொடுத்து, காப்பிடப்பட்ட ஒரு திருகு கைப்பிடியால இரு தண்டுகளின் முனைகளைத் தொடு மாறு செய்து உடனே சிறிது தூரம் பிரித்துவிட்டால, மிகவும் பிரகாசமான ஒளியுடன் மின்னோட்டம் நடைபெறும். இதற்கு மின்வில் (electric arc) என்று பெயர். இரு உலோகங்களும் தொடுகையில், சுமார் 10, 15 ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்ந்து, உலோகங்களைச் சூடேற்றி, தண்டின் முனைகளில் உலோக அணுக் களை ஆவியாக்கி, அவற்றை அயனிக்கவும் செய்கிறது. உலோகத் தண்டுகள் பிரிந்தவுடன் அவற்றினிடை வெய்யிலுள்ள அயனி கள் மின்னோட்டம் தொடர்ந்து செலுத்துவதே மின் வில்லாகும்.

ஒரு மின்வில்லின் வெப்பநிலை சுமார் 3500°c வரை இருக்க லாம். அவ்வளவு அதிக வெப்ப நிலையில் உலோக அணுக்கள் ஒன்றிரண்டொன்று வெகு சுலபமாக மோதி, ஒன்றையொன்று அயனிக்கச் செய்கின்றன. பிறகு அணுக்கள் (எலக்ட்ரான்களைக் கைப்பற்றி) தமது இயல்பு நிலைக்கு வருகையில், வெவ்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு விழுவதால், அத்தனிமத்தின் நிறமாலை முழுவதும் வெளிவிடப்படுகிறது. புன்சன் சுடரின் வெப்பநிலை சுமார் 1500 c தான் ஆகையால், அவ் வெப்பநிலையில் அணுக்கள்

ஒரு சில உயர்மட்டங்களுக்கே உயர்த்தப்பட்டுத் தரை மட்டத்திற்கு விழுவதால், ஒரு சில நிறமாலைக் கோடுகள் மட்டும் வெளிவிடப்படுகின்றன.

மின்வில் சுடர்களை வெகு சுலபமாகப் பெறலாம். அத்துடன், மிகச் சிறிய அளவில் கிடைத்துள்ள பொருட்களின் நிறமாலையையும் எளிதில் பெறலாம். இதற்குக் கார்பன் மின்வாய்களைப் பயன்படுத்தவேண்டும். கார்பன் மின் வில்லின் நிறமாலையில் தொடர் நிறமாலையும் ஒரு சில மங்கலான கோடுகளுமே உள்ளன. ஆகவே, கார்பன் தண்டில் ஒரு குழி உண்டுபண்ணி, அதில் தேவையான பொருளைப் பொடிசெய்து திணித்து, மின்வில் உண்டுபண்ணினால், அதிவெப்பம் காரணமாக அப் பொருளின் நிறமாலைக் கோடுகள் தெளிவாக உண்டாகும். பித்தளைத் தண்டுகளைக் கொண்டு மின்வில் உண்டுபண்ணினால், அதிலுள்ள செம்பு, துத்தநாகத் தனிமங்களின் கோடுகள் உண்டாகின்றன.

மெர்க்குரி, சோடியம் போன்ற குறைந்த உருத நிலையுடைய உலோகங்களின் மின்சுடரை உண்டுபண்ண, அவற்றை கண்ணாடி அல்லது குவார்ட்ஸ குழாய்களில் அடைக்கலாம். அவற்றிற்கு ஆவிச் சுடர் விளக்குகள் (Vapour lamps) என்றும், மின்னிறக்கச் சுடர் விளக்குகள் dischange lamp) என்றும பெயர்களுண்டு இக் குழாய்களில், இயல்பான வெப்பநிலையில், அதாவது, மின்னோட்டம் துவங்கு முன், அத தனிமங்களின் ஆவியழுத்தம் மிக குறைவாக உள்ளதால், மின்னிறக்கத்தைத் துவக்குவதற்கு ஆர்கன், நியான் போன்ற வாயு, சில மில்லி மீட்டர் அழுத்தத்தில் உள்ளே அடைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 59.
சோடிய ஆவி மின் விளக்கு

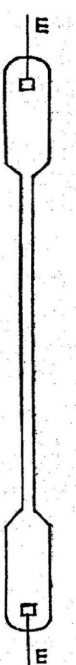
சோடிய ஆவி விளக்கில் (படம் 59) A என்ற U வடிவக் குழாயினுள் சிலதுளி சோடியம் அடைக்கப்பட்டுள்ளது; இக் குழாயின் நுனியில் EE என்ற மின்வாய்கள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. சிறிது அளவு நியான் வாயுவும் உள்ளே விடப்பட்டுள்ளது. முதலில் மின்னிறக்கம் நியான் வாயுவின் மூலமாகச் சென்று, குழாயைச் சூடேற்றி, சோடியத்தை ஆவியாக்குகிறது. சில நிமிஷங்களில் சோடிய ஆவியழுத்தம் அதிகரித்து (·01 மி. மீ

மின்னேட்டத்தைத் தொடர்ந்து நடத்துவதால், முதலில் சிவப்பு நிறமாயிருந்த ஒளி, பிரகாசமான மஞ்சள் நிறமாக மாறுகிறது.

குழாயின் வெப்பநிலை 300°c ஆக உயருவதால், இக் குழாயை B என்ற வெற்றிடக் குழாய்க்குள் அடைத்து, வெப்பம் வெளி வராதபடி செய்கின்றனர். இம் மின்விளக்கின் ஒளியில் 5890, 5896 AU அலை நீளமுடைய ஒளியே, ஏறக்குறைய முழுவதுமாக உள்ளது. மெர்க்குரி ஆவி மின் விளக்கில் சிறிது மெர்க்குரியும், ஆர்கான் வாயுவும் குறைந்த அழுத்தத்தில் உள்ளன. முதலில் குழாயிலுள்ள மின்வாய்கள் சூடேற்றப்பட்டு ஆவியழுத்ததை அதிகரிக்கின்றன. மின்னிறக்கம் முதலில் ஆர்கான் வாயுவின் உதவியால், சில வினாடிகளில், ஆவியழுத்தம் ஏறியவுடன் மெர்க்குரியின் மூலமாகவும் செல்கின்றது. இதன் ஒளியில் மஞ்சள், பச்சை, நீலம், ஊதா, புற ஊதா அலைகள் பெருமிதமாக உள்ளன.

சோடிய, மெர்க்குரி ஆவியின் விளக்குகள் 230 வோல்டு மாறு திசை மின்னழுத்தத்திலேயே செய்யக் கூடியவை.

கைஸ்லர் குழாய்கள் (Geissler tubes) என்பவை வாயுக்களின நிறமாலை ஒளிமூலங்களாக வெகுவாய் பயன்படுகின்றன. இருஅண்ட குழாயகளுக கிடையே நுண்குழாய் ஒன்று பொருத்தப்பட்டு, அவற் றின் நுனியில் இரு மின்வாய்கள் (E, E) நுழைகப் பட்டுள்ளன. (படம் 60) இக் குழாயில தேவைபட்ட வாயுவை அடைத்து, அதன் அழுத்ததைச் சில மில்லி மீட்டர் அளவுக்கு குறைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு தூண்டு மின் சுருள் (inductioncoil) கொண்டு மின் வாயகளுக் கிடையே சில ஆயிரம் வோல்டு மின்னழுத்தத்தைப் பிரயோகித்தால், வாயுவினூடே மின்னேட்டம் செல் கிறது. நுண் குழாயில் ஒளி மிகப் பிரகாசமாக உள் ளது. இவ் வொளி, இரண்டாம் அத்தியாயத்தில் விளக்கிய அவ்வாயுவின் நேர்மின் ஒளியே. வாயுவுக் கேற்ப ஒளியின் நிறம் மாறும்.



படம் 60.

வெளிவிடு நிறமாலையும் உட்கவர் நிறமாலையும்
(Emision and absorpton spectra.)

நிறமாலையை, வெளிவிடு நிறமாலை, உட்கவர் நிற மாலை என்று இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். வெளி விடு நிறமாலை என்பது ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளியை நேராக ஒரு நிறமாலை காட்டியால் ஆராய்வ

தாகும். ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளியை உட்கவரும் ஊடகத்தினூடே செலுத்தி, அதிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியை ஆராய்ந்தால், உட்கவர் நிறமாலை உண்டாதம். இவ் விரண்டையும் பதாடர் நிறமாலை, வரி நிறமாலை, பட்டை நிறமாலை என்று மேலும் பாகுபடுத்தலாம்.

வெண்ணிறமாகப் பழுக்கக் காய்ச்சப்பட்ட திடப்பொருளிலிருந்து வரும் ஒளியை ஒரு நிறமாலை காட்டிமூலம் ஆராய்ந்தால், அதன் நிறமாலை தொடர்ச்சியாக, ஒரு நிறம் மற்றொன்றுக்குள் மறைந்து மாறுவதாகத் தென்படும். இதற்குத்தொடர் நிறமாலை (continous spectrum) என்று பெயர். தொடர் நிறமாலையில் எண்ணிடா நிறங்கள் உள்ளன. வாயுக்கள் ஆவிகளிலிருந்து வரும் ஒளியை ஆராய்ந்ததால், அதில் வெவ்வேறு நிறக்கோடுகள் காணப்படும். உதாரணமாக, சோடிய ஒளியில் அடுத்தடுத்துள்ள இரு மஞ்சள் கோடுகள் தென்படும். மெர்க்குரி ஆவி ஒளியில் இருமஞ்சள், ஒரு பச்சை ஒரு நீல, இருஊதா நிறக்கோடுகள் இருப்பதைக் காணலாம். இவ் வரிகளுக்கிடையே ஒளி எதுவுமின்றி, கருப்பான பாகம் இருக்கும். இவையே வரிநிறமாலை (line spectra) எனப்படும். வாயுக்களிலுள்ள அணுக்கள் கிளர்ச்சியடைந்து, அணுக்களிலுள்ள எலக்ட்ரான்களிலொன்று மேல் ஆற்றல் மட்டத்திற்கு ஏற்றப்பட்டு, மறுபடியும் தரைமட்டத்திற்கு விழுவதால், இவ் வரிகள் தரப்படுவதால், இவற்றிற்கு அணு நிறமாலை (atomic spectrec) என்றும் பெயர். வாயுக்களிலுள்ள மூலக்கூறுகள கிளர்ச்சியடைந்து ஆற்றலைக் கதிர்வீச்சாக வெளிவிட்டால், அவ் வொளியில் பட்டைபட்டையான ஒளிப்பட்டைகள் தென்படும். இவ் வொளிப்பட்டையின் ஓர் ஓரம் பிரகாசமாகவும் மறு ஓரம் மங்கலாகவும் காணப்படும். இப் பட்டை நிறமாலையை (band spectrum) அதிசக்திவாய்ந்த நிறமாலைகாட்டி கொண்டு ஆராய்ந்தால், ஒளிப் பட்டை அதிநெருக்கமான ஒளிக்கோடுகளால் ஆனது என்று தெரியவரும். ஓர் ஓரத்தில் இக்கோடுகள் மிக நெருக்கமாயும், மறு ஓரத்தில் நெருக்கம் குறைந்துமிருப்பதால், இப் பட்டைத் தோற்றம் உண்டாகிறது. ஒருமின் வில்லின் ஒளியில், தொடர், வரி, பட்டை நிறமாலைகள் அனைத்தும காணப்படலாம்; ஏனெனில், மின்வில்லில் அணுக்கள், மூலககூறுகள், வெண்ணிறமாகக் காய்ந்த உலோகத்துண்டுகள் அனைத்தும் ஒளி விடுகின்றன.

வெண்மையாகச் சூடேற்றப்பட்ட திடப்பொருளின் ஒளியை ஒருவாயு அல்லது திரவத்தினூடே செலுத்திபின், வெளிவரும் ஒளியை ஒரு நிறமாலைகாட்டிக்கொண்டு ஆராய்ந்தால், அதில் தொடர் நிறமாலையும், அதன் இடையே பல கருமையான கோடுகளும் பட்டைகளும் தென்படும். வெண்ஒளியிலிருந்து வாயு

அல்லது திரவம் உட்கவர்ந்த அலைகள் அகற்றப்பட்டமையால் அந்த இடங்கள் கருமையாகத் தென்படும். அதற்கு நல்ல உதாரணம் சூரிய ஒளி நிறமாலையே இதில் ஒரு தொடர் நிறமாலையும், அதில் பலகருமையான ஃப்ரான்ஹாஃபர் வரிகளும் உள்ளன. பல விண் மீன்களின் ஒளியிலும் இவ்விதக் கருமையான கோடுகளும் பட்டைகளும் காணப்படுகின்றன.

வெளிவிடு நிறமாலையின் ஒளிக்கோடுகளின் அலை நீளங்களையும் உட்கவர் நிறமாலையின் கருமையான கோடுகளின் அலை நீளங்களையும் நிறமாலைமானி கொண்டு அளந்து விடலாம்.

ஒளி எதிர் திருப்பக் கொள்கை (principle of reversal of light)

சோடிய ஆவி கிளர்ச்சியுறற்குரல் 5896,5890 AU அலைநீள முடைய இருமஞ்சள் கோடுகளை வெளிவிடுமென்று மேலே பார்த்தோம். ஒரு கண்ணாடி பல்புக்குள் சோடிய ஆவியை அடைத்து, அதனூடே ஒரு கார்பன் வில்லின் வெண் ஒளியைச் செலுத்தினால், அதே 5890,5896AU அலைநீளங்களில் இரு கருமையான கோடுகள் இருப்பது தெரியவரும், இதை, கிர்க்காஃபும், புன்சனும் கீழ்க்கண்ட கொள்கையாக வெளியிட்டனர்: 'ஒரு பொருள் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் வெளிவிடும் அதே அலைநீளக் கதிர்களைத் தன் இயல்பான நிலையில் உட்கிரகிக்கும்' என்பதே அக் கொள்கை. இதை 'ஒளி எதிர்த்திருப்பக் கொள்கை' (principle of reversal) என்பர். இதைக்கொண்டு, சூரியன், விண்மீன்கள் இவற்றைச் சுற்றியுள்ள ஆகாயத்தைக் குறித்த பல உண்மைகளை அறியாலாம்.

சூரிய நிறமாலை (solar spectrum)

சூரிய நிறமாலை ஃப்ரான்ஹோஃபர் கோடுகள் என்ற கருமையான கோடுகள் உள்ளன என்று பார்த்தோம். இவை,சூரியனது உட்புறத்திலிருந்து வெளிவரும் வெண் ஒளி, பூமிக்கு வந்து சேருமுன், பல அலைநீளங்களில் உட்கிரகிக்கப்படுவதால் உண்டானவை என்பது வெளிப்படை. சூரியனது உட்புறம் மிகஅதிக வெப்ப நிலையிலுள்ளதென்றும், அதைச்சுற்றி வெப்பம் குறைவாக பல ஆவிகள் உள்ளனவென்றும், உட்புறத்திலிருந்து வெளிவரும் வெண்ஒளி இவ்வாவிகளினூடே செல்கையில், அவை தமது சிறப்பியல்பான அலை நீளங்களை உட்கவர்ந்துவிடுவதால் அவ்விடங்களில் கருமையான கோடுகள் தென்படுகின்றன வென்றும், கிர்க்காஃப் விளக்கியுள்ளார். ஆகவே, இப் ஃப்ரான் ஹோஃபர் வரிகளின் அலைநீளங்களைத் திருத்தமாக அளந்து, அவற்றைப் பூமியில் கிடைக்கும் பல தனிமங்களின் நிறமாலைக் கோடுகளுடன் ஒத்

திட்டு, சூரியனது ஆகாயத்தில் பூமியிலுள்ள 40 தனிமங்கள் உள்ளனவென்று புன்சனும் கிர்க்காஃபும் கண்டுபிடித்துள்ளனர். ஹீலியவாயு இம் முறையில், நமது பூமியில் கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு வெகுகாலத்திற்கு முன்னரே, சூரியனது ஆகாயத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஃப்ரான் ஹோஃபர் வரிகளில் சில, பூமியின் ஆகாயத்தில் உள்ள ஆக்ஸிஜன், நீராவி இவை உட்கிரகிப்பதால் ஏற்பட்டவை என்று தெரியவருகின்றது.

கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் பல முக்கியமான ஃப்ரான்ஹோஃபர் வரிகளும், அவற்றின் அலைநீளங்களும் தரப்பட்டுள்ளன. ஃப்ரான்ஹோஃபர் தாம் அளந்த வரிகளுக்கு A, B, C, D... என்று சிவப்பு நிறத்திலிருந்து ஊதா நிறம்வரை பெயர் கொடுத்தார். அதன் பின்னர் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட வரிகள் சிறிய எழுதில் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவ் வரிகளை உண்டுபண்ணிய ஆவிகளின் பெயர்களும் அருகே தரப்பட்டுள்ளன.

சூரிய ஒளிநிறமாலையில் ஃப்ரான்ஹோஃபர் வரிகள்

பெயர்	அலைநீளம்	நிறம்	ஆவி
A	7593·97	சிவப்பு	ஆக்ஸிஜன்
a	7191·76	சிவப்பு	காற்று
B	6867·46	சிவப்பு	ஆக்ஸிஜன்
C	6563·05	சிவப்பு	ஹைட்ரஜன் (H_α)
D_1	5896·16	மஞ்சள்	சோடியம்.
D_2	5890·19	மஞ்சள்	சோடியம்.
E	5269·72	பச்சை	இரும்பு
b_1	5183·79	பச்சை	மகனீசியம்
b_2 b_3	5172·86	பச்சை	மகனீசியம்
b_4	5167·50	பச்சை	மகனீசியம்
F	4861·53	நீலம்	ஹைட்ரஜன் ($H\beta$)
f	4340·63	நீலம்	ஹைட்ரஜன் ($H\nu$)
G	4308·08	நீலம்	இரும்பு.
h	4102·00	ஊதா	ஹைட்ரஜன் (H_δ)

நிறமாலை காட்டிகளும் நிறமாலை வரைவிகளும் (spectrocopes and spectrographs)

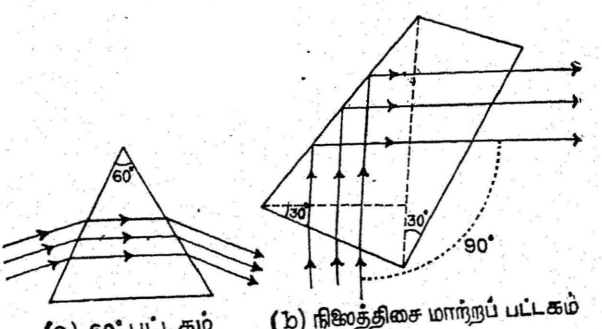
நிறமாலைகாட்டி என்பது, ஒரு பொருளின் நிறமாலையைக் கண்களால் காணவுதவும் ஒருசாதனம். அதிலுள்ள கண்ணருகு

லென்சை (eye piece) எடுத்துவிட்டு, அதற்குப்பதிலாக ஒருகாமிராவைப்பொருத்தி, நிறமாலையைப்படம்பிடிக்க ஏதுவுண்டாக்கியிருந்தால், அக் கருவி நிறமாலை வரைவி (spectrograph) எனப்படும்

ஒரு நிறமாலைகாட்டியில், இணையாக்கியின் (collmiator) ஒரு நுனியில் ஒரு வெட்டுத்துளையும் (slit), மறு முனையில் இணையாக்கும் குவிலென்சும் உள்ளன. வெட்டுத்துளை வழியாக உட்புகும் ஒளிக்கற்றையின் அகலத்தைக் குறைக்கவோ கூட்டவோமுடியும். இத் துளை, லென்சின் குவிதூரத்திலுள்ளபடியால், லென்சிலிருந்து வெளிவரும் ஒளிக்கற்றை இணையாக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்விணைக்கற்றை பிறது ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட பட்டகங்களினூடே சென்று, நிறப்பிரிகை (dispersion) அடைந்து தொலைநோக்கியினுள் புகுந்து, அதன் கண்ணருகு லென்சுக்கு அருகில் குவிக்கபடுகிறது. நிறமாலைவரையியில் இதைப்படம் பிடிக்கமுடிகிறது.

நிறமாலைகாட்டி, வரைவிகளில் உபயோகிக்கபடும் வில்லைகள் நிறப்பிறழ்ச்சி (aberration) நீங்கியவையாயிருத்தல் வேண்டும். நிறமாலை வரைவிகள் ஒளியின் கண்ணுறு நிறமாலையையும், கண்ணுறுப் பாகத்தையும் படம்பிடிக்கவேண்டுமாதலால், வில்லைகள், பட்டகங்கள் யாவும் தேவைப்பட்ட ஒளிபுகும் பொருட்களாலான வையாயிருத்தல் அவசியம். உதாரணமாக, கண்ணுடியாலான வில்லைகளும் பட்டகங்களும் புறஊதா, புறச்சிவப்புப் பாகங்களைப் படம்பிடிக்க உதவா. ஏனெனில் கண்ணுடி புறஊதா,புறச்சிவப்பு நிறங்களை உட்புகவிடாது. இப்பாகங்களின் நிறமாலைகளைப் படம்பிடிக்க, குவார்ட்ஸ், பாறைஉப்பு, சில்வீன் (sylvine) இவற்றுலான வில்லைகள் பட்டகங்களை உபயோகிக்கவேண்டும்.

பட்டகங்கள் 60 டிகிரி கோணமுடையதாகவோ அல்லது



படம் 61. பட்டகங்கள்

இரு30 டிகிரி பட்டகங்களாகவோ உள்ளன. தற்காலத்தில் அலை நீளங்களை அளக்க வெகுவாய்ப் பயன்படும் பட்டகம்ஒன்று, படம் 61(b)யில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஹில்கர் (Hilger) குழுவினரால தயாரிக்கப்பட்ட இப் பட்டகம் நான்குபகங்களையுடையது.

'படத்தில் காட்டியபடி', உட்புகும் வெளிவரும் கதிர்களுக்கிடையே அப்பொழுதும் 90° திசைமாற்றமே உண்டாவதால் இதற்கு'நிலைத்திசை மாற்றப்பட்டகம்'(constant deviation prism) என்று பெயர். இது உண்மையில் மூன்று பட்டகங்களுக்குச்சமமாகும்; இரு 30 டிகிரி பட்டகங்களும், ஒரு 45 டிகிரி முழுஎதிரொளிப்புப் பட்டகமும் சேர்ந்த ஒரு கூட்டுப்பட்டகம் எனலாம். இருமுறை நிறப்பிரிகையும், ஒருமுறை முழு எதிரொளிப்பும் (total internal reflection) அடைந்த கதிர்கள், 90° திசை மாற்றமடைந்து வெளிவருகின்றன. இதனால் இணையாக்கியையும், தொலைநோக்கி காமிராவையும் எப்பொழுது 90 டிகிரி கோணத்தில் நிலையாக அமைத்துவிட முடிகிறது. வெவ்வேறு அலைநீளங்களைக் காமிராவுக்குக் கொண்டுவருவதற்கு ஒரு திருகியின் உதவியால் பட்டகத்தைத் திருப்பவேண்டும். இத்திருகியுடன் அளவிடு செய்யப்பட்ட ஓர் உருளையைப் பிணைத்து, அலைநீளங்களை நேரடியாக அளந்து விடலாம்.

தற்காலத்தில் பட்டகங்களுக்குப் பதிலாக, விளம்பு விளைவுக் கீற்றணி (diffraction grating)களைக் கொண்ட நிறப்பிரிகையைப் பெரும்பாலும் உண்டுபண்ணுகின்றனர். கீற்றணி, பட்டகத்தைவிட அதிகமான, சீரானநிறப்பிரிகையை உண்டு பண்ணுகிறது. ரோலண்டு (rowland) என்பவர் உண்டுபண்ணிய குழிக் கீற்றணி (concave grating) யைக்கொண்டு, 100 AU முதல் 11000AU வரை அலைநீளமுடைய எகஸ்கதிர், புறஊதாகணணுறு, புறச்சிவப்புக் கதிர்கள் அனைத்தையும் ஆராயலாம்.

புறச் சிவப்பு, புற ஊதா நிறமாலைகள் (Infra Red and Ultra Violet spectra)

நிறமாலையின் புறச் சிவப்பு பாகத்தை சர். வில்லியம் ஹெர்ஷல் (Sir William Herschel) எனற ஆங்கில விஞ்ஞானி 1800ஆம் ஆண்டில் கண்டுபிடித்தார். சூரிய நிறமாலையின் வெப்பநிலைகளை அளக்க முற்பட்ட அவர், வெப்பநிலைமானியை வெவ்வேறு நிறங்களில் வைத்துக் கொண்டேபோய், சிவப்பு நிறத்திற்கு அப்பாலுள்ள பாகமே அதிக வெப்பமானது என்று கண்டறிந்தார். அவரது மகன் சர். ஜான் ஹெர்ஷல் 1840ஆம ஆண்டில், சாரயத்தில் நனைக்கப்பட்ட சரிய காகிதத்தை இபபுறச் சிவப்புப் பாகத்தில் வைத்து, சில இடங்களில் சாராயம் விரைவில் ஆவிபாகிவிடு

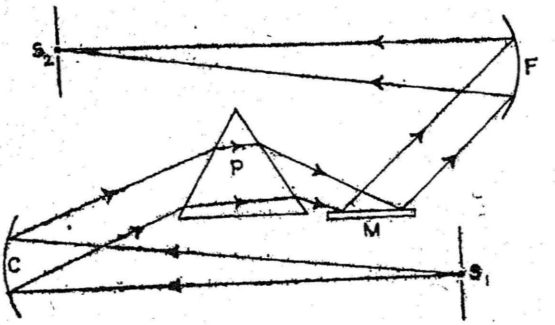
வதையும் மற்ற இடங்களில் மெதுவாக ஆவியாவதையும் கண்டார். ஆகவே, சூரியனது கதிர்களின் ஆற்றல், சிவப்பு நிறத்திற்குப் புறம்பேயும் உள்ளது என்பது தெளிவாயிற்று.

புறச் சிவப்பு என்பது, உண்மையில், சிவப்பு நிறத்திற்கு அப்பாலிருந்து, மைக்ரோ அலை (Micro Wave) வரை உள்ள பாகத்தைக் குறிக்கும்; அதாவது, 0.00075 மி.மீ. (7500 A U.) லிருந்து, 1 மி.மீ. வரை நீளமுடைய அலைகள் யாவற்றையும் குறிக்கும். இதை அண்மைப் புறச் சிவப்பு (near infra red) சேய்மைப் புறச் சிவப்பு (far infra red) என்று இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். அண்மைப் புறச் சிவப்பு 0.00075 மி.மீ. முதல் சுமார் 0.025 மி மீ. வரை நீளமுடைய கதிர்கள். சுமார் 0.003 மி மீ. வரை ஒளி பின் கலன்கள், ஒளி உணர்வு பலகைகள் முதலியவற்றைக் கொண்டு ஆராய வழியுண்டு. அதற்குமேல் கண்ணுடியால் அல்லாமல், மற்ற பொருட்களாலான பட்டகங்களைக் கொண்டு, நிறமாலை வரைவியால் இப் பகுதியை ஆராயலாம். சுமார் 0.015 மி.மீ. வரை பாறை உப்பும், 0035 மி.மீ. வரை குவாட்சும், 0.021 மி. மீ. சில்வினும் (Kcl) பயன்படும். இப் பகுதியில் எதிரொளிக்கும் கீற்றணி (reflection grating) யும் வெகுவாய்ப் பயன்படும்.

தூரப் புறச் சிவப்பு என்பது 0.025 மி.மீக்கு அதிகமான நீளமுடைய கதிர்களாகும். இப் பகுதியில் குழி கீற்றணி ஒன்றே பயன்படும். புறச் சிவப்பு நிறமாலை ஆராய்ச்சி பெரும்பாலும் உட்கவர் நிறமாலையே பொறுத்ததாகையால், இதற்கு ஒரு தொடர் புறச் சிவப்பு நிறமாலை கொண்ட ஒளிமூலம் தேவைப்படும். நெர்ன்ஸ்ட் ஒளிர்வி (Nernst Glower), குளோபர் (globar) எனப்படும். கார்போரண்டம் தண்டு, என்ற இரு ஒளிமூலங்களும் வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றன.

62ஆம் படத்தில் ஒரு புறச் சிவப்பு நிறமாலை காட்டி தரப்பட்டுள்ளது. ஒளிமூலத்தின் கதிர் S_1 என்ற துளையினூடே உட்சென்று, C என்ற குழி ஆடியினால் இணைகற்றையாக எதிரொளிக்கப் பெற்று, P என்ற பட்டகத்தினூடே சென்று, நிறபிரிகையடைகிறது. M என்ற தளக் கண்ணுடி இக் கதிர்களை எதிரொளித்து, F என்னும் குழியாடியால் அவற்றை S_2 என்ற துளையின் மீது குவியச் செய்கிறது. பட்டகத்தைச் சிறிதளவு திருப்பினால், வெவ்வேறு அலைநீளமுடைய கதிர்கள் S_2 மீது படுகின்றன இத் துளைக்குப் பின்னால், வெப்பக் கதிர்களை அளக்கும் போலா மீட்டர் (bolo meter) ரேடியோ மைக்ரா மீட்டர், வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கு (thermopile) போன்ற சாதனத்தை வைத்து,

எந்தெந்த அலை நீளங்களில் கதிர்கள் உட்கவரப்படுகின்றன.



படம் 62. புறச் சிவப்பு நிறமாலை

அல்லது வெளிவிடப்படுகின்றன என்பதை அளக்கலாம்

புறச் சிவப்பு உட்கவர் நிறமாலை ஆராய்ச்சிகள் வேதியல் கூட்டுப் பொருட்களைப் பாகுபடுத்தி ஆராயவும், மூலக் கூறுகளின் அமைப்புகளைக் கண்டுபிடிக்கவும், அங்கக (Organic) கூட்டுப் பொருட்களை அடையாளம் கண்டுபிடிக்கவும் வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றன. நீர், மீதேன், அம்மோனியா இவற்றின் புறச் சிவப்பு நிறமாலைகளை அறிந்ததின் பயனாக, வானியல் ஆராய்ச்சி களில் அவை பெரிதும் உதவிபுரிகின்றன. வெள்ளிக் கோளின் ஆகாயத்தில் பெருவாரியான கரியமில வாயு இருப்பதாகவும், வியாழன், சனிக் கோள்களில் அம்மோனியா உண்டென்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. மருத்துவ முறைகளில் புறச் சிவப்புக் கதிர்கள் வெப்பமூண்டுபண்ணப் பயன்படுகின்றன. தூரப் படப்பிடிப்புக்கு புறச் சிவப்புக் கதிர்கள் இன்றியமை யாதவையாகும்.

புற ஊதா நிறமாலையில்

4000 A.U. (·00004 செ.மீ.)க்கு குறைவான அலைநீள முடைய கதிர்களைப் புற ஊதாக் கதிர்கள் என்கிறோம். 4000 A.U. விலிருந்து, சுமார் A U. வரை இவை வியாபித்துள்ளன. இவற்றை 1801ஆம் ஆண்டு ரிட்டர் (Ritter) என்ற விஞ்ஞானி கண்டுபிடித் தார். போட்டோப் பசையின்மீது ஒளியின் விளைவு என்ன என்பதை ஆராய்ந்த இவர், ஊதா நிறத்திற்கு அப்பாலுள்ள கண்ணுக்குத் தென்படாத கதிர்களே மிக அதிகமாக போட்டோப் பசையைப் பரதிக்கின்றன என்று கண்டுபிடித்து, அவற்றிற்குப் புற ஊதாக் கதிர்கள் என்று பெயரிட்டார். அநேக தாதுப் பொருட்களும், அங்ககப் (Organic) பொருட்களும் புற ஊதா

ஒளியைக் கண்ணுறும் ஒளியாக மாற்றி, இவ்வொளியில் மிகப் பிரகாசமாக ஒளிர்கின்றன. புற ஊதா ஒளி பல உலோகங்களில் ஒளிமின் விளைவை உண்டுபண்ணுகிற தென்று முன்பே பார்த்தோம்.

புற ஊதாக் கதிர் கண்ணுடி வழியே செல்லாதாகையால், இந் நிறமாலையியலில் உபயோகிக்கப்படும் வில்லைகளும் பட்டகங்களும் குவார்ட்ஸ், ஃப்ளூரைட் (fluorite) அல்லது பாறை உப்பால் செய்யப்பட்டனவாக இருத்தல் வேண்டும். குவார்ட்ஸ் வில்லைகளும் பட்டகங்களும் புற ஊதா நிறமாலை ஆராய்ச்சியில் வெகுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த வேறுபாடு தவிர மற்ற பாகங்களெல்லாம் ஒளி நிறமாலை விரைவியைப் போன்றவையே. 4000 A.U. விலிருந்து, 1850 A.U. வரை குவார்ட்ஸ் பயன்படுகிறது. அதற்குக் குறைவான அலை நீளக்கதிர்களைக் குவார்ட்ஸ் உட்செலுத்துவதில்லை. காற்றுகூட இம் மிகக் குறைவான அலைக் கதிர்களைச் செலுத்துவதில்லையாகையால், இத் தூரப் புற ஊதாப் பாகத்தின் நிறமாலை வரையிலுள்ள காற்றையெல்லாம் அப்புறப்படுத்தி, காற்று உட்புகாவண்ணம் செய்யவேண்டும். இக் காரணத்தினுல் 1850 A.U. விலிருந்து 200 A U. வரை அலை நீளமுள்ள பாகத்தை 'வெற்றிடப் புற ஊதாப் பகுதி' (Vacuum ultra violet region) என்று சொல்கிறார்கள். இப் பகுதியை ஷூமான் (Schumann) என்ற விஞ்ஞானி முதன்முதலாக ஆராய்ந்துள்ளபடியால், இதற்கு ஷூமான் பகுதி (Schumann region) என்ற பெயரும் வழங்குகிறது. இவர் ஃப்ளூரைட் பட்டகங்களையும் வில்லைகளையும், வெற்றிட அறையையும், ஜெலட்டின் இல்லாத போட்டோப் பசையையும் உபயோகித்து, 2000 A.U. விலிருந்து 1250 A.U. வரை நிறமாலையை ஆராய்ந்தார். பிறகு லிதியம் ஃப்ளூரை பாகங்களைப் பயன்படுத்தி 1000 A.U. வரை செல்ல முடிந்தது. இதற்குக்கீழே திடப் பொருள் எதுவும் கதிர்களை உட்செலுத்துவதில்லை. ஆகவே, வில்லைகள் பட்டகங்கள் ஒன்றும் உதவா. வெற்றிடத்தில் நிறுத்தப்பட்ட எதிரொளிப்புக் கீற்றணி (reflection gratings)களே இப்பாகத்திற்கு உபயோகமாகும். லைமன் (Lyman), மில்லிக்கன் (Millikan), சீகபான் (Siegbahn) ஆகியோர் குழிக் கீற்றணிகளைக் கொண்டு 100 A. U. வரை ஆராயச்சி செய்துள்ளனர்.

புற ஊதாக் கதிர்கள் பல முறைகளில் பயன்படுகின்றன. கண்ணுறும் ஒளியை விடப் புற ஊதாக் கதிர்களுக்குப் பகு திறன் (resolving power) அதிகமுண்டு. ஆகையால் அதி ஆற்றல் வாய்ந்த நுண்ணோக்கிகளில் ஒளிக்குப் பதிலாகப் புற ஊதாக் கதிர்களைப் பயன்படுத்தி, பாக்டீரியா கிருமிகளை மிகத் தெளிவாகப்

படம்பிடிக்க முடிகிறது. விண்மீன்களிலிருந்து வரும் சேய்மைப் புற ஊதாக் கதிர்களை, நிறமாலை வரைவிகளால் ஆராய்ந்து, சில விண்மீன்களின் மேறபரப்பு சுமார் 100,000 டிகிரி சென்டிகிரேடு வெப்ப நிலையில் உள்ளன என்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். A-வைடமினைக் கண்டுபிடிக்கவும், மீனெண்ணெய்ச் சத்துப் பொருளைத் தரப்படுத்தவும் அவற்றின் புற ஊதா உட்கவர் அளவுகள் பயன்படுகின்றன. ரிக்கட்ஸ் (Rickets) என்னும் குழந்தைகளின் எலும்பு வியாதிக்கும், மற்ற எலும்பு வியாதிகளுக்கும், சரும வியாதிகளுக்கும் சிகிச்சையாக தூரப் புற ஊதாக் கதிர்களின் ஒளிமின் விளைவுகளும் ஒளி உடல் விளைவுகளும் வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றன. பல அங்ககக் கூட்டுப் பொருட்களின் வெளிவிடு, உட்கவர் புற ஊதா நிற மாலைகளைக் கொண்டு அவற்றின் அமைப்புகள் ஆராயப்பட்டுள்ளன.

ஒளிர்தலும் நின்றொளிர்தலும் (Fluorescence and phosphorescence)

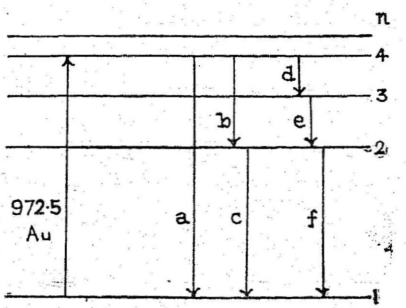
காம்ப்டன் விளைவில், கதிர்வீச்சு பொருட்களின்மீது பட்டுச் சிதறலடைந்து, அலைநீள மாறறத்துடன் வெளிவருகிறதென்றும், இந்த அலைநீளமாறறம் சிதறடிக்கும் பொருளைப் படுகதிரின் அலைநீளத்தையோ சார்ந்ததல்லவென்றும் கண்டோம். கதிர்போட்டான் எலக்ட்ரானுடன் மோதி சிறிது ஆற்றலை இழப்பதால் இவ்வலைநீளமாற்றம் ஏற்படுகிறதென்று விளக்கினும். காம்ப்டன் விளைவு 1922 ஆம் ஆண்டில் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது.

இதற்கு 70 ஆண்டுகளுக்கு முன்னரே 1852 ஆம் ஆண்டில், ஸ்டோக்ஸ் (stokes) என்ற விஞ்ஞானி இதேபோன்ற விளைவு ஒன்றைக் கண்டுபிடித்தார். புறஊதா ஒளி சில பொருள்களின் மீதுபட்டு வெளிவருங்கையில் அதன் நீளம் அதிகமாவதைக் கண்டார். ஆனால், அவ் வலைநீளம் சிதறடிக்குபொருளைச் சார்ந்ததென்பதையும் கண்டார். உட்சென்ற புறஊதாக் கதிர் கண்ணுறும் ஒளிக்கதிராக வெளிவரும் இவ் விளைவுக்கு 'ஒளிர்தல்' (fluorescence) என்ற பெயர் தரப்பட்டது. எக்ஸ்கதிர் சில பசைகளின்மீது விழும்போது கண்ணுறும் ஒளியாக ஒளிர்வதும் இவ் விளைவே. உட்செல்லும் ஒளி நிறுத்தப்பட்டவுடன், ஒளிர்தலும் உடனே நின்று விடுகிறது.

இவ் விளைவை ஆராய்ந்த ஸ்டோக்ஸ், 'வெளிவரும் கதிரின் அலைநீளம் உட்சென்று அலைநீளத்திற்குச் சமமாகவோ அதிகமாகவோதான் இருக்கவேண்டும்', என்ற விதியைக் கண்டுபிடித்தார். இதற்கு 'ஸ்டோக்ஸ் விதி' (stokes' law) என்று பெயர். இதற்குக் காரணம் என்னவென்பதை அணுவின்

அமைப்பையும் கதிர் வெளிவிடும் காரணத்தையும் குவாண்டம் கொள்கையின் மூலம் அறிந்த பின்னரே விளக்கமுடிந்தது.

உட்செல்லும் கதிர் லைமன் அணியின் 972.5 AU மூன்றும் வரியென்றும், ஹைட்ரஜன் வாயுவினுள் செல்கிறதென்றும் வைத்துக்கொள்வோம். இதை உட்கிரகிக்கும் ஹைட்ரஜன் அணுவின் எலக்ட்ரான், $n=1$ மட்டத்திலிருந்து $n=4$ மட்டத்



படம் 63. ஒளிர்தல்

திற்குச் செல்கிறது. அங்கிருந்து நேரே $n=1$ மட்டத்திற்கு விழுந்தால் உட்சென்ற அதே அலைநீளமுடைய கதிர் வெளிவிடப்படுகிறது (a). இதற்கு 'ஒத்ததிர்வு கதிர்வீச்சு' (resonance Radiation) என்று பெயர். அல்லது, $n=4$ மட்டத்திலிருந்து இரண்டு படிகளில் தரைமட்டத்திற்கு வரலாம்; $4\to2$, $2\to1$ என்ற இருதாவுதலில், பாமர் அணியின் இரண்டாவது வரியும் (b) லைமன் அணியின் முதலாம் வரியும் (c) வெளிவிடப்படும். அவற்றின் அலைநீளங்கள் 4861 AU, 1216 A.U. அல்லது $4\to3$, $3\to2$, $2\to1$ என்ற தாவுதல்களில் தரைமட்டத்தை அடையலாம். அதில் பாஷன் அணியின் முதல்வரி (18756 AU), பாமர் அணியின் முதல் வரி (6563 AU), லைமன் அணியின் முதல்வரி (6563 A.U.), லைமன் அணியின் முதல் வரி 1216 A.U.) ஆகிய மூன்று கோடுகள் கதிர்வீச்சாக வெளிவிடப்படும். அல்லது $4\to3$, $3\to1$ என்ற இரு தாவுதல்களில் தரைமட்டத்தை அடைந்தால், 18756 AU 1026 AU என்ற இருகோடுகள் வெளிவிடப்படும். இவ்வெல்லா மாற்றங்களிலும் வெளிவிடப்படும் வரிகளின் அலைநீளங்கள், கிரகிக்கப்பட்ட கதிரின் அலைநீளத்தைவிட அதிகமாயிருப்பது கவனிக்கத் தக்கது.

நின்றொளிர்தல் (Phosphorescence) என்பது, அதன் பெயருக்கேற்ப, கிரகிக்கப்பட்ட கதிர் அலைநீள உயர்வுடன், உட்

செல்லும் ஒளிகின்ற பிறகும் வெகுநேரம் கதிர்வெளிவிடுவதாகும். கிளர்ச்சியுண்டுபண்ணும் ஒளிகின்ற பிறகும் பல நிமிடங்களுக்கு இவ்வொளிர்தல் தொடர்ந்து நடைபெறலாம். சிங்க் சல்பைடு (Zinc sulphide) கேல்ஸியம் டங்ஸ்டேட் (tungstate) போரியம் பிளேட்டினோ சயனைடு முதலிய பொருட்கள் வெகு சிறிதளவு வெள்ளி, மாங்கனீஸ் உப்புக்களைக் கொண்டிருந்தால், சிறிது நேரம் சூரிய ஒளியிலோ, விளக்கு ஒளியிலோ வைக்கப்பட்டு இருட்டறைக்குள் எடுத்துச் செல்லப்பட்டால், பல நிமிடங்களாக வெகு பிரகாசமாய் ஒளிரும். ஒளிரும் பொருட்களை 'பாஸ்பார்'கள் (phosphors) என்றும் அழைப்பர். டெலிவிஷன் கருவியின் திரையின்மீது பாஸ்பார்கள் தடவப்பட்டிருப்பதால், அதன்மீது எலக்ட்ரான் கற்றை விழும்போது அது ஒளிர்கின்றது. மெர்குரி ஒளிர் விளக்கின் உட்பாகத்தில் வெவ்வேறு பாஸ்பார்கள் தடவப் பட்டுள்ளன. மெர்குரி மின்னிறக்கத்தில் வெகு அதிசெறிவில் வெளிவிடப்படும் புற ஊதா (2537 AU.)க் கதிரை அவை உட்கிரகித்து, நமக்குப் பயன்தரும் கண்ணுறு ஒளியாக வெளி விடுகின்றன.

டாப்ளர் விளைவும் பயனும் (Doppler effect and its application)

ஓர் எளிய சோதனையைச் செய்து பார்ப்போம். இருவர் தமது சைக்கிள் வண்டிகளில், ஒருவரை நோக்கி ஒருவர் அதி வேகமாக சவாரி செய்துவரவும். அப்படி வரும்பொழுது இருவரும் தமது சைக்கிள் மணிகளை ஒலித்துக்கொண்டே வர வேண்டும். ஒருவரையொருவர் தாண்டிச்செல்லும் அந்நொடியில், ஒவ்வொருவருக்கும் மற்றவரின் மணிஒலியின் ஸ்தாயி (சுருதி) திடீரெனக் குறைவதுகேட்கும். சைக்கிள்வண்டி தம்மை நோககி வரும்பொழுது மணி ஒலியின் சுருதி உண்மையான சுருதியை விடச் சற்று அதிகமாகத் தென்படும். வண்டி தன்னைத் தாண்டி அப்புறமாகச் செல்கையில் சுருதி உண்மையான அளவை விடச் சற்றுக்குறைவாகத் தென்படும். ஆகையால் வண்டி தன்னைத் தாண்டிச் செல்லும் அந்நொடியில் சுரம் திடீரெனக் குறைவது தெளிவாகக்கேட்கும். (மணியின் உண்மை யான சுருதி என்னவென்பதை, வண்டி நிற்கும்பொழுது அதன் மணியை ஒலிததுத் தெரிந்துகொள்ளலாம். ஆனால், இது தேவையில்லை.)

அலைகளை வெளிவிடும் ஒருமூலம், கேட்பாரை நோக்கியோ அவரை விட்டுத் தூரமாகவோ செல்லுமானால், அலைகளின் நீளமும் அதிர்வெண்ணும் தமது உண்மையான அளவுகளைவிட வித்தியாசமாக அவருக்குத் தென்படும். ஒலிமூலம் அவரை நோக்கிச்சென்றால் அதிர்வெண் உண்மையான அளவைவிட

அதிகமாகவும், மூலம் அவரை விட்டு அப்பாற் சென்றால் குறைவாகவும் தென்படும். இவ்விளைவை டாப்ளர் 1842 ஆம் ஆண்டில் கண்டுபிடித்தார் ஆகையால் இதற்கு 'டாப்ளர் விளைவு' என்று பெயர் வந்தது. இது ஒலியில்மட்டுமல்ல; ஒளியிலும் விளைகிறது என்பதை ஃபீஸோ (Fizeau) கண்டுபிடித்தார். இன்றைய விஞ்ஞானத்திலும், விண்ணியல் பௌதிகத்திலும், இவ்விளைவைக் கொண்டு, அணுக்கள், மூலக் கூறுகள், விண்மீன்கள், அண்டங்கள் இவற்றின் வேகங்களை அளக்கின்றனர் வேகம் அதிகமாக, ஆக, அதிர்வெண் மாற்றமும் (அலைநீள மாற்றமும்) அதிகமாகிறது. இம் மாற்றம் எவ்வளவு என்பதைக் கவனிப் போம்.

அலைமூலம் காண்பாரை நோக்கிச் செல்லுதல் (Source moving towards Observer)

ஓர் ஒளிமூலம் v என்ற நிலையான அதிர்வெண்கொண்ட அலைகளை விட்டுக்கொண்டே, காண்பாரை நோக்கி v என்ற வேகத்துடன் செல்லுகிறதென்று வைத்துக்கொள்வோம். அலைகளின் வேகம் C என்றும், அலைநீளம் λ என்றும், அலைவுநேரம் T என்றும் கொண்டால்,

$$C = v\lambda = \frac{\lambda}{T} \qquad \therefore \quad T = \frac{\lambda}{C}$$

முதலில், ஒளிமூலம் S நிலையாக இருக்கிறதென்று வைத்துக் கொள்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அலைமுகம் (wave front) A என்ற புள்ளிக்கு வந்துசேருகிறது (படம் 64).

படம் 64. டாப்ளர் தத்துவம்: ஒளி

T வினாடிகளில் இவ்வலைமுகம் B என்ற புள்ளிக்குச் சென்றிருக்கும்; அதே சமயத்தில் அடுத்த அலைமுகம் A என்ற புள்ளிக்குவந்திருக்கும். இந்நிகழ்ச்சி ஒழுங்காக நடைபெறுகிறது. அலைமுகம் A-யிலிருந்து B-க்கு ஓர் அலைவு நேரத்தில் செல்வதால் $AB = \lambda$; இதுவே அலையின் உண்மையான நீளம். (அலைநீளம் என்பது அடுத்தடுத்துள்ள அலைமுகங்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் என்பதையும் ஞாபகத்தில் வைக்கவேண்டும்).

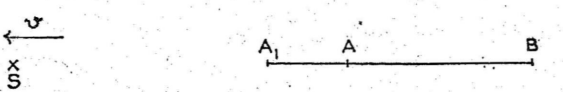
சரி. இனி, ஒளிமூலம் காண்பாரை நோக்கி v என்ற வேகத்துடன் செல்கிறதென்று வைத்துக்கொள்வோம். ஆகவே,

A-க்கு வந்துசேர்ந்த அலைமுகம் B-க்குப் போய்ச் சேர்வதற்குப் பிடிக்கும் T வினாடிகளில், ஒளி மூலம் தன் v என்ற வேகத்துடன் காண்பாரை நோக்கிச் சென்றிருக்கும்; ஆகையால், அடுத்த அலைமுகம் A என்ற புள்ளியில் அல்ல; A_1 என்ற புள்ளியில் உண்டாகும்: $AA_1 = vT$, இந்த A_1 அலைமுகம் B-க்குப் போய்ச் சேர்வதற்குள் அலைமூலம் இன்னுரு vT என்ற தூரம் வந்திருக்கு மாகையால், அடுத்த அலைமுகமும் A_1 என்ற புள்ளியில் உண்டா கிறது. இது ஒழுங்காக நடைபெறுகிறபடியால், இப்பொழுது அலைநீளம் A_1 B எனத் தோன்றுகிறது. இதை λ_1 என்று குறிப்பிட்டால்,

$$\lambda_1 = A_1B = (AB - AA_1) = \lambda - vT = \lambda - \frac{v\lambda}{C}.$$

ஆகவே காண்பாருக்கு, தன்னை நோக்கி v வேகத்துடன் வரும் ஒளி மூலத்தின் அலைநீளம் $(v\lambda/c)$ அளவு குறைவுள்ளதாகத் தோன்றுகிறது. அலைநீளம் குறைந்தால், அது ஊதா நிறப்புற மாக சற்று விலகியிருக்கும். இதற்கு 'டாப்ளர் விலக்கம்' (Doppler shift) என்று பெயர். ஒளி மூலத்தின் வேகம் v அதிக மானுல், இந்த டாப்ளர் விலக்கமும் $(v\lambda/c)$ அதிகரிக்கும் என்பது வெளிப்படை.

இவ்வாறே, ஒளிமூலம் v என்ற வேகத்துடன், காண்பாரை விட்டுத் தூரச் சென்றுல், தோன்றும் அலைநீளம்



படம் 65. மூலம் காண்பாரைவிட்டுத் தூரச் செல்லுதல்

$$\lambda_2 = A_1B = AB + AA_1 = \lambda + \frac{v\lambda}{c}$$

இப்பொழுது, ஒளி $(v\lambda/c)$ என்ற அளவு சிவப்புப் புறமாக விலக் கம் அடைந்திருக்கும்.

ஒளி மூலத்தின் நிறமாலைக் கோடுகளை ஒரு நிறமாலை வரைவி கொண்டு படம் பிடித்தால், கோடுகள் எப்புறமாக எவ்வளவு தூரம் விலக்கம் அடைந்துள்ளது என்பதை அளந்து, ஒளிமூலம் எத்திசையில் எவ்வளவு வேகமாகச் செல்கிறது என்பதைக் கணிக்கலாம். புதிய அலைநீளம் (λ_1 அல்லது λ_2) λ' என்று வைத்துக்கொண்டால், அலைநீள மாற்றம் (டாப்ளர் விலக்கம்),

$$\lambda' - \lambda = (d\lambda) = \pm v\lambda/c$$

ஒளிமூலம் காண்பாரை நோக்கி வந்தால், இவ் விலக்கம் ஊதாப் புறமாகவும் மூலம் காண்பாரைவிட்டுத் தூரமாகச் சென்றால் விலக்கம் சிவப்புப் புறமாகவும் ஏற்படும், காண்பாரின் பார்வைக் கோட்டுக்குச் செங்குத்தாக ஒளிமூலம் சென்றால், டாப்ளர் விலக்கம் ஏற்பட வழி இல்லை.

அலையின் $\nu = c/\lambda$ என்ற சமன்பாட்டைக்கொண்டு, ஒளி மூலம் காண்பாரை நோக்கி வரும்பொழுது, அதிர்வெண்

$$\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{c}{\lambda\left(1-\frac{v}{c}\right)} = \frac{\nu}{\left(1-\frac{v}{c}\right)}$$

என்று அதிகரிப்பதைக் கணிக்கலாம்.

ஒளிமூலம் காண்பாரைவிட்டு அப்பாற் செல்லும்பொழுது, அதிர்வெண்

$$\nu_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{c}{\lambda\left(1+\frac{v}{c}\right)} = \frac{\nu}{\left(1+\frac{v}{c}\right)}$$

என்று குறைகிறது.

டாப்ளர் விளைவின் பிரயோகம் (Application of Doppler effect).

ஒளியின் வேகம் (c) மிகமிக அதிகமாகையால், பூமியில் சாதாரணமாக அடையக்கூடிய வேகங்கள் (v) மிகவும் சிறிய அளவு டாப்ளர் விலக்கத்தையே உண்டுபண்ண முடியும். $\left(v\lambda = \frac{v}{c}\lambda\right.$. இதில் v/c மிகமிகச் சிறிய அளவு.$\left.\right)$ ஆகுல், விண்ணில் நாம் காணும் கோள்கள், விண்மீன்கள் இவை அதிவேகத்தில் செல்கின்றனவாகையால், அவற்றின் டாப்ளர் விளைவுகளைச் சுலபமாய் அளக்கலாம். ∴பிரான்ஹோஃபர் வரிகளைப் படம் பிடித்து, அவற்றின் டாப்ளர் விலகங்களை அளந்து, விண்மீன்கள், அண்டங்கள் இவற்றின் வேகங்களைக் கணித்துள்ளனர். அவ்வாறே சூரியனின் சுழற்சி, சனிகோளின் வளையங்கள் இவற்றையும் டாப்ளர் விளைவு கொண்டு ஆராய்ந்துள்ளனர்.

நிறமாலை வரிகளின் விரைவு (Broadening of spectral lines):

வாயுக்கள் தூண்டற்றப்பட்டு ஒளி வெளிவிடுகையில் அவற்றின் நிறமாலையை ஆராய்ந்தால், வரிகள் சிறிதளவு விரிந்து காணப்படும். இதன் காரணம் ஒளியை வெளிவிடும் அணுக்கள் வெப்பநிலை காரணமாக அங்குமிங்கும் தாறுமாறாய் வேகம் பெற்றிருப்பதாகும். நிறமாலை வரைவிக்குச் செங்குத்தாகச் செல்லும்

அணுக்கள் வெளிவிடும் ஒளியின் வரிகள் சரியான அலை நீளம் பெற்றிருக்கும். ஆனால், வரைவிக்கு நேராக அதை நோக்கியோ அதைவிட்டு அப்பாலோ பாய்ந்து செல்லும் அணுக்கள் வெளிவிடும் ஒளியின் அதேவரிகள் ($v\lambda/c$ அளவு ஊதாப் புறத்திலோ சிவப்புப்புறத்திலோ விலக்கம் பெற்றிருக்கும். வரைவிக்குச் செங்குத்தாக அல்லாமல் ஒரு கோணத்தில் செல்லும் அணுக்கள், வரைவிக்கு நேராக வேகக்கூறு (component velocity) பெற்றிருப்பதால், அவற்றின் வரிகள் வெவ்வேறு அளவு விலக்கம் பெற்றிருக்கும். இதனால் ஒவ்வொரு வரியும் சன்னமாயிராமல் தடிப்பாகத்தோன்றும். மிக்கல்சன் (Michelson) இத்தடிப்பை முதன் முதலாக அளந்து, டாப்ளரின் விளைவுப்படி அவை $\lambda(1 + v/c)$ யிலிருந்து $\lambda(1 - v/c)$ வரை விரிந்துள்ளதாகக் காண்பித்தார். திரவக் காற்றால் குளிர்விக்கப்பட்ட அணுக்கள் வெளிவிடும் ஒளியின் வரிகள் மிகச் சன்னமாக உள்ளன. ஏனெனில் அவ்வெப்பநிலையில் அணுக்களின் வேகம் மிகக் குறைவு.

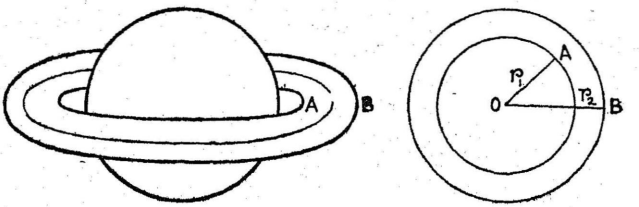
சூரியனின் சுழற்சி : நிறைமாலை வரைவியைச் சூரியனின் இடதுகோடியை (மேற்கு விளிம்பை) நோக்கிவைத்து, சூரிய ஒளியின் ஃபிரான்ஹோபர் வரிகளைப் படம்பிடித்து, பிறகு வரைவியைச் சூரியனின் கிழக்கு விளிம்பை (வலதுகோடியை) நோக்கி அதே வரிகளைப் படம் பிடித்தால், வரிகள் சிறிது நகர்ந்திருப்பது தெரியவரும். மேற்கு விளிம்பின் வரிகளெல்லாம் ஊதாப் புறமாகவும், கிழக்கு விளிம்பின் வரிகளெல்லாம் சிவப்புப் புறமாகவும் நகர்ந்திருக்கும். இதிலிருந்து சூரியனின் மேற்கு விளிம்பு நம்மை நோக்கியும், கிழக்கு விளிம்பு நம்மைவிட்டு அப்பாலும் செல்வது விளங்கும். அதாவது, சூரியன் தனது அச்சில் மேற்கிலிருந்து கிழக்குப் புறமாகச் சுழல்கிறது என்று தெரியவருகிறது. சூரியனது பரப்பில் தென்படும் சூரியப் பொட்டுகளிலிருந்தும் இதை அறியலாம்.

சனிக்கோளின் வளையங்கள் (saturns rings) :

ஒரு தொலைநோக்கிக்கொண்டு சனிக்கோளைப் பார்த்தால் அதைச் சுற்றி வளையங்கள் இருப்பது வெகுஅழகாகத் தென்படும். இவ்வளையங்கள் திடமான தட்டுப் போன்றவையா அல்லது சற்றும் பெரிதுமான கற்களும் பாறைகளும் ஒரு தேனீக்கூட்டம் போல் சனியைச் சுற்றிச் செல்கின்றனவா என்ற ரசமான கேள்வி பல்லாண்டுகளாகக் கேட்கப்பட்டுவந்துள்ளது.

அவை ஒரு திடமான தகடுபோன்றவை என்றால், அதன் வெளி விளிம்பு உள் விளிம்பைவிட வேகமாகச் செல்லவேண்டும்

ஏனென்றால், 66ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டபடி, r_1, r_2 உள் வெளி விளிம்புகளின் ஆரங்களென்றும், அவற்றின் கோண



படம் 66. சனியின் வளையங்கள்

வேகம் ω என்றும் வைத்துக்கொண்டால், உள் விளிம்பின் வேகம் $v_1 = r_1 \omega$. வெளி விளிம்பின் வேகம் $v_2 = r_2 \omega$. ஆகவே, $v_2 > v_1$ என்பது வெளிப்படை. ஆனால், வளையங்கள் சிறுசிறு பொருட்களான ஒரு கூட்டம் என்று வைத்துக்கொண்டால், நியூட்டன் ஈர்ப்பு விதிப்படி, r என்ற தூரத்தில் v வேகத்துடன் சுற்றிவரும் m என்ற நிறையுள்ள ஒரு பொருளின் முடுக்கம் (acceleration).

$$\frac{Gm}{r^2} = \frac{v^2}{r}$$

என்ற சமன்பாட்டால் தரப்படும். இதில் G என்பது ஈர்ப்பு மாறிலி (Gavitation constant). ஆகவே $Gm = v^2 r$ என்பது ஒரு மாறிலியாகும். அதாவது தூரம் (r) அதிகமாக ஆக, பொருளின் வேகம் (v) குறையவேண்டும். ஆகவே, வளையங்கள் சிறு சிறு பொருட்களாலானவை என்றால், வெளிவிளிம்பின் வேகம் உள் விளிம்பின் வேகத்தைவிடக் குறைவாயிருக்க வேண்டும்; திடமான தகட்டால் ஆனவை என்றால், வெளிவிளிம்பின் வேகம் உள் விளிம்பின் வேகத்தைவிட அதிகமாயிருக்க வேண்டும்.

நிறமாலை வரைவிகொண்டு சனி வளையங்களின் வெளி விளிம்பையும் பிறகு உள்விளிம்பையும் சோதித்தபொழுது, வெளி விளிம்பின் வேகம் குறைவாகவும், உள்விளிம்பின் வேகம் அதிகமாகவும் உள்ளதாக டாப்ளர் விலக்கத்தின்மூலம் தெரிவந்தது. ஆகவே, சனியின் வளையங்கள் சிறு சிறு பொருட்களாலானவை என்று தெரிய வருகிறது. வெகு காலத்திற்கு முன்பு, சனியின் சந்திரன் ஒன்று தாய்க்கோளுக்கு வெகு அருகில் நெருங்கியபடியால், கோளின் ஈர்ப்பு விசையால் உடைபட்டு நொருங்கிப்போனதென்றும், அப்படி நொறுங்கிய தூள்களும் துண்டுகளுமே சனியைச் சுற்றி வளையங்களாகச் சுற்றிச் செல்கின்றனவென்றும் வின் விஞ்ஞானிகள் நம்புகின்றனர்.

இரட்டை விண்மீன்கள் (Double Stars)

வானத்தில் நாம் காணும் விண்மீன்களில் ஏராளமானவை இரட்டையாக அமைந்து, ஒன்றையொன்று சுற்றி வருகின்றன, ஆனால் விண்மீன்கள் நமக்கு வெகு தொலைவிலுள்ளபடியால், தொலைநோக்கிமூலம் பார்த்தாலும் அவை ஒன்றுபோலவே தோன்றுகின்றன. இவற்றைக் கண்டுபிடித்த பெருமை டாப்ளர் விளைவைச் சாரும். விண்மீன்களின் ஒளியை ஒளிநிறவரைவி கொண்டு படம் பிடித்து பார்த்ததில், சில நிறமாலைகளின் வரிகள் சில சமயங்களில் இரட்டையாகவும்,மற்ற சமயங்களில் ஒற்றையாகவும் தென்பட்டன. இதன் காரணம். இரட்டை மீன்கள் ஒன்றையொன்று சுற்றி வருகையில், சில சமயங்களில் ஒன்று நம்மை நோக்கியும் மற்றது நம்மை விட்டு அப்பாலும் செல்லும்; அப்பொழுது ஒரு மீனின் வரிகள் இடப்புறமாகவும் மற்ற மீனின் வரிகள் வலதுபுறமாகவும் விலகமடைகின்றன. மீன்கள் இரண்டும் நமக்குச் செங்குத்தாகச் செல்கையில் வரிகள் விலக்கமடைவதில்லை. ஆகையால் இரு மூலங்களின் வரிகளும் ஒன்றன்மேலொன்றாக விழுந்து, ஒரே நிறமாலையைக் காண்பிக்கின்றன. இவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இரட்டை மீன்களுக்கு 'நிறமாலை இரட்டைகள்' (Spectroscopic binaries) என்று பெயர்.

சில மீன்களில் நிறமாலை வரிகள் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திற்குச் சிலசமயம் இடதுபுறமாகவும் சிலசமயம் வலதுபுறமாகவும் விலகமடைகின்றன. (இரட்டையாகத் தெரிவதில்லை.) இதன் காரணம் ஒரு இருண்ட விண்மீனும் ஒரு ஒளிவிடும் மீனும் ஒன்றையொன்று சுற்றி வருவதாகும். ஒளிவிடும் மீன் நம்மை நோக்கி வருகையில் வரிகள் ஒருபுறமாக விலக்கமடையும்; மீன் நமக்கு அப்பால் செல்கையில் வரிகள் மறுபுறமாக விலகமடையுமென்பது வெளிப்படை.

விரியும் பேரண்டம் (Expanding Universe)

நமது சூரியனைப்போன்ற பத்தாயிரங்கோடி சூரியர்கள் ஒரு சுருள்வடிவமாய் அமைந்து, 'பால் வீதி' (milk way) எனப்படும் நமது அண்டமாய் விளங்குகின்றன. இதைப்போன்று ஆயிரங்கோடிக்கணக்கான அண்டங்கள், வானத்தில் நாம் பார்க்கும் திசையெங்கும் பரவியுள்ளன. இதுவே நாம் வசிக்கும் பேரண்டம் (universe) 1928ஆம் ஆண்டில் அமெரிக்க விண் விஞ்ஞானி எட்வின் ஹபிள் (Edwin Hubble) ஒரு ஆச்சரியமான உண்மையைக் கண்டுபிடித்தார். இச் சுருள் அண்டங்களின் ஒளியை நிறமாலை வரைவியின் மூலம் ஆராய்ந்தபொழுது, அவற்றின் வரிகளெல்லாம் சிவப்புப் புறமாக பெரிதும் விலக்கமடைந்

திருந்தன. தூரமான அண்டங்களின் விலக்கம் அதிகமாகவும், அருகிலுள்ளவைகளின் விலக்கம் குறைவாகவும் இருந்தன. இதிலிருந்து, அண்டங்களெல்லாம் நம்மை விட்டு விலகி ஓடிக் கொண்டிருக்கின்றன என்பது தெளிவாகிறது. தூரமான அண்டங்கள் வெகுவேகத்தில் செல்கின்றன. அதிதொலைவி லுள்ள சில அண்டங்கள் வினாடிக்கு 60,000 மைல் வேகத்தில் பாய்ந்துசெல்வதாக, அவற்றின் டாட்ளர் விலக்கங்கள் தெரிவிக் கின்றன.

ஆனால், பிரம்மாண்டமான இவ்வண்டங்கள் ஏன் தூசு போன்ற பூமிக்குப் பயந்து இவ்வாறு வினாடிக்கு ஆயிரக்கணக் கான மைல் வேகத்தில் ஓடவேண்டும்?

நாம் ஒரு ரப்பர் பலூனை எடுத்து, அதனை மேற்பரப்பில் பல புள்ளிகளையிட்டு, பலூனை ஊத ஆரம்பித்தால், பலூன் விரியும் பொழுது ஒவ்வொரு புள்ளியும் மற்ற எல்லாப் புள்ளிகளையும் விட்டுத்தூரச் செல்வது தெரிய வரும். நாம் ஒரு புள்ளிமேல் இருந் தால், மற்ற புள்ளிகள் யாவும் நம்மைவிட்டுத் தூரமாக விலகிச் செல்வதுபோல் தென்படும். தூரமானவை அதிவேகமாகச் செல்லும். இதுவே பேரண்டத்திலும் ஏற்படுகிறது. விண்வெளி விரிந்து, அதிலுள்ள அண்டங்களை இழுத்துச் செல்கிறது. ஒரு அண்டத்தில் இருக்கும் நமக்கு, மற்ற அண்டங்களெல்லாம் நம்மைவிட்டு விலகியோடுவதுபோல் தோற்றமளிக்கின்றன. பேரண்டம் ஏன் விரிந்து செல்கிறது என்பது, 'பேரண்டம் எவ்வாறு உண்டாயிற்று?' என்ற கேள்வியுடன் கலந்திருப் பதால், அவற்றிற்குச் சரியான விடை இன்னும் கண்டுபிடிக்கப் படவில்லை.

அத்தியாயம் 10

வினாக்கள்

1. நிறமாலைகளின் வகைகள் யாவை? அவற்றை எவ்வாறு உண்டு பண்ணலாம்?
2. பிரான்ஹோஃபர் கோடுகள் என்பவை யாவை? எவ்வாறு உண்டாகின்றன? அவற்றிலிருந்து நாம் அறியும் உண்மைகள் யாவை?
3. ஒளிர்தல், நின்றொளிர்தல் இவற்றை விளக்கு.
4. ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் 10^8 செ.மீ /வினாடி வேகத்தில் ஒரு மின்னிறக்கத் தழாயில் பாய்ந்து செல்கின்றன. ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் நிறமாலை மானிக்கு நேராகவோ

அல்லது எதிராகவோ பாய்ந்து செல்கையில் ஹைட்ரஜன் C-வரியின் அலைநீளம் என்னவாக இருக்கும் ?

C-வரியின் உண்மை அலைநீளம் = 6563AU.

[நேராக வருகையில், $\lambda = 6541.12$ AU
எதிராகச் செல்கையில், $\lambda = 6584.88$ AU].

5. சூரியனின் மத்திய விளிம்பு 1·25 மைல்/வி. வேகத்தில் சுழன்று வருகிறதென்றால், C-வரியின் ($\lambda = 6563$ AU) டாப்ளர் விலக்கத்தைக் கணி. [±0·044 AU]

6. ஒரு விண்மீனின் நிறமாலைக் கோடுகள் யாவும் ஊதாப் புறமாக விலக்கமடைந்துள்ளன. பூமியில் 5461 AU அலைநீளமுடைய வரிவிண்மீன் நிறமாலையில் 5460·78 AU அலை நீளமாயுள்ளது. விண்மீன் பூமிக்கு எத் திசையில் என்ன வேகத்தில் செல்கிறது ?

[பூமியை நோக்கி 12.1 கிலோ மீட்டர்/வினாடி வேகத்தில் வருகிறது.]

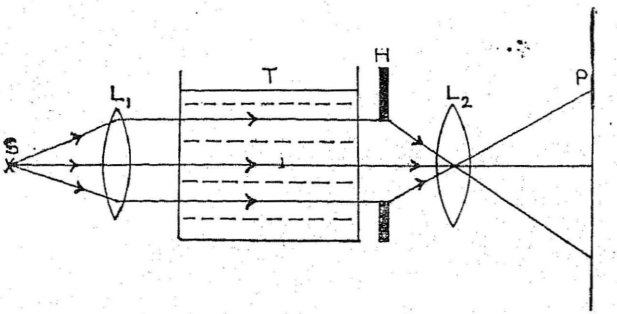
11. ஒளிச் சிதறலும் ராமன் விளைவும்

(Scattering of light and Raman Effect)

நாம் வானத்திலே காணும் நீலநிறம், சூரியன் உதிக்கும் பொழுதும் அஸ்தமிக்கும் பொழுதும் காணும் மனத்தை அள்ளும் சுவப்பு, மஞ்சள், ஊதா நிறங்கள், மேகங்களில் காணும் விதவிதமான நிறவேறுபாடுகள், ஆழக்கடலின் நீலநிறம், இவையாவும் ஒளிச்சிதறலால் ஏற்படும் விளைவுகளே. ஆகாயத்திலும் நீரிலும் உள்ள மூலசக்கூறுகளும், அவற்றில் கலந்து மிதக்கும் தூசுதுகள்களும் ஒளியைச் சிதறச் செய்வதால் இந்நிற வேறுபாடுகள் ஏற்படுகின்றன. ஒளியின் அலைநீளத்தைக் காட்டிலும் சிறிய பொருட்கள் வெள்ளை ஒளியைச் சிதறச் செய்தால், சிதறிய ஒளி நீலநிறமாயிருக்கும். ஏனெனில், மிகக் குறுகிய அலைநீள முடைய ஊதா, நீலநிறங்கள் அச்சிறிய பொருட்களால் எளிதில் திருப்பம் பெறுகின்றன. பொருளின் அளவு பெரிதாக ஆக, பச்சை மஞ்சள் நிற அலைகளும் சிதறல் பெறுகின்றன.

ஒளிச் சிதறல் எவ்வாறு பொருட்களின் அளவைச் சார்ந்துள்ளன என்பதை முதன் முதலில் ஆராய்ந்தவர், டிண்டல் (Tyndall) என்ற விஞ்ஞானியாவர், ஆகையால் இதற்கு 'டிண்டல் சிதறல்' என்ற பெயருண்டாயிற்று. சிறிய பொருட்களால் ஏற்படும் ஒளிச் சிதறலே, நீலநிறத்திற்குக் காரணம் என்பதை டிண்டல் பல் எளிய சோதனைகளால் காண்பித்தார். அவைகளொன்று 67ஆம் படத்தில் விளக்கப்பட்டுள்ளது. T என்னும் கண்ணாடிப் பாத்திரத்தில் நீர்த்த சோடியம் தயசல் பேட்டு (dilute sodium thiosulphate) திரவத்தை ஊற்றி, அதன் வழியாகப் பிரகாசமான விளக்கொளியை (அல்லது சூரிய ஒளியை) இணைக் கற்றையாகச் செலுத்தி P என்னும் திரைமீது அதன் வட்டமான பிம்பம் வீழ்த்தப்படுகிறது. பிறகு நீர்த்த கந்தக அமிலம் (dit. sulphuric acid) சிறிது சிறிதாகப் பாத்திரத்தில் சேர்க்கப்பட்டால், திரவம் நீல நிறமாகத் தென்படும்.

திரையிலுள்ள பிம்பம் மஞ்சள் நிறமாக மாறிப் பிறகு சிவப்பு நிறமாக மாறும். இதற்கு 'அஸ்தமிக்கும் சூரியன் சோதனை. (Experiment of the setting sun) என்றும் பெயருண்டு'



படம் 67. டிண்டல் ஒளிச் சிதறல்

ஏனென்றால் அஸ்தமிக்கும் சூரியனைப்போலவே காட்சியளிப்பதோடு, அத் தோற்றத்திற்குக் காரணமும் ஒன்றாயுள்ளது. எப்படியென்றால், இச்சோதனையில் நீர்த்த கந்தக அமிலமும் நீர்த்த சோடியம் தயசல்பேட்டும் கலந்தவுடன், கந்தகம் சிறுசிறு துகள்களாக உண்டாகி, அதன் உருவம் பெரிதாகின்றது. அளவு மிகச் சிறிய தாயிருக்கையில் ஊதா, நீலநிற அலைகளை அத்துகள்கள் சிதறச் செய்வதால், ஒளி செல்லும்பாதை நீலநிறமாகத தோன்றுகிறது. திரையின் பிம்பம் நீலநிறமற்றுப் போனதால், மஞ்சள் (பழுபபு) நிறமாகத் தோன்றுகிறது. துகள்களின் அளவு பெரிதாகையால், மேலும் மற்ற நிறங்கள் சிதறலாகின்றன; திரையின் பிம்பம் மிகச் சிவப்பாக மாறிக் கடைசியில் மறைந்து விடுகிறது. (கந்தகத் துகள்கள் ஒளிபுகா அளவு பெரிதாகி விடுகின்றன). சூரியன் உதிக்கும்பொழுதும் அஸ்தமிக்கும் பொழுதும் அது சிவப்பாகத் தெரிவதன் காரணமும் இதுவே. அதன ஊதா, நீலநிற அலைகள் ஆகாயத்தின் மூலக்கூறுகள், தூசுதுகளால் அதிகமாகச் சிதறலடைந்து விடுவதால், பூமிக்கு வந்து சேரும் சூரிய ஒளி சிவப்பாகத் தோன்றுகிறது.

ராலேயின் சிதறல் கொள்கை

ஆகாயத்தின் சிறு சிறு துகள்களின் ஒளிச் சிதறல் காரணமாகவே வானம் நீலநிறமாகத் தென்படுகிறது; சூரியன் உதிக்கும் பொழுதும் அஸ்தமிக்கும் பொழுதும் சிவப்பாகத் தோன்றுகிறது என்று டிண்டல் விளக்கினதோடு, ஆகாயத்திலுள்ள தூசு துகள்களை அபபுறப்படுத்திவிட்டால் ஒளிச்சிதறல் ஏற்படாது என்றும் கூறினார். ஆனால், வானம் நீலமாயிருப்பதன்

காரணம் ஆகாயத்திலுள்ள தூசுதுகள்களின் ஒளிச்சிதறலால் அல்ல; ஆகாயத்தின் மூலக்கூறுகளே இதற்குப் போதும் என்று ராலோபிரபு (lord rayleigh) கண்பித்தார். ஒரு கல்லை மழைபெய்து, ஆகாயத்தின் தூசியெல்லாம் தரைக்குக் கொண்டு வரப்பட்ட பின்னர், ஆகாயம் இன்னும் அழகான நீலநிறமாயிருப்பதை நாம் கண்கூடாகக் கண்டிருக்கிறோம் மல்வவா?

ஆகாயத்திலுள்ள வாயுக்களின் மூலக்கூறுகள் (n_2, o_2) ஒளி அலைகளை விடமிகச்சிறியவை (ஒளி அலை நீளம் சுமார் 6000 AU: ஆனால் மூலக்கூறுகளின் விட்டம் 2-3 AU தான்). ஆயினும் மூலக்கூறுகள் கோடானுகோடிக்கணக்காய் உள்ளன வாகையால் அவற்றின் சிதறலாலேயே ஆகாயம் நீலநிறமாய்த் தென்படுகிறது. என்று ராலே கூறினார். தரைமட்டத்திற்கருகில் நிறையத் தூசு துகள்கள் மிதப்பினும், சுமார் 4000 அடி உயரத்திற்கப்பால் இவை கிளம்பா. 5000 அடி உயரத்தில் கலிபோர்னியாவில் அமைக்கப்பட்டுள்ள மவுண்டு வில்சன் விண் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் ஆகாயத்தின் சிதறல் ஒளிச்செறிவைத் திருத்தமாக அளந்து, ராலேயின் கொள்கையை மெய்ப்பித்தனர். ஆகாயத்தின் நீலநிறம் மூலக்கூறுகளின் ஒளிச்சிதறலால் என்றால், ஆகாயத்தின் வாயு மண்டலத்திற்கப்பால் சென்றுவிட்டால், ஒளிச்சிதறல் ஏற்பட வழியில்லை. ஆகையால் ஆகாயம், கறுப்பு நிறமாயிருக்கவேண்டும்; சிதறல் ஒளி இல்லையென்றால், பகல்நேரத்திலும் நட்சத்திரங்களைப் பார்ப்பது சாத்தியமாகவேண்டும். இவையெல்லாம் உண்மையே என்பதை நிலாவுக்குச் சென்று வந்த அமெரிக்க அப்பொல்லோ விண்வெளி வீரர்கள் கூறியுள்ளனர். சுமார் இருநூறு மைல் உயரத்திற்கப்பால் ஆகாயம் வெற்றிடமாகையால், அதற்கப்பால் வானம் கருமையாக உள்ளதென்றும், சூரியனையும் நட்சத்திரங்களையும் ஒருங்கே வானத்தில் கண்டதாகவும் அவர்கள் கூறியுள்ளனர்.

ஆகவே, ராலேயின் கொள்கைப்படி, ஆகாயத்திலுள்ள வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளே ஒளிச்சிதறலால் வானத்திற்கு நீலநிறம் கொடுக்கின்றன என்பது உண்மையாகிறது. அவ்வாறே, ஆழமான கடலின் கருநீலநிறமும், நீரின் மூலக்கூறுகள் ஒளியைச் சிதறச்செய்வதால் உண்டாகும் ஒரு விளைவு என்று சர் சி. வி. ராமன் விளக்கியுள்ளார்.

ராலே தன் கொள்கையைக் கணிதவாயிலாக விவரித்து, பல முடிவுகளை வெளியிட்டார். ஒளிச்சிதறலுக்குக் காரணமான துகள்களோ மூலகூறுகளோ ஒளி அலை நீளத்தை விடச்சிறியவையாயிருந்தால், சிதறல்பெறும் ஒளியின் செறிவு துகள்களது

பருமனின் இருமடிக்கு (square) நேர்விகிதத்திலுள்ளது என்று காண்பித்தார். அத்துடன், துகள்களின் பருமன் ஒரு சீராயிருந்தால், சிதறிய ஒளியின் செறிவுஒளி அலை நீளத்தின் நான்மடிக்கு (fourth power) தலைகீழ் விகிதத்திலுள்ளது. என்றும் காண்பித்தார். அதாவது, ஒளியின் செறிவு I என்றும், அலைநீளம் λ என்றும் கொண்டால், $I \propto \frac{1}{\lambda^4}$ என்பது ராலேயின் ''நான்மடிவிதி (fourth power law), படுகதிர் ஒற்றை நிற ஒளியாயிருந்தால், சிதறல் பெற்ற ஒளியும் சாதாரணமாக அதே அலைநீளமுடையதாயிருக்கும்; ஆனால், செறிவு மிகக்குறைவாயுள்ளது. ஆகவே, டிண்டல் சிதறலும் ராலே சிதறலும் ஒரே தன்மையுடையவை; இரண்டும் ஓரியல் சிதறலானவை என்பது தெளிவாகிறது. ராலேயின் கொள்கைப்படி, சிதறலுற்ற ஒளி ஓரளவு தளவிளைவுற்றிருக்கும் (partially polarised), இதுவும் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது.

ராமன் விளைவு (Raman Effect)

1928ஆம் ஆண்டில் சர் சி. வி. ராமனும் அவரது சகாக்களும், ராலே சிதறலுக்கு முற்றிலும் வேறுபாடான ஒளிச்சிதறலைக் கண்டுபிடித்தனர். இதற்கு ''ராமன் விளைவு'' என்று பெயர். கண்டுபிடித்த இரு ஆண்டுகளில் ராமனுக்கு நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

மிகச்செறிவுள்ள ஒற்றை அலை ஒளிக்கற்றை சுத்தமான, தூசியற்ற பென்சீன், தொலுவீன் (toluene), கார்பன் டைசல்பைடு போன்ற அங்கக (organic)த் திரவங்களினூடே செலுத்தப்பட்டால், சிதறலுற்ற ஒளியில் படுகற்றையின் அலை நீளத்துடன் பல புதிய அலைநீளங்களும் உள்ளன என்று ராமன் கண்டுபிடித்தார். இதுவே ராமன் விளைவு.

இதை மிக எளிய உபகரணங்களைக் கொண்டு காண்பித்தார். ஒரு வட்டக்குடுவையில் தூசியற்ற சுத்தமான பென்சீனை எடுத்து, அதனூடே செறிவுமிக்க 4358 AU அலை நீளமுள்ள மெர்குரி ஒற்றை அலை ஒளிக்கற்றையைச் செலுத்தினார். அதற்குச் செங்குத்தான திசையில் சிதறிய ஒளியை ஒரு நிறமாலை காட்டிகொண்டு ஆராய்ந்ததில், தாய் வரிக்கு இருபுறத்திலும் மங்கலான வரிகள் காணப்பட்டன. அலைநீளம் அதிகமான வரிகளுக்கு ''ஸ்டோக்ஸ் வரிகள்' என்றும், அலைநீளம் குறைந்த வரிசைகளுக்கு 'எதிர் ஸ்டோக்ஸ் வரிகள்' என்றும் பெயர் வழங்கிற்று, ஸ்டோக்ஸ் வரிகளின் செறிவு எதிர்ஸ்டோக்ஸ் வரிகளைவிட அதிகமாயுள்ளது. இவ்வரிகளின் அதிர்வெண்களைக் $\left(\nu = \frac{c}{\lambda} \right)$ கணித்துப் பார்த்த

பொழுது, இவை தாய் வரிக்கு இருபுறத்திலும் சமதூரங்களில் அமையப்பெற்றிருப்பது தெரியவந்தது; தாய் வரிக்கும் ராமன் வரிசளுக்குமிடையே உள்ள அதிர்வெண் வித்தியாசங்களை 'ராமன் அதிர்வெண் விலக்கம்' (Raman frequeney shift) என்று அழைப்பர்.

பென்சீன் போன்ற ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளில் சிதறலடைவது எந்த நிற வரியாயினும், அதன் இருபுறத்திலும் ஏற்படும் ராமன் வரிகளின் விலக்கம் மாறுமல் உள்ளது. படு ஒளிக்கற்றை பின் அலைநீளம் 4358 AU, 4916 AU, 5461 AU எதுவாயினும், சிதறச்செய்யும் பொருள் மாறுமலிருக்கும் வரை, ராமன் விலக்கங்கள் மாறுமலுள்ளன. தொலுவீன் திரவத்தில் ராமன் விலக்கங்கள் வேறு அளவாய் உள்ளன. ஆகவே, கராமன் விளைவைக் கொண்டு பொருள்களின் உள் அமைப்பைப்பற்றிய உண்மைகளை அறிய ஏதுவுள்ளது என்று தெரியவருகிறது.

ராமன் விளைவு ஒளிர்தல் விளைவுக்கு முற்றிலும் வேறுபாடானது. ராமன் விளைவில், ஒளிக் குவாண்டமானது திரவத்தின் மூலக்கூறுகளுடன் மோஸ், சற்று ஆற்றல் இழந்து, அலைநீள ஏற்றத்துடன் சிதறலடைகிறது. அல்லது, கிளர் நிலையிலுள்ள மூலக்கூறுகளுடன் குவாண்டம் மோதினால், மூலக்கூறு தன் கிளர்ச்சி நிலை ஆற்றலைக் குவாண்டத்திற்குக் கொடுதது, தரை ஆற்றல் மட்டத்திற்கு வந்துசேரும். ஒளிக குவாண்டம் சிறிது அதிக ஆற்றலுடன் சிதறலடைந்து, அலைநீளம் குறைந்து வெளி வரும். இவ்விருமோதல் விளைவுகளிலும் ஒரே மூலக்கூறுகளின் ஆற்றல் நிலைகளே உட்பட்டிருப்பதால், ராமன் விலக்கங்கள் தாய் வரியின் இருபுறதத்திலும் ஒரே அளவாய், சிதறச் செயயும் பொருளின் மூலக்கூறு ஆற்றல் மட்டங்களைப்பற்றிய பல உண்மைகள் தெரியவரும்.

ν என்ற அதிர் வெண்ணுடைய ஒளிக் குவாண்டம் E என்ற உள் ஆற்றலுடைய ஒரு திரவ மூலக்கூறுடன் மோதி, ν^1 என்ற அதிர் வெண்ணுடன் வெளிவந்தால், மூலக்கூறின் ஆற்றல் E^1 என்று மாறும். அப்பொழுது ஆற்றல் அழிவின்மை விதியின் படி,

$$E + h\nu = E^1 + h\nu^1$$
$$\therefore h(\nu^1 - \nu) = E - E^1$$
$$\therefore \nu^1 = \nu + \frac{E - E^1}{h}$$

மோதலுக்குப்பின் மூலக்கூறின் வேக ஆற்றல் மாறவில்லை யென்றே கொண்டுள்ளோம், ஆற்றல் மட்டங்களில் மாற்றம்

ஏற்படுவதாலேயே மூலக்கூறின் ஆற்றல் மாறுகிறது. (வேக ஆற்றல் மாறினுல் வெப்நிலை மாறும்).

ஆகவே, $E' = E$ ஆக மாருமலிருந்தால், $\nu' = \nu$. அதாவது, தாய்வரியே சிதறி வருகிறது.

$E' > E$ என்ருல், $\nu' < \nu$: ஸ்டோக்ஸ் வரி வெளிவரும்.

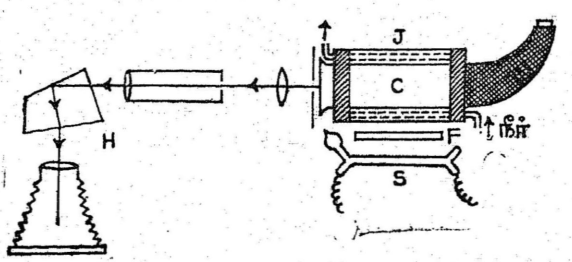
$E' < E$ என்ருல், $\nu' > \nu$: எதிர் ஸ்டோக்ஸ் வரி தரப்படும்.

$\nu' - \nu = \frac{E - E'}{h}$ என்றிருப்பதால், ராமன் அதிர்வெண் விலக்கம் மூலக் கூறுகளின் ஆற்றல் வட்டங்களைப்பற்றித் தெரிவிக்கிறது.

ராமன் வரிகளின் செறிவு மிக மிகக் குறைவானது. ஆகையால், வாயுக்களிலும் படிசங்களிலும் ராமன் வரிகளைப் படம் பிடிக்கவேண்டுமானுல், பல மணி நேரங்களாக நிறமாலை வரைவியைத் திறந்துவைத்தல் வேண்டும். திரவங்களில் ராமன் விளைவு எளிதில் உண்டாகிறது.

இராமன் விளைவு ஆராய்ச்சி (Experimental technique)

68 ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள ஆய்கருவி, வுட் Wood) என்ற விஞ்ஞானியால் நிறுவப்பட்டது. இதில் C என்ற ('ராமன் குழாய்', 2 செ.மீ. விட்டமும் 15 செ மீ. நீளமுடைய ஒரு கண்ணுடிக்குழாய். ஒருபுறம் நீளமாகக் கொம்புபோல் வளைக்கப்



படம் 68. இராமன் விளைவை ஆராய்வதற்கான ஆய்கருவிகள்

பட்டு, தார்பூசப் பெற்றுள்ளது. மறுபுறம் ஒளியியல் தளக் கண்ணுடிக் குழாயினுள் சுத்தமான, தூசியில்லா, காய்ச்சி வடித்த திரவம் நிரப்பப்பெறுகிறது. ஒளி மூலமான மெர்குரிவில் விளக்கின் முன்னே F என்ற ஒளி வடிகட்டி வைக்கப்பட்டு, மெர்க்குரியின் 4358 A.U. நீலவரி ஒன்றே மிகப் பிரகாசமாகத் திரவத்தின்மீது வீழ்த்தப்படுகிறது. [இதற்கான வடிகட்டி, நீர்த்த அமிலங்கலந்த குனைன்சல்பேட்டு (quinine Sulphate) திரவமாகும்].

ராமன் குழாய் சூடேறுவண்ணம் அதைச்சுற்றி J என்ற குழாயின்மூலம் தண்ணீர் செலுத்தப்படுகிறது. ராமன் குழாயின் முன்புறத்திலிருந்து சிதறலாகி வெளிவரும் ஒளியை, ஹில்கர் திசைமாறு நிறமாலை வரைவிகொண்டு (H) படம் பிடிக்கலாம். பென்சீன், கார்பன்டெட்ரா குளோரைடு முதலிய திரவங்களின் இராமன் வரிகளைச் சுமார் இரண்டு மணி நேரத்தில் படம்பிடித்து விடலாம்.

இராமன் விளைவின் பயன்: இராமன் விளைவைக்கொண்டு மூலக்கூறுகளின் ஆற்றலையும் அமைப்பையும் ஆராயலாம் ஒளிபோட்டான் மூலக்கூறுகளுடன் மோதி, அவற்றிற்கு ஆற்றலைக் கொடுத்தோ, அவற்றிலிருந்து ஆற்றலைப்பெறுவோ, அலைநீள மாற்றத்துடன் வெளிவருவதே இராமன் விளைவாதலால், அலைநீள மாற்றத்தை அளந்தால், மூலக்கூறுகளின் சுழற்சி, ஆற்றல், அதிர்வாற்றல் இவற்றைக் கணிக்கலாம். இவற்றைக் கொண்டு பல மூலக்கூறுகளின் அமைப்பு, அணுக்களிடையே உள்ள இணைப்பாற்றல் முதலியவற்றை ஆராய வாய்ப்பு உண்டு.

வினாக்கள்

1. ஆகாயம் நீலநிறமாயிருப்பதேன்?
2. சூரியன் உதிக்கும்பொழுதும் அஸ்தமிக்கும்பொழுதும் சிவப்பு நிறமாயிருப்பதன் காரணமென்ன?
3. ராமன் விளைவு என்பது என்ன? இதற்கும் ஒளிர்தலுக்கு முள்ள ஒற்றுமை வேற்றுமைகளை விளக்கு.
4. ராமன் விளைவைக்கொண்டு நாம் அறியப்பெறும் உண்மைகள் யாவை?

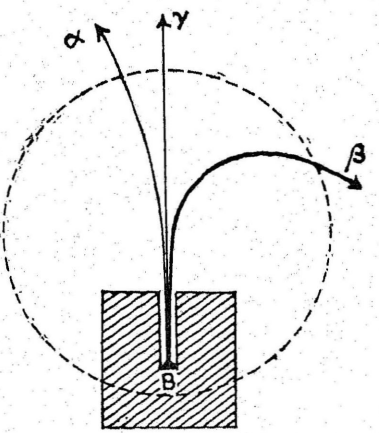
12. இயற்கைக் கதிரியக்கம்
(Natural Radioactivity)

கதிரியக்கம் என்பது யுரேனியம் போன்ற சில கனமான அணுக்கள் தமது உட்கருவிலிருந்து ஆல்பா, பீட்டா, காமாக் கதிர்களை வெளிவிட்டு, அணுமாற்றம் அடைவதாகும். கதிரியக்கக் கண்டுபிடிப்பே அணுக்கரு ஆராய்ச்சிக்கு அடிகோலிற்று. அணி நிறமாலைகள் என்பன, அணுவின் கடை சிச் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் ஓர் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து வேறு ஆற்றல் மட்டங்களுக்குத் தாவுவதால் உண்டாகின்றனவென்று முந்திய அத்தியாயங்களில் கண்டோம். அவ்வாறே தனிமங்களின் வேதியல் குணங்கள் யாவும் வெளிப்பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களையே பொறுத்தது என்றும் அறிந்தோம். உட்புறச் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரான் வெளிறேற்றப் பட்டால், அக் காலியிடத்திற்கு வெளிச் சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்கள் விழுவதால் எக்ஸ் கதிர்கள் உண்டாகின்றனவென்றும் கண்டோம். ஆனால், ஆல்பா, பீட்டா, காமா என்னும் கதிர்கள் அணுவின் உட்கருவிலிருந்து வெளிவிடப்படுகின்றன. இக் கதிர் வீச்சால், வீசும் அணுக்களில் அடிப்படையான மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன.

கண்டுபிடிப்பு : பெக்வரல் (Becquerel) என்ற பிரஞ்சு விஞ்ஞானி 1896ஆம் ஆண்டு பிபரவரி மாதத்தில் — எக்ஸ்ரே கண்டுபிடிக்கப்பட்ட சில மாதங்களுக்குள் — கதிரியக்கத்தைக் கண்டுபிடித்தார். அவர் சில படிகங்களைச் சூரிய ஒளியில் வைத்துப் பிறகு இருட்டறையில் அவை ஒளிர்தலை ஆராய்ந்து வந்தார். சில நாட்களாக மப்பு மந்தாரமாயிருந்தபடியால், பெக்வரல் தாம் அப்பொழுது ஆராய்ந்து கொண்டிருந்த பொட்டாசியம் யுரேனில் சல்பேட்டை ஒரு பெட்டியில் போட்டு வைத்தார். அதே பெட்டியில் சில போட்டோப் பிளேட்டுகளும் கறுப்புக் காகிதத்தில் சுற்றப்பட்டு வைக்கப்பட்டிருந்தன. கருப்புக் காகிதத்தில் சுற்றப்பட்டிருந்தும் அப்போட்டோத் தட்டு

கள், யுரேனிய உப்பிலிருந்து வெளிவந்த ஏதோ சில கதிர்களால் பாதிக்கப்பட்டு விட்டதை பெக்வரல் கண்டு ஆச்சரியமடைந்தார். உப்பின் எந்த அணுவிலிருந்து இக் கதிர்கள் வருகின்றன என்பதை ஆராய்ந்து, அவை யுரோனிய அணுக்களிலிருந்து வருகின்றனவென்றும்,அவை காகிதம், சன்னமான தகடு இவற்றினூடே பாய்ந்து செல்லும் ஆற்றல் வாய்ந்தவை என்றும், காற்றை அயனிக்கும் தன்மை வாய்ந்தவையென்றும் கண்டு பிடித்தார். மேரிக்யூரி (Marie curie) இவ் விளைவிற்குக் 'கதிரியக்கம்' என்ற பெயர் வைத்தார்.

இக் கதிரியக்கம் யுரேனியத்தைத் தவிர மற்ற சில பொருள்களிலுமுண்டு என்பதை விரைவில் கண்டுபிடித்தனர். பிட்ச்பிளெண்டு (pitchblende) என்னும் யுரேனியக் கனிபொருள் யுரேனியத்தைவிட, அதிக ரேடியக் கதிரியக்கம் காண்பித்தது, மேரிக்யூரியும், அவரது கணவர் பியர் (pierre) க்யூரியும் சேர்ந்து, 1898ஆம் ஆண்டில் பிட்ச்பிளெண்டிலிருந்து பொலோனியம் (Polonium), ரேடியம் (radium) என்னும் வெகு சக்திவாய்ந்த இரு கதிரியக்கத் தனிமங்களைப் பிரித்தெடுத்தனர். பொலோனியம் யுரேனியத்தைப்போல் பல மடங்கும், ரேடியம் பல இலட்சக் கணக்கான மடங்கு அதிகமுமான கதிரியக்கம் பெற்றிருந்தன, அதே ஆண்டில், ஜெர்மனியில் ஷ்மித் என்பவர் தோரியத்தில் கதிரியக்கம் கண்டார். 1899ஆம் ஆண்டில், ஆக்டினியமும்,



படம் 69.

1907ஆம் ஆண்டில் அயோனியமும் கதிரியக்கமுடையன வென்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

கதிரியக்கக் கதிர்கள் (Radioactive Rays)

க்யூரி அம்மையார் ஓர் எளிய முறையில் கதிரியக்கக் கதிர்கள் ஒரினமானவையல்ல என்பதைக் காண்பித்தார். *B* என்ற ஒரு ஈயக்கட்டையில் ஒரு துவாரம் செய்து, அதன் அடியில் கதிரியக்கப்பொருள் சிறிதளவு வைத்தால், கதிர்கள் ஏறக்குறைய இணைக்கற்றையாக வெளிவரும். படத்திற்குச் செங்குத்தாக, மேலிருந்து உட்புறமாக, ஒரு காந்தப்புலத்தைப் பிரயோகித்தால், உடனே கதிர்கள் மூன்று பிரிவாகப் பிரியும். ஒன்று சிறிதளவு இடப் புறமாக விலகிச் செல்லும்: இதற்கு ஆல்ஃபா (alpha α) க்கதிர்கள் என்று பெயர். மற்றொன்று அதிக அளவு வலப்புறமாக விலகிச்செல்லும்; இதற்கு பீட்டா (beta: β) க்கதிர்கள் என்று பெயர். மூன்றாவது பிரிவு விலக்கமின்றிநேரே செல்லும்; இதற்குக் காமா (gamma: γ) க்கதிர்கள் என்று பெயர். [ஆல்ஃபா, பீட்டா, காமா என்பவை கிரேக்கமொழியின் முதல் மூன்று எழுத்துக்கள். ஆங்கிலத்தில் A, B, C என்பவைக்குச் சமம்].

காந்தப்புலம் மேலிருந்து காகிதத்திற்கு உட்புறமாகச் செயல்படுவதால், இடப் புறமாக விலக்கமடையும். ஆல்பாகதிர் நேர் மின்னூட்டமுடைய துகள்களால் ஆனவை என்பது வெளிப்படை. அவை சிறிதே விலக்கமடைவதால், அதிக நிறையுள்ளவை என்பதும் விளங்கும். மேலும், பல சோதனைகள் நடத்தியதில், அவை ஹீலிய அணுவின் உட்கருத் துகள்களே என்பது வெளியாயிற்று. அதாவது, ஹீலிய அணு தன் இரு சுற்றுப்பாதை எலக்ட்ரான்களையும் இழந்துவிட்டால், எஞ்சியுள்ள அணுக்கருவே, யுரேனிய அணுக் கருவிலிருந்து ஆல்பாத் துகளாக வெளிவருகின்றது. பீட்டாக்கதிர், நிறை மிகக் குறைவான எதிர் மின்னூட்டமுடைய துகள்கள் என்பது தெளிவு. இவை வேகமிக்க எலக்ட்ரான்களே என்பது பின்பு வெளியாயிற்று. காமாக்கதிர் ஒளி, எக்ஸ்ரே இவற்றைப்போன்ற மின்காந்தக்கதிர். (elertromagnetic radiation), எக்ஸ்கதிர்களை விடக்குறைந்த அலை நீளமும் மிகுந்த ஊடுருவும் ஆற்றலும் கொண்டவை. இம் மூன்று விதக் கதிர்களும் போட்டோத்தட்டில் பதிவு செய்யத்தக்கவை.

ஆல்ஃபாக் கதிர்கள்,

(i) இவற்றின் நேர் மின்னூட்டம் $2e$; நிறை எண் 4, ஆகையால் இதை ${}_2He^4$ என்றும் குறிப்பிடலாம். (2 என்பது அணு எண்ணையும், 4 நிறை எண்ணையும் குறிப்பிடும். *He* என்பது தனிமத்தின் சுருக்கப்பெயர்), மின்னூட்டமும் நிறையும் மிக அதிகமாயுள்ளதால், இத்துகள்கள் காற்றினூடே செல்லும்பொழுது

வெகுவாக அயனிகளை உண்டுபண்ணும். அயனிப்பதற்கு ஆற்றல் தேவைப்படுமாகையால், துகள்கள் தம் ஆற்றலைச் சிக்கிரமே இழந்து, நின்று விடுகின்றன. அவை அயனித்துச் செல்லும் தூரத்திற்கு 'செல்தூரம்' (range) என்று பெயர். ஆல்பாக்கதிர்கள், பலதனிமங்களிலிருந்து வெளி விடப்படுபவை; காற்றில் 2·6 செ.மீ. யிலிருந்து 8·6. செ.மீ. வரை செல் தூரங்களுடையவை.

(ii) அவை பொருள்களை ஊடுருவிச்செல்லும் திறனற்றவை. ஒரு சன்னமான காகித அட்டை அவற்றைப் பெரும்பாலும் தடுத்துவிடக்கூடும். 0 005 மி.மீ. தடிப்பான அலுமினியத் தகட்டினூடே சென்றால், அதன் செறிவு பாதியாகக் குறைந்து விடும.

(iii) ஸிங்க்சல்பைடு, பேரியம் பிளேட்டினோசயனைடுபோன்ற பொருள்களின் மீது இக் கதிர் விழுந்தால், மின் மினுப்பு (scintillation) உண்டாகின்றது.

(iv) ரதர்ஃபோர்டு இக்கதிர்களின் E/M அளவை அளந்து அது ஹைட்ரஜனைப்போல் பாதி என்று கண்டார். பின்பு அவற்றின் மின்னூட்டத்தை அளந்து, ஹைட்ரஜனைபோல் இரு மடங்கான தென்றும் கண்டார். ஆகவே இதன் நிறை ஹைட்ரஜனைப்போல் நான்கு மடங்கென்பது தெளிவாகிறது. இது காரணமாகவே இத் துகளை $_2He^4$ என்று மேலே குறிப்பிட்டோம்.

பீட்டாக் கதிர்கள்.

(i) இவை அதிவேகமும் மிகச்சிறிய நிறையும் கொண்டவை ஆகையால் இவை அதிகமாக அயனிக்க இயலாதவை. ஆகவே இவற்றின் செல்தூரம் மிக அதிகம்.

(ii) 0·5 மி.மீ. தடிப்பமான அலுமினியத்தகடு இதன் செறிவைப் பாதியாகக் குறைத்துவிடும். ஆகவே இவை ஆல்பாக் கதிரைப்போல் நூறு மடங்கு ஊடுருவும் ஆற்றல் வாய்ந்தவை.

(iii) இவற்றின் e/m-ஐ அளந்து, எதிர் மின்கதிர்கதிர் e/m – ஆகவே இருக்கக்கண்டனர். அவற்றின் மின்னூட்டத்தை அளந்து, அதுவும் எதிர்மின்கதிரின் அளவாகவே ($-e$) இருக்கக் கண்டனர். பீட்டாக் கதிர்கள் அதிவேகமான எலக்ட்ரான் கற்றையே.

(iv) β—கதிர்களின் வேகம் மிக அதிகமாய், ஒளி வேகத்தில் ·099 பங்குவரை இருப்பதால், அவற்றின் e/m அளவு மாறிலியாய்

இராமல் குறைவாகக் காணப்பட்டது. ஆகவே, ஐன்ஸ்டைனின் சார்புக் கொள்கையின்படி (theory of relativity) எலக்ட்ரானின் நிறை அதிகரிக்கிறது என்று தெரியவருகிறது.

காமாக் கதிர்கள்

(i) இவை 0·1 AUக்கும் குறைவான அலைநீள முடைய மின் காந்தக் கதிர்கள்.

(ii) அவற்றிற்கு மின்னூட்டமில்லை யாகையால், அவை தொடர்ச்சியாக அயனிகளை உண்டுபண்ணுவதில்லை; ஆற்றலை இழப்பதுமில்லை. ஆகையால் இக்கதிர்களுக்கு ஊடுருவும் ஆற்றல் வெகுவாக உண்டு. பல செ. மீ. தடிப்பமான ஈயத் தகடுகளையும் ஊடுருவிச் செல்லக் கூடியவை.

(iii) காமாக் கதிர்கள் கீழ்க்கண்ட முன்று முறைகளில் தம் ஆற்றலை இழக்கலாம்:

(a) அணுக்கள், மூலக்கூறுகளால் உட்கிரகிக்கப் பட்டு, ஒளி எலக்டரான்களை வெளிவிடச்செய்வதால்;

(b) பொருட்களிலுள்ள தனி எலக்ட்ரான்களுடன் மோதி, காம்ப்டன் விளைவை உண்டு பண்ணுவதால்;

(c) பின்னல் காணும் முறையின்படி, பாஸிட்ரான்-எலக்ட்ரான் இரட்டைகளை உண்டுபண்ணுவதால்.

கதிரியக்க மாற்றம் (Radioactive Transfomation)

ஒரு யுரேனிய அணுக்கரு, இருநேர் மின்னூட்ட முடைய ஆல்பாத் துகள் ஒன்றை வெளிவிட்டால், யுரேனிய அணுக்கருவின் நேர்மின்னூட்டம் ($Z = 92$) இரு அலகுகள் குறைந்து விடும் என்பது வெளிப்படை. அதுபோலவே அதன் நிறையும் நான்கு அலகுகள் குறைந்து விடவேண்டும். ஆகவே, யுரேனிய அணு, ஆல்பாதுகளை வெளிவிட்டவுடன், வேறொரு தனிமமாக மாறி விடும் என்பது சொல்லாமலே விளங்கும். அணுஎண் இரு அலகு குறைந்து 90 ஆனால், அது தோரியத்தின் ஐசடோபாகிவிடும் என்பது வெளிப்படை. இவ்வாறு மாற்றமடைவதை

$$_{92}U^{238} \xrightarrow{\alpha} {}_{90}Th^{234}$$

என்று எழுதுவது வழக்கம்.

அவ்வாறே, கதிரியக்கப்பொருள் ஒரு பீட்டாத்துகளை வெளி விட்டால், அதன் அணுஎண் ஓர்அலகு கூடும்; நிறையில் மாற்றமிராது என்பது விளங்கும். (எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் $-e$; அதன் நிறை நிராகரிக்கத தகுதியுடையது), ஆகவே, ரேடியம் -B யானது ($Z = 82$) ஒரு பீட்டாத் துகளை வெளிவிட்டு, ரேடியம் – C ஆகிறது. இதனை,

$$82\ \mathrm{RaB}^{214} \xrightarrow{B} 83\ \mathrm{RaC}^{214}$$

என்று குறிப்பிடுவர்,

காமாக் கதிருக்கு மின்னூட்டமுமில்லை; நிறையுமில்லை-ஆகையால் காமாக் கதிர் வெளிவிடப்பட்டால் அணுமாற்றம் ஏற்படாது; ஆனால் ஆற்றல் வெளிப்படும். ஆல்பா அல்லது பீட்டாத் துகளை வெளிவிட்ட ஒரு அணு வேறொரு தனிமமாக மாறி அதன் அடிநிலை ஆற்றல் மட்டத்தைபோ, உயர்ந்த மட்டத்தையோ வந்தடையலாம். உயர் மட்டத்தை அடைந்தால், உடனே அடிநிலை மட்டத்திற்குக் குதித்து, ஆற்றலை வெளிவிடுகிறது.

ஆல்பா அல்லது பீட்டாத்துகளை வெளிவிடும் தனிமம் வேறொரு தனிமமாக மாறிவிடுவதால், கதிரியக்கமுடைய எந்தப் பொருளும் சதா தன் அளவில் குறைந்துகொண்டே போகவேண்டும். ஒரு வினாடியில் இவ்வாறு கதிரியக்கத்தால் சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை, அப் பொருளின் மொத்த எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது என்று சோதனைகள்மூலம் தெரிய வருகிறது. அதாவது, ஒரு கதிரியக்கப் பொருளில் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் N அணுக்கள் இருக்கின்றன வென்றும், அவற்றில் (dn) அணுக்கள் (dt) வினாடியில் சிதைவுறுகின்றன வென்றும் வைத்துக்கொண்டால், சோதனைகளின்படி

$$-\frac{dN}{dt} \propto N \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

dN அணுக்கள் குறைவடைகின்றபடியால் '–' குறியிடப்பட்டுள்ளது. இதை $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$, அல்லது $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$.....(2) என்று எழுதலாம். இதில் λ என்பது "சிதைவுமாறிலி" (decay constant) எனப்படும். இது ஒரு பின்னம். $\lambda = -\frac{dN/dt}{N}$ என்று இருப்பதால், இதை "ஒரு வினாடியில் சிதைவுறும் மொத்த அணுக்கள் 1000 என்றும், $\lambda = 0{\cdot}1$ என்றும் வைத்துக்கொண்டால், மேலே கூறிய விளக்கத்தின்படி, முதல் வினாடியில்

$1000 \times \cdot 1 = 100$ அணுக்கள் சிதைவுறும், இரண்டாம் வினாடியின் துவக்கத்தில் 900 அணுக்கள் தாம் உண்டு. ஆகையால் இரண்டாம் வினாடியில் $900 \times \cdot 1 = 90$ அணுககள் சிதைவடையும். மூன்றும் வினாடியில் $810 \times \cdot 1 = 81$ அணுக்கள் சிதைவுறும்.

இவ்வாறே சிதைவுறும் அணுக்களின் எண்ணுக்கையைக் கணிக்கக்கலாம்.

2ஆம் சமன்பாட்டைக் குழுநி ஆக்கினால், (Intcgrating)

$$\int \frac{dN}{N} = \int -\lambda \, dt$$

$$\therefore \log_e N = -\lambda t + K \qquad \ldots (3)$$

இதில் K என்பது, குழுநி ஆக்க மாறிலி (integration constant) ஆதி முதலில், அதாவது, $t = o$ என்றிருந்தபொழுது, கதிரியக்கப் பொருளில் No அணுக்கள் இருந்தன என்று வைத்துக்கொண்டால், $t = o$ என்றிருந்தபொழுது, $N = No$. இந்த (3)ஆம் சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$\text{Log}_e No = O + K \qquad \therefore K = \log_e No$$

ஆகவே, Kஇன் இந்த அளவை (3)ஆம் சமன்பாட்டிலிட்டு,

$$\log_e N = -\lambda t + \log_e No$$

$$\therefore \log_e \frac{N}{No} = -\lambda t$$

$$\therefore N = No\, e^{-\lambda t} \qquad \ldots (4)$$

என்ற கதிரியக்க விதியை வருவிக்கலாம். [இவ்வித 'e'—இன் அடுக்குக்கொண்ட எண்ணை ஆங்கிலத்தில் ' exponential ' எண் என்பர்],

அரைவாழ்வுக் காலம் (Half life period) :

ஒரு கதிரியக்கப்பொருள் தன் துவக்க அளவில் பாதியாகச் சிதைவதற்குத் தேவைப்படும் காலத்திற்கு ' அரை வாழ்வுக் காலம் ' என்று பெயர் (T). (4)ஆம் சமன்பாட்டில், $\frac{No}{2}$ ஆனால், அதற்குத் தேவைப்படும் காலமே T.

$$\therefore \frac{No}{2} = No\, e^{-\lambda T}$$

$$\therefore e^{\lambda T} = 2$$

மடக்கைகள் (logarithms) எடுத்தால்,

$$\lambda T = \log_e 2 = 0.6931$$

$$\therefore \quad T = \frac{0.6931}{\lambda} \qquad \ldots \quad (5)$$

அரைவாழ்வுக்காலம் கதிரியக்கப் பொருளின் சிறப்பியல்பான எண். அப்பொருள உலகின் எப்பகுதியில் கிடைத்தாலும் அதன் அரை வாழ்வுக்காலம் அதே அளவாக இருக்கும். கதிரியக்கப் பொருட்களின் அரை வாழ்வுக் காலங்கள் மிக மிகக் குறுகியவையாகவும் உண்டு; உதாரணமாக, யுரேனியத்தின் அரை வாழ்வுக் காலம் 450 கோடி ஆண்டுகள்; ரேடியம் C^1 — இன் அரை வாழ்வுக்காலம் 0·0001 வினாடி.

கதிரியக்கத் தொடர் (Radioactiv series) :

ஒரு யுரேனிய அணு $_{92}U^{238}$ ஓர் ஆல்பாத்துகளை வெளிவிட்டு $_{90}U \times_1^{234}$ ஆகிறது. ஆனால், இந்த அணுவும் நிலையற்றது. ஒரு பீட்டாத்துகளை வெளிவிட்டு, $_{91}U \times^{234}$ அணுவாகிறது. இதுவும் நிலையற்றது; ஒரு பீட்டாத் துகளை வெளிவிட்டு, $_{92}UII^{234}$ என்ற யுரேனிய ஐசோடோப்பாக மாறுகிறது. இவ்வாறே அணுக்கள் சிதைவுற்றுக்கொண்டே போய் $_{82}Pb^{206}$ என்ற ஈயமான பின்னரே நிலையான தனிமமாகிறது.

யுரேனியத் தொடரின் வெவ்வேறு தனிமங்களும், அவற்றின் சிதைவு, அரைவாழ்வுக் காலம் யாவும் கீழே தரப்பட்டுள்ளன.

வேறு இரு தொடர்கள்— தோரியம் தொடர், ஆக்டினியம் தொடர் இரண்டும்—ஏற குறைய இதேமாதிரி மாற்றங்களை அடைந்து, Pb—208; Pb—207 என்ற ஈய அணுக்களில் வந்து முடிகின்றன.

உதாரணங்கள் :

1. யுரேனியத்தின் அரை வாழ்வுக்காலம் $4{\cdot}5 \times 10^9$ ஆண்டுகளென்றால், (*a*) யுரேனியத்தின் சிதைவு மாறியையும் (*b*) 1 கிராம் யுரேனியத்திலிருந்து ஒரு வினாடியில் வெளிவிடப்படும் ஆல்பா எண்ணிக்கையையும் கணி.

(*a*) $\dfrac{0{\cdot}6931}{\lambda} = T = 4{\cdot}5 \times 10^9 \times 362 \times 24 \times 60 \times 60$ வினாடிகள்.

$$\therefore \quad \lambda = \frac{0{\cdot}693}{4{\cdot}5 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 3600} = 4{\cdot}85 \times 10^{-18}/\text{வினாடி}$$

(b) 238 கிராம் (ஒரு கிராம் அணு) யுரேனியத்தில் $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ அணுக்கள் உள்ளன.

$\therefore$ 1 கிராமில் $\frac{6{\cdot}023 \times 10^{23}}{238} = 2{\cdot}53 \times 10^{21}$ யுரேனிய அணுக்கள உள்ளன. இவற்றில் ஒவ்வொரு வினாடியிலும், λ பாகம் சிதைவுறுகின்றது. ஒவ்வோர் அணுச் சிதைவிலும் ஒரு ஆல்பாத்துகள் வெளிவிடப்படுகிறது.

$\therefore$ ஒரு வினாடியில் வெளிவிடப்படும் ஆல்பாத்துகள்களின் எண்ணிக்கை $= 2{\cdot}53 \times 10^{21} \times 4{\cdot}85 \times 10^{-18}$

$= 12{\cdot}270$

2. UX_1 தனிமத்தின் அரை வாழ்வுக் காலம் 24·1 நாட்கள். இத் தனிமம் பிரித்துவைக்கப்பட்டபின், அதன் 90 சதவீதம் UX_2—ஆக மாறுவதற்கு எத்தனை நாட்களாகும் ?

$$\lambda = \frac{{\cdot}6931}{24{\cdot}1} \text{ / நாள்}$$

$$No = Noe^{-\lambda t}$$

90 சதவீதம் $U \times_2$—ஆக மாறிவிட்டால், மீதியுள்ள $U \times_1$ 10 சதவீதம் $\frac{N}{No}$ 10 % $= 0{\cdot}1$

$\therefore 0{\cdot}1 = e^{-\lambda t}$

$\therefore e^{\lambda t} = \frac{1}{{\cdot}1} = 10$

$\therefore \lambda t = \log_e 10 = 2{\cdot}303$

$\therefore t = 2{\cdot}303 \times \frac{24{\cdot}1}{{\cdot}6931} = 80$ நாட்கள்

வினாக்கள்

1. ஆல்பா, நீட்டா, காமக் கதிர்களின் குணங்களென்ன ?
2. அரை வாழ்வுக் காலம், சிதைவு மாறிலி இவற்றை விளக்கி, அவற்றிற்குள்ள சம்பந்தத்தை வருவி.
3. ஆரம்பத்தில் 100 மில்லி கிரமே அளவாயிருந்த ரேடியம் 472 ஆண்டுகளுக்குப்பின் எவ்வளவாயிருக்கும் ?

(ரேடியத்தின் அரை வாழ்வு காலம் 1600 ஆண்டுகள்).

[சென்னை 1961

[81·87 மில்லி கிராம்]

1. ஒரு கிராம் ரேடியத்திலிருந்து ஒரு வினாடிக்கு $3\cdot67\times10^{10}$ ஆல்பாத்துகள் வெளிவிடப்படுகின்றன. ரேடியத்தின் அரை வாழ்வுக் காலத்தை ஆண்டுகளில் கணி.

(ரேடியத்தின் அணு எடை 226)

[குறிப்பு :

226 கிராம் ரேடியத்தில் $6\cdot023\times10^{23}$ அணுக்கள் உள்ளன.

$\therefore$ 1 கிராமில் $\frac{6\cdot023\times10^{23}}{226} = 2\cdot665\times10^{21}$ அணுக்கள் உள்ளன.

இதில் $3\cdot67\times10^{10}$ அணுக்கள் ஒவ்வொரு வினாடியும் சிதைவுறுகின்றன.

$\therefore \lambda = 3\cdot67\times10^{10}/2\cdot665\times10^{21}$: $T = \frac{\cdot6931}{\lambda}$]

[1595 ஆண்டு]

13. அயனிக்கதிர் உணர் கருவிகள்

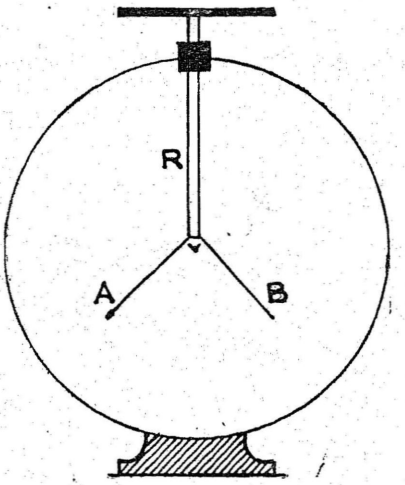
(Devices for the Detection of Ionizing Radiation)

பெக்வரல் முதன் முதலில் கண்டுபிடித்த தன்மையாகிய அயனிக்கும் ஆற்றலைக்கொண்டு, ஆல்பா, பீட்டா, காமாக் கதிர்களைக் காணவும் அளக்கவும் வாய்ப்புகள் கிடைக்கின்றன. மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களைச் சுற்றிலும் பலத்த மின்புலனுண்டு. ஆகையால் ஆல்பா, பீட்டாத் துகள் வாயுக்களினூடே செல்கையில், வாயு அணுக்களின் சுற்றுப்பாதையில் செல்லும் எலக்ட்ரான்களை வெளிப்படுத்தி, அணுக்களையும் மூலக்கூறுகளையும் அயனிக்கின்றன. மின்னூட்டம் அதிகமானால் அயனிக்கும் ஆற்றலும் அதிகமாகிறது. மேலும், வேகம் குறைவாகச் செல்லும் துகள் அணுக்களினருகே அதிக நேரமிருப்பதால், வேகமாய்ப் பாய்ந்து செல்லும் துகளை விட அதிகமான அயனிகளை உண்டுபண்ண முடிகிறது. காமாக் கதிர் மின்னூட்டமற்றிருப்பதால், நேரடியாக அயனிகளை உண்டுபண்ண முடியாது. ஆனால், அணுக்களிலிருந்து ஒளி எலக்ட்ரான்களையும் காம்ப்டன் எலக்ட்ரான்களையும் போதிய ஆற்றலுடன் வெளியேற்றுவதால், அவை வாயுக்களை அயனிக்கின்றன.

அயனிக்கும் கதிர்களை மொத்தமாகவும் தனித்தனித் துகள்களாகவும் அளப்பதற்கு முறைகள் உள்ளன. இதற்காக, கருவிகள், கதிர்களின் அயனிக்கும் தன்மையைக்கொண்டும், ஒளிர்தல் குணத்தைக்கொண்டும், ஒளி உணர் விளைவாகக்கொண்டும் கதிர்களை அளக்கின்றன. அவற்றில் சிலவற்றை இங்கு விவரிப்போம்.

1. தங்க இலை எலக்ட்ரஸ்கோப் (Gold leaf Electrocope)

சில நூற்றாண்டுகளுக்கு முன்பு அயனிக்கும் தன்மையை அளப்பதற்குத் தங்க இலை எலக்ட்ரஸ்கோப் ஒன்றேதான்



படம் 70. தங்க இலை எலக்ட்ராஸ்கோப்

கிடைத்தது. இதில் R என்ற உலோகத்தண்டின் நுனியில் இரு வெகு சன்னமான A, B என்னும் தங்க இலைகள் தொங்கவிடப் பட்டுள்ளன. தண்டின் வழியாக இலைகளுக்கு மின்னூட்ட மளித்தால், அவை ஒன்றையொன்று எதிர்த்து விரிகின்றன. அவற்றைச் சுற்றியுள்ள காற்று அயனிக்கப்பட்டால் அவை மின்னூட்டமிழந்து, மெதுவாக ஒன்றுக்கொன்று அருகே சேருகின்றன. ஒரு மைக்ராஸ்கோப்மூலம் இவ்வாறு ஒன்று சேரும் வேகத்தைக் கணித்தால், காற்று அயனிக்கப்படும் வேகமும், அயனிக்கும் கதிரின் செறிவும் தெரியவரும்.

(ii) அயனிக் கலன் (Ionization Chamber)

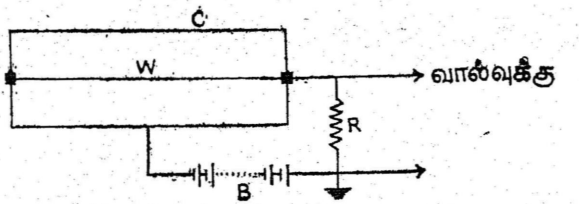
இது ஒன்பதாம் அத்தியாயத்தில் (45-ம் படத்தில்) விவரிக்கப்பட்டுள்ளது.

(iii) கைகர்—முல்லர் எண்ணி (Geiger—Muller Counter)

கைகரும் முல்லருமாகச் சேர்ந்து அமைத்த இவ் வெண்ணி ('G. M. கணிப்பான்' என்றும் சொல்லப்படும்) தனித்தனித் துகள்களை எண்ணக்கூடிய ஒரு கருவி. இதில் C என்ற ஓர் உலோ-

கக் குழாய்க் கலனுக்குள் காற்று அல்லது வேறுவித வாயு சுமார் 10 செ.மீ. அழுக்கத்தில் அடைக்கப்பட்டுள்ளது. W என்ற கம்பி, குழாயின் அச்சில் இறுக்கமாக, குழாயுடன் மின்தொடர் இல்லாத வாறு, இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளது. B என்னும் பாட்டரி கொண்டு கலனுக்கும் கம்பிக்குமிடையே சுமார் 1000 – 3000 வோல்டு மின்னழுத்த பேதம் செயல்படுகிறது. குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தில் இம் மின்னழுத்தம் மின்னிறக்கம் உண்டுபண்ணுவதற்குச் சற்றுக் கீழாக உள்ளது.

ஒரு ஆல்பாத் துகள் குழாய்க்குள் நுழைந்தால், அது உண்டு பண்ணும் அயனிகள் வாயு மூலக்கூறுகளுடன் மோதி, ஏராள மான அயனிகளை தொடிப்பொழுதில் உண்டுபண்ணுவதால், குழாயில் திடீரென மின்னிறக்கம் ஏற்படுகிறது. இத் துடிப்பு மின்னிறக்கம் R என்ற மின்தடை வழியாகப் பாய்வதால் ஏற்படும் மின்னழுத்தம் வால்வுச் சுற்றுகளால் பெருக்கப்பட்டு,



படம் 71. கைகர்—முல்லர் எண்ணி

கணிப்பாண்களை இயக்குகிறது. இவ்வாறு தனித்தனி அயனித் துகள்கள் வருவதையும் இக் கணிப்பான் அளந்து காட்டுகிறது. மின்துடிப்பு பாயும்பொழுது, அயனிகள் மின்துருவங்களுக்கு இழுத்துச் செல்லப்பட்டு விடுவதால், அடுத்தத் துகள் வருவதைக் கணிக்க கருவி தயாராகிவிடுகிறது.

ஆற்றல் குறைவாயுள்ள துகளகள் கலனின் சுவர் வழியாய் உட்புகா. ஆகவே அவற்றை அளக்க, சன்னமான தடிப்பம் கொண்ட ஜன்னலொன்று கலனின் சுவரில் அமைக்க வேண்டும்.

(iv) வில்சனின் மேகக் கலன் (Wilson's Cloud Chamber)

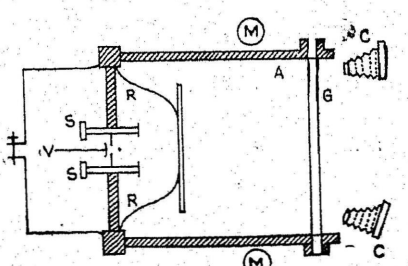
1911ஆம் ஆண்டில் C.T.R. வில்சனால் அமைக்கப்பட்ட இக் கலன், அயனிக்கும் துகள்களை ஆராய்வதில் அரிய பணி செய்துள்ளது. இதைக்கொண்டு தனித்தனித் துகள்களின்

பாதைகளைப் படம்பிடித்து, சாவகாசமாய் அவற்றை ஆராயலாம். இக் கருவியை நிறுவியதற்காக வில்சனுக்கு 1927ஆம் ஆண்டில் நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

ஒரு கலனில் உள்ள தெவிட்டிய ஆவியை (saturated vapour) திடீரென விரிவடையச் செய்தால், ஆவி மீக்குளிர்வடைந்து (super-cooled), கலனிலுள்ள தூசுகள்மீது நீர்த்திவலைகளாகப் படிகிறது.

இது ஒரு 'மேகம்' போல் கலனில் உண்டாகி, மெதுவாகக் கீழே இறங்கிப் படிந்துவிடுகிறது. கலனில் தூசு எதுவுமில்லை யென்றால், 'மேகம்' உண்டாவதில்லை. (மின்னூட்டமற்ற அணு, மூலக்கூறுகளின்மீது நீர்த்திவலை உண்டாவதில்லை). ஆனால், ஆவி மிகக் குளிர்வடையும்பொழுது, கலனில் அயனி களிருந்தால் அவற்றின்மீது நீர்த்திவலை உண்டாகும் என்ற உண்மையை வில்சன் கண்டுபிடித்தார். ஆகவே, ஆவி விரிவடை யும்பொழுது, கலனுக்குள் அயனிக்கும் துகள் ஒன்று பாய்ந்து சென்றால், அதன் பாதையில் உண்டாகும் அயனிகளின்மீது நீர்த்திவலைகள் உண்டாகி, துகளின் பாதையைக் காணவும், படம்பிடிக்கவும், உதவுகிறது.

வில்சனின் மேகக் கலனில், **A** என்ற ஒரு பெரிய கலனின் முன்பாகம் **G** என்ற கண்ணாடியால் மூடப்பட்டுள்ளது. **P** என்ற ஒரு பிஸ்டன் (piston) **R**, **R** என்ற ரப்பர் தகடுகளால் தாங்கப் பட்டு, சுலபமாகவும், வேகமாகவும் விரிவடைவதற்கு உதவு கிறது. **S. S.** என்ற திருகுகளை முன்னே பின்னே நகர்த்தி, விரிவடைவதன் அளவைக் கட்டுப்படுத்தலாம். **P** க்குப் பின்னுள்ள இடம் **V** என்ற வால்வால் அடைக்கப்பட்டு,



படம் 72. வில்சனின் மேகக் கலன்

அழுத்தம்மிக்க காற்றால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. அதற்குப் பின் னுள்ள **B** என்னும் அறை சிறிது வெற்றிடமாக உள்ளதால்,

வால்வு (V) திறக்கப்பட்டவுடன் காற்று B க்குள் பாய்ந்து, பிஸ்டன் வெகுவிரைவில் (.005 வினாடிக்குள்) விரிவடைதலை முடித்துவிடுகிறது. அச் சமயத்தில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் எதுவும் A அறைக்குள் சென்றுகொண்டிருந்தால், அதன் பாதையிலுண்டாகும் அயனிகளின்மீது நீர்த்திவலைகள் படிந்து, ஒளிமிக்க விளக்குகளால் படம் பிடிக்கப்படுகின்றன.

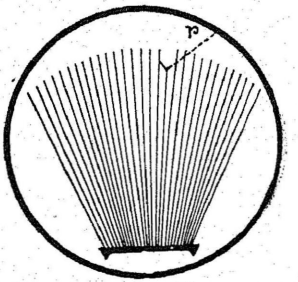
ஆனால், ஆவி விரிவடையும் தருணத்தில் ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் A அறைக்குள் சென்று, கொண்டிருக்கும் என்ற நிச்சயமில்லை. மேகக் கலன் உபயோகத்திற்கு வந்த காலத்தில் ஒரு துகளின் பாதையைப் படத்தில் காணச் சுமார் 15, 20 விரிவுகள் நடத்திப் படம் பிடிக்க வேண்டியிருந்தது. ஆனால், 1932ஆம் ஆண்டில் ஆங்கில விஞ்ஞானி P. M. S. பிளாக்கட் (Blacket) ஒரு சாதுரியமான முறையைப் புகுத்தினார். அதாவது A—அறைக்கு மேலும் கீழும் MM என்ற இரு கைகர்–முல்லர் எண்ணிகளை ஒன்றித்து பிணைத்துவைத்தார். ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் இவ்விரு எண்களினூடே சென்றால், A அறையினூடே கட்டாயம் சென்றுக வேண்டும். இவ்விரு எண்ணிகளும் உண்டு பண்ணும் மின்னழுத்தங்கள் பெருக்கப்பட்டு, வால்வு (V) திறப்பதற்கும், விளக்கைப் போட்டுக் காமிராவை அழுத்திப் படம் பிடித்துப், படலத்தைச் சுழற்றி, அடுத்த துகளுக்காகத் தயாராக்கி வைப்பதற்கும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆகவே, எண்ணியால் இயக்கப்படும் மேகக் கலன், நேரமும் படலமும் சேதப்படாமல், தானுகத் துகள்களைப் படம்பிடித்துக்கொள்ளும் திறன் வாய்ந்தது. இதை அமைத்த பிளாக்கட்டுக்கு 1948ஆம் ஆண்டில் நோபல பரிசு கிடைத்தது.

ஓர் ஆல்பாத் துகள் தன் பாதையில் ஏராளமான அயனிகளை உண்டுபண்ணுவதால், நீர்த்திவலைகள் ஒன்றோடொன்று சேர்ந்து தெடர்ச்சியான. தடிப்பமான கோடு உண்டாகிறது. புரோட்டான் அவ்வளவு அதிகமான அயனிகளை உண்டுபண்ணுவதில்லையாகையால், அதன் பாதை சன்னமான, ஆனால் தொடர்ச்சியான கோடாகத் தோன்றுகிறது. எலக்ட்ரான் சில அயனிகளையே உண்டுபண்ணுவதால், அதன் பாதை மிகச் சன்னமாகவும் தொடர்சசியற்றும் இருக்கும். ஒரு நுண்ணோக்கிமூலம் அதைப் பார்த்தால், தனித்தனி நீர்த்திவலைகளைக் காணலாம். காமாக் கதிருக்கு மின்னூட்டமில்லையாகையால், அதன் பாதையில் தொடர்ச்சியாக அயனிகளுண்டாகா. ஆனால், இது வெளியேற்றும் காமட்டன் எலக்ட்ரான்கள் சிறுசிறு பாதைகளை உண்டுபண்ணும் சில சமயங்களில் காமாக்கதிர் உட்கிரகிக்கப்பட்டு ஒரு ஒளி

எலக்ட்ரானை வெளிவிடலாம். அல்லது, காமக்கதிர் எலக்ட்ரான் பாசிட்ரான் இரட்டையாக மாறி, இருபாதைகளை உண்டுபண்ணலாம். (இதைப் பின்னால் காண்போம்.)

படத்திற்குச் செங்குத்தாக ஒரு காந்தப் புலத்தைச் செயல்படச் செய்தால், மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் வளைந்து செல்லும். பாதையின் வளைவை அளந்து, துகளின் உந்தத்தைக் கணிக்கலாம்.

A அறைக்குள் ஒரு சிறிது கதிரியக்கப் பொருளை வைத்தால், ஆல்பாத் துகள் சதா வெளிவிடப்பட்டுக் கொண்டிருக்கும். ஆகையால், விரிவு ஏற்படும் பொழுதெல்லாம் பாதைகள் உண்டாகும். அப்படி ஆரம்பத்தில் எடுக்கப்பட்ட படமொன்றில், வாயுவின் மூலக்கூறிலிருந்து ஆல்பாத் துகளால் வெளியேற்றப்பட்ட ஒரு புரோட்டனின் பாதை (p) சன்னமாகத் தென்பட்டது. (படம் 73). அத்துடன், பின் உதைப்புண்ட அணுக்கருவின் குறுகியதடிப்பமான பாதையும் காணப்பட்டது. இதிலிருந்து, அணுத்துகள்களுக்கிடையே நடைபெறும் வினையாக்கங்களை நேரில் படம்பிடிக்க மேகக் கலன் எவ்வளவு உதவுகிறது என்பது வெளியாகிறது.



படம் 73. ஆல்பாத் துகள்களின் பாதைகள்

மேகக் கலனைக்கொண்டே ஆண்டர்சன் (Anderson) பாசிட்ரானைக் கண்டுபிடித்தார். ஆண்டர்சனும் நெட்டர் மேயரும் (Neddermeyer) மீசானை (Meson)க் கண்டுபிடித்தனர். மேகக் கலனின் முக்கியத்துவம் இவற்றிலிருந்து தெரியவருகிறது.

(V) குமிழிக்கலம் (Bubble chamber) :

1952ஆம் ஆண்டில், மிஷின்கன் பல்கலைக் கழகத்தின் பேராசிரியர் D. A. கிளேசர் (Glaser) இக் கருவியை அமைத்து, ஐந்தாண்டுகளுக்குப் பின்னர், நோபல் பரிசு பெற்றார். மேகக் கலனியில் மீக்குளிர்விக்கப்பட்ட ஆவி பயன்படுத்தப்படுகிறது. குமிழிக் கலனில் மீவெப்பமேற்றிய (Superheated) திரவம் செயல்படுகிறது. மேகக்கலனின் ஒரு குறை என்னவென்றால், கலனில் அடர்த்தி குறைந்த வாயுக்களே செயல்படுவதால், அரிய வினையாக்கங்கள் எதுவும் நடைபெறு முன்னர் துகள்கள் பெரும்பாலும்

கலனைவிட்டு, வெளியேறி விடுகின்றன. ஆகவே, கிளேசர், கலனில் மீவெப்பமேற்றியே திரவங்கள் எடுத்து, அவற்றினூடே மின்னூட்டல் பெற்ற துகள்களைச் செலுத்தியபொழுது, அயனிகளின் மீது சிறுசிறு குமிழிகள் உண்டாகி, துகளின் பாதைகளைத் தெளிவாகக் காண்பித்தன. திரவத்தின் அடர்த்தி வாயுக்களைப் போல் நூறு மடங்கு அதிகமாகையால், பாதையில் அடர்த்தியாகத் துகள்கள் எதிர்ப்படும். விளையாக்கம் வெகுவாக உண்டாவதற்கு வாய்ப்புகள் கிடைக்கும்.

சாதாரணமாக, ஒரு திரவத்தின் வெப்பநிலை அதன் கொதிநிலைக்கு வந்தவுடன், திரவம் குமிழிகளை வெளிவிட்டுக் கொதிக்க ஆரம்பிக்கும். ஆனால், அதன்மீது அதிகமான அழுத்தம் செயல்பட்டால், அதன் கொதிநிலை உயர்ந்து, இயல்பான கொதிநிலைக்கு மேல் 30°. 40° அதிக வெப்பநிலையடைந்தாலும், கொதிப்பு ஏற்படாமல் நிற்கும். அப்பொழுது, திடீரென்று அழுத்தத்தைக் குறைத்தால், திரவம் மீ.வெப்ப நிலையை அடைந்துவிடும். அச் சமயத்தில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் ஒன்று அத் திரவத்தினூடே சென்றால், அது உண்டுபண்ணும் அயனிகளைச் சுற்றிலும் சிறு சிறு குமிழ்கள் உண்டாகி அதன் பாதையை வெளிப்படுத்தும். பிரகாசமான விளக்குகளைக்கொண்டு பாதையைத் துலக்கி, காமிராக்களால் அதைப் படம்பிடிக்கலாம். மேகக் கலனி போலவே, காந்தப் புலத்தைக்கொண்டு துகள்களை வளைத்து, அவற்றின் மின்னூட்டம், உந்தம் இவற்றையும் கண்டு பிடிக்கலாம்.

ஆரம்பத்தில் குமிழிக் கலனில் ஈதரை (Ether)ப் பயன்படுத்தினர். நாளடைவில் திரவ ஹைட்ரஜன், திரவ நைட்ரஜன் ஐசோ பென்டேன் (Isopentane) முதலிய பல திரவங்கள் உபயோகத்திற்கு வந்தன. உதாரணமாக, ஐசோ பென்டேன் சாதாரணமாக 28° C—இல் கொதிக்கிறது. அதன்மேல், 23 வளியழுத்தம் (Atmospheric pressure) செயல்படுத்தி, 157° C-க்குச் சூடேற்றப்பட்டது. பின் திடீரென அழுத்தத்தைக் குறைத்து, உடனே சைக்ளட்ரானிலிருந்து வெளிவரும் அதி ஆற்றல் பெற்ற துகள்களை மீவெப்பத் திரவத்தினுள் பாய்ச்சினர். சிறுசிறு குமிழிகள் துகள்களின் பாதைகளில் உண்டாகி, பாதைகளை வெளிப்படுத்தின. விளக்கொளியால் அவற்றைத் துலக்கிப் படம் பிடித்தனர்.

VI அணுக்கரும் பசை முறை (Nuclear Emulsion Technique)

கதிரியக்கக் கதிர்கள் போட்டோ பசையின்மீது செயல்பட்டதாலேயே, அவை கண்டுபிடிக்கப்பட்டன என்று முன்பு பார்த்

தோம். ஆயினும் போட்டோப் பசை அக் காலத்தில் மிக்க உணர் வற்றும், கண்ணுடித் தட்டின்மீது மிகச் சன்னமாகத் தடவப்பட்டு மிருந்ததால், துகள்களின் பாதைகளை ஆராய்வதற்கு அவை பயனற்று இருந்தன. சில ஆண்டுகளாகத்தான் இப் பசைகள் அணுக் கருத்துகளின் பாதைகளை காண்பிக்கும் அளவு உணர்வுள்ளவையாகவும், அதிக தடிப்பாகவும், தயார் செய்யப் பட்டு, மின்னூட்டத் துகள்களை ஆராய்வதற்குப் பெரிதும் உதவி வருகின்றன. இவற்றிற்கு 'அணுக் கருப்பசைகள்' என்று பெயர் தரப்பட்டுள்ளது.

வெள்ளைப் புரோமைடு பசை ஒரு மின்னூட்டத் துகளால் மோதுண்டால், அதில் அறியப்படாத ஒரு மாறுதல் ஏற்படு கிறது. அதன்பின் அப் பசையை உருத் துலக்கினால் அது கறுப்பு வெள்ளி ஆகிவிடுகிறது. ஆகையால், ஒரு மின்னூட்டமுடைய துகள் இப் பசையினூடே சென்றால், அதன் பாதை நிரந்தரமாகப் பதிவு செய்யப்பட்டுவிடுகிறது. தற்பொழுது இப் பசைகள் கண்ணுடித் தகடின்றித் தனியே தயார் செய்யப்படுவதால், அவற்றை ஒன்றன்மேலொன்றாய் அடுக்கிவைத்து, துகள்களின் பாதைகளை வெகு தூரத்திற்குப் பதிவு செய்யலாம். பசையின் அடர்த்தி வெகு அதிகமாகையால், துகள்கள் அதனூடே அதிக தூரம் செல்லுமுன் முக்கியமான விளைவுகள் பல ஏற்படுகின்றன.

இப் பசை முறையின் இருசிறப்புகள் என்னவென்றால், இது தொடர்ச்சியாகத் துகள்களைப் பதிவுசெய்யக்கூடியது. (மேகக் கலன், குமிழிக் கலன் இவை, விரிவுண்டாகும் கணத்தில் மட்டுமே பதிவு செய்யக்கூடியவை.) அத்துடன், பசைகள் மிக லேசானவை யாகையால், சுமார் 100 அல்லது 150 பசைகளை அடுக்கி, ஒளி புகாவண்ணம் கறுப்புக் காகிதத்தால் சுற்றி, பலூன்களின் உதவி யால் 140,000 அடிகளுக்கு மேற்பட்ட உயரத்திற்கு அனுப்பி, முதன்மைக் காஸ்மிக் கதிர்களை (Primary cosmic radiation) ஆராய்கின்றனர்.

இவ்வித ஆராய்ச்சிகளுக்கு வேறெந்த முறைகளும் பயன் படா வென்பது வெளிப்படை. இம் முறையால் மிகவும் முக்கிய மான பல விளைவுகள் கண்டிபிடிக்கப் பட்டன. உதாரணமாக, $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ சிதைவுகள், அணுக்கரு உடைபட்டு அதனால் ஏற்படும் "காஸ்மிக் கதிர் நட்சத்திரம்" (cosmic ray star), காஸ் மிக்கதிரில் கனமான அனுக்கருக்கள் உள்ளன என்பது போன்ற பல முக்கியமான உண்மைகள் இம் முறையில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டன. இவற்றை 18-ஆம் அத்தியாயத்தில் விவரமாய்க் காண்போம்.

வினாக்கள்

1. வில்சனின் மேகக்கலன், அணுக்கருப் பசைமுறை, இவற்றை விவரித்து அவற்றின் சிறப்புக்களை ஒத்திட்டு விளக்கு.

2. கதிரியக்கக் கதிர்களைக் கண்டுபிடிக்கவும் அளக்கவும் பயன்படும் கருவிகளை விவரி

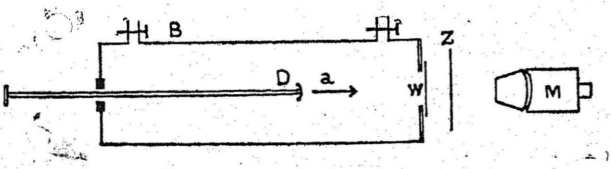
14. தனிமங்களின் செயற்கைப் பண்பு மாற்றம்

(Artificial Transmutation of Elements)

பழங்கால ரசவாதிகள் (alchemists) கீழ்த்தரமான உலோகங்களைத் தங்கமாக மாற்றுவதற்குப் பலமுறைகளைக் கையாண்டனர். 'ஞானியின் கல்' (Philosopher's stone) என்ற கல் ஒன்று உண்டென்றும், அதைக்கொண்டு கீழ்த்தர உலோகங்களைத் தொட்டால், அவை தங்கமாக மாறிவிடுமென்றும் நம்பி, அக்கல்லுக்காக உலகமெங்கும் தேடித்திரிந்தனர்! தங்கள் ஆய்வுக் கூடங்களில் அதிக வெப்பம், அழுத்தம், மிகக்குளிர்வு, அமுக்கக் குறைவு இவற்றையும், வெவ்வேறு வேதியல் முறைகளையும் கொண்டு செம்பு, இரும்பு முதலிய உலோகங்களைத் தங்கமாக மாற்ற முயன்றனர்! ஒரு தனிமத்தை வேறொரு தனிமமாக மாற்ற வேண்டுமானால், அதன் அணுக்கருவின் தன்மையை மாற்றியாக வேண்டுமென்ற உண்மை அவர்களுக்குத் தெரியாது. அவர்கள் கையாண்ட முறைகளெல்லாம் (வெப்ப, அழுத்த மாற்றல்கள்) அணுவின் வெளிச்சுற்றுப் பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களை மட்டுமே பாதித்தன; அணுக்கருவை அணுகவில்லை. போக்கிரி ஒருவன் தன் கெட்ட குணத்தை மாறறுவதற்காக, சோப்பையும் வெந்நீரையும் கொண்டு முகத்தைக் கழுவி, பவுடர் போடுவதற்கொப்பாகும் ரசவாதிகளின் முயற்சி! மாற்றம் தேவைப்படுவது உள்ளே; மனதில்.

ஆனால், கோடிக்கணக்கான ஆண்டுகளாய், ரசவாதிகளுக்குத் தெரியாமல், இயற்கை அப்படிப்பட்ட மாற்றத்தை உண்டு பண்ணிக்கொண்டே வந்தது. கதிரியக்கத்தில் ஒரு தனிமம் மற்றொரு தனிமமாய் சதா மாறிக்கொண்டே இருப்பதை அவர்கள் அறியவில்லை.

முதன்முதலாக இவ்வாறு ஒரு தனிமத்தை மற்றொன்றுகச் செயற்கை முறையில் மாற்றிய பெருமை ஆங்கில விஞ்ஞானி ரதர்ஃபோர்டையே (Rutherford) சாரும். அவர் 1919ஆம் ஆண்டில் முதன்முதலாக நைட்ரஜனை ஆக்ஸிஜனுக மாற்றி, செய்கை அணுக்கரு மாற்றமுறைகளைத் துவக்கி வைத்தார். அவரது உபகரணம் 74ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. B என்ற பெட்டியில் ஒரு தண்டு செருகப்பட்டு, அதன் நுனியி லுள்ள D என்னும் தட்டில் Rac தடவப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து



படம் 74. ரதர்ஃபோர்டின் செயற்கை மாற்ற உபகரணம்

வெளியிடப்படும் ஆல்பாத் துகள் பெட்டியின் கோடியிலுள்ள W என்னும் ஜன்னல் வழியாக வெளியே சென்று, எதிரில் வைக்கப்பட்டுள்ள Z என்னும் ஸிங்க்சல்பைடு திரையில்மோதி, மினுக்கம் உண்டுபண்ணுகின்றன. இதை M என்ற மைகிராஸ் கோப் மூலமாய்க் காணலாம்.

பெட்டியினுள் ஆக்ஸிஜன், கார்பன்டையாக்ஸைடு முதலிய வாயுக்களை அடைத்து, சோதனையை நடத்தினபொழுது, D என்ற தகட்டை மெதுவாக வெளியே இழுத்து, Zns திரைக்கும் D-க்கு முள்ள தூரத்தை 7 செ.மீ.க்கு அதிகமாக்கின பொழுது, திரையில் ஆல்பாத் துகள் மோதல் நின்று போயிற்று. Rac-யின் ஆல்பாத் துகளின் செல்தூரம் 7 செ.மீ. தான். ஆனால், பெட்டியில் நைட் ரஜன் வாயுவை அடைத்து இச் சோதனையை நடத்தியபொழுது, தட்டு (D) 20 செ.மீ. தூரம் சென்றபொழுதும் மினுக்கங்கள் காணப்பட்டன. தூரத்தை இன்னும் உயர்த்தி, 40 செ.மீ. ஆன பிறகுதான் மினுக்கங்கள் நின்றுபோயின. காந்தப் புலத்தைக் கொண்டு, பெட்டியிலிருந்து வெளிவரும் அயனிகளை வளைத்து, அவை புரோட்டான்கள் என்று கண்டுபிடித்தார்.

ஆல்பாத் துகளிலிருந்து புரோட்டான் உண்டான விதமென்ன? அப் புரோட்டான்களுக்கு இவ்வளவு அதிக ஆற்றல் கிடைத்த வழியென்ன?

ரதர்ஃபோர்ட் இதைக் கீழ்கண்ட முறையில் விளக்கினார்:- நைட்ரஜன் அணுக்கருவை ஓர் ஆல்பாத் துகள் தாக்கி, அதனுள்

புகுந்து, ஒரு கூட்டு அணுக்கருவாகி, உடனே ஒரு புரோட்டானை வெளிவிட்டு, ஆக்ஸிஜனாக மாறியது என்று கூறினார். இந்த அணுக்கரு இயக்கத்தைக் கீழ்கண்டவாறு வருணிக்கலாம்.

$$7N^{14} + 2\,He^{4} \longrightarrow (9F^{18}) \longrightarrow 8O^{17} + 1H^{1}$$

இவ்வணுக்கரு சமன்பாட்டில், முன்போலவே அணு எண்கள் இடப்புறத்தில் கீழாகவும், நிறை எண்கள் (Mass numbers) வலப்புறத்தில் மேலாகவும் தரப்பட்டுள்ளன. $9F^{18}$ அணுக்கரு உண்டானதைக் குறித்த தகவல் எதுவும் கிடைக்கவில்லை. ஆனால், ஆல்பாத் துகள் நைட்ரஜனுடன் மோதிச்சிதறி வரவில்லை யென்பது உண்மை. மேகக்கலனைக் கொண்டு பின்பு இந் நிகழ்ச்சியைப் படம் பிடித்ததில், பிரோட்டானின் நீளமான பாதையையும் ஆக்ஸிஜனின் ஒரு சிறிய பாதையையும் தவிர, வேறொன்றும் காணப்படவில்லை.

இவ் வணுக்கரு நிகழ்ச்சியிலும், பின்பு நடைபெற்ற நிகழ்ச்சிகள் அனைத்தினிலும், மின்னூட்டங்களும், நிறைகளும் மாறுமலுள்ளன. அதாவது, நிகழ்ச்சிக்கு முன்னிருந்த மின்னூட்டம் (அம்புக் குறிக்கு இடப்புறமாக உள்ளவை) நிகழ்ச்சிக்குப் பின்னுள்ள மின்னீட்டத்திற்கு (அம்புக் குறிக்கு வலப்புறமாக உள்ளவைக்கு)ச் சமமாக உள்ளன. இதுபோலவே அம்புக் குறிக்கு இடப்புறமாக உள்ள நிறை எண்கள் அம்புக் குறிக்கு வலப்புறமுள்ள எண்களுக்குச் சமமாயிருத்தல் வேண்டும். (நிறை எண்கள் சமமாயிருப்பினும், இவ் வணுக்கரு நிகழ்ச்சியில் ஒரு சிறிது நிறை அழிந்து போகிறதென்றும், அதுவே, ஆற்றலாக மாறி, புரோட்டானின் வேக ஆற்றலாக வெளி வருகிறதென்றும் பின்பு தெரிய வந்தது,)

1921-க்கும் 1924-க்கும் இடையே ரதர்ஃபோர்டும் சாட்விக்கும் (Chadwick) இவ்வாறே ஆல்பாத் துகள்களைக் கொண்டு அணு எண் 5-லிருந்து 19 வரையிலுள்ள இலேசான தனிமங்களைத் தாக்கி, அவை அனைத்தும் புரோட்டானை வெளிவிட்டு, வேறு தனிமங்களாக மாறுவதைக் காண்பித்தனர். கார்பன்(6) ஆக்ஸிஜன்(8) இவ்விரு தனிமங்கள் மட்டும் ஆல்பாத் தாக்குதலால் சிதைவுறவில்லை.

ஆற்றல் அலகுகள் (Energy units): நான்காம் அத்தியாயத்தின் இறுதியில் எலக்ட்ரான் வோல்டு (ev) என்ற அலகை விளக்கி, அது அணு, எலக்ட்ரான் ஆற்றல்களை அளப்பதற்கு மிகவும் பயன்படுகிறது என்றோம்.

1 எலக்ட்ரான் வோல்டு (ev) = $1{\cdot}601 \times 10^{-12}$ எர்கு, என்றும் பார்த்தோம். இது மிக மிகச் சிறிய அலகுபோல் தோன்றினும், அணுத்துகள் கள், மூலக்கூறுகள் இவை மிகக் குறைவான எடையுள்ளவையாகையால், இவற்றின் ஆற்றலைக் குறிப்பதற்கு இந்த அலகே சரியானது. உதாரணமாக, சோடிய D-வரிகளை வெளிவிடுவதற்கு, எலக்ட்ரான் மேல் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து 2 எலக்ட்ரான்-வோல்டு கீழாகவுள்ள ஆற்றல் மட்டத்திற்குத் தாண்டுகிறது. கண்ணுறு ஒளி வெளிவிடப்படுவதற்கு ஏற்படும் ஆற்றல் மாற்றம் சுமார் 1·5 ev-யிலிருந்து 3 ev வரை என்று கணிக்கலாம்.

எக்ஸ் கதிர் ஃபோட்டானின் ஆற்றல் பல ஆயிரம் எலக்ட்ரான் வோல்டுகளாகும். காமாக்கதிர், அணுக்கருத்துகள்களின் ஆற்றல் இவற்றை அளப்பதற்கு, 'மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்டு' (*mev*) என்ற அலகு பயன்படுகிறது ($1 mev = 10^6 = 1{\cdot}60 \times 10^{-6}$ எர்கு). உதாரணமாக, Ra C யிலிருந்து வெளிவிடப்படும் ஆல்பாத்துகளின் ஆற்றல் 7·68 *mev* ஆகும். இதைகொண்டே ரதர்ஃபோர்டு அணுக்கருவைத் தாகி, அணு மாற்றத்தில் வெற்றி கண்டார் என்று மேலே பார்த்தோம்.

பொருண்மை — ஆற்றல் சம்பந்தம் (Mase—energy relation) : பல அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகளில், பொருளின் நிறையில் சிறிது அழிந்து, ஆற்றலாக மாறி வெளிவருவதைக் காண்போம். இது ஐன்ஸ்டைன் விஞ்ஞானியின் சார்புக் கொள்கையின் வாயிலாகக் கிடைத்துள்ள ஓர் உண்மை. இது பலமுறைகளில் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வாறு நிரூபிப்பதற்குத் தேவையான ஓர் அளவை இப்பொழுது வருவித்துக்கொள்வது மிக்க நலமானது. அதாவது, ஐன்ஸ்டைனின் $E = mc^2$ என்ற சமன்பாடு உண்மையானது என்று வைத்துக்கொண்டால் ஒரு அணு நிறைஅலகு எவ்வளவு ஆற்றலை அளிக்கக்கூடும்?

ஐன்ஸ்டினின் சமன்பாட்டின்படி சில கிராம் பொருண்மை அழிந்தால் mc^2 எர்கு ஆற்றல் உண்டாகும். c என்பது ஒளியின் வேகம் $= 3 \times 10^{10}$ செ. மீ./வினாடி.

ஆகவே, ·0001 கிராம் பொருண்மை அழிந்தால், $\cdot0001 \times 9 \times 10^{20} = 9 \times 10^{16}$ எர்கு ஆற்றல் உண்டாகும்.

ஓர் அணுநிறை அலகு (atomic mass unit : *amu*) என்பது $\frac{1}{16}$ அணுநிறையின் பதினறிலொரு பாகநிறை. ஒரு 'கிராம் அணு'வில் (அதாவது, 16 கிராம் ஆக்ஸிஜனில், அல்லது 14 கிராம் நைட்ரஜனில்) (N) அவோகெட்ரோ எண்ணுடைய (Avogadro's Number) அணுக்கள் இருக்குமாகையால், ஒரு அணுநிறை அலகு என்பது அவோகெட்ரோ எண்ணின் தலைகீழ்ப் பின்னமாகும்.

$$\therefore a.m.u = \frac{1}{N} \text{ கிராம்} = \frac{1}{6{\cdot}023 \times 10^{23}} = 1{\cdot}66 \times 10^{-24}$$

கிராம்.

$$\therefore 1\ a.m.u.\text{வின் ஆற்றல்} = 1{\cdot}66 \times 10^{-24} \times 9 \times 10^{20} \text{ எர்கு}$$
$$= \frac{1{\cdot}66 \times 10^{-24} \times 9 \times 10^{20}}{1{\cdot}601 \times 10^{6}}$$
$$= 932\ mev$$

இச்சம்பந்தம் அடிக்கடி அணுக்கரு விஞ்ஞானத்தில் தேவைப்படுமாகையால் *1 a m. u. = 932 m.e.v.* என்பதை ஞாபகத்தில் வைத்துக் கொள்வது மிகவும் நல்லது.

ஆற்றல்மிக்க புரோட்டான்களைக் கொண்டு அணுமாற்றம் — ஐன்ஸ்டைனின் பொருண்மை—ஆற்றல் சம்பந்தத்தின் உண்மை (Disintegration by high energy proton Einsteins mass energy relation verified): 1932 ஆம் ஆண்டில் பிரிட்டிஷ் விஞ்ஞானிகளான காக்ராஃப்ட் (Cockroft), வால்டன் (Walton) என்பவர்கள் புரோட்டான்களுக்குச் செயற்கையாக 0·8 *mev* ஆற்றல்வரை முடுக்கம் கொடுத்து, அவற்றைக்கொண்டு பல இலேசான தனிமங்களை மாற்றி வெற்றிகண்டனர். அவையாவற்றிலும் ஆல்பாத்துகள் வெளிவந்தது. விதியம் (Li^7) தனிமத்தை 0·25 *mev* ஆற்றலுடைய புரோட்டான்களைக் கொண்டு தாக்கியபொழுது, இரு ஆல்பாத்துள்களாக அது சிதைவுற்றது. ஒன்றுக்கொன்று, நேர் எதிராகச் சென்ற அவ்விரு ஆல்பாத்துகள்களின் செல் தூரத்தைக் கொண்டு, அவற்றின் ஆற்றல் 8·6 *mev.* என்று கணித்தனர். இவ்வணுக்கரு நிகழ்ச்சியைக் கீழ்கண்டவாறு குறிட்பிடலாம்.

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + Q$$

இதில் Q என்பது வெளிவிடப்பட்ட ஆற்றலைக் குறிக்கும். இந்நிகழ்ச்சியில், $Q = 2 \times 8{\cdot}6 = 17{\cdot}2$ *m·e·v·* (ஆரம்ப ஆற்றல் மிகக் குறைவாகையால் நிராகரிக்கப்பட்டது.)

இவ்வளவு அதிகமான ஆற்றல் எங்கிருந்து வந்தது?

மேலே குறிப்பிட்டபடி, 1905 ஆம் ஆண்டில் ஐன்ஸ்டைன் தமது சார்புக்கொள்கையை வெளியிட்டபோது, அதில் பல திடுக்கிடும் புதிய முடிவுகள் காணப்பட்டன. அவைகளிலொன்று, பொருண்மையும் ஆற்றலும் ஒன்றுக்கொன்று மாற்றலாகக் கூடியவை என்றும், பொருண்மை ஆற்றலாக மாறினால், $E = mc^2$ என்ற சமன்பாடு உண்மையாகுமென்றும் காண்பித்தது. இச்சமன்பாட்டைக்கொண்டு கணிததில், ஒரு சிறிய அளவு பொருண்மை அழிந்தாலும், ஏராளமான ஆற்றல் வெளிவிடப்படும் என்று தெரியவந்தது. உதாரணமாக, ஒரு கிராம் பொருண்மை அழிந்தால், 9×10^{20} எர்கு ஆற்றல் கிடைக்கும் என்று தரப்படுகிறது. இது 20×10^{12} கேலரிக்குச் சமமாகும். ஆனால்,

பொருண்மையை எவ்வாறு ஆற்றலாக மாற்றுவது என்பதுதான் தெரியவில்லை.

1919ஆம் ஆண்டில் ரதர்ஃபோர்டு ஆல்பாத் துகள்களைக் கொண்டு தனிமங்களைச் சிதைவுறச் செய்தபொழுது அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த புரோட்டான்கள் வெளிவந்தன என்று கண்டோம். இந் நிகழ்ச்சிகளில் பொருண்மை அழிந்து ஆற்றலாக மாறலாம் என்று யூகிக்க இடமிருந்தது. ஆனால், தனிமங்களின் நிறைகள் அவ்வளவு திருத்தமாக அக் காலத்தில் அறியப்படவில்லையாகையால், எவ்வளவு பொருண்மை அழிந்தது என்று கண்டுபிடிக்க வழியில்லை.

1920–28ஆம் ஆண்டுகளில் பல நிறைமாலை வரைவிகள் நிறுவப்பட்டு, தனிமங்களின் நிறைகள் வெகுதிருத்தமாக அளக்கப்பட்டனவென்று 6ஆம் அத்தியாயத்தில் பார்த்தோம். இவ்வணுக்கரு நிகழ்ச்சியில் பங்குபெறும் தனிமங்களின் நிறைகள் 1932-ல் திருத்தமாக அறியப்பட்டிருந்தன. அவையாவன :

$Li^7 = 7{\cdot}0180\ amu$; $H^1 = 1{\cdot}0081\ amu$; $He^4 = 4{\cdot}0039\ amu$.

ஆகவே, ஆரத்திலிருந்த துகள்களின் மொத்த நிறை =

$$Li^7 + H^1 = 7{\cdot}0180 + 1{\cdot}0081 = 8{\cdot}0261\ amu.;$$

நிகழ்ச்சிக்குப் பின்னர் இருந்த துகள்களின் நிறை =

$$2 \times \alpha = 2 \times 4{\cdot}0039 = 8{\cdot}0078\ amu.$$

இது ஆரம்ப நிறையைவிட $0{\cdot}0183\ amu$ குறைவானது. $1\ amu = 932\ mev$, என்று (207ஆம்) பக்கத்தில் கண்டோம்.

$\therefore 0183\ amu = {\cdot}0182 \times 932 = 17{\cdot}05\ mev.$

இது, வெளிவிடப்பட்ட இரு ஆல்பாக்களின் வேக ஆற்றலுக்கு ஏறக்குறையச் சமமாயிருப்பது வெளிப்படை. ஆகவே, இந் நிகழ்ச்சியில் வெளிப்பட்ட வேக ஆற்றல், நிகழ்ச்சிளில் அழிந்துபோன சிறிய அளவு பொருண்மையாலேயே தரப்பட்டது என்றும், ஐன்ஸ்டைனின் $E = me^2$ என்ற சமன்பாடு முற்றிலும் உண்மையானது என்றும் நிரூபிக்கப்பட்டது.

அதன் பிறகு நடந்த எல்லா அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகளிலும் ஐன்ஸ்டைனின் நிறை – ஆற்றல் சம்பந்தத்தின் உண்மை நிரூபிக்கப்பட்டது. கடைசியாக, 1945ஆம் ஆண்டில், பெருவாரியான பொருண்மை அழிந்து, கூடிணைப்பொழுதில் பிரம்மாண்டமான

ஆற்றலை வெளிவிடும் ராட்சத அணுகுண்டாக வெடித்து, லட்சக்கணக்கான பேர்களை இமைப்பொழுதில் கொன்று நாசமாக்கியது வரலாற்றின் ஒரு பாகமாகிவிட்டது என்பதை அறிவோம்.

நியூட்ரான் (the Neutron)

நியூட்ரான் என்பது புரோட்டானின் நிறையையுடைய, மின்னூட்டமற்ற ஒருதுகள். (ஆங்கிலத்தில் 'neutral' என்றால், 'மின்னூட்டமற்ற' என்பது பொருள்) அப்படிப்படிப்பட்ட ஒரு துகள் இருக்கலாம் என்று 1920 ஆம் ஆண்டிலேயே ரதர்ஃபோர்டு யூகித்து, அதைக் கண்டுபிடிக்கப்பல வழிகளில் முயன்றும், ஏற்ற கருவிகளில்லாமையால் அவர் முயற்சி வெற்றியடையவில்லை. அவருடைய மாணவராயிருந்தசாட்விக் (chadwick) 1932 ஆம் ஆண்டில் நியூட்ரானைக் கண்டுபிடித்து, அதற்காக 1935 ஆம் ஆண்டில் நோபல் பரிசும் பெற்றார்.

சாட்விக் நியூட்ரானைக் கண்டுபிடித்தாரெனினும், அதற்கு அடிப்படையான சோதனைகளெல்லாம் ஐரோப்பாவில் பல விஞ்ஞானிகளால் செய்யப்பட்டன. 1930 ஆம் ஆண்டில் பாதே (Bothe)· பெக்கர் (Becker) என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானிகள், பெரில்லியம் என்னும் இலேசான தனிமத்தை ஆல்பாத் துகள் கொண்டு தாக்கினால், மிகவும் ஊடுருவிச்செல்லும் சக்திவாய்ந்த கதிர் வெளிவிடப்படும் என்பதைக் கண்டுபிடித்தனர். அது 2. செ மீ. தடிப்பமுள்ள ஈயத்தகடுகளினூடே சென்றால், அதன் செறிவு பாதியாகக் குறைந்தது. உட்கிரகிக்கும் சோதனைகளைக்கொண்டு அதன் ஆற்றல் சுமார் 7 mev என்று கணிக்கப்பட்டது. இவ்வளவு ஆற்றலும் ஊடுருவும் திறனும்கொண்ட கதிர் காமாக்கதிராகத்தான் இருக்கவேண்டுமென்று ஊகித்தனர்.

ஆனால் விரைவில் இது உண்மையல்ல என்று தெரியவந்தது. 1932 ஆம் ஆண்டில் பிரெஞ்சு தம்பதிகள் ஐரீன் க்யூரி (Irenecurie) யும் ஜோலியோ (Joliot) வும், இக் கதிர்களின் பாதையில் மெழுகு, சொல்லோபேன், நீர் முதலிய ஹைட்ரஜனுள்ள பொருட்களைவைத்தால், அவற்றிலிருந்து புரோட்டான்கள் வெளிவிடப்படுகிறதென்று கண்டுபிடித்தனர். சாட்விக் அப் புரோட்டான்களின் ஆற்றலை அளந்து, 5.7 mev என்று கண்டுபிடித்தார். ஆற்றல், உந்தம் அழிவின்மைக் கொள்கைகளை இங்கிகழ்ச்சிக்குப் பயன்படுத்திக்கணித்ததில், புரோட்டான்களை வெளிவிடுபவை காமாக் கதிர்களென்றால் அவற்றின் ஆற்றல் 55 mev—ஆக இருக்கவேண்டும் என்று தெரியவந்தது.

ஆனால், இக் கதிரின் ஆற்றல் 7 *mev* என்று மற்ற சோதனைகளிலிருந்து தெரியவந்தது என்று முன்பே குறிப்பிட்டோம். அத்துடன், ஆல்பாத் துகள் பெரிலியத்தைத் தாக்குவதால், 55 *mev* ஆற்றலுடைய காமாக் கதிர்கள் ஒருபோதும் கிடைக்கா: இந் நிகழ்ச்சியில் கிடைக்கக்கூடிய பெரும் ஆற்றல் 15·4*mev* தான். ஆகவே இக்கதிர்கள் காமாக்கதிராக இருக்க முடியாது.

இப் புதிரை விளக்க, சாட்விக்தெரியமாக ரதர்ஃபோர்டின் பழைய கொள்கையை மறுபடியும் வெளியிட்டார். ஆல்பாத்துகள் பெரிலிய அணுவைத் தாக்குவதால் 'நியூட்ரான்' என்ற மின்னூட்டமற்ற துகள் வெளிப்படுகின்றதென்றும், மின்னூட்ட மின்மையால் அவை அயனிக்கா; ஆகையால ஆற்றலை இழக்காமல் வெகுதூரம் செல்லக்கூடியவை என்றும் விளக்கினார். நியூட்ரானின் நிறை, ஏறக்குறைய புரோட்டானின் நிறைக்குச் சமமாயிருப்பதால், அதன் ஆற்றலும், வெளிவிடப்படும் புரோட்டானின் ஆற்றலுக்குச் சுமமாயிருந்தாற்போதும். நிறையற்ற காமாக்கதிரைப் போல் 55 *mev* ஆற்றலுடையதாயிருக்கத் தேவையில்லை. ஆகவே, சோதனைகளில் அறியப்பட்ட முடிவுகளெல்லாம் நியூட்ரான் கொள்கையால் எளிதில் விளக்கப்பட்டுவிட்டன.

இதன் அணுக்கருநிகழ்ச்சியை $_4Be^9 + {}_2He^4 \rightarrow {}_6C^{12} + On^1$ என்று குறிப்பிடலாம். நியூட்ரானை எளிதில் பெறுவதற்கு ஒரு கடை வெண்மெழுகில் (paraffin) ஒரு குழிசெய்து, அதனடியில் தூள்செய்யப்பட்ட பெரிலியத்தையும் பொலோனியத்தையும் நன்றாகக்கலந்து வைக்கவேண்டும். பொலோனியத்திலிருந்து வெளிவரும் ஆல்பாத் துகள்கள் பெரிலிய அணுக்களைத் தாக்கி, நியூட்ரான்களை வெளிவிடுகின்றன. மெழுகு முழுவதும் காட்மியப்பூச்சு (cadmium lining) கொடுக்கப் பட்டிருப்பதால், வெளிவிடப்படும் நியூட்ரான்கள் மற்றெல்லாத் திசைகளிலும் காட்மியத்தால் உட்கிரகிக்கப்பட்டுவிடுகின்றன. குழியின திசையில் மட்டும் தடையின்றி வெளியே வருகின்றன. இதற்கு 'நியூட்ரான் துப்பாக்கி' (neutron gun) என்று பெயர். இதிலிருந்து, 10 *mve* வரை ஆற்றலுடைய நியூட்ரான்கள் கிடைக்கின்றன.

ரதர்ஃபோர்டும் மற்ற விஞ்ஞானிகளனைவரும் அணுக்கரு மாற்ற சோதனைகளில், ஆல்பா, புரோட்டான்களைக் கொண்டு இலேசான அணுக்களில் மட்டுமே அணுமாற்றங்களை உண்டுபண்ண முடிந்தது. அணுஎண் அதிகமாகவுள்ள கனமான அணுக்கருக்கள் நேர்மின்னூட்டமிடைய ஆல்பா, புரோட்டான் துகள்களை எதிர்த்து, அருகே வரவிடுவதில்லை. ஆனால், நியூட்ரானுக்கு மின்னூட்டமில்லை. எவ்வளவு கனமாக அணுக்கருவை

யும் நியூட்ரான் கொண்டு தாக்கலாம். இவ்வாறு, யாவற்றிலும் மிகக் கனமான யுரேனிய அணுக்கருவை நியூட்ரான் கொண்டு தாக்கிய சோதனை மூலமாகவே, 1934ஆம் ஆண்டில் இத்தாலிய விஞ்ஞானி என்ரிகோ ஃபெரமி (Enrico Fermi) அணுக்கருப்பிளவைக்கும், அதன் மூலம் அணுசக்தி வெளியீட்டுக்கும் அடிகோலினார்.

நியூட்ரானின் கண்டு பிடிப்பு வேறு மிக முக்கியமான வகையில் விஞ்ஞானத்திற்குப் பயன்பட்டது. அணுக்கருக்களின் அமைப்பைக் குறித்து விளக்கம் தந்தவர்களெல்லாம், அணுக்கருக்கள் ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவாகிய புரோட்டான்களால் ஆனவை என்று கூறினர் அணுக்கருக்களின் அணு எண்ணும் (Z), நிறை எண்ணும் (M) வெவ்வேறாயிருப்பதை விளக்க, அணுக்கருவிலுள்ள புரோட்டான்களும், எலக்ட்ரான்களும் உள்ளன என்று நம்பினர். உதாரணமாக ஆக்ஸிஜன் அணுக்கருவில் (8^{O16}) 16 புரோட்டான்களும் 8 எலக்ட்ரான்களும் உள்ளனவென்றும், இது காரணமாகவே அதன் அணு எண் (அதாவது, நேர் மின்னூட்டம்) 8ஆகவும், நிறை எண் 16ஆகவும் உள்ளனவென்றும் விளக்கினர், ஆனால். 1928ஆம் ஆண்டில் ஜெர்மனிய விஞ்ஞானி ஹைசன்பர்க் (Heisenberg) என்பவர் அணுக்கருவினுள்ளே எலக்ட்ரான்கள் இருக்கவே முடியாது என்று கணித வாயிலாகக் காண்பித்தார். ஆகவே, அணுக்கருவின் அமைப்பை விளக்க வகையின்றி விஞ்ஞானிகள் திகைத்தனர்.

1932ஆம் ஆண்டில் நியூட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதும், அணுக்கரு விஞ்ஞானிகளின் ஒரு பெருங்குறை நீங்கிற்று. அணுக்கருக்கள் புரோட்டான், நியூட்ரான இவற்றால் ஆனவை என்பது வெட்டவெளிச்சமாயிற்று. 8^{O16}—ல் 8 புரோட்டான்களும் 8 நியூட்ரான்களும் சேர்ந்து, அவ்வணுக்கருவுக்கு 8 நேர் மின்னூட்டத்தையும் 16 அணு நிறையையும் தருகின்றன. He^4—ல் இரு புரோட்டான்கள், இரு நியூட்ரான்கள், $_{92}U^{238}$ அணுக்கருவில் 92 புரோட்டான்கள், 146 நியூட்ரான்கள். $_{92}U^{235}$ யுரேனிய ஐசோடோப்பில், 92 புரோட்டான்களும் 143 நியூட்ரான்களும் உள்ளன. இவ்வாறே எல்லா அணுக்கருக்களையும் திருப்திகரமாய் விளக்க முடிந்தது.

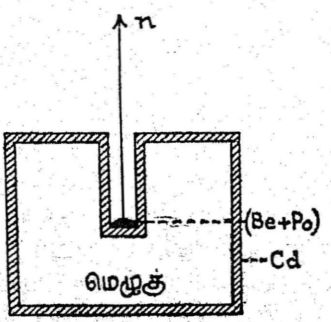
பொருண்மைக் குறைபாடும் பிணைப்பாற்றலும் (Mass defect and binding energy)

அணுக்கருக்களின் நிறைகள் நிறைமாலை வரைவிகள் கொண்டு வெகுதிருத்தமாய் அளந்தபொழுது, அவை பெரும்

பாலும் முழு எண்களுக்கு வெகு அருகிலிருப்பது தெரியவந்தது. இதைக்கொண்டே, முதலில் அணுக்கருக்கள் யாவும், புரோட்டானால் உண்டானவை என்று கூறினர். அதன்பின் புரோட்டான் நியூட்ரான் இவற்றால் ஆனவை என்று மாற்றியமைத்தனர் என்று மேலே பார்த்தோம். மிக இலேசான அணுக்கருக்களும், மிகக் கனமான அணுக்கருக்களும், அவற்றின் நிறை எண்களை விடச் சற்று அதிகக் கனமாகவும், நடுத்தர நிறையுடைய அணுக்கருக்கள் அவற்றின் நிறை எண்களைவிடச் சற்றுக் குறைவாகவும் இருப்பது கவனிக்கத்தக்கது. உதாரணமாக,

$H_1 = 1{\cdot}00813$; $He^4 = 4{\cdot}00389$; $O^{16} = 16{\cdot}000$; $Ca^{40} = 39{\cdot}974$; $La^{139} = 138{\cdot}955$; $Pt^{194} = 194{\cdot}040$; $U^{238} = 238{\cdot}14$.

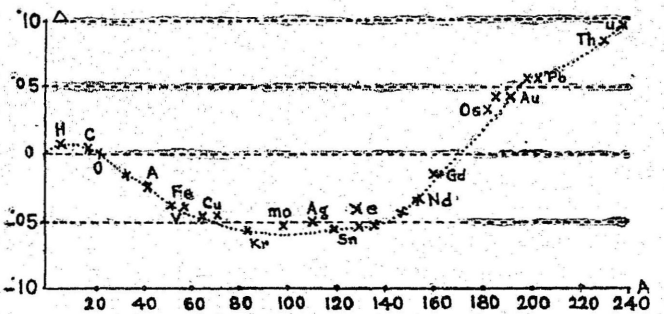
அணுக்கருக்களின் உண்மையான நிறைக்கும் (M) அவற்றின் நிறை எண்ணுக்கும் (A) இடையேஉள்ள வித்தியாசத்திற்கு 'நிறைக்குறைபாடு' (Mass defect) என்ற பெயர் தரப்பட்டுள்ளது. இதை டெல்டா Δ என்னும் எழுத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். ($\Delta = M - A$) (A) நிறை எண்களை X அச்சிலும் அவற்றின் நிறைக் குறைபாடுகளை (Δ) Y அச்சிலுல் காண்பித்தால், 76ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோன்ற படம் கிடைக்



படம் 75. நிறைக்குறைபாடும் நிறை எண்ணும் ($\Delta = A$)

கின்றது. உலகத்தின் பெரும்பாலான தனிமங்களின் நிறைக் குறைபாடு பூஜ்யத்திற்குக் கீழாக உள்ளன. அணுக்கருவைப் பிளந்து ஆற்றலை வெளிப்படுத்துவது யூரேனிய அணுக்களைக் கொண்டு, அணுக்கருக்களை ஒன்று சேர்த்துப் பிணைத்து (Fusion) ஆற்றலை வெளிப்படுத்துவது ஹைட்ரஜன் அணுக்களைக் கொண்டு, இந்த இரு முனைகளிலும் நிறைக்குறைபாடுகள் பூஜ்யத்திற்கு மேல் இருப்பது கவனித்தக்கது.

புரோட்டானையும் நியூட்ரானையும் ஒன்று சேர்த்துப் பிணைத்து அணுக்கருக்களை உண்டுபண்ணுவதற்குச் சிறிது ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. இவ்வாற்றலை 'பிணைப்பு ஆற்றல்' (Binding energy) என்று குறிப்பிடுகின்றனர். இவ்வாற்றல் ஒன்றுசேரும் புரோட்டான் நியூட்ரான் நிறைகளிலிருந்து பெற்றுக்கொள்ளப்படுவதால், கூட்டு அணுக்கருவின் நிறை, சேர்ந்த நிறைகளின் மொத்தத்தைவிடச் சற்றுக் குறைவாகவே இருக்கும். உதாரணமாகவே, ஆல்பாத் துகள் ($_2He^4$) இரு புரோட்டான்களாலும் இரு நியூட்ரான்களாலும் ஆனதாகையால், ஒன்று சேர்ந்த துகள்



படம் 76. நிறைக்குறைபாடும் நிறை எண்ணும் (D – A)

களின் நிறை = $2 \cdot 1 \cdot 00813 + 2 \times 1 \cdot 00893 = 4 \cdot 03412$ amu. ஆல்பாத் துகளின் நிறை = $4 \cdot 00389$ amu

ஆகவே, அழிந்துபோன நிறை = $4 \cdot 02412 - 4 \cdot 00389$

$= 0 \cdot 03023$ amu

இது $\cdot 03023 \times 932 = 28 \cdot 17$ mev ஆற்றலுக்குச் சமம். ஆல்பாத் துகளிலுள்ள இரு புரோட்டான்களும் இரு நியூட்ரான்களும் 28·17 mev ஆற்றலால் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றை மறுபடியும் தனித்தனித் துகள்களாகப் பிரிக்கவேண்டுமானால், இந்த அளவு ஆற்றலைத் தந்தாகவேண்டும். ஆகவே, ஆல்பாத் துகள் மிகவும் நிலையாக உள்ளது.

இவ்வாறே மற்றெல்லா அணுக்களின் பிணைப்பு ஆற்றல்களையும் கணிக்கலாம்.

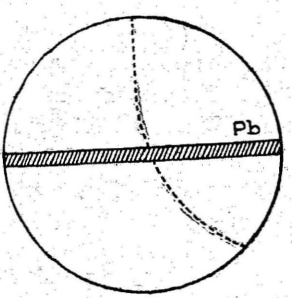
பாசிட்ரான் (The positron)

1932ஆம் ஆண்டுவரை இயற்கையில் நாம் கண்டறிந்த அடிப்படைத் துகள்கள் (Elementary particles) இரண்டேதான். அவை

புரோட்டான், எலக்ட்ரான் என்பவை. 1932ஆம் ஆண்டில் நியூட்ரானும் பாசிட்ரானும் கண்டுபிடிக்கப்படவே, அடிப்படைத் துகள்களின் எண்ணிக்கை இரு மடங்காயிற்று.

பாசிட்ரான், அமெரிக்காவில் கார்ல் ஆண்டர்சனுலும் (Karl Anderson), பிரிட்டனில் பிளாக்கெட்டாலும் ஏறக்குறைய ஒரே சமயத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. முதன் முதலில் இதைக் கண்டுபிடித்த ஆண்டர்சனுக்கு 1936ஆம் ஆண்டில் நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது. இத் துகள் எலக்ட்ரானுக்கு நேர் எதிரானது. எலக்ட்ரானுடைய நிறையையுடையதாய், எலக்ட்ரானின் நேர் மின்னூட்டமுடையது.

மேகக் கலனைக் கொண்டு காஸ்மிக் கதிர்களை ஆராய்கையில் காந்தப் புலத்தில் சில எலக்ட்ரான் பாதைகள் எதிர்ப் புறமாக வளைந்திருப்பதை ஆண்டர்சன் கண்டார். ஆயினும், துகள் எப் புறமாகச் செல்கிறது என்பதை நிச்சயமாய் அறிந்தாலொழிய, அதன் வளைவைக்கொண்டு மின்னூட்டத்தை அறியமுடியாது. (மேலிருந்து கீழாகச் செல்லும் நேர் மின்னூட்டத் துகளும், கீழிருந்து மேலாகச் செல்லும் எதிர் மின்னூட்டத் துகளும் ஒரே திசையில் வளையும்.) ஆகவே, ஆண்டர்சன் மேகக் கலனுகுள் 6 மி.மீ. தடிப்பமுள்ள ஓர் ஈயத் தகட்டை வைத்து, காஸ்மிக் கதிரின் பாதையைப் படம்பிடித்தார். அப் பாதை 77ஆம் படத்தில் கண்டுள்ளது போல், தகட்டிற்கு மேலே வளைவு குறைவாகவும், தகட்டிற்குக் கீழே வளைவு அதிகமாகவும் கொண்டிருந்தது. தகட்டினூடே துகள் சென்றுல், ஆற்றல் குறைந்து அதிகமாக வளையும். ஆகவே, இக் துகள் படத்தில் மேலிருந்து கீழாகத்தான் சென்றி-

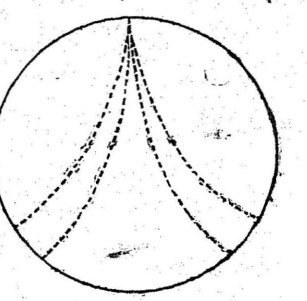


படம் 77. பாசிட்ரான் கண்டுபிடிப்பு

ருக்க வேண்டுமென்பது வெளிப்படை. காந்தப் புலம் தளத்திற்கு உட்புறமாகச் செயல்பட்டதால், துகள் நேர் மின்னூட்டமுடையதாக இருக்கவேண்டுமென்பதும் தெளிவாகிறது.

ஆனால், மேலிருந்து கீழாக வரும் இத் துகள் **புரோட்டானாக** இருந்திருக்கலாமே? பாதையின் வளைவை அளந்து, துகளின் ஆற்றலைக் கணித்ததில், இது புரோட்டானாக இருந்தால், இவ் விளைவை அடைவதற்கு அதன் ஆற்றல் 0·3 mev ஆகத்தான் இருக்கவேண்டும்; அந்த ஆற்றலையுடைய புரோட்டானின் பாதை மிகவும் தடிப்பாய், 0.5 செ.மீ.க்கு அதிக நீளமாயிராது. ஆனால், இப்பாதையோ மிகவும் சன்னமாய் 5 செ.மீ.க்கு அதிக மான நீளமாயிருந்தது. இப் பாதை நேர் மின்னேற்றமுடைய ஓர் எலக்ட்ரானால் ஆனது என்றுகொண்டு கணித்தால், அளந்த ஆற்றல், வளைவு, செல்தூரம், யாவும் சரியாய் வந்தன. இத் துகளுக்குப் 'பாசிட்ரான்' என்று ஆண்டர்சன் பெயரிட்டார்.

விரைவில் இதைக்குறித்த தகவல் வெவ்வேறு ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து கிடைத்தன. பிளாக்கெட்டும் ஒக்கியாலினி (Ochialini)யும், தமது காஸ்மிக் கதிர் மேகக் கலன் படங்களில், பல பாதைகள் கருவியின் உலோகத்திலிருந்து துவங்கிக் கீழே செல்வதைக்கண்டனர். இவற்றிற்கு 'காஸ்மிக் கதிர்ப்பொழிவு' (Cosmic ray shower) என்று பெயர். எலக்ட்ரான் பாதைகளைப்போல் தோன்றிய இவை, காந்தப் புலத்தில் ஒரு பாதி இடப்புறமாகவும் மறுபாதி வலப்புறமாகவும் வளைந்து சென்றன. ஆகவே இவை எலக்ட்ரான்களாலும் பாசிட்ரான்களாலும் உண்டானவை, என்பது வெளிப்படை.



படம் 78. காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு

அடுத்த அத்தியாயத்தில் கதிரியக்கம் செயற்கையாக உண்டு பண்ணப்படும் வழிகளைக் காண்போம். இவ்வாறு செயற்கைக் கதிரியக்கம் ஊட்டப்பட்ட பொருள்கள் அநேகமாக பாசிட்ரானை வெளிவிட்டுச் சிதைவடைகின்றன.

இரட்டைப் பொருளாக்கம் (Pair Production)

சாட்விக், பிளாக்கெட், ஒக்கியாலினி, க்யூரி, ஜோலியோ முதலியோர் ஆற்றல் மிக்க காமாக் கதிர்களை ஈயம் போன்ற கனமான பொருட்களினூடே செலுத்தி, அக் கதிர்கள் எலக்ட்ரான் பாசிட்ரான் இரட்டைகளாக மாறுகின்றன என்று காண்பித்தனர்.

இவ்வாறு ஆற்றல் துகள்களாக மாறுவதற்கு இரு சூழ்நிலைகள் தேவை. ஒன்று, கதிரானது அணுக்கரு போன்ற பலத்த மின் புலத்தினூடே செல்ல வேண்டும். இரண்டாவதாக, அதன் ஆற்றல் 1·02 *mev*-க்கு அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும். ஒரு எலக்ட்ரானின் நிறை (m_0c^2) 0·51 *mev* ஆற்றலுக்குச் சமமாகையால், இரு எலக்ட்ரான்கள் உண்டுபண்ணப்படுவதற்கு 1·02 *mev*-ஆற்றலாவது இருக்கவேண்டும். இதற்கு அதிகமாயிருந்தால், எஞ்சிய ஆற்றல் துகள்களின் வேக ஆற்றலாக வெளிவரும். காமாக் கதிர் மின்னூட்ட மற்றதாகையால். மாற்றமடைந்த பின்னரும் மொத்த மின்னூட்டம் பூஜ்யமாயிருத்தல் அவசியம். ஆகையால் எலக்ட்ரான்—பாசிட்ரான் இரட்டைகள் உண்டாகின்றன. ஒற்றை எலக்ட்ரானே அல்லது ஒரு பாசிட்ராஞே தனியாக உண்டாக முடியாது. காந்தப்புலத்தில் இவை எதிர்ப்புறமாக வளைந்து செல்கின்றன.

உதாரணம்

ஒரு கிராம் ரேடியம் கடைசியாக ஈயமாக மாறுவதில் வெளி விடப்படும் ஆற்றலைக்கணி.

நிறைகள்: $Ra^{226} = 226{\cdot}0955\ amu$; $pb^{206} = 206{\cdot}0386\ amu$

α-துகள் $= 0{\cdot}0039\ amu$ [சென்னை M.Sc. 1961.

ஓர் ரேடிய அணு ஒரு ஈய அணுவாக மாறுவதில் ($Ra^{226} \rightarrow Pb^{206}$) ஐந்து ஆல்பாத் துகள்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன.

ரேடியத்தின் நிறை $= 226{\cdot}0955\ amu$

ஈயத்தின் நிறை $= 206{\cdot}0386\ amu$

நிறைகளின் வித்தியாசம் $= 20{\cdot}0569\ amu$

5 ஆல்பாக்களின் நிறை $= 5 \times 4{\cdot}0039 = 20{\cdot}0195\ amu$

$\therefore$ ஆற்றலாக மாற்றப்பட்ட நிறை $= 0{\cdot}0374\ amu$

இந் நிறைக்குச் சமமான ஆற்றல் $= 0{\cdot}0374 + 932\ mev$

$= 0{\cdot}0374 \times 932 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-6}$ எர்கு

$= 5{\cdot}577 \times 10^{-5}$ எர்கு (ஓர் அணுவிற்கு)

226 கிராம் ரேடியத்தில் $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ அணுக்கள் உள்ளன.

$\therefore$ 1 கிராம் ரேடியத்தில் $\frac{6\ 023 \times 10^{23}}{226} = 2{\cdot}665 \times 10^{21}$ அணுக்கள் உள்ளன.

$\therefore$ 1 கிராம் ரேடியம் ஈயமாக மாறு கையில் வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் $= 2.665 \times 10^{21} \times 5.577 \times 10^{-5}$ எர்கு.

$= 1.486 \times 10^{17}$ எர்குகள்.

வினாக்கள்

1) $E = mc^2$ என்ற சமன்பாட்டை விளக்கி, அது எவ்வாறு சோதனைவாயிலாக நிரூபிக்கப்பட்டதென்பதை விவரி.

2) நியூட்ரான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டவிதம், அதன் குணங்கள், அதன் உபயோகம் இவற்றை விவரி. [சென்னை 1960.

3) B^{10} அணு நியூட்ரானால் தாக்கப்பட்ட பொழுது. ஒரு Li^7 அணு உண்டாகி, ஓர் ஆல்பாத் துகள் வெளிவந்தது. இவ் வியக்கத்தில் வெளிவிடப்படும் ஆற்றலைக்கணி. ($B^{10} = 10.0173$; $Li^7 = 7.0182$; $\alpha = 4.0039$; $n = 1.0089$). [2.86 *mev*]

4) ஓர் எலக்ரானும் ஒரு பாசிட்ரானும் ஒன்றையொன்று அழித்து, காமாக்கதிரொன்றை வெளிவிடுகின்றன. அக் கதிரின் அலை நீளமென்ன?

$$\left[\text{குறிப்பு : } 2mc^2 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}\right]$$ [0·0122 AU]

5) 2·62 *mev* ஆற்றல் கொண்ட காமாக் கதிரால் தாக்குண்டகன ஹைட்ரஜன் (H^2) ஒரு புரோட்டானாகவும் ஒரு நியூட்ரானாகவும் சிதைந்து, அவை ஒவ்வொன்றும் ·225 *mev* வேக ஆற்றலுடன் சென்றன. நியூட்ரானின் நிறையைக் கண்டுபிடி.

($H^2 = 2.014741$; $H^1 = 1.008145$). [1.00893 *amu*]

15. தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம்

(Induced Radioativity)

யுரேனியம், தோரியம், ரேடியம் முதலிய இயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருட்கள், கோடிக்கணக்கான ஆண்டுகளாய் ஆல்பா, பீட்டா, காமாக்கதிர்களை வெளிவிட்டுச் சிதைந்து வந்துள்ளன. 1934ஆம் ஆண்டில் பிரஞ்சு தம்பதிகள் ஐரீன் க்யூரியும் (Irene curie) ஜோலியோவும் (Joliot), தனிமங்களில் கதிரியக்கத்தைச் செயற்கையாகத் தூண்டலாம் என்ற மிக முக்கியமான உண்மையைக் கண்டுபிடித்தனர்.

ஆண்டர்சன் 1932-ல் பாசிட்ரான் கண்டுபிடிப்பை வெளியிட்டதும், உலகத்தின் பல பாகங்களிலிருந்தும் விஞ்ஞானிகள் அதிவேகமுடைய துகள்களைக் கொண்டு தனிமங்களைத் தாக்கினால், பாசிட்ரான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன என்று காண்பித்தனர். இதை ஆராயும் பொழுது, க்யூரியும் ஜோலியோவும் அலுமினியத்தை ஆல்பாத் துகள்கள் கொண்டு தாக்கி, அதிலிருந்து பாசிட்ரான் வெளிவருவதைக் கவனித்தனர். ஆனால், ஆல்பாத் துகளை வெளிவிடும் பொலோனியத்தைச் சட்டென்று மூடி, ஆல்பாத் தாக்குதலை நிறுத்தினால், பாசிட்ரான் உடனே நின்று விடுவதில்லையென்றும், இயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் காண்பதுபோல் மடக்கை (logarithmic) யாகக் குறைகிறதென்றும் கண்டனர். இயற்கைக் கதிரியக்கச் சமன்பாட்டைக் கொண்டு இப் பாசிட்ரானின் அரை வாழ்வுக்காலம் 3 நிமி 15வினாடிகள் என்று கணித்தனர். அவ்வாறே, போரான் தனிமத்தை ஆல்பாத் துகளால் தாக்கியபொழுது பாசிட்ரான் வெளி வருவதைக் கொண்டு, அதன் அரை வாழ்வுக் காலம் 10 நிமிடங்கள் என்று கணித்தனர்.

இதை விளக்குவதற்கு க்யூரியும் ஜோலியோவும், ஆல்பாவால் தாக்குண்ட தனிமம் வேறொரு தனிமத்தின் கதிரியக்க ஐசடோப்பாக மாறிவிடுகிறதென்றும், பிறகு அது பாசிட்ரானை வெளி

விட்டுச் சிதைவுறுகிறதென்றும் கூறினர். இந் நிகழ்ச்சியைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகளால் குறிப்பிட்டனர்:

$$_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{15}{}^{*}p^{30} + on'$$

$$_{15}{}^{*}p^{30} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + \beta + (T = 3\text{நி. } 15 \text{ வி.})$$

அவ்வாறே,

$$_{5}B^{10} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{7}{}^{*}N^{13} + {}_{0}n^{1}$$

$$_{7}{}^{*}N^{13} \rightarrow {}_{6}C^{13} + \beta + \qquad (T = 10 \text{ நி})$$

*இக் குறியிட்ட அணுக்கருக்கள் ரேடியக்கதிரியக்க மூட்டப் பட்டவை. $_{15}{}^{*}P^{30}$, $_{7}{}^{*}N^{13}$ இவை இயற்கையில் கிடையா. ஆனால், $_{14}Si^{30}$, $_{6}C^{13}$ இவை இயற்கையில் கிடைக்கின்றன.

க்யூரி—ஜோலியோவின் கொள்கை உண்மையானால், இரு காரியங்கள் நடைபெறவேண்டும்.

(1) ஆல்பாவால் தாக்குண்ட அலுமினியம் ∴பாஸ்∴பரமாக வும், போரான் நைட்ரஜனாகவும் மாறவேண்டும்; (2) இப்படி மாறிய ∴பாஸ்∴பரமும் நைட்ரஜனும் கதிரியக்கமுடையன வாயிருத்தல் வேண்டும். இவை இரண்டும் உண்மையாகவே ஏற்படு கின்றன வென்பதைப் பல சோதனைகள்மூலம் நிரூபித்தனர்.

ஒரு சோதனையில், அலுமினியத்தை ஆல்பாத் துகள்களால் பல மணிநேரம் தாக்கி, அதை Hcl அமிலத்தில் கரைத்து, கரை சலை வெகுவிரைவில் ஆவியாக்கி உலரச் செய்தனர். (T வெகு குறைவாதலால்), ஆனால் அவ்வாறு உலர்ந்த வண்டலில் கதிரி யக்கமொன்றும் காணப்படவில்லை. கரைசலின்போது உண்டான குமிழிகளில் ஒரு வேளை கதிரியக்கம் யாவும் வெளியே சென்றிருக் கலாமென்று யூகித்து, இச் செயல் முறையை மறுபடியும் திருப்பி நடத்தினர். ஆனால், வெளிவிடப்பட்ட வாயுவை ஜாக்கிரதையாக ஒரு குப்பியில் பிடித்து, அதைச் சோதித்தபோது, PH_3 என்ற அவ் வாயுவில் கதிரியக்கம் முழுவதும் இருக்கக் கண்டனர். ஆகவே, ஆல்பாத்துகள்களால் கலக்கப்பட்ட அலுமினியத்தில் ∴பாஸ்∴பரம் உண்டாகிறதென்றும், அப் பாஸ்∴பரம் கதிரியக்கம் பெற்றது என்றும் நிரூபிக்கப்பட்டது.

வேறொரு சோதனையில், உண்டுபண்ணப்பட்ட ∴பாஸ்பரத் தை ஸர்க்கோனியம் ∴பாஸ்∴பேட்டாக (Zirconium Phosphate) விழுபடிய வைத்து (Precipiiated), அதில் கதிரியக்கம் யாவுமிருப் பதையும், திரவத்தில் கதிரியக்க மொன்றுமில்லை யென்பதையும்

காண்பித்தனர். இவ்வாறே, தாக்குண்ட போரானில் கதிரியக்க நைட்ரஜன் உண்டாகிறதென்பதையும் நிரூபித்தனர்.

விரைவில், உலகத்தின் வெவ்வேறு ஆய்வுக் கூடங்களில் விஞ்ஞானிகள் நூற்றுக்கணக்கான பொருள்கள் அணுக்கருத் தாக்குதலால் கதிரியக்க மூட்டப்பெற்றவையாக மாற்றினர். தற்காலத்தில், அணு உலையின் நடுவே தனிமங்களை வைத்து, அங்குப் பாய்ந்து செல்லும் அதிகச் செறிவுடைய அதிவேக நியூட்ரான்களால் அவற்றைத்தாக்கி, எத்தனிமத்திலும் கதிரியக்கத்தை ஊட்டி விடலாம் என்று காண்பித்துள்ளனர். இம் முறையில் ஏராளமான கதிரியக்க ஐசோடோப்புகள் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன.

கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் மருத்துவம், தொழில், ஆராய்ச்சிகள் முதலிய பலதுறைதளில் பெருமளவில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன மருத்துவத்தில், இவை வியாதிகளைக் கண்டுபிடிக்கவும், அவற்றிற்குச் சிகிச்சை செய்யவும் வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றன. உதாரணமாக, கதிரியக்க சோடியத்தைக் கொண்டு ($*Na^{24}$) இரத்த ஓட்டத் தடைகளைக் காண்டுபிடிக்கலாம். சிறிது $*Na^{24}$ கலந்த உப்பு நீரை (Nacl) சிறிதளவு நோயாளியின் முன்னங் கையின் சிரை (Vein)யில் உட்செலுத்தி, ஒரு G·M எண்ணி, ஒரு காலுடன் சேர்த்து வைக்கப்படுகின்றது. இரத்த ஓட்டம் சரியாக இருந்தால், கதிரியக்கம் வெகு சீக்கிரத்தில் G. M. எண்ணியில் காணப்பட்டு, வேகமாக அதிகரித்து, ஒரு மணி நேரத்தில் உச்ச நிலையை அடைகிறது. ஆனால், இரத்த ஓட்டத்தில் தடையெதுவு மிருந்தால், கதிரியக்கம் மிக மெதுவாக உயருகிறது. G. M. எண்ணியை உடம்பின்வெவ்வேறு பாகங்களில் வைத்துச் சோதித்தால், எங்கு தடையுள்ளது என்பது தெரியவரும். பிறகு தேவையான சிகிச்சை தரலாம்.

மூளைக்கட்டிகளைக் கண்டுபிடிப்பதும் சிகிச்சையளிப்பதும் வெகு கடினம். ஆனால் மூளைக்கட்டிகள் அயடினை (iodine) அதிகமாக உட்கிரகிக்கின்றன என்ற உண்மையைக்கொண்டு அவைகளைக் கண்டுபிடிக்க முடிகிறது. கதிரியக்க அயடினை (I^{131}) வெள்ளைக்கருவில் கலந்து நோயாளிக்கு ஊசிமூலம் செலுத்தினால், மூளைக்கட்டி அதனை உட்கிரகிக்கிறது. கட்டியினுட்சென்ற ரேடிய அயடினிலிருந்து காமாக் கதிர்கள் வெளியிடப்படுவதால், அவற்றைக் கொண்டு கட்டி எங்கே உள்ளது என்று கண்டுபிடிக்கலாம். அக் காமக் கதிர்களை கட்டியின் திசுக்களை (tissues)யும் தாக்கி அழிக்கின்றன.

அயடினை வாயின் ஒழியால் உட்கொண்டால் அது தைராய்டு சுரப்பியால் கிரகிக்கப்படுகிறது. இதைப் பயன்படுத்தி, புற்று நோயுற்ற தைராய்டு சுரப்பிக்கு சிகிச்சையளிக்கப்படுகிறது. கதிரியக்க அயடினை வாயின் வழியாய் உட்கொண்டால், அது தைராய்டால் கிரகிக்கப்பட்டு, காமாக்கதிர்களை அதற்குள்ளிருந்து வெளிவிட்டு புற்று நோயுற்ற திசுக்களைத் தாக்குகிறது. கதிரியக்க பாஸ்பரம் (P^{32}) இரத்த சம்பந்தமான நோய்களுக்குப் பயன் படுகிறது. புற்றுநோய்க்குச் சிகிச்சை யளிப்பதற்கு ரேடியம் வெகு காலமாகப் பயன்பட்டு வந்துள்ளது. ஆனால் ரேடியம் மிக்க விலையேறப் பெற்றது. அத்துடன் அதன் அரை வாழ்வு காலமும் மிக அதிகம். தற்காலத்தில் ரேடியத்திற்குப்பதிலாக்க் கதிரியக்கக் கோபால்டு (Co^{60}) வெகுவாகப் பயன்படுகிறது. 5·3 ஆண்டு அரை வாழ்வுக் காலமுடைய Co-60, 1.17 mev, 1,32 mev ஆற்றல்களுடைய காமாக்கதிர்களை வெளிவிடுவதால், இவை புற்று நோய்த் திசுக்களைத் தாக்கியழிக்க மிகவும் பயன்படு கின்றன.

கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் 'உளவு' அணுக்களாகப் (tracers) பயன்படுகின்றன. தாவரங்கள் மிருகங்கள், மக்கள் உடம்பில் நடைபெறும் வினையாக்கங்களை ஆராய இவ்வளவு அணுக்களை உடலெலுத்தி அவை செல்லுமிடங்களை உணமிவுமிக்க எண்ணி களைக் கொண்டு பின்பற்றி, அவை எங்கெங்கே பிரிக்கப்படு கின்றன, என்ன வேகத்தில் கிரகிக்கபபடுகின்றன என்ற விஷயங்களை ஆராயலாம். உணவு இரத்தமாகமாறும் விதம், உடம்பில் கிரகிகபபடும் விதம், எந்தெந்த தனிமங்கள் உடம் பின்எப் பாகததைப் போஷிக்கின்றன என்பதையெல்லாம் கவனிக் கலாம். கதிரியக்க நைட்ரஜன் கதிரியக்க பாஸ்ரம் இவற்றை உரத்தில் கலந்து பயிர்பச்சைகளுக்கு ஊட்டி, உரத்தை வேரில் ஊட்டுவதா, இலைகளில் தெளிப்பதா, எந்த உரம் விரைவில் கிரகிக்கப்படுகிறது என்ற விஷயங்களையும் ஆராயலாம்.

தொழில் துறைகளிலும் கதிரியக்க ஐசடோப்புகள் பெருமள வில் பயன்படுகின்றன. காகிதம், ரப்பர், உலோகத் தகடுகளின் தடிப்பங்களை அளக்கவும் ஒழுங்குபடுத்தவும் கதிரியக்க ஐசடோப் புகளை உபயோகிகின்றனர். பீட்டா வெளிவிடும் ஐசடோப்பைத் தகட்டின் அடியில் வைத்து, தகட்டிற்குமேலே எண்ணியைப் பொருத்திவைத்தால், தடிப்பத்திற்கேப்ப பீட்டாக் கதிர்கள் குறைவாகவோ அதிகமாகவோ தகட்டினூடே சென்று, எண்ணி யால் அளக்கப்பட்டு, தடிப்பத்தை அளக்கவும் கட்டுப்படுத்தவும் பயன்படும். தொழிற்சாலைகளிலும் வெகுவாய்ப் பயன்படும்

பாயிலர்களின் (boilers) சுவர்களில் காற்றிக் குமிழிபோன்ற பழுதுகள் ஏதேனுமிருந்தால் வெகு ஆபத்தாக முடியும். நீராவி அதிக அழுத்தத்தில் தயாரிக்கப்படும்பொழுது இப்பழுதுற்ற இடத்தில் வெடிப்புண்டாகி, பாயிலர் வெடித்து, அதிக சேதமுண்டாகலாம். பாயிலருக்குள் காமாக்கதிர் வெளிவிடும் கதிரியக்க ஐசடோப்பை வைத்து, வெளியில் சுவரைச்சுற்றி ஒளி உணர்வுக் காகிதத்தை வைத்தால், பாயிலரிலுள்ள பழுதுபுள்ளிகள் உடனே தெரியவரும்.

உலோக மேற்பரப்புகளில் தேரிடும் துருப்பிடித்தல், அரித்தல், நனைதல், அழுக்கை நீக்கல், முதலிய நிகழ்ச்சிகள் ஆராயவும் கதிரியக்க ஐசடோப்புகளை உபயோகிக்கின்றனர். உராய்வைப் பற்றிப் பல வழிகளில் கதிரியக் கதிர்களைக்கொண்டு ஆராய்ச்சிகள் நடத்தி வருகின்றனர். மோட்டார் வண்டிகளின் எஞ்சினில் முன்னும் பின்னும் அதிவேகமாய் இயங்கும் பிஸ்டன் தண்டு, எஃகால் ஆனது; இது எவ்வளவு சுலபமாய்த் தேய்கிறது என்பதைக் கண்டுபிடிக்க, பிஸ்டன் தண்டை அணு உலையில் சிறிது நேரம் வைத்து, எஃகைக் கதிரியக்கமுள்ளதாக்கி, எஞ்சினில் பொருத்தி இயக்கினர். பிறகு எஞ்ஜினிலுள்ள உயவுப் பொருளை (lubricant) எடுத்து, அதில் எவ்வளவு கதிரியக்கம் உள்ளது என்று அளந்தால், எஃகுத்தண்டு எவ்வளவு தேய்ந்துள்ளது என்பது தெரியவரும். இவ்வித ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் சிறந்த உயவுப் பொருள்களும்; ஒன்றன் மேலொன்று உராய்ந்து செல்லும் பரப்புக்களின் அமைப்புக்களும் தெரியவரலாம்;

கதிரியக்க ஐசடோப்புகளின் உபயோகங்களுக்கு ஒரு வரம்பில்லை. மனிதனின் தேவைகளும், அவனது அறிவாற்றலும் புத்திக்கூர்மையும் சேர்ந்து, கதிரியக்கப் பொருட்களுக்குத் தினமும் புதிய பிரயோகங்களைக் கண்டுபிடித்து வருகின்றன.

அத்தியாயம் 15

வினாக்கள்

1. தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கம் எவ்வாறு கண்டுபிடிச்சப்பட்டது? எவ்வாறு நிரூபிக்கப்பட்டது என்பதை விளக்கு.
2. கதிரியக்க ஐசடோபுகளின் உபயோகங்களை விவரி;
3. தூண்டப்பட்ட கதிரியக்கத்தைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை எழுது.

[சென்னை B.Sc. (Hons) 1349; 1954, பம்பாய் 1953.

16. துகள் வேக முடுக்கிகள்

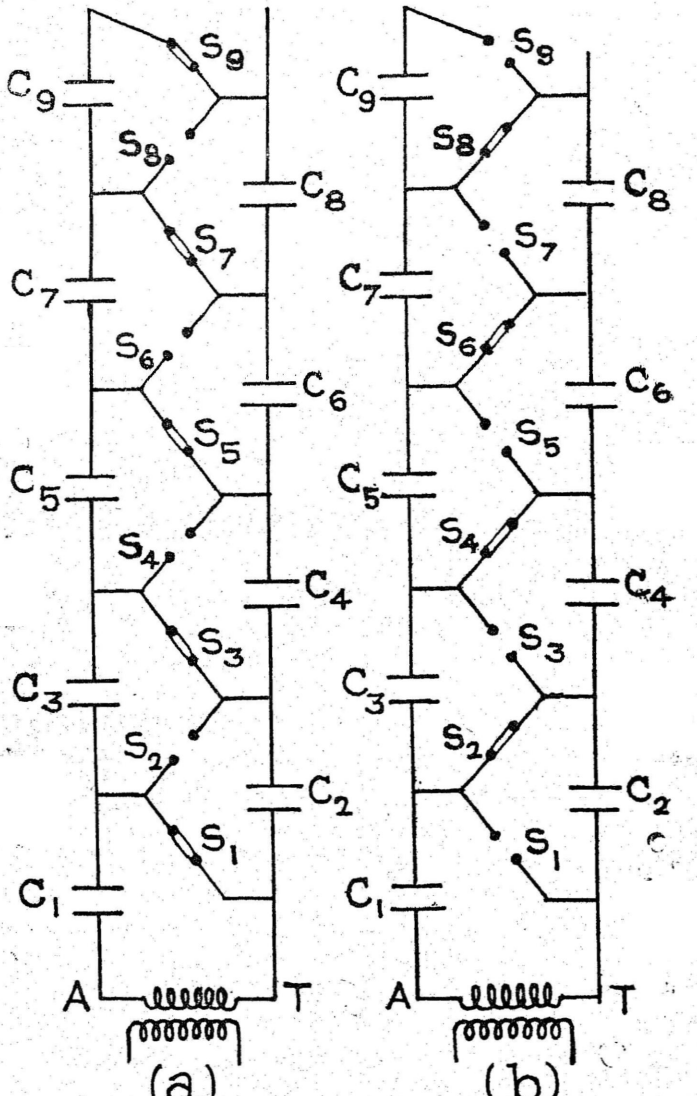
(Particle Accelerators)

ஈதர்போர்டு முதன் முதலில், 1919ஆம் ஆண்டில், ஆல்பாத் துகள்களைக் கொண்டு அணுக் கருக்களைத் தாக்கி, அணுமாற்றம் விளைவித்ததிலிருந்து, விஞ்ஞானிகளின் அணுக் கரு ஆராய்ச்சிகள் அனைத்திற்கும் கதிரியக்கப் பொருட்களிலிருந்து வெளிவரும் ஆல்பாத் துகள்களே பயன்படுத்தப்பட்டன. ஆனால், இவ் வால்பாத் துகள்களின் ஆற்றல்களையும் செறிவையும் கூட்டவோ குறைக்கவோ முடியாது. ஆகவே, விஞ்ஞானிகள் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களைச் செயற்கைமுறையில் வேகமுடுக்கம் பெறச் செய்வதற்குப் பல வழிகளில் முயன்றனர். ஈளடைவில் இம் முயற்சியில் வெற்றிபெற்று, பல்லாயிக்கணகான மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்டு ஆற்றல்களைக் கொண்ட அயனிகளை உண்டுபண்ணி அணுக் கருத் தாக்குதலுக்குப் பயன்படுத்தினர்.

காக்ராஃப்டு—வால்டனின் மின்னழுத்தப் பெருக்கி (Cockroft—Walton's Voltage Multiplier) : ஆங்கில விஞ்ஞானிகள் காக்ராஃப்டும், வால்டனும் 1932ஆம் ஆண்டில் புரோட்டான்களுக்குச் செயற்கையில் வேக முடுக்கமேற்றி, அவற்றைக் கொண்டு லித்தியத்தைத் தாக்கி, அணு மாற்றம் விளைவித்ததை 14ஆம் அத்தியாயத்தில் பார்த்தோம். அவர்கள் பல மின்தேக்கி (condensers)களையும் சீராக்கி (ractifiers)களையும் கொண்டு, மின்தேக்கிகளை இணையாக வைத்து மின்னூட்டமேற்றி, பிறகு அவற்றைத் தொடர் அடுக்காக வைத்து மின்னிறக்கம் செய்து, அவற்றின் மின்னழுத்தங்களைக் கூட்டினர். அம் மின்னழுத்தத்தால் அயனிகளுக்கு வேகமூட்டி ஆற்றல் அளித்தனர்.

அவர்களது உபகரணம் 79-ம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. C_1, C_2, C_3 ..... என்ற மின்தேக்கிகள் படத்தில் கண்டதுபோல் S_1, S_2, S_3 ..... என்ற ஸ்விட்ச்சுகளுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. (இந்த ஸ்விச்சுகள் உண்மையில் வெப்ப அடனி வால்வுகள்).

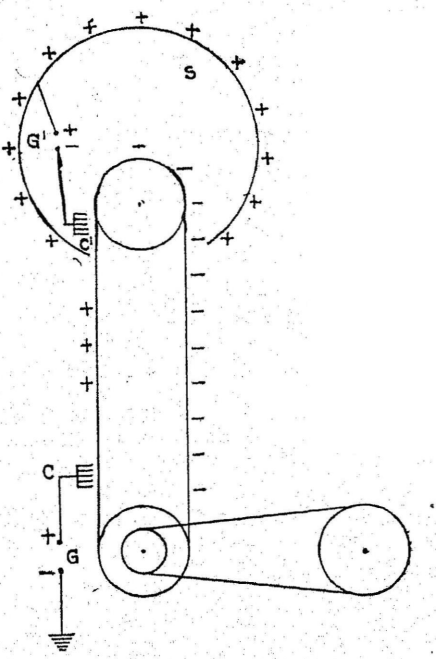
T என்ற மின்மாற்றியைக் கொண்டு உயர்ந்த மாறுமின்னழுத்தம் இவற்றிற்கு ஊட்டப்படுகிறது. மின்னழுத்தத்தின் ஒரு பாதி



படம் 79. **காக்ராஃப்ட்—வால்டனின் மின்னழுத்தப் பெருக்கி** சைக்கிளில் (cycle) S_1 S_3 S_5 ..... ஸ்விச்சுகள் முடியும், S_2 S_4 S_6 ..... ஸ்விச்சுகள் திறந்தும் உள்ளன. (படம் *a*): அடுத்த பாதி சைக்கிளில் நிலைமை இதற்கு எதிர்மாறாய் உள்ளது.

முதலாவது பாதி சைக்கிளில் C_1 மின்னேற்றமடைகிறது. அடுத்த பாதி சைக்கிளில் S_1 திறந்து S_2 மூடப்பட்டிருப்பதால், C_1 தனது மின்னூட்டத்தை C_2 — உடன் பகிர்ந்து கொள்கிறது. மறுபாதி சைக்கிளில், C_1 மறுபடியும் முழு மின்னேற்றத்தைப் பெறுகிறது: அத்துடன் S_2 திறந்து S_3 மூடியிருப்பதால், C_2 தனது மின்னூட்டத்தை C_3 யுடன் பகிர்ந்துகொள்கிறது. இவ்வாறே மாறி மாறி, மின்னூட்டம் எல்லா மின்தேக்கிகளுக்கும் ஏற்றப்படுகிறது. படத்தில் A-க்கும் B-க்குமிடையே உள்ள மின்னழுத்தம் ஒரு மின்தேக்கியின் மின்னழுத்தத்தைப்போல் ஐந்து மடங்காகும். இவ் வரிசையில் 20, 30 மின்தேக்கிகளை வைத்து, மின்னழுத்தத்தை 20, 30 மடங்காகப் பெருக்கலாம். இவ்வித அமைப்பைக் கொண்டு காக்ராஃப்டும் வால்டனும் 800,000 வோல்டு மின்னழுத்தம் பெற்றனர். பம்பாய்க் கருகிலுள்ள ட்ராம்பேயில், 10 லட்சம் வோல்டு மின்னழுத்தம் உண்டுபண்ணும் ஜனனி உள்ளது.

வான்டி கிராஃப் ஜனனி (Van de Graaff generator): இந்த ஜனனியில், ஒரு பெரிய உலோகக் கோளத்திற்கு (S) மின்னூட்டம் ஒரு பெல்ட்டு வழியாகச் சதா ஊட்டப்படுகிறது. சுமார் 100,00



படம் 80. **வான்டி கிராஃப் ஜனனி**

வோல்டு மின்னழுத்தத்திலுள்ள G என்ற ஜனனி, நேர் மின்னூட்டத்தை இப் பெல்ட்டின்மீது கூர்மையான பற்களுடைய ஒரு உலோகச் சீப்பைக் (C) கொண்டு வாரியிறைக்கின்றது. இம் மின்னூட்டம் மேலே கொண்டு செல்லப்பட்டு, C^1 என்னும் கூர்பற்சீப்பால் சேகரிக்கப்பட்டு, கோளத்தின் மேற்பரப்புக்குச் செல்கிறது. மின்னூட்டத்தை அதிகரிக்க, G^1 என்னும் ஜனனி எதிர் மின்னூட்டத்தைப் பெல்ட்டின்மீது இறைக்கின்றது. இவ்வாறு கோளத்தின் மீதுள்ள மின்னூட்டம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, அதன் மின்னழுத்தமும் அதிகரிக்கிறது. கோளத்தைத் தாங்கும் தூண்கள் வழியாகவும், சுற்றிலுள்ள காற்றிலும் மின்னூட்டம் கசிந்து விடுவதால், குறிப்பிட்ட ஓரளவுக்குமேல் மின்னழுத்தத்தை ஏற்ற முடியாது.

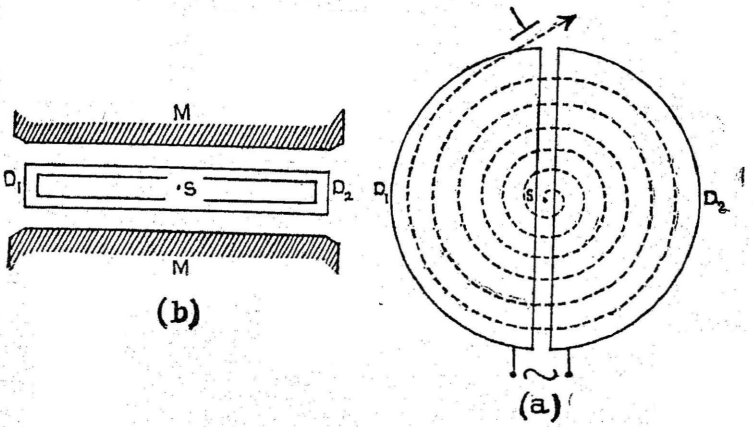
வெஸ்டிங் ஹௌஸ் கம்பெனியார் நிறுவிய ஜனனி 37 லட்சம் (3·7 மில்லியன்) வோல்டு அழுத்தம் உண்டுபண்ணிற்று. மாசச் சூஸட்ஸ் இன்ஸ்டிட்யூட்டிலுள்ள இரு கோளங்களில் எதிரான மின்னூட்டங்களைக் கொடுத்து, அவற்றிற்கிடையே 5·1 மில்லியன் வோல்டு மின்னழுத்தம் உண்டுபண்ணினர்.

சைக்ளட்ரான் (The Cyclotron) :—மேலே விவரித்த ஜனனிகளில் மாபெரும் மின்னழுத்தங்களை உண்டுபண்ணி, அவற்றைக் கொண்டு அயனிகளுக்கு வேகமூட்டுகின்றனர். இவ்வளவு அதிக மின்னழுத்தத்தில் காப்பிடுவது (insulation) மிகவும் கடினமாகி விடுகிறது. ஆனால், 1932ஆம் ஆண்டில் E. O. லாரன்ஸ் நிறுவிய சைக்ளட்ரான் என்னும் வேகமுடுக்கியில், மிக அதிக மின்னழுத்த மின்றியே, "ஒத்ததிர்வு வேகமுடுக்கம்" (resonance acceleration) என்ற ஒரு புதுமுறையைக் கொண்டு மிக அதிகமான ஆற்றலத்துகள்களுக்கு ஊட்டமுடிந்தது. இதை நிறுவியதற்காக, லாரன்சுக்கு 1939ஆம் ஆண்டில் நோபல் பரிசு அளிக்கப்பட்டது.

சைக்ளட்ரானில் D_1 D_2 என்ற இரு தட்டையான, அரைவட்ட வடிவமான பெட்டிகளுள்ளன. அவற்றிற்கு 'டீ'கள் (dees) என்று பெயர். (ஆங்கில எழுத்து D போலிருப்பதால்) (படம் 81*a*). இவை 10,000 வோல்டும் ஒரு கோடி (10 மில்லியன்) சைகிள்/வினாடி அதிர்வெண்ணும் கொண்ட ஒரு மாறு மின்னழுத்த ஜனனியுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. இப் பெட்டிகளுக்கு மேலும் கீழும் சுமார் 15000 ஒயர்ஸ்டட் காந்தப் புலத்தின் துருவங்கள் வைக்கப்பட்டுள்ளன-(MM). பெட்டிகள் இரண்டும் வேறொரு பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டு, இது சுத்தமான வெற்றிடமாக்கப்பட்டுள்ளது.

இரு டீகளுக்குமிடையே உள்ள இடத்தில் (S) நேர் அயனிகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. உடனே, அவை எந்த டீ எதிர்மின்னூட்

டம் பெற்றுள்ளதோ, அதை நோக்கி இழுக்கப்படுகின்றன (D_2). டிக்குள் நுழைந்ததும், அவ்விடம் மின்புலமற்ற இடமாக இருப்ப



படம் 81. சைக்ளட்ரான்

தால், அயனிகள் காந்தப்புலத்தால் வளைக்கப்பட்டு, வட்டப்பாதையில் செல்கின்றன. காந்தப்புலமும் மின்புலத்தின் அதிர்வெண்ணும் சரியாய் ஒழுங்கு செய்யப்பட்டிருப்பதால், அயனிகள் ஓர் அரை வட்டம் சென்று, இரு டிக்ளுக்கிடையேயுள்ள இடைவெளிக்குள் வரும்பொழுது, மின்னழுத்தமும் துருவமாறி, D_1-க்கு எதிர் மின்னூட்டம் உண்டுபண்ணியிருக்கும். ஆகையால், அயனிகள் 10,000 வோல்டு மின்னழுத்தத்தால் மறுபடியும் இழுபட்டு, D_1-க்குள் அதிக வேகத்துடன் நுழையும். அங்கே சற்று அதிக ஆர முடைய வட்டப்பாதையில் வளைந்து, டியை விட்டு இடைவெளிக்குள் நுழையும்பொழுது, மறுபடியும் மின்புலம் துருவமாறி, அயனிகளை D-2-க்குள் இன்னொரு 10,000 வோல்டு அழுத்தத்தில் இழுக்கிறது. ஒவ்வொரு டிக்குள் நுழையும் முன்னும் வேகம் அதிகரிப்பதால், அயனிகள் முன்னைவிட அதிக ஆரமுடைய வட்டப்பாதையில் சென்று, அதே நேரத்திற்குப் பின்னர் டியை விட்டு வெளியேவந்து, இடைவெளியில் வேகமுடுக்கமடையும். இவ்வாறு இடைவெளிடைக் கடந்துசெல்லும் ஒவ்வொரு தடவையும் 10,000 வோல்டு விசையால் உந்தப்பட்டு, வேகமுடுக்கமடைகிறது. சுமார் 50 — 500 சுற்றுளுக்குப் பின்னர் அயனிகள் உச்சவேகத்துடன் டிகளின்விளிம்பிற்கருகே வளைந்துசெல்கையில், வெளிப்புறத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு மின் சுருளின் உதவியால் அவை வெளியே வளைக்கப்பட்டு, அணுக்கருத் தாக்குதல் நிகழ்ச்சிகளுக்குக் கொண்டு செல்லப்படுகின்றன.

அயனிகள் எந்த வட்டப் பாதையில் சென்றாலும் அதே நேரத்தையே எடுக்கும் என்று சுலபமாய்க் காட்டலாம். அயனியின் நிறை, மின்னூட்டம், வேகம் இவை m, e, v என்றும் அதன் வட்டப்பாதையின் ஆரம் r என்றும், காந்தப்புலம் H என்றும் கொண்டால்,

$$\mathrm{He}\, v = \frac{mv^2}{r} \quad \therefore \quad \frac{v}{r} = \frac{\mathrm{He}}{m} \qquad \ldots \quad (1)$$

அரைவட்டம் செல்வதற்குத் தேவைப்படும் நேரம்,

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi \cdot m}{\mathrm{He}} \qquad \ldots \quad (2)$$

இதிலுள்ள π, m, H, e அனைத்தும் மாறாமலிருப்பதால், அரைவட்டம் செல்வதற்கான நேரமும் ஒரே அளவாய் மாறாமலிருக்கின்றது. அதாவது, வேகம் அதிகமாகும்பொழுது வட்டப் பாதையின் ஆரமும் அதே அளவு உயர்வதால், நேரம் மாறுவதில்லை என்பது விளங்கும். ஆகவே, காந்தப் புலத்தின் செறிவும் மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண்ணும் ஆரம்பத்தில் ஒழுங்கு செய்யப்பட்டுவிட்டால், பிறகு அயனிகள் இடைவெளியைத் தாண்டும் பொழுதெல்லாம், சரியான நேரத்தில் உந்தம் பெற்று, முடுக்கமடையும்.

(1)-லிருந்து, $v = \frac{\mathrm{He}}{m} \cdot r$ என்றிருப்பதால், வட்டப் பாதையின் ஆரம் அதிகமானால், வேக ஆற்றலும் அதிகமாகும் என்பது வெளிப்படை. அயனிகளின் வேக ஆற்றல்,

$$\mathrm{K.\,E.} = \tfrac{1}{2} mv^2 = \tfrac{1}{2} \frac{\mathrm{H}^2 e^2}{m^2} r^2 \qquad \ldots \quad (3)$$

என்ற சமன்பாட்டால் கணிக்கலாம். ஆகவே, அயனிகளின் உச்ச வேக ஆற்றல், கடைசி வட்டப்பாதையின் ஆரத்தின் இருமடிக்கு (square) நேர்விகிதத்திலுள்ளது. இது காரணமாகவே, அதிக ஆற்றல் பெறுவதற்கு, பெரிய டீகளுடைய கருவி தேவைப்படுகிறது. டீ பெரியதானால், காந்தப்புலம் சீராயிருப்பதற்கு அதன் துருவங்களும் அதிக விட்டமுடையவை ஆகின்றன.

குறிப்பு: (1), (2), (3) சமன்பாடுகளில் வரும் மின்னூட்டத்தை மின்காந்த அலகில் ($e.\,m.\,u.$) கொள்ள வேண்டும். ($e\,m.u. = e.\,s\,u./c.$).

மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண் n கொடுக்கப்பட்டிருந்தால், அயனிகளின் வேகமும் வேக ஆற்றலும் கீழ்க்கண்ட

வாறு கணிக்கப்படலாம். சுழலும் அயனிகளும், மாறுதிசை மின்னழுத்தமும் ஒரு சீராயிருப்பதால், மின்னழுத்தம் ஒரு சைக்கிள் பூர்த்தி செய்யும் நேரத்தில் அயனிகள் ஒரு வட்டத்தைப் பூர்த்தி செய்கின்றன. ஆகவே, n சைக்கிள் நேரத்தில் அயனி செல்லும் தூரம் $2\pi rn$. ஆனால், n சைக்கிள்களுக்கு ஒரு வினாடி நேரம் தேவைப்படுவதால், $2\pi rn$ என்பது ஒரு வினாடியில் துகள்கள் செல்லும் தூரம் : அதாவது, இதுவே அவற்றின் வேகம் (v).

$\therefore v = 2\pi rn;$

$$\therefore \text{K. E.} = \tfrac{1}{2} m v^2 = \tfrac{1}{2} m (2\pi rn)^2 = 2 m \pi^2 r^2 n2 \quad \ldots\ldots (4)$$

(2)ஆம் சமன்பாட்டின்படி, t மாறுமலிருக்க வேண்டுமானால், காந்தப்புலமும் (H), துகளின் நிறையும் (m) மாறுமலிருக்க வேண்டும். காந்தப்புலம் மாறுமலிருப்பதற்குக் காந்தத் துருவங்களின் விட்டம் டீ களின் விட்டத்தைவிடச் சற்று அதிகமாயிருத்தல் அவசியம். 1932ஆம் ஆண்டில் முதன் முதலாக லாரன்சும் லிவிங்ஸ்டனும் நிறுவிய சைக்ளட்ரானின் காந்தத் துருவங்கள் 12 அங்குல ஆரமுடையவையாயிருந்தன. அதைக் கொண்டு டரோட்டான்களுக்கு 1·2 *m.e.v.* ஆற்றல்வரை ஊட்டினர். 1936ல் நிறுவிய சைக்ளட்ரனின் காந்தத்துருவங்களின் விட்டம் 37″; அதைக் கொண்டு 8 *mev* டியூட்ரான்களையும், 16 *mev* ஆல்பாக்களையும் உண்டுபண்ணினர். 1939ல் கட்டிய 60″ சைக்ளட்ராஜைக் கொண்டு 16 *mev* டியூட்ரான்களும், 32 *mev* ஆல்பாக்களும் கிடைத்தன. [டியூட்ரான் என்பது ($_1H^2$) ஹைட்ரஜனின் ஐசடோப்பு].

இவ்வளவு அதிக வேகங்களில், ஐன்ஸ்டைனின் சார்புக் கொள்கையின்படி, துகள்களின் நிறை அதிகரிக்க ஆரம்பிக்கிறது. ஆகவே, துகள் அரைவட்டத்தைச் சுற்றும் நேரம் $\left(t = \dfrac{\pi m}{He}\right)$ மாறிலியாயிருக்க வழியில்லை. நேரம் அதிகமாவதால், துகள்கள் பிந்தி வருகின்றன; மாறு மின்னழுத்தம் முன்கூட்டியே மாறி விடுவதால், துகள்களுக்குச் சரியான வேளையில் உந்தம் தரப்படுவதில்லை; வேக ஆற்றல் அதிகரிக்காது. இதைச் சரிப்படுத்தி, துகள்கள் மின்னழுத்தத்துடன் ஒரு சீராகச் செல்வதற்கு, காந்தப் புலத்தையோ மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண்ணையோ ஏற்றவாறு மற்றியமைக்க வேண்டும். "சிங்க்ரட்ரான்" (Synchrotron) என்னும் வேகமுடுக்கியில் இவ்வாறு மாற்றமுண்டுபண்ணப்பட்டு, புரோட்டான்கள் மிக அதிக ஆற்றல்களையுடைய வழியண்டாகியுள்ளன. 1964ஆம் ஆண்டில் ஐரோப்பாவில் (Cern ஆராய்ச்சி

சாலையில்) நிறுவப்பட்ட சிங்க்ரட்ரான், புரோட்டான்களுக்கு 28,000 *mev* ஆற்றல் ஊட்டியது. (1000 *mev* = 1 billion electron volt : bev). 1966ஆம் ஆண்டில், அமெரிக்காவிலுள்ள புரூக்ஹாவன் ஆய்வுக் கூட்டத்தில் (Brookhaven Laboratory) 33 bev ஆற்றலுடைய புரோட்டான் சிங்க்ரட்ரான் நிறுவப்பட்டுள்ளது.

இவ்வாறு மிக அதிக ஆற்றலுடைய துகள்களைக் கொண்டு அணுக்கருக்களைத் தாக்கினால், அணுக்கரு உடைந்து, அதன் அமைப்பையும், அதனுள் செயல்படும் மாபெரும் விசைகளையும் அறிய உதவுகிறது. இவ் வுயர்ந்த ஆற்றல்களைக் கொண்டு பல புதிய துகள்களை உண்டுபண்ண முடிகிறது. சாதாரணமாக, காஸ்மிக் கதிர் பிரம்மாண்டமான ஆற்றலுடன் வானவெளியிலிருந்து வந்து, நமது ஆகாயத்தினுள் நுழைந்து, காற்றணுக்களுடன் மோதி அவற்றை உடைத்து, பல புதிய துகள்களை உண்டுபண்ணுகிறது. தற்காலத்தில் ஆய்வுக் கூடங்களில் நிறுவப்படும் மிகப் பெரிய வேகமூடுக்கிகளும் இவ்வாறே அயனிகளுக்கு மிக அதிக ஆற்றலூட்டி; ஆகாயத்தில் நடக்கும் அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகளை ஆய்வுக் கூடங்களில் நடத்தி ஆராயப் பெரிதும் துணைபுரிகின்றன.

உதாரணங்கள் :

1. ஒரு சைக்ளட்ரானில் புரோட்டான்கள் 32 செ. மீ. ஆர முடைய சுற்றுப்பாதையில் சுற்றி வெளியேறுகின்றன. காந்தப் புலம் 6500 ஓயர்ஸ்டெட் என்றால், (*a*) புரோட்டான்களின் வேகம், (*b*) அவற்றின் ஆற்றல், (*c*) மாறு மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண் இவற்றைக் கணி.

புரோட்டான் நிறை = $1{\cdot}673 \times 10^{-24}$ கிராம்;

$e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ *e. s. u.*

குறிப்பு : காந்த எண்களுடன் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டமும் (*e*) வந்தால், மின்னூட்டம் *e.m.n.* அலகில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட வேண்டுவது அவசியம். (*e*/*c*).

$$\frac{Hev}{c} = \frac{mv^2}{r}$$

(*a*) $$\therefore v = \frac{He}{c} \cdot \frac{r}{m}$$

$$= 6500 \times \frac{4.8 \times 10^{-10}}{3 \times 10^{10}} \times \frac{32}{1{\cdot}673 \times 10^{-24}}$$

$$= 1{\cdot}99 \times 10^{9} \text{ செ.மீ./வினாடி}$$

(*b*) வேக ஆற்றல் $= \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 1.673 \times 10^{-24} \times (1.99 \times 10^9)^2$ எர்கு.

$$= \frac{1}{2} \times \frac{1.673 \times 10^{-24} \times 1.99^2 \times 10^{18}}{1.6 \times 10^{-6}} \text{ m e.v.}$$

$$= 2.07 \text{ m.e.v.}$$

(*c*) அதிர்வெண் $= \frac{v}{2\pi r} = \frac{1.99 \times 10^9}{2\pi \times 32} = 9.9 \times 10^6$

2. புரோட்டான்களும் டியூட்ரான்களும் கலந்தக் கதிர் ஒன்று 100,000 வோல்டு மின்னழுத்தத்தால் முடுக்கம்பெற்று, 15,000 கௌஸ் மின்புலத்தில் செங்குத்தாகச் செல்கிறது. கதிர் ஓர் அரை வட்டம் சென்றால், புரோட்டான்களும் டியூட்ரான்களும் பிரிக்கப் படும் தூரமென்ன ? [சென்னை M.Sc. 1961.]

புரோட்டான் நிறை $= 1.673 \times 10^{-24}$ கிராம்

டியூட்ரான் நிறை $= 2 \times 1.673 \times 10^{-24}$ கிராம்.

$\frac{1}{2} mv^2 = 100{,}000 \times 1.6 \times 10^{-12}$ எர்கு

$$\therefore mv = \sqrt{3.2 \times 10^{-7}} m$$

$$\frac{Hev}{c} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\therefore r = \frac{mv}{He}$$

புரோட்டான் : $r_1 = \frac{\sqrt{3.2 \times 10^{-7}} \times 1.673 \times 10^{-24}}{15000 \times 4.8 \times 10^{-10}} \times 3 \times 10^{10}$ செ.மீ.

$= 3.05$ செ. மீ.

டியூட்ரான் $r_2 = \sqrt{2}\, r_1 = 4.31$ செ. மீ.

இவை இரண்டிற்குமிடையே உள்ள தூரம் $= 2(r_2 - r_1)$

$= 2 \times 1.26 = 2.52$ செ.மீ.

வினாக்கள்

1. ஏன் சைக்ளட்ரானில் எலக்ட்ரான்களை அதிக ஆற்றலுக்கு முடுக்க முடிவதில்லை ?

2. ஒரு சைகளட்ரானில் டியூட்ரான்கள் 32 செ.மீ. ஆரமுடைய வட்டப்பாதையில் சுற்றி வெளிவருன் கிறன. டீகளின் மீது செயல் படும் மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண் 10 மெகா சைகிள்/வினாடி என்றால், (a) டியூட்ரான்களின் வேகம் (b) அவற்றின் ஆற்றல், (c) தேவைப்படும் காந்தப்புலம் இவற்றைக் கணி.

டியூட்ரானின் நிறை $= 3{\cdot}34 \times 10^{-24}$ கிராம்.

$$\left[\text{குறிப்பு : } v = 2\pi rn = \frac{\mathrm{H}er}{mc} \right]$$

[**விடை:** (a) $2{\cdot}01 \times 10^{9}$ செ.மீ./வி; (b) $4{\cdot}23mev$; (c) 13,140 கௌஸ்

3. 60 செ.மீ. ஆரமுடைய வட்டப்பாதையில், 10000 கௌஸ் காந்தப் புலத்தில் செல்லும் புரோட்டானின்வேக ஆற்றல் என்ன? புரோட்டானின் நிறை $= 1{\cdot}673 \times 10^{-24}$ கிராம்; $e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10} e.s.u.$

குறிப்பு; $v = 2\pi rn$;

$$\frac{\mathrm{H}e}{e} = \frac{mv}{r} = m \cdot 2\pi rn = 2\pi mn$$

$$\text{K.E.} = \tfrac{1}{2} \cdot mv^2$$

[விடை : 17·2 *m.e.v.*].

17. அணுக்கருப் பிளவையும் அணு ஆற்றலும்

(Nuclear fission and Atomic Energy)

அணுக்கருப் பிளவையும் அதன் விளைவான அணு ஆற்றல் வெளி விடுதலையும் கண்டுபிடித்தது, பழங்கால மனிதன் நெருப்பைக்கண்டு பிடித்தற்கு ஒப்பாகும் என்று பல விஞ்ஞானிகள் கருதுகின்றனர். அணு சகதியைப் பெருமளவில், மலிவாக, சேதம் நேராமல், கட்டுப்படுத்தும் வகையில் வெளிவிடுவதற்கு மனிதன் கற்றுக்கொண்டுவிட்டால், அவனது ஆற்றல் பிரச்னைகள் அனைத்தும் தீர்ந்துவிடுமென்பதற்குச் சந்தேகமில்லை. அணு ஆற்றலை ஏராளமாக வெளிவிடும் இவ்வெகு முக்கியமான கண்டுபிடிப்பைச் சாதிக்க, சாதாரண காலங்களில் குறைந்தது ஒரு சந்ததி காலமாவது (40 ஆண்டுகளாவது) செல்லும். ஆனால், இரண்டாம் உலக யுத்தநெருக்கடி காரணமாக, இதைப் பதினேராண்டுகளில் சாதித்துவிட்டனர். சுருக்கமாக, இதைக்குறித்த அடிப்படை ஆராய்ச்சிகள் 1934ஆம் ஆண்டில் துவங்கின; 1939 ஆம் ஆண்டில் அவற்றைச் சரியான முறையில் விளக்கினர்; 1944ஆம் ஆண்டில் அதைப் பெருமளவில் (அணுகுண்டாக) பிரயோகிக்க வகைகண்டுபிடித்து விட்டனர்.

1934ஆம் ஆண்டில், இத்தாலிய விஞ்ஞானி என்ரிகோ ஃபெர்மி (enrico Ferrni), அக்பொழுது கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருந்த நியூட்ரானைக்கொண்டு, யாவற்றிலும் அதிகக் கனமான யுரேனிய அணுவைத்தாக்கினார். நியூட்ரானால் தாக்கப்பட்ட தனிமங்கள் பெரும்பாலும் ஓர் எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு, ஓர் அணு எண் அதிகமாயுள்ள தனிமமாக மாறுவதை யாவரும் அறிந்திருந்தனர். ஆகவே அதுவரை உலகத்திலேயே அதிகமான அணு எண்ணுடையதாக இருந்த யுரேனியத்தை ($_{92}U^{238}$) நியூட்ரானால் தாக்கினால், அதுவும் ஒரு எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு, 93 அணு

எண்ணுடைய தனிமமாகி விடலாம்; இவ்வாறு 'புற-யுரேனிய' (Transuranium) தனிமத்தை உண்டுபண்ணலாம் என்று எண்ணியே யுரேனியத்தை நியூட்ரான் கொண்டு தாக்கினர். அவர் எதிர் பார்த்தபடியே, நியூட்ரானால் தாக்குண்ட யுரேனியத்திலிருந்து எலக்ட்ரான் வெளிவந்தது. உடனே 'புறயுரேனியத் தனிமம்' கண்டுபிடிக்கப்பட்டு விட்டதாக அறிவித்தார்.

ஆனால், இதன் உண்மையைச் சோதிக்க முற்பட்ட பலரும் முரண்பாடான வெவ்வேறு விளைவுகளைக் கண்டனர். நாம் 12ஆம் அத்தியாயத்தில் கண்டபடி, ஒரு கதிரியக்கத் தனிமத்தின் அரை வாழ்வுக்காலம், என்றும் எங்கும் மாறுத ஒரு பண்பு என்று அறிவோம். ஆனால், நியூட்ரானால் தாக்குண்ட யுரேனியம் (புறயுரேனிய அணுவாக மாறியதாகக் கூறப்பட்டது) வெவ்வேறு ஆய்வுசாலைகளில் வெவ்வேறு அரைவாழ்வுக் காலங்களைக் காண்பித்தது.

ஒரு யுரேனிய அணு நியூட்ரானால் தாக்குண்டால் என்ன தான் விளைகிறது என்பதைக்கண்டுபிடிக்க, ஹான் (Hahn), ஸ்ட்ராஸ்மன் (Strassman) என்ற இரு ஜெர்மானிய விஞ்ஞானிகள் முன்வந்தனர். இத் தாக்குதலில் உண்டான பொருட்களை மிக ஜாக்கிரதையாகப் பிரித்தெடுத்து, வேதியல் சோதனைகளால் அடையாளங் கண்டுபிடித்தனர். இவ்வாராய்ச்சிகளின் விளைவாக, 1939 ஆம் ஆண்டில் அவர்கள் ஒரு திடுக்கிடும் முடிவிற்கு வந்தனர். அதாவது, 'நியூட்ரானால் தாக்குண்ட யுரேனிய அணுக்கரு, நடுத்தரமான இரு அணுக்கருகளாக உடைந்துபோகிறது' என்று அறிவித்தனர். யுரேனியம் போன்ற பெரிய அணுக்கரு, சாதாரணமாகப் புரோட்டான், ஆல்பாத் துகள் போன்ற ஒரு சிறிய துகளை வெளிவிட்டு, வேறொரு அணுவாக மாறியதையே இது வரை அறிந்திருந்த விஞ்ஞானிகளுக்கு, இம் முடிவு வியப்பை அளித்தது. ஆனால், பேரியம், லாந்தானம் போன்ற நடுத்தர நிறையுடைய அணுக்கருக்கள் இந் நிகழ்ச்சியில் உண்டாகின்றன என்று திட்டவட்டமாக நிரூபித்தனர், அந்த ஜெர்மானிய விஞ்ஞானிகள்.

முடிவில், மைட்னர் அம்மையாரும் (Miss Meitner) O. R. ஃப்ரிஷ் (Frisch) என்பவரும் இந் நிகழ்ச்சியைச் சரியானபடி விளக்கினர்: "யுரேனிய அணு, கதிரியக்கத்தில் இயற்கையாகத் தானாகவே சிதைவுறுவதால், அதன் அமைப்பு ஏற்கெனவே நிலையற்றதாக உள்ளது. இதை ஒரு நியூட்ரான் தாக்கினால், அது நிலைகுலைந்து, ஏறக்குறைய சம நிறையுள்ள இரு அணுக்கருக்களாகப் பிரிந்து போகிறது' என்று விளக்கினர். இந் நிகழ்ச்சிக்கு

'அணுக்கருப் பிளவை' (Nuclear Fission) என்றும் பெயரிட்டனர். (உயிரியலில், ஸெல்கள் பாகுபடுவதை இச் சொல்லால் ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டு வந்தனர்.)

இவ் விளக்கம் அதுவரை முரண்பாடாகத் தோன்றிய பல முடிவுகளைச் சீராக்கியது. யுரேனிய அணுக்கரு இருசம நிறையுள்ள துகள்களாகப் பிளவுபடுமானால், பேரியம், லாந்தானம் முதலிய அணுக் கருக்கள் உண்டாவது இயற்கையே. அத்துடன், யுரேனியத்திலுள்ள 146 நியூட்ரான்களும் 92 புரோட்டான்களும் இப்புதிய இரு அணுக்கருக்களிடையே எவ்விதமாகப் பிரிக்கப் பட்டாலும், அவற்றின் நியூட்ரான்-புரோட்டான் விகிதம் மிக அதிகமாயிருக்கும் என்பது சிறிது ஆராய்ந்தால் தெரியவரும். [உதாரணமாக, $Z_1=50$, $Z_2=42$ என்ற அணுக்கருக்கள் உண்டாகின்றன என்று வைத்துக்கொள்வோம். (146+1) நியூட்ரான்களையும் ஏறக்குறைய அதே விகிதத்தில் பகுத்து, 80, 67 என்று கொடுப்போம்: ஆகவே, புதிதாக உண்டான அணுக்கருக்கள் ${}_{50}Sn^{130}$, ${}_{42}Mo^{109}$ என்று வரும். ஆனால் தனிம அட்டவணையில், நிலையான அவ்வணுக் கருக்கள் ${}_{50}Sn^{119}$, ${}_{42}Mo^{96}$ என்று காண்கிறோம்.] இவ்வாறு அணு எண் குறைவாகவும், நிறை எண் அதிகமாகவுமுள்ள அணுக்கரு, பல எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடு, அணு எண்கள் படிப்படியாக உயர்ந்து, வெவ்வேறு தனிமங்களாகி, கடைசியில் ஸ்திரமான நிலையை எய்தடைகிறது. ஆகவே, வெளிவந்த எலக்ட்ரான்கள் புற யுரேனிய அணுவை உண்டாக்கிவிடவில்லை; பிளவுபட்ட அணுக்கருவின் மூண்டுகளிலிருந்து வருபவை என்று விளங்குகிறது. அவற்றின் அரை வாழ்வுக் காலங்கள் வெவ்வேறுயிருந்ததில் ஆச்சரியமொன்றுமில்லையல்லவா?

உலகின் பல பாகங்களில் வெகு மும்முரமாக நடந்த ஆராய்ச்சிகளின் பலனைக் கீழ்கண்ட உண்மைகள் விரைவில் வெளியாயின:

(1) அணுக்கருப் பிளவையின் விளைவாக, புரோமினிலிருந்து ($Z=35$) லாந்தானம் ($Z=57$) வரை, எந்தத் தனிமமும் உண்டாகலாம். அவ்வாறு உண்டாகும் தனிமங்கள இரண்டும் வெகு தீவிரமான கதிரியக்கமுடையனவாய், பீட்டாத் துகள்களை வெளிவிடுச் சிதைவுறும். அவற்றின் அரை வாழ்வுக் காலங்கள் யாவும் வெவ்வேறுயிருக்கும்.

(2) யுரேனியத்திலுள்ள இரு ஐசடோப்புகளில், ஒப்பு எண்ணிக்கை (relative abundance) குறைவாயுள்ள U-235 ஐசடோப்பே

அணுக்கருப் பிளவை யுறுகிறது; U-238 அல்ல. மேலும், வேகம் மிகக் குறைந்த நியூட்ரானே U-235-ல் அணுக்கருப் பிளவையை உண்டு பண்ணுகிறது.

(3) இவ்வணுக்கரு நிகழ்ச்சியில் ஏறக்குறைய 0·22 amu நிறை அழித்து, சுமார் 200 mev ஆற்றலாக வெளிவருகிறது. 1939-க்கு முன்பு அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகளில் வெளிவிடப்பட்ட உச்சமான ஆற்றல் 22 mev தான்.

(4) ஒவ்வோர் அணுப் பிளவையிலிருந்தும் 2 அல்லது 3 நியூட்ரான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன.

தொடர் வினை (Chain Reaction)

மேலே கூறிய 4-ஆவது உண்மை, ஒரு திடுக்கிடும் நிலைமையை உண்டுபண்ணியது. எப்படியெனில், ஒரு நியூட்ரான் ஒரு U-235 இல் அணுக்கருப் பிளவையை உண்டு பண்ணுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். உடனே, அதிலிருந்து 2,3 புதிய நியூட்ரான்கள் வெளிவந்து, 2,3 வேறு U-235 அணுக்கருக்களைத் தாக்கிப் பிளவை உண்டுபண்ணும். அவை ஒவ்வொன்றும் வேறு 2,3 புதிய நியூட்ரான்களை உண்டுபண்ணும். இவ்வாறே இந்நிகழ்ச்சி தொடர்ந்து நடைபெற்று, யுரேனியம் முழுவதும் இமைப்பொழுதில் பிளவையடைந்து விடவேண்டும். இதற்கு 'அணுக்கருத் தொடர்வினை' (Nuclear Chain reaction) என்று பெயர். (ஒரு தீக்குச்சியைக் கிழித்துப் பற்றவைத்தால், நுனியில் எரியும் நெருப்பின் வெப்பம் அருகிலிருக்கும் பாகத்தைச் சூடேற்றிப் பற்றவைக்கிறது. இவ்வாறே குச்சி நெடுகத் தானாக எரிந்துகொண்டே செல்கிறது. இதை 'வெப்பத் தொடர் வினை' எனலாம்.)

ஒரு அணுக் கருப்பிளவையில் எவ்வளவு ஆற்றல் வெளிவருகிறதென்று கணிப்போம்:

ஓர் U-235 அணுக்கரு ஒரு நியூட்ரானை உட்கிரகித்து அணுக்கருப் பிளவையடைந்தால், வெவ்வேறு ஜோடித் தனிமங்கள் உண்டாகின்றன. ஆனால், அடிக்கடி உண்டாவது 95 139 நிறை எண்களுடைய தனிமங்களே. $(235+1)=236$ ஆகக் கூட்டப்படாமல், 234 நிறைதான் தருகின்றன; ஏனென்றால், 2 அல்லது 3 நியூட்ரான்கள் தனியாக வெளிவிடப்படுவதால் இவற்றின் நிறைகளாவன:

U-235 = 235·118 amu	Mo—95 = 94·936
n = 1·009 amu	La-139 = 138·950
236·127	233·886 + 2 × 1·009
	2·018
	236·904 amu

ஆகவே, அழிந்துபோன நிறை 236·127—235·904 = 0·223 amu

இதன் ஆற்றல் : 0·223 × 932 = 208 mev

இதைச் சுமார் 200 mev என்று கொண்டால் ஒரு பிளவையிலிருந்து வரும் ஆற்றல் $3·2 \times 10^{-4}$ எர்கு ஆகிறது.

235 கிராம் U-235-இல் $6·2 \times 10^{23}$ அணுக்கருக்களிருப்பதால், 1 கிலோ கிராம் அணுப்பிளவையடைந்தால் வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் $= \frac{1000}{235} \times 6·02 \times 10^{23} \times 3·2 \times 10^{-4}$ எர்குகள்.

$= 8·2 \times 10^{20}$ எர்கு $= 2 \times 10^{13}$ கேலரிகள்.

இது சுமார் 20,000 டன் TNT என்னும் டைனமைட் வெடிப்பதால் உண்டாகும் ஆற்றலுக்குச் சமம்.

அடுத்தடுத்து கடைபெறும் பிளவைக்கிடையே சுமார் 10^{-8} வினாடி நேரமே உள்ளதால், மேலே கணிக்கப்பட்ட அத்தனை ஆற்றலும் லட்சத்தில் ஒரு பங்கு வினாடியில் வெளிப்பட்டுவிடும். அதாவது அந்த அதிவேகத் தொடர்இயக்கம் ஒரு மாபெரும் வெடிகுண்டாக வெடித்து, சாதாரண வெடிகுண்டுகளைவிடப் பல்லாயிர மடங்கு அதிகமான சேதம் விளைவிக்கக் கூடியது என்பது தெரியவருகிறது. 1939ஆம் ஆண்டில் இரண்டாம் உலகயுத்தம் ஆரம்பித்து விட்டபடியால், அணுக்கருப் பிளவையைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளெல்லாம் வெகு இரகசியமாய், ஆனால், வெகு மும்மரமாய் இரு தரப்பினராலும் நடத்தப்பட்டு வந்தன. 1942 ஆம் ஆண்டு, டிசம்பர் மாதம் 2ஆம் தேதியன்று, சிகாகோ யூனிவர்சிடியில், அமெரிக்க விஞ்ஞானிகள் ∴பெர்மியின் தலைமையில் முதன்முதலாக கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அணுக்கருத் தொடர் வினையை உண்டுபண்ணி, சிறந்த வெற்றிகண்டனர். அதன் பின்னர் 1945ஆம் ஆண்டு ஆகஸ்டு மாதம் 7ஆம் தேதியன்று உலகின் முதலாம் அணுகுண்டு ஜப்பானிலுள்ள ஹிரோஷிமா நகரின்மீது வீசப்பட்டு, கொடிப்பொழுதில் லட்சக்கணக்கான மக்களைக் கொன்றும் காயப்படுத்தியும், நகர் முழுவதையும் தரை மட்டமாக்கியும், பெருஞ்சேதம் விளைவித்தது.

கட்டுப்படுத்தப்பட்ட தொடர்வினை (Controlled Chain Reaction)

இயற்கையில் எப்பொழும் தனி நியூட்ரான்கள் உள்ளன. இவை ஏன் பூமியிலுள்ள யுரேனியத்தில் தொடர்வினை உண்டு பண்ணி, கோடிக்கணக்கான ஆண்டுகளுக்கு முன்பே யுரேனியம் அனைத்தையும் அழித்து விடவில்லை ?

இதற்குப் பல காரணங்களுண்டு. முதலாவது, முன்பு கூறிய படி, யுரேனிய ஐசடோப்பு U-235-இல்தான் அணுப் பிளவை ஏற்படுகிறது. இதற்கு மிகக் குறைந்த வேகமுடைய நியூட் ரான்கள் தேவை; நியூட்ரான்களின் ஆற்றல் சுமார் 0.03ev ஆக இருத்தல் வேண்டும். இயற்கை யுரேனியம் வெகு சுத்தமாக இருந் தாலும், அதன் 140-இல் ஒரு பாகமே U 235: மீதி 139 பாகமும் தொடர் வினையற்ற U-238 ஐசடோப்பு ஆகும். அப்படி யுரேனி யத்திலுள்ள ஓரிரண்டு U-235 அணுக் கருவில் பிளவை ஏற் ட்டா லும், வெளிவிடப் டும் தனி நியூட்ரான்கள் அருகிலுள்ள U-238 இலோ, அல்லது அதில் கலந்துள்ள அந்நியப் பொருட்களிலோ கிரகிகக்பட்டுவிடலாம்; அல்லது யுரேனியத்தை விட்டுத் தப்பி வெளியே சென்றுவிடலாம்.

ஆகவே, தொடர்வினை நடைபெறுவதற்குக் கீழ்க்கண்ட சூழ் நிலை தேவைப்படும்:

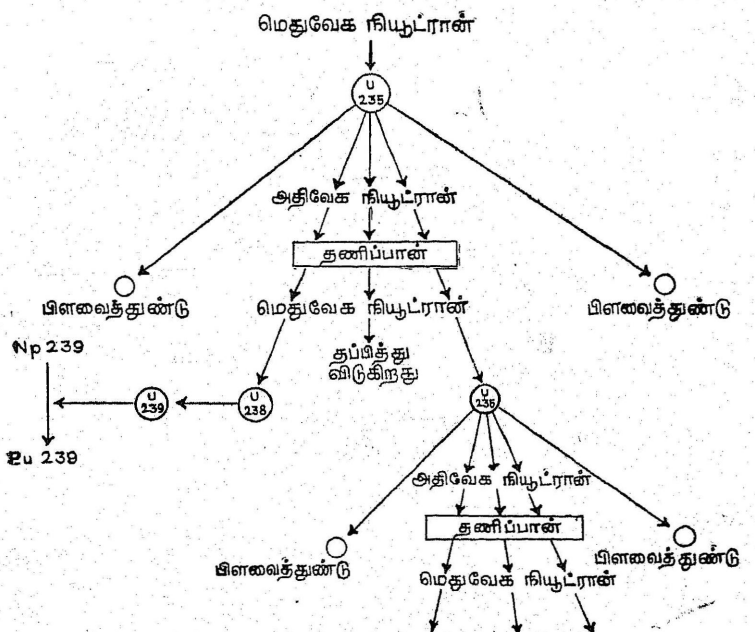
(1) யுரேனியத்திலுள்ள U-235 ஐசடோப்பின் ஒப்பு அளவை அதிகமாக்கல் வேண்டும்;

(2) ஏற்படும் பிளவைகளிலிருந்து வெளிவரும் வேகம் மிக்க நியூட்ரான்களை, கிரகித்துவிடாமல் வேகத்தைக் குறைப்பதற்குத் "தணிப்பான்கள்" (moderators) தேவை.

(3) அந்நியப் பொருட்களால் நியூட்ரான் கிரகிக்கப்படு வதைத் தடுக்க, யுரேனியம் 99.99 சதவீதம் சுத்தமாயிருத்தல் அவசியம். தொடர்வினை நடப்பதை 82-ம் படம் விவரிக்கிறது.

குறைவேக நியூட்ரான் தொடர்வினையில், இயற்கை யுரேனி யமோ, U-235 மிகைப்படுத்தப்பட்ட யுரேனியமோ பிளவையடை யும் பொருள். கார்பன் (கிரா.ஃபைட்டாக), அல்லது ட்யூட்டீரியம் (கனநீராக) தணிப்பானுகப் பயன்படுகிறது. 1942-ல் சிகாகோவில் கட்டப்பட்ட முதலாவது அணு உலையில் (nucleor reacter), செங்கல் போன்ற கிரா.ஃபைட் கட்டைகளை ஒன்றன்மேலொன் றாய் அடுக்கி, ஆங்காங்கே யுரேனியத் தண்டுகளைச் சொருகுவதற் குத் துவாரங்கள் விட்டனர். தொடர்வினை திடீரென்று ஆரம் பித்துவிட்டால் ஆபத்து விளையுமாகையால், சில துவாரங்களில்

காட்மியத் தண்டுகளையும் சொருகி வைத்தனர். காட்மியம் தன் மேல் விழும் குறைவேக நியூட்ரான் அனைத்தையும் உட்கிரகித்து விடும். காட்மியத் தண்டுகளை ஒவ்வொன்றாக வெளியே இழுத் தால், நியூட்ரான் பெருக்கம் உயர்ந்துகொண்டே சென்று, குறிப் பிட்ட ஒரு நிலையை அடையும். அதற்குமேல் உயரவில்லையென் றால், தொடர்வினை ஆரம்பிக்கவில்லையென்று அர்த்தம். தொடர் வினை ஆரம்பித்துவிட்டால், நியூட்ரான் எண்ணிக்கை ஒரு வரம் பின்றி உயர்ந்து கொண்டே செல்லும்.

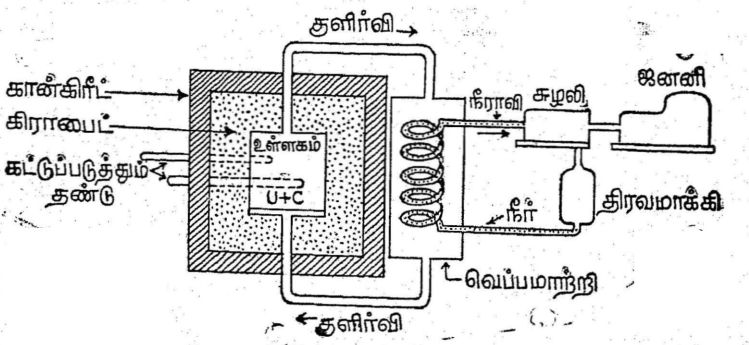


படம் 82 அணுக்கரு தொடர்வினை.

அணு உலையின் பருமன் அதிகமாகும்பொழுது நியூட்ரான் வெளியே தப்பிச் செல்வது குறைந்து, பிடிப்பட்டுப் பிளவையடை யும் வாய்ப்பு அதிகமாகிறது. ஏனெனில், பிடிபடுவது கன அளவை யும் தப்பிச் செல்வது வெளிப்பரப்பையும். பொறுத்துள்ளன. (கன அளவு r^3 ஐயும், வெளிப்பரப்பு r^2 ஐயும் சார்ந்தன). ஆகவே ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனுக்கு அதிகமாகிவிட்டால், தொடர்வினை கட்டா யம் ஆரம்பித்துவிடும். இப் பருமனுக்கு "மாறுநிலைப் பருமன்" (critical size) என்று பெயர். சிகாகோ அணு உலை 1942 ஆம் ஆண்டு டிசம்பர் 2-ந் தேதியன்று இம்மாறுநிலைப் பருமனை

அடைந்துவிட்டது. ஏனெனில், காட்மியம் தண்டுகள் யாவையும் வெளியே எடுத்தவுடன், நியூட்ரான் எண்ணிக்கை வரம்பின்றி வெகுவேகமாக உயர்ந்துகொண்டே சென்றது, அத்துடன், வெளி விடப்படும் ஆற்றலும், உயர்ந்து கொண்டே செல்லுமாகையால், உலையின் வெப்பமும் வரம்பின்றி உயர்ந்துகொண்டே சென்றது. காட்மியத் தண்டுகளை மறுபடியும் சொருகிய பின்னர்தான் நியூட்ரானின் எண்ணிக்கையும் வெப்ப ஏற்றமும் தணிந்தன. இல்லையென்றால், வெப்பநிலை வரம்புக்கு மீறிச் சென்று, உலையின் பொருள்கள் அனைத்தையும் உருக்கி விட்டிருக்கும்.

இவ்வாறு அணு உலைகளில் உண்டாகும் பெருமளவு வெப்ப ஆற்றலை நல்லமுறையில் பயன்படுத்திக் கொள்வதே மக்களின்



படம் 83. அணு உலை

நோக்கமாகும். அணு உலையின் உள்ளகத்தில் (Core) யுரேனிய மிய தணிப்பானும் கலந்துள்ளன. அதனூடே கட்டுப்படுத்தும் காட்மியத் தண்டுகளும் செல்லும், இவ்வுள்ளகத்தைச் சுற்றிலும் நியூட்ரான்களைத் திருப்பும் கிராஃபைட் அடுக்கும், இவை யாவையும் சுற்றிக் கனமான கான்கிரீட் சுவர்களும் கட்டப்பட்டுள்ளன.

உள்ளகத்திலுள்ள யுரேனியமும் கிராஃபைடும், அதைச் சுற்றியுள்ள கிராஃபைட் அடுக்குமாகச் சேர்ந்து, தொடர்வினையைத் தொடர்ந்து நடத்துகின்றன. நீர், அல்லது உருகிய சோடியம் ஹைட்ராக்ஸைடு, அல்லது Co_2 போன்ற வாயு, ஒன்றை உள்ளகத்துள்ளே செலுத்தி, வெளிவிடப்படும் வெப்ப ஆற்றலைத் துரிதமாக வெளிக் கொண்டுவர ஏற்பாடு செய்யப்பட்டுள்ளது. இவ் வெப்பத்தைக் கொண்டு ஒரு வெப்பமாற்றியில் நீராவியை அதிக அழுத்தத்தில் உண்டுபண்ணி. சுழலியை ஓட்டி, மின்சார

ஜனனியை இயக்குகின்றனர், தொடர்வினை நடக்கும் உள்ளகத்திலுள் சென்று வெப்பத்தை எடுத்துவரும் குளிர்வி (Coolant) கதிரியக்கம் பெற்றிருக்குமாகையால், அதை நேரில் சுழலிக்கு (turbine)க கொண்டுசெல்ல முடியாது; வெப்பமாற்றியில் நீரை ஆவியாக்கிவிட்டுத் திரும்ப உள்ளகத்திற்குள் சென்று அதைக் குளிர்விக்கவே உதவும்.

பிரிட்டனில் அணு உலையைக்கொண்டு ஏராளமான மின்சாரம் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. இந்தியாவில் பம்பாயிருக்கருகில் 380,000 கிலோவாட் திறனுடைய அணு உலையும், ராஜஸ்தானில் 280,000 கிலோவாட் அணு உலையும் கட்டப்பட்டு வருகின்றன. சென்னைக்கருகிலுள்ள கல்பாக்கத்தில் 400,000 கிலோவாட் அணு உலையைக் கட்ட ஆரம்பித்துள்ளனர். தற்சமயம அணு உலையைக் கொண்டு உற்பத்தியாகும் மின்சாரம் மற்றமுறைகளைவிட மலிவானதல்ல. ஆனால், இன்னும் அதிக திறனுடைய முறைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டால், மின்சார உற்பத்தி மிக்க மலிவாகக் கூடும் என்பதற்குச் சந்தேகமில்லை. இப்பொழுதுகூட, நீர்த்தேக்கம், நிலக்கரி இவை கிடைக்காத இடங்களில் அணு உலை முறை மற்ற முறைகளைவிட மலிவானதாகும்:

இவ்வாறு ஏராளமான ஆற்றலை உண்டுபண்ணுவதுடன் அணு உலைகள் வேறு இருவழிகளில் பயன்படுகின்றன: (1) கதிரியக்க ஐசடோப்புகளை உண்டுபண்ண; (2) அதிவேகமும் குறைந்த வேகங்களுமுடைய நியூட்ரான்களை ஆராய்ச்சிகளுக்காக உண்டுபண்ண.

(1) அணு உலையின் உள்ளகத்திலே ஏராளமான அதிவேக நியூட்ரான்கள் பாய்ந்துசென்று கொண்டுள்ளன. இவற்றின் நடுவே வைக்கப்படும் எத்தனிமமும் கதிரியக்கம் பெற்று, பீட்டா, காமாக்கதிர்களை வெளிவிடுகின்றன. இவற்றின் அரை வாழ்வுக் காலங்கள் சில விநாடிகளிலிருந்து பல ஆயிரம் ஆண்டுகளாக உள்ளதால், அவை வெவ்வேறு காரியங்களுக்காகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. 15ஆம் அத்தியாயத்தில் விவரித்தவாறு, கதிரியக்க ஐசடோப்புகள், தொழில், மருத்துவம், விஞ்ஞானம் முதலிய பல துறைகளில் வெகுவாய்ப் பயன்படுகின்றன. பம்பாய்க் கருகிலுள்ள ட்ராம்பேயிலுள்ள "கனடா – இந்தியா" அணு உலை, 1960ஆம் ஆண்டில் கனேடிய இந்திய விஞ்ஞானிகளால் நிறுவப்பட்டது. இது உலகிலேயே மிகப் பெரிய கதிரியக்க ஐசடோப்பு உற்பத்தி உலைகளிலொன்று.

(2) அணு உலையைச் சுற்றி எழுப்பியுள்ள கனமான கான்கிரீட் சுவரில் துவாரங்களை உண்டுபண்ணி, அவற்றின் வழியாக

அணுஉலை உள்ளகத்தின் வெவ்வேறு பாகங்களிலிருந்து அதி வேகமும் குறைந்த வேகங்களுமுடைய நியூட்ரான்களை வேண்டிய செறிவுகளில் வெளியே கொண்டுவந்து, ஆராய்ச்சிகளுக்காகப் பயன்படுத்தலாம். அவற்றின் பாதையில் தணிப்பான்களையும் உட்கிரகிப்பான்களையும் வைத்து, வேகங்களையும் செறிகளையும் தேவையான அளவுக்கு மாற்றிக்கொள்ளலாம். 1956ஆம் ஆண்டில் ட்ராம்பேயில் நிறுவப்பட்ட 'அப்சரா' என்னும் அணுஉலை முழுவதுமாக இந்திய விஞ்ஞானிகளாலேயே கட்டப்பட்டது. அது ஒரு பெரிய நீச்சல்குளம் போன்ற நீர்த்தொட்டியினுள் அமைக்கப்பட்டிருப்பதால், அதற்கு 'நீச்சல்குள அணுஉலை' (Swimming pool Reactor) என்று பெயர். இதில் யுரேனியத் தண்டுகள் அலுமினிய உறையில் வைக்கப்பட்டு, நீரினுள் அமிழ்த்தப்பட்டுள்ளன. நீரே தணிப்பானாகப் பயன்படுகிறது. குளத்தைச் சுற்றியுள்ள தடிப்பமான கான்கிரீட் சுவரில் பல துவாரங்கள் செய்து, அவற்றின் வழியாய் நியூட்ரான்கள் வெவ்வேறு வேகங்களில் ஆராய்ச்சிக்காகக் கிடைக்கின்றன.

கருப்பிணைவு (Nuclear Fusion)

வானத்திலுள்ள பல்லாயிரங் கோடிக்கணக்கான நட்சத்திரங்களுள் நமது சூரியனும் ஒன்று. அதன் வெளிப்பரப்பின் வெப்பநிலை 6000°C என்றும், உள்வெப்பநிலை 20,000,000°C என்றும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. வெளிப்பரப்பின் வெப்பநிலை மாறுமல் இருப்பதால், சூரியனின் உட்புறத்தில் நடைபெறும் இயக்கங்கள் ஏராளமான வெப்ப ஆற்றலை உண்டுபண்ணி, சூரியன் சதா வாரியிறைத்துக்கொண்டுள்ள ஆற்றலை ஈடுசெய்து விடுகின்றன என்று ஊகித்துள்ளனர்.

எவ்வித இயக்கங்கள் நடைபெறக்கூடும் என்று பல விஞ்ஞானிகள் பல கொள்கைகளைப் பிரஸ்தாபித்துள்ளனர். அவற்றில், 1939ஆம் ஆண்டில் பெத்தேயும் வைஸேக்கரும் (Bethe and Weizaker) வெளியிட்ட 'வெப்ப அணுக்கரு' (Thermonuclear) இயக்கங்களே நட்சத்திரங்களின் ஆற்றலின்மூலம் என்ற கொள்கை உண்மையாயிருக்கலாமென்று நம்பப்படுகிறது. இதன்படி, சூரியனது உட்புறத்திலுள்ள 2 கோடி டிகிரி வெப்ப நிலையில், இலேசான அணுக்கருக்கள் கடும் வேகத்தில் ஒன்றோடொன்று மோதி, ஒன்றுபட்டு, பெரிய அணுக்கருவாக மாறி, ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன எனப்படுகிறது.

இது நடைபெறக்கூடிய விதத்தை பெத்தே விவரித்துள்ளார். இதைக் "கார்பன்-நைட்ரஜன் சைக்கிள்" (Carbon - nitrogen

Cycle) என்றும், "ஹைட்ரஜன் சேர்க்கை" (Hydrogen Fusion) என்றும் கூறுகின்றனர். இக் கொள்கையின்படி, கார்பன், நைட்ரஜன் அணுக்கருக்களின் உதவியால் (ஊக்கிகளாக) நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்கள் ஒன்றோடொன்று சேர்ந்து, ஹீலிய மாக மாறி, ஏராளமான ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன. அவரது அணுக்கரு இயக்கங்கள் வருமாறு :

$$_6C^{12} + {}_1H^1 \rightarrow {}_7{}^*N^{13} + h\nu$$
$$_7{}^*N^{13} \rightarrow {}_6C^{13} + e^+ (T = 9{\cdot}9 \text{ கி})$$
$$_6C^{13} + {}_1H^1 \rightarrow {}_7N^{14} + h\nu$$
$$_7N^{14} + {}_1H^1 \rightarrow {}_8{}^*O^{15} + h\nu$$
$$_8{}^*O^{15} \rightarrow {}_7N^{15} + e^+ (2{\cdot}1 \text{ நி})$$
$$_7N^{15} + {}_1H^1 \rightarrow {}_6C^{12} + {}_2He^4$$

ஆகவே, இயக்கம் பழையபடி தொடர்ந்து நடக்கலாம். இத் தொடர்வினை இயக்கம் $_6C^{12}$-இல் அல்லது $_7N^{14}$-இல் ஆரம்பித்து அதே அணுக்கருவில் வந்து முடியலாம். ஆகவே, இவை ஊக்கி (Catalysts) களாகச் செயல்பட்டு, நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்களை ஒன்று சேர்த்து, ஹீலிய அணுக்கருவாக மாற்றுகின்றன. செயல்படும் நிறைகளைக்கொண்டு, வெளிவிடப்படும் ஆற்றலைக் கணிக்கலாம்.

நிறை வித்தியாசம் = (4 × 1·0813) — 4·00388 = 0·02864 amu) இந்நிறை அழிந்தால் உண்டாகும் ஆற்றல் =

$$·02864 \times 932 = 26{\cdot}7 \text{ mev}$$

சூரியனிலிருந்து வரும் வெப்ப, ஒளி ஆற்றல்களைக்கொண்டு கணித்தால், ஒவ்வொரு விநாடியும் சூரியனில் 40 லட்சம் டன் எடையுள்ள பொருண்மை அழிந்து ஆற்றலாக மாறுகிறது. இவ் வாறு, சூரியனில் உண்டுபண்ணப்படும் ஆற்றலும் வெளிவிடப் படும் ஆற்றலும் சமமாக இருப்பதால், சூரியன் கடந்த 400 கோடி ஆண்டுகளாக ஒரே நிலையில் நின்று கதிர் வீசிக்கொண்டுள்ளது. சூரியனிலுள்ள ஹைட்ரஜன் ஹீலிய அளவுகளைக்கொண்டு கணித்தால், சூரியன் இன்னும் ஒரு 1000 கோடி ஆண்டுகளுக்கு இதே வெப்ப நிலையில் நின்று, ஆற்றலை வாரியிறைத்துவரும் எனறு தெரியவருகிறது.

வினாக்கள்

1. அணுக்கருப் பிளவை, தொடர்வினை, இவற்றை விளக்கு.
2. தொடர்வினை நடைபெறுவதற்குத் தேவையான சூழ் நிலைகள் யாவை ?
3. அணுஉலையின் அமைப்பு, அது இயங்கும் முறை இவற்றை விவரி.
4. அணுசக்தி என்னும் பொருள்பற்றி ஒரு கட்டுரை எழுது.
5. சூரியசக்தி உண்டுபண்ணப்படும் வகை என்ன ?

18. காஸ்மிக் கதிர்கள்

(Cosmic Rays)

காஸ்மிக் கதிர் என்பவை, நமது சூரியனுக்கும் நட்சத்திரங்களுக்கும் அப்பால் விண்வெளியில் எங்கிருந்தோவரும் பிரம்மாண்டமான ஆற்றல்பெற்ற மின்னூட்டமுடைய துகள். இக்கதிர்களின் துகள்கள் பெரும்பாலும் 10^9, 10^{10}ev ஆற்றலுடையவை. 10^{20}, 10^{21}ev ஆற்றலுடைய துகள்கள்கூட உள்ளனவென்று தெரியவருகிறது. இவ்வாற்றல் பெற்ற துகள்களை நம் ஆய்வுக் கூடங்களில் உண்டுபண்ண எத்தனை ஆண்டுகள் பிடிக்குமோ தெரியாது. காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சியின் மூலமாக, பாசிட்ரான், மீசான், ஹைப்பெரான் என்னும் பல புதிய அடிப்படைத் துகள்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகள், அணுக்கரு அமைப்பு, இவற்றைக் குறித்த பல சிக்கலான கேள்விகளும் கிளப்பிவிடப்பட்டுள்ளன. இவ்வளவு முக்கியமான ஆராய்ச்சித்துறை, ஒரு மிக எளிய நிகழ்ச்சியின் மூலம்—மின்னூட்டம் பெற்ற எலக்ட்ராஸ் கோப்பின் கசிவின் மூலம்—துவங்கிற்று.

கண்டுபிடிப்பு

காற்று ஒரு மின்கடத்தாப் பொருள் எனினும், அதற்கு ஒரு மிகச் சிறிய கடத்தும் தன்மையுள்ளதாகச் சென்ற நூற்றாண்டிலிருந்தே சிலர் கவனித்தனர். 1900ஆம் ஆண்டில், ஆங்கில விஞ்ஞானி C. T. R. வில்சனும், ஜெர்மானிய எல்ஸ்டரும் கைட்டலும், தங்க இலை எல்க்ட்ராஸ்கோப்பிற்கு மின்னூட்டமேற்றி, காப்பு அளித்துவைத்தால், அதன் இலைகள் வெகு மெதுவாக விழுந்து ஒன்று சேர்கின்றன என்று அறிவித்தனர். இதன் காரணம், இலைகளினருகிலுள்ள காற்று சிறிது அயனிக்கப்பட்டிருத்தலே என்றும், அதை அயனிப்பது வெளியுலகிலிருந்து வரும் சில அறியப்படாக் கதிர்களே என்றும் வில்சன் கூறினார். ஆனால், அச் சமயம் அதை நிரூபிக்க ஒரு சான்றுமில்லை.

கதிரியக்கம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டதும், பூமியிலுள்ள கதிரியக்க பொருள்கள் வெளிவிடும் கதிர்களே காற்றைச் சிறிது அயனிக்கின்றன வென்று யாவரும் நம்பினர்.

1909ஆம், 1910 ஆம் ஆண்டுகளில் T. வுல்ஃவ் (Wulf) என்பவர் பாரிஸ் நகரில் 975 அடி உயரமுள்ள ஐஃபல் (Eifel) கோபுரத்தின்மீது ஏறி, அங்கு எலக்ட்ராஸ் கோபின் மின்னிறக்கத்தை அளந்து, தரை மட்டத்திலும் 975 அடி உயரத்திலும் யாதொரு வித்யாசமில்லாததைக் குறித்து வியந்தார். ஸ்விஸ் விஞ்ஞானி A. கோகல் (Gockel) ஒரு பலூனின் உதவியால் 14800 அடி உயரம் சென்று, எலக்ட்ராஸ் கோப்பின் மின்னிறக்க நேரத்தை அளந்து, தரைமட்டத்திற்கும் அந்த உயரத்திற்கும் வித்தியாசம் அதிகமில்லையென்று கண்டார். அயனித்தல் பூமியிலிருந்துவரும் கதிர்களாலென்றால், 14800 அடி உயரத்தில் அயனித்தல் பூஜ்யமாயிருத்தல் வேண்டும். ஆனால், மேலே செல்லச்செல்லக் காற்றின் அடர்த்தி குறைகிறபடியால், அதற்குத் திருத்தம் செய்திருந்தாரானால், அயனிக்கும் விகிதம் உயரச் செல்லச்செல்ல அதிகமாகிறதென்று கோகல் அறிந்திருப்பார்.

1911—1914ஆம் ஆண்டுகளில் ஆஸ்திரியாவில் V. F. ஹெஸ் (Hess) 16500அடி உயரத்திற்கும், ஜெர்மெனியில் W. கோல்ஹோஸ்டர் (Kulhoster) 30,000 அடி உயரத்திற்கும் பலூன்களை அனுப்பி, அயனிக்கும் வேகத்தை அளந்து, உயரச் செல்லச் செல்ல அது அதிகரிப்பதைக் கண்டுபிடித்தனர். இவ்வாறு அயனித்தல் விண்ணிலிருந்து வரும் ஊடுறுவும் கதிர்களால் ஏற்படுவதே என்று ஹெஸ் கூறி, அவற்றிற்கு 'வானக் கதிர்கள்' (Hohenstrahlimg) என்று பெயரிட்டார். R. A. மில்லிக்கன் 1925இல் அவற்றிற்கு 'காஸ்மிக் கதிர்கள்' (அண்டத்தின் கதிர்கள்) என்று பெயர் வைத்தார். ஹெஸ், கோல்ஹோஸ்ட்டர் இவர்களின் ஆராய்ச்சிகளே காஸ்மிக் கதிர்களின் கண்டுபிடிப்பிற்கு அடிப்படையாயிருத்தன. 1936ஆம் ஆண்டில் ஹெஸ்ஸுக்கு நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

ஆராயும் வகைகள்

ஆரம்பத்தில், மேலே விவரித்தவாறு, எலக்ட்ராஸ் கோப், எலக்ட்ராமீட்டர், அயனிக்கலம் இவற்றைக்கொண்டே காஸ்மிக் கதிர்களை ஆராய்ந்தனர். சுரங்கங்களிலும், ஏரிகளில் அதிக ஆழத்திலும் இக் கதிர்களின் ஊடுருவும் சக்தியை அளந்தனர். வால்வு பெருக்கிகள், உபயோகத்திற்கு வந்த பின்னர், G. M. கணிப்பான்களைக் கொண்டு, தனித்தனித் துகள்களையும்,

கூட்டமாக வரும் அயனிகளையும் ஆராய முடிந்தது. 1927ஆம் ஆண்டில் ரஷ்ய விஞ்ஞானி D ஸ்கோபெல்ஸின் Skobelzyn)முதன் முதலாக மேகக்கலனைக் காந்தப் புலத்தில் வைத்துக் காஸ்மிக் கதிர்களை ஆராய்ந்தார். இம்முறையே, சில மாற்றங்களுடன், புதிய அடிப்படைத் துகள்களைக் கண்டுபிடிக்க உதவியது.

1928இல் கைகர் முல்லர் எண்ணி உண்டுபண்ணப்பட்ட வுடன், அதைக் காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சிக்கென்று உபயோகப் படுத்தினர். ஒன்றின்மேலொன்றாக, எண்ணிகளை அடுக்கி வைத்து அவற்றை ஒன்றிப் பிணைத்தால், அயனிக்கும் துகள்கள் அனைத்தினூடே சென்றுதான் மின்னிறக்கம் ஏற்படும். ஆகவே, எண்ணிகளை வெவ்வேறு கோணத்தில் அடுக்கிவைத்து ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலிருந்து வரும் கதிர்களின் செறிவை அளக்கலாம். இதற்கு 'காஸ்மிக் கதிர் தொலைநோக்கி' (Cosmic ray telescope) என்று பெயர்.

1936-ம் ஆண்டில் ஆஸ்திரியப் பெண் விஞ்ஞானி M. பிளாவ் (Blau) முதன்முதலாகப் போட்டோப் பிளேட்டுகளைக் காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சிக்கென்று பயன்படுத்தினர். அதன் பின்னர் உலகின் வெவ்வேறு பாகங்களில் கணக்கற்ற விஞ்ஞானிகள் இம் முறையைக்கொண்டு சிறந்த ஆராய்ச்சிகள் நடத்தினர். 13ஆம் அத்தியாயத்தில் விவரித்தவாறு, தடிப்பான தனிப் போட்டோ பசைகள் பலவற்றை அடுக்கிவைத்து, ஒளிபுகா வண்ணம் சுற்றி, பலூன்களைக் கொண்டு 140,000 அடி உயரத்தில் பலமணி நேரங் களாக மிதக்கவிட்டு அதில் பதிவு செய்யப்படும் காஸ்மிக் கதிர் களின் பாதைகளையும் முக்கியமான அணுக் கதிர் நிகழ்ச்சிகளையும் ஆராய்ந்தனர்.

தற்சமயம் பூமியைச் சுற்றி. 500, 1000, மைல் உயரங்களில் செல்லும் செயற்கைச் சந்திரர்களிலும், சந்திரனி லிறங்கிய அப்பல்லோக் கலன்களிலும் வெள்ளி, செவ்வாய்க் கோள்களினருகே அனுப்பப்பட்ட மரினர் கலன்களிலும் காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவை அளந்து, பூமிக்கு உடனுக் குடனே ரேடியோ மூலம் தெரிவிக்கும் பலவிதமான பதிவு செய்யும் கருவிகளை வைத்து அனுப்பி, காஸ்மிக் கதிர்களையும், சூரியனிலிருந்து வரும் கதிர்களையும் வெகு திட்டவட்டமாக ஆராய்ந்துள்ளனர். இவ்வித ஆராய்ச்சிகளின்மூலம், பூமியைச் சுற்றிப் பயங்கரமான கதிர் வீசும் அயனி மண்டலங்கள் உள்ளன வென்பது தெரிய வந்துள்ளது. இவற்றிற்கு 'வான் ஆல்லன் அயனி மண்டலம்' (Van Allen Radiation Belt) என்று அதைக்

கண்டுபிடித்தவரின் பெயரே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வித மண்டலங்கள் இரண்டு உள்ளன வென்றும், முதலாவது மண்டலம் 1400 மைல் உயரத்திலிருந்து 3400 மைல் வரை வியாபித்துள்ளதென்றும், இரண்டாவது மண்டலம் 8000 மைல்களிலிருந்து 12,000 மைல்வரை வியாபித்துள்ள தென்றும் அளக்கப்பட்டுள்ளது. இவை சூரியனுல் தள்ளப்பட்டு, பூமியின் காந்தப் புலத்தில் அகப்பட்டுக்கொண்ட பெருவாரியான புரோட் ரான் எலக்ட்ரான் துகள்களாகும். இவை காஸ்மிக் கதிர்களல்ல.

குறுக்குக் கோட்டு விளைவு (Latitude Effect)

காஸ்மிக் கதிர்கள் காற்றை அயனிக்கின்றபடியால், அவை மின்னூட்டமுள்ளவையாகும். அவை பூமிக்கப்பாலிலிருந்து வருவதால், பூமியின் காந்தப்புலம் அவற்றைத் தம் பாதையிலிருந்து ஒதுக்கமடையச் செய்யும். மின்காந்த விசை விதியின் படி துகள்கள் பூமியின் துருவங்களை நோக்கி வந்தால், அவற்றின்மீது செயல்படும் விசை பூஜ்யமாயும், புவிநடுக் கோட்டை நோக்கிவரும் துகள்களின்மீது உச்சம விசையும் செயல்படுமென்பது சுலபமாய் விளங்கும். ஆகவே, புவிநடுக் கோட்டினருகே காஸ்மிக் கதிரின் செறிவு குறைவாயும் துருவங்களினருகே அதிகமாயும் இருக்கவேண்டும். இது உண்மையே என்று 1927இல் டச்சு விஞ்ஞானி J. கிளேயும் (Clay), 1930இல் A. P. காம்ப்டனும் நிரூபித்தனர். துருவங்களினருகே உள்ள செறிவைவிட 12 சதவீதம் குறைவாக நடுக்கோட்டினருகே உள்ளதாகத் தெரியவருகிறது. இது தரைமட்டத்தில் உயரச் செல்லச் செல்ல இவ்வித்தியாசம் 35 சதவீதம் என்று காம்ப்டன் கண்டுபிடித்துள்ளார்.

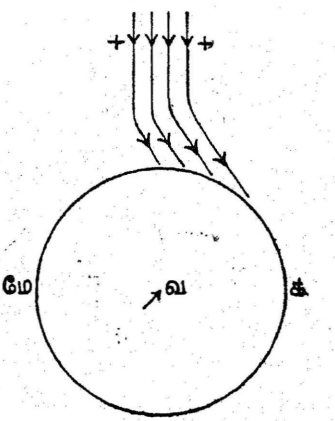
புவிநடுக் கோட்டை நோக்கி வந்து சேரும் கதிர்களின் செறிவு தான் குறைவே யொழிய, அவற்றின் ஆற்றல் குறைவல்ல. நடுக்கோட்டுக் கதிர்களின் மேல் செயல்படும் ஒதுக்கவிசை அதிகமாகையால், அதிக ஆற்றலுடைய துகள்களே அவ்விசையை எதிர்த்து, பூமியை வந்து அடையக்கூடும். இது காரணமாகவே, அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த துகள்களை ஆராய விரும்பும் விஞ்ஞானிகள் பூமியின் காந்த நடுக்கோட்டினருகே (Magnatic equator) தமது ஆராய்ச்சிகளைப் பெரும்பாலும் நடத்துகின்றனர்.

காஸ்மிக் கதிர்கள் விண்வெளியிலிருந்து வருகிறபடியால் அவை நம் காற்று மண்டலத்தினுள் நுழைந்தவுடன், காற்றணுக்களுடன் மோதி, அவற்றை நூற்றுக் கணக்கான தூள்களாக உடைக்கும். அவையனைத்தும் வேறு காற்றணுக்களுடன் மோதி

மேலும் பல துகள்களை உண்டுபண்ணும்; குறைந்த ஆற்றலுடையவை நின்றுபோய்விடும்: ஆகவே கடைசியாகத் தரைமட்டத்திற்கு வந்து சேருவது வெளியுலகிலிருந்து வரும் முதன்மை (Primary) காஸ்மிக் கதிர் களல்ல பெரும்பாலும் நமது காற்று மண்டலத்தில் உண்டுபண்ணப்படும் அயனிகளே தரைமட்டத்திற்கு வந்து சேருகின்றன.

கிழக்கு மேற்கு வேறுபாடு (East west Asymmetry)

84ஆம் படம் பூமியின் நடுக்கோட்டுக் குறுக்கு வெட்டைக் (equatorial cross-section) காண் பிக்கிறது. பூமியின் காந்த அச்சு படத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உட்புறமாகச் செல்கிறது. நடுக் கோட்டை நோக்கி வெளியிலிருந்து வரும் காஸ்மிக் கதிர்கள் நேர்மின் னூட்டம் பெற்றிருந்தால், மின்காந்த விதியின்படி, அவை கிழக்குப்புற மாக ஒதுக்கமடையும். ஆகவே பூமி யின்மீதுள்ளவர்களுக்கு அ வை மே ற் கி லி ரு ந் து வருவதுபோல் தோன்றும் கதிர்கள் எதிர் மின் னூட்டம் பெற்றிருந்தால், அவை கி ழ க் கி லி ரு ந் து வருவதுபோல் தோன்றும்.

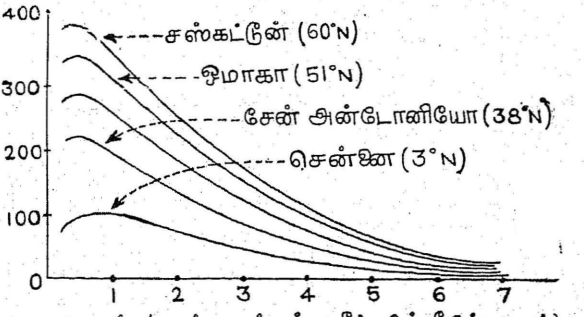


படம் 84.
கிழக்கு-மேற்கு வேறுபாடு

மேலே விவரித்த 'காஸ்மிக் கதிர் தொலை நோக்கி'களைக் கொண்டு வெவ்வேறு திசைகளிலிருந்து வரும் கதிர்களை அளந்ததில், மேற்கிலிருந்து வரும் கதிர்களின் செறிவு சற்று அதிகமாயிருப்பது தெரியவந்தது. ஆகவே கதிர்களில் நேர்மின்னூட்டமுடையவை அதிகமென்று தெரிய வருகிறது. பூமியின் காந்தப்புலம் அநேக ஆயிரமைல்களுக்கப்பால் செயல் படுவதாலும், பூமியின் காற்று மண்டலம் சில நூறு மைல் களுக்கே வியாபித்திருப்பதாலும், இந்த கிழக்கு—மேற்கு வேறு பாடு வெளியிலிருந்து வரும் முதன்மைக் கதிர்களைச் சார்ந்த தாகும் என்று நம்ப இடமுண்டு, ஆயினும் காற்றில் உண்டாகும் இரண்டாம் மூன்றும் சந்ததித் துகள்களும் சேர்ந்துள்ளதால், இவ் விளைவு அநேகமாய் மறைந்து விடுகிறது. 13,000 அடி உயரத்தில் பெரு நாட்டில் (Peru) செர்ரோடிபாஸ்கோ (Cerrodc Pasco) நடத்திய ஆராய்ச்சிகள் இவ்வேறுபாட்டை நன்கு காண்பிக்கின்றன.

உயர விளைவு (Altitude Effect)

உயரச் செல்லச் செல்ல காஸ்மிக் கதிர்களின் செறிவு உயருகிறதென்பதை ஆரம்பத்திலேயே கண்டுபிடித்தனர். இதைப் பற்பல விஞ்ஞானிகள் வெவ்வேறு கருவிகள் கொண்டு அளந்து, இதன் உண்மையை ஊர்ஜிதப்படுத்தியுள்ளனர். 85ஆம் படத்தில் R. A. மில்லிக்கன் 1933—1938 ஆம் ஆண்டுகளில் உலகின் ஐந்து இடங்களில் வெவ்வேறு உயரங்களில் அளந்த



படம் 85. காஸ்மிக் கதிர்களின் உயரச் செறிவு

செறிவுகளின் விவரங்கள் தரப்பட்டுள்ளன. இதன் x அச்சில், உயரத்தை நீரின் ஆழமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. நமது காற்றின் உயரம் முழுவதும் 10 மீட்டர் ஆழமான நீருக்குச் சமம் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆகவே பூமியின் தரை மட்டத்தைப் பத்து மீட்டர் என்று குறிப்பிட்டால், காற்று மண்டலத்திற்குமேலே யுள்ள பாகம் 0 மீட்டர் என்று குறிப்பிடப்பெறும். படத்தில் இடப்புறம் செல்லச்செல்ல அதிக உயரத்திற்குச் செல்கிறோம். மில்லிக்கன் அனுப்பிய பலூன்கள் 60,000 அடி உயரத்திற்குமேல் செல்லவில்லை யாகையால், அதற்கப்பால் புள்ளி விவரங்கள் கிடைக்கவில்லை.

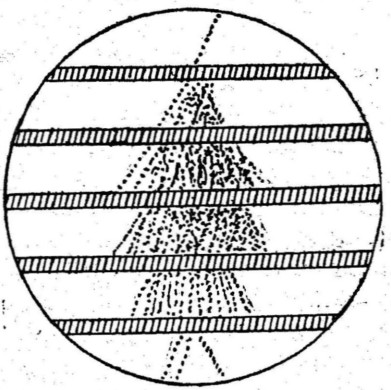
எல்லா இடங்களிலும், தரை மட்டச் செறிவைவிட (வலப்புறம்) உயரத்தில் (இடப்புறம்) செறிவு அதிகம் என்பது வெளிப்படை, ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்தில், துருவத்திற்கு அருகில் செறிவு அதிகம் ; நடுக் கோட்டினருகில் குறைவு என்பதும் தெரிய வருகிறது. காற்று மண்டலத்தின் உச்சிக்குச் செல்லச் செல்ல, செறிவு அதிகமாகிக் கொண்டேபோய், ஒரு குறிப்பிட்ட உச்ச அளவை அடைந்து, பிறகு **குறைய** ஆரம்பிக்கிறது. கவனிக்கத்தக்கது. இதைக் கொண்டு, காஸ்மிக் கதிரின் உற்பத்தி

இடத்தைக் கடந்து மேலே செல்லுமும் என்று நினைத்துவிடக் கூடாது அதிக ஆற்றலுடைய (உதாரணமாக, $(10^{12} ev)$ **முதன்மைக்** காஸ்மிக் கதிர்கள் பூமியின் காற்று மண்டலத்தில் நுழைந்தது**ம்**, காற்றின் நைட்ரஜன்' ஆக்ஸிஜன், அணுக்கருக்களுடன் மோதி, அ வற்றைத் தூள் தூளாக உடைக்கின்றன. இத்துகள்களும் ஆதிக ஆற்றலுடையனவைதாம். (ஒரு காஸ்மிக் கதிர் நூறு துகள்களை உண்டுபண்ணுகிறதென்றால், இத் துகள்களின் ஆற்றலும் $10^{10} ev$ ஆக இருக்கும்), அவை வேறு அணுக்கருக்களுடன் மோதி உடைந்து இன்னும் அதிகமான துகள்களை உண்டு பண்ணுகின்றன, ஆகவே, கதிர்கள் கீழே வருகையில், (படத்தில் வலப் புறமாகச் செல்கையில்) முதலில் துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கின்றது. இதையே கருவிகள் பதிவு செய்துள்ளன. முதன்மைக் கதிர்களும், இரண்டாம் மூன்றும் சந்ததித் துகள்களும் கீழே வருகையில், காற்றின் அடர்த்தி மிகுந்து மோதல்களும் மிகுந்து ஆற்றல் குறைந்த துகள்கள் நிறுத்தப் பட்டுப் போகின்றன ஆகவே துகள்களின் எண்ணிக்கை குறைய ஆரம்பிக்கிறது. கீழே வரவர அடர்த்தி விரைவாக அதிகரித்து, பெரும்பாலான துகள்களை நிறுத்திவிடுகின்றது. தரை மட்டத்தில் (வலக் கோடியில்) கதிர்களின் செறிவு **மிக்க** குறைவாக உள்ளது. இம் மிகக் குன்றிய விளைவைக் கொண்டே முதன்மைக் காஸ்மிக் கதிர்களைக் கண்டுபிடித்தனர்.

காஸ்மிக் கதிர் பொழிவு (Cosmic ray showers)

சில சமயங்களில் காஸ்மிக் கதிர்களை அளக்கும் கருவிகளில் திடீரென்று மிக அதிகமான அயனித் துகள்கள் வந்து சேருவதை விஞ்ஞானிகள் கவனித்திருந்தனர். இதை 1932ஆம் ஆண்டில் ராசி (Rossi)யும் 1933ஆம் ஆண்டில் பிளாக்கெட்டும் ஒக்கியாலினியும் தமது ஒன்றித்த G.M. எண்ணிகளையும் மேகக்கலனையும் கொண்டு ஆராய்ந்து, அவை கனமான பொருட்களில் உண்டாகின்றன. என்பதைக் கண்டுபிடித்தனர். ஒரு ஆற்றல் மிகுந்த துகள் மேகக் கலனின் உலோகச் சுவரில் மோதும்போது அநேக துகள்கள் உண்டாகி, மேகக் கலனில் பல பாதைகளை உண்டுபண்ணுகின்றன. அவை யாவும் ஒரிடத்திலிருந்து ஆரம்பிப்பதைத் தெளிவாகக் காணலாம். அவ்வாறே மேகக் கலனின் உள்ளே ஓர் ஈயத் தகட்டை வைத்து விரிவுப் படம் பிடித்தால், ஓர் அயனித் துகள் தகட்டில் நுழைந்து, நூற்றுக் கணக்கான துகள்களை உண்டு பண்ணுவது நன்கு தெரியும். சின்னமான பல ஈயத்தகடுகளை ஒன்றன்கீழ் ஒன்றாக வைத்தால், முதலில் (ஆற்றல் அதிகமாயிருக்கையில்) துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகப்

பெருகி, பிறகு குறைவது தெரியவரும். (படம் 86) இதுவே ஆகாயத்திலும் நடைபெறுகிறது என்று நம்பப்படுகிது.

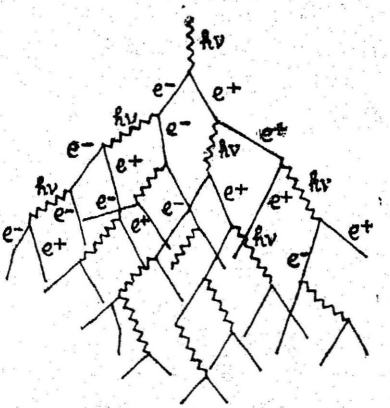


படம் 86 காஸ்மிக் கதிர்ப் பொழிவு

ஆற்றல் மிக்க ஒரு துகள் காற்று மண்டலத்திலே நுழைந்தால், அது விரைவில் வேறு பல துகள்களை உண்டுபண்ணிப பெருக்கம் அடைகிறது. தரைமட்டம் வந்து சேருவதற்குள் பல நிறுத்தப் பட்டு விட்டாலும், சில சமயங்களில் நாலைந்து பர்லாங்கு வட்டாரத்தில் ஏராளமான **துகள்கள் ஒரே** சமயத்தில் வந்து சேருவதைப் ∴பிரெஞ்சு விஞ்ஞானி அவ்கர் (Auger) கண்டுபிடித்தார். இதற்குப் "பரவலான காற்றுப் பொழிவுகள்" (Entensive air showers) என்று பெயர் தரப்பட்டுள்ளது. ஒன்றித்த G. M. எண்ணிகளைப் பரவலாக வைத்தால் அவையாவும் ஒரே சமயத்தில் மின்னிறக்க மடைவது தெரிய வருகிறது. சில பொழிவுகளில் பத்து லட்சத்திற் கதிகமான துகள்கள் உண்டென்றும், அவற்றை உண்டுபண்ணுவதற்கு மூலமாயிருந்த முதன்மைத் துகள்களின் ஆற்றல் 10^{20}, $10^{21}ev$-ஆக இருக்கலாமென்றும் கணிக்கப்பட்டுள்ளது.

இவ்வித மிகப் பெரிய பொழிவுகளை இந்திய விஞ்ஞானி H. J. பாபாவும், ஆங்கில விஞ்ஞானி ஹைட்லரும் விளக்கியுள்ளனர். இவ்விளக்கத்திற்கு 'இரட்டைப் பொருளாசகம்' (Pair-production) 'கதிர் வீச்சு மோதல்' (Radiative collision) என்ற இது கொள்கைகள் தேவைப்படுகின்றன. இரட்டைப் பொருளாக்கத்தை 12-ஆம் அத்தியாயத்திலேயே கவனித்துள்ளோம். அதாவது, ஒர் ஆற்றல் மிக்க காமாக்கதிர் ∴போட்டான் ஓர் அணுக்கருவின் பலத்த மின்புலத்தில் செல்லுகையில், எலக்ட்ரான்.பாசிட்ரான் இரட்டையாக மாறிவிடலாம் என்று பார்த்தோம். அத்

துடன், ஓர் ஆற்றல் மிக்க எலக்ட்ரானின் ஓர் அணுக்கருவினருகில் செல்கையில், அணுக்கருவின் மின்புலன் எலக்ட்ரானை இழுத்து, அதன் ஆற்றலைக் குறைக்கிறது. இவ்வாறு குறைந்து விட்ட ஆற்றல் ஒரு காமாக் கதிராக வெளிப்படுகிறது. இந்நிகழ்ச்சி 'கதிர் வீச்சு மோதல்' எனப்படுகிறது. இரட்டையாக்கமும் கதிர் வீச்சு மோதலும் மாறி மாறி நடக்கின்றன என்ற



படம் 87. தொடர் பொழிவு

கொள்கையின்பேரில் பாபா தமது விளக்கத்தைத் தருகிறார். ஆற்றல் மிக்க ஒரு ∴போட்டான் (hν) ஒரு காற்றுக் கருவின் மின்புலத்தில் (e+,e⁻) இரட்டையாக மாறுகிறது. இவ்விரு எலக்ட்ரான்களும் அணுக் கருவினருகே செல்கையில் ஆற்றல் குறைக்கப்பட்டு கதிர் வீச்சை (hν) வெளியிடுகின்றன. இக்கதிர் மறுபடியும் (e+,e⁻) இரட்டையாக மாறுகிறது. இவ்வாறு மாறி மாறி நடப்பதால், வெகு சீக்கிரத்தில் எராளமான எலச்ட்ரான்களும், ∴போட்டான்களும் உண்டுபண்ணப்படுகின்றன. இவற்றில் ஒரு பாகம் தரை மட்டத்திற்கு வந்து சேருவதையே, காஸ்மிக் கதிர் பொழிவாக நாம் காண்கிறோம் என்று விளக்கியுள்ளார் பாபா.

மீசான் (The Meson)

காஸ்மிக் கதிர் பொழிவில் எலக்ட்ரான், பாசிட்ரான், ∴போட்டான் இவற்றைத் தவிர வேறு வகையான துகள்களுமுண்டு. அவற்றில் ஒரு வகையானவை வெகுதூரம் ஊடுருவிச் செல்லக் கூடியவை. எலக்ட்ரான், ∴போட்டான்களெல்லாம் சில செ.மீ. தடிப்பான ஈயத் தகட்டால் தடுத்துவிடப்படுபவை. இவற்றிற்கு 'மென் பகுதி' (Soft component) என்று பெயர். ஆனால் சில

துக்கள் 50 செ. மீ. தடிப்பமான ஈயத்தகட்டையும் ஊடுருவிச் செல்லக் கூடியன. இவற்றிற்கு 'கடினப் பகுதி' (Hard component) எனப் பெயர். இவை 'மீசான்' எனப்பட்ட ஒரு புதிய அடிப்படைத் துகள்களாலான கற்றையாகும்.

அணுக்கருக்களினுள்ளே புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் ஒன்று சேர்த்துப் பிணைக்கும் வெகு பலத்த விசைகளை விளக்கும் பொருட்டு, ஜப்பானிய விஞ்ஞானி H. யுக்காவா (Yukawa) 1935ஆம் ஆண்டில், சுமார் 200 எலக்ட்ரான் நிறையும், மின்னூட்டமும் பெற்ற ஓர் அடிப்படைத் துகள் அணுக்கருவினுள்ளே இருக்கிறதென்றும், அதுவே புரோட்டானையும் நியூட்ரானையும் பிணைப்பதற்கான பலத்த விசையை உண்டு பண்ணுகிறதென்றும் எடுகோள் கொண்டார் (Postulated). 1937 ஆம் ஆண்டில் ஆண்டர்சனும் நெட்டர் மேயரும், ஸ்ட்ரீட்டும் (Street) ஸ்டீவன்சனும் (Stevenson) காஸ்மிக் கதிரில் இவ்விதத் துகள்கள் இருப்பதைக் காண்பித்தனர். அதற்கு நேர் அல்லது எதிர் மின்னூட்டமும், சுமார் 200me (எலக்ட்ரான் நிறை)யும் இருப்பதாகக் கூறினர். மற்ற ஆய்வுக் கூடங்களிலும், இத்தகைய துகள், எலக்டரானுக்கும் புரோட்டனுக்கும் (1836 me) இடையே நிறையுள்ள ஒரு துகள், இருக்கிறதென்று பலர் ஊர்ஜிதப்படுத்தினர். ஆகையால் இத்துகளுக்கு 'மீசான்' (Meson) என்று பெயரிட்டனர். (கிரேக்க மொழியில் 'மீசாஸ்' (Mesos) என்றால் 'இடையிலுள்ள' என்று பொருள்).

ஆனால் இவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட துகள் எதிர்பார்த்தற்குமாறாக, அணுக்கருக்களுடன் இயக்க மற்றதாயிருந்தது. ஆகவே, பல விஞ்ஞானிகள் இதைவிடக் கனமான, நிலையற்ற, வேறொரு துகள் இருக்கலாமென்றும், அது சிதைந்து யுக்காவா துகளாக மாறலாமென்றும் ஊகித்தனர். இதற்குச் சில வாரங்களில், ஆங்கில விஞ்ஞானிகள் C. F. பவலும், ஓக்கியாலினியும் இவ்விரு மீசான்களையும் கண்டுபிடித்தனர். கனமான துகளுக்கு 'பைமீசான்' π-meson) என்றும், மற்றதற்கு 'ம்யூமீசான்' (μ-meson) என்றும் பெயர் தரப்பட்டது. பைமீசானின் நிறை 273 me; சராசரி வாழ்வுக்காலம் $2{\cdot}56 \times 10^{-8}$ வினாடி: ம்யூமீசானின் நிறை 206me; சராசரி வாழ்வுக்காலம் $2{\cdot}2 + 10^{-6}$ வினாடி. இக் கண்டுபிடிப்புகளுக்காக, 1950ஆம் ஆண்டில் பவலுக்கு நோபல் பரிசு அளிக்கப்பட்டது. அதற்கு முந்திய ஆண்டில் யுக்காவா நோபல் பரிசு பெற்றார்.

நிலையற்ற பைமீசான் சிதைந்து ஒரு ம்யூமீசானாக மாறிவிடுகிறது. ம்யூமீசானும் நிலையற்றதாகையால், அதுவும் சிதைந்து,

ஓர் எலக்ட்ரானாக மாறிவிடுகிறது. இவ்வித $\pi \pm \rightarrow \mu \pm \rightarrow e \pm$ சிதைவுகளைமேகக்கலப் படங்களிலும், போட்டோப் பசைப் படங்களிலும் மெய்ப்பித்துள்ளனர்.

சில சமயங்களில் ஓர் எதிர் மின்னூட்ட பைமீசான் அணுக்கருவால் உட்கிரகிக்கப்பட்டு, அவ்வணுக்கருவை நிலையற்றதாகச் செய்வதால், அணுக்கருவெடித்து விடுகிறது. இவ் வெடிப்பின் பிளவாகப் பல புரோட்டான்களும், ஆல்பாத் துகள்களும், மீசான்களும் இன்னும் பல அயனித்துண்டுகளும் பலத்த ஆற்றலுடன் அவ்விடத்திலிருந்து தள்ளப்படுகினறன. அணுக்கருப் போட்டோப் பசையில் இத் துகள்களின் பாதைகள் ஒரிடத்திலிருந்து துவங்கிப் பல வேறு திசைகளிலும் சூரியனின் கதிர்கள் போலச் செல்வதால், இவ் வெடிப்பின் படங்களை 'காஸ்மிககதிர் நட்சத்திரம்' (Cosmic ray star) என்று கூறுவர். 100,000 அடி உயரங்களில் பலூனில் மிதக்கப்பட்ட பசைகளில் 30, 40, 'கதிர்' களையுடைய "நட்சத்திரங்கள்" பதிவு செய்யப்பட்டுள்ளன.

அடிப்படைத் துகள்கள் (Elementary particles).

பைமீசான், மியூமீசான்களைத் தவிர, அவற்றைக்விடக் கனமான பல்வேறு மீசான்களையும் 1950-58 ஆண்டுகளில் கண்டுபிடித்தனர். அவையாவையும் சேர்த்து, அவற்றிற்கு 'K-மீசான்' என்ற பெயரிட்டுள்ளனர். அவை யாவற்றிற்கும் சுமார் 966m_e நிறையும், 1.2×10^{-8} வினாடி சராசரி வாழ்வுக்காலமும் உள்ளது. அவை நேர் மின்னூட்டம், எதிர்மின்னூட்ட முடையனவாகவும், மின்னூட்டமற்றவையாகவும் இருக்கலாம். இக் K-மீசான்கள் பெரும்பாலும் இரண்டு அல்லது மூன்று பை மீசான்களாகச் சிதைவுறுகின்றன. இருபைமீசான்களாகச் சிதைவுற்றதை 'தீட்டா' (θ) மீசான் என்றும், மூன்று பை மீசான்களாகச் சிதைவுற்றதை 'டௌ' மீசான் (τ) என்றும் முன்பு குறிப்பிட்டு வந்தனர். ஆனால், அவையாவும் இப்பொழுது K-மீசான் என்றே வழங்கப் படுகின்றன.

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^\circ \ (\theta)$$

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^- \ (\psi)$$

சிலசமயங்களில் $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$

$$K^+ \rightarrow \mu^+ + \pi^\circ + \nu$$

என்ற சிதைவுகளும் நேருவதுண்டு இதில் ν என்பது 'நியூட்ரினோ' (Neutrino = 'குட்டி நியூட்ரான்') எனப்பட்ட ஓர் அடிப்படைத் துகள். மின்னூட்டமற்றது; நிறையும் ஏறக்குறைய பூஜ்யமானது. ஆனால், எலக்ட்ரானைப்போல அதற்கும் $\frac{1}{2}$ சுழற்சி (Spin)

உண்டு. ம்யூமீசானுக்கும், $\frac{1}{2}$ சுழற்சி உண்டு. ஆனால், பை, K-மீசான்கள் சுழற்சியற்றவை.

இந்த ம்யூ,பை,K மீசான்களைத் தவிர,காஸ்மிக் கதிர் ஆராய்ச்சிகளில் வேறுபல கணமான துகள்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. அவை புரோட்டானையும் நியூட்ரானையும்விட நிறை அதிகமாயுள்ளதால், அவற்றிற்கு 'ஹைப்பெரான்' (Hyperon) என்று பெயரிட்டுள்ளனர். (கிரேக்கமொழியில் 'ஹைப்பர்' என்றால் 'மிகையானது' என்று பொருள்). மூன்று விதமான ஹைப்பெரான்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. அவையாவன: **'லாம்டா'** (Lambda) '$\wedge^{\circ}$'; நிறை = 2183 *me*: மின்னூட்டம்=0 வாழ்வுக்காலம் = $2{\cdot}5\times10^{-10}$ வினாடி. (2) **'சிக்மா'** (Sigema: Σ) நிறை = 2330 *me*; மின்னூட்டம = +, —,0; வாழ்வுக்காலம் = 1×10^{-10} வினாடி. (3) **கேஸ்கேட்** (Caseade : $\equiv$) நிறை = 2580 *me*; மின்னூட்டம் = —, 0: வாழ்வுக்காலம் = $1{\cdot}3\times10^{-10}$ வி. இவை மூன்றும் புரோட்டான் அல்லது நியூட்ரானுகவும், பைமீசானுகவும் சிதைவுறுகின்றன.

உதாரணம் $\wedge^{\circ} \rightarrow p + \pi^{-}$; அல்லது $n + \pi^{\circ}$

$\Sigma^{+} \rightarrow p + \pi^{\circ}$; அல்லது $n + \pi^{+}$

காஸ்மிக் கதிர் உண்டாகும் விதம் (Origin of Comic rays)

காஸ்மிக்கதிர் என்ன என்பதை ஒருவாறு அறிந்துள்ளோம். ஆனால், அது எங்கே உற்பத்தியாகிறது? எவ்வாறு உண்டாகிறது? அதன் பிரம்மாண்டமான ஆற்றலை எவ்வாறு பெறுகிறது? என்பது போன்ற கேள்விகளுக்கு இது வரை சரியான விடைகள் கிடைக்கவில்லை. சில கொள்கைகளும் கருத்துகளும் வெளியிடப்பட்டுள்ளன. ஆனால் அவை எவ்வளவு தூரம் உண்மையானவை என்பது நிச்சயமில்லை.

வெளியுலகிலிருந்து வரும் காஸ்மிக் கதிர்களை முதன்மைக் காஸ்மிக் கதிர்கள் (Primary Cosmic rays) என்கிறோம். அவற்றின் உற்பத்தியைப் பற்றித்தான் இப்பொழுது பிரச்சனை. இரண்டாந்தர மூன்றாந்தரக் கதிர்கள் நமது காற்று மண்டலத்தில் உண்டாகின்றன. அவை 'காஸ்மிக்' கதிர்கள் அல்ல. முதன்மைக் கதிர்களில் சுமார் 78 சதவீதம் புரோட்டான்கள், 20 சதவீதம் ஆல்பாத் துகள்கள் (ஹீலிய அணுக்கருக்கள்): மீதி 2 சதவீதம் கன அணுக்கருக்கள். அவற்றின் அணு எண் 49 வரையுள்ளன. இக் கதிர்கள் பூமியின் காற்று மண்டலத்திற்கு அப்பாலிருந்து வருகின்றன. அவை நமது சூரியனிலிருந்து வரவில்லையென்பது

நிச்சயம்; ஏனெனில், இரவிலும் பகலிலும் ஒரே செறிவாயுள்ளன. எந்த ஒரு நட்சத்திரக் கூட்டத்திலிருந்தும் வருவதாகவும் தெரிய வில்லை; ஏனெனில் ஆண்டு முழுவதும் செறிவு ஒரே அளவாயுள்ளது. அவை எவ்வாறு உற்பத்தியா யிருக்கலாம் என்று கூறப்படும், நான்கு கொள்கைகளை இப்பொழுது ஆராய்வோம். அவை (i) வெடித்தல் கொள்கை (ii) அழித்தல் கொள்கை (iii) முடுக்கக் கொள்கை (iv) தள்ளல் கொள்கை என்பவை. இவற்றைத் தவிர, வேறு கொள்கைகளுமுண்டு.

(i) வெடித்தல் கொள்கை : (Explosion theory)

லிமேய்ட்டர், ரெஜனர், கேமாவ் முதலியோர் இக் கொள்கையைப் பிரஸ்தாபித்துள்ளனர். இதன்படி, நமது பேரண்டம் (Universe) ஆரம்பத்தில் ஒரு பிரம்மாண்டமான ஒற்றை அணுக்கருவாக, மிகமிக அடர்த்தியாக இருந்ததென்றும், சுமார் 500 கோடி ஆண்டுகளுக்கு முன்பு அது வெடித்துச் சிதறியதென்றும், அந்த மகா பெரிய வெடியால் வீசியெறியப்பட்ட அண்டங்கள் (Galaxeis) இன்னும் வேகமாக நம்மை விட்டுத்தூரப்பாய்ந்து சென்று கொண்டுள்ளன என்றும் நம்பப்படுகிறது. (இதை 10ம் அத்தியாயத்தில் 'விரியும் பேரண்டம்' என்ற தலைப்பின் கீழ்ப் பார்த்தோம்). இக் கொள்கையின்படி, காஸ்மிக்கதிர் என்பவை அந்த மாபெரும் வெடியில் உண்டான துகள் தூசுகள் ஆகும். இது உண்மையானால், காஸ்மிக் கதிர்களின் பலத்த ஆற்றல்கள், அவை இரவு பகலாகவும், ஆண்டுதோறும், எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே செறிவாயிருப்பது என்ற விளைவுகள் விளக்கமடைகின்றன. ஆனால், அப்படிப்பட்ட மாபெரும் வெடி ஒன்று ஆதியில் உண்டாயிற்று என்ற கேள்விக்குப்பதில் கூறியாகவேண்டும். அது ஊர்ஜிதமாகும்வரை இக் கொள்கையும் நிச்சயமின்றியே இருக்கும். மேலும், அவ்வளவு பிரம்மாண்டமான வெடியானது கூட்டு அணுக்கருக்களையெல்லாம் அடிப்படைத்துகள்களாகப் பிய்த்தெடுத்திருக்கவேண்டும். காஸ்மிக் கதிர்களில் ஆல்பா, கன அணுக்கருக்கள் போன்ற கூட்டுத் துகள்கள் காணப்படுவதெப்படி?

(ii) அழித்தல் கொள்கை (Annihilation Theory)

மில்லிக்கனின் இக் கொள்கையின்படி, அண்டங்களுக்கிடையேயுள்ள விண்வெளியில் பருப்பொருள் அழிந்து, ஆற்றலாக மாறி, விண்வெளியிலுள்ள புரோட்டான், ஆல்பா முதலிய துகள்களுக்கு அவ்வாற்றலைத் தருகிறது. இக்கொள்கையை கிளீனும் ஆர்யும் சிறிது விஸ்தரித்து, விண்வெளியில் நமது பருப்பொருளுக்கு

நேர் எதிரான 'எதிர்ப்பொருள்' (Antimatter) உண்டென்றும், பொருளும் எதிர்ப்பொருளும் சந்தித்தால், அவை ஒன்றை யொன்று அழித்து, ஆற்றலாக மாறுமென்றும் விளக்கினர். (பாசிட்ரானும் எலக்ட்ரானும் சந்தித்தால், அவை ஒன்றை யொன்றை அழித்து, காமாக் கதிராக மாறுகின்றன என்று அறி வோம்) இவ்வாறு, எதிர்ப் புரோட்டான் (Antiproton) களும் எதிர் நியூட்ரான்களையும் (Antineutron) உட்கருவிலும், சுற்றுப் பாதைகளில் பாசிட்ரான்களையும் கொண்ட 'எதிர் அணுக்க'ளா லான 'எதிர்ப்பொருள்' உண்மையில் உள்ளதா என்றகேள்விக்கு நிச்சயமாகப் பதில்கூற இதுவரை யாராலும் இயலவில்லை யென் பது உண்மை.

(iii) முடுக்கக் கொள்கை (Acceleration Theory)

விண்மீன்களிலும் அவற்றுலான அண்டங்களிலும் ஏராள மான ஹைட்ரஜனும், குறைவான அளவுகளில் ஹீலியம் முதலிய வேறு அணுக்களும் உள்ளன என்பதை நிறமாலை வாயிலாக அறி கிறோம். விண்மீன்களிலுல் (நமது சூரியனில்போல) பலத்த காந் தப்புலமும் மின்புலமும் இருக்கவேண்டும். இக் காந்தப் புலங்கள் விண்வெளியில் மாற்றமடைந்தால், அங்குள்ள துகள்கள் சைக் ளாட்ரானில் முடுக்கமடைவதுபோல், வேகம்பெற்று அண்டங் களைச் சுற்றிச் செல்லலாம் என்றும் சிலர் கூறியுள்ளனர். ஆனால், விண்வெளியில் அப்படிப்பட்ட பலத்த காந்தப புலன்கள் உண்டா, அப்படி இருந்தாலும் அவை மாற்றமடைகின்றனவா, என்பது ஒருவருக்கும் தெரிய வழி யில்லை.

(iv) தள்ளல் கொள்கை (Repulsion Theory)

கேம்பிரிட்ஜ் பேராசிரியர் லிட்டில்டனும் (Lyttleton) லண்டன் பேராசிரியர் போண்டியும் (Bondi) 1959-இல் விடுத்த கொள்கை யைக்கொண்டு, காஸ்மிக்கதிரின் உற்பத்தியையும் விரியும் பேரண்டத்தையும் ஒரே மூச்சில் விளக்க முயற்சிக்கின்றனர். அவர்களது கொள்கையின்படி, பொருள் ஹைட்ரஜன் வடிவமாக சதா உற்பத்தியாகிக் கொண்டிருக்கிறதென்றும், அவ்வாறு உற்பத்தியாகையில், புரோட்டானிலுள்ள நேர் மின்னூட்டம் அதன் எலக்ட்ரானின் எதிர் மின்னூட்டத்தை விட ஒரு **மிகச்சிறிய** அளவு அதிகமாயிருக்கிறதென்றும் கூறுகின்றனர் (இவ் வித்தி யாசம் 10^{18}-ல் ஒரு பாகமே!) இது சரியென்று கொண்டால், பருப்பொருள் (Matter) யாவும் நேர் மின்னூட்டமுடையவாய் இருக்கவேண்டும். ஒரேவகை மின்னூட்டங்கள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத் தள்ளுமாகையால், பேரண்டத்தின் வெவ்வேறு பாகங் கள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத்தள்ளி, விலகியோடும். அப்படி

யானுல், சிறு சிறு பொருள்களும் ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத் தள்ளுவதால், சூரியன், கோள்கள், அண்டங்கள் ஒன்றும் உண்டாக வழியிராதே என்று கேட்கலாம். இதற்கு அவர்கள் தரும் விளக்கமாவது; பேரண்டம் விரிந்து அண்டங்களாகப் பிரிந்து செல்கையில், அவற்றிலுள்ள அணுக்கள் ஒளியையும் வேறு கதிர்களையும் உட்கிரகித்து, அயனிக்கப்படுகின்றன. நேர் மின்னேற்றமுடைய அண்டம் இந் நேர் மின்னேற்ற அயனிகளை வெகு ஆற்றலுடன் வெளியே தள்ளுகின்றது. இவைகளே காஸ்மிக்கதிர்களாக அண்டத்தின் வெவ்வேறு பாகங்களிலும் பாய்ந்து செல்கின்றன. எதிர் மின்னூட்டங்கள் அண்டங்களில் நிறுத்தப்படுவதால், அண்டத்தின் மொத்த மின்னூட்டம் பூஜ்யமாகி, அதில் ஈர்ப்புவிசை ஒன்றே செயல்பட்டு அண்டங்களாகவும் அவற்றினுள் நட்சத்திரங்களாகவும் சுருங்குகின்றன. ஆகவே, அண்டங்களுக்கிடையே உள்ள மின் எதிர்த்துத் தள்ளல் (Electric Repulsion) காரணமாகப் பேரண்டம் விரிந்து செல்கிறதென்றும், அண்டங்களின் உட்புறத்திலிருந்து வெளியே தள்ளப்படும் அயனியாக்கமுற்ற அணுக்கருக்களே காஸ்மிக் கதிர்களாக வருகின்றனவென்றும் கூறியுள்ளனர். இது மிகவும் புத்திசாதுரியமான கொள்கைதான். ஆனுல், புரோட்டானுக்கும் எலக்ட்ரானுக்குமுள்ள நேர் எதிர் மின்னூட்டங்கள் ஒரு மிக மிகச் சிறிய அளவு வித்தியாசமானவை என்பது எவ்வளவு தூரம் உண்மையாயிருக்கலாம் என்று எவராலும் கூறமுடியாது.

ஆகவே, காஸ்மிக் கதிர்களைக் குறித்த ஆராய்ச்சிகள் பல புதிய அடிப்படைத் துகள்களையும், முக்கியமான பல அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகளையும் வெளிப்படுத்தியுள்ளன. அத்துடன் வேறு பல சிக்கலான கேள்விகளையும் கிளப்பிவிட்டுள்ளன. பைமீசான்கள் அணுக்கருத் துகள்களை ஒன்றுசேர்த்துப் பிணைக்கும் சிமிட்டியானுல் ம்யூமீசானுக்கு அங்கு என்ன வேலை? K-மீசான்களின் நிலைமை என்ன? ஏன் அத்தனை வேறுவிதங்களில் சிதைவடைகின்றன? அணுக்கருவினுள்ளே இம் மீசான்களும் ஹைப்பெரான்களும் என்ன செயதுகொண்டுள்ளன? காஸ்மிக் கதிர்த் துகள்கள் தமது மாபெரும் ஆற்றலைப் பெறுவதெங்ஙனம்? இக் கேள்விகளுக்கு விடை கண்டுபிடித்தாமானுல், பருப்பொருளின் உண்மையான தன்மையைச் சற்றுத் தெளிவாகப் புரிந்துகொள்ள வழிவகைகள் ஏற்படலாம். காஸ்மிக்கதிர், அணுக்கரு ஆராய்ச்சிகளின் முக்கிய நோக்கம் இதுவே.

வினுக்கள்

1. காஸ்மிக்கதிர்கள் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட வகை என்ன? அவற்றின் குறுக்குக் கோட்டுவிளைவு (latitude effect),

கிழக்கு-மேற்கு விளைவு, உயர விளைவு இவைபற்றிக் குறிப்பெழுது.

2. காஸ்மிக்கதிர் பொழிவு என்பது என்ன ? அது எவ் வாறு உண்டாகிறது ?

3. மீசான், ஹைப்பெரான் என்பவை என்ன ? அவற்றின் தன்மைகள். சிதைவடையும் வகை முதலியவற்றை விளக்கு.

4. காஸ்மிக் கதிர்களின் உற்பத்தியைக் குறித்துள்ள கொள் கைகள் யாவை ?

5. காஸ்மிக்கதிர்களைக் குறித்து ஒரு வியாசம் எழுது.

———

19. பருப்பொருளின் அலை இயல்பு

(Wave Nature of Matter)

ஒளியின் இருமைப் பண்பு (Dual Nature of light):

பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில், ஒளி என்பது அலைகளாலானது என்றும், பருப்பொருள் (matter) துகள்களாலானது என்றும் திட்டவட்டமாக ஏற்றுக்கொள்ளப் பட்டது. ஒளியின் அலைக் கொள்கையை, ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு (interference, விளிம்பு விளைவு (diffraction), தள விளைவு (polarisation) இவை மிகத் தெளிவாக ஊர்ஜிதப்படுத்தின. பருப்பொருள் துகள் வடிவமானது என்பது நமது தினசரி அனுபவத்தில் நாம் காணும் ஓர் உண்மை. புத்தகம், மேஜை, உலோகம், நீர் எப் பொருளையும் துகள்களாகப் பிரித்துவிடலாம். அவ்வாறே பொருளின் அடிப்படையான அணுக்கள், மூலக்கூறுகளும் துகள்களே.

ஆனால், நாம் 4ஆம் அத்தியாயத்தில் விவரித்ததுபோல், 1900ஆம் ஆண்டில், ஜெர்மானிய விஞ்ஞானி மார்க்ஸ் பிளாங்க் தமது குவாண்டம் கொள்கையை வெளியிட்டு, ஒளியும் கதிர்வீச்சு ஆற்றலும், துகள் தன்மையையும் பெற்றுள்ளன என்று நிரூபித்தார். இதன்படி, ஒளி என்பது ∴போட்டான் என்னும் நிறையற்ற, ஆற்றலுடைய துகள்களால் ('குவாண்டா'க்களால்) ஆனது. ν என்னும் அதிர் வெண்ணுடைய ஒளியின் ∴போட்டான்களுக்கு $h\nu$ என்ற ஆற்றல் உண்டு. ஒளிக்கற்றை என்பது முன்னேறிச் செல்லும் அலைகளல்ல. பாய்ந்து செல்லும் ∴போட்டான்களின் கூட்டம், என்ற பல புதிய கொள்கைகளைப் புகுத்தியது. இவற்றின் உண்மையை, கதிர் வீச்சு, கதிர் உட்கிரகிக்கப் படுதல், ஒளிமின் விளைவு இவை தெளிவாய்க் காண்பித்தன. ஒளிக்கு அலைத்தன்மையும் இருந்துதான் ஆகவேண்டும்; இல்லையெனில் குறுக்கீட்டு விளைவு முதலியவற்றை விளக்கமுடியாது.

ஆகவே, 1920 ஆம் ஆண்டிற்குள், ஒளியின் இருமைப் பண்பு முழுவதுமாய் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டுவிட்டது. அதாவது, ஒளி சில சமயங்களில் அலைகள் போலவும், மற்ற சமயங்களில் துகள்போலவும் செயல்படுகிறது என்ற உண்மையைப் புரிந்துகொள்ளமுடியாவிட்டாலும், யாவரும் ஏற்றுக்கொண்டனர்.

பருப்பொருள் அலைகள் (Matter waves)

இதுவரை பொருட்களின் துகள் தன்மையைக் குறித்து ஒருவரும் சந்தேகத்தைக் கிளப்பவில்லை. ஆனால், 1924 ஆம் ஆண்டில், ∴பிரஞ்சு விஞ்ஞானி லூயி டி ப்ரோக்லி (Louis de Broglie) என்பவர், பொருட்களுக்கு, அலைத்தன்மையும் இருக்கலாம் என்ற புதிய கருத்தை வெளியிட்டார். இதற்கு அவர் கூறிய காரணமென்ன வென்றால், இயற்கையில் நாம் ஒழுங்கையும் சீரையும் காண்கிறோம்; இயற்கையிலுள்ள பருப்பொருள், ஆற்றல் என்னும் இரு பெரும் பிரிவுகளில், ஆற்றல் என்பது அலைத் தன்மை, துகள் தன்மை இரண்டையும் உடையதாய் உள்ளது. ஆகவே பருப்பொருளும் இவ் விரு தன்மையையும்—அதாவது, துகள் தன்மை, அலைத்தன்மை இரண்டையும்—உடையதாய் இருத்தல் வேண்டும் என்று விவாதித்தார். அதாவது, எலக்ட்ரான்கள், அணுக்கள், மூலக்கூறுகள், புஸ்தகம், மேஜை முதலிய பொருட்கள் யாவும், தனித்தனித் துகள்களால் ஆனதுபோலவே, அலைகளாலும் ஆகியிருக்க வேண்டும்; சில சந்தர்ப்பங்களில் அவை அலைத் தன்மைகளைக் காண்பிக்க வேண்டும் என்று கூறினார். இவ்வாறு, பொருட்களைச் சார்ந்த அலைகளுக்கு 'பருப்பொருள் அலைகள்' (Matter waves) என்றும், 'டி ப்ரோக்லி அலைகள்' என்றும் பெயர் வழங்கலாயிற்று.

இப்புதிய கருத்தை வெளியிட்டதுடன் நில்லாமல், டி ப்ரோக்லி அதை விவரித்து, ஒரு பொருளுக்கு அலைத்தன்மை இருந்தால், அதன் அலைநீளம் என்னவாயிருக்கும் என்பதையும் கணித்தார். உதாரணமாக, ஒரு பொருளின் நிறை m என்றும், அதன் வேகம் v என்றுமிருந்தால், அதன் அலை நீளம்

$$\lambda = h/mv \qquad \ldots \ldots (1)$$

என்று காண்பித்தார், இதில் h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி. λ என்பது 'டி ப்ரோக்லி அலை நீளம்'. இக் கருத்துகளை ஆஸ்திரிய விஞ்ஞானி E. ஷ்ரோடிங்கர் (Schrodinger) என்பவர் இரு ஆண்டுகளில் மிகத் திட்டவட்டமான கணிதக் கொள்கையாக விஸ்தரித்து வி. டார். பார்ன் (Born), ஹைஸன்பர்க் (Heisenberg), ஏனையோரும் இக் கருத்துகளைக் கொண்டு, 'குவாண்டம்

இயக்க வியல்' (quantum machanies) என்ற மிக முக்கியமான துறையை விருத்தி செய்துள்ளனர்.

இப் புதிய கருத்துக்களை முதன் முதலில் வெளியிட்ட டி ப்ரோக்லிக்கு 1929ஆம் ஆண்டிலும், அதைக் கணிதக்கொள் கையாக விஸ்திரித்த ஷ்ரோடுங்கருக்கும் டிராக்குக்கும் 1933ஆம் ஆண்டிலும் நோபல் பரிசுகள் அளிக்கப்பட்டன.

கருத்துக்களும் கொள்கைகளும் எவ்வளவுதான் அழகாக விளக்கம் பெற்றாலும், சோதனைகளால் நிரூபிக்கப்படவில்லை யென்றால் யாவராலும் அவை ஏற்றுக்கொள்ளப்படமாட்டா. டி ப்ரேக்லி தமது கொள்கையை வெளியிட்ட மூன்றாண்டு களுக்குள் (1927), டேவிஸ்ஸன், ஜெர்மர் (Davison of Germer) என்ற இரு அமெரிக்க விஞ்ஞானிகள் அதன் உண்மையை நிரூ பித்தனர். ஒரு எலக்ட்ரான் கற்றையை நிக்கல் படிகத்திலிருந்து பிரதிபலித்து, அது எக்ஸ்கதிரைப்போல் விளிம்பு விளைவைக் காண்பித்ததென்றும், எக்ஸ்கதிருக்கு பிராக் (Bragg) வருவித்த சமன்பாட்டைக் கொண்டு (அத்-9) எலக்ட்ரான் அலை நீளத்தைக் கணித்தால், டி ப்ரோக்லி அலை நீளத்திற்குச் சமமாக வருகிற தென்றும், அவர்கள் காண்பித்தனர்.

ஒரு எலக்ட்ரான் V வோல்டால் முடுக்கம் பெறுகிறதென்றால், அதன் வேக ஆற்றல்,

$$\frac{1}{2}\,mv^2 = \frac{EV}{300}$$

$$\therefore\ m^2v^2 = \frac{2meV}{300} = \frac{meV}{150}$$

$$\therefore\ mv = \sqrt{\frac{meV}{150}}$$

$$\therefore \text{ டி ப்ரோக்லி அலை நீளம் } \lambda = \frac{h}{mv} = h\sqrt{\frac{150}{meV}} \quad \ldots \quad (2)$$

$h = 6{\cdot}622 \times 10^{-27}$ எர்கு—வினாடி, $m = 9{\cdot}113 \times 10^{-28}$ கிராம், $e = 4{\cdot}802 \times 10^{-10}$ e.s.u. என்ற அளவுகளை (2)—ம் சமன்பாட்டி லிட்டுக் கணித்தால்,

$$\lambda = \frac{6{\cdot}622 \times 10^{-27}}{\sqrt{9{\cdot}113 \times 4{\cdot}802 \times 10^{-38}}} \times \sqrt{\frac{150}{V}} = \sqrt{\frac{150}{V}} \times 10^{-8}$$

செ. மீ.

$$= \frac{12{\cdot}25}{\sqrt{V}} \text{ A.U.} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

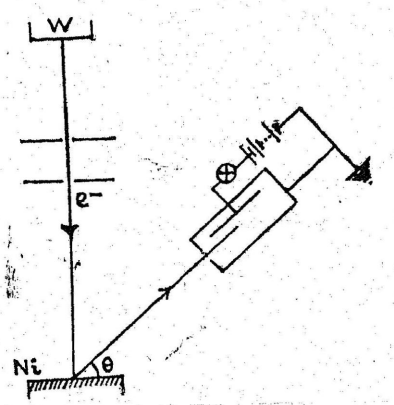
ஆகவே, ஒரு எலக்ட்ரானுக்கு 100 வோல்டு மின்னழுத்தத்தில் முடுக்கம் கொடுத்தல், அதன் அலை நீளம் 1·225 AU ஆக இருக்கும். இது எக்ஸ்கதிர் அலை நீளங்களுக்குச் சமமாக உள்ளது. ஆகையால் எக்ஸ்கதிர்களைப் போலவே இதையும் ஆராய வழிகள் உண்டு.

எலக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவு ஆராய்ச்சிகள்

(Electron Diffraction Experiments)

(I) டேவிஸ்ஸன், ஜெமருடைய சோதனைகள்:

1927ஆம் ஆண்டில் டேவிஸ்ஸனும் ஜெர்மரும் ஒரு நிக்கல் பரப்பிலிருந்து எலக்ட்ரான் கற்றையைப் பிரதிபலித்து, அதன் செறிவை வெவ்வேறு கோணங்களில் அளந்தனர். எலக்ட்ரான் தாக்குதலால் நிக்கல் உருகிப் படிகமாபிற்று. உடனே பிரதிபலிக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் செறிவில் முரண்பாடுகள் உண்டாயின. இ த ஆராயும் பொருட்டு அவர்கள் நிக்கலை உருக்கி ஒற்றைப் படிகங்கள் தயாரித்து, எலக்ரான் கற்றையை அப் படிகங்களிலிருந்து பிரதிபலித்தனர். எலக்ட்ரான்களை ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தத்தால் முடுக்கி, இரு துவாரங்களுக்கிடையே அனுப்பி இணைக் கதிராக்கினர்; ஒரு நிக்கல் படிகத்தின் மேற்பரப்பில் அதைச் செங்குத்தாக வீழ்த்தி, சிறிய எலக்ட்ரான் செறிவை ஒரு அயனிக் கலத்தால் வெவ்வேறு கோணத்தில் அளந்தனர். செறிவு



படம் 88. டேவிஸ்ஸன்—ஜெர்மர் உபகரணம்,

குறைந்து கொண்டே போய், ஒரு கோணத்தில் திடீரென்று அதிகரித்தது. அதை θ என்று குறிப்பிட்டு, பிராக்கின் சமன்பாட்டிலிட்டு, அலை நீளத்தைக் கணிக்கலாம்.

முடுக்கம் தரும் மின்னழுத்தம் 54 வோல்டாயிருந்த பொழுது 50 டிகிரியில் செறிவு உச்சமாயிருந்தது. நிக்கல் படிகத்தின் அணிக்கோவைத் தூரம் $d = 2{\cdot}15$ AU; $n = 1$.

பிராக்கின் சமன்பாடு $d \sin \theta = n\lambda$ ... ... (4)

[எலக்ட்ரான் கற்றைச் செங்குத்தாக வீழ்த்தப்படுவதால், $2d \sin \theta$ என்பது $d \sin \theta$ வாக மாறியது.]

இதைக்கொண்டு, $2{\cdot}15 \sin 50^\circ = \lambda = 1{\cdot}65$ AU.

(3)-ம் சமன்பாடடின் படி, $\lambda = \frac{12{\cdot}25}{\sqrt{54}}$ 1·66 AU.

முடுக்கம் தரும் மின்னழுத்தம் 65 வோல்டாக மாற்றப்பட்ட பொழுது, 44 டிகிரியில் செறிவு உச்சமாய் ருந்தது. அலை நீளத்தை (3)-ம் (4)-ம் சமன்பாடுகளால் கணித்தால்,

(3) : $\lambda = \frac{12{\cdot}25}{\sqrt{65}} = 1{\cdot}52$ AU

(4) : $\lambda = 2{\cdot}15 \sin 44^\circ = 1{\cdot}49$ AU

அணிக் கோவைத்தூரம் $d = 1{\cdot}24$ AU-ஆயிருந்த வேறு தயங்களிலிருந்து எலக்ட்ரான்களைப் பிரதிபலித்து, 143 வோல் டிற்கு 56 டிகிரியில் உச்ச செறிவு கண்டனர்.

(3) : $\lambda = \frac{12{\cdot}25}{\sqrt{143}} = 1{\cdot}024$ AU.

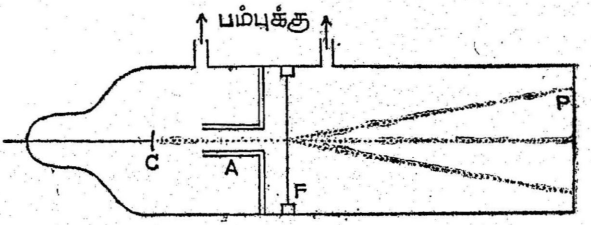
(4) : $\lambda = 1{\cdot}24 \sin 56 = 1{\cdot}028$ AU.

இவ்வாறு, எல்லாச் சோதனைகளிலும், டி ப்ரோக்லியின் சமன் பாட்டைக் கொண்டும் விளிம்பு விளைவின் சமன்பாட்டைக் கொண்டும் கணித்த அலை நீளங்களைப் போல் படிகங்களிலிருந்து பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன என்பது ஊர்ஜிதமாகிறது.

(II) G. P. தாம்சனின் சோதனைகள் :

1928ஆம் ஆண்டு, ஸ்காட்டிஷ் விஞ்ஞானி G. P. தாம்சன் எலக்ட்ரான்களை 10,000—50,000 வோல்டுகள் கொண்டு முடுக்கி, வெகு சன்னமான உலோகத் தகடுகளினூடே அவற்றைப்புக வைத்து, வளைவு விளைவை ஆராய்ந்தார். C என்னும் எதிர் மின் வாயிலிருந்து வரும் எலக்ட்ரான்களை A என்னும் சன்னக் குழாயின் மூலம் செலுத்தி இணைக்கற்றையாக்கி, 10^{-6} செ. மீ. தடிப்ப முடைய வெகு சன்னத் தகட்டினூடே (F) செலுத்தினர்.

சிதறலடைந்த எலக்ட்ரான்களை P என்ற போட்டோத் தகடு பதிவு செய்கிறது. எதிர்மின் வாய்ப்பகுதியிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் மின்னிறக்கம் நடைபெறுவதற்குச் சாதகமாயிருக்க வேண்டும்; போட்டோத்தகடு உள்ள பகுதியின் அழுக்கம் மிகமிகக் குறைவாயிருத்தல் வேண்டும்.



படம் 89. G.P. தாம்சனின் எலக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவு

சிதறலடைந்த எலக்ட்ரான்களின் படம் பொதுமைய வட்டங்களாயிருந்தன: (டிவை—ஷெரர் எக்ஸ்கதிர்களைப் பொடியால் சிதறச் செய்தபோதும் இது போன்ற பொதுமைய வட்டங்களே கிடைத்தன.) இவ் வளையங்களின் ஆரத்தையும், உலோகத் தகட்டிற்கும் போட்டோத் தகட்டிற்குமிடையே உள்ள தூரத்தையும் அளந்தால், வளைவுக்கோணம் θ தெரிய வரும், உலோகத்தின் d அளவை எக்ஸ்கதிர் சோதனைகளிலிருந்து அறிந்து, எலக்ட்ரான் அலைகளின் நீளத்தைக் கணிக்கலாம். டி ப்ரோக்லியின் சமன்பாட்டைக் கொண்டு அலை நீளத்தைக் கணிக்கையில், எலக்ட்ரான் நிறை (m) அதன் அதிக வேகம் காரணமாக (சார்புக் கொள்கையின்படி) அதிகரித்திருக்கும் என்பதை மனதில் வைத்துக் கணிக்கவேண்டும். இச் சோதனைகளிலும், டி ப்ரோக்லியின் சமன்பாட்டைக் கொண்டும் எக்ஸ்கதிர் வளைவுச் சமன்பாட்டைக் கொண்டும் கணித்த அலை நீளங்கள் சமமாயிருந்தன.

1937 ஆம் ஆண்டில் டேவிஸ்ஸனுக்கும் G, P. தாம்சனுக்கும், அவர்களது எலக்ட்ரான் அலைத்தன்மை ஆராய்ச்சிகளுக்காக, நோபல் பரிசு சமமாகப் பகிர்ந்து வழங்கப்பட்டது.

மேலே விளக்கிய கருத்துகளிலிருந்து, எலக்ட்ரான் நாம் எண்ணியதுபோல் ஒரு கடினமான கோளம்போன்ற துகளல்ல வென்றும், அது அலைபோன்ற தன்மையையும் உடையது என்றும் தெரியவருகிறது. அப்படியானால், அணுவின் அமைப்பைக் குறித்த நமது எண்ணங்கள் என்ன ஆவது? அணுக் கருவைச்

சுற்றி எலக்ட்ரான் என்னும் கடினமான துகள், தன் சுற்றுப் பாதையில் செல்கிறது என்ற கருத்து போய், அணுக் கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரான் ஒரு பசையைப்போல் தடவப்பட்டிருக்கிறது என்றுதான் கொள்ளவேண்டியிருக்கிறது. இப் 'பசை'யின் அடர்த்தி அணுக்கருவின் தூரத்திற்குத் தகுந்தாற்போல் மாறி, 7ஆம் அத்தியாயத்தில் போரின் கொள்கைப்படி கணித்த முதலாம் சுற்றுப்பாதையின் தூரத்தில், அதன் 'அடர்த்தி' உச்சமாகிறது. இந்த 'அடர்த்தி'யை, ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் எலக்ட்ரானைக் காணுவதற்கான 'வாய்ப்பு அளவு' (probability) என்றும் கொள்ளலாம். ஆகவே, எலக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதையில் எலக்ட்ரானைக் காணும் 'வாய்ப்பு அளவு' உச்சமாகிறது. ஆனால், எலக்ட்ரான் ஒரு கடினமான துகளாயிராமல், 'பசை'யைப் போல் தடவப்பட்ட 'அலை'யாகையால், அதன் சுற்றுப்பாதையைத் தவிர, வேறு இடங்களிலும் அதைக் காணலாம்; ஆனால், அந்த 'வாய்ப்பு அளவு' குறைவாயிருக்கும்; அவ்வளவுதான்.

இப்படியாக, அணுவின் அமைப்பைப்பற்றிய நமது திட்டவட்டமான உருவம் அழிந்து, தெளிவற்றதோர் அமைப்புத் தோன்றுகிறது. ஆனால், அதுவே உண்மைக்குச் சற்று அருகிலுள்ளது எனத் தெரியவருகிறது.

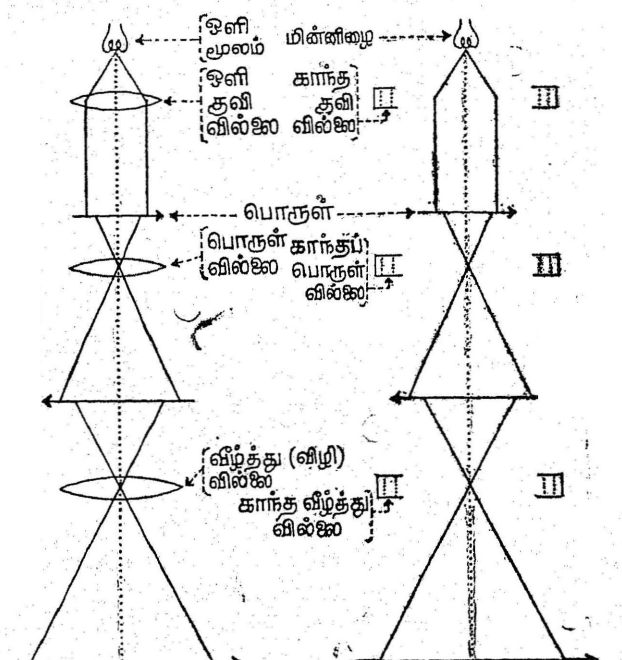
எலக்ட்ரான் நுண்ணோக்கி (Electron Microscope)

எலக்ட்ரான் மைகிராஸ்கோப், ஒளி நுண்ணோக்கியைப் போலவே, சிறு பொருட்களைப் பெரியதாக்கிக் காட்டுகிறது. ஆனால், இதில ஒளிக்குப் பதிலாக, எலக்ட்ரான் கற்றை உபயோகிக்கப்படுகிறது. இதன் பகுப்பாற்றலும் (resolving power), உருப்பெருக்கமும் (magniffcation) ஒளிமைகிராஸ் கோப்பைவிடப் பன்மடங்கு அதிகமானது.

பகுக்கும் திறனின்றி உருப்பெருக்கம்மட்டும் இருந்தால், அதனால் பயனென்றுமில்லை. ஒரு போட்டோப் படத்தை நாம் வேண்டிய அளவு உருப்பெருக்கம் செய்துவிடலாம்; ஆனால், அதன் மூலப்படம் தெளிவின்றியிருந்தால், பெருக்கமடைந்த படமும் பெரிதான தெளிவில்லாப் படமாக இருக்கும். அவ்வாறே, ஒளி நுண்ணோக்கியைக் கொண்டு, 5000, 6000 மடங்கு உருப்பெருக்கம் உண்டுபண்ணலாம். ஆனால், அவை தெளிவற்றவையாகத்தான் இருக்கும். ஒளிஅலைகளின் நீளம் 0·00004 செ.மீ. லிருந்து ·00007 செ. மீ. வரை இருப்பதால், இதைவிடச் சிறிதான பொருட்களைக் காணமுடியாது. ஒளிஅலை அவைமீது சிதற

லின்றிப் பாய்ந்து சென்றுவிடும். ஒளியைக்கொண்டு உயர்ந்த பட்சம் 2500 மடங்குதான் உபயோகமான உருப் பெருக்கம் செய்யலாம்.

75000 வோல்டு மின்னழுத்தத்தால் உந்தப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் அலை நீளம் $\lambda = \sqrt{\frac{150}{75000}} = 0{\cdot}045$ A U. இது ஒளிஅலைகளைவிடச் சுமார் 133,000 மடங்கு சிறியது. ஆகவே, நுண்ணோக்கிகளில் ஒளிக்குப் பதிலாக, எலக்ட்ரான் அலைகளைப் பயன்படுத்தினால், அதைப்போல் லட்சம் மடங்கு அதிகமான உருப் பெருக்கம் பெறலாமென்று தெரிகிறது. உண்மையில் 120,000 மடங்கு உருப்பெருக்கம் பெற்றுள்ளன.



படம் 90. **ஒளி நுண்ணோக்கியும் எலக்டரான் நுண்ணோக்கியும்**

மின்புலம், காந்தப்புலம் இவற்றைக் கொண்டு எலக்ட்ரான்களைக் குவிக்கவும் விரிக்கவும் முடியும் என்று தெரியவந்தவுடன், எலக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பை நிறுவ முற்பட்டனர். ஆரம்பத்தில் மின்புலன்களைக் கொண்டு எலக்ட்ரான்களைக் குவித்தன

ரென்ரூலும், தற்கால எலக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்புகள் யாவும் காந்தப்புலத்தையே பயன்படுத்துகின்றன. இதைக் கொண்டு அதிக தெளிவும் உருப்பெருக்கமும் பெறலாம். 90ஆம் படத்தில் ஒளி மைகிராஸ்கோப்பும் எலக்ட்ரான் மைகிராஸ்கோபும் அருகருகே காட்டப்பட்டுள்ளன. எலக்ட்ரான் மைகிராஸ்கோப்பின் உட்புறம் வெற்றிடமாயிருக்க வேண்டும். இல்லையென்ரூல் காற்றின் மூலக் கூறுகளுடன் எலக்ட்ரான்கள் மோதுண்டு சிதறிவிடும்.

எலக்ட்ரான் நுண்ணோக்கி, மருத்துவம், தொழில், அடிப்படை ஆராய்ச்சித் துறை யாவற்றிற்கும் வெகுவாய்ப் பயன்படுகிறது. பாக்டீரியா கிருமிகளை ஒளி நுண்ணோக்கிகளின்மூலம் ஒருவாறு காண முடிந்தது. அவற்றை எலக்ட்ரான் நுண்ணோக்கிகளின் மூலம் வெகு தெளிவாக் காணலாம். பாக்டீரியாவைவிடச் சிறிய தான வைரஸ் (virus) கிருமியை ஒளி நுண்ணோக்கியால் காண முடியாது. ஆனால், எலக்ட்ரான் மைகிராஸ்கோப்பின்மூலம் அதை ஆராய முடிகிறது. இயற்கை நூல்கள், செயற்கை நார்கள் இவற்றின் அமைப்பை ஆராயவும், காகிதம், வர்ணக் குழம்பு இவற்றின் உள்ளாக்கத்தை அறியவும், உலோகம், பிளாஸ்டிக் இவற்றின் மேற்பரப்பை ஆராயவும், இது போன்ற பல்வேறு துறைகளிலும் எலக்ட்ரான் நுண்ணோக்கி பெரிதும் பயன்படுகிறது.

ஒரு விஷயத்தை மனதில் வைக்க வேண்டும். பொருட்களின் பிம்பத்தை உண்டுபண்ணுவது எலக்ட்ரானின் அலைத் தன்மையைப் பொறுத்ததல்ல. எலக்ட்ரான் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களென்றே பாவித்து, அவை மின், காந்தப்புலன்களில் அடையும் ஒதுக்கத்தைக்கொண்டு அவற்றின் பாதைகளைக் கணித்துவிடலாம். பகுதிறனைப் பொறுத்தவரையில்தான் எலக்ட்ரான்களின் அலைத்தன்மை செயல்படுகிறது. ஒளியிலும் இதே நிலைதான். வடிவியல் ஒளியியலைக் (Geometrical optics) கொண்டு ஒளிப்பாதையைக் கணித்துப் பிம்பத்தை வரைகிறோம். ஆனால், மைகிராஸ்கோபின் பகுதிறனைக் கணிக்க ஒளியின் அலைநீளம் தேவைப்படுகிறது.

வினாக்கள்

1. 'பருப்பொருள் அலகுகள்' என்றால் என்ன என்பதை விளக்கு.
2. பருப்பொருளின் அலைவுத்தன்மை எவ்வாறு சோதனை வாயிலாக நிரூபிக்கப்பட்டது என்பதை விவரி.
3. ஓர் எலக்ட்ரானின் வேகம் (a) 10^7 செ.மீ./வினாடி; (b) 10^9 செ.மீ./வினாடி; அதன் அலைநீளமென்ன?

   [(a) 73 AU; (b) 0·73 AU].
4. 37·5 *e.v.* வேக ஆற்றல்கொண்ட ஒரு எலக்ட்ரானின் அலைநீள மென்ன?

   [2 A.U.]

எலக்ட்ரான் இயல்

(ELECTRONICS)

20. மாறுதிசை மின்னோட்டம்

(Alternating currents)

எலக்ட்ரான் இயல் இன்பது, மின் சுற்றுகளில், முக்கியமாக, எலக்ட்ரான் குழாய்கள் என்னும் வால்வுகளிலும் அவற்றைச்சேர்ந்த சுற்றுகளிலும், எலக்ட்ரான் ஓட்டத்தைப்பற்றிக் கூறுவதாகும். இவற்றில் பெரும்பாலும் எலக்ட்ரான்கள் திசை மாறி மாறி, மின் தடைகள், மின்சுருள்கள் (Coils), மின்தேக்கிகள் (Condensers) இவற்றினூடே எதிர்த்திசைகளில் பாய்வதால், முதலில் மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் கொள்கைகள் சிலவற்றைச் சுருக்கமாகப் பார்ப்போம். வாசகர்கள் மாறுதிசைமின்னோட்டத்தைப்பற்றிய கொள்கைகளை ஏற்கெனவே கற்றிருப்பர் என்று நம்புகிறோம்.

(a) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும் ஒரு மாறுதிசை மின் இயக்கு விசை (Electromotive force : *e. m.f*),

$$E = Em \sin \omega t \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

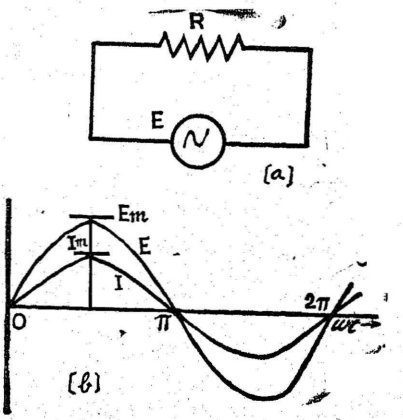
R என்னும் மின்தடை (Resistnnce) யின் மீது செயல்படுகிறதென்று வைத்துக்கொள்வோம். இதில் *Em* என்பது மின் இயக்கு விசையின் உச்ச அளவு; $\omega = 2\pi f$; f என்பது மின் இயக்கு விசையின் (emf) அதிர்வெண்.

91ஆம் படத்தில் மின் சுற்றம் (a) 91 (b)-யில் மின் தடையினூடே செயல்படும் மின்னியக்கு விசையும் (emf) மின்னோட்டமும் (I) காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. மின் தடையினூடே பாயும் மின்னோட்டம்.

$$I = \frac{E}{R} = \frac{Em}{R} \sin \omega t = Im \sin \omega t \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

இதில் $Im = \frac{Em}{R}$, பாயும் மின்னோட்டத்தின் உச்ச அளவு.

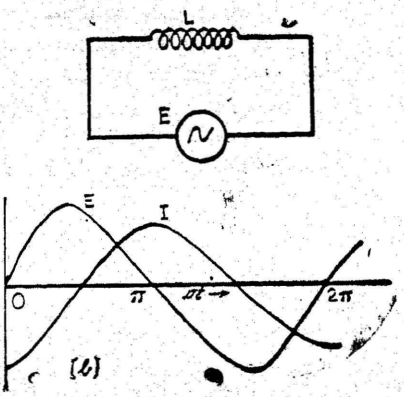
ஆகவே, emf ஒரு சைன்வளைகோடாக இருந்தால், மின்னோட்டமும் அதே போன்ற சைன்வளைகோடாக, emf — உடன் ஒரே கட்டத்தில் (in Phase) இருக்கும். அதகவது, emf உச்ச நிலையை அடையும் பொழுது மின்னோட்டமும் தனது உச்ச நிலையை அடையும்;



படம் 91. மின்தடையில் மாறுதிசை மின்னோட்டம்

emf பூஜ்யமாகும் பொழுது, மின்னோட்டமும் பூஜ்யமாகிறது; emf தன் சிறும நிலையை அடையும் பொழுது மின்னோட்டமும் தனது சிறும நிலையை அடைகிறது.

(b) L என்ற ஒரு கம்பிச்சுருளில் E என்ற மாறுதிசை மின்னியக்கு விசை செயல்பட்டால் (92a), கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு இதற்கும் பொருந்தும்.



படம் 92. சுருளினூடே மாறு மின்னோட்டம்

$$\frac{L\,dI}{dt} = E = E_m \sin \omega t \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

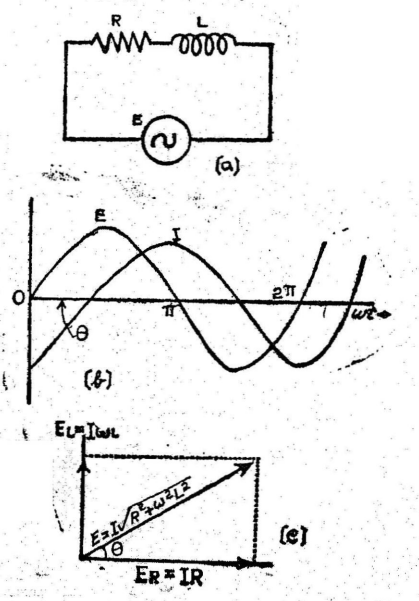
$$\therefore dI = \frac{Em}{L} \sin \omega t \, dt$$

இருபக்கங்களையும் குழுநி ஆக்கினால் (Intrgrating)

$$I = -\frac{Em}{\omega L} \operatorname{Cos} \omega t = Im \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (4)$$

இதில், $Im = \frac{Em}{\omega L}$; $-Cos\,\omega t = \operatorname{Sin}\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ என்பதை நாம் அறிவோம். சுருளினூடே பாயும் மின்னோட்டம் emf-ஐப்போலவே சைன் வளைகோடுதான்; ஆனால், அது emf - க்கு $\pi/2$ பின் தங்குகிறது (Lags behimd emf). இதை 92 (b)ஆம் படத்தில் கணலாம். 'WL' 'மின்மறுப்பு' (Reactance) எனப்படும். மின் தடையைப் போலவே இதுவும் ஓர் அலகில் அளக்கப்படும்.

(C) மின்தடையும் மின்சுருளும் (R, L)



படம் 93 . R.L மின்சுற்றில் மாறுதிசையின் மின்னோட்டம்

மாறுதிசை மின்னழுத்தம் *E*,93 (b)-ல் காட்டியபடி. ஒரு மின்தடையும் (R) மின்சுருளும் (L) தொடர்பாகப் (Series) பிணைக்கப்பட்ட சுருளில் செயல்பட்டால், அதன் சமன்பாடு கீழ்வருமாறு.

$$IR + L\frac{dI}{dt} = Em \sin \omega t \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (5)$$

இதன் விடை கீழ்கண்டவாறுள்ளது :

$$I = Im \sin (\omega t - \theta) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (6)$$

இதிலுள்ள I_m, θ இரண்டையும் கண்டுபிடித்தாக வேண்டும்.

6ஆம் சமன் பாட்டைப் பகுத்தால் (Differntiating)

$$\frac{dI}{dt} = Im\ \omega \cos (\omega t - \theta) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (7)$$

(6)-ஐயும் (7)-ஐயும் (5) ஆம் சமன்பாட்டிலிட்டால்,

$RI_m \sin (\omega t - \theta) + LI_m \omega \cos (\omega t - \theta) = E_m \sin \omega t$

அதாவது, $RI_m (\sin \omega t \cdot \cos \theta - \cos \omega t \sin \theta) +$

$I_m \omega L (\cos \omega t \cos \theta + \sin \omega t \sin \theta) - E_m \sin \omega t = O$

ie. $\sin \omega t\ (RI_m \cos \theta + \omega LI_m \sin \theta - E_m) +$

$\cos \omega t\ (\omega LI_m \cos \theta - RI_m \sin \theta) = O \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (8)$

(8) ஆம் சமன்பாட்டில் $A \sin \omega t + B \cos \omega t = O$

என்றிருப்பதால்,

$A = O$, $B = O$ என்றால் தான் சமன்பாடு உண்மையாகும்.

$\therefore B = O$, $\omega LI_m \cos \theta = RI_m \sin \theta$

$$\therefore \operatorname{Tan} \theta = \frac{\omega L}{R} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (9$$

இதிலிருந்து θ வின் அளவு தெரியவரும் (ω, L, R, தெரிந்திருந்தால்).

$$\therefore \sin \theta = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}; \cos \theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

$$\ldots \ldots (10)$$

$A = 0$ $E_m = I_m (R \cos \theta + \omega L \sin \theta)$

$$i.e.\ \frac{E_m}{I_m} = R\ \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} + \omega L\ \frac{\omega L}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

உச்ச மின்னியக்கு விசைக்கும் அதனுலேற்படும் உச்ச மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள விகிதம் 'மின் எதிர்ப்பு' (impedance) எனப்படும். இது Z என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும் : $Z = E_m / I_m$

$$\therefore \frac{E_m}{I_m} = Z = \frac{R^2}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} + \frac{\omega^2 L^2}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}}$$

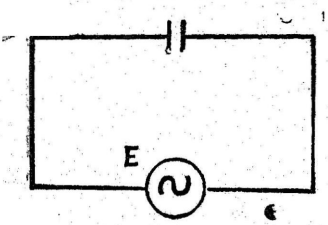
$$= \sqrt{R^2+\omega^2 L^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$\therefore I_m = \frac{m}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

மின் எதிர்ப்பு (Z) என்பது, மின்தடை (R), மின் மறுப்பு (WL) இவற்றின் வெக்டர் கூட்டல். ஓம் (ohm) அலகால் அளக்கப் படுகிறது.

ஆகவே, (6)ஆம் சமன்பாட்டில் $I = I_m \sin(\omega t - \theta)$, I_m (12)-லும், θ (9)-லும் தரப்படுவதால், விடை முழுவதும் அறியப் பட்டு விட்டது. E என்னும் மின்னியக்கு விசை R, L சுற்றில் செயல்பட்டால், உண்டாகும் மின்னோட்டம் I. *emf*-க்குப் பின் θ கோணத்தில் பின்தங்கிப் பாய்கிறது :

$$\tan\theta = \frac{\omega L}{R}$$



படம் 94.
மின் தேக்கியில் மாறு மின்னோட்டம்

இவ் விளைவை 93 (*b*), படத்தில் வளைகோடாகவும், 93(*c*)-யில் வெக்டர் படமாகவும் காட்டப்பட்டுள்ளன.

(*d*) C என்ற மின் தேக்கியினூடே E என்ற மாறுதிசை மின்னியக்கு விசை செயல்பட்டால், மின் தேக்கியின் மின்னூட்டம் Q கீழ்க் கண்ட சமன்பாடால் தரப்படும் :

$$\frac{Q}{C} = E_m \sin\omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

இதைப் பகுத்தால், $\left(\frac{dQ}{dt} = I \text{ மின்னோட்டம்}\right)$:

$$\therefore \frac{I}{C} = E_m \omega \cos\omega t = E_m \omega \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$\therefore I = \frac{E_m}{1/\omega C}\sin(\omega t + \pi/2) = I_m \sin(\omega t + \pi/2) \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

இதில் $I_m = \frac{E_m}{1/\omega C}$

$\frac{1}{\omega C}$ என்பது மின்தடைக்குச் சமம். இதை மின்தேக்கியின் 'மறுப்பு' (reactance) என்பர், [மின்சுருளின் 'மறுப்பு' ωL என்று மேலே பார்த்தோம்.]

(14)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து, மின்னோட்டம் மின்னியக்கு $\pi/2$ கோணத்தில் முன்பாகச் செல்கிறது என்று விளங்குகிறது.

(e) இவ்வாறே, R, C கொண்ட சுற்றில் E செயல்பட்டால்

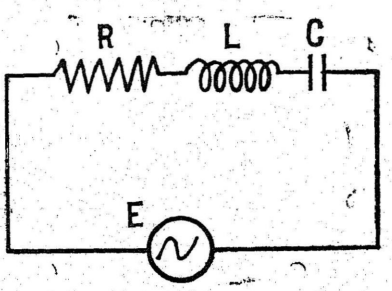
$$I = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \sin(\omega t + \theta) \quad \ldots \ldots \quad (15)$$

$$\tan \theta = 1/R\omega C \quad \ldots \ldots \quad (16)$$

என்ற சமன்பாடுகளை முன்போல் வருவிக்கலாம்.

(f) **R,L,C கொண்ட மின்சுற்றில் மின்னோட்டம்**

R,L,C தொடர்பாக இணைக்கப்பட்ட மின்சுற்றில் E செயல்படுகிறதென்று வைத்துக்கொள்வோம்: இதன் சமன்பாடு வருமாறு:



படம் 95. R,L,C சுற்று

$$L\frac{dI}{dt} + RI + \frac{Q}{C} = E_m \sin \omega t \quad \ldots \ldots \quad (17)$$

t-யின் தரப்பில் பகுத்தால்,

$$L\frac{d^2I}{dt^2} + R\frac{dI}{dt} + \frac{I}{C} = E_m \omega \cos \omega t \quad \ldots \ldots \quad (18)$$

இதில் பாயும் மின்னோட்டம் $I = I_m \sin(\omega t - \theta)$ ... ... (19) என்ற சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது. I_m, θ கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டும்.

(19)-ஐ இருமுறை பகுத்தால்,

$$\frac{dI}{dt} = I_m \omega \cos(\omega t - \theta)$$

$$\frac{d^2 I}{dt^2} = -I_m \omega^2 \sin(\omega t - \theta)$$

இவற்றை (18)ஆம் சமன்பாட்டிலிட்டால்,

$$-LI_m \omega^2 \sin(\omega t-\theta) + RI_m \omega \cos(\omega t-\theta) + \frac{I_m}{C} \sin(\omega t-\theta)$$

$$= E_m \omega \cos \omega t = E_m \omega \cos[(\omega t-\theta) + \theta]$$

$$= E_m \omega [\cos(\omega t-\theta) \cos\theta - \sin(\omega t-\theta) \sin\theta]$$

$$\therefore \cos(\omega t-\theta)[RI_m \omega - E_m \omega \cos\theta] +$$

$$\sin(\omega t-\theta)\left[-L I_m \omega^2 + \frac{I_m}{C} + E_m \omega \sin\theta\right] = 0 \ldots\ldots (20)$$

முன்போல் $A \cos(\omega t - \theta) + B \sin(\omega t-\theta) = 0 \therefore A = 0$ $B=0$.

$$A = 0 \quad RI_m \omega = E_m \omega \cos\theta$$

$$\therefore RI_m = E_m \cos\theta \ldots\ldots (21)$$

$$B = 0 - LI_m \omega^2 + \frac{I_m}{C} = -E_m \omega \sin\theta$$

$$\therefore I_m\left(\frac{1}{C} - \omega^2 L\right) = -E_m \omega \sin\theta$$

$$\therefore I_m\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = E_m \sin\theta \quad \ldots\ldots (22)$$

(21)-ஐயும் (22)-ஐயும் இருமடித்து (squared)க் கூட்டினால்,

$$I_m^2\left[R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2\right] = E_m^2$$

$$\therefore I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad \ldots\ldots (23)$$

ஆகவே, I_m-இன் அளவு தெரிந்து விடுகிறது. $\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ என்பது மின்சுருள், மின்தேக்கியின் மொத்த 'மறுப்பு' (reactance). மின்தடை (R), இம் மொத்த மின்மறுப்பு இவற்றின் வெக்டர் கூட்டலே, மின்சுற்றின் மொத்த மின் எதிர்ப்பு (impedance) Z;

அதாவது $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega_c}\right)}$ ..... (24)

(22) ஆம் சமன்பாட்டை (21)-ஆல் வகுத்தால்,

$$\tan\theta = \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega_c}\right)}{R} \quad \text{..... (25)}$$

மின்னோட்டம் இந்த θ கோண அளவு மின்னியக்கு விசைக்குப் பின் தங்குகிறது.

$\omega L < \frac{1}{\omega_c}$ ஆக இருந்தால், θ குறைக்குறி (−) யுடையதாயிருக்கும்; அப்பொழுது மின்னோட்டம் மின்னியக்கு விசைக்கு முன்பாயும்.

தொடர் ஒத்திர்வு (Series Resonance)

$\omega L = \frac{1}{\omega_c}$ என்றிருந்தால், மொத்த மின் மறுப்பு பூஜ்யமாகிறது: பின் தங்கு கோணம் θ-வும் பூஜ்யமாகிவிடுகிறது. அதாவது, மின்னோட்டமும் மின்னழுத்தமும் ஒருகட்டத்திலுள்ளன (in phase): இந் நிலையில் மின் சுற்று 'ஒத்ததிர்வாக' உள்ளதாகக் கூறப்படுகிறது.

ஒர்ததிர்வு நிலையில்,

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

அதிர்வெண் $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ... ... (26)

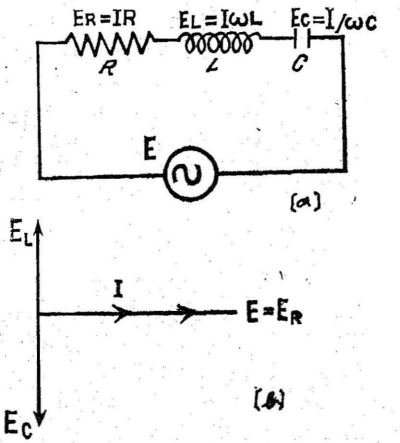
செயல்படும் மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண் (f) நிலையாய் இருந்தால், L, C இவற்றை ஒழுங்குபடுத்தி, மின் சுற்றில் ஒத்ததிர்வு உண்டுபண்ணலாம்.

ஒத்ததிர்வு உண்டாகையில், மொத்த மின் மறுப்பு பூஜ்யமாகிவிடுவதால், மின் சுற்றின் எதிர்ப்பு சிறுமமாகி, மின் தடைக்கு (R)ச் சமமாகிறது, பாயும் மின்னோட்டம் உச்சமாகி,

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{... ... ... (27)}$$

என்ற சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது. சாதாரணமாக மின் தடை (R) மிகக் குறைவாகவே இருக்குமாதலால், ஒத்ததிர்வின் மின்னோட்டம் மிக அதிகமாயிருக்கும்.

மின் சுருளின் இரு முனைகளுக்கிடையேசயல்படும் மின்ன ழுத்தம் EL = IωL ; மின் தேக்கியின் இரு முனைகளுக்கிடையே



படம் 96. ஒத்ததிர்வின் போது R,L,C-யின் மின்னழுத்த பேதங்கள்

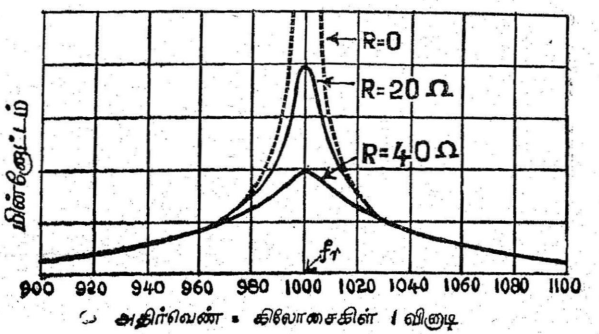
உள்ள மின்னழுத்தம், EC=I/ωC பாயும் மின்னோட்டம் அதிக மாகையால், இம் மின்னழுத்தங்களும் மிக உயர்ந்தவையாயும், ஒன்றுக்கென்று எதிர் எதிராகவும் உள்ளன. (படம்96 b) படத்தில் (96a) மின் தடை (R) தனியாகக் காட்டப்படிருந்தாலும். சாதாரண மாக அது L என்ற மின் சுருளின் தடையாகத்தானிருக்கும். சுருளின் கம்பி தடிப்பமாயிருந்தால் R மிகவும் குறைவாயிருக்கும்.

ஒத்ததிர்வின் கூர்மை (Sharpness of Resonance)

ஒரு ரேடியோவைக் கொண்டு வானெலி நிலையத்தின் ஒலி பரப்புதலைக் கேட்க மேண்டுமானால், L-C சுற்றில் ஒரு மாறு மின் தேக்கியை (Variable condenser) சேர்த்து, அதன் அளவை மாற்றி, மின் சுற்றின் இயல்பான அதிர்வெண் (natural fequeney) $\left(\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right)$ நமக்குத் தேவையான ரேடியோ நிலையத்தின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாகும்படி செய்கிறோம். இதற்கு 'சுரத்தேர்வு' (tuning) அல்லது 'அலைத்தேர்வு' என்று பெயர். நமக்குத் தேவையான அதிர்வெண்ணில் உச்ச மின்னோட்டமும், மற்ற எல்லா அதிர்வெண்களிலும் மிகக் குறைவான மின்னோட்டமும் உண்டாவதே, இத் தேர்வின் நோக்கம், ஏனெனில், வேண்டாத நிலையங்களின் மின்னழுத்தங்கள் நமது ரேடியோவில்

மின்னோட்டம் உண்டுபண்ணி, குழப்பமுண்டாக்கக்கூடாது. இந் நிலை ஏற்பட்டுவிட்டால், மின்சுற்று நமக்குத் தேவையான அதிர்வெண்ணுக்குக் 'கூர்மையாக சுரப்படுத்தப்பட்டுள்ளதாகக் கூறப்படும்.

97 ஆம் படத்தில், 1000-கிலோ சைக்கிள்/வினாடி அதிர்வெண்ணுக்குச் சுரப்படுத்தி வைக்கப்பட்டுள்ள மின்சுற்றின் 'ஒத்துணர்வுவளைகோடு'கள் (response curves) தரப்பட்டுள்ளன.



படம் 97. ஒத்துணர்வு வளைகோடுகள் - தொடர் சுற்று

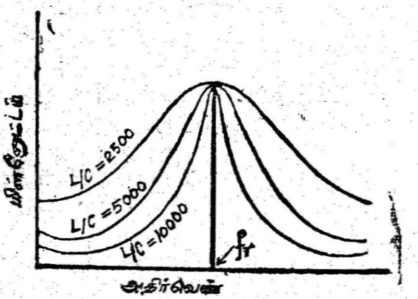
அதாவது வெவ்வேறு அதிர்வெண்ணுடையமின்னழுத்தங்களுக்கு அச்சுற்றில் என்ன மின்னோட்டம் பாயும் என்பதைக் காட்டும் வளைகோடுகள், (1000 கிலோ சைக்கிள் என்றால் 1,000,000 சைக்கிள்). செயல்படும் மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண், சுரப்படுத்தி வைக்கப்பட்டுள்ள 1000 கி. வி. *fr*-க்கு வெகு குறைவாகவோ, அதிகமாகவோ இருந்தால், சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டம் மிகக் குறைவாக உள்ளது. அதிர்வெண் *fr*க்கு அருகில் வரவர மின்னோட்டம் உயர்ந்து, *fr* அதிர்வெண்ணில் உச்ச மின்னோட்டம் பாய்கிறது. மின் சுற்றின் தடை (R) பூஜ்யமாயிருந்தால், ஒத்த அதிர்வு நிலையில் மின்னோட்டம் ஈறிலி (infinity)யாக உயரும். R மிகவும் குறைவாயிருந்தால்; மின்னோட்டம் அதிக உச்ச அளவுக்குச் செல்வதுடன் அதன் இரு புறங்களிலும் மிகவும் விரைவாகக் குறைகிறது. உதாரணமாக, படத்தில், மின்தடை 20 ஓம்களாயிருக்கையில், *fr* இலிருந்து 15 கி. சை./வி. தூரம் இரு புறமும் போனால், மின்னோட்டம் 50% குறைகிறது. ஆனால் R—40 ஓம்களில், சுமார் 15% தான் குறைகிறது. சுரப்படுத்துதல் கூராயிருந்தால், மின் சுற்றின் 'தேர்திறன்' (Selectivity) அதிகமாகிறது அதாவது தேவையான அதிர்வெண்ணைச் சுலபமாய் ஏற்கவும் தேவையில்லாதவற்றை நிராகரிக்கவும் திறனுண்டாகிறது.

கூர்மையான சுரப்படுத்துதலுக்குக் காரணமான வேறொன்று மின்சுருளின் Q-எண் (Q factor) என்பது மின்சுருளின் மறுப்புக்கும் தடைக்குமுள்ள தகவே (ratio) Q-எண்ணுகும். அதாவது $Q = \omega L/r$ ஒரு மின்சுற்றின் சுரப்படுத்தும் கூர்மையை அதிகப்படுத்துவதற்கு அச்சுற்றின் Q எண் அதிகமாயிருத்தல் வேண்டும். மின்சுற்றின் $QR\omega_1 = 1$ $WrCr$; இதில் $Wr = 2\pi fr$; fr என்பது ஒத்ததிர்வெண் (resonance frequency) மின்னோட்டம் தனது உச்ச அளவிலிருந்து (fr அளவிலிருந்து) 70.7%க்கு (அதாவது $1/\sqrt{2}$க்கு) குறைவது f அதிர்வெண்ணிலென்றால்,

$$\frac{fr - f_1 r}{fr} = \frac{1}{2Q} \quad \ldots \ldots \quad (28)$$

என்று காண்பிக்கலாம் இதன் அர்த்தமென்னவென்றால், Q-எண் அதிகமாயிருந்தால், ஒத்ததிர்வெண்ணிலிருந்து தூரச்செல்லும் பொழுது, மின்னோட்டம் வெகு விரைவில் குறைகிறது. உதாரணமாக, ஒரு மின்சுற்றின் Q எண் 250 என்றும், அதன் ஒத்ததிர்வெண் 1,00 கி. சை/வி. என்றும் கொண்டால், மின்னோட்டம் அதன் ஒத்ததிர்வு அளவிலிருந்து 70.7%க்குக் குறைய 2 கி.சை/வி ($\frac{1}{2}$ Q சென்றால் போதும். சுற்றின் Q-எண் 200 ஆக இருந்தால், மின்னோட்டம் இதே அளவு குறைய 2·5 கி.சை./வி. சென்றுக வேண்டும். மின்சுற்றுக்களின் Q-எண் சாதாரணமாக 200-300 ஆக உள்ளன.

சுரப்படுத்துதலின் கூர்மையை அதிகரிக்கும் வெறொரு காரணி, L/c தகவு. R மாறிலியாக இருந்தால், L/c தகவு அதிகமாக ஆக, சுரக்கூர்மையும் அதிகமாகிறது. 98-ம் படத்தில் இது



படம் 98: சுரக்கூர்மையும் L/c தகவும்

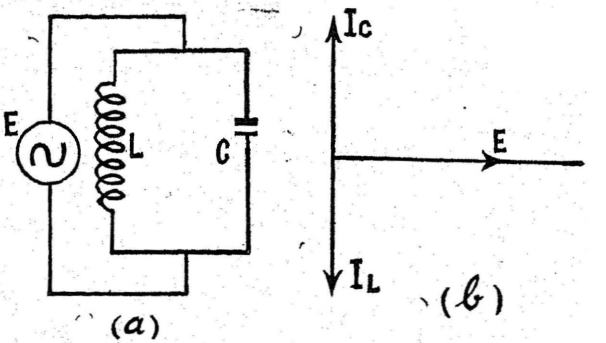
காட்டப்பட்டுள்ளது. R மாறிலியாக இருப்பதால், வளைகோடுகள் ஒரே உச்ச மின்னோட்டத்தை அடைகின்றன. ஒத்ததிர்வெண்ணை (fr) மாற்றுமல் L/c தகவை மாற்றலாம். எனென்றால், L அளவை

இரு மடங்கு உயர்த்தி, C அளவை இரு மடங்கு குறைத்தால், Lc மாறுமலிருக்கும். (ஆகையால் f_r மாறுது); ஆனல் L/c நான்கு மடங்கு உயர்ந்திருக்கும்.

தொடர் ஒத்ததிர்வு மின்சுற்று சில சமயங்களில் "ஏற்பி" சுற்று (acceptor circuit) என்றும் சொல்லப்படுகிறது. ஏனென்றால் அது அதிமின்னோட்டங்களைத் தன்னூடே செலுத்துகிறது.

இணை ஒத்ததிர்வு (Parallel Resonance)

ஒரு மின் சுருளையும் (L) மின்தேக்கியையும் (c) இணையாகப் பிணைத்து, அவற்றினூடே E என்னும் மின்னியக்கு விசையை அனுப்புகிறதென்று வைத்துக்கொள்வோம். மின் சுருளின்



படம் 99. இணை ஒத்ததிர்வு

மின் தடையை நிராகரித்துவிட்டால், மின் சுருளில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் அளவு $I_L = \frac{E}{\omega L}$; இது E-க்கு 90 டிகிரி பின்தங்கிப் பாயும். மின்தேக்கியினூடே பாயும் மின்னோட்டம், $Ic = E\omega C$; இது E-க்கு 90 டிகிரி முன்னோடிப் பாயும்.

ஜனனியிலிருந்து அனுப்பப்படும் மின்னோட்டம் இவ்விரு மின்னோட்டங்களின் வெக்டர் கூட்டாகும். அதாவது, $I = E\left(\frac{I}{\omega L} \sim C\right)$. I_L அதிகமோ, Ic அதிகமோ என்பதைப் பொறுத்து, மொத்த மின்னோட்டம் 90° E-க்குப் பின் தங்கும் அல்லது முன்னோடும்.

$I_L = Ic$ ஆனல், ஜனனியிலிருந்து எடுக்கப்படும் மின்னோட்டம் பூஜ்யமாய் விடுகிறது; மின்சுற்று **ஒத்ததிர்வு** நிலையிலுள்ளது. ஒத்ததிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்க.

$$\frac{E}{\omega L} = E\omega C \therefore \omega^2 = \frac{I}{LC} \therefore f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{I}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \ldots(29)$$

ஆகவே, இணை ஒத்ததிர்வெண்ணும் தொடர் ஒத்ததிர் வெண்ணுக்குச் சமமாக உள்ளது; (26 ஆம் சமன்பாடு)

இணை ஒத்ததிர்வின்போது, மின் சுற்றின் எதிர்ப்பு ஈறிலியாகிறது. இதற்கு 'நிராகரிப்புச் சுற்று' (Rejector Circuit) என்று பெயர். ஜனனியிலிருந்து மின்னோட்டம் எதுவும் மின் சுற்றுக்குச் செல்வதில்லை. ஆனால் சுருள், மின்தேக்கிப் புயங்களில் மிக அதிகமான மின்னோட்டங்கள் I_L, I_C சமமாயும் ஒன்றுக்கொன்று எதிராகவும், பாய்ந்து கொண்டிருக்கலாம். (படம் 99 *b*)

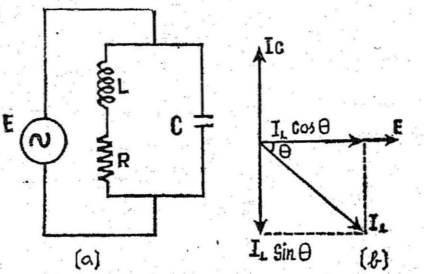
இவ்வாறு 'சப்ளை மின்னோட்டம்' எதுவுமில்லாவிட்டாலும், அதிகமான 'சுற்று மின்னோட்டம்' (Circulating Current) பாய்வது எப்படியென்றால், மின் சுற்று இப்பொழுது அலைவுற்றவண்ணமாயுள்ளது (oscillating). மின் தேக்கி, மின் சுருளின் வழியாய் மின்னிறக்கமடைந்தும் மின்னூட்டம் பெற்றும் வருகிறது. மின் சுருளில் தடையெதுவுமில்லை ($R=o$) என்றுகொண்டோமாகையால்; மின் சுற்று அலைவுறுகையில், அது ஆரம்பத்தில் பெற்ற ஆற்றல் எதுவும் விரயமாவதில்லை. (not dissipated). இது உராய்வில்லாத ஊசலியைப்போல், சாஸ்வதமாய் ஊசலாடிக் கொண்டிருக்கும். ஆனால், உண்மையில், மின் சுருளுக்கு ஒரு சிறிதளவு மின்தடை இருக்கத்தான் செய்யும்; ஆகையால், சிறிது ஆற்றல் அழிந்துகொண்டுதான் போகும். இதை ஜனனியிலிருந்து மின்சுற்று பெற்றுக் கொள்கிறது.

இணை ஒத்ததிர்வு—மின்தடையுடன் (Parallel Resonance, with resistance)

சாதாரணமாக மின் தேக்கி புயத்திலுள்ள மின்தடை நிராகரிக்கப்படுகிறது; மின் சுருளின் தடை மட்டுமே கவனிக்கப்படுகிறது. ஆகவே, R, L தொடர்பிணைப்பாகவும், C இணைப்பிணைப்பாகவும் உள்ளன. இதைத் 'தொடர் இணைபிணைப்பு' (Series-Parallel Circuit) என்றும் சொல்வதுண்டு. 100 ஆம்படத்தில் (*a*) இப் பிணைப்பையும் (*b*) L, C புயங்களில் பாயும் மின்னோட்டங்களின் வெக்டர் படத்தையும் காட்டுகின்றன.

சுருளின் புயத்தில் பாயும் மின்னோட்டம் $I\omega = \frac{E}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}} \quad \ldots(30)$

இது E-க்கு θ கோணத்தில் பின் தங்குகிறது : $\tan\theta = \frac{\omega L}{R}$ .... 31)



படம் 100 தொடர்— இணைப் பிணைப்பு

$$\therefore \sin\theta = \frac{\omega L}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} : \quad \cos\theta = \frac{R}{\sqrt{R^2+\omega^2 L^2}} \quad \ldots \quad (32)$$

மின் தேக்கியின் புயத்தில் பாயும் மின்னோட்டம் $I_C = E\omega C$..... (33)

இது E-க்கு $\pi/2$ கோணத்தில் முன்னோடுகிறது (படம் 100*b*). I_L-ஐ E-க்கு இணையாகவும் செங்குத்தாகவும் பகுத்தால், $I_L \cos\theta$ இணையாகவும், $I_L \sin\theta$ செங்குத்தாகவும், அதாவது $\pi/2$ கோணத்தில் பின்தங்கியும் உள்ளன.

மின் தடையுள்ள (R) இணைச் சுற்றில், ஜனனியிலிருந்து பாயும் மின்னோட்டம் ஜனனியின் மின்னழுத்தத்துடன் ஒரு கட்டத்திலிருந்தால் (one phase), ஒத்தத்ததிர்வு நேர்ந்ததென்று கூறப்படுகிறது. இது நேர்வதற்கு I_L-இன் செங்குத்துப்பகுப்பு I_C-க்கு சமமாகவும் நேர் எதிராகவும் இருத்தல் வேண்டும். அப்படியிருந்தால், I_C-யும் $I_L \sin\theta$-வும் ஒன்றையொன்று அழித்துவிட, ஜனனியிலிருந்து வரும் $I_L \cos\theta$ மின்னோட்டம் E.யுடன் ஒன்றித்திருக்கும்.

$\therefore I_L \sin\theta = I_C$

I_L-ஐ (30)-லிருந்தும், $\sin\theta$ வை (32)-லிருந்தும்

I_C-ஐ (33)-லிருந்தும் எடுத்து,

$$\frac{E}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}} \cdot \frac{\omega L}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}} = E\omega C$$

$$\text{ie} \quad \frac{L}{R^2+\omega^2L^2} = C$$

$$\therefore \omega^2L^2C = L - CR^2$$

$$\therefore \omega^2 = \frac{1}{LC}\left(\frac{L - CR^2}{L}\right) = \frac{1}{LC}\left(\frac{1 - CR^2}{L}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (34$$

ஒத்ததிர்வெண்

$$fr = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\sqrt{1 - \frac{CR^2}{L}} = fo\sqrt{\frac{CR^2}{L}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (35)$$

இதில் *fo* என்பது R = o ஆக இருக்கும் இணை ஒத்ததிர்வு

ஜனனியிலிருந்து இந்த ஒத்ததிர்வெண்ணில் வாங்கப்படும் மின்னோட்டம்

$$I = I_L \cos\theta = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} = \frac{ER}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (36)$$

இவ் விணைச்சுற்றின் மின் எதிர்ப்பு

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{R^2\omega^2 L^2}{R}$$

(34)-லிருந்து ω^2 இன் அளவை இதிலிட்டால்,

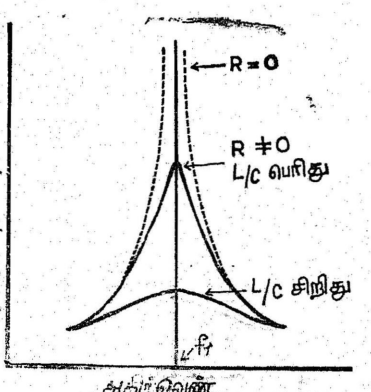
$$Z = \frac{1}{R}\left\{R^2L^2 \cdot \frac{1}{LC}\left(1 - \frac{CR^2}{L}\right)\right\}$$

$$= \frac{1}{R}\left\{R_2 + \frac{L}{C} - R^2\right\} = \frac{L}{CR} \quad \ldots \quad \ldots \quad (37)$$

ஆகவே, ஒத்ததிர்வில் ஜனனியிலிருந்துவாங்கப்படும்மின்னோட்டம்

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{ECR}{L} \quad \ldots \quad \ldots \quad (38)$$

101ஆம் படத்தில் மின் எதிர்ப்பு அதிர்வெண்ணுடன் மாறும் வகை காட்டப்பட்டுள்ளது. இது 97ஆம் படத்தை ஒத்திருப்பது



படம் 101 இணைச்சுற்று ஒத்துணர்வு வளை கோடுகள்

உடனே தெரியவரும். (அங்கே மின்னேட்ட வேறுபாட்டு வளை கோடுகள்) ஒரு குறிப்பிட்ட மின் தடையில் L/C அதிகமாயிருந்தால், சுரப்படுத்தலும் கூர்மையாயிருக்கும். இஃது ஒத்ததிர்வுச் சுற்று ஒரு நிராகரிப்புச் சுற்று. ஆகையால், ஒத்ததிர்வில் அதன் மின் எதிர்ப்பு அதிகமாயிருத்தல் வேண்டுமே.

உதாரணங்கள்

1. 100 மைகிரோ ஹென்றி மின்தூண்டலும் (selfinductance) 0·2 ஓம் மின்தடையும் கொண்ட ஒரு மின் சுருள், ஒரு மின்தேக்கியுடனும், 2 வோல்டு, 100 கி. சை. / வினாடி அதிர் வெண்ணுடைய மின்னழுத்தத்துடனும் தொடர்பாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்தேக்கியின் அளவு (a) ·01 $\mu \cdot fd$; (b) 02534 $\mu \cdot fd$; (c) ·05 $\mu \cdot fd$. ஆக இருந்தால், மின்சுற்றில் பாயும் மின்னேட்டத்தைக் கண்டுபிடி.

மின் சுற்றின் மின் எதிர்ப்பு $= Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$

மின்னேட்டம் $= \frac{E}{Z}$

$\omega L = 2\pi fL = 2\pi \times 10^5 \times 10^{-4} = 62{\cdot}8$ ஓம்.

(a) $C = {\cdot}01 \mu fd$ $\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 10^5 \times 10} = 159{\cdot}2$ ஓம்

∴மின் மறுப்பு $\times = 159{\cdot}2 = 96{\cdot}4$ ஓம்

மின் எதிர்ப்பு $Z = \sqrt{R^2 + \times 2} = \sqrt{\cdot 2^2 + 96{\cdot}4^2} = 96{\cdot}4$ ஓம்

∴மின்னேட்டம் $I = \frac{E}{Z} = \frac{2}{96{\cdot}4} = 0{\cdot}021$ ஆம்பியர்.

(b) $C = 0{\cdot}02534 \mu\ fd$.

$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 10^5 \times {\cdot}02534 \times 10^6} = 62{\cdot}8$ ஓம்

∴மின் மறுப்பு $= 62{\cdot}8 - 62{\cdot}8 = 0$ ஓம்.

∴ $Z = R = 0\ 2$ ஓம்

∴மின்னேட்டம் $I = \frac{2}{0\ 2} = 10$ ஆம்பியர்

(c) $C = {\cdot}05 \mu\ fd$

$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 10^5 \times 5 \times 10^{-8}} = 31{\cdot}8$ ஓம்

மின் மறுப்பு $\times = 62{\cdot}8 - 31{\cdot}8 =$ ஓம்

மின் எதிர்ப்பு $Z = \sqrt{\cdot 2^2 \times 31^2} = 31$ ஓம்

மின்னோட்டம் $I = \frac{2}{31} = 0.064$ ஆம்பியர்.

2. 5 ஓம் மின்தடையும் 50 மைகிரோ ஹென்றி மின்தூண்டலும் கொண்ட ஒரு மின் சுருள், $\cdot 02 \mu \cdot fd$ மின்தேக்கியுடன் இணையாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. இச் சுற்றின் ஒத்ததிர் வெண் என்ன? இவ் வதிர்வெண்ணுடைய 5 வோல்டு மின்னழுத்தம் இச் சுற்றில் செயல்பட்டால், அதிலிருந்து எடுக்கப்படும் மின்னோட்டம் என்ன?

$$\text{இணை ஒத்ததிர்வெண்} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\sqrt{1 - \frac{CR^2}{L}}$$

$$\frac{CR^2}{L} = \frac{2 \times 10^{-8} \times 5 \times 5}{5 \times 10^{-5}} = \cdot 01$$

$$\therefore \text{இணை ஒத்ததிர் வெண்} = \frac{\sqrt{\cdot 99}}{2\pi\sqrt{5 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-8}}}$$

$$= 158{,}400 \text{ / வினாடி.}$$

$$\text{மின்னோட்டம்} = \frac{ERC}{L} = \frac{5 \times 5 \times 2 \times 10^{-8}}{5 \times 10^{-5}}$$

$$= \cdot 01 \text{ ஆம்பியர்}$$

அத்தியாயம் 20 :

வினாக்கள்

1. தொடர் ஒத்ததிர்வென்றால் என்ன? இத்தகைய சுற்றின் தன்மைகளை விவரி. ஒத்ததிர்வின் கூர்மையை விளக்கு. [சென்னை 1960; 963.

2. ஒரு தொடர் ஒத்ததிர்வுச் சுற்றில் 1 மில்லி ஹென்றிச் சுருளும் $\cdot 001 \mu \cdot fd$ மின்தேக்கியும், 4 ஓம் மின் தடையும் உள்ளன. அச் சுற்றின் ஒத்ததிர்வெண்ணுடைய 4 வோல்டு மின்னழுத்தம் சுற்றிற்குத் தரப்படுகிறது. (a) ஒத்ததிர்வெண் என்ன? (b) பாயும் மின்னோட்டம் என்ன? (c) சுற்றின் Q-எண் என்ன?

[(a) $1 \cdot 59 \times 10^5$; (b) 1 ஆம்பியர் (c) 250].

21. வெப்ப அயனி வால்வுகள்

(Thermionic Valves)

எலக்ட்ரான் இயல் கடந்த அரைநூற்றாண்டில் மிக அதிகமாக முன்னேறியதன் காரணம் வெப்ப அயனி வால்வுகளின் அபிவிருத்தியே. இச் சிறு சாதனம் பல்வேறு திறமை வாய்ந்தது; உலகின் தலைசிறந்த கண்டுபிடிப்புக்களிலொன்று. வால்வுகளை 'வெற்றிடக் குழாய்கள்' (Vacunm tubes) என்று இக் காலத்தில் குறிப்பிடுகின்றனர்.

வெற்றிடக் குழாயின் சுருக்க வரலாறு

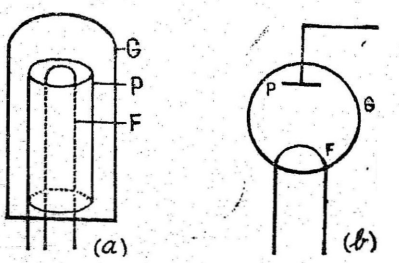
1882ஆம் ஆண்டில் ஜெர்மானியர் எல்ஸ்டரும் கைட்டலும் ஒரு வெற்றிடக் குழாயில் ஒரு மின்னிழையையும் ஒரு தகட்டையும் பொருத்தி வைத்து, மின்னிழைக்குச் சூடேற்றியபொழுது, அக் குழாயில் ஒரு திசையில்மட்டுமே மின்னோட்டம் செல்வதைக் கவனித்தனர். ஆனால் அதனை மேற்கொண்டு ஆராயவில்லை. அவ்வாறே தாமஸ் ஆல்வா எடிசனும், 1883ஆம் ஆண்டில், தாம் புதிதாய் உண்டுபண்ணிய மின் விளக்கினுள் ஒரு தகட்டைப் பொருத்தி, அதற்கு நேர்மின்னூட்டம் கொடுத்தால், மின்னிழைக்கும் தகட்டிற்குமிடையே மின்னூட்டம் பாயுமென்றும், தகட்டிற்கு எதிர்மின்னூட்டம் கொடுத்தால், மின்னோட்டம் செல்லாதென்றும் கண்டார். இதற்கு 'எடிசன் விளைவு' என்றும் பெயர் கொடுக்கப்பட்டது. அவரும் இதைத் தொடர்ந்து ஆராயவில்லை. 1904ஆம் ஆண்டில் T. A. ஃப்ளெமிங் இந்த இருமின்வாய் (டையோடு) வெற்றிடக் குழாயை உயர்ந்த அதிர் வெண்ணுடைய அலைவுகளைக் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுத்தினர்.

1907ஆம் ஆண்டில் USA விஞ்ஞானி லீடி பாரஸ்டு (Lee D Forrest) என்பவர் இக்குழாயினுள் மூன்றாவது மின்வாயொன்றை மின்னிசைக்கும் தகட்டிற்குமிடையே பொருத்தி வைத்தார், இதுவே, வெகு முக்கியமான முன்னேற்றமாயிற்று. 'கிரிடு' (grid) என்று பெயரிடப்பட்டது. இம்மூன்றும் மின்வாய்

மின்னிழைக்கும் தகட்டிற்குமிடையே செல்லும் மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் திறன் பெற்றிருந்தமையால், 'ட்ரையோடு' (triode) எனப்பட்ட இம் மூன்று மின்வாய்க் குழாயைக்கொண்டு பெருக்கம் ஆக்கவும், அலைப்பண் பிறக்கத்திற்கும், அலையியற்றவும் பெருமளவில் பயன்படுத்தினர். 1928-ம் ஆண்டில் ஹல், வில்லியம் என்பவர்கள், கிரிடுக்கும் தகட்டிற்குமிடையே இன்னொரு மின்வாயை ('திரை கிரிடு' (Screen grid)ப் பொருத்தி, மிக உயர்ந்த அலைவுகளை இட் 'டெட்ரோடு' (tetrode) திறமையுடன் பெருக்குவதைக் கண்டனர். இன்னும் பல மின்வாய்கள் வெவ்வேறு நோக்கத்துடன் புகுத்தப்பட்டன. தற்சமயத்தில் நூற்றுக்கணக்கான விதமான வெற்றிடக் குழாய்கள் செயல்பட்டு வருகின்றன.

1913-ஆம் ஆண்டில் ஜெர்மானியர் மைஸ்னர் (Meissnor) முதன் முதலாக வெற்றிடக்குழாயைக் கொண்டு உயர் அதிர்வெண்ணுடைய மின் அலைவுகளை உண்டுபண்ணினர். அதுமுதல் வெற்றிடக்குழாய் அலையியற்றியாகப் பயன்பட்டு, தற்காலத்தில் மிக உயர்ந்த அதிர்வெண்களுடைய அலைவுகளை மிக உயர்ந்த திறனுடன் உண்டுபண்ணுவதற்கு விருத்தி செய்யப்பட்டுள்ளது. நீரால் குளிர்விக்கப்பட்ட வால்வுகள் 500,000 வாட் திறனுடைய அலைவுகளையும் உண்டுபண்ணக்கூடும்.

டையோடு (The Diode) டையோடு என்பது இரு மின்வாய் கொண்ட வெற்றிடக்குழாய், மிகத் துப்புரவாய் வெற்றிடமாக்கப்



படம் 102: டையோடு வால்வு

பட்ட கண்ணாடி பல்புக்குள் (G) ஒரு சன்னமான நீண்ட மின்னிழையும் (F), அதைச்சுற்றி ஓர் உலோகத்தகடும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன.

இம்மின்னிழையைச் சூடேற்றுவதற்கு இரு மின்வாய்களும், தகட்டை வெளிச்சுற்றில் பிணைக்க ஒரு முனையும் வெளிவருவதைப் படம் 102 (a)-யில் காட்டப்பட்டுள்ளது. மின்சுற்றில்

பிணைப்பதற்கு டையோடை 102 (b)-யில் காட்டப்பட்டதுபோல் குறிக்கப்படும்.

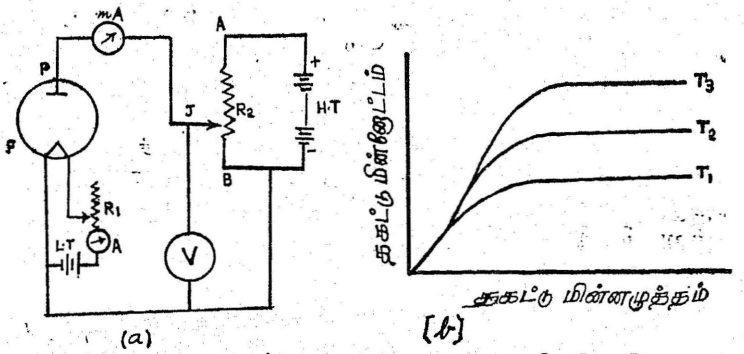
மின்னிழை டங்ஸ்டனால் ஆனது; அதை 2150°—2250°C வெப்பநிலைக்குச் சூடேற்றி, எலக்ட்ரான்களை வெளியிட வைப்பர். தோரியந்தடவிய டங்ஸ்டன் இழையை உபயோகப்படுத்தினால், 1500°—1600°C வெப்பநிலையிலேயே எலக்ட்ரான்கள் பெருமளவில் வெளிவிடப்படும். தற்காலத்தில் பெரும்பாலான வால்வுகள் 'மறைமுகமாக' (indirectly)ச் சூடேற்றப்படுபவை. அதாவது சூடேற்றப்படும் மின்னிழையே எலக்ட்ரான்களைத் தருவதில்லை; ஆனால் அதைச்சுற்றி, வெகு அருகில், ஓர் உலோகக்குழாயை வைத்து, அதன் வெளிப்புறத்தில் பேரியம் அல்லது ஸ்ட்ரான்ஷியம் ஆக்ஸைடைத் தடவியுள்ளனர். இக்குழாய் 650°C—900°C சூடேற்றப்பட்டாலே, ஆக்ஸைடு மேற்பூச்சிலிருந்து பெருவாரியான எலக்ட்ரான்கள் வெளிவிடப்படுகின்றன. இதுவே எதிர்மின்வாய் (cathode).

இவ்வெதிர்மின் வாயைச்சுற்றியுள்ள உலோகக்குழாய் 'தகடு' (Plate) அல்லது நேர்மின்வாய் (anode) எனப்படும். இது நிக்கல் அல்லது மாலிப்டெனத்தால் (Molybdenum) ஆனகுழாய். வானொலி நிலையத்தில் ஒலிபரப்புவதற்காகப் பயன்படும் தீறன் மிகுந்த வால்வுகளின் தகடு செப்புத்தகடாயும் உள்ளது. இத்தகட்டிற்கு உயர்ந்த நேர் மின்னழுத்தம் (சுமார் 150—200 வோல்டு) கொடுக்கப்படுவதால், அது எலக்ட்ரான்களை ஈர்க்கிறது. இதன் விளைவாக 'தகட்டு மின்னோட்டம்' (Plate current) எதிர்மின்வாயிலிருந்து நேர்மின் வாய்க்குச் செல்கிறது. இதன் அளவு 5 அல்லது 10 மில்லி ஆம்பியர்கள்.

டையோடின் சிறப்பியல் வளைகோடுகள் (Characteristics of a Diode)

ஒரு டையோடின் தகட்டு மின்னோட்டம் எவ்வாறு தகட்டின் மின்னழுத்தம், மின்னிழையின் வெப்பநிலை இவற்றைப் பொறுத்துள்ளது என்பதைக் காட்டும் வளைகோடுகளுக்கு டையோடின் 'சிறப்பியல் வளைகோடுகள்' எனப்பெயர். மின்னிழை குறைந்த மின்னழுத்தமுடைய (2-6 வோல்டு) பாட்டரியால் சூடேற்றப்படுகிறது. இதற்குக் குறைமின்னழுத்த (low tension; L. T.) பாட்டரி என்று பெயர். மின்னிழையின் வெப்பநிலையை, சூடேற்றும் மின்னோட்டத்தின் மூலம் கட்டுப்படுத்தலாம். தகட்டிற்கு O-விலிருந்து 300 வோல்டு வரை மின்னழுத்தம் கொடுக்க, H. T. என்னும் உயர் மின்னழுத்த (High tension) பாட்டரியும், R_h என்ற மாறு மின்தடையும் பயன்படுகின்றன. தகட்டின் மின்னழுத்தத்தை V என்ற வோல்ட் மீட்டரும், தகட்டின் மின்னோட்டத்தை

MA என்ற மில்லி அம்மீட்டரும் அளக்கின்றன. R_2-விலுள்ள J என்னும் மாறுபுள்ளியை B-கோடியில் வைத்தால் தகட்டின் மின்



படம் 103. டையோடு சிறப்பியல் வளைகோடு

னழுத்தம் பூஜ்யம் ; A கோடியில் வைத்தால் தகட்டின் மின்னழுத்தம் H. T. பாட்டரியின் மின்னழுத்தத்திற்குச் சமம்.

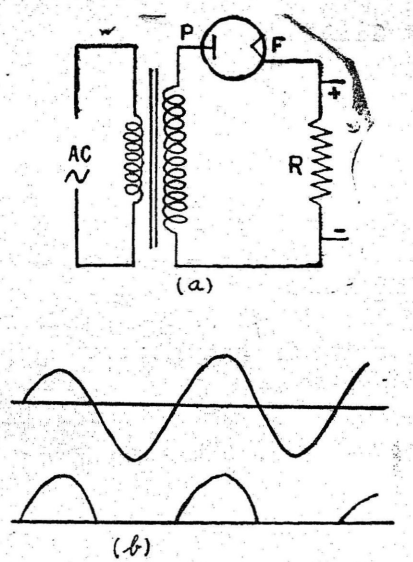
தகட்டிற்கு வெவ்வேறு நேர்மின்னழுத்தம் கொடுத்தால் தகட்டு மின்னோட்டமும் வேறுபடும். இவ்விரண்டையும் உடனுக்குடனே அளந்து, அவை வேறுபடும் விதத்தை 103 (b) காட்டிய படி வளைகோடுகளால் குறிப்பிடலாம். தகட்டின் மின்னழுத்தம் பூஜ்யமாயிருக்கையில் எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றும் அதைப்போய்ச் சேரா. ஆகையால், தகட்டு மின்னோட்டம் பூஜ்யம். மின்னழுத்தத்தை உயர்த்தினால் மின்னோட்டமும் உயர்ந்துகொண்டேபோய், ஒரு குறிப்பிட்ட உச்சநிலையை அடைகிறது. அதற்குப் பிறகு தகட்டின் மின்னழுத்தத்தை உயர்த்தினால் மின்னோட்டம் உயருவதில்லை. ஏனெனில் வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்கள் யாவும் ஈர்க்கப்பட்டு விடுகின்றன. ஆனால், மின்னிழையைச் சூடேற்றும் மின்னோட்டத்தை உயர்த்தி, அதன் வெப்பநிலையை உயர்த்தினால் (T_2), மேலும் அதிக எலக்ட்ரான்கள் வெளிவிடப்படும். தகட்டின் மின்னோட்டமும் உயர்ந்து, வேறு உச்சநிலையை அடையும் ($T_2.T_3$).

டையோடு திருத்தி (Diode Rectifier)

ஒரு டையோடு குழாயின் தகட்டிற்கு நேர்மின்னழுத்தம் கொடுப்பதால் மின்னிழையிலிருந்து வெளிவிடப்படும் எலக்ட்ரான்கள் தகட்டிற்கு ஈர்க்கப்பட்டு, மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறதென்று மேலே பார்த்தோம். தகட்டிற்கு, நேர்மின்னழுத்தத்திற்குப் பதிலாக மாறுதிசை மின்னழுத்தம் (50 சைக்கிள் 1 வினாடி

A. C. கொடுத்தால், தகட்டின் மின்னழுத்தம் நேர், எதிர் என்று மாறி மாறி வரும். அது நேர் மின்னழுத்தமாயிருக்கும்பொழுது தான் எலக்ட்ரான்கள் அதற்கு ஈர்க்கப்படும். மின்னோட்டம் ஏற்படும். தகடு எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றிருக்கையில் எலக்ட்ரான்கள் அதற்குச் செல்லா. மின்னோட்டமும் நடைபெறாது. ஆகவே, மாறுதிசை மின்னழுத்தம் கொடுத்தால், மின்னோட்டம் ஒரு திசையில்மட்டுமே ஓடும். (இது காரணமாகவே இச்சாதனத்திற்கு 'வால்வு' (Valve) என்ற பெயர் ஆரம்பத்தில் கொடுக்கப்பட்டது. காற்றுப் பம்பு, நீர்ப் பம்பு இவற்றில் 'வால்வு' என்ற சாதனம் காற்று, நீர் இவற்றை ஒரு திசையில் மட்டுமே பாயவிடும். எதிர்ப் புறத்தில் பாயவிடாது.

104ஆம் படத்தில் மாறுதிசை மின்னழுத்தம் ஒரு மின்மாற்றி (transformer) யின் வழியாக மின்னிழைக்கும் தகட்டிற்கு மிடையே கொடுக்கப்படுகிறது. இப்பாதையில் R என்ற மின்தடையுமிருப்பதால், திருத்தப்பட்ட மின்னோட்டம் இத்தடை வழியாகவும் பாய்ந்து, அதன் இரு முனைகளுக்கிடையே ஒரு திசை

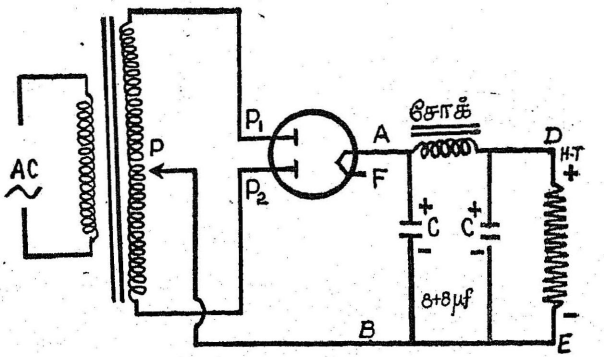


படம் 104. அரை அலைதிருத்தி

மின்னழுத்தம் உண்டுபண்ணுகிறது. எலக்ட்ரான்கள் மின்னிழையை விட்டுப்பாய்ந்து Pக்கு செல்வதால், F அருகிலிருக்கும் Rஇன் முனை நேர்முனையாகவும், மறுமுனை (Pயுடன் பிணைக்கப்பட்டிருப்பது) எதிர் முனையாகவும் செயல்படும்.

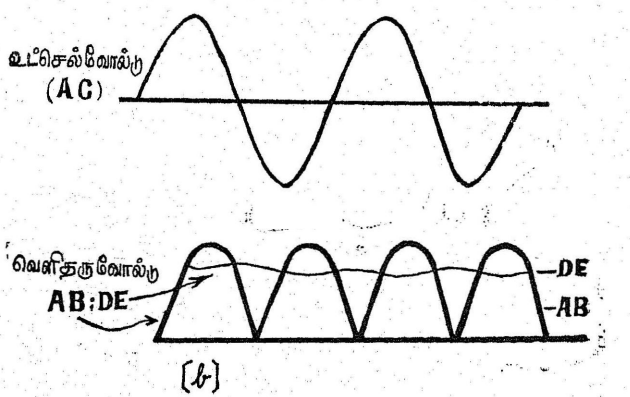
104 (b)-யில், பிரயோகிக்கப்படும் மாறுதிசை மின்னழுத்தம் எவ்வாறு திருத்தப்படுகிறது என்ற வரைபடம் உள்ளது. அலையின் ஒரு பாதியே திருத்தப்படுவதால் இவ்வால்வு மின்சுற்றுக்கு 'அரை அலைதிருத்தி' (half wave rectifier) என்று பெயர்.

முழு அலைதிருத்தி (full wave rectifier)



(a)

படம் 105. முழு அலைதிருத்தி - வடிச்சுற்றுடன்



(b)

படம் 106. மெர்குரிமின் வில்திருத்தி

இரு தகடுகள் பொருத்தப்பட்ட டையோடு வால்வைக்கொண்டு மாறுதிசை மின்னழுத்த அலையின் இருபாதிகளையும் திருத்தலாம். இவ்வால்வுக்கு 'இரட்டை டையோடு' (double diode) என்றும் இம் மின்சுற்றுக்கு 'முழு அலைதிருத்தி' (full wave rectefier) என்றும் பெயர். 105 (*a*)ம் படத்தில் AB-யிலிருந்து இடப்புறம்

இம்முழு அலைச்சுற்றைக் காண்பிக்கிறது. எதிர்மின்வாயிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் P_1-க்கோ அல்லது P_2-க்கோ பாய்ந்து, அலையின் இருபாதிகளிலும் மின்னோட்டம் செலுத்தும். மின்மாற்றியின் நடுப்புள்ளி (P) வெளிச்சுற்றுக்குச் செல்வதால், எலக்ட்ரான்கள் P-லிருந்து P_1 PB என்றோ, P^2 PB என்றோ பாயும். இது வே முழு அலைதிருத்தி. ஆனால் திருத்தமடைந்து மின்னோட்டம் ஒரே திசையில் பாய்ந்தாலும் அதன் அளவு இன்னும் ஏறியும் இறங்கியும், 'துடிப்பு' மின்னோட்டமாக உள்ளது (Pulses) · 50 சைக்கிள் AC உட் செலுத்தப்பட்டால், வெளி (output) மின்னழுத்தத்தில் விநாடிக்கு நூறு துடிப்புகள் இருக்கும். எலக்ட்ரானியல் பிரயோகங்களுக்கு இது உதவாது.

இதை நிவர்த்திசெய்ய 'வடிச்சுற்று' (filter circuit) ஒன்று சேர்க்கப்பட்ட வேண்டும். இதைப்படம் 105 (a)-யில் AB-க்கும் D. E-க்கும் இடையே காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. 105 (b) படத்தில் உட் செல்லும் அலைகளும், திருத்தப்பட்ட அலைகள் வெளிவுநிவிர்த்தியாகு முன்னும் (AB) நிவிர்த்தியான பின்னும் (DE) காட்டப்பட்டுள்ளன. வெளிவுகள் நிவிர்த்தியான பின்னும் சில குற்றலைவுகள் (ripples) இருக்கலாம். ஆனால், பெரும்பாலான பிரயோகங்களுக்கு அவைகளால் பாதகமில்லை.

இவ்வடிச்சுற்று என்பது, சோக் (choke), மின் தேக்கிகள் இவற்றாலானது, சோக் என்பது ஒரு மின்சுருள்தான். அலைகளால் ஏற்படும் மாற்றங்களைத் தடுத்து நிறுத்துவதே இதன் செயல். குறைவான அதிர்வெண்ணுடைய அலைகளைத் தடுப்பதற்கு இம் மின்சுருள் இரும்புத்தண்டுகளின் மீதுசுற்றப்பட்டிருக்கும் (iron core choke). இதற்கு செவியுணர் அதிர்வெண்சோக்' என்று பெயர். (Audio-frquency (AF) choke). மிக உயர் அதிர்வெண்ணுடைய ரேடியோ அலைகளைத் தடுப்பதற்கு மின்சுருள், மரக்கட்டை, காகிதம் இவற்றின் மீதோ, அல்லது உள்ளகம் ஒன்றுமின்றித் தனிச்சுருளாகவோ இருக்கலாம். இதற்கு 'ரேடிய அதிர்வெண் சோக்' (Radio frequency (RF) choke) என்று பெயர். உள்ளகத்தில் இரும்புத்தண்டு இருந்தால் அதைச் சில நேர்க்கோடுகளால் காண்பிப்பது வழக்கம் (படம் 105a).

மின்னழுத்த மாறுதல்களை நிறுத்தித்தடுப்பதற்கு இச்சேர்க்கைத் தொடர் சுற்றிலிட்டு, அவ்வாறு தடுபட்ட அலைவுகளுக்கு மாற்றுவாழியாக இருமின்தேக்கிகளைச் சோக்கின் இருமுனைகளிலும் இணைச்சுற்றுகப் பிணைக்க வேண்டும். இவை 'மின் பகுப்பு மின்தேக்கிகள்' (Electrolytic condensers). ஒவ்வொன்றும் 8μF

அளவுடையவை. மேலே விளக்கியபடி, மின்னிழையான து H.T. நேர் மின் துருவம்; மின் மாற்றியின் நடுப்புள்ளி எதிர் மின் துருவம். மின்தேக்கிகளின் முனைகளைத் துருவங்களுக் கேற்றவாறு பிணைக்கவேண்டும். எதிர் மின் துருவம் பெரும்பாலும் நிலத்தில் பிணைக்கப்படும்.

ரேடியோ ஏற்பி (receiver) ஒவ்வொன்றிலும், வால்வுகளுக்கு D. C. திறன் தருவதற்காக, மேலே விவரிக்கப்பட்ட 'திருத்திச் சுற்று' (Rectifier circuit) ஒன்று அமைக்கப்பட்டிருக்கும். ஒரு ரேடியோ ஏற்பிக்குத் தேவைப்படும் 10, 15 வாட்திறனை இது சுலபமாகக் கொடுக்கும். வானொலி நிலையங்களிலுள்ள ஒலிபரப்பிகளுக்குப் பல்லாயிரம் வாட்திறன் தேவைப்படும். இவ்வித 'அதி திறன் திருத்தி' (High power rectifieir) களின் தத்துவத்தைச் சுருக்கமாகப் பார்ப்போம்.

மெர்குரி மின்வில் திருத்தி (Mercury Arc Rectifier)

வெகு அதிகமான மின்னோட்டங்கள் தேவைப்படும்பொழுது, மெர்குரித் திரவத்தை எதிர்மின்வாயாக வைத்து, அதற்கும் நேர் மின் வாய்க்குமிடையே ஒரு மின்வில் உண்டு பண்ணி, எலக்ட்ரான்களை ஏராளமாய் உண்டுபண்ணலாம். மின்வில்லின் வெப்பம் மெர்குரியை ஆவியாக்கி, வில்லுத தொடர்ந்து நடத்துகிறது.

மெர்குரி ஆவி குளிர்ந்து மறுபடியும் மெர்குரியாகி, பாத்திரத்தின் திரவத்தைப் புதுப்பித்துக் கொண்டுள்ளது. பல்பினுள் ஆவியமுக்கம் குறைவாயிருக்க வேண்டுமாதலால், ஆவி உண்டாகையில் அதை விரைவில் குளிரப் பண்ணவேண்டும், இதற்கு நீரையோ, விசிறிகளையோ கொண்டு பல்பைக் குளிர வைக்கின்றனர்.

106ஆம் படத்தில் ஒரு கண்ணாடி பல்பாலான மெர்குரி மின்வில் திருத்தி காட்டப்பட்டுள்ளது. வில்லுத்துவக்க, பல்பை வலப் புறமாக சாய்த்து மறுபடியும் நேராக்கவேண்டும். முதலில் மின்வில் மெர்குரிக்கும் துணை மின்வாய் A'-க்கு மிடையே உண்டாகிறது. பிறகு பிரதம நேர் மின்வாய்கள் A_1, A_2-களுக்கிடையே மாறுதிசை மின்னழுத்தம் பிரயோகிக்கப்படுவதால், மின்னோட்டம் மெர்குரி எதிர் மின்வாயிலிருந்து எந்த மின்வாய் (A) நேர் மின்னழுத்தமாயிருக்கிறதோ அதற்குப் பாய்கிறது. ஆகவே, இது ஓர் இரட்டை டையோடு முழு அலைதிருத்திக்குச் சமமானது. பெரிய கண்ணாடி பல்பு மெர்குரி ஆவியைக் குளிரவைப்பதற்குப் பெரிதும் உதவி செய்கிறது. இதன் பக்கபுயங்களில் பிரதம

நேர்மின் வாய்கள் இரண்டும் தூரமாக வைக்கப்பட்டுள்ளன. இல்லையெனில், ஒன்று நேர் மின்னேற்றமும் மற்றது எதிர் மின்னேற்றமுமாயிருக்கையில், அவையிரண்டிற்கு மிடையே மின்வில் உண்டாகி விடலாம்.

இவ்வித சாதனத்தைக் குளிர்விப்பது கடினமாகையாலும், அதிக பருமனுள்ள கண்ணாடி உடைந்துவிட ஏதுவாகு மாகையாலும், இத்திருத்தியின் உச்ச திறன் சுமார் 250,000 வாட்டுகளாகும். இதைவிட அதிக திறன் தேவைப்பட்டால், மெர்குரியை வைப்பதற்கு எஃகுத்தொட்டிகளைப் பயன்படுத்துகிறார்கள். இவை மிக உறுதியாயிருப்பதுடன். தண்ணீரால் இயற்றை முகத்திறமையாய்க் குளிர்விக்கலாம். இவ்வித திருத்திகளைக் கொண்டு 20,000 வோல்டு மின்னழுத்தங்களில் ஒரு கோடி வாட் திறனைப் பெறலாம்.

ட்ரயோடு வால்வு (The Triode Valve)

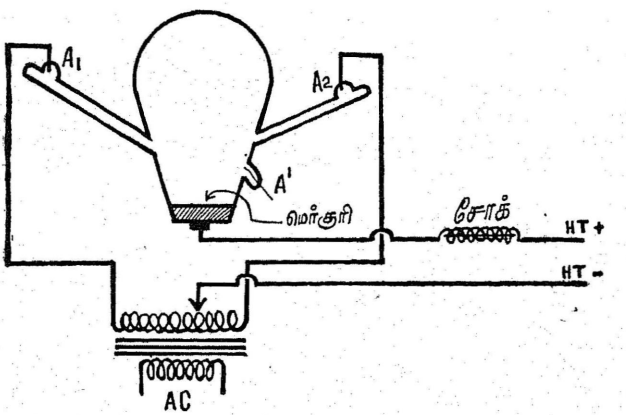
முன்னே குறிப்பிட்டவாறு, எதிர் மின்வாய்க்கும், தகட்டிற்கு மிடையே கிரிட் (grid) என்னும் மூன்றுவது மின்வாயைப் பொருத்தியதன்மூலம், வால்வின் திறமையில் அடிப்படை மாற்றங்கள் உண்டாகி, அது பல்வேறு வழிகளில் பயனுள்ளதாயிற்று. ட்ரயோடின் அமைப்பு எல்லா வழிகளிலும் டையோடு வால்வைப் போன்றதே—கண்ணாடி வெற்றிடக் குழாய், மின்னிழை, உலோகத்தகடு யாவும் முன்னே விவரித்தவாறே உள்ளன. கிரிடானது நிக்கல் அல்லது மாலிப்டெனத்தாலான ஒரு நீண்ட சுருள். இது மின்னிழைக்கு வெகு அருகில், அதைச் சுற்றிப் பொருத்தப்பட்டு சில வோல்டு எதிர் மின்னழுத்தம் தரப்பட்டுள்ளது. ஆகையால் தகட்டிற்குச் செல்லும் மின்னோட்டம் குறையும். நேர் மின்னழுத்தம் கொடுத்தால், மின்னோட்டம் அதிகரிக்கும். கிரிடுக்கு மாறு மின்னழுத்த மூட்டினால், தகட்டிற்குப் பாயும் மின்னோட்டம் கிரிடின் மின்னழுத்த மாறுதலுடன் ஒரு படித்தாக மாற்றமடையும். வானொலி நிலையத்திலிருந்து பரப்பப்படும் உயர் அதிர் வெண்ணுடைய மாறுதிசை மின்னழுத்தங்களை ஏரியல் மூலமாகக் கீழேக் கொண்டுவந்து, ரேடியோ ஏற்பியிலுள்ள ட்ரையோடின் கிரிடுக்கு ஊட்டினால், தகட்டிற்குச் செல்லும் மின்னோட்டம் திருத்தமாக அதே மாறுதல்களையடைந்து ஏற்கப்படும் அலைகளைப் பெருக்கமடையச் செய்யும்.

கிரிட் மின்னிழைக்கு வெகு அருகிலிருப்பதால் கிரிடின் மின்னழுத்தத்தில் ஒரு சிறிது மாற்றம் ஏற்பட்டால் தகட்டின் மின்னழுத்தத்தில் பெரிய மாறுதல் ஏற்படுகிறது. ஆகவே

ஏரியல் மின்னழுத்தங்களைக் கிரிடுக்குக் கொடுத்து, அதேபோன்ற ஆனுல் பெருக்கமடைந்த, மின்னழுத்தங்களைத் தகட்டின் சுற்றில் பெறலாம். இதிலிருந்து, ட்ரயோடின் சிறப்பு உடனே தெரிய வரும்.

ட்ரயோடின் சிறப்பியல் வளைகோடுகள் (Triode Characteristics)

ஒரு வால்வின் சிறப்பியல் வளைகோடு' என்பது. அவ் வால்வு குறிப்பிட்ட வெவ்வேறு நிலைகளில் எவ்வாறு செயல்படும் என்பதைப் படமாகக் காட்டும் ஒரு வளைகோடாகும். ட்ரயோடின்

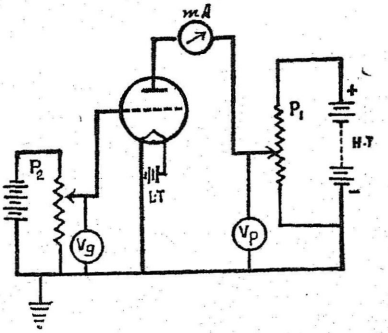


படம் 107. ட்ரயோடு மின்சுற்று

சிறப்பியல்பை இருவகை வளைகோடுகளால் காண்பிக்கலாம்; அவையாவன. (*a*) பரிமாற்றுச் சிறப்பியல் வளைகோடுகள் (Mutual characteritiscs): (*b*) தகட்டுச் சிறப்பியல் வளைகோடுகள் (Plate characteristics) இரண்டிற்கும் 107ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள மின்சுற்றே போதுமானது. தகட்டிற்கு 60, 80, 100, 120 என்ற நேர் மின்னழுத்தங்களைக் கொடுக்க H. T. என்ற உயர் மின்னழுத்த ஜனனியும், P^1 என்ற மின்னழுத்த மாற்றியும் (Potentiometer) பயன்படுகின்றன. அவ்வாறே P_2 என்ற வேறொரு மின்னழுத்த மாற்றியால் கிரிடுவின் மின்னழுத்தங்களை மாற்றலாம். இவ்வாறு மாறுவதால் ஏற்படும் மின்னோட்டங்களை அளக்க ஒரு மில்லி அம்மீட்டர் (mA) தகட்டின் சுற்றிலுள்ளது. தகடு, கிரிடு இவற்றின் மின்னழுத்தங்களை V_p, V_g என்ற இரு வோல்ட் மீட்டர்கள் அளக்கின்றன. மின்னிழைக்கு நிலையாய் 6·3 வோல்டு கொடுக்கப்படுகிறது. அதன் வெப்பநிலை ஒரே அளவாய் உள்ளது.

(a) **பரிமாற்றுச் சிறப்பியல் வளைகோடுகள்** (Mutual characteristics)

P. என்ற மின்னழுத்த மாற்றியைக் கொண்டு 60 வோல்டு நேர்மின்னழுத்தம் தகட்டிற்குத் தரப்படுகிறது. (V^P இதை அளக்



படம் 108. ட்ரயேடு பரிமாற்று சிறப்பியல் வளைகோடுகள்

கும்). இதை 60 வோல்டில் நிலையாகவைத்துக்கொண்டு, கிரிடின் மின்னழுத்தம் P_2 மின்னழுத்த மாற்றியால் மாற்றப்படுகிறது. கிரிடுக்கு-8 வோல்டு கொடுத்து, தகட்டின் மின்னோட்டம் என்ன வென்று பார்த்தால், *mA*-யில் பூஜ்யம் காட்டுகிறது. அதன் மின்னழுத்தத்தை 1 வோல்டு உயர்த்தி (−7V) மறுபடியும் MA-ஐக் கவனி. இவ்வாறே படிப்படியாய் ஒவ்வொரு வோல்டாக உயர்த்திக்கொண்டேபோய், ஒவ்வொரு தடவையும் தகட்டின் மின்னோட்டம் என்ன வென்பதை அளக்கவேண்டும். படத்தில் கண்டபடி, (−3) வோல்டில் மின்னோட்டம் ஆரம்பித்து, உயர்ந்து கொண்டேபோய், சுமார் +2 வோல்டில் உச்சநிலையை அடைந்து விடுகிறது.

அடுத்தாற்போல் தகட்டின் மின்னழுத்தத்தை +80 வோல்டாக வைத்து, மறுபடியும் கிரிடின் மின்னழுத்தத்தை (−8) வோல்டிலிருந்து படிப்படியாய் உயர்த்திக்கொண்டேபோய். ஒவ்வோர் அளவிற்கும் தகட்டின் மீன்னோட்டம் என்னவென்பதை அளக்கவேண்டும். இதையும் அதே வரைபடத்தில் காட்டினால் 108ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டது போன்ற வளைகோடுகள் கிடைக்கும். இவ்வாறே தகட்டின் மின்னழுத்தம் E^P=100V; 120V,... என்ற வெவ்வேறு வளைகோடுகளை வரையலாம். இவையாவும், குறிப்பிடப்பட்ட வெவ்வேறு நிலைகளில் இந்த ட்ரயோடு என்னென்ன தகட்டு மின்னோட்டங்களைச் செலுத்தும் என்பதைக் காட்டுகின்றன. இவைகளே இவ்வால்வின் பரிமாற்றுச் சிறப்பியல் வளைகோடுகள்.

ஒரு குறிப்பிட்ட தகட்டு மின்னழுத்தத்தில், தகட்டின் மின்னோட்டம் பூஜ்யமாவதற்குத் தேவைப்படும் கிரிட் மின்னழுத்தம் 'வெட்டு மின்னழுத்தம்' (Cut-off Voltage) எனப்படும். (உதாரணமாக, $E_p = 80$ வோல்டின் வெட்டு மின்னழுத்தம் (—4) வோல்டு.

ட்ரயோடு மாறிலிகள் (Triode Constants)

ட்ரயோடு வால்வுக்கு மூன்று முக்கியமான மாறிலிகள் உள்ளன. அவை யாவன: (1) பெருக்கு எண் (amplification factor) (2) தகட்டு மின்தடை (Plate resistance); (3) பரிமாற்று கடத்துதிறன் (mutual conductance).

(1) **பெருக்கு எண்**: (amplifIcation factor) (μ) என்பது, தகட்டு மின்னோட்டம் மாறுமலிருக்கையில், தகட்டு மின்னழுத்த மாற்றத்திற்கும் அதற்கு ஒத்த கிரிடு மின்னழுத்த மாற்றத்திற்கு முள்ள தகவு.

அதாவது, $\mu = -\frac{dE_p}{dE_g}$ I_p மாறிலி; ... (1)

108ஆம் படத்தில், AB என்ற கிடையான (horizontal) கோட்டில் தகட்டு மின்னோட்டம் மாறுமல் 3 மில்லி ஆம்பியராக இருக்கின்றது. A யிலிருந்து B-க்குப் போவதில், நாம் 20 வோல்டு தகட்டு மின்னழுத்த வேறுபாட்டிலிருந்து 100 வோல்டு தகட்டு மின்னழுத்த வேறுகோட்டிற்குச் செல்கிறோம். இவ்வாறு தகட்டு மின்னழுத்தம் குறைந்தால், சாதாரணமாக தகட்டு மின்னோட்டமும் குறையும். ஆனால், AB கோட்டில் தகட்டு மின்னோட்டம் மாறுமல் 3 மில்லி ஆம்பியராக இருப்பதற்குக் காரணம் கிரிடு மின்னழுத்தம் —3 வோல்டிலிருந்து —2 வோல்டாக உயர்ந்திருப்பதுதான். ஆகவே தகட்டு மின்னழுத்தத்தில் 20 வோல்டு குறைவது, கிரிடு மின்னழுத்தத்தில் ஒரு வோல்டு உயர்வதற்குச் சமமாகும். ஆகவே பெருக்க எண்

$$\mu = -\frac{-20}{1} = 20.$$

μ-யின் (1)ஆம் சமன்பாட்டில் கழித்தல் குறியிட்டிருப்பதன் காரணம் இப்பொழுது விளங்கும். மின்னோட்டம் மாறுமலிருக்க வேண்டுமானால், கிரிடு, தகட்டு மின்னழுத்தங்கள் எதிர்த் திசைகளில் மாற்றமடைய வேண்டும். ஒன்று குறைந்தால் மற்றது உயரும்.

(2) ஒரு ட்ரயோடின் **தகட்டு மின்தடை** (R_p) என்பது, கிரிடு மின்னழுத்தம் மாறுமலிருக்கையில், தகட்டு மின்னழுத்த உயர்வுக்கும், அதனால் ஏற்படும் தகட்டு மின்னோட்ட உயர்வுக்கும் உள்ள தகவு.

அதாவது, $R_p = \frac{dE_p}{dI_p}$ E_g மாறிலி ... ... (2)

108ஆம் படத்தில் BC என்ற செங்குத்துக் கோட்டில் கிரிடு மின்னழுத்தம் மாறுமல் (— 2) வோல்டில் இருக்கிறது. B-யிலிருந்து C-க்குப் போகையில், தகட்டு மின்னழுத்தம் 20 வோல்டு உயருகிறது. (100 வோல்டிலிருந்து 120 வோல்டாக உயருகிறது). அதே சமயத்தில் தகட்டு மின்னோட்டம் 3 மில்லி ஆம்பியரிலிருந்து (*ma*) 4·2 *ma* ஆக உயருகிறது. ஆகவே,

$$\text{தகட்டு மின்தடை } R_p = \frac{20}{1{\cdot}2 \times 10^{-3}} = 16{,}700 \text{ ஓம்கள்}$$

108ஆம் படத்தின் *y* அச்சில் தகட்டு மின்னோட்டம் மில்லி ஆம்பியரில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. R_p-யின் சமன்பாட்டில் இது முதலில் ஆம்பியராக மாற்றப்படல் வேண்டும்.

(3) ஒரு ட்ரயோடு வால்வின் **பரிமாற்று மின்கடத்து திறன்** (mutual conductance) (*gm*) எனபது, தகட்டு மின்னழுத்தம் மாறுமலிருக்கையில், தகட்டு மின்னோட்ட மாற்றத்திற்கும் அதை உண்டுபண்ணும் கிரிடு மின்னழுத்தத்திற்குமுள்ள தகவு.

அதாவது, $gm = \frac{dI_p}{dE_g}$, E_p மாறிலி ... ... (3)

108ஆம் படத்தில், AC வளைகோட்டில் தகட்டு மின்னழுத்தம் 120 வோல்டாக மாறுமல் நிற்கிறது. கிரிடு மின்னழுத்தம் A-யிலிருந்து B-க்கு உயருவதாலேயே தகட்டு மின்னோட்டம் A-யிலிருலிருந்து C-க்கு உயருகிறது. ஆகவே, பரிமாற்று மின் கடத்து திறன் $gm = \frac{4{\cdot}2 - 3}{-1 - 2} = 1{\cdot}2$ *ma*/வோல்டு

gm-ஐ அளப்பதன் அலகு மில்லி ஆம்பியர்/வோல்டு. மின்தடையை (வோல்டு/ஆம்பியர்) 'ஓம்' (ohm) ஆல் அளப்பதால், அதன் தலைகீழ்ப் பின்னமாகிய (ஆம்பியர்/வோல்டு) 'மோ' (mho) என்றழைக்கப்படுகிறது. ஆகவே, (மில்லி ஆம்பியர்/வோல்டு) 'மில்லிமோ' என்று அழைக்கப்படுகிறது. மேற்கண்ட *gm* = 1·2 மில்லிமோ. வளைகோட்டின் டாஞ்செண்டே (tangent) *gm* என்று படத்திலிருந்து தெரியவருகிறது.

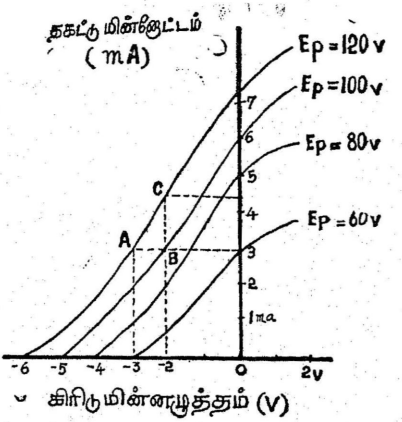
(1), (2), (3)ஆம் சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$gm \times R_p = \frac{dI_p}{dE_g} \times \frac{dE_p}{dI_p} \times \frac{dE_p}{dE_g} = \mu \quad \ldots \ldots (4)$$

ட்ரயோடின் பெருக்க எண் = தகட்டு மின்தடை × பரிமாற்று கடத்து திறன்.

(*b*) **தகட்டுச் சிறப்பியல் வளைகோடுகள்:** இவை கிரிடு மின்னழுத்தம் நிலையாயிருக்கையில், தகட்டு மின்னழுத்தம், அதன் மின்னோட்டம் இவற்றிற்கிடையே உள்ள சம்பந்தத்தைத் தருகின்றன. 107ஆம் படத்தின் மின்சுற்றையே கொண்டு இதற்கு வேண்டிய புள்ளிவிவரங்களைக் கண்டுபிடிக்கலாம். கிரிடு மின்னழுத்தத்தைப் படிப்படியாய் உயர்த்தி, அதற்கேற்ற தகட்டு மின்னோட்டத்தை அளக்கவேண்டும்.

109ஆம் படத்தில் இவ் வளைகோடுகள் தரப்பட்டுள்ளன



படம் 109. **தகட்டுச் சிறப்பியல் வளைகோடு**

இவைகளைக் கொண்டும் வால்வில் மாறிலிகளைக் கணிக்கலாம்.

தைரட்ரான் வால்வு (The Thyratron Valve)

இதன் அமைப்பு ஒருட்ரயோடு போன்றதே; ஆனால், உட்பாகம் வெற்றிடமாயின்றி வாயுவை உடையதாயிருக்கும். ஆகையால், இதற்கு 'வாயு நிறைந்த ட்ரயோடு' (Gas filled triode) என்றும் பெயருண்டு. இவ்வாறு இவ் வால்வில் வாயுவுள்ளதால் அதன் பண்பு சில வழிகளில் வெகு வித்தியாசமாய் உள்ளது.

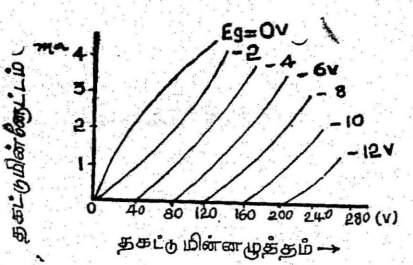
ஆரம்பத்தில் கிரிடுக்கு அதிகமான எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுத்திருந்தால், தகட்டு மின்னோட்டம் ஒன்றுமிராது. இப்பொழுது கொஞ்சங்கொஞ்சமாய் கிரிடின் எதிர் மின்னேற்றத்தைக் குறைத்துக்கொண்டே வந்தால், வாயு இல்லாத வால்வில் தகட்டு மின்னோட்டம் எங்கு துவங்குமோ அந்த அளவு வந்ததும், தகட்டு மின்னோட்டம் பூஜ்யத்திலிருந்து திடீரென்று உச்ச அளவுக்குக்

குதித்துவிடுகிறது. இவ்வாறு மின்னோட்டம் ஆரம்பித்த பிறகு கிரிடுக்கு அதன்மேல் ஒரு கட்டுப்பாடுமில்லை. வெட்டு மின்னழுத்தத்திற்கு அதிகமான எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுத்தாலும் தகட்டு மின்னோட்டத்தில் ஒரு மாறுதலும் ஏற்படாது. மின்னோட்டத்தை நிறுத்த வேண்டுமானால், தகட்டு மின்னழுத்ததை வால்விலுள்ள வாயுவின் அயனித்தல் மின்னழுத்தத்திற்குக் கீழே குறைக்கவேண்டும்.

இதன் காரணமென்ன வென்றால், தகட்டு மின்னோட்டம் ஆரம்பித்தவுடனே, பாய்ந்து செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் வாயு அணுக்களுடன் மோதி, ஏராளமான அயனிகளை உண்டுபண்ணுகின்றன. அயனிகள் எதிர் மின்னூட்டமுடைய கிரிடை நோக்கிப் செல்கையில் அவைகளும் மோதலுண்டு, மேலும் அதிக அயனிகளை உண்டுபண்ணி, இவ்வாறு அயனி ஓட்டம் திடீரென்று பெருகிவிடுகிறது. நேர் மின் அயனிகள் கிரிடைச் சூழ்ந்து, அதன் எதிர் மின்னூட்டத்தைப் பூஜ்யமாக்கிவிடுவதால், கிரிடுக்கு மின்னோட்டதைக் கட்டுப்படுத்தும் திறன் இல்லாமற் போய்விடுகிறது.

இவ்விளைவைப் பயன்படுத்தி, தைரட்ரானை ஸ்விட்சாக உபயோகப்படுத்துவது சர்வசாதாரணமாகி விட்டது. வெகு சிறிய மின்னழுத்தத்தைக் கொண்டு கிரிடு மின்னோட்டத்தைக் துவக்கக் கூடும்; இவ்வாறு துவக்கப்பட்ட மின் சுற்றின் ஆற்றல் பல கிலோவாட்டுகளாக இருக்கலாம்.

தைரட்ரான் வால்வினுள் மெர்குரி ஆவி, ஹைட்ரஜன், ஆர்கரன் முதலிய வாயுக்கள் இருக்கலாம். ஹைட்ரஜன் வாயுவின் அயனிகள் வெகு விரைவில் மின்வாய்களுக்குப் பாய்ந்து சென்று



படம் 110. இரமபப் பல் தைரடரான் சுற்று

விடுவதால் அதிவேக இயக்கங்களில் ஹைட்ரஜன் தைரட்ரான் வெகுவாக உபயோகிக்கப்படுகிறது:

4ஆம் அத்தியாயத்தில் எதிர்மின் கதிர்க்குழாய்க்கு 'இரம்பப் பல் மின்னழுத்தம்' தேவைப்படுமென்றும், அதை உண்டு பண்ணும் எளியமுறையொன்றும் விளக்கப்பட்டது. ஆனால், உண்மையில் இவ்வித மின்னழுத்தங்களைத் தைரட்ரான்களைக் கொண்டே பெறுகின்றனர். இத் தைரட்ரான் சுற்று 110 (a) யில் தரப்பட்டுள்ளது.

Eb என்றநேர் மின்னழுத்தம், R என்ற மின்தடை, C என்ற மின்தேக்கி இவற்றின் தொடர் சுற்றில் இடப்பட்டுள்ளது. ஓர் தைரட்ரான் வால்வு (*v*) மின்தேக்கியின் குறுக்கே பிணைக்கப்பட்டு, E_g என்ற மின்னழுத்தத்தில் அயனிக்குமாறு கிரிடு நிலை மின்னழுத்தம் (G.B.) தரப்பட்டுள்ளது.

Ebநேர்மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டவுடன், C-யின் குறுக்கேயுள்ள மின்னழுத்தம் 'வளர ஆரம்பித்து, *abc* என்ற கோட்டில் உயருகிறது. ஆனால், மின்னழுத்தம் E_g என்ற அளவை (110b) படத்தில் C என்ற புள்ளியை) அடைந்ததும், தைரட்ரான் அயனித்து, மின்னோட்டம் செலுத்தி, C மின்தேக்கியில் தீடீரென்று மின்னிறக்கம் உண்டுபண்ணுகிறது. (படத்தில் cd). C-யின் மின்னழுத்தம் E_g-க்கு வீழ்ந்தவுடன், அயனித்தல் நின்றுபோய், வால்வுமறுபடியும் கடத்தாநிலையை அடைந்து விடுகிறது; C-யின் மின்னழுத்தம் உயர ஆரம்பிக்கிறது. ஆகவே, இரம்பப்பல் போன்ற மின்னழுத்தம் உண்டுபண்ணப்படுகிறது;

அத்தியாயம் 21

வினாக்கள்

1. ஒரு ட்ரயோடின் அமைப்பை விவரி, பெருக்கு எண், தகட்டு மின்தடை, பரிமாற்றுமின் கடத்துதிறன் என்பவை யாவை? அவற்றிற்குள்ள சம்பந்தம் என்ன? அவற்றை எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கலாம்?

2. முழு அலை திருத்தி என்பது என்ன? வடிச்சுற்றுடன் கூடிய ஒரு முழு அலைதிருத்தியைப் படத்துடன் விளக்கு.

3. ட்ரயோடின் சிறப்பியல் வளைகோடுகளைச் சோதனை மூலம் பெறுவதெங்ஙனம்? அவற்றிலிருந்து ட்ரயோடு மாறிலிகளை எவ்வாறு கணிக்கலாம்?

4. மெர்குரி மின்வில்திருத்தி, தைரட்ரான் வால்வு இவற்றைக் குறித்துக் குறிப்பு எழுது.

22. வால்வு பெருக்கி, அலைப் பண்பிறக்கி, அலை இயற்றி

(Valve—Amplifier, detecter and oscillator)

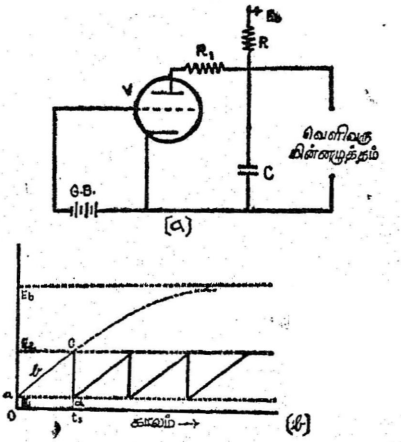
முன்னே குறிப்பிட்டபடி, தற்காலத்திய விஞ்ஞானக்கண்டு பிடிப்புகளுள் வெற்றிடக் குழாய் மிக முக்கியமானதொன்று. இது பிரயோகிக்கப்படாத துறையே இல்லையெனலாம். நாம் இதன் சில பிரயோகங்களையும் அவற்றின் தத்துவங்களையும் சுருக்கமாகக் காண்போம்.

(a) ட்ரையோடு பெருக்கி (The triode amplifier)

முந்திய அத்தியாயத்தில் பெருக்க எண்ணை விளக்கியதிலிருந்து கிரிடு மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் அதேபோன்ற, அளவில், பெருக்கமடைந்த தகட்டு மின்னழுத்தங்களை உண்டுபண்ணுகின்றன. என்று அறிவோம். இத்தத்துவத்தைக்கொண்டு, வானொலி நிலையத்திலிருந்து வந்துசேரும் மிக ஆற்றல் குன்றிய மின் அழுத்தங்களை, கிரிடு, எதிர்மின்வாய் இவற்றிற்கிடையே இட்டு அவற்றை வெகுவாகப் பெருக்கலாம்.

படம் 111 (a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ட்ரயோடு மின்சுற்று, வால்வின் பிரயோகத்தில் அடிக்கடி வருமாதலால் அதனை நன்கு கவனித்தல் அவசியம். எல்லா மின்னழுத்தங்களும், நிலத்திலிடப்பட்டு பூஜ்ய மின்னழுத்தத்திலுள்ள எதிர்மின் வாய் (அல்லது மின்னிழை)-க்கு ஒப்பிட்டு அளக்கப்படுகின்றன. கிரிடுக்கு ஆரம்பத்தில் (—2) வோல்டு நிலையான மின்னழுத்தம் தரப்படுகின்றது. இதற்கு 'கிரிடு நிலை மின்னழுத்தம் (Grid Bias G.B)' என்று பெயர். 111 (b)யில் காட்டப்பட்டபடி, கிரிடு (—2) வோல்டு பெற்றால், அதன் சிறப்பியல் வளைகோட்டில் P என்ற புள்ளியில் வால்வு வந்து நிற்கும். இதற்குச் 'செயல்படு புள்ளி' (Working point) என்று பெயர். அதில் 2·6 *ma* நிலையான தகட்டு மின்னோட்டம் ஓடிக்கொண்டிருக்கும் (*OQ*). தகட்டிற்கும் HT என்ற உயர் மின்

ழுத்த பாட்டரிக்குமிடையே 'வெளிதருமின்தடை' (out put rasistance) பிணைக்கப்பட்டுள்ளது (RL) இதன் அளவு 10,000



படம். 111 ட்ரயோடுபெருக்கி

ஓம்கள். (இதை n என்ற எழுத்திலும் குறிப்பதுண்டு. '10K' என்றால் 10 கிலோ ஓம்=10,000 ஓம் என்று பொருள்). ஆகையால் இம் மின்தடையின் முனைகளிடையே $2{\cdot}6 = 10^{-3} = 10{,}000 = 26$ வோல்டு மின்னழுத்தமுண்டு. பாட்டரியின் மின்னழுத்தம் 200 வோட்டு. ஆகையால், $200 - 26 = +174$ வோல்டு தகட்டிற்குத் தரப்பட்டுள்ளது.

இப்பொழுது ஏரியலிலிருந்துவரும் மின்னழுத்த பேதங்கள் கிரிடுக்குத் தரப்படுகின்றன: [உள்தருவோல்டு. 'படம்110 (a)]. இதனால் கிரிடின் மின்னழுத்தம் A-யிலிருந்து [படம். 110 (b)] B-க்கும், B-யிலிருந்து C-க்கும், C-யிலிருந்து B-க்குமாக மாற்றமடைகிறது [இதை 110(b)-ல் 'உள்தருவோல்டு' என்ற அலைவடிவமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது] இதைக் கணத்திற்குக் கணம் பின்பற்றி தகட்டு மின்னோட்டமும் மாற்றமடைகிறது. இதை 'வெளிதரு மின்னோட்டம்' என்று அலைவடிவில் 110 (b)-யில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இம் மாறு மின்னோட்டம் வெளிதரு முன் தடையினூடே பாய்வதால். அத் தடையின் இருமுனைகளுக்கிடையே மின்னழுத்த மாறுதல்கள் ஏற்படுகின்றன. இவையே 'வெளிவரு' வோல்டுகள்.

110(b) படத்தில், கிரிடு மின்னழுத்தம் (—3) லிருந்து (—1) வோல்டுக்கு, உள்தரு மின்னழுதத்தால் மாற்றப்படுகிறது: இது காரணமாகத் தகட்டின் மின்னோட்டம் 1·2ma-யிலிருந்து

4M·ஹ-க்கு மாற்றமடைகிறது. மின்னோட்டம் 1·2ma–ஆயிருக்கையில். RL மின் தடையின் மின்னழுத்தம் $1.2 \cdot 10^{-3} = 10000 = 12$ வோல்டு. ஆகையால் தகட்டின் மின்னழுத்தம் 200—12=188 வோல்டு. தகட்டு மின்னோட்டம் 4.m·ஏ. ஆக உயருகையில், தகட்டின் மின்னழுத்தம் 200—40 = 160 வோல்டாகக் குறைகிறது. இதிலிருந்து இரு உண்மைகள் வெளியாகின்றன: (1) கிரிடு வோல்டு உயருகையில் தகட்டு வோல்டு குறைகிறது: கிரிடு வோல்டு குறைகையில் தகட்டின்வோல்டு உயருகிறது. (2) கிரிடு மின்னழுத்தத்தில் ஒரு வோல்டு மாறுதல் ஏற்பட்டால் தகட்டின் மின்னழுத்தத்தில் 28 வோல்டு மாற்றம் ஏற்படுகிறது. ஆகவே இச் சாதனத்தில் 28 வோல்டு பெருக்கம் ஏற்படுகிறது. (RL மின் தடையிலும் இதை 40—13 = 28 வோல்டு மின்னழுத்த மாற்றம் ஏற்படுகிறது.)

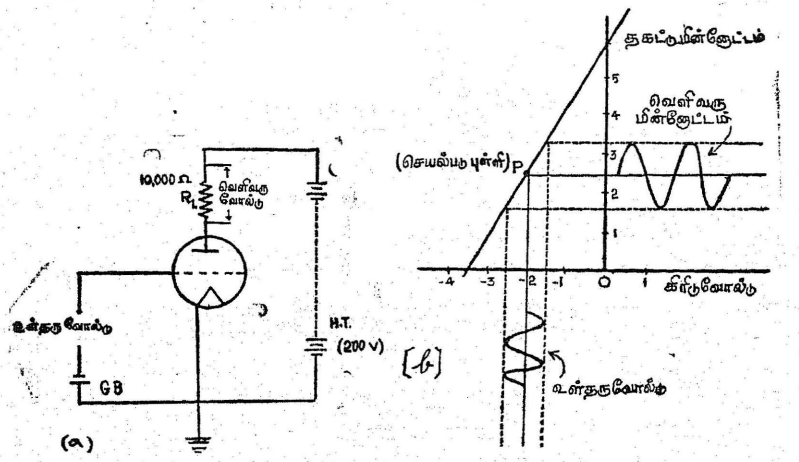
இப்படிப் பெருக்கமடைந்த வோல்டு மாற்றங்களை இதே போன்ற இன்னொருவால்வுக்கு உள்தரு வோல்டாகக்கொடுத்தால், இச் செயல்பாடு மறுபடியும் நடந்து, உள்தரப்பட்ட வோல்டுமறுபடியும் 28 முறை பெருக்கம் அடைகிறது. ஆகவே, முதலாம் வால்வுக்குத் தரப்பட் 1 வோல்டு இரு பெருக்கங்களுக்கப்புறம் $28 \times 28 = 784$ வோல்டுகளாக வெளிவரும். சாதாரணமாக, ஏரியலில் நமக்குக்கிடைக்கும் மின்னழுத்த மாற்றங்கள் 0·1 வோல்டாகவோ அதற்குக் குறைவாகவோ தானிருக்கும். ஆகையால் இரண்டு மூன்று பெருக்கங்களுக்குப் பிறகே ஒலி பெருக்கியுள் செலுத்தவேண்டும்.

இரண்டு அல்லது மூன்று கட்ட (Stages)ப் பெருக்கிகள் இருந்தால், அவற்றை ஒன்றோடொன்று பிணைப்பதற்குப் பல வழிகள் உள்ளன. அவற்றில் முக்கியமானவை இரண்டு. அவையாவன: (1) 'மின்தடை—மின்தேக்கி' தொகுப்பு (resistance capacity or 'R—C' coupling): (2) 'முன்மாற்றி' தொகுப்பு (Transformer coupling).

(1) மின்தடை—மின் தேக்கித் தொகுப்பு (R-*C* coupling)

112ஆம் படத்தில் R–C தொகுப்புமுறை காட்டப்பட்டுள்ளது. முன்போலவே உள்தரு மின்னழுத்த மாற்றங்கள் V_1 என்ற முதலாம் வால்வின் கிரிடுக்கும் எதிர் மின்வாய்க்கு மிடையே தரப்படுகிறது. இவ் வால்வின் கிரிடு நெருக்கத்திற்கு ஏற்ற நிலை மின்னழுத்தம் (GB) தரப்பட்டிருப்பதால். உள் தருவோல்டுகளைப் பெருக்கி, தகட்டு வெளிதருமின் தடையின் (R_1) மின்னழுத்த வேறு பாடாகத்தருகிறது. ஆகவே, R_1-ன் இருமுனைகளை

இரண்டாம் வால்வின் (V_2) கிரிடு, மின்னிழைக்கிடையே பிணைத்து, அதன் வெளிவரு வோல்டுகளை இரண்டாம் வால்வின்



படம் 112. *R. C.* தொகுப்புப் பெருக்கி

உள்தரு வோல்டாகத் தரவேண்டும். ஆகவே P_1 என்ற ஒருமுனை G_2 என்ற இரண்டாம் வால்வின் கிரிடுகளும், Q என்ற மறுமுனை H. T. வழியாக, இரண்டாம் வால்வின்மின்னிழைக்கும் பிணைக்கப் படுகின்றன. H. T. யின் உள் மின்தடை (Interna resistance) பூஜ்யமாகையால், அதனூடே செல்வதால், மின்னழுத்தம் எதுவும் இழக்கப்படுவதில்லை.

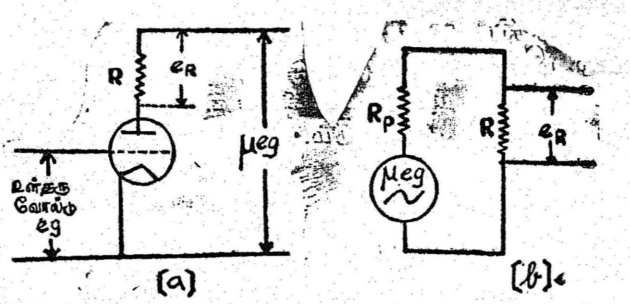
ஆனால், P_1 என்பது உயர் மின்னழுத்தப்புள்ளி, அதை நேரடியாக G_2-க்குப் பிணைத்தால், இரண்டாம் கிரிடுக்கு 100, 120 Vdt நிலை மின்னழுத்தம் (G. B.) ஏற்பட்டுவிடும். ஆகவே, இப்பாதையில் C_1 என்ற மின்தேக்கியை வைத்து, D. C. மின்னழுத்தத்தை தடுத்து விடவேண்டும். இது காரணமாக C_1-க்கு 'தடை மின்தேக்கி' (Blocking condenses) என்று பெயர். R_1-ஆம் C_1ஆம் சேர்ந்த தொகுப்பிற்கு 'RC தொகுப்பு' என்று பெயர்.

ஆனால் C^1-ஐ கிரிடுபாதையில் வைப்பதால்வேறொரு தொல்லை நேரிடுகிறது. முதலாம் வால்விலிருந்து பெருக்கமடைந்த உயர் அதிர் வெண்ணுடைய மாறு மின்னழுத்தங்கள் C^1 வழியாக G_2-க்குத்தரப்படுவதால், ஒவ்வொரு நேர் மின் பாதி சைக்கிளிலும் அதிக எலக்ட்ரான்கள் G_2 வழியாகப்பாய்ந்து செல்கையில், அவற்றில் பல கிரிடுமீது தங்கிவிடுகின்றன. இவ்வாறு ஒவ்வொரு நேர் மின்பாதிசைக்கிளிலும் எலக்ட்ரான்கள் மேலும் மேலும் கிரிடுமீது

படிவதால் கிரிடுவின் மின்னழுத்தம் மேலும் மேலும் எதிராகி, கடைசியில் அதன் வெட்டு மின்னழுத்தத்திற்குக் கீழாகப்போய், இரண்டாம் வால்வு செயலற்றுப்போகிறது. இதைத்தடுக்க, Rg என்ற ஒரு உயர் மின்தடை G_2-க்கும் நிலத்திற்குமிடையே வைக்கப்படுகிறது. G_2 மீது படியும் எலக்ட்ரான்கள் Rg வழியாக நிலத்திற்குக்கசிந்து விடுவதால், Rg 'கிரிடுகசிவு மின்தடை' (Grid leak resitance) எனப்படுகிறது. இதன் வழியாக V^1-விருந்து வரும் அலைவுமின்னழுத்தங்களும் நிலத்திற்குப்போய் விடாதபடி இதன் அளவுகள் அதிகமாயிருக்க வேண்டும். சாதாரணமாக இது 1 அல்லது 2 மெகோம் (Megohm = million ohms) ஆக இருக்கும்.

அவ்வாறே R_g, C_g என்பன இரண்டாவது வால்வுக்கும் அடுத்த கட்டத்திற்கு மிடையே உள்ள R-c தொகுப்பு. Rc-தொகுப்பே யாவற்றிலும் எளியதும் மலிவுமான தொகுப்பு; ஆதலால் அதை வெகுவாகப் பயன்படுத்துகின்றனர். ஆனால், இதன் ஒருமுக்கிய குறை என்னவென்றால், இதன் பெருக்க அளவு μ என்ற வால்வு பெருக்க எண்ணின் ஒரு பகுதியே ஆகும். இது வால்வு பெருக்கத்தின் ஒரு முக்கிய அம்சமாகையால் இதைச் சற்று விவரமாகப் பார்ப்போம்.

ஒரு ட்ரையோடை எடுத்துக்கொண்டோமானால், அதற்கு Rp என்ற உள்மின்தடையுள்ளது; e_g என்ற மாறு மின்னழுத்தங்களை அதனுள் இட்டால், (μe_g) என்று பெருக்கித் தருகிறது. இவ்வோல்டுகள் அதன் உள்மின்தடை Rp, வெளிதருமின்தடை R, இவற்றிற்கிடையே தரப்படுகிறது. (படம் 113b) இந்த மொத்தப் பெருக்கமடைந்த μe_g வோல்டு



படம் 113. ட்ரயோடின் இணை மாற்றுச் சுற்று

களில், அடுத்த கட்டத்திற்குச் செலுத்துவதற்காகக் கிடைப்பது வெளிவருமின்தடை (R)யின் இருமுனைகளில் கிடைக்கும் ஒரு பகுதியே, ஆகவே, R-இன் முனைகளில் கிடைக்கும் மின்னழுத்தம்

$$e_R = \mu e_g \cdot \frac{R}{R+R_p} \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

வெளிவருவோல்டுக்கும் (e_R) உள்தரு வோல்டுக்கும் (e_g) உள்ள தகவுக்கு 'வோல்டு பெருக்க எண்' (Voltage amplification facton : V. A. F.) என்று பெயர்.

$$\text{V. A. F.} = \frac{e_R}{e_g} = \frac{\mu R}{R+R_p} \quad \ldots \quad (2)$$

ஒரு வால்வின் பெருக்க எண் (μ) 20 என்றும், அதன் தகட்டு மின்தடை (R_p) 6000 ஓம்களும்' வெளிவருமின்தடை 9000 ஓம் களும் என்ருல், வோல்டு பெருக்க எண் $= 20 \times \frac{9000}{9000+6000} = 12.$

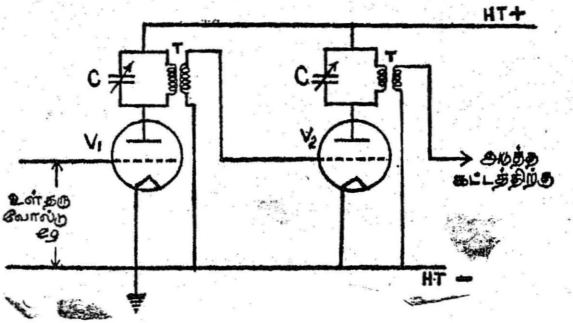
அதிக அளவான வெளிவருமின் தடையை உபயோகித்தால், இன்னும் அதிகமான VAF ஐப் பெறலாம். உதாரணமாக, R= 24000 ஓ என்று இட்டால், $\text{VAF} = 20 \times \frac{24000}{2400+6000} = 16.$

ஆனல் வெளிமின் தடையை உயர்த்தினுல், தகட்டிற்குக் கிடைக் கும் உயர்மின்னழுத்தம் குறை யும். உதாரணமாக 111 (b) படத் தில் கண்டதுபோல் 2·6 m. a. சுற்று வழியாகப் பாய்வதால், வெளிமின்தடையின் மின்னழுத்தம் $9000 \times 2{\cdot}6 \times 10^{-3} = 23{\cdot}4$ வோல்டுகள். H. T. பாட்டரி 50 வோல்டு என்ருல் தகட்டிற்கு 150—23·4 = 126·6 வோல்டுகள் கிடைக்கும். ஆனல் வெளி மின் தடையை 24000 ஓ ஆக உயர்த்தினுல் அதில் குறையும் மின்ன ழுத்தம் $24000 \times 2{\cdot}6 \times 10^{-3} = 66{\cdot}4$ வோல்டு. தகட்டிற்கு 87·6 வோல்டு தான் கிடைக்கும். இது வால்வு இயக்கத்திற்குப் போதாது. சாதாரணமாக, வெளி மின்தடை தகட்டைப்போல் இரண்டு அல்லது மூன்று மடங்குகளுக்கு மேலிராது.

(2) மின்மாற்றித் தொகுப்பு (Transformer coupling)

இதை 114ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. உள்தரு மின்னழுத்தம் முன்போலவே கிரிடு, மின்னிழை இவற்றிடையே தரப்படுகிறது. தகட்டு மின்சுற்றல் T, மின் மாற்றியின் முதன் மைச் சுருளும் (Primary) அதன் குறுக்கே B, என்ற மாறு மின் தேக்கியும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. C இன் அளவை மாற்றி, L-C சுற்றின் அதிர் வெண் உள்தரு வோல்டு ஜெயின் அதிர் வெண் ணுக்குச் சமமாகச் செய்தால், தகட்டுச் சுற்றின் மின் எதிர்ப்பு மிக அதிகமாய்விடுகிறது. (படம் 101). இதுவே தகட்டுச் சுற்றின் வெளிவரு மின்தடை. ஆகவே இம முதன்மைச் சுருளின் குறுக்கே உண்டாகும் மின்னழுத்த மாற்றங்கள் மின் மாற்றியின் துணைச்

சுருளுக்குத் தரப்பட்டு, இரண்டாம் வால்வின் கிரிடு மின்னிழைக் கிடையே கொடுக்கப்படுகிறது.



படம் 114 மின்மாற்றித் தொகுப்பு

இம் மின் மாற்றத் தொகுப்பில் பல அனுகூலங்கள் உள்ளன. இரண்டாவது கிரிடுக்கும் முதலாம் தகட்டின் சுற்றுக்கும் எந்தவிதமான நேர்த்தொடர்பும் இல்லையாகையால், தடை மின் தேக்கி தேவையில்லை. அத்துடன் கிரிடு கசிவு மின்தடையும் (Rg) அவசியமில்லை. தகட்டுச் சுற்றில் மிக அதிகமான மின் எதிர்ப்புள்ளதால், அதன் VAF வால்வின் பெருக்க எண்ணுக்கு மிக அருகிலுள்ளது. அதே சமயத்தில் மின்மாற்றிச் சுருளின் நேர்மின்னழுத்தத்தடை மிகக் குறைவாகையால், அச்சுருளின் குறுக்கேயுள்ள நேர் மின்னழுத்தம் மிகக் குறைவு. ஆகவே HT பாட்டரி மிக அதிக மின்னழுத்தமுள்ளதாயிருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை.

ரேடியோ அதிர்வெண் பெருக்கி (Radio frequency (R. F.) amplifier)

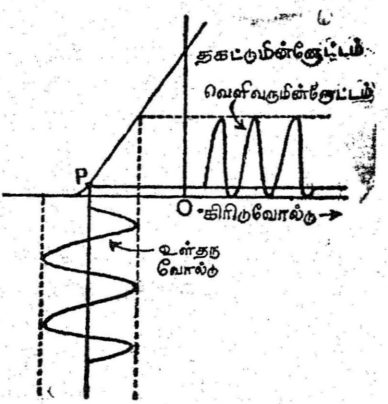
ட்ரயோடு வால்வானது ரேடியோ ஏற்பியல் வெகுவாகப் பயன்படுகிறதெனினும், ரேடியோ அதிர்வெண் மின்னழுத்தங்களைப் பெருக்குவதற்கு அதில் ஒரு பெருங்குறையுண்டு. அதன் கிரிடும் தகடும் வெகு அருகில் அதிக மின்னழுத்த பேதத்தில் இருப்பதால், அவை ஒரு மின்தேக்கிக்குச் சமமாகின்றன. நாம் முன்னே பார்த்தபடி மின் தேக்கியானது உயர் அதிர் வெண்ணுடைய மின்னோட்டங்களுக்கு வெகு சிறிது மின் மறுப்பேதரும்; $\left(\frac{1}{\omega c}\right)$. ஆகவே, ஒரு ட்ரயோடு வால்வில் பெருக்கமடைந்த ரேடியோ அதிர் வெண் மின்னழுத்தங்கள் இத்தகடு-கிரிடு மின் தேக்கியின் வழியாகத் திரும்ப கிரிடு சுற்றுக்கே ஊட்டப் பெறுகின்றன. உள்தரு மின்னழுத்தங்களும், வெளிவரு மின்னழுத்தங்

களும் ஒரே அதிர்வெண்ணுடையதால், ஒத்ததிர்வு ஏற்பட்டு, வால்வானது பெருக்கமுண்டுபண்ணுவதற்குப் பதிலாக அலைவுகளை உண்டுபண்ணுகிறது.

இந்த தகடு, கிரிடு மின்தேக்கி உண்டாவதைத் தடுக்க, தகட்டிற்கும் கிரிடுக்குமிடையே இன்னொரு கிரிடு வைக்கப்பட்டு, ஒன்றையொன்று மறைப்பதற்குத் திரைபோல் உதவுகிறது. அதனால் இவ்விரண்டாம் கிரிடுக்குத் 'திரை கிரிடு' (Screen grid) என்று பெயர். இதற்கு சுமார் 100 அல்லது 120 வோல்டு நேர் மின்னழுத்தம் தரப்படுகிறது. இவ்வாறு 'திரை' இடுவதால் வால்வின் தகடு-கிரிடு மின்தேக்கத்திறன் (Capacitance) ஏறக் குறைய பூஜ்யமாகி, இவ்வால்வு ரேடியோ அதிர் வெண் அலைகளை வெகு திறமையுடன் பெருக்குகிறது. இதற்கு 'டெட்ரோடு' (tetroad = நான்முனைவால்வு) என்று பெயர்.

(b) **ட்ரயோடு திருத்தி** (Triode Rectifier)

ட்ரயோடு வால்வுகளின் திருத்தும் திறனைக் கொண்டு



படம் 115 நேர்மின்வாய் வளைவு திருத்தம்

அவை முதன் முதலில் ரேடியோ அலைகளைக் கண்டுபிடிப்பதற்காக (Detect) உபயோகப்படுத்தப்பட்டன. இதைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். 115ஆம் படத்தில் ட்ரயோடு வால்வின் பரிமாற்று சிறப்பியல் பண்பு வளைகோடு ஒன்று காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆனால் 111ஆம் படத்தில் கொடுத்திருப்பதைவிட அதிகமான எதிர் நில மின்னழுத்தம் கிரிடுக்குத் தரப்பட்டிருப்பதால், செயல் படுபுள்ளி P வளைகோட்டின் வளைந்த பாகத்திலிருக்கிறது. (111ஆம் படத்தில், வால்வு பெருக்கியாகச் செயல்படுவதற்கு,

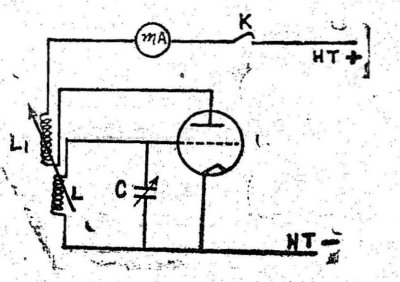
செயல்படுபுள்ளி வளைகோட்டின் நேர்பகுதியின் மத்தியிலுள்ளது), முன்போலவே உள்தரு மின்னழுத்தங்கள் அலை வடிவில் தரப்படும்பொழுது (111 (b) படம், தகட்டு மின்னோட்டம் நேர் அரை சைக்கிள்களின் சரியான பிரதியாகவுள்ளது. ஆனால் எதிர் அரை சைக்கிள்கள் தகட்டு மின்னோட்டத்தில் காண்பிக்கப்படுவதில்லை. ஏனென்றால், வளைகோட்டின் வளைவு காரணமாகவும், அதற்கு மிக அருகில் தகட்டு (நேர் மின்வாய்) மின்னோட்டம் பூஜ்யமாய் விடுவதாலும் உள்தரு மின்னழுத்தங்களின் எதிர் அரை சைக்கிள்கள் தகட்டு மின்னோட்டத்தில் பிரதிக்கப்படாமல் நசுக்கப்பட்டு விடுகின்றன.

'கிரிடு கசிவு திருத்தம்' (grid leak reetification) என்ற இன்னொரு முறையும் உண்டு. அதைப் பின்பு பார்ப்போம்.

(c) **ட்ரயோடு அலையியற்றி** (Triode oscillator)

ட்ரயோடு பெருக்கியைப்பற்றிக் கவனிக்கையில், சில சமயங்களில் தகட்டுச் சுற்றிலிருந்து வெளிவரு வோல்டுகளின் ஒரு பாகம் கிரிடு சுற்றுக்குப் பின்னூட்டப்பட்டால் (Fed back), அலைவு எற்பட ஆரம்பிக்கிறது என்று பார்த்தோம். வால்வு பெருக்கியாக செயல்படுகையில் இது வேண்டாத விளைவு என்றாலும், வால்வைக் கொண்டு உயர் அதிர்வெண் அலைவுகளை உண்டு பண்ண வேண்டும்பொழுது K இவ்வளைவைப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். இவ்வகையான உயர் அதிர்வெண் அலைவுகள் ரேடியோ ஒலிபரப்புதலுக்கு அவசியமாகத் தேவைப்படுகின்றன.

116ஆம் படத்தில் பின்னூட்ட அலையியற்றியின் மின்சுற்று காட்டப்பட்டுள்ளது. (இது 'எதிர்வினை அலையியற்றி (Reaction oscillator) என்றும் கூறப்படும்). இதில் அலையியற்றிச் சுற்று ('டாங்சிச் சுற்று' Tank circuit) எனவும் கூறப்படும்.)



படம் 116 ட்ரயோடு அலையியற்றி

L என்னும் சுருள், C என்னும் மாறியல் மின்தேக்கி (Variable condenser) இவற்றாலானது. L சுற்றப்பட்ட அதே

கட்டையின்மீது, அதனருகில் L^1 என்ற வேறொரு சுருள் L-இன் திசையிலேயே சுற்றப்பட்டு, தகட்டுச் சுற்றில் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதற்கு 'எதிர்வினைச் சுருள்' (Reachtion coil) என்று பெயர். இவ்விரு சுருள்களும் அருகிலிருப்பதால் தகட்டுச் சுற்றின் வெளிவரு வோல்டின் ஒரு பாகம் L_1 சுருள் வழியாய் கிரிடின் (L-C) சுற்றுக்குப் பின்னூட்டப்படுகிறது.

K என்ற தொடு சாவியைப் போட்டவுடன் வால்வில் மின்னோட்டம் பாய்வதுடன், L-C சுற்றில் அதன் இயல்பான அதிர் வெண்ணில் சிறுசிறு அலைவுகள் உண்டாகின்றன. ஆகவே இந்த அதிர் வெண்ணில் I என்ற சிறு அளவுடைய மாறுமின்னோட்டம் பாய்கிறது. R என்பது சுற்றின் மின்தடை என்றால் RI^2 என்ற விகிதத்தில் ஆற்றல் விரயமாகி, பின்னூட்டமில்லையென்றால் வெகுசீக்கிரத்தில் அலைவுகள் நின்றுவிடும்.

ஆனால் L_1 L சுருளுக்கிடையே பரிமாற்று மின்தூண்டல் (Mutual induction) உள்ளபடியால், வெளிவரு வோடுடின் ஒரு பகுதி L-C சுற்றுக்குப் பின்னூட்டப்படுகிறது. இவ்விரண்டும் ஒரு கட்டத்திலிருந்தால் (in phase) அலைவுகள் நிலைக்கப்பெறும்.

I என்ற அலைவு மின்னோட்டம் C-யின் குறுக்கே $\frac{I}{\omega C}$ $(=eg)$ என்ற அலைவு மின்னழுத்தமுண்டு பண்ணுகிறது. இது கிரிடுக்கு உள்தரு மின்னழுத்தமாவதால் (eg). தகட்டுமின்னோட்டம் $gm\ eg$ $(=I_p)$ உண்டாகிறது. $\therefore gm = \left(\therefore gm = \frac{IP}{eg}\right)$.

$$\therefore \text{தகட்டு மின்னோட்டம் } I_p = gm\ eg = gm\frac{I}{\omega C} \quad \ldots\ldots(3)$$

L, L_1-க்கிடையே உள்ள பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண் M காரணமாக (ωMI_p) என்ற வோல்டு L-c சுற்றுக்குப் பின்னூட்டப்படும். L-c சுற்றில் I என்ற மின்னோட்டமுள்ளதால், பின்னூட்டப்படுகின்ற ஆற்றல் $= (\omega MI_p)\ I$

$$\therefore \text{பின்னூட்டப்படும் ஆற்றல்} = WMI.\ gm\ \frac{I}{WC}$$

$$= Mmg\ \frac{I^2}{C} \quad \ldots\ldots (4)$$

$$\therefore \text{மொத்த விரயமாகும் ஆற்றல்} = I^2\left(R - \frac{Mgm}{Mg}\right) \ldots (5)$$

(i) $R > \frac{Cm}{C}$: ஆக இருந்தால், விரயமாகும் ஆற்றல் நேர் அளவாக உள்ளது. ஆகவே அலைவுகள் மெதுவாக நின்று போகின்றன.

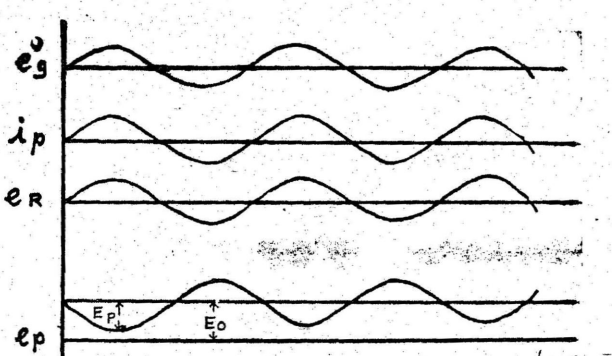
(ii) $R = \frac{Mgm}{C}$; விரயமாகும் ஆற்றல், பின்னூட்டப்படும் ஆற்றலுக்குச் சமமாயிருக்கிறது, அலைவுகள் வீச்சு மாறுமல் நிலைத்திருக்கின்றன.

(iii) $R < \frac{Mgm}{C}\left(\text{அல்லது } M > \frac{CR}{gm}\right)$ என்றால், பின்னூட்டப்படும் ஆற்றல், விரயமாகும் ஆற்றலைவிட அதிகமாயுள்ளது ; ஆகையால் வீச்சு அதிகரித்தவாறு அலைவுகன் உண்டாகும்.

வால்வு அலையியற்றி அதிகமான ஆற்றலுடைய அலைவுகளை உண்டுபண்ணும்பொருட்டு, L-C சுற்றைததகட்டுச்சுற்றில் வைப்பது வழக்கம். (அதாவது, C மின்தேக்கி L_1-க்கு குறுக்கே). எதிர்வினைச்சுருள் கிரிடு சுற்றிலிருக்கும். இந்த மாற்றம் மேலே விவரித்த தத்துவத்தை எந்த விதத்திலும் மாற்றாது.

கட்டத் தொடர்புகள் (Phase Relations)

அலைவுகளைத் தொடர்ச்சியாக உண்டுபண்ணுவதற்கு, பின்னூட்ட அளவு போதியதாயிருப்பதுடன் $\left(\text{i. e. } M > \frac{CR}{gm}\right)$, அது உள்தரு மின்னழுத்தங்களுடன், சரியான கட்டத்திலுமிருக்க வேண்டும். இல்லையெனில், பின்னூட்டம் அலைவுகளைப் பராமரிப்பதற்குப் பதிலாக அவற்றை அழித்துவிடும். 117ஆம் படத்தில், அலைவுகளில் பங்குபெறும் வெவ்வேறு அளவுகளுக்குள் இருக்கும் கட்ட சம்பந்தங்கள் காட்டப்படடுள்ளன.



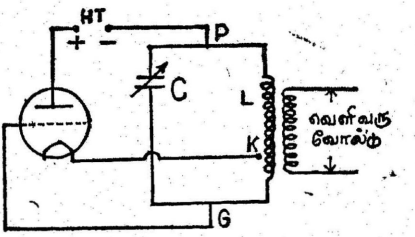
படம் 117. அலைவு அளவுகளின் கட்ட சம்பந்தங்கள்

X அச்சில் காலம் காட்டப்பட்டுள்ளது : Y-அச்சில் மின்னழுத்தங்களும், மின்னோட்டங்களும் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. e_g

என்பது உள்தரு வோல்டுகள் : இது காரணமாகத் தகட்டு மின்னோட்டத்தில் ஏற்படும் மாற்றங்கள், e_g-க்கு ஒரு கட்டத்தில் உள்ளன. இது காரணமாக வெளிவரு மின்தடையின் குறுக்கே e_r என்ற அலைவு மின்னழுத்தங்கள் உண்டாகின்றன. இவை i_p-ன் மாற்றங்களுடன் ஒரு கட்டத்திலுள்ளன. தகட்டு மின்அழுத்தம், வெளிமின்தடையின் மின்னழுத்தம் இவை இரண்டின் கூட்டுத்தொகை, H.T. மின்னழுத்தத்திற்குச் சமமாகையால், e_r ஏறி இறங்குகையில், e_p என்னும் தகட்டு மின்னழுத்தம் இறங்கி ஏறும். ஆகவே, தகட்டு மின்னழுத்தமும் கிரிடு மின்னழுத்தமும் ஒன்றுக்கொன்று எதிராக (180° கட்டபேதத்தில்) உள்ளன. இதுவே (296ஆம்) பக்கத்திலும் விளக்கப்பட்டுள்ளது. அதாவது, கிரிடுவோல்டு ஏறுகையில் தகட்டுவோல்டு குறைகிறது ; கிரிடு வோல்டு குறைகையில் தகட்டுவோல்டு உயருகிறது என்று பார்த்தோம். இது வால்வு செயல்பாட்டின் ஒரு முக்கியமான பண்பு.

ஆகவே, மின்னூட்ட மின்னழுத்தங்கள் உள்தரு மின்னழுத்தங்களுடன் ஒரு கட்டமாயிருக்கவேண்டுமானால், தகடு, கிரிடு மின்சுற்றுக்களுக்கிடையே மேலும் 180° கட்டபேதம் உண்டு பண்ணுவது அவசியமாகிறது. அப்பொழுதுதான் அலைவுகள் தொடர்ச்சியாக உண்டுபண்ணப்படும். இதை இரு வழிகளில் செய்கின்றனர். ஒன்று ஹார்ட்லி (Hortley) யின் முறை; மற்றது கோல்பிட்ஸ் (Colpitts)-இன் முறை. இவற்றைச் சற்று விவரமாகக காண்போம்.

ஹார்ட்லி அலையியற்றி மின்சுற்று (The Hortley Oscilltor circuit) :



படம் 118. ஹார்ட்லி அலையியற்றி

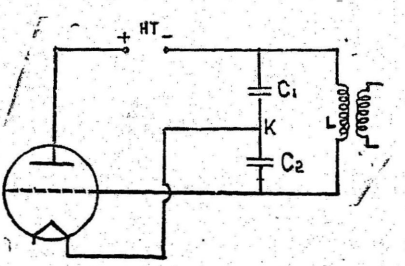
இது மிகவும் எளிதான, வசதியானதொரு முறையாகையால் எலக்ட்ரானிய அலைவுகள் வேண்டிய பொழுதெல்லாம் இம்முறையே கையாளப்படுகிறது. 118ஆம் படம் இதை விளக்குகிறது. L-c சுற்று தகட்டிற்கும் கிரிடுக்குமிடையே பிணைக்கப்பட்டு, சுருளின் (L) இடையிலுள்ள ஒருபுள்ளி (K) எதிர்மின்

வாயுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வாறு மின்னிழை (K) யானது தகட்டிற்கும் (P) கிரிடுக்கும் (G) இடையே பிணைக்கப் படுவதால், தகடு, கிரிடு இவற்றின் மின்னழுத்தங்களுக்கிடையே 180° டிகிரி கட்ட பேதம் உண்டாகிறது. ஆகவே மொத்த கட்ட பேதம் 360 டிகிரி (அதாவது பூஜ்யம்) ஆகி, அலைவுகளைத் தொடர்ந்து உண்டுபண்ணும் வாய்ப்பு ஏற்பட்டுவிடுகிறது. மின்னழுத்தங்களெல்லாம் மின்னிழைப்புள்ளி K-ஐப் பொறுத்தே அளக்கப்படுவதால், தகட்டிருந்து மின்னிழைக்குள்ள மின்னழுத்த வேற்றுமையும், கிரிடிலிருந்து மின்னிழைக்குள்ள மின்னழுத்த பேதமும் ஒன்றுசொன்று எப்பொழுதும் எதிராகவே இருக்கும். ஏனெனில்-சுருளின் மின்னழுத்தம் P-யிலிருந்து Gக்கு தொடர்ச்சியாக உயரும்; அல்லது குறையும், ஆகையால் Pயிலிருந்து K-க்கும், G-யிலிருந்து K-க்கும் உள்ள மின்னழுத்தங்கள் ஒன்றுக்கொன்று எதிராகவே இருக்கும்.

ஆகவே L-c சுற்றின் அலைவு மின்னழுத்தங்களின் ஒரு பகுதி (G-க்கும் K-க்கு மிடையே உள்ளது), கிரிடு உள்தரு வோல்டாகப் பின்னூட்டப்பட்டு, பெருக்கமடைந்து, L-c சுற்றுக்கு வந்து, மறுபடியும் ஒரு பகுதி பின்னூட்டப்பட்டு, இப்படியாக மேலும் மேலும் அலைவுகள் பெருக்கமடைந்து, வெகு சீக்கிரத்தில் நிலையாக, தொடர்ச்சியாக அலைவுகள் உண்டுபண்ணப்படுகின்றன, மின்னிழையை K என்ற ஏதாவதோர் இடைப்புள்ளியில் பிணைத்தால் போதுமானது. H. T. மின்னழுத்தத்தைத் துவங்கிய வுடனே அலைவுகள் ஆரம்பித்துவிடும்.

கோல்பிட்ஸின் அலையியற்றி (Colpitts' Osillator)

இதுவும் ஹார்ட்லி அலையியற்றியைப்போலவே கிரிடுக்கும் தகட்டிற்குமிடையே இன்னுமொரு 180° கட்டபேதத்துடன் பின்



படம் 119. கோல்பிட்ஸின் அலையியற்றி

னூட்டம் கொடுத்து, அலைவுகளைத்தொடர்ந்து உண்டுபண்ணுகிறது. ஆனால் இங்கு பின்னூட்டம் மின்தேக்கியுயத்திலிருந்து

எடுக்கப்படுகிறது. அவ்வளவுதான் வேற்றுமை. தத்துவங்க ளெல்லாம் முன்போலவே செயல்படுகின்றன. ஆயினும் இச் சுற்று சில சமயங்களில் திடீரென்று செயல்படுவது நின்றுபோவ துண்டு. ஆகையால், இது ஹார்ட்லி அலையியற்றியைப்போல் அவ்வளவு அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுவதில்லை.

உதாரணங்கள்:

1. ஒரு ட்ரயோடு வால்வின் தகட்டின் தடை 12000 ஓம்; பெருக்கு எண் 15. அதன் தகட்டின் வெளிச்சுற்றில் 24000 ஓம் மின்தடையிருந்தால், அச்சுற்றின் வோல்டு பெருக்க எண் என்ன?

$$\text{வோல்டுபெருக்க எண்} = \mu \times \frac{R_l}{R_l + R_p}$$

$$= 15 \times \frac{24000}{24000 + 12000} = 10$$

2. ஒரு R-C தொகுப்பு வால்வின் வெளிமின்தடை 10,000 ஓமாயிருக்கையில், அதன் வோல்டு பெருக்க எண் 6 ஆக இருந்தது; வெளிமின்தடை 14000 ஓமாக மாற்றப்பட்டபொழுது வோல்டு பெருக்க எண் 7 ஆக உயர்ந்தது. வால்வின் பரிமாற்று கடத்து திறன் என்ன?

$$6 = \mu \times \frac{10000}{10000 + R_p}$$

$$7 = \mu \times \frac{14000}{14000 + R_p}$$

$$6\,R_p + 60{,}000 = 10{,}000\,\mu$$

$$7\,R_p + 98{,}000 = 14000\,\mu$$

$$42\,R_p + 420{,}000 = 70000\,\mu$$

$$42\,R_p + 588{,}000 = 84000\,\mu$$

$$\therefore \quad 14000\,\mu = 168000$$

$$\mu = 12.$$

$$6\,R_p = 120{,}000 - 60000 = 60000$$

$$\therefore \quad R_p = 10000 \text{ ஓம்.}$$

பரிமாற்று கடத்துதிறன் $= \frac{\mu}{} = \frac{12}{10000}$ ஆம்பியர்/வோல்டு

அத்தியாயம் 22

வினாக்கள்

1. ட்ரயோடு எவ்வாறு (*a*) அலைதிருத்தியாக (*b*) பெருக்கியாகச் செயல்படுகிறது என்பதை விளக்கு.

2. ஹார்ட்லி அலையியற்றியைச் சுற்றுப்படத்துடன் விளக்கு.

3. மின்தடை - மின்தேக்கி தொகுப்பு, மின்மாற்றி தொகுப்பு இவற்றை விளக்கி, அவற்றின் சிறப்புகளைக் கூறு.

23. ஒலிபரப்புதலும் ஏற்பும்

(Elements of Broadcasting and Reception)

A. ஒலிபரப்புதல் (Broadcasting)

ஒலிபரப்புதல் என்பது முதலில் உயர் அதிர்வெண்ணுடைய மின் அலைகளை உண்டுபண்ணி, பேச்சு அல்லது இசை அலைகளை அவற்றுடன் கலந்து, இக் கலப்பு அலைகளைப் பெருக்கி, ஏரியல் மூலம் எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்புவதாகும். ரேடியோ ஏற்பியில் (receiver) இவ் விருவித அலைகளையும் பிரித்து, செவியுணர் (audio frquency AF) அதிர்வெண் அலைகளைப் பெருக்கி, ஒலி பெருக்கியில் செலுத்தி, பரப்பப்பட்ட பேச்சு அல்லது இசை மீண்டும் ஒலிக்கப் படுகிறது.

ஆகவே, இவ்வுயர் அதிர்வெண் அலைகளைக் குறித்துச் சற்றுக் கவனிப்பது அவசியமாகிறது.

மின்காந்த அலைகள் (Electromagnetic waves)

ரேடியோ அலைகள், ஒளி, எக்ஸ் கதிர், காமாக் கதிர்களின் குடும்பமான மின்காந்த அலைகளைச் சேர்ந்தவை. அவையாவும் ஒரே வேகத்தில், அதாவது 3×10^{10} செ. மீ./வினாடி அல்லது 186000 மைல் / வினாடி வேகததில் செல்கின்றன. அவையாவும் ஒளியின் விதிகளான பிரதிபலித்தல். ஒளி விலகல், விளிம்பு விளைவு, தள விளைவு முதலிய விதிகளுக்குக் கீழ்ப்படிகின்றன. ஆனால், அவற்றின் அலைநீளத்தில் அதிக வேறுபாடுண்டு. ரேடியோ அலைகளின் நீளம் சில ஆயிரம் மீட்டர்களிலிருந்து, சுமார் 12 மீட்டர்வரை உள்ளது. காமாக் கதிர்களின் அலைநீளம் ஒரு மீட்டரின் ஆயிரங்கோடியில் ஒரு பங்குக்கு (·01 AV)க் குறைவாக இருக்கலாம். இவ் வலைகள் யாவும்

$$c = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

என்ற அலைகளின் சமன்பாட்டிற்குக் கீழ்ப்படிவதால், (c = வேகம், n = அதிர்வெண், λ = அலைநீளம்), அலைகளின் நீளம் தெரிந்தால் அவற்றின் அதிர்வெண்ணைக் கணிக்கலாம்; அதிர்வெண் தெரிந்தால், அலைநீளத்தைக் கணிக்கலாம். உதாரணமாக, 25 மீட்டர்

நீளமுடைய அலைகளின் அதிர்வெண்

$$n = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{10}}{25 \times 100} = 12 \times 10^{6} \text{ சைக்கிள்/வினாடி.}$$

இதை 12 மெகா சைகிள்/வினாடி (megacycles, mc/s) என்றும் குறிப்பதுண்டு. 'மெகா' என்ருல் மில்லியன் (10^6) என்று அர்த்தம். 300 மீட்டர் அலையின் அதிர்வெண் 10^6 சைகிள்/வினாடி. இதை 1 மெகா சைக்கிள்/வினாடி என்றும், 1000 கிலோ சைக்கிள்/வினாடி என்றும் குறிப்பிடுவதுண்டு. 'கிலோ' என்ருல் 1000 என்பது பொருள்.

நாம் ஒரு மைக்ரோபோனின் எதிரே நின்று பேசும்பொழுது, நமது ஒலிஅலைகள் அதே அதிர்வெண்ணும் பண்புடைய மின் அலைகளாக மாற்றமடைகின்றன. இவற்றின் அதிர்வெண் சாதாரணமாக 200—500 சைக்கிள்/வினாடியாக இருக்கும்.

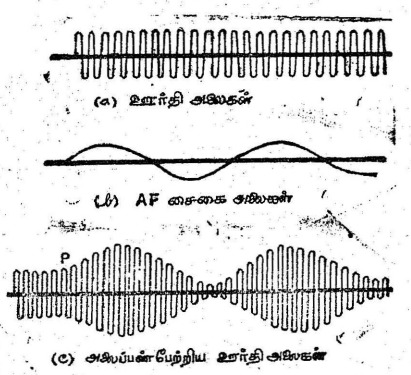
வினாடிக்கு சுமார் 30 –லிருந்து 25000 சைக்கிள் வரையுள்ள அதிர்வெண்கள் 'செவியுணர் அதிர்வெண்' (Audiofrequency A.F.) எனப்படும். 25,000 சைக்கிள்/வினாடி (25 Kcp)க்கு அதிகமான அதிர்வெண்ணுடைய அலைவுகள் 'செவியுணரா' (Supersonic) அலைவுகள் எனப்படும். 300 கிலோ சைக்கிள்/வினாடிக்கு அதிகமான அதிர்வெண்ணுடைய அலைகள் 'ரேடியோ அதிர்வெண்' (Radio frquency R. F.) அலைகள் எனபபடும். ஒலிபரப்புக்கு உபயோகப்படும் மிகக்குறுகிய அலையின் நீளம் 12 மீட்டர்கள்; அதாவது, 25 மெகா சைகிள்/வினாடி. இதற்கு அதிகமான அதிர்வெண்கள் வானத்தில் மறைந்து விடுவதால அவை ஒலிபரப்புதலுக்கு உபயோகப்படா. மிக அதிக நீளமான (அதாவது 300 கிலோ சைக்கிள் வினாடிக்குக் குறைவான அதிர்வெண்ணுடைய) அலைகளும் ஒலிபரப்புதலுக்குப் பயன்படா. ஏனென்ருல் ஒலிபரப்பியின் ஏரியல், அலைநீளத்தின் ஒரு சிறிய பகுதியாய் விடுவதால், அதில் ஏற்றப்பட்ட ஆற்றலின் ஒரு சிறு பகுதியே எங்கும் பரப்பப்படுகிறது. மற்றது வீணாய்விடும்.

ஆகவே, ஒலிபரப்புதலுக்கு உபயோகப்படும் அதிர்வெண்கள் அத்தனையும் நமது செவியுணர் அதிர்வெண்களைவிட, மிக அதிகமாயுள்ளன. ஆகையால் இவை நமக்குத் தேவைப்படும் A. F. அலைகளை (பேச்சு, இசை அலைகளை)ச் சுமக்கும் அலைகளாகவே பயன்படுகின்றன. இவற்றிற்கு 'ஊர்தி அலைகள்' (Carrier waves) என்று பெயர். பேச்சு அல்லது இசை அலைகளான A. F. அலைகளை இவற்றின்மீது ஏற்றி, அவற்றின் பண்பை மாற்றி, இவ்வாறு மாற்றமடைந்து அலைகளைப் பெருக்கி, எரியலில் ஊட்டி

எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்புகின்றனர். இவ்வாறு பண்பு மாற்ற மடைந்த அலைகளுக்கு 'அலைப்பண்பேற்றம்பெற்ற ஊர்தி அலைகள்' (modulated carrier waves) என்று பெயர். இந்த அலைப் பண்பேற்றத்தைச் சற்று விவரமாகப் பார்ப்போம்.

அலைப் பண்பேற்றம் (Modulation)

120ஆம் படத்தில் அலைப்பண்பு ஏற்றும் விதம் விளக்கப் பட்டுள்ளது. (a)-ல் அலைப் பண்பேற்றப்படாத ஊர்தி அலைகள் (carrier waves. . AF.) தரப்பட்டுள்ளன. (g)யில் பேச்சு, இசை இவற்றை அடக்கியுள்ள A. F. 'சைகை' (signal) அலைகள்



படம் 120. ஊர்தி அலைகளின் அலைப் பண்பேற்றம்

காட்டப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் அதிர்வெண் R. F. அதிர் வெண்களைவிட மிகக்குறைவானது. சில நூறு அல்லது சில ஆயிரம் சைக்கிள்/வினாடியே கொண்டது. R. F. அதிர்வெண்கள் மூன்று லட்சம் சைக்கிள்/வினாடிக்கு மேற்பட்டது என்று, மேலே பார்த்தோம். படம் (C)யில் P என்ற இடத்திலிருந்து அலைப்பண் பேற்றம் பெற்ற ஊர்தி அலைகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவை களும் R. F. அதிர்வெண் உடையவைதான்; ஆனால் அவற் றின் வீச்சு (amplitude) சைகை அலைகளுக்கேற்ப மாற்றமடைந் துள்ளது. ஆகவே, அலைப் பண்பேற்றம் பெற்ற ஊர்தி அலைகள் ரேடியோ அதிர்வெண்களையும், செவியுணர் அதிர்வெண்களையும் கொண்டனவாய், எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்பப்படுகின்றன.

இதைக் கணித வாயிலாய் விளக்குவோம். ஊர்தி அலைகளை

$$I_0 = A \sin \omega t \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிப்பிடுவோம். இதன் அதிர்வெண் $\left(\frac{\omega}{2\pi}\right)$ பல லட்சம் சைக்கிள்/வினாடி அளவுடையது. இதன்

வீச்சான A கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படும் சைகை அலைகளால் பண்பு ஏற்றம் அடைகிறது.

$$I_s = B \sin pt \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

இதில் B என்பது சைகை அலைகளின் வீச்சு ; $\left(\frac{\rho}{2\pi}\right)$ அதன் அதிர்வெண் ; சில நூறு சைக்கிள்/வினாடி அளவானது.

அலைப்பண்பேற்றம் பெற்ற ஊர்தி (R. F.) அலையின் சமன்பாடு :—

$$\begin{aligned} I &= (A + B \sin pt) \sin \omega t \quad \ldots \ldots \quad (4) \\ &= A \sin \omega t + B \sin \rho t \sin \omega t. \\ &= A \sin \omega t \times \frac{B}{2} \cos (\omega - \rho) t - \frac{B}{2} \cos (\omega + \rho) t \\ &= A \sin \omega t \times \frac{B}{2} \sin \left\{ (\omega - \rho) t + \frac{\pi}{2} \right\} \\ &\quad + \frac{B}{2} \sin \left\{ (\omega + \rho) t - \frac{\pi}{2} \right\} \end{aligned}$$

ஆகவே, அலைப் பண்பேற்றம் பெற்ற R. F. அலைகளில் மூன்று பகுதிகளுண்டு :—

(a) அலைப் பண்பில்லாத ஊர்தி அலை ; அதிர்வெண் $= \frac{\omega}{2\pi}$

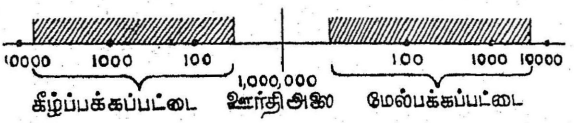
(b) அதிர்வெண் $= \left(\frac{\omega - \rho}{2\pi}\right)$, வீச்சு $\left(\frac{B}{2}\right)$ உடைய R. F. அலை.

(c) அதிர்வெண் $= \left(\frac{\omega + \rho}{2\pi}\right)$, வீச்சு $\left(\frac{B}{2}\right)$ உடைய R. F. அலை;

$\left(\frac{\omega - \rho}{2\pi}\right)$ அதிர்வெண்ணுக்குக் 'கீழ்ப்பக்கப் பட்டை' (lower side band என்றும், $\left(\frac{\omega + \rho}{2\pi}\right)$ அதிர்வெண்ணுக்கு 'மேல் பக்கப் பட்டை' (Upper side band) என்றும் பெயர்.

நல்ல இசையை விகாரமெதுவுமின்றி ஒலிபரப்ப வேண்டுமானால்; வினாடிக்கு 50லிருந்து 8000 சைக்கிள் வரையுள்ள அதிர்வெண்கள் தேவைப்படும். ஆகவே, ஊர்தி அதிர்வெண் 1,000,000 சை./வினாடி என்று வைத்துக்கொண்டால், மேல் பக்கப் பட்டை (1,000,000+50) லிருந்து (1,000,000+8000) வரைக்கும், கீழ்ப் பக்கப்பட்டை (1,000,000—50)லிருந்து (1,000,000—8000) வரைக்கும் வியாபித்திருக்கும். அதாவது, மேல் பக்கப்பட்டையின் அதிர்வெண்கள் வினாடிக்கு 1,000,050லிருந்து, 1,008,000 சைக்கிள்

கள் வரைக்கும், கீழ்ப்பக்கப் பட்டையின் அதிர்வெண்கள் 999,950 லிருந்து 992,000 சைக்கிள்கள் வரைக்கும் வியாபித்திருக்கும்.



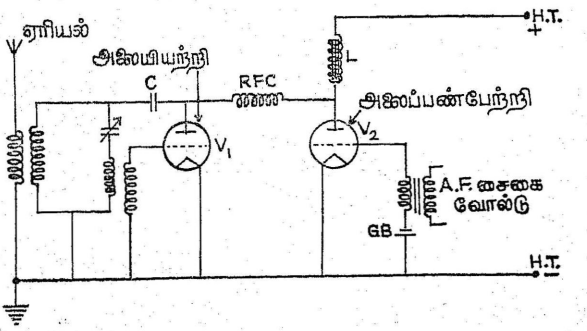
படம் 121. பக்கப் பட்டைகள்

121 ஆம் படம் இப் பக்கப் பட்டைகளை விளக்குகிறது. இந்த இசையைச் சரியாக ஒலிபரப்ப வேண்டுமானால், மொத்தம் 16,000 அதிர்வெண் அகலமுடைய பட்டை (band) தேவைப்படும். (ie. 992,000 லிருந்து 1008000 வரை அதிர்வெண்கள் தேவைப் படும்). ஆனால், சர்வதேச ஒப்பந்தத்தின்படி ஒவ்வொரு ரேடியோ நிலையமும் மொத்தம் 900 சைக்கிள்/வினாடி அதிர் வெண் அகலப்பட்டைதான் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. உலகின் ரேடியோ நிலையங்களின் ஊர்தி அலைவெண்கள் (carrier frequency) ஒன்றுக்கொன்று 900 சைக்கிள் இடைவெளியில் ஏற்படுத்தப் பட்டிருப்பதால், ரேடியோ நிலையங்களின் ஒவ்வொரு பக்கப் பட்டையும் 4500 சைக்கிள் அகலந்தான் இருகமுடியும். அதற்கு அதிகமாகப் போனால், மற்ற நிலையத்தின் ஒலிபரப்புடன் கலந்து குழப்பத்தை ஏற்படுத்தும்.

அலைப் பண்பேற்ற முறை

ஊர்தி அலைகளுக்கு அலைப்பண்பேற்றும் முறைகளில் 'சோக்' முறையே (Choke modulation) வெகுவாகப் பயன் படுத்தப்படுகிறது, அது 1922 ஆம் ஆண்டில் ஹைசிங் (Heising) என்பவரால் புகுத்தப்பட்டதால், இதற்கு 'ஹைசிங் அலைப்பண் பேற்றம்' என்றும் பெயர். இதன் மின் சுற்று 122ஆம் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளது. v_1 என்பது RF அலையியற்றி வால்வு. ஊர்தி அலையின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சுரப்படுத்தப்பட்ட L-c சுற்று தகட்டுச் சுற்றில் வைக்கப்பட்டு. மின்னூட்டச் சுருள் கிரிடு சுற்றிலுள்ளது. RFC என்பது ஒரு RF சோக்கு; இது RF அலைவுகளை V_1 வால்வு சுற்றிற் குள்ளேயே அடக்கிக்கொள் கிறது. AF சைகை அலைகளுக்கு இது தடையொன்றும் செய வதில்லை யாகையால், அவை V_2-லிருந்து தாராளமாக V_1-க்கு வரலாம். V_2 என்பது அலைப் பண்பேற்றும் (modulator) வால்வு அதனுடைய கிரிடுக்கு AF சைகை வோல்டுகள் மைக்ரோ மோனி லிருந்து தரப்படுகின்றன. V_1, V_2 இரு வால்வுக்கும் தரப்படும்

H.T. உயர் மின்னழுத்தப் பாதையில் L என்னும் ஒரு மிகப் பெரிய சோக்கு (choke) வைக்கப்பட்டுள்ளது. C என்னும் மின்



படம் 122. ஹைசிங் பண் பேற்ற முறை.

தேக்கி, H. T. மின்னழுத்தம் அதற்கு இடப்புறமாக நிலத்திற்குச் சென்றுவிடாதபடி தடுகின்றது.

பேச்சு, இசை A. F. வோல்டுகள் V_2 கிரிடுக்குத் தரப்படும் பொழுது, அவ் வால்வின் தகட்டு மின்னோட்டம் அதற்கேற்றாற் போல் மாறுபாடு அடைகின்றது. ஆகவே, சோக்கின் முனைகளுக்கிடையே அதேபோன்ற மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் உண்டாகின்றன. அலையியற்றி வால்வு (V_1) தனது H. T. மின்னழுத்தத்தை L வழியாகப் பெறுவதால் அதன் தகட்டு மின்னழுத்தம் சைகை A. F. வோல்டுகளின் மாற்றங்களைப் பெறுகின்றது. V_1 வால்வு சுற்று R. F. அலைவுகளையும் உண்டு பண்ணுகிறபடியால், இவ் விரு (R. F. + A. F.) அலைகளும் கலக்கப்பட்டு, ஏரியலுக்கு அனுப்பப்படுகின்றன.

இவ்வித அலைப் பண்பேற்றத்தால் பக்கப்பட்டை அதிர்வெண்கள் உண்டாகின்றனவெனினும், மாற்றமடைந்த ஊர்தி அலையின் சராசரி அதிர்வெண் சற்றும் மாறாமல், ஒரே அளவாக இருத்தல் வேண்டும். இதைச் சாதிக்க, குவார்ட்ஸ் படிகத்தின் ஒரு சன்னமான தகடு, R. F. அலையியற்றி வால்வின் (V_1) கிரிடு சுற்றில் வைக்கப்படுகிறது. இப்படி வைக்கப்பட்ட தகடு உயர் அதிர்வெண்ணுடைய R. F. மின்னலைவுகளை உண்டுபண்ணுகிறதென்றும், அதன் தடிப்பம் மாறாமலிருக்கும்வரை அது உண்டு பண்ணும் அலைகளின் அதிர்வெண்ணும் மாறாமல் உள்ளதென்றும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வாறு குவார்ட்ஸ் தகட்டால் ஊர்தி அலையின் அதிர்வெண்ணைக் கட்டுப்

படுத்துவது எல்லா ஒலிபரப்பு நிலையங்களிலும் கையாளப் படுகிறது.

ரேடியோ அலைபரப்பி நிலையங்களில், R. F. உயர் அதிர் வெண் அலைகள் குவார்ட்ஸ் கட்டுப்பாட்டில், மற்ற சுற்றுகளி லிருந்து பிரிக்கப்பட்டு, அதிர்வெண் சற்றும் மாறுத நிலையில், குறைந்த ஆற்றலில் உண்டுபண்ணப்பட்டு, A. F. சைகை அலை களுடன் கலக்கப்பட்டு, இரண்டு, மூன்று முறைபெருக்கப்பட்டு, ஏரியலுக்கு ஊட்டப்படுகின்றன. அலை பரப்பியின் ஆற்றல் பல லட்சம் வாட்டுகளாக இருக்கக்கூடும்.

(B) **ரேடியோ ஏற்பு** (Reception)

அலைப் பண்பேற்றிய ஊர்தி அலைகள் ஏற்பிகளுக்குப் போய்ச் சேருமுன், பல நூறு, அல்லது ஆயிரம் மைல்கள் பயணம் செய்வதால், அவற்றின் பலம் (*ie* வீச்சு) மிகக் குறை வாக இருக்கும். ஆதலால் R.F., A.F. அலைகளைப் பிரிக்கு முன்னரே, வரும் அலைகளைப் பெருக்குவது வழக்கம். இதற்கு 'R. F. பெருக்கம்' என்று பெயர். அடுத்தாற்போல் R. F., A. F. அலைகள் பிரிக்கப்படுகின்றன. இதற்கு அலைப் பண்பிறக்கம் (detection or demodulaion) என்று பெயர். R. F. அலைகளைப் பெரும்பாலும் நிலத்திற்குச் செலுத்தி விடுவது வழக்கம். சில சமயங்களில் அவற்றைப் பின்னூட்டி, உள் தரு பலவீன அலை களைப் பலப்படுத்த உபயோகப்படுத்துவதும் உண்டு. பிரிக்கப் பட்ட A. F. அலைகளை இரண்டு, மூன்றுமுறை பெருக்கி, ஒலி பெருக்கியினுள் செலுத்துகின்றோம்.

இப்பொழுது உபயோகத்திலிருக்கும் ரேடியோ ஏற்பிகளில் 90 சதவிகிதத்திற்கு மேற்பட்டவை, 'சூப்பர் ஹெட்' (Superhet) என்னும் கலக்கிப் பிரிக்கும் முறையைப் பின்பற்றுபவை. அவற் றில் மிக ஆற்றல் வாய்ந்த மின் சுற்றுகளும் தத்துவங்களும் செயல்படுவதால், அங்கு சிக்கலுண்டுபண்ணும் R.F. பெருக்கிகள் தேவையில்லை. ஆனால், ஆரம்பத்தில் 'நேர் ஏற்பிகள்' (Straight receivers) மட்டுமே செயல்பட்டபொழுது, R.F. பெருக்கச் சுற்றுத் தேவைப்பட்டது. இதற்கென்றே நான்கு மின்வாய்களுடைய 'டெட்ரோடு' (Detrode) வால்வு நிறுவப்பட்டதென்று முன்னேயே பார்த்தோம்.

டெட்ரோடு வால்வில், கிரிடுக்கும் தகட்டிற்குமிடையே இன்னொரு கிரிடு 'திரை' கிரிடாக (Screen grid) வைக்கப்பட்டு, உயர் நேர் மின்னழுத்தம் தரப்படுகிறது. இதனால் கிரிடுக்கும் தகட்

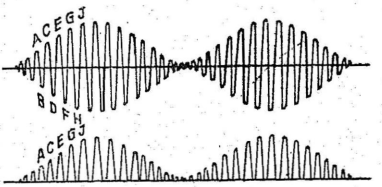
டிற்குமிடையே உள்ள மின்தேக்க விளைவு நீங்கி, இவ்வால்வு R.F. உயர் அலைவுகளையும் சிறந்தமுறையில் பெருக்குவதற்கு ஆற்றல் பெறுகிறது. இதன் பெருக்க எண் ட்ரயோடின் பெருக்க எண்ணைக் காட்டிலும், பன்மடங்கு அதிகமாகையால், இட் டெட் ரோடு வால்வை R.F. பெருக்கத்திற்கு மட்டுமன்றி A. F. பெருக்கத்திற்கும், கடைசிக் கட்டமான திறன் பெருக்கத்திற்கும் (Power amplification) உபயோகப்படுத்தினர்.

ஆனால், கடைசிக் கட்டத்தில் தகட்டின் மின்னழுத்த அலைவுகள் மிக உயர்வுள்ளதாய் இருப்பதால், சில சமயங்களில் தகட்டின் மின்னழுத்தம் திரை கிரிட்டின் மின்னழுத்தத்தை விடக் குறைந்துபோய் விடுகிறது, இதனால் வெளிவரும் அலைவுகளில் விகாரங்கள் (distortion) ஏற்படுகின்றன. இதைத் தடுக்க திரை கிரிடிற்கும் தகட்டிற்குமிடையே மூன்றாவது கிரிடு ஒன்று வைக்கப்பட்டு, மின்னிழையுடன் (நிலத்துடன்) பிணைக்கப்பட்டு, பூச்ய மின்னழுத்தத்திலுள்ளது. இது விகாரங்களை அடக்கி விடுவதால், இதற்கு 'அடக்கு கிரிடு' (supperssor கிரிடு) எனப் பெயர். மூன்று கிரிடுகளும், ஒரு மின்னிழையும் ஒரு நேர் மின் னேற்றத் தகடுமாக, ஐந்து மின் வாய்களுடைய இவ் வால்வுக்கு 'பென்டோடு' (Pentode) என்று பெயர். இவ் வால்வு, R.F., A.F. அலைகளையும், திறன் பெருக்கத்தையும் மற்றெல்லா வால்வுகளை யிம்விட மிகத் திறமையுடன் செய்யக்கூடியதாகையால், இதுவே, தற்கால ஏற்பிகளில் வெகுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

அலைப் பண்பிறக்கம் (Detection or Demodulation)

R. F. பெருக்கத்திற்குப் பின்னர், R. F. அலைகளும் A. F. அலைகளும் பிரிக்கப்படுகின்றன. இதற்கு 'அலைப் பண்பிறக்கம்' என்று பெயர். ரேடியோ அலைகள் ஏன் பல லட்சக்கணக்கான அதிர்வெண்ணுடையவையாயிருத்தல் வேண்டுமென்று முன்பே பார்த்தோம். ஆனால், பேச்சு, இசை இவற்றின் அதிர்வெண் சில நூறு அல்லது சில ஆயிரம் அதிர்வெண்ணே உடையது. நமது குரல் நாண், இசைக் கருவிகள் முதலியன இந்த A. F. அதிர் வெண் அலைவுகளையே உண்டுபண்ணக் கூடியவை. அவ்வாறே ஒலிபெருக்கியின் இடைத்திரை (diaphragm) யும் இதே A,F. அதிர்வெண்ணில்தான் அசையக் கூடியது. ஆகையால் அலைப் பண்பேற்றம் பெற்ற R, F. உயர் அதிர்வெண் அலைகளை ஒலி பெருக்கியிலிட்டால், அதன் இடைத் திரை A என்ற அலையால் இழுபட்டு மேலே போக ஆரம்பிக்கும் முன், B என்ற பாதி அலை வந்து, அதே விசையுடன் கீழே இருப்பதால், அது மேலேயும் செல்லாமல் கீழேயும் சொல்லாமல், அசைவற்று நின்று விடு

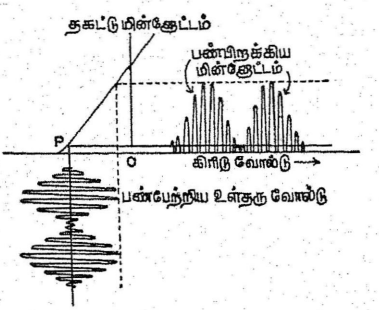
கிறது. அவ்வாறே, CD என்ற அலைப் பாதிகள் திரையை மேலும் கீழும் ஒரே விசையில் இழுப்பதால், திரை அசைவற்று



படம் 123. அலைப் பண்பிறக்கம்

நிற்கிறது. ஆனால், அலைகளின் கீழ்ப்பாதிகளை ஏதாவதொரு முறையில் அகற்றி (நசுக்கி) விட்டால், ஒலிபெருக்கியின் திரை A என்ற பாதி அலையால் இழுபட்டு, மேலே செல்ல ஆரம்பிக்கையில், C என்ற பாதி அலை வந்து அதே திசையில் மேலே இழுக்கிறது, ஆகவே, திரை தொடர்ந்து மேலே செல்கிறது. அவ்வாறே E. G. J. என்ற பாதி அலைகள் திரையை ஒரே திசையில் இழுப்பதால், திரை மெதுவாக மாற்றமடையும் A. F. பேச்சு, இசை இவற்றை ஒலிக்கின்றது.

124ஆம் படத்தில் ஒரு ட்ரயோடு வால்வின் நேர் மின்வாய் வளைவைக்கொண்டு (anode bend) எவ்வாறு கீழ்ப்பாதி அலைகள் அழிக்கப்பட்டுவிடுகின்றன என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது. இதுவே, சென்ற அத்தியாயத்திலும் விளக்கப்பட்டது. தகட்டு மின்னோட்டம் ஒரு பாதி அலைகளின் வேறுபாடுகளையே உடையது. ஆகையால், அதைப்பெருக்கி, ஒலி பெருக்கியி



படம் 124. ட்ரயோடு அலைப் பண் பிறக்கம்

னுள்ளே செலுத்தினால், ஒலி பெருக்கியின் இடைத்திரை மேலே விளக்கிய வண்ணம் மெதுவாக மாறும் A. F. சைகை அலைகளைப்

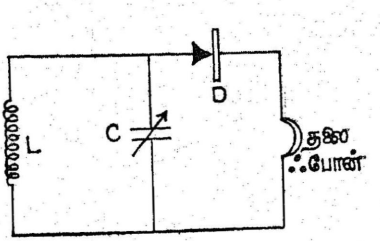
பின்பற்றி அதிர்ந்து, ரேடியோ நிலையத்தில் உண்டு பண்ணப் படும் பேச்சு, இசை இவற்றை மீண்டும் ஒலிக்கும்.

மேலே விளக்கியதிலிருந்து, பண்பிறக்கத்தின் முக்கியத்துவம் வெளியாகும். உயர் அதிவெண்ணுடைய அலைகள் எவ்வளவு தான் பெருக்கமடைந்தபோதிலும், அவற்றைப் பண்பிறக்கா விட்டால் ஒலியாக அதைக்கேட்க முடியாது. ஒலிபெருக்கி, டெலிபோன் இவற்றின் இடைத்திரை, உயர் அதிர்வெண் அலைகளுக்கு ஒத்து அதிர இயலாது. ஒரே ஒரு வால்வு தரப்பட்டால், அதைப் பண்பிறக்கியாகவே உபயோகிக்கவேண்டும். பண்பிறக்கிய மின்னோட்டத்தை டெலிபோனில் செலுத்தி, ஒலியாகக் கேட்கலாம்:

படிகப் பண்பிறக்கி (The crystal Detector) :

வால்வுகள் உபயோகத்திற்கு வருமுன்னர், சிலபடிகங்களைக் கொண்டு ரேடியோ அலைகளைப் பண்பிறக்கினர். கலீனா (galena), ஸிங்க்சைட் (zincite) முதலிய படிகத்தின்மீது கூராக்கப் பட்ட ஒரு கம்பியின் முனை இலேசாக அழுத்திக்கொண்டிருக்க அதன் வழியாய மாறுதிசை மின்சாரம் பாய்ச்சினால், மின்னோட்டம் ஒரு திசையில் அதிகமாகவும், எதிர்த் திசையில் குறைவாகவும் பாய்கிறது. கம்பி முனையின் கூர்மையையும், அது படிகத்தின் மீது செயல்படுத்தும் அழுத்தத்தையும் பொறுத்து, இத் திசை வேற்றுமை மாறும். கார்போரண்டம் (carborandum) படிகமும் எஃகுக் கம்பியும் வெகுவாகப் பயன்படும் இரட்டையாகும்.

125ஆம் படத்தில் 'படிக ஏற்பி' காட்டப்பட்டுள்ளது. ரேடியோ ஒலிபரப்பு ஆரம்பித்த துவக்கத்தில், இது வெகு பிரபலமாய் இருந்தது. D என்ற படிகக்-கம்பி தொகுப்பு ஒரு சிறு பலகை



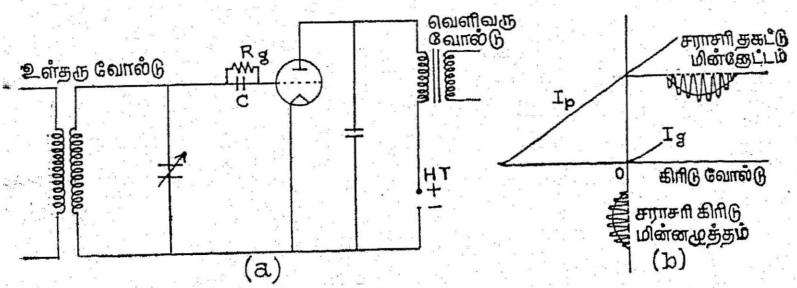
படம் 125. படிகப் பண்பிறக்கி

யின் மீது பொருந்தப்பட்டுள்ளது. அதன் மீது ஒரு L.C. தொகுப்பும் வைக்கப்பட்டுள்ளது. தலைமீது தொங்கவிட்டுக் காதுகளில்

அழுத்திக்கொண்டிருக்கும் தலை. போனுடன் இந்த ஏற்பி முற்றுப் பெறுகிறது. H. T. உயர் மின்னழுத்தமோ. பெருக்கிகளோ கிடையா. உள்வரு அலைகள் பண்பிறக்கப்பட்டு, போனுக்குள் செலுத்தப்பட்டு, போஜ இயக்குகின்றன. சுமார் 7—8 மைல் தூரத்திற்கப்பால், இவ்வேற்பி பயனற்றது. தற்காலத்தில் படிக ஏற்பியை ஒருவரும் உபயோகப்படுத்துவது இல்லை. வால்வு, டிரான்சிஸ்டர் ஏற்பிகளே முழுவதுமாக உபயோகத்திலுள்ளன.

கிரிடு கசிவு பண்பிறக்கம் (Grid-leak Detection)

நேர்மின்வாய் வலைவு பண்பிறக்கம் மேலே விளக்கப் பட்டுள்ளது. கிரிடு கசிவு பண்பிறக்கம் என்ற இன்னொரு முறையுமுண்டு. இது மிக்க உணர்வுள்ளதாகையால் (sensitive) இதுவே வெகுவாகப் பயன்படுகிறது. இதன் மின் சுற்று 126 (a) யிலும், இதன் தத்துவம் (b) யிலும் விளக்கப்பட்டுள்ளன. இதன் கிரிடு சுற்றில் C என்ற ஒரு மின்தேக்கியும் அதன் குறுக்கே Rg



படம் 126. கிரிடு கசிவு பண்பிறக்கம்

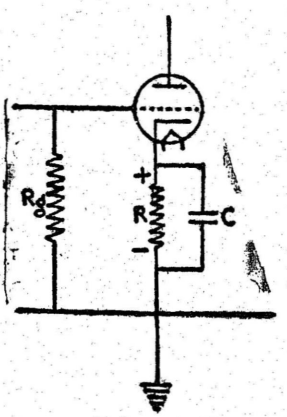
என்ற கிரிடு கசிவு மின் தடையும் உள்ளன. பண்பேற்றிய R. F. அலைகள் உள்வரும் போது, கிரிடு மின்னோட்ட வலைகோட்டில் (Ig—Eg) ஒரு வலைவு இருப்பதால். கீழ்க்கண்டவாறு பண் பிறக்கம் உண்டாகிறது. இவ்வலைவு காரணமாக, முன்னே நேர் மின்வாய் வலைவு முறையில் தகட்டு மின்னோட்டம் A. F. அதிர் வெண்ணில் மாற்றமடைந்தது போலவே, இங்கு சராசரி கிரிடு மின்னோட்டமும் A. F. அதிர்வெண்ணில் மாற்றமடைகிறது. இந்த கிரிடு மின்னோட்ட A. F. மாறுதல்கள் Rg வழியாகத்தான் சென்றுகவேண்டும்; ஏனென்றால், A. F. அலைகளுக்கு C மின் தேக்கியின் மறுப்பு மிக அதிகமாகும். Rg வழியாகச் செல்லும் இந்த A. F. மின்னோட்டம், Rg-க்குக் குறுக்கே அதே அதிர்வெண் ணில் மின்னழுத்த மாறுதல்களை உண்டுபண்ணி, கிரிடு மின் னழுத்தத்திலும் அதே A. F. வேறுபாடுகளை உண்டுபண்ணு கின்றது.

ஆகவே, கிரிடும் மின்னிழையும் ஒரு டையோடுபோலச் செயல் பட்டுப் பண்பிறக்கம் உண்டாக்குகின்றன. (கிரிடு மின்னோட்டத் தில்) பின்பு இவற்றை வால்வு ஒரு ட்ரையோடுபோல் செயல் பட்டுப் பெருக்குகின்றது.

தன் நிலை மின்னழுத்தம் (Self Bias) :

ஒரு ட்ரயோடு எவ்வாறு இயங்கப்போகிறது என்பது அதன் கிரிடின் நிலை மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்தது என்பது விளங் கும். உதாரணமாக, (Eg—Ip) வளைகோட்டின் நேரான பாகத் தின் நடுப் புள்ளிக்கு வருமாறு (படம் 110) கிரிடுக்கு மின்னழுத் தம் கொடுத்தால், வால்வு பெருக்கியாகச் செயல்படும். வளைகோட் டின் வளைந்த பகுதிக்கு வருமாறு (படம் 114) மின்னழுத்தம் கொடுத்தால், வால்வு பண்பிறக்கியாகச் செயல்படும் என்பதைப் பார்த்தோம். வால்வின் மின் சுற்றைத் துவக்கியவுடனே, வால் வில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையான மின்னோட்டம் ஓடுவதால், இதைப் பயன்படுத்தி, பிரத்தியேகமான பாட்டரி இல்லாமலேயே வால்வுக்கு நிலை மின்னழுத்தம் கொடுத்துவிடலாம்.

தன் நிலை மின்னழுத்தம் 127ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள் ளது. R என்ற மின் தடை எதிர் மின்வாய்க்கும் நிலத்திற்கு மிடையே வைக்கப்பட்டு, அதன் குறுக்கே C என்ற பெரிய மின் தேக்கி பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. Io என்ற தகட்டின்மின்னோட்டம் வால்வினுள் பாயும்பொழுது, அது R வழியாகவும் பாய்ந்து



படம் 127. தன்நிலை மின்னழுத்தம்

எதிர்மின் வாயக்கும் நிலத்திற்குமிடையே R I. என்ற மின் னழுத்த பேதத்தை உண்டுபண்ணுகிறது. எலக்ட்ரான்கள் எதிர் மின் வாயிலிருந்து தகட்டிற்குப் பாய்கிறபடியால், எதிர் மின்

வாய் நிலத்திற்கு ஒப்பிட்டால், RxIo வோல்டு **நேர் மின்ன**ழுத்த முடையதாக உள்ளது. கிரிடு Rg வழியாக நிலத்துடன் பிணைக் கப்பட்டிருப்பதால், அது பூஜ்ய மின்னழுத்தத்திலுள்ளது. ஆகவே, கிரிடு எதிர் மின்வாய்க்கு மைனஸ் RIo வோல்டு (minus RIo volts) நிலையிலுள்ளது. Rஇன் அளவு இன்னதென் பதைத் தேவையான நிலை மின்னழுத்தம், தகட்டு மின்னோட்டம் (Io) இவற்றைக் கொண்டு கணிக்கலாம்.

உதாரணமாக, சைகை வோல்டுகள் உள் தரப்படுமுன் நிலை யாக 2 m. g, தகட்டு மின்னோட்டம் (Io) பாய்கிறதென்றால், கிரிடுக்கு —3 வோல்டு நிலை மின்னழுத்தம் தருவதற்குத் தேவை யான மின் தடை

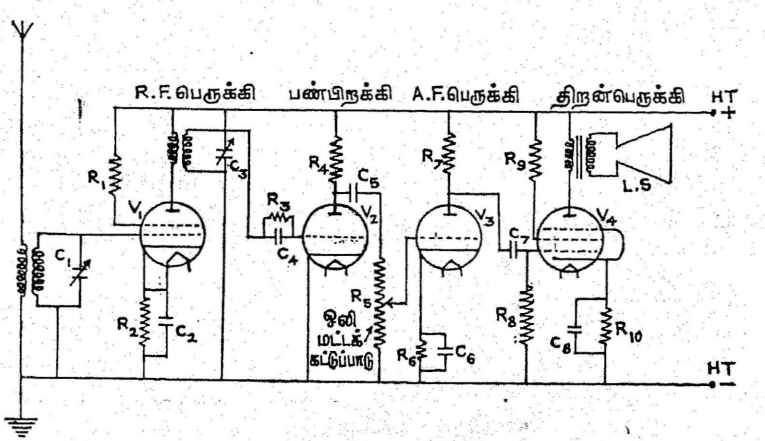
$$R = \frac{3}{2\times10^{-3}} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ ஓம்}$$

வால்வு ஒரு பெருக்கியாகச் செயல்படும்பொழுது, அதன் தகட்டு மின்னோட்டம் அடையும் மாறுதல்களால் இந்த மின் தடை (R)இன் குறுக்கே உள்ள நிலை மின்னழுத்தம் மாறுமலிருக்க வேண்டும். இதன்பொருட்டு C என்ற பெரிய மின் தேக்கி R இன் குறுக்கே பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. தகட்டு மின்னோட்ட மாறுதல் C-ன் வழியாக நிலத்திற்குச் சென்றுவிடும்.

தன் நிலை மின்னழுத்தத்தைப் பயன்படுத்தும் வால்வின் எதிர் மின்வாய் மறைமுகமாகச் சூடேற்றப்படுவதாய் இருத்தல் அவசியம்.

நேர் ரேடியோ ஏற்பி (The straight receiver)

இதுவரை நாம் தனித்தனியே கற்ற தத்துவங்களையும்



படம் 128. 'நேர்' ரேடியோ ஏற்பி.

செயல்முறைகளையும் ஒன்று சேர்த்து, ஒரு ரேடியோ ஏற்பியை உண்டுபண்ணிவிடலாம். அதன் மின்சுற்று 128ஆம் படத்தில் தரப்பட்டுள்ளது.

ஏரியல் சுருளுடன் பிணைக்கப்பட்ட L-c சுற்று, தேவையான அதிர்வெண்ணுக்கு, C_1-ஆல் சுரப்படுத்தப்படுகிறது. இவ் வலைகள் முதலாம் வால்வின் (V_1) கிரிடுக்கு உள் தரப்பட்டுப் பெருக்கமடைகின்றன. V_1 ஓர் டெட்ரோடு. R F பெருக்கி வால்வு; தன் நிலை மின்னழுத்தம் பெற்றது; இதன் திரை கிரிடு R_1 என்ற மின் தடையின் வழியாக R. T. க்குப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளதால், இதன் நேர் மின்னழுத்தம் = (H.T.) − R_1 இன் மின்னழுத்த பேதம். V_1 ஆல் பெருக்கமடைந்த R, F, உயர் அதிர்வெண் மின் னழுத்தங்கள் ஒரு B. F. மின்மாற்றி வழியாக, V_2 என்ற பண் பிறக்கி வால்வின் கிரிடுக்குத் தரப்படுகிறது. இம் மின் மாற்றித் துணைச் சுற்றிலுள்ள C_3 மின் தேக்கி, L-C சுற்றின் அதிர் வெண்ணுகேகே சுரப்படுத்தப்படுகிறது.

அலைப் பண்பிறக்கியானது, கிரிடுகசிவு முறையைப் பின்பற் றும் ஒரு ட்ரயோடு (V_2). இதன் பண்பிறக்கம் பெற்ற வெளிவரு வோல்டுகள், அடுத்த கட்டமான A. F. பெருக்கி வால்வுக்கு (V_3) R-C தொகுப்பு முறையில் உள் தரப்படுகின்றன. V_3-யின் கிரிடு கசிவு மின்தடை (Rs) ஒரு மின்னழுத்த மாற்றி (potentiometer). இதற்கு 'ஒலிமட்டம் கட்டுப்படுத்தி' (volume control) என்று பெயர். ஏனெனில், இம் மாறு மின் தடையின் குமிழைத் திருகி னால், V_2-விலிருந்து வெளிவரும் A,F. மின்னழுத்தங்களின் வேண் டிய அளவை V_3 பெருக்கி வால்வுக்கு ஊட்டி, ஒலியின் மட்டத்தை வேண்டிய அளவுக்குக் கட்டுப்படுத்தலாம். V_3-யிலிந்து பெருக்க மடைந்து வெளிவரும், A. F. அலைகளைப் பென்டோடு வால்வு V_4-க்கு R-C தொகுப்பால் ஊட்டி, திறனைப் பெருக்கி (power amplified), ஒலிபெருக்கியுனுள் (L S.) செலுத்தி ஒலியாக மாற்றப் படுகிறது.

'சூப்பர் ஹெட்' கலக்கிப் பிரிக்கும்முறை (Superhete-rodyne principle)

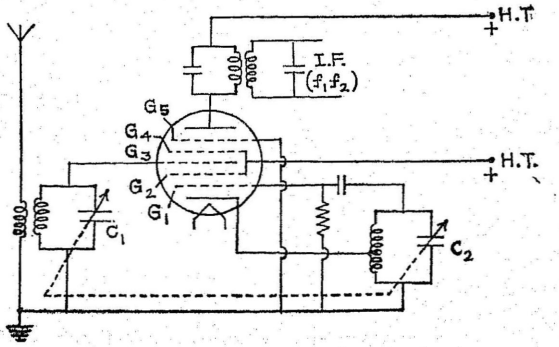
மேலே பார்த்த 'நேர்' ரேடியோ ஏற்பிகளே ஒலிபரப்புதல் துவங்கிய ஆரம்ப காலத்தில் பயன்பட்டன வெனினும், தற்காலத் தில் ஏறக்குறைய எல்லா ஏற்பிகளும் 'சூப்பர் ஹெட்' என்ற முறை யைப் பின்பற்றியனவாகவே உள்ளன. ஏனென்றால், அவை மிக வும் திறனுள்ளவை. சூப்பர் ஹெட் தத்துவம் 1917ஆம் ஆண்டில் முதன்முதலாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதென்ன வென்றால்; ரேடியோநிலையத்திலிருந்துவரும் உயர் அதிர்வெண் (RF) அலைகள்,

ரேடியோ ஏற்பிக்குள் இருக்கும் அலையியற்றி உண்டுபண்ணும் அலைகளுடன் கலக்கப்பட்டு, அவை இரண்டிற்குமிடையே உள்ள வேறுபாட்டு அதிர்வெண்ணை ($f_1 - f_2$)ப் பெருக்கி, முந்தியமுறையில் பண்பிறக்கி, ஒலியை ஏற்பதாகும். 'Heterodyne' என்ருல் இரு வெவ்வேறு அதிர் வெண்களையுடைய அலைகளைக் கலக்கும் முறை. இவற்றின் வேறுபாடு ($f_1 - f_2$) செவியுணரா (supersonic) அதிர்வெண்ணுக இருப்பதால், இம் முறைக்கு 'சூப்பர் சானிக் ஹைட்ரடைன்' என்ற பெயர் வந்து 'சூப்பர் ஹெட்' ஆகமாறிற்று.

வெளியிலிருந்து வரும் ரேடியோ அலையின் அதிர்வெண் f_1 என்றும், ஏற்பியிலுள்ள அலையியற்றி உண்டுபண்ணும் அலையின் அதிர் வெண் f_2 என் றும் கொண்டால், அவை இரண்டையும் கலக்கும்பொழுது உண்டாகும் வேற்றுமை அதிர் வெண் ($f_1 - f_2$) 'இடை அதிர்வெண்' (Intermidiate frequency : I.F.) எனப்படும். இது ஒரு மாறிலி. பெரும்பாலான ஏற்பிகளில இதன் அளவு 455 கி. சை./வி. அதாவது, 2000 கி. சை/வி. அதிர் வெண்ணுடைய ரேடியோ அலைகளை ஏற்கவேண்டுமானுல், ஏற்பியிலுள்ள அலையியற்றியை 2455 கி.சை./வி.க்குச் சுரப்படுத்தி அலைகளை உண்டுபண்ணி, ஏற்கப்படும் அலைகளுடன் கலக்கப்படுகிறது. அதன் பின்னர் வரும் சுற்றுகள், வால்வுகள் யாவும் 455 கி.சை./வி. அலைகளைப் பெருக்கவும், பண்பிறக்கவும் ஒழுங்குபடுத்தப்பட்டுள்ளன வாகையால், முன்னே விளக்கப்பட்ட செயல்பாடுகள் அனைத்தும் திறனுடன் செய்யப்படுகின்றன. வருகிற அதிர் வெண் எதுவாயினும, அதை 455 கி.சை./வி. அதிர்வெண்ணுக்கு மாற்றுவதே இவ் வேற்பியின் முதல் வேலை. சுற்றுகள், வாலுவுகளெல்லாம் ஒரு குறிப்பிட்ட (I.F.) அதிர்வெண்ணை மட்டும் கையாளவேண்டியிருப்பதால், அதை மிகத் திறமையுடன் செய்ய முடிகிறது.

இவ்வாறு, ஏற்கப்படும் R.F. அதிர்வெண் அலைகளை I.F. அதிர்வெண் அலைகளாக மாற்றும் முதலாம் வால்வுக்கு 'மாற்றி' வால்வு (converter tube) என்று பெயர். 129ஆம் படத்தில் வெகுவாக உபயோகத்திலிருக்கும் 'பெண்டா கிரிட்' மாற்றி வால்வு சுற்று காட்டப்பட்டுள்ளது. இவ் வால்வில், 5 கிரிடுகள் உள்ளன. (பெண்டா என்ருல் 5). G_1, G_2, எதிர் மின்வாய், மூன்றும் சேர்ந்து அலையியற்றியாகச் செயலாற்றுகின்றன. இது ஹார்ட்லி அலையியற்றிச் சுற்று என்பது உடனே தெரியவரும். இந்த அலையியற்றித் 'தகடு' G_3 என்ற கிரிட் ஆகையால், எலக்ட்ரான்கள் இந்த அதிர்வெண்ணுடன் பாய்ந்து, $_1G_2$ வழியாக மேலும் சென்று, G_3 கிரிட்டை வந்தடைகின்றன. அக் கிரிட்டுக்கு ரேடியோ நிலையத்திலிருந்து வரும் அலைகள் ஊட்டப்படுவதால்,

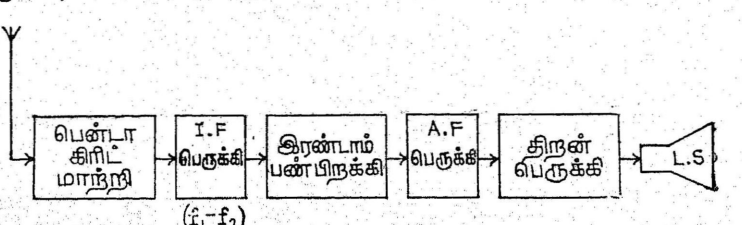
பாய்ந்து செல்லும் எலக்ட்ரான்களின்மீது இந்த அதிர் வெண்ணு



படம் 129. பெண்டா ளரிட் மாற்றி

செயல்படுகிறது. இந்த இரு அதிர் வெண்களையும் பெற்ற எலக்ட்ரான் மின்னோட்டம், திரை கிரிட் (G_4), அடக்கு கிரிட் (G_5) இவற்றினூடே சென்று; தகட்டை அடைகிறது. ஆகவே, தகட்டு மின்னோட்டத்தில், இரு அதிர் வெண்கள் கலக்கப்படுவதால், அவற்றின் கூட்டலும் கழித்தலும் ($f_1 + f_2$), ($f_1 - f_2$) ஆன இரு அதிர் வெண்களும் இருக்கும். தகட்டுச் சுற்று 455 கி.சை./வி.க்குச் சுரப்படுத்தப் பட்டிருப்பதால், ஏற்பியின் அலையியற்றியின் அதிர்வெண் (f_1), உள்வரும் அதிர்வெண் R.F.(f_2)-ஐவிட, 455 கி.சை./வி. அதிகமாக இருக்குமாறு, C_2 மின் தேக்கியை மாற்றியமைக்க வேண்டும். உண்மையில், ஏரியல் சுற்றின் C_1 மின் தேக்கியும் ஒரே அச்சில் ஏற்றப்பட்டிருப்பதால் ('ganged') ஒரு குமிழைத் திருகும்பொழுது இரு மின்தேக்கிகளும் ஒரே அளவாக மாறி, இரு அதிர்வெண்களின் வித்தியாசம் எப்பொழுதும் 455 கி.சை./வி. ஆக இருகுமாறு ஒழுங்கு செய்யப்பட்டுள்ளது.

சூப்பர்ஹெட் ஏற்பியின் தொகுப்புச் சுற்றுப்படம் (block diagram) கீழே தரப்பட்டுள்ளது :



படம் 129(a) 'சூப்பர்ஹெட்' ஏற்பி

ஏரியலிலிருந்து வரும் R.F. அலைகள் பெண்டா கிரிட் மாற்றியில், I. F. ஆக மாற்றமடைந்து, பெருக்கமடைந்து, டையோடு வால்வால் பண்பிறக்கமடைகிறது. பிறகு A.F. பெருக்கமும், திறன் பெருக்கமடைந்து, ஒலிபெருக்கியினுள் செலுத்தப்பட்டு ஒலியாக வருகிறது.

அத்தியாயம் 23

வினாக்கள்

1. அலைப் பண்பேற்றம் என்பது என்ன ? அதை எவ்வாறு பெறலாம் ?

2. ஒரு மூன்று-வால்வு ஏற்பியின் படத்தை வரைந்து, அதன் வெவ்வேறு பகுதிகள் செயல்படும் விதத்தை விளக்கு.

3. பண்பிறக்கம் என்பது யாது ? அதைப் பெறும் வெவ்வேறு முறைகளை விளக்கு.

4. 'சூப்பர்ஹெட்' கலக்கிப் பிரிக்கும் முறையை விளக்கு.

24. மின்காந்த அலைகளின் பரப்பல்

(Propagation of Electromagnetic Waves)

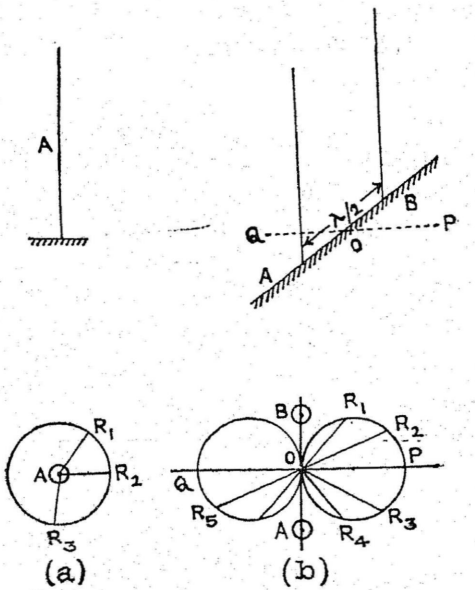
ரேடியோ அலைகள் உயர் அதிர்வெண்ணில் உண்டுபண்ணப்பட்டு. A.F. அதிர் வெண் சைகை அலைகளால் பண்பேற்றம் பெற்று, பெருக்கமும் பெற்று, ஏரியல் என்னும் வான் கம்பியின் உதவியால் எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்பப் பெறுகின்றன. அவற்றை எவ்வாறு ரேடியோ ஏற்பிகளில் ஏற்று, பண்பிறக்கம், முதலியன செய்து, பரப்பப்பட்ட பேச்சு, இசை இவை மறுபடியும் ஒலியாக மாற்றப்படுகின்றன என்பனவற்றை மேற்கண்ட அத்தியாயங்களில் பார்த்தோம்.

ஏரியல்கள் (Aerials or Anternae):

ஏரியல் என்பது உலோகக் கம்பி அல்லது தண்டு. இது மின்காந்த அலைகளைப் பரப்புவதற்கும், பரப்பி வரும் அலைகளை ஏற்பதற்கும் பயன்படுகிறது. அலை பரப்பியின் ஏரியல் ஓர் உயரமான, செங்குத்தான உலோகக் கம்பம். அதற்குத் தன் மின்தேக்கமும் (self capacity) தன் மின்தூண்டலும்(self inductance: L) உண்டு. ஆகையால் ஏரியல் ஒரு L-C சுற்றுப்போல் செய்யப்படுகிறது. உயர் அதிர் வெண் மின்னோட்டங்கள் அதற்கு ஊட்டப்பட்டால் ஏரியலில் அலைகள் உண்டாகி, அலைவு ஆற்றலில் ஒரு பகுதி வெளியே பரப்பப்படும். செங்குத்தான ஏரியலிலிருந்து பரப்பப்படும் ஆற்றல் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே செறிவுடன் விஞ்டிக்கு 186000 மைல் வேகத்தில் பரவுகிறது. இவ்வாறு செல்கையில் அதன் செறிவு, செல்லும் தூரத்தின் தலைகீழ் இருமடி விகிதத்தில் (inverse square law) குறைகிறது. அத்துடன், செல்லும் வழியிலுள்ள மரங்கள், வீடுகள் மலைகள் முதலிவற்றால் சிதறுண்டும், உட்கிரகிக்கப்பட்டும் செறிவு குறைகிறது.

இரண்டு அல்லது இரண்டிற்கு மேற்பட்ட ஏரியல்களைப் பயன்படுத்தி, பரப்பப்படும் திறனை நமக்குத் தேவையான திசை

யில் குவித்து அனுப்பலாம். ஏரியல்களைச் சுற்றி வெவ்வேறு திசையில் செல்லும் ஆற்றலின் அளவைக் குறிக்கும் படத்திற்கு 'திசை ஆற்றல் படம்' (Polar diagram) என்று பெயர். செங்குத்தான ஒற்றை ஏரியலின் திசை ஆற்றல் படம் ஒரு வட்டம். அதாவது எல்லாத் திசைகளிலும் சமமான ஆற்றல் பாய்ந்து (தூரத்துடன் குறைந்து கொண்டே) செல்கிறது. (படம் 130 (a). படத்தில் மேலே ஏரியல் A-யும் கீழே அதன் திசை ஆற்றல் படமும் தரப்பட்டுள்ளன. கீழ்ப் படத்தில் A என்ற



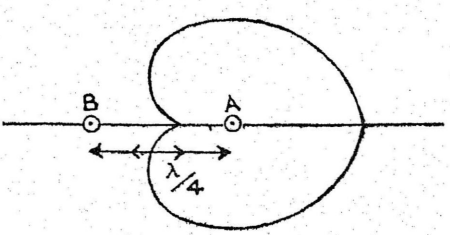
படம் 130 செங்குத்து ஏரியல்களின் திசை-ஆற்றல் படம்.

புள்ளி செங்குத்து ஏரியலைக் குறிக்கின்றது. AR, AR_2, AR_3... என்பன R, R_2. R_3...திசைகளில் செல்லும் ஆற்றலின் அளவுகளைக் குறிக்கின்றன. இவை யாவும் சமமே என்பது வெளிப்படை.

படம் 130 (b)ல் இரு செங்குத்து ஏரியல்கள் ஒரே அலையியற்றிக்குச் சம கட்டத்தில் (in phase) பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆனால் அவற்றிற்கிடையே உள்ள தூரம் $\lambda/_2$. கீழே அவற்றின் திசை-ஆற்றல் படம் தரப்பட்டுள்ளது. (λ என்பது அலையின் நீளம்). AB அல்லது BA என்ற திசையில் A, B இரு ஏரியல்களிலிருந்து செல்லும் அலைகள், $\lambda/_2$ பாதை வேற்றுமை (அல்லது π கட்ட வேற்றுமை) உடையனவாயிருத்தலால், அவை ஒன்றையொன்று

அழித்துவிடும். ஆகையால் AB, BA, திசைகளில் அலைப் பரப்பு பூஜ்யம். OP அல்லது OQ என்ற [ABயின் செங்குத்துச் சம வெட்டிக் கோட்டின்—Perpendicular bisector] திசையில் இரு ஏரியல்களிலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சுக்கள் சம கட்டத்திலிருக்குமாகையால் ஒன்றை யொன்று வலியூட்டி, ஆற்றல் உச்சமாயிருக்கும். படத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் இதன் திசை-ஆற்றல் படம் தரப்பட்டுள்ளது. இது 8 என்ற எண்போல் உள்ளது. O விலிருந்து OR_1, OR_2, OR_3...என்ற கோடுகளின் நீளம் அத்திசையில் செல்லும் ஆற்றலின் ஒப்பு அளவுகளைக் குறிக்கின்றன. OA, OB திசையில் ஆற்றல் பூஜ்யமாயும், OP, OQ திசைகளில் உச்சமாயுமிருப்பது தெரியவருகிறது.

A, B என்ற ஏரியல்கள் $\lambda/4$ தூரத்தில் வைக்கப்பட்டு, A-க்கு மட்டும் ஆற்றல் ஊட்டினால், B யானது தன் மீது விழும் அலைகளைப் பிரதிபலிக்கும். A யிலிருந்து AB திசையில் செல்லும் அலைகள் $\lambda/4$ தூரம் சென்று, ($\pi/2$ என்ற கட்ட பேதமடைந்து), B யால் பிரதிபலிக்கப்படுவதால் இன்னொரு π கட்டபேதமுற்று, மறுபடியும் A-க்கு வந்து சேரும்பொழுது இன்னொரு π_3 கட்ட

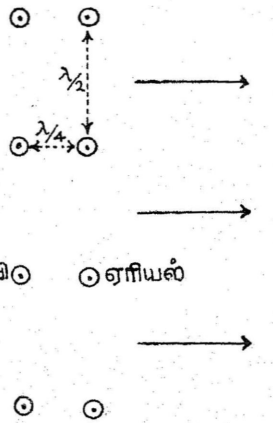


படம் 131 பிரதிபலிப்பு ஏரியல்

பேதம் பெறுவதால், மொத்தம் 2π கட்டபேதம் பெற்றுத் திரும்பி வருகிறது. ஆகவே BA என்ற திசையில் A-யின் அலைகளும், B-யில் பிரதிபலிக்கப்பட்டு வரும் அலைகளும் ஒரு கட்டத்திலுள்ளன, ஆகையால் இத்திசையில் அவை ஒன்றையொன்று வலியூட்டும். இது 131ஆம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பிரதிபலிக்கும் ஏரியல்களின் திசைத் தன்மையை முந்திய பத்தியில் கண்ட திசைத் தன்மையுடன் சேர்த்து, ஓர் 'ஏரியல் அணி'யை (Aerial array) அமைத்தால் (படம் 132) ஆற்றல் அனைத்தும் ஒரே திசையில் பரப்பப்படுகிறது. இதில் இரு வரிசையில் ஏரியல்கள் வைக்கப்பட்டுள்ளன, முன் வரிசையிலுள்ள ஏரியல்களுக்கு ஆற்றலூட்டப்படுகிறது. பின் வரிசைகளிலுள்ளவைகளெல்லாம் பிரதிபலிக்கும் ஏரியல்கள். இரு வரிசைகளுக்கிடையே

உள்ள தூரம் λ_g. இதனால் மேலே விளக்கியுள்ளவாறு ஒரே



படம் 132 ஏரியல் அணி

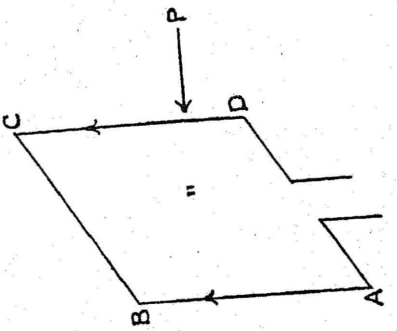
திசையில் (வலப்புறமாக) ஆற்றல் செலுத்தப்படுகிறது. இதற்குக் 'கற்றைப் பரப்பு' (Beam transmission) என்று பெயர். அயல்நாடுகளுக்கு ஒலிபரப்ப வெகுவாய்ப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

வளைகம்பி ஏரியல்: திசை கண்டுபிடித்தல் (Loop aerial : Direction finding :

மேலே விளக்கப்பட்ட ஏரியல்களெல்லாம் ஒலிபரப்பும் நிலையத்தில் செயல்படும் ஏரியல்கள். ஏற்பியின் ஏரியல்கள் பெரும்பாலும் இரு கம்பங்களிடையே கிடையாக (Horizontally) இழுக்கப்பட்ட ஓர் உலோகக் கம்பியாகும். இது எல்லாத் திசைகளிலிருந்து வரும் அலைகளையும் சமமாக ஏற்கும்.

ஆனால் ஒரு கம்பியை வட்டமாகவோ, சதுரமாகவோ வளைத்தால், அதற்குத் திசைத் தன்மை ஏற்பட்டுவிடுகிறது. ABCD என்ற சதுரமாக வளைத்த ஒரு கம்பியை P என்ற ஒலிப்பரப்பிலிருந்து வரும் அலைகளுக்குக் குறுக்கே (தளம் செங்குத்துதாக) வைத்தால், அலைகள் AB, CD என்ற செங்குத்துப் புயங்களுக்கு ஒரே சமயத்தில் வந்து சேர்ந்து ஒருதிசையான மின்னோட்டங்களை உண்டுபண்ணுகின்றன. (படம் 133). இதனால் அம் மின்னோட்டங்கள் ஒவ்வொரு கணத்திலும் ஒன்றையொன்று அழித்துவிடுகின்றன; ஏற்பியல் ஒலி மிக்க குறைவாக உள்ளது. வளையத்தைச் சுற்றி, அதன் தளம் p-க்கு இணையாக இருக்குமாறு வைத்

தால், அலைகள் AB-க்கும் CD-க்கும் வெவ்வேறு கணங்களில்



படம் 133 விளை கம்பி ஏரியல்

வந்து சேர்ந்து தொகுபயன் மின்னோட்டம் உண்டுபண்ணுவதால் ஏற்பியில் உச்ச ஒலி கேட்கும்.

இவ் விளைவைப் பயன்படுத்தி, ரேடியோ அலைகளைக்கொண்டு திசையைக் கண்டுபிடிப்பது வழக்கமாய் விட்டது, ஒரு வளைகம்பி ஏரியலை மெதுவாகச் சுற்றினால், அதன் தளம் ஒலிபரப்பு நிலையத்திற்கு நேராக இருக்கும்பொழுது ஒலி உச்சமாகவும், தான் நிலையத்திற்குச் செங்குத்தாக இருக்கும்பொழுது ஒலி மிகக்குறைவாகவும் இருக்கும். இதைக் கொண்டு நிலையத்தின் திசையை அறியலாம். பிறகு ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் குறிப்பிட்ட தூரம் சென்று, மறுபடியும் முன்போலவே நிலையத்தின் திசையைக் கண்டுபிடித்தால், இவ் விரு கோடுகளும் சந்திக்குமிடமே நிலையத்தின் இடமாகும். இதிலிருந்து ஏற்பியின் இடமும் தெரியவரும். மூடுபனியிலோ, இரவிலோ கப்பல்களும் ஆகாய விமானங்களும் தமது சரியான இடம் என்னவென்பதை அறிந்து கொள்வதற்கு அறியப்பட்ட ஓரிரு நிலையங்களின் திசைகளை இவ்வாறு கண்டுபிடித்து, அதிலிருந்து தமது இடத்தையும் கண்டுபிடித்துக்கொள்கின்றன.

அயனி மண்டலம் (The Ionosphere)

ஓர் ஏரியலிலிருந்து ரேடியோ அலைகள் பரப்பப்பட்டால் ஒரு பகுதி நிலத்தன்மீது ஊர்ந்து செல்கிறது; மீதி ஆகாயத்தினுள் சென்றுவிடுகிறது. இப் பகுதிகளுக்கு 'நிலஅலை' (ground wave), 'வான அலை' (sky wave) என்று உபயர் தரப்பட்டுள்ளன. தரை

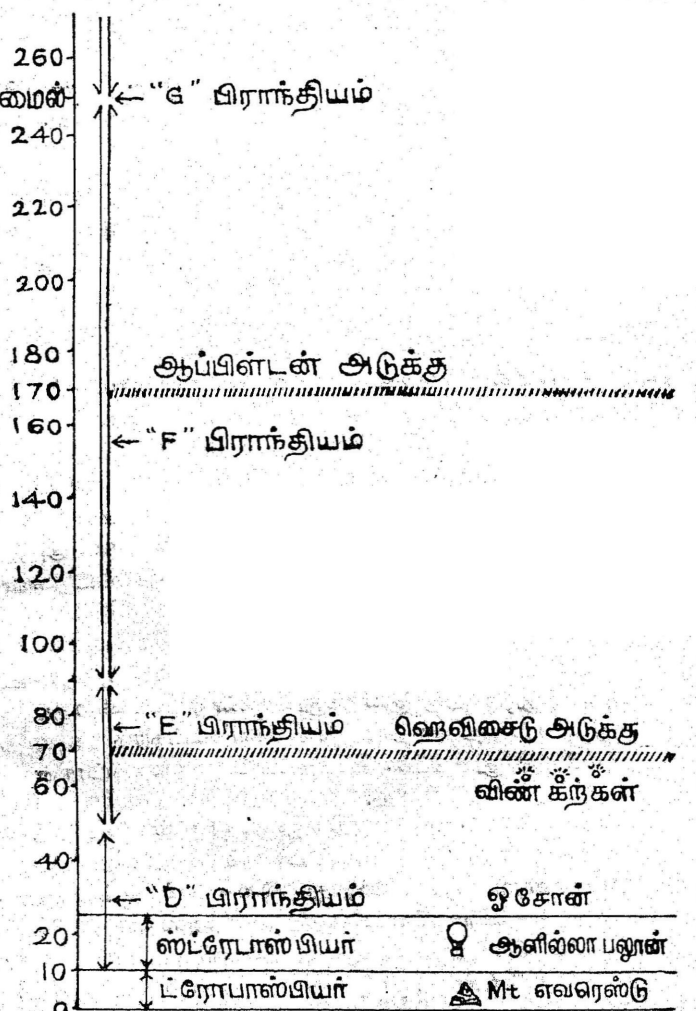
வழியாகச் செல்லும் அலை, சுமார் நூறு இரு நூறு மைல்களுக்குச் செல்லும். அலைநீளம் அதிகமாயிருந்தால், அவ்வலைகள் செல்லும் தூரமும் அதிகமாயிருக்கும்.

இது காரணமாகவே, ரேடியோ ஒலிபரப்புதலுக்குமுதலில் நீள அலைகளையே உபயோகித்து வந்தனர். 1922ஆம் ஆண்டிற்குப் பிறகுதான், சிற்றலைகள் (short waves) உபயோகத்திற்கு வரத் தொடங்கின. ரேடியோ பொழுதுபோக்காளர்கள் 200 மீட்டருக்குக் குறைவான அலைநீளங்களையும் இன்னும் மேலும்மேலும் குறைவான அலைநீளங்களையும் பயன்படுத்தி, தூர ஒலிபரப்புக்கு அவை நீள அலைகளை விட அதி சிறந்தவை என்று கண்டுபிடித்தனர். அதன்பிறகு சிற்றலை நிலையங்கள் வெகு விரைவில் அதிகரித்தன.

1901ஆம் ஆண்டில் விஞ்ஞானிகள் எதிர் பார்த்ததற்குமாறுக மார்கோனி இங்கிலாந்திலிருந்து ரேடியோ செய்தி அனுப்பி அதை அமெரிக்காவில் ஏற்று, அட்லாண்டிக் சமுத்திரத்தைத் தாண்டி ரேடியோ அலைகள் செல்லக்கூடும் என்று காண்பித்தார். இவ் வாச்சரியமான சாத்தியத்தை விளக்குவதற்காக, இங்கிலாந்தில் ஹெவிசைடு (heaviside) என்பவரும் அமெரிக்காவில் கென்னெலியும் (kennelly) பூமிக்கு வெகுஉயரத்தில் அயனி மண்டலம் உள்ளதென்றும், அதுவே ரேடியோ அலைகளைப் பிரதிபலித்து, மார்க்கோனியின் அமெரிக்க ஒலிபரப்பைச் சாத்தியமாக்கிற்று என்றும், 1902ஆம் ஆண்டில் தனித்தனியே அறிவித்தனர். அப்படிப்பட்ட அயனி மண்டலம் 50-90 மைல் உயரத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. அதற்கு 'ஹெவிசைட் கென்னெலி அடுக்கு' (heaviside-kennelly layer) என்று பெயர் தரப்பட்டுள்ளது. (அதற்கு 'E-பிராந்தியம்' (E-region) என்றும் பெயருண்டு). அதற்குத் தெளிவான எல்லைகளில்லை இவ்வடுக்கில் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாகிக்கொண்டே போய், ஓர் உச்ச நிலையை அடைந்து, பிறகு குறைந்துகொண்டு போகிறது. சூரியனிலிருந்து வரும் புற ஊதாக் கதிர்களை உட்கிரகித்த காற்று மூலக்கூறுகளிலிருந்து வெளியேற்றப்பட்ட எலக்ட்ரான்களை இவை என்று நம்பப்படுகிறது.

ரேடியோ அலைகளைக்கொண்டு இவ்வடுக்கின் உயரத்தைக் கணித்ததில், அதன் சராசரி உயரம் பகலில் குறைந்து, இரவில் அதிகரிக்கிறதென்று தெரியவந்தது. இதை 1922ஆம் ஆண்டில் எக்கிள்ஸ் (Eccles) விளக்கினார்: சூரியன் அஸ்தமித்தபின் புற ஊதாக் கதிர்கள் நின்று போவதால், அயனியாக்கமும் நின்று விடுகிறது; அடுக்கின் கீழ்ப்பாகத்தில் காற்றின் அடர்த்தி

அதிகமாகையால், காற்றணுக்களுடன் எல்க்ட்ரான்கள் அடிக்கடி மோதி, நேர் மின் அயனிகளால் கைப்பற்றப்பட்டு விடுகின்றன. ஆகவே, சூரிய அஸ்தமத்திற்குப் பின்னர், இவ்வயனி மண்டலத்தின் அடிப்பாகம் அயனிகளை இழந்து, அதன் சராசரி உயரம் அதிகமாகிறது. சூரியன் உதித்தவுடனே பறுபடியும் வெகு விரைவில் அயனி மண்டலம் கீழே இறங்கிவிடுகின்றது.



படம் 134. அயனி மண்டலங்கள்

1925ஆம் ஆண்டில் ஆப்பிள்டன் (appleton) என்பவர் ஹெவிசைடு அடுக்கிற்குமேலே இன்னோர் அடுக்குள்ளதென்றும், அதுவே சிற்றலைகளைப் பிரதிபலிக்கிறதென்றும் காண்பித்தார். 'ஆப்பிள்டன் அடுக்கு' என்று ('F' பிராந்தியம் என்றும்) பெயர்கொண்ட இவ்வயனி மண்டலம், 90-250 மைல் தூரத்திற்கு வியாபித்துள்ளது. இவ்வடுக்கின் அயனிச் செறிவு ஹெவிசைடின் செறிவை விட அதிகமானது. சூரியனிலிருந்து வரும் ஆல்பாக் கதிர்களால் ஆகாய மண்டலத்தின் மேல்பாகம் அயனிக்கப் படுவதால் இவ்வடுக்கு உண்டான தென்றும் நம்பப்படுகிறது.

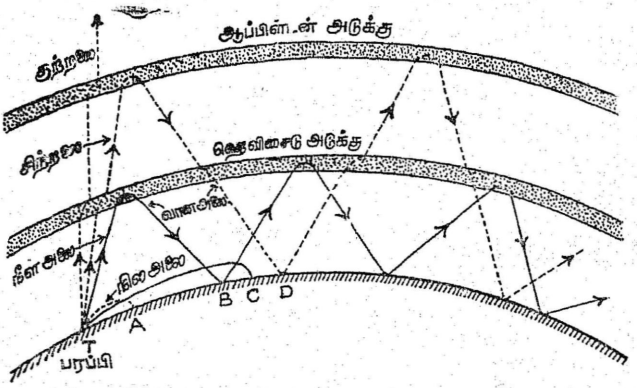
இவ்வயனி மண்டலங்களை 134ஆம் படத்தில் காணலாம். அயனி மண்டலங்களின் அடர்த்தி மிக மிகக் குறைவான தென்பதை மனதில் வைக்கவேண்டும். அவற்றின் மூலமாகவே சூரியன், சந்திரன் விண்மீன்கள் முதலிய யாவற்றையும் தெளிவாகக் கண்கிறோமல்லவா?

ஒலிபரப்பியிலிருந்து மேலே செல்லும் நீள அலைகள் (குறைந்த அதிர்வெண் உடையவை) ஹெவிசைடு அடுக்கில் பிரதிபலிக்கப்பட்டு பூமிக்குத் திரும்பி வருகின்றன. அதிக அதிர்வெண் உடைய சிற்றலைகள் ஹெவிசைடு அடுக்கினூடே மேலே சென்று, ஆப்பிள்டன் அடுக்கில் பிரதிபலிக்கப்பட்டு பூமிக்குத் திரும்பி வருகின்றன. இன்னும் சிறிய குற்றலைகள் (10 மீட்டருக்குக் குறைவான நீளமுள்ளவை; 30 மெகாசைகிளுக்கு அதிகமாக அதிர்வெண்ணுடையவை) இவ்விரு அடுக்குகளினூடே போய், விண் வெளிக்குச் சென்று மறைந்துவிடுகின்றன.

T என்னும் அலை பரப்பியிலிருந்து மேலே செல்லும் நீள அலைகள் தடிப்பக் கோடுகளாலும், சிற்றலைகள் இடைவிட்ட கோடுகளாலும் காட்டப்பட்டுள்ளன. (படம் 135). ஹெவிசைடு அடுக்கில் பிரதிபலிக்கப்படும் நீளஅலைகள் மறுபடியும் B என்னுமிடத்தில் பூமியை வந்தடைகின்றன. TB என்ற தூரத்திற்குத் 'தாவு தூரம்' (skip distance) என்று பெயர். சிற்றலையின் தாவு தூரம் TD. நிலத்தின்மீது செல்லும் நில அலைகளில், நீள அலை TC வரையும், சிற்றலை TA வரைக்கும் செல்கின்றன. Aயிலிருந்து Dவரைக்கும் உள்ள பிராந்தியத்தில், சிற்றலைகள் தரை வழியாகவோ வானத்திலிருந்தோ வந்து சேர வழியில்லை. இப் பிராந்தியத்தியத்திற்கு சிற்றலையின் 'நிசப்தஇடம்' (dead space) என்று பெயர். நீள அலைக்கு நிசப்த இடம் கிடையாது.

வளிமின் குழப்பங்கள் என்பன ஒலிபரப்பைக் கேட்கையில் உண்டாகும் 'தடார்,' 'கிரீச்', 'பர்ர்ர்' என்ற பல்வேறு குழப்ப

ஒலிகளாகும். இவற்றிற்குப் பல காரணங்களுண்டு. அருகிலோ, வெகு தூரத்திலோ இடிமேகங்கள் இருந்தால் இவ்வித இரைச்சல்கள் அடிக்கடிநேரும். சூரியனில் சில சமயங்களில்



படம் 135. அயனி அடுக்குகளில் ரேடியோ அலைத்திருப்பம்.

வளி மின் குழப்பங்கள், மங்குதல் முதலியன, (Atmospherics, fading etc.)

பெரும் குழுறல்கள் ஏற்பட்டு, அயனி மண்டல அடர்த்தியில் திடீர் மாறுதல்களையும், அயனிகளில் குழப்ப ஓட்டங்களையும் உண்டுபண்ணும். அச் சமயங்களில் ஏற்பியில் பல்வேறு விதக் குழப்பங்கள் உண்டாகி, பேச்சு இசை இவை தெளிவாகக்கேட்கா. பகல் நேரத்தில் சூரியக் கதிர்களால் அயனி மண்டலத்தின் அடர்த்தி சதா மாறுதலடைந்து கொண்டிருப்பதால் குழப்ப ஓசைகள் வெகுவாக உண்டாகும். இரவு நேரங்களில் இவ்விதக் குழப்பஒலிகள் பெரும்பாலும் இரா.

இவ்வித 'இரைச்சல்'களுடன் செயற்கையாக உண்டாகும் பல 'இரைச்சல்'களும் குழப்பமுண்டு பண்ணலாம். முக்கியமாக, தொழில்பேட்டைகள் அருகிலும், மின் பொறிகளும், பெட்ரோல் என்ஜிகளும் செயல்படுமிடங்களிலும், வேறெந்த மின்சார வேலைகள் நடை பெறுகின்றனவோ அங்கெல்லாம் மின் அலைகள் பல்வேறு நீளங்களில் உண்டாகி, ரேடியோ ஏற்பைப் பாதிக்கும்.

மங்குதல் (fading) என்பது, ரேடியோஒலி குறைந்தும் அதிகரித்தும், துரிதமாகவோ மெதுவாகவோ சதா மாறுதலடைவதைக் குறிக்கும். தரை வழியாகவும் அயனி அடுக்கில் பிரதிபலிக்கப்பட்டும் வரும் இரு அலைகளுக்குமிடையே $(n+\frac{1}{2})\lambda$

அல்லது $n\lambda$ என்ற பாதை வேறுபாடு ஏற்பட்டால், அவற்றிற்கு இடையே குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்பட்டு, ஒலியின் செறிவு மங்கியும் உயர்ந்தும் மாறும். சில சமயங்களில் இவ்வித மாறுவேகு துரிதமாக ஏற்படுவதன் காரணம், அயனி அடுக்கின் உயரம் வெகு துரிதமாக மாறுவதால் என்றும் தெரிகிறது.

அத்தியாயம் 24

வினாக்கள்

1. ரேடியோவைக் கொண்டு திசையைக் கண்டுபிடிக்கும் முறையை விளக்கு.
2. அயனி மண்டலத்தைப்பற்றிக் குறிப்பெழுது.

25. டெலிவிஷன், ரேடார்

(Television, Radar)

மிகமிக உயர் அதிர்வெண்ணுடைய மின்காந்த அலைகளைக் கொண்டு படங்களையும், இயற்கைக் காட்சிகளையும் ஓரிட மிருந்து மற்றொரிடத்திற்கு அனுப்புகின்றனர். இதற்கு டெலிவி ஷன் (Television) என்று பெயர். இதே உயர் அதிர்வெண்ணு டைய குற்றலைகளை (Micro waves)க் கொண்டு ஆகாய விமானி கள், கப்பல் மாலுமிகள் முதலியோரை வழி நடத்தவும், வேறு பல பாதுகாப்பு முறைகளுக்கும் பயன்படுத்துகின்றனர். இம் முறைகளுக்கு ரேடார் (Radar) என்று பெயர். இவ் விருதுறை களும் மிகவும் அதிகமாய் வளர்ந்துள்ளனவாகையால், இவற றின் முக்கியமான குறிப்புகள் சிலவற்றை மட்டும் விளக்குவோம்.

டெலிவிஷன் (Television)

டெலிவிஷன் என்பதற்கு 'தூரத்திலிருந்து பார்த்தல்' என் பது பொருள். (Tele = தூர ; vision = பார்வை). ஒலிபரப்புதலில், ஒலி அலைகள் மின் அலைகளாக மாற்றப்பட்டு, உயர் அதிர் வெண்ணுடைய 'ஊர்தி' அலைகளில் பண்பேற்றம் பெற்று, எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்பப்படுகின்றன. டெலிவிஷனில் ஒளி வேறுபாடுகள் ஒளிமின்கலனால் மின்வேறுபாடுகளாக மாற்றப் பட்டு, அதி உயர் அதிர்வெண்ணுடைய ஊர்தி அலைகளில் பண் பேற்றம் பெற்றுப் பரப்பப்படுகின்றன. ஏற்பியின் எதிர் மின் கதிர் ஒளிர்திரையில் இம் மின் வேறுபாடுகள் மறுபடியும் ஒளி வேறுபாடுகளாக மாற்றமடைந்து, அனுப்பப்படும் படம் ஒவ் வொரு வரியாக மறுபடியும் கூட்டப்பட்டு, பழைய படத்தை உண்டுபண்ணுகின்றன.

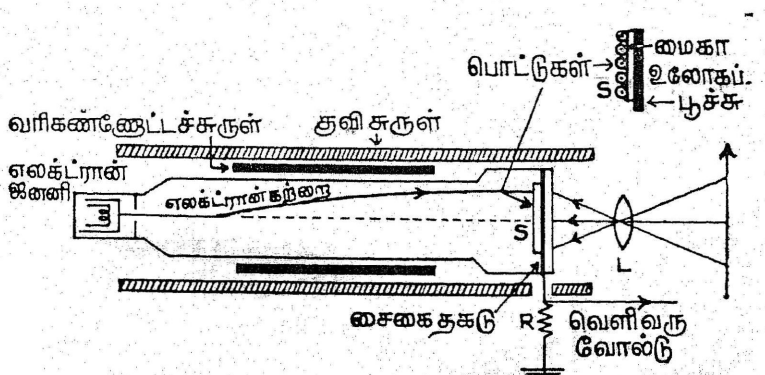
டெலிவிஷனை ஆரம்பித்து வைத்த ஜான் L. பேர்டு (John L Baird), நிப்காவ் (Nipkov) முதலியோர், உருளைகள், தகடுகள், மோட்டார் முதலிய இயந்திர, மின்சாரக் கருவிகளைக் கொண்டு,

படங்களை ரேடியோமூலம் அனுப்பியும் ஏற்றும் வெற்றி கண்டனர். எனினும், அவர்களது படம் தெளிவின்றி இருந்தது. தற்காலத்திய தெளிவு மிக்க படங்களும் பல வர்ணப்படங்களும், அனுப்பப்பட்டும் ஏற்கப்பட்டும் வருவதற்கு மூல காரணமாயிருந்தது எதிர் மின் கதிர் குழாயே (Cathode ray tube). இதிலிருந்தே டெலிவிஷன் காமிராக்களும், ஏற்பிகளும் விருத்தி செய்யப்பட்டுள்ளன.

டெலிவிஷனில் மூன்று முக்கியமான கட்டங்கள் உள்ளன. (a) **வரி கண்ணோட்டம்** (Scanning): அனுப்பப்படும் காட்சியின் வெவ்வேறு பாகங்களைக் காமிராவால் ஆராய்ந்து, அவற்றின் ஒளி வேறுபாட்டிற்கேற்ப மின் வேறுபாடுகளை உண்டுபண்ணுதல்; (b) **பண்பேற்றம்** (Modulation): இம்மின் வேறுபாடுகளைக் கொண்டு அதி உயர் அதிர்வெண் ஊர்தி அலைகளில் பண்பேற்றம் உண்டுபண்ணுவது; (c) இக்கூட்டு அலைகளைப் பெருக்கி எல்லாத் திசைகளிலும் அனுப்புவது. கட்டங்கள் (b), (c) இரண்டும் ஏறக்குறைய ஒலிபரப்புதலின் பண்பேற்றம், பெருக்கம், பரப்புதல் போன்ற முறைகள் ஆதலால், வரிக் கண்ணோட்ட முறைகளை மட்டும் இங்குச் சுருக்கமாகப் பார்ப்போம்.

டெலிவிஷன் காமிரா (T. V Camera)

136ஆம் படத்தில் 'எமிட்ரான்' எனப்படும் பிரிட்டிஷ் டெலி



படம் 136 'எமிட்ரான்' டெலிவிஷன் காமிரா

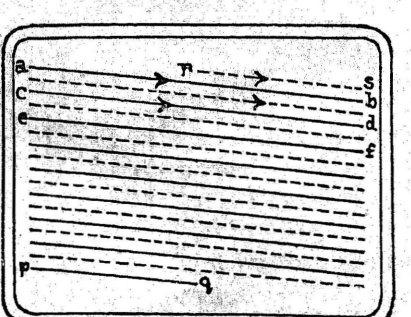
விஷன் காமிரா காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் சுத்தமாய் வெற்றிடமாகப்பட்ட ஒரு குழாயின் ஒருமுனையில் எலக்ட்ரான் ஜனனியும், மறுமுனையில் S என்ற பிம்பத்திரையும் (Image sereen) வைக்கப்பட்டுள்ளன. இக் குழாயைச் சுற்றிலும் வெவ்வேறு மின்சுருள்

கள் எலக்ட்ரான் கற்றையைக் குவிக்கவும், விலக்கம் உண்டு பண்ணவும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. பிம்பத்திரை S-இல், ஒரு மைக்காத் தகட்டின் ஒருபுறம் ஒளிமின் பொருள்களாலான சிறு சிறு பொட்டுகள் (Mosaic) படியப் பெற்றுள்ளன. மறுபுறத்தில் மிகச் சன்னமான தடிப்பமாக உலோகப் பூச்சுப் பூசப்பட்டுள்ளது. இது சைகைத் தகடாகச் செயல்படுகிறது. (Signal plate):

அனுப்பப்படும் காட்சியானது, திரை S-இன் பின் பக்கத்தில் ஒரு குவிவில்லை கொண்டு குவிக்கப்படுகிறது. உலோகப் பூச்சு மிகவும் சன்னமாயிருப்பதால், ஒளி அதனூடே ஊடுருவிச் சென்று, ஒளிமின் பொருள் பொட்டுகளிலிருந்து ஒளிபின் செறிவிற்கேற்றாற்போல் எலக்ட்ரான்களை வெளியிடுகிறது. ஆகவே, இப்பொட்டுகள் ஒளிமின் வெளியீட்டுகேற்றாற்போன்ற, அதாவது, காட்சியின் ஒளிச்செறிவிற்கேற்றாற்போன்ற, நேர் மின்னூட்டம் அடைகின்றன.

அச்சமயம், எலக்ட்ரான் ஜனனியிலிருந்து எலக்ட்ரான் கற்றை இப் பொட்டுகளின்மீது குவிக்கப்படுகிறது. எலக்ட்ரான்கள் பொட்டுகள்மீது பட்டவுடனே அவற்றின் நேர் மின்னூட்டத்தை அவமாக்கி, உலோகப் பூச்சு, ஒளிமின்பொட்டு இவற்றிலான நுண் மின்தேக்கியில் பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் (Dispeacement current) உண்டுபண்ணுகிறது. இம் மின்னோட்டம் வெளி மின் தடை (R) வழியாகப் பாய்ந்து, அதில் இதற்கேற்ற மின்னழுத்தங்களை உண்டுபண்ணுகிறது. இம் மின்னழுத்தங்களைக் கொண்டு, உயர் அதிர்வெண் ஊர்தி அலைகளில் பண்பேற்றி, பெருக்கி, வெளியே பரப்புகின்றனர்.

முழுப் படத்தையும் அனுப்புவதற்காக, எலக்ட்ரான் கற்றை



படம் 187. இடையிடை கோத்துப் பின்னிய வரி கண்ணோட்டம்

இடப் புறம் மேல்முனையிலிருந்து (a) துவங்கி, வரிவரியாக ab,

cd,...என்று வரைகிறது. a-யிலிருந்து b-க்கு 'மெதுவாக'ச் சென்று, (அதாவது, சுமார் 100 மைகிரோ வினாடிகளில் சென்று) (1 மைகிரோ வினாடி = 10^{-6} வினாடி) b-யிலிருந்து c-க்கு வெகு வேகமாக (10 மைகிரோ வினாடிகளில்) தாவுகிறது. பிறகு c-யிலி ருந்து d-க்கு மெதுவாகச் சென்று, e-க்குத் திரும்புகிறது. இவ் வாறே கடைசி வரி p-க்குச் சென்று, பாதி வரியானவுடன் q-விலி ருந்து r-க்கு (மேலே) தாவுகிறது. பிறகு முன்போலவே, புள்ளி களால் காண்பிக்கப்பட்ட வரிகளை வரைகின்றது. இதற்கு 'இடை யிடையே கோத்துப் பின்னிய வரி கண்ணோட்டம் (Interlaced scanning) என்று பெயர். இதை உண்டுபண்ணுவதற்கு, இரு மின்சுருள்களுக்கு (4ஆம் அததியாயத்தில் விளக்கிய) 'இரம்பப் பல்' மின்னழுத்தம் (saw-tooth potential) கொடுத்து, ஒரு மின் னழுத்தத்தைக் கிடை (வரி) விலக்கத்திற்கும், மற்றொன்றைச் செங்குத்து (அல்லது, சட்ட=frame) விலக்கத்திற்கும், பயன் படுத்துகின்றனர். வரி கண்ணோட்டம் நடக்கையில், வெளி மின் தடை (R)-யில் உண்டாகும் மின்னழுத்தங்கள், திரையிலுள்ள படத்தின் வெவ்வேறு பாகங்களின் ஒளிச் செறிவுகளுக்கு ஏற்ற வையாக உள்ளன. பிரிட்டிஷ் T. V முறையில் ஒவ்வொரு சட்ட மும் (படமும்) 202½ வரிகள் கொண்டது; படம் வினாடிக்கு 50 முறை காட்டப்படுகிறது. அடுத்துவரும் சட்டங்கள் வரிகளின் இடையே உள்ள அரைத் தூரம் பெயர்ச்சி பெறுவதால், சிமிட்டல் (Flicker) வெகுவாய்க் குறைகிறது. இவ்விடப் பெயர்ச்சியால், ஒவ்வொரு சட்டமும் 405 வரிகளைக் கொண்டதாய், வினாடிக்கு 25 முறை காட்டப்படுகிறது.

டெலிவிஷன் ஏற்பியில், ஓர் எதிர்மின் கதிர் குழாயின் எலக்ட்ரான் கற்றையானது, T.V. காமிரா எலக்ட்ரான் கற்றை யுடன் ஒரு படித்தாக (in step) திரையின் குறுக்கே பாய்ந்து செல் கிறது. ஏரியலிலிருந்து வரும் மின்னழுத்தங்கள் பெருக்கமடைந்து, ஏற்பியிலுள்ள ஒளிச்செறிவு கிரிடுக்கு ஊட்டப்படுவதால், திரை யின் குறுக்கே பாய்ந்து செல்லும் ஒளிப் புள்ளியின் செறிவு அனுப்பப்படும் படத்தின் வெவ்வேறு பாகங்களின் செறிவைப் போலவே மாற்றமடைந்து, அப் படத்தைத் திரையின்மீது வினா டிக்கு 50 முறை காண்பிக்கிறது. ஏற்பியின் வரிஒளிப் புள்ளி, அனுப்பியின் எலக்டரான் கற்றையுடன் சற்றும் கால பேதமின்றி ஒருபடியாகச் செல்வதற்காக, 'உடன் நிகழ்ச்சி' (synchronization) துடிப்பு மின்னழுத்தங்கள் அனுப்பியிலிருந்து ஒவ்வொரு வரியின் முடிவிலும் ஒவ்வொரு சட்டத்தின் முடிவிலும் அனுப்பப்படு கின்றன.

அமெரிக்க T.V. முறையில், ஒவ்வொரு படத்திலும் 262½ வரிகள் உள்ளன, படம் வினாடிக்கு 60 முறை காட்டப்படுகிறது. இடையிடை கோத்த வரிக் கண்ணோட்டம் செய்யப்படுவதால், இது 525 வரிகளும் வினாடிக்கு 30 படங்களுமாகின்றன.

படத்தின் ஒளிச் செறிவு, வரிக் கண்ணோட்டப் புள்ளியின் இடத்தைப் பொறுத்து மிக மிக விரைவாக மாறுவதால், அனுப்பப் படும் படம் தெளிவாயிருப்பதற்கு அனுப்பியின் அதிர்வெண் பட்டை அகலம் மிக அதிகமாயிருந்தல் வேண்டும். அமெரிக்காவில் ஒவ்வொரு T.V. நிலையத்திற்கும் 6 மெகா சைகிள்/வினாடி (6,000,000 சைகிள்/வினாடி) அகலம் தரப்பட்டுள்ளது. (ஒலிபரப்பு தலுக்கு, ஒவ்வொரு நிலையத்திற்கும் 9000 சை/வி. அகலமே தரப் பட்டுள்ளதென்பது ஞாபகமிருக்கலாம்) சிற்றலை, நீள அலைப் பட்டை (short wave and long wave) கள் முழுவதையும் எடுத்துக் கொண்டால், 10 மீட்டரிலிருந்து பல்லாயிர மீட்டர் நீளத்திலும் உள்ள அதிர்வெண்கள் 30 மெகா சைகிள்/வினாடியே. ஆகையால், இந்த ஒலிபரப்பிப் பட்டைகள் முழுவதிலும் ஐந்தே டெலிவிஷன் நிலையங்களுக்கு மிக மிக அதி உயர் அதிர்வெண் எல்லைகள் தரப் பட்டுள்ளன. உதாரணமாக, 54—72 மெ. சை./வி., 76—88 மெ. சை./வி., 174-216 மெ. சை./வி 470—890 மெ. சை./வி. (அதாவது, அலை நீளங்கள் 5·9 மீட்டரிலிருந்து 34 செ.மீ. வரை) தரப்பட் டுள்ளன. ஒரு மீட்டருக்குக் குறைவான அலைநீளங்களுக்குக் 'குற்றலைகள்' (micro-waves) என்று பெயர்.) ஒலியின் ஊர்தி அலைவெண் ஒளியின் அதிர்வெண்ணைவிட 4·5 மெ. சை./வி. அதிக மாக உள்ளது. ஒளியும் ஒலியும் ஒன்றித்தனியே பண்பேற்றம் பெற்று, ஒன்றுகப் பரப்பப்படுகின்றன.

இவ்வதி உயர் அதிர்வெண்கள் அயனி அடுக்குகளினூடே ஊடுறுவிச் சென்றுவிடுவதால், அவை பிரதிபலிக்கப்படமாட்டா. ஆகையால், டெலிவிஷின் அலைகளின் செல் தூரம் கண்ணுற் பார்க்கும் தூரம்தான். இது காரணமாகவே, டெலிவிஷின் ஏரியல் களும், குற்றலை ஏரியல்களும் மிகவும் உயரமான கட்டடங்கள், கம்பங்கள்மீதோ, மலை, குன்றுகள்மீதோ அமைக்கப்படுகின்றன. அதைவிட அதிக தூரம் அனுப்பப்பட வேண்டுமானால், ஒரு 200 மைல் இடைவெளிகளில் அஞ்சல் நிலையங்கள் (Relay stations) அமைக்கப்படல் வேண்டும்.

ரேடார் (Radar)

ரேடார் என்பது, ஆங்கிலத்தில் Radio Detection and Ranging என்ற வார்த்தைகளின் முதலெழுத்துகளால் ஆன ஒரு வார்த்தை.

இதற்கு, 'ரேடியோ அலைகளைக்கொண்டு பொருட்களைக்கண்டு பிடிக்கப்பட்டதும், அவற்றின் திசை, தூரங்களை அளப்பதும்' என்று பொருள். இரண்டாம் உலக யுத்தத்திற்குச் சற்று முன்னர், பிரிட்டனில் சர் ராபர்ட் வாட்சன்-வாட் (Sir Robert Watson-Watt) என்பவர் இதைக் கண்டுபிடித்து விருத்தி செய்தார். ஆனால், இரண்டாம் உலக யுத்தத்தின்போதுதான், முக்கியமாக 1940 ஆம் ஆண்டு ஜூலையிலிருந்து செப்டம்பர்வரை பிரிட்டன் தன் உயிருக்காகப் போராட நேர்ந்தபொழுதுதான், ரேடார் 'வயதிற்கு வந்தது' எனலாம். ஜெர்மானிய ஆகாய விமானப்படை பிரிட்டனது படையைப்போல் பன்மடங்கு அதிகமாயிருந்தபோதிலும், பிரிட்டனைச் சுற்றிக் கடற்கரை முழுவதும் ஆங்காங்கே அமைக்கபபட்டிருந்த ரேடார் நிலையங்கள், எதிரி விமானங்களின் வருகையை முன்கூட்டியே அறிவித்து எச்சரிக்கை கொடுத்தபடியால், பிரிட்டிஷ் விமானங்கள் அவற்றைத் தமக்குச் சாதகமானமுறையில் எதிர்த்து அழிக்க முடிந்தது.

ரேடாரானது பொருட்களின் தூரங்களை அளப்பதற்கு எதிரொலித் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்துகிறது. இதன் அனுப்பியானது, மிகவும் ஆற்றல் மிக்க குற்றலைத் துடிப்பை வெகு சிறிய காலத்திற்கு (ஒரு சில மைகிரோ வினாடிகளுக்கு) அனுப்பிவிட்டு, சில ஆயிரம் மைகிரோ வினாடிகளுக்குச் சும்மா இருக்கிறது. பிறகு இன்னொரு துடிப்பைச் சற்று வித்தியாசமான திசையில் அனுப்புகிறது. ஆகாய விமானம், கப்பல், கட்டிடங்கள், மலைகள் முதலிய பொருட்கள அலைகளின் பாதையிலிருந்தால், அவை அலைகளை நாலு திசைகளிலும் சிதறச் செய்கின்றன. சிதறிய அலைகளில் ஒரு சிறிய பாகம் அனுப்பியிடத்திற்கே வந்து சேருகிறது. அலைகள், சிதறச் செய்யும் பொருளுக்குச் சென்று திரும்பும் நேரத்தை அளந்தால், அப் பொருளின் தூரம் உடனே தெரியவரும். ஏனென்றால், அலைகளின் வேகம் வினாடிக்கு 186,000 மைல் என்று அறிவோம். உதாரணமாக, சென்று திரும்பும் காலம் 1·5 மில்லி வினாடி (0·0015 வினாடி) என்றால், அலைகள் சென்றுவந்த மொத்த தூரம் = 0·015 × 186000 = 279 மைல்கள். ஆகவே, பொருள் 139·5 மைல் தூரத்திலுள்ளது என்று அறியலாம்.

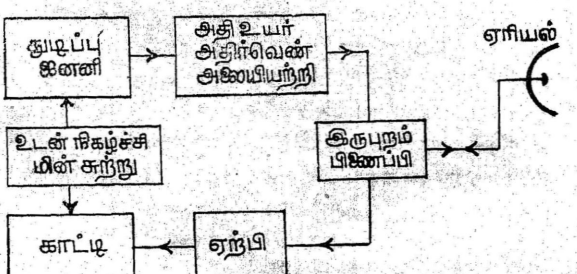
ரேடாரை வெவ்வேறு வழிகளில் பயன்படுத்தலாம். இதில் உபயோகிக்கப்படும் மிகக் குறுகிய குற்றலைகள் மூடுபனியை ஊடுருவி; இரவும் பகலும் தாராளமாய்ச் செல்லுமாகையால், ரேடாரானது ஆகாய, கடல் பிரயாணங்களில் மாலுமிகளை வழிநடத்துவதற்கு மிகவும் பயன்படுகிறது. மலைகள், சமவெளிகள், நகரங்கள், காடுகள் ஒவ்வொன்றும் ரோடார் அலைகளை வெவ்வேறு

அளவிற்குச் சிதறடிப்பதால், ராணுவ, வர்த்தக ஆகாய விமானங்கள், இரவிலும், மூடுபனி சமயங்களிலும் ரேடாரை வெகுவாய்ப்பயன்படுத்துகின்றன. துறைமுகங்களில் நிற்கும் கப்பல்கள், மிதப்பிகள், கரை ஸ்தாபனங்கள் முதலியவற்றை ரேடார் மூலம் கண்டு, மூடுபனி, இரவு சமயங்களிலும் கப்பலைத் துறைமுகத்திற்குள் சேதமின்றி வழிநடத்தலாம். பூமியைச் சுற்றிச் செல்லும் செயற்கைச் சந்திரன்கள், நிலாவை நோக்கிச்செல்லும் விண்வெளிக்கலன் முதலியவற்றையும் உடனுக்குடன் கண்டு, அவற்றின் போக்கைக் கவனிக்கலாம்.

அமெரிக்காவில் சூரிவளி, புயற்காற்று, இடிமழை, இவை போன்ற வானிலை இயகங்களைக் கண்டுபிடிக்கவும், அவற்றைத் தொடர்ந்து கவனிகக்வும் ரேடாரை உபயோகிகிறார்கள். ஆகாயத்தில் நீராவியாகவோ, உறைபனியாகவோ உள்ள நீர்த்திவலைகள் ரேடார் அலைகளைச் சிதறடிப்பதால், எதிரொலியின் செறிவைக் கொண்டு திவலைகளின் பருமனை அறிகிறது, இடிமேகத்தின் நீர்த்திவலைகள் மழைபொழியும் பெரிய துளிகளாக உள்ளனவா அல்லது இலேசாகத் தூறும் சிறுசிறு துளிகளா என்பதையும் யூகிகக்லாம்.

ரோடார் முறைகள்

138ஆம் படத்தில், ரேடாரின் பரபபி, ஏற்பிமுறைகள் தொகுப்பாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன. ரேடாரில் 100 மெக சைகிள் முதல் 25,000 மெகா சைகிள் வரை (அதாவது, 3 மீட்டரிலிருந்து,



படம் 138. ரேடார்முறையின் தொகுப்புச் சுற்று

1·2 செ. மீ. வரை அலைநீள) அதிர்வெண்கள் உபயோகிக்கப்படுகின்றன. ஆனால், பெருப்பாலானவை 1000 மெ. சை. பட்டையிலேயே (30 செ. மீ.—3 செ.மீ. அலை) இயங்குகின்றன. இவ் அதி உயர் அதிர்வெண் அலைவுகளை 'குழி ஒத்ததிர்வி' (Cavity magnetron) அல்லது 'திறன் கிளைஸ்ட்ரான்' (Power Klystron

கொண்டு உண்டுபண்ணி, துடிப்பு ஜனனிகளால (Pulse generators) அவற்றை 0·1 — 10 மைகிரோ வினாடித் துடிப்புகளாகப் பகுக்கின்றனர்.

ரேடார் ஏரியல் பரவளவு (Parabolic) கண்ணாடிபோன்ற உலோகத் தகடு, ஏரியல் சுருள் அதன் குவியத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அலைகளைப் பரப்பி ஏற்கையில், இப்பரவளவு ஏரியல் மெதுவாகச் சுழல்கிறது, ஆகையால் அனுப்பப்படும் அலைகளின் ஒவ்வொரு துடிப்பும் சிறிது வித்தியாசமான திசைகளில் செல்கின்றன. பெரும்பாலான ரேடார்களில் ஒரே ஏரியல், அலைகளை அனுப்பவும் ஏற்கவும் உபயோகிக்கப்படுகின்றது. இதற்காக, 'இருபுறம் பிணைப்பி' (Duplener) என்ற ஸ்விட்சு சாதனம் ஏரியலுக்கருகில் வைக்கப்பட்டு, திறன்மிக்க அனுப்பி செயல்படுகையில், உணர்வு மிக்க ஏற்பிசேதமடையாவண்ணம் ஏற்பியின் சுற்றைக் கழற்றிவிடுகிறது. துடிப்புகள் அனுப்பப்பட்டவுடனே, அனுப்பியின் சுற்று கழற்றப்பட்டு, ஏற்பியின் சுற்று செயல்படுகிறது. இந்த 100 - 5000 மைகிரோ வினாடி (·0001 - ·005 வினாடி) நேரத்தில் சிதறிவரும் அலைகள் ஏற்பிக்கு அனுப்பப்பட்டு, பெருக்கமடைந்து, எதிர்மின் குழாய் காட்டியில் காட்டப்படுகின்றன. எதிர்மின் குழாயின் குறுக்கே செல்லும் ஒளிப்பொட்டு, அனுப்பியின் துடிப்புகளுடன் கால ஒருமைப்படுத்தப்பட்டிருப்பதால், வெளிச்செல்லும் துடிப்பு, சிதறிவரும் அலைகள் இவற்றிற்கிடையே உள்ள காலதாமதத்தைக் குழாயில் உடனுக்குடன் காட்டி, பொருட்களின் தூரத்தை அறியலாம்.

ரேடார் ஏற்பியானது மிக்க உணர்வுள்ளதாகவும், குறைவான இரைச்சல் உடையதாகவும் இருத்தல் வேண்டும். அப்பொழுதுதான் மிகப் பலவீனமான எதிரொலியும் ஏற்கப்பட்டு, தாறுமாறாக எற்படும் வோல்டுகளிலிருந்து பிரிக்கப்படக்கூடும் எப்படியும் எதிரொலித துடிப்புகள் திரும்பத்திரும்ப, ரேடார் திரையில் ஒரே இடத்தில், அல்லது அருகருகே காணப்படும். ஆனால், தாறுமாறாக ஏற்படும் வோல்டுகள் திரையின் வெவ்வேறு இடங்களில் ஓர் ஒழுங்கின்றிக் காணப்படும்.

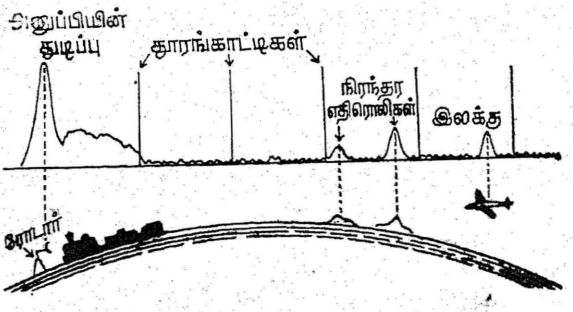
ரேடார் ஏற்பியின் காட்டிகள் (Indicators in Radar)

ஏற்கப்படும் அலைகளை ரேடாரில் காண்பிக்கப் பல முறைகள் கையாளப்படினும், பெரும்பாலும் உபயோகிக்கப்படும் முறைகள் இரண்டு. அவையாவன : 'A-முறை' : (Type–A) ; 'இடப்படம் காட்டி' (Plan Position Indicator P.P.I.) என்பன.

'A-முறை'யில் எதிர்மின் குழாயின் எலக்ட்ரான் கற்றை, 4ஆம் அத்தியாயத்தில் விவரித்தபடி, இரம்பபபல் மின்னழுத்தம்

பெற்ற X-தகடுகளால் விலக்கப்பெற்று, இடக் கோடியிலிருந்து மெதுவாக ($\frac{1}{50}$ வினாடி - $\frac{1}{100}$ வினாடியில்) வலதுகோடி சென்று, திடீரென இடக்கோடிக்குத் தாவி, மறுபடியும் வலதுபுறம் நகர ஆரம்பித்து, இவ்வாறு திரும்பத்திரும்ப X-வரியை வரைகிறது. சிதறுண்ட அலைகள் ஏதேனும் திரும்பிவந்தால், அவை ஏற்பியில் பெருக்கமடைந்து, குழாயின் Y-தகடுகளுக்குத் தரப்படுவதால், வரையப்படும் வரியில் ஒரு சிறு செங்குத்து விலக்கம் ஏற்படுகிறது.

139 ஆம் படத்தில் 'A-முறை' ரேடார் காட்டி விளக்கப்பட்டுள்ளது. ரேடார் அனுப்பியின் அருகிலுள்ள கட்டிடங்கள், மரங்

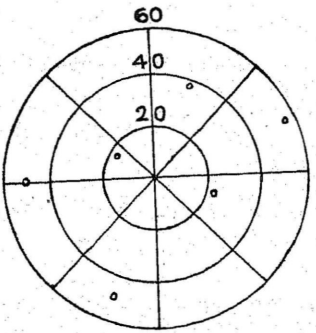


படம் 139. 'A-முறை' ரேடார் காட்டி

கள் முதலியன, தூரத்திலுள்ள மலை, குன்றுகள் இவை நிரந்தர எதிரொலிகளை உண்டுபண்ணுகின்றன. நகர்ந்துசெல்லும் எதிரொலிகள்தான் நமக்குத் தேவையானவை. ரேடார் திரையில் தூரங்கள் குறிக்கப்பட்டுள்ளதால், ஓர் எதிரொலி கண்டவுடனே அதன் தூரத்தைக் குறித்துக்கொண்டு, அது நகருகிறதா இல்லையா என்பதைக் கவனிக்கவேண்டும். A-முறையில் இலக்கு வின் திசையைத் திரையில் காணமுடியாது. எதிரொலி எத்திசையிலிருந்து வருகிறதென்பதை எதிரொலி வரும் சமயத்தில் அனுப்பியானது எத்திசைழில் அனுப்பிக்கொண்டிருந்தது என்பதைப் பிரத்தியேகமாக அறிந்து இலக்கு எத்திசையில், எவ்வளவு தூரத்தில் உள்ளது. எத்திசையில் என்ன வேகத்தில் செல்கிறது. என்பதுபோன்ற உண்மைகளைக் கணிக்கலாம்.

இடப்படம் காட்டி (P. P. I.) முறையில், தூரம், திசை, சுற்றிலுமுள்ள மற்ற பொருள்கள் அனைத்தும் படம்போல் காட்டப்படுகின்றன. ஆதலால் இம்முறை A-முறையை விட மிகச் சிறந்தது. இம்முறையில் எதிர் மின்குழாயின் இரம்டப்பல் மின்னழுத்தம் ஒளிப்பொட்டைத் திரையின் மையத்திலிருந்து

ஆரத்திற்கு இணையாக விலக்கமடையச் செய்கிறது. வட்டத்தின் விளிம்பிற்குச் சென்றவுடன் மையத்திற்கு விரைவில் தாவி, சற்று



படம் 140. P. P. I. முறை ரேடார்காட்டி

வித்தியாசமான ஆரத்தில் மறுபடியும் விளிம்பு நோக்கிச் செல்கிறது. ஏரியல், துடிப்புகளை அனுப்புகையில் மெதுவாகச் சுற்றி வரும் அதே வேகத்தில், எதிர்மின் குழாயின் ஒளிப்பொட்டின் திசையும் ஒரு படித்தாக மாறிவருகிறது. உதாரணமாக, அலைகள் வடக்குத் திசையில் அனுப்பப்படும்பொழுது, ஒளிப்பொட்டு மையத்திலிருந்து செங்குத்தாக மேலே செல்லத் துவங்குகிறது. (படத்தில், மேல்புறம் வடக்கு, கீழ்ப்புறம் தெற்கு, வலப்புறம் கிழக்கு, இடப்புறம் மேற்கு என்பதை அறிவோம்). அனுப்பி மேற்குத் திசையில் அலைகளை அனுப்புகையில், ஒளிப்பொட்டும் மையத்திலிருந்து இடதுபுறமாகச் செல்லத் துவங்குகிறது.

ரேடாருக்கு மேற்குத்திசையில் ஒரு பொருள 50 மைல் தூரத்திலுள்ளதென்றால், ஒளிப்பொட்டு மையத்திலிருந்து இடப்புறமாகப் போய்க்கொண்டிருக்கையில், மேற்கே அனுப்பப்பட்ட அலைகள் சிதறுண்டு, திரும்பிவந்து, எற்பியில் பெருக்கமடைந்து, ஒளிச் செறிவு கிரிடுக்கு ஊட்டப்படுவதால், அக்கணத்தில் ஒளிப்பொட்டின் செறிவு அதிகரித்து, ஒரு ஒளிப்பொட்டு பளிச்சென்று திரையில் உண்டாகிறது. நகர்ந்துசெல்லும் ஒளிப்பொட்டின் செறிவு கண்ணுறு அளவுகுக் சற்றுக குறைவாக வைக்கப்பட்டிருப்பதால், ஏற்கப்படும். அலைகள் ஒளிப்பொட்டுகளாகத் திரையின் மீது காண்பிக்கப்படும். திரையின்மீது தூரங்கள் வெவ்வேறு பொதுமைய வட்டங்களாகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளதால், பொருட்களின் திசையும் தூரமும் ஒருங்கே கிடைத்துவிடுகின்றன. திரையின் மையமே அனுப்பியின் இடத்தைக் குறிப்பதாகும்.

ராணுவப் பாதுகாப்பு நிலையங்களில் ரேடார்கள் ஆகாய விமானங்களைத் தொடர்ந்து பின்பற்றி, அவற்றின் திசை, உயரம், செல்லும் வேகம் இவற்றைக் கணித்து, உடனுக்குடன் விமானத் துப்பாக்கிக் குழுவுக்கு அறிவித்தவண்ணம் இருக்கும்.

மேகங்கள், இடி மழை, முதலியவற்றைப் பின்தொடர்ந்து, எங்கெங்கே மழை பெய்யலாம் என்ற வானிலை அறிக்கைகளுக்கும் ரேடார் பயன்படுகிறது.

வான்வெளியிலிருந்து பூமிக்கு வரும் விண்கற்களை இரவிலும் பகலிலும் ஆராய ரேடார் உதவுகிறது. மான்செஸ்டருக்கருகில் ஜோட்ரல் பாங்க் (Jodrell Bank) என்னுமிடத்திலுள்ள 250 அடி அகலமுடைய ரோடியோ தொலைநோக்கி, பூமியைச்சுற்றிச் செல்லும் செயற்கைச் சந்திரர்களைப் பின்தொடர்ந்து கவனிக்கவும், நிலாவின்மீது இறங்கிய விண்வெளிக்கப்பலைத் தொடர்ந்து நோக்கவும் பயன்பட்டது. இதுபோன்ற மிகப்பெரிய ரேடியோத் தொலைநோக்கி-ரேடார் ஸ்தாபனங்கள் அமெரிக்காவிலும் ஆஸ்திரேலியாவிலும் உள்ளன.

அத்தியாயம் 25

வினாக்கள்

1. ஒரு டெலிவிஷன் காமிராவின் படத்தை வரைந்து, அது எவ்வாறு இயங்குகிறது என்பதை விளக்கு.

   வரி கண்ணோட்டம் என்பது என்ன?

2. ரேடாரின் தத்துவத்தையும் இயங்கும்முறையையும் விவரி.

26. ஜங்க்ஷன் டிரான்சிஸ்டர்

(The Junctoin Transistor)

இதுவரை எலக்ட்ரானியலில் நடைபெற்ற மின்னழுத்தப் பெருக்கம், பண்பேற்றம், பண்பிறக்கம், அலையியற்றல் முதலிய எல்லா வேலைகளையும் வெற்றிடக்குழாய் என்ற எலக்ட்ரான் வால்வுகளே செய்துவந்ததாகப் பார்த்தோம். 1907ஆம் ஆண்டில் உண்டுபண்ணப்பட்ட முதல், ட்ரயோடு வால்வு பல்விதத் துறைகளில் இன்றியமையாத சாதனமாகிவிட்டதை முந்திய அத்தியாயங்களில் கண்டோம். இந்த வெற்றிடக்குழாய் செய்யும் எல்லா வேலைகளையும் திறமையுடன் செய்து முடிப்பதுடன், அதைவிட மிகச்சிறந்த ஆற்றலும் பல்வகையான வேறு சிறந்த குணங்களையும் உடைய ஒரு மிகச்சிறிய சாதனம், 1948ஆம் ஆண்டு அமெரிகாவில் உண்டுபண்ணப்பட்டது. இதுவே, டிரான்சிஸ்டர் எனப்படுவது. இது வெகுவிரைவில், வெற்றிடக் குழாய்கள் உபயோகப்பட்டுவந்த எல்லாத்துறைகளிலும் அவற்றிற்குப் பதிலாக உபயோகத்திற்குவர ஆரம்பித்துள்ளது.

டிரான்சிஸ்டர், 1948ஆம் ஆண்டு ஜூலை மாதத்தில், நியூயார்க் நகரிலுள்ள டெல்டெலிபோன் ஆராய்ச்சி சாலையில் ஆராய்ச்சி நடத்திவந்த வில்லியம் ஷாக்லி (William Shockley) J. பார்டீன் (J. Bardeen), W. H. பிராட்டேன் (Brattain) என்பவர்களால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இக் கண்டுபிடிப்பிற்காக இம் மூவருக்கும் 1956ஆம் ஆண்டில் நோபல்பரிசு வழங்கப்பட்டது.

டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பு

டிரான்சிஸ்டர் ஒரு மிகச்சிறிய, ஆனால் மிக உறுதியான சாதனம். வெற்றிடக் குழாயை வெகு ஜாக்கிரதையாக வைத்திராவிட்டால் சீக்கிரம் உடைந்துபோகும். ஆனால் டிரான்சிஸ்டரை ஓங்கிக் கீழேபோட்டாலும் உடையாது. வால்வுகளில் எலக்ட்

ரான்களை உண்டுபண்ணுவதற்கு, மின்னெட்டத்தினுல் மின்னி ழையைப் பழுக்கக் காய்ச்சவேண்டும். பலவால்வுகளுடைய சாதனங்களில் இதற்குத் தேவைப்படும் ஆற்றல் மிக அதிக மாகும். அத்துடன், அவையாவும் செயல்படுகையில் உண்டாகும் வெப்ப ஆற்றலை வெளியேற்றுவிடில் சாதனம் அதிகசூடேறி, சேதமடைந்துவிடும். டிரான்சிஸ்டர்களில் ஆற்றல் தொல்லையே கிடையாது. எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடுவதற்கு ஒரு புதிய, ஆற்றல் தேவைப்படாத வழி பயன்படுகிற்து. நூற்றுக்கணக் கான சாதனங்களை இயக்குவதற்குத் தேவைப்படுவது நூற்றி லொருபங்கு வாட்டுக்கும் குறைவான திறனே. இவ்வளவு குறைவான திறனில் செயல்பட்டாலும், வெளிவருதிறன் வால்வு களில் போலவே 50,100 வாட்டுகளாக இருக்கலாம்.

இவற்றை இயக்குவதற்குத் தேவைப்படும் மின்னழுத்தங் களும் ஒருசில வோல்டுகளே. இவ்வாறு உயர் மின்னழுத்தங்கள் தேவையில்லாதாலும், டிரான்சிஸ்டர்கள் வெகு சிறியவை ஆத லாலும், டிரான்சிஸ்டர்களாலான ஏற்பிகளும் வேறு சாதனங் களும் மிகச்சிறிய அளவில் அமைந்து, வெவ்வேறு இடத்திற்குத் தூக்கிச் செல்வது மிகச் சுலபமாகிறது.

யாவற்றிலும் மிகச்சிறந்த குணமானது, டிரான்சிஸ்டரின் நீண்ட வாழ்வுக்காலமே. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் 100,000 மணிகளுக்கு மேல் ஓயாமல் உழைக்கக்கூடியது. அதற்குப்பிறகும் அது திடீரென்று நின்றுவிடாது. சிறிது சிறிதாக அதன்திறன் குறைந்து செல்வதால், நமக்குச் சௌகரியமானபொழுது அதை மாற்றிக்கொள்ளலாம். வால்வுகளின் மின்னிழை எப்பொழுது வேண்டுமானாலும் பட்டென்று அறுந்துபோய் விடலாம். அத் துடன் அவ்வால்வு உபயோகப்படாது; உடனே மாற்றியாக வேண்டும். தொழிற்சாலைகளிலும், ராணுவ சாதனங்களிலும் திடீரென்று வேலைநிறுத்தமாவது வெகு பொருட்சேதம், உயிர்ச் சேதம் விளைவிக்கக்கூடியதாகலாம். கணிப்பான்களில் (Compu tors) ஆயிரக்கணக்கான மின் சாதனங்கள் உள்ளன. அடிக்கடி உபயோகமற்று, மாற்றவேண்டியநிலை ஏற்பட்டால் வேலையே ஓடாது. அவற்றில் டிரான்சிஸ்டர்கள் இன்றியமையாதவை யாகும்.

டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பு: எலக்ட்ரான்களும் மின் துளைகளும் (Electrons and 'holes')

டிரான்சிஸ்டர், ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான்போன்ற குறை கடத்தி (Semi-conductors) உலோகங்களால் ஆனது. குறை கடத்திகள், செம்பு, வெள்ளி போன்ற உலோகங்களைப்போல்

அவ்வளவு நல்ல கடத்திகளல்ல. மரக்கட்டை எபொஜைட்டு போல் கடத்தாப்பொருட்களுமல்ல. இரண்டிற்குமிடையே உள்ளவை. ஆனால், அவற்றுடன் சில தனிமங்களைச் சேர்த்து அமைத்தால், அவற்றை எலக்ட்ரான்கள் வெளிவிடும் சாதனமாக்கிவிடலாம். அதன்பிறகு அவற்றிற்கு $\frac{1}{2}$, 1 வோல்டு மின்னழுத்தம் கொடுத்தாலும் மின்னோட்டம் ஆரம்பித்துவிடும். இதைச் சற்று விளக்குவோம்.

ஜெர்மேனிய அணுவின் கடைசி வெளிச்சுற்றுப் பாதையில் நான்கு எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. (அணுக்கருவைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்கள வெவ்வேறு சுற்றுப்பாதைகளில் செல்வதை முன்பே விளக்கியுள்ளோம்). ஜெர்மேனியத்தை உருக்கி, குளிரவைத்தால், அதுபடிகமாகிறது. அப் படிகத்தில் ஜெர்மேனிய அணுக்கள் ஒழுங்காக, அணியணியாக உள்ளன. இவற்றிற்கு 'அணிக்கோவை' (lattice) என்று பெயர். அணிகோவையிலுள்ள ஜெர்மேனிய அணுக்களின் வெளி நான்கு எலக்ட்ரான்களும், அருகேயுள்ள வேறு நான்கு அணுக்களுடன் சேர்ந்து பிணைக்கப்பட்டிருப்பதால், தனி எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றுமில்லை. ஆனால், வெப்பநிலை காரணமாக அணிக்கோவையில் அதிர்வுகளுண்டு. அச் சமயங்களில் ஒருசில எலக்ட்ரான்கள் பிணைப்பிலிருந்து விடுபடுவதால், அவை மின்னோட்டம் செலுத்துவதற்குச் சற்றுப் பயன்படுகின்றன. இதுகாரணமாகவே சுத்த ஜெர்மேனியப்படிகம் குறை கடத்தியாயுள்ளது.

இப்பொழுது, இச் சுத்த ஜெர்மேனியத்தில், கூடுகை எண் (Valency) ஐந்தாயுள்ள பாஸ்பரம் அல்லது ஆர்சனிக (arsenic) ஒரு சிறிதளவு கலந்தால், நிலைமை முற்றிலும் மாறிவிடுகிறது. கூடுகை எண் 5 என்றால அதன் அணுவின் வெளிச்சுற்றுப் பாதையில் 5 எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்று அர்த்தம். அவ்வணுக்கள் ஜெர்மேனியப்படிகததில அமையும்பொழுது, ஒவ்வொரு அணுவிலுள்ள ஐந்து எலகடரான்களில் நான்கு தமமைச் சுற்றியுள்ள நான்கு மூலகளின் ஜெர்மேனிய அணுககளுடன் முன்போலவே பிணைகபப்டடுவிடுகின்றன. ஆனால் ஐநதாவது எலக்ட்ரான் பிணைக்கப்பட வழி எதுவுமில்லாததால், சுலபத்தில் அதுதான் சுற்றுப்பாதையிலிருந்து வெளிவந்து, தனி எலகட்ரானாகிவிடுகிறது. ஆகவே, பாஸ்பரக் கலப்புச் சேர்ந்தவுடன், ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் ஏராளமான தனி எலக்ட்ரான்கள் உண்டாகி விடுகின்றன. படிகத்தின் இருமுனைகளிடையே மின்னழுத்தம் (எவ்வளவு சிறிதாயினும்) ஏற்படுத்தினால், உடனே அத்தனி எலக்ட்ரான்கள நேர் மின்வாயை நோககி பாய்ந்து செல்கின்றன ஆகவே, மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. இவ்வாறு, கூடுகை

எண் ஐந்துள்ள கலட்புச்சேர்ந்த ஜெர்மேனியத்திற்கு *n*-வகை (*n*-type) ஜெர்மேனியம்' என்று பெயர். ஏனென்றால், அதில் தனி எதிர் மின்னூட்டங்கள் (ஆங்கிலத்தில் negative *n*) அதாவது, எலக்ட்ரான்கள், ஏராளமாய்க் கிடைக்கின்றன.

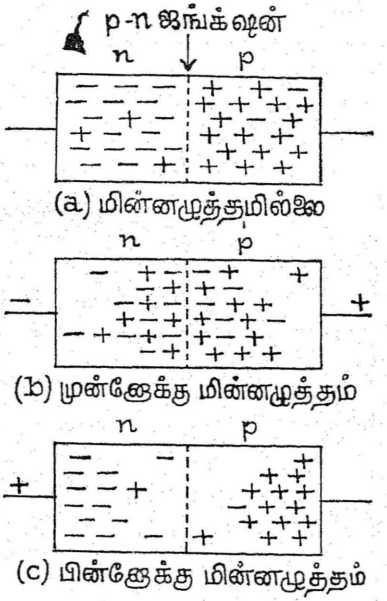
கூடுகை எண் ஐந்துக்குப் பதிலாக, மூன்று எண்ணுடைய அலுமினியம், இந்தியம் (Indium) இத் தனிமங்களின் ஒருசிறிய அளவை ஜெர்மேனியத்துடன் கலந்தால், அவ்வணுக்களும் படிகத்தில் அமைகின்றன. அவற்றின் கடைசிச் சுற்றுப்பாதையின் மூன்று எலக்ட்ரான்கள் சுற்றிலுமுள்ள மூன்று ஜெர்மேனிய அணுக்களுடன் பிணைக்கப்படுகின்றன. ஆனால் நான்காவது மூலையிலுள்ள ஜெர்மேனியத்துடன் பிணைபட எலக்ட்ரான் எதுவுமில்லை. அதற்கு 'மின்துளை' ('hole') என்று பெயர். 'காலியிடம்' என்பதும் பொருந்தும்). அணிக்கோவை அதிர்வுகளினால் மற்ற அணுக்கள் அருகில் வரும்பொழுது ஏதாவதோர் அணுவிலிருக்கும் எலக்ட்ரான் இக் காலியிடத்தில் சேர்ந்துவிடுகிறது. ஆகவே, அம்மின்துளை வேறொரு அணுவிற்குச் சென்றுவிடுகிறது. இப்படியே இக் காலியிடம் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றிடங்களுக்கு (ஒரு தனி எலக்ட்ரான் செல்வது போலவே) அங்குமிங்கும் செல்கிறது. இப்படிகத்தின் இரு முனைகளுக்கு மின்னழுத்தம் கொடுத்தால், இம் மின்துளைகள் எதிர்மின்வால்வை நோக்கிச் சென்று, மின்னோட்டம் விளைவிக்கின்றன. இந்த ஜெர்மேனியத்திற்கு 'P-வகை (P-type) ஜெர்மேனியம்' என்று பெயர். ஏனென்றால், மின்னோட்டம் பாய்வது நேர் மின்னூட்டத்திற்குச் சமமான 'மின்துளை' களினாலேயே என்பதால்.

ஆகவே, கூடுகை எண் 5 அல்லது 3 உடைய தனிமங்களை, ஒரு சிறிய அளவு கூடுகை எண் நான்குடைய ஜெர்மேனியத்தில் கலந்தால், தனிஎலக்ட்ரான்களோ (n), அல்லது, தனிமின்துளைகளோ (R) ஈராளமாக உண்டாகி, மின்னோட்டத்தைச் செலுத்துவதற்கு உதவுகின்றன. இதுவே டிரான்சிஸ்டரின் அடிப்படையான தத்துவம். இதை எவ்வாறு பயன் படுத்துவது என்பதை இப்பொழுது விவரிப்போம்.

ஜங்க்ஷன் டயோடு (Junction Diode)

ஒரே படிகத்தில் n-வகை, p-வகைப்பகுதிகளை ஏற்படுத்திவிட்டால், அவையிரண்டிற்குமிடையே உள்ள எல்லைக்கு 'p-n ஜங்க்ஷன்' அல்லது 'p-n சந்தி' (p-n Junction) என்று பெயர். இதற்கு, டயோடுவால்வுபோலவே சீராக்கும் தன்மை உண்டு என்பதைக் கீழே காண்பிப்போம்.

141ஆம் படத்தில். (a)-யில் ஒரு pn சந்தி காட்டப் பட்டுள்ளது. n-வகைப்பகுதியில் அதிகமான எலக்ட்ரான்களும், p-வகைப்பகுதியில் நேர் மின்னூட்டமுடைய மின்துகளைகளும் உள்ளன. இப்பொழுது n-பகுதிக்கு எதிர் மின்னழுத்தமும், p-



படம் 141. டிரான்சிஸ்டர் இயக்கம்

பகுதிக்கு நேர் மின்னழுத்தமும் கொடுப்போம். உடனே n-பகுதியிலுள்ள தனி எலக்ட்ரான்கள் எதிர் மின்னழுத்தத்தால் உந்தப்பட்டு, p-பகுதியை நோக்கி விரைகின்றன. அவ்வாறே, p-பகுதியின் மின்துளைகள் நேர் மின்னழுத்தத்தால் உந்தப்பட்டு, n-பகுதியை நோக்கிப் பாய்கின்றன. ஆகவே, p-n சந்தியின் குறுக்கே அதிகமான மின்னோட்டம் பாய்கிறது, (மின்னோட்டம் என்பது, எதிர் மின்னூட்டங்கள் நேர் மின்வாயையும், நேர் மின்னூட்டங்கள் எதிர் மின்வாயையும் நோக்கிப்பாய்வதே என்பதை நாம் அறிவோடும்). இவ்வாறு அதிகமான மின்னோட்டம் பாய்வதற்கு ஏதுவாயுள்ள நிலை மின்னழுத்தத்திற்கு 'முன்னோக்கு நிலைமின்னழுத்தம்' (forward bias) என்று பெயர்.

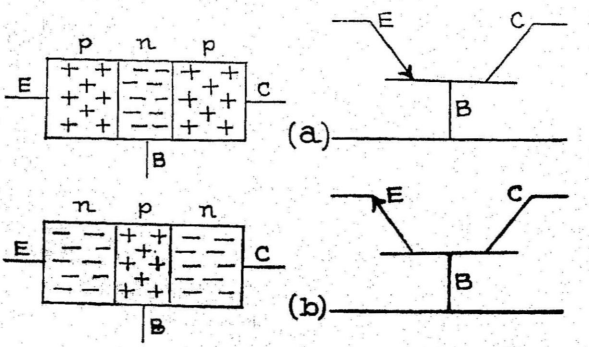
ஆனால், 141 (C)-யில் காட்டியபடி, n-பகுதிக்கு நேர் மின்னழுத்தமும், p-பகுதிக்கு எதிர் மின்னழுத்தமும் கொடுத்தோமானால், n-பகுதியின் எலக்ட்ரான்கள் நேர் மின்வாயைச் சுற்றியும்,

p-பகுதியின் மின்துளைகள் அருகிலுள்ள எதிர்மின்வாயைச் சுற்றியும் நின்று விடுவதால், p-n சந்தியினருகில் மின்னூட்டங்களேகிடையா; மின்னோட்டமும் பாயவழியில்லை. இதற்கு 'பின்னோக்கு நிலைமின்னழுத்தம்' (reverse bias) என்று பெயர். இதில் மின்னோட்டம் மிகக்குறைவு.

நேர்-எதிர் மின்னழுத்ததிற்குப் பதிலாக, இவ்விரு முனைகளின் குறுக்கே ஒரு மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்தால், n-பகுதி எதிர் மின்னழுத்தமும் p-பகுதி நேர் மின்னழுத்தமும் பெறும் பொழுது மின்னோட்டம் பாயும்; ஆனால் மறு பாதிசைக்கிளில் n-பகுதி நேர் மின்னழுத்தமும், p-பகுதி எதிர் மின்னழுத்தமும் பெறுமாகையால், மின்னோட்டமிராது. ஆகவே, மாறுதிசை மின்னோட்டம் ஒருதிசை மின்னோட்டமாகச் சீராக்கப்படுகிறது. (டயோடுவால்வும் இவ்வாறே, ஒரு பாதிசைக்கிளில் மின்னோட்டம் கடத்தியும், மறுபாதிசைக்கிளில் மின்னோட்டம் கடத்தாமலும், மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை ஒரு திசை மின்னோட்டமாகச்சீராக்குவது ஞாபமிருக்கலாம்) இச்சாதனத்திற்கு ஜங்க்ஷன் டயோடு (Junction diode) என்று பெயர் தரப்பட்டுள்ளது.

ஜங்க்ஷன் டிரான்சிஸ்டர் (The Junction Transistor)

இரு p-n சந்திகளை ஒன்றுக்கொன்று முன்னும் பின்னுமாகத் தொகுத்த சாதனமே ஜங்க்ஷன் டிரான்சிஸ்டராகும். இருவகை

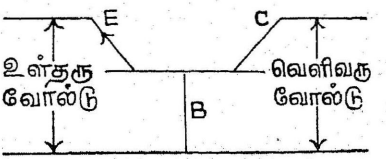


படம் 142 ஜங்க்ஷன் டிரான்சிஸ்டர்

யாக இவற்றைத் தொகுக்கும் வழிகளைப் படம் 142 (a) யிலும் (n-p-n) காணப்பட்டுள்ளன. இவற்றில் E என்பது 'வெளிவிடு வாய்' (Emitter); C என்பது 'ஏற்பு வாய்' (Collector); B என்பது 'அடிவாய்' (Base). இம் மூன்றும் ஏறச்குறைய ஒரு டயோடு வால்வின் மின்னிழை, தகடு, கிரிடு இவற்றிற்கொப்பாகும். E

வெளிவிடு வாயிலிருந்து எலக்ட்ரான்களோ (n-p-n), மின் துளைகளோ (p-n-p) வெளிவிடப்பட்டு. அடிவாயினூடே சென்று, ஏற்புவாயில் சேர்கின்றன. இதற்கு E-க்கு 'முன்னோக்கு' மின்னழுத்தமும், C-க்குப் 'பின்னோக்கு' மின்னழுத்தமும் தரப்படல் வேண்டும்.

E-க்கும் B-க்குமிடையே உள்தரு மின்னழுத்தங்களைக் கொடுத்தால், அவை பெருக்கமடைந்து, C-க்கும் B-க்குமிடையே

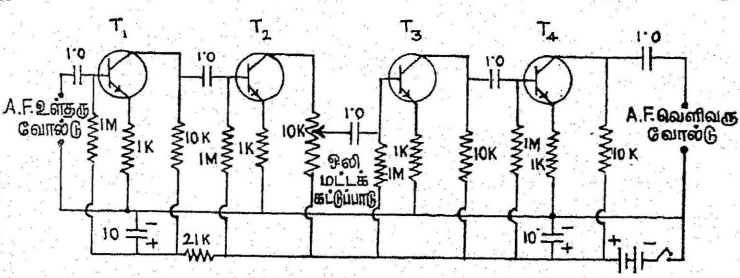


படம் 143 டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கி

வெளிவரு மின்னழுத்தகங்களாகத் தரப்படும். ஆகவே, இவற்றையும் வால்யுகளைப் போலவே ஒன்றன்பின், ஒன்றுகப் பிணைத்து, பல கட்டங்கள் கொண்ட பெருக்கியாகவும், அலையியற்றியாகவும், பண்பேற்றியாகவும் பயன்படுத்தலாம். வெளிவிடுவாயை ஓர் அம்பால் குறிப்பது வழக்கம். அம்பு வெளிப்பக்கமாய் வந்தால் 'n வகை' என்றும், உள்பக்கமாய்ச் சென்றால் 'p வகை' என்றும் குறிப்பிடுவது மரபு.

மேலே காட்டப்பட்ட படங்களிலெல்லாம் அடிவாய் (B), உள்தரு, வெளிவரு சுற்றுக்களுக்குப் பொதுவாய் உள்ளது. ஆனால், டிரான்சிஸ்டரின் வெளிவிடுவாயைப் பொதுவாக வைத்தே டிரான்சிஸ்டர்கள் பெரும்பாலும் இயக்கப்படுகின்றன. படம் 144 இவ்வித ஒலிபெருக்கி ஒன்றைக் காண்பிக்கிறது.

இம் மின்சுற்றில் நான்கு டிரான்சிஸ்டர்கள் உள்ளன. நான்கும்



படம் 144-4-டிரான்சிஸ்டர் ஒலிபெருக்கி

n-p-n டிரான்சிஸ்டர்கள் என்பது அவற்றின் வெளிவிடுவாய் அம்பிலிருந்து தெரியவரும். இவை R-c தொகுப்பு முறையில் கட்டத்திற்குக் கட்டம் தொகுக்கப் பட்டுள்ளன. இது A. F. உள் தரு மின்னழுத்தங்களை 2500 மடங்கு வரைபெருக்கவல்லது. இப் படத்திறகும் வால்வு பெருக்கி மின் சுற்றுக்குமுள்ள ஒற்றுமை வெளிப்படை.

மின் வால்வுகள் எங்கெங்கெல்லாம் பயன்பட்டனவோ, அங்கெல்லாம் இப்பொழுது டிரான்சிஸ்டர்கள் வெகு திறமையுடனும், வெகு சிக்கனமாயும், பழுதின்றியும் செயல்புரிந்து வருகின்றன.

அத்தியாயம் 26.

வினாக்கள்

1. எலக்ட்ரான்களும் மின்துளைகளும் டிரான்சிஸ்டரில் எவ்வாறு வெளிவிடப் பெறுகின்றன ?
2. டிரான் சிஸ்டரின் சிறப்புகள் யாவை ?
3. ஜங்க்ஷன் டயோடு திருத்தியாகச் செயல்படும் தத்துவம் என்ன என்பதை விளக்கு.

கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகம்

சென்னை

1970 ஜனவரிவரை வெளியிட்டுள்ள நூல்கள்

			ரூ.	பை.
பொருளாதாரம்				
* 1.	பொருளாதாரம்—I	... சி. வேலாயுதம்	... 6	50
* 1-A	,, —II	... ,,	... 9	00
* 2.	சோவியத் பொருளாதார வளர்ச்சி	... டாக்டர் எம். ஜே. கே. தவராஜ்	... 4	25
* 3.	அமெரிக்கப் பொருளாதாரம்	... ,,	... 4	50
* 4.	பொருளாதாரச் சிந்தனை வரலாறு	... சோணசலம்	... 7	00
* 5.	பன்னாட்டு வாணிபம்	... மு. ஆரோக்கியசாமி	... 6	00
6.	புதுமைப் பொருளாதாரக் கூறுகள்	... திருமதி ஆர். தாமரஜாட்சி	... 12	00
7.	பொருளாதாரம்—ஓர் அறிமுகம்—I	... தி. சி. மோகன்	... 12	00
8.	,, ,, —II	... எம். ஏ. அபூர்வசாமி, பி. வி. ஸ்ரீநிவாசன்	... 10	75
9.	பொருளாதாரக் கோட்பாடு வளர்ந்த வரலாறு	... க. முத்தையன்	... 7	00
10.	பணவியலும் பாங்கியலும்—I	... சி. வேலாயுதம்	... 6	75
*11.	,, II	... ,,	... 11	50
*12.	நவீன பாங்கு இயல்	... க. வெற்றிவேல்	.. 7	50
*13.	இந்தியச் செலவாணியும் பாங்கு முறையும்	... பி. வி. ஸ்ரீநிவாசன்	... 5	50

*மூலநூல் (Original book)

			ரூ.	பை.
பொருளாதாரம் (தொடர்ச்சி)				
*14.	அரசாங்க நிதி இயல்	... அர. சேஷாச்சலம்	... 4	75
15.	இந்தியப் பொருளியல்—I	... எம். பாலசுப்பிரமணியன்	... 10	00
16.	,, II	... எம். லூர்துநாதன்	... 4	25
17.	நமது பொருளாதாரப் பிரச்சினை—I	... சி. சுந்தரராஜன்	... 10	75
18.	,, II	... எஸ். குழந்தைநாதன்	... 10	50
19.	இங்கிலாந்தின் பொருளாதார வரலாறு—I	... கீ சீ. இராமசாமி	... 6	00
20.	,, —II	... ,,	... 6	00
21.	அமெரிக்காவின் நவீன பொருளாதார வளர்ச்சி	... தி. சி. மோகன்	... 5	00
22.	அமெரிக்கப் பொருளாதார வளராறு—I	... மு. க. சுப்பிரமணியம்	... 11	00
23.	,, ,, II	... பி. வி. சீனிவாசன்	... 6	50
24.	,, ,, III	... ,,	... 6	50
25.	அரசாங்க நிதியியலின் பொருளாதாரம்—I	... மா. குமாரசாமி	... 10	00
26.	,, ,, I	.. அர. சேஷாசலம்	... 9	50
27.	இந்தியாவின் பொருளாதார வளர்ச்சி—I	... தே. வேலப்பன்	... 10	00
28.	,, ,, II	... ஜி. சிதம்பரம்	... 8	00
29.	பணம்—சிறு விளக்கம்	... கோ. இராதாகிருஷ்ணன்	... 10	00
30.	வணிக இயலின் தத்துவங்கள்	... கு. ஆளுடைய பிள்ளை	... 9	50
31.	பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் கிரேட் பிரிட்டனில் தொழில்—வாணிகப் புரட்சி	... சூ. ரா. கருப் பண்ணன்	... 11	00
32.	பென்ஹாம் பொருளாதாரம்—I	... ஏ. குழந்தை	... 11	00
33.	,, ,, II	... எஸ். குழந்தைநாதன்	... 7	00
34.	வரவு செலவுத் திட்டம்	... ஆர். ரங்காச்சாரி	... 6	00

35.	பன்னூட்டுப் பொருளாதாரம்—I	... ஏ. குழந்தை	... 7 50
36.	,, ,, II	... கே. எஸ். இராமசாமி	... 9 00
37.	பொருளாதார ஆய்வு நூல்—I	... கோ. இராதாகிருஷ்ணன்	... 7 75
38.	,, ,, II	... ,,	... 7 00
39.	வரர்ச்சியுறுத நாடுகளின் அரசாங்க நிதியியல்	... க. வெற்றிவேல்	... 4 25
40.	வளர்ச்சி குறைந்த நாடுகளின் முதலாக்கம் பற்றிய சிக்கல்கள்	... மா. குமாரசாமி	... 5 50
41	1939முதல் இந்தியாவில் பணவீக்க விலைப் போக்குகள்	... சி. சுந்தரராஜன்	... 7 50
42.	பொருளாதர வளர்ச்சி பற்றிய கட்டுரைகள்	... எம். கே. சுப்பிரமணியம்	... 7 50
43.	இந்தியப் பொருளாதார வரலாறு (1857—1956)—I	... ம. திருநாவுக்கரசு	... 7 00
44.	பொருளாதாரம்—ஓர் அறி முகம்	... பு. வி. சீனிவாசன்	... 6 25

வரலாறு

*45.	பிரிட்டன் வரலாறு—I	... கி. ர. அனுமந்தன்	... 4 50
*46.	,, ,, II	... ,,	... 3 50
*47.	,, ,, III	... ,,	... 7 25
*48.	ஐரோப்பிய வரலாறு—I	... டி. வி. சொக்கப்பா	... 4 50
49.	ஐரோப்பா—கடந்த ஐந்து நூற்றாண்டு காலச் சரித்திரம்	... வை. விருத்தகிரீன்	... 15 00
50.	இங்கிலாந்து வரலாறு—I	... இரா. அண்ணுமலை	... 13 00

*மூல நூல் (Original book)

வரலாறு (தொடர்ச்சி)			ரூ.	பை.
51.	இங்கிலாந்து வரலாறு—II	... பர். மாணிக்கவேலு	... 13	00
52.	,, ,, III	.. என். ஜே. ராஜகோபால்	... 8	00
53.	,, ,, IV	... ,,	... 8	00
54.	இங்கிலாந்தின் வரலாறு—I	... க. த. திருநாவுக்கரசு	... 15	00
55.	,, ,, II	... எம். எக்ஸ். மிராண்டா	... 8	00
56.	,, ,, III	... ,,	... 5	00
57.	இந்தியாவின் சிறப்பு வரலாறு—I	... தி. வெ. குப்புசாமி	... 7	00
58.	,, ,, II	... ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப்	... 9	00
59.	,, ,, III	... அ. பாண்டுரங்கன்	... 11	00
60.	கிரேக்க நாட்டு வரலாறு—I	... சைமன் ஐ. எஸ். பாக்கியநாதன்	... 7	50
61.	,, ,, II	... ,,	... 7	00
62.	,, ,, III	... பி. இராமானுஜம் தேவதாஸ்	... 7	75
63.	ஆக்ஸ்ஃபோர்டின் இந்திய வரலாறு—I	... தி. வெ. குப்புசாமி	... 8	25
64.	,, ,, II	... ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப்	... 7	50
65.	,, ,, III	... க. த. திருநாவுக்கரசு	... 10	50
66.	முகலாயப் பேரரசு—I	... ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப், எம். எக்ஸ். மிராண்டா	... 7	50
67.	,, II	... எம். எக்ஸ். மிராண்டா, பா. மாணிக்கவேலு	... 7	75
68.	ஆங்கில அரசியலமைப்பின் வரலாறு—I	... வை. வைத்தகிரீசன்	... 7	50
69.	,, ,, II	... வை. வைத்தகிரீசன், இரா. அண்ணுமலை	... 6	75
70.	,, ,, III	... இரா. அண்ணுமலை, பா. மாணிக்கவேலு	... 6	50
71.	,, ,, IV	... பா. மாணிக்கவேலு	... 7	00
72.	ஆங்கிலேயரின் சமுதாய வரலாறு—I	... சி. ஈ. இராமச்சந்திரன்	... 6	50

73.	,, ,, II	...	சி. ஈ. இராமச்சந்திரன் இர. ஆலாலாசுத்தரம்	...	6 75
74.	,, ,, III	...	ஆர். ஆலாலசுந்தரம்	...	6 50
75.	இந்தியாவில் முகலாயரின் ஆட்சி—I	...	பா. மாணிக்கவேலு	...	5 00
76.	,, ,, —II	...	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப்	...	6 00

அரசியல்

*77.	அரசியல் அமைப்புகள்	...	ஜே. இராமச்சந்திரன்	...	4 62
78.	ஆசாங்கத்தின் வரலாறு	...	மோ. கிளாரன்சு, டி. டி. பெலிக்ஸ்	...	6 50
79.	இந்திய அரசியலமைப்பு	...	வீ. கண்ணையா	...	4 75
80.	அரசியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்	...	டி. செல்லப்பா	...	8 50
81.	தற்கால அரசியல் அமைப்புகள்	...	மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு	...	8 50
82.	பன்னாட்டு அரசியல்—I	...	திருமதி நூர்ஜஹான் பாவா	...	16 00
83	,, II	...	,,	...	13 25
84.	பொதுத்துறை ஆட்சி இயல்—I	...	வீ. கண்ணையா	...	9 00
85.	,, ,, II	...	இ. ஜெகதீசன்	...	7 25
86.	பொதுத்துறை ஆட்சியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	...	வீ. கண்ணையா	...	7 50
87.	,, II	...	டி. செல்லப்பா	...	7 50
88.	இந்திய அரசியலமைப்புத் திட்டம்	...	தி. வெ. குப்புசாமி, எஸ். சுப்பிரமணியன்	...	9 25
89.	இந்திய ஆட்சி அமைப்பு முறை வளர்ச்சி—I	...	வீ. கண்ணையா	...	6 25
90.	,, ,, II	...	வீ. கண்ணையா, கி. ர. அனுமந்தன்	...	5 75

*மூலநூல் (Original book)

அரசியல் (தொடர்ச்சி)

				ரூ.	பை.
91.	இந்திய ஆட்சி அமைப்புமுறை வளர்ச்சி—III	... கி. ர. அனுமந்தன்	...		
*92.	மக்கள் ஆட்சி	... க. சந்தானம்	...	4	25
93.	1919 முதல் சர்வதேச உறவுகளும் உலக அரசியலும்	... என். ஜே. ராஜகோபால்	...	7	75
94.	சமூக, அரசியல் கொள்கையின் அடிப்படைகள்	... மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்ஸ்	...	7	00
95.	அரசியலமைப்புச் சட்ட ஆய்வுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	... பா. சூரியநாராயணன்	...	5	70
96.	,, ,, II	... பா. சூரியநாராயணன் கி. ர. அனுமந்தன்	...	6	00
97.	,, ,, III	... கி. ர. அனுமந்தன்	...	5	75

உளவியல்

98.	குழந்தை உளவியல்—I	... கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி	...	8	00
99.	,, II	... ,,	...	7	00
100.	உட்கவர் மனம்	... சி. ந. வைத்தீஸ்வரன்	...	7	00
101.	இளையோர் உளவியல்—I	... தி. இரா. அரங்கராசன்	...	12	00
102.	,, ,, —II	... தி. இரா. அரங்கநாதன்	...	9	00
103.	சமூக உளவியல்	... என். வேதமணி மானுவேல்	...	9	25
104.	பிறழ்நிலை உளவியல்	... அ. பெசன்ட் கிரீப்பர்ராஜ்	...	11	00
105.	பித்தரின் உள்ளம்	... ,,	...	3	00
*106.	குமர உள்ளம்	... டாக்டர் மு. அறம்	...	6	25

தத்துவம்

107.	இந்து சமயத் தத்துவம்	... ஞா. ராஜாபகதூர்	... 5	50
108.	அறிவு ஆராய்ச்சி இயல்	... ஆர். ராமானுஜாச்சாரி	... 3	50
109.	மேலைநாட்டுத் தத்துவம்	... ஆர். எஸ். தேசிகன்	... 3	50
110	அத்துவித தத்துவம்	... கோ. மோ. காந்தி	... 6	50
111.	ஆங்கிலேயப் பயன்வழிக் கொள்கையினர்	.... மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு	... 5	50
112.	இந்தியத் தத்தும்—I	... வ. அ. தேவசேனுபதி, பா. நா. சண்முக சுந்தரம்	... 3	50
113.	,, II	... ,,	... 6	00
114.	மெய்ப்பொருளியல்—ஓர் அறிமுகம்—I	... சி. இராமலிங்கம்	... 6	00

அறவியல்

115.	அறவியல்—ஓர் அறிமுகம்	... கோ. மோ. காந்தி	... 8	50

அளவையியல்

116.	அளவையியல்—தொடக்க நூல்	... கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி	... 2	50

மானிடவியல்

117.	மானிடவியல்	... ம. சு. கோபாலகிருஷ்ணன்	... 4	75
118.	பண்பாட்டுக் கோலங்கள்	... கி. பூ. சுப்ரமணியம்	... 5	50
*119.	இந்தியாவில் குடியானவர் வாழ்க்கை	... எஸ். இலட்சுமி	... 3	50

சமூகவியல்

120.	சமூகவியலின் அடிப்படைக் கோட்பாடுகள்	... ஜே. நாராயணன்	... 10	50

புவியியல்

121.	ஆசியா—I	... கொ. சேஷ. நரசிம்மன்	... 9	50
122.	,, II	... ,,	... 8	75
123.	ஐரோப்பாக் கண்டத்தின் புவியியல்	... ஏ. எஸ். நாராயணன்	... 8	50
*124.	தென் கிழக்கு ஆசியா	... ஜி. கிருஷ்ணமூர்த்தி	... 8	50

*மூலநூல் (Original book)

புவியியல் (தொடர்ச்சி)

			ரூ.	பை.
*125.	வட அமெரிக்கா	... குமாரி இரா. அலமேலு	... 8	25
*126.	தென் அமெரிக்கா	... எம். என். பத்மநாபன்	... 9	00
*127.	தென் கண்டங்கள்—ஆஸ்திரேலியா	... திருமதி எச். நியூமன்	... 4	00
*128.	,, —ஆஃப்ரிக்கா	... எஸ். முத்துக்கிருஷ்ணக்கரையாளர்	... 3	25
*129.	புவிப்பிறவியல்—II	... நா. அனந்தபத்மநாபன்	... 6	00
*130.	செய்முறைப் புவியியல்	... சு. ஜெயசந்திரன்	... 9	00
*131.	மக்கட்பரப்பியல்	... வி. எஸ். அனந்தபத்மநாபன்	... 6	25
*132.	சமுத்திரவியல்	... கோ. இராமசாமி	... 6	50
133.	காலநிலை இயல்—I	... கொ. சேஷ. நரசிம்மன்	... 10	00
134.	,, II	... ,,	... 5	00
135.	காலநிலை இயல்	... திருமதி இராதா	... 10	00
136.	வளியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்	... கோ இராமசாமி	... 11	00
137.	புவி அமைப்பு இயல்	... சி. விஸ்வநாதன்	... 4	75
138.	பௌதிகப் புவியியலும் புவியமைப்பியலும்	... கோ. இராமசாமி	... 6	00
139.	சிஷோமின் வாணிகப் புவியியல்—I	... எஸ். மாணிக்கம்	... 9	50
140.	,, ,, II	... எம். கார்த்திகேயன்	... 12	00
141.	,, ,, III	... சி. எஸ். நரசிம்மன்	... 5	75

புள்ளியியல்

*142.	புள்ளியியல்—அறிமுகம்	... சு. வைத்தியநாதன்	... 10	00
143.	புள்ளியியல் முறைகள்—I	... கோ. சண்முகசுந்தரம்	... 10	00
144.	,, II	... இராஜகோபாலன்	... 14	00
145.	நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம்	... தி. வி. லட்சுமி நரசிம்மன்	... 6	50

உயர்கணிதம்

*146.	ஆயத்தொலை வடிவகணிதம்	... டி. கே. மாணிக்கவாசகம் பிள்ளை	... 12	50
*147.	வகை நுண்கணிதம்	... ,,	... 8	00
*148.	தொகை நுண்கணிதம்	... தி. கோவிந்தராசன்	... 9	00

			ரூ.	பை.
விலங்கியல்				
*149.	விலங்கியல்	... பெ. மா. அண்ணுமலை, இரா. முருகேசன்	... 12	00
பௌதிகவியல்				
150.	ஒளி நூல்	... ச. சம்பத்து.	... 10	00
விஞ்ஞானம்				
*151.	வானவெளி வெற்றி	... டாக்டர் எம் ஏ. தங்கராஜ்	... 6	00
*152.	ரேடியோ	... ,, பி. திருஞானசம்பந்தம்	... 4	75
*153.	எக்ஸ்—கதிர்கள்	... பெ. நா. அப்புசாமி, ஜே. பி. மாணிக்கம்	... 4	50
*154.	பாம்புகள்	... பெ. மா. அண்ணுமலை	... 3	00
*155.	தாவரம்—வாழ்வும் வரலாறும்	... டாக்டர் கு. சீனிவாசன்	... 8	00
*156.	கரும்பு	... கு. பெரியசாமி	... 4	00
*157.	தாவரங்களின் வாழ்வியல்	... எஸ். சுந்தரம்	... 6	50
மருத்துவம்				
*158	நீரிழிவு—கூடியரோகம்	... டாக்டர் ஜி. வெங்கடசாமி டாக்டர் ஏ. கதிரேசன்	... 2	50
159.	மகப்பேறும் மாதர் நோயும்	... டாக்டர் (குமாரி) மணிமேகலை	... 8	25
*160.	பாக்டீரியா	... சு. சுந்தரம்	... 2	50
161.	புற்றுநோய்	... அ. கதிரேசன்	... 3	50
162.	உடலியங்கியல்—I	... டாக்டர்கள் ஜி. வேங்கடசாமி, டி. சரோஜினி, எஸ். கே. துரைராஜ், ஆர். சேது	... 6	75
163.	,, II	... ,,	... 5	50
164.	என்புருக்கி நோய்	... டாக்டர் அ. கதிரேசன்	... 7	25
பொறியியல்				
165.	நீங்களே உங்கள் வீட்டைக் கட்டலாம்	... கே. வி. கிருஷ்ணராஜ் சி. ஆர். சுப்பிரமணியம் ஆர். இராமசாமி, கே. வேணுகோபால்	... 8	50

*மூலநூல் (Original Book)

				ரூ.	பை.
கூட்டுறவு					
166.	உலகக் கூட்டுறவு இயக்கம்	அ. வேல்மணி	...	5	50
சட்டம்					
*167.	குற்றவியல் சட்டம்	எம். சண்முகசுப்பிரமணியம்	...	10	00
பொது நூல்கள்					
168.	மகாத்மா காந்தி	... சரஸ்வதி தங்கையன்	...	3	25
169.	விவசாயப் புரட்சி	... வி. கார்த்திகேயன்	...	8	00
*170.	சேமக் கை நூல்	... ஆ. சுப்பிரமணியம்	...	2	50
*171.	முற்காலச் சோழர் கலையும் சிற்பமும்	... எஸ். ஆர். பாலசுப்பிரமணியம்	...	9	00
*172.	உணவும் ஊட்டமும்	... தி. வேங்கிடகிருஷ்ணய்யங்கார்	...	4	50
புகுமுக (P.U C.) வகுப்புகளுக்குரியவை		டி. ஆர். இராமச்சந்திரன்	...	4	00
*173.	உலக வரலாறு	ஜி. சிதம்பரம்	...	2	75
*174.	பொருளாதாரம்	... கு. ஆளுடைய பிள்ளை	...	2	50
*175.	வணிகவியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	... ,,	...	2	25
*176.	,, ,, II	... டாக்டர் பி. திருஞான சம்பந்தம்			
*177.	பௌதிகம்	... ஆர். நாகராஜன்	...	7	50
*178.	புதுமுக பௌதிகம்	... டாக்டர் எம். ஏ. தங்கராஜ்	...	5	75
*179.	புதுமுக வகுப்புக் கணிதம்—I	... கே. ராஜகோபாலன்	...	7	00
*180.	,, II	... கே. இராஜகோபாலன்	...	3	00
*181	புதுமுக வகுப்புக் கணித நூல்—I	... டி. கோவிந்தராஜன், முத்துசாமி	...	7	00
*182.	,, II	... ,, ,,	...	4	50
*183.	கணிதம்—ஓர் அறிமுகம்—I	... ஆர். மகாதேவன்	...	4	75
*184.	,, ,, II	... ,,	...	3	25
*185.	வேதியியல்	... பி. டி. முனியப்பா, ஆர். முத்துலட்சுமி	...	7	00

*186.	புதுமுக வேதியியல்	... சி. ஏ. பத்மநாபன்	...	5	50
*187.	விலங்கியல்	... எஸ். ஆப்ரகாம்	...	4	00
*188.	புதுமுக விலங்கியல்	... பெ. மா. அண்ணுமலை	...	7	25
*189.	புதுமுக வகுப்புத தாவரவியல்	... எஸ். சுந்தரம்	...	4	50

பட்டப் படிப்புக்குரிய (B.Sc) நூல்கள்

பௌதிகம் (Physics)

*190.	எந்திரவியல்—சிறப்புப் பாடம் (Book I)	... ஆர். நாகராசன்	...	6	25
*191.	வெப்பவியல்—சிறப்புப் பாடம்	... கே. நாச்சிமுத்து	...	5	25
*192.	செய்முறை பௌதிகம்—சிறப்புப் பாடம் (Book I)	... டி. கமலக்கண்ணன், எஸ். கிருட்டிணசாமி	...	4	50
*193.	பௌதிகம்—துணைப் பாடம்—I (Book I)	... பி. தங்கராஜன்	...	4	00
*194.	,, (Book II)	... ,,	...	3	00
*195.	செய்முறை பௌதிகம்—துணைப் பாடம்	... கே. பாசுகரன், இரா. செயராமன்	...	4	50
*196.	மின்னியல் காந்தவியல் (Book I)	... டி. ஏ. கருப்பண்ணன்	...	4	7
*197.	ஒளியியல் சிறப்புப் பாடம்	... டாக்டர் வி. சுண்முகசுந்தரம், டாக்டர் ஆர். சபேசன்	...	7	75

வேதியியல் (Chemistry)

*198.	செய்முறை கனிம வேதியியல்—சிறப்புப் பாடம்	... டி. இராமலிங்கம்	...	2	25
199.	பௌதிக வேதியியல் (Book I)	... டி. சக்திவேலு	...	4	00
*200.	கனிம வேதியியல்—துணைப் பாடம்	... சி. ஏ. பத்மநாபன்	...	6	50
*201.	கனிம வேதியியல் (Book I)	... பி. டி. முனியப்பா	...	4	00
*202.	பொது பௌதிக வேதியியல்—துணைப் பாடம்	... ஆர். துளசிதாஸ்	...	4	75

*மூலநூல் (Original Book)

கணிதம் (Mathematics)

			ரூ.	பை.
*203.	இயற்கணிதம்—சிறப்புப் பாடம் (Book I)	... டி. கோவிந்தராஜன், கே. முத்துசாமி	... 4	25
*204.	தொகுமுறை வரைகணிதம்-சிறப்புப் பாடம்	... ஆர். மகாதேவன்	... 2	00
*205.	எண்சார் கணிதம்—சிறப்புப் பாடம	... எம். எம். இராமசாமி	... 5	50
*206.	திரிகோண கணிதம்—சிறப்புப் பாடம்	... வி. அரங்கநாதன்	... 3	25
*207.	கணிதம்—துணைப் பாடம்	... ஆர். அனுமந்தராவ்	... 6	00
*208.	நிலையியல்—சிறப்புப் பாடம்	... கே. இராஜகோபாலன்	... 5	00

புள்ளியியல் (Statistics)

*209.	புள்ளியியல்—துணைப் பாடம்	... எஸ். கருப்பையா	... 3	50

விலங்கியல் (Zoology)

*210.	முதுகெலும்பற்றவை I—சிறப்புப் பாடம்	... ஆர். முருகேசன்	... 11	50
*211.	,, II—சிறப்புப் பாடம்	... திருமதி எஸ். கே. வள்ளி	... 11	25
*212.	முதுகுநாணுள்ளவை I—சிறப்புப் பாடம் (Book I)	... திருமதி ராணி கந்தசாமி	... 8	00
*213.	,, (Book II)	... ,,	... 9	75
*214.	முதுகுத்தண்டுள்ளவை—II—சிறப்புப்பாடம்	... திருமதி கிருஷ்ணவேணி நாராயணன்	... 11	75
*215.	முதுகெலும்பற்றவை—துணைப்பாடம்	... ன் ராமலிங்கம்	... 9	00
*216.	முதுகுநாணுள்ளவை—துணைப்பாடம்	... வி. சேது	... 10	00

தாவரவியல் (Botany)

*217.	தாவர வெளி உள்ளமைப்பியல்களும் வகைப் பாட்டியலும்—சிறப்புப்பாடம்	... கே. ராஜசேகரன்	... 11	00
*218.	தாவரப் புற அமைப்பியல்	... கே. பாலசந்திரகணேசன்	... 9	25
*219.	தாவர உள்ளமைப்பியல்	... டாக்டர் ஏ. கோவிந்தராஜுலு	... 7	25

*மூலநூல் (Original Book)